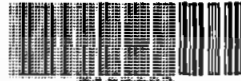


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซาน



1107893



นางสาวพาร์ตน์

นิตามณีนตร

นางสาวเบญจมาภรณ์

วงษ์สิน

นางสาวอาภาภรณ์

มงคลพัฒน์

๙๖  
๙๖๘๑๗  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 107893

วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2553

b. 12213263  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Adsorption of Formaldehyde from Synthetic Wastewater using Chitosan-Modified Clay**



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

**Academic Year 2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโกลโดซาน

**นักศึกษา** นางสาวจุฬารัตน์ นิสามณีเนตร  
 นางสาวเบญจมาภรณ์ วงษ์สิน  
 นางสาวอาภาภรณ์ มงคลพัฒน์

**ภาควิชา** เคมี

**สาขาวิชา** เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม


**ปีการศึกษา** 2550

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน  
 ผศ.ดร. ภัทรารุช มนต์วิเศษ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
<b>ประธาน</b>	ผศ.ดร. อูสารัตน์ อารชัยสิทธิ์	
<b>กรรมการ</b>	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	
<b>กรรมการ</b>	ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์	

  
 ( ผศ. ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์ )  
 หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>โครงการพิเศษเรื่อง</b>	การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเซลล์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	
<b>นักศึกษา</b>	นางสาวจุฬารัตน์	นิศามณีเนตร
	นางสาวเบญจมาภรณ์	วงษ์สิน
	นางสาวอาภาภรณ์	มงคลพัฒน์
<b>คณะ</b>	วิทยาศาสตร์	
<b>ภาควิชา</b>	เคมี	
<b>สาขาวิชา</b>	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ผศ.ดร.ชลอ	จารุสุทธีรักษ์
<b>อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม</b>	ผศ.ดร.ภัทราวุธ	มนต์วิเศษ
	ผศ.ดร.ปทุมมา	ศิริพันธ์ โนน

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เซลล์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานเป็นตัวดูดซับ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าพีเอช เวลา ความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์เริ่มต้น ปริมาณตัวดูดซับ จากการทดลองพบว่า ที่พีเอช 7 สามารถบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์ได้สูงสุด การเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจนถึง 3 วันสามารถบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอर्मัลดีไฮด์ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ในการบำบัดมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ผลการวิจัยแสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้เซลล์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ แต่ยังมีข้อจำกัด คือ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

**คำสำคัญ :** การดูดซับ, เซลล์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน, มอนท์มอริล โลไนต์, ฟอर्मัลดีไฮด์

<b>Project Title</b>	Adsorption of Formaldehyde from Synthetic Wastewater using Chitosan-Modified Clay	
<b>Students</b>	Jurarat	Nisamaneenate
	Benjamaporn	Wongsin
	Aphaphon	Mongkhonphat
<b>Faculty Department</b>	Science Chemistry	
<b>Academic</b>	2007	
<b>Project Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Chalor	Jarusutthirak
<b>Project Co-Advisors</b>	Asst. Prof. Dr. Pathavuth	Monvisade
	Asst. Prof. Dr. Punnama	Siriphannon

### Abstract

This special project studied a potential of the use of chitosan-modified clay in adsorption of formaldehyde from synthetic wastewater. Factors affecting adsorption efficiency, including pH, contact time, initial concentration of formaldehyde, and quantity of the clay, were investigated. It was found that at pH of 7, chitosan-modified clay provided the best performance in adsorption of formaldehyde. The removal efficiency reached 100% when the contact time was extended to 3 days. As quantity of the clay increased, formaldehyde removal efficiency became decreasing. The results from this research exhibited the possibility of the use of chitosan-modified clay as an adsorbent in removal of formaldehyde from synthetic wastewater. However, a limitation of the use was a potential release of organic carbon from the clay, leading to higher COD value in effluent than effluent standard.

**Keyword :** Adsorption, Chitosan-modified clay, Formaldehyde, Montmorillonite

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ได้รับความอนุเคราะห์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ และผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ และแม่บ้าน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ นางสาวอมรรัตน์ สวัสดิมมงคล และนางสาวกมลชนก แสงสว่าง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และพี่น้อง ในครอบครัวที่เป็นกำลังให้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมปี 4 ทุกคนและเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

นอกเหนือจากนี้แล้วยังมีบุคคลอื่นอีกหลายท่านที่มีได้กล่าวถึงที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และกำลังใจตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬารัตน์ นิสามณีเนตร

เบญจมาภรณ์ วงษ์สิน

อภาภรณ์ มงคลพัฒน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 คุณสมบัติของฟอร์มัลดีไฮด์	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไป	4
2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	4
2.1.3 ลักษณะสารและการใช้ประโยชน์	5
2.1.4 ผลของฟอร์มัลดีไฮด์	6
2.2 แร่ดินเหนียว	7
2.3 มอนิเตอร์ไลไนต์	7
2.4 นาโนเคลย์	8
2.5 ไคโตซาน	10
2.5.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	11
2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน	12
2.5.3 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน	14
2.6 การดูดซับ	16
2.6.1 หลักการของการดูดซับ	16
2.6.2 กลไกการดูดซับ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล	18
2.6.4 การดูดซับที่สภาวะสมดุล	19
2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
<b>บทที่ 3</b> วิธีการทดลอง	<b>24</b>
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	24
3.1.1 สารเคมี	24
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	24
3.2 การตรวจสอบการชะละลายสารอินทรีย์จากเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	25
3.3 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย	25
3.3.1 การสังเคราะห์น้ำเสีย	25
3.3.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์	25
3.3.3 การศึกษาผลของเวลาต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์	26
3.3.4 การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์	26
3.3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์	27
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	28
<b>บทที่ 4</b> ผลการทดลองและอภิปรายผล	<b>29</b>
4.1 ผลการตรวจสอบการชะละลายสารอินทรีย์จากเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	29
4.2 การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	31
4.3.1 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 ผลของค่าพีเอช	31
4.3.3 ผลของระยะเวลา	34
4.3.4 ผลของความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์	35
4.3.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีผลต่อสุขภาพ	6
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์	28
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการชะละลายของเคลย์ชนิด มอนต์มอริลโลไนต์และเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซาน	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์	8
รูปที่ 2.2 แสดงแร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวกถูกแทนที่ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์	9
รูปที่ 2.3 แผนภาพการแทรกตัวของไคโตซานเข้าไปในมอนต์มอริลโลไนต์	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคติน	11
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	11
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	19
รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน	20
รูปที่ 4.1 ภาพการแทรกตัวของกรโคอะซิติกเข้าไปในชั้นของเคลย์ (ก) แบบโมโนเลเยอร์ และ(ข) แบบไบเลเยอร์	30
รูปที่ 4.2 ผลของค่าพีเอชต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	31
รูปที่ 4.3 ผลของค่าพีเอชต่อปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย สังเคราะห์ที่ดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	34
รูปที่ 4.4 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	34
รูปที่ 4.5 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย สังเคราะห์ที่ดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	35
รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นกับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่ที่ถูกดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	36
รูปที่ 4.7 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	36
รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	37
รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
atm	บรรยากาศ
cm	เซนติเมตร
g/mol	กรัมต่อ โมล
g/L	กรัมต่อลิตร
g	กรัม
L	ลิตร
m	เมตร
m <sup>3</sup>	ลูกบาศก์เมตร
mg	มิลลิกรัม
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	มิลลิลิตร
mmHg	มิลลิเมตรปรอท
pH	พีเอช
w/w	weight by weight
v/v	volume by volume

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) จัดเป็นสารเคมีที่ถูกใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลายโดยที่เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ เช่น pentaerythritol , ethylene glycol เป็นต้นหรือสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในวงการแพทย์รวมทั้งใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมเรซินและพลาสติก วัตถุระเบิด สีต่างๆ ฟอกสีกระดาษ สิ่งทอ แผ่นผนังอัด การผลิตยาง พลาสติกอัดรูป เป็นต้น ส่งผลให้มีฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาณมากปนเปื้อนในน้ำเสียอุตสาหกรรมและหากน้ำเสียอุตสาหกรรมไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมก็จะส่งผลให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งที่ระบายออกมา มีค่าเกินมาตรฐาน น้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 คือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ก., กรมควบคุมมลพิษ (2541)) อันจะก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสุขภาพอนามัยของประชาชน การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์สามารถใช้ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพโดยวิธีการแเอคตีเวเต็ดสลัดจ์ หรือ กระบวนการหมักไร้อากาศ แต่พบว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ยังมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบหรือกระบวนการบำบัดทางกายภาพ-เคมีสามารถใช้ผงถ่านคาร์บอนหรือซีโอไลท์ เป็นตัวดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จากน้ำเสีย (รัตนภรณ์ อนุชลาธร, 2549) แต่ก็พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่มากนัก อีกทั้งวัสดุดูดซับเหล่านี้ยังมีราคาแพง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยใช้วัสดุสังเคราะห์ประเภทนาโนเคลย์ที่มีการปรับปรุงโครงสร้าง ซึ่งได้จากการปรับปรุงคุณภาพแเรดินเหนียวจากธรรมชาติชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารโคโคซาน ซึ่งสารโคโคซานเป็นสารอนุพันธ์ที่ไม่ละลายน้ำของไคตินสามารถสกัดได้จากเปลือกกุ้งและปู มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ ในการปรับปรุงโครงสร้างนาโนเคลย์นั้น ใช้สารโคโคซานที่มีหมู่เอมีนเกาะอยู่ โดยหมู่เอมีนเหล่านี้จะเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเคลย์ เป็นการเพิ่มขนาดช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างของเคลย์ ทำให้เคลย์มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ โดยที่การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานในการบำบัดสารมลพิษหลายประเภท เช่น สีย้อม

(Monvisade and Siriphannon , 2008) โลหะหนัก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการใช้เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโตซานนี้ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสามารถในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์รวมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโตซานในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ ได้แก่ ค่าพีเอช ระยะเวลาในการดูดซับ ปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาณตัวดูดซับ ผลที่ได้จากการวิจัย สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซานสำหรับการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซาน

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. เคลย์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเคลย์กลุ่ม Smectite ชนิด Montmorillonite ที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยโคโตซาน (Katikumjorn , 2005) โดยการทำการวิเคราะห์หาลักษณะโครงสร้างเฉพาะด้วยเทคนิค TGA , XRD
2. น้ำเสียปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 36-38% w/w
3. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย ได้แก่
  - ค่าพีเอช แปรค่าที่พีเอช 5, 7 และ 9
  - ระยะเวลา แปรค่าที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน
  - ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น แปรค่าที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
  - ปริมาณตัวดูดซับ แปรค่าที่ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
4. ปัจจัยควบคุม ได้แก่
  - ระหว่างการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ
  - ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรหรือ 5 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการวิเคราะห์ฟอर्मัลดีไฮด์ที่ได้จากการดูดซับด้วยวิธีการ Spectrophotometry และ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน โดยการใช้เครื่อง TOC Analyzer

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการพัฒนาวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์จากน้ำเสียได้และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้ตัวดูดซับสำหรับดูดซับสารเคมีอื่นนอกเหนือจากฟอर्मัลดีไฮด์
2. ช่วยลดปัญหาการตกค้างของฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้ง ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น
3. สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ฟอर्मัลดีไฮด์

##### 2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ฟอर्मัลดีไฮด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ มีคุณสมบัติเป็นสารใสไม่มีสี ฟอर्मัลดีไฮด์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฟอร์มาลีน โดยมีส่วนผสมเป็นฟอर्मัลดีไฮด์ 37-50% ฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำ และมีเมทานอล (Methyl alcohol) ผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย ซึ่งส่วนผสมที่เติมลงไปเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) โดยทั่วไปมักจะใช้ฟอर्मัลดีไฮด์เป็นยาป้องกันการเน่า ขาฆ่าเชื้อ โรคและสารกันบูด สำหรับสิ่งมีชีวิต โดยมากใช้ฟอर्मัลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ และเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ภายในห้องคองศพที่มีจุดประสงค์ทางการแพทย์ ส่วนในอุตสาหกรรม ใช้ฟอर्मัลดีไฮด์เป็นสารฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมการฟอก ใช้เป็นสารกันบูด และสารที่เป็นยาฆ่าแมลง และยังใช้เป็นตัวเติมที่สามารถทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทำเรซิน พลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง สีย้อมผ้า พลาสติก ผลิตภัณฑ์กระดาษ และเครื่องสำอาง (ที่มา : [www.udru.ac.th/~pasak/formaldehyde.html](http://www.udru.ac.th/~pasak/formaldehyde.html))

##### 2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

ฟอर्मัลดีไฮด์เป็นก๊าซที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส สามารถติดไฟได้ เมื่อเป็นของเหลว มีลักษณะใสไม่มีสี มีกลิ่นแรงฉุน และระคายเคือง ละลายน้ำได้ดีกับฟอर्मัลดีไฮด์บริสุทธิ์ไม่เสถียร ว่องไวต่อปฏิกิริยาและเกิด polymerization ง่ายมาก คุณสมบัติทางเคมีของฟอर्मัลดีไฮด์ มีดังนี้

สูตรโมเลกุล :  $\text{CH}_2\text{O}$

น้ำหนักโมเลกุล : 30.03 g/mol

ความหนาแน่น : 1.08 g/L ที่  $20^\circ\text{C}$

จุดเดือด :  $96^\circ\text{C}$

จุดหลอมเหลว :  $-15^\circ\text{C}$

ความถ่วงจำเพาะ : 1.1

ความดันไอ : 1.52 mmHg ที่  $20^\circ\text{C}$

สภาพการละลายได้ : ในน้ำ 100%, เอทานอล, อีเทอร์, อะซิโตน

ค่าคงที่ของเฮนรี่ :  $3.27 \times 10^{-7} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$  ที่ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ลักษณะสารและการใช้ประโยชน์

สารพอร์มัลดีไฮด์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

#### 1) ด้านอุตสาหกรรม

- การผลิตเรซินและพลาสติก เช่น urea – formaldehyde, melamine – formaldehyde, phenol – formaldehyde และอื่นๆ

- การสังเคราะห์ urotropine , propargyl alcohol ยา และวัตถุระเบิด สีต่างๆ เช่น สีคราม สีแดง สีอะครีลิก

- การย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและสีย้อมติดแน่นขึ้น

- การฟอกสีและการพิมพ์ เช่น การเตรียม rongalite, heraldite

- อุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้

- การผสมโลหะ เพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

- อุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อผลิตผงที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์

- การถ่ายภาพ ทำให้เก็บรักษาได้นาน

#### 2) ด้านการเกษตร

- ใช้สำหรับการทำลายและป้องกันจุลินทรีย์และต้นไม้ที่เป็นโรค

- ป้องกันผลิตผลเกษตรจากการเสียหายระหว่างการขนส่ง และการเก็บรักษา

- ใช้ฆ่าเชื้อโรคในดิน

- ใช้ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์ เช่น ถังไม้

- ใช้เป็นส่วนผสมของสารละลายที่ใช้เคลือบผิว ผลไม้จำพวกส้มระหว่างการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเน่าเสีย

- ใช้เป็นปุ๋ย

#### 3) ด้านการแพทย์

- ใช้ในการเก็บรักษา anatomical specimens , ดองศพ

- ใช้ทำความสะอาดห้องผู้ป่วย เครื่องมือเครื่องใช้ในการเตรียมและสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ยา วัคซีน

#### 4) เครื่องสำอาง

- ใช้ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหม็นออกมา

- ใช้ในยาสีฟัน ยาบ้วนปาก สบู่ คริม โกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ

- ใช้ในน้ำยาดับกลิ่นตัว และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 ผลของฟอร์มาลดีไฮด์

#### 1) ผลต่อมนุษย์

ฟอร์มาลดีไฮด์ก่อให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยถูกจัดอยู่ในกลุ่ม 2 A ถือเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ ระดับความพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ตามระดับความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีผลต่อสุขภาพ

ระดับความเข้มข้นที่สัมผัส (พีพีเอ็ม)	รายงานแสดงผลเสียต่อสุขภาพ
น้อยกว่า 0.05-1.5	50-70 เปอร์เซ็นต์ของผู้สัมผัสไม่มีอาการ
0.05-1	เป็นระดับที่สัมผัสรับรู้กลิ่นได้
0.05-2	ระคายเคืองตา
0.01-25	ระคายเคืองจมูกและคอ
5.0-30	ระคายระบบหายใจส่วนล่างและหลอดลม
50-100	หลอดลมบวม อักเสบ ติดเชื้อ
มากกว่า 100	ทำให้ตาย

(ที่มา : [www.pcd.go.th/about/en\\_Division.htm](http://www.pcd.go.th/about/en_Division.htm))

#### 2) ผลต่อสิ่งแวดล้อม

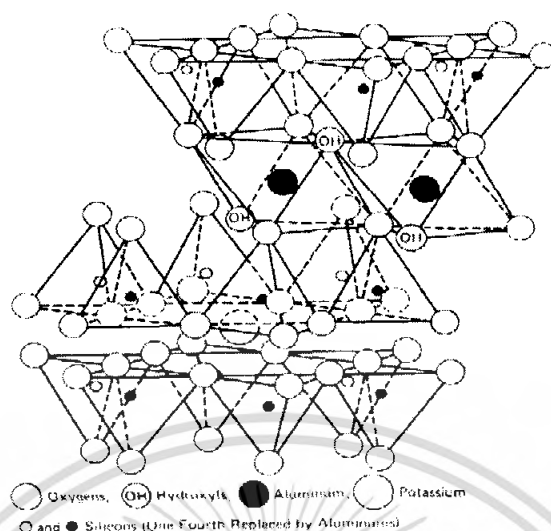
การที่ฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนในน้ำเสียจะเกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำเมื่อดินใน hydraulic structure เกิดการเสถียรกับสารที่มีฟินอลแอลกอฮอล์และฟินอลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ค่อนข้างคงสภาพในสิ่งแวดล้อม ที่ความเข้มข้น 5 มก./ล.ที่ 20 °C จะคงสภาพเป็นเวลา 5 วัน ฟอร์มาลดีไฮด์อาจเกิดการออกซิเดชันได้เมื่อน้ำมีออกซิเจนละลาย และพบว่าฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำหากมีความเข้มข้นเกินกว่า 500 มก./ล. กระบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์

## 2.2 แร่ดินเหนียว

เคลย์ (Clay) หรือ ดินเหนียว ประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ทั้งนี้ องค์ประกอบที่สำคัญในดิน ได้แก่ สารอินทรีย์ (Organic matters) สารอนินทรีย์ (Inorganic matters) และความชื้น (น้ำ) ในส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ นี้มีแร่ธาตุหรือแร่ดินเหนียวที่สำคัญหลายชนิดแต่ที่สำคัญที่สุดคือ กลุ่มแร่อลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate) ซึ่งแร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีกหลายแบบขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบชนิดโครงสร้างผลึกหรืออัญรูปเป็นต้น แร่ดินเหนียวที่สำคัญนำไปสู่เทคโนโลยีของนาโนเคลย์และนาโนคอมพอสิตเป็นกลุ่มแร่ดินเหนียวที่มีจุดเด่นคือ มีโครงสร้างผลึกที่แผ่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกันชั้นผลึกเหล่านี้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้วหรือประจุ (Polarity) เรียกว่ากลุ่ม Smectite clay และแร่ดินเหนียวที่ได้รับการพัฒนามากที่สุดในกลุ่มนี้ก็คือแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไป  $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เบนโทไนท์ หรือเบนโทน (Bentonite , Bentone) ซึ่งอยู่ในตระกูล phyllosilicate มีต้นกำเนิดจากฝุ่นภูเขาไฟ แหล่งที่พบมากอยู่ในอเมริกาเหนือ จีน ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส แร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ ในกลุ่มนี้ที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นนาโนเคลย์ ได้แก่ Saponite, Vermiculite ([www.thaiscience.com/lab\\_vol/P18/NANOCLAY.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/P18/NANOCLAY.asp))

## 2.3 มอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) มีลักษณะโครงสร้างชั้นผลึกที่เรียกว่า 2:1 ประกอบด้วยชั้นอลูมินาออกตะฮีดรอล (Octahedral) ที่ถูกประกบอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นซิลิเกต-เตตระฮีดรอล (Tetrahedral) ความหนาแน่นของชั้นผลึกประมาณ 0.7-1.0 นาโนเมตร ในขณะที่ความยาวด้านข้างมีค่าในระดับไมครอน มีประจุลัทธิของโครงสร้างเป็นลบจึงมักมีประจุบวกของแมกนีเซียม อลูมิเนียม โซเดียม แคลเซียม และอื่นๆ เข้ามาแทรกอยู่ระหว่างชั้นผลึกเพื่อให้เกิดสมดุลของประจุ ดังในรูปที่ 2.1



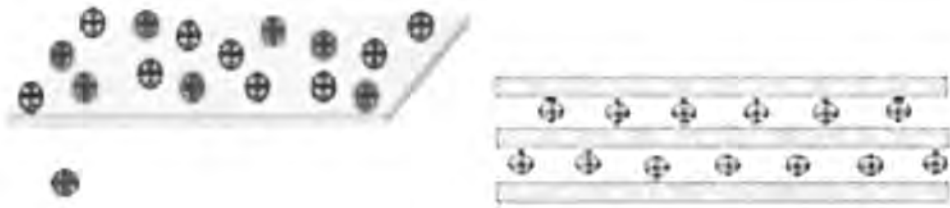
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์  
(ที่มา : [www.thaiscience.com/lab\\_vol/P18/NANOCLAY.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/P18/NANOCLAY.asp))

เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วทำให้มอนต์มอริลโลไนต์ชอบน้ำ (โดยทั่วไปพบว่า ความหนาของชั้นผลึกขยายจนถึง 1.2 นาโนเมตร เมื่อมีความชื้น) และคูดน้ำได้มาก เพราะสามารถขยายตัวได้มาก จึงเป็นที่รู้จักดีและนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์เครื่องสำอาง เพราะสามารถดูดสารพิษต่างๆ ได้ดี อีกทั้งใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเพื่อปรับความหนืดหรือใช้เป็นสารคูดกลั่น รวมถึงในงานบำบัดน้ำเสียปัจจุบันสามารถสังเคราะห์แร่ดินเหนียวขึ้นมาได้โดยเลียนแบบโครงสร้างในธรรมชาติ

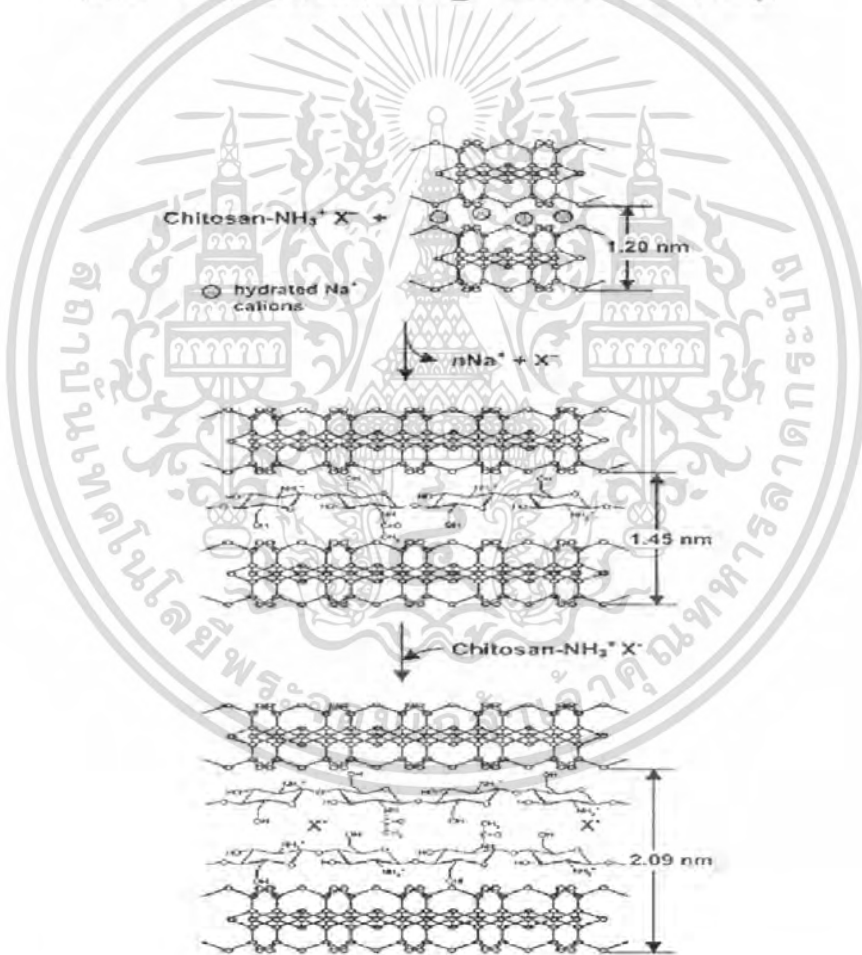
## 2.4 นาโนเคลย์

เมื่อแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งมีความเป็นขั้วหรือชอบน้ำถูกเปลี่ยนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือชอบสารอินทรีย์แทน โดยการแทนที่ประจุบวกต่างๆ ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์จะได้แร่ดินเหนียวที่เรียกว่า นาโนเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้าง (Modified clay) หรือ ออร์กาโนฟิลลิกเคลย์ (Organophilic clay) หรือเรียกสั้นๆ ว่า ออร์กาโนเคลย์ (Organoclay) หรือ เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโดซาน ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ มีความชอบสารอินทรีย์อยู่ด้านในระหว่างชั้นซิลิเกตแต่ขอบนอกของแผ่นซิลิเกตยังมีความเป็นขั้วเหลืออยู่เกิดการขยายตัวของระยะห่างระหว่างชั้นผลึกทำให้ชั้นผลึกห่างกัน เกะกอนอย่างหลวมๆ ประมาณว่าเป็นอนุภาคขนาดนาโนเมตรของซิลิเกต (เพราะชั้นซิลิเกตแต่ละแผ่นมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร) ที่มีสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา aspect ratio สูงมากในสองมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวกถูกแทนที่ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์  
(ที่มา : [www.thaiscience.com/lab\\_vol/P18/NANOCLAY.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/P18/NANOCLAY.asp))



รูปที่ 2.3 แผนภาพการแทรกตัวของไคโตซานเข้าไปในมอนต์มอริลโลไนต์  
(ที่มา : Monvisade and Siriphannon , 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการนี้จึงเป็นกลไกสำคัญในการเตรียมอนุภาคนาโนเมตรจากธรรมชาติที่เรียกว่า นาโนเคลย์ ซึ่งมีประโยชน์มากในงานบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ โลหะหนัก สีข้อมผ้า เป็นต้น

นาโนเคลย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ได้แก่

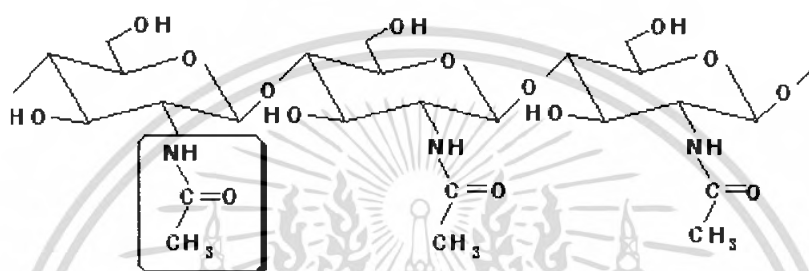
- 1) ชั้นส่วนร่อนยนต์ ทำให้มีความปลอดภัยสูง โดยเฉพาะจากไฟไหม้ (ชะลอความสูญเสีย โดยทนความร้อนสูงขึ้นและลดการลามของไฟ)
- 2) ผลิตภัณฑ์สำหรับอาหารและยา ได้แก่ ฟิล์มป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ก๊าซต่างๆ ขวดน้ำอัดลม
- 3) ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาตินาโนคอมพอสิต เช่น ปะเก็น ล้อรถ ให้ความทนทาน แก้ปัญหา ยางเสื่อมสภาพเร็ว
- 4) ผลิตภัณฑ์กีฬา เช่น ลูกบอล ลูกเทนนิส
- 5) อุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ฟิล์มการเกษตร ฟิล์มห่อหุ้มผัก ผลไม้ ฟิล์มเลี้ยงต้นอ่อน
- 6) อุตสาหกรรมเสื้อผ้า เช่น เส้นใยนาโนคอมพอสิต ทนไฟ ให้ความอบอุ่น ย้อมสีติดได้ดี
- 7) พลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซอันตราย บำบัดน้ำเสีย สารอิเล็กทรอนิกส์ในแบตเตอรี่ของแข็ง (Solid battery เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ; Lithium ion battery)

## 2.5 ไคโตซาน

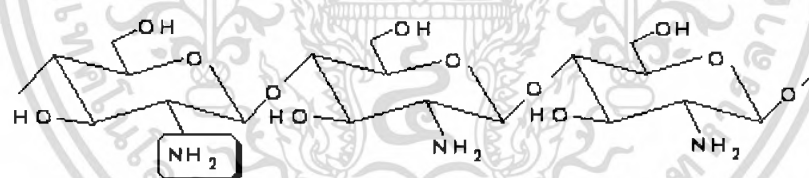
ไคโตซาน(Chitosan) เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่ไม่มีความเป็นพิษมีประจุบวกสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไคโตซานได้จากการทำปฏิกิริยาคีอะเซทิลเลชัน (Deacetylation) ของไคตินซึ่งพบในเปลือกสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ตระกูลครัสเตเชีย (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก แมลง เป็นต้น ไคโตซานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โดยใช้ผสมกับอาหารสัตว์เพื่อลดไขมันในสัตว์เศรษฐกิจ เช่น สุกร นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและเภสัชกรรมโดยใช้เป็นสารดูดซับไขมัน และเป็นสารนำส่งยาเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็งหรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ นอกจากนี้นำไปใช้จับสารชนิดต่างๆ เช่น ไขมัน โปรตีน และโลหะ เพื่อตกตะกอนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมหลายประเภท

### 2.5.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ไคโตซาน คือ อนุพันธ์ของไคติน (ดังรูปที่ 2.4) ที่ตัดเอาหมู่ Acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine (เรียกว่า Deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine) ออกตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อนซึ่งโครงสร้างของไคโตซานมีลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคติน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน (ที่มา : [www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html](http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html))

ปกติแล้วไคโตซานที่ได้จะมีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-Glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกันซึ่งระดับการกำจัดหมู่ Acetyl (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด (Deacetylation) นี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซานนอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสายยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเป็นต้น ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด Deacetylation และ น้ำหนักโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน

### 1) สมบัติการมีประจุของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายตรงมีขั้วค่าพีเอชความเป็นกรด การมีความหนาแน่นของประจุสูงมีความสามารถในการจับเป็นกลุ่ม ได้ดีมากกว่ารวมทั้งสามารถดูดซับกับไอออนโลหะได้ เช่น ไอออนเหล็ก, ทองแดง, แคลเซียม, โปรท, ตะกั่วและโครเมียม เป็นต้น รวมทั้งสารกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม พลูโตเนียม เป็นต้น

### 2) การละลาย

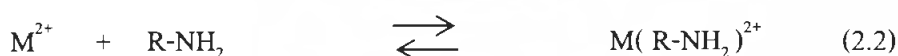
ไคโตซานไม่ละลายน้ำที่มีสถานะเบสและในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก สำหรับกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้ แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางและมีการปั่นกวน

ไคโตซานค่อนข้างมีความจำเพาะต่อคุณสมบัติในการละลายชั้นแรก เมื่ออยู่ในรูปเอมีนอิสระ ( $-NH_2$ ) ไคโตซานไม่ละลายน้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง ส่วนที่พีเอชเป็นกรดหมู่เอมีนอิสระ ( $-NH_2$ ) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก ( $NH_3^+$ )

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับไคโตซานเมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลง ถ้าไคโตซานอยู่ในสภาพเป็นกรดซึ่งจะทำให้โลหะไอออนต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออนในสถานะเป็นกรดมากขึ้น ดังสมการที่ 2.1



เนื่องจากอะตอมไนโตรเจนบนไคโตซานมีคุณสมบัติเหมือนเป็นพื้นที่สำหรับเกิดโคออร์ดิเนชันกับโลหะโดยไคโตซานทำหน้าที่เป็นลิแกนด์โดยอะตอมไนโตรเจนเป็นอะตอมจ่ายและโลหะไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ของไคโตซานดังสมการที่ 2.2



ในสถานะที่เป็นกรดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนคู่โคโคเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะโคออร์ดิเนชันกับโลหะได้น้อยลงเพราะ  $H_3O^+$  จะเกิดการแข่งชันกับการเกิดพันธะโคออร์ดิเนชันของโลหะไอออนดังนั้นในสถานะนี้การกำจัดโลหะไอออนโดยไคโตซาน จึงมีประสิทธิภาพลดลง

### 3) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากประมาณ  $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตของไคโตซาน เป็นสารพอลิเอมีนสายตรง ซึ่งมีหมู่อะมิโนซึ่งสามารถเกิด ปฏิกิริยาเคมี และฟอร์มอยู่ในรูปแบบเกลือกับกรด

### 4) ค่าระดับของการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of deacetylation)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินหรือไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างสองมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่าคือ ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในตรงกันข้ามถ้าค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิลสูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

### 5) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างซึ่งที่พบบ่อย เช่น ค่าระดับของการกำจัดหมู่อะเซทิล น้ำหนักโมเลกุล ความแรงของพันธะไอออนิก (ionic strength) ความเป็นกรด ต่างและอุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายพอลิเมอร์จะมีผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง แต่ค่าความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

### 6) ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability)

ไคโตซานเป็นตัวเหนียวมาในการสร้างตะกอนและช่วยในการตกตะกอนที่ดี (Flocculation and Coagulation agent) เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ หรือจับกับโลหะหนักโดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสร้างพันธะเชิงซ้อนขึ้น หมู่อะมิโนในไคโตซานที่มีค่าระดับของการกำจัดหมู่อะเซทิล (degree of deacetylation) สูงจะมีความสามารถในการจับโลหะหนักได้สูงด้วย

### 7) การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคตินและไคโตซานเป็นเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นๆ ทั่วไปคือ เมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่ามอนอเมอร์หรือมอนอแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

### 8) การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis) และด่าง (Alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของโคโคซานเนื่องจากกรดเป็นแบบส่มผลึกภัณฑ์ที่ได้คือ โอลีโอเมอร์ขนาดต่างๆ และมอนอเมอร์ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ เช่น เวลา ชนิดกรด อุณหภูมิ ชนิด พันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์โดยโคโคซานสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าโคโคซานในด่างเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุลการเสื่อมสลายแบบนี้เรียกว่า Peeling reaction

### 9) การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโคโคซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่สภาวะคล้ายแก้วลดลง ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นส่วน ความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งแบบใช้ความร้อน โคโคซาน จะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียสไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของโคโคซาน

#### 2.5.3 การประยุกต์ใช้โคโคซาน

โคโคซานสามารถประยุกต์ใช้ในหลายด้าน ได้แก่

1) ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โคโคซานได้นำมาใช้เพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีม เป็นส่วนผสมในโลชั่นเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและความเนียนนุ่ม เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผมและครีมปรับสภาพผม เนื่องจากมีคุณสมบัติความเหนียวและการเคลือบเพื่อช่วยเก็บความชุ่มชื้นไว้ทำให้เส้นผมนุ่มได้ บริษัทในประเทศเยอรมนีและบริษัทญี่ปุ่นได้ใช้สารโคโคซานเป็นส่วนประกอบในแป้งแต่งหน้าเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นความเรียบรวมทั้งได้มีการนำสารโคโคซานมาใช้ใน โฟมล้างหน้า เพื่อการรักษาความสะอาดและลดความมันบนใบหน้า

2) ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา ใช้โคโคซานและโคโคซานในการรักษาบาดแผลเพื่อใช้ในการรักษาแผลผ่าตัดและไฟไหม้ ซึ่งจะช่วยให้แผลหายเร็วขึ้นทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดกั้นแผลด้วยเย็บแผลซึ่งข้อดีของมันก็คือ จะสลายตัวอย่างช้าๆ และถูกดูดซับเข้าร่างกายอย่างไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ทำเป็นแคปซูลบรรจุยา เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือดใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวใช้ผลิตผนังเทียม เช่น ผนังไต ใช้เป็นสารลดคลอเลสเทอรอลและใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม

3) **ด้านการเกษตร** เนื่องจากไคโตซานมีในโตรเจนเป็นองค์ประกอบในโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพนอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชและกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ผลคือ สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง ในด้านการปศุสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

4) **ด้านอุตสาหกรรม** โดยอาศัยคุณสมบัติของไคโตซานที่สำคัญหลายประการ เช่น เป็นสารก่อให้เกิดอิมัลชัน การจับกับสี การเกิดแผ่นฟิล์ม การเกิดเจลและการเป็นสารลดแรงตึงผิวจึงสามารถประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซานได้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ไคโตซานเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารหรือยืดอายุขัยของผลไม้ได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ การตกตะกอนไวน์ขาวและไวน์แดง เนื่องจากไม่มีผลต่อสีของไวน์และลดสารที่ไม่ต้องการบางชนิดในอาหาร และนอกจากนั้นยังมีการวิจัยในสัตว์หลายชนิดแล้วพบว่าการบริโภคไคโตซานสามารถลดปริมาณคลอเลสเทอรอลในเลือดได้ ในประเทศญี่ปุ่นจึงมีการผลิตขนมคุกกี้ควบคุมน้ำหนักและบะหมี่สำเร็จรูปซึ่งมีส่วนผสมไคโตซานออกมาจำหน่าย นอกจากนี้แล้วยังมีน้ำส้มสายชูที่มีไคโตซานผสมอยู่ออกมาจำหน่ายอีกด้วย สำหรับในอุตสาหกรรมกระดาษไคโตซานได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารช่วยการยัดติดโดยใช้เพียง 1% โดยน้ำหนักกระดาษที่ได้จะมีความทนทานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะขณะเปียกซึ่งเหมาะสมสำหรับทำผ้าอ้อมแบบใช้แล้วทิ้งหรือทำกระดาษเช็ดมือและรวมทั้งอุตสาหกรรมทอผ้าอุตสาหกรรมแก้วอุตสาหกรรมแปรรูปไม้

5) **ด้านการบำบัดน้ำเสีย** ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (Bioflocculant) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร พบว่า มีการนำเอาไคโตซานมาใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ เพื่อแยกโปรตีนและไขมันออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมการผลิตนมให้ผลดี คือนอกจากจะเป็นระบบการบำบัดด้วยสารจากธรรมชาติแล้ว ยังทำให้น้ำเสียสามารถนำไปบำบัดต่อได้ง่ายขึ้น ลดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อปรับพีเอช และสลัดจ์ที่ตกตะกอนแยกออกมาก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารได้ นอกจากนี้เมื่อนำไคโตซานไปใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง ยัง

พบว่า สามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ ทำให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดีขึ้นและส่งผลให้ได้ผลผลิตกุ้งปริมาณมากขึ้นและมีน้ำหนักรีดสูงขึ้น

ไคโตซานใช้ในการดูดซับสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นเตรียม adsorbent สำหรับดูดซับสีข้อมจากน้ำทิ้งโดยเตรียมขึ้นจากการผสมระหว่างไคโตซานกับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งพบว่าเส้นใยไคโตซาน-เซลลูโลสสามารถดูดซับสีรีแอคทีฟและสีแอซิดได้ และได้ศึกษาการใช้ cross-linked chitosan bead ในการดูดซับสีรีแอคทีฟในน้ำสี โดยพบว่าสามารถกำจัดสีได้ 63% นอกจากนี้ chitosan bead ที่ desorb สีออกไปแล้ว ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยมีกำลังในการดูดซับสีไม่ต่างจากเดิม (อุษา อันทอง, 2548)

นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารคีเลตติ้ง (Chelating agent) จับโลหะต่างๆ จากน้ำเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โลหะนิกเกิล สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม พรอท โมลิบเดต และทอง การที่ไคโตซานสามารถดูดซับหรือจับโลหะที่มีประจุบวกได้ เนื่องจากในโครงสร้างไคโตซานมีหมู่อะมิโน (Amino groups) ในรูปโปรตอนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวจับประจุที่ดี ใช้จับโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ ข้อดีของการใช้ไคโตซานจับโลหะแทนการจับโลหะด้วยวิธีอื่นๆ เช่นการใช้กระแสไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรดีโพสิชัน (Electrodeposition) คือ การใช้ไคโตซานมีต้นทุนต่ำกว่า สามารถกำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่า เปรอ์เซ็นต์การกำจัดสูงกว่า และสามารถนำโลหะออกโดยการล้างด้วยกรด แล้วนำไคโตซานกลับมาใช้ใหม่ได้ ([www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html](http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html))

## 2.6 การดูดซับ

### 2.6.1 หลักการของการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbent)

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หลายชนิด เช่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้ และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพ เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงวันเดอร์วาล์ว ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับ โมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้ เป็นแบบหลายชั้น ซึ่งแต่ละชั้นของ โมเลกุลจะยึดติดอยู่บนชั้น โมเลกุลก่อนหน้า โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมี ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (Reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 2 – 10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยจะให้พลังงานประมาณ 15 – 50 กิโลแคลอรีต่อโมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์และแอกติเวต-เตดซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือ จับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

## 2.6.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2. การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

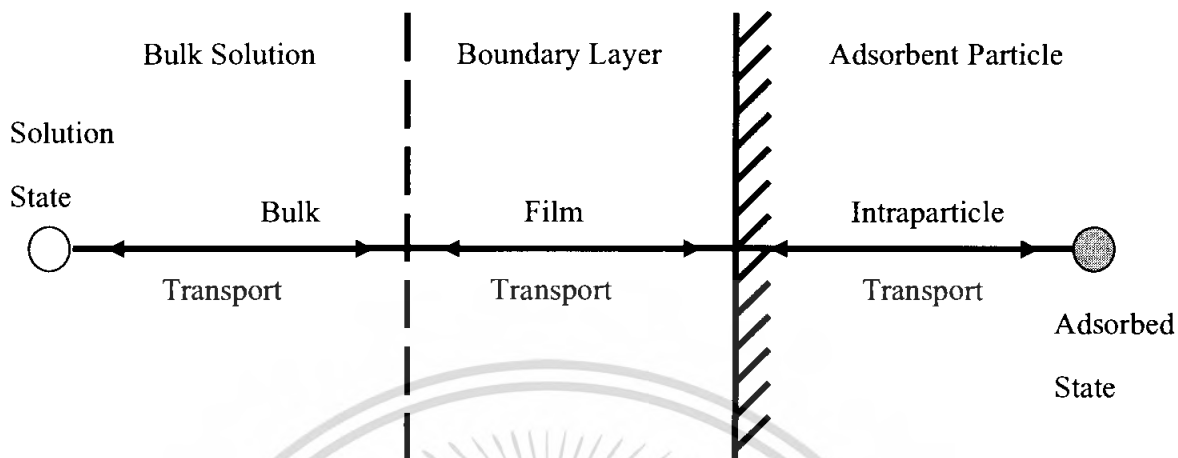
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดซับที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวจึงละเลยไม่ได้

## 2.6.3 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมากอัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลายมี 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวต่างๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
- 2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวต่างๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน
- 3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.6



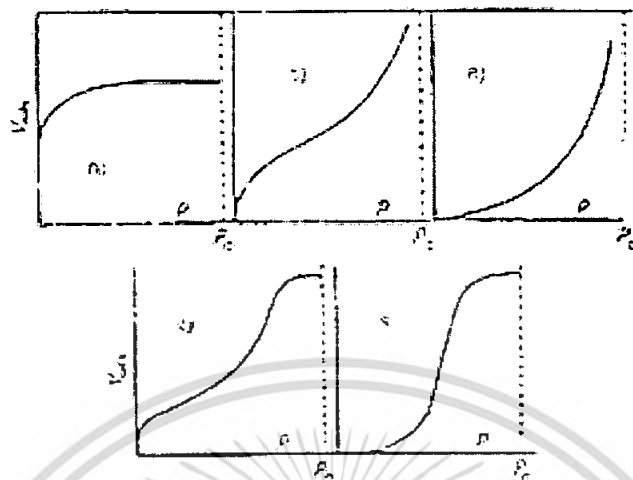
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (นิพนธ์และคณิตา, 2550)

ภายใต้สภาวะการทำงานต่างๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

#### 2.6.4 การดูดซับที่สภาวะสมดุล (Adsorption Equilibrium)

ณ จุดสมดุลของการดูดซับสมรรถนะของตัวดูดซับ (Adsorption capacity) สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ โดยเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับ มี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งไอโซเทอมรูป ก เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนในรูป ข ถึง จ เป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น



รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

ก) การดูดซับ โมเลกุลชั้นเดียว

ข) - จ) การดูดซับของ โมเลกุลหลายชั้น

(นิพนธ์และคณิดา, 2550)

### 2.6.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

#### 1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area)

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตรา การดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับความสัมพันธ์ โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วน ผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรู- พรุนอัตราการเคลื่อนเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาค เป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

#### 2) ลักษณะของสารที่ถูกดูดซับ (Nature of adsorbate)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลาย น้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่า ลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของ โมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพียงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

### 3) อัตราเร็วของการปั่นกววน (Mixing Speed )

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความเร็วการปั่นกววนของระบบ ถ้าน้ำมีความเร็วการปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความเร็วการปั่นกววนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

### 4) เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

### 5) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โชติรส เอี่ยมสะอาด (2549) การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีย้อมที่ละลายน้ำได้ด้วยการดูดซับ ตัวดูดซับที่ใช้ในการวิจัยนี้คือไคโตซานซึ่งได้จากกระบวนการกำจัดหมูอะซีทิลของไคติน ไคโตซานที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ ไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมูอะซีทิลร้อยละ 79, 87 และ 95 สีย้อมที่ละลายน้ำได้ในการทดลองนี้คือ สีแอสิด สีไคเร็กซ์ สีรีแอคทีฟ และสีเบสิก ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่า ตัวดูดซับไคโตซานทั้งสามชนิด สามารถกำจัดสีย้อมทั้งสี่ชนิดได้ โดยปริมาณการดูดซับสีย้อมทั้งสี่ชนิดขึ้นกับชนิดของสีย้อม พีเอชเริ่มต้น อุณหภูมิ ร้อยละของการลดหมูอะซีทิลของไคโตซาน ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม และขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสีแอสิด สีไคเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟในสภาวะเป็นกรดดีกว่าสภาวะเป็นกลางและเบส ส่วนสีเบสิกนั้นที่สภาวะเป็นเบสดีกว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเป็นกลางและกรด สำหรับผลของอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีแอสซิด ความสามารถในการดูดซับสีไดเร็กต์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่สีเบสิกนั้นถูกดูดซับได้น้อยลง สีแอสซิด สีไดเร็กต์และสีรีแอกทีฟถูกดูดซับด้วยไคโตซานที่มีร้อยละของการลดหมู่อะเซทิลต่ำได้ ดีกว่า (ร้อยละ 79) ตรงข้ามกับสีเบสิกจะถูกดูดซับโดยไคโตซานที่มีร้อยละของการลดหมู่อะเซทิล สูงได้ดีกว่า (ร้อยละ 95) ไคโตซานสามารถดูดซับสีย้อมทั้งสี่ชนิดได้ดีขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น ของสีย้อม มีค่าเพิ่มขึ้น และขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ มีขนาดอนุภาคเล็กลง

Deans and Dixon (1992) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วและทองแดง โดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ พบว่าพอลิเมอร์สามารถดูดซับโลหะได้เพราะมีหมู่ฟังก์ชัน เช่น  $\text{OH}^-$ ,  $\text{COOH}$ ,  $\text{NH}_3$  เป็นต้น จึงใช้ สมบัติในการจับโลหะด้วยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวได้เช่น ไคติน, ไคโตซาน, เซลลูโลส เป็นต้น และพบว่าไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะได้ดี

Katikumjorn และคณะ (2005) ได้ทำการเตรียมไคโตซานนาโนเคลย์ด้วยการผสมแร่ดินเหนียว ชนิดมอนท์มอริลโลไนท์กับสารละลายไคโตซาน โดยทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่สัดส่วนน้ำหนัก ของดินมอนท์มอริลโลไนท์กับสารละลายไคโตซาน เป็น 2:5:4 และ 1:4 และใช้ความเข้มข้นของ ไคโตซานที่ทำการละลายด้วยกรดอะซิติก (0.5%, 1.0% และ 2.0%) และใช้อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิด ปฏิกริยาที่อุณหภูมิห้องและ 60 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์โครงสร้างของไคโตซานนาโน เคลย์ด้วยเทคนิค XRD, XRF, FTIR, TGA และ การดูดซับด้วยสารเมทิลีนบลู แล้วทำการ เปรียบเทียบกับดินมอนท์มอริลโลไนท์ที่ทำการโมดิฟายแล้วกับที่ยังไม่ได้ทำการ โมดิฟายด์ ซึ่ง พบว่า  $\text{Na}^+$  ของ มอนท์-มอริลโลไนท์จะถูกแลกเปลี่ยนด้วย  $\text{NH}_3^+$  ของ ไคโตซาน เพราะฉะนั้น  $d_{001}$  ของไคโตซานนาโนเคลย์จะมีความกว้างมากกว่าแขนของมอนท์มอริลโลไนท์ ส่วนการดูดซับ เมทิลีนบลูจะแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของแผ่นเคลย์ที่แยกเป็น 2 ชั้นของการ โมดิ- ฟายเคลย์ โดยที่การลดลงในการทำโมดิฟายด์เคลย์นั้น จะทำในที่อุณหภูมิ 180 – 800 องศา- เซลเซียส จะทำให้ผลที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงของอุณหภูมิของไคโตซานนาโนเคลย์กับมอนท์- มอริลโลไนท์ที่ไม่ได้ทำการ โมดิฟายด์

กฤษณ์ เรืองธรรม (2544) ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตที่ประกอบด้วยไคโตซาน (Chitosan) ผสมกับดินขาวแบบปรับปรุง (Modified clay) ที่มีการใช้สารเคมีในการปรับปรุงได้แก่ 6-Amino-1-hexanol (AHN) 1,12-Diaminododecane (DDO) และ 1,6-Diaminohexane (DHEX) จาก เทคนิค X-ray diffraction (XRD) พบว่าดินขาวแบบปรับปรุงมีค่าระยะห่างระหว่างชั้นเพิ่มขึ้นจาก  $13 \text{ \AA}^0$  เป็น  $58 \text{ \AA}^0$  โดยสารเคมีที่ใช้ปรับปรุงแต่ละชนิด สามารถทำให้ชั้นระนาบของดินขาวขยายตัว ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำไปศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และ

ฐานวิทยา จากการทดลองพบว่าดินขาวที่ปรับปรุงด้วย DHEX จะให้น้ำโนคอมโพลิตที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

กานดา และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้ถ่านแกลบดำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ถ่านแกลบดำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งในทางการเกษตรมาเป็นตัวดูดซับสารฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองได้ใช้วิธีแบบครึ่ง โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลเริ่มต้น 10.75 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณถ่านแกลบดำ 4 กรัม สภาพความเป็นกรดค่าที่ 7 ใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตรวจวัดหาปริมาณฟีนอลที่เหลือในน้ำทิ้งโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่ามีค่าปริมาณการดูดซับฟีนอล 91.78 % และจากผลการศึกษาแบบคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรบรรจุด้วยถ่านแกลบ 5 และ 10 กรัม พบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าถึง 73.98 และ 99.16 ตามลำดับ

วรพรรณและคณะ (2547) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการทดสอบปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำระหว่างค่าที่ไอซี ซีไอดี บีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยศึกษาจากตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลและสารอินทรีย์ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั้งที่ยังไม่ผ่านการบำบัดและผ่านการบำบัด มาทำการวิเคราะห์หาค่า TOC จะหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเผาไหม้ โดยช่วงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 0-300 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร การวิเคราะห์ค่า COD หาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ การวิเคราะห์ค่า BOD วิเคราะห์หาค่าออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซึ่งจะวัดค่าการดูดกลืนแสงของพันธะคู่ของคาร์บอนในโมเลกุลของสารอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับค่า COD และ BOD โดย  $COD = 2.67TOC$  สำหรับกลูโคส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $\alpha = 0.05$ ) ส่วนค่า TOC กับค่า  $UV_{254}$  พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

- (1) สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 36-38 % w/w บริษัท Ajax Finechem Co.,Ltd
- (2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( เกรดวิเคราะห์ ) บริษัท J.T Baker Co.,Ltd
- (3) กรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล บริษัท Carlo Erba Co.,Ltd
- (4) กรดอะซิติก เข้มข้น 2 % v/v บริษัท Carlo Erba Co.,Ltd
- (5) แอมโมเนียอะเซเตด
- (6) กรดกลูเซอิกอะซิติก
- (7) อะเซทิลอะซิโตน
- (8) กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อยละ 5 บริษัท Carlo Erba Co.,Ltd
- (9) สารละลายบัพเฟอร์สำหรับพีเอช 7 และ 9

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- (1) บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
- (2) แท่งคนแม่เหล็ก
- (3) ช้อนตักสาร
- (4) แท่นให้ความร้อน
- (5) เครื่องปั่นเหวี่ยง
- (6) ไมโครปิเปต
- (7) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Sartorius AG GTTINGEN ประเทศเยอรมัน
- (8) เครื่องวัดพีเอช ( pH meter ) บริษัท Denver Instrument รุ่น 215 ประเทศอังกฤษ
- (9) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon, TOC ) รุ่น TOC-VCSH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- (10) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-Vis รุ่น He λ ios α (Double beam) บริษัท Thermo electron corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วัสดุอุดซับ

ในการทดลองนี้ใช้เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานเป็นวัสดุอุดซับ ซึ่งได้จากการปรับปรุงคุณภาพเคลือบชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ด้วยสารโคโคซานตามวิธีการของ Katikumjom และคณะ (2005) และได้ทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD และ TGA ตามวิธีการของ อมรรรัตน์ สวัสดิมงคล(2550) ซึ่งผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานมีระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเคลือบที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงโครงสร้าง และผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานมีอุณหภูมิการสลายตัวในช่วงเดียวกันกับช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของโคโคซาน แสดงให้เห็นว่าโคโคซานได้แทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของเคลือบ (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

## 3.2 การตรวจสอบการชะละลายสารอินทรีย์จากเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

1. ชั่งเคลือบชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ และเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน อย่างละ 0.5 กรัม
2. เติมน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่ อุณหภูมิห้อง(25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 วัน
3. นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการชะละลายสารอินทรีย์จากเคลือบทั้งสองชนิดมาทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้เคลือบตกตะกอนแล้วแยกเอาเฉพาะส่วนใสที่ได้มาทำการกรองแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและค่าพีเอช

## 3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย

### 3.3.1 การสังเคราะห์น้ำเสีย

1. ปิเปตสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 38% จำนวน 0.13 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้มีความเข้มข้นประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อการบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์

1. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์ประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้พีเอชเป็น 5, 7 และ 9 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัม (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)
2. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิตร แต่ไม่เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซาน เพื่อทำเป็นชุดควบคุม
3. นำน้ำกลั่น 100 มิลลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัมเพื่อทำเป็นชุดควบคุม
4. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ ไปทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่ อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 วันและ 3 วัน
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทั้งหมดมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารตกตะกอน แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนใสที่ได้มาทำการกรองแล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

### 3.3.3 การศึกษาผลของเวลาต่อการบำบัดฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์

1. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์ประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัม
2. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิตร แต่ไม่เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซาน เพื่อทำเป็นชุดควบคุม
3. นำน้ำกลั่น 100 มิลลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัมเพื่อทำเป็นชุดควบคุม
4. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ ไปทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่ อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทั้งหมดมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารตกตะกอน แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนใสที่ได้มาทำการกรองแล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

### 3.3.4 การศึกษาผลของปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตามวิธีดังข้อ 3.3.1 แต่ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 25, 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรพร้อมทั้งปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าว ให้ได้พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์
2. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละความเข้มข้นจำนวน 100 มิลลิลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัม
3. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละความเข้มข้นจำนวน 100 มิลลิลิตร แต่ไม่เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานเพื่อทำเป็นชุดควบคุม
4. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ ไปทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องตามเวลาที่เหมาะสมตามการทดลองที่ 3.3.3
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทั้งหมดมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารตกตะกอน แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนใสที่ได้มาทำการกรองแล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

### 3.3.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์

1. ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตามวิธีดังข้อ 3.3.1 ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรพร้อมทั้งปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าว ให้ได้พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.3.2 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์
2. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 กรัม
3. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละความเข้มข้นจำนวน 100 มิลลิลิตร แต่ไม่เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานเพื่อทำเป็นชุดควบคุม
4. นำน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโคซานลงไปจำนวน 0.5 กรัมเพื่อทำเป็นชุดควบคุม
5. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ ไปทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องตามเวลาที่เหมาะสมตามการทดลองที่ 3.3.3
6. นำตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทั้งหมดมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารตกตะกอน แล้วแยกเอาเฉพาะส่วนใสมาทำการกรองแล้วนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

### 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิจัยนี้ ทำการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ตามวิธีการ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
นาโนเคลย์	XRD, TGA (ภาคผนวก ข.)	แม่นยำ อมรสิทธิ์และ อมร เพชรสม (2539)
ฟอร์มาลดีไฮด์	Spectrophotometry (ภาคผนวก ค.)	มันสิน ตันจุลเวสน์ (2539)
ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ทั้งหมด	TOC analyzer (ภาคผนวก ค)	Differential method
พีเอช	pH meter	
อุณหภูมิ	Thermometer	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

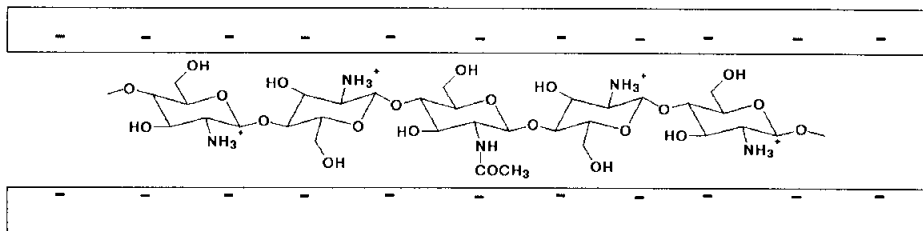
#### 4.1 ผลการตรวจสอบการชะละลายสารอินทรีย์จากเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

เคลย์ชนิดมอนท์มอริล โรไนต์และเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานถูกนำมาทดสอบการชะละลายสารอินทรีย์ โดยทำการแช่เคลย์ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการชะมาวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกชะ จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 พบว่า มีสารอินทรีย์ในโมเลกุลของเคลย์ทั้งสองถูกชะออกมา ซึ่งเคลย์ชนิดมอนท์มอริล โรไนต์มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกมาเท่ากับ 1.78 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกมาเท่ากับ 49.89 มก./ล. คิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากกระบวนการปรับปรุงโครงสร้างของเคลย์ชนิดมอนท์มอริล โรไนต์ ที่ต้องเตรียมไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก โมเลกุลของอะซิเตดบางส่วนสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของเคลย์ได้ ในลักษณะดังรูปที่ 4.1 และในกรณีที่มีน้ำมาชะล้าง จึงทำให้กรดอะซิติกซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในโครงสร้างของเคลย์ถูกชะออกมาดังจะเห็นได้จากผลของค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำชะที่สูงขึ้นและค่าพีเอชที่ลดลง

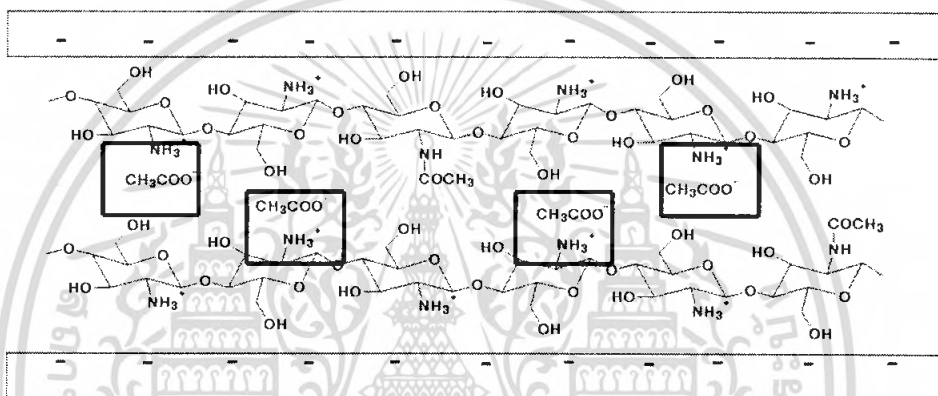
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการชะละลายของเคลย์ชนิดมอนท์มอริล โรไนต์ และเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

ตัวอย่าง	TOC (mg/L)	% Carbon (% w/w)	pH
เคลย์ชนิดมอนท์มอริล โรไนต์	1.78	0.04	7
เคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน	49.89	0.99	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ภาพการแทรกตัวของกรดอะมิติกเข้าไปในชั้นของเคลย์  
 (ก) แบบ โมโนเลเยอร์ และ (ข) แบบ ไบเลเยอร์  
 (ที่มา: Monvisade and Siriphannon, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

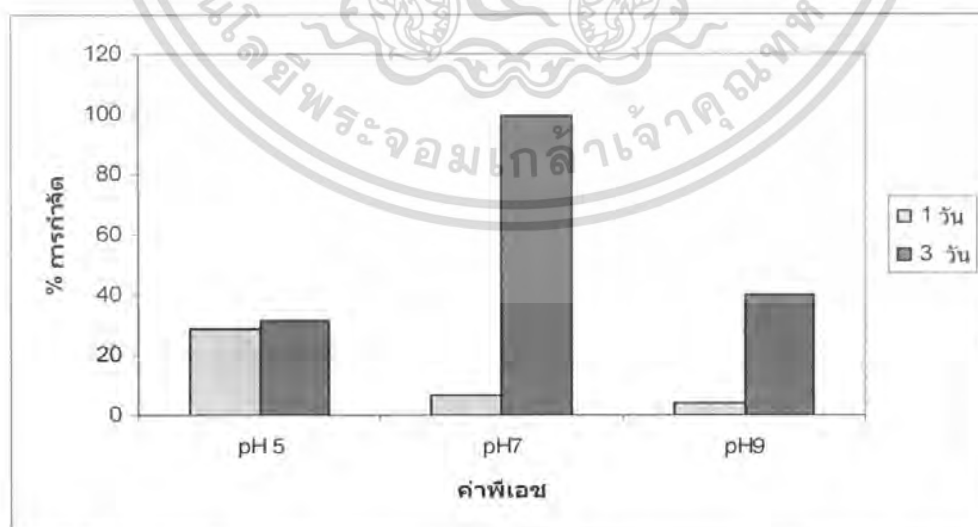
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยการดูดซับ โดยใช้เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของฟอรั่มลดีไฮด์และปริมาณตัวดูดซับ

### 4.2.1 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ฟอรั่มลดีไฮด์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเข้มข้นโดยประมาณ 50 มก./ล. ซึ่งวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ได้เท่ากับ 20 มก./ล. (คิดเป็น 40 % ของปริมาณฟอรั่มลดีไฮด์) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนทางทฤษฎี นั่นคือคาร์บอนในโครงสร้างโมเลกุลฟอรั่มลดีไฮด์มีค่าเท่ากับ 40% นอกจากนี้ผลการทดสอบค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ฟอรั่มลดีไฮด์ พบว่าสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 5 ซึ่งแสดงถึงความเป็นกรดและความสามารถในการให้โปรตอน

### 4.2.2 ผลของค่าพีเอชต่อการดูดซับ

ในการศึกษาผลของพีเอช ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟอรั่มลดีไฮด์ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 50 มก./ล. ที่พีเอช 5, 7 และ 9 ใช้ปริมาณเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน 0.5 กรัม ทำการเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 และ 3 วัน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2



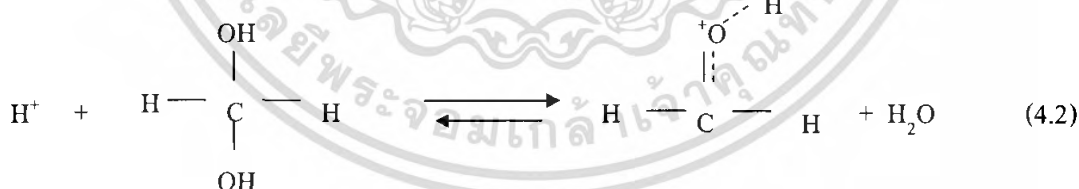
รูปที่ 4.2 ผลของค่าพีเอชต่อการกำจัดฟอรั่มลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าค่าพีเอชมีผลต่อการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน โดยเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลา 1 วัน ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่พีเอช 5 มีค่าสูงกว่าที่พีเอช 7 และ 9

อาจเนื่องมาจากในสถานะที่เป็นกรด ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถอยู่ในรูปของ Methylol ดังสมการที่ 4.1 ([www.patentstorm.us/patents/6646095-description.html](http://www.patentstorm.us/patents/6646095-description.html)) ซึ่งแสดงควมมีขั้ว ( $\delta^+$ ) ในโมเลกุล ดังสมการที่ 4.2 (Streitwiesera and Clayton, 2004) จึงสามารถเข้าไปแทนที่กับประจุบวกในโครงสร้างเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานได้ การเข้าไปแทนที่ประจุบวกบางส่วนในโครงสร้างนั้นมีส่วนทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นของเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานมีระยะห่างระหว่างชั้นเล็กลง ความสามารถในการแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของ Methylol จะถูกจำกัดจนไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ โดยจะเห็นได้ว่าในวันที่ 3 ค่าเปอร์เซ็นต์ของการกำจัดเท่ากับ 31.1% ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 1 ที่มีค่าการกำจัดเท่ากับ 28.85%

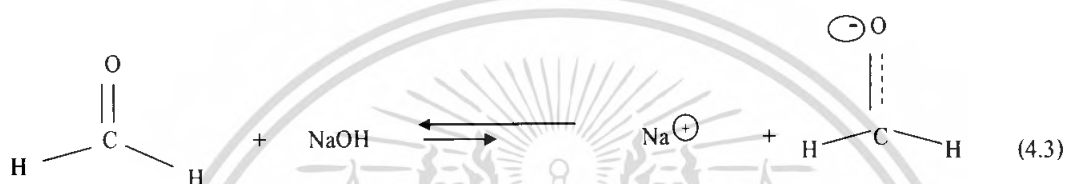
ที่สภาวะกรด



ที่พีเอช 7 ซึ่งมีสภาวะเป็นกลาง ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่าง โครงสร้างเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานได้ โดยการแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเห็นได้จากที่ระยะเวลา 1 วัน ของพีเอช 7 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 6.98 และที่ระยะเวลา 3 วันมีค่าเท่ากับ 99.55 %

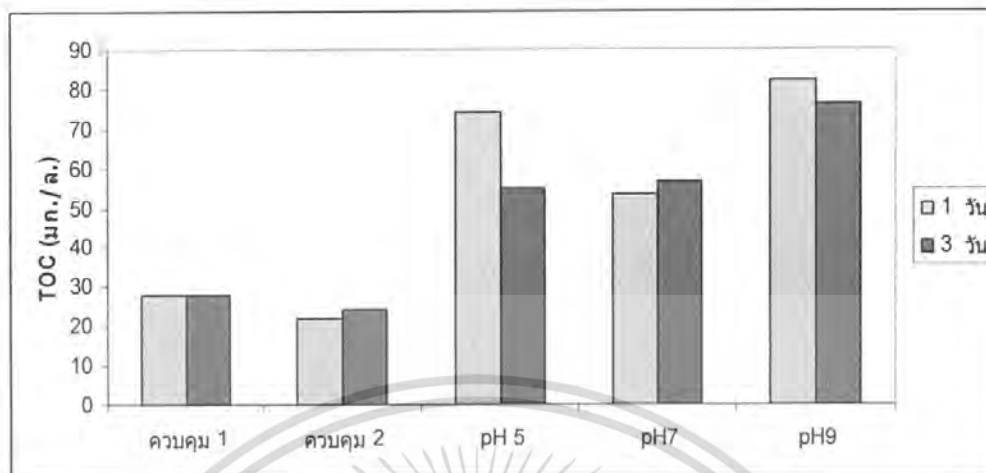
และที่พีเอช 9 สภาวะที่เป็นเบส ไฮดรอกไซด์อาจจะมีผลต่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่แทรกเข้าไปในโครงสร้างเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน โดยที่ฟอร์มาลดีไฮด์บางส่วนมีโอกาสเสียโปรตอน ทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์มีประจุลบจึงทำให้ไม่สามารถเข้าไปแทนที่ประจุบวกในโครงสร้างของเคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานได้ ดังสมการที่ 4.3 ซึ่งจากผลการทดลองสามารถดูดซับได้ในระดับหนึ่ง จึงทำให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกกำจัดไปเท่ากับ 39.91 %

ที่สภาวะเบส



จากผลการทดลองพบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 7 ให้ค่าการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด โดยที่ระยะเวลาดูดซับ 3 วัน ให้ค่าการกำจัดสูงถึง 99.55 % แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดด้วยวิธีนี้ไม่สามารถทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนลดลงได้ ในทางกลับกันยังมีผลทำให้ค่า TOC ในน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ TOC ในน้ำที่ผ่านการบำบัดเปรียบเทียบกับน้ำเสียเริ่มต้น พบว่าที่ทุกพีเอช ค่า TOC ในน้ำผ่านการบำบัดมีค่าสูงกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสิ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์ในโครงสร้างของเคลือบอาจมีการเปลี่ยนรูปมาอยู่ในเฟสของเหลวมากขึ้น โดยสารอินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลของเคลือบ หรือ กรดอะซิติกที่ถูกชะละลาย(ดังผลการทดสอบในหัวข้อ 4.2) หรือไคโตซานที่ถูกแทนที่ด้วยประจุบวกดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

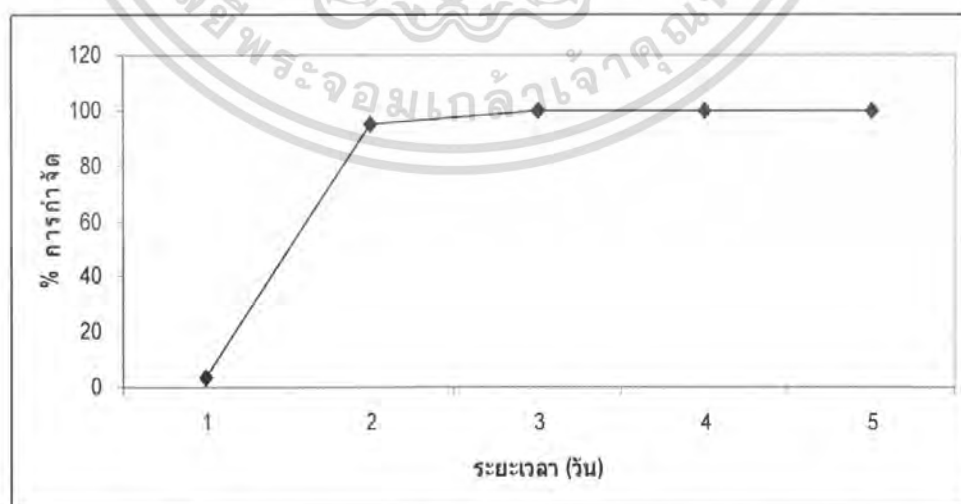
ค่า COD อาจคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ COD ดังแสดงในภาคผนวก ง (วรพรรณ และคณะ, 2547) จากการคำนวณพบว่า COD มีค่า 2.67 เท่าของ TOC และในน้ำทิ้งที่ทุกพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 142.20 มก./ล. ถึง 219.92 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดให้ไม่เกิน 120 มก./ล. ทำให้อาจเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการใช้เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์



รูปที่ 4.3 ผลของค่าพีเอชต่อปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยไคโตซาน (ควบคุม 1 : ฟอรั่มลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลาตามวันที่ดูดซับ, ควบคุม 2 : เคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยไคโตซานในน้ำกลั่นระยะเวลาตามวันที่ดูดซับ )

#### 4.3.3 ผลของระยะเวลาต่อการดูดซับ

เมื่อให้ค่าพีเอชคงที่เท่ากับ 7 ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัมต่อ 100 มล. ความเข้มข้นฟอรั่มลดีไฮด์เท่ากับ 50 มก./ล. และแปรค่าระยะเวลาในการดูดซับเป็น 0, 1, 2, 3, 4, 5 วัน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4

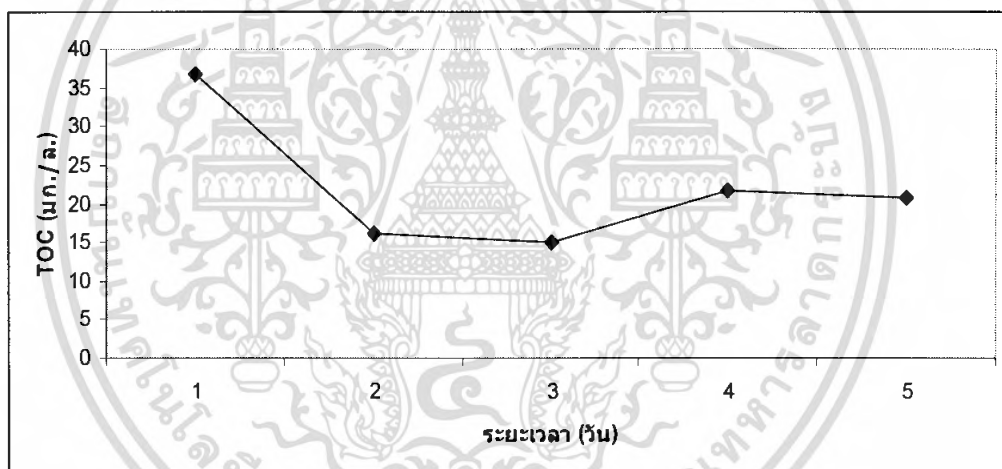


รูปที่ 4.4 ผลของระยะเวลาต่อการกำจัดฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นเท่ากับ 50 มก./ล. การกำจัดเกิดขึ้นได้น้อยมากในวันที่ 1 ซึ่งสามารถกำจัดได้ 3.36 % การกำจัดเกิดขึ้นได้ 95% ในวันที่ 2 และตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไปสามารถกำจัดได้ 100 % ซึ่งสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้หมด ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์ มีอัตราเร็วในการถูกดูดซับต่ำทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการดูดซับ โดยเฉพาะที่พีเอช 7 ต้องใช้ระยะเวลาในการดูดซับนานถึง 3 วัน จึงจะสามารถลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ได้หมด

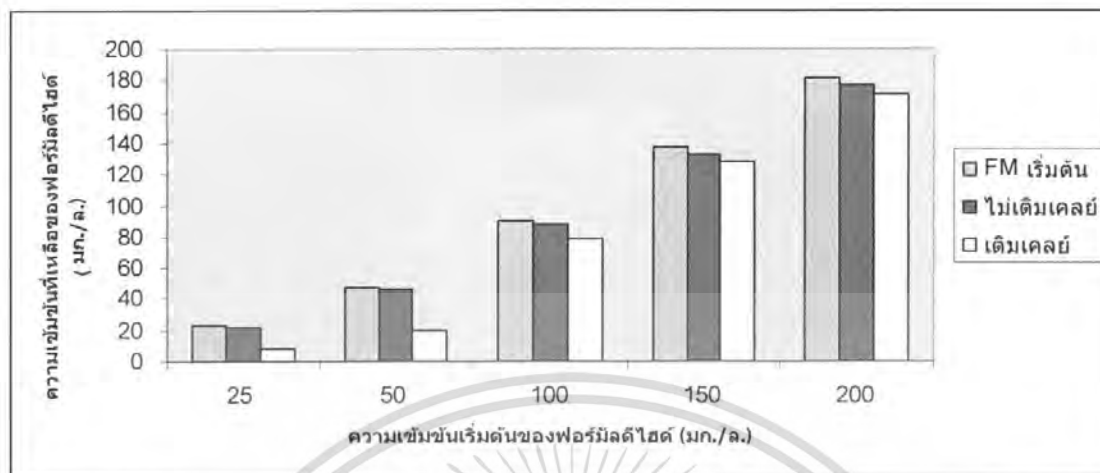
แต่เมื่อทำการวัดปริมาณ TOC ในน้ำเสียสังเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานแล้วปรากฏดังรูปที่ 4.5 จากรูปเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ปริมาณ TOC นั้นไม่ลดลงตามปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับได้ ซึ่งอาจเกิดจากสารอินทรีย์ในโครงสร้างของเคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานอยู่ในสารละลายทำให้ปริมาณ TOC มีค่าสูงกว่าน้ำเสียเริ่มต้น



รูปที่ 4.5 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

#### 4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อการดูดซับ

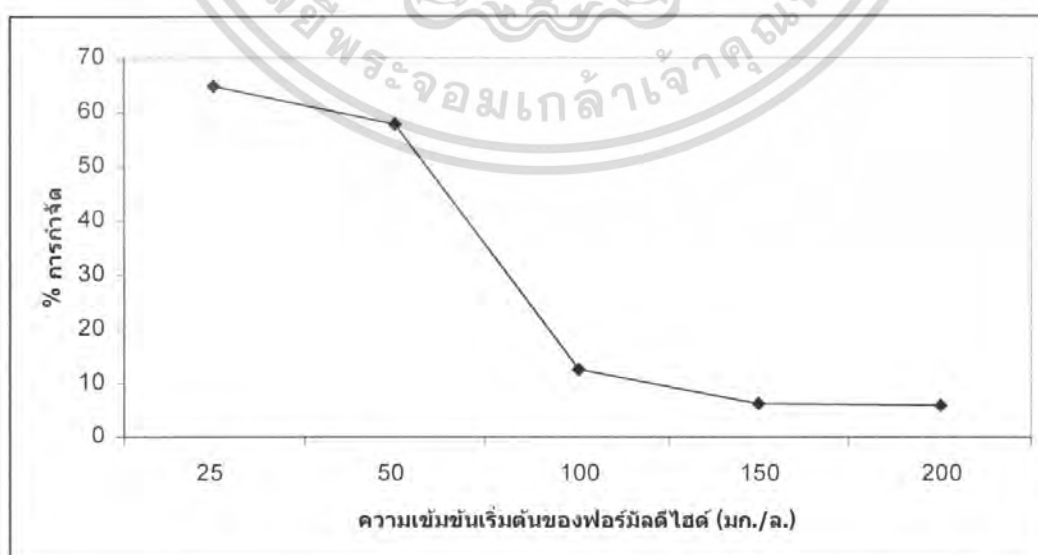
การทดสอบผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ทำการทดลองที่พีเอช 7 ที่ระยะเวลาการดูดซับ 2 วัน โดยควบคุมปริมาณเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานคงที่เท่ากับ 0.5 กรัม ต่อ 100 มล. ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นกับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่ที่ถูกดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยโคโคซาน

จากรูปแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ ในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่ ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์หลังการดูดซับลดลงระดับหนึ่ง เนื่องจากการดูดซับที่ระยะเวลา 2 วันสามารถดูดซับได้เพียงระดับหนึ่งซึ่งยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว

รูปที่ 4.7 แสดงการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ของเคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยโคโคซาน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มากขึ้น ปริมาณการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าลดลง ทั้งนี้เกิดจากปริมาณตัวดูดซับที่คงที่ ทำให้ความสามารถในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่จำกัดด้วย

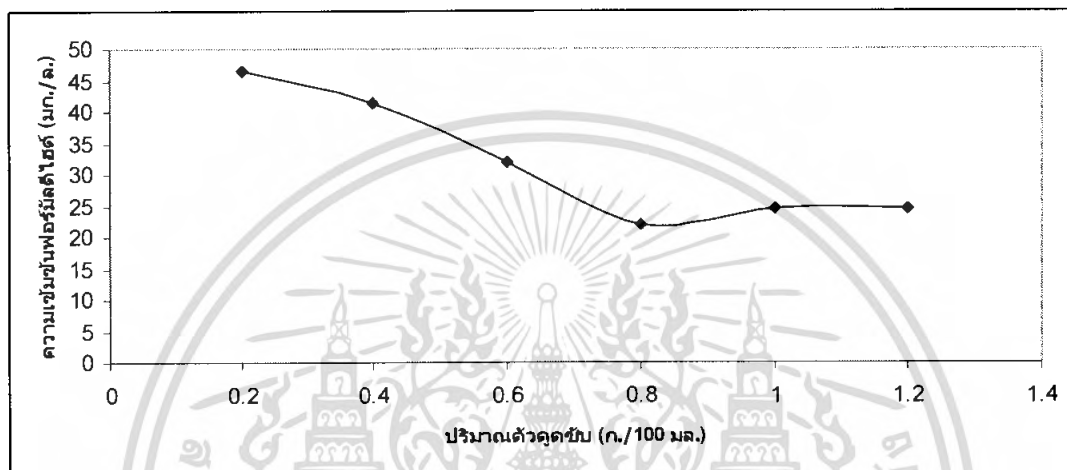


รูปที่ 4.7 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

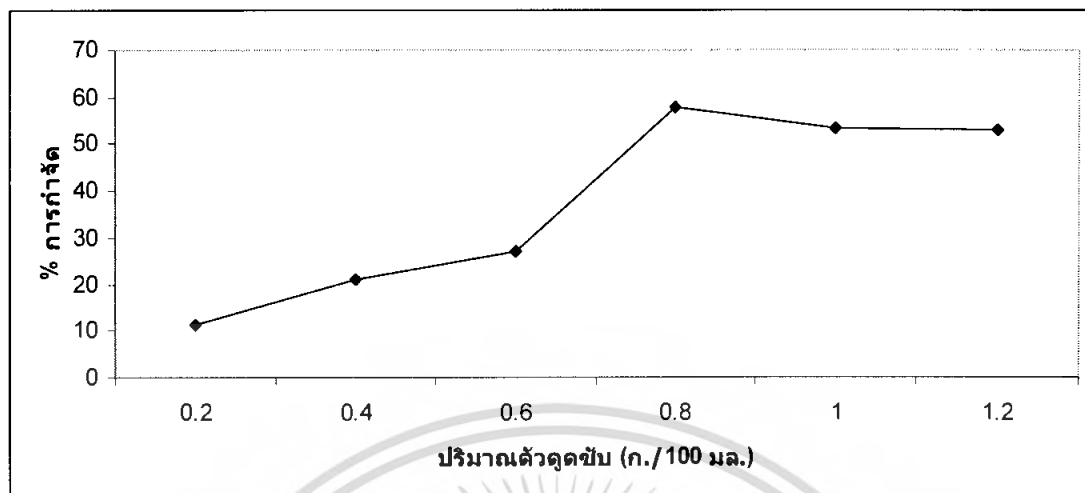
#### 4.3.5 ผลของปริมาณตัวดูดซับ

เมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ เท่ากับ 50 มก./ล. ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ระยะเวลาการดูดซับ 2 วัน และแปรค่าปริมาณตัวดูดซับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

จากผลการทดลอง เมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้มีพื้นที่ในการดูดซับมากขึ้น ทำให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่ลดลงตามปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นและ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นอีก การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยแล้วเซลล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานนั้นต้องใช้เวลาในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่นานกว่า 2 วัน



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วย ไคโตซาน

จากรูปที่ 4.9 เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นการกำจัดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.8 กรัม มีการกำจัด 57.97% ซึ่งเป็นการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดที่ระยะเวลา 2 วัน และจะมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยแล้วเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานนั้นต้องใช้เวลาในการดูดซับ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่นานกว่า 2 วัน

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการลดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ตัวดูดซับเป็นเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช เวลา ความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณตัวดูดซับ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานมาเป็นตัวดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์น้ำเสียสังเคราะห์สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ และสารละลายที่ได้หลังจากการดูดซับลักษณะใส และตัวดูดซับตกตะกอนแยกชั้นอย่างชัดเจน

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

- ผลของค่าพีเอช จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีที่สุดคือ พีเอช 7

- ผลของเวลา จากผลการทดลองเมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการดูดซับมากขึ้น เวลาที่เกิดการดูดซับสูงสุดจนทำให้ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์หมดไป ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 100 % จากการทดลองเท่ากับ 3 วัน

- ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ลดลง

- ผลของปริมาณตัวดูดซับเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากขึ้นด้วย

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์

ค่า TOC ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงขึ้น เกิดจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ในโครงสร้างของเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน ค่า TOC ที่สูงขึ้นนี้มีผลต่อค่า COD ในน้ำทิ้ง ส่งผลให้น้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เมื่อพิจารณาจากค่า COD

กล่าวโดยสรุป การใช้เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานสามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ แต่ยังมีข้อจำกัดของการใช้ คือ ระยะเวลาของการดูดซับที่ค่อนข้างนานและปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่มีค่าสูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่คั่งขึ้น ควรมีการศึกษานำเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซานแล้วมาบรรจุในคอลัมน์

5.2.2 ในกระบวนการปรับปรุงโครงสร้างของเซลล์ จะใช้โคโตซานที่อยู่ในรูปสารละลายของกรดอะซิติก และได้ทำการล้างเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วจนค่าพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างมีค่าเป็นกลาง แต่เมื่อนำเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงโครงสร้างแล้วไปทำการชะละลายด้วยน้ำกลั่น ก็ยังพบว่ามีการปนเปื้อนที่ถูกละลายออกมาจากเซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงโครงสร้างแล้ว สันนิษฐานว่าสารอินทรีย์ที่ถูกละลายออกมาคือ กรดอะซิติกที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงโครงสร้าง ทำให้สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านกระบวนการดูดซับแล้ว ยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงอยู่ ดังนั้น ควรมีการศึกษาใช้สารตัวอื่นในกระบวนการปรับปรุงโครงสร้างของเซลล์

5.2.3 การนำเซลล์ที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซานมาใช้ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ควรทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ รวมทั้งการศึกษาด้านศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา

## เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **กองการจัดการสารอันตรายและกากของเสีย**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ

กฤษณ์ เรื่องธรรม. 2544. “การศึกษาโคโคซานนาโนคอมโพสิตชนิดใหม่.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กานดา สุรณกุลพานิช, ชุชัย ล้ออุทัย และพิสุทธิ์ อนุรัตน์. 2545. “การดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้ถ้ำแคลบด้า.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โชติรส เอี่ยมสะอาด. 2549. “การกำจัดสีย้อมที่ละลายน้ำได้ด้วยการดูดซับโดยใช้โคโคซาน.” วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์ และคณิดา ดังคนานุรักษ์. 2550. **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มันสิน ตัญกุลเวศน์. 2539. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มันสิน ตัญกุลเวศน์. 2545. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2539. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์

รัตนภรณ์ อนุชลาธาร. 2549. “การดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำเสียด้วยแอ็ดติเว็ดเต็ดคาร์บอนแบบผง” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วรพรรณ ชินฉลองพร วีรยา เพ็ญผล และศวรรยา เลหาประภานนท์. 2547. “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี ซีไอดี บีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อุษา อินทอง. 2548. “ศึกษาการดูดซับร่วมแอมโมเนียและฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย. มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Dean, R.J. and Dixon, B.G. 1992. Uptake of  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  by Novel Biopolymer. **Water Res.** 26: 469-472.

Katikumjorn, K., Aksonnum, T. and Visesburana, U. 2005. "Preparation of Organoclay from Montmorillonite and Chitosan." B. Sc. Project of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Monvisade, P. and Siriphannon P. 2008. Chitosan Intercalated Montmorillonite : Preparation, Characterization and Basic Dye Adsorption, **Apply Clay Science.** in press.

Streitwieser, A. and Clayton, H. 2004. **Introduction to Organic Chemistry.** 3<sup>rd</sup> ed. New York : Macmillan Publishing Company.

กรมควบคุมมลพิษ. 2539. **มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง.** [Online]. Available : [http://www.pcd.go.th/about/en\\_division.htm](http://www.pcd.go.th/about/en_division.htm)

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **ฟอร์มัลดีไฮด์.** [Online]. Available : <http://www.udru.ac.th/~pasak/formaldehyde.html>

ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ. 2547. **ไคติน-ไคโตซาน.** [Online]. Available : <http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html>

รัตนวรรณ มกรพันธุ์. 2547. **Nanoclay/Nanocomposites.** [Online]. Available : [http://www.thaiscience.com/lab\\_vol/P18/NANOCLAY.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/P18/NANOCLAY.asp)

Kelly, J.S., Shane, M.C. and Lawrence, J.S. 2003. **Process for the manufacture of copolymers of formaldehyde and diphenyl oxide.** [Online]. Available : <http://www.patentstorm.us/patents/6646095-description.html>



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม**  
(กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

**ตาราง ก-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม**

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 – 9.0
ทีดีเอส (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันได้แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็ม 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้อีกไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันได้แต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่ตามคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรต้องไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สีและกลิ่น (Color and Odor)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
ซัลไฟด์ (Sulfide)	เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้วไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
น้ำมันและไขมัน (Fat oil and Grease)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันได้แต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่ตามคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรต้องไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอร์มาลดีไฮด์ ( Formaldehyde )	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบฟีนอล ( Phenols )	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอรีนอิสระ ( Free Chlorine )	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีที่กำหนด
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ( Pesticide )	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก- 1 (ต่อ) มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
บีโอดี (Biochemecal Oxygen, BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่ตามคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรต้องไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทีเคเอ็น (Total Kjedahl, TKN)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่ตามคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรต้องไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียที่ตามคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
โลหะหนัก (Heavy metal )	
- สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- โครเมียม (Cr)	
- เฮกซะวาเลนต์	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ไตรวาเลนต์	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
-ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
โลหะหนัก (Heavy metal)	
- เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หมายเหตุ :**

1. มาตรฐานนี้ได้ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
3. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรมที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม
4. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น
5. น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึง น้ำเสียจากการใช้น้ำของโรงงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นๆในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ
6. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข-1. การเตรียมเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้าง (Katikumjorn และคณะ, 2005)

### 1.1 การเตรียมเคลย์

1. ชั่งเคลย์ 25 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 3,000 มิลลิลิตร เพื่อให้เคลย์บวมตัว
2. นำสารผสมที่ได้เข้าเครื่องอัลตราโซนิก เพื่อให้เคลย์ที่บวมตัวแยกเป็นเคลย์ชนิด มอนต์มอริลโรไนต์ออกมา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำน้ำส่วนที่เป็นมอนต์มอริลโรไนต์ออก จะได้เป็นเคลย์มอนต์มอริลโรไนต์ประมาณ 3000 มิลลิลิตร
4. นำเคลย์ที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน
5. นำเคลย์มอนต์มอริลโรไนต์ที่ได้ไปบดให้ละเอียดด้วยที่บดสาร

### 1.2 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

1. ชั่งโคโตซาน จำนวน 16 กรัม ละลายด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น จำนวน 16 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นอีกประมาณ 800 มิลลิลิตร
2. ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH เท่ากับ 5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มัล
3. ปั่นกวนสารละลายที่ได้เป็นเวลาประมาณ 1 วัน

### 1.3 การสังเคราะห์เคลย์ด้วยโคโตซาน

1. ชั่งเคลย์มอนต์มอริลโรไนต์ที่ได้จากการเตรียมเคลย์ในข้อที่ 3.2.1 จำนวน 10 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 400 มิลลิลิตร
2. นำสารผสมที่ได้เข้าเครื่องอัลตราโซนิก เพื่อให้เคลย์ที่ได้บวมตัว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ติดตั้งเครื่องปั่นกวนดังรูปที่ ข-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เฉพาะงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ ข-1 การติดตั้งเครื่องปั่นกวนที่ใช้ในการสังเคราะห์เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารโคโตซาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นนำสารละลายโคโคซานที่เตรียมไว้ ป้อนเข้าผสมกับเคลย์ที่เตรียมไว้ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และอัตราการปั่นกวนที่ประมาณ 3,000 รอบต่อนาที
5. หลังจากทีสารละลายโคโคซานฉีดหมดแล้วให้นำสารผสมระหว่างโคโคซานและเคลย์ที่ได้มาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เพื่อให้ดินตกตะกอน เป็นเวลา 2-3 นาที ด้วยอัตราความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที
6. ล้างดินที่ปั่นเหวี่ยงแล้วด้วยน้ำกลั่น แล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเหมือนดังข้อ 5 อีก 2 รอบ
7. นำดินที่ตกตะกอนที่ได้จากการล้างน้ำกลั่นแล้ว เกลี่ยใส่เพลทให้บางๆ แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน
8. นำดินที่อบแล้วไปบดด้วยครกบดสาร จะได้เป็นเคลย์ที่ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน แล้วนำไปวิเคราะห์หลักกษณะ โครงสร้างเฉพาะด้วยเทคนิค TGA, XRD

## ข-2. การวิเคราะห์หลักกษณะโครงสร้างของเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

(แม่น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม, 2539)

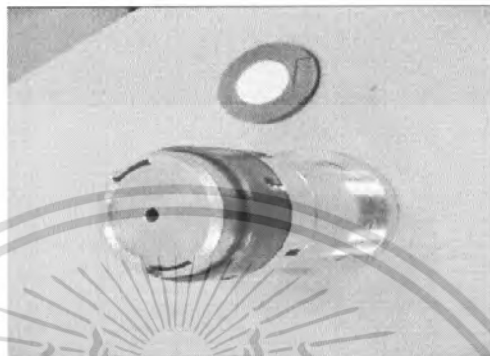
### 2.1 การวิเคราะห์หลักกษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD

เทคนิค X-Ray diffraction หรือ เรียกสั้นๆว่าเทคนิค XRD เป็น เทคนิคที่อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่น ไปกระทบชิ้นงาน และเกิดการเลี้ยวเบนของรังสี ที่มุมต่างๆกัน โดยมีตัว Detector เป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากสารประกอบ และธาตุที่มีส่วนผสม หรือโครงสร้างต่างกัน จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบน ที่มุมที่มีองศาต่างกัน ข้อมูลที่ได้รับ จึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และสามารถนำมาใช้ ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับ โครงสร้างของผลึก ของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณคร่าวๆ ของปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึกและความเค้น ของสารประกอบในสารตัวอย่างได้อีกด้วย

โดยในการวิเคราะห์หลักกษณะ โครงสร้างของเคลย์ที่ได้ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานนั้นจะใช้  $\text{Ca K}\alpha$  ( $\alpha = 154 \text{ nm}$ ) ตัวรับข้อมูลที่ค่าความต่างศักย์ 30 กิโลโวลต์และ กระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์ ดังรูปที่ ข-2

### การเตรียมตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่างมาบดให้ละเอียด และเตรียมใส่บน Sample Holder และใช้แผ่นกระจก(Gass Slide) มากดให้เรียบ



2. ไปใส่ใน Sample Cup



3. ตัวอย่างที่พร้อมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิค TGA

การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis หรือ TGA) ซึ่งจะวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่วงอุณหภูมิ การทดลองจะทำในระบบปิด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (Thermogravimetric Analyzer) เครื่องจะประกอบด้วยเตาเผา (Furnace) ที่มีโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Programmer) ควบคุมบรรยากาศ ความดัน และมีระบบการชั่งน้ำหนักเข้ามาประกอบ ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะสามารถทดสอบได้ถึงอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างที่ทดสอบ เช่น การสูญเสียองค์ประกอบ (Decomposition) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นสารใหม่ (Formation)

โดยในการทดลองนั้นจะทำการให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 50 - 800 องศาเซลเซียสในบรรยากาศออกซิเจน เพื่อคำนวณหาปริมาณของสารอินทรีย์จากน้ำหนักที่หายไปของสารประกอบ และวิเคราะห์ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัว ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

### การเตรียมตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่างที่เป็นผงไปชั่งประมาณ 20-30 มิลลิกรัม
2. นำไปวิเคราะห์โดยเผาที่อุณหภูมิ 50 - 800 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะออกซิเจน

## 2.3 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน โดยเปรียบเทียบกับสารตั้งต้น คือ เคลือบชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ และโคโคซาน ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

### 2.3.1 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD

จากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD ได้ผลการทดลองดังรูปที่ ข-2 จากรูปพบว่าเคลือบชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ จะปรากฏพิกที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ  $7.12$  ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบได้จากสมการ  $n\lambda = 2d \sin\theta$  (Bragg's Law)

โดยที่  $\lambda$  = ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

$\theta$  = มุมตกกระทบ

$d$  = ระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบ

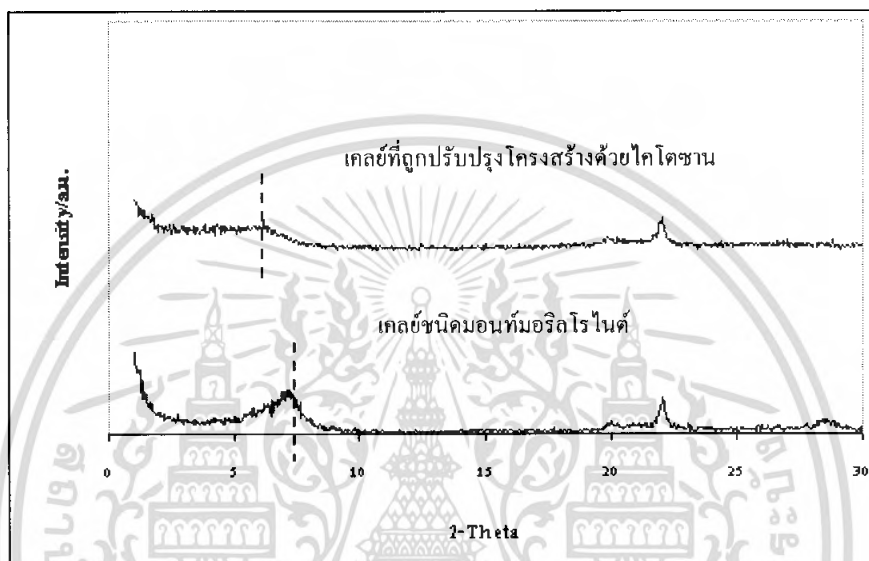
$n$  = ค่าคงที่จำนวนเต็ม

จากสมการ เมื่อ  $\theta$  ลดลง ระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบจะเพิ่มขึ้น

ได้ระยะห่างเท่ากับ 1.24 นาโนเมตร และเคลือบที่ถูกรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซานจะปรากฏพิกที่ตำแหน่งต่ำกว่าเคลือบชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ แสดงถึงระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานมีค่ามากกว่าเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าให้เห็นว่าไคโตซานที่ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ นั้นได้แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ จึงทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นของเคลือบเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ ข - 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ และเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

### 2.3.2 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TGA

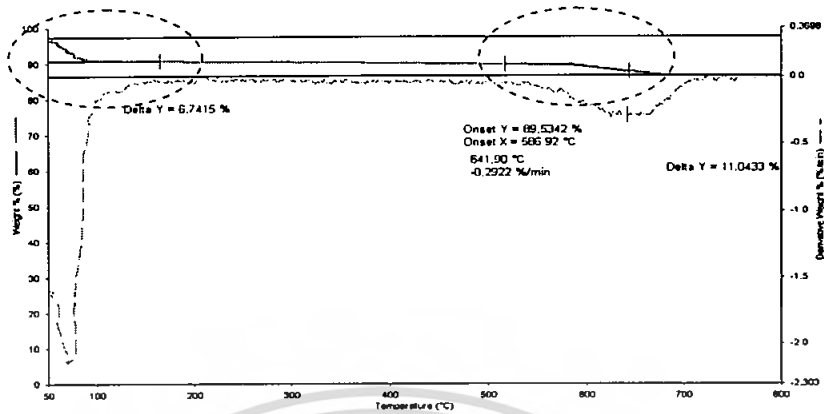
จากผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ของเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ ไคโตซาน และเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน เพื่อคำนวณหาปริมาณของสารอินทรีย์จากน้ำหนักที่หายไปของสารประกอบ และหาอุณหภูมิการสลายตัวจากรูปที่ ข-3 ก พบว่าเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเป็นสองช่วงคือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักหายไปประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นน้ำหนักของน้ำ และช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส ถึง 680 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักหายไปประมาณ 4.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นน้ำหนักของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเคลือบชนิดมอริลโรไนต์ จากรูปที่ ข-3 ข พบว่าไคโตซานมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่ 180 องศาเซลเซียส ถึง 540 องศาเซลเซียส และ

จากรูปที่ ข-3 ค เคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วง 180 องศาเซลเซียส ถึง 730 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของไคโตซานและสารอินทรีย์ที่อยู่ในเคลือบที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน แสดงให้เห็นว่า ไคโตซานที่ใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

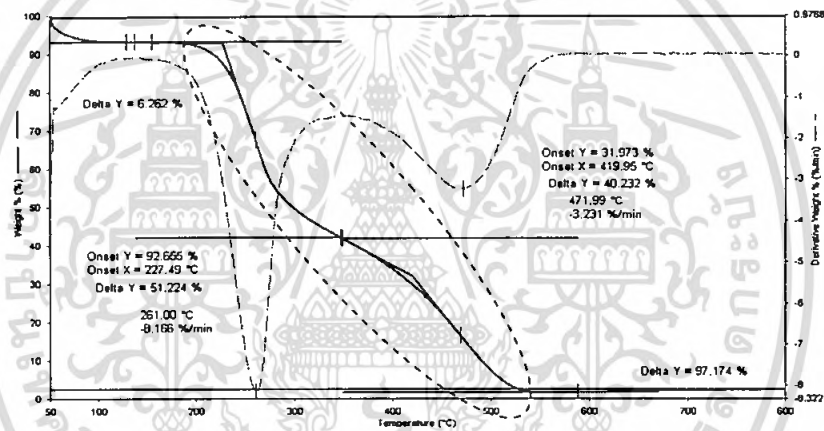
การปรับปรุงโครงสร้างของเครือข่ายนิคมอินเทอร์เน็ตได้แทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของเครือข่ายนิคมอินเทอร์เน็ต จึงทำให้เครือข่ายที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไอโตนามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวในช่วงเดียวกันกับช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของไอโตนาน



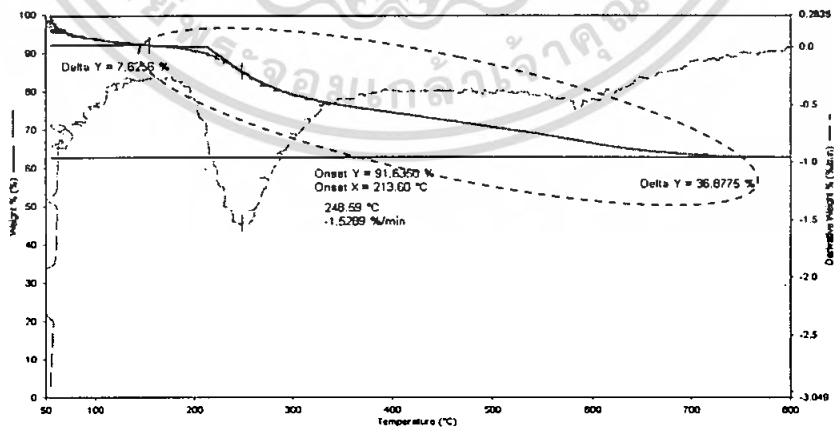
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข-3 เทอร์โมแกรมของ (ก) เคลย์ชนิดมอนท์มอริลโรไนต์ (ข) ไคโตซาน

และ (ค) เคลย์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเตรียมกราฟมาตรฐานและการวิเคราะห์

(มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

### 1. เตรียมกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

การวิเคราะห์หาค่าฟอร์มาลดีไฮด์ใช้หลักการให้ฟอร์มาลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับเอเซทิลอะซีโตน ในสถานะที่มีเกลือแอมโมเนียมอยู่มากเกินพอ จะเกิดสารประกอบสีเหลืองของไดอะเซทิล-ไดไฮโดรลูทีดีน ซึ่งวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยวิธีเทียบสี เทียบกับกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

#### ก. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มาลดีไฮด์

- 1) ปิเปตฟอร์มาลดีไฮด์ 40 % 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) เติมกรดซัลฟูริก 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 3) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนถึงขีดบอกริมาตร
- 4) ปิเปตสารละลายดังกล่าวมา 25 มิลลิลิตร ลงขวดรูปชมพู่ เติม ไทมอลฟทาซีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ปรับให้ได้ พีเอช 7 ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟูริก
- 5) ปิเปตโซเดียมซัลไฟต์ 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ปรับให้ได้ พีเอช 7 ด้วยโซเดียม - ไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟูริก
- 6) เทสารละลายนี้ ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปรับ pH แล้ว นำไปไทเทรตกับ กรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี บันทึก ปริมาตรที่ใช้ไป และทำซ้ำอีก 2 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของฟอร์มาลดีไฮด์ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (มก. / ล.)} = \frac{A \times 30.03 \times 1000}{\dots}$$

## ข. การสร้างกราฟมาตรฐาน

- 1) เจือจางฟอร์มัลดีไฮด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว เป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2) ปิเปตฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- 3) เติมกรดซัลฟิวริก 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีเนื้อสาร 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 ไมโครกรัม ตามลำดับ
- 4) เทสารละลายดังกล่าวลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร รินขวดเดิมด้วยอะเซทิลอะซีโตน ปรับปริมาตรด้วยอะเซทิลอะซีโตนจนถึงขีดบอกปริมาตร
- 5) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้เย็น นำไปวัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร
- 6) ใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ทำเช่นเดียวกันกับวิธีข้างต้น

## 2. การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสีย

น้ำเสียสังเคราะห์ถ้าเป็นน้ำใสไม่มีสี จะสามารถวิเคราะห์ได้ทันที ถ้าสารตัวอย่างมีสีควรกลั่นตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์เพื่อกำจัดสารรบกวนการวิเคราะห์ตัวอื่นออกไป

ดวงสารละลายที่กลั่นได้และได้เจือจางแล้วจำนวน 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดตวงขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการเติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 5 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล 5 มิลลิลิตร และทำการปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยอะเซทิลอะซีโตน เทสารละลายดังกล่าวลงในขวดรูปกรวย นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ปล่อยให้เย็น วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร อ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน เป็นปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในหน่วยไมโครกรัม

$$\text{ฟอร์มัลดีไฮด์ (มก./ล.)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอร์มัลดีไฮด์ที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การวิเคราะห์ TOC (Total Organic Carbon)

การหาค่าที่โอซี อาศัยกระบวนการเผาไหม้ซึ่งสารประกอบคาร์บอนทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วัดปริมาณคาร์บอน ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยแสงอินฟราเรด จากค่าที่วัดได้นี้ลบด้วยค่าที่วัดได้จากสารอนินทรีย์คาร์บอนก็จะได้ค่าที่โอซีที่เกิดจากสารอินทรีย์คาร์บอน

#### การวิเคราะห์ตัวอย่างปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำ (Total Organic Carbon )

ในการวิเคราะห์ตรวจวัดค่าที่โอซีให้ดำเนินการทดลองตามวิธีมาตรฐาน 5310B (APHA;1995) โดยจะศึกษาปริมาณของทีโอซี จากวิธีการ Differential method และ Additional method ดังนี้

#### อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

1. เครื่อง TOC analyzer รุ่น TOC-VCPH พร้อมชุด Autosampler
2. กระจกทรงเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 1 ไมครอน และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
3. สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. สารละลายมาตรฐานสำหรับตรวจวัดปริมาณ IC เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. สารละลายกรดฟอสฟอริก 25%
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มัล

#### ขั้นตอนการทดลอง

##### ก. การทำ Calibration curve ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TC)

- 1) นำสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 1000 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร ใส่ในหลอดแก้ว สำหรับการวิเคราะห์ TC จำนวน 3 หลอด
- 2) เลือกช่วงการเจือจาง และดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่อง ตามความเหมาะสม และบันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
- 3) สำหรับการทำให้ Calibration curve ของสารอนินทรีย์ (IC) ให้ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกัน นี้แต่เปลี่ยนมาใช้ สารละลายมาตรฐาน ( $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCO}_3$ ) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร แทน สารละลาย มาตรฐาน โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

### ข.การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 1) ให้นำน้ำเสียฟอร์มัลดีไฮด์สังเคราะห์และน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองการดูดซับมาทำการวิเคราะห์โดยเลือก Mode (TC, IC) ในการวิเคราะห์ ดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่อง
- 2) ในการทดลองทุกครั้งต้องทำแบลนด์ของน้ำกลั่นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



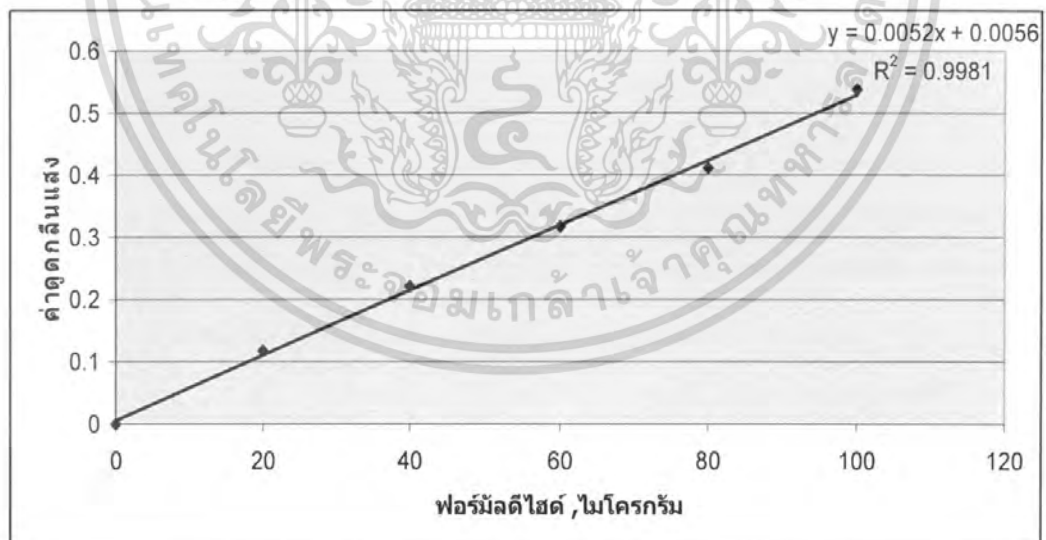
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลผลการทดลอง

### 1. กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์

ตารางที่ ง-1 ตารางแสดงความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์กับค่าการดูดกลืนแสง

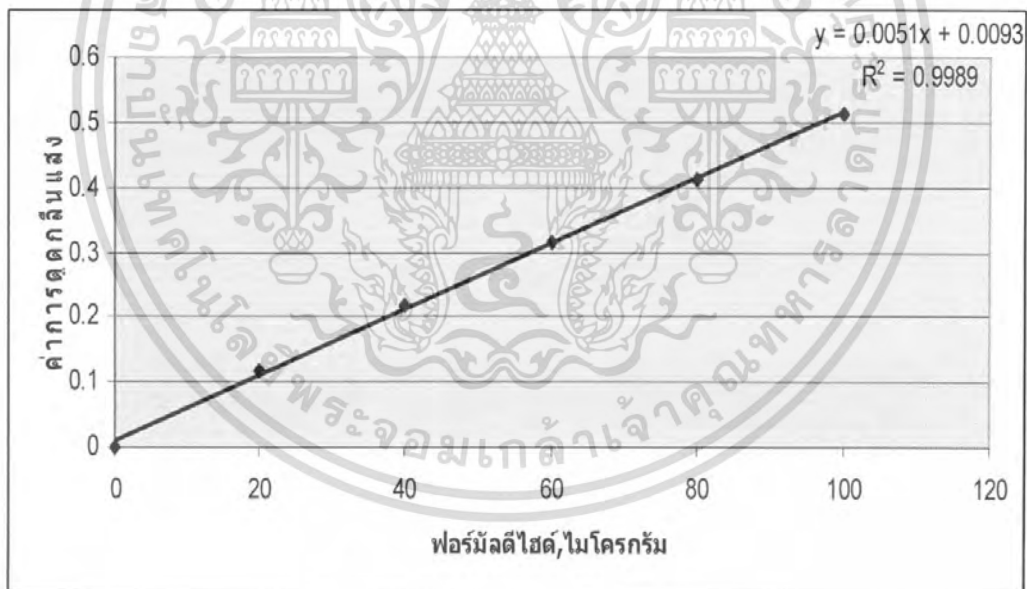
ความเข้มข้นของสาร (มก./ล.)	ค่าดูดกลืนแสง
0	0.000
20	0.117
40	0.221
60	0.318
80	0.411
100	0.537



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ตารางแสดงความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์กับค่าการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นของสาร (มก./ล.)	ค่าดูดกลืนแสง
0	0.000
20	0.117
40	0.220
60	0.316
80	0.412
100	0.515



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผลของค่าพีเอชต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

ตารางที่ 3 - 3 ผลของพีเอชต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน (1 วัน)

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง :

- ความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณเคลย์ที่ปรับปรุง โครงสร้างด้วยไคโตซาน 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิตร
- ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการดูดซับ 1 วัน

พีเอช	ครั้งที่ 1				ความเข้มข้น FM (mg/l)	% การกำจัด	ค่า TOC	ครั้งที่ 2				ความเข้มข้น FM (mg/l)	% การกำจัด	ค่า TOC	เฉลี่ย							
	ค่า Absorbance							ค่า Absorbance							ความเข้มข้น FM (mg/l)	% การกำจัด	ค่า TOC	ค่า SD	% การกำจัด	ค่า SD	ค่า TOC	ค่า SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย											
เริ่มต้น	0.394	0.394	0.394	0.394	50.29	-	29.07	0.374	0.374	0.375	0.374	47.72	-	26.67	49.01	1.82	-	-	27.87	1.70		
ควบคุม 1	0.387	0.385	0.385	0.386	49.20	2.16	25.98	0.365	0.365	0.367	0.366	46.58	2.38	24.08	47.89	1.85	2.27	0.16	25.03	1.34		
ควบคุม 2	0.014	0.013	0.013	0.013	0.53	-	12.78	0.010	0.012	0.010	0.010	0.18	-	10.78	0.36	0.25	-	-	11.78	1.42		
5	0.286	0.280	0.284	0.283	35.82	29.83	78.32	0.276	0.272	0.274	0.274	34.6	27.87	70.02	35.21	0.86	28.85	1.36	74.17	5.87		
7	0.370	0.370	0.371	0.370	47.19	7.2	56.28	0.353	0.350	0.350	0.350	44.67	6.77	50.23	45.93	1.78	6.99	0.30	53.26	4.28		
9	0.376	0.376	0.375	0.377	47.89	5.83	85.87	0.369	0.365	0.365	0.365	46.49	2.58	78.87	47.19	0.99	4.21	2.30	82.37	4.95		

ควบคุม 1 : ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลา 1 วัน

ควบคุม 2 : เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานในน้ำกลั่นระยะเวลา 1 วัน

FM = Formaldehyde

nd = non detectable

ตารางที่ ง - 4 ผลของพีเอชต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน (3 วัน)

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง :

- ความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
- ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- ระยะเวลาในการดูดซับ 3 วัน

พีเอช	ครั้งที่ 1							ครั้งที่ 2							เฉลี่ย					
	ค่า Absorbance				ความเข้มข้น FM (mg/l)	% การกำจัด	ค่า TOC	ค่า Absorbance				ความเข้มข้น FM (mg/l)	% การกำจัด	ค่า TOC	ความเข้มข้น FM (mg/l)	ค่า SD	% การกำจัด	ค่า SD	ค่า TOC	ค่า SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย									
เริ่มต้น	0.382	0.379	0.380	0.380	48.50	-	28.90	0.362	0.363	0.363	0.363	46.19	-	26.90	47.35	1.63	-	0.00	27.90	1.41
ควบคุม 1	0.362	0.364	0.364	0.363	46.28	3.20	25.80	0.356	0.355	0.358	0.356	45.36	1.80	23.80	45.82	0.65	2.50	0.99	24.80	1.41
ควบคุม 2	0.003	0.004	0.004	0.004	nd	-	25.03	0.004	0.002	0.002	0.003	nd	-	24.03	nd	-	-	0.00	24.53	0.70
5	0.263	0.265	0.265	0.264	33.34	31.26	56.66	0.254	0.251	0.251	0.252	31.79	31.18	52.66	32.57	1.10	31.22	0.06	54.66	2.83
7	0.021	0.019	0.019	0.020	0.14	99.55	58.69	0.018	0.019	0.019	0.019	0.12	99.55	54.69	0.13	0.01	99.55	0.00	56.69	2.83
9	0.240	0.250	0.250	0.250	31.03	35.88	80.46	0.200	0.210	0.210	0.201	25.80	43.95	72.46	28.42	3.70	39.92	5.70	76.46	5.66

ควบคุม 1 : ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลา 3 วัน

ควบคุม 2 : เคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานในน้ำกลั่นระยะเวลา 3 วัน

FM = Formaldehyde

nd = non detectable

3. ผลของเวลาต่อการกำจัดฟอर्मัลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลือบปรับปรุงโครงสร้างควยโคโตซาน

ตารางที่ 5 – 5 ผลของเวลาต่อการกำจัดฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยเคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซาน

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง :

- ความเข้มข้นเริ่มต้นฟอर्मัลดีไฮด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณเคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซาน 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
- ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- ปรับพีเอชเท่ากับ 7

ระยะเวลา (วัน)	ตัวอย่าง	ค่า Absorbance			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น ฟอर्मัลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	% การกำจัด	ค่า TOC (มิลลิกรัม ต่อลิตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3					
0	เริ่มต้น	0.396	0.395	0.395	0.395	49.97	0.001	0.00	29.27
1	ตัวอย่าง	0.380	0.381	0.381	0.381	48.09	0.001	3.36	86.54
	ควบคุม 1	0.384	0.384	0.384	0.384	48.51	0.000	2.92	28.85
	ควบคุม 2	0.004	0.004	0.004	0.004	nd	-	-	49.89
2	ตัวอย่าง	0.021	0.021	0.021	0.021	1.97	0.000	95.21	68.27
	ควบคุม 1	0.381	0.380	0.380	0.380	48.07	0.001	3.86	27.90
	ควบคุม 2	0.002	0.002	0.002	0.002	nd	-	-	52.07
3	ตัวอย่าง	0.004	0.004	0.004	0.004	nd	-	-	41.47
	ควบคุม 1	0.374	0.376	0.377	0.376	47.44	0.002	5.06	25.44
	ควบคุม 2	0.004	0.004	0.004	0.004	nd	-	-	26.33
4	ตัวอย่าง	0.004	0.004	0.004	0.004	0.00	0.001	100.00	44.57
	ควบคุม 1	0.359	0.358	0.359	0.359	45.31	0.001	9.00	24.49
	ควบคุม 2	0.004	0.004	0.004	0.004	0.00	0.000	100.00	22.79
5	ตัวอย่าง	0.006	0.006	0.006	0.006	0.06	0.000	100.00	46.81
	ควบคุม 1	0.347	0.349	0.349	0.348	43.94	0.001	12.00	25.19
	ควบคุม 2	0.006	0.006	0.006	0.006	0.05	0.000	0.00	26.01

ควบคุม 1 : ฟอर्मัลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลาตามวันที่ดูดซับ

ควบคุม 2 : เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโตซานในน้ำกลั่นระยะเวลาตามวันที่ดูดซับ

nd = non detectable

4. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

ตารางที่ ง - 6 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง :

- ความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์ 0, 25, 50, 100, 150, 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ปริมาณเคลย์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน 0.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
- ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- ปรับพีเอชเท่ากับ 7
- ระยะเวลาในการดูดซับ 2 วัน

ความเข้มข้นเริ่มต้นฟอร์มาลดีไฮด์(mg/L)	ตัวอย่าง	ค่า Absorbance			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์(mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% การกำจัด
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
0	เริ่มต้น	0.014	0.014	0.014	0.014	0.06	0.000	0.00
	ตัวอย่าง	0.013	0.012	0.012	0.012	0.04	0.001	0.00
	ควบคุม 1	0.013	0.013	0.013	0.013	0.05	0.000	0.00
25	เริ่มต้น	0.359	0.358	0.358	0.358	22.81	0.001	0.00
	ตัวอย่าง	0.624	0.624	0.624	0.624	8.04	0.000	64.75
	ควบคุม 1	0.340	0.341	0.341	0.341	21.66	0.001	5.04
50	เริ่มต้น	0.358	0.358	0.358	0.358	45.58	0.000	0.00
	ตัวอย่าง	0.317	0.317	0.317	0.317	20.11	0.000	57.66
	ควบคุม 1	0.346	0.346	0.346	0.346	44.01	0.000	3.44
100	เริ่มต้น	0.352	0.353	0.353	0.353	89.77	0.001	0.00
	ตัวอย่าง	0.309	0.310	0.311	0.310	78.61	0.001	12.43
	ควบคุม 1	0.347	0.345	0.345	0.346	87.94	0.001	2.03
150	เริ่มต้น	0.534	0.534	0.534	0.534	137.18	0.00	0.00
	ตัวอย่าง	0.501	0.501	0.501	0.501	128.55	0.000	6.29
	ควบคุม 1	0.519	0.519	0.519	0.519	133.25	0.000	2.86
200	เริ่มต้น	0.469	0.473	0.473	0.472	181.32	0.002	0.00
	ตัวอย่าง	0.444	0.444	0.445	0.444	170.6	0.001	5.91
	ควบคุม 1	0.461	0.462	0.462	0.462	177.4	0.001	2.16

ควบคุม 1 : ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลา 2 วัน

5. ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยการดูดซับด้วยเคลือบปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

ตารางที่ 7 - 7 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยเคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซาน

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง :

- ปริมาณตัวดูดซับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
- ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- ปรับพีเอชเท่ากับ 7

ปริมาณตัวดูดซับ (g/100ml)	ตัวอย่าง	ค่า Absorbance			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% การกำจัด
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
0	เริ่มต้น	0.401	0.411	0.411	0.411	52.47	0.001	1.33
	ควบคุม 1	0.406	0.405	0.405	0.405	51.77	0.001	0.00
0.2	ตัวอย่าง	0.363	0.363	0.364	0.363	46.28	0.001	11.22
	ควบคุม 2	0.007	0.007	0.007	0.007	nd	-	0.00
0.4	ตัวอย่าง	0.362	0.326	0.323	0.325	41.27	0.002	20.94
	ควบคุม 2	0.007	0.008	0.008	0.008	nd	-	0.00
0.6	ตัวอย่าง	0.301	0.300	0.300	0.300	38.04	0.001	27.08
	ควบคุม 2	0.008	0.007	0.008	0.008	-0.21	0.001	0.00
0.8	ตัวอย่าง	0.200	0.201	0.201	0.004	25.02	0.001	57.97
	ควบคุม 2	0.008	0.008	0.008	0.008	2.97	0.000	0.00
1.0	ตัวอย่าง	0.197	0.195	0.196	0.196	24.41	0.001	53.41
	ควบคุม 2	0.009	0.009	0.009	0.009	nd	-	0.00
1.2	ตัวอย่าง	0.198	0.196	0.196	0.197	24.49	0.001	53.08
	ควบคุม 2	0.009	0.008	0.008	0.008	nd	-	0.00

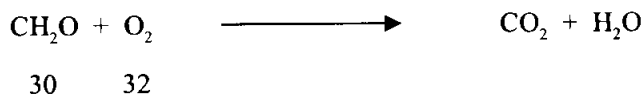
ควบคุม 1 : ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทิ้งระยะเวลา 2 วัน

ควบคุม 2 : เคลือบที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไคโตซานในน้ำกลั่นระยะเวลา 2 วัน

nd = non detectable

## 6. ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ COD ของฟอร์มัลดีไฮด์

(วรพรรณ และคณะ,2547)



$$\text{C} = 12$$

$$\text{COD} = 32/30$$

$$= 1.067 \times \text{ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์}$$

$$\text{TOC} = 12/30$$

$$= 0.4 \times \text{ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์}$$

$$\text{COD/TOC} = \text{ปริมาณออกซิเจน/ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน}$$

$$= 32/12$$

$$= 2.67$$

$$\text{COD} = \text{TOC} \times 2.67$$

ตารางที่ ๘- 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ COD ของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากทฤษฎี

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น mg/L	TOC mgC/L	COD mgO <sub>2</sub> /L
formaldehyde	50	20	53.33
Mo(1 วัน,พีเอช 5)	50	74.17	198.031
Mo(3 วัน,พีเอช 5)	50	54.66	145.94
Mo(1 วัน,พีเอช 7)	50	53.26	142.20
Mo(3 วัน,พีเอช 7)	50	56.67	151.30
Mo(1 วัน,พีเอช 9)	50	82.37	219.92
Mo(3 วัน,พีเอช 9)	50	76.46	204.14

Mo : เกล็ดที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยโคโคซาน

หมายเหตุ ; มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม กำหนดให้ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร( กรมควบคุมมลพิษ,2541 )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้