

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูฉบับไอระเหยเบนชินโดยใช้เม็คโคโตซาน



นางสาวณัฐพร สุขพลอย  
นางสาวเรณู โทเมนไปรรินทร์

๕พ.  
๑๓/๓/๖๓  
๒๕๐๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107909  
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ย. 2553

b. 12213068  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูฉบับไอระเหยเบนชินโดยใช้เม็ดโคโตซาน



นางสาวณัฐพร สุขพลอย  
นางสาวเรณู โกเมนไปรินทร์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Feasibility Study on Adsorption Efficiency of Volatile Benzene  
using Chitosan Beads**



**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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับไอระเหยเบนซิน  
โดยใช้เม็ดไคโตซาน

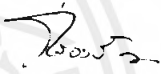
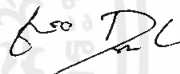
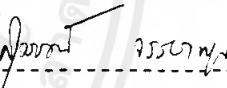
นักศึกษา นางสาวณัฐพร สุขพลอย  
นางสาวเรณู โกเมนไปรรินทร์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์	
กรรมการ ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน	



(ผศ. ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์)  
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับไอระเหยเบนซิน โดยใช้เม็ดไคโตซาน
นักศึกษา	นางสาวณัฐพร สุขพลอย นางสาวเรณู โกเมนไปรินทร์
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินโดยใช้เม็ดไคโตซาน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การเตรียมเม็ดไคโตซาน โดยละลายไคโตซานในกรดอะซิติกเข้มข้น 1% ที่ปริมาตรต่างๆ กัน 2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซิน ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศโดยการทดลองแบบเบทซ์ ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของเบนซิน โดยเก็บตัวอย่างไอระเหยเบนซินในหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุ Tenax TA แล้ววิเคราะห์ปริมาณเบนซินโดยใช้เครื่องเทอร์มอลดีซอร์บชัน-ก๊าซโครมาโตกราฟ-เฟลมไอออไนเซชัน จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมเม็ดไคโตซาน ใช้กรดอะซิติก 1% จำนวน 100 มิลลิลิตร ในการละลายไคโตซาน 0.5 กรัม จึงจะได้ viscous ที่ฟอร์มตัวเป็นเม็ด สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดไคโตซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง คือ ที่เวลาสัมผัส 60 นาที และความเข้มข้นเบนซินเริ่มต้น 0.39 ไมโครกรัม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ พบว่าเม็ดไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินดีกว่าผงถ่านกัมมันต์เล็กน้อย โดยเม็ดไคโตซานและผงถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 75.28 และร้อยละ 71.57 ตามลำดับ จากผลการศึกษา ไอโซเทอร์มการดูดซับ พบว่าการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดไคโตซานเป็นการดูดซับแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม

**คำสำคัญ :** ไอระเหยเบนซิน, เม็ดไคโตซาน, ผงถ่านกัมมันต์, การดูดซับ

<b>Special Project Title</b>	Feasibility Study on Adsorption Efficiency of Volatile Benzene using Chitosan Beads	
<b>Name</b>	Nutthapawn	Sookploy
	Renoo	KomenPririn
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>Program</b>	Environmental Resource Chemistry	
<b>Academic Year</b>	2007	
<b>Advisors</b>	Dr. Suwannee	Junyapoon

### ABSTRACT

This project studied on adsorption efficiency of volatile benzene using chitosan beads. An experiment was divided into 2 steps: 1) preparation of chitosan beads by dissolving the chitosan powder in 1% acetic acid with different amount of the acid. 2) study on adsorption efficiency of volatile benzene at ambient temperature and pressure using batch experiment. The optimum contact time and initial benzene concentrations were studied. Each volatile benzene sample was collected on a sorbent tube containing Tenax-TA and then analyzed by Thermal-Desorption-Gas-Chromatograph-Flame-Ionization. It was found that dissolving 0.5 grams in 50 millilitres of 1% acetic acid was the optimum condition to form chitosan beads. The results showed that 60 minutes of contact time and 0.39 micrograms of initial volatile benzene were the optimum conditions for benzene adsorption in 1 gram by dry weight of chitosan beads. A comparison between adsorption efficiency of chitosan beads and activated carbon showed that adsorption efficiency of chitosan beads was slightly better than that of activated carbon. The adsorption efficiency of chitosan beads and Activated carbon were 75.28% and 71.57%, respectively. The Langmuir isotherm better fit the adsorption of volatile benzene by chitosan beads.

**Keywords :** volatile benzene, chitosan beads, activated carbon, adsorption

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความอนุเคราะห์จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือขอขอบพระคุณ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานของโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธีรักษ์ ที่สละเวลาอันมีค่ายังเป็นกรรมการตรวจสอบ และอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ ในระหว่างดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ห้องคอมพิวเตอร์ แม่บ้าน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่หอสมุดกลาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ๆปริญญาโท คุณนิลนุบน นิมสกุล, คุณวารุณี บัวลา และเพื่อนๆเคมี ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมชั้นปีที่ 4 ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการดำเนินงานของโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานของโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่น้องในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ ในการฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้ความช่วยเหลือตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐพร สุขพลอย

เรณู โกเมนไปรรินทร์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย	3
2.1.1 ลักษณะและคุณสมบัติของเบนซิน	4
2.1.2 แหล่งกำเนิดของเบนซิน	6
2.1.3 ผลกระทบของเบนซิน	6
2.1.4 วิธีการกำจัดเบนซิน	7
2.2 ไคโตซาน	8
2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	9
2.2.2 การผลิตไคโตซาน	9
2.2.3 คุณสมบัติของไคโตซาน	11
2.2.4 ประโยชน์ของไคโตซาน	12
2.3 การดูดซับ	14
2.3.1 กระบวนการดูดซับ	15
2.3.2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	15
2.3.3 ประเภทของการดูดซับ	17
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	17
2.3.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	23
3.1 เครื่องมือและสารเคมี	23
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	23
3.1.2 สารเคมี	23
3.2 วิธีการทดลอง	24
3.2.1 การเตรียมเมล็ดโคโตซาน	24
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมและทำความสะอาดหลอดดูดซับ	25
3.2.3 การเตรียมไอระเหยเบนซิน	26
3.2.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน	26
3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซิน โดยใช้เมล็ดโคโตซาน ในการทดลองแบบเบทซ์	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	29
4.1 ผลของปริมาณกรดอะซิติคที่เหมาะสมต่อการผลิตเมล็ดโคโตซาน	30
4.2 ผลการหาอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่าง	30
4.3 ผลการหาความชื้นของเมล็ดโคโตซาน	31
4.4 ผลของการเตรียมกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน	31
4.5 ผลของการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับไอระเหยเบนซินของ เมล็ดโคโตซาน ในการทดลองแบบเบทซ์	33
4.6 ผลของการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของไอระเหยเบนซินที่เหมาะสม ในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเมล็ดโคโตซาน ในการทดลองแบบเบทซ์	34
4.7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินของ เมล็ดโคโตซานและผงถ่านกัมมันต์ ในการทดลองแบบเบทซ์	35
4.8 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเมล็ดโคโตซาน	36
4.8.1 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์	36
4.8.2 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนลิก	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก. การคำนวณปริมาณไอระเหยเบนซีนของสารมาตรฐาน และปริมาณไอระเหยเบนซีนของสารตัวอย่าง	41
ภาคผนวก ข. การคำนวณการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย	4
2.2	ความรุนแรงของอาการ เมื่อได้รับสารเบนซิน ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาต่าง ๆ	7
3.1	สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption-GC-FID	27
4.1	ผลของปริมาณกรดอะซิติกที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็คโคโตซาน	29
4.2	ผลการหาอัตราการใช้ในการเก็บตัวอย่าง	30
4.3	ผลการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็คโคโตซาน	31
ก.1	การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็คโคโตซาน	42
ก.2	พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็คโคโตซานที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน	46
ก.3	พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุมที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน	47
ก.4	ผลการคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็คโคโตซานที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน ในการทดลองแบบแบทช์	48
ก.5	พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็คโคโตซานที่ความเข้มข้นไอระเหยเบนซินเริ่มขึ้นต่างๆ กัน	49
ก.6	พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุมที่ความเข้มข้นไอระเหยเบนซินเริ่มขึ้นต่างๆ กัน	50
ก.7	ผลการคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็คโคโตซานที่ความเข้มข้นไอระเหยเบนซินเริ่มขึ้นต่างๆ กัน ในการทดลองแบบแบทช์	51
ก.8	ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับระหว่างเม็คโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ที่สภาวะเดียวกัน	52
ก.9	พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุมในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับระหว่างเม็คโคโตซานกับถ่านกัมมันต์	52
ก.10	ผลการคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับเปรียบเทียบระหว่างการใช้เม็คโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ที่สภาวะเดียวกันในการทดลองแบบแบทช์	53
ข.1	การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซินแบบแลงเมียร์	56

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
๗.2	การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซีนแบบฟลูนลิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.2	โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน	9
2.1	โครงสร้างทางเคมีของโคติน	9
2.3	แผนภาพอย่างง่ายของขั้นตอนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับ	15
2.4	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	16
2.5	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Freundlich Equation	19
3.1	การเตรียมอุปกรณ์	24
3.2	เครื่องทำความสะอาดหลอดดูดซับที่ใช้งานแล้ว	25
3.3	หลอดดูดซับสำหรับใช้ในการเก็บตัวอย่างไอระเหยเบนซิน	25
3.4	การเตรียมไอระเหยเบนซิน	26
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บไอระเหยของเบนซิน	26
4.1	เม็ดโคซาน	29
4.2	กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน	31
4.3	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของไอระเหยเบนซินที่เวลาในการเก็บ 0.5 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที	32
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับการดูดซับไอระเหยเบนซิน	33
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างไอระเหยเบนซินเริ่มต้นกับการดูดซับไอระเหยเบนซิน	34
4.6	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์	35
4.7	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์	36
4.8	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนลิก	37
ก.1	กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในประเทศไทย จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถยนต์และการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรม โดยส่งผลให้ปริมาณสารมลพิษในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) เป็นสารมลพิษทางอากาศที่กรมควบคุมมลพิษได้ประกาศให้เป็นสารที่ถูกควบคุม เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดจัดเป็นสารอันตราย นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดโอโซนและปรากฏการณ์โฟโตเคมีคอลสม็อกที่ เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 กรมควบคุมมลพิษ จึงได้กำหนดมาตรฐานการปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายสู่บรรยากาศ 9 ชนิด ได้แก่ 1) Benzene, 2) Vinyl Chloride, 3) 1,2 Dichloroethane, 4) Trichloroethylene, 5) Dichloromethane, 6) 1,2-Dichloropropane, 7) Chloroform, 8) Tetrachloroethylene, และ 9) 1,3 Butadiene (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ซึ่งสารเบนซินจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญที่มีการกำหนดมาตรฐานการปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยสารเบนซินได้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง อาทิ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเรซิน พอลิเมอร์ พลาสติก ระเบิด รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในทางเกษตรหรือใช้ในทางเภสัชกรรม United States Environmental Protection Agency (US. EPA) ได้จัดสารเบนซิน ให้เป็นสารมลพิษที่ควรกำจัดอย่างเร่งด่วน เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถแพร่กระจายสู่คน สัตว์ พืชและยังสามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้การปนเปื้อนของสารเบนซินสู่สิ่งแวดล้อม อาจเกิดจากการเกิดอุบัติเหตุระหว่าง การขนส่งน้ำมันทางทะเล ทำให้เกิดมีการรั่วไหลลงสู่ทะเล เกิดคราบน้ำมันฉาบบนผิวน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืชเกิดความผิดปกติ และตายในที่สุด และการบรรจุน้ำมันลงในถังได้ดินของ สถานีน้ำมันต่างๆ ยังทำให้เกิดการรั่วไหลและปนเปื้อนลงแหล่งน้ำใต้ดินได้อีกด้วย

วิธีการกำจัดสารเบนซินที่ระเหยได้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ ระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบเปียก (Wet Scrubber) ใช้วิธีการสเปรย์ของเหลว ซึ่งอาจเป็นน้ำหรือสารเคมี เพื่อให้ของเหลวดังกล่าวไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้ละลายอยู่ในของเหลว แต่ก็มีข้อเสียคือ มีราคาที่สูงมาก รวมถึงมีการใช้สารเคมีซึ่งจะเกิดของเสียที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป และระบบดูดซับ (Adsorption) เป็นระบบที่ใช้สารดูดซับ ดูดซับเอาโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้ติดอยู่กับสารดูดซับนั้น ตัวอย่างสารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) และซีลิกาเจล ข้อเสียของระบบนี้ คือ มีราคาแพงมาก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการรีเจนเนอเรตหรือกำจัด

ตัวดูดซับที่ไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป นอกจากนี้ ความเป็นพิษที่ถูกจับอยู่ในตัวดูดซับก็ยังคงไม่ได้ถูกกำจัดไป

ไคโตซานเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคติน โดยการกำจัดหมู่อะซิติลออกไป ซึ่งไคตินเป็นสารที่สังเคราะห์มาจากเปลือกปูและกุ้ง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ เนื่องจากไคโตซานไม่มีความเป็นพิษ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ มีสมบัติความเป็นพอลิเมอร์ และมีความหนาแน่นของประจุสูง มีความสามารถในการจับกันเป็นกลุ่มได้ดีมาก รวมทั้งสามารถใช้เป็นสารดูดซับได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไคโตซานมาทำเป็นเม็ด เพื่อใช้เป็นสารดูดซับไธอะเฮนเบนซิน โดยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการดูดซับไธอะเฮนเบนซินของเม็ดไคโตซาน

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดไธอะเฮนเบนซิน โดยใช้เม็ดไคโตซาน
- 1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดไธอะเฮนเบนซิน โดยใช้เม็ดไคโตซาน โดยการทดลองแบบแบทช์
- 1.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไธอะเฮนเบนซินระหว่างเม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบแบทช์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 เตรียมเม็ดไคโตซาน โดยแปรค่าปริมาณ กรดอะซิติก 1% ที่ใช้ในการละลายไคโตซาน ให้เป็นสารละลาย viscous
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไธอะเฮนเบนซิน โดยใช้เม็ดไคโตซาน โดยการทดลองแบบแบทช์ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ 1) ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม โดยแปรค่าเวลาเป็น 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ 2) ความเข้มข้นเบนซินเริ่มต้น โดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 0.23, 0.39, 0.49, 0.81 และ 0.98 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- 1.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไธอะเฮนเบนซิน ระหว่างเม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ ที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถกำจัดไธอะเฮนเบนซินโดยใช้เม็ดไคโตซาน
- 1.4.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไธอะเฮนเบนซิน โดยใช้เม็ดไคโตซาน
- 1.4.3 สามารถใช้เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเป็นตัวดูดซับไธอะเฮนเบนซิน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนอาจมีออกซิเจนหรือคลอรีนร่วมด้วย ในชีวิตประจำวันมนุษย์ได้รับ VOCs เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ ทางอาหาร และการสัมผัส ตัวอย่างแหล่งกำเนิด VOCs ในสิ่งแวดล้อม เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำละลายในพิมพ์ อู่พ่นสีรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับขัดผมและน้ำยาดัดผม สารฆ่าแมลงและสารที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็นต้น

ประเภทของ VOCs สามารถแบ่งตามลักษณะของโมเลกุล ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons คือ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ประกอบด้วย aliphatic hydrocarbons (เช่น fuel oils, gasoline, hexane, industrial solvents, alcohols, aldehydes, ketone เป็นต้น) และกลุ่มสาร aromatic hydrocarbons (เช่น toluene, benzene, ethylbenzene, xylenes, styrene, phenol เป็นต้น) สาร VOCs กลุ่มนี้เกิดจากการเผาไหม้ขยะ พลาสติก สารตัวทำละลาย และสีทาวัสดุ เป็นต้น

2. Chlorinated VOCs หรือ Halogenated hydrocarbons คือ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรม สาร chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและมีความเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก (non-chlorinated VOCs) เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่แข็งแรงมาก ทำให้ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือโดยทางเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมในสิ่งแวดล้อมได้นาน นอกจากนี้ ยังรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมหรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้

คุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่เป็นสารควบคุมโดยกรมควบคุมมลพิษ แสดงดังตารางที่ 2.1

## ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย

ชื่อสารเคมี	สูตรอย่างง่าย	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)	ความดันไอ (mm Hg)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ความสามารถในการละลายน้ำ (mg/l)
Vinyl chloride	$C_2H_3Cl$	-13	-154	2515.6	62.5	0.3
1,3-Butadiene	$C_4H_6$	-4.4	-108.9	-	54.09	735
Chloroform	$CHCl_3$	62	-63.5	160 (20 °C)	119.38	0.8
1,2-Dichloroethane	$C_2H_2Cl_2$	60-61	-80.5	400 (41 °C)	96.94	-
1,2-Dichloropropane	$C_3H_6Cl_2$	96	-80	43 (20 °C)	113	0.3
Tetrachloroethylene	$CCl_2$	120	-22.7	19 (0 °C)	166	0.014
Dichloromethane	$CH_2Cl_2$	39.8	-97	340 (20 °C)	84.93	-
Trichloroethylene	$C_2HCl_3$	86.7	-22.7	19 (0 °C)	131.39	0.014
Benzene	$C_6H_6$	80	5.5	75 (20 °C)	78.11	0.18

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2550

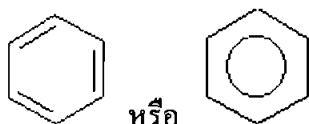
### 2.1.1 ลักษณะและคุณสมบัติของเบนซีน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ชื่อเคมีทั่วไป : Phenyl hydride

CAS No. : 71-43-2

สูตรโมเลกุล :  $C_6H_6$

สูตรโครงสร้าง :



### คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : ของเหลว

สี : ใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่น :	เฉพาะตัว อะโรมาติก
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol) :	78.11
จุดเดือด (°C) :	80 °C
จุดหลอมเหลวต่อจุดเยือกแข็ง (°C):	5.5
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1 gm/cm <sup>3</sup> ) :	0.877
ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1 g/l) :	2.7
ความหนืด (mPa/s) :	0.647
ความดันไอ (mm Hg) :	75 ที่ 2 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลายน้ำ (g/L) :	0.18 ที่ 25 องศาเซลเซียส

เบนซิน มีชื่อพ้องอื่นๆ เช่น Coal naphtha, Benzol, หรือ Benzine เป็นต้น เบนซิน เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ระเหยได้ง่าย ไอระเหยของสารสามารถจุดติดไฟได้ที่อุณหภูมิห้อง และเกิดการจุดติดไฟได้โดยประกูไฟฟ้าสถิต สารนี้สามารถเกิดการสะสมในบริเวณสถานที่อับอากาศ ทำให้เกิดอันตรายจากการติดไฟ และเกิดความเป็นพิษ น้ำอาจใช้ในการดับเพลิงไม่ได้ผล เนื่องจากน้ำไม่สามารถลดอุณหภูมิของเบนซินให้เย็นลงต่ำกว่าจุดวาบไฟได้ ในระหว่างเกิดเพลิงไหม้จะก่อให้เกิดก๊าซที่เป็นพิษ และมีฤทธิ์ระคายเคืองขึ้น ดังนั้น สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงคือ ประจุไฟฟ้าสถิตย์ ประกายไฟ เปลวไฟ ความร้อน และแหล่งจุดติดไฟ สามารถทำลายโครงสร้างของยางและพลาสติก แต่ไม่เกิดอันตรายจากการเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ สามารถละลายได้ในเอทานอล คลอโรฟอร์ม ไดเอทิลอีเธอร์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซิโตน น้ำมัน คาร์บอนเตตระคลอไรด์และกรดอะซิติก เบนซินเข้ากันไม่ได้กับสารบางชนิด เช่น โซเดียมเปอร์ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ โครมิกแอน ไฮไดรด์ เปอร์แมงกานิกเอซิด กลอรีน ไนตริกเอซิด และโอโซน

เบนซินเป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม มักนำเข้ามาจากต่างประเทศ อย่างเช่นประเทศ เกาหลี อินโดนีเซีย และสิงคโปร์ โดยปริมาณการนำเข้าจะแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวอย่างรวดเร็วของระบบเศรษฐกิจ วิธีการผลิตเบนซินในทางอุตสาหกรรมมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ปฏิกิริยา Catalytic reforming ของน้ำมันปิโตรเลียม ในปัจจุบันเบนซินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น สไตรีน ฟีนอล และไซโคลเฮกเซน มีบางส่วนใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตสี การทำหนังเทียม ผลิตภัณฑ์จากยาง สารทำความสะอาด และใช้เป็นตัวทำละลายในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการใช้เบนซินในห้องปฏิบัติการมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งในคน ระดับเบนซินที่ไม่เป็นอันตราย ปริมาณสูงสุดในน้ำดื่มไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสูงสุดในอากาศในที่ทำงานไม่เกิน 1 พีพีเอ็ม (<http://www.fda.moph.go.th>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 แหล่งกำเนิดของเบนซิน

แหล่งกำเนิดที่สำคัญ ได้แก่ ไอเสียรถยนต์เนื่องจากในน้ำมันรถยนต์ มีเบนซินเป็นส่วนประกอบ เมื่อน้ำมันถูกเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ เบนซินที่ไม่ถูกเผาไหม้จะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมพร้อมกับไอจากรถยนต์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ปล่อยเบนซินออกสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด แหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น การระเหยของไอน้ำมันขณะเติมน้ำมันในรถยนต์ และจากควันบุหรี่ ประชาชนจะได้รับเบนซินจากการหายใจเอาอากาศที่ปนเปื้อนเบนซินเข้าไป โดยเฉพาะบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550)

### 2.1.3 ผลกระทบของเบนซิน

#### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพ

การหายใจเอาอากาศที่มีการปนเปื้อนเบนซินจะทำให้เกิดการกดระบบประสาทส่วนกลาง ก่อให้เกิดการเวียนศีรษะ ง่วงซึม ปวดศีรษะ คลื่นไส้ มึนงง และทำให้หมดสติได้ การสัมผัสสารนี้ที่ความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่การสัมผัสสารนี้ที่ความเข้มข้น 50-150 พีพีเอ็ม จะก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูก และลำคอ และการสัมผัสสารนี้ที่ความเข้มข้นประมาณ 20,000 พีพีเอ็ม จะทำให้เสียชีวิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

การกลืนหรือกินเข้าไป สารนี้จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วและมีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง พบว่า สารนี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบเลือด และระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ทดลอง แต่ยังไม่มียารายงานยืนยันผลกระทบดังกล่าวในมนุษย์ ผลกระทบต่อการสัมผัสในระยะยาว หรือการสัมผัสถูกผิวหนังเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้เกิดผื่นแดง ผิวหนังแห้ง อักเสบ และทำให้เกิดการสูญเสียหรือทำลายชั้นไขมันของผิวหนัง สารนี้จะก่อให้เกิดการลดลงของจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด แต่ในระยะเวลานานจะก่อให้เกิดภาวะโลหิตจาง และเกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดขาว (Leukemia) เนื่องจากเบนซินจะไปทำลายไขกระดูก ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตเม็ดเลือดจึงทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง และเกิดภาวะผิดปกติของเม็ดเลือดขาวขึ้น เบนซินจัดเป็นสารก่อมะเร็งตามบัญชีรายชื่อ IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (The National Toxicology Program) และ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygiene) ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งต่อระบบน้ำเหลือง ปอด กระเพาะปัสสาวะ และยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความผิดปกติของโครโมโซมในเม็ดเลือดขาว และก่อให้เกิดการทำลาย DNA ในเซลล์เม็ดเลือดได้อีกด้วย

## ตารางที่ 2.2 ความรุนแรงของอาการ เมื่อได้รับสารเบนซิน ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาต่าง ๆ

ความเป็นพิษของเบนซิน (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาที่ได้รับ	ความรุนแรงของอาการ
20,000	5-10 นาที	ทำให้ตายได้
2,500	30 นาที	เป็นอันตรายต่อชีวิต
1,500	60 นาที	ทำให้เกิดอาการพิษต่างๆอย่างรุนแรง
500	60 นาที	ทำให้เกิดอาการพิษต่างๆอย่างรุนแรง
50-150	5 ชั่วโมง	ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย
25	8 ชั่วโมง	ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย

ที่มา : กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2541

### 2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- เกิดสภาวะ โลกร้อน (Global Warming Potential)
- เกิดการทำลายชั้น โอ โซอน (Ozone Depletion)
- เกิดกลุ่มหมอกควัน (Photochemical Smog)
- เกิดมลพิษทางอากาศ
- ทำลายทัศนียภาพก่อให้เกิดความไม่สวยงาม

#### 2.1.4 วิธีการกำจัดเบนซิน

- การดูดซับบนอนุภาคของแข็ง เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) การบำบัดโดยวิธีนี้ต้องทำถึงสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการดูดซับกลิ่น ส่วนขั้นตอนที่สองคือการแยกสารที่ถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับและนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ เพราะฉะนั้นจึงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและยังหาตัวดูดซับที่เหมาะสมกับสารระเหยอินทรีย์แต่ละประเภทได้ยาก

- การดูดซึมบนอนุภาคของเหลว มีข้อจำกัด คือถ้าใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษต่ำ เนื่องจากเบนซินถูกดูดซึมในน้ำได้ต่ำ นอกจากนี้ประสิทธิภาพตัวดูดซึมจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างของเหลวกับไอระเหยที่ต้องการกำจัด สารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวมักจะเป็นของเสียทุติยภูมิ (Secondary Waste) ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด

- การควบแน่น เป็นวิธีบำบัดที่จะนำสารที่ระเหยกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 99% โดยในการบำบัดนั้นจะต้องมีกระบวนการแยกสารที่ควบแน่นเพื่อทำให้สารบริสุทธิ์ การควบแน่นเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งแต่ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้าง และการปฏิบัติงานมีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแยกด้วยเยื่อแผ่น ตัวเยื่อแผ่นนั้นมักจะมีราคาแพง ตัวระบบเหมาะสมกับการกำจัดก๊าซเสียปริมาณน้อยๆ และเป็นก๊าซบริสุทธิ์

- การกรองชีวภาพ (Biofiltration) ใช้บำบัดเบนซินที่ระเหยง่าย มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระบบต่ำ ไม่เกิดของเสียทุติยภูมิที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งมีเสถียรภาพในการดำเนินงานสูง (2-5 ปี) ระบบกรองชีวภาพนั้น แบ่งเป็น 3 แบบกว้างๆ คือ biofilter, bioscrubber และ biotrickling filter โดยที่ bioscrubber นั้น มีหลักการคล้ายๆกับการดูดซับบนอนุภาคของเหลวเพียงแต่ของเหลวที่ใช้นั้น มีจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดไอระเหยเบนซิน ดังนั้น นอกจากการเกิดปฏิกิริยาดูดซับแล้ว ยังเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี (Bioreaction) อีกด้วย

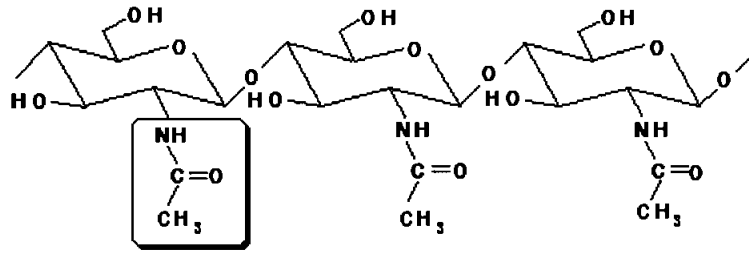
## 2.2 ไคโตซาน (ภัทรธาวุช , 2544)

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองในโลกรองจากเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู แขนปลาหมึก ผนังของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ เปลือกหุ้มของแมลง ส่วนไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน ถูกพบโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget โดยการต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

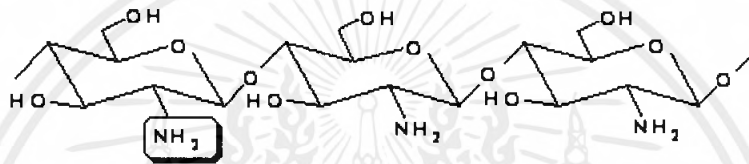
### 2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ไคโตซานเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคติน (รูปที่ 2.1) โดยการกำจัดหมู่ acetyl โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำซ้อนกันของ (1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose หรือ D-glucosamine โดยปกติไคโตซานจะประกอบด้วยหน่วยที่กำจัดหมู่ acetyl ออกแล้วต่อส่วนที่ยังมีหมู่ acetyl อยู่ในอัตราส่วนประมาณ 80:20 ขึ้นกับแหล่งที่มาของไคตินและขั้นตอนการสังเคราะห์ไคโตซาน

ไคโตซาน (รูปที่ 2.2) เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine ออกตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน  
(ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2544)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน  
(ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2544)

โดยทั่วไปไคโตซานที่ได้จะมีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งระดับการกำจัดหมู่ acetyl (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation) นี้ มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึงความยาวของสายไคโตซานซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายยาว และสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้น การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation และน้ำหนักโมเลกุล

### 2.2.2 การผลิตไคโตซาน

เนื่องจากไคโตซานเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคตินโดยการกำจัดหมู่ acetyl ดังนั้น การผลิตไคโตซาน จึงเริ่มต้นจากการผลิตไคติน ดังนี้

กระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง มีขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีน (deproteinization)

ขั้นตอนที่ 2 การแยกแร่ธาตุ (demineralization)

ขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (decoloration)

ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตไคตินที่ต้องการนำโปรตีนที่สกัดได้กลับมาใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากเปลือกของสัตว์เหล่านี้ก่อนขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า (No และ Meyers, 1997)

### ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีน (Deproteinization)

กระบวนการกำจัดโปรตีน โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในกระบวนการนี้ โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปจากวัตถุดิบ พร้อมกับบางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิด

### ขั้นตอนที่ 2 การแยกแร่ธาตุ (Demineralization)

กระบวนการกำจัดเกลือแร่ โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรด ส่วนใหญ่ใช้กรดไฮโดรคลอริก ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

### ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (Deacetylation)

การแยกเม็ดสีหรือกระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล ( $-\text{CH}_3\text{CO}$ ) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีโน ( $-\text{NH}_2$ ) บนโมเลกุลของไคตินซึ่งหมู่เอมีโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นประจุบวก (Cation) เมื่อปริมาณของหมู่อะซีทิล ถูกกำจัดไปมากกว่า 60% ขึ้นไป สารไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด การลดหมู่อะซีทิลทำได้โดยใช้ด่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้น การเกิดไคโตซานจะขึ้นอยู่กับปริมาณของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (deacetylation) ซึ่งวัดจากค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (degree of deacetylation) คิดเป็นหน่วยร้อยละ (percentage of degree of deacetylation, %DD) กล่าวคือถ้า %DD เกินกว่า 50% ขึ้นไป สามารถใช้พอลิเมอร์นั้นทำให้เกิดอนุพันธ์ที่ละลายในกรดอินทรีย์ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดลงของหมู่อะซีทิลในไคติน ผลที่ได้คือ การเพิ่มหมู่เอมีโน ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติการเป็นสารที่มีประจุเป็นบวก (polycationic activity) บนพอลิเมอร์ ทำให้เกิดสภาพของการเป็นไคโตซานเพิ่มขึ้น ดังนั้น โครงสร้างของไคโตซานต่างจากไคตินตรงหน่วยที่เป็น glucosamine ในสายพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นกว่า 50% ขึ้นไป นั่นเอง

## 2.2.3 คุณสมบัติของไคโตซาน

### 1) คุณสมบัติการที่มีประจุของไคโตซาน

ไคโตซานมีความเป็นพอลิเมอร์สูง มีความหนาแน่นของประจุสูง มีความสามารถในการจับกันเป็นกลุ่มได้ดีมาก รวมทั้งสามารถคีเลต(ดูดซับ) กับไอออนโลหะได้ เช่น ไอออนเหล็ก ทองแดง แคลเซียม โปรท ตะกั่ว และโครเมียม เป็นต้น

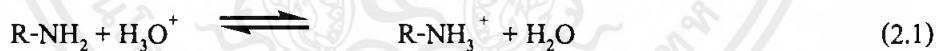
ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายตรง มีขั้ว ที่พีเอชเป็นกรด มีความหนาแน่นของประจุสูง มีองค์ประกอบที่เป็นประจุลบ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น

### 2) คุณสมบัติการละลาย

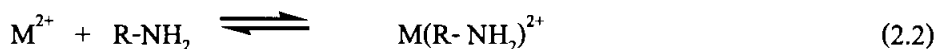
ไคโตซาน ไม่ละลายน้ำ ด่าง และ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก สำหรับกรดอินทรีย์ เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และ กรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้ แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางและมีการปั่นกวน

ไคโตซานค่อนข้างจะมีความจำเพาะต่อคุณสมบัติ ในด้านการละลายชั้นแรก เมื่ออยู่ในรูปเอมีนอิสระ ( $-NH_2$ ) ไคโตซานไม่ละลายน้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง ส่วนที่พีเอชเป็นกรด หมู่เอมีนอิสระ ( $-NH_2$ ) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก ( $-NH_3^+$ ) (Filar และ Wirick , 1978)

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับไคโตซานเมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลง ถ้าไคโตซานอยู่ในสภาพเป็นกรดซึ่งจะทำให้โลหะไอออนต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) ในสภาวะที่มีความเป็นกรดมากขึ้น อธิบายได้ดังสมการ 2.1



เนื่องจากอะตอมไนโตรเจนบนไคโตซาน มีคุณสมบัติเหมือนเป็นพื้นที่สำหรับเกิดโคออดิเนชันกับโลหะ โดยไคโตซานทำหน้าที่เป็นลิแกนด์โดยอะตอมไนโตรเจนเป็นอะตอมง่าย และโลหะไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่ของไคโตซานดังสมการที่ 2.2



สรุป ที่สภาวะเป็นกรดมากๆ ของน้ำชะละลายทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนคู่โคอเดียวของอะตอมไนโตรเจน ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะโคออร์ดิเนชันกับโลหะได้น้อยลง เพราะ  $H_3O^+$  จะเกิดการแข่งกันกับการเกิดพันธะโคออร์ดิเนชันของโลหะไอออน ดังนั้นจึงลดประสิทธิภาพการกำจัดโลหะไอออนโดยไคโตซาน

### 3) คุณสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

ไคโตซานที่มีความเป็นพิษ และเป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ รวมทั้งใช้ในกิจกรรมชีวภาพได้ โดยการรักษาบาดแผล ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน

### 4) คุณสมบัติทางเคมีของไคโตซาน

ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ประมาณ  $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตของไคโตซานเป็นพอลิเอมีน (polyamine) สายตรง ซึ่งมีหมู่อะมิโนมากพอที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการฟอร์มตัวอยู่ในรูปเกลือบกรด

### 5) ค่าองศาการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of deacetylation)

ค่าองศาการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of deacetylation) เป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็นไคตินหรือไคโตซาน เป็นไคพอลิเมอร์ ถ้าค่าการกำจัดหมู่อะซีติลต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าการกำจัดหมู่อะซีติลสูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

### 6) ความหนืด

ขึ้นกับค่าองศาการกำจัดหมู่อะซีติล น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะมีผลที่ความหนืดที่ต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซีติกเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลง แต่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น

### 7) ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability)

ไคโตซานเป็นตัวเหนียวมาในการสร้างตะกอนและช่วยในการตกตะกอนที่ดี (flocculation and coagulation agent) เนื่องจากหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ หรือจับกับโลหะหนักโดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสร้างพันธะเชิงซ้อนขึ้น หมู่อะมิโนในไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าหมู่ acetyl ในไคติน ดังนั้น ไคโตซานที่มีค่าองศาการกำจัดหมู่อะซีติลสูง จะมีความสามารถในการจับกับโลหะได้สูงด้วย

## 2.2.4 ประโยชน์ของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีในเปลือกสัตว์จำพวกกุ้ง ปูและแมลง นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคตินและไคโตซานสามารถนำมาใช้งานได้แพร่หลายทั้งด้านวัสดุทางการแพทย์และเภสัช ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตร และทางด้านอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น คือ ไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย เนื่องจากเป็นคาร์โบไฮเดรตจะสลายตัวช้า และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จึงไม่ส่งผลใดๆที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

- ด้านการเกษตร เนื่องจากไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมี ต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง นอกจากนี้ ยังใช้ไคโตซานเคลือบเมล็ดข้าวสารเพื่อป้องกันเชื้อรา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 20

- ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา ใช้ไคโตซาน ในการรักษาบาดแผล เพื่อใช้ในการรักษาแผลผ่าตัดและไฟไหม้ ซึ่งจะช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น ทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดตกแต่งแผล ด้ายเย็บแผล ซึ่งข้อดี คือ จะสลายตัวอย่างช้าๆ และถูกดูดซับเข้าสู่ร่างกาย โดยไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย ใช้เป็นเลนส์สายตา เนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตผนังเทียม เช่น ผนังไตใช้เป็นสารลดโคเลสเตอรอล และใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม

- ด้านอุตสาหกรรม โดยอาศัยคุณสมบัติของไคโตซานที่สำคัญหลายประการ เช่น การเป็นสารก่อให้เกิดอิมัลชัน การจับกับสี การเกิดแผ่นฟิล์ม การเกิดเจล และการเป็นสารลดแรงตึงผิว จึงสามารถประยุกต์ใช้ไคโตซานได้ ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ไคโตซานเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารหรือยืดอายุของผลไม้ได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ การทำให้น้ำผลไม้ใส ตกตะกอนไวน์ขาวและไวน์แดง เนื่องจากไม่มีผลต่อสีของไวน์ และ ลดสารที่ไม่ต้องการบางชนิดในอาหาร เช่น แแทนนิน ตลอดจนจากการวิจัยในสัตว์หลายชนิดพบว่า การบริโภคไคโตซานสามารถลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือดได้ ในประเทศญี่ปุ่นจึงมีการผลิตขนมคุกกี้ควบคุมน้ำหนัก และบะหมี่สำเร็จรูป ซึ่งมีส่วนผสมไคโตซานออกมาจำหน่าย นอกจากนี้ ยังมีน้ำส้มสายชูที่มีไคโตซานผสมอยู่ออกมาจำหน่ายอีกด้วย สำหรับประเทศไทย ได้มีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไคโตซานแคปซูล เพื่อลดโคเลสเตอรอล และควบคุมน้ำหนัก ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในรูปแบบอาหารเสริม ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ไคโตซานได้ถูกนำมาใช้เพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีม เป็นส่วนผสมในโลชั่น เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและความเนียนนุ่ม เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผมและครีมปรับสภาพผม เนื่องจากมีคุณสมบัติ ความหนืด และการเคลือบ เพื่อช่วยเก็บความชุ่มชื้นไว้

- ด้านอาหาร ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็น

สารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

- ด้านอาหารเสริม มีรายงานว่า โคลโคซานช่วยลดโคเลสเตอรอล และไขมันในเส้นเลือด โดยโคลโคซานไปจับกับโคเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคลโคซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (วิตามินเอ, ดี, อี, เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ทางการแพทย์ มีรายงานการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่า ข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ proteoglycan และ matrix ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น

- ด้านการปศุสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

- ด้านการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมีสารแขวนลอยสูง โคลโคซานมีประจุบวก สามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ได้สามารถแยกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป นอกจากนี้ โคลโคซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนัก และจับสี (dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

- ด้านสิ่งทอ นำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น

### 2.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (adsorption) คือกระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสารเคมีชนิดหนึ่งยึดติดอยู่กับพื้นผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนย้ายของสารเคมีจากตัวกลางหนึ่ง เช่น น้ำ ไปสะสมที่พื้นผิวของอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น ดินตะกอน หรือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวกลางสองชนิด กระบวนการนี้สามารถพบได้ทั้งในธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น กระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ด้วยดินตะกอนในแม่น้ำ หรือการดูดซับโลหะหนักและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ การดูดซับจัดเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การสลายตัวด้วยแสงหรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเมื่อโมเลกุลของสารละลายในน้ำเทียบกับเมื่อโมเลกุลชนิดเดียวกันแต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับต่างชนิดกัน

### 2.3.1 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

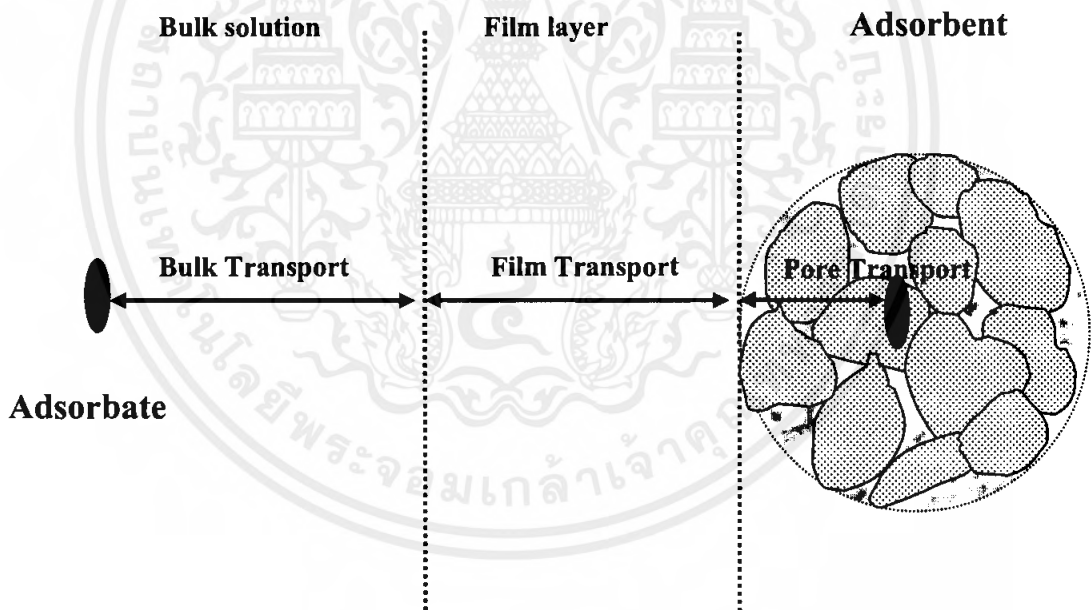
กระบวนการดูดซับมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ตัวดูดซับ (adsorbent) หมายถึง พื้นผิวตัวกลางใดๆที่มีสารเคมีไปยึดติด และตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ก็คือสารเคมีใดๆที่ไปยึดเกาะที่พื้นผิวหนึ่งๆ การเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับไปยึดติดกับตัวดูดซับมีกลไกการดูดซับที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนย่อย ดังนี้ (รูปที่ 2.3 )

**ขั้นตอนที่ 1** เป็นการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากบริเวณที่เป็นสารละลาย ไปยังผิวฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ หรือที่เรียกว่า Bulk transport

**ขั้นตอนที่ 2** เป็นการแพร่ของตัวดูดซับข้ามฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับหรือที่เรียกว่า Film transport

**ขั้นตอนที่ 3** เป็นการแทรกผ่านของตัวดูดซับเข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับ หรือที่เรียกว่า Intraparticle transport หรือ Pore transport

**ขั้นตอนที่ 4** เป็นการยึดติดของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ โดยแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นอาจเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพ หรือแรงดึงดูดทางเคมี หรือทั้งสองแรงพร้อมกัน



รูปที่ 2.3 แผนภาพอย่างง่ายของขั้นตอนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับ

### 2.3.2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

การดูดซับของสารเคมีใดๆบนพื้นผิวของตัวดูดซับ จะต้องมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ทำให้เกิดการยึดติดของโมเลกุลของสารเคมีนั้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่าง

สารเคมีกับตัวดูดซับ อาจเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพ (Physical force) แรงดึงดูดทางเคมี (Chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงดึงดูดทั้งสองประเภท

1. แรงดึงดูดทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ขึ้นกับความมีขั้วของโมเลกุล ดังนี้

1.1) แรงเหนี่ยวนำไดโพล-แรงเหนี่ยวนำไดโพล (Induced dipole-induced dipole forces) หรือที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ จัดเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่พบทั่วไปโดยเฉพาะเมื่อสารจัดเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (nonpolar molecules) แรงชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือ โมเลกุลนั้นตลอดเวลา ทำให้ในชั่วขณะหนึ่งความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนไม่สม่ำเสมอทั่วโมเลกุล มีผลให้เกิดสภาพขั้วหรือไดโพลชั่วขณะ ไดโพลชั่วคราวที่เกิดขึ้นก็จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงที่สัมผัสกันและเกิดการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

#### ตัวอย่างแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

แรงแวนเดอร์วาลส์ จัดเป็นแรงดึงดูดที่อ่อนมาก เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของโมเลกุลที่สัมผัสกัน แรงดึงดูดประเภทนี้จึงขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโมเลกุล ซึ่งสัมพันธ์กับรูปร่างและขนาดของโมเลกุล การดูดซับด้วยแรงประเภทนี้จึงเป็นการเกาะกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้น การคายซับ (desorption) ของโมเลกุลที่ยึดติดกับตัวดูดซับสามารถเกิดได้ง่าย

1.2) แรงไดโพล-แรงเหนี่ยวนำไดโพล (dipole-induced dipole forces) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วและ โมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากความเป็นไดโพลชนิดถาวรใน โมเลกุลที่มีขั้วเหนี่ยวนำให้เกิดสภาพไดโพลชั่วขณะใน โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

1.3) แรงไดโพล-แรงไดโพล (dipole-dipole forces) เป็นแรงยึดระหว่าง โมเลกุลที่มีขั้วซึ่งมีความเป็นไดโพลชนิดถาวรภายใน โมเลกุล โดยที่ขั้วบวกของโมเลกุลหนึ่งยึดกับขั้วลบของอีกโมเลกุลที่อยู่ถัดไป แรงดึงดูดประเภทนี้ยึดกันแข็งแรงกว่าพวกที่ไม่มีขั้วแต่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.3.3 ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับคือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

1. การดูดซับทางกายภาพ หรือที่บางครั้งเรียกว่า Physisorption โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับยึดติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยแรงดึงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

2. การดูดซับทางเคมี หรือที่เรียกกันสั้นๆว่า Chemisorption ลักษณะของการดูดซับชนิดนี้มีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมี และการจัดเรียงตัวใหม่ของกลุ่มอิเล็กตรอนของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพดังต่อไปนี้คือ

- การดูดซับทางเคมี มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ทำให้มีแรงเหนี่ยวนำค่อนข้างสูงกว่าแรงเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ ส่งผลให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้เมื่อเทียบกับการดูดซับทางกายภาพภายใต้สภาวะเดียวกัน

- การดูดซับทางเคมี จะเกิดขึ้นในบริเวณที่จำเพาะเจาะจงเท่านั้น ในขณะที่การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

### 2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.3.4.1 **ธรรมชาติของตัวดูดซับ** พื้นที่ผิว (Surface area) และโครงสร้างของรูพรุน (Pore structure) มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารเคมี พบว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดใหญ่ และความเป็นรูพรุนของตัวดูดซับน้อย ความสามารถในการดูดซับก็จะลดต่ำลง

2.3.4.2 **ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ** ปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการละลายน้ำ น้ำหนัก และขนาด

1) **ความสามารถในการละลายน้ำ** สัญลักษณ์ย่อคือ  $C_w^{sat}$  เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น จะต้องมีการทำลายแรงยึดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบตัวถูกดูดซับ โดยทั่วไปตัวถูกดูดซับที่สามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

2) **น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล** จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายน้ำของสารเคมี โดยที่โมเลกุลขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

### 2.3.4.3 อิทธิพลของสภาพแวดล้อม

- 1) **ค่าพีเอชของสารละลาย** มีผลต่อความมีขั้วของสารทั้งตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดซับได้ดี
- 2) **อุณหภูมิ** มีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะทำให้ตัวถูกดูดซับแพร่ไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงเหนี่ยวนำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง
- 3) **อัตราการปั่นกววน** เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ถ้าการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนา ทำให้ตัวถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในตัวดูดซับได้ ชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ ถ้าการปั่นกววนสูง ชั้นฟิล์มจะมีความหนาลดลง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่เข้าไปดูดซับได้ดี แต่ถ้าการปั่นกววนมากเกินไป อาจทำให้ตัวถูกดูดซับที่ติดอยู่ที่ผิวกลับออกไปอยู่ในสารละลายได้อีก
- 4) **เวลาสัมผัส** จะต้องมีความเหมาะสม จึงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่จะถูกดูดซับด้วย

### 2.3.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ ( $q$ ) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลายที่สถานะสมดุล ( $C_e$ ) ณ อุณหภูมิคงที่ ทำได้โดยการพลอตข้อมูลค่า  $C_e$  และค่า  $q$  บนแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ จากนั้นทำการหาสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $q_e$  และ  $C_e$

ค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$K_d = \frac{q}{C_e} \quad (2.3)$$

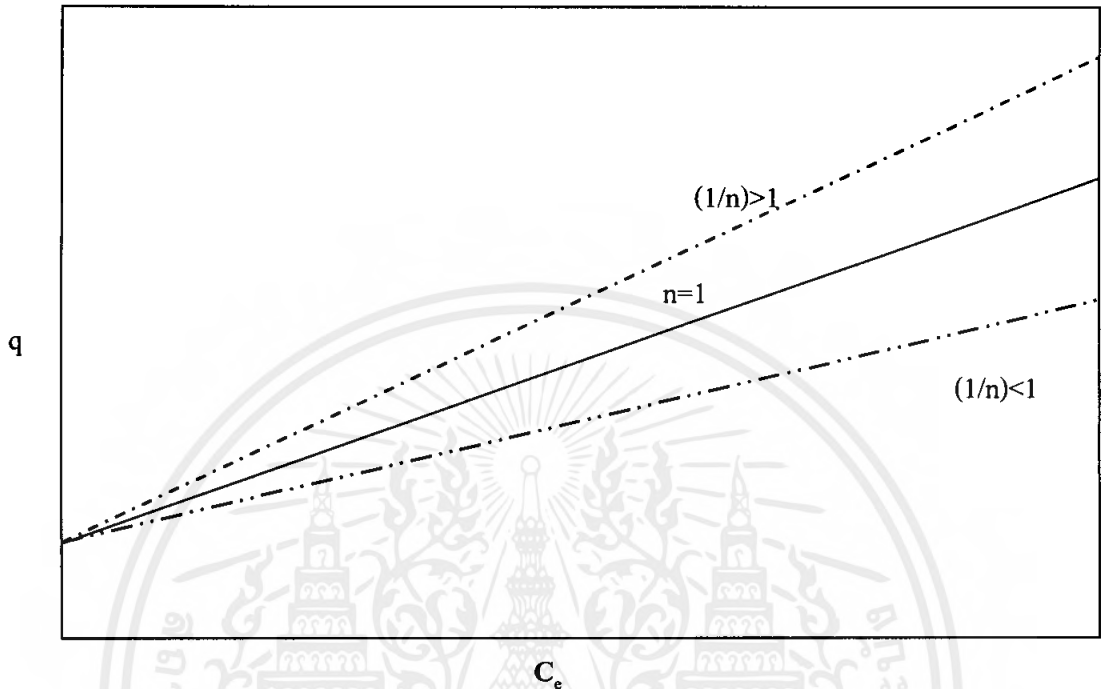
ไอโซเทอร์มของการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

#### 1. Freundlich Equation

สมการ Freundlich ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เป็นเส้นตรง ภายใต้สมมติฐานที่ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว และการดูดซับเกิดขึ้นแบบไม่มีขีดจำกัด ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.4

$$q = K_d C_e^{1/n} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $n =$  ค่าคงที่ที่อธิบายลักษณะเส้นไอโซเทอร์มของการดูดซับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ดังนี้คือ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Freundlich Equation

กรณีที่  $n=1$  : ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

กรณีที่  $1/n < 1$ : แสดงให้เห็นถึงปริมาณพื้นที่การดูดซับบน sorbent มีปริมาณที่จำกัด

กรณีที่  $1/n > 1$ : แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวของการดูดซับทำให้ปริมาณสารถูกดูดซับ ได้มากขึ้น

จัดรูปสมการที่ 2.4 ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยการใส่ลอการิทึมทั้งสองข้าง ได้เป็นสมการที่ 2.5

$$\log q = \log K_d + 1/n \log C_e \quad (2.5)$$

เมื่อนำค่า  $\log q$  กับ  $\log C_e$  จากการทดลองใดๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ โดยให้  $\log q$  เป็นแกน y และ  $\log C_e$  เป็นแกน x แล้วได้กราฟเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลการดูดซับสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของฟลูนลิก โดยข้อมูลดังกล่าวมีค่าความชันเท่ากับ  $1/n$  และจุดตัดบนแกน y เท่ากับ  $\log K_d$

## 2. Langmuir Equation

สมการนี้ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่า

- (1) การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว กล่าวคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มีการซ้อนทับกัน หรือชั้นของตัวดูดซับมีความหนาเท่ากันหมด
- (2) พื้นผิวในการดูดซับมีจำนวนจำกัด และมีกลไกการดูดซับเหมือนกัน ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเหมือนกัน
- (3) พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆพื้นผิวของตัวดูดซับ
- (4) เมื่อดูดซับแล้วตัวถูกดูดซับ จะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งกันในพื้นผิวสัมผัส รวมทั้งไม่มีผลกระทบหรือแรงกระทำต่อกันและกัน

สมการการดูดซับของแลงเมียร์มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.6 คือ

$$q = \frac{K_d q_m C_e}{1 + K_d C_e} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $q$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลในบางครั้งอาจเห็นสัญลักษณ์  $x/M$

$q_m$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว

$K_d$  = สัมประสิทธิ์การดูดซับของสาร

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล

จัดรูปสมการที่ 2.6 ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงจะได้เป็นสมการที่ 2.7

$$1/q = 1/q_m + 1/K_d q_m (1/C_e) \quad (2.7)$$

เมื่อนำค่า  $1/q$  กับ  $1/C_e$  จากการทดลองใดๆมาสร้างกราฟความสัมพันธ์โดยให้  $1/q$  เป็นแกน  $y$  และ  $1/C_e$  เป็นแกน  $x$  แล้วได้กราฟเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลการดูดซับสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการของแลงเมียร์ โดยข้อมูลดังกล่าวมีค่าความชันเท่ากับ  $1/K_d q_m$  และจุดตัดบนแกน  $y$  เท่ากับ  $1/q_m$

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peiselt และ คณะ (2003) ศึกษาการดูดซับทองแดงจากน้ำมันดีเซลโดยใช้ไคตินและไคโตซานในการดูดซับ ไคตินและไคโตซานใช้ในการดูดซับพวกโลหะที่ปนเปื้อนออกมาในรูปของ

สารละลายจากภาคอุตสาหกรรมและในน้ำทะเล จากการศึกษพบว่าไคตินและไคโตซานมีความสามารถในการกำจัดทองแดงในน้ำมันดีเซลได้อย่างดีเยี่ยม โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ชนิดของพอลิเมอร์ อุณหภูมิ และเวลาที่จุดสมมูล จากการทดลองพบว่าสามารถกำจัดทองแดงออกจากน้ำมันดีเซลได้ 92%

**Twu และคณะ (2003)** ศึกษาการเตรียมเม็ดไคโตซานที่มีส่วนผสมของเซลลูโลส สำหรับใช้เป็นสารดูดซับ โดยการเตรียมเม็ดไคโตซานจะถูกเตรียมขึ้นจากการละลายเป็นเนื้อเดียวกันของไคโตซานและเซลลูโลส ใน N-Methylmorpholine-N-Oxide (NMNO) และได้มีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) เพื่อศึกษาความขรุขระ พื้นที่ผิว รูปร่าง และโครงสร้างภายใน ส่วนที่เป็นรูพรุนของเม็ดไคโตซาน จากการทดลองพบว่า เม็ดไคโตซานที่มีส่วนผสมของเซลลูโลสที่ได้ มีคุณสมบัติในการต่อต้านสารไตรเอทิลเอมีน (trimethylamine, TMA) และยังมีศักยภาพในการบำบัดกลิ่น รวมทั้งใช้เป็นสารดูดซับไอออน เช่น ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ), เหล็ก ( $\text{Fe}^{3+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ได้อีกด้วย

**รัตนา และคณะ (2548)** ศึกษาการแพร่ของโมเลกุลเบนซินในซีโอไลต์ที่ไม่มีอะลูมิเนียมในโครงสร้าง โดยวิเคราะห์สมบัติการเคลื่อนที่ของเบนซินในซีโอไลต์ และค่าพลังงานการดูดซับของเบนซินในซีโอไลต์ พบว่าเมื่อจำนวนเบนซินเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานการดูดซับก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเบนซินที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า self-diffusion coefficient ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนเบนซิน เนื่องจาก steric hindrance ระหว่างโมเลกุลเบนซิน เมื่อพิจารณา radial distribution function พบว่า โมเลกุลเบนซินชอบอยู่ใกล้กันในระยะ  $5.2 \text{ \AA}$  สำหรับซีโอไลต์ FAU,  $5.2 \text{ \AA}$  สำหรับซีโอไลต์ ZSM-5 และ  $4.8 \text{ \AA}$  สำหรับซีโอไลต์ MCM-22 ตามลำดับ ซึ่งกรณีซีโอไลต์ FAU โมเลกุลของเบนซินจัดวางตัวขนานกับพื้นผิวของโพรงเหนือวง 6 เหลี่ยม ส่วนซีโอไลต์ ZSM-5 โมเลกุลของเบนซินจัดวางตัวเป็นแบบรูปตัว T เมื่อมีจำนวนเบนซิน 2, 4 และ 8 โมเลกุล แต่เมื่อมีจำนวนเบนซิน 16 โมเลกุลโมเลกุลเบนซินจัดวางตัวเป็นแนวเส้นตรงตาม Straight channel และในกรณีของซีโอไลต์ MCM-22 โมเลกุลของเบนซินจัดวางตัวเป็นแบบ Stacked conformation

**สุชาติ (2545)** ศึกษาการดูดซับเมอร์คิวริกคลอไรด์และฟีนิลเมอร์คิวริกอะซิเตตจากสารละลายน้ำ โดยใช้ไคโตซานที่ใช้สำหรับการดูดซับมี 2 ชนิด คือ ไคโตซานชนิดเม็ดวุ้นและชนิดเม็ดแห้ง แต่ละชนิดมีความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานร้อยละ 2, 3 และ 4 ทดลองที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย คือ 5, 7 และ 9 โดยใช้เมอร์คิวริกคลอไรด์เป็นตัวแทนสารประกอบในรูปของโลหะอินทรีย์ และฟีนิลเมอร์คิวริกอะซิเตตเป็นตัวแทนของสารประกอบปรอทในรูปของโลหะอินทรีย์ สารละลายปรอทแต่ละชนิดละลายโดยน้ำกลั่น เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นของปรอท 10 ส่วนในล้านส่วน จากการ

ทดลองพบว่า ตัวดูดซับไคโตซานทั้งแบบเม็ดวุ้นและเม็ดแห้งสามารถดูดซับสารประกอบปรอททั้งสองชนิดได้ ความสามารถในการดูดซับขึ้นกับชนิดของสารประกอบปรอท พีเอชเริ่มต้น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไคโตซาน และชนิดของเม็ดไคโตซาน โดยที่ความสามารถในการดูดซับสารประกอบทั้งสองชนิดของเม็ดไคโตซานลดลงเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเพิ่มขึ้น สำหรับผลของอุณหภูมิ ความสามารถในการดูดซับเมอร์คิวริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับฟีนิลเมอร์คิวริก อะซิเตดมีค่าลดลง และพบว่าไคโตซานชนิดเม็ดวุ้นสามารถดูดซับสารปรอททั้งสองชนิดได้ดีกว่าไคโตซานชนิดเม็ดแห้ง โดยที่ความสามารถในการดูดซับชนิดเม็ดวุ้นที่แต่ละความเข้มข้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่สำหรับไคโตซานชนิดเม็ดแห้ง ความสามารถในการดูดซับขึ้นกับค่าความเข้มข้นของไคโตซาน โดยที่ความสามารถในการดูดซับลดลง เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานมีค่ามากขึ้น



## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและสารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ- เฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ รุ่น CP-3800 Varain Co., Ltd. ประเทศเยอรมันนี

2) เครื่อง Thermal Desorber Cleaner บริษัท Masstech Innova รุ่น MT 106 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3) เครื่อง Thermal Desorber Unit บริษัท Perkin Elmer รุ่น UNITY ประเทศเยอรมัน

4) เครื่อง Personal air sampling pump ชนิด Low Flow บริษัท SKC รุ่น 224-PCXR8 ประเทศสหรัฐอเมริกา

5) เครื่อง Flow meter บริษัท SKC รุ่น 709 ประเทศสหรัฐอเมริกา

6) เครื่องกรองสุญญากาศ BU CHI รุ่น B-169 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

7) กระดาษกรอง ขนาด 0.2 ไมโครเมตร

8) เครื่องให้ความร้อน

9) เทอร์โมมิเตอร์

10) Sorbent tube (Stainless steel) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.25 นิ้ว ความยาว 3.5 นิ้ว บริษัท SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา

11) ขวด Duran ขนาด 1 ลิตร

12) เข็มฉีดยา (Syring) ขนาด 0.8 มิลลิเมตร

13) จุกยางดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว

14) Septum รุ่น TCSD REORDER P/N

15) พาราฟิล์ม

16) กระดาษฟลอยด์

17) เครื่องแก้วต่าง ๆ

##### 3.1.2 สารเคมี

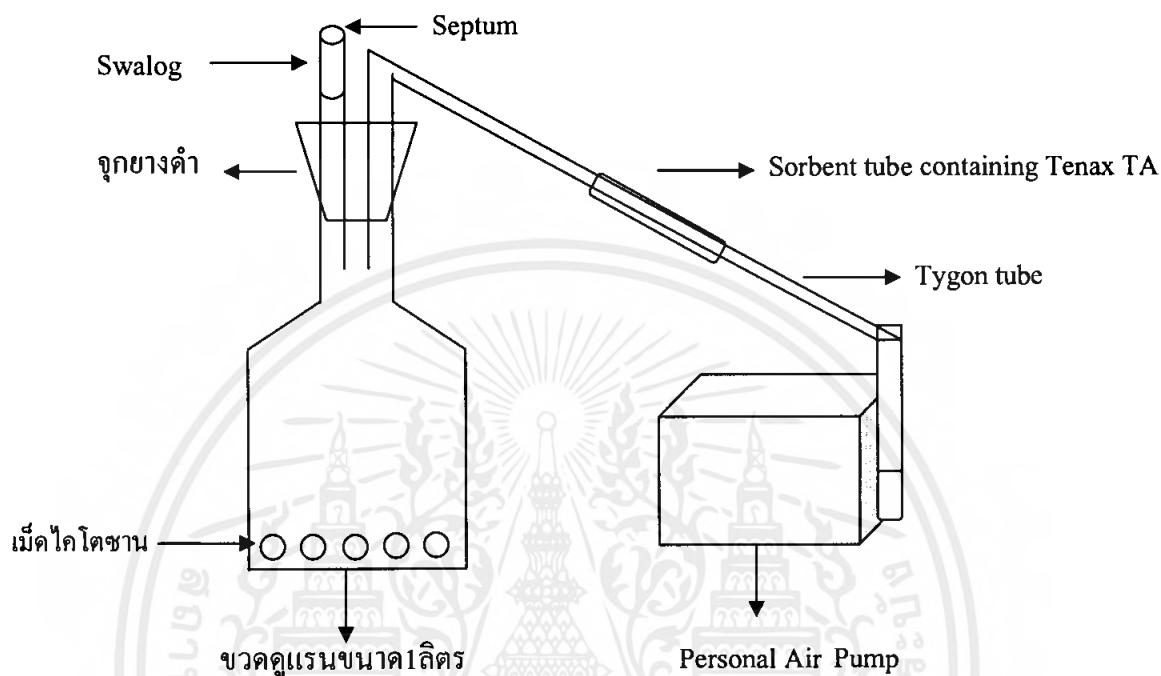
1) Chitosan 95% เกรดการค้า บริษัท Seafresh chitosan (Lab) Co., Ltd.

2) Acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd.

3) Sodium hydroxide (NaOH) เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) Sodium chloride (NaCl) เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
- 5) Benzene เกรดวิเคราะห์ VWR International Co., Ltd
- 6) Deionized water



รูปที่ 3.1 การเตรียมอุปกรณ์

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 การเตรียมเม็ดไคโตซาน (Chitosan Beads)

การเตรียมเม็ดไคโตซานปรับปรุงจากวิธีของนางสาวสุชาดา อัมพันธ์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สุชาดา, 2545) ดังนี้

1. ชั่งไคโตซาน 0.5 กรัม ละลายใน Acetic acid 1% จำนวน 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย viscous
2. หยดสารละลาย viscous ที่ได้จากข้อ 1 ลงในสารละลาย NaOH 1 M โดยใช้เข็มฉีดยา ขนาด 0.8 มิลลิเมตร สังเกตการฟอร์มตัวของเม็ดไคโตซาน
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาตรของ Acetic acid 1% เป็น 25, 100, 150 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4. เลือกสถานะที่ได้เม็ดโคโคซานลักษณะกลม ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง Whatmann No 42 จะได้เม็ดโคโคซาน
5. ล้างด้วย 0.9 % (w/v) NaCl โดยละลาย NaCl 0.9 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
6. เก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อไป โดยแช่ในน้ำกลั่น

### 3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมและทำความสะอาดหลอดดูดซับ (Sorbent Tube )

1. ในงานวิจัยนี้ใช้ Tenax TA เป็นตัวดูดซับเบนซิน โดยใช้หลอดดูดซับ (Sorbent tube ) มาตรฐาน ที่เตรียมโดยบริษัท SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. นำหลอดดูดซับที่บรรจุ Tenax TA ไปทำความสะอาดด้วยเครื่อง Thermal Desorber Cleaner (รูปที่ 3.2) ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
3. นำหลอดดูดซับมาตรฐานไปวัดค่าอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที) ด้วยเครื่อง Ultra flow โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็น Carrier gas
4. นำหลอดดูดซับที่ทำความสะอาดแล้วปิดปลายทั้งสองด้านด้วยฝาครอบ เพื่อนำไปเก็บตัวอย่างต่อไป (รูปที่ 3.3) โดยมีการตรวจสอบสารปนเปื้อนในหลอดดูดซับด้วยเครื่อง Thermal Desorption GC-FID ก่อนนำไปเก็บตัวอย่างทุกครั้ง



รูปที่ 3.2 เครื่องทำความสะอาดหลอดดูดซับที่ใช้งานแล้ว



รูปที่ 3.3 หลอดดูดซับสำหรับการเก็บตัวอย่างไอระเหยเบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การเตรียมไอระเหยเบนซิน

1. ดูดเบนซินเหลว โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 10 ไมโครลิตร จำนวน 10 ไมโครลิตร ลงในขวด Duran 1 ลิตร ห่อด้วยกระดาษฟลอยด์
2. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (รูปที่ 3.4)
3. ได้ไอระเหยเบนซิน ที่นำไปใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.4 การเตรียมไอระเหยเบนซิน

### 3.2.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

1. ทำการสอบเทียบอัตราการไหลของแก๊สโดยที่อัตราการไหล 100 ไมโครลิตรต่อนาที
2. เก็บไอระเหยของเบนซินเป็นเวลา 0.5 นาที จะได้ไอระเหยเบนซินที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม
3. นำ Sorbent tube ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption GC-FID โดยใช้สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3.1
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนเวลาการเก็บไอระเหยเบนซินเป็น 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 นาที จะได้ปริมาณไอระเหยเบนซิน 0.28, 0.39, 0.49, 0.81 และ 0.96 ไมโครกรัม ตามลำดับ
5. สร้างกราฟมาตรฐาน โดยพลอตระหว่างค่าพื้นที่ใต้กราฟและค่าปริมาณของไอระเหยเบนซิน (ไมโครกรัม)



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บไอระเหยของเบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบุคลากรเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นเอกสารที่เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

### ตารางที่ 3.1 สถานะการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption-GC-FID

สถานะในการเดินระบบ	
Gas Chromatograph (GC) : Varian model GC-CP 3800	
Detector	: Flame Ionization Detector (FID)
Column	: Rtx-5 30 m x 0.25 mm i.d. x 0.25 $\mu$ m (Crossbond 5% diphenyl-95% dimethyl polysiloxane)
Injector temperature	: 190 $^{\circ}$ C
oven temperature	: Initial temperature 50 $^{\circ}$ C hold for 1 min, ramp rate at 5 $^{\circ}$ C/min until 90 $^{\circ}$ C for 1 min then ramp rate 10 $^{\circ}$ C/min until 280 $^{\circ}$ C hold for 10 min
Detector temperature	: 250 $^{\circ}$ C
Carrier gas	: He , flow rate 2.6 ml/min
TDU Program	: Purge 1 minute : Desorb at 190 $^{\circ}$ C for 3 minutes : Cold trap -10 $^{\circ}$ C for 3 minutes heat to 300 $^{\circ}$ C to GC column

#### 3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซินโดยใช้เม็ดโคโคซาน ในการทดลองแบบเบซท์

##### 3.2.5.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน

1. เตรียมไอระเหยเบนซิน เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3
2. ชั่งเม็ดโคโคซานประมาณ 10.95 กรัม ลงในขวด Duran ที่มีจุกยางปิดสนิท ขนาด 1 ลิตรนำไปพ่นก๊าซ  $N_2$  เป็นเวลา 2 นาที ห่อขวดด้วยกระดาษฟลอยด์
3. ดูดไอระเหยเบนซินโดยใช้ gas type syringe จำนวน 10 ไมโครลิตร ลงในขวด Duran ที่มีเม็ดโคโคซานและมีจุกยางปิดสนิท
4. เขย่า 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างกัน ได้แก่ 5, 15, 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ
5. ใช้ปั๊มเก็บไอระเหยของเบนซินใน Sorbent tube ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ที่สถานะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ
6. นำ Sorbent tube ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption GC-FID โดยใช้สถานะดังแสดงในตารางที่ 3.1
7. ทำชุดควบคุม ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ไม่ใส่เม็ดโคโคซาน

### 3.2.5.2 ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน

1. เตรียมไอระเหยเบนซิน เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3
2. ชั่งเม็ดโคโคซาน 10.95 กรัม ลงในขวด Duran ที่มีจุกยางปิดสนิท ขนาด 1 ลิตร นำไปพ่นก๊าซ  $N_2$  ห่อขวดด้วยกระดาษฟลอยด์
3. คูดสารละลายเบนซินโดยใช้ gas type syringe จำนวน 0.5, 1, 3, 5 และ 10 ไมโครลิตร ลงในขวด Duran ที่มีเม็ดโคโคซานและมีจุกยางปิดสนิท
4. เขย่า 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.5.1 ทำการศึกษามาแล้วว่าเหมาะสมที่สุดในการดูดซับ
5. ใช้ปั๊มเก็บไอระเหยของเบนซินใน tube ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ
6. นำ tube ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption GC-FID โดยใช้สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3.1
7. ทำชุดควบคุม ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ไม่ใส่เม็ดโคโคซาน

### 3.2.5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดโคโคซานกับถ่านกัมมันต์ในการทดลองแบบเบสท์

1. เตรียมไอระเหยเบนซิน เช่นเดียวกับ 3.2.3
2. ชั่งผงถ่านกัมมันต์ 1.0 กรัม ลงในขวด Duran ที่มีจุกยางปิดสนิท ขนาด 1 ลิตร นำไปพ่นก๊าซ  $N_2$  ห่อขวดด้วยกระดาษฟลอยด์
3. คูดสารละลายเบนซิน โดยใช้ gas type syringe ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.5.2 ลงในขวด Duran ที่มีเม็ดโคโคซานและมีจุกยางปิดสนิท
4. เขย่า 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.5.1
5. ใช้ปั๊มเก็บไอระเหยของเบนซินใน Sorbent tube ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ
6. นำ Sorbent tube ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermal Desorption GC-FID โดยใช้สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3.1
7. เปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซินด้วยเม็ดโคโคซาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลของปริมาณกรดอะซิติคที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดโคโตซาน

ผลการทดลองการผลิตเม็ดโคโตซาน โดยการละลายผงโคโตซาน 0.5 กรัมในกรดอะซิติค 1% ที่ปริมาตรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 จากผลการทดลอง พบว่า ต้องใช้ปริมาณกรดอะซิติค 1% จำนวน 50 มิลลิลิตร (ตารางที่ 4.1) จึงจะได้เม็ดโคโตซานที่สมบูรณ์ (รูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณกรดอะซิติคที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดโคโตซาน

ปริมาณกรดอะซิติค (มิลลิลิตร)	ลักษณะการฟอร์มตัวของเม็ดโคโตซาน
25	โคโตซานละลายไม่สมบูรณ์
50	โคโตซานละลายสมบูรณ์ เมื่อหยดแล้วรวมตัวเป็นเม็ด
100	โคโตซานละลายสมบูรณ์ แต่เมื่อหยดแล้วรวมตัวเป็นแผ่น
150	โคโตซานละลายสมบูรณ์ แต่เมื่อหยดแล้วไม่รวมตัว



รูปที่ 4.1 เม็ดโคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการหาอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่าง

การทดลองนี้ใช้หลอดดูดซับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 นิ้ว ยาว 3.5 นิ้ว บรรจุ Tenax TA 50 มิลลิกรัม (หลอดดูดซับหลอดเดียวกันตลอดการทดลอง) และปิดปลายทั้งสองด้านด้วย Glass wool จากนั้น ภายหลังจากทำความสะอาดด้วยเครื่อง Thermal Desorber Cleaner แล้ววัดอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง Ultra flow จำนวน 10 ครั้ง ได้ผลอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการหาอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่าง

ครั้งที่	อัตราการไหลของหลอดดูดซับ (มิลลิลิตรต่อนาที)
1	101.95
2	100.98
3	102.16
4	100.94
5	102.43
6	100.66
7	100.58
8	100.25
9	100.20
10	100.98
อัตราการไหลเฉลี่ย	101.113
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.7933

### 4.3 ผลการหาความชื้นของเมล็ดโคโตซาน

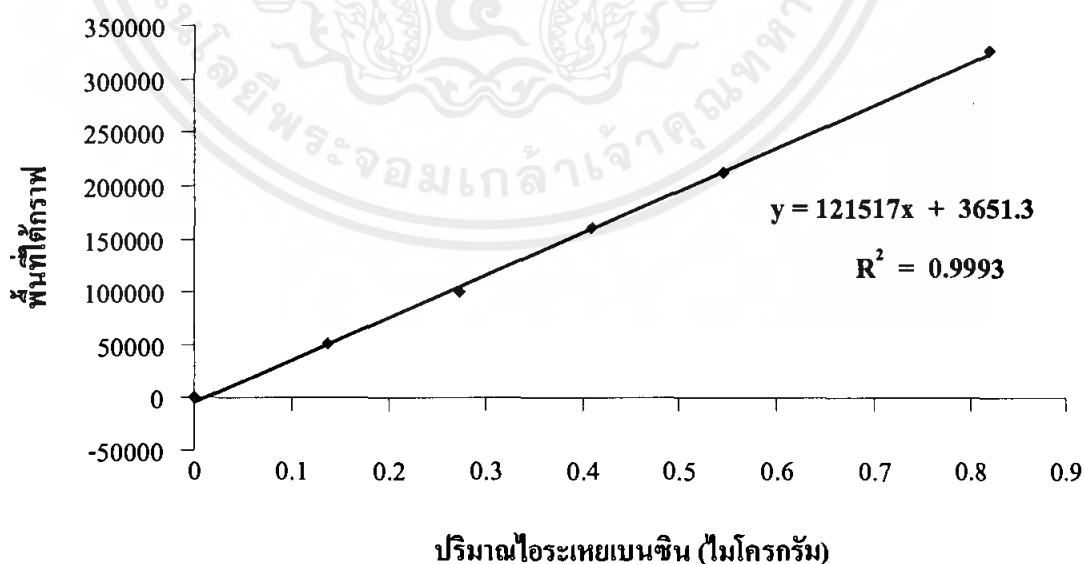
จากการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดโคโตซาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 (การคำนวณดูรายละเอียดในภาคผนวก ก. 1)

ตารางที่ 4.3 ผลการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดโคโตซาน

ครั้งที่	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เมล็ดโคโตซานก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เมล็ดโคโตซานหลังอบ (กรัม)	น้ำหนัก เมล็ดโคโตซานหลังอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น
1	32.4378	32.9083	0.4705	91.25
2	30.0177	30.5870	0.5693	89.87
3	29.4374	29.8877	0.4503	91.49
ค่าเฉลี่ย				90.87
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.98

ดังนั้นเมล็ดโคโตซานที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 90.87 เปอร์เซ็นต์

### 4.4 ผลของการเตรียมกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

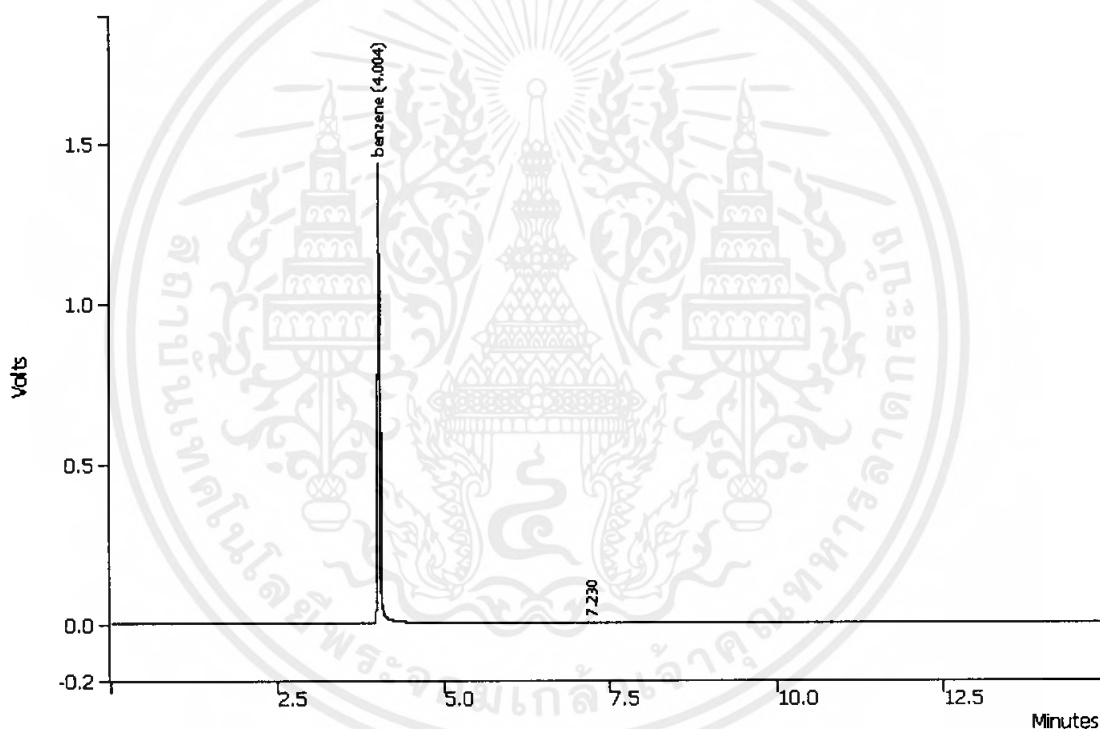


รูปที่ 4.2 กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเตรียมไอระเหยของเบนซินจากสารละลายเบนซิน 10 ไมโครลิตร ในขวด Duran ขนาด 1 ลิตร นำไปทำให้เป็นไอที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากการทำให้เบนซินกลายเป็นไอระเหยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (จุดเดือด) ของเบนซิน จะเกิดแรงดันภายในขวด ทำให้ดันจุกยางที่ปิดขวดหลุดออกมาพร้อมกับไอระเหยของเบนซิน ดังนั้น การทดลองนี้จึงเตรียมไอระเหยเบนซินที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก. 2)

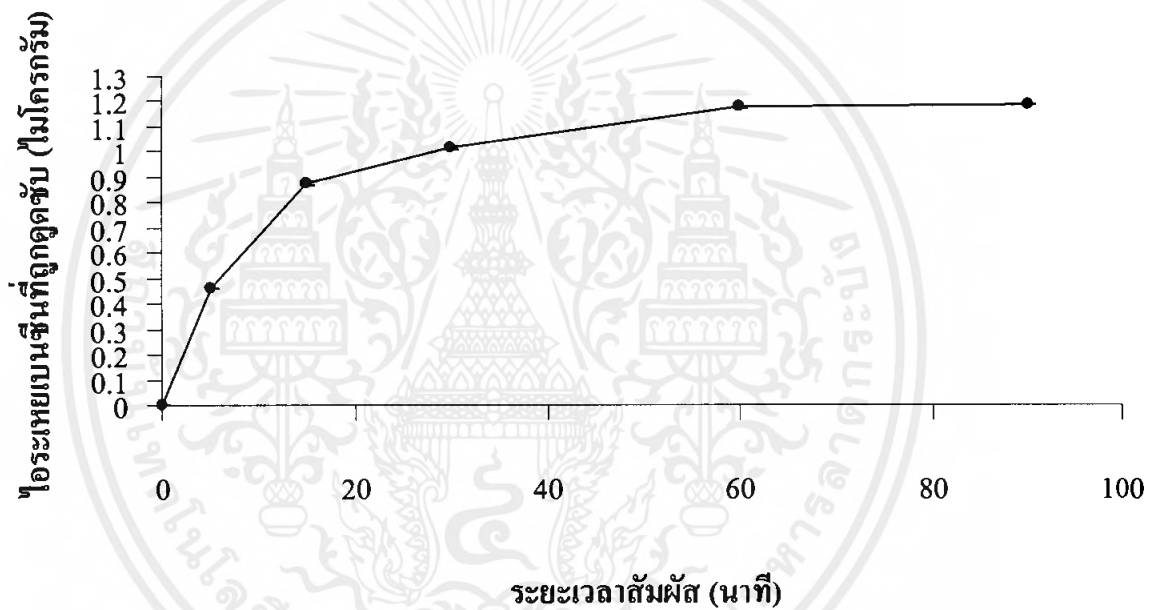
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน ได้จากการเก็บตัวอย่างเบนซินผ่านหลอดดูดซับที่อัตราการไหลเป็น 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 นาที ตามลำดับ ตัวอย่างโครมาโทแกรม แสดงดังรูปที่ 4.3 จะได้กราฟมาตรฐานเส้นตรง  $y = 121517x + 3651.3$  ที่มีค่า  $R^2 = 0.9993$  ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินในกราฟมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของไอระเหยเบนซินที่เวลาในการเก็บ 0.5 นาที อัตราการไหล มิลลิลิตรต่อนาที

#### 4.5 ผลของการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน ในการทดลองแบบเบบท์

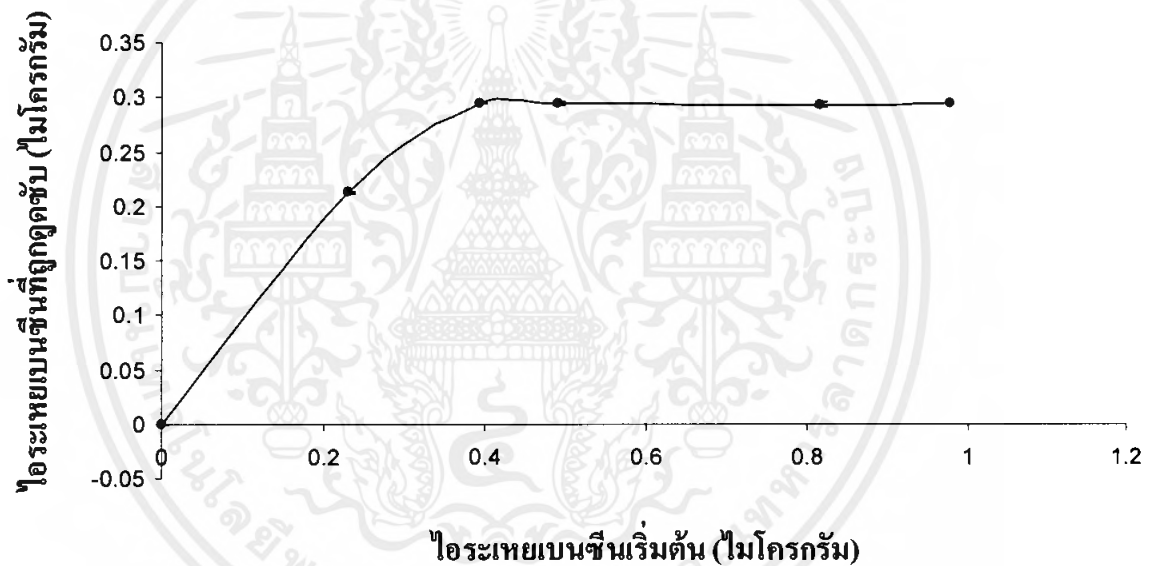
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน เมื่อความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเริ่มต้นมีค่าคงที่ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสให้มีค่ามากขึ้น ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็ดโคโคซาน จะมีค่ามากขึ้นด้วยและความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินจะเริ่มคงที่ ที่เวลาสัมผัส 60 นาที สามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้ 1.18 ไมโครกรัมต่อเม็ดโคโคซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก. 3)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับการดูดซับไอระเหยเบนซิน

#### 4.6 ผลของการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของไอระเหยเบนซินที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน ในการทดลองแบบแบทช์

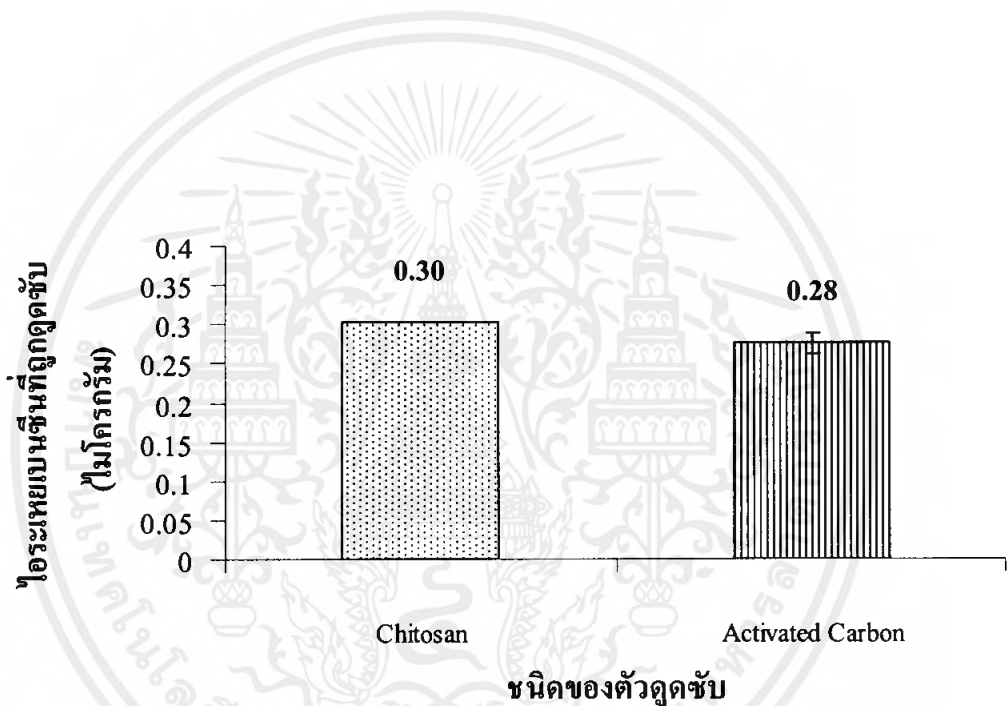
จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่ได้ จากการศึกษาความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเริ่มต้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซานเมื่อให้ระยะเวลาสัมพัทธ์มีค่า 60 นาที ซึ่งเป็นเวลาสัมพัทธ์ที่ทำการศึกษามาจากข้อ 4.4 แล้วว่า เม็ดโคโคซานสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้ดีที่สุด โดยพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของไอระเหยเบนซิน ไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับจะมีค่าคงที่ จากผลการศึกษา จะได้ว่าเม็ดโคโคซานสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอระเหยเบนซินมีค่าเท่ากับ 0.39 ไมโครกรัม



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างไอระเหยเบนซินเริ่มต้นกับการดูดซับไอระเหยเบนซิน

#### 4.7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดไคโตซานและผงถ่านกัมมันต์ในการทดลองแบบแบทช์

จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ที่มีน้ำหนักแห้ง 1 กรัม โดยใช้เวลาสัมผัส 60 นาที และความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเริ่มต้นเท่ากับ 0.39 ไมโครกรัม พบว่า ไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับโดยเม็ดไคโตซานมีค่าเท่ากับ 0.30 ไมโครกรัม หรือร้อยละ 75.28 และผงถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 0.28 ไมโครกรัม หรือร้อยละ 71.57 นั่นคือ เม็ดไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินดีกว่าผงถ่านกัมมันต์เล็กน้อย

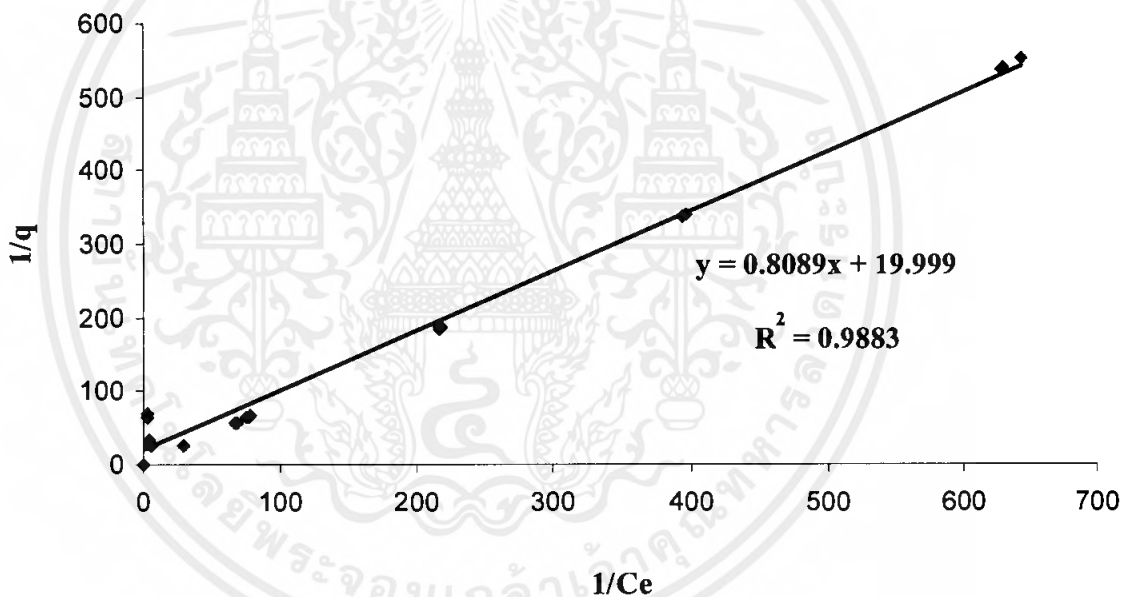


รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดไคโตซานและผงถ่านกัมมันต์

#### 4.8 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับไอระเหยเบนซีนของเม็ดโคโคซาน

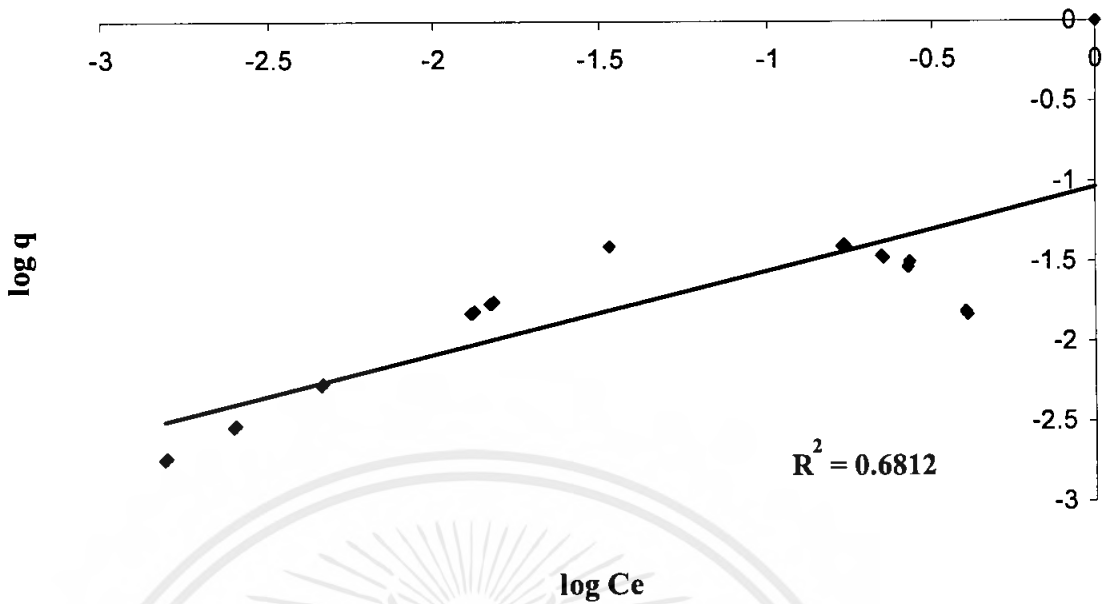
จากการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับไอระเหยเบนซีนของเม็ดโคโคซาน สามารถนำไอโซเทอร์มของการดูดซับมาอธิบายลักษณะของการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เป็นการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟลูนลิก ตามลำดับ เพื่อนำไปใช้ในการอธิบายกระบวนการดูดซับไอระเหยเบนซีนของเม็ดโคโคซาน โดยที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์จะเป็นการพลอตกราฟระหว่าง ค่า  $1/C_e$  กับ ค่า  $1/q_e$  (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.1) และไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนลิกจะเป็นการพลอตกราฟระหว่าง ค่า  $\log C_e$  กับ ค่า  $\log q_e$  (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.2)

##### 4.8.1 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์



รูปที่ 4.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์

#### 4.8.2 ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนิค



รูปที่ 4.8 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนิค

จากรูปทั้งสองจะพบว่า กราฟแสดงไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9994 ส่วนกราฟแสดงไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนิคมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.6812 ดังนั้นการดูดซับของไอรอะเหยเบนซินบนเม็ดโคโคซานเป็นการดูดซับแบบแลงเมียร์ สามารถอธิบายการดูดซับได้ ดังนี้

- (1) การดูดซับของไอรอะเหยเบนซินบนพื้นผิวของเม็ดโคโคซานเป็นแบบชั้นเดียว
- (2) พื้นที่ผิวในการดูดซับมีจำนวนจำกัด และมีกลไกการดูดซับเหมือนกัน
- (3) พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
- (4) เมื่อดูดซับแล้วไอรอะเหยเบนซินจะไม่มี การเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงตำแหน่งกัน

พื้นผิวสัมผัสของเม็ดโคโคซาน รวมทั้งไม่มีผลกระทบหรือแรงกระทำต่อกันและกัน

$$\text{จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์} \quad 1/q = 1/K_d q_m (1/C_e) + 1/q_m$$

$$\text{สมการที่ได้คือ} \quad y = 0.8089x + 19.999$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) มีค่าเท่ากับ = 24.72 และปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สถานะอิ่มตัว ( $q_m$ ) มีค่าเท่ากับ = 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.1)

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

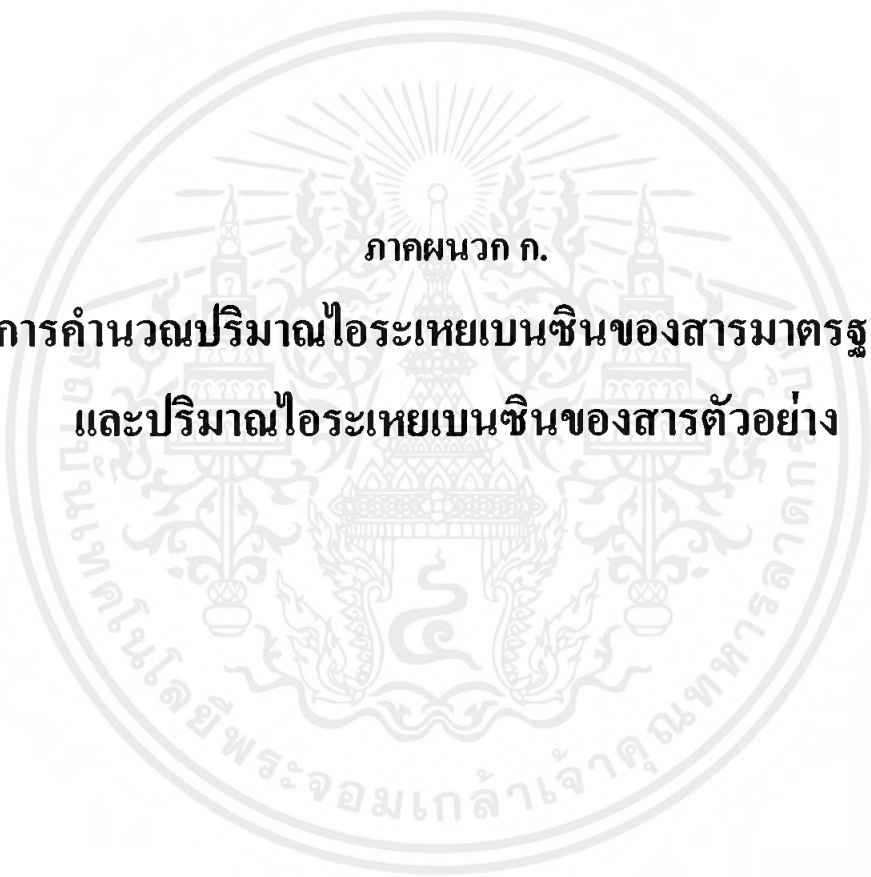
### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน ในการทดลองแบบแบทช์ โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ซึ่งประกอบด้วยเวลา สัมผัสและความเข้มข้นเบนซินเริ่มต้น จากนั้นจึงนำเวลาสัมผัสและความเข้มข้นเบนซินเริ่มต้นที่เหมาะสมดังกล่าว มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างเม็ดโคโคซานกับผงถ่านกัมมันต์ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า

1. เวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน คือ 60 นาที
2. ความเข้มข้นเบนซินเริ่มต้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน คือ 0.39 ไมโครกรัม
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซิน ระหว่างเม็ดโคโคซานกับผงถ่านกัมมันต์ พบว่าเม็ดโคโคซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซินดีกว่าผงถ่านกัมมันต์เล็กน้อย โดยเม็ดโคโคซานและผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 75.28 และร้อยละ 71.57 ตามลำดับ
4. จากการทดสอบไอโซเทอร์มของการดูดซับระหว่างไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟลูนลิก พบว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์เหมาะสมที่จะนำมาใช้อธิบายการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโคซาน

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของขนาดของเม็ดโคโคซาน ต่อการดูดซับไอระเหยเบนซิน
2. ศึกษาอายุการใช้งานของเม็ดโคโคซานในการดูดซับไอระเหยเบนซิน
3. เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของเบนซินของเม็ดโคโคซาน โดยนำไป immobilized เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไอระเหยเบนซินได้
4. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดโคโคซานกับไอระเหยของสารชนิดอื่น ๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



ภาคผนวก ก.

**การกำหนดปริมาณไอระเหยเบนซินของสารมาตรฐาน  
และปริมาณไอระเหยเบนซินของสารตัวอย่าง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็ดโคโตซาน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{[\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}]}{\text{น้ำหนักเปียก}} * 100$$

ตารางที่ ก. 1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็ดโคโตซาน

ครั้งที่	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เม็ดโคโตซานก่อนอบ	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เม็ดโคโตซานหลังอบ	น้ำหนัก เม็ดโคโตซานหลังอบ	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น
1	32.4378	32.9083	0.4705	91.25
2	30.0177	30.5870	0.5693	89.87
3	29.4374	29.8877	0.4503	91.49
ค่าเฉลี่ย				90.87
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.98

ดังนั้นเม็ดโคโตซานมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 90.87 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักแห้งเท่ากับ} & \quad 9.13 \text{ กรัม จากน้ำหนักเปียก } 100 \text{ กรัม} \\ \text{น้ำหนักแห้ง} & \quad 1 \text{ กรัม จากน้ำหนักเปียก } \frac{100 * 1 \text{ กรัม}}{9.13} \\ & \quad = 10.95 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงชั่งโคโตซานมาประมาณ 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเปียก มาทำการทดลองแบบเบบพทซ์

## ก.2 การสร้างกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

ตัวอย่าง การคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซิน(ไมโครกรัม) ที่ 25 องศาเซลเซียส  
เวลาในการเก็บตัวอย่าง 0.5 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที

การทดลองนี้เป็นการเตรียมไอระเหยเบนซินจากสารละลายเบนซิน โดยตั้งอยู่บสมมติฐาน  
ว่า สารละลายเบนซินทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นไอระเหยเบนซิน

ขาคูแวน

$$\begin{array}{r} \text{ปริมาตร 1,170 มิลลิลิตร} \quad \text{มีเบนซินเริ่มต้น} \quad 10 \quad \text{ไมโครลิตร} \\ \text{ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร} \quad \text{มีเบนซินเริ่มต้น} \quad \underline{10 \text{ ไมโครลิตร} * 1,000 \text{ มิลลิลิตร}} \\ \hspace{15em} 1,170 \text{ มิลลิลิตร} \\ = \hspace{15em} 8.55 \text{ ไมโครลิตร/ลิตร} \end{array}$$

เวลาในการเก็บตัวอย่าง 0.5 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที

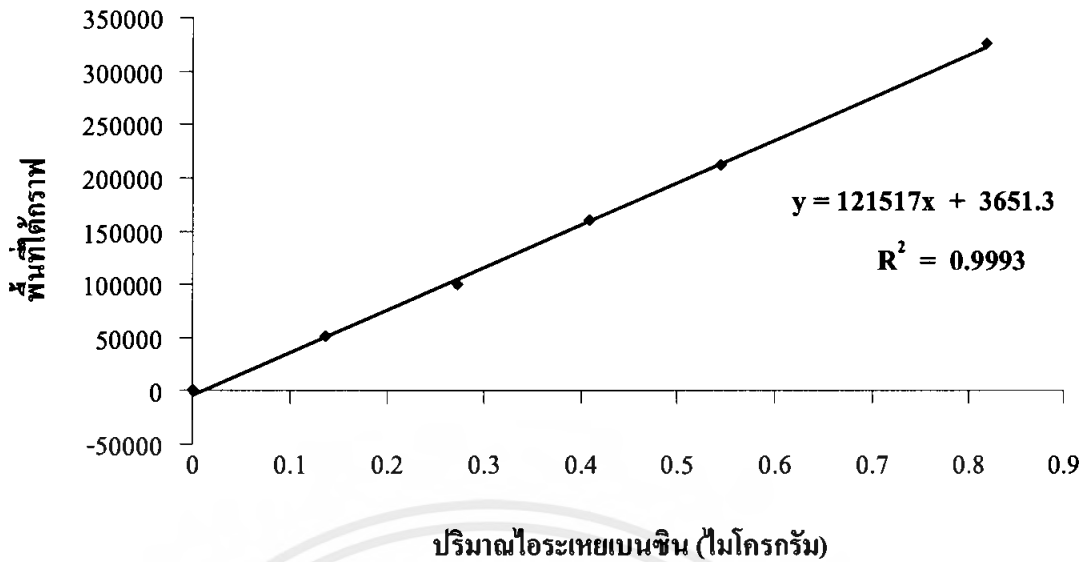
จะได้ปริมาตรรวมของไอระเหยเบนซินเท่ากับ 50 มิลลิลิตร

$$\begin{array}{r} \text{ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร} \quad \text{มีไอระเหยเบนซิน} \quad 8.55 \text{ ไมโครลิตร} \\ \text{ปริมาตร 50 มิลลิลิตร} \quad \text{มีไอระเหยเบนซิน} \quad \underline{8.55 \text{ ไมโครลิตร} * 50 \text{ มิลลิลิตร}} \\ \hspace{15em} 1,000 \text{ มิลลิลิตร} \\ = \hspace{15em} 0.43 \text{ ไมโครลิตร} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{จาก ความหนาแน่น} \quad = \quad \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \\ \text{มวล} \quad = \quad \text{ความหนาแน่น} * \text{ปริมาตร} \\ = \quad 3.19 \text{ กรัม/ลิตร} * 0.43 \text{ ไมโครลิตร} * 1 \text{ ลิตร} / 10^6 \text{ ไมโครลิตร} \\ = \quad 1.36 * 10^{-6} \text{ กรัม} \end{array}$$

ดังนั้น ที่ 25 องศาเซลเซียสมีปริมาณไอระเหยเบนซินเท่ากับ 1.36 ไมโครกรัม

จากนั้นจึงนำปริมาณไอระเหยเบนซินที่ได้เท่ากับ 1.36 ไมโครกรัม มาสร้างกราฟ  
มาตรฐานระหว่างปริมาณไอระเหยเบนซิน โดยพลอตค่าให้อยู่ในแกน x กับพื้นที่ได้กราฟ โดย  
พลอตให้อยู่ในแกน y จะได้กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

ก.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดโคโคซานในการทดลองแบบเบทซ์  
ตัวอย่าง การคำนวณหาความเข้มข้นของไอระเหยเบนซิน (ppb) จากกราฟมาตรฐาน  
ไอระเหยเบนซินที่ 25 องศาเซลเซียส

จาก

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ppb} &= \frac{\text{MW}}{24.45} \text{ หน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \\
 &= \frac{78.11}{24.45} \\
 &= 3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

จากรูปที่ ก.1 สมการจากกราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของไอระเหยเบนซิน  
คือ  $y = 127517x - 3651.3$   
โดยที่แกน y คือ พื้นที่ใต้กราฟ เราสามารถหาปริมาณไอระเหยเบนซิน ได้จากการแทนค่า y ใน  
สมการ ผลที่ได้คือค่า x ซึ่งก็คือปริมาณไอระเหยเบนซินในหน่วยไมโครกรัม

ตัวอย่าง ที่เวลาสัมผัส 5 นาที ระหว่างไอระเหยเบนซินกับเม็ดโคโคซาน

มีพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}
 y &= 103667 \text{ แทนค่าในสมการ ได้คือ} \\
 103667 + 3651.3 &= 127517x \\
 x &= 0.84160 \text{ ไมโครกรัม}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ} &= \text{ไอระเหยเบนซินเริ่มต้น} - \text{ไอระเหยเบนซินที่เหลือ} \\
 &= 1.30 - 0.84 \quad \text{ไมโครกรัม} \\
 &= 0.46 \quad \text{ไมโครกรัม}
 \end{aligned}$$

เมื่อไคโตซาน 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเปียกสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้ 0.46 ไมโครกรัม  
 แต่เมื่อไคโตซาน 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเปียก มีค่าเท่ากับไคโตซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง

ดังนั้นไคโตซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง สามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้เท่ากับ 0.46 ไมโครกรัม

แล้วจึงนำไปหาความเข้มข้น จากเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที ที่สภาวะอ้างอิงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

$$\text{ที่ 29 องศาเซลเซียส อากาศมีปริมาตร} = 204.73 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{อากาศ 204.73 มิลลิลิตร มีไอระเหยเบนซิน} = 0.46 \text{ ไมโครกรัม}$$

$$\text{ที่ 25 องศาเซลเซียส อากาศมีปริมาตร} = 202.23 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{อากาศ 202.23 มิลลิลิตร มีไอระเหยเบนซิน} = \frac{0.46 \text{ ไมโครกรัม} \times 202.23 \text{ มิลลิลิตร}}{204.73 \text{ มิลลิลิตร}}$$

$$= 0.45 \text{ ไมโครกรัม}$$

ดังนั้น ขวดดูเรนมีปริมาตร 1170 มิลลิลิตร

$$\text{มีไอระเหยเบนซิน} = \frac{1,170 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.45 \text{ ไมโครกรัม} \times 1,000 \text{ ลิตร}}{202.23 \text{ มิลลิลิตร}} \text{ ลบ.ม.}$$

$$= 2,621.29 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad 1 \text{ ppb} = \frac{MW}{24.45} \text{ หน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{คือ } 3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} = 1 \text{ ppb}$$

$$2,621.289 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} = \frac{2,621.29 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \times 1 \text{ ppb}}{3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}}$$

$$= 821.72 \text{ ppb}$$

ดังนั้นที่เวลาสัมผัส 5 นาที เมื่อไคโตซานสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้เท่ากับ 821.72 ppb

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโตซาน  
ในการทดลองแบบแบทช์

ตารางที่ ก. 2 พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็ดโคโตซาน ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ครั้งที่	เวลาสัมผัส (นาที)	พื้นที่ใต้กราฟ	ไอระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	5	103667	0.84	0.84	0.001
2		106741	0.83		
3		103668	0.84		
1	15	50056	0.42	0.42	0.004
2		51057	0.42		
3		50059	0.42		
1	30	32930	0.28	0.28	0.003
2		31975	0.27		
3		32168	0.28		
1	60	11714	0.12	0.12	0.003
2		12422	0.12		
3		11716	0.12		
1	90	10770	0.11	0.11	0.000
2		10890	0.11		
3		10687	0.11		

ตารางที่ ก.3 พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอรยะเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ที่ระยะเวลา สัมผัสต่างๆกัน

ครั้งที่	เวลาสัมผัส	พื้นที่ได้กราฟ	ไอรยะเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	5	165321	1.32	1.30	0.020
1	15	165432	1.32		
1	30	159987	1.28		
1	60	159874	1.28		
1	90	160169	1.28		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณหาปริมาณไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็ดโคโคซานที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน ในการทดลองแบบเบบเบทซ์

ครั้งที่	ระยะเวลาสัมผัส (นาท)	ไอรอะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	5	1.30	0.84	0.46	821.72	35.28	0.45	0.001
2		1.30	0.83	0.47	827.49	35.52		
3		1.30	0.84	0.46	821.70	35.27		
1	15	1.30	0.42	0.88	1574.90	67.61	0.87	0.004
2		1.30	0.42	0.88	1560.83	67.01		
3		1.30	0.42	0.88	1574.86	67.61		
1	30	1.30	0.28	1.02	1815.50	77.94	1.01	0.003
2		1.30	0.27	1.03	1828.92	78.51		
3		1.30	0.28	1.02	1826.21	78.40		
1	60	1.30	0.12	1.18	2113.56	90.73	1.17	0.003
2		1.30	0.12	1.18	2103.62	90.31		
3		1.30	0.12	1.18	2113.54	90.73		
1	90	1.30	0.11	1.19	2126.83	91.30	1.18	0.000
2		1.30	0.11	1.19	2125.14	91.23		
3		1.30	0.11	1.19	2127.99	91.35		

**การศึกษาความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอรยะเหยเบนซิน  
ของเม็ดโคโตะซาน ในการทดลองแบบเบทซ์**

**ตารางที่ ก.5** พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอรยะเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็ดโคโตะซาน ที่ความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้นต่างๆ กัน

ครั้งที่	ความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	พื้นที่ได้กราฟ	ไอรยะเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.23	5032	0.06	0.06	0.000
2		5021	0.06		
3		5040	0.06		
1	0.39	9101	0.10	0.10	0.000
2		9208	0.10		
3		9152	0.10		
1	0.49	21456	0.19	0.19	0.000
2		21478	0.19		
3		21569	0.19		
1	0.81	62579	0.51	0.52	0.001
2		62985	0.52		
3		62987	0.52		
1	0.98	82564	0.67	0.67	0.001
2		82456	0.67		
3		82145	0.67		

ตารางที่ ก.6 พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอร่หะเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ที่ความเข้มข้น  
ไอร่หะเหยเบนซินเริ่มขึ้นต่างๆ กัน

ครั้ง ที่	ความเข้มข้น ไอร่หะเหย เบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	พื้นที่ใต้กราฟ	ไอร่หะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.23096	32145	0.28	0.28	0.000
2		32178	0.28		
1	0.39489	46704	0.39	0.39	0.000
2		46705	0.39		
1	0.49162	59065	0.49	0.49	0.000
2		59012	0.49		
1	0.81493	100221	0.81	0.81	0.000
2		100312	0.81		
1	0.97726	119872	0.96	0.96	0.000
2		119847	0.96		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณหาปริมาณไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็ด ไคโดซานที่ความเข้มข้นไธระเหยเบนซินเริ่มต้นต่างๆ กัน ในการทดลองแบบเบทซ์

ครั้ง	ความเข้มข้นเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	0.28	0.28	0.06	0.22	381.14	75.75	0.21	0.000
2		0.28	0.06	0.22	381.29	75.78		
3		0.28	0.06	0.22	381.03	75.73		
1	0.39	0.39	0.10	0.28	528.29	74.68	0.29	0.000
2		0.39	0.10	0.29	526.78	74.46		
3		0.39	0.10	0.29	527.57	74.57		
1	0.49	0.49	0.19	0.30	527.99	59.95	0.29	0.000
2		0.49	0.19	0.30	527.68	59.91		
3		0.49	0.19	0.30	526.40	59.77		
1	0.81	0.81	0.51	0.30	529.47	36.27	0.29	0.001
2		0.81	0.52	0.29	523.76	35.88		
3		0.81	0.52	0.29	523.73	35.87		
1	0.96	0.96	0.67	0.29	523.96	30.20	0.29	0.001
2		0.96	0.67	0.29	525.48	30.28		
3		0.96	0.67	0.29	529.85	30.54		

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ในการทดลองแบบแบตช์**

**ตารางที่ ก.8** ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซิน ที่เหลือจากการดูดซับระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ ที่สภาวะเดียวกัน

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	พื้นที่ได้กราฟ	ไอระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	เม็ด	9012	0.09	0.09	0.000
2	โคโตซาน	9014	0.09		
3		9101	0.10		
1	ผงถ่าน	10247	0.10	0.11	0.001
2	กัมมันต์	10401	0.11		
3		10568	0.11		

**ตารางที่ ก.9** พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซิน ระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	พื้นที่ได้กราฟ	ไอระเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	เม็ด	47509	0.40	0.40	0.002
2	โคโตซาน	47890	0.40		
1	ผงถ่าน	45687	0.40	0.40	0.001
2	กัมมันต์	45902	0.40		

ตารางที่ ก.10 ผลการคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับเปรียบเทียบระหว่างการใช้เม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์  
ที่สภาวะเดียวกัน ในการทดลองแบบแบตช์

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	ไอระเหยเบนซิน เริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	เม็ด	0.40	0.09	0.31	543.52	75.33	0.30	0.002
2	ไคโตซาน	0.40	0.09	0.31	543.49	75.33		
3		0.40	0.10	0.30	542.27	75.16		
1	ผงถ่าน	0.40	0.13	0.27	499.40	71.89	0.56	0.001
2	กัมมันต์	0.40	0.13	0.27	497.24	71.58		
3		0.40	0.13	0.27	494.89	71.24		



ภาคผนวก ข.

## การกำหนดการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข.1 การคำนวณหาค่าคงที่ของการดูดซับและปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว**

จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์  $1/q = 1/K_d q_m (1/C_e) + 1/q_m$   
 สมการที่ได้คือ  $y = 0.8089x + 19.999$

จัดให้อยู่ในรูปสมการการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดังนี้

$$1/q = 0.8089 (1/C_e) + 19.999$$

$$q_m = 1/19.999$$

$$q_m = 0.05 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$1/K_d q_m = 0.8089$$

$$K_d = 1/(0.05 * 0.8089)$$

$$K_d = 24.72$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) มีค่าเท่ากับ = 24.72 และปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว ( $q_m$ ) มีค่าเท่ากับ = 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.1 การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซีนแบบแลงเมียร์

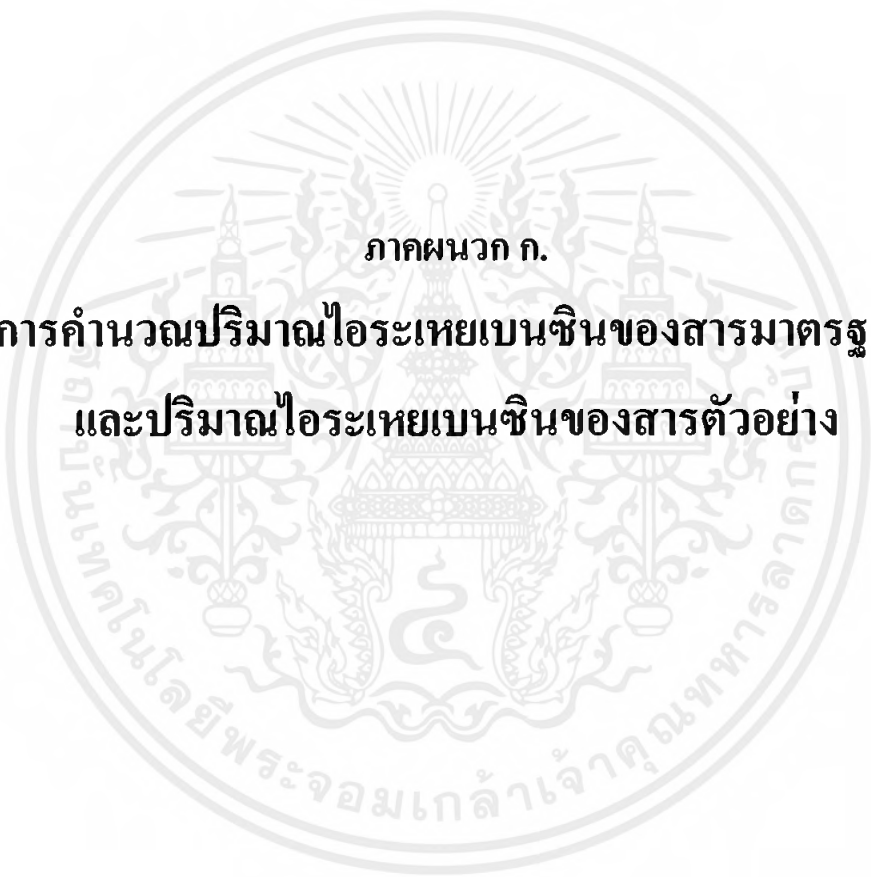
ครั้งที่	W (g)	V (ml)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	Q	1/Ce	1/q
1	10.98	1170	0.54159	0.397421	0.015404	2.516225	64.91658
2	10.95	1170	0.54159	0.404998	0.014555	2.469149	68.70534
3	11.12	1170	0.54159	0.397423	0.015169	2.516209	65.92555
1	11.15	1170	0.54159	0.265277	0.028994	3.76965	34.48952
2	10.10	1170	0.54159	0.267744	0.031723	3.734911	31.52311
3	10.98	1170	0.54159	0.265284	0.029442	3.769545	33.96458
1	11.21	1170	0.54159	0.223063	0.033245	4.483033	30.07973
2	11.06	1170	0.54159	0.220709	0.033945	4.530846	29.45952
3	11.02	1170	0.54159	0.221185	0.034018	4.521101	29.39656
1	10.99	1170	0.54159	0.170769	0.039478	5.855877	25.33069
2	10.87	1170	0.54159	0.172514	0.039726	5.796639	25.17257
3	10.79	1170	0.54159	0.170774	0.040209	5.855708	24.87005
1	11.09	1170	0.54159	0.168442	0.039367	5.936769	25.40179
2	11.05	1170	0.54159	0.168738	0.039478	5.926363	25.33025
3	11.06	1170	0.54159	0.168237	0.039496	5.943989	25.31919
1	10.90	1170	0.179127	0.033647	0.039367	29.72009	25.40179
2	10.99	1170	0.179127	0.033742	0.039478	29.63639	25.33025
3	10.87	1170	0.179127	0.033757	0.039496	29.62346	25.31919
1	11.13	1170	0.192565	0.001589	0.001859	629.3964	537.9456
2	11.10	1170	0.192565	0.001555	0.001819	643.2913	549.8216
3	11.05	1170	0.192565	0.001594	0.001865	627.3962	536.2361
1	10.97	1170	0.229844	0.002537	0.002968	394.1625	336.891
2	10.96	1170	0.229844	0.00252	0.002949	396.8064	339.1507
3	10.99	1170	0.229844	0.002544	0.002976	393.0793	335.9652
1	11.08	1170	0.340514	0.004632	0.005419	215.8995	184.5295
2	11.15	1170	0.340514	0.004607	0.00539	217.0823	185.5404
3	11.20	1170	0.340514	0.004621	0.005406	216.4086	184.9646
1	11.04	1170	0.39281	0.013249	0.015501	75.47942	64.51232
2	10.98	1170	0.39281	0.01295	0.015151	77.22181	66.00154
3	10.86	1170	0.39281	0.013106	0.015334	76.29945	65.2132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซินแบบฟลูนลิต

ครั้งที่	W (g)	V (ml)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	Q	log Ce	log q
1	10.98	1170	0.54159	0.397421	0.015404	-0.40075	-1.81236
2	10.95	1170	0.54159	0.404998	0.014555	-0.39255	-1.83699
3	11.12	1170	0.54159	0.397423	0.015169	-0.40075	-1.81905
1	11.15	1170	0.54159	0.265277	0.028994	-0.5763	-1.53769
2	10.10	1170	0.54159	0.267744	0.031723	-0.57228	-1.49863
3	10.98	1170	0.54159	0.265284	0.029442	-0.57629	-1.53103
1	11.21	1170	0.54159	0.223063	0.033245	-0.65157	-1.47827
2	11.06	1170	0.54159	0.220709	0.033945	-0.65618	-1.46923
3	11.02	1170	0.54159	0.221185	0.034018	-0.65524	-1.4683
1	10.99	1170	0.54159	0.170769	0.039478	-0.76759	-1.40365
2	10.87	1170	0.54159	0.172514	0.039726	-0.76318	-1.40093
3	10.79	1170	0.54159	0.170774	0.040209	-0.76758	-1.39568
1	11.09	1170	0.54159	0.168442	0.039367	-0.77355	-1.40486
2	11.05	1170	0.54159	0.168738	0.039478	-0.77279	-1.40364
3	11.06	1170	0.54159	0.168237	0.039496	-0.77408	-1.40345
1	10.90	1170	0.179127	0.033647	0.039367	-1.47305	-1.40486
2	10.99	1170	0.179127	0.033742	0.039478	-1.47183	-1.40364
3	10.87	1170	0.179127	0.033757	0.039496	-1.47164	-1.40345
1	11.13	1170	0.192565	0.001589	0.001859	-2.79892	-2.73074
2	11.10	1170	0.192565	0.001555	0.001819	-2.80841	-2.74022
3	11.05	1170	0.192565	0.001594	0.001865	-2.79754	-2.72936
1	10.97	1170	0.229844	0.002537	0.002968	-2.59568	-2.52749
2	10.96	1170	0.229844	0.00252	0.002949	-2.59858	-2.53039
3	10.99	1170	0.229844	0.002544	0.002976	-2.59448	-2.52629
1	11.08	1170	0.340514	0.004632	0.005419	-2.33425	-2.26607
2	11.15	1170	0.340514	0.004607	0.00539	-2.33662	-2.26844
3	11.20	1170	0.340514	0.004621	0.005406	-2.33527	-2.26709
1	11.04	1170	0.39281	0.013249	0.015501	-1.87783	-1.80964
2	10.98	1170	0.39281	0.01295	0.015151	-1.88774	-1.81955
3	10.86	1170	0.39281	0.013106	0.015334	-1.88252	-1.81434

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

**การคำนวณปริมาณไอระเหยเบนซินของสารมาตรฐาน  
และปริมาณไอระเหยเบนซินของสารตัวอย่าง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็ดโคโตซาน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{[\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}]}{\text{น้ำหนักเปียก}} * 100$$

ตารางที่ ก. 1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเม็ดโคโตซาน

ครั้งที่	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เม็ดโคโตซานก่อนอบ	น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง+ เม็ดโคโตซานหลังอบ	น้ำหนัก เม็ดโคโตซานหลังอบ	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น
1	32.4378	32.9083	0.4705	91.25
2	30.0177	30.5870	0.5693	89.87
3	29.4374	29.8877	0.4503	91.49
ค่าเฉลี่ย				90.87
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.98

ดังนั้นเม็ดโคโตซานมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 90.87 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักแห้งเท่ากับ} & \quad 9.13 \text{ กรัม จากน้ำหนักเปียก } 100 \text{ กรัม} \\ \text{น้ำหนักแห้ง} & \quad 1 \text{ กรัม จากน้ำหนักเปียก } \frac{100 * 1 \text{ กรัม}}{9.13} \\ & \quad = 10.95 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงชั่งโคโตซานมาประมาณ 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเปียก มาทำการทดลองแบบเบบพทซ์

## ก.2 การสร้างกราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน

ตัวอย่าง การคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซิน(ไมโครกรัม) ที่ 25 องศาเซลเซียส  
เวลาในการเก็บตัวอย่าง 0.5 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที

การทดลองนี้เป็นการเตรียมไอระเหยเบนซินจากสารละลายเบนซิน โดยตั้งอยู่บสมมติฐาน  
ว่า สารละลายเบนซินทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นไอระเหยเบนซิน

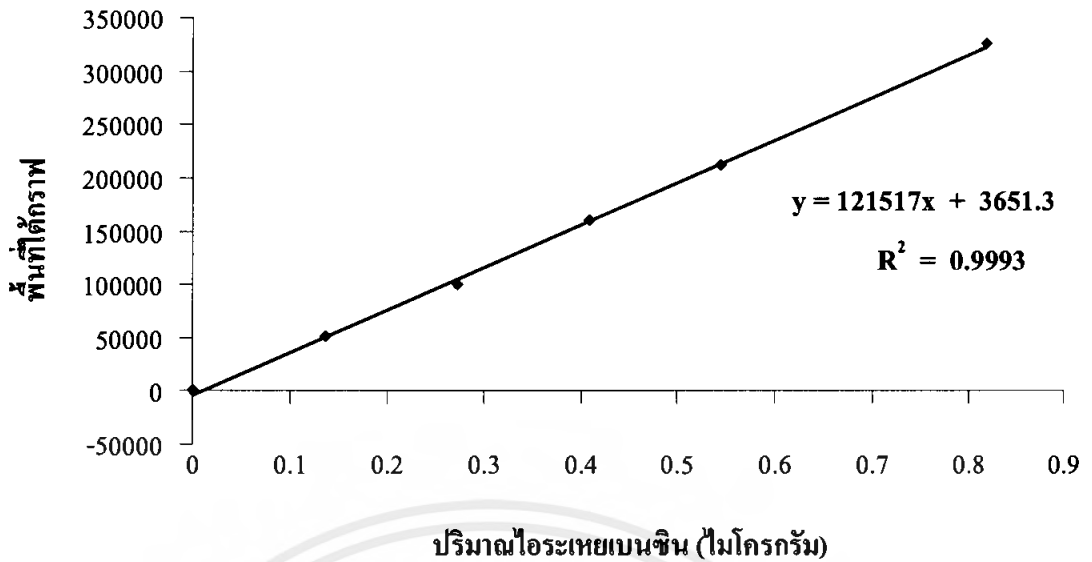
ขาคดูเรน

$$\begin{array}{r}
 \text{ปริมาตร 1,170 มิลลิลิตร} \quad \text{มีเบนซินเริ่มต้น} \quad 10 \quad \text{ไมโครลิตร} \\
 \text{ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร} \quad \text{มีเบนซินเริ่มต้น} \quad \underline{10 \text{ ไมโครลิตร} * 1,000 \text{ มิลลิลิตร}} \\
 \hspace{15em} 1,170 \text{ มิลลิลิตร} \\
 = \hspace{15em} 8.55 \text{ ไมโครลิตร/ลิตร} \\
 \text{เวลาในการเก็บตัวอย่าง 0.5 นาที} \quad \text{อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที} \\
 \text{จะได้ปริมาตรรวมของไอระเหยเบนซินเท่ากับ 50 มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร} \quad \text{มีไอระเหยเบนซิน} \quad 8.55 \text{ ไมโครลิตร} \\
 \text{ปริมาตร 50 มิลลิลิตร} \quad \text{มีไอระเหยเบนซิน} \quad \underline{8.55 \text{ ไมโครลิตร} * 50 \text{ มิลลิลิตร}} \\
 \hspace{15em} 1,000 \text{ มิลลิลิตร} \\
 = \hspace{15em} 0.43 \text{ ไมโครลิตร}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{จาก ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \\
 \text{มวล} = \text{ความหนาแน่น} * \text{ปริมาตร} \\
 = 3.19 \text{ กรัม/ลิตร} * 0.43 \text{ ไมโครลิตร} * 1 \text{ ลิตร} / 10^6 \text{ ไมโครลิตร} \\
 = 1.36 * 10^{-6} \text{ กรัม}
 \end{array}$$

ดังนั้น ที่ 25 องศาเซลเซียสมีปริมาณไอระเหยเบนซินเท่ากับ 1.36 ไมโครกรัม

จากนั้นจึงนำปริมาณไอระเหยเบนซินที่ได้เท่ากับ 1.36 ไมโครกรัม มาสร้างกราฟ  
มาตรฐานระหว่างปริมาณไอระเหยเบนซิน โดยพลอตค่าให้อยู่ในแกน x กับพื้นที่ได้กราฟ โดย  
พลอตให้อยู่ในแกน y จะได้กราฟมาตรฐานไอระเหยเบนซิน ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน ไอระเหยเบนซิน

ก.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดโคโคซานในการทดลองแบบเบทซ์  
ตัวอย่าง การคำนวณหาความเข้มข้นของไอระเหยเบนซิน (ppb) จากกราฟมาตรฐาน  
ไอระเหยเบนซินที่ 25 องศาเซลเซียส

จาก

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ppb} &= \frac{\text{MW}}{24.45} \text{ หน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \\
 &= \frac{78.11}{24.45} \\
 &= 3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

จากรูปที่ ก.1 สมการจากกราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของไอระเหยเบนซิน  
คือ  $y = 127517x - 3651.3$   
โดยที่แกน y คือ พื้นที่ใต้กราฟ เราสามารถหาปริมาณไอระเหยเบนซิน ได้จากการแทนค่า y ใน  
สมการ ผลที่ได้คือค่า x ซึ่งก็คือปริมาณไอระเหยเบนซินในหน่วยไมโครกรัม

ตัวอย่าง ที่เวลาสัมผัส 5 นาที ระหว่างไอระเหยเบนซินกับเม็ดโคโคซาน

มีพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}
 y &= 103667 \text{ แทนค่าในสมการ ได้คือ} \\
 103667 + 3651.3 &= 127517x \\
 x &= 0.84160 \text{ ไมโครกรัม}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ} &= \text{ไอระเหยเบนซินเริ่มต้น} - \text{ไอระเหยเบนซินที่เหลือ} \\
 &= 1.30 - 0.84 \quad \text{ไมโครกรัม} \\
 &= 0.46 \quad \text{ไมโครกรัม}
 \end{aligned}$$

เมื่อโคโคซาน 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเป็ยกสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้ 0.46 ไมโครกรัม  
แต่เมื่อโคโคซาน 10.95 กรัม โดยน้ำหนักเป็ยก มีค่าเท่ากับโคโคซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง

ดังนั้นโคโคซาน 1 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง สามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้เท่ากับ 0.46 ไมโครกรัม

แล้วจึงนำไปหาความเข้มข้น จากเวลาในการเก็บตัวอย่าง 2 นาที อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร/นาที ที่สภาวะอ้างอิงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

$$\text{ที่ 29 องศาเซลเซียส อากาศมีปริมาตร} = 204.73 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{อากาศ 204.73 มิลลิลิตร มีไอระเหยเบนซิน} = 0.46 \text{ ไมโครกรัม}$$

$$\text{ที่ 25 องศาเซลเซียส อากาศมีปริมาตร} = 202.23 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{อากาศ 202.23 มิลลิลิตร มีไอระเหยเบนซิน} = \frac{0.46 \text{ ไมโครกรัม} \times 202.23 \text{ มิลลิลิตร}}{204.73 \text{ มิลลิลิตร}}$$

$$= 0.45 \text{ ไมโครกรัม}$$

ดังนั้น ขวดดูเรนมีปริมาตร 1170 มิลลิลิตร

$$\text{มีไอระเหยเบนซิน} = \frac{1,170 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.45 \text{ ไมโครกรัม} \times 1,000 \text{ ลิตร}}{202.23 \text{ มิลลิลิตร}} \text{ ลบ.ม.}$$

$$= 2,621.29 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad 1 \text{ ppb} = \frac{MW}{24.45} \text{ หน่วย ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{คือ } 3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} = 1 \text{ ppb}$$

$$2,621.289 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} = \frac{2,621.29 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \times 1 \text{ ppb}}{3.19 \text{ ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร}}$$

$$= 821.72 \text{ ppb}$$

ดังนั้นที่เวลาสัมผัส 5 นาที เมื่อโคโคซานสามารถดูดซับไอระเหยเบนซินได้เท่ากับ 821.72 ppb

การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไอระเหยเบนซินของเม็ดโคโตซาน  
ในการทดลองแบบแบทช์

ตารางที่ ก. 2 พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็ดโคโตซาน ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ครั้งที่	เวลาสัมผัส (นาที)	พื้นที่ใต้กราฟ	ไอระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	5	103667	0.84	0.84	0.001
2		106741	0.83		
3		103668	0.84		
1	15	50056	0.42	0.42	0.004
2		51057	0.42		
3		50059	0.42		
1	30	32930	0.28	0.28	0.003
2		31975	0.27		
3		32168	0.28		
1	60	11714	0.12	0.12	0.003
2		12422	0.12		
3		11716	0.12		
1	90	10770	0.11	0.11	0.000
2		10890	0.11		
3		10687	0.11		

ตารางที่ ก.3 พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอรยะเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ที่ระยะเวลา สัมผัสต่างๆกัน

ครั้งที่	เวลาสัมผัส	พื้นที่ได้กราฟ	ไอรยะเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	5	165321	1.32	1.30	0.020
1	15	165432	1.32		
1	30	159987	1.28		
1	60	159874	1.28		
1	90	160169	1.28		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณหาปริมาณไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็ดโคโคซานที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน ในการทดลองแบบเบบเบทซ์

ครั้งที่	ระยะเวลาสัมผัส (นาท)	ไอรอะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไอรอะเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	5	1.30	0.84	0.46	821.72	35.28	0.45	0.001
2		1.30	0.83	0.47	827.49	35.52		
3		1.30	0.84	0.46	821.70	35.27		
1	15	1.30	0.42	0.88	1574.90	67.61	0.87	0.004
2		1.30	0.42	0.88	1560.83	67.01		
3		1.30	0.42	0.88	1574.86	67.61		
1	30	1.30	0.28	1.02	1815.50	77.94	1.01	0.003
2		1.30	0.27	1.03	1828.92	78.51		
3		1.30	0.28	1.02	1826.21	78.40		
1	60	1.30	0.12	1.18	2113.56	90.73	1.17	0.003
2		1.30	0.12	1.18	2103.62	90.31		
3		1.30	0.12	1.18	2113.54	90.73		
1	90	1.30	0.11	1.19	2126.83	91.30	1.18	0.000
2		1.30	0.11	1.19	2125.14	91.23		
3		1.30	0.11	1.19	2127.99	91.35		

**การศึกษาความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอรยะเหยเบนซิน  
ของเม็ดโคโคซาน ในการทดลองแบบเบทซ์**

**ตารางที่ ก.5** พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอรยะเหยเบนซินที่เหลือจากการดูดซับของเม็ดโคโคซาน ที่ความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้นต่างๆ กัน

ครั้งที่	ความเข้มข้นไอรยะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	พื้นที่ได้กราฟ	ไอรยะเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.23	5032	0.06	0.06	0.000
2		5021	0.06		
3		5040	0.06		
1	0.39	9101	0.10	0.10	0.000
2		9208	0.10		
3		9152	0.10		
1	0.49	21456	0.19	0.19	0.000
2		21478	0.19		
3		21569	0.19		
1	0.81	62579	0.51	0.52	0.001
2		62985	0.52		
3		62987	0.52		
1	0.98	82564	0.67	0.67	0.001
2		82456	0.67		
3		82145	0.67		

ตารางที่ ก.6 พื้นที่ใต้กราฟและปริมาณไอร่หะเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ที่ความเข้มข้น  
ไอร่หะเหยเบนซินเริ่มขึ้นต่างๆ กัน

ครั้ง ที่	ความเข้มข้น ไอร่หะเหย เบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	พื้นที่ใต้กราฟ	ไอร่หะเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.23096	32145	0.28	0.28	0.000
2		32178	0.28		
1	0.39489	46704	0.39	0.39	0.000
2		46705	0.39		
1	0.49162	59065	0.49	0.49	0.000
2		59012	0.49		
1	0.81493	100221	0.81	0.81	0.000
2		100312	0.81		
1	0.97726	119872	0.96	0.96	0.000
2		119847	0.96		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณหาปริมาณไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับของเม็ด โคลโคซานที่ความเข้มข้นไธระเหยเบนซินเริ่มต้นต่างๆ กัน ในการทดลองแบบเบทซ์

ครั้ง	ความเข้มข้นเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไธระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	0.28	0.28	0.06	0.22	381.14	75.75	0.21	0.000
2		0.28	0.06	0.22	381.29	75.78		
3		0.28	0.06	0.22	381.03	75.73		
1	0.39	0.39	0.10	0.28	528.29	74.68	0.29	0.000
2		0.39	0.10	0.29	526.78	74.46		
3		0.39	0.10	0.29	527.57	74.57		
1	0.49	0.49	0.19	0.30	527.99	59.95	0.29	0.000
2		0.49	0.19	0.30	527.68	59.91		
3		0.49	0.19	0.30	526.40	59.77		
1	0.81	0.81	0.51	0.30	529.47	36.27	0.29	0.001
2		0.81	0.52	0.29	523.76	35.88		
3		0.81	0.52	0.29	523.73	35.87		
1	0.96	0.96	0.67	0.29	523.96	30.20	0.29	0.001
2		0.96	0.67	0.29	525.48	30.28		
3		0.96	0.67	0.29	529.85	30.54		

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซินระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ในการทดลองแบบแบตช์**

**ตารางที่ ก.8** ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซิน ที่เหลือจากการดูดซับระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์ ที่สภาวะเดียวกัน

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	พื้นที่ได้กราฟ	ไอระเหยเบนซินที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	เม็ด	9012	0.09	0.09	0.000
2	โคโตซาน	9014	0.09		
3		9101	0.10		
1	ผงถ่าน	10247	0.10	0.11	0.001
2	กัมมันต์	10401	0.11		
3		10568	0.11		

**ตารางที่ ก.9** พื้นที่ได้กราฟและปริมาณไอระเหยเบนซินเริ่มต้นของตัวควบคุม ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซิน ระหว่างเม็ดโคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	พื้นที่ได้กราฟ	ไอระเหยเบนซินเริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	เม็ด	47509	0.40	0.40	0.002
2	โคโตซาน	47890	0.40		
1	ผงถ่าน	45687	0.40	0.40	0.001
2	กัมมันต์	45902	0.40		

ตารางที่ ก.10 ผลการคำนวณหาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับเปรียบเทียบระหว่างการใช้เม็ดไคโตซานกับผงถ่านกัมมันต์  
ที่สภาวะเดียวกัน ในการทดลองแบบแบตช์

ครั้งที่	ตัวดูดซับ	ไอระเหยเบนซิน เริ่มต้น (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่เหลือ (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม)	ไอระเหยเบนซิน ที่ถูกดูดซับ (ppb)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย (ไมโครกรัม)	S.D.
1	เม็ด	0.40	0.09	0.31	543.52	75.33	0.30	0.002
2	ไคโตซาน	0.40	0.09	0.31	543.49	75.33		
3		0.40	0.10	0.30	542.27	75.16		
1	ผงถ่าน	0.40	0.13	0.27	499.40	71.89	0.56	0.001
2	กัมมันต์	0.40	0.13	0.27	497.24	71.58		
3		0.40	0.13	0.27	494.89	71.24		



ภาคผนวก ข.

## การกำหนดการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข.1 การคำนวณหาค่าคงที่ของการดูดซับและปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว**

จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์  $1/q = 1/K_d q_m (1/C_e) + 1/q_m$   
 สมการที่ได้คือ  $y = 0.8089x + 19.999$

จัดให้อยู่ในรูปสมการการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} 1/q &= 0.8089 (1/C_e) + 19.999 \\ q_m &= 1/19.999 \\ q_m &= 0.05 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร} \\ 1/K_d q_m &= 0.8089 \\ K_d &= 1/(0.05 \cdot 0.8089) \\ K_d &= 24.72 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของการดูดซับ ( $K_d$ ) มีค่าเท่ากับ = 24.72 และปริมาณตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว ( $q_m$ ) มีค่าเท่ากับ = 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.1 การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซินแบบแลงเมียร์

ครั้งที่	W (g)	V (ml)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	Q	1/Ce	1/q
1	10.98	1170	0.54159	0.397421	0.015404	2.516225	64.91658
2	10.95	1170	0.54159	0.404998	0.014555	2.469149	68.70534
3	11.12	1170	0.54159	0.397423	0.015169	2.516209	65.92555
1	11.15	1170	0.54159	0.265277	0.028994	3.76965	34.48952
2	10.10	1170	0.54159	0.267744	0.031723	3.734911	31.52311
3	10.98	1170	0.54159	0.265284	0.029442	3.769545	33.96458
1	11.21	1170	0.54159	0.223063	0.033245	4.483033	30.07973
2	11.06	1170	0.54159	0.220709	0.033945	4.530846	29.45952
3	11.02	1170	0.54159	0.221185	0.034018	4.521101	29.39656
1	10.99	1170	0.54159	0.170769	0.039478	5.855877	25.33069
2	10.87	1170	0.54159	0.172514	0.039726	5.796639	25.17257
3	10.79	1170	0.54159	0.170774	0.040209	5.855708	24.87005
1	11.09	1170	0.54159	0.168442	0.039367	5.936769	25.40179
2	11.05	1170	0.54159	0.168738	0.039478	5.926363	25.33025
3	11.06	1170	0.54159	0.168237	0.039496	5.943989	25.31919
1	10.90	1170	0.179127	0.033647	0.039367	29.72009	25.40179
2	10.99	1170	0.179127	0.033742	0.039478	29.63639	25.33025
3	10.87	1170	0.179127	0.033757	0.039496	29.62346	25.31919
1	11.13	1170	0.192565	0.001589	0.001859	629.3964	537.9456
2	11.10	1170	0.192565	0.001555	0.001819	643.2913	549.8216
3	11.05	1170	0.192565	0.001594	0.001865	627.3962	536.2361
1	10.97	1170	0.229844	0.002537	0.002968	394.1625	336.891
2	10.96	1170	0.229844	0.00252	0.002949	396.8064	339.1507
3	10.99	1170	0.229844	0.002544	0.002976	393.0793	335.9652
1	11.08	1170	0.340514	0.004632	0.005419	215.8995	184.5295
2	11.15	1170	0.340514	0.004607	0.00539	217.0823	185.5404
3	11.20	1170	0.340514	0.004621	0.005406	216.4086	184.9646
1	11.04	1170	0.39281	0.013249	0.015501	75.47942	64.51232
2	10.98	1170	0.39281	0.01295	0.015151	77.22181	66.00154
3	10.86	1170	0.39281	0.013106	0.015334	76.29945	65.2132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับไอระเหยเบนซีนแบบฟลูนิต

ครั้งที่	W (g)	V (ml)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	Q	log Ce	log q
1	10.98	1170	0.54159	0.397421	0.015404	-0.40075	-1.81236
2	10.95	1170	0.54159	0.404998	0.014555	-0.39255	-1.83699
3	11.12	1170	0.54159	0.397423	0.015169	-0.40075	-1.81905
1	11.15	1170	0.54159	0.265277	0.028994	-0.5763	-1.53769
2	10.10	1170	0.54159	0.267744	0.031723	-0.57228	-1.49863
3	10.98	1170	0.54159	0.265284	0.029442	-0.57629	-1.53103
1	11.21	1170	0.54159	0.223063	0.033245	-0.65157	-1.47827
2	11.06	1170	0.54159	0.220709	0.033945	-0.65618	-1.46923
3	11.02	1170	0.54159	0.221185	0.034018	-0.65524	-1.4683
1	10.99	1170	0.54159	0.170769	0.039478	-0.76759	-1.40365
2	10.87	1170	0.54159	0.172514	0.039726	-0.76318	-1.40093
3	10.79	1170	0.54159	0.170774	0.040209	-0.76758	-1.39568
1	11.09	1170	0.54159	0.168442	0.039367	-0.77355	-1.40486
2	11.05	1170	0.54159	0.168738	0.039478	-0.77279	-1.40364
3	11.06	1170	0.54159	0.168237	0.039496	-0.77408	-1.40345
1	10.90	1170	0.179127	0.033647	0.039367	-1.47305	-1.40486
2	10.99	1170	0.179127	0.033742	0.039478	-1.47183	-1.40364
3	10.87	1170	0.179127	0.033757	0.039496	-1.47164	-1.40345
1	11.13	1170	0.192565	0.001589	0.001859	-2.79892	-2.73074
2	11.10	1170	0.192565	0.001555	0.001819	-2.80841	-2.74022
3	11.05	1170	0.192565	0.001594	0.001865	-2.79754	-2.72936
1	10.97	1170	0.229844	0.002537	0.002968	-2.59568	-2.52749
2	10.96	1170	0.229844	0.00252	0.002949	-2.59858	-2.53039
3	10.99	1170	0.229844	0.002544	0.002976	-2.59448	-2.52629
1	11.08	1170	0.340514	0.004632	0.005419	-2.33425	-2.26607
2	11.15	1170	0.340514	0.004607	0.00539	-2.33662	-2.26844
3	11.20	1170	0.340514	0.004621	0.005406	-2.33527	-2.26709
1	11.04	1170	0.39281	0.013249	0.015501	-1.87783	-1.80964
2	10.98	1170	0.39281	0.01295	0.015151	-1.88774	-1.81955
3	10.86	1170	0.39281	0.013106	0.015334	-1.88252	-1.81434

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ วงศ์วัชรอำพน, ชมพูนุช ธรรมรักษ์, พีรชา ธนวัฒนาวนิช และภุริวัฒน์ ลีสวัสดิ์.

การผลิตเปลือกแคปซูลแข็งจากแป้ง-ไคโตซาน. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545.

กรมควบคุมมลพิษ. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2548.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, มกราคม. 2548.

กรมควบคุมมลพิษ. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2550.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, มกราคม. 2550.

กองควบคุมวัตถุเสพติด สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. สมบัติของเบนซิน. 2550.

กุลวรา เหล่ากาวิ, ชลวิภา ขำรังสี, นิพนธ์ หงส์อิ่ง และภุริวัฒน์ ลีสวัสดิ์. การพัฒนาแผ่นซับหน้า  
มันจากไคโตซาน. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545.

บรมพล รัตโรจน์, รัตนันท์ วิโรจน์ฤทธิ. การเตรียมเยื่อแผ่นไคโตซาน. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2544.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. สารไคตินและไคโตซาน. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550.

ภัทรธาวุช สุขางกุล. ไคตินและไคโตซาน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
2544.

ภาวดี เมตะนันท์. ความรู้เกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2544.  
หน้า 10.

รัตนา และคณะ. การศึกษาประสิทธิภาพการแพร่ของโมเลกุลเบนซินในซีโอไลต์ที่ไม่มีอะลูมิเนียม.  
สาขาเคมี ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2548.

รัฐ พิษญาภรณ์. คุณสมบัติและกลไกการทำงานของสารไคติน-ไคโตซานที่สามารถเพิ่มผลผลิตทาง  
การเกษตร. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543. หน้า 4.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. เรื่องนำรู้ไคตินไคโตซาน. 2544.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). บทความเรื่องเบนซิน. 2550.

สุชาดา อำพันธ์. การดูดซับเมอร์คิวริกคลอไรด์และฟีนิลเมอร์คิวริกอะซิเตตจากสารละลายน้ำโดย  
ไคโตซานชนิดเม็ด. สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมีวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุวดี จันทร์กระจ่าง. การใช้ไคติน-ไคโตซานในประเทศไทย. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. ปทุมธานี. 2543. หน้า 5.
- อุสารัตน์ ภักดีคู่สุข.เอกสารประกอบการเรียนการสอนเคมีสิ่งแวดล้อม 1. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- Filar and Wirick . **Chitin and chitosan**.Chitosan Handbook. TSN 88-78453-05-3, 1978. 124-153.
- Maezaki Y., Tsuji K., and Nakagava Y. **Hypocholesterolemic effect of chitosan in adult males**. Biosc. Biotech. Biochem. 57 :1439-1444.
- Majeti N.V. Ravi Kumar. **A review of chitin and chitosan applications**. Reactive and Functional Polymers. 46 : 1-27.
- No,H.K.and Meyers,S.P. **Preparation of chitin and chitosan**.Chitosan Handbook. TSN 88-86889-01-1, 1997. 475-489.
- Peiselt .K.M. **Adsorption of copper in diesel oil by using chitin and chitosan** . Science polymer .90 : 34-67.
- Twu ,Y-K. **Adsorption of indomethacin onto chemically modified chitosan beads**. Science polymer. 17 : 85-98.
- Lertsutthiwong P. **Effect of chemical treatment on the characteristics of shrimp chitosan**.Journal of Metals,Materials and Minerals. 12 : 11.
- Shahidi F., Arachchi J.K.V. and Jeon Y.J . **Food applications of chitin and chitosan**. Trends in Food Sciences and Technology. 10 : 37-51.