

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

โดยใช้เอพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง

REMOVAL OF PHENOL IN WASTEWATER WITH CHITOSAN/POLY
(VINYL ALCOHOL) MEMBRANE AND USING EPICHLOROHYDRIN
AS CROSSLINKING AGENT



T117292



สงพ...
เลขทะเบียน... 117292
ในเดือนปี... 20 ก.ค. 2554

12 33 699
b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2553

**REMOVAL OF PHENOL IN WASTEWATER WITH CHITOSAN/POLY
(VINYL ALCOHOL) MEMBRANE AND USING EPICHLOROHYDRIN
AS CROSSLINKING AGENT**



MISS NAPASORN SEAN-IN

MISS PUSSADEE ROIKAEW

MISS WARANYA KOPRA

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN
INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE**

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAKHRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญใดเห็นาเบไซบระเฮชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **ACADEMIC YEAR 2010** ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
โดยใช้อีพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อม โยง
Removal of phenol in wastewater with chitosan/poly (vinyl alcohol) membrane
And using epichlorohydrin as crosslinking agent

ชื่อนักศึกษา นางสาวนภสร ศีรอินทร์
นางสาวสุสดี ร้อยแก้ว
นางสาวรัญญา โคพระ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงการ
พิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปี
การศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร	
ผศ.ดร.พัชณี เจริญยิ่ง	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง** ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้อีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง

นักศึกษา นางสาวนภสร เศียรอินทร์
นางสาวสุสดี ร้อยแก้ว
นางสาววิญญา โคพระ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อม โยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรนที่ได้ ได้แก่ ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิกลอโรไฮดริน แผ่นเมมเบรนที่เตรียมได้จะนำไปวัดค่าความแข็งแรงดึง การบวมตัว การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมี และการตรวจสอบลักษณะพื้นผิว จากนั้นแผ่นเมมเบรนที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดและต่ำสุดจะนำไปทำการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ เพื่อทำการหา pH และเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม

จากผลการทดลองพบว่า แผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 1:1:1 จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ไม่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สำหรับแผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 2:1:3 มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 การเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิกลอโรไฮดรินในไคโตซานมีผลทำให้ค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนลดลง เมื่อนำแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อม โยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินไปดูดซับฟีนอล พบว่าฟีนอลถูกดูดซับได้มากที่สุดที่ pH 4 และเวลาในการดูดซับ 150 นาที

คำสำคัญ : ไคโตซาน, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, อีพิกลอโรไฮดริน, ฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Removal of phenol in wastewater with chitosan/poly (vinyl alcohol) membrane

using epichlorohydrin as cross-linking agent.

Name Ms. Napasorn Sean-in

Ms. Pussadee Roikeaw

Ms. Waranya Kopra

Degree Bachelor of Science

Major Industrial Chemistry

Academic Year 2010

Advisor Dr.Amnat Permsubscul

ABSTRACT

This research aims to study the removal of phenol in wastewater with chitosan/poly (vinyl alcohol) membrane and using epichlorohydrin as cross-linking agent. The influence of the membrane preparation, namely amount of poly(vinyl alcohol) and epichlorohydrin were evaluated. The tensile strength, equilibrium water content, chemical characterization, and surface morphology of membrane were also determined. The optimum pH and time of adsorption were investigated by using membranes that have the highest and lowest tensile strength as adsorbent. inutes.

The results showed that tensile strength of membrane prepared from poly(vinyl alcohol), chitosan, and epichlorohydrin in the weight ratio of 1:1:1 higher than that of chitosan membrane without poly(vinyl alcohol). Chitosan membrane with epichlorohydrin in the weight ratio of 2:1:3 has lower tensile strength than that of 2:1:2. The increasing amount of poly(vinyl alcohol) and epichlorohydrin in chitosan membrane, the equilibrium water content was decreased. The optimum condition of phenol adsorption by epichlorohydrin-crosslinked chitosan/poly(vinyl alcohol) membrane was pH 4 and adsorption time of 150 minutes.

Keywords : chitosan, poly (vinyl alcohol), epichlorohydrin, phenol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ก็เพราะความกรุณาจาก ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำชี้แนะและความรู้ ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาให้คำปรึกษาต่างๆตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญารากร และผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง กรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยบูรพา ที่อำนวยความสะดวก และคำชี้แนะในการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบพื้นผิวของเมมเบรน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ขอขอบพระคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความสะดวกต่อการทำโครงการพิเศษเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ขอมอบให้กับครอบครัวเสียร์อินทร์ ครอบครัวร้อยแก้ว และครอบครัวโคพระ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้เสมอมา

นางสาวนภสร เสียร์อินทร์

นางสาวสุสติ ร้อยแก้ว

นางสาวรัญญา โคพระ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตซาน	4
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของ ไคตินและไคโตซาน	4
2.1.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตไคติน	5
2.1.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตซาน	5
2.1.4 สายโซ่ไคตินและไคโตซาน	6
2.1.5 โครงสร้างที่แข็งแรงของไคตินและไคโตซาน	7
2.1.6 สมบัติทางกายภาพ	10
2.1.7 สมบัติทางเคมี	10
2.1.8 มาตรฐานของไคตินและไคโตซาน	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การทดสอบไคตินและไคโตซานในอุตสาหกรรม 12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.10 แนวความคิดการกำหนดสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพและเคมี สำหรับประเทศไทย	12
2.1.11 สมบัติที่สำคัญของสารไคตินและไคโตซาน	13
2.1.12 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซาน	14
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA)	17
2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์	18
2.3 อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)	21
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี	21
2.3.2 การสังเคราะห์อีพิกลอโรไฮดริน	21
2.3.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้อีพิกลอโรไฮดริน	22
2.3.4 การประยุกต์ใช้อื่นๆในการสังเคราะห์กิลิเซอรอล	22
2.3.5 การประยุกต์ใช้อื่นๆ	23
2.3.6 ความปลอดภัย	23
2.4 ฟีนอล (Phenol)	24
2.4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี	24
2.4.2 การวิเคราะห์	25
2.4.3 ผลกระทบและการนำไปใช้	25
2.4.4 ฟีนอลในสิ่งแวดล้อม	25
2.4.5 การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม	26
2.4.6 จลนศาสตร์และเมตาบอลิซึม	26
2.4.7 อันตรายต่อมนุษย์	26
2.4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	27
2.4.9 การระเบิดและการติดไฟ	27
2.4.10 การเก็บรักษา	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.11 สรุปลักษณะและสมบัติฟิล์ม	28
2.5 การเตรียมคอมโพสิตฟิล์ม (Preparation of composites films)	29
2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)	29
2.6.1 ลักษณะการดูดซับ	30
2.6.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)	31
2.6.3 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)	32
2.6.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน	34
2.6.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	36
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.2 สารเคมี	40
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	41
3.3.1 การเตรียมสารเคมี	41
3.3.2 การเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยง ด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	42
3.3.3 การตรวจสอบสมบัติของเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	43
3.3.4 การดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาสมบัติของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	46
4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อม โยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	46
4.1.2 การศึกษาการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อม โยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	49
4.1.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม PVA เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	53
4.1.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	61
4.2 การดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อม โยง	62
4.2.1 ผลของ pH ที่มีการดูดซับฟีนอล	62
4.2.2 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลด้วย แผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเชื่อม โยงด้วย อีพิกลอโรไฮดริน	67

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก ก.	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาคผนวก ข. 76
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู	6
2.2 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบไคตินและไคโตซาน	11
2.3 ตัวอย่างรายการแสดงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไคติน ชื่อตัวอย่าง Chitosan 1000 Wako จากบริษัท Wako Chemicals เลขที่ WTH 1028 ปริมาณ 25 กรัม	11
2.4 วิธีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของไคตินและไคโตซาน	12
3.1 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน	42
3.2 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณอีพิกโลโรไฮดรินในการเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน	43
3.3 ตัวแปรในการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน	45
3.4 ตัวแปรในการศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสำหรับการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน	45
4.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	47
4.2 ผลของปริมาณอีพิกโลโรไฮดริน ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	48
4.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน	49
4.4 ผลของปริมาณอีพิกโลโรไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน	51
4.5 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1	62
4.6 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1	63
4.7 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 2	65
4.8 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 3	65

ทั้งห้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1	67
4.10 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1	68
ข.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	76
ข.2 ผลของปริมาณอีพิกโลโรไฮดริน (ECH) ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	76
ข.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน	77
ข.4 ผลของปริมาณอีพิกโลโรไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน	78
ข.5 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด	79
ข.6 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด	79
ข.7 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 2 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด	80
ข.8 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 3 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด	80
ข.9 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1 โดยปรับ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งเท่ากับ 4	81
ข.10 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1 โดยปรับ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งเท่ากับ 4	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	4
2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของ (ก) ไคติน, (ข) ไคโตซาน และ (ค) เซลลูโลส	7
2.3 โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบ แอลฟา เบต้า และแกมมา	8
2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคตินด้วยเทคนิค X-ray Diffraction	8
2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	32
2.6 แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm)	33
2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน	33
2.8 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในไอโซเทอมแบบต่างๆ	35
4.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	47
4.2 ผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน	48
4.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีต่อค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรน	50
4.4 ผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรน	51
4.5 โครงสร้างของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน	53
4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน (Chitosan)	54
4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)	55
4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของอีพิกลอโรไฮดริน (ECH)	56
4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	57
4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผสมกับอีพิกลอโรไฮดริน	58
4.11 ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E เป็น 1:1:1	59
4.12 ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E เป็น 2:1:2	59
4.13 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E (ก.) 0:1:1, (ข.) 1:1:1 (ค.) 2:1:2 และ (ง.) 2:1:3 ตามลำดับ	61
4.14 ผลของ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีต่อการดูดซับฟีนอล โดยแผ่นเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการรับผิดชอบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ผลของ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีต่อการดูดซับฟีนอล โดยแผ่นเมมเบรนที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิกลอโรไฮดริน	66
4.16 ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับฟีนอลกับเวลา โดยแผ่นเมมเบรนมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	68
ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันการเพิ่มจำนวนประชากรของมนุษย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา ไม่ว่าจะเป็นปัญหามลพิษทางดิน ปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหามลพิษทางน้ำ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจะทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากการขยายตัวของชุมชน รวมถึงการจัดการของเสียที่ไม่ถูกต้องและไม่ทันต่อเหตุการณ์ น้ำเสียก็เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำเสียในชุมชน (Domestic Wastewater) และปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) เพิ่มขึ้นสูงขึ้นทุกปี โดยอุตสาหกรรมแต่ละชนิดให้มลสารแตกต่างกัน ทำให้กระบวนการบำบัดที่เหมาะสมแตกต่างกันไป เช่น กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment Process) เหมาะกับน้ำเสียจากกระบวนการอาหารและการหมัก ส่วนกระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment Process) เหมาะกับของเสียที่มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ โลหะหนัก และสารพิษ แต่น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารพิษ โดยสารพิษจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพได้

ฟีนอลเป็นสารพิษตัวหนึ่งที่พบได้ในอุตสาหกรรมเรซิน อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมสี ย้อม เป็นต้น เมื่อฟีนอลแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมจะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์เป็นพิษต่อระบบประสาท ภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์ มีหลายวิธีที่จะกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้ง วิธีการดูดซับก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากลงทุนน้อย และมีประสิทธิภาพสูง ตัวดูดซับที่นำมาใช้กำจัดฟีนอลได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เรซิน ไคตินและไคโตซาน ซึ่งไคติน (Chitin, Poly β -(1-4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ พบบริเวณเปลือกนอกของสัตว์ในตระกูล Crustacean เช่น กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก และ แมลง นอกจากนี้ยังพบที่บริเวณผนังเซลล์ของเห็ดราหรือสาหร่ายบางสายพันธุ์ ไคตินทำหน้าที่ เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ส่วนไคโตซาน (Chitosan, Poly β -(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นอนุพันธ์ของไคติน เกิดจากปฏิกิริยา Deacetylation ของการดัดแปลงไคตินในสารละลายด่างเข้มข้นทำให้หมู่อะซิตามิโด (-NHCOCH₃) ของไคตินที่คาร์บอน ตำแหน่งที่สอง ถูกแทนที่ด้วยหมู่อะมิโน (-NH₂) ไคตินและไคโตซานมีสมบัติเด่นหลายด้าน ได้แก่ รวมตัวกับสิ่งมีชีวิตได้ดี (Biocompatibility) สลายตัวได้โดยจุลินทรีย์ (Biodegradability) และเป็นสารที่ไม่มีพิษ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันพบว่าประเทศไทย มีการผลิตไคตินและไคโตซานในเชิงพาณิชย์เพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในขณะเดียวกันมีการนำไคตินและไคโตซานไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง นอกจากนั้นยังพบว่า การขึ้นรูปไคโตซานสามารถทำได้ทั้งเจล (Gel) เม็ด (Bead) เส้นใย (Fiber) และ คอลลอยด์ (Colloid) จึงมีการผลิตเพื่อทำวัสดุทางการแพทย์ ได้แก่ วัสดุตกแต่งแผล ไหมเย็บแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา และผิวหนังเทียม เป็นต้น การผลิตในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง ได้แก่ สารเติมแต่งในอาหาร สารควบคุม น้ำหนัก สารลดนอมอาหารหรือบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ในด้านเกษตรกรรม ได้แก่ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาขับยั้งเชื้อ แบคทีเรีย หรือเชื้อรา ในด้านการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ตัวรวบรวมตะกอนหรือการบำบัดโลหะหนัก จากโรงงานอุตสาหกรรม

ไคโตซานเม็ด (Chitosan bead) สามารถนำมาใช้ในการดูดซับสารพิษจากน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากไคโตซานเม็ดมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และสามารถนำไปใช้สำหรับการดูดซับแบบต่อเนื่อง การผลิตไคโตซานเม็ดทำได้โดยละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก ตามด้วยการทำให้เป็นเม็ดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อย่างไรก็ตามไคโตซานเม็ด มีข้อจำกัดในการใช้งาน นั่นคือมีความต้านทานต่อสารเคมีและสมบัติทางเชิงกลต่ำ ทำให้ไคโตซานเม็ดมีอายุการใช้งานลดลง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไคโตซานเม็ด การเติมสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เช่น glutaraldehyde , ethylene glycol glycidyl ether และ epichlorohydrin จึงถูกพัฒนาและวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งสารเชื่อมโยงเหล่านี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของไคโตซาน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของไคโตซานได้ [2]

ดังนั้น หน่วยงานพิเศษจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง โดยศึกษาถึงสัดส่วนของไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอีพิกลอโรไฮดริน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นการช่วยลดวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค ลดปัญหามลพิษทางน้ำ อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้และขยายขนาดไปสู่ภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินเป็นตัวดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินที่เตรียมได้
3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง โดยใช้เยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน ตัวแปรเหล่านั้น ได้แก่ pH ของน้ำทิ้ง และเวลาใน

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน ตัวแปรเหล่านั้น ได้แก่ pH ของน้ำทิ้ง และเวลาในการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินโดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อไคโตซานเป็น 0.5:1, 1:1 และ 2:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอีพิกลอโรไฮดรินต่อไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 0:1, 0.5:1, 1:1 และ 2:1
1. ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เทคนิคฟูเรียร์-ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) ทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine, UTM) และการบวมตัว
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินดังนี้
 - 2.1 pH ของน้ำทิ้ง 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7
 - 2.2 เวลาในการดูดซับ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงขั้นตอนและวิธีการเตรียมเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินในการใช้เป็นตัวดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง
2. ทราบถึงผลของตัวแปรและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ของเยื่อบางไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนฟีนอลในโรงงานอุตสาหกรรม
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเสียที่เหลือทิ้ง เช่น เปลือกกุ้ง โดยนำมาผลิตเป็นไคโตซาน ซึ่งมีมูลค่ามากขึ้นและมีประโยชน์ในทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

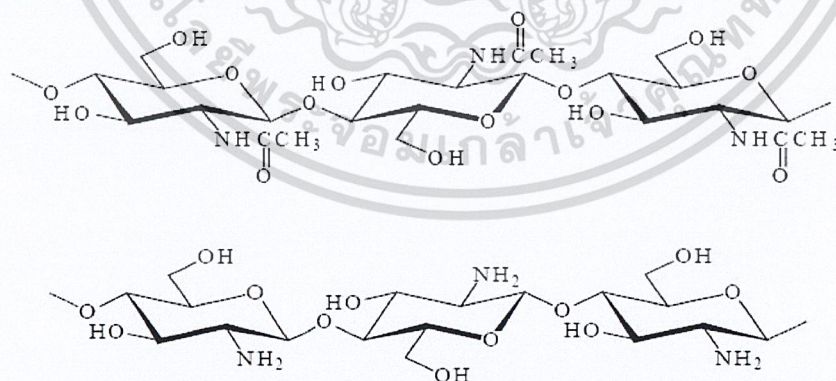
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตซาน

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคติน (chitin) เป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ ที่ประกอบด้วยโครงสร้างทางเคมี คือ Poly (β -(1-4)-2-acetamido-D-glucose) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนไคโตซาน (chitosan) เป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ดีอะซีทิลเลชัน (deacetylation) ของไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานประกอบด้วย Poly (β -(1-4)-2-amino-D-glucose) เป็นโครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ ไคตินและไคโตซาน มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลส โดยแตกต่างกันที่หมู่แทนที่ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (pyranose ring) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน โดยหมู่ที่แทนที่ตำแหน่งนี้ของเซลลูโลสจะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) แต่ของไคตินเป็นหมู่อะเซตาไมด์ (acetamide group) ส่วนของไคโตซานเป็นหมู่อะมิโน (amino group)

ไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ (monomer) 2 ชนิด คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine มีโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-acetyl-D-glucosamine มีหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ส่วน glucosamine มีหมู่อะมิโนเป็นหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า glucosamine ($m > n$) จะเรียกพอลิเมอร์นั้นว่าไคติน แต่ในกรณีที่พอลิเมอร์ ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine น้อยกว่า glucosamine ($m < n$) จะเรียกพอลิเมอร์นั้นว่าไคโตซาน การเตรียมไคโตซานจากไคตินจะทำได้โดยการทำปฏิกิริยาคีโอะซิทีเลชัน ซึ่งเปลี่ยนหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนสจากหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่อะมิโน [3]

จากลักษณะโครงสร้างที่เป็นโคพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน จึงทำให้มีการกำหนดค่าดัชนีที่จะใช้บอกระดับของการเกิดคีโอะซิทีเลชัน โดยเรียกค่าดัชนีนี้ว่า ค่าระดับของการเกิดคีโอะซิทีเลชัน (Degree of deacetylation) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงสัดส่วนของจำนวน D-glucosamine ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน [3]

2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคติน

ไคตินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ซึ่งสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีมากในธรรมชาติ เป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) โดยสารที่พบเป็นองค์ประกอบในเปลือกของสัตว์มีกระดอง (crustaceous shell) ประเภท กุ้ง ปู หอย ปลาดุก และสัตว์อื่น ๆ ที่มีเปลือกแข็งหุ้มตัวซึ่งลักษณะของเปลือกจะหนาแข็ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์ เรียกว่า nitrogenous polysaccharide chitin ร่วมกับสารแคลเซียมซึ่งเป็นตัวทำให้แข็งและรวมอยู่ในรูปสารประกอบของโปรตีน

วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสำคัญที่ใช้ในการผลิตไคติน ได้แก่ เปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

2.1.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตซาน

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองมาจากเซลลูโลส โดยถูกพบในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวกปู กุ้ง และแคนหมีก นอกจากนี้ยังถูกพบในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางชนิด เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติ จึงพบอยู่ในรูปของสารประสม (Composite material) กับสารอินทรีย์จำพวกโปรตีนและสารอินทรีย์จำพวกแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส [4] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู (แสดงเป็นน้ำหนักเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากการอบแห้ง) [4]

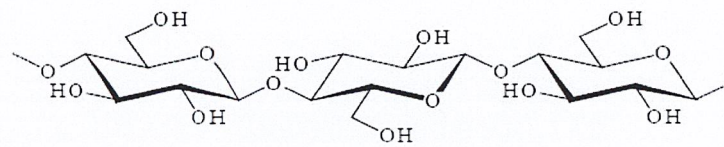
สิ่งมีชีวิต	ปริมาณองค์ประกอบ(เปอร์เซ็นต์)				
	ไคติน	โปรตีน	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ฟอสฟอรัส
ปูขน	18.4	10.5	21.3	1.2	-
King Crab	10.7	44.7	8.2	-	1.8
Swimming Crab	9.0	6.5	25.3	2.1	-
White Shrimp	32.4	29.4	15.3	0.6	-

ดังนั้นจึงพบว่าเปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคติน-โปรตีนเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู จะเป็นไคตินที่มีหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตนอกเหนือจากโปรตีน

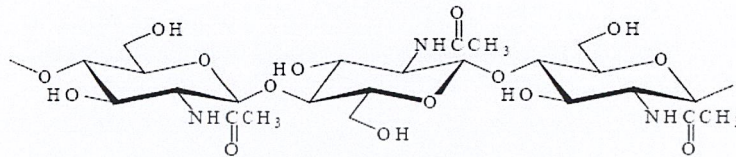
2.1.4 สายโซ่ไคตินและไคโตซาน

โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานมีความคล้ายคลึงกันกับเซลลูโลส คือเป็นสายโซ่ของแซคคาไรด์ แต่มี อะตอมของไนโตรเจนเข้าไปเพิ่ม เมื่อหน่วยแซคคาไรด์นั้นมีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของ อะเซตาไมด์เราจะเรียกว่าไคติน ในขณะที่เดียวกันหากหน่วยนั้นๆมีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของ หมู่อะมิโน จะเรียกว่าไคโตซาน (รูปที่ 22) เป็นที่น่าสังเกตว่าสายโซ่ที่มี หน่วยของไคตินและไคโตซาน จะอยู่ในรูปที่ผสมกันอยู่สลับหน่วยปะปนกันไปเป็น โคพอลิเมอร์ ดังนั้นสารไคติน ที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู แม้ว่าจะมีหน่วยไคตินเป็น หลักอยู่สาย โซ่ก็ตาม ก็จะมีหน่วยของไคโตซาน ปะปนอยู่จำนวนหนึ่ง (ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์) หรือแม้ว่าจะนำไคตินมาผ่านกระบวนการ การปรับโครงสร้าง ทางเคมีด้วยการเปลี่ยนหมู่อะเซตาไมด์เป็นอะมิโนไม่สามารถได้สายโซ่นี้ ในรูปของไคโตซาน 100 เปอร์เซ็นต์ เหนือที่ที่เข้าใจในกลุ่มวิจัย คือในกรณีที่สายโซ่ของไคโตซานเกินกว่า 70-75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เรียกว่า ไคโตซาน

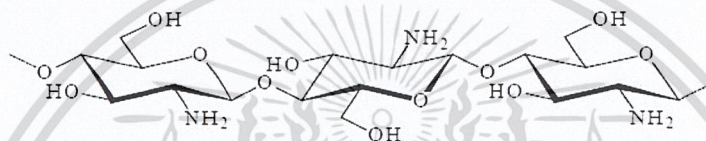
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงสร้างของเซลลูโลส



(ข) โครงสร้างของไคติน



(ค) โครงสร้างของไคโตซาน

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของ (ก) ไคติน, (ข) ไคโตซาน และ

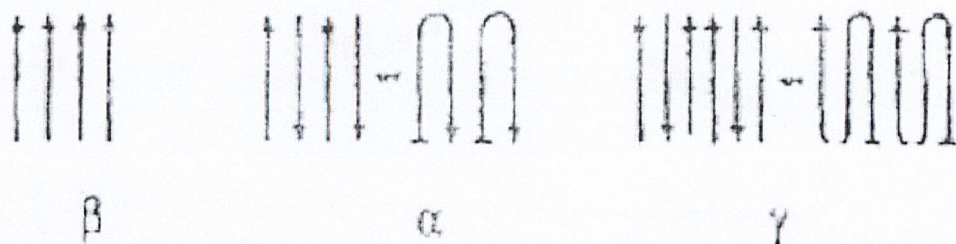
(ค) เซลลูโลส [5]

2.1.5 โครงสร้างที่แข็งแรงของไคตินและไคโตซาน

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเมอร์มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างภายในสายโซ่ที่เรียกว่า Intramolecular hydrogen bonding และระหว่างสายโซ่ที่เรียกว่า Intermolecular hydrogen bonding ซึ่งพันธะไฮโดรเจนทำให้การเรียงตัวของสายโซ่แต่ละสายเป็นไปอย่างจำกัด ทิศทางของสายโซ่ที่เรียงตัวกันนี้จำแนกได้ 3 ประเภท (รูปที่ 2.3) คือการเรียงตัวของสายโซ่เป็นการเรียงแบบทิศทางเดียวกัน หรือเบต้า-ไคติน (β -chitin), แบบทิศทางเดียวกันและทิศทางสลับกันไป หรือแอลฟา-ไคติน (α -chitin) และแบบสวนทิศทางตลอดสายโซ่ หรือแกมมา-ไคติน (γ -chitin) โครงสร้างแอลฟาเป็นโครงสร้างที่มีความสมบูรณ์ในด้านพันธะไฮโดรเจน คือมีทั้งแบบภายในและระหว่างสายโซ่อย่างเป็นระเบียบ

ไคตินและไคโตซานที่มีโครงสร้างประเภทนี้จะมีความเสถียรสูง ซึ่งได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปู และเข็รบาง ชนิด สำหรับเบต้าและแกมมา จะพบในแกนปลาหมึก แมลง [4]

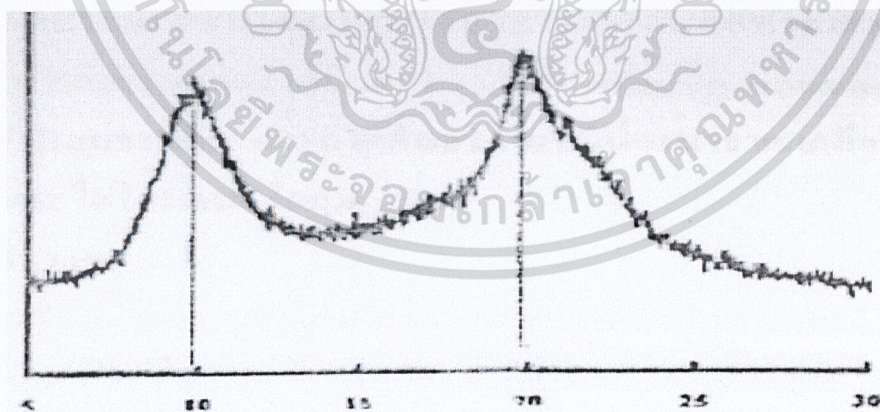
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบ แอลฟา เบต้า และแกมมา [4]

โครงสร้างทางกายภาพของผลึกนี้ สามารถศึกษาได้ด้วยการตกผลึกของโคโตซานและวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผลึกเดี่ยว แต่เนื่องจากโคตินและโคโตซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงจึงไม่สามารถที่จะเตรียมผลึกเดี่ยวได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้คือการศึกษาด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบ (X-ray diffraction) กล่าวคือ เมื่อให้แสง X-ray ไปตกกระทบที่ตัวอย่างแล้ว รูปแบบของการเบี่ยงเบนของแสงที่เกิดขึ้นหลังจากตกกระทบ บนตัวอย่างจะเป็นนัยบ่งถึงโครงสร้างผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์นั่นเอง

รูปที่ 2.4 แสดงถึงโครงสร้างของโคติน ซึ่งมีลักษณะเด่นที่มีพีค 2 ตำแหน่งหลักคือ ที่มุม 2 Theta ประมาณ 9 องศา และ 19 องศา ซึ่งบ่งบอกว่า โครงสร้างโคติน จะมีความเป็นผลึก และมีหน้าที่ห่างกันในช่วง ประมาณ 19.63 และ 8.87 อังสตรอม วิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่เนื่องจากมีความง่ายต่อ การเตรียมสาร และตรวจ วิเคราะห์ได้รวดเร็ว จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบทางกายภาพในการจำแนกโคติน



รูปที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของโคตินด้วยเทคนิค X-ray Diffraction [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 สมบัติทางกายภาพ

2.1.6.1 การละลาย

การละลายเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิดพันธะระหว่าง โมเลกุลของสารกับตัวทำละลาย ดังนั้น สิ่งสำคัญ ที่จะทำให้พอลิเมอร์หนึ่งๆ ละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายแทรก ผ่านเข้าไปในระหว่าง สายโซ่พอลิเมอร์

ไคตินและไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น และเป็นระเบียบ ดังนั้น โมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและสร้างพันธะกับสายโซ่ของไคตินและไคโตซานได้ เป็นเหตุให้ไคติน และไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป และบ่อยครั้งที่สารจะบวมหรือพองตัวในตัวทำละลายเท่านั้นแต่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์

ตัวทำละลายที่ดีสำหรับไคตินและไคโตซาน จึงอาศัยหลักการที่จะทำให้เกิดพันธะไอออนไปทดแทนตำแหน่งไฮโดรเจน เช่นที่ตำแหน่งอะมิโน หรือตำแหน่งอะเซตาไมด์เมื่อตำแหน่งดังกล่าวกลายเป็นไอออนบวก แล้วพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายและไอออนบวกจะสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบในระบบตัวทำละลาย การละลายจึงเกิดขึ้น

ในกรณีของไคติน พบว่าในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจือจาง ค้างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ ไม่สามารถที่จะทำให้ไคตินละลายได้ แต่ในขณะเดียวกัน กรดเข้มข้นจำพวกไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก จะให้เกิดการละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากกรดเข้มข้นดังกล่าวมี ปริมาณ โปรตอนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนบวกที่ตำแหน่งอะเซตาไมด์และทำให้ตำแหน่ง C-2 ของไคตินกลายเป็น ไอออนบวก พันธะไฮโดรเจนจึงสลายลงในขณะเดียวกัน พันธะไอออนถูกสร้างขึ้นระหว่าง ไอออนของกรดประเภท นั้น ๆ ทำให้การละลายเกิดขึ้น [4]

ตัวทำละลายอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับไคติน คือประเภทเกลือในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น สารละลาย ลิเทียมคลอไรด์ในตัวใน N, N - dimethylformamide หรือ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในตัวใน เมทานอล การที่ไคตินละลายได้เนื่องมาจากเกลือในตัวทำละลายนี้สร้างพันธะไอออนแทนที่พันธะไฮโดรเจน [4]

2.1.6.2 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความเสถียรของไคตินและไคโตซาน เมื่อพิจารณาไคตินและไคโตซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง เนื่องด้วยไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงจึงควรแสดงสมบัติเป็น Thermoplastics ซึ่งจะให้อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เมื่อให้ความร้อนแก่ไคตินและไคโตซานจนถึงระดับหนึ่ง แต่ในความเป็นจริง เมื่อทำการให้ความร้อนแก่ไคตินและไคโตซานจะพบว่าไคตินและไคโตซานจะไม่แปรสภาพเป็นสารหนืด แต่จะไหม้และสลายสภาพไปในที่สุด [4]

ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analysis) จำพวกไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ Thermal gravimeter และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) สามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่

เกิดขึ้นในระบบของพอลิเมอร์หรือปรากฏการณ์ของสมบัติทางความร้อน ได้อย่างดี เนื่องจากการศึกษาด้วย DSC นี้ เป็นการศึกษาในระบบปิด ป้องกันการเกิดสันดาปกับออกซิเจนในอากาศ และแสดงถึงปริมาณความร้อนและกระบวนการที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการดูดความร้อน หรือคายความร้อน ณ อุณหภูมิหนึ่ง

2.1.7 สมบัติทางเคมี

ไคตินและไคโตซานเป็นสายโซ่ของโมเลกุลน้ำตาลแบบเส้นตรงที่มีโครงสร้างทางเคมีซึ่งคล้าย เซลลูโลส โครงสร้างของไคตินและไคโตซานจะพบว่ามีอะตอมของไนโตรเจนเข้าไปเพิ่ม ในรูปของหมู่อะเซตาไมด์ และหมู่อะมิโน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของ ไคตินและไคโตซานมีหมู่ 3 หมู่ คือ หมู่อะมิโนและหมู่อะเซตาไมด์ที่ตำแหน่ง C-2 และหมู่ ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-3 (secondary alcohol) และ C-6 (Primary alcohol)

2.1.8 มาตรฐานของไคตินและไคโตซาน

การพัฒนาไคตินและไคโตซานเพื่อให้สินค้ามีมูลค่าเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงสารไคตินและไคโตซานตั้งต้น เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารประสม (Composite material) กับสารอินทรีย์ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่ดีจำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพ และมีการรายงานได้ด้วยว่าคุณภาพของสารไคโตซานที่สกัดได้นั้นอยู่ในระดับใด ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้สารไคตินและไคโตซานเลือกใช้สารได้ถูกต้องตาม วัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการปรับแต่งโครงสร้างของไคตินและไคโตซาน พร้อมระบบควบคุมคุณภาพได้

วิธีการประเมินหรือการตรวจสอบคุณภาพสารไคตินและไคโตซานทั้งในระดับพื้นฐาน เช่น การดูสี ตมกลิ่น การละลายเพื่อตรวจสอบความขุ่นใส การวัดความหนืด จนถึงระดับที่ต้องการอุปกรณ์พิเศษ เช่น การตรวจดูปริมาณความชื้นที่มีอยู่ การดูระดับเถ้าหรือสารอินทรีย์เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถศึกษาหรืออ้างอิงได้จากกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพที่ดำเนินอยู่ในประเทศอื่น โดยเฉพาะญี่ปุ่น

ตารางที่ 2.2 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบไคตินและไคโตซาน และตารางที่ 2.3 แสดงถึงตัวอย่าง ของฉลากกำกับสมบัติของสารไคตินและไคโตซาน จากบริษัท Wako Chemicals ประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ 2.2 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตุดิบไคตินและไคโตซาน [4]

คุณสมบัติ	ไคติน	ไคโตซาน
มวลโมเลกุล, ดาลตัน	$>10^{6b}$ (1-5) $\times 10^{5c}$	(1-5) $\times 10^{5c}$
ความชื้น, เปอร์เซ็นต์	2-10	2-10
ไนโตรเจน, เปอร์เซ็นต์	6-7	7-8,4
Deacetylation, เปอร์เซ็นต์	<10	>60
เถ้าที่ 900 องศาเซลเซียส, เปอร์เซ็นต์	<1.0	<1.0
ความหนืดของสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์/ 1 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก, cap		200-300
Dissociation constant, K α	6.0-7.0	6.0-7.0
X-ray diffraction peaks	$8^{\circ}58' - 10^{\circ}26'$ $19^{\circ}58' - 20^{\circ}00'$	$8^{\circ}58' - 10^{\circ}26'$ $19^{\circ}58' - 20^{\circ}00'$
Transition metals, $\mu\text{g/g}$	<5.0	<5.0

^a R.A.A.Muzzarelli, in G.O. Aspinall, ed., The Polysaccharides, Vol.3, Academic Press, New York, 1985.

^b ไคตินจากธรรมชาติ (Native chitin)

^c ไคโตซานทางการค้า (Commercial products)

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างรายการแสดงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไคติน ชื่อตัวอย่าง Chitosan 1000 Wako จากบริษัท Wako Chemicals เลขที่ WTH 1028 ปริมาณ 25 กรัม [4]

คุณสมบัติ	ข้อมูลของสาร	ข้อกำหนดในมาตรฐาน
ลักษณะทางกายภาพ	สีครีมอ่อน, เป็นเกล็ด	สีขาว-ครีมอมชมพู, เป็นเกล็ด
ความหนืด	991 เซนติพอยส์	800-1500 เซนติพอยส์
สารละลายกรดอะซิติก	เกือบใส	ขุ่นเล็กน้อย
น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากอบแห้ง ที่ 105°C	0.6 เปอร์เซ็นต์	< 10 เปอร์เซ็นต์
Degree of Deacetylation	85.9 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์	75.0-90.0 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การทดสอบไคตินและไคโตซานในอุตสาหกรรม

วิธีการทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานในระดับอุตสาหกรรมนั้น มีความแตกต่างจากระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้การทดสอบจะต้องง่ายและให้ผลการทดสอบที่มีนัยสำคัญ แม้ว่าในปัจจุบัน ในประเทศไทย การกำหนดมาตรฐานและวิธีการของไคตินและไคโตซานยังไม่ได้ดำเนินการ แต่ผู้ประกอบการอาจคำนึงถึงการบางรายการที่สามารถดำเนินการได้เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นถึงคุณภาพของวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่ผลิตได้ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 วิธีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของไคตินและไคโตซาน [4]

คุณสมบัติ	วิธีการตรวจสอบคุณภาพ
ความชื้น	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังอบที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ขนาด	1000 ไมโครเมตร
พีเอช	ละลายในน้ำกลั่นแล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงก่อนวัดพีเอช
ปริมาณเถ้า	หาน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังเผาที่ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ความสามารถในการละลายในสารละลายต่าง	หาน้ำหนักที่หายไปหลังแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ $95 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงแล้ว อบที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ความหนืดของไคติน	แช่สารละลายตัวอย่าง 3 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ที่ $95 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงเพื่อให้เป็น Deacetylation chitin หลังจากนั้นทำให้แห้งแล้ววัดเหมือน ไคโตซาน
ความหนืดของไคโตซาน	-ให้ความร้อนสารละลายตัวอย่าง 1.5 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติก 1.5 กรัม และน้ำ 297 กรัม ที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง -วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.1.10 แนวความคิดการกำหนดสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพและเคมีสำหรับประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่สูงที่สุดในโลกแห่งหนึ่ง ดังนั้นการส่งเสริมการประยุกต์ใช้การสนับสนุนด้านการศึกษาและวิจัย ตลอดจนการวางแนวทางการให้ข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับผู้บริโภคต่าง ๆ เป็นสิ่งสำคัญในการที่จะให้ไคตินและไคโตซานเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีมูลค่าเพิ่มในทิศทางที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นขั้นพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ ที่เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงหรือตรวจสอบได้ เพื่อให้ผู้ประกอบการ นักวิจัย และผู้บริโภคสามารถได้เลือกใช้โคโคซานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ

สมบัติพื้นฐานที่ควรทดสอบได้แก่ ปริมาณเถ้า ความหนืด (หรือทดสอบด้วย Brookfield Viscometer ก็ได้) ปริมาณ %DD (Degree of Deacetylation)

2.1.11 สมบัติที่สำคัญของสารโคโคตินและโคโคซาน

นอกจากลักษณะทางเคมีของสารโคโคตินและโคโคซานแล้วสิ่งที่ควรพิจารณาอีกปัจจัยหนึ่งก็คือ สมบัติที่สำคัญของสารพอลิเมอร์ เช่น โคโคติน โดยธรรมชาติไม่ละลายในน้ำและในสารอินทรีย์ทั่วไป ส่วนโคโคซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด แล้วสามารถเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้ โคโคซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก สารละลาย มีลักษณะขุ่นหนืด และมีความใสสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นเส้นใย เป็นเม็ด เป็นแผ่นบาง เป็นสารเคลือบผิว เป็นต้น ทั้งสารโคโคตินและโคโคซาน สามารถดัดแปลงทางเคมีให้เป็นอนุพันธ์อื่นได้อีกมากมาย

จากการที่สารโคโคตินและโคโคซานเป็นพอลิเมอร์สายยาว ฉะนั้นขนาดของโมเลกุลจึงมีส่วนในการแสดงสมบัติต่าง ๆ ที่ปรากฏออกมาและสามารถปรับเปลี่ยนในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ เช่นพวกที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ยาว ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้วเมื่อนำมาละลายแล้วจะมีประจุบวกสูงสามารถใช้ในการตกตะกอนดึงเอาสารอื่นลงมารวมเป็นกลุ่มตะกอนได้ดี ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศที่มีกฎเกณฑ์เข้มงวดด้านสิ่งแวดล้อม ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้โคโคตินและโคโคซาน ในการตกตะกอนและรวมตะกอนที่ได้แยกออกมาแล้วนำกลับไปสู่สิ่งแวดล้อมใหม่ โดยเกิดการหมุนเวียนเข้าสู่ระบบนิเวศได้ พวกโคโคตินและโคโคซานที่มีขนาดโมเลกุลที่สั้นและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เรียกว่าพวกโอลิโกเมอร์ มีความสำคัญและมีประสิทธิภาพมากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยมีผลงานวิจัยในหลายประเทศพบว่า พวกโอลิโกเมอร์ที่กล่าวนี้มีสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของยีนในพืชสามารถ ช่วยให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โปรตีนที่เสริมสร้างภูมิคุ้มกันตนเองได้ซึ่งถือว่าเป็นพวก Elicitor นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นและเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนในสิ่งมีชีวิตอื่นๆอีกมากมาย นอกจากนี้หน่วยย่อยที่เป็นองค์ประกอบของสารโคโคตินและโคโคซานหรือโมโนเมอร์ ยังพบว่ามีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเป็นองค์ประกอบในอวัยวะบางอย่าง เช่น กระจกอ่อน ฉะนั้นจึงมีผลการวิจัยสนับสนุน การนำโคโคตินและโคโคซานไปใช้ในการเสริมสร้างและรักษาโรคเกี่ยวกับไขข้อและกระดูกเสื่อม ปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ออกสู่ตลาดมากมาย [6]

จากผลการศึกษาวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าตัวสารโคโคตินและโคโคซานมีประสิทธิภาพในตัวมันเองอยู่แล้ว หากมีความรู้เพียงพอที่จะนำมันมาปรับปรุงการใช้ให้เหมาะสมก็จะสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีเอกลักษณ์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์สูงสุด ฉะนั้นผลการวิจัยทดลองเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะเลือกเทคโนโลยีในการผลิตให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งจะก่อให้เกิดความถูกต้องและเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

การนำไคติน และไคโตซาน ไปปรับประยุกต์ใช้นั้นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเป็นสำคัญ ประสิทธิภาพที่เกิดจากการใช้ ต้องมีค่าอธิบายและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มาสนับสนุน จึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและความมั่นใจต่อการใช้ สมบัติเด่นประการหนึ่งของไคตินและไคโตซาน คือ การต่อต้านจุลินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง พบว่าปัจจุบันมีความต้องการสารต่อต้านด้านจุลินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น จึงมีการศึกษาด้านประสิทธิภาพของสารไคติน-ไคโตซานและอนุพันธ์ต่าง ๆ เพื่อการนำมาใช้ในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีกลไกที่มีนักวิทยาศาสตร์อธิบายไว้ดังนี้

1. โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตซานกับประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่ง ทำให้เกิดการแตกและการรื้อออกมาของสารโปรตีนและสารอื่น ๆ จากภายในเซลล์ของจุลินทรีย์
2. เป็นสารคีเลต (chelating agent) ที่จำเพาะกับพวกจุลธาตุ (trace element) บางชนิดและทำให้เกิดการยับยั้ง การผลิตสารพิษจากจุลินทรีย์ และขัดขวางการเจริญเติบโตของมันเอง
3. กระตุ้นกระบวนการป้องกันตัวเองของเซลล์เจ้าบ้าน (host cell) ของพืชโดยไปกระตุ้นยีนของพืชให้เพิ่ม การสร้างเอ็นไซม์ เช่น glucanase, chitinase และ phytoalexins ทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคที่มาจาก เชื้อราบางชนิดได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็น elicitor ชนิดหนึ่ง
4. เป็นสารจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ซึ่งอาจทำให้เกิดกระบวนการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์หลาย ชนิดในจุลินทรีย์ได้
5. เมื่อมีการซึมเข้าไปของพวกไคโตซาน โมเลกุลเล็กเข้าสู่ในนิวเคลียสของเซลล์จุลินทรีย์และราบางชนิดพบว่า มีการจับตัวกันของ ไคโตซานกับ DNA ทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA ซึ่งขัดขวาง การสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์นั่นเอง

2.1.12 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซาน

ไคตินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมเกษตร และการแพทย์ ได้ดังนี้ [5]

2.1.12.1 ด้านการเกษตร

- ใช้เป็นปุ๋ย
- เป็นผสมในอาหารสัตว์
- เป็นในอาหารเม็ดสำหรับเลี้ยงปลาและกุ้ง
- ปรับปรุงคุณภาพดินและผสมในดินเพื่อปรับสภาพของดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ใช้ในด้านการเก็บรักษาพันธุ์พืช

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เป็นยาฆ่าแมลง
- ใช้เป็นยาฆ่าหนอนตัวกลม
- เป็นพาหะของจุลินทรีย์ในดินเพื่อป้องกันการเกิดโรคในพืช

2.1.12.2 ด้านเครื่องสำอาง

- ไคติน ไคโตซานและอนุพันธ์มีศักยภาพในการเป็นเครื่องสำอาง ใช้ดูแลรักษาผิวหนัง นอนผิวหนังและรักษากลิ่นปาก

2.1.12.3 ด้านอาหาร

- ใช้ในรูปของวัตถุเจือปน เพื่อช่วยจับไขมันและคอเลสเตอรอลให้ร่างกายรับไขมันน้อยลง

- ช่วยควบคุมความชื้นหนืด ทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่ต้องการ

- ใช้ผลิตสารให้ความหวาน

- การผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

- การบรรจุอาหาร ไคโตซานมี 2 ลักษณะ ซึ่งเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และสามารถซึมผ่านออกซิเจนได้ดี ในทางพันธุวิศวกรรมการผลิตไคโตซานจากราสามารถนำมารับประทานได้เมื่อ ปรับนำหนักโมเลกุลตามต้องการแล้ว อาจถูกนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร ซึ่งไม่เป็นพิษและมีความแข็งแรงสูง เช่น พกปลูกใสกรอก วัสดุห่ออาหารเข้าเตาอบ และการบรรจุหีบห่อสำหรับอาหารต่าง ๆ

- การผลิตเครื่องดื่ม องค์การคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้แสดงผลการทดลองระดับนำร่องโดยนำ ไคโตซานไปผลิตเป็นเครื่องดื่มโดยใช้ไคโตซาน ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคโตซานจะซึมซับโลหะ ยาฆ่าแมลง และมลสารอื่น ๆ ที่ปะปนมากับน้ำและสามารถลดความขมและทำเป็นน้ำผลไม้ได้อีกด้วย กลุ่มฟองที่ประกอบด้วยไคโตซานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแก่กระบวนการทำให้ใสในเครื่องดื่มได้อีกด้วย

2.1.12.4 ด้านการแพทย์และเภสัช

ไคตินและไคโตซานมีประโยชน์อย่างมากทางการแพทย์ ที่สำคัญที่สุดก็คือการรักษาบาดแผล การปลูกถ่ายอวัยวะ ยาลดไขมัน คอเลสเตอรอล และอื่นๆ

- ใช้ในการตกแต่งบาดแผล เส้นไหมไคตินสามารถนำมาถักทอเป็นแผ่น เพื่อนำมาใช้ตกแต่งบาดแผลทำหน้าที่เร่งการสมานแผลและลดความเจ็บปวด แผ่นไคโตซานนี้ไม่ละลายโดยง่ายจากของเหลวจากร่างกายซึ่งต่างจากผิวหนังเทียม แผ่นไคตินสามารถนำมาใช้ในการตกแต่งบาดแผลที่เกิดขึ้นที่ใบหน้า และตำแหน่งที่มีการปลูกถ่ายอวัยวะ

- ใช้เป็นยาขี้ผึ้งรักษาแผล

- เป็นสารห้ามเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ใช้ในการรักษาทางทันตกรรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นสารจับกับไขมันและสารต้านการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล
- ใช้ในการปลูกถ่ายเซลล์
- ใช้เป็นสารต้านมะเร็ง
- ช่วยในการทำงานของระบบย่อยอาหาร

2.1.12.5 การบำบัดกากของเสียและน้ำ

คุณสมบัติในการเกิดตะกอนและการจับกับโลหะหนักของไคโตซาน จะเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำดื่ม สระว่ายน้ำและบ่อน้ำแร่รวมทั้งน้ำเสียชนิดต่าง ๆ

- การบำบัดน้ำดื่ม การนำไคโตซาน (รวมทั้งอนุพันธ์) ร่วมกับถ่านกัมมันต์สามารถทำให้น้ำดื่มบริสุทธิ์ได้ ไคโตซานมีหน้าที่ 2 ประการ คือ กำจัดสารประกอบอินทรีย์ และสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว พรอท แคดเมียม และสังกะสีได้

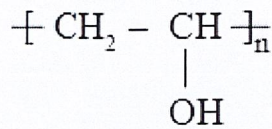
- การบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำและบ่อแร่ ไคโตซานและอนุพันธ์ สามารถตกตะกอนได้ เช่น น้ำมัน สบู่ สิ่งสกปรก ฟันที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำในสระว่ายน้ำ บ่อน้ำแร่ บ่อน้ำร้อน น้ำพุ ทะเลสาบ และแหล่งน้ำใสขึ้น

- การกำจัดกากของเสียประเภทอาหาร ไคโตซานจะจับกับอนุภาคที่เป็นคอลลอยด์ซึ่งแพร่กระจายอยู่ในน้ำเสียโดยจะดึงโปรตีนกลับมาเพื่อใช้ผลิตอาหารสัตว์ กระบวนการดึงเอาโปรตีนคืนมาจะใช้วิธีการเติมสารละลายไคโตซาน 0.25-1.0 เปอร์เซ็นต์ลงในน้ำเสีย จะได้ตะกอนโปรตีนซึ่งประกอบด้วยไคโตซาน 0.5-8.0 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 30-70 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA) [7]

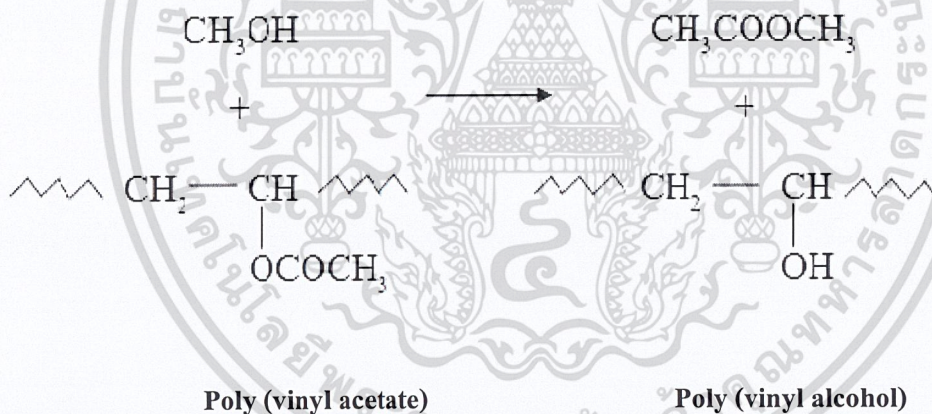
สูตรโครงสร้าง



เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่เสถียรที่สภาวะปกติเพราะจะเปลี่ยนไปเป็นคีโตนเทาโทเมอร์ (Keto tautomer) ที่เสถียรกว่าดังนี้



การเตรียมจึงเตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต ดังนี้



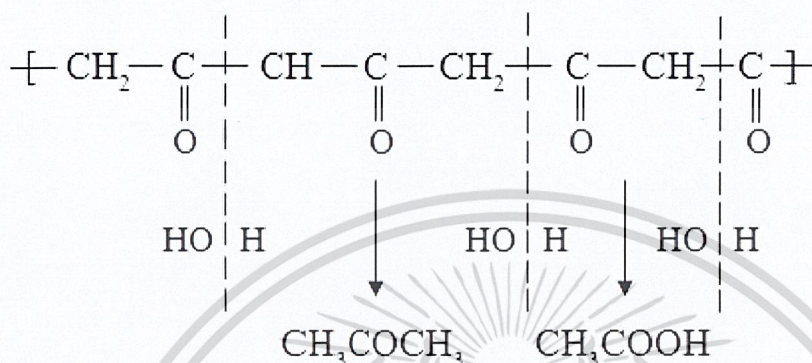
ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้อาจเป็นเมทานอล หรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้อาจเร่งปฏิกิริยาโดยกรดแก่หรือเบสแก่ก็ได้ แต่ถ้าใช้เบสแก่เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ในทางปฏิบัติทั่วไปละลายพอลิไวนิลอะซิเตตแล้วเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (กรดแก่ หรือเบสแก่) และให้ความร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย

วิธีที่สะดวกในการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตตคือ การใช้กระบวนการแบบสารละลาย หรือแบบแขวนลอย โดยเฉพาะแบบสารละลายสะดวกมากเนื่องจากใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายด้วย จะได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมาได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้ในอุตสาหกรรมมักจะมีหมู่ไฮดรอกซิลปะปนมาบ้างประมาณ 1.5-2 โมลเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะอยู่ในตำแหน่ง 1, 3 เวลาเกิดปฏิกิริยากับกรดโครมิก หมู่แอลกอฮอล์จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่คีโตน เมื่อทำปฏิกิริยากับเบส จะได้อะซิโตนกับกรดอะซิติก



พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm³ อุณหภูมิกลายแก้ว (T_g) 85 °C มีสมบัติคล้ายแป้งคือ เกิดสีน้ำเงินกับ ไอโอดีน ละลายในน้ำ และค้างอ่อน ที่ต่างกับพอลิไวนิลอะซิเตตคือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเป็นผลึกมากพอสมควร ทั้งๆที่เป็นอะแทกติกเช่นกัน เนื่องจากหมู่ -OH เล็กกว่าหมู่อะซิเตตนั่นเอง น้ำหนักโมเลกุล (M_w) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีอยู่ 4 ช่วงคือ 250,000 -300,000 170,000-220,000 120,000 -150,000 และ 25,000 -35,000 ตามลำดับ

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ สามารถละลายในน้ำได้โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็น แต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น และทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C ความสามารถในการละลายในน้ำของแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณของหมู่ -OH ในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ -OH 88% ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ -OH สูงกว่านี้ความสามารถในการละลายกลับลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นกับดีกรีของแอลกอฮอล์ไลซิสคือ ถ้าถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100% จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์เพียงบางส่วน เนื่องจากนี้สมบัติทางกายภาพยังได้รับอิทธิพลจากความชื้นของสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะน้ำจะทำตัวเป็นพลาสติกไซเซอร์ให้กับพอลิเมอร์ตัวนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50% ความทนทานต่อแรงดึงจะลดลง แต่จะไปเพิ่มความสามารถในการยืดตัวออกมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้วย เช่น ถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

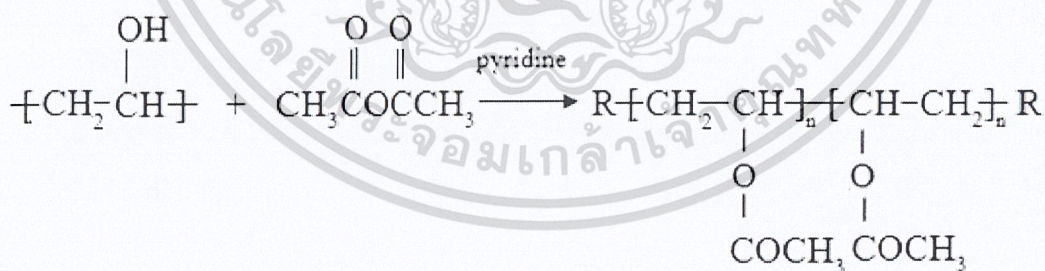
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับคุณสมบัติการละลายน้ำนั้นพบว่า การละลายจะเพิ่มขึ้นถ้าหมู่อะซิติกใน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และจะสูงสุดเมื่อมีคิกรของการเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล 88% ถ้าถึงจุดนี้การละลายสมบูรณ์และละลายในน้ำเย็นปกติได้ สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนทานได้หลายชนิด โดยความทนทานจะเพิ่มขึ้นตามคิกรของหมู่ไฮดรอกซิล ถ้าสูงจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั้งอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน คลอริเนตไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนสูงๆ เอสเทอร์ อีเทอร์ และคีโตน แต่ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ต่ำ จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้ละลายได้ และสารจำพวกเอไมด์ เช่น ฟอรัมาไมด์ (Formamide, HCO-NH₂) อะเซตาไมด์ อะเซตาไมด์ (Acetamide, CH₃CO-NH₂) สารจำพวกเอมีนก็สามารถละลายได้เช่นกัน เนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พันธะไฮโดรเจนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) สูงถึง 230 °C ถ้ามีหมู่ -OH ถึง 88% แต่เมื่อถึงจุด T_m แล้วพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะไม่หลอมตัวเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป แต่จะสลายตัวได้น้ำกับสารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต ทำให้เกิดสีขึ้นดังนี้



หมู่ -OH ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะซิเตตได้โดยจะทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ในพิริดีน (Pyridine) และให้ความร้อน แต่พอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้จะมีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างออกไปจากพอลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้ [7]



Poly (vinyl alcohol)

acetic anhydride

Poly (vinyl acetate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) [8]

เอกลักษณ์

สูตรเคมี : C_3H_5ClO

น้ำหนักโมเลกุล : 92.52 g/mol

จุดเดือด : 117.9 °C

จุดหลอมเหลว : -25.6 °C

ความหนาแน่น : 1.1812 g/cm³

โครงสร้างทางเคมี :



ชื่อเรียกอื่นๆ :
 epichlorohydrin
 1-chloro-2, 3-epoxypropane
 γ -chloropropylene oxide
 Glycidyl chloride

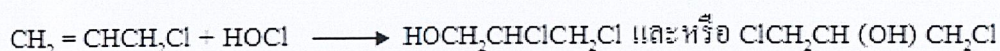
ชื่อทางการค้า : chloromethyl oxirane

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

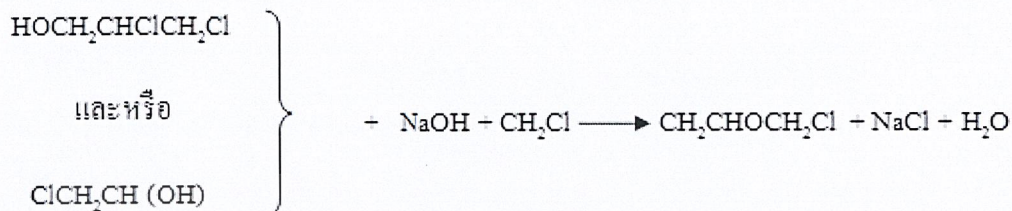
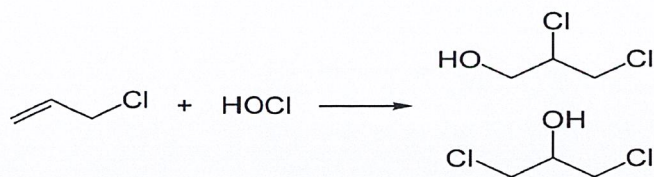
อีพิกลอโรไฮดริน เป็นสารประกอบอเอแกโนคลอรีน และพอกไซค์ นี้เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นจุนเหมือนกระเทียม ไม่ละลายในน้ำ แต่ผสมกับตัวทำละลายอินทรีย์มากที่สุด อีพิกลอโรไฮดริน เป็นสารประกอบปฏิกิริยาสูงและใช้ในการผลิตกิลิเซอรอลพลาสติก กาวอีพ็อกซีเรซินและยาง เมื่อผสมกับน้ำ จะเกิดเป็น hydrolyzes epichlorohydrin to 3-MCPD ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่พบในอาหาร

2.3.2 การสังเคราะห์อีพิกลอโรไฮดริน [8]

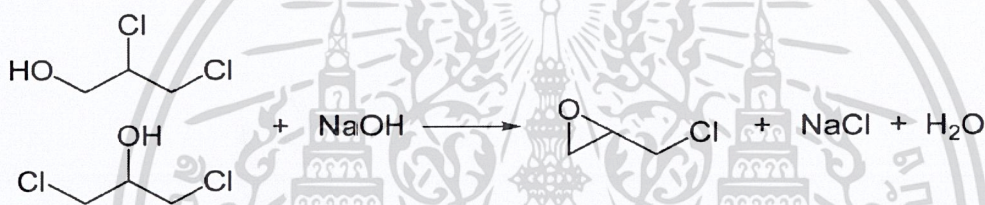
อีพิกลอโรไฮดรินสังเคราะห์จากอัลลิลคลอไรด์ ในสองขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการใช้กรด ไฮโดรคลอริค (Hydrochlorination hypochlorous) ซึ่งทำให้เกิดส่วนผสมของแอลกอฮอล์ตั้งสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในขั้นตอนที่สองจะทำการปรับด้วยเบสเพื่อให้เกิดอีพอกไซด์



การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถผลิตได้มากกว่า 700,000 ตันต่อปี

2.3.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้อีพอกไซด์โรไฮดริน [9]

ใช้สังเคราะห์กาลีเซอรอลและอีพอกไซด์เรซิน อีพอกไซด์โรไฮดริน ส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็น Bisphenol A diglycidyl ether เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อีพอกไซด์เรซิน และยังเป็นสารตั้งต้นให้โมโนเมอร์สำหรับสังเคราะห์พอลิเมอร์ตัวอื่นๆ

2.3.4 การประยุกต์ใช้อื่นๆในการสังเคราะห์กาลีเซอรอล



อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการผลิตไบโอดีเซลนำไปสู่ความเหลือเฟือของกาลีเซอรอลในตลาดแสดงกระบวนการนี้ไม่ได้ผล ในความเป็นจริงวิธีการดำเนินการย้อนกลับขณะนี้กำลังวิจัยเพื่อผลิตอีพอกไซด์โรไฮดริน จากกาลีเซอรอลนี้มีค่าน้อยกว่ากระบวนการเชิงพาณิชย์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การประยุกต์ใช้อื่นๆ

อีพิคลอโรไฮดริน เป็นสารตั้งต้นหลากหลายในการสังเคราะห์สารอินทรีย์จำนวนมาก เช่น จะถูกแปลงเป็น glycidyl nitrate เป็นวัสดุประสานในการใช้ทำวัสดุประกอบของระเบิด อีพิคลอโรไฮดรินทำปฏิกิริยากับไนเตรตในสถานะต่าง เช่นโซเดียมไนเตรต เพื่อสังเคราะห์ไกลซิดิลไนเตรต และอัลคาไลน์คลอไรด์ ใช้เป็นตัวทำละลายเซลลูโลส เรซินและสี และมักพบในการผสมของ แมลง ใช้ในเสริมแรงกระดาษ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิตถุงชากรองกาแฟและพลาสติกห่อหุ้มไส้กรอก และน้ำบริสุทธิ์

การประยุกต์ใช้ทางชีวเคมีที่สำคัญของอีพิคลอโรไฮดริน จะใช้มันเป็นตัวแทนเชื่อมขวางสำหรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ที่ยืดหยุ่น (Sephadex)

2.3.6 ความปลอดภัย

อีพิคลอโรไฮดรินเป็นพิษปานกลางระคายเคืองและเป็นสารก่อมะเร็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ฟีนอล (Phenol) [9]

เอกลักษณ์

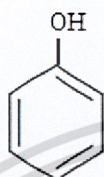
สูตรเคมี : C_6H_6O

น้ำหนักโมเลกุล : 94.11

จุดเดือด : 183 °C

จุดหลอมเหลว : 43 °C

โครงสร้างทางเคมี :



ชื่อเรียกอื่นๆ : acidum carbolicum, acidum phenolicum, acidum Phenyllicum, benzophenol, benzene phenol, carbolic Acid hydroxybenzene, monohydroxy benzene, Phenylic acid, phenylic alcohol

ชื่อทางการค้า : Baker's P and S liquid o' intment, Venzenol

หมายเลข CAS : 108-95-2

หมายเลข RTECS : SJ 332500 (ของแข็ง)

หมายเลข UN : UN 167

ฟีนอล 1 ppm = 3.85 mg/m³

ฟีนอล 1 mg/m³ อากาศ = 0.26 ppm ที่ 20 °C (760 mm.Hg, kPa)

2.4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ฟีนอลมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และที่ความดันบรรยากาศ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว แต่กลายเป็นสีชมพู หรือแดงได้จากการสัมผัสอากาศและแสง เมื่อเผาไหม้จะเกิดกลิ่นเหม็น สารประกอบฟีนอลมีความสามารถในการละลายน้ำได้จำกัด 6.7 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร แต่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปได้

สมบัติทางเคมีของเคมีของฟีนอลจะเป็นกรดอ่อน เมื่อทำให้อยู่ในรูปของสารละลายฟีนอลจะมี pH ประมาณ 6 สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับสารออกซิไดซิงค์ (oxidizing agent) ในทางการค้า

สามารถสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ได้อย่างน้อย 98% ฟีนอลเกรดการค้าผลิตได้จากกระบวนการการกลั่นของ น้ำมันและถ่านหิน ซึ่งมีองค์ประกอบในรูปของน้ำ และกรีซอล (World Health Organization, 1994)

2.4.2 การวิเคราะห์

ฟีนอลสามารถตรวจวัดได้โดยการใช้ก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatograph) เป็นตัวแยก (Separator) และใช้ Flame ionization detector หรือ Electron capture detector หรืออาจใช้ (High performance liquid chromatography, HPLC) ที่ใช้ UV เป็นเครื่องตรวจวัดข้อจำกัดในการตรวจวัด คือ ความเข้มข้นของฟีนอลที่ใช้ในการตรวจวัดอย่างน้อย $0.1 \mu\text{g/L}$ (World Health Organization, 1994)

2.4.3 ผลกระทบและการนำไปใช้

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตฟีนอลทั่วโลกในปี ค.ศ. 1981 นั้นสามารถผลิตฟีนอลได้ 3,375 กิโลกรัม ในโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ ฟีนอลในการผลิต ฟีนอลเรซิน บิสฟีนอล เอ คาโปแลกแทม และผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ เช่น อัลคิลฟีนอล ไซลีนอล ครีนอล และกรดอะดิพิค หรือมีการนำเอาฟีนอลมาผลิตยา สีย้อม อินดิเคเตอร์ในห้องปฏิบัติการจะใช้ฟีนอลเป็นสารรีเอเจนต์ หรือสารช่วยล้างอุปกรณ์เพื่อฆ่าเชื้อโรค (World Health Organization, 1994)

2.4.4 ฟีนอลในสิ่งแวดล้อม

ฟีนอลพบมากในการเผาไหม้ของไม้ ควันบุหรี่ และคาร์บอนดำของเบนซิน และในบรรยากาศทั่วไปจะพบฟีนอลในปริมาณที่น้อยกว่า $1 \mu\text{g/m}^3$ สำหรับในตัวเมืองใหญ่จะพบฟีนอลได้ $0.1-8 \mu\text{g/m}^3$ ณ ที่ใกล้กับแหล่งนิคมอุตสาหกรรมจะพบปริมาณฟีนอลในปริมาณสองเท่าของปริมาณฟีนอลที่พบปกติ ฟีนอลอาจสะสมในดินตะกอน และน้ำใต้ดินสำหรับควันบุหรี่ และควันจากการปิ้งหรือเผาอาหารก็เป็นแหล่งกำเนิดฟีนอลที่ทำให้เกิดการกระจายตัวในบรรยากาศ (World Health Organization, 1994)

ฟีนอลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากแหล่งต่างๆ

1. อุตสาหกรรม จากกระบวนการผลิตและการใช้ฟีนอลในการผลิตสารเคมีชนิดต่างๆ
2. บ้านเรือนและห้องปฏิบัติการ จากการใช้ฟีนอลเป็นสารฆ่าเชื้อ
3. ไอเสียจากรถยนต์ที่มีฟีนอลปนอยู่เล็กน้อยที่ความเข้มข้น $1.2 - 7.7 \text{ ml/m}^3$
4. การย่อยสลายของเบนซิน โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม

โดยส่วนมากฟีนอลในบรรยากาศถูกกำจัดด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลเป็นไฮดรเบนซีน ไนโตรฟีนอล และแควกพันธะเบนซีน หรือถูกกำจัดโดยการชะของฝน ฟีนอลที่สะสมในน้ำและดิน จะถูกกำจัดทางปฏิกิริยาทางปฏิกิริยาชีวภาพ และกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ซึ่งจะเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน (World Health Organization, 1994)

2.4.6 จลนศาสตร์และเมตาบอลิซึม

ฟีนอลถูกดูดซับได้ง่ายในตัวยางบางตัวสามารถกระจายได้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของฟีนอลได้ เช่น ตับ ปอด และทางเดินหายใจ โดยทั่วไปจะทำงานร่วมกับกรดกลูโคโลนิค และกรดซัลฟูริก แต่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ สามารถกำจัดฟีนอลออกจากร่างกายทางลมหายใจ และการขับถ่าย

2.4.7 อันตรายต่อมนุษย์

โดยส่วนมากมักได้รับฟีนอลจากการหายใจ สูดดมเข้าไป มีเพียงส่วนน้อยที่ได้รับฟีนอลจากการรับประทานซึ่งผ่านจากการบริโภคในน้ำดื่ม หรือวันของอาหาร ในการรับฟีนอล เข้าสู่ร่างกายแต่ละวันไม่ควรเกิน $100 \mu\text{g}/\text{kg}$

หากได้รับฟีนอลจากการรับประทาน จะมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และอาจกระทบกระเทือนการทำงานของระบบทางเดินหายใจ ระบบไต ระบบประสาท อาจเกิดการช็อคอันตรายถึงชีวิตได้

หากได้รับการหายใจเข้าไป จะมีอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ กระจายน้ำ น้ำหนักตัวลดลง และอาจมีปัสสาวะเป็นสีดำได้ แต่ไม่พบกรณีผู้ป่วยที่ได้รับฟีนอลโดยการหายใจเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต

มีข้อเสนอแนะว่ามนุษย์ไม่ควรได้รับฟีนอลเกิน $60 - 200 \mu\text{g}/\text{kg}$ น้ำหนักตัวต่อวันหากได้รับเกินค่านี้หรือได้รับเป็นระยะเวลานานจะมีผลทำให้เกิดโรคมะเร็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในแหล่งน้ำที่มีฟีนอลจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ เมื่อมีค่าความเข้มข้นของ ฟีนอลมากกว่า $0.02 \mu\text{g/L}$ ส่วนในพืชและสัตว์บกจะไม่ค่อยพบ

ฟีนอลเคลื่อนย้ายโดยการพัดพาของลม การกัดเซาะและการชะของดิน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะพบฟีนอลในระบบนิเวศวิทยาทางน้ำและทางบก แต่พบว่าในสัตว์ หรือในน้ำทะเลมีความเสี่ยงที่จะพบฟีนอลปนเปื้อนอยู่สูงมากกว่า (World Health Organization, 1994)

2.4.9 การระเบิดและการติดไฟ

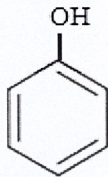
ฟีนอลอยู่ในอุณหภูมิที่มากกว่า 73°C จะมีลักษณะเป็นไอรวมกับอากาศสามารถติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ แต่อย่างไรก็ตามฟีนอลสามารถลุกติดไฟได้เอง หากได้รับอุณหภูมิสูงถึง 715°C

สารประกอบฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยารุนแรงกับบิวตะไดอิน กรดเปอร์ออกซิไดส์ซัลฟูริก กรดเปอร์ออกซิมอนอซัลฟูริก และอนุมูลนิ้มคลอไรด์ร่วมกับไนโตรเบนซีน ฟีนอลสามารถให้อิที่มีความเป็นพิษได้เมื่อได้รับความร้อนหรือการเผาไหม้ หรือหากให้ความร้อนแก่ฟีนอล หรือฟีนอลละลายในน้ำ จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น และเสี่ยงต่อการระเบิดมากขึ้น (World Health Organization, 1994)

2.4.10 การเก็บรักษา

ควรเก็บรักษาฟีนอลห่างจากอาหาร ตัวออกซิเดนต์ และสารที่เกิดปฏิกิริยารุนแรงความเก็บไว้ในที่แห้ง มีด ป้องกันไฟอย่างดี และมีฉลากติดต่ออย่างชัดเจน (World Health Organization, 1994)

2.4.11 สรุปลักษณะและสมบัติฟีนอล [9]

สมบัติ	ฟีนอล
สูตรโมเลกุล	C_6H_6O
โครงสร้างเคมี	
มวลโมเลกุล	94.11
ลักษณะ	ของแข็ง
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	เฉพาะตัว
ค่า pH (50 gall น้ำ)	5 (ที่ 20°C)
จุดหลอมเหลว	41 °C
จุดเดือด	180 °-182 °
อุณหภูมิติดไฟ	605 °C
จุดวาบไฟ	79 °C
ขอบเขตการระเบิด	
- ขอบเขตล่าง	1.3 vol%
- ขอบเขตบน	9.5 vol%
ความดันไอ	(0.2 kPa) 20 °C
ความหนาแน่นที่ 20°C	1.06g/cm ³
ความสามารถในการละลายน้ำ	82 g/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเตรียมคอมโพสิตฟิล์ม (Preparation of composites films) [10]

1. การหล่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยแบบแม่พิมพ์หล่อ (Cast moulding)

เป็นกระบวนการผลิตโดยการเทสารละลายที่ต้องการเตรียมคอมโพสิตฟิล์มลงในแม่พิมพ์หรือแม่แบบที่มีความกลมวง หรือรูปร่างและขนาดที่ต้องการ อาจใช้แม่พิมพ์เสียใช้ชิ้นเดียว แล้วทิ้งหรืออาจใช้หลายแม่พิมพ์ อาจใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเกิดการเซตตัวของคอมโพสิตในแม่พิมพ์ หากมีตัวเชื่อมโยง (Crosslink) ต้องนำไปทำการให้ความร้อนก่อนด้วยการอบ ด้วยการตั้งค่าอุณหภูมิจากการดูอุณหภูมิแรกที่ตัวเชื่อมโยงสามารถเกิดฟรีเรดิคัล (free radical) ได้ เมื่อจัดเรียงตัวตัวก็นำออกมาจากแม่พิมพ์ จะได้คอมโพสิตฟิล์มที่ต้องการ

2. หล่อขึ้นรูปด้วยแบบแม่พิมพ์สลัชโมลดิ้ง (Slush Moulding)

เป็นกระบวนการที่ทำโดยการเทสารละลายที่ต้องการเตรียมคอมโพสิตฟิล์มเข้าไปในแม่แบบ โดยกระบวนการผลิตนี้ การทำให้สุกตัวจะถูกทำในอ่างสารละลายร้อน ที่มีอุณหภูมิประมาณ 200–230°C ซึ่งระยะเวลาที่อยู่ในอ่างสารละลายร้อนนั้น ขึ้นกับความหนาของชิ้นงานที่ต้องการ โดยคอมโพสิตส่วนที่ติดกับแม่แบบจะเริ่มสุกตัว (gel) ขึ้นเรื่อยๆ จนได้ระดับความหนาที่ต้องการที่สุกตัวแล้ว จากนั้นคอมโพสิตที่ไม่ได้สุกตัวจะถูกเทออกจากแบบ ทำให้เหลือแต่เพียงคอมโพสิตที่สุกตัวเกาะติดที่ผิวแม่แบบแล้วนำไปจุ่มในอ่างสารละลายร้อนอีกครั้ง และขั้นตอนสุดท้ายก็ถอดชิ้นงานออกจากแบบ

3. หล่อขึ้นรูปด้วยแบบแม่พิมพ์หมุน (Rotational Moulding)

เป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูกลวงด้านใน เช่น ลูกบอล ของเด็กเล่น และชิ้นส่วนกลวงต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการเทสารละลายคอมโพสิตลงในแม่แบบ และหมุนแบบสองแกนในเวลาเดียวกันภายในตู้อบอากาศร้อน คอมโพสิตจะสุกตัวอยู่บนผิวทางด้านในของแบบ และถูกปล่อยให้เย็นตัวลง ก่อนที่จะถูกดึงออกจากแบบ ค่าความหนืดจะเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้เกิดความหนาที่สม่ำเสมอของชิ้นงาน และทำให้การดึงชิ้นงานถอดออกจากแบบทำให้ง่ายขึ้น สำหรับแม่แบบที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ๆ นั้นจะต้องเพิ่มความระมัดระวังในขั้นตอนการถอดออกจากแบบเป็นพิเศษ

2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้ อย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารใดก็ตามที่จะยึดโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์

ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับ คือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับการเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นเมื่อดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว สามารถนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัย กลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือ ต้องการพื้นที่น้อย

2.6.1 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ [11]

- 1) การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)
- 2) การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็ง สามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงวันเดอร์วาล์ว (Van der Waal's force) ซึ่งเกิดจากการ รวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับ โมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้นซึ่ง แต่ละชั้นของ โมเลกุลจะติดอยู่บนชั้น โมเลกุล ก่อนหน้านี้โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูก ละลายซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับ ความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่าง สารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารถูกดูดซับสามารถ เกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีนั้น จะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง โมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับกลายเป็น สารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นจะแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า กระบวนการนี้จะมีลักษณะของ โมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเอง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ (irreversible) แต่การดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมี สร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ [12]

1. สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอคติเวตเต็ด ซิลิกา สารธรรมชาติ มักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีด จำกัดมาก
2. ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตาราง เมตรต่อกรัม
3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อจำกัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.6.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)

1) กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

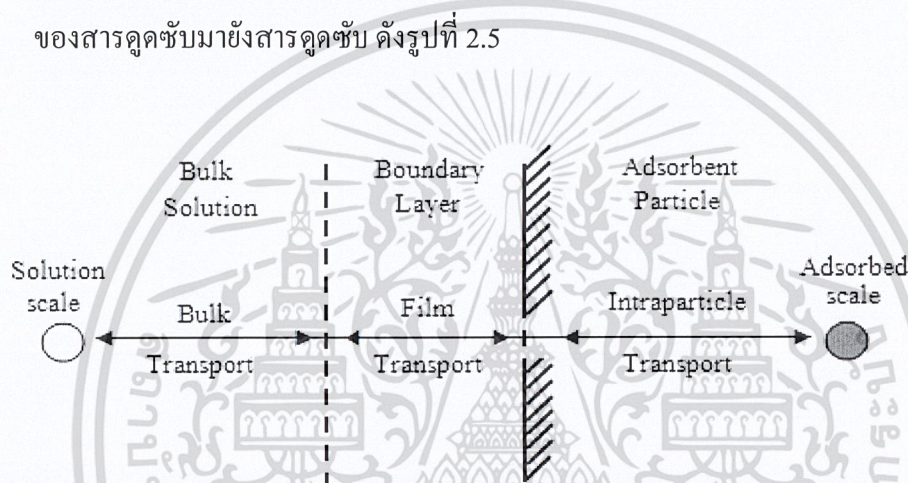
1. การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ
2. การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของ สารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดซับที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นแรงต้านทานจากปฏิกิริยา พื้นผิวจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง

2) อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้นอัตราการดูดซับจะถูกควบคุม โดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งเป็นจุดอ่อนเป็นอีกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ขั้นตอนที่สำคัญอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลายมี 3 ขั้นตอน คือ

เมวากรณใดๆ ทงสน อีกทงหามมเหตคดแปลงเนื้อหาและตองอาจองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นต้นหนึ่ง
3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ ดังรูปที่ 2.5

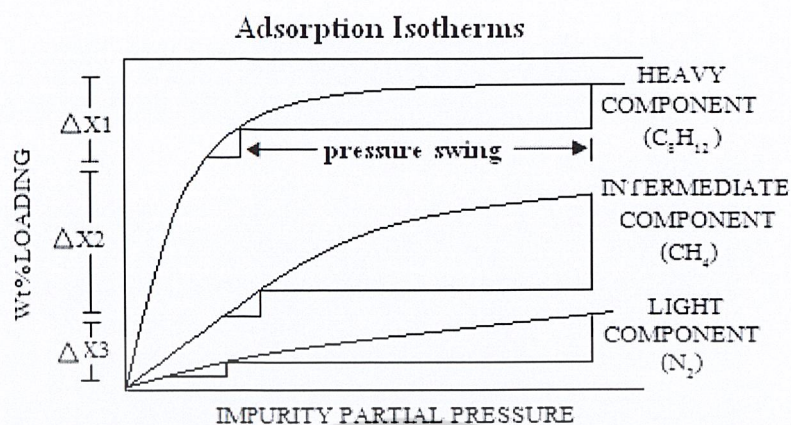


รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนย้าย โมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ [12]

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่ง ๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.6.3 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

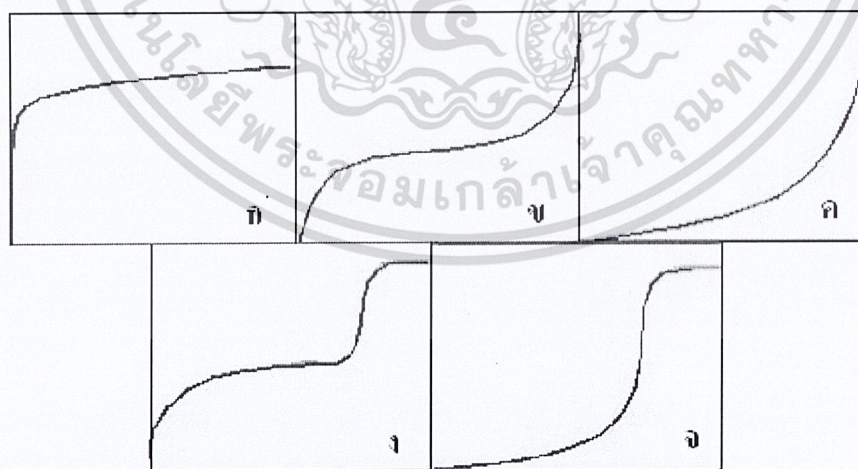
ความสามารถในการดูดซับนอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวดูดซับเอง เช่น จำนวนช่องว่างหรือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ความดันของตัวดูดซับ โดยสภาวะการดูดซับนี้มีผลต่อสภาพสมดุลของการดูดซับซึ่งเป็นสภาวะการดูดซับที่จุดอิ่มตัว สภาพสมดุลของการดูดซับหาได้จากกราฟทดลองโดยนิยมนำข้อมูลมาแสดง ในลักษณะของไอโซเทอม (Isotherm) โดยเป็นเส้นแสดงปริมาณการดูดซับ ตามกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความดัน ณ อุณหภูมิคงที่ ดังรูปที่ 2.6 ไม่นิยามให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm)

จะเห็นได้ว่าการดูดซับจะมากขึ้นเมื่อความดันสูง และจะลดลงเมื่อความดันต่ำลง [11]

ไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งไอโซเทอมรูป ก เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนรูป ข ถึง จ เป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น



รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

1) ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีสมมติฐานพื้นฐานที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model ดังนี้

1. เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น
2. โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวของตัวดูดซับได้
3. เอนทัลปีของการดูดซับมีค่าเดียวสำหรับทุก ๆ โมเลกุล
4. พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

สมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ [14] ดังสมการ (2.1)

$$X = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e} \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ X = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

X_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (2.1) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังสมการ (2.2) - (2.3)

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{b X_m} + \frac{C_e}{X_m} \quad \dots (2.2)$$

หรือ

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_m} + \frac{1}{b X_m C_e} \quad \dots (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ข้อมูลสมดุลการดูดซับแสดงดัง รูปที่ 2.8 (ก.) และสามารถหาค่าคงที่ b และ X_m ได้จากความชันและจุดตัดกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในกรณีอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว ดังสมการ (2.4)

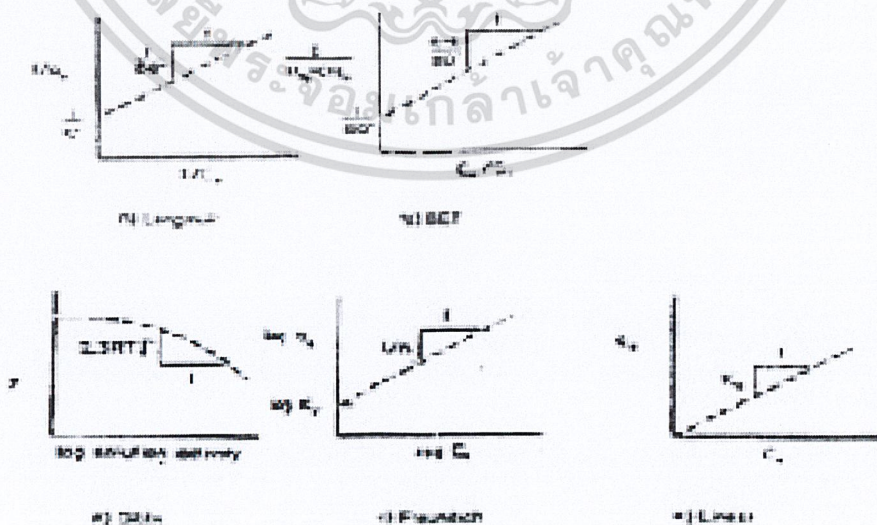
$$\frac{X}{M} = KC_e^{1/n} \quad \dots (2.4)$$

- เมื่อ
- X = จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
 - M = น้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยกรัม
 - C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุลหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
 - K, 1/n = ค่าคงที่ของระบบ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงได้ดังสมการ (2.5)

$$\text{Log} (X / M) = \text{log} K + (1 / n) \text{log} C_e \quad \dots (2.5)$$

พลอตกราฟระหว่าง Log (X/M) กับ log C_e จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ 1/n และมีจุดตัดแกนเท่ากับ log K ดังรูปที่ 2.8 (ง.) ค่า 1/n ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า 1/n ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

สมการ Freundlich มีประโยชน์มากที่สุด สำหรับการละลายที่เจือจาง ปกติจะใช้กับการดูดซับสิ่งเจือปนในสารละลายบนถ่านกัมมันต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับเผยแพร่ความรู้แก่สาธารณชนเท่านั้น [12] ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ [12]

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area)

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับ เป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์ โดยตรง กับความสามารถในการดูดซับ อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่ เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผัน กับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ

2) ลักษณะของสารดูดซับ (Adsorbate characteristics)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำ ของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัว ถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายใน โพร่งเป็นอัตราที่ควบคุม กลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3) อัตราเร็วของการปั่นกววน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์มและการแพร่เข้าสู่โพร่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับความ ปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนวนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็น อุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของ การดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุล เคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพร่ง จะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4) เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลา สัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ และสารดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอช ของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน สามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G. Crini. [1] ในปี ค.ศ.2005 ได้พัฒนาวัสดุพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การปนเปื้อนสารเคมีในน้ำจากความหลากหลายของสารมลพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก สารอะโรมาติกและสี เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงเนื่องจากมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถกำจัดสารพิษที่พบในน้ำเสีย จากวิธีการกำจัดสารมลพิษทั้งหมด การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเพิ่มมากขึ้น กระบวนการดูดซับเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและใช้ตัวดูดซับสำหรับการพัฒนาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับบนพอลิเมอร์ธรรมชาติเพื่อกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำเสีย การเพิ่มขึ้นของจำนวนสิ่งตีพิมพ์ของกระบวนการดูดซับโดยใช้สารพอลิแซ็กคาไรด์เป็นตัวดูดซับสารพิษแสดงให้เห็นว่ามีความสนใจเพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์ตัวดูดซับตัวใหม่ที่มีราคาถูกในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Biopolymer) ได้จากไคติน ไคโตซาน แป้งและ cyclodextrin วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการแสดงคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของวัสดุพอลิเมอร์เหล่านี้และเพื่อแสดงผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ตัวดูดซับที่มีการปรับปรุงพอลิเมอร์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย

A.H. Chen และคณะ [2] ในปี ค.ศ. 2008 ศึกษาการดูดซับของ Cu(II), Zn(II) และ Pb(II) ไอออนในสารละลาย ด้วยตัวดูดซับไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน(epichlorohydrin; ECH) ผลที่ได้จากการศึกษาสมมูลไอโซเทอมการดูดซับของ Cu(II), Zn(II) และ Pb(II) ด้วยแบบจำลองการดูดซับทั้งสามคือ Langmuir, Freundlich และ Dubinin - Radushkevich สมการเชิงเส้นที่ลากผ่านจุด Langmuir ภายใต้วงความเข้มข้นที่ศึกษาโดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น ลำดับของความจุการดูดซับ (The order of the adsorption capacity; QM) สำหรับสามไอออนโลหะได้ดังนี้ $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+}$ การดูดซับสารละลายของสามไอออนโลหะในสารละลายมีการดูดซับแบบ monolayer ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การดูดซับทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W.S.Wan Ngah และคณะ [9] ในปี ค.ศ.2008 ศึกษาการดูดซับกรดฮิวมิกจากสารละลาย ด้วยเม็ดไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน(ECH) และศึกษาผลทางจลนศาสตร์และไอโซเทอมการดูดซับจากผลการทดลองที่ได้พบว่า มีการดูดซับกรดฮิวมิกที่ดีที่สุดที่เม็ดไคโตซาน-ECH เกิดขึ้นที่ pH 6.0 และอัตราการกววนของการดูดซับสมดุลที่ 300 รอบต่อนาที(rpm) โดยใช้การวิเคราะห์การดูดซับจากโมเดลของ Langmuir และ Freundlich พบว่า รูปแบบของ Freundlich เหมาะสมที่สุดในการทดลองโดยเทียบกับแบบค่า Langmuir ที่ได้ 44.84 mg g(-1) การดูดซับกรดฮิวมิกบนเม็ดไคโตซาน-ECH ได้รับการอธิบายที่ดีที่สุดกับ pseudo-first-order kinetic model

H. Zheng และคณะ [7] ในปี ค.ศ.2001 ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly (vinyl alcohol); PVA) ผสมกับเส้นใย(fiber) โดยนำไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly (vinyl alcohol); PVA) ผสมกับเส้นใย (fiber) เตรียมโดยผ่านการปั่นเส้นใย (spinning) โดยจะใช้สารละลายทำให้หนืดที่อุณหภูมิ 25 °C ลงในอ่างจับตัวตกตะกอนที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเอทานอล (ethanol) อิทธิพลของการจับตัวขององค์ประกอบในการแข็งตัวด้วยวิธีปั่นเส้นใยจะนำมาทำการศึกษาการเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างโมเลกุล โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ (infrared spectroscopy ; IR), (X-ray diffraction ; XRD) และ (scanning electron microscopy ; SEM) จากนั้นนำมาวัดคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติการอุ้มน้ำ ผลการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลและสมบัติการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับเส้นใยและไคโตซาน พบว่าค่าความแข็งแรง(strength) ของการทดสอบมีค่าดีที่สุด 1.82 cN/d (ที่สถานะแห้ง) และ 0.81 cN/d (ที่สถานะเปียก) ได้จากการนำ PVA 20% โดยน้ำหนัก ผสมกับไคโตซาน 90.2% และเมื่อได้รับการเชื่อมโยง ด้วยกลูตารอลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ค่าการอุ้มน้ำ (water-retention values ; WRV) ของผสมเส้นใยมีค่าระหว่าง 170 และ 241% ซึ่งสูงกว่าเส้นใยไคโตซานบริสุทธิ์ (120%) การวิเคราะห์โครงสร้างพบว่าปฏิสัมพันธ์ที่ดีและผสมเข้ากันได้ดีระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โมเลกุลที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน โมเลกุล

Ezequiel S. Costa-Júnior และคณะ[10] ในปี ค.ศ.2009 ศึกษาการเตรียมและลักษณะสมบัติของไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีกลูตารอลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เป็นตัวเชื่อมโยงทางเคมีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เป็นการศึกษาการพัฒนาและคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่แตกต่างมาผสมกัน โดยใช้ไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) ใช้ กลูตารอลดีไฮด์ (glutaraldehyde) สำหรับการใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในทางการแพทย์ จากการทดลองพบว่าผลึกของฟิล์มไคโตซานบริสุทธิ์ลดลงจาก 23% เป็น 18% เมื่อเกิดการเชื่อมโยงไคโตซานโดยการเกิดร่างแหของกลูตารอลดีไฮด์ พบว่าแนวโน้มที่คล้ายกันสำหรับแผ่นฟิล์ม PVA พบว่าเมื่อมีการเพิ่มเนื้อของไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดัชนีบวมของผสมได้ลดลงจากประมาณ 200% (จาก PVA บริสุทธิ์) ประมาณ 80% (50/50 :ไคโตซาน / PVA) ซึ่งให้เห็นถึงการลดลงของการเคลื่อนไหวของร่างแหพอลิเมอร์และ

พฤติกรรมชอบน้ำของพอลิเมอร์ผสม สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ก็มีความเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพอลิเมอร์และมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติการเชื่อมโยงทางเคมี พิล์มไคโตซาน 50 เมกะปาสกาล (MPa) และ 45% คือค่าสูงสุดของความแข็งแรงดึง (tensile strength) ความต้านทานการยืด (tensile elongation) ตามลำดับ บ่งบอกว่ามีค่าเฉลี่ยของความเหนียวเหนียวลดลงประมาณ 40% โดยการเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานจาก 25% (14.8 MJ/m³) ถึง 50% (8.9 MJ/m³) จากลักษณะการเปราะบางของไคโตซาน นอกจากนี้ผลของมอดูลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) มีค่า 0.1 GPa สำหรับ PVA และ 0.8 GPa สำหรับไคโตซาน ไฮโดรเจลทดสอบความมีชีวิตเซลล์แสดงให้เห็นชัดเจนเพียงพอที่ไม่เป็นพิษและมีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สามารถปรับให้เหมาะสมกับการใช้งานที่มีศักยภาพในการประยุกต์ทางด้านผิวหนัง

S.H. Lee และคณะ [8] ในปี ค.ศ.2007 ศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตต (sodium acetate ; SA) ที่เชื่อมโยงเส้นใยไคโตซานโดยใช้อีพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin ; ECH) ด้วยวิธีการปั่นเส้นใยแบบเปียก (wet spinning) โดยศึกษาการปั่นเส้นใยไคโตซานแบบเปียกโดยใช้กรดอะซิติก (acetic acid) %2 เป็นตัวทำละลาย ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide ; NaOH) %10 เป็นตัวไม่ทำละลาย (nonsolvent) ใช้อีพิคลอโรไฮดรินความเข้มข้น 5×10^{-2} โมลาร์เป็นสารเชื่อมโยง ใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตต 0-20% เป็นสารหน่วงการแข็งตัวและสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 4.0% เป็นพอลิเมอร์ โดยอธิบายถึงผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลาย SA ที่เชื่อมโยงเส้นใยไคโตซานโดยใช้อีพิคลอโรไฮดริน โดยการแข็งตัวและการเชื่อมโยงของเส้นใยไคโตซานจะเกิดขึ้นพร้อมกันในอ่างแข็งตัว งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารหน่วงการแข็งตัวและความเข้มข้นของ SA ในอ่างแข็งตัว ทางด้านความร้อน สัณฐานวิทยาและคุณสมบัติเชิงกล (เช่นการเหนียวแน่นและการยืดตัว ฯลฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ ขนาด 50 , 100 , 250 และ 500 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง ขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
4. ปีเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
5. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 , 250 และ 500 มิลลิลิตร
6. กรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร
7. แท่งแก้วคน
8. ตะแกรงกรองสาร
9. ซ้อนตักสาร
10. ชุดกรองแบบลดความดัน
11. เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง รุ่น TR 1601 บริษัท DENVER INSTRUMENT COMPANY
12. เครื่องวัดพีเอช รุ่น MODEL215 บริษัท DENVER INSTRUMENT COMPANY
13. เครื่องเขย่า บริษัท GALLENKAMP
14. ตู้อบ รุ่น ISOTEMP OVEN ITEM FT01-125 บริษัท FISHER SCIENTIFIC
15. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)
รุ่น LEO 1455 VP
16. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) รุ่น Spectrum GX 60237 บริษัท Perkin Elmer Ltd. ประเทศเยอรมัน
17. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล Universal Testing Machine (UTM)
18. เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV Visible Spectrophotometer) รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway

3.2 สารเคมี

1. ไคโตซานเกรดการค้า ขนาด 60-100 mesh จากบริษัท เอ็นเอ็นซี. โปรตักส์ จำกัด
2. กรดอะซิติก (CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท LABSCAN จำกัด
3. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba

4. อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fisher Scientific
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท เอเพกซ์เคมีคอล จำกัด
6. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
7. ฟีนอล (Phenol) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba
8. น้ำกลั่น

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. การเตรียมสารเคมี
2. การสังเคราะห์เมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน โดยศึกษาผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และปริมาณอีพิคลอโรไฮดริน
3. การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน
4. การดูดซับฟีนอลในน้ำที่สังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน

3.3.1 การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายไคโตซาน
นำเกลือไคโตซาน 5 กรัม มาละลายในกรดแอซติกเข้มข้น 5% ปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองสารละลายด้วยตะแกรงกรองก่อนที่จะนำมาผสม
2. การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (มวลโมเลกุล 72,000-88,000 กรัมต่อโมล)
นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ทำการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. การเตรียมสารละลายอีพิคลอโรไฮดริน ความเข้มข้น 1% ปริมาตรต่อปริมาตร
นำอีพิคลอโรไฮดรินปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
4. การเตรียมสารละลายฟีนอลในน้ำที่สังเคราะห์ ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร
ชั่งฟีนอลหนัก 0.025 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

ทำการเตรียมสารละลายฟีนอล ความเข้มข้นในช่วง 25-100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเจือจางจากสารละลายฟีนอล 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

3.3.2 การเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน

- นำสารละลายไคโตซานที่กรองแล้วมาผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารละลายเจลที่เป็นวุ้นภาคเดียว
- เติมสารละลายอีพิกโลโรไฮดริน แล้วทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- เทเจลที่ได้ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในแม่พิมพ์พลาสติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเคซิเคเตอร์

ในการทดลองตอนนี้ จะศึกษาถึงผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิกโลโรไฮดริน ที่มีต่อสมบัติของเมมเบรนและการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง สภาวะสำหรับการเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน แสดงไว้ในที่ตาราง 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		ปริมาณ ECH (%โดยน้ำหนักของไคโตซาน)
	PVA	ไคโตซาน	
1	0	1	1
2	0.5	1	1
3	1	1	1
4	2	1	1
5	3	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรในการทดสอบผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดรินในการเตรียมเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		ปริมาณ ECH (%โดยน้ำหนักของไคโตซาน)
	PVA	ไคโตซาน	
1	2	1	0.5
2	2	1	1
3	2	1	2
4	2	1	3

3.3.3 การตรวจสอบสมบัติของเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

1. ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเมมเบรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
2. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเมมเบรนด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)
3. ทดสอบสมบัติเชิงกลของเมมเบรนด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)
สภาวะที่ใช้ทดสอบ : Load Cell 5 KN, Gauge Length 0.5 mm
4. ทดสอบการบวมตัว
ตัดชิ้นเมมเบรนให้มีขนาด 1×1 นิ้ว นำเมมเบรนที่ได้ไปชั่งน้ำหนักที่แห้ง จากนั้นนำไปแช่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคำนวณเพื่อหาค่าร้อยละการบวมน้ำจากสมการ (3.1)

$$\text{ร้อยละการบวมตัว} = [(W_s - W_d) / W_d] \times 100 \quad \dots (3.1)$$

เมื่อ W_s คือน้ำหนักของแผ่นเมมเบรนหลังแช่น้ำ
 W_d คือน้ำหนักของเมมเบรนแห้งก่อนแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

เมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินที่เตรียมได้ จะถูกนำไปดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยจะศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ และผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. นำสารละลายฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย จากนั้นปรับค่า pH ด้วย HCl หรือ NaOH ให้ได้ค่า pH ตามต้องการ
2. ชั่งน้ำหนักของแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ตัดให้มีขนาด 5×5 มิลลิเมตร แล้วใส่ลงไปในขวดรูปกรวยที่มีสารละลายฟีนอล ตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 3.3 จากนั้นทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที
3. เมื่อครบเวลาในการเขย่าแล้ว ทำการกรองเมมเบรนไคโตซานออกด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน สารละลายที่กรองได้จะนำไปวัดปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร
4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-3 โดยเลือกค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟีนอล จากนั้นเปลี่ยนเวลาในการดูดซับเป็น 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ และคำนวณหาร้อยละการดูดซับฟีนอลจากสมการ (3.2)

$$\text{ร้อยละการดูดซับฟีนอล} = \frac{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น}} \times 100 \quad \dots (3.2)$$

สภาวะสำหรับศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินแสดงไว้ในที่ตาราง 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรในการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

pH เริ่มต้นของน้ำทิ้ง	ปริมาตรสารละลาย ฟีนอลในน้ำทิ้ง สังเคราะห์ (ml.)	ปริมาณเมมเบรน ไคโตซาน (g)	เวลา (นาที)
1	25	0.5	60
2	25	0.5	60
3	25	0.5	60
4	25	0.5	60
5	25	0.5	60
6	25	0.5	60
7	25	0.5	60

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรในการศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสำหรับการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

pH เริ่มต้นของน้ำทิ้ง	ปริมาตรสารละลาย ฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ (ml.)	ปริมาณเมมเบรน ไคโตซาน (g)	เวลา (นาที)
pH ที่เหมาะสม จากตารางที่ 3.3	25	0.5	30
	25	0.5	60
	25	0.5	90
	25	0.5	120
	25	0.5	150
	25	0.5	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยการดูดซับด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน (P : C : E) โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 สังเคราะห์แผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วนต่างๆของ PVA และ อีพิกลอโรไฮดรินจากนั้นศึกษาสมบัติทางเชิงกลและทางเคมีของแผ่นเมมเบรน สำหรับตอนที่ 2 จะนำแผ่นเมมเบรนไปทำการดูดซับฟีนอล เพื่อทำการหาสถานะที่เหมาะสม

4.1 การศึกษาสมบัติของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนไคโตซาน PVA และอีพิกลอโรไฮดรินที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นเมมเบรนนั้น ได้ทำการเตรียมแผ่นเมมเบรนออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1, 0.5 : 1 : 1, 1 : 1 : 1, 2 : 1 : 1, 3 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก และกลุ่มที่สองทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิกลอโรไฮดรินที่ใช้เชื่อมโยง ในอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 0.5, 2 : 1 : 1, 2 : 1 : 2, 2 : 1 : 3 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนที่เตรียมได้

4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

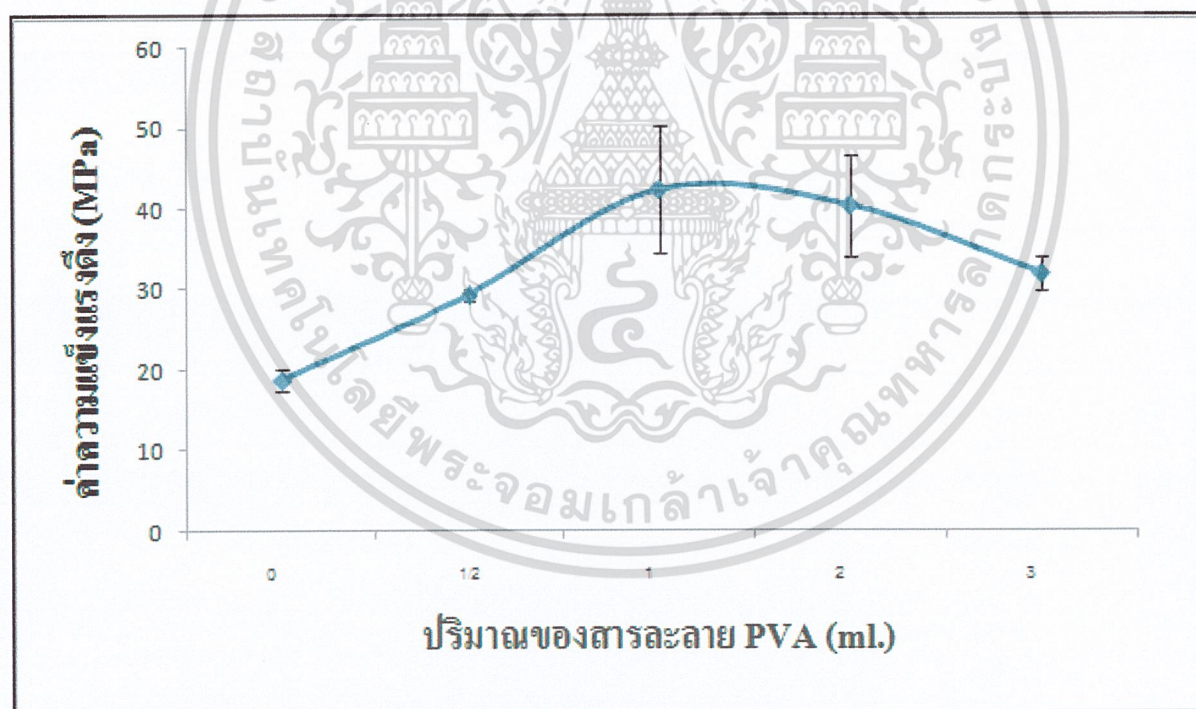
ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน โดยศึกษาถึงปริมาณไคโตซาน (C) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (P) และอีพิกลอโรไฮดริน (E) ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นเมมเบรนด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วน โดยน้ำหนักของ P : C : E	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)
0 : 1 : 1	18.68
0.5 : 1 : 1	29.30
1 : 1 : 1	42.37
2 : 1 : 1	40.35
3 : 1 : 1	31.88

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงและอัตราส่วนของ P : C : E ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน

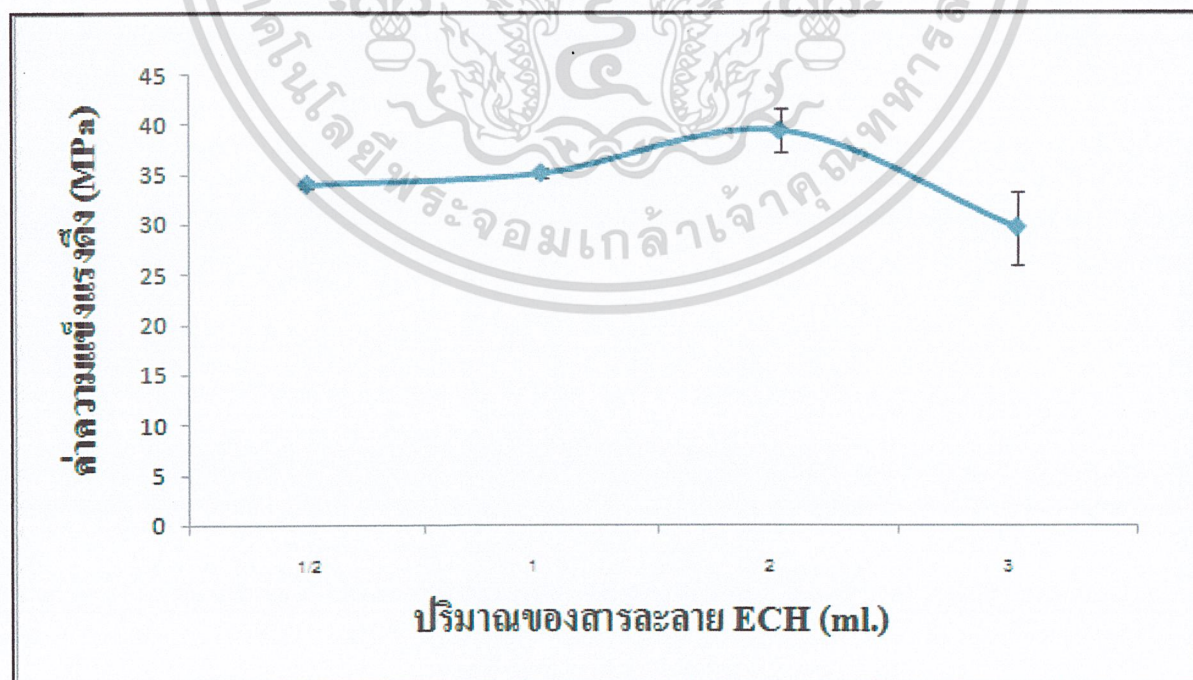
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งแรงดึงมีค่าสูงสุดคือ 42.37 MPa ที่อัตราส่วน P : C : E เป็น 1:1:1 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA ค่าความแข็งแรงดึงจะมีแนวโน้มที่ลดลง สำหรับที่อัตราส่วน P : C : E เป็น 0:1:1 ค่าความแข็งแรงดึงจะต่ำสุด

คือ 18.68 MPa สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินในปริมาณคงที่ จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างไคโตซานและ PVA ส่งผลทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของ PVA ที่มากเกินไป ความเป็นผลึกและพันธะไฮโดรเจนมีค่าสูงขึ้น ประกอบกับมีการเชื่อมโยงสายโซ่ไคโตซานด้วย ECH จึงทำให้โครงสร้างของเมมเบรนมีความแข็งแรงประสัผลต่อค่าความแข็งแรงดิ่งที่ลดลง

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดิ่งของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก P : C : E	ค่าความแข็งแรงดิ่ง (MPa)
2 : 1 : 0.5	34.02
2 : 1 : 1	35.13
2 : 1 : 2	39.34
2 : 1 : 3	29.05

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดิ่ง และอัตราส่วนของ P : C : E ได้ดังรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดิ่งของแผ่นเมมเบรน

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดึงจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ ECH โดยที่อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:2 ค่าความแข็งแรงดึง จะมีค่าสูงสุดคือ 39.34 MPa และเมื่อเพิ่มปริมาณ ECH ที่อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:3 ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงเป็น 29.05 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า อีพิกลอรโไฮดรินที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยงสายโซ่ของไคโตซาน ให้มีโครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติ มีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณสารเชื่อมโยงมีมากเกินไป ทำให้สายโซ่ไคโตซานภายในโครงสร้างเมมเบรนเคลื่อนที่ได้น้อยลง จึงเกิดลักษณะแข็งเปราะ ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงจึงลดลง

4.1.2 การศึกษาการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอรโไฮดริน

ในการศึกษาการบวมตัว (Equilibrium water content, ECH) ของแผ่นเมมเบรน จะพิจารณาแผ่นเมมเบรนที่แปรเปลี่ยนปริมาณ PVA และ ECH ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดและสูงสุด มาทำการทดสอบสำหรับอัตราส่วน P : C : E ของแผ่นเมมเบรนที่แปรเปลี่ยนปริมาณ PVA ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดและสูงสุด คือ อัตราส่วน 0:1:1 และ 1:1:1 ตามลำดับ ผลการทดสอบการบวมตัวแสดงดังตารางที่ 4.3

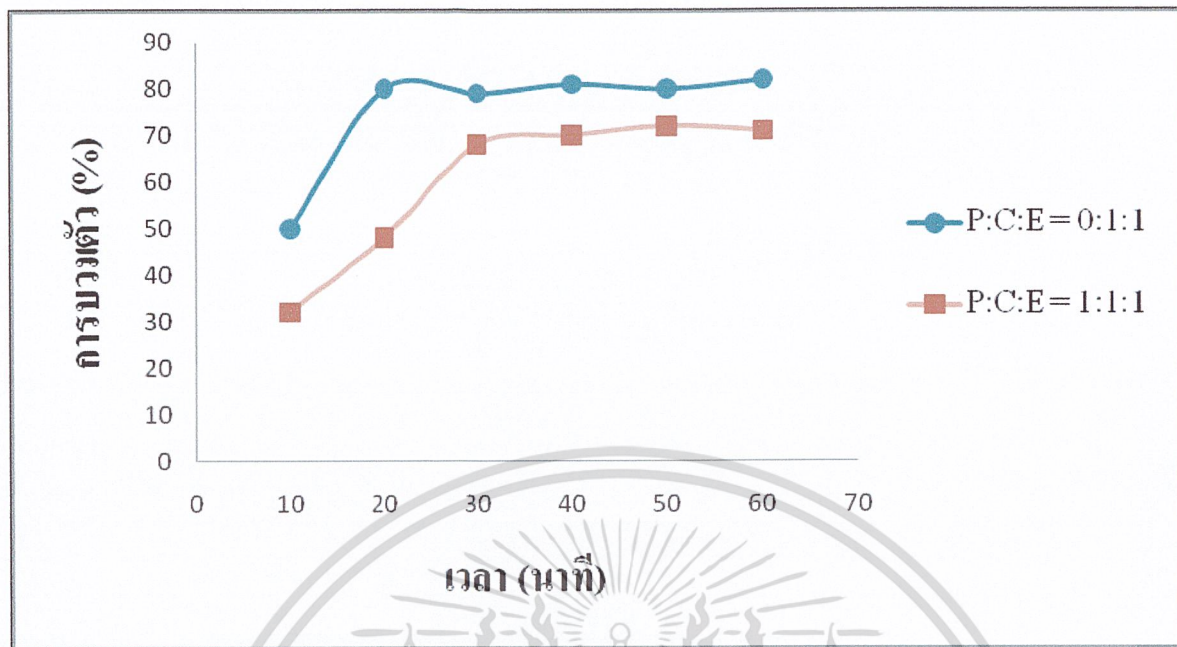
ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน

เวลา (นาที)	การบวมตัว (EWC) (%)	
	P : C : E = 0 : 1 : 1	P : C : E = 1 : 1 : 1
10	50	32
20	80	48
30	79	68
40	81	70
50	80	72
60	82	71

หมายเหตุ อัตราส่วน 0:1:1 มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด

อัตราส่วน 1:1:1 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 นำผลการทดลองในตารางที่ 4.3 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัว
 ไปยังกราฟโดย ทั้งสี่ กราฟนี้ ใช้ข้อมูลแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 และอัตราส่วนของ P : C : E ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีต่อค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรน

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรน เมื่อปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า ค่าการบวมตัวมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะเข้าไปแทรกตัวและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่ของโคโตะซานที่เชื่อมโยงด้วย ECH ทำให้ภายในโครงสร้างของเมมเบรนมีความหนาแน่นมาก การดูดซึมน้ำของแผ่นเมมเบรนจึงต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนที่ไม่มีปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ โดยแผ่นเมมเบรนที่มีการดูดซึมน้ำมาก จะมีลักษณะบวมตัวคล้ายไฮโดรเจล ในทำนองเดียวกัน แผ่นเมมเบรนซึ่งแปรเปลี่ยนปริมาณ ECH ที่มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดและสูงสุด คือ อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:3 และ 2:1:2 ตามลำดับ จะถูกนำไปศึกษาค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆ ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

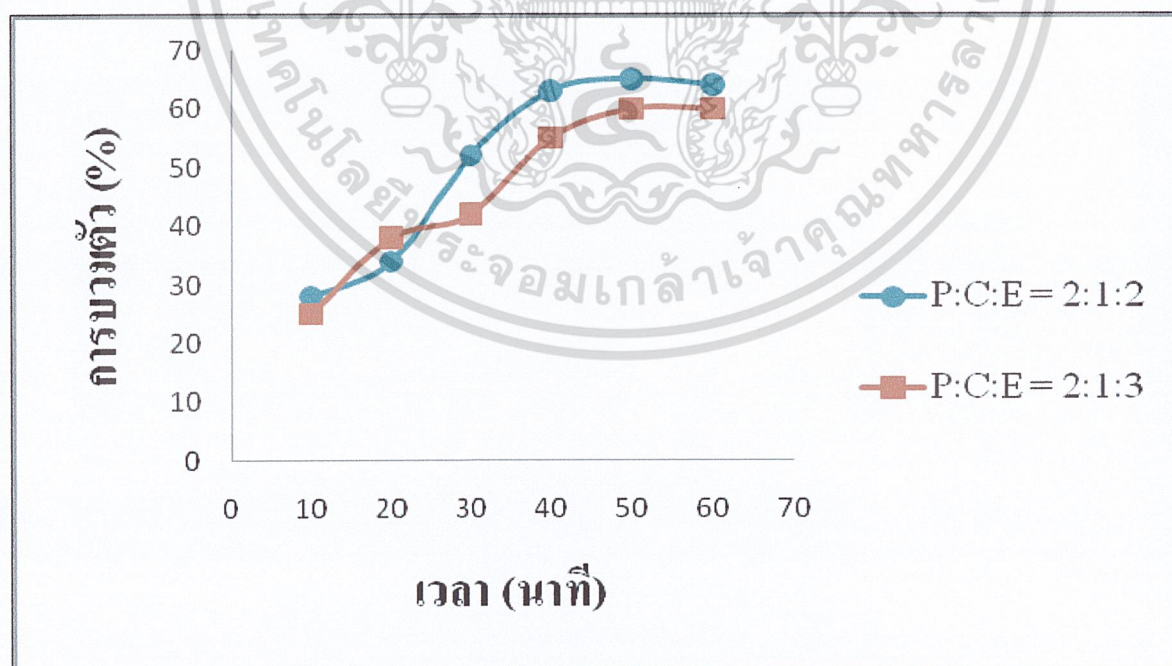
ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณอีพิคลอโรไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน

เวลา (นาที)	การบวมตัว EWC (%)	
	P : C : E = 2 : 1 : 2	P : C : E = 2 : 1 : 3
10	28	25
20	34	38
30	52	42
40	63	55
50	65	60
60	64	60

หมายเหตุ อัตราส่วน 2:1:2 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

อัตราส่วน 2:1:3 มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.4 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัว และอัตราส่วนของ P : C : E ได้ดังรูปที่ 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใ้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณอีพิคลอโรไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

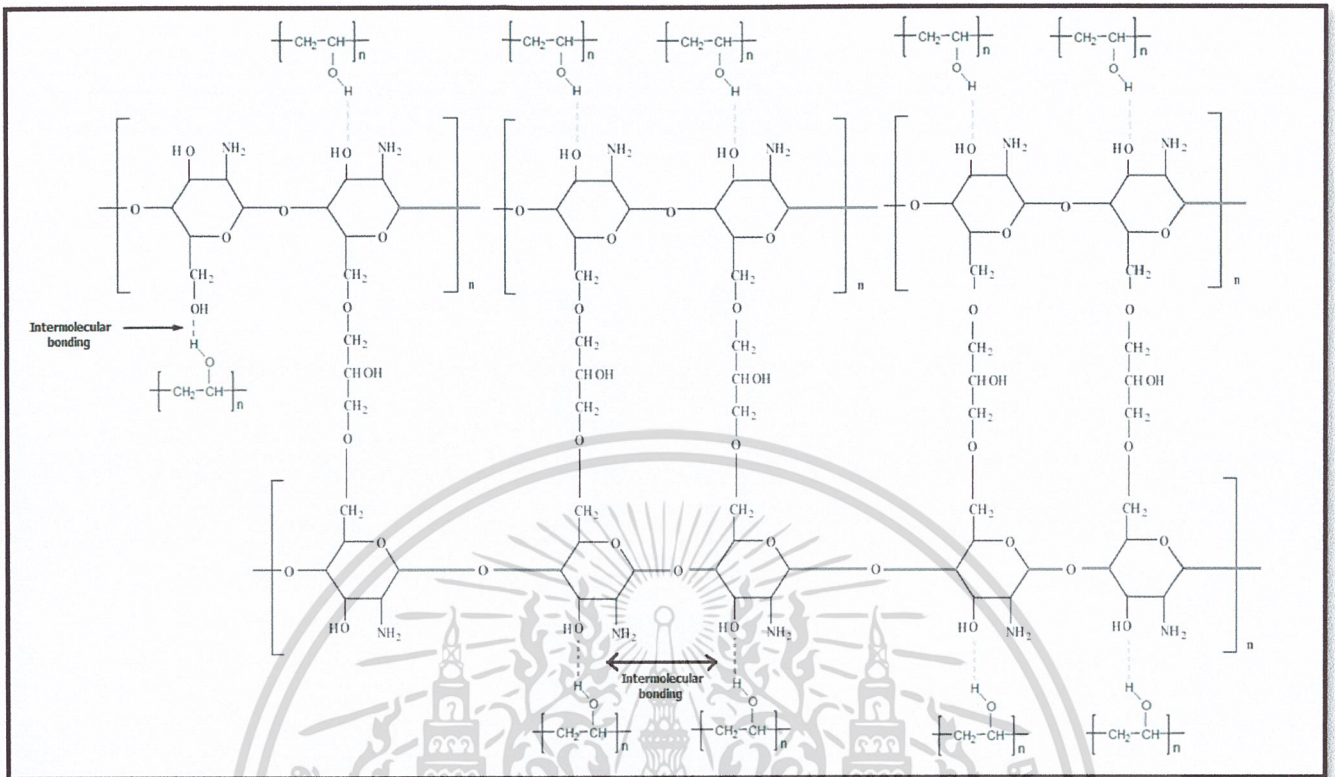
จากรูปที่ 4.4 ค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนที่ใช้อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:2 มีค่าสูงกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:3 นั่นคือ เมื่อปริมาณของอีพิกลอโรไฮดรินเพิ่มขึ้นการดูดซึมน้ำของแผ่นเมมเบรนมีค่าลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า อีพิกลอโรไฮดรินจะไปเชื่อมโยงโครงสร้างไคโตซาน ให้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ซึ่งทำให้เมมเบรนมีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อปริมาณอีพิกลอโรไฮดรินเพิ่มขึ้น สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานจะอยู่ชิดติดกันมากขึ้น ทำให้เหลือช่องว่าง (free volume) ระหว่างสายโซ่น้อยลงในการดูดซึมน้ำ ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง แต่จากผลการทดลองค่าการบวมตัวของเมมเบรนทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

โดยอีพิกลอโรไฮดรินสามารถที่จะเกิดการเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ แต่จะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมากเนื่องจากหมู่ -OH ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความว่องไวน้อยกว่าหมู่ -CH₂OH ของไคโตซาน

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลและการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนสามารถสรุปได้ว่า แผ่นเมมเบรนที่มีความแข็งแรงดิ่งต่ำ จะมีความสามารถในการบวมตัวได้สูงกว่าแผ่นเมมเบรนที่มีความแข็งแรงดิ่งสูง เนื่องมาจากเกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ไคโตซานที่ถูกเชื่อมโยง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างสายโซ่ในเมมเบรนได้มากนั่นเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงโครงสร้างของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน ได้ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

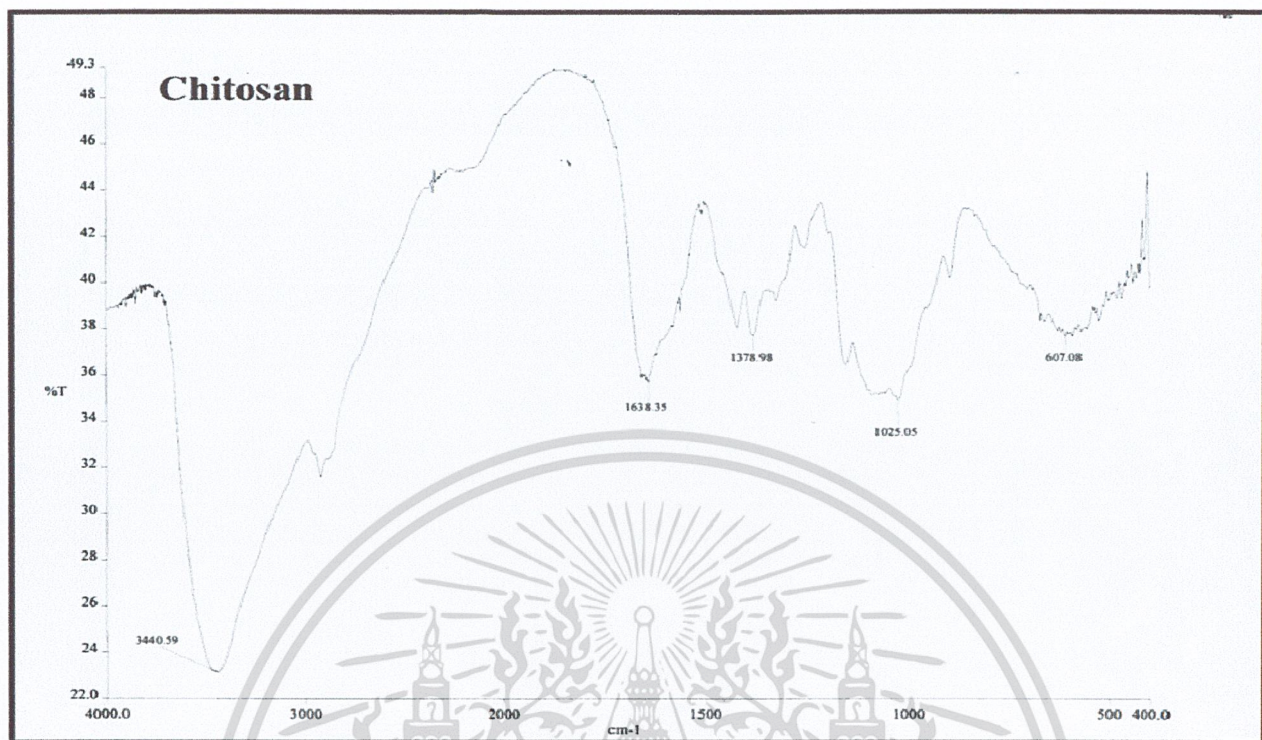


รูปที่ 4.5 โครงสร้างของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

4.1.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม PVA เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

แผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เตรียมขึ้นด้วยการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วนต่างๆ จะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) โดย FT-IR สเปกตรัมของสารที่ใช้ในการสังเคราะห์เมมเบรน ได้แก่ ไคโตซาน PVA และอีพิกลอโรไฮดริน แสดงดังรูปที่ 4.6-4.8 สำหรับ FT-IR สเปกตรัมของไคโตซานที่ผสม PVA, ไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน และแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1:1:1 และ 2:1:2 แสดงดังรูปที่ 4.9-4.12

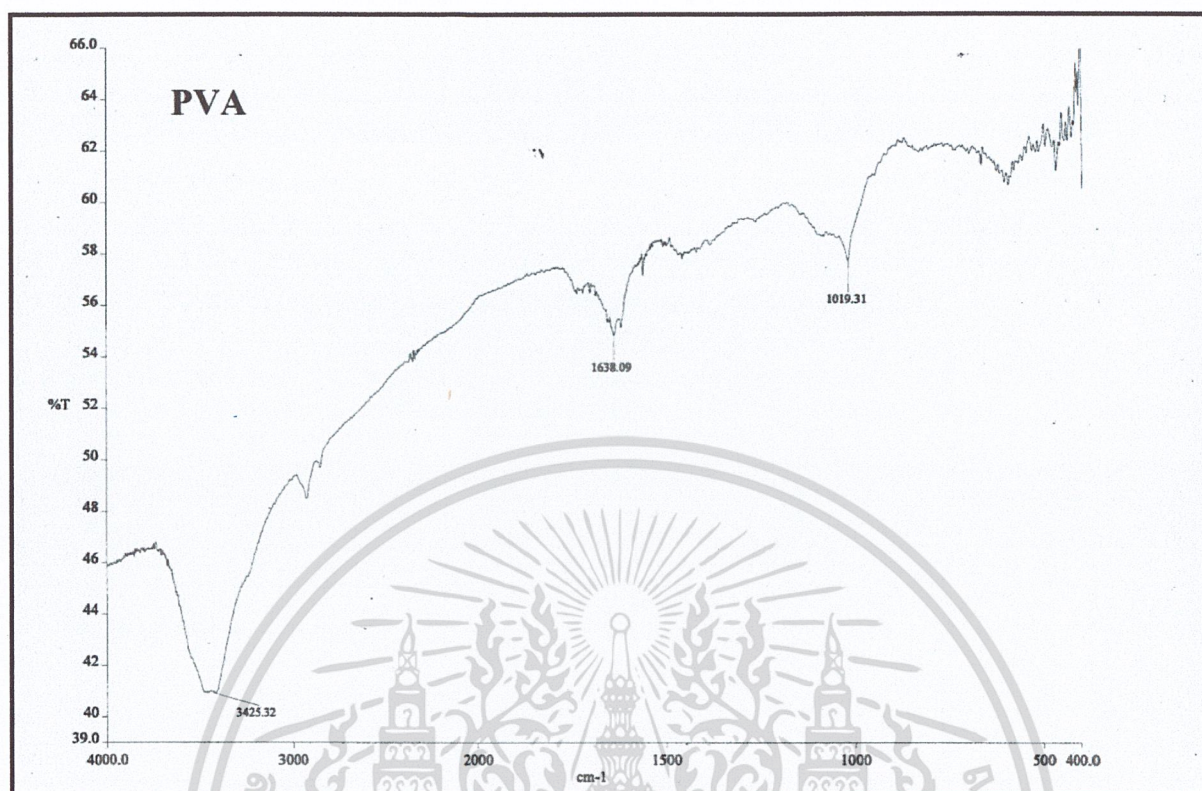
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน (Chitosan)

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน จะพบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญบริเวณช่วงความถี่ $3000 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของหมู่แอลกอฮอล์, N-H stretching ของ primary amine และ 1638 cm^{-1} สำหรับ N-H bending ของหมู่ amine

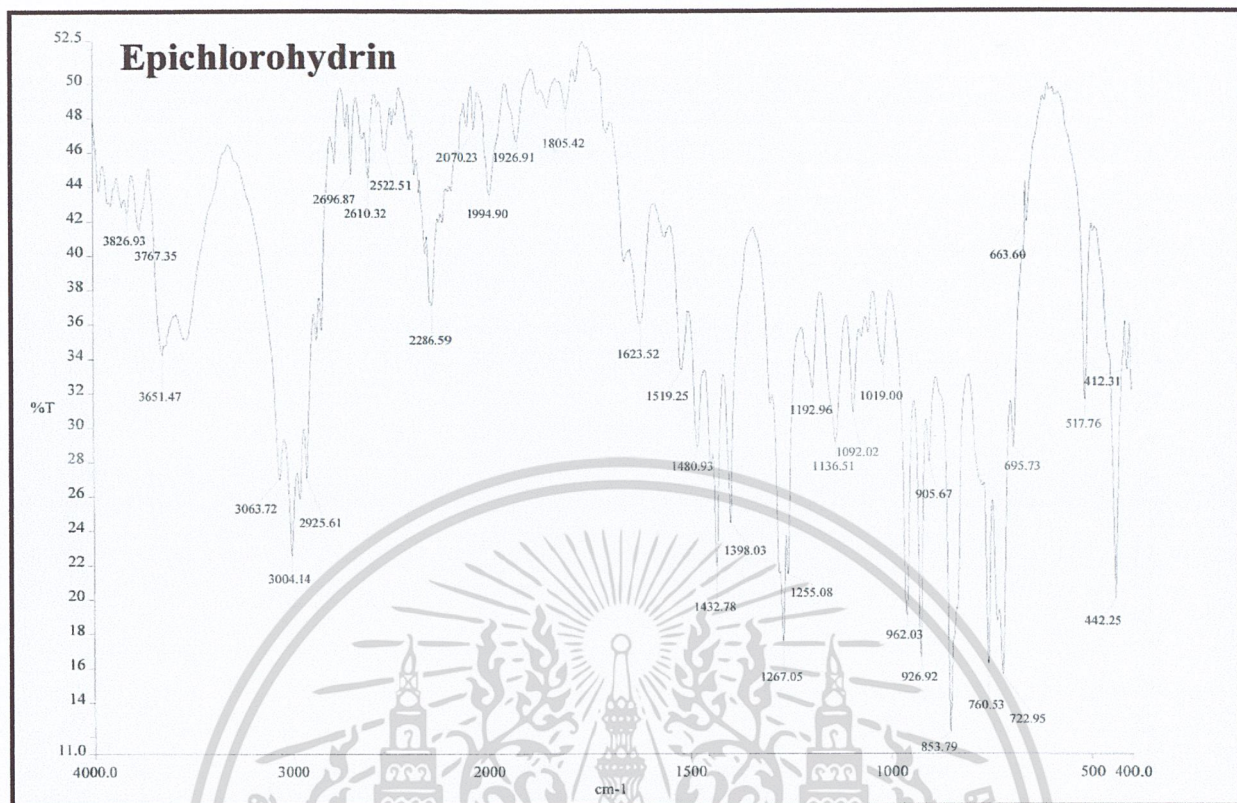
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในรูปที่ 4.7 พบพีกกว้างที่ความถี่ 3425 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีกของ O-H stretching ของหมู่แอลกอฮอล์ และพบพีกที่ความถี่ 1019 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีกของ C-O stretching ของ primary alcohol

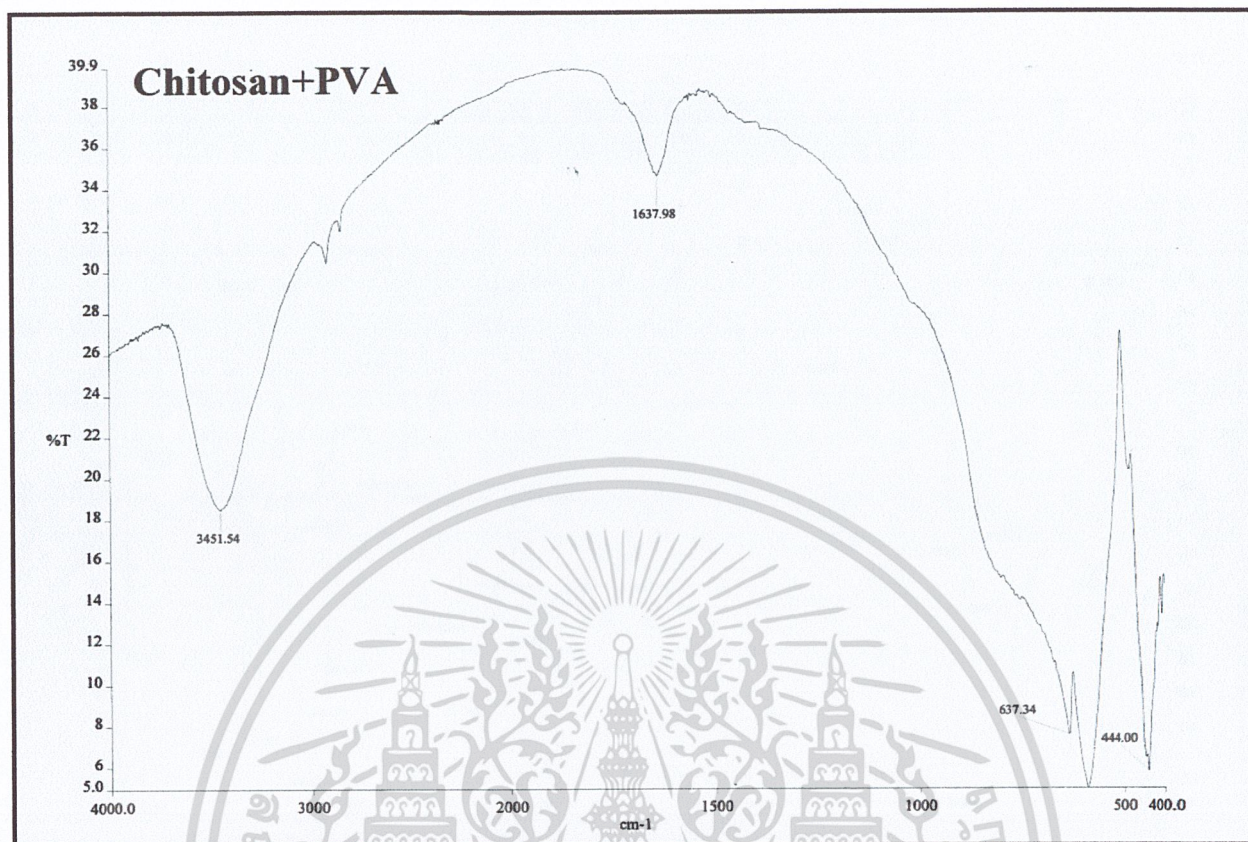
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของอีพิคลอโรไฮดริน (ECH)

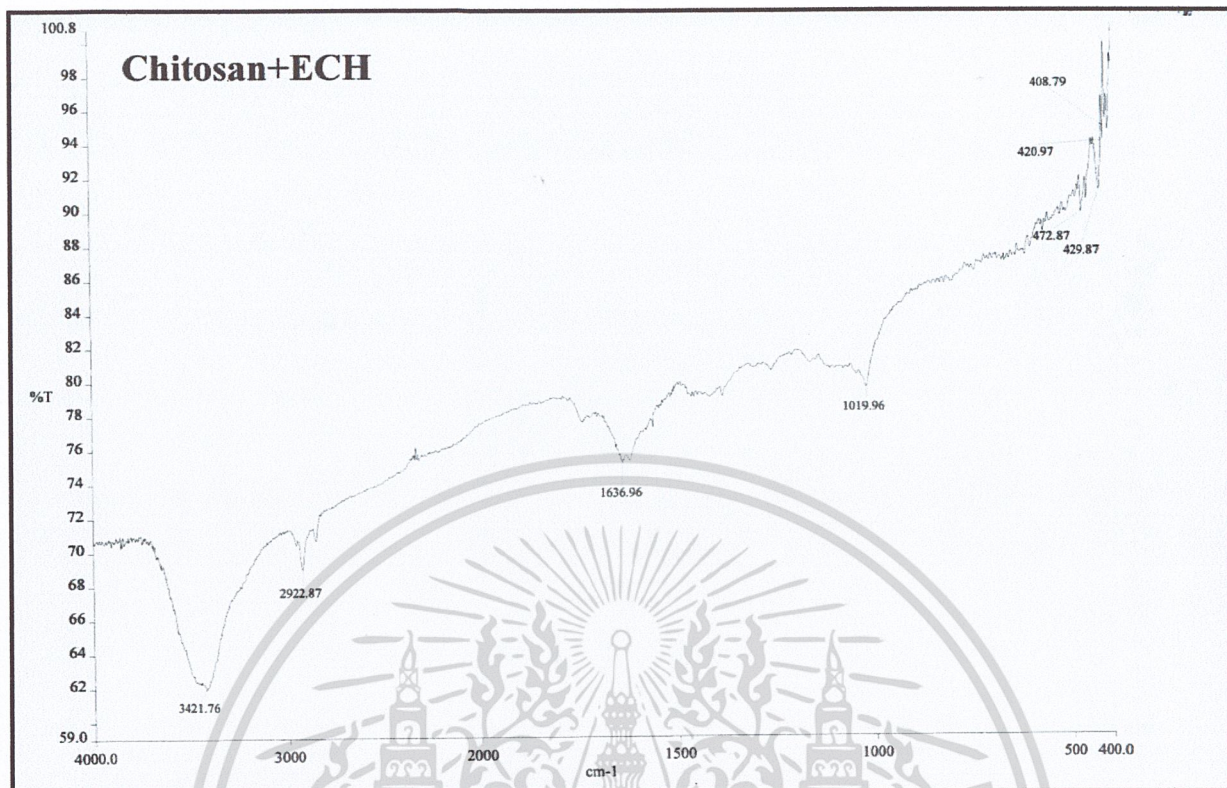
อินฟราเรดสเปกตรัมของ epichlorohydrin (ECH) ในรูปที่ 4.8 พบพีคที่สำคัญนั้นคือ ที่ช่วงความถี่ 2900-3100 cm⁻¹ เป็นพีคของ C-H stretching ของหมู่ -CH₂ ที่ช่วงความถี่ 1200-1275 cm⁻¹ เป็นพีคของ asymmetric C-O ของ ether ที่ความถี่ 1150-1300 cm⁻¹ เป็นพีคของหมู่ -CH₂-Cl และที่ความถี่ประมาณ 700 cm⁻¹ เป็นความถี่ของพันธะ C-Cl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

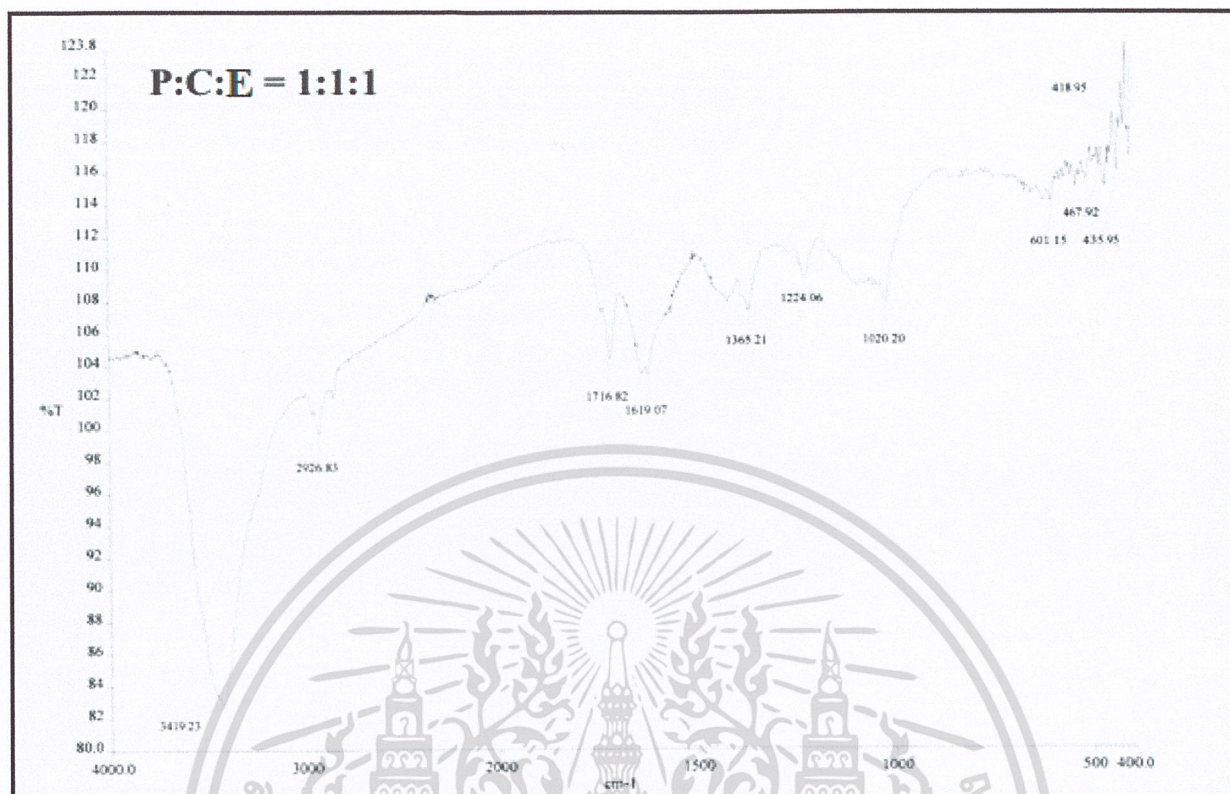
เมื่อนำแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสม PVA ไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบว่าสเปกตรัมที่ได้ในรูป 4.9 พบว่าลักษณะสเปกตรัมใกล้เคียงกับสเปกตรัมของ PVA แต่ต่างกันที่ไม่พบพีค C-O stretching ของ primary alcohol PVA ที่เติมลงไปไคโตซาน อาจเกิดการเชื่อมโยงกับไคโตซานแล้ว ซึ่งลักษณะสเปกตรัมของไคโตซานผสม PVA ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะสอดคล้องกับงานวิจัยของ M.Kumar และคณะ [13]



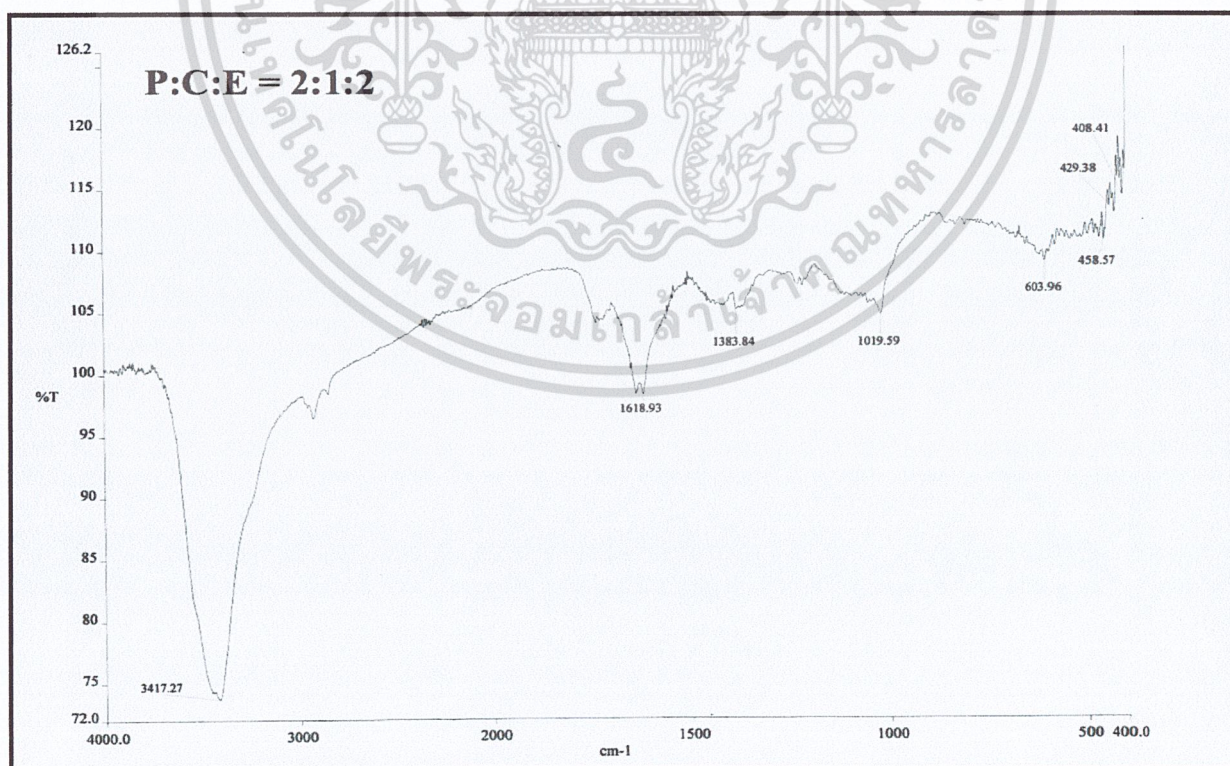
รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผสมกับอีพิกลอโรไฮดริน

เมื่อนำไคโตซานมาเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน พบลักษณะสเปกตรัมดังรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าพบพีคกว้างของหมู่ -OH และ -NH₂ ระหว่างช่วงความถี่ 3000-3500 cm⁻¹ ที่ความถี่ 2922 cm⁻¹ เป็นพีคของหมู่ asymmetric -CH₂ ที่ความถี่ 1636 cm⁻¹ เป็นลักษณะพีคของ -NH stretching ของหมู่ amine และพีคของหมู่ C-O stretching ที่ตำแหน่ง 1019 cm⁻¹ นอกจากนี้ที่บริเวณความถี่ประมาณ 1200 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีคของ C-O-C stretching ที่เกิดจากการเชื่อมโยงไคโตซานและอีพิกลอโรไฮดริน แต่ในสเปกตรัมรูปที่ 4.10 อาจเห็นได้ไม่ชัดเจนและไม่พบพีคของ C-Cl และ -CH₂-Cl เนื่องจากอีพิกลอโรไฮดรินได้เชื่อมโยงกับไคโตซานแล้ว แต่อย่างไรก็ตามสเปกตรัมของไคโตซานเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ W.S.Wan และคณะ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E เป็น 1:1:1



รูปที่ 4.12 ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E เป็น 2:1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือจำหน่าย การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

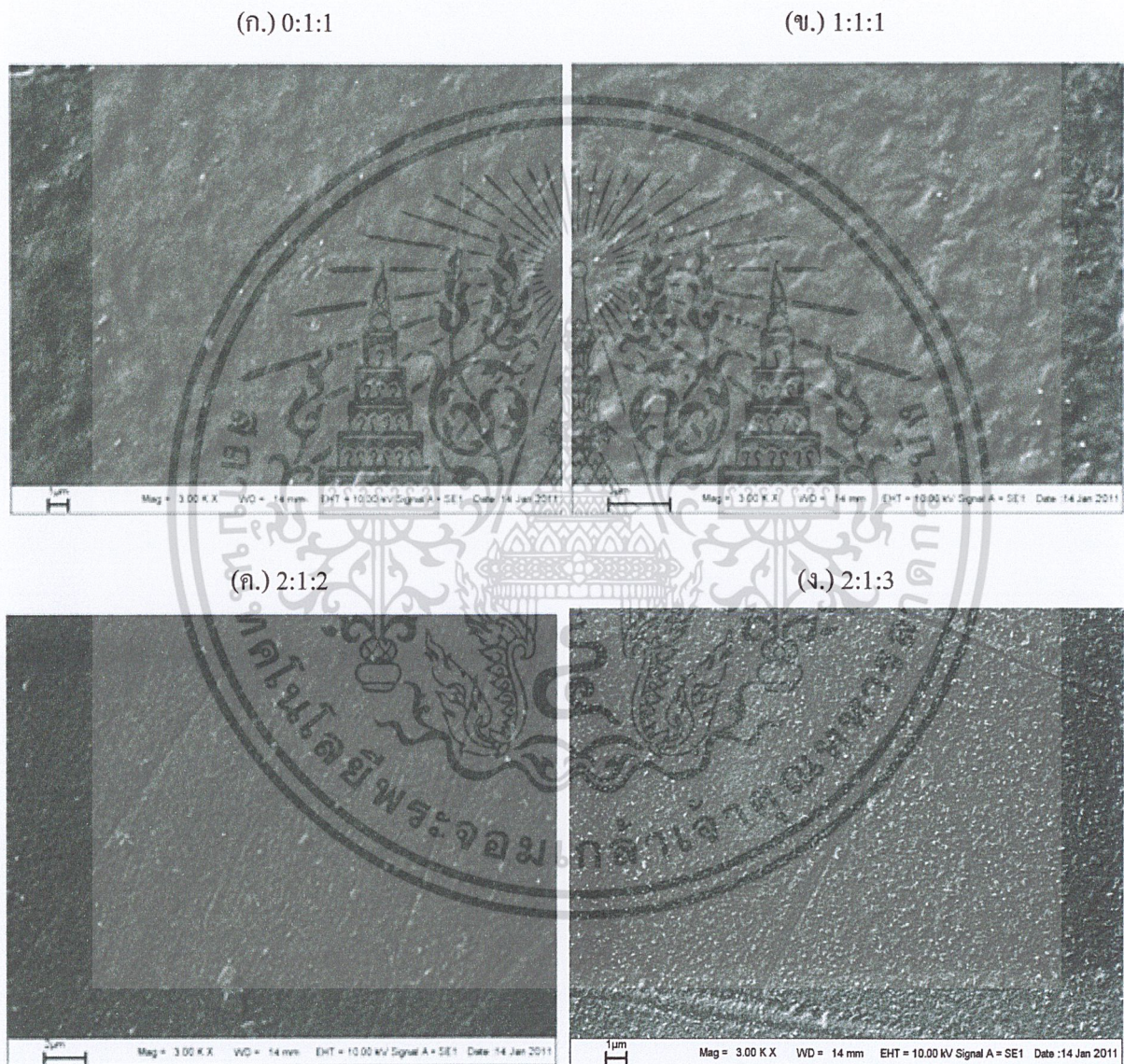
เมื่อนำไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วน P : C : E เป็น 1:1:1 และ 2:1:1 ไปวิเคราะห์ห้ด้าน FT-IR พบลักษณะสเปกตรัมดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 สเปกตรัมที่ได้มีความใกล้เคียงกันและพบพีคที่สำคัญคือ ช่วงความถี่ 3500 – 3100 cm^{-1} เป็นพีคของ N-H stretching ของ primary amine ที่ช่วงความถี่ 1640-1550 cm^{-1} พบพีคของ N-H bending ของ primary amine ที่ช่วงความถี่ 1300 – 1000 cm^{-1} พบพีค C-O stretching ในช่วงความถี่ 1090 – 1020 cm^{-1} พบพีค C-N stretching ของ amine และไม่พบพีค C-Cl stretching ที่ความถี่ประมาณ 700 cm^{-1} เนื่องจากอีพิกลอโรไฮดรินเกิดการเชื่อมโยงกับไคโตซานแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอรอไฮดริน

แผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอรอไฮดริน ที่ใช้อัตราส่วน P : C : E ต่างๆ จะนำไปตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงดังรูป 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วนของ P : C : E (ก.) 0:1:1, (ข.) 1:1:1 (ค.) 2:1:2 และ

เอกสารนี้(ง.) 2:1:3 ตามลำดับไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นเมมเบรน รูป (ก.) และ (ข.) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA โดยพบว่ารูป (ก) มีพื้นผิวที่แน่นและเรียบเนียนกว่ารูป (ข) โดยที่รูป (ข) มีการเติม PVA ลงไป จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและมีความเข้ากันได้น้อยกว่า รูป (ก) มีปริมาตรอิสระมาก ยึดหยุ่นดี ส่วนรูป (ค.) และ (ง.) เป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ ECH ในรูป (ค) มีการเติมปริมาณ ECH ที่น้อยกว่าเกิดการเชื่อมโยงที่น้อยกว่า พื้นผิวเรียบและมีการเข้ากันได้มากกว่า รูป (ง) ซึ่งในรูป (ง) มีการเติมปริมาณ ECH ในปริมาณที่มากเกิดการเชื่อมโยงที่แน่นพื้นผิวจึงมีความขรุขระและความเข้ากันได้จึงต่ำกว่ารูป (ค)

4.2 การดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยง

ด้วยอีพิคลอโรไฮดริน

4.2.1 ผลของ pH ที่มีการดูดซับฟีนอล

ในการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลทำได้โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟีนอลความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (50 ppm) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยปรับ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งสังเคราะห์เป็น 1,2,3,4,5 และ 7 ปริมาณเมมเบรน 0.5 กรัม ทำการดูดซับเป็นเวลา 60 นาที แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่ แผ่นเมมเบรนที่นำมาดูดซับจะเลือกจากอัตราส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงถึงต่ำสุดและสูงสุด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5-4.8

ตาราง 4.5 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน

P : C : E เป็น 0 : 1 : 1

pH	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	38.21	23.57
2	29.14	41.73
3	25.32	49.37
4	17.03	65.94
5	20.12	59.76
6	27.92	44.16
7	30.69	38.63

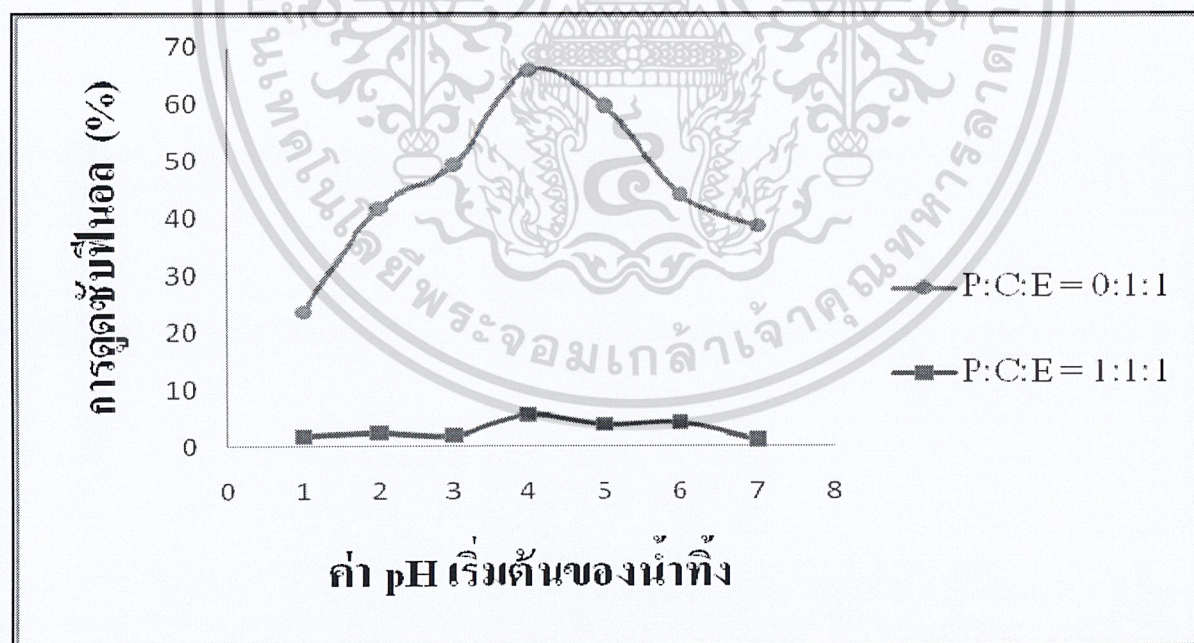
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน

P : C : E เป็น 1 : 1 : 1

pH	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	49.14	1.73
2	48.83	2.34
3	49.07	1.87
4	47.23	5.54
5	48.09	3.82
6	47.92	4.15
7	49.47	1.06

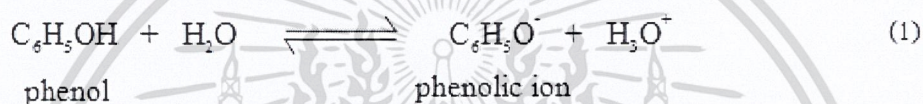
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และ 4.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลกับค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้ง ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดริน ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลของ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีต่อการดูดซับฟีนอล โดยแผ่นเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงปริมาณของ

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งมีผลต่อค่าการดูดซับฟีนอล เมื่อใช้ตัวดูดซับเป็นแผ่นเมมเบรนผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกโลโรไฮดรีน ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าในช่วง pH 1-4 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อ pH มากกว่า 4 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลมีค่าน้อยลง โดยประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลสูงสุด คือที่ pH เท่ากับ 4 จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าในสภาวะที่เป็นกรด หมู่เอมีนอิสระ ($-NH_2$) ของไคโตซานเมมเบรนสามารถรับโปรตอนจากสารละลายที่เป็นกรดและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก ($-NH_3^+$) สำหรับฟีนอลจัดว่าเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความเป็นกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำ จะเกิดการแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และฟีนอลิกไอออน ($C_6H_5O^-$) ดังสมการที่ (1)



ดังนั้นฟีนอลิกไอออน ($C_6H_5O^-$) ที่เกิดจากการแตกตัวของฟีนอล จะเกิดการดึงดูดกับเอมีนที่มีประจุบวก ด้วยแรงทางประจุไฟฟ้าทำให้ฟีนอลิกไอออนเกิดการดูดซับได้บนไคโตซานเมมเบรน

ในสภาวะที่น้ำทิ้งมี pH ต่ำหรือมีความเป็นกรดมากเกินไป การดูดซับฟีนอลจะมีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากในน้ำทิ้งที่ pH ต่ำ จะมีปริมาณของไฮโดรเนียมไอออนอยู่มาก จึงทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของฟีนอลเกิดการย้อนกลับไปทางซ้าย นั่นคือฟีนอลเกิดการแตกตัวเป็นฟีนอลิกไอออนได้น้อยลง ดังนั้นการดูดซับระหว่างไคโตซานเมมเบรนและฟีนอลิกไอออนจึงลดลงด้วย และเมื่อ pH น้ำทิ้งมากกว่า 4 หรือมีสภาวะเป็นเบสมากขึ้น หมู่อะมิโน ($-NH_2$) จะเกิดเป็นเอมีนที่มีประจุบวก ($-NH_3^+$) ได้น้อยลง จึงเกิดการดึงดูดกับฟีนอลิกไอออนได้น้อย ดังนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับจึงน้อยลง

จากผลการทดลองพบว่าที่สภาวะเป็นกรดและเบสมากเกินไป จึงไม่เหมาะสมต่อการดูดซับฟีนอลบนผิวของไคโตซาน ดังนั้นค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับฟีนอลคือ pH 4

ตาราง 4.7 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 2

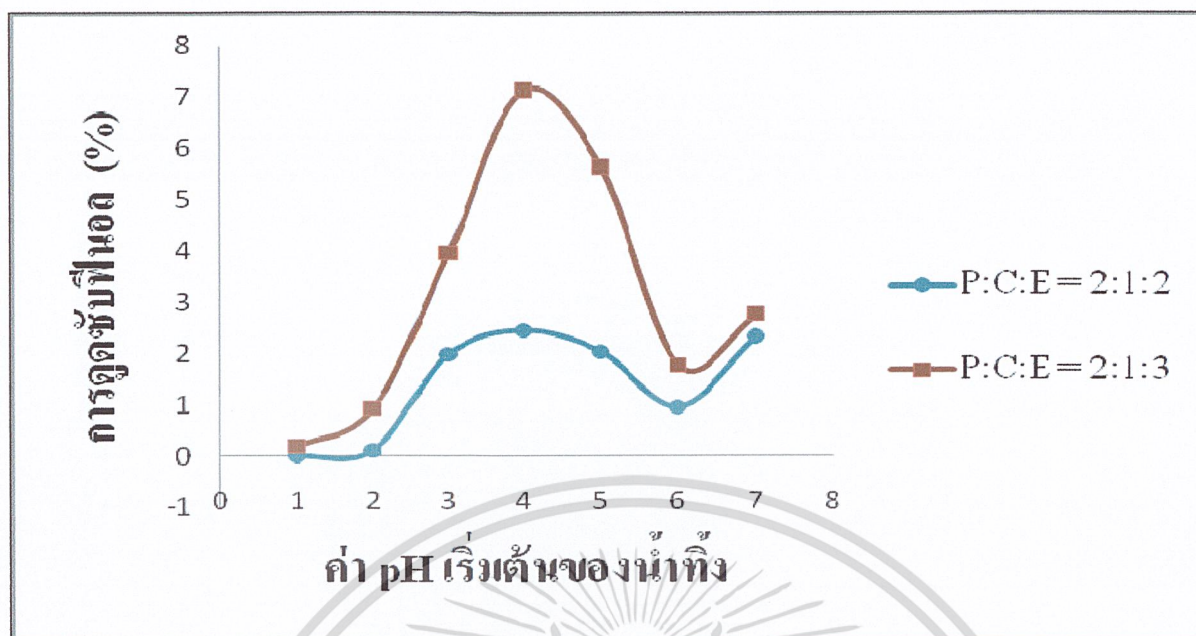
pH	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	50.00	0.00
2	49.95	0.11
3	49.01	1.98
4	48.78	2.45
5	48.99	2.03
6	49.52	0.95
7	48.84	2.33

ตาราง 4.8 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 2 : 1 : 3

pH	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	49.91	0.18
2	49.54	0.92
3	48.02	3.96
4	46.44	7.13
5	47.18	5.63
6	49.12	1.77
7	48.62	2.76

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และ 4.8 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลกับค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งด้วยแผ่นเมมเบรนโคโตะซานผสม PVA เชื่อมโยงด้วย ECH ที่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ECH ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลของ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีต่อการดูดซับฟีนอล โดยแผ่นเมมเบรนที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิกลอโรไฮดริน

จากรูปแสดงผลของ pH ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยไคโตซานที่ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีการเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิกลอโรไฮดรินก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับไคโตซานเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA นั่นคือที่ pH 4 ฟีนอลถูกดูดซับได้มากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับฟีนอลที่ pH 4 ของแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA และ ECH จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA และ ECH จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ PVA จากอัตราส่วน P : C : E จาก 0:1:1 เป็น 1:1:1 การดูดซับฟีนอลจะลดลงจาก 65.94 % เป็น 5.54% อาจเนื่องจากปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างเมมเบรนมีความแข็งแรงมาก จะเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดึงที่สูง ดังนั้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อาจเข้าขัดขวางการแพร่ของฟีนอลิกไอออนเพื่อเข้าไปดั่งคูดหมู่อะมิโนของไคโตซาน สำหรับแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เปลี่ยนแปลงปริมาณ ECH จากอัตราส่วน 2:1:2 เป็น 2:1:3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ ECH การดูดซับฟีนอลจะเพิ่มขึ้นจาก 2.45% เป็น 7.13% เนื่องจากการดูดซึมน้ำของแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:3 ต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 เพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่เวลา 60 นาที ความสามารถในการแพร่ของสารละลายเข้าไปในแผ่นเมมเบรนน่าจะใกล้เคียงกัน และสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 สูงกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:3 แสดงว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:3 อาจเกิดเชื่อมโยงมากไปจน

แข็งเปราะ แต่ถ้าดูจากภาพ SEM จะเห็นว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:3 ขรุขระกว่า แผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 ดังนั้นความขรุขระของแผ่นเมมเบรนอาจช่วยให้เพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับให้มากขึ้นและที่สภาวะเป็นกลาง ไคโตซานจะมีหมู่อะมิโนในรูป $-NH_2$ ขณะที่ฟีนอลจะอยู่ในรูปไอออน เพราะฟีนอลแตกตัวในน้ำได้ แต่การแตกตัวอาจจะน้อยที่สภาวะเป็นกลางทำให้เหลือโมเลกุลฟีนอลอยู่มาก จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง $-OH$ ของฟีนอล กับ $-NH_2$ ของไคโตซานได้ ดังนั้นการดูดซับจึงเพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย

แต่อย่างไรก็ตามแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่มีอัตราส่วน 2:1:2 และ 2:1:3 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่มีอัตราส่วน 0:1:1 เป็น 1:1:1 มาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้ง

4.2.2 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเชื่อมโยงด้วยอีพิกလိုโรไฮดริน

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับ ทำได้โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟีนอลความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และปรับค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณแผ่นเมมเบรน 0.5 กรัม โดยเลือกแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0:1:1 และ 1:1:1 ทำการเขย่าและแปรค่าระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที แล้ววิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1

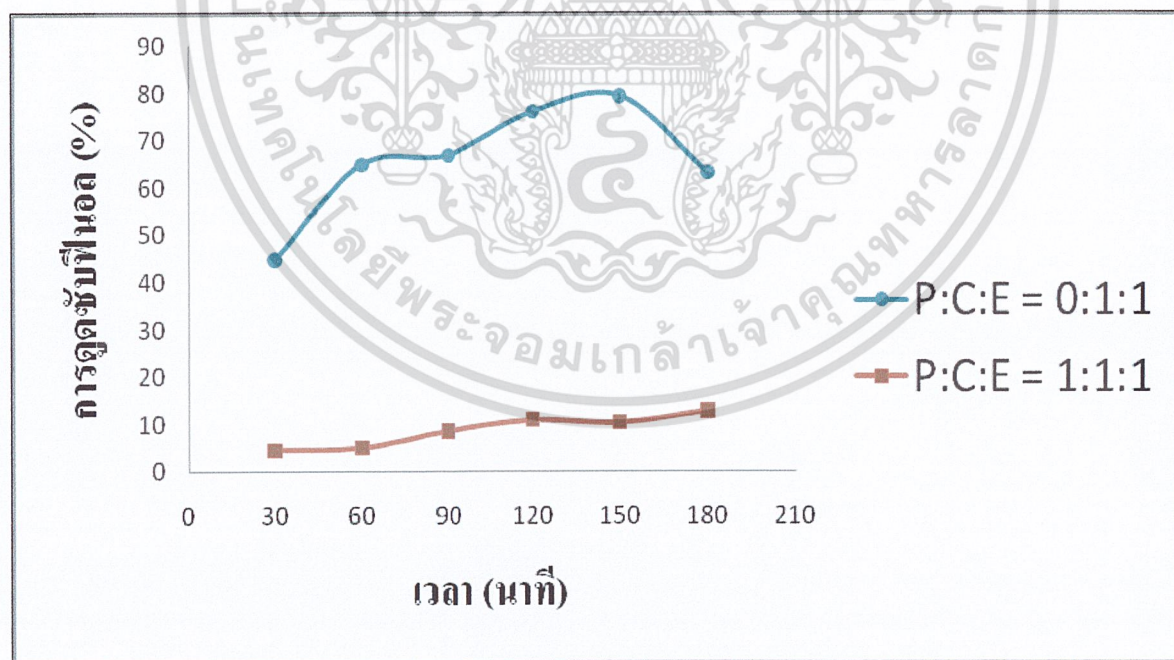
เวลา(นาที)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
30	27.62	44.76
60	17.55	64.91
90	16.56	66.88
120	11.95	76.10
150	10.32	79.36
180	18.44	63.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1

เวลา(นาที)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
30	47.76	4.47
60	47.53	4.93
90	45.75	8.49
120	44.59	10.81
150	44.85	10.31
180	43.64	12.73

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และ 4.10 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลกับเวลาในการดูดซับ ด้วยแผ่นเมมเบรน ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับฟีนอลกับเวลาโดยแผ่นเมมเบรนมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งเสริมให้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าการดูดซับด้วยแผ่นเมมเบรนทั้ง 2 สูตร การดูดซับฟีนอลในช่วงเวลา 30 ถึง 150 นาที ค่าการดูดซับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะมีการเพิ่มระยะเวลาจะทำให้ฟีนอลิกไอออนสามารถแพร่เข้าไปในแผ่นเมมเบรน และการดูดซับกับประจุบวกของอะมิโน ($-NH_3^+$) ได้มากขึ้น แต่หลังจากเวลาการดูดซับมากกว่า 150 นาที การดูดซับฟีนอลน้อยลง สำหรับแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0:1:1 เนื่องจากแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วนนี้มีความแข็งแรงต่ำ และมีการบวมตัวที่สูง ดังนั้นเมื่อนำไปดูดซับที่ระยะเวลานานเกินไป แผ่นเมมเบรนอาจเกิดการบวมตัวอย่างมากและแตกหักเสียหาย ดังนั้นระยะเวลาต่อการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่เหมาะสมที่สุดคือ 150 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

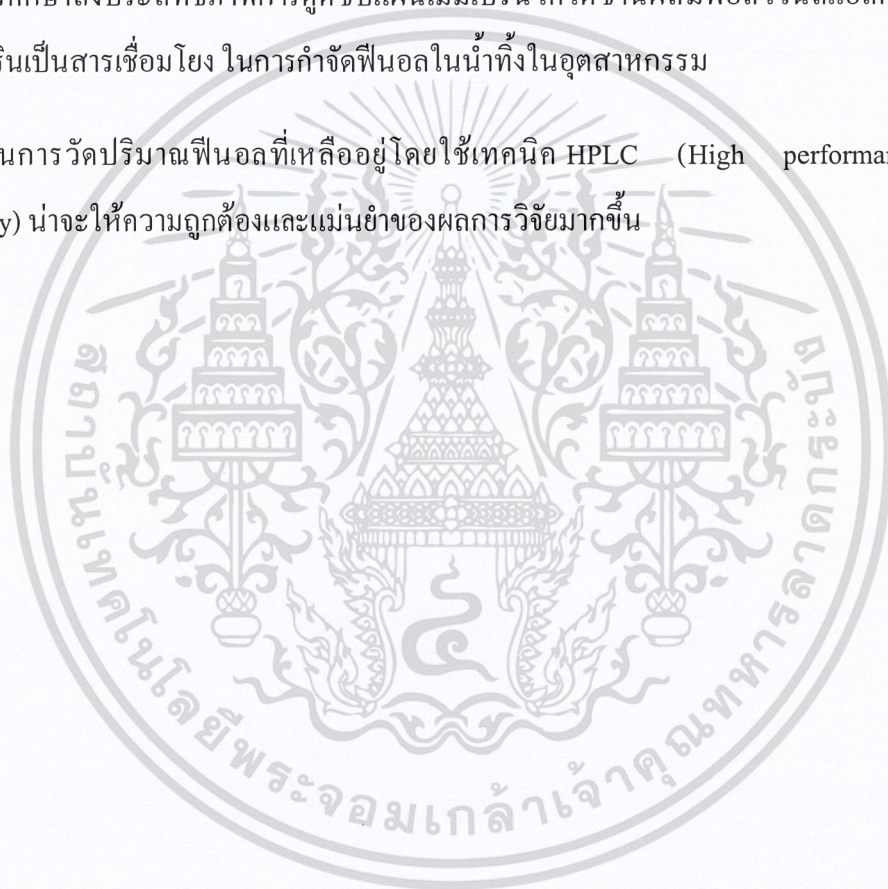
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. การศึกษาผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีอีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เติม PVA (อัตราส่วน P : C : E เป็น 1:1:1) มีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ไม่เติม PVA (อัตราส่วน P : C : E เป็น 0:1:1)
 2. การศึกษาผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน (ECH) ที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีอีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เติม ECH ปริมาณมาก (อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:3) มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่เติม ECH น้อยกว่า (อัตราส่วน P : C : E เป็น 2:1:2)
 3. การศึกษาผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อีพิกลอโรไฮดริน ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นการดูดซับมีค่าลดลง และเมื่อมีปริมาณอีพิกลอโรไฮดรินเพิ่มขึ้น การดูดซับก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน
 4. การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีอีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าที่ pH เท่ากับ 4 ตัวดูดซับสามารถดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ฟีนอลได้ดีที่สุด
 5. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับฟีนอล พบว่าเมื่อเวลาการดูดซับมากขึ้น ทำให้การดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่พอถึงระยะเวลาหนึ่งการดูดซับมีค่าลดลง ดังนั้นเวลาในการดูดซับฟีนอลที่เหมาะสมคือ 150 นาที
 6. สูตรของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีอีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยงที่อัตราส่วน P : C : E เป็น 1:1:1 ดีที่สุด เพราะมีทั้งสมบัติเชิงกลและค่าการดูดซับที่ดี เมื่อเทียบกับสูตรอื่น
- ผู้วิจัยนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีอิพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง ในการกำจัดสารพิษที่เป็นอันตรายชนิดอื่น เช่น โลหะหนัก
2. ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับ เช่น ความเข้มข้น, อุณหภูมิ, ความเร็วรอบในการเขย่า เป็นต้น
3. ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีอิพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง ในการกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งในอุตสาหกรรม
4. ในการวัดปริมาณฟีนอลที่เหลืออยู่โดยใช้เทคนิค HPLC (High performance liquid chromatography) น่าจะให้ความถูกต้องและแม่นยำของผลการวิจัยมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Delvala, G. Crinib, N. Morinc, J. Vebrela, S. Bertinid, G. Torrid ,The sorption of several types of dye on crosslinked polysaccharides derivatives , Journal of Dyes and Pigments. 53 (2002) 79–92
- [2] Arh-Hwang Chen, Sheng-Chang Liu, Chia-Yuan Chen, Chia-Yun Chen,Comparative adsorption of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) ions in aqueous solution on the crosslinked chitosan with epichlorohydrin, Journal of Hazardous Materials, 154(2008) 184-191
- [3] รัตนา รุจิรวนิช (2001) การผลิตไคตินและไคโตซาน. วิทยาลัยปิโตรเลียมและ ปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] โกสุม สมัครรัตน์, สุวบุญ จิราชาญชัย และรับรอง ยกส้าน(2001) สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตซาน. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] กานดา ใจดี, ชัยวัฒน์ สุภูมิตรกฤษณา และพัชนี ศรีเมือง (1997) การใช้ไคโตซานและผงถ่านกัมมันต์ดูดซับสีย้อมผ้า. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] สุวลี จันทร์กระจ่าง (2001) การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน. แผนกเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
- [7] Zheng, H., Du, Y., Yu, J., Huang, R. and Zngang, L., Preparation and Characterization of Chitosan/Poly (vinyl alcohol) Blend Fiber, Journal of Applied Polymer Science, 80 (2001) 2558-2565
- [8] Shin-Hee Lee, Soo-Min Park, Yongkuk Kim, Effect of the concentration of sodium acetate (SA) on crosslinking of chitosan fiber by epichlorohydrin (ECH) in a wet spinning system, Journal of Carbohydrate Polymers, 70(2007)53-60
- [9] W.S. Wan Ngan , M.A.K.M. Hanafiah , S.S. Yong , Adsorption of humic acid form aqueous solution on crosslink chitosan – epichlorohydrin beads : kinetics and isotherm studies , Colloids and Surface B : Biointerface. 65(2008)18-24
- [10] Ezequiel S. Costa-Júnior, Edel F. Barbosa-Stancioli, Alexandra A.P. Mansur, Wander L. Vasconcelos and Herman S. Mansur , Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol) chemically crosslinked blends for biomedical applications , Journal of Carbohydrate Polymers, 76 (2009) 472-481
- [11] สุทธิ ปิ่นพานิช (2002) กระบวนการดูดซับ. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] ชุติมา สันหัทคี และพรพิมล พัดภู (2001) การดูดซับทองและแคดเมียมในน้ำ ชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้ไคโตซาน. ปรินญาณีพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] M.Kumav, B.P.ipathi, V.K.Shahi, Crosslinked chitosan / polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cu) II) form wastewater , Journal of Hazardous materials. 172)2009(1041-1048



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยวิธี Direct Photometric method

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายไคโตซาน

นำเกร็ดไคโตซาน 5 กรัม มาละลายในกรดแอซิดิกเข้มข้น 5% ปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (มวลโมเลกุล 72,000-88,000 กรัมต่อโมล)

นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ทำการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.3 สารละลายอีพิคลอโรไฮดริน ความเข้มข้น 1% ปริมาตรต่อปริมาตร

นำอีพิคลอโรไฮดรินปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

1.4 สารละลายฟีนอลในน้ำที่สังเคราะห์ ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งฟีนอลหนัก 0.025 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

2.1 ปิเปตสารละลายฟีนอลในน้ำที่สังเคราะห์ ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1 , 2 , 3 และ 4

มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร 4 ขวด

2.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100

มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมแบลนด์โดยใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

2.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV Visible

Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

2.4 พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร) และค่าการดูดกลืน

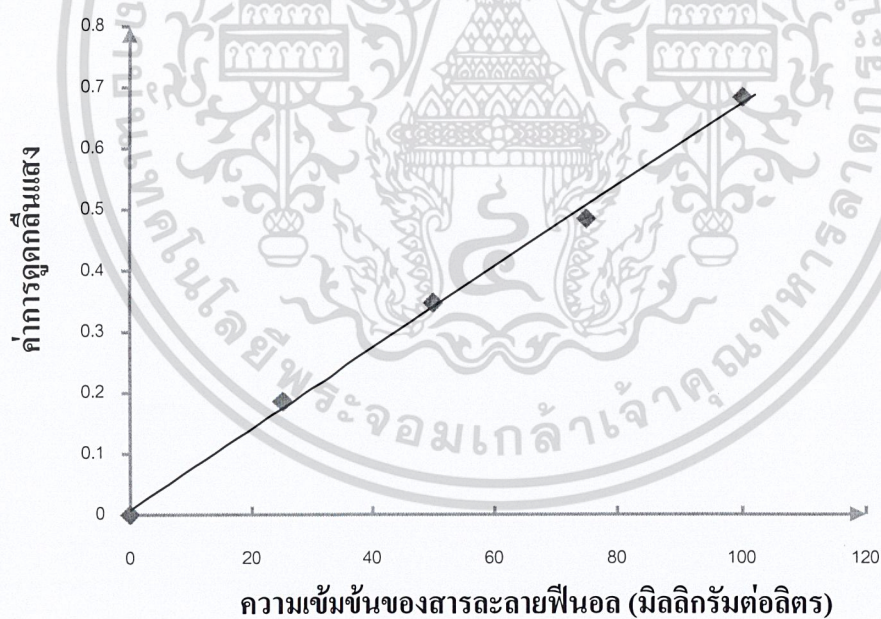
แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การพลอตกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
25	0.186
50	0.348
75	0.486
100	0.685
blank	0.000



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลอง

1. ข้อมูลการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ P : C : E	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0:1:1	17.02	18.70	20.34	18.68
0.5:1:1	30.15	29.42	28.35	29.30
1:1:1	47.22	48.72	31.17	42.37
2:1:1	41.22	47.55	32.28	40.35
3:1:1	34.56	31.40	29.68	31.88

ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณอีพิกลอโรไฮดริน (ECH) ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ P : C : E	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2:1:0.5	33.46	34.10	34.52	34.02
2:1:1	35.36	35.59	34.42	35.13
2:1:2	37.39	38.39	42.25	39.34
2:1:3	24.65	31.00	33.30	29.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลการศึกษาการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนไลโคซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วน โดยน้ำหนักของ P : C : E	เวลา (นาที)																	
	10			20			30			40			50			60		
	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)
0:1:1	0.62	0.93	50	0.58	1.04	80	0.60	1.07	79	0.62	1.12	81	0.59	1.05	80	0.58	1.06	82
1:1:1	0.60	0.79	32	0.58	0.86	48	0.59	0.99	68	0.61	1.04	70	0.60	1.03	72	0.59	1.01	71

หมายเหตุ อัตราส่วน 0:1:1 มีค่าความแข็งแรงดิ่งต่ำสุด

อัตราส่วน 1:1:1 มีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุด

ตารางที่ ข.4 ผลของปริมาณอีพิกลอร์ไฮดริน ที่มีต่อค่าการบวมตัวที่เวลาต่างๆของแผ่นเมมเบรน

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ P : C : E	เวลา (นาที)																	
	10			20			30			40			50			60		
	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)	นน. ก่อน แช่ (g)	นน. หลัง แช่ (g)	ECH (%)
2:1:2	0.59	0.76	28	0.60	0.80	34	0.58	0.88	52	0.60	0.98	63	0.56	0.92	65	0.61	1.00	64
2:1:3	0.58	0.73	25	0.59	0.81	38	0.60	0.85	42	0.59	0.91	55	0.61	0.98	60	0.60	0.96	60

หมายเหตุ อัตราส่วน 2:1:2 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

อัตราส่วน 2:1:3 มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด

สูตรการคำนวณค่าการบวมตัว

$$\text{ร้อยละการบวมตัว} = [(W_s - W_d) / W_d] \times 100$$

โดย W_s คือน้ำหนักของเมมเบรนที่อิมตัวด้วยน้ำ

W_d คือน้ำหนักของเมมเบรนที่แห้ง

3. ข้อมูลการศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซาน ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เชื่อมโยงด้วยอีพิกလိုโรไฮดริน

3.1 ผลของ pH ที่มีการดูดซับฟีนอลโดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตารางที่ ข.5 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P:C:E เป็น 0:1:1 โดยมีค่าความแข็งแรงดิ่งต่ำสุด

pH	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	50.00	38.21	23.57
2	50.00	29.14	41.73
3	50.00	25.32	49.37
4	50.00	17.03	65.94
5	50.00	20.12	59.76
6	50.00	27.92	44.16
7	50.00	30.69	38.63

ตารางที่ ข.6 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P:C:E เป็น 1:1:1 โดยมีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุด

pH	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	50.00	49.14	1.73
2	50.00	48.83	2.34
3	50.00	49.07	1.87
4	50.00	47.23	5.54
5	50.00	48.09	3.82
6	50.00	47.92	4.15
7	50.00	49.47	1.06

3.2 ผลของ pH ที่มีการดูดซับฟีนอลโดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิคลอโรไฮดริน

ตารางที่ ข.7 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำที่สังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน

P : C : E เป็น 2 : 1 : 2 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

pH	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	50.00	50.00	0.00
2	50.00	49.95	0.11
3	50.00	49.01	1.98
4	50.00	48.78	2.45
5	50.00	48.99	2.03
6	50.00	49.52	0.95
7	50.00	48.84	2.33

ตารางที่ ข.8 ผลของ pH เริ่มต้นในน้ำที่สังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน

P : C : E เป็น 2 : 1 : 3 โดยมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด

pH	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
1	50.00	49.91	0.18
2	50.00	49.54	0.92
3	50.00	48.02	3.96
4	50.00	46.44	7.13
5	50.00	47.18	5.63
6	50.00	49.12	1.77
7	50.00	48.62	2.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลด้วยแผ่นเมมเบรน ไคโตซานที่ผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน

ตารางที่ ข.9 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 0 : 1 : 1 โดย ปรับ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งเท่ากับ 4

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
30	50	27.62	44.76
60	50	17.55	64.91
90	50	16.56	66.88
120	50	11.95	76.10
150	50	10.32	79.36
180	50	18.44	63.13

ตารางที่ ข.10 ผลของเวลาในการดูดซับฟีนอลของแผ่นเมมเบรนที่มีอัตราส่วน P : C : E เป็น 1 : 1 : 1 โดย ปรับ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งเท่ากับ 4

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลืออยู่ (ppm)	การดูดซับฟีนอล (%)
30	50	47.76	4.47
60	50	47.53	4.93
90	50	45.75	8.49
120	50	44.59	10.81
150	50	44.85	10.31
180	50	43.64	12.73

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอล = $\frac{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น}} \times 100$