สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้ขุยมะพร้าวเพื่อลดความกระด้างของน้ำ

นายการุณ เตชศิโรดม
นางสาวปภาวี จันทร์เลิศ
นางสาวพัชรา พาภักดี

มพ.
ก534ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107861
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2553

b.12214321
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา เคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Water Hardness using Coconut Coir

Mr. Karoon Techasirodom

Miss. Papavee Junlart

Miss. Phatchara Phaphakdee

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การใช้ขุยมะพร้าวเพื่อลดความกระด้างของน้ำ

นักศึกษา นายการุณ เตชศิโรดม

นางสาวปภาวี จันทร์เลิศ

นางสาวพัชรา พาภักดี

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	.....
กรรมการ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์	.....
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....

.....

(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ การใช้ขุยมะพร้าวเพื่อลดความกระด้างของน้ำ
นักศึกษา นายการุณ เตชศิโรดม
นางสาวพัชรา พาภักดี
นางสาวปภาวี จันทร์เลิศ
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา 2550
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการใช้ขุยมะพร้าวเพื่อลดความกระด้างของน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของขุยมะพร้าวชนิดไม่ปรับสภาพและชนิดปรับสภาพด้วยกรดซิตริก วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไอออนที่เหลือโดยการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ จากการศึกษาพบว่าขุยมะพร้าวแบบแห้งจะดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวแบบเปียก และจะดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีขึ้นเมื่อปริมาณขุยมะพร้าวมากขึ้น การใช้ขุยมะพร้าวแบบปรับสภาพด้วยกรดซิตริกดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าแบบไม่ปรับสภาพ เมื่อแช่ขุยมะพร้าวและเขย่าทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน จะทำให้สามารถดูดซับแคลเซียมไอออนได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Removal of Water Hardness Using Coconut Coir	
Name	Mr. Karoon	Techasirodom
	Miss Phatchara	Phaphakdee
	Miss Papavee	Junlart
Department	Chemistry	Faculty of Science
Program Industrial	Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation	
Academic Year	2007	
Special Project Adviser	Dr. Wiboon	Praditweangkum

Abstract

The aim of this special project is the study of using coconut coir to remove water hardness. The effective of calcium elimination between untreated coconut coir and coconut coir treated with citric acid is compared. Remained calcium ion is determined by titration with EDTA solution. From the results, dried coconut coir adsorped calcium ion better than soaked coconut coir and more coconut coir increase calcium ion adsorption. Coconut coir treated with citric acid can adsorp calcium ion more than untreated coconut coir. Coconut coir soaked in solution and shaked for 2 day can adsorp more calcium ion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงงานเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากทุกๆ ท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำแนะนำและข้อคิดมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งให้คำปรึกษามาโดยตลอดจนกระทั่งจัดทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าธุรการภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านอย่างเต็มที่และกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจและคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมถึงขอบใจเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายการุณ เดชศิโรดม

นางสาวปภาวี จันทร์เลิศ

นางสาวพัชรา พาภักดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ความกระด้าง	3
2.2 พฤติกรรมดูดซับของสาร	11
2.3 หน้าที่กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน	14
2.4 มะพร้าว	20
2.5 องค์ประกอบในเซลล์พืช	21
2.6 สารละลายเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 การเตรียมสารละลายเคมี	29
3.4 การเตรียมขุยมะพร้าว	30
3.5 วิธีดำเนินการทดลอง	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ทดสอบเปรียบเทียบดูดซับแคลเซียมไอออนขุยมะพร้าวแบบแห้งและแบบเปียก	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.2 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน	40
4.3 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วไทเทรตทันที	42
4.4 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน	44
4.5 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออน ของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วไทเทรตทันที	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่2.1 แสดงชนิดของน้ำตามความกระด้าง 3

ตารางที่2.2 แสดงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ 4

ตารางที่2.3 แสดงรูปแบบที่สามัญที่สุดของสารประกอบที่ทำให้เกิดกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร 7

ตารางที่2.4 แสดงตัวอย่างแฟคเตอร์สำหรับสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง 9

ตารางที่2.5 แสดงการปริมาณองค์ประกอบของกาบมะพร้าว 22

ตารางที่4.1 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 35

ตารางที่4.2 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 35

ตารางที่4.3 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 36

ตารางที่4.4 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 36

ตารางที่4.5 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 36

ตารางที่4.6 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 37

ตารางที่4.7 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 37

ตารางที่4.8 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 37

ตารางที่4.9 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 38

ตารางที่4.10 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 38

ตารางที่4.11 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 38

ตารางที่4.12 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 40

ตารางที่4.13 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 41

ตารางที่4.14 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 41

ตารางที่4.15 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 41

ดารางที่4.16 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่4.17 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 42
ตารางที่4.18 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 43
ตารางที่4.19 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 43
ตารางที่4.20 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 43
ตารางที่4.21 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 43
ตารางที่4.22 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 44
ตารางที่4.23 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 45
ตารางที่4.24 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 45
ตารางที่4.25 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 45
ดารางที่4.26 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 46
ตารางที่4.27 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 47
ตารางที่4.28 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 47
ตารางที่4.29 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 47
ตารางที่4.30 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต 48
ตารางที่4.31 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่2.1 แสดงส่วนประกอบผลมะพร้าว 20

รูปที่2.2 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมะพร้าว 20

รูปที่2.3 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส 25

รูปที่4.1 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวแบบแห้งและเปียก 39

รูปที่4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวแบบเปียก จำนวน 3 ชุดทดลอง 40

รูปที่4.3 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วแช่ทิ้งไว้ 1 วัน 42

รูปที่4.4 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วไทเทรตทันที 44

รูปที่4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วแช่ทิ้งไว้ 1 วัน 46

รูปที่4.6 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วไทเทรตทันที 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ ที่มีความจำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ สัตว์ และพืช ประโยชน์ของน้ำมีอเนกประการ เช่น ใช้ในการอุตสาหกรรม การกสิกรรม การอุปโภคและบริโภค ดังนั้น การรักษาคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง จึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง หากน้ำที่เราใช้ในการอุปโภคบริโภค การกสิกรรมและอุตสาหกรรมมีความกระด้างจะส่งผลกระทบต่อประชากรจำนวนมากรวมถึงการกสิกรรมและอุตสาหกรรม โดยน้ำกระด้างเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมระบายน้ำทิ้งที่มีเกลืออนินทรีย์ลงไปปะปนกับน้ำในแม่น้ำ หรือน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งน้ำกระด้าง ไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการอุตสาหกรรม กสิกรรม การอุปโภค ผลเสียของน้ำกระด้างก็คือหากบริโภคน้ำกระด้างเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดโรคนิ่วได้ กระทบกระเทือนต่อการย้อมผ้า ในโรงงานย้อมผ้าอุตสาหกรรมเบียร์ และอุตสาหกรรม เครื่องกระป๋อง เป็นต้น ธาตุเหล็กในน้ำจะทำให้เกิดรอยด่างบนผ้าขาวหรือบนกระดาษขาว น้ำกระด้างทำให้เกิดตระกรันในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนลดลง สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้นและถ้ามีตระกรันมากๆอาจทำให้หม้อต้มน้ำระเบิดหรือแตกได้

ปัจจุบันการพัฒนาอุตสาหกรรมได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น น้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมก็มีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย โดยเกลืออนินทรีย์ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำกระด้างจะมีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท และในธรรมชาติ การบำบัดน้ำกระด้างจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อควบคุมให้น้ำมีความกระด้างในปริมาณที่เหมาะสมต่อการบริโภคอุปโภค การกสิกรรมและอุตสาหกรรม

เส้นใยจากกาบมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ด้วยเส้นใยมะพร้าวที่มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่เหนียว แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงสามารถย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นเส้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากมาย เช่น ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตสินค้าประเภทที่นอนเพื่อสุขภาพ ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ใช้เป็นฐานรองเพื่อการยึดเกาะของต้นกล้า

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาวิธีการนำเอาเส้นใยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดความกระด้างของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการนำขุยมะพร้าวมาใช้ในการกำจัดความกระด้างของน้ำ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างของน้ำ ระหว่างขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพกับขุยมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพในสภาวะต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างของน้ำระหว่างขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพกับขุยมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพในสภาวะต่างๆ
2. วิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำโดยใช้วิธีการไทเทรตกับสารละลายเอทิลีน-ไดเอมีนเททระอะซิติกแอซิด โดยใช้เอริโอโครมแบลคทีเป็นอินดิเคเตอร์

1.4 ขั้นตอนการทำงานวิจัยและการดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่ถูกต้อง
2. วางแผนการทดลองโดยจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี สารตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้
3. ดำเนินการทดลอง โดยศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดความกระด้างของน้ำระหว่างขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพกับขุยมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพในสภาวะต่างๆ และวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำโดยใช้วิธีการไทเทรตกับสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเททระอะซิติกแอซิด โดยใช้เอริโอโครมแบลคทีเป็นอินดิเคเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้นำขุยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ขุยมะพร้าวเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความกระด้าง(Hardness) [1]

ความกระด้างของน้ำมีจุดเริ่มต้นจากความเข้าใจที่ว่าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการตกตะกอนสบู่ โดยที่สบู่จะถูกทำให้ตกตะกอนโดยอิออนหลัก คือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ส่วนอิออนรอง คือ Polyvalent Cations เช่น Al^{3+} Fe^{3+} Mn^{2+} Sr^{2+} และ Zn^{2+} ซึ่งจะทำให้เกิดตะกอนเชิงซ้อน ในปัจจุบันได้ให้คำจำกัดความไว้ดังนี้ ความกระด้างหมายถึง ปริมาณรวมหรือความเข้มข้นรวมของแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยจะแสดงในหน่วยของ mg/L as $CaCO_3$

น้ำสามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิดตามความกระด้างของน้ำ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดของน้ำตามความกระด้าง

ชนิดของน้ำ	ความกระด้าง (mg/L as $CaCO_3$)
น้ำอ่อนมาก	0 – 10
น้ำอ่อน	11 - 75
น้ำกระด้างเล็กน้อย	76 – 100
น้ำกระด้างปานกลาง	101 - 200
น้ำกระด้าง	201 - 300
น้ำกระด้างมาก	มากกว่า 300

น้ำกระด้างมากกว่า 100 mg/L as $CaCO_3$ จะไม่เหมาะสมกับการใช้ซักฟอกและชำระร่างกายตลอดจนถึงการใช้ในทางอุตสาหกรรมทั้งนี้เนื่องจากไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมจะไปทำให้สบู่ตกตะกอนซึ่งทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายมากในการซักฟอกและชำระร่างกายในงานอุตสาหกรรมความกระด้างจะทำให้เกิดตะกรันในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรม

ความกระด้างในระดับที่มากกว่า 500 mg/L as $CaCO_3$ ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปในชุมชนและถือว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ถ้านำน้ำกระด้างระดับนี้มาดื่ม น้ำดื่มโดยทั่วไปจะมีความกระด้างประมาณ 250 mg/L as น้ำที่มีค่าความกระด้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า 200 mg/L as $CaCO_3$ ยอมรับกันว่าใช้เป็นน้ำดื่มได้ $CaCO_3$ คนส่วนมากมักจะไม่ชอบหรือไม่อยากใช้น้ำที่มีความกระด้างมากกว่า 250 mg/L as $CaCO_3$ อย่างไรก็ตาม ความกระด้างโดยตัวเองแล้วไม่มีผลกระทบที่สำคัญทางชีววิทยา

2.1.1 แคลเซียมและแมกนีเซียม

ก) แคลเซียม

แคลเซียมเป็นธาตุที่มีมากในน้ำเป็นลำดับที่ 5 และเป็นตัวหลักที่ทำให้เกิดความกระด้างของน้ำโดยจะสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนลบบางตัวในน้ำเกิดเป็นตะกรันขึ้นได้เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตะกรันในหม้อน้ำเกิดขึ้นจาก $CaCO_3$ และ $CaSO_4$ แคลเซียมสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ ถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่า 10 mg/L น้ำนั้นจะจัดว่ามีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ

ปริมาณแคลเซียม (mg/L)	ความอุดมสมบูรณ์
< 10	ต่ำ
10 - 25	ปานกลาง
> 25	สูง

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ร่างกายมีความต้องการสูง คือ ประมาณวันละ 800 - 1000 mg/day ขึ้นกับวัย โดยที่เด็กจะมีความต้องการแคลเซียมสูง เพื่อสร้างกระดูกและฟัน แคลเซียมเป็นโครงสร้างของกระดูกและฟันรวมทั้งเนื้อเยื่อเซลด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนสำคัญมากในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ และการแข็งตัวของเลือด

ตามมาตรฐานของ EEC กำหนดให้มีแคลเซียมในน้ำดื่มไม่เกิน 100 mg/L ถ้ามีปริมาณ Ca^{2+}ในน้ำดื่มมาก การได้รับแคลเซียมในน้ำสูงเป็นเวลานาน จะทำให้ต่อมพาราไทรอยด์ทำงานหนักและจะทำให้มี Ca^{2+} ในเลือดมากจนอาจจะสามารถทำให้เกิดอาการโคม่าหรือทำให้เกิดโรค Hypercalcemia ได้ ซึ่งจะมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน ร่างกายขาดน้ำ อ่อนเพลีย เมื่อยล้า โคม่าและอาจจะตายได้ Ca^{2+} เมื่อรวมตัวกับอิออน/สาร ต่างๆ อาจจะทำให้เกิดการตกตะกอนในเลือด ทำให้เกิดการอุดตันและไตอาจจะถูกทำลายจนทำให้เกิดโรค Ureamia ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมที่พบสูงในน้ำกระด้างเป็นที่เชื่อว่าจะทำให้เกิดนิ่วแก่ผู้ดื่มน้ำกระด้างเป็นประจำ แต่จากการศึกษาทั้งของไทยและต่างประเทศ ส่วนใหญ่สรุปว่า น้ำกระด้างไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับนิ่ว จากการศึกษาของ พญ.สาคร ธนมิตต์ และ นพ.อารี วัลยะเสวี พบว่าน้ำที่ใช้ดื่มในจังหวัดอุบลราชธานีซึ่งเป็นจังหวัดที่มีโรคนิ่วสูงจะมีส่วนประกอบของ Ca และ Mg อยู่น้อยจัดอยู่ในลักษณะน้ำอ่อน ส่วนน้ำกระด้างนั้นพบมากในจังหวัดสมุทรปราการ และปทุมธานี ซึ่งเป็นจังหวัดที่เกือบจะไม่มีโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะเลย

ข) แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีมากในน้ำธรรมชาติเป็นอันดับที่ 8 และจะมีปริมาณน้อยกว่าแคลเซียมในแหล่งน้ำ น้ำกระด้างจะมีแมกนีเซียมอยู่ประมาณ 35% ของธาตุประจุบวก ซึ่งน้ำกระด้างนี้จะมีอัตราส่วน Mg/Ca สูงขึ้น และโดยมากแมกนีเซียมจะละลายอยู่ในรูปของ $MgCO_3$

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่ร่างการต้องการในปริมาณมาก ประมาณวันละ 300-400 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงมักจะพบว่าร่างกายขาดแมกนีเซียมมากกว่าที่จะพบว่ามีอยู่มากจนเกิดเป็นพิษ ในน้ำดื่มถ้ามีแมกนีเซียมมากกว่า125 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ผู้ดื่มเกิดการระบายและปัสสาวะมาก โดยเฉพาะ $MgSO_4$ $Mg(OH)_2$ และ Mg-Citrate โดยปรกติไตของคนปรกติจะสามารถขับแมกนีเซียมออกจากร่างกายได้โดยไม่เกิดความเป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากๆ จนทำให้มีแมกนีเซียมในเลือดสูงก็จะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ความดันต่ำ หัวใจเต้นช้า ปัสสาวะน้อย มีการกดประสาทและหัวใจ โคมา และหัวใจหยุดเต้นได้

2.1.2 สาเหตุของความกระด้าง

ความกระด้างของน้ำเกิดจากอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งที่เป็นอิออนบวกและอิออนลบ สำหรับอิออนบวกที่ทำให้เกิดความกระด้างของน้ำ เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย คือ Ca^{2+} Mg^{2+} Sr^{2+} Fe^{2+} Mn^{2+} ส่วน Al^{3+} และ Fe^{3+} อาจจะทำให้เกิดความกระด้างบ้างแต่ก็เป็นส่วนน้อยเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องการละลายได้น้อยในสภาพ pH ของน้ำธรรมชาติ ส่วนอิออนลบที่ทำให้เกิดความกระด้างเรียงลำดับตามปริมาณที่มีอยู่ในธรรมชาติจากมากไปหาน้อย คือ HCO_3^- SO_4^{2-} Cl^- NO_3^- และ SiO_3^{2-}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดกดะกอนสบู่ของอิออนของโลหะที่มีประจุ +2 เช่น แคลเซียม แสดงได้ดังสมการ

$$Ca^{2+} + 2C_{17}H_{35}COONa \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca + 2Na^{+}$$

ความกระด้างของน้ำส่วนมากมาจากการเกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน หินและน้ำโดยที่คาร์บอนไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ทำให้ค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำต่ำลงเป็นผลให้หินปูนละลายในน้ำได้มากขึ้น ดังสมการ

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$MgCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Mg(HCO_3)_2$$

2.1.3 ชนิดของความกระด้าง

การแบ่งชนิดของความกระด้างสามารถพิจารณาได้ 2 แบบ โดยการพิจารณาจากต้นเหตุของความกระด้างซึ่งได้แก่ อิออนที่ละลายในน้ำ คือ อิออนบวกและอิออนลบ

1. การแบ่งความกระด้างตามอิออนบวก แบ่งได้ 3 ชนิด คือ

ก) Calcium Hardness คือ ความกระด้างอันเนื่องมาจากแคลเซียม

ข) Magnesium Hardness คือ ความกระด้างอันเนื่องมาจากแมกนีเซียม

ค) Total Hardness คือ ความกระด้างทั้งหมดซึ่งส่วนมากเป็นความกระด้างอันเนื่องมาจากแคลเซียมและแมกนีเซียม

2. การแบ่งความกระด้างแบ่งตามอิออนลบ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

ก) Carbonate Hardness ได้แก่ ความกระด้างที่เกิดจากสารประกอบของ CO_3^{2-} และ HCO_3^{-} ซึ่งสารประกอบในน้ำที่เป็นสาเหตุของความกระด้าง คือ $CaCO_3$ $Ca(HCO_3)_2$ $Mg(HCO_3)_2$ และ $MgCO_3$ โดยความกระด้างชนิดนี้เรียกว่า ความกระด้างชั่วคราว (Temporary Hardness) ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการต้ม ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับกับการเกิดความกระด้าง ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

ข) Non-carbonate Hardness ได้แก่ ความกระด้างที่เกิดจากสารประกอบของ SO_4^{2-} และ Cl^- เช่น $CaSO_4$ $CaCl_2$ $MgSO_4$ และ $MgCl_2$ โดยความกระด้างชนิดนี้เรียกว่า ความกระด้างถาวร (Permanent Hardness) และเป็นความกระด้างที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยการต้ม

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงรูปแบบที่สามัญที่สุดของสารประกอบที่ทำให้เกิดความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร

Form	Carbonate or Temporary Hardness	Non-carbonate or Permanent Hardness
Calcium Forms	$CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$, $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$
Magnesium Forms	$MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$, $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$
Strontium forms	$SrCO_3$, $Sr(HCO_3)_2$	$SrSO_4$, $SrCl_2$, $Sr(NO_3)_2$
Iron Forms	$Fe_2(CO_3)_3$, $Fe(HCO_3)_3$ $FeCO_3$, $Fe(HCO_3)_2$	$Fe_2(SO_4)_3$, $Fe(NO_3)_3$, $FeCl_3$,$FeSO_4$, $Fe(NO_3)_2$, $FeCl_2$

บางกรณีน้ำอาจจะไม่มีความกระด้าง แต่พบว่ามีปริมาณ Na^+ มากพอที่จะขัดขวางการเกิดฟองของสบู่ก็ได้ ทำให้น้ำมีรสกร่อย ซึ่งไม่ใช่ความกระด้างจริง ๆ จึงเรียกว่า ความกระด้างปลอม (Psuedo Hardness)

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความกระด้างและสภาพด่าง

กรณีที่เราทราบค่าความกระด้างและสภาพด่างของตัวอย่างน้ำเราจะสามารถประเมินปริมาณและชนิดของความกระด้างได้จากความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

ก) ถ้าความกระด้างทั้งหมดมากกว่าสภาพด่างทั้งหมดนั่นคือ สภาพด่างทั้งหมดจะเป็นความกระด้างคาร์บอเนตและความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตจะเท่ากัน ความแตกต่างของความกระด้างทั้งหมดกับสภาพด่างทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carbonate Hardness = Total Alkalinity

Non-carbonate Hardness = Total Hardness – Total Alkalinity

ข) ถ้าความกระด้างทั้งหมดน้อยกว่าหรือเท่ากับสภาพด่างทั้งหมดนั้นคือ ความกระด้างทั้งหมดจะเป็นความกระด้างคาร์บอเนต และความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

Carbonate Hardness = Total Hardness

Non-carbonate Hardness = 0

2.1.5 วิธีการหาความกระด้าง

ในการหาความกระด้างของน้ำมีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากมี 2 วิธี คือ

ก) การคำนวณหาผลรวมของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง โดยคำนวณอยู่ในรูปของ mg/L as $CaCO_3$ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้างโดยการคูณความเข้มข้นของสารด้วยแฟคเตอร์สำหรับสารนั้น

ข) การไทเทรตหาความกระด้างโดยใช้อีดีทีเอ ซึ่งเป็นการหาผลรวมของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้างโดยเฉพาะสารพวกที่มีวาเลนซี่ 2 (Divalent)

การหาความกระด้างโดยวิธีคำนวณ

ในกรณีที่สารที่ก่อให้เกิดความกระด้างมีเพียงแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้น การคำนวณหาความกระด้าง ทำได้ตามสมการ

Hardness (mg/L as $CaCO_3$) = [(2.497)(Ca (mg/L))] + [(4.118)(Mg (mg/L)]

นอกจากแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้วยังมีสารตัวอื่นๆที่ ให้เกิดความกระด้างด้วย ดังนั้น ถ้ามีสารดังกล่าวในปริมาณที่มากพอก็จะต้องนำมาคำนวณหาความกระด้างด้วย ดังที่แสดงในสมการ ทั้งนี้จะต้องคูณด้วยแฟคเตอร์หรือตัวคูณดังแสดงในตาราง 2.4

Total Hardness (mg/L as $CaCO_3$) = $\sum F_i M_i$

เมื่อ F_i = แฟคเตอร์สำหรับสาร M_i

M_i = ปริมาณสารที่ทำให้เกิดความกระด้าง (mg/L)

$\sum$ = ผลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างแฟคเตอร์สำหรับสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง

สารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง(M_i)	แฟคเตอร์(F_i)	สารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง(M_i)	แฟคเตอร์(F_i)
แคลเซียม	2.497	อลูมิเนียม	5.566
แมกนีเซียม	4.116	สังกะสี	1.531
สตรอนเทียม	1.142	แมงกานีส	1.822
เหล็ก	1.792	-	-

แฟคเตอร์ =น้ำหนักสมมูลย์ของ $CaCO_3$/น้ำหนักสมมูลย์ของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง

และน้ำหนักสมมูลย์ของ $CaCO_3$ = 100.08/2 = 50.04

ตัวอย่างการหาแฟคเตอร์ของแคลเซียม แมกนีเซียม และอลูมิเนียม

1) แฟคเตอร์ที่ใช้ในการคูณกับปริมาณแคลเซียม ได้มาจาก:

Ca = 40.08 เพราะฉะนั้น แฟคเตอร์ = $CaCO_3$/Ca = 50.04/20.04 = 2.497

2) แฟคเตอร์ที่ใช้ในการคูณกับปริมาณแมกนีเซียม ได้มาจาก:

Mg = 24.305 เพราะฉะนั้น แฟคเตอร์ = $CaCO_3$/Mg = 50.04/12.15 = 4.1177

3) แฟคเตอร์ที่ใช้ในการคูณกับปริมาณอลูมิเนียม ได้มาจาก:

Al = 26.98 เพราะฉะนั้น แฟคเตอร์ = $CaCO_3$/Al = 50.04/8.99 = 5.566

การหาความกระด้างโดยวิธีการไทเทรตด้วยอีดีทีเอ(EDTA)

อีดีทีเอหรือ Ethylene Diamine Tetraacetic Acid เป็นสารประกอบที่ใช้เป็น Chelating agent สามารถเกิดเป็นอิออนเสถียรกับอิออนที่มีวาเลนซี 2 หรือ divalent cation ที่เป็นสาเหตุของความกระด้างของน้ำ สูตรของอีดีทีเอ เป็นดังนี้

$(HOOC\text{-}CH_2)_2N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}N(CH_2COOH)_2$

(Acid form)

$(NaOOC\text{-}CH_2)_2N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}N(CH_2COONa)_2$

(Tetrasodium salt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการติเตรตหาความกระด้างของน้ำด้วยอีดีทีเอจะใช้ Eriochrome Black-T เป็นอินดิเคเตอร์ ที่ pH = 10 ± 0.1

$EDTA + M^{+} \longrightarrow M\text{-}EDTA$

$Ca^{2+}/Mg^{2+} \longrightarrow$ เกิดเป็นสารประกอบกับ Eriochrome black T สี Wine Red ที่ pH = 10 ± 0.1

ถ้า Ca/Mg ทำปฏิกิริยากับ EDTA จนหมดเหลือเพียง EDTA-Eriochrom Black T สารละลายจะเปลี่ยนสีจาก Wine Red ไปเป็นสีน้ำเงิน

Mg^{2+} จะต้องมีอยู่จึงจะทำให้จุดยุติเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงต้องเติม Mg-CDTA ลงไปในสารละลายด้วย สีของ End Point จะ Sharp ขึ้นเมื่อเพิ่ม pH แต่ก็ไม่สามารถเพิ่มโดยไม่มีกำหนดได้ เนื่องจาก
อาจจะเกิดการตกตะกอนของ $CaCO_3$ เมื่อ $Mg(OH)_2$ และ Eriochrom B.T. จะเปลี่ยนสีที่ pH สูง ๆ เพื่อลดปัญหาข้างต้นจึงกำหนดไว้ ดังนี้

ให้ Titrate ที่ pH 10 ± 0.1 เพื่อป้องกันการตกตะกอน $Mg(OH)_2$

ให้ Titrate ให้เสร็จภายในเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการตกตะกอนของ $CaCO_3$

สารแทรกสอด Fading Endpoint/Indistinct Endpoint EDTA Consumable Compounds แก้ไขได้โดยการเติม MgCDTA CDTA = 1 , 2 cyclohexane diamine tetracetic acid ซึ่ง MgCDTA จะเลือกจับกับ Heavy Metal และปล่อย Mg ออกมาใน Sample แต่ Mg ที่ Release ออกมาต้องไม่มีผลมากนักต่อค่าความกระด้าง

การวิเคราะห์และทดสอบแคลเซียม

1. คุณภาพวิเคราะห์

1.1 $Ca^{2+} + C_2O_4^{=}$ Oxalate CH3COOH CaC_2O_4(5) ตะกอนขาว Heat 30 นาที

1.2 ปฏิกิริยากับ Glyoxal -bis- (2 hydroxyanil) (GBH)

Mg^{2+} จะไม่รบกวนมากนักเพราะโครงสร้างการเกิดคอมเพลกซ์ไม่เหมือน Ca^{2+} (Octaheldral)

Al^{3+} จับไม่ได้เนื่องจากมีประจุเหลือ +1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณวิเคราะห์ ใช้ EDTA

2.1 บทนำทั่วไป

• Mg^{2+}ไม่มีผลต่อการ Titrate

• Ba^{2+}, Sr^{2+}ถูกติเตรตด้วย

• Pb^{2+}, Zn^{2+}Mark ด้วย 2 , 3 - Dimercapto - 1 - Propanol

•โลหะหนักอื่น ๆ Mask ด้วย KCN

• Fe/Mg (>5 mg/L) Mask ด้วย Triethanolamine หรือ Hydroxy Ammonium Chloride (Hydroxylamine Hydrochloride ($OHNH_2$ HCl)) (สูงมากๆ) ต้องกำจัดออก

• ใช้ 0.01 M EDTA (Na Salt)

2.2 อินดิเคเตอร์ที่ใช้

• 2-Hydroxyl - 1 - (2-hydroxy - 4 - sulfo - 1 - naphthylazo) -3- naphthoic acid หรือ Calconcarboxylic Acid (NANA หรือ HHSNNA) เป็น Indicator (0.5 gm/ 100 ml CH_3OH + 0.5 g Hydroxylamine Hydrochloricle)

Al $\geq$ 10 mg/L ทำให้สีของ Indicator ในจุดยุติเปลี่ยนจาก Blue กลับไปเป็น Red อย่างรวดเร็ว

Amm Purpurate + Sr Masking แต่ไม่สามารถใช้ใน M : Masking Ba และ Mg ได้

Ba ไม่ได้ Titrate กับ EDTA เหมือน Ca แต่จะทำให้ Titrate ไม่ถึงจุดยุติ ไม่ทราบว่าเกิดจากอะไร

กำจัด Ba โดยการเติม SO_4^{2-} $BaSO_4$ต้องระวังไม่ให้ Ca ตกตะกอนด้วย

PO_4^{3-} จะทำให้ Ca ตกตะกอนด้วย ต้องระวัง

2.2 พฤติกรรมดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือการดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption)

1. การดูดซับทางกายภาพ

เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่มีกำหนดทิศทาง เช่น แรงวันเดอร์วาล์ว หรือพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง และพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวถูกดูดซับออกจากตัวถูกดูดซับทำได้ง่าย และการดูดซับอาจเกิดการซ้อนกันแบบหลายชั้น (Multilayer)

2. การดูดซับทางเคมี

เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวถูกดูดซับ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวถูกดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

4. การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่มีฟังก์ชันนัลอยู่บนผิวไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไปพฤติกรรมการดูดซับนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีในการดูดซับที่จะเกิดขึ้นจะเป็นแบบการดูดซับกายภาพ การดูดซับเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจง ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับนั้น [2]

แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับโมเลกุลของสารที่สนใจ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แรงดึงดูดทางกายภาพ (Physical Force) ประกอบไปด้วย

แรงวันเดอร์วาล์ว (Van der waal Force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆ ได้ด่อเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนอย่างไม่มีระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้นทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มอิเลคตรอนในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน ทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้นและสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (Desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

1.1 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (Orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากการกระจาย (Dispersion effect) ซึ่งเห็นได้จากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพโมเลกุลได้เมื่ออิเลคตรอนเคลื่อนที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันซึ่งแรงนี้มักจะเป็นแรงอ่อนๆเช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์

1.3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ (Introduction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน

2. แรงดึงดูดทางเคมี (Chemical Force)

เกิดจากแรงเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันระหว่างไอออนของสารกับตัวดูดซับแล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ขึ้น เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับหมู่ฟังก์ชันก์ที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้จากการใช้อิเลคตรอนร่วมกันหรือการอิเลคตรอนแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับซึ่งแรงนี้จะมีค่ามากกว่าแรงทางกายภาพและจากแรงทางเคมีนี้จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาได้ [3]

1. สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับสารพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวดูดซับจะมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย

2. สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

2.1 ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายได้สูงจะถูกดูดซับได้น้อย ฉะนั้นก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกทำละลายก่อน

2.2 น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักในโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกตุดซับมีขนาดใหญ่กว่าตัวที่ถูกดูดซับ ความสามารถในการดูดซับลดลง

3. เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการถูกดูดซับในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งที่ดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนและไฮตรอกไซด์ไอออนสามารถดูดดิดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับ

5. อุณหภูมิ(Temperature)

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลไปแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารกับตัวดูดซับลดลง

การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง [4]

2.3 หน้าที่กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าที่และกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน มี 2 ประการซึ่งเกิดต่อเนื่องกันคือ

1. การกำจัดไอออนต่างๆออกจากน้ำเช่น Ca, Mg, SO, Cl เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่างๆออกจากน้ำได้ด้วยแต่ทั้งนี้ต้องใช้ เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออก ได้แก่ อาเซนิค แบเรียม แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน แวนาเดียม และสังกะสี [5]

2. ทำให้ไอออนต่างๆมีความเข้มข้นสูงๆมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลายจะหลุดออกมากับสารละลายรีเจนเนอเรต์ (Regenerant)ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชั่น (Regeneration) เนื่องจากปริมาตรของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาณสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออนความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงกว่ามากซึ่งเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆเท่า [6]

โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะมีโครงสร้างคล้ายตาข่ายสามมิติ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งไอออนที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ตามตำแหน่งต่างๆบนตาข่ายเรียกกว่า Functional group หมู่ไอออนนี้ส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่งเคลื่อนที่ได้และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในน้ำโครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มีรูปร่างเป็นอย่างที่ปรากฏและคงรูปอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย โครงร่างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกัน ซึ่งต่อเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปร่งใสของเรซินชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความเหนียวของการประสาน (Degree of cross linkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมาก โครงร่างของเรซินจะอ่อน ความโปร่งหรือความพรุนกับโครงร่างของ เรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน(Exchange capacity)

หมู่ไอออน (Function) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจการแลกเปลี่ยนไอออน ถ้าส่วนโครงร่าง Matrix มีประจุลบประจำตัว Functional group จะมีประจุบวกเรียกว่า Cation exchanger คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก ถ้าส่วน Anion exchanger เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ

เรซินสังเคราะห์เป็นกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นสารพวก Polystyrene ที่ร่วมตัวอยู่กับ Divinylbenzene โดย Functional group ของ Cation exchanger เป็นพวก Sulphonic ,Carboxylic หรือ Phosphoric ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ(Anion exchanger) จะเป็นพวกที่มี Functional group เป็นพวก Quarternary ammoniun Primary amine หรือ Secondary amine

การแบ่งเรซินตามลักษณะการใช้งานตาม Functional group

คุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจะขึ้นอยู่กับหมู่ไอออนของเรซิน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น Acidity และ Baseicity นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยได้เป็นเรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ion cxchanger) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger) (Strong basic ion exchanger) เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ion exchanger) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger)

1. เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ion exchanger)

เรซินแบบกรดแก่คือพวกที่มี Functional group เป็นพวกกรดแก่ เช่น Sulphonic acid หน้าที่ของเรซินจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง (H^+ ,Na^+) แลกกับไอออนที่ต้องการจะกำจัด เช่น Ca^{2+},Mg^{2+} เป็นต้น H^+ หรือ Na^+ เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้หมู่ไอออนของเรซิน โดยเรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค (SO_4^{2-}) เป็นหมู่ไอออนซึ่งจับติดอยู่กับโครงไฮโดรคาร์บอนหมู่ซัลโฟนิคนี้จะอยู่ในรูปของ H^+ หรือ Na^+ ก็ได้ ($-SO_3H^+$,$-SO_3Na$)-SO_3 จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแต่มี H^+ หรือ Na^+ ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี H^+ หรือ Na^+ เป็นดังนี้คือ

$$RSO_3H_2 + Ca^{2+} \text{ ---------- } RSO_3Ca^{2+} + 2H^+$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซินแบบกรดแก่สามารถที่จะจับไอออนบวกของ Cation ได้ทั้งหมด เมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชันเรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรคด้วย NaCl

$$RSO_3Ca + 2NaCl \text{ ---------- } RSO_3Na_2 + CaCl_2$$

ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ H^+ ต้องรีบเจนเนอเรคด้วยกรดแก่ (H^+)

$$RSO_3Ca + 2H \text{ ---------- } RSO_3H^2 + Ca$$

เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก Na^+ ออกจากเกลือแกงได้
3. การรั่วของไอออนบวกที่ต้องการกำจัดเกิดขึ้นน้อย
4. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว
5. มีความคงทนใช้งานได้นาน โดยมีการสูญเสียอำนาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การแลกเปลี่ยนรูปของ Na^+ ในเรซินเป็น H^+ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย
7. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจอเนอเรตต่ำประมาณ 25-45% ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรค
2. ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้นโดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสานโครงร่างต่ำ

2. เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger)

เรซินแบบกรดอ่อนพวกนี้มี Functional group เป็นพวกกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนซิลิคกรดอะคริลิก เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นกรดทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนให้กับเกลือที่ได้จากกรดแก่ เช่น NaCl , $CaSO_4$ การใช้งานของเรซินแบบกรดอ่อนมีข้อจำกัด คือ เมื่อฟื้นกำลังเรซินด้วยกรดเกลือ (HCI) เรซินชนิดนี้สามารถใช้จับไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ 1 ขึ้นไป ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับคู่ (Associate) กับพวกด่างเท่านั้น ดังจำนวน Cation ที่ถูกขจัดออก (Ca^{2+},Mg^{2+}) จะเท่ากับความกระด้างลบจากค่าความเป็นด่างสำหรับกรณีที่ความกระด้างทั้งหมดมากกว่าความเป็นด่างทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็นสภาพน้ำที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเรซินชนิดนี้

ในกรณีที่อัตราส่วนของ Hardness: Alkalinity มากกว่า 1 แสดงว่ามี Permanent Hardness ทำให้เรซินชนิดนี้เริ่มจะไม่ค่อยเหมาะกับการขจัดไอออนเพราะสามารถในการจับประจุจะลดลง แต่ Cation leakage เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ค่อยเหมาะเมื่อเทียบกับเรซินแบบกรดแก่

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชั่นสูงถึง 90% โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูป H+ เพราะเรซินมีความชอบ (affinity) H^+ สูง
2. ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิเดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป H^+ สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำโดยไม่ต้องเติมกรด
5. เรซินสามารถใช้รีเจนเนอเรนต์จากการทำรีเจนเนอเนชั่นของเรซิ่นแบบกรดแก่ได้
6. มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ภายใต้สภาวะที่จำกัด เช่นใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูง
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. การเปลี่ยนรูป H^+ ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้าและขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดการรั่วของไอออนที่ต้องการ

3. เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าที่ของเรซินแบบด่างแก่คือใช้ไอออนลบของเรซินและเปลี่ยนกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออกเช่น HCO^{3-} SO_4^{2-}, Cl^- และ SiO_2

เรซินแบบด่างแก่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107861

1. Type I มีความเป็นด่างและความคงทนสูง มีความสามารถในการจับ Silica ได้ดี
2. Type II มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และประสิทธิภาพในการทำรีเจอเนอเรชันสูงปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนและรีเจอเนอเรชั่นเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ ได้ดังนี้ คือ

$$RN.OH^- + NaCl \text{ ----------> } RN.Cl^- + NaOH$$

สารรีเจนเนอแรนต์ อาจใช้โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

เรซินแบบด่างแก่มีข้อดีคือ

1. ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก Na^+ จากเกลือแกง (NaCl) ได้
3. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว

เรซินแบบด่างแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจอเนอเรตต่ำเพียง 18-33% ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรต
2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. ในกรณีที่น้ำเสียมีกรดฮิวมิคจากการเน่าเปื่อยของพืชสามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้

4. เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างอ่อนมีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินนี้จะแตกต่างจากเรซินอีก 3 ประเภทเนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้ กำจัดได้เฉพาะกรดแก่เช่น CO_2, SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซินเนื่องจากเรซินแบบด่างอ่อนไม่จำเป็นต้องมีไอออนอิสระก็ได้ ดังนั้นกลไกการทำงานของเรซินจะเป็นลักษณะ Absorption ไม่มีลักษณะการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปเรซินแบบด่างอ่อนมักใช้การกำจัด Cl^- และ SO^{2-}

ข้อดี เรซินแบบด่างอ่อน คือ

1. มีประสิทธิภาพในการจำรีเจนเนอเรชั่นสูงเกือบ 100%
2. ทนต่อกรดฮิวมิค มีประสิทธิการกำจัดไอออนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารรีเจนเนอแรนต์ อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ข้อเสีย เรซินแบบด่างอ่อน คือ

1. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า

2. ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้น

ปฏิกิริยาในการจับโมเลกุลของกรดแก่เป็นดังนี้

$$RNH_2 + HX^- \text{ ----------> } RNH_2.HX^- \text{ ----------> } RNH_3X^-$$

เมื่อคือ X^- ไอออนอิสระประจุลบ

ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นดังนี้

$$RNH_2 + H_2O \text{ ----------> } RNH_3^+OH^-$$

$$RNH_3^+OH^- + HX \text{ ----------> } RNH_3X^- + H_2O$$

เมื่อคือ X ไอออนอิสระประจุลบ

ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน (Selectivity)

เรซินทั้งแบบกรดและด่าง มีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซินพบว่า เรซินจะชอบทำปฏิกิริยากับไอออนบางชนิดมากกว่าชนิดอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไอออนนั้นๆ ในสารละลาย นอกจากนี้แลกเปลี่ยนไอออนยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเรซิน เช่น ขนาดของเรซิน (Degn of cross - linking)
ชนิดของ Functional group และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

ความสัมพันธ์ระหว่างไอออนกับการเลือกจับไอออนของเรซิน

1. เรซินสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีวาเลนซ์สูง ได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออน

2. สำหรับไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่าสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่าไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำเช่น $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Be^{2+}$ หรือ $K^+ > N > Li^+$

3. เรซินมี Degree of cross linking สูงความสามารถในการเลือกจับไอออนจะมีมากกว่าเรซินที่ Degree of cross linking ต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of cross linking กับการเลือกจับไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนสามารถบ่งการทำงานได้ 3 วิธี คือ

1. การทำงานแบบทีละเท (Batch Operation)

เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ง่ายที่สุด น้ำเสียจะถูกกวนผสมกับเรซินในถังปฏิกิริยาจากนั้นการทำงานแยกเรซินออก โดยการกรองหรือตกตะกอน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Operation) ของระบบและเปลี่ยนไอออน

2. การทำงานแบบคอลัมน์ (Column Operation)

วิธีการนี้จะใช้ในการศึกษาขั้นห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและสภาวะที่เหมาะสม

3.การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)

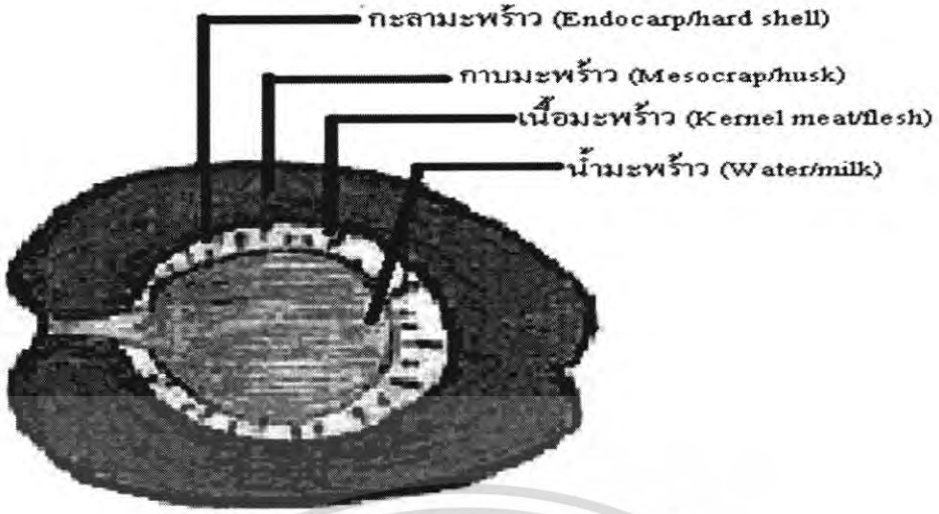
เป็นการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุในถัง และปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซิน อย่างต่อเนื่องทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดนั้นตลอดเวลา เมื่อใช้งานไปนานๆเรซินจะหมดประสิทธิภาพ(Exhausted Resin) ต้องทำการฟื้นฟูประสิทธิภาพโดยใช้สารละลายกรด หรือด่างขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินที่ใช้

2.4 มะพร้าว

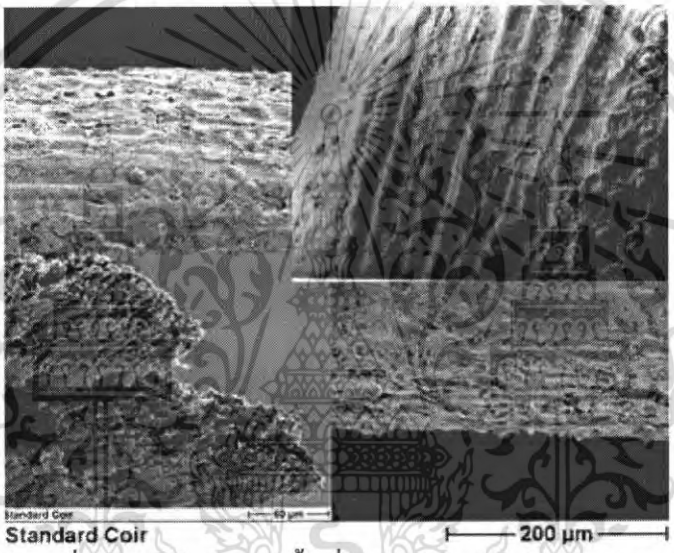
มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลปาลม์ชนิดหนึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Cocos nucifera Lin มีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในแถบบริเวณตั้งแต่แหลมมาลายูไปจนถึงนิวกินีในประเทศไทยนิยมปลูกมะพร้าวกันทุกภาค โดยเฉพาะในภาคใต้มีพื้นที่ปลูกมพร้าวมากกว่าทุกภาคคิดเป็นครึ่งหนึ่งของพื้นที่ปลูกมะพร้าวทั่วประเทศซึ่งผลมะพร้าวที่แก่จัดเรานำเนื้อมะพร้าวไปใช้ประโยชน์แล้วจะไม่เหลือส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ที่ทิ้งมากมาย โดยส่วนประกอบของมะพร้าวก็เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งเช่นเดียวกัน นอกจากจะนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุในการปลูกต้นไม้ทางการเกษตร ทำปุ๋ยโดยผสมกับดิน เอาเส้นใยไปทำฟูกหรือที่นอนแล้วก็ยังมีการทำวิจัยในการนำกาบมะพร้าวมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

เนื่องจากกาบมะพร้าวจะประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมีเซลลูโลส โดยมีหมู่ฟังค์ชั่นกรุ๊ปคล้ายกับเรซินสังเคราะห์จากกระบวนการเคมี จึงเป็นส่วนที่ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายกับเรซินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบผลมะพร้าว



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมะพร้าว

องค์ประกอบของเส้นใยมะพร้าว

การปริมาณองค์ประกอบของกาบมะพร้าวดังแสดงในตารางที่ 2.5 เซลลูโลเลส และโฮโลเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของวัสดุที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยจะประกอบด้วยหมู่ฟังค์ชัน กรุ๊ปคล้ายกับเรซินสังเคราะห์ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากกาบมะพร้าวน่าจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้เหมือนกับเรซินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงการปริมาณองค์ประกอบของกาบมะพร้าว

องค์ประกอบ	ร้อยละของน้ำหนักอบแห้งของเส้นใยมะพร้าว
Alcohol-benzene solubility	**3.8**
Lignin ash (corrected)	**22.6**
Holocellulose	**47.5**
Alpha-celiulose	**28.8**
Beta-celiulose	**4.6**
Gammz-cellulose	**14.1**

2.5 องค์ประกอบในเซลล์พืช

องค์ประกอบสำคัญส่วนใหญ่ในเซลล์พืชแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. ลิกนิน
2. โฮโลเซลลูโลส

โฮโลเซลลูโลส สามารถแบ่งย่อยได้เป็น

- เซลลูโลส
- เฮมิเซลลูโลส

1.เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ และเป็นสารที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กบผนังเซลล์ของพืช เช่น ในเนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50% นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใย เช่น ฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์

คุณสมบัติของเซลลูโลส คือไม่ละลายน้ำไม่ละลายในตัวสารทำละลายอินทรีย์หรือในสารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรดหรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดและในด่างได้เป็น 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แอลฟ่า-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%

2. เบต้า-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%

3. แกมมมา-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามมารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ 17.5% และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส คือ poly (B-1-4-D-anhydroglucopyranose) แต่ละหน่วยของเซลลูโลสเรียกว่า แอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose, $C_6H_{10}O_5$) เพราะเกิดการขจัดน้ำออกจากกลูโคสเซลลูโลสในธรรมชาติมีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างกัน เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถึง 3 หมู่จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีองศาความเป็นผลึกสูง (Degree of crysyallinity) คือมีค่าประมาณร้อยละ 60-80

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemi cellulose)

เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (Pentose) ที่มีลักษณะเป็น Heterogeneous โดยประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์หลายชนิดมารวมกัน ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส จะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30-50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ Xylan นอกจากนี้ก็ยังมี Glucan,Mannan เฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลเพนโตสและเฮกโตสได้แก่ ไซโลส แมนโนส กาแลกโตส และอะราบิโนส

สำหรับ Xylan ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลดีไซโลสที่ตะกอนกันด้วยพันธะเบตา 1,4 ไซโลซิดิค (1,4 Xylosidic linkage) อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลสอย่างเดียวหรือมีกิ่งก้านสาขาที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ ปนอยู่เช่น (L-arabinofuranose) เชื่อมต่อกับ ดีไซโลสที่มีตำแหน่ง 0-3 และดี-กลูคูโรนิคแอซิด (0-3-D glucuronic acid) หรือ 4-0 และเมทิล-กลูคูโรนิคแอซิด (4-0-methyl-glucuronic acid) ซึ่งกับดีไซโลสที่ตำแหน่ง 0-2

เฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายในด่างและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส พันธะเบต้า-1,4-ไซโลซิดิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลิกนิน (Ligini)

ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogeneous organic polymer จะอยู่ภายในโครงสร้างของพืช โดยอยู่รอบๆ เซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย

ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก(Aromatic compound) ที่ประกอบด้วยหมู่ Methyl group ($-OCH_3$), หมู่ Hydroxyl group (-OH) และส่วนที่เป็น Phenolic โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะสามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินจะไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

-ฟีนิลโพเพน (Phenyl Propane)

-ก้วอิอะซิล ยูนิค (Guaiacyl Unit)

-ไซรินกิล ยูนิค (Syringyl Unit)

-พารา-ไฮดรอกซี ฟีนิล ยูนิค (ParaHydroxyphenyl Unit)

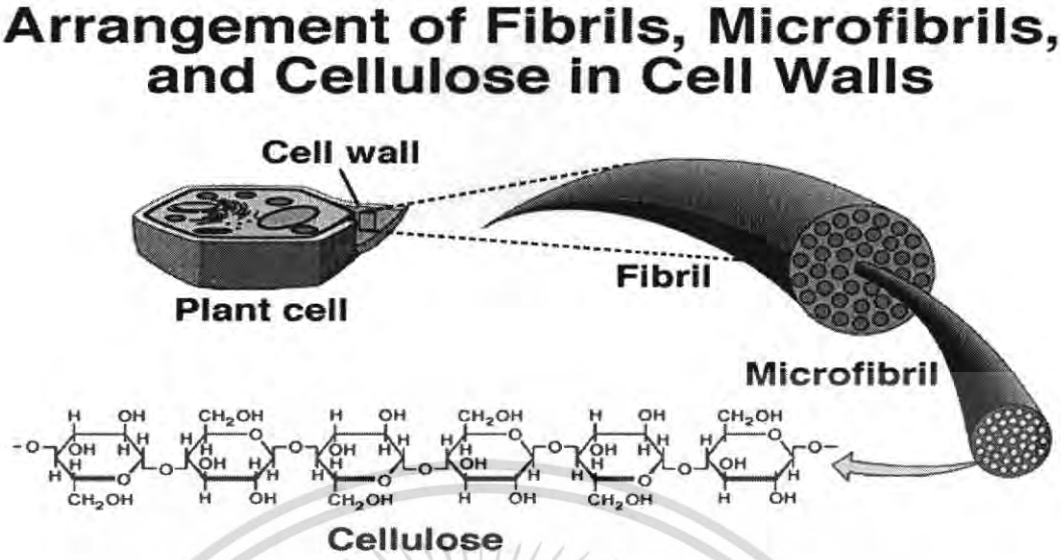
2.6 สารละลายเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำโดยการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย ไฮดรอกซีเซลลูโลส และหมู่คาร์บอกซิล 15% มีลักษณะเป็นผง ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่ต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็นไฮโดรฟิลิค แต่โครงสร้างตาข่างของเรซินสังเคราะห์จะเป็นไฮโดรโฟบิค เนื่องจากเซลโลโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงร่างตาข่ายซึ่งมีระยะประมาณ 50 อังสตรอม

ดังนั้นไอออนที่มีขนาดใหญ่จึงไม่สามารถผ่านเรซินแบบสังเคราะห์ได้จะสามารถผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส

จากลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส พบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2,3 และ 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีหมู่ไอออนมาเกาะอยู่ การชี้บอกตำแหน่งที่แน่นอนทำได้ยาก แต่จากการศึกษาทางเคมีของเซลลูโลสพบว่าคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และ 6 เป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยามากที่สุด สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีขนาดประมาณ 15-20 ไมโครเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงร่างเซลลูโลส และองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะไม่มีผลต่อสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนการปรับปรุงลักษณะโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันในเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนให้สูงขึ้น

การเก็บสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำโดยการแช่สารละลาย NaH_2PO_4 ที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และแช่ในสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มัล ซึ่งจะสามารถเก็บได้นานหลายเดือนควรหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสัมผัสกับสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง (พีเอชต่ำกว่า)

ในการทำรีเจนเนอเรชันจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัลหรือบัฟเฟอร์กรดหรือสารละลายกรดไฮดรอกคลอริกเจือจาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.25-1 meq/g dry. Weight

ในการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ปฏิกิริยามักประกอบด้วยการแลกเปลี่ยนAlkali cellulose ด้วยสารประกอบคลอรีน ข้อเสียของปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดการละลายและการแพร่กระจายของวัตถุ ถึงแม้ว่าจะมีการทำให้ตกตะกอนอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่จะได้จะมีลักษณะนิ่มคล้ายวุ้น(Gel like Product)ซึ่งจะมีความต้านทานการไหลของสารละลายสูงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดการพองน้ำของเรซิน สามารถทำได้โดยการ Cross linking ของในสายของเซลลูโลส ด้วย di-(2-sthylamine) Sulfatc,1,4-butanedisulfate,1,3 dichoro-2-propanol,divinyl sulfone และ formaldehyde ก่อนการเติมหมู่ไอออน dichoroacetic acid เป็น Cross linking agent ที่เป็นตัวบอก exchange group

Serva-Cellulose ion exchanger เป็นสารเซลลูโลส ชนิดแรกที่ผลิตขึ้นในเชิงอุตสาหกรรมและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง [7]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยน ไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีดังนี้

เกศสุชา [8] ในงานวิจัยนี้ใช้ผักตบชวาและชานอ้อย เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน องค์ประกอบในผักตบชวามีเซลลูโลส 43-44% ลิกนิน 12-15% แพนโตแซน 14-15% และสารอื่นๆส่วนองค์ประกอบในชานอ้อยมีโฮโลเซลลูโลส 82.52% แอลฟาเซลลูโลส 44% ลิกนิน 19.78% แพนโตแซน 27.21% และสารอื่น โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ปรับสภาพอยู่ในช่วง 0.300-0.496 meq/g และผักตบชวาที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl water hyacinth) มีค่าอยู่ในช่วง 0.300-0.496 meq/g ส่วนชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.086 meq/g ส่วนชานอ้อยปรับสภาพ (Carboxymethyl bagasse) มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.069 meq/g นอกจากนี้พบว่าแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมีค่าสูงกว่านิกเกิลและสังกะสีสำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียที่มีโลหะหนักน้อยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 N สำหรับการรีเจเนอเรชั่นใช้ประมาณ 3 ปริมาตรเรซิน

พิธี [9] นำผักตบชวามาปรับสภาพด้วยสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 2, 5, 10, 20, 30 และ 37% (v/v) พบว่าการปรับสภาพโครงสร้างผักตบชวาด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 5% เท่ากับ 1.0962, 0.698 และ 1.0375 meq/g สำหรับไอออนของทองแดง นิกเกิล และสังกะสีตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการแลกเปลี่ยนไอออนของทองแดงมีค่าสูงกว่าไอออนของนิกเกิล และสังกะสี หลังจากคอลัมน์หมดประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะ จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1 ปริมาตรเรซิน หลังจากการล้างคอลัมน์ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนก็สมารถนำคอลัมน์กลับมาใช้ได้ใหม่โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson สำหรับไอออนของโลหะทองแดง นิกเกิล และสังกะสี คือ 0.85, -1.00 และ -0.78 ตามลำดับ จากค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้นพบว่าเมื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่ไอออนของโลหะหนักลงจะมีผลทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบสังกะสี พบว่าคอลัมน์ชนิดนี้สามารถกำจัดไอออนของโลหะได้เป็นที่น่าพอใจ จากผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 5% มาใช้แทนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดไอออนของโลหะหนักจากน้ำเสียชุบโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี

1. แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดรีเอเจนต์เกรด
2. กรดไฮไดรคลอริก ชนิดรีเอเจนต์เกรด
3. เอทีลีนไดเอมีนเททระอะซิติกแอซิด (EDTA) ชนิดรีเอเจนต์เกรด
4. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ชนิดรีเอเจนต์เกรด
5. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ชนิดรีเอเจนต์เกรด
6. แอริโครมแบลคที ชนิดรีเอเจนต์เกรด
7. กรดซิตริก ชนิดรีเอเจนต์เกรด

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. ขวดพลาสติก
4. กระบอกตวง
5. ขวดรูปชมพู่
6. ปิเปต
7. บิวเรต
8. ลูกยาง
9. หลอดหยด
10. แท่งแก้วคน
11. ช้อนตักสาร
12. กรวยกรอง
13. แท่งแม่เหล็กคนสาร
14. กระจกนาฬิกา
15. กระบอกน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น TC-254 Denver Instrument Company
2. เครื่องกรองแบบลดความดัน
3. เครื่องแกว่งสาร

3.3 สารละลายเคมี

1. สารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 M 0.10 M ละลาย 37.20 กรัม ของเกลือโซเดียมอีดีทีเอ(EDTA) = ethylenediaminetetra-acetic acid dehydrate, disodium salt) ในน้ำกลั่น 1 ลิตร นำสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 M มา 25 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL แล้วเติม 0.03 กรัม ของ $MgSO_4$. $7H_2O$ หรือ $MgCl_2$ ลงไป (อย่าเติมมากเกินไป) คนสารละลายจนของแข็งละลายหมด เติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายมีปริมาตรครบ 250 mL การเติมแมกนีเซียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมคลอไรด์ลงไปในสารละลายนี้ก็เพื่อทำให้อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคทีทำงานได้ดีขึ้น เห็นสารเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนขึ้น

2. สารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 เตรียมได้โดยผสม 6.80 กรัมของแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) กับ 57 mL ของน้ำแอมโมเนียที่เข้มข้น แล้วเจือสารละลายที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 mL อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคทีเตรียมได้โดยละลาย 0.15 กรัมของ แอริโคโครมแบลคทีชนิดรีเอเจนต์เกรดในไตรเอทานอลอะมีน (triethanolamine) 15 mL แล้วเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 5 mL เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาลที่มีจุกอุด เพื่อป้องกันสารละลายถูกแสงสว่างโดยตรง

3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดรีเอเจนต์เกรดที่อบจนแห้งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนและใกล้เคียง 0.25 กรัม ละลายแคลเซียมคาร์บอเนตในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.50 M จนละลายหมดพอดี พยายามใช้สารละลายกรดที่ให้น้อยที่สุดจนของแข็งละลายหมด เติมน้ำกลั่นจนสารละลายที่ได้มีปริมาตรเป็น 250 mL

4. สารละลายกรดซิตริก 0.60 M ชั่งซิตริก 31.50 g และละลายกรดซิตริกด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร250 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.50 M นำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% มา 4.50 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมขุยมะพร้าว

1. นำขุยมะพร้าวมาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง
2. นำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. นำขุยมะพร้าวไปเก็บไว้ในที่มิดชิดปราศจากความชื้น

3.4.1 ขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพ สามารถนำมาใช้ในทดลองได้ทันที

3.4.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก

1. นำขุยมะพร้าวมาแช่ในกรดซิตริก ปริมาณ 20 g ต่อ กรดซิตริก 250 mL
2. แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
3. กรองขุยมะพร้าวด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. อบขุยมะพร้าวที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 วัน
5. เพิ่มอุณหภูมิ เป็น 120 °C เป็นเวลา 90 นาที
6. ล้างขุยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง
7. อบต่อที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 วัน

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

3.5.1 การทดสอบการเปรียบเทียบการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวแบบแห้งและเปียก

3.5.1.1 ขุยมะพร้าวแห้ง

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50 g
2. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL
3. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL
5. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด
6. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ
7. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.1.2 ขุยมะพร้าวเปียก

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 g
2. นำขุยมะพร้าวที่ชั่งมาแช่ด้วยน้ำกลั่นให้ชุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL

4. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

6. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

7. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

8. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.2 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

3.4.3.1 ขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50 g

2. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

4. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

6. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

7. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

8. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.4.3.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

1. ชั่งขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิดริก น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50 g

2. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

4. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

6. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

7. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

8. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออน ของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วไทเทรตทันที

3.5.3.1 ขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50 g
2. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL
3. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL
5. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด
6. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ
7. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.3.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

1. ชั่งขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกน้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50 g
2. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL
3. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL
5. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด
6. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ
7. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.4 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออน ของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

3.5.4.1 ขุยมะพร้าวเปียกที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.0 g
2. นำขุยมะพร้าวที่ชั่งมาแช่ด้วยน้ำกลั่นให้ชุ่ม
3. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

6. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

7. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

8. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

9. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.4.2 ขุยมะพร้าวเปียกที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

1. ชั่งขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกน้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.0 g

2. นำขุยมะพร้าวที่ชั่งมาแช่ด้วยน้ำกลั่นให้ชุ่ม

3. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL

4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

5. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

6. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

7. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

8. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

9. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

3.5.5 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออน ของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วไทเทรตทันที

3.5.5.1 ขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

1. ชั่งขุยมะพร้าว น้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 g

2. นำขุยมะพร้าวที่ชั่งมาแช่ด้วยน้ำกลั่นให้ชุ่ม

3. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL

4. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน

5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL

6. หยดอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด

7. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

8. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรดทันที

1. ชั่งขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกน้ำหนัก 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 g
2. นำขุยมะพร้าวที่ชั่งมาแช่ด้วยน้ำกลั่นให้ชุ่ม
3. เติมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 25 mL
4. นำมาผ่านการกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 10 ปริมาตร 5 mL
6. หยดอินดิเคเดอร์เอริโอโครมแบลคที 3 หยด
7. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ
8. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดสอบเปรียบเทียบการดูดซับแคลเซียมไอออน ของขุยมะพร้าวแบบแห้งและเปียก

น้ำหนัก $CaCO_3$ = 0.2504 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.010007 M

ตารางที่ 4.1แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	26.70	26.60	26.65
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	25.80	25.50	25.65

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0094 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0097 M

4.1.1 ขุยมะพร้าวแห้ง

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5002	0.5005	17.50	17.10
1.0090	1.0076	10.80	10.30
1.5009	1.5001	4.40	5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5004	0.0067	33.46	8.43
1.0083	0.0041	59.28	4.94
1.5005	0.0019	81.13	20.44

4.1.2 ขุยมะพร้าวเปียก ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.4แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5010	0.5057	23.00	22.90
1.0030	1.0005	22.00	18.30
1.5010	1.5011	15.50	16.90
2.0065	2.0076	16.30	15.10

ตารางที่ 4.5แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5034	0.0089	11.62	2.93
1.0018	0.0078	22.54	5.68
1.5011	0.0064	36.44	9.18
2.0071	0.0061	39.43	9.93

4.1.3 ขุยมะพร้าวเปียก ครั้งที่ 2

น้ำหนัก $CaCO_3$= 0.2500 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.009991 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	28.50	28.00	28.25
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	27.50	27.30	27.40

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0088 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0091 M

ตารางที่ 4.7แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5037	0.5031	19.10	19.50
1.0022	1.0014	13.70	15.00
1.5014	1.5012	11.00	12.00
2.0082	2.0080	7.40	8.80
2.5080	2.5079	6.80	7.20

ตารางที่ 4.8 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	$[CaCO_3]$ ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5034	0.0071	28.93	7.23
1.0018	0.0053	46.95	11.74
1.5013	0.0044	55.96	13.99
2.0081	0.0030	69.97	17.49
2.5080	0.0026	73.97	18.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ขุยมะพร้าวเปียก ครั้งที่3

น้ำหนัก $CaCO_3$ = 0.5004 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.009999 M

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	27.10	27.00	27.05
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	26.60	26.50	26.55

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0092 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0094 M

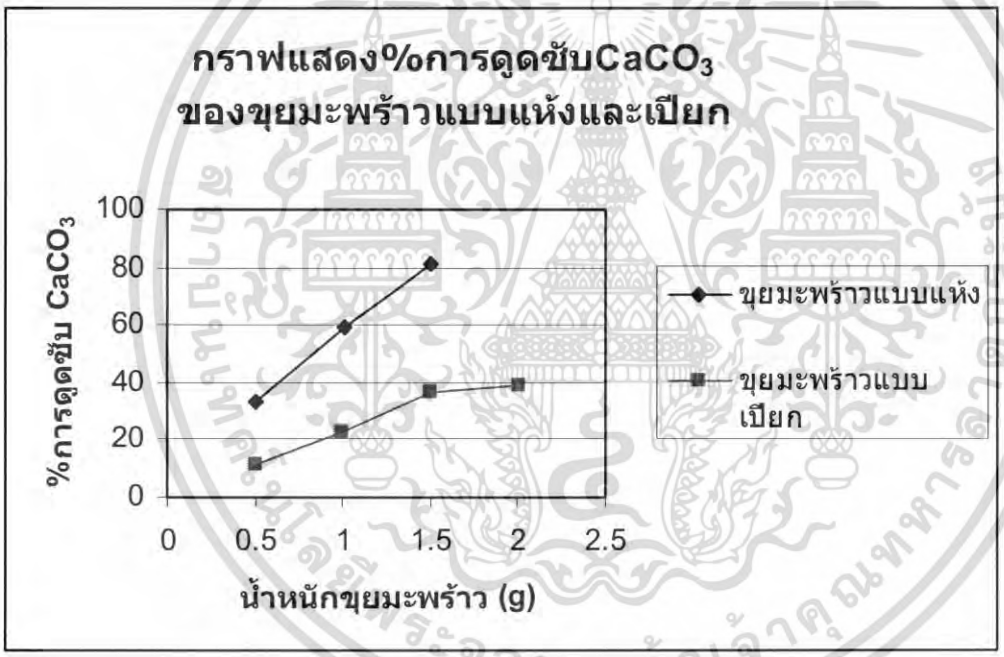
ตารางที่ 4.10แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5003	0.5010	22.00	22.00
1.0000	1.0010	20.00	20.20
1.5000	1.5002	17.00	16.30
2.0010	2.0009	14.50	14.70
2.5026	2.5012	12.70	12.40
3.0083	3.0046	12.00	12.20
3.5010	3.0004	11.80	11.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

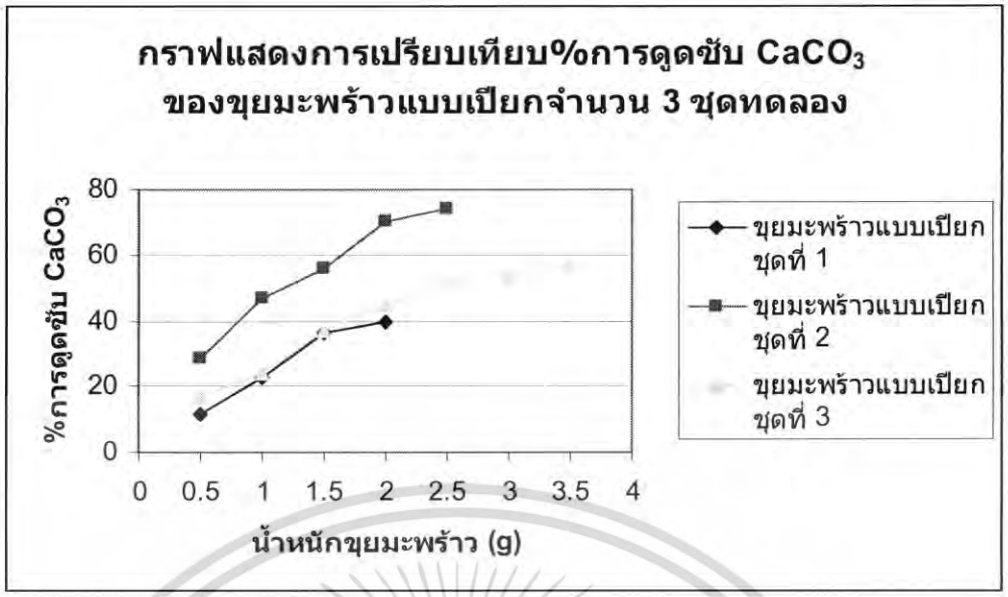
น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	$[CaCO_3]$ ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5007	0.0083	17	4.25
1.0005	0.0076	24	6.00
1.5001	0.0063	37	9.26
2.0010	0.0055	45	11.26
2.5019	0.0048	52	13.01
3.0065	0.0046	54	13.51
3.5007	0.0043	57	14.26



รูปที่ 4.1 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวแบบแห้งและเปียก

หมายเหตุ : ขุยมะพร้าวแบบเปียกจะดูดซับ $CaCO_3$ ได้น้อยกว่าขุยมะพร้าวแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวแบบเปียก จำนวน 3 ชุดทดลอง

4.2 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

น้ำหนัก $CaCO_3$ = 0.5020 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.010031 M

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	26.50	26.70	26.60
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	26.30	26.50	26.40

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0094 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0095 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ขุยมะพร้าวแห้งที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

ตารางที่ 4.13 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5034	0.5036	27.60	27.50
1.0045	1.0081	27.50	27.40
1.5033	1.5023	27.40	27.40

ตารางที่ 4.14 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	$[CaCO_3]$ ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5035	0.0105	0	0
1.0063	0.0104	0	0
1.5028	0.0104	0	0

4.2.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

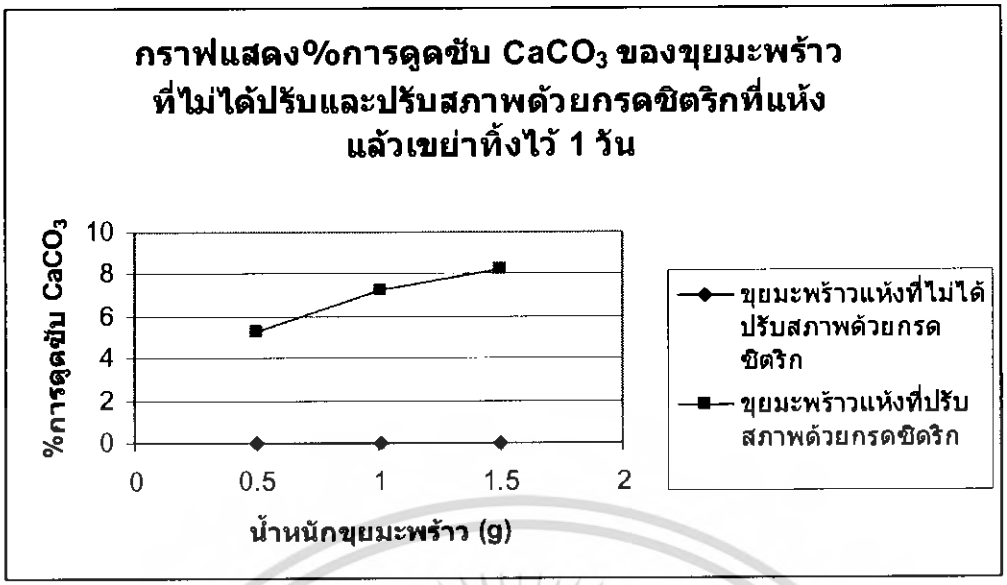
ตารางที่ 4.15 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5009	0.5014	25.10	24.90
1.0106	1.0069	24.40	24.50
1.5030	1.5016	24.20	24.00

ตารางที่ 4.16 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	$[CaCO_3]$ ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5012	0.0095	5.29	1.33
1.0088	0.0093	7.28	1.83
1.5023	0.0092	8.28	2.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

หมายเหตุ : จากการเปรียบเทียบระหว่างขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบแห้งโดยเขย่า 1 วันแล้วค่อยไทเทรดด้วยสารละลาย EDTA ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบแห้งดูดซับแคลเซียมไอออน ได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบแห้ง

4.3 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วไทเทรตทันที

น้ำหนัก $CaCO_3$= 0.5045 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.010081 M

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	27.00	26.80	26.90
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	24.50	24.00	24.25

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0094 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0104 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ขุยมะพร้าวที่แห้งไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

ตารางที่ 4.18 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5071	0.5030	26.50	28.00
1.0026	1.0072	25.40	25.20
1.5084	1.5039	23.60	23.40
2.0063	2.0091	21.80	21.80

ตารางที่ 4.19 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าว เฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5050	0.0113	0	0
1.0049	0.0106	0	0
1.5062	0.0098	2.78	0.70
2.0077	0.0091	9.73	2.45

4.3.2 ขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

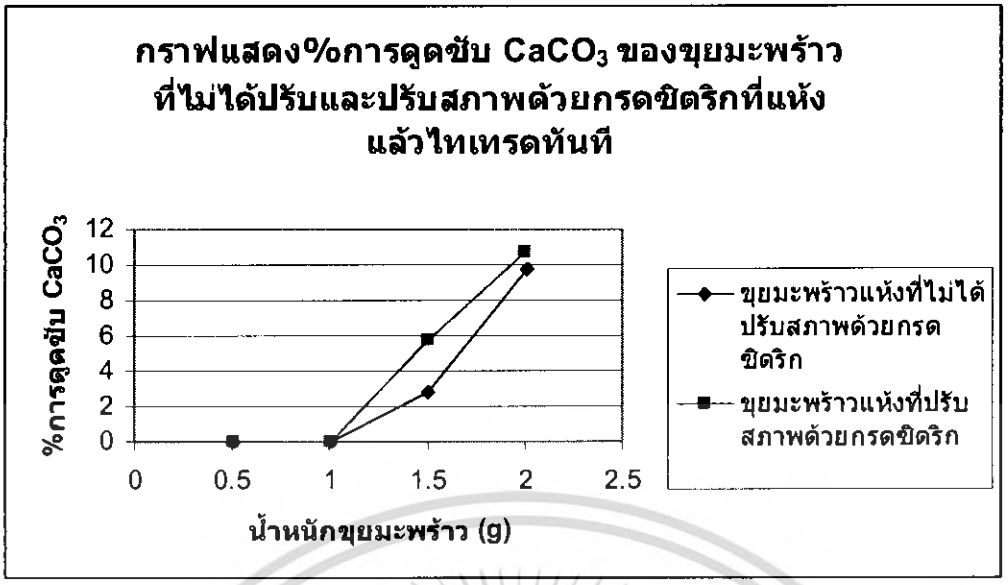
ตารางที่ 4.20 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5077	0.5097	25.60	25.60
1.0032	1.0036	24.00	24.50
1.5088	1.5069	22.80	23.20
2.0045	2.0050	21.60	21.60

ตารางที่ 4.21 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าว เฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5087	0.0106	0	0
1.0034	0.0101	0	0
1.5079	0.0095	5.76	1.45
2.0048	0.0090	10.72	2.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่แห้งแล้วไทเทรตทันที

หมายเหตุ : จากการเปรียบเทียบระหว่างขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบแห้งโดยไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA ทันที ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบแห้งดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบแห้ง

4.4 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

น้ำหนัก $CaCO_3$ = 0.4995 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.009981 M

ตารางที่ 4.22 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	25.00	25.10	25.05
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	23.60	24.00	23.80

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0100 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0105 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ขุยมะพร้าวเปียกที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

ตารางที่ 4.23 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5096	0.5004	29.20	30.00
1.0450	1.0388	29.00	29.00
1.5073	1.5022	28.90	28.90
2.0127	2.0124	27.60	28.50
2.5122	2.5043	27.10	27.50
3.0060	3.0015	24.90	24.50

ตารางที่ 4.24 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5050	0.0125	0	0
1.0419	0.0122	0	0
1.5048	0.0121	0	0
2.0126	0.0118	0	0
2.5083	0.0115	0	0
3.0038	0.0104	0	0

4.4.2 ขุยมะพร้าวเปียกที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและเขย่านาน 1 วัน

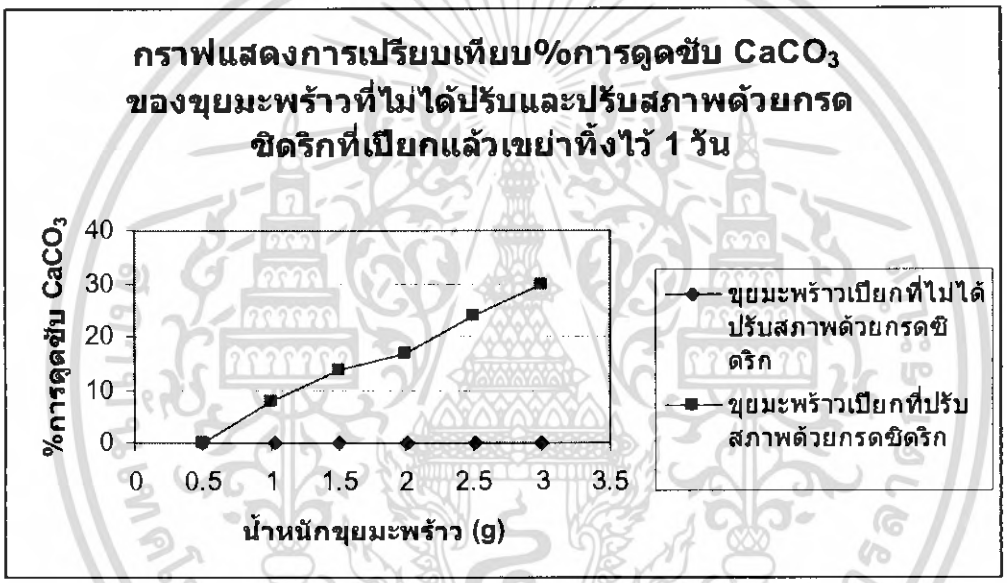
ตารางที่ 4.25 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5001	0.5005	23.80	23.80
1.0002	1.0001	21.85	21.90
1.5001	1.5000	20.40	20.45
2.0001	1.9999	19.60	19.80
2.5001	2.4998	17.80	18.00
3.0002	3.0001	16.50	16.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5003	0.0100	0	0
1.0002	0.0092	7.82	19.5
1.5001	0.0086	13.83	34.6
2.0000	0.0083	16.84	42.1
2.5000	0.0076	23.85	59.3
3.0002	0.0070	29.86	74.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วเขย่าทิ้งไว้ 1 วัน

หมายเหตุ : จากการเปรียบเทียบระหว่างขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบเปียกโดยเขย่า 1 วัน แล้วค่อยไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบเปียกดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบเปียก

4.5 ศึกษาการดูดซับแคลเซียมไอออนของขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกที่เปียกแล้วไทเทรตทันที

น้ำหนัก $CaCO_3$= 0.5045 g เตรียมเป็นสารละลาย 250 mL

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต = 0.010081 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 แสดงปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรตสารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองและผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

สาร	ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)		เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	27.00	26.80	26.90
สารละลาย $CaCO_3$ ที่ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1	24.50	24.00	24.25

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA = 0.0094 M

Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง [EDTA] = 0.0104 M

4.5.1 ขุยมะพร้าวที่เปียกไม่ได้ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

ตารางที่ 4.28 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5071	0.5030	26.50	28.00
1.0026	1.0072	25.40	25.20
1.5084	1.5039	23.60	23.40
2.0063	2.0091	21.80	21.80

ตารางที่ 4.29 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	[$CaCO_3$] ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5051	0.0113	0	0
1.0049	0.0106	0	0
1.5062	0.0098	2.78	0.70
2.0077	0.0091	9.73	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

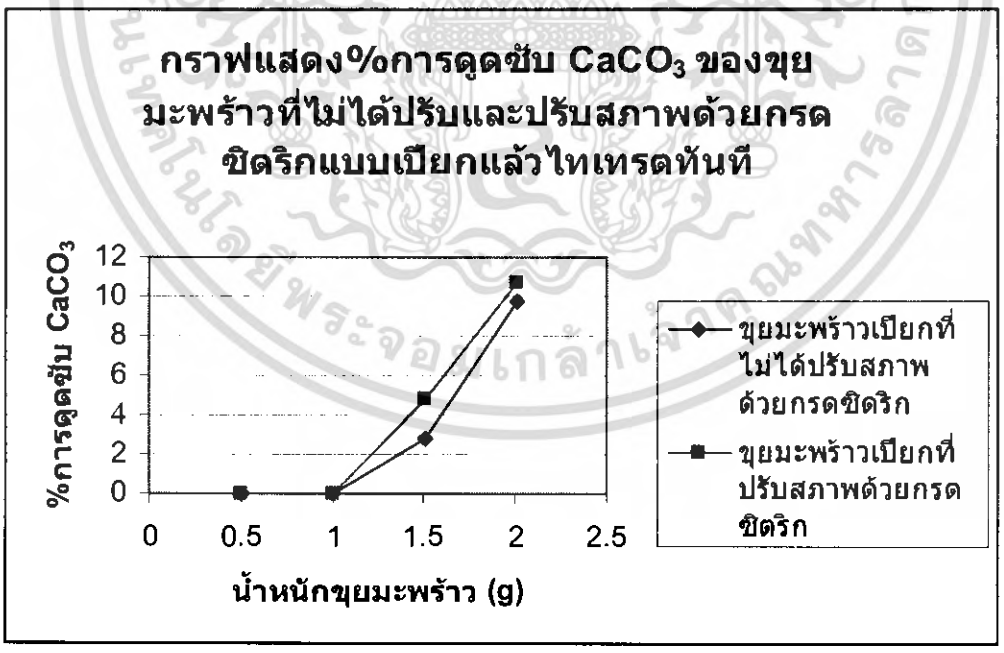
4.5.2 ขุยมะพร้าวที่เปียกปรับสภาพด้วยกรดซิตริกและไทเทรตทันที

ตารางที่ 4.30 แสดงน้ำหนักขุยมะพร้าวและปริมาตรEDTA ที่ใช้ไทเทรต

น้ำหนักขุยมะพร้าว (g)		ปริมาตร EDTA ที่ใช้ไทเทรต (mL)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.5077	0.5097	25.60	25.60
1.0032	1.0036	24.00	24.50
1.5088	1.5069	22.80	23.20
2.0045	2.0050	21.60	21.60

ตารางที่ 4.31 แสดงการดูดซับของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือ

น้ำหนักขุยมะพร้าวเฉลี่ย (g)	$[CaCO_3]$ ที่เหลือ (M)	% การดูดซับ	การดูดซับ (mg $CaCO_3$/g)
0.5087	0.0106	0	0
1.0034	0.0101	0	0
1.5079	0.0096	4.77	1.20
2.0048	0.0090	10.73	2.70



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง % การดูดซับ $CaCO_3$ ของขุยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับและปรับสภาพด้วยกรดซิดริกที่เปียกแล้วไทเทรตทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : จากการเปรียบเทียบระหว่างขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบเปียกโดยไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA ทันที ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบเปียกดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับแคลเซียมในน้ำโดยเป็นการนำขุยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ คือ

1. ขุยมะพร้าวแบบเปียกจะดูดซับ $CaCO_3$ ได้น้อยกว่าขุยมะพร้าวแบบแห้ง

2. ขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบแห้งโดยแช่ 1 วัน แล้วค่อยไทเทรดด้วยสารละลาย EDTA ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบแห้งดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบแห้ง

3. ขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบแห้งโดยไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA ทันที ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบแห้งดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบแห้ง

4. ขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบเปียกโดยแช่ 1 วัน แล้วค่อยไทเทรดด้วยสารละลาย EDTA ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบเปียกดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบเปียก

5. ขุยมะพร้าวที่ปรับและไม่ปรับสภาพแบบเปียกโดยไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA ทันที ผลที่ได้คือ ขุยมะพร้าวปรับสภาพแบบเปียกดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าขุยมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพแบบเปียก

ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมสารใหม่ต้องทำการเทียบมาตรฐานใหม่ทุกครั้ง

2. การใช้ขุยมะพร้าวจะต้องทำการทำความสะอาดให้ดีก่อนที่จะใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

(1) http://www.4uengineer.com/modules.php?name=News&file=article&sid=64

(2) ประเสริฐ แก้วแกมเกษ.2543. **การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นไหมโดยใช้ระบบถังเกรอะและถังคาร์บอนดูดซับ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(3) นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, สมชาย เอื้อพัฒนากูล และ คณิตา ตังคณานุรักษ์. (ม.ป.ป.) **เทคนิคการแยกสารโดยวิธีโครมาโทกราฟี.**(ม.ป.ท.:ม.ป.พ.).

(4) มุกดา พัฒนาวาณิชชัย, สกลวรรณ ห่านจิตสุวรรณ์, สุกัญญา กำมะเลศ. 2546. **การใช้ประโยชน์ของมวลแห้งของจอกหูหนูและผักตบชวาในการดูดซับอนุพันธ์ฟีนอล.** โครงงานพิเศษ ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

(5) ขวัญเนตร สบายใจ. 2542. **การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสีย้อม.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(6) Brown Lamay Bursten. 1977. **Chemistry The Central Science**, Seventh edition. Prentice-Hall Inc.Dorfner,K.1977. Ion Exchanger Properties and Application, AnnArbor Science.

(7) ชัชฎาพร องอาจ. 2545. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(8) เกศสุชา พูลคำ. 2537. **การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(9) พิธี กระสินธุ์ศรี. 2539. **การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดลิกโนเซลลูโลสิคฟอร์มัลดีไฮน์ที่ทำจากผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

<u>หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต</u>

จาก g/MW = CV/1000

g = น้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนตที่ชั่งมา

MW = น้ำหนักโมเลกุลของแคลเซียมคาร์บอเนต

C = ความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนต

V = ปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนต

<u>หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA ที่ไม่ผ่านกระดาษกรอง</u>

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$[CaCO_3][V_{CaCO3}] = [EDTA][V_{EDTA}]$

C_1 = ความเข้มข้นที่แน่นอนของแคลเซียมคาร์บอเนต

V_1 = ปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนต

C_2 = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA

V_2 = ปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้ไทเทรต

<u>ทำ Blank ทดสอบการดูดซับ $CaCO_3$ ของกระดาษกรอง</u>

จาก $C_1V_1 = C_2V_2$

$[CaCO_3][V_{CaCO3}] = [EDTA][V_{EDTA}]$

C_1 = ความเข้มข้นที่แน่นอนของแคลเซียมคาร์บอเนต

V_1 = ปริมาตรของแคลเซียมคาร์บอเนต

C_2 = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA

V_2 = ปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้ไทเทรต

<u>หาปริมาณแคลเซียมที่ถูกดูดซับ</u>

จาก $[EDTA][V_{EDTA}] = [CaCO_3][V_{CaCO3}]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหา %การดูดซับ

ตัวอย่าง

[$CaCO_3$] ที่ถูกดูดซับไว้ = 0.01007 – 0.0067 = 0.003307 M

[เริ่มต้น]	0.010007 M	ดูดซับไว้	0.003307 M
[เริ่มต้น	100 M	ดูดซับไว้	33.05%

การคำนวณหาการดูดซับ (mg$CaCO_3$/g)

ตัวอย่าง

[$CaCO_3$] ที่ถูกดูดซับไว้ = 0.01007 – 0.0067 = 0.003307 M (mol/L) = 0.3309943 g/L

1000 mL	ดูดซับไว้	0.33099
25 mL	ดูดซับไว้	0.33099X(25/1000) = 8.27 mg
น้ำหนัก 0.5004 g	ดูด	8.27 mg
น้ำหนัก 1 g	ดูด	16.54 mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้