การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย โดยใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว

STUDY OF THE POSSIBILITY OF ABSORPTION OF COPPER IN WASTEWATER WITH THE FIBER OF BANANA PEANUT AND COCONUT.

กมลชนก ดิ้มวัฒนะ

ทัศร ศรีนวล

ณัฐวดี แซงศรีเรือง

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย โดยใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว

STUDY OF THE POSSIBILITY OF ABSORPTION OF COPPER IN WASTEWATER WITH THE FIBER OF BANANA PHENUT AND COCONUT.

กมลชนก ลิ้มวัฒนะ

จักร ศรีนวล

ณัฐวดี แสงศรีเรือง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF THE POSSIBILITY OF ABSORPTION OF COPPER IN WASTEWATER WITH THE FIBER OF BANANA PHENUT AND COCONUT.

KAMONCHANOK LIMWATTANA
JAK SRINUAL
NATTAWADEE SANGSRIRUANG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็น ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง ... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย โดยใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว The possibility of absorption of copper in wastewater with the fiber of banana peanut and coconut.
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลชนก ลิ้มวัฒนะ นายจักร ศรีนวล นางสาวณัฐวดี แสงศรีเรือง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย โดยใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลชนก ลิ้มวัฒนะ นายจักร ศรีนวล นางสาวณัฐวดี แสงศรีเรือง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเปลือกกล้วย ถั่ว และมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาทดลองใช้ให้เกิดประโยชน์โดยแยกเอาเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าวมาทำการทดลองดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีอิทธิพลมากที่สุดต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว โดยโลหะทองแดงจะถูกดูดซับมากที่สุดเมื่อสารละลายมีค่า pH 3.0 ปัจจัยทางกายภาพ คือระยะเวลาของการปั่นกวน ความเร็วรอบของการปั่นกวนโดยเส้นใยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาปั่นกวน 60 นาทีและความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และเส้นใยถั่วเป็นเส้นใยที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงมากที่สุด

คำสำคัญ : เส้นใยกล้วย เส้นใยถั่ว เส้นใยมะพร้าว โลหะทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The possibility of absorption of copper in wastewater with the fiber of banana peanut and coconut.
Students	Kamonchanok Limwattana Jak Srinual Nattawadee Sangsriruang
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2555
Advisor	Patama Leerahawong

ABSTRACT

This special project aims to study the removal of copper from aqueous solution using banana fiber peanut fiber and coconut fiber. This fiber are underutilized low-cost natural material. The factors affecting the adsorption were investigate. The adsorption depends on the pH of the solution. The maximum adsorption was obtained at pH = 3.0. The physical factors including contact time and stirring speed were also determined. And, the result show that, all fibers used in this study show the highest efficiency when contact time of 60 min and sturring speed at 200 rpm were applied. Moreover, peanut fiber is the most effective adsorption fiber compared to other used in this study banana fiber peanut fiber and coconut fiber had most efficiency at 60 minutes and stirring speed 200 round per minute and peanut fiber the best fiber in adsorption.

Keyword : banana fiber , peanut fiber, coconut fiber , copper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเรื่องการใช้ประโยชน์ของเส้นใยผลไม้เพื่อเป็นวัสดุในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำ ความคิดเห็นและกำลังใจ

ขอขอบพระคุณ อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์ เป็นอย่างสูง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ใน ทุกขั้นตอน เพื่อให้การจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะตลอดมาและขอบคุณเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของโครงงานพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แด่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะวิจัยทุกท่าน

กมลชนก ลิ้มวัฒนะ
จักร ศรีนวล
ณัฐวดี แสงศรีเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โลหะหนัก	4
2.1.1 ทองแดง	4
2.2 กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	6
2.2.1 กระบวนการทางกายภาพ	6
2.2.2 กระบวนการทางเคมี	6
2.2.3 กระบวนการทางชีววิทยา	6
2.2.4 กระบวนการทางฟิสิกัลเคมีกัล	6
2.3 การดูดซับ	7
2.3.1 กลไกการดูดซับ	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิว	8
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	10
2.4 อะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี	12
2.4.1 หลักการอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี	12
2.4.2 องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆของ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	12
2.4.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี	13
2.4.4 สิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์	16
2.5 เส้นใยธรรมชาติ	16
2.6 มะพร้าว	17
2.6.1 ประวัติ	17
2.6.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	17
2.6.3 ประโยชน์	21
2.7 ถั่วลิสง	22
2.7.1 ประวัติและถิ่นกำเนิด	22
2.7.2 ลักษณะทั่วไปของถั่วลิสง	23
2.7.3 ประโยชน์ของถั่วลิสง	24
2.8 กล้วย	26
2.8.1 ประวัติและถิ่นกำเนิด	26
2.8.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วย	27
2.8.3 ประโยชน์ของกล้วย	28
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 32

3.1.1 สารเคมี 32

3.1.2 อุปกรณ์ 32

3.2 การเตรียมเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว 32

3.3 การเตรียมสารละลายสต็อกคอปเปอร์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 33

3.4 วิธีการทดลอง 33

3.4.1 การศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม 33

3.4.2 การศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลายที่เหมาะสม 33

3.4.3 การศึกษาผลของช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลาย 34
กับเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว

3.4.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว 34

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว 35

4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม 39

4.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย 40

4.4 ผลการศึกษาช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลาย 41
กับเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว

4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของเส้นใยแต่ละชนิด 42

4.5.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ 42
ของเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว

4.5.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช 43
ของเส้นใยกล้วย ถั่วและมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	49
ภาคผนวก ข ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	51
และนิคมอุตสาหกรรม	
ภาคผนวก ค ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง	54
0.3, 0.6, 0.9, 1.0, 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร	
ภาคผนวก ง แสดงน้ำหนักเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง	55
และค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้	
ภาคผนวก จ ตารางผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ	60
ภาคผนวก ฉ ค่าคงที่ต่างๆ ในไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดิชและแลงเมียร์	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สารประกอบที่สำคัญของถั่วลิสง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์	9
รูปที่ 2.2 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช	10
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบต่างๆของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	13
รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ	14
รูปที่ 2.5 เครื่องมือวิเคราะห์แบบ cold vapor atomic absorption ใช้หาปริมาณปรอท	15
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะเส้นใยของกล้วย	36
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะเส้นใยของถั่ว	37
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะเส้นใยของมะพร้าว	38
รูปที่ 4.4 แสดงผลการใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ในการดูดซับโลหะทองแดงที่ pH ต่างๆที่เหมาะสม	39
รูปที่ 4.5 แสดงผลการใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ในการดูดซับโลหะทองแดงที่ความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลายต่างกัน	40
รูปที่ 4.6 แสดงผลการใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ในการดูดซับโลหะทองแดงในช่วงระยะเวลาปั่นกวนสารละลายที่ต่างกัน	41
รูปที่ 4.7 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว	42
รูปที่ 4.8 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก การเกิดขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆอย่างมากมาย ทำให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยโรงงานอุตสาหกรรมเป็นตัวการสำคัญที่ปล่อยน้ำทิ้งซึ่งมีการปนเปื้อนของโลหะทองแดงออกสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม เป็นต้น ซึ่งโลหะหนัก อย่างทองแดงจะมีผลเสียต่อร่างกายมนุษย์โดยทำให้ร่างกายเกิดสภาวะผิดปกติต่างๆ เช่น ปวดท้อง คลื่นไส้รุนแรง และอาเจียน

วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) และการดูดซับ (adsorption) ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถใช้ในการกำจัดโลหะที่มีปริมาณความเข้มข้นต่ำ และค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำวัสดุธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดโลหะหนัก โดยผ่านกระบวนการดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงแต่มีค่าใช้จ่ายต่ำ

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยของผลไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ กล้วย ถั่ว และมะพร้าว เนื่องจากเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด และมีความปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าเส้นใยของผลไม้ชนิดใดมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่จะช่วยในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยผลไม้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะทองแดงปนเปื้อนอยู่

2. ศึกษาเส้นใยผลไม้ว่าเส้นใยผลไม้ชนิดใดที่มีผลในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้เส้นใยผลไม้ทั้งสามชนิดดูดซับโลหะทองแดงออกจากตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เส้นใย กล้วย ถั่ว และมะพร้าว

2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เส้นใย กล้วย ถั่ว และมะพร้าว

3. วิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินโครงงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล

2. จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีและออกแบบการทดลอง

3. ทำการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

4. รวบรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำเอาเส้นใยจากเปลือกกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์

2. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว เพื่อดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำทิ้ง

3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยกล้วยถั่ว และมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนักคือ โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักจะมีลักษณะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โดยโลหะส่วนใหญ่จะมีสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ ส่วนสมบัติทางเคมีคือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงได้แก่ อาร์เซนิก (As) ทอง (Au) แคดเมียม (Cd) คอปเปอร์ (Cu) โครเมียม (Cr) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) เทลลูเลียม (Te) และสังกะสี (Zn) ส่วนกลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงรองลงมาได้แก่ แบเรียม (Ba) เบริลเลียม (Be) เหล็ก (Fe) โมลิดินัม (Mo) ไทเทเนียม (Ti) และยูเรเนียม (U)

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารพิษเหล่านี้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย แหล่งที่มาที่สำคัญของโลหะหนักคือกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ที่อาจปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร แล้วจึงเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ และจะส่งผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต (จตุพร และคณะ, 2545)

2.1.1 ทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะสีน้ำตาลแดงค่อนข้างอ่อน สามารถตีเป็นแผ่นบางๆหรือดึงเป็นเส้นได้ สามารถนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีรองจากทองคำและเงิน มีเลขอะตอมเท่ากับ 29 ซึ่งเป็นธาตุแรกของหมู่ (I) B จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 63.54 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1083 °C และมีจุดเดือดเท่ากับ 2582 °C มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 หรือ +2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของทองแดง

1. มีคุณสมบัติเป็นโลหะอ่อน จึงสามารถจัดหรือดัดแปลงให้เป็นรูปต่างๆได้ง่าย มีการนำไฟฟ้าได้ดี จึงเป็นประโยชน์ที่ใช้ในแง่ของงานด้านไฟฟ้า เช่น ทำสายไฟฟ้า ไดนาโม มอเตอร์ อุปกรณ์และเครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีจึงนิยมนำมาใช้ทำหม้อน้ำรถยนต์

2. ผงของทองแดงสามารถนำมาเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้ ใช้ทองแดงในการทำโลหะผสมต่งๆ เช่น ทองเหลือง เป็นการนำทองแดงมาผสมกับสังกะสี ซึ่งทองเหลืองจะนิยมนำมาใช้ในการทำกลอนประตู ภาชนะหุงต้ม ปลอกกระสุนปืน กุญแจ และใบพัด ส่วนทองสัมฤทธิ์ เป็นการนำทองแดงมาผสมกับดีบุก ซึ่งทองสัมฤทธิ์นิยมนำมาใช้ทำลานนาฬิกา ปืนใหญ่ และระฆัง

3. สารประกอบทองแดง ถ้ามีในปริมาณมากๆจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต จึงนิยมใช้สารประกอบของทองแดงบางชนิด เช่น คอปเปอร์ (II) ออกไซด์มาผลิตยาฆ่าแมลงและฆ่าเชื้อรา

4. ร่างกายของคนก็ต้องการทองแดงเพื่อใช้ในกระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งถ้าขาดธาตุทองแดงอาจทำให้เกิดความบกพร่องในการสังเคราะห์ไขมันในร่างกายบางชนิด รวมทั้งทำให้เกิดโรคโลหิตจางเพราะร่างกายไม่สามารถดูดซึมเหล็กได้ (สมรักษ์, 2555)

กลไกการเกิดพิษของทองแดงขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป และขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล โดยทองแดงจะถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน จะซึมผ่านผนังลำไส้แล้วเข้าไปสู่ตับและจะรวมตัวกับน้ำดี ถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้และขับออกไปกับอุจจาระหรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยจะไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ และสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายเช่น เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน เกิดอาการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย เกิดการทำงานของหัวใจที่ผิดปกติ กดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต (ตารางธาตุ, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียในปัจจุบันมีสิ่งสกปรกต่างๆที่มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ปะปนอยู่ในรูปของแข็งและสารละลาย ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยกระบวนการย่อยๆหลายหระบวนการ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

2.2.1 กระบวนการทางกายภาพ (physical process) ประกอบด้วย

- การดักด้วยตะแกรง (screening)
- การกวาด (skimming)
- การทำให้ลอยตัว (floating)
- การตกตะกอน (sedimentation or precipitation)
- การแยกสิ่งแขวนลอยออกจากน้ำโดยแรงเหวี่ยง (centrifugation)
- การกรอง (filtration)

2.2.2 กระบวนการทางเคมี (chemical process) ประกอบด้วย

- การทำให้เป็นกลางโดยการเติมกรด หรือเบส (neutralization)
- การทำให้ตกตะกอนโดยเติมสารเคมี (precipitation)
- ออกซิเดชัน-รีดักชันหรือรีดอกซ์ (redox)
- การทำให้อนุภาคแขวนลอยรวมตัวเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น โดยวิธีทางเคมี (chemical coagulation)

2.2.3 กระบวนการทางชีววิทยา (biological process) ได้แก่

- กระบวนการใช้ออกซิเจนหรืออากาศ (aerobic process) ซึ่งกรรมวิธีอาจเป็นแบบ oxidation pond, aerated lagoons, activated sludge, trickling filters และ biological disc filters
- กระบวนการไร้ออกซิเจนหรืออากาศ (anaerobic process) ซึ่งอาจเป็นแบบบ่อพักไร้อากาศ (anaerobic lagoons) การย่อยแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) และการสัมผัสแบบไร้อากาศ (anaerobic contact)

2.2.4 กระบวนการทางฟิสิกัลเคมีกัล (physical-chemical process) ได้แก่

- การดูดซับโดยใช้ผงถ่าน (carbon adsorption)
- การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)
- ออสโมซีสย้อนกลับ (reverse osmosis) (วิจิตร, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การดูดซับ (Adsorption)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการดูดซับ ตัวที่ดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับระหว่างสถานะทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งจะมีได้ทั้งแบบการดูดซับระหว่างของเหลวกับของแข็ง การดูดซับระหว่างของแข็งกับก๊าซ การดูดซับระหว่างของแข็งกับของแข็งและการดูดซับระหว่างของเหลวกับของเหลว โดยการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับแบบนี้สามารถเกิดได้หลายชั้น (Multilayers) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนที่เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal's forces) มักจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำๆ และมีพลังงานการดูดซับต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการย้อนกลับของการดูดซับได้ โดยจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เมื่อเกิดขึ้นจะไม่ทำให้การจัดเรียงตัวของโครงสร้างของแข็งเปลี่ยนไป การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่แข็งแรง จะเกิดพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเป็นแบบเฉพาะเจาะจง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับและผิวหน้าของตัวดูดซับหลังจากเกิดการดูดซับชั้นของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับบนผิวหน้าจะมีลักษณะเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) (จตุพร และนุรักษ์, 2547)

2.3.1 กลไกการดูดซับ การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวไปยังของแข็งหรือของเหลว โดยการเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเกิดขึ้น 3 ระยะติดต่อกันคือ

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นช่วงระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion หรือ Pore diffusion) เป็นช่วงระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) เป็นช่วงระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะที่ 3 นี้ อาจเกิดการติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือทางเคมีหรืออาจเกิดทั้งสองชนิดพร้อมกัน (สันทัด, 2549)

2.3.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (adsorption isotherm)

ความสามารถในการดูดติดผิวสารใดๆต่อหนึ่งหน่วย น้ำหนักสารดูดติดผิวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น ในรูปสารละลายที่จุดสมดุล ณ สภาวะอุณหภูมิคงที่ ปริมาณสารถูกดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น ป รากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองของแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.2.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมุติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงเมียร์ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือพลังงานในการดูดติดผิวมีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ผิว การดูดติดผิวจะเกิดเฉพาะที่โมเลกุลเดียวโดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\text{Langmuir Adsorption Isotherm : } \frac{Ce}{Cs} = \frac{1}{ab} + \frac{Ce}{a}$$

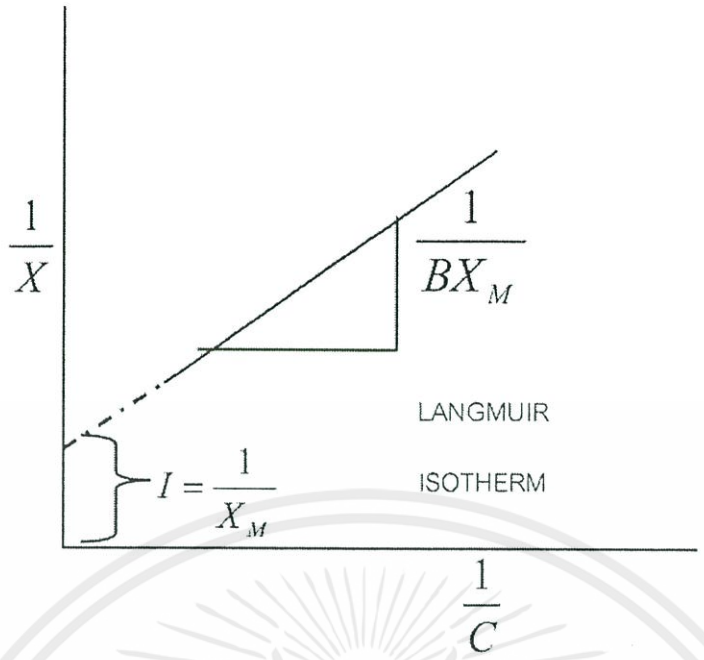
โดยที่ Cs = ปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

Ce = ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

a = ปริมาณการดูดซับที่สูงสุด (ความสามารถในการดูดซับแบบชั้นเดียว)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Hameed, B.H. and F.B.M. Daud, 2008)

2.3.2.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชใช้อย่างแพร่หลาย สมมติฐานแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรุนดิช เกิดจากสมมติฐานจากพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) ด้วยการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของความร้อนของการดูดซับบนพื้นผิวที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) การประยุกต์ใช้สมการฟรุนดิชอธิบายถึงการลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียลของพลังงานการดูดซับบนจุดสมดุลของจุดศูนย์กลางการดูดซับของตัวดูดซับ (Hameed and Daud, 2008) โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีสมการดังนี้ (Hameed, B.H. and F.B.M. Daud, 2008)

Freundlich adsorption isotherm : $\ln C_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$

$$C_S = K_F C_e{}^{1/n}$$

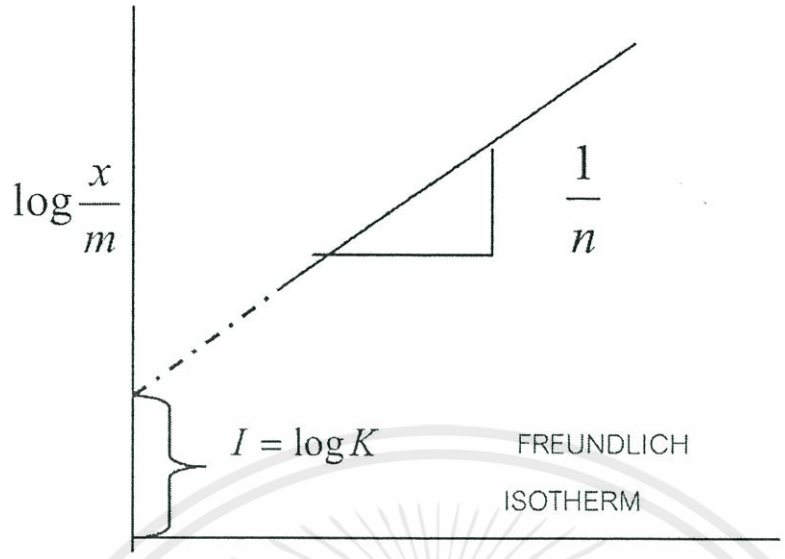
โดยที่ Cs = ปริมาณตัวดูดซับที่เวลาสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

Ce = ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เวลาสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

K_f = ปริมาณความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (adsorption capacity)

$\frac{1}{n}$ = บ่งบอกถึงความแรงของการดูดซับ (adsorption intensity) ของความเป็นพื้นผิวหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Hameed, B.H. and F.B.M. Daud, 2008)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ คือธรรมชาติของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

2.3.3.1 ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ธรรมชาติของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ได้แก่

- พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวเป็นอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ หมายถึงความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเพิ่มนั้นมากขึ้น แต่พื้นที่ผิวที่เป็นตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับได้เพิ่มมากขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้นั้น จะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นตามด้วย (จุวัลณีย์, 2546)

- ขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ การลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดที่เล็กลงนั้นจะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับนั้นเพิ่มมากขึ้น และเร็วกว่าสารที่มีขนาดใหญ่

- เคมีที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนผิวหน้าของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับและมีสมบัติที่มีผลต่อการบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดจะทำให้ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลงด้วยแต่ถ้าหากมีหมู่ฟังชันก์เป็นหมู่คาร์บอนิล จะทำให้ความสามรถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ ธรรมชาติของตัวดูดซับจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังนี้

- ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายสูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้มีการแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

- น้ำหนักของโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล จะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อน้ำหนักของโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นและจะทำให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น กรณีของสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ ถ้ามีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมากขึ้น การดูดซับก็จะมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

- ความมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุล นอกจากธรรมชาติของโมเลกุลของสารแล้วยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับของสารด้วย ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

- ผลของ [H+] หรือ pH ถ้า [H+] ลดลง จะทำให้อัตราการดูดซับเร็วและมาก เพราะเมื่อ [H+] เพิ่มขึ้นและยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอน (เช่น ถ่านกัมมันต์) ได้ดี ทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว และค่อนข้างจะมีประจุลบเล็กน้อยจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้ว (non polarity) ของสารในน้ำมาเกาะที่ผิวคาร์บอนได้ดี ซึ่งค่า pH จะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

- ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเร็วของการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดติดของผิวจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.3.3.3 ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film diffusion และ Pore diffusion ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และจะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่จะเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ Film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ Pore diffusion เป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราการดูดซับ ทำให้อัตราการดูดซับเร็วขึ้น (สันทัด, 2549; Faust and Aly, 1987)

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.4 สมดุลของการดูดซับ กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ โดยสารที่ถูกดูดซับจะมีการคายการดูดซับ (Desorption) ไปพร้อมๆกัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายการดูดซับเท่ากัน (การดูดซับสารประกอบฟีนอล, 2555)

2.4 อะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพความไวสูง เป็นเทคนิคเฉพาะที่ดีมากและความสามารถของเทคนิคนี้สูงมาก เพราสามารถวิเคราะห์ธาตุต่างๆได้ถึง 67 ธาตุ

2.4.1 หลักการ

เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ โดยธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกันด้วย เช่น อะตอมของแคดเมียมสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร อะตอมของปรอทจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร แสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวจะมีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเลคตรอนของอะตอมแคดเมียมและปรอทเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะเร้า ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระนั้นต้องใช้พลังงานในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือไฟฟ้า

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี อาศัยหลักการวัดปริมาณแสงที่ธาตุนั้นดูดกลืนเข้าไป เพื่อที่จะทำให้อะตอมอิสระที่อยู่ในสภาวะพื้นขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้า ซึ่งปริมาณแสงที่ดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร

2.4.2 องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ 5 ส่วน ดังนี้

2.4.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source) ส่วนใหญ่เป็น hallow cathode lamp (HCL) และ eletrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะกับบางธาตุเท่านั้น

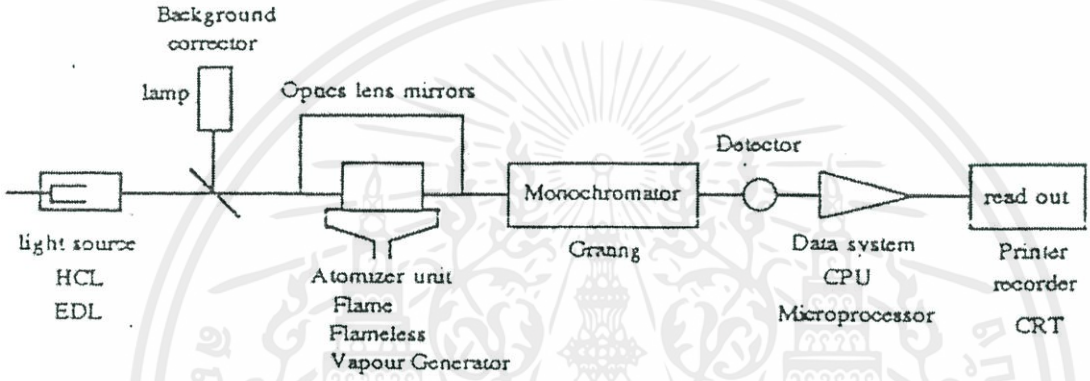
2.4.2.2 ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (atomizer unit) เป็นส่วนที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟหรือไฟฟ้า

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 ส่วนแยกแสง (monochormator) เป็นส่วนที่ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ อาจเป็นแผ่นกรองแสง (filter) เกรตติง (grating) หรือปริซึม (prism)

2.4.2.4 ส่วนวัดสัญญาณ (detector) ส่วนใหญ่เป็นหลอดโฟโตมัลติไพล์เออร์ (photomultiplier tube) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปพลังงานของแสงให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.4.2.5 ส่วนประมวลผลและอ่านผล (data system and readout unit) ทำหน้าที่ในการแปลสัญญาณที่ได้รับจากส่วนวัดสัญญาณให้เป็นข้อมูลสื่อให้ผู้ที่ใช้งานได้เข้าใจ



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบต่างๆของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)

2.4.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี สามารถทำได้หลายวิธี คือ

2.4.3.1 flame atomization technique ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame) ซึ่งกระบวนการเกิดสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. nebulization การเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆด้วย nebulizer

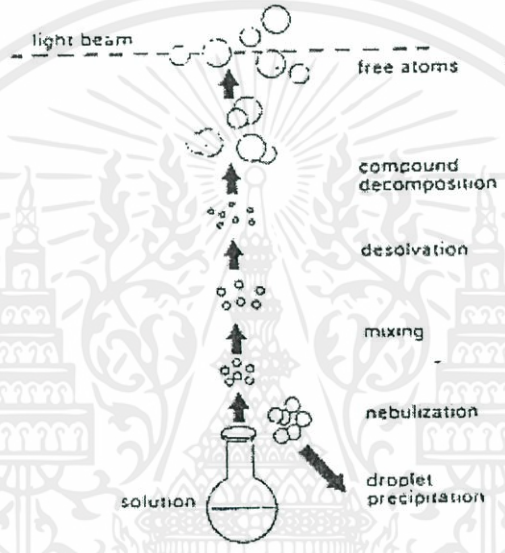
2. droplet precipitation ละอองเล็กๆรวมตัวกันแล้วไหลออกทางท่อน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. mixing ละอองเล็กๆของสารละลายผสมกับก๊าซเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิแดนท์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nebulizer

4. desolvation ตัวทำละลายถูกกำจัดออกไป จะทำให้เกิดเป็นสารประกอบเล็กๆ ของสารประกอบ

5. compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ ซึ่งจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุล และเป็นอะตอมอิสระ



รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)

2.4.3.2 flameless technique หรือ non-flame atomization technique ทำให้ธาตุเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยตั้งโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาของการเผาให้เหมาะสมกับธาตุแต่ละชนิด

2.4.3.3 hydride generation technique การวิเคราะห์ธาตุบางชนิด เช่น As และ Se โดยวิธีการดูดกลืนคลื่นแสงแบบเปลวไฟจะมีขีดต่ำสุดที่จะสามารถตรวจวัดได้ (detection limit) อยู่ในระดับ 1 ppm ซึ่งยังไม่ต่ำเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้ในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม เพราะธาตุเหล่านี้เป็นพิษในระดับต่ำ จึงพัฒนาวิธีการตรวจวัดให้มีสภาพไวสูงขึ้น โดยการทำให้สารที่สนใจกลายเป็นโลหะไฮไดร์ดที่สามารถระเหยได้ ณ อุณหภูมิห้อง แล้วไล่ไอของโลหะไฮไดร์ดที่

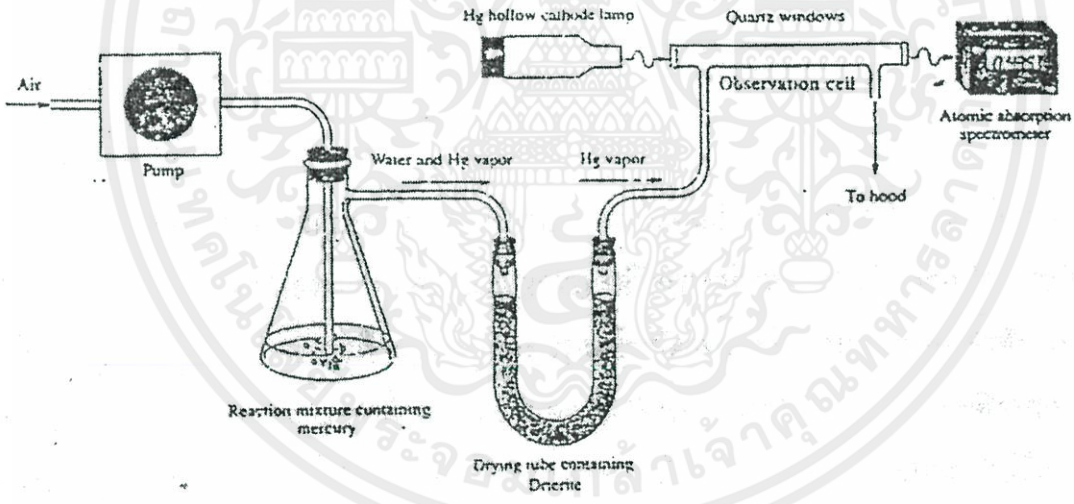
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นเข้าไปในหลอดที่วางอยู่บนเปลวไฟ เมื่อให้ความร้อน ไอของไฮไดร์ดจะสลายตัว กลายเป็นอะตอมของโลหะ

2.4.3.4 cold vapor technique เหมาะกับธาตุที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ เช่น Hg หลักการของวิธีนี้คือ ไอออนของปรอทจะถูกรีดิวซ์ด้วยสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride ; SnCl2) ซึ่ง Hg^{2+} จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น Hg^{0} ดังสมการ

$$Hg^{2+} + Sn^{2+} \longrightarrow Hg^{0} + Sn^{4+}$$

ไอปรอทที่เกิดขึ้นจะถูกก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจนไล่เข้าไปในเซลล์ (adsorption cell) แล้วเกิดการดูดกลืนแสง การมีไอน้ำในเซลล์จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง ซึ่งทำให้ค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไม่ถูกต้อง สามารถแก้ไขได้โดยให้ไอปรอทป่านสารดูดความชื้น ในปัจจุบันมีระบบ circular mode ทำให้ไอปรอทหมุนเวียนไปอยู่ในระบบที่ทำการวัดหลังจากวัดเสร็จแล้วจึงไล่ไอปรอทลงไปในขวดดักจับปรอท



รูปที่ 2.5 เครื่องมือวิเคราะห์แบบ cold vapor atomic absorption ใช้หาปริมาณปรอท

(แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 สิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณสารด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรสโกปี สามารถเกิดข้อผิดพลาดได้จากสิ่งรบกวน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 สาเหตุดังนี้

1. สิ่งรบกวนทางกายภาพ (physical effects) เป็นการรบกวนเนื่องจากสมบัติของสารละลายที่วิเคราะห์ เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลเข้าสู่ nebulizer

2. สิ่งรบกวนทางเคมี (chemical effects) เกิดจากสมบัติทางเคมีของสารที่นำมาวิเคราะห์ เช่น สมบัติการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระเมื่อมีสารอื่นปะปนอยู่ รวมทั้งพีเอชของสาระลายที่ทำการวิเคราะห์

3. การรบกวนเนื่องจากสเปคตรอล (spectral interferences) เกิดในกรณีที่สารตัวอย่างมีธาตุอื่นปนอยู่มาก ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงและให้สเปคตรัมเกิดขึ้นเช่นเดียวกับธาตุที่จะวิเคราะห์

4. background absorption หรือ non-specific absorption effects ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเมื่อใช้เปลวไฟที่อุณหภูมิต่ำๆ จึงมีสารที่อยู่ในรูปของโมเลกุลเหลืออยู่ในเปลวไฟ เช่น โมเลกุลของสาร น้ำและของเหลวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงรังสีเหนือม่วง (UV) ได้ดี นอกจากนี้โมเลกุลของสารยังสามารถทำให้แสงจากหลอดฮาโลแคโทด (hallow cathode lamp) เกิดการกระเจิงได้ (scattering) ได้ (สุกัญญา, 2535)

2.5 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบไปด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% โดยมีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-d-glucose ต่อกันจนเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล จะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดีอีกทั้งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดแอซีติก ได้เป็นเซลลูโลสซีเทตหรือเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแอซีเทตนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเรียงตัวเป็นแบบลูกโซ่และมีโมเลกุลยาว ทำให้มีความแข็งแรงสูงเพิ่มขึ้นไป ด้วยนอกจากนั้นแล้ว ในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของธาตุ -c-o-c- จะเป็นบริเวณที่สามารถถูกทำลายได้ด้วย ผลจากการเกิดออกซิเดชันหรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆคล้ายกับน้ำตาลแล้วสลายกลายเป็นอาหารของพืชแล้วสัตว์ต่อไป (Natural cellulose fiber (เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ, 2555)

2.6 มะพร้าว

2.6.1 ประวัติ

มีผู้สันนิษฐานและพบหลักฐานต่างๆว่ามะพร้าวมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา เช่น หมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกและทวีปเอเชีย เป็นต้น

1. ทวีปอเมริกา พบในเขตร้อนของทวีอเมริกา โดยเฉพาะอเมริกาใต้และอเมริกากลาง เป็นถิ่นที่มีมะพร้าวเติบโตขึ้นเป็นเวลานาน และยังมีพรรณพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกับมะพร้าวเจริญเติบโตขึ้น จึงมีคนเชื่อว่ามะพร้าวน่าจะมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา

2. หมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก หมู่เกาะเหล่านี้มีการปลูกมะพร้าวกันมากมายและได้มีการศึกษาพบว่าเคยมีมะพร้าวขึ้นอยู่บนเกาะเหล่านี้เป็นเวลานานก่อนที่จะมีผู้คนเข้ามาอาศัยอยู่ (Mayuranathan, 1938)

3. ทวีปเอเชีย เขตร้อนของทวีปเอเชียเป็นดินแดนที่มีมะพร้าวอยู่มากมายและมีมาอย่างช้านาน ได้มีผู้ให้ความเห็นว่ามะพร้าวน่าจะมีถิ่นกำเนิดในเขตใดเขตหนึ่งในทวีปเอเชีย

2.6.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1. อนุกรมวิธาน (Taxonomy) มะพร้าวเป็นพืชในวงปาล์ม (Family Plamae)ซึ่งแบ่งออกเป็นเผ่าต่างๆ (Tribe) 6-8 เผ่า ใน Tribe Cocoideae มีสกุล (Genus) ต่างๆประมาณ 27 สกุล แต่เดิมสกุล Cocos ประกอบด้วยพืชต่างๆ 54 ชนิด ทั้งหมดนี้สามารถพบได้ในทวีปอเมริกาใต้ มะพร้าวมีโครโมโซม 32 แท่ง (2n = 32) หรือจับกันเป็น 16 คู่

2. สัณฐานวิทยา (Morphology)

2.1 ลำต้น (Stem) มะพร้าวมีลำต้นชะลูด มักจะโค้งเล็กน้อย ความสูงเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะขึ้นอยู่กับกลุ่มพันธุ์ ตั้งแต่ประมาณ 8-10 เมตร ซึ่งจะเป็นพันธุ์เตี้ย จนถึง 15-20 เมตร ซึ่งจะเป็นพันธุ์สูง มีลักษณะเป็นลำต้นเดี่ยว ไม่มีกิ่งก้าน เพราะปราศจากตาข้าง (lateral bud) เมื่อเกิดบาดแผลขึ้นลำต้นองมะพร้าวจะไม่สามารถรักษาบาดแผลได้เพราะภายในลำต้นไม่มีเยื่อเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบเครื่องหมายการค้าออกจากเอกสารนี้ ผู้ใช้งานต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(cambium) มีตายอด (apical meristem) เพียงตาเดียวที่จะเจริญเติบโตเพิ่มความสูงขึ้นไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งสร้างอวัยวะอื่นๆ หากตายอดถูกทำลายก็จะทำให้ต้นมะพร้าวตาย ที่โคนต้นอาจมีการพองตัวของลำต้นเรียกว่า สะโพก (bole) ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ของมะพร้าวในกลุ่มพันธุ์ต้นสูง ตามลำต้นจะมีรอยแผลใบ (leaf scar) ที่เกิดจากการที่ใบร่วงหล่นไป รอยแผลใบนี้สามารถใช้คำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้ รอยแผลใบนี้อาจเวียนขวาหรือเวียนซ้ายก็ได้ การที่จะดูว่ามะพร้าวมีใบเวียนขวาหรือเวียนซ้ายสังเกตได้จาก การลากจุดกึ่งกลางของรอยแผลของใบใดใบหนึ่งบนลำต้นไปยังจุดกึ่งกลางของรอยแผลของใบที่สามที่อยู่ถัดขึ้นไป (ใบที่อ่อนกว่า) ถ้าเส้นที่เชื่อมต่อกันนี้เบนไปทางขวาก็แสดงว่าใบเกิดแบบเวียนขวา (counter clockwise หรือ right-handed) ถ้าเส้นนี้เบนไปทางซ้ายก็จะเป็นเวียนซ้าย (clockwise หรือ left-handed) ในกรณีเวียนขวาทะลายจะออกมาทางซ้ายของใบที่รองรับทะลาย ถ้าเวียนซ้ายก็จะออกทางขวา

2.2 ใบ (Leaf) ใบมะพร้าวมีลักษณะเป็นใบรวมแบบขนนก (feather leaf) ประกอบด้วยก้านใบ (rachis) และใบย่อย (leaflet) จำนวนมากประมาน 200-300 ใบ ออกเป็นคู่ ใบยาวประมาณ 4.5-6.0 เมตร ใบอ่อนเกิดขึ้นจากในใจกลางลำต้น มีลักษณะยาวเรียวคล้ายดาบ มีกาบใบหุ้มอยู่ในระยะที่ยังอ่อนอยู่ เมื่อมีอายุมากขึ้น และใบขยายแผ่กว้างขึ้นใบจะค่อยๆเอนออกใจกลางต้นแล้วโน้มต่ำลงมาเรื่อยๆตามอายุ การเกิดใบจากลำต้นมีการเรียงตัว (phyllotaxy) เป็นเกลียวเวียนซ้ายหรือขวาโดยมีจำนวนใบ 5 ใบต่อ 1 รอบของต้น

2.3 ราก (Root) มะพร้าวไม่มีระบบรากแก้ว แต่จะมีลักษณะรากเป็นแบบ adventitious root ซึ่งจะมีขนาดเท่าๆกัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร เจริญออกมาตามโคนต้นตามแนวราบในระดับลึกประมาณ 50-90 เซนติเมตร โดยเฉลี่ยแล้วมะพร้าวต้นหนึ่งจะมีรากประมาณ 4000-7000 รากและแผ่ออกรอบลำต้นในรัศมีประมาณ 6 เมตร ถ้ารากเหล่านี้ไดรับอันตรายก็จะแตกกลายเป็นรากแตกแขนงได้ และจะมีขนาดเท่าๆกับรากเดิม จากรากเหล่านี้มีรากขนาดเล็ก (rootlet) จำนวนมากแตกแขนงออกมาเพื่อช่วยในการดูดน้ำและอาหาร มะพร้าวไม่มีรากขนอ่อน (root hair) เหมือนรากพืชชนิดอื่นๆ นอกจากรากเหล่านี้แล้วมะพร้าวยังมีรากอากาศ (pneumatophore หรือ breathing roots) เพื่อช่วยในการลำเลียงอากาศบนผิวดินลงสู่รากใต้ผิวดิน

2.4 ช่อดอก (Inflorescence) ช่อดอกของมะพร้าวจะเกิดเหนือก้านใบที่ติดกับลำต้น โดยปกติเมื่อมะพร้าวมีอายุแก่พอที่จะออกดอกได้จะเกิดช่อดอกจากมุมใบ (leaf axil) ดังนั้นอัตราการเกิดใบจึงเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณช่อดอกและผลผลิตของมะพร้าว และฤดูกาลก็เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของใบ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวเป็นพืชประเภท monoecious กล่าวคือมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละดอก แต่อยู่บนต้นเดียวกันและช่อดอกเดียวกันด้วย ช่อดอกของมะพร้าวเป็นแบบ panicle ซึ่งประกอบด้วยแกนกลาง (rachis) และการย่อย (แขนง – rachilla) แยกออกจากแกนกลาง ซึ่งชาวสวนมักจะเรียกก้านย่อยนี้ว่า ระแง้ หรือหางหนู

ช่อดอกของมะพร้าวมีชื่อเรียกทางวิชาการว่า spadix ซึ่งชาวสวนเรียกว่าจั่น มีความยาวประมาณ 0.75-2.00 เมตร เมื่อแรกเกิดมีกาบหุ้ม ต่อมากาบจะโค้งออกและค่อยๆแตกออกเพื่อเปิดช่อดอกให้เจริญขยายตัวออกไป ช่อดอกมะพร้าวประกอบด้วยดอก 3 ประเภท คือ

2.4.1 ดอกตัวผู้ (male flower) ในช่อดอกหนึ่งๆจะมีดอกตัวผู้อยู่ 200-300 ดอก เกิดอยู่บนก้านแขนง ไม่มีก้านดอก (sessile) มีกลีบ 6 กลีบ เกิดเป็น 2 วง มีสีเหลืองอ่อน กลีบในวงในใหญ่กว่ากลีบวงนอกมาก มีอับเรณู (stamen) 6 อัน ส่วนกลางของดอกมีซากเหลือของเกสรตัวเมีย (rudimentary pistil) ปลายแยกเป็น 3 แฉก ดอกจะบานจากปลายมาหาโคนและจะบานตลอดวัน แต่ส่วนมากจะบานระหว่าง 8-10 นาฬิกา เมื่อดอกบานแล้วจะไม่หุบแต่จะร่วงหล่นลงไปเลย ละอองเกสร (pollen) มีลักษณะกลม เกิดอยู่ในอับเรณู แต่เมื่อหลุดออกมาจากอับเรณูเพียงแค่ 2-3 วินาที จะเปลี่ยนเป็นรูปยาวรี (ellipsoidal) ระยะเวลาที่ดอกแรกบานจนถึงดอกสุดท้ายบานใช้เวลานานประมาณ 18-25 วัน ในฤดูร้อนระยะเวลาในการบานของดอกนั้นจะสั้นกว่าดูฝน

2.4.2 ดอกตัวเมีย (female flower) โดยทั่วไปช่อดอกของมะพร้าวจะมีตัวเมียน้อยมากประมาณ 25-30 ดอกต่อช่อดอก แต่จะมีบางพันธุ์อาจมีดอกตัวเมียนับเป็นพันๆดอกต่อช่อดอก ดอกตัวเมียจะเกิดบนระแง้ประมาณ 1-3 ดอกต่อระแง้ และมักจะอยู่ที่โคนระแง้ ในขณะที่กาบที่หุ้มช่อดอกนั้นแตกออกจะมีดอกตัวเมียขนาด 1.3 เซนติเมตร เรียกว่า button ซึ่งจะมีโครงสร้างเหมือนดอกตัวผู้ทุกประการเพียงแต่มีขนาดใหญ่มาก และมีเกสรตัวเมีย (pistil) ที่สมบูรณ์มีลักษณะกลม มีสีขาว มีสัน 3 สัน ทำให้ดูคล้ายกับมาด้าน 3 ด้าน แต่ละด้านจะมีปลายเป็นร่อง เมื่อดอกบานปลายจะแตกเป็น 3 แฉก เป็นทางสำหรับให้ละอองเกสรงอกท่อ (pollen tube) เข้าไปผสมเกสร เมื่อการผสมเกสรสิ้นสุดลง stigma จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลีบดอกจะขยายใหญ่และติดอยู่ที่ฐานของผลตลอดไป ส่วนรังไข่ (ovary) ประกอบด้วย 3 พู (carpel) แต่ละพูจะมีเมล็ดอ่อน (ovule) 1 เมล็ด โดยทั่วไปแล้วเมล็ดอ่อนเพียงอันเดียวเท่านั้นที่สามารถจะเจริญต่อไป ส่วนที่เหลือจะลีบและตายไป ระยะเวลาที่ดอกตัวเมียดอกแรกจะบานพร้อมที่จะผสมเกสรได้ จนถึงดอกสุดท้ายของช่อดอก (female phase) ประมาณ 4-7 วัน

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ดอกกระเทย (hermaohrodite flower) นอกจากดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแล้ว ในมะพร้าวบางต้นของบางพันธุ์ยังอาจมีดอกกระเทยเกิดขึ้นในปริมาณประมาณ 10-55% ของดอกตัวเมีย ดอกกะเทยจะเกิดระหว่างดอกตัวเมียหรือโคนระแง้ กับดอกตัวผู้หรือปลายระแง้ มีขนาดกึ่งกลางระหว่างดอกทั้งสองหรือค่อนไปทางใดทางหนึ่ง ลักษณะเด่นของดอกกะเทยคือ มีทั้งอับเรณู (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) ที่สมบูรณ์ทั้งคู่ การะเกิดดอกกะเทยนี้จะช่วยให้ male phase กับ female phase ที่ตามปกติจะเกิดการเหลื่อมกัน ให้มาต่อเนื่องกันจนสามารถเกิดการผสมพันธุ์ตัวเองได้

2.5 ผล (Fruit) เมื่อมีการผสมเกสรดอกตัวเมียจะพัฒนากลายเป็นผล ผลมะพร้าวจะเป็นแบบ fibrous drupe นิยมเรียกกันว่า nut ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ

2.5.1 Exocarp คือ เปลือก หรือผิวนอกสุดของผลมะพร้าว เมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีต่างๆตั้งแต่สีเขียว เหลือง ส้ม น้ำตาล น้ำตาลแดง และสีงาช้าง

2.5.2 Mesocarp คือ เนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ใต้ exocarp จนถึงกะลา เมื่อผลแก่จะมีลักษณะเป็นเส้นใยและมีความหยุ่น มีความหนาประมาณ 2-15 เซนติเมตร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละพันธุ์

2.5.3 Endocarp คือ กะลา ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งที่สุดของมะพร้าว มีรูปร่างกลม แต่มีเส้นแบ่งให้เห็นเป็น 3 ส่วนอย่างชัดเจน ที่ขั้วจะมีตา 3 ตา แต่จะมีลักษณะที่เป็นตาบอด 2 ตา

2.6 เมล็ด (Seed) คือ ส่วนของผลทั้งหมดที่อยู่ในกะลา นับตั้งแต่แผ่นเยื่อบางๆสีน้ำตาล หรือที่เรียกว่า seed coat เข้าไปถึงเนื้อมะพร้าว (solid endosperm) เนื้อมะพร้าวมีสีขาว เมื่อผลยังอ่อนอยู่จะมีลักษณะบางและอ่อนนิ่ม มีรสหวาน แต่เมื่อผลแก่จะมีลักษณะเนื้อที่แข็ง หนาประมาณ 4-20 มิลลิเมตร และมีน้ำมันสะสมอยู่มาก สิ่งที่สำคัญที่สุดที่อยู่ในเมล็ดคือคัพภะ (embryo) เป็นอวัยวะที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อตรงตานิ่ม ซึ่งอีกสองตาที่เหลือจะเป็นตาแข็งเรียกว่า ตาบอด มีขนาดเล็ก ขนาดเท่าหัวเข็มหมุด มีสีเหลืองอ่อน (ณรงค์, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ประโยชน์

ประโยชน์ของมะพร้าวนั้นมีทั้งต้น ซึ่งแต่ละส่วนของต้นมะพร้าวสามารถนำมาใช้ได้ดังนี้

1. ลำต้นและทางมะพร้าว สามารถใช้ในการสร้างที่พักอาศัยได้และยังทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ไว้ใช้สอย หรือจำหน่ายได้อีกด้วย

2. เนื้อมะพร้าว สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด หรือนำมาคั้นเอาน้ำกะทิมาประกอบอาหารคาวหวานได้หลากหลายชนิด ซึ่งสามารถส่งออกทำการตลาดทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ทั้งแบบสดและแบบแปรรูปโดยผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้ว เนื้อมะพร้าวจะประกอบไปด้วยน้ำมันถึง 60-65% ในน้ำมันมีกรดไขมันหลายชนิด เนื้อมะพร้าวนำมาหั่นฝอยใส่น้ำเคี่ยวหรือตากแห้งแล้วเคี่ยวจะได้น้ำมันมะพร้าว ซึ่งถือเป็นการแปรรูปที่สร้างเศรษฐกิจให้กับประเทศได้อย่างมหาศาล

3. น้ำมะพร้าว เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีรสหวาน กลิ่นหอม ชุ่มคอ ให้ความชื่นใจ และยังมีน้ำตาล โปรตีน โซเดียม แคลเซียม โปแตสเซียม แต่สำหรับผู้ที่เป็นโรคหัวใจหรือโรคไตไม่ควรดื่มน้ำมะพร้าว น้ำมะพร้าวสามารถแปรรูปเป็นเครื่องดื่ม นำไปผสมในส่วนผสมของอาหาร หรือเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มอื่นๆและของหวานอื่นๆได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้น้ำมะพร้าวยังสามารถนำไปหมักให้เป็นน้ำส้มสายชูได้ หรือสามารถนำไปผสมเชื้อวุ้นแล้วทำเป็นวุ้นมะพร้าวได้อีกด้วย

4. น้ำตาลจากจั่น หรือดอกมะพร้าวนั้นสามารถนำไปดื่มมีรสชาติคล้ายน้ำตาลสดที่มาจากต้นตาล และสามารถนำไปเคี่ยวแปรรูปให้เป็นน้ำตาลมะพร้าว โดยบรรจุใส่ปี๊บหรืออัดเป็นก้อนกลมๆ

5. กะลามะพร้าว สามารถนำไปขัด แปรรูปเป็นของใช้ในครัวเรือน หรือเฟอร์นิเจอร์ที่เป็นที่นิยมของประเทศและต่างประเทศ กะลาและกากมะพร้าวยังสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้อีกด้วย

6. ใยในกากมะพร้าว สามารถนำไปอัดภายในใช้ทำเป็นที่นอน หมอน ซึ่งสามารถช่วยบรรเทาอาการปวดหลัง ปวดไหล่ ปวดคอได้เป็นอย่างดี

7. กากของเนื้อมะพร้าว สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ และปุ๋ยได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวกับสรรพคุณทางยา ทุกส่วนของต้นมะพร้าวยังมีสรรพคุณทางยา ที่คนไทยต่างก็คุ้นเคยมาตั้งแต่สมัยโบราณต่อมาจนถึงปัจจุบันก็ยังนิยมใช้ควบคู่กับยาแผนปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

1.กะลา นำมาเผาให้เป็นถ่านดำ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด ผสมน้ำดื่มวันละ 3-4 ครั้งครั้งละ 0.5-1 ช้อนชา ช่วยแก้อาการปวดกระดูกและเส้นเอ็น

2. ดอก มีรสฝาดหอมหวาน เป็นยาแก้เจ็บคอ แก้ท้องเสีย แก้ไข้ แก้ร้อนใน กระหายน้ำ กล่อมเสมหะ บำรุงโลหิต และแก้ปากเปื่อย

3. ราก รสฝาดหอมหวาน เป็นยาแก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ หรืออมบ้วนปากแก้เจ็บคอ

4. น้ำมันมะพร้าว รสหวานเค็ม รับประมานเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ ใช้ทาบำรุงผม หรือทาเป็นยาแก้กลากเกลื้อน ทาผิวหนังแตกแห้ง แก้โรคผิวหนังต่างๆ ทาแผลน้ำร้อนลวก โดยการเอาน้ำมันมะพร้าวมา 1 ส่วน ใส่ในภาชนะขนพร้อมๆกับเติมน้ำปูนใส 1 ส่วน โดยเติมทีละส่วนพร้อมกับคนไปด้วยจนเข้ากันดีและนำมาทาบริเวณแผลบ่อยๆ

5. น้ำมะพร้าว รับประทานเป็นยาระบาย แก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ แก้พิษ แก้กระหายน้ำ แก้นิ่ว แก้อาเจียนเป็นโลหิต และบวมน้ำ นอกจากนี้ยังทำเป็นน้ำส้มสายชูและใช้ประโยชน์อื่นๆได้อีกมากมาย (นฤมล, 2548)

2.7 ถั่วลิสง

2.7.1 ประวัติและถิ่นกำเนิด

ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศบราซิล ปารากวัย เปรู อุรุกวัย และอาร์เจนตินา ต่อมาได้แพร่ขยายเข้าไปปลูกในอเมริกา ซึ่งบรรดาพวกทาสที่ได้โดยสารไปกับเรือได้นำเมล็ดถั่วถั่วลิสงติดไปกับเรือด้วย โดยได้นำเมล็ดถั่วลิสงไปปลูกในแถบชายฝั่งตอนใต้ของอเมริกาก่อน จากนั้นได้แพร่กระจายออกไปอย่างกว้างขวางในส่วนต่างๆของโลก ทั้งอเมริกา ยุโรป แอฟริกา และเอเชีย

สำหรับในประเทศไทย มีการนำถั่วลิสงเข้ามาปลูกตั้งแต่เมื่อไหร่นั้น ไม่มีหลักฐานแน่ชัด แต่เข้าใจว่าชาวยุโรปเป็นชาติแรกที่นำเข้ามาปลูกในราวศตวรรษที่ 16 โดยผ่านเข้ามาทางประเทศฟิลิปปินส์ก่อน ต่อมาก็ขยายเข้าไปในอินโดจีน ญี่ปุ่น และจีน ตามลำดับ จากประเทศจีนถั่วลิสงก็แพร่กระจายไปสู่แหลมมลายูแล้วจึงเข้าประเทศไทย การปลูกถั่วลิสงในประเทศไทยเท่าที่มีหลักฐานรายงานไว้คือ ในปีพ.ศ.2472-2473 ม.จ.สิทธิพร กฤดากร ได้เขียนจดหมายเหตุจากฟาร์มบางเบิด จ.ประจวบคีรีขันธ์ กล่าวไว้ว่าในขณะนั้นประเทศไทยผลิตถั่วลิสงได้ไม่เพียงพอกับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ต้องการ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าปีละ 15000 บาท และได้ได้บรรยายเกี่ยวกับการปลูกถั่วลิสงโดยใช้เครื่องทุ่นแรงขนาดเล็กที่ใช้แรงงานจากสัตว์และเครื่องยนต์ พบว่าในขณะนั้นมีปัญหายุ่งยากในการกะเทาะเมล็ดออกจากฝัก เช่นเดียวกับถั่วเขียวและถั่วเหลือง ในช่วงต่อๆมาจึงได้มีการศึกษาเรื่องถั่วลิสงกันขึ้น และได้มีการนำถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน9 จากไต้หวันมาทดลองปลูกที่สถานีทดลองพืชไร่กาฬสินธุ์ ตั้งแต่ปี 2513 ปรากฏว่าเป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพอากาศของเมืองไทย และเริ่มทดลองปลูกในไร่กสิกร พบว่าให้ผลผลิตสูง จนกระทั่งในปี 2519 กรมวิชาเกษตรจึงได้อนุมัติให้เป็นพันธ์มาตรฐานเพื่อให้เกษตรกรปลูกนับแต่นั้นเป็นต้นมา

2.7.2 ลักษณะทั่วไปของถั่วลิสง

ถั่วลิสงหรือภาษาท้องถิ่นในบางภาคเรียกว่า ถั่วดิน หรือ ถั่วใต้ดิน จัดเป็นพืชล้มลุกตระกูลถั่ว มีลักษณะที่แตกต่างไปจากพืชตระกูลเดียวกันคือออกดอกเหนือดิน แต่มีฝักอยู่ใต้ดิน ซึ่งถั่วลิสงนี้จะมีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. ราก ถั่วลิสงมีระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วเป็นบริเวณกว้าง รากขนอ่อนมีน้อยมาก บางพันธุ์ไม่มีเลย รากถั่วลิสงส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในบริเวณใกล้ผิวดิน ช่วงระยะความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร ที่รากแก้วและรากแขนงจะมีปมที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียพวก ไรโซเบียมเข้าไปอาศัยอยู่เพื่อตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

2. ลำต้น ถั่วลิสงเป็นพืชล้มลุกพวกไม้เนื้ออ่อน ลำต้นมีความสูงประมาณ 15-70 เซนติเมตร มีลักษณะกลม ส่วนใหญ่มีสีเขียว บางพันธุ์มีสีม่วง การเจริญเติบโตของลำต้นแบ่งเป็น 2 พวก คือ พวกที่มีลำต้นเป็นพุ่มตั้งตรง เป็นพวกที่มีการแตกกิ่งก้านสาขามากในแนวตั้ง ทำให้มีลักษณะเป็นพุ่ม ซึ่งพวกที่มีลำต้นประเภทนี้จะเกิดฝักเป็นกระจุกที่บริเวณโคนต้น และอีกพวกหนึ่งเป็นประเภทลำต้นเลื้อย มักจะแตกกิ่งออกไปในแนวนอนทอดตามผิวดิน ทำให้ฝักที่เกิดกระจายไปทั่ว

3. ใบ ใบของถั่วลิสงจะเกิดสลับกับบนข้อของลำต้น ใบจัดเป็นใบประกอบใบประกอบหนึ่งๆ จะมีใบย่อย 2 คู่ แต่บางครั้งพบว่ามีจำนวนใบย่อยมากกว่า 4 ใบ ที่เกิดซ้อนขึ้นมาบนใบทั้งคู่นี้ ลักษณะของก้านใบจะยาว มีกาบใบหรือหูใบค่อนข้างใหญ่เพื่อเชื่อมติดกับลำต้น ใบมีสีเขียวจัด ขอบใบเรียบ ปลายใบมนหรือค่อนข้างแหลมก้านใบมีสีเขียวและอาจมีสีม่วงในบางพันธุ์ ที่โคนใบมีหูใบ 2 อัน ซึ่งมีลักษณะแหลมและยาวประมาณ 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดอก ถั่วลิสงมีดอกสีเหลืองเหมือนกับดอกถั่วชนิดอื่น ดอกอาจเกิดเดี่ยวๆหรือเกิดเป็นกลุ่มๆละ 2-5 ดอก ตามบริเวณมุมใบตรงส่วนโคนของลำต้นเหนือผิวดินหรือใต้ผิวดินก็ได้ เนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชผสมตัวเอง ดังนั้นการผสมเกสรจะเกิดขึ้นก่อนที่ดอกจะบาน ลักษณะการบานของดอกจะบานทีละดอกจากโคนต้นไปหายอด เมื่อดอกแรกโรยดอกที่สองจึงจะบาน ขณะที่ดอกบานรังไข่ก็ได้รับการผสมไปแล้วเมื่อดอกได้รับการผสมแล้วฐานของรังไข่จะยืดตัวเป็นก้านยาวเรียกว่า เข็ม (Peg) ส่งรังไข่ซึ่งอยู่ที่ปลายเข็มลงไปใต้ผิวดินประมาณ 3-5 เซนติเมตร (หากมีการพรวนดินกลบการแทงเข็มจะลึกกว่านี้) แล้วจะเจริญเติบโตเป็นถั่วลิสงต่อไป

5. ฝัก ฝักถั่วลิสงเกิดมาจากการเจริญเติบโตของเข็ม ภายหลังที่เข็มเจริญอยู่ใต้ผิวดิน ก็จะเริ่มเปลี่ยนสีและมีขนอ่อนๆเกิดขึ้นรอบๆ เพื่อทำหน้าที่ดูดอาหารนำไปสร้างเมล็ด เมื่อสร้างเมล็ดแรกเรียบร้อยแล้ว ตรงปลายของเข็มก็จะขยายตัวต่อไปเพื่อสร้างเมล็ดที่ 2,3 ตามลำดับ ตามลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วลิสง ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 1-6 เมล็ดก็ได้ เมื่อฝักแก่จัดตรงข้อต่อระหว่างเมล็ดต่อเมล็ดคอดเข้าและตรงผิวนอกของเปลือกฝัก จะปรากฏตาข่ายชัดเจน

6. เมล็ด เมล็ดมีรูปร่างทรงกระบอก ขนาดค่อนข้างใหญ่ มีเยื่อหุ้มผิวหลายสีตั้งแต่ชมพูซีด แดง ม่วง ม่วงแดง ม่วงเข้ม และน้ำตาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ถัดจากเยื่อหุ้มผิวจะมีใบเลี้ยงที่มีลักษณะหนา 2 อันประกอบติดกัน ซึ่งเป็นที่สะสมอาหารพวกไขมัน โปรตีน ฯลฯ ในบางครั้งพบว่าเมล็ดถั่วลิสงมีระยะพักตัวนานถึง 1 ปี และอาจจะมีบางพันธุ์ที่เมล็ดงอกได้ทันทีหลังจากเมล็ดแก่เต็มที่และได้รับความชื้นและสิ่งแวดล้อมเหมาะสม

2.7.3 ประโยชน์ของถั่วลิสง

ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมวลมนุษย์มาก แทบทุกส่วนของถั่วลิสงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น เมล็ด ฝัก ลำต้น หรือส่วนอื่นๆของถั่วลิสงยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ อุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น ฝักสดใช้สำหรับต้มรับประทาน เมล็ดใช้ทำถั่วอบ ถั่วคั่ว ถั่วป่น ทำแป้งผสมทำอาหารเด็กอ่อน ทำขนมถั่วตัด ถั่วกระจก ถั่วทอด เนยถั่วลิสง และเนยเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 สารประกอบที่สำคัญของถั่วลิสง (ภูวนาถ, 2531)

โปรตีน	26 เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	23 เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	45-50 เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	52 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.9 มิลลิกรัม
กาก	1.9-3 เปอร์เซ็นต์
ถั่วลิสง 100 กรัมให้พลังงาน	546 แคลอรี่

และเนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชที่มีน้ำมันอยู่ในปริมาณสูง จึงได้มีการนำน้ำมันจากเมล็ดถั่วลิสงไปใช้ประโยชน์เช่น เป็นน้ำมันทอด เพราะมีคุณสมบัติดีกว่าน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันข้าวโพด อีกทั้งเหมาะที่จะใช้ผสมเป็นน้ำปรุงสลัดได้ดีกว่าน้ำมันดังกล่าวอีกด้วย นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของยาสำคัญๆอีกหลายชนิดเช่น เพนนิซิลิน วาควินาลิน และใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางค์ ส่วนน้ำมันที่มีคุณภาพต่ำที่ได้จากการสกัดกากถั่วลิสง หลังจากบีบเอาส่วนหนึ่งออกไปแล้ว สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิด สำหรับกากถั่วลิสงที่เหลือจากการบีบหรืออัดเอาน้ำมันออกแล้ว สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์เช่นเดียวกับต้นถั่วลิสงที่เหลือจากการปลิดเอาฝักออกแล้ว

ประโยชน์ทางอ้อมที่ได้รับจากถั่วลิสงคือในแง่ของการบำรุงดิน เนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศโดยการทำงานของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในปมรากได้ดีพอสมควร ดังนั้นเมื่อส่วนต่างๆของต้นถั่วลิสงอันได้แก่ ราก ลำต้น ใบและฝัก เน่าเปื่อยลงในดิน จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนและอินทรียวัตถุสูงขึ้น อันเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ทำการปลูกร่วมกับพืชที่ปลูกตามหลัง (ภูวนาถ, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

2.8 กล้วย

2.8.1 ประวัติและถิ่นกำเนิด

Reynold (1929) ได้กล่าวถึงถิ่นกำเนิดของกล้วยว่า กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น ถิ่นแรกของกล้วยจึงอยู่แถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งจะพบกล้วยพื้นเมืองทั้งที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด และจากผลของการย้ายถิ่นฐานในการทำมาหากิน มีการอพยพประชากรจากเอเชียตอนใต้ไปยังหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่ต้นคริสต์ศักราชเป็นต้นมา ในการอพยพแต่ละครั้งจะต้องมีการนำเอาเสบียงอาหารติดตัวไปด้วย ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาหน่อกล้วยไปปลูกแถบหมู่เกาะฮาวายและหมู่เกาะทางด้านตะวันออกและหมูเกาะตาฮิติ หมู่เกาะฟิจิ ซึ่งในช่วงที่มีการสำรวจหมู่เกาะโปลีนิเซียพบว่าเกาะตาฮาติมีกล้วยอยู่ถึง 28 ชนิด นอกจากนี้ยังพบสารานุกรมจีนบันทึกว่ามีกล้วย 12 ชนิด ที่ปลูกอยู่ในประเทศจีนในระหว่าง ค.ศ.1662-1726 และกล่าวว่า พบว่ามีกล้วยอยู่ในทุกภาคของประเทศจีน ซึ่งมีดอกบ้างและไม่มีดอกบ้าง

ประมาณก่อนคริสต์ศักราช 327 ปี ได้มีการนำกล้วยจากประเทศอินเดียไปยังอาหรับและเป็นที่ชื่นชอบของชาวอาหรับมากและเรียกชื่อกันว่า muz ซึ่งเข้าใจว่ามาจากภาษาสันสกฤต และลินเนียสได้ตั้งชื่อว่า Musa เพื่อเป็นเกียรติกับ Antonius Musa ซึ่งเป็นแพทย์ประจำพระองค์ของจักรพรรดิกรุงโรม และเป็นผู้นำกล้วยจากอินเดียไปยังอาหรับทำการค้ากับประเทศแถบแอฟริกา ดังนั้นจากอาหรับกล้วยจึงได้แพร่เข้าไปยังแอฟริกาตะวันออกและตะวันตกตามลำดับ ในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงเดียวกับที่ชาวโปรตุเกสค้นพบฝั่งกินี คือในช่วง ค.ศ.1469-1474 ชาวแอฟริกากล่าวว่า คำว่า banana น่าจะมาจากรากศัพท์ของภาษาในแอฟริกาตะวันตก คือคำว่า banana , banana และคำว่า banana ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายโดยชาวโปรตุเกสที่ส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นพ่อค้าและได้เดินทางไปค้าขายในแอฟริกา จึงได้มีการนำเอากล้วยจากแอฟริกาไปยังหมู่เกาะแคนารี่และที่นี่เป็นจุดสำคัญต่อมา และเข้าใจกันว่าการนำกล้วยเข้าสู่ทวีปอเมริกาเกิดขึ้นในช่วงหลังจากโคลัมบัสค้นพบทวีปอเมริกา และการปลูกกล้วยได้เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็นพืชเศรษฐกิจในศตวรรษที่ 19

สำหรับประวัติกล้วยในประเทศไทย เข้าใจว่าประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วยป่าและต่อมาได้มีการนำเข้ากล้วยตานี และกล้วยชนิดอื่นในช่วงที่มีการอพยพของคนไทยในการตั้งถิ่นฐานอยู่ที่จังหวัดสุโขทัย มีเอกสารเขียนโดย De la Lovbere (1693) กล่าวว่าในสมัยอยุธยาที่เขาได้เดินทางมาเขาพบว่ามีกล้วยร้อยหวี ต่อมาเจ้าคุณศรีสุนทรโวหาร (2427) ได้กล่าวถึงกล้วยหลายชนิดเป็นคำกลอน ในช่วงปี พ.ศ. 2484 เป็นต้นมา ได้มีการรวบรวมพันธุ์กล้วยไว้บ้าง ในบางส่วนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญหายไป และได้มีการรวบรวมพันธุ์อีกครั้งหนึ่งด้วยทุน IBPGR/FAO ในปี 2523-2526 และได้มีการรวบรวมเพิ่มขึ้นอีก พันธุ์ดังกล่าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รวบรวมพันธุ์ไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

2.8.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วย

1. ลำต้น กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า rhizome และมีการเจริญคล้ายการเจริญแบบซิมโปเดียลที่ลำต้นของกล้วยมีตาอยู่ทางด้านข้าง โดยมีกาบใบหุ้มอยู่ ใจกลางของลำต้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของ central cylinder และ cortex โดยมีท่อน้ำท่ออาหารเป็นตัวเชื่อม เนื้อเยื่อของลำต้นประกอบด้วยเซลพาเรนไคมา ซึ่งบรรจุด้วยแป้งอยู่เต็ม ส่วนล่างเป็นจุดเจริญซึ่งเป็นจุดที่สร้างดอกและใบ ในการสร้างใบก่อให้เกิดลำต้นเทียมเหนือดินหรือคือส่วนของกาบใบที่อัดแน่น สำหรับการเกิดช่อดอกจะมีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ที่จุดเจริญ โดยมีการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิสเกิดเป็นช่อดอกแทงขึ้นมาสู่เบื้องบน โดยส่วนที่ชูช่อดอกขึ้นมานั้นจะเป็นตัวพยุงลำต้นเหนือดินไม่ให้เครือกล้วยล้ม การจัดเรียงของกาบใบเป็นลำต้นเทียมนั้นเกิดซ้อนๆกันที่บริเวณโคนต้น ส่วนปลายไม่ซ้อน แต่จะมีการเรียงของใบ (phyllotaxy) แตกต่างตามอายุของต้นกล้วย

2. กาบใบ องค์ประกอบของกาบใบพบว่ามีช่องอากาศประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ และต่อกันเป็นท่อยาว มีท่อน้ำท่ออาหารเรียงขนานกันอย่างต่อเนื่อง ผิวด้านนอกของกาบใบเป็นเงาเพราะมีสารลิกนินเคลือบอยู่ นอกจากนี้ยังพบมีปากใบอยู่บนกาบใบอีกด้วย ส่วนของก้านใบมีลักษณะกลมมนและเป็นร่องทางด้านบนทางด้านล่างของแผ่นใบจะมีท่อน้ำท่ออาหารและที่ผิวมีสารลิกนินเคลือบอยู่เช่นกัน

3. แผ่นใบ แผ่นใบประกอบด้วยเส้นกลางใบและเส้นใบที่ขนานกันเป็นจำนวนมาก ปลายใบมน ฐานใบกลมหรือมีติ่งยื่นมา ลักษณะของรากใบแตกต่างกันตามอายุของใบ บริเวณกลางใยมีความหนามากกว่าปลายใบและฐานใบ ปากใบปรากฏอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นใบ โดยพบว่าปากใบทางด้านบนของแผ่นใบประมาณ 5 ส่วน และด้านล่างของแผ่นใบประมาณ 3 ส่วน ลักษณะภายในของแผ่นใบพบว่ามีช่องอากาศมากเช่นเดียวกับกาบใบและก้านใบ แผ่นใบมีคิวตินเคลือบทั้งด้านบนและด้านล่าง การเจริญของแผ่นใบเมื่อแทงพ้นจากลำต้นเทียมจะตั้งขึ้นและเอนขนานกับพื้นดิน บางชนิดจะเอนลงมาจากแนวขนานเล็กน้อย การตั้งหรือเอนขึ้นอยู่กับจำนวนโครโมโซมของกล้วยด้วย กล้วยที่มีจำนวนโครโมโซมหลายชุดมักจะเอนลงมาเนื่องจากมีน้ำหนักมาก ขนาดของใบก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น และจะเจริญลดขนาดลงเมื่อเจริญถึงใบที่ 33 การเจริญหยุดลงเมื่อแทงช่อดอก

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์เท่านั้น

4. ช่อดอก ช่อดอกแต่ละช่อประกอบด้วยกลุ่มดอก กลุ่มดอกแต่ละกลุ่มมีใบประดับ การเจริญของกลุ่มดอกจะเจริญจากทางซ้ายไปขวาและมี 2 แถว ส่วนบนสุดของช่อดอกเป็นดอกตัวเมีย ส่วนปลายสุดเป็นดอกตัวผู้ และมีดอกกระเทยอยู่กลาง ใบประดับจะหลุดล่วงไปเมื่อใบประดับเปิดและตั้งขึ้นประมาณ 1 วัน

5. ผล ผลของกล้วยมีรูปร่างได้หลายแบบแล้วแต่พันธุ์และมีปลายผลต่างกันด้วย ผลของกล้วยบางพันธุ์มีกานของเกสรตัวเมียติดอยู่แม้เมื่อสุก

6. เมล็ด เมล็ดกล้วยมีเปลือกที่แข็งจึงทำให้งอกยาก การงอกของเมล็ดเป็นแบบ hypogeal คือชูใบเลี้ยงเหนือพื้นดินและมีรากงอกลงดิน รากของกล้วยเป็น adventitious root และมีการสร้าง lateral root ซึ่งมี root hair เพื่อดูดน้ำและอาหาร

2.8.3 ประโยชน์ของกล้วย

คนไทยรู้จักกล้วยเป็นอย่างดี ผลของกล้วยใช้เป็นอาหารสำหรับเด็กอ่อน เด็กไทยที่มีอายุตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป จึงมักจะได้รับประทานกล้วยกันทุกคน กล้วยที่คนไทยใช้เลี้ยงเด็กอ่อนคือกล้วยน้ำว้า กล้วยน้ำว้าที่สุกงอม มีรสหวาน มีคุณค่าอาหารมากและย่อยง่าย พอเด็กโตขึ้นก็มักจะได้รับการเลี้ยงดูด้วยกล้วยหักมุกเผา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าคนไทยทุกคนรู้จักประโยชน์ของกล้วยดี นอกจากผลกล้วยแล้วยังมีการใช้ส่วนต่างๆของต้นมาทำประโยชน์ ดังเช่น

1. รากและลำต้นแท้ นำมาทำสมุนไพร ใช้ในการรักษาตารมแผนโบราณ ทั้งของไทย จีน อินเดีย ชาวอินเดียใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของยารักษาโรคเบาหวาน

2. ลำต้นและลำต้นเทียม ลำต้นหรือเหง้าใช้ต้มในน้ำเดือดและเอาน้ำนั้นมาดื่มจะช่วยขับปัสสาวะ ส่วนลำต้นเทียมหรือกาบลำต้น ใช้ทำอาหารสัตว์ เช่น อาหารของสุกรและยังเป็นอาหารของคนอีกด้วย โดยใช้รับประทานแทนผัก เช่น แกงหยวกกล้วย ซึ่งใช้แกงได้ทั้งแกงส้มและแกงคั่ว กาบกล้วยยังใช้เป็นสมุนไพรได้เช่นเดียวกัน นอกจากใช้เป็นอาหารและสมุนไพรแล้ว หยวกกล้วยหั่นเป็นท่อนๆ ยังใช้เป็นทุ่นสำหรับหัดว่ายน้ำของเด็กแทนห่วงยางได้อีกด้วย กาบกล้วยใช้ทำเส้นใย ทำเชือกหรือเอามาทอผ้าและยังใช้ประโยชน์ในงานฝีมือในประเพณีงานศพของคนไทยโดยใช้กาบกล้วยที่ขาวสะอาด เช่น กาบของกล้วยตานีนำมาแกะสลักรองที่เชิงตะกอนเรียกว่าการแทงหยวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใบ ใบกล้วยเรียกว่า ใบตอง แผ่นใบที่ใช้สำหรับห่อของ มวนบุหรี่ และใช้ในงานประดิษฐ์ต่างๆ ดังเช่น ทำกระทง เย็บแบบ ทำบายศรี ฯลฯ ใบกล้วยที่นิยมมากคือใบของ กล้วยตานี

เพราะมีใบที่ใหญ่ เหนียว และมีสีเขียวเป็นเงา เมื่อนำไปประดิษฐ์หรือเย็บ จึงสวยงามและไม่แตกง่ายเหมือนใบกล้วยชนิดอื่น ใบกล้วยที่ใช้รองลงมาจากกล้วยตานีคือ กล้วยน้ำว้า แผ่นใบกล้วยที่อ่อนถ้านำไปอังไฟให้อ่อนนิ่มแล้วนำมาพอกตรงบริเวณที่ขัดยอก จะทำให้อาการดังกล่าวหายได้ นอกจากใช้แผ่นใบแล้ว ยังมีการใช้เส้นกลางใบและก้านใบเพื่อนำมาทำของเล่นให้เด็กได้ด้วย จะเห็นทั่วไปในชนบทที่เด็กๆนำเอาทำม้า ซึ่งทำด้วยก้านเส้นกลางใบและก้านใบมาขี่และเอามาทำปืนเด็กเล่น และยังใช้นำมาทำเป็นเชือกมัดฟางข้าวอีกด้วย

4. ดอก หรือที่เรียกว่าปลี คือดอกตัวผู้ ซึ่งจะเห็นได้หลังจากกล้วยติดผลแล้ว คนไทยและชาวเอเชียรับประทานหัวปลีแทนผักโดยรับประทานกันสดๆ ในส่วนของหัวปลี แกะเอากาบปลีส่วนนอกออกทิ้ง ส่วนในที่อ่อนนำมาทำเป็นเครื่องเคียงของหลายอย่าง เช่น ก๋วยเตี๋ยวผัดไทกะปิหลน เป็นต้น และยังนำมาปรุงอาหาร เช่น ยำหัวปลี แกงเลียง แกงหัวปลี ได้อีกด้วย หัวปลีของกล้วยป่า กล้วยตานี กล้วยน้ำว้า มีรสชาติดีกว่าหัวปลีของกล้วยชนิดอื่น เพราะไม่ฝาด หัวปลีของกล้วยบางชนิดรับประทานไม่ได้เพราะมีรสขม เช่น กล้วยไข่และกล้วยหอม นอกจากใช้รับประทานแทนผักแล้ว หัวปลียังเป็นสมุนไพรได้อีกด้วย

5. ผล ผลของกล้วยใช้รับประทานได้ทั้งอ่อน แก่ ดิบ และสุก ผลดิบที่ยังอ่อนอยู่ของกล้วยป่าและกล้วยตานี เพราะเมล็ดยังไม่มีการพัฒนา ยังอ่อนอยู่จึงรับประทานได้ ใช้ปรุงอาหาร เช่น แกงป่า ส้มตำ นอกจากปรุงอาหารชาวเวียดนามใช้เป็นเครื่องเคียงของอาหารญวน สำหรับผลดิบที่แก่แล้วนำมาเชื่อม หรือทำกล้วยทอดกรอบ กล้วยฉาบได้ กล้วยสุกนั้นคงเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ามีรสชาติอร่อย ความอร่อยมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วย กล้วยบางชนิดมีรสชาติอร่อยถ้าหากรับประทานสด แต่บางชนิดต้องนำมาทำให้สุกด้วยความร้อน เช่น ต้มหรือเผา ดังนั้นผลของกล้วยสุกจึงสามารถนำมาประกอบอาหารและยังแปรรูปได้อีกหลายอย่าง

6. เมล็ด เมล็ดกล้วยมีเปลือกที่แข็ง งอกค่อนข้างช้าไม่มีการนำมาบริโภคแต่มีการนำมาทำเครื่องประดับ ดังเช่น ทำสายสร้อยหรือลูกประคำ เพราะเมล็ดมีขนาดสม่ำเสมอและมีสีดำ โดยเฉพาะเมล็ดของกล้วยนวลและกล้วยผาซึ่งมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาร้อยเป็นลูกประคำจึงมีความสวย และเมื่อมีการลูบคลำมากๆจะเป็นเงา (ศาสตราจารย์เบญจมาศ, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Aneez Ebrahim และคณะ ศึกษาการนำ เปลือกgooseberry เปลือกมะนาว เปลือกถั่ว และรากหญ้าแฝก เพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดลดลง โดยนำวัสดุที่นำมาใช้ในการศึกษาบรรจุลงในคอลัมน์ทั้ง 4 คอลัมน์ โดยใส่น้ำลงไปในคอลัมน์ 50 มิลลิลิตร และปรับอัตราการไหลผ่านของน้ำในคอลัมน์ให้เป็น 10 มิลลิลิตรต่อนาที โดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งในน้ำเสียที่ใช้รากหญ้าแฝกมากที่สุดโดยได้เท่ากับ 55.39% รองลงมาเป็นเปลือก gooseberry โดยได้เท่ากับ 42.14% รองลงมาเป็นเปลือกมะนาว โดยได้ค่าเท่ากับ 42% และสุดท้ายคือเปลือกถั่วได้ค่าเท่ากับ 41.14%

2. Jamil R. Memona และคณะ การศึกษานี้อธิบายถึงการใช้เปลือกกล้วยซึ่งเป็นของเสียจากกล้วยที่หาได้ง่าย ใช้ในการกำจัดโครเมียม(VI)ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี(95% ภายในเวลา10 นาที)นั้นขึ้นอยู่กับค่าpH เวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้น และอุณหภูมิ การดูดซับโลหะขึ้นอยู่กับค่าpHด้วย และมีค่าpH ที่เหมาะสมอยู่ที่ pH 2 และสารที่ถูกดูดซับไว้ถูกชะโดย กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร จำนวน 5 มิลลิลิตร เพื่อชี้ให้เห็นถึงกลไกของกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมทั้งหมดและโครเมียม(VI)โดยใช้เทคนิค flame atomic absorption, ultraviolet–visible (UV–vis) spectroscopic ตามลำดับ ใช้สมการ Langmuir และสมการ Dubinin–Radushkevich (D–R) ถูกนำมาใช้ในการอธิบายการทำงานของกระบวนการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ จลนศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของการกำจัดโครเมียม(VI)ยังคงมีการศึกษาอยู่ อิทธิพลของไอออนอื่นๆที่มีผลกระทบต่อการดูดซับโครเมียม(VI) มีเพียงแค่เหล็กไอออนเท่านั้น (ของผู้ทดลอง) แต่มีผลกระทบเพียงบางส่วน วิธีการนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในการกำจัดโครเมียม (VI)ออกจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

3. ปาริชาต บุญชู และวนิดา ศรีสกุลดี ได้ศึกษาการนำชานอ้อยที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาทดลองใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการแยกเส้นใยมาทดลองทำการดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าสภาวะความเป็นกรด - ด่างของสารละลายมีอิทธิพลมากที่สุดต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยอ้อย เมื่อสารละลายมีค่า pH ประมาณ 3.6 จะได้ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับมีค่าสูงที่สุด ส่วนปัจจัยทางกายภาพคือ ระยะเวลาของการสัมผัส ความเร็วรอบของการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขนาดความยาวเส้นใยอ้อย ไม่แสดงอิทธิพลชัดเจนมากนักต่อประสิทธิภาพการดูดซับในการทดลองนี้

4. จตุพร โหงวเซ่ง, ธิดารัตน์ จรัสกุล และสุธาสินี บุนยสถิต ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผักตบชวา โสน และบอน โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยศึกษาระยะเวลาค่า pH ประสิทธิภาพการดูดซับที่มวลต่างๆกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของพืชทั้ง 3 ชนิดที่มวลพืช 1 กรัมเท่ากัน ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พบว่า จำนวนวันที่เหมาะสมในการดูดซับนิลเกิลของผักตบชวาและบอนสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่ 4 วัน โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 87.04% และ 58.80% ตามลำดับ ส่วนจำนวนวันที่เหมาะสมในการดูดนิกเกิลของโสนคือ 3 วัน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 88.59% ค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลของผักตบชวาคือ pH 7 สามารถดูดซับได้ 77.04% บอนและโสนสมารถดูดซับได้ดีที่ pH เท่ากันคือ pH 5 โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 70.87% และ 83.72% ตามลำดับ ที่มวลพืช 1 กรัมพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของโสนจะสูงกว่าผักตบชวา และบอน โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 61.45%, 45.80% และ 40.37% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. เส้นใยถั่วลิสง เส้นใยกล้วย เส้นใยมะพร้าว
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์
3. สารละลายคอปเปอร์ 1000 mg/L
4. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์
5. น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer AA-680 ยี่ห้อ Shimadzu
2. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า รุ่น TC-254 , Denver Instrument Company
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 251 , Denver Instrument Company
4. เครื่องปั่นกวน รุ่น Fisher Stirring Hotplate
5. เครื่องแก้วต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.2 การเตรียมเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว

1. นำเปลือกกล้วย ถั่ว และมะพร้าวไปตากให้แห้งนาน 3 วัน
2. นำเปลือกกล้วย ถั่ว และมะพร้าวที่ผ่านการตากให้แห้งแล้วไปบดให้ละเอียด ส่วนมะพร้าวทำการฉีกเส้นใยออกมา
3. นำเส้นใยที่ได้มาใส่ในถังและแช่ด้วย NaOH เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. นำเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าวที่ผ่านการย่อยแล้วไปกรองด้วยผ้าขาวบาง
5. นำเส้นใยที่ผ่านการกรองแล้วไปต้มเป็นเวลา 60 นาที และอบเป็นเวลา 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสารละลายสต็อกคอปเปอร์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาจำนวน 10 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.4 วิธีการทดลอง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าวเพื่อดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนี้

3.4.1 การศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ประมาณ 0.5 กรัม แยกทั้ง 3 ชนิดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ)

2. ตวงสารละลายคอปเปอร์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (pH 3) ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ทั้งสามขวดที่มีเส้นใยแต่ละชนิดอยู่

3. ทำการปั่นกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

4. กรองสารที่ได้ในขวดรูปชมพู่ด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 41 เก็บสารละลายที่กรองได้ในขวดพลาสติก

5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-5 แต่ปรับ pH ของสารละลายทองแดงเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในข้อ 2) ให้ได้ pH ประมาณ 7 และ 9 โดยใช้ 0.2 M NaOH ในการปรับ pH

3.4.2 การศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ประมาณ 0.5 กรัม แยกทั้ง 3 ชนิดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ)

2. ตวงสารละลายคอปเปอร์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (pH 3) ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ทั้งสามขวดที่มีเส้นใยแต่ละชนิดอยู่

3. ทำการปั่นกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที

4. กรองสารที่ได้ในขวดรูปชมพู่ด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 41 เก็บสารละลายที่กรองได้ในขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-5 แต่ปรับความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย (ในข้อ3) เป็น 300 รอบต่อนาที และไม่ทำการปั่นกวนสารละลาย ทดลองเปรียบเทียบกัน

3.4.3 การศึกษาผลของช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลายกับเส้นใย

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ประมาณ 0.5 กรัม แยกทั้ง 3 ชนิดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ)

2. ตวงสารละลายคอปเปอร์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (pH 3) ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ทั้งสามขวดที่มีเส้นใยแต่ละชนิดอยู่

3. ทำการปั่นกวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที

4. กรองสารที่ได้ในขวดรูปชมพู่ด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 41 เก็บสารละลายที่กรองได้ในขวดพลาสติก

5. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-5 แต่ปรับช่วงระยะเวลาในการปั่นกวนสารละลาย (ในข้อ 3) 10 นาที, 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว

นำค่าที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.4.1 ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

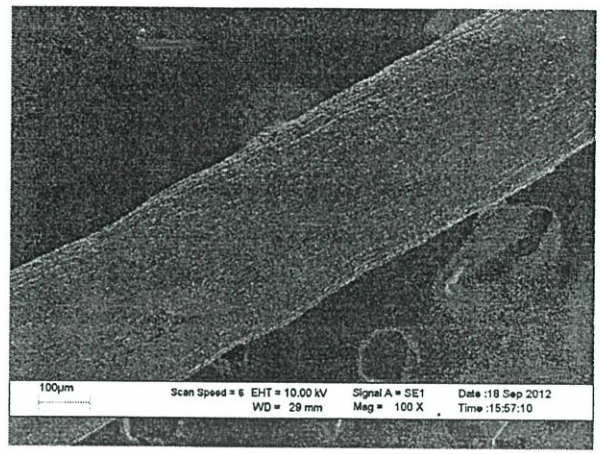
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย โดยใช้เส้นใยกล้วย เส้นใยถั่วและเส้นใยมะพร้าว จะแบ่งการทดลองออกเป็นส่วนๆ โดยศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมในการนำเส้นใยมาใช้เพื่อดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเสีย ศึกษากลไกในการกำจัดทองแดงออกจากน้ำที่มีการปนเปื้อน ศึกษาระยะเวลาและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการบำบัดและนำประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงปนเปื้อนอยู่จากเส้นใยทั้ง 3 ชนิดคือ กล้วย ถั่วและมะพร้าว มาเปรียบเทียบว่าเส้นใยชนิดใดมีความเหมาะสมมากที่สุด ผลการทดลองจะอยู่ในรูปของภาพประกอบและการอธิบายผล แยกเป็นการทดลองย่อยๆตามลำดับ

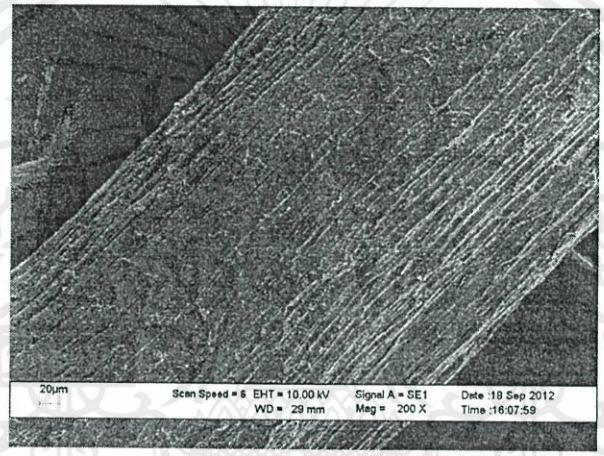
4.1 ผลการศึกษาลักษณะของเส้นใย

นำเปลือกทั้ง 3 ชนิดคือ กล้วย ถั่วและมะพร้าว มาตากแดดให้แห้ง นำไปบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปย่อยด้วย NaOH เมื่อย่อยเสร็จนำไปอบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ได้เส้นใยของเปลือกทั้ง 3 ชนิด จากนั้นนำมาศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

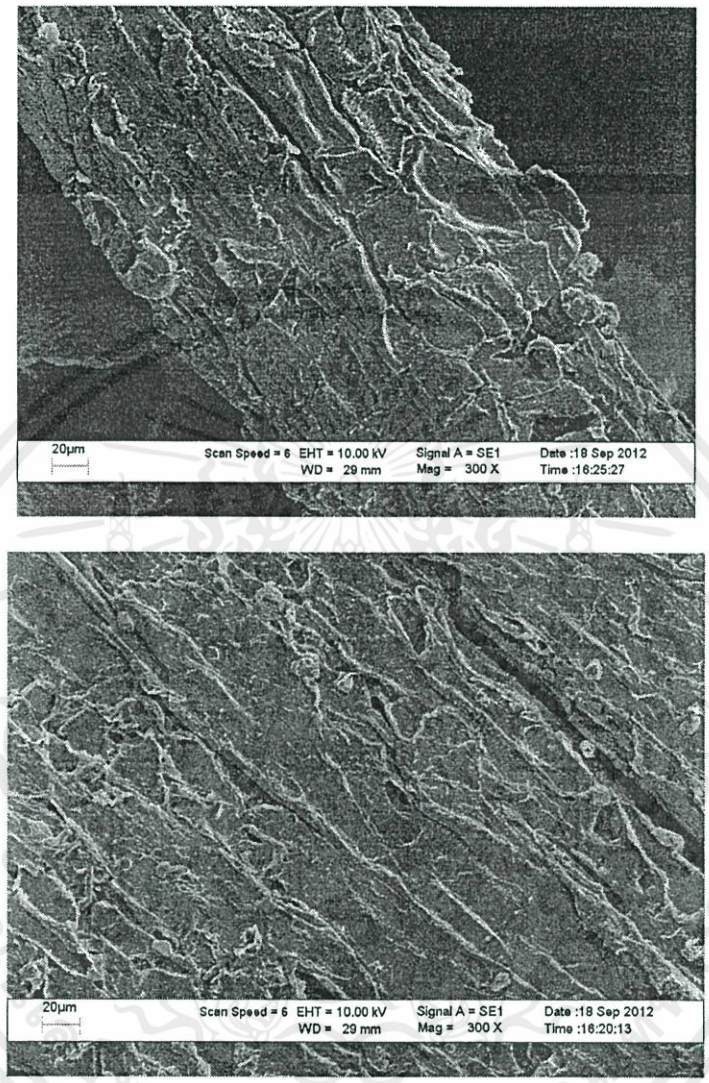


(ข)

รูปที่ 4.1 (ก) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 100 เท่า

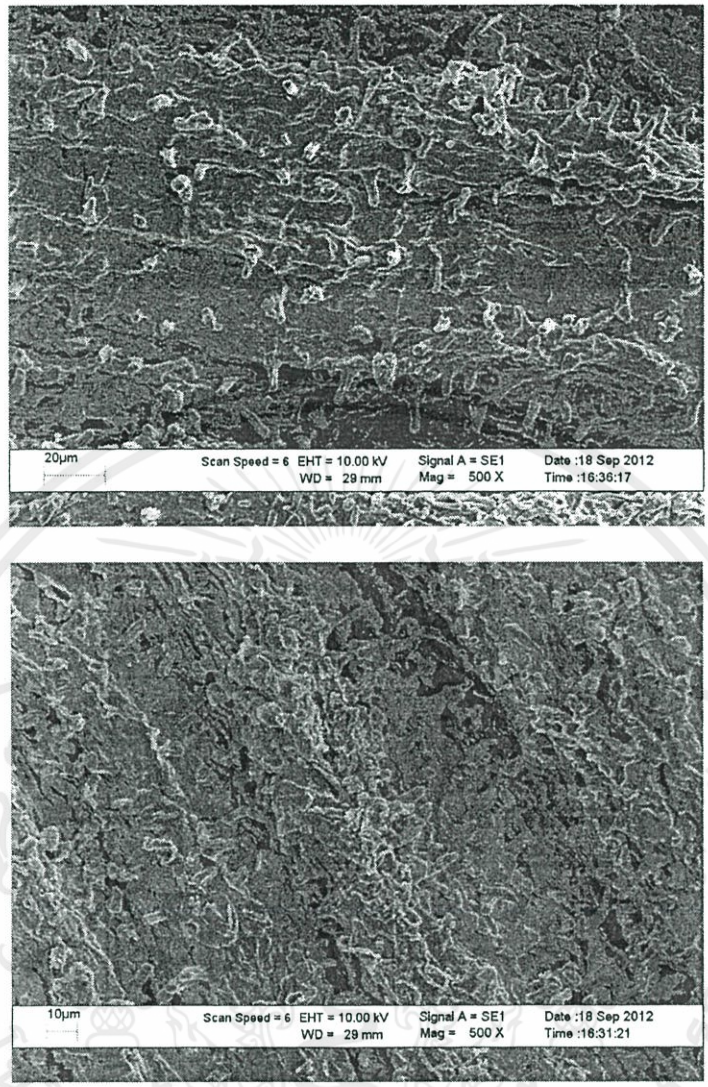
(ข) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลักษณะของเส้นใยถั่วที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 500 เท่า

จากรูป 4.1 แสดงลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 100 , 200 และ 500 เท่า ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยกล้วย พบว่า เส้นใยมีลักษณะเรียบ ไม่ค่อยมีความขรุขระมากนัก ลักษณะเป็นเส้นใยยาว มีจุดกลมๆกระจายอยู่ทั่วไป

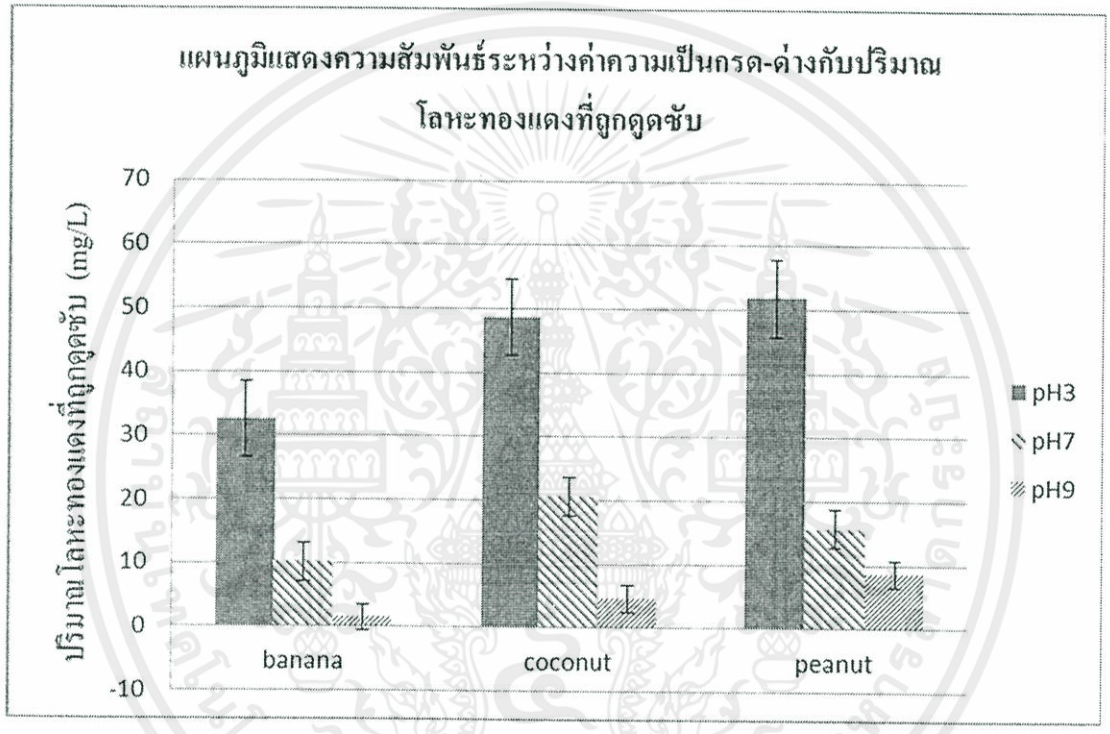
จากรูป 4.2 แสดงลักษณะของเส้นใยถั่วที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 300 เท่า ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยถั่ว พบว่า เส้นใยมีลักษณะขรุขระ บางที่ลักษณะเป็นเส้นใยยาวแต่ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.3 แสดงลักษณะของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 500 เท่า ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยมะพร้าว พบว่า เส้นใยมีลักษณะขรุขระมาก และเส้นใยมีลักษณะเป็นชั้น เส้นใยขวาง พื้นผิวหยาบ

4.2 ผลการศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถของเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่วในการดูดซับโลหะทองแดงจากสารละลายที่มี pH 3.0 , pH 7.0 และ pH 9.0 ได้ผลการทดลองดัง รูปที่ 4.4



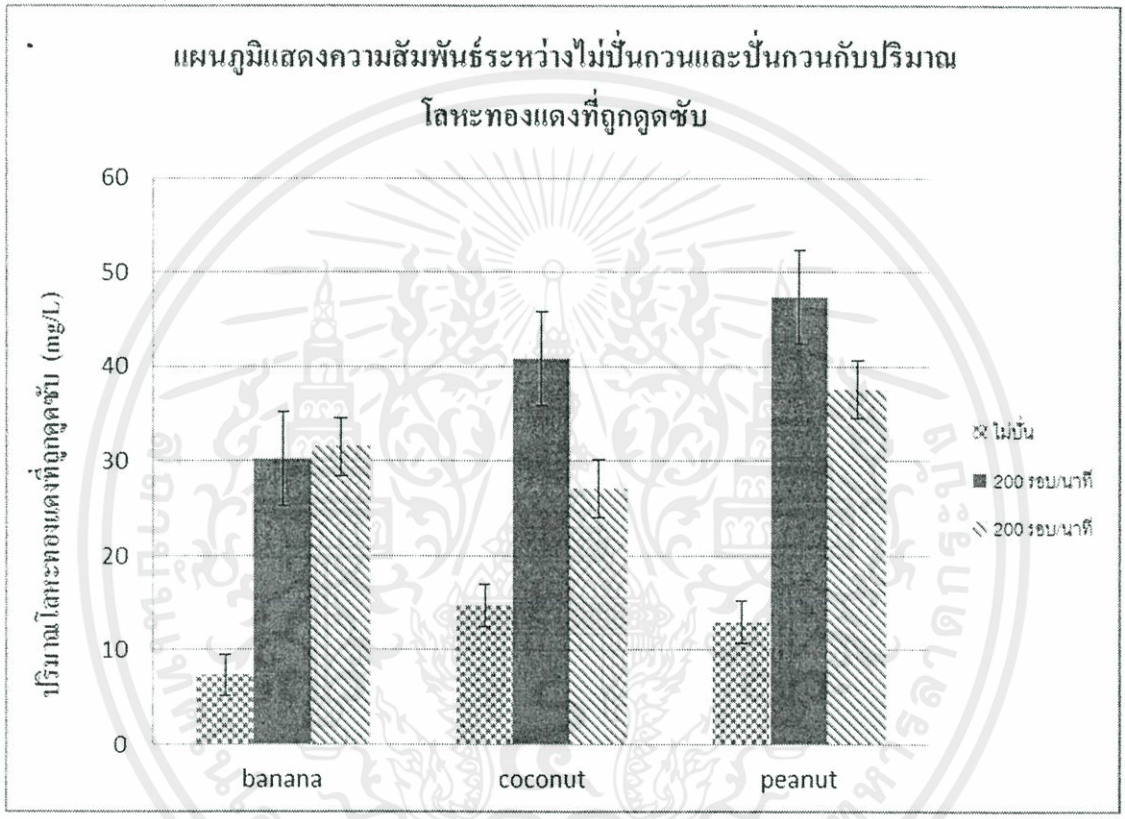
รูปที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า เส้นใยกล้วย เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยถั่ว สามารถดูดซับโลหะทองแดงในช่วง pH 3.0 ได้ดีที่สุด ดังนั้นจะเลือกใช้ใช้การปรับสารละลายหรือน้ำเสียสังเคราะห์ให้มี pH 3.0 สำหรับการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

การดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่ว ซึ่งทำการทดลองเปรียบเทียบความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลายแบบไม่ปั่นสารละลาย และใช้ความเร็วในการปั่นกวน 200 และ 300 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



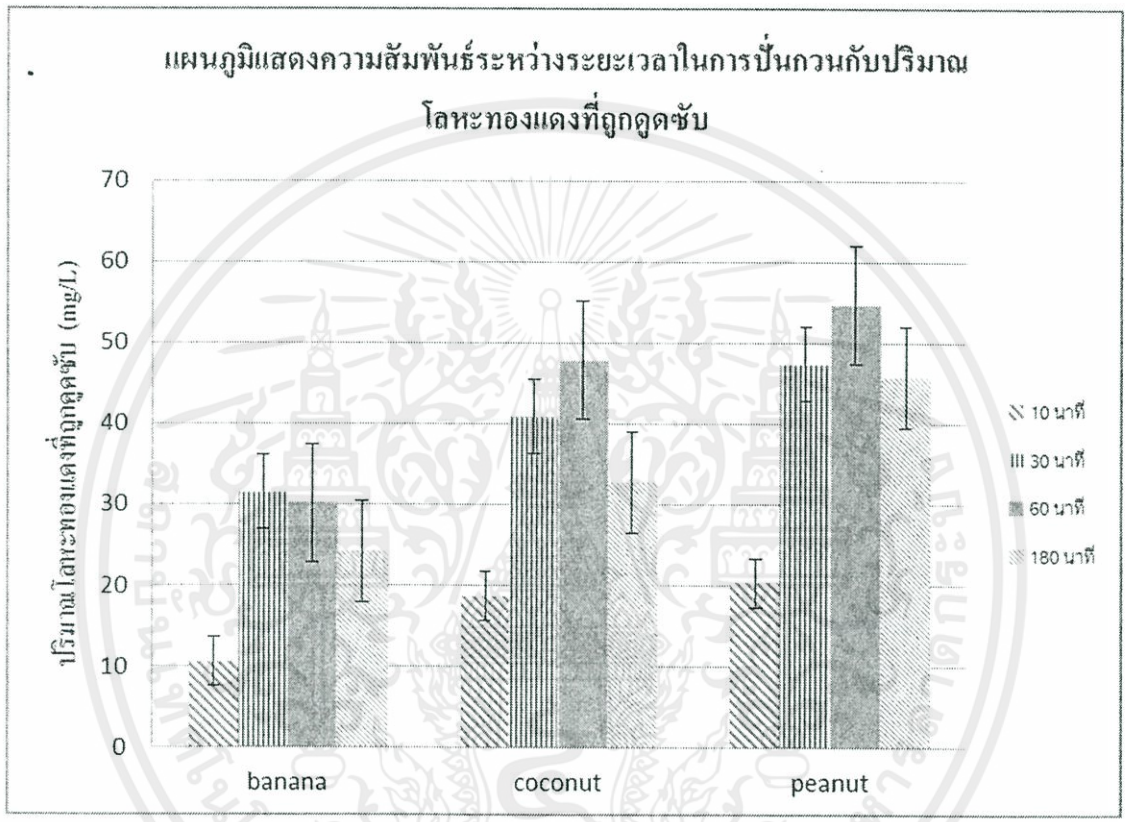
รูปที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

จากการทดลองศึกษาผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลายที่ได้จาก รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 200 และ 300 รอบต่อนาที ปริมาณโลหะทองแดงที่ถูกดูดซับด้วยเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่วมีปริมาณมากกว่าสารละลายที่ไม่ได้ทำการปั่นกวน ในการทดลองนี้เลือกที่จะใช้การปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เพื่อทำการทดลองต่อไปเพราะเห็นว่าการปั่นกวนสารละลายจะช่วยให้ผิวของเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่ว สัมผัสกับสารละลายได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลายกับเส้นใย

ผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถของเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่ว ในการดูดซับทองแดงจากสารละลายที่ทำการปั่นกวน 200 รอบต่อนาที โดยใช้ช่วงระยะเวลาของการแช่เส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่ว ในสารละลายเป็น 10 นาที , 30 นาที , 60 นาที และ 180 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงใน รูปที่ 4.6



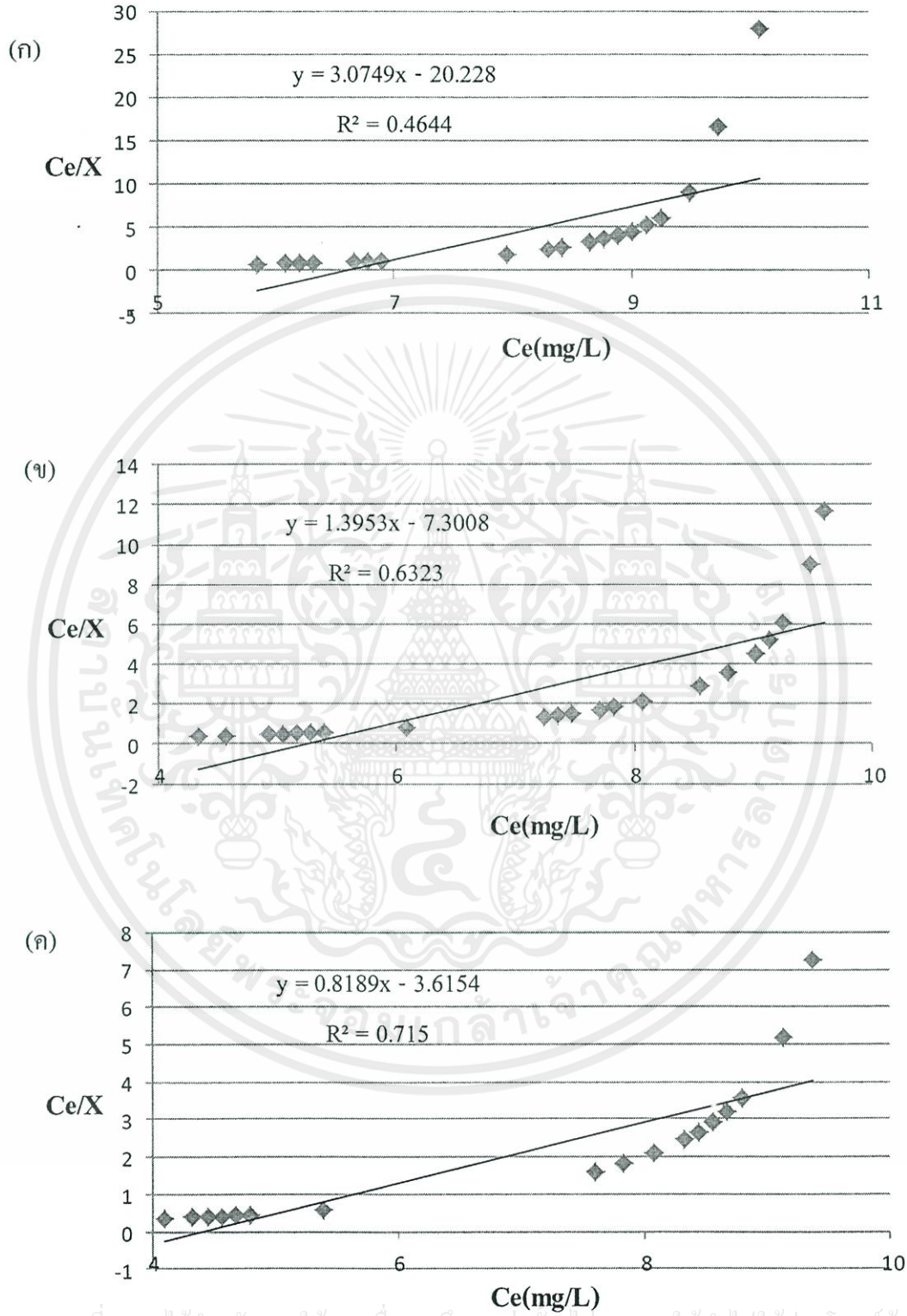
รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลายกับเส้นใย

จากผลการทดลองที่ได้ดังแสดงใน รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าการใช้ช่วงระยะเวลาของการแช่เส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่วในสาระลายในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 10 นาที ถึง 180 นาที ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยกล้วย มะพร้าวและถั่ว โดยเส้นใยถั่วดูดซับได้มากที่สุด ดังนั้นจะเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่เส้นใยถั่วในสารละลาย เท่ากับ 60 นาที เป็นตัวแทนในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของเส้นใยแต่ละชนิด

4.5.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว

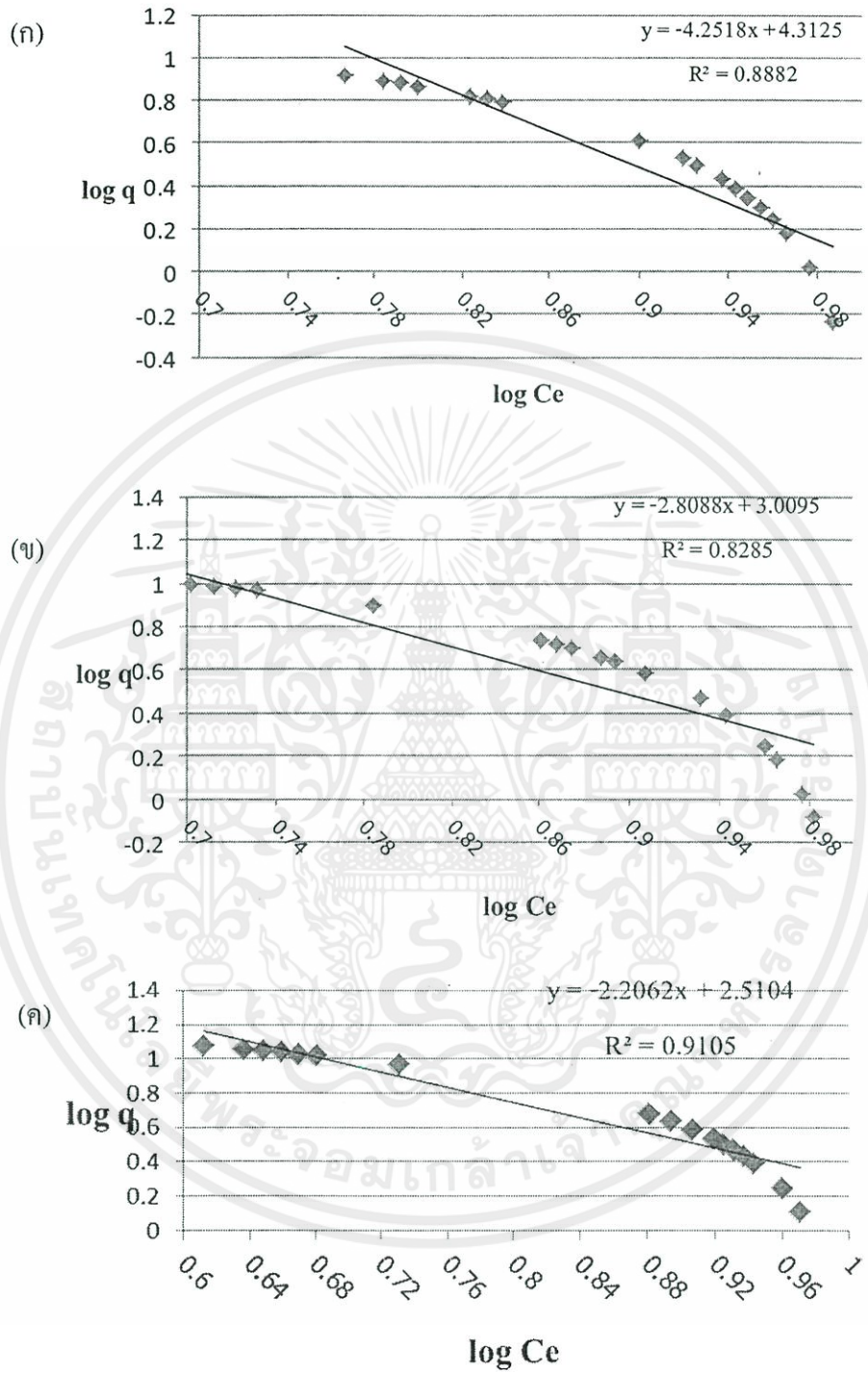


รูปที่4.7 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ของ

(ก)-เส้นใยกล้วย, (ข)-เส้นใยถั่ว, (ค)-เส้นใยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว



รูปที่4.8 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของ(ก)-เส้นใยกล้วย, (ข)-เส้นใยถั่ว, (ค)-เส้นใยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับที่จุดสมดุลและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ถูกดูดซับตามสมมติฐานของสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช ที่ให้ค่าตัวแปรต่างๆ แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R_2) ของแบบจำลองการดูดซับตามสมการฟรุนดิชของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการดูดซับของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด สามารถอธิบายได้ดี ด้วยแบบจำลองของฟรุนดิชดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองกวรดูดซับหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยของผลไม้ 3 ชนิด คือ กล้วย ถั่ว และมะพร้าว โดยทำการดูดซับทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะทองแดงในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่แตกต่างกัน ผลปรากฏว่าเส้นใยของกล้วย ถั่ว และมะพร้าว สามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีในค่าความเป็นกรด หรือมีค่า pH เท่ากับ 3 โดยเส้นใยถั่วสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด โดยดูดซับได้ 51.82%

2. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะทองแดงโดยกำหนดความเร็วรอบในการปั่นกวน โดยกำหนดให้ทำการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด หรือ pH เท่ากับ 3 ผลปรากฏว่าเส้นใยของกล้วย ถั่ว และมะพร้าว สามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่ช่วงความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 200 รอบ/นาที โดยเส้นใยถั่วสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด โดยดูดซับได้ 47.35%

3. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะทองแดงโดยกำหนดช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ โดยกำหนดให้ทำการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด หรือ pH เท่ากับ 3 และความเร็วรอบในการปั่นเท่ากับ 200 รอบ/นาที ผลปรากฏว่าเส้นใยของกล้วย ถั่ว และมะพร้าว สามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีในช่วงระยะเวลา 60 นาที โดยเส้นใยถั่วสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด โดยดูดซับได้ 54.66%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการทดลองนี้ได้ใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว ดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ค่าที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนได้หากนำไปใช้ในการดูดซับน้ำเสียจริง เนื่องจากค่าปัจจัยอื่นๆ

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการดูดซับโลหะหนักอื่นโดยใช้เส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าว เพื่อที่จะได้ผลการทดลองที่ดีขึ้น

5.2.3 ควรทำการเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นกวน เพื่อที่จะทำให้การดูดซับนั้นคงที่ และได้ค่าที่คงที่มากขึ้น

5.2.4 ควรทำการหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของการดูดซับในแต่ละเส้นใย เพื่อที่จะได้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ

5.2.5 เส้นใยมะพร้าวควรทำการตัดด้วยเครื่องบด เพื่อที่จะได้มีขนาด และมีพื้นที่ผิวเท่ากับเส้นใยของกล้วย และถั่ว ซึ่งเมื่อนำมาทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับอาจทำให้ผลของการดูดซับโลหะทองแดงของมะพร้าวนั้นเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จตุพร โหงวเข่ง, ธิดารัตน์ จรัสกุล และสุธาสินี บุนยสถิตย์. 2545. **การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิลเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผักตบชวา โสน และบอน.** โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[Online].Available : http://www.kr.ac.th/ebook/somrak/02.html

[Online].Available : http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Cu.html

วิจิตร บุญยะโหตระ. 2539 **ชีวิตและสิ่งแวดล้อม2.** พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[Online].Available : http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/6169/9/Chapter2.pdf

จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2547. **การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป

Hameed, B.H. and F.B.M. Daud. 2008. 35HAdsorption studies of basic dye on activated carbon derived from agricultural waste: Hevea brasiliensis seed coat. **Chemical Engineering.** 139:48-55.

สุกัญญา ทิพยวัจนา. 2535. **การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม โครเมียม ทองแดงและตะกั่วในปลาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** โครงงานพิเศษภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. 2535. **Principles and Techniques of Instrumental Analysis.**

[Online].Available : pirun.ku.ac.th/~b5110232/work/work1.doc

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2530. **เชื้อพันธุ์มะพร้าว.** ผู้แต่งจัดพิมพ์เอง. กรุงเทพฯ

ภูวนาถ นนทรีย์ 2531. **ถั่วลิสง.** กรุงเทพฯ : เอดิสัน เพรส โปรดักส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตราจารย์เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aneez Ebrahim และคณะ. 2011. **A Priliminary Attempt to Reduce Total Dissolved Solids in Ground Water Using Different Plant Parts.** Avadi, Chenni

Jamil R. Memona และคณะ. 2008. **Bananapeel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater.** University of Sindh, Jamshoro, Sindh, Pakistanqq

ปาริชาต บุญชู และวนิดา ศรีสกุลดี. 2547. **การดูดซับโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อย.** โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

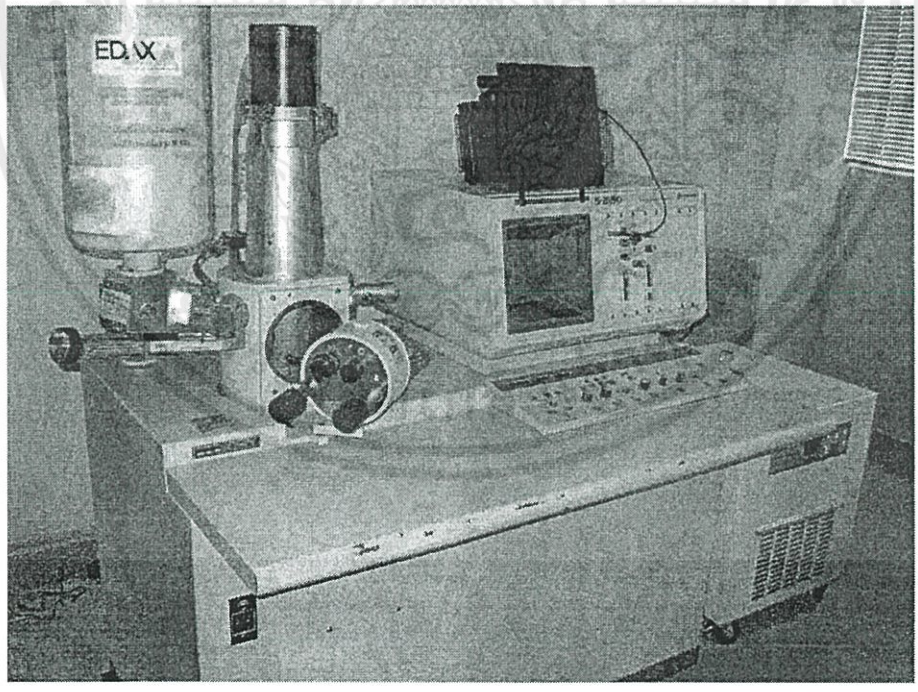
ภาคผนวก ก.

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

Scaning Eletron Microscopy (SEM)

1. Scanning Electron Microscope (SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นที่ผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

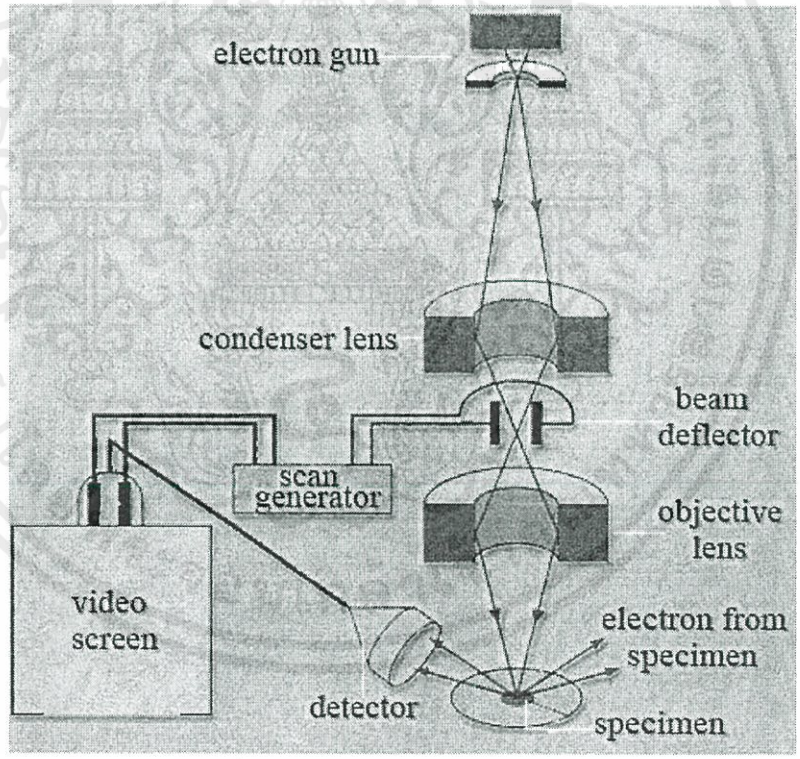


รูปที่ 1 Scaning Eletron Microscopy (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักการทำงานของเครื่อง SEM

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens)เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่อง

SEMข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติ อีก ทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่ายกว่าเครื่อง TEM มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	**ค่ามาตรฐาน**	**วิธีวิเคราะห์**
1. pH value	5.5 - 9.0	pH Meter
2. TDS Total Dissolved Solids)	ไม่ เกิน 3,000 มก/ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่ง น้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. Suspended Solids	ไม่ เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. Temperature	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. Sulfide as H_2S	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. Cyanide as HCN	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pydine Barbituric Acid
8. Fat, Oil and Grease	ไม่ เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Formaldehyde	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. Phenols	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. Free Chlorine	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. Pesticide	ต้องตรวจไม่พบตามทวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. Biochemical Oxygen Demand : BOD (5 วันที่ อุณหภูมิ 20°C)	ไม่ เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแตะละประเภทของแหล่งน้ำรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่ เกิน 100 มด./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. COD (Chemical Oxygen Demand)	wไม่ เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี Zn	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP
2. โครเมียมชนิดเอ็กซซาวาเล้นท์ Hexavalent Chromium	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

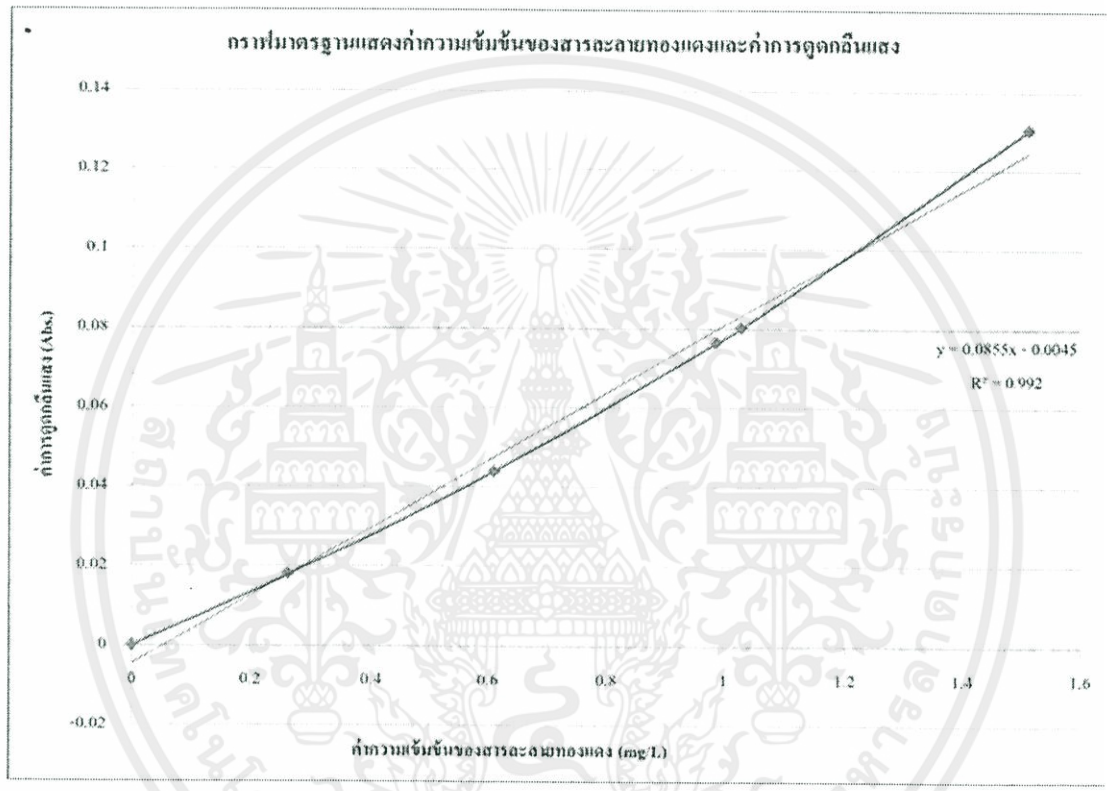
(Trivalent Chromium)		
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8.-นิคเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิค (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	- Atomic Absorption Cold Vapour Techique

แหล่งที่มา :ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง 0.3, 0.6, 0.9, 1.0 และ 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

แสดงน้ำหนักเส้นใยกล้วย ถั่ว และมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักเส้นใยกล้วยที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ครั้งที่	pH 3.0		pH 7.0		pH 9.0	
	น้ำหนักเส้นใยกล้วย(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5008	0.042	0.5003	0.072	0.5005	0.083
2	0.5005	0.056	0.5006	0.073	0.5008	0.080
3	0.5002	0.041	0.5008	0.075	0.5003	0.078

ตารางที่ 2 แสดงน้ำหนักเส้นใยกล้วยที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	ไม่ปั่นสารละลาย		200 รอบ / นาที		300 รอบ / นาที	
	น้ำหนักเส้นใยกล้วย(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5004	0.077	0.5005	0.059	0.5002	0.056
2	0.5008	0.081	0.5003	0.054	0.5001	0.055
3	0.5016	0.078	0.5009	0.058	0.5005	0.056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักเส้นใยกล้วยที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาของการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	10 นาที		30 นาที		60 นาที		180 นาที	
	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยกล้วย (กรัม	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5006	0.072	0.5005	0.056	0.5004	0.058	0.5009	0.059
2	0.5006	0.073	0.5003	0.054	0.5008	0.056	0.5000	0.064
3	0.5003	0.074	0.5004	0.058	0.5002	0.056	0.5004	0.063

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักเส้นใยถั่วที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ครั้งที่	pH 3.0		pH 7.0		pH 9.0	
	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5001	0.071	0.5002	0.068	0.5001	0.078
2	0.5005	0.072	0.5002	0.069	0.5004	0.074
3	0.5000	0.074	0.5003	0.070	0.5002	0.077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงน้ำหนักเส้นใยถั่วที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	ไม่ปั่นสารละลาย		200 รอบ / นาที		300 รอบ / นาที	
	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5008	0.074	0.5008	0.047	0.5006	0.005
2	0.5002	0.072	0.5004	0.042	0.5003	0.049
3	0.5006	0.073	0.5001	0.040	0.5004	0.051

ตารางที่ 6 แสดงน้ำหนักเส้นใยถั่วที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาของการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	10 นาที		30 นาที		60 นาที		180 นาที	
	น้ำหนักเส้นใยถั่ว(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยถั่ว (กรัม	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5001	0.065	0.5008	0.047	0.5000	0.036	0.5009	0.040
2	0.5006	0.063	0.5004	0.042	0.5007	0.037	0.5006	0.048
3	0.5004	0.067	0.5001	0.040	0.5003	0.038	0.5005	0.045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ครั้งที่	pH 3.0		pH 7.0		pH 9.0	
	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5002	0.074	0.5002	0.063	0.5007	0.078
2	0.5001	0.072	0.5006	0.066	0.5002	0.076
3	0.5006	0.072	0.5001	0.065	0.5003	0.080

ตารางที่ 8 แสดงน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	ไม่ปั่นสารละลาย		200 รอบ / นาที		300 รอบ / นาที	
	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5007	0.071	0.5007	0.048	0.5002	0.061
2	0.5009	0.072	0.5006	0.049	0.5003	0.057
3	0.5009	0.072	0.5005	0.048	0.5007	0.060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองและค่าการดูดกลืนแสงที่ทดลองได้จากการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาของการปั่นกวนสารละลาย

ครั้งที่	10 นาที		30 นาที		60 นาที		180 นาที	
	น้ำหนักเส้นใยมะพราว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	น้ำหนักเส้นใยมะพร้าว (กรัม	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
1	0.5002	0.069	0.5007	0.048	0.5005	0.072	0.5001	0.054
2	0.5001	0.065	0.5006	0.049	0.5007	0.029	0.5009	0.057
3	0.5003	0.065	0.5005	0.048	0.5004	0.026	0.5008	0.054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ตารางผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาหาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม

ชนิดของเส้นใย	ปริมาณโลหะทองแดงที่ถูกดูดซับ (mg/L) ที่ความเป็นกรด-ด่างต่างๆ ($\bar{x}$)		
	pH 3	pH 7	pH 9
กล้วย	3.2602	1.0136	0.1475
มะพร้าว	4.8707	2.0557	0.4587
ถั่ว	5.1820	1.5685	0.8647

ตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษาความเร็วรอบในการปั่นกวนสารละลาย

ชนิดของเส้นใย	ปริมาณโลหะทองแดงที่ถูกดูดซับ (mg/L) ที่ความเร็วรอบและไม่ปั่นกวน (รอบ/นาที) ($\bar{x}$)		
	ไม่ปั่น	200 รอบ/นาที	300 รอบ/นาที
กล้วย	0.7342	3.0301	3.1519
มะพร้าว	1.4749	4.0858	2.7053
ถั่ว	1.2978	4.7354	3.7609

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษาผลของช่วงระยะเวลาปั่นกวนของสารละลายกับเส้นใย

ชนิดของเส้นใย	ค่าการดูดซับทองแดงในน้ำเสีย (mg/L) ที่ช่วงเวลาต่างๆ (นาที) ($\bar{X}$)			
	10 นาที	30 นาที	60 นาที	180 นาที
กล้วย	1.0542	3.1519	3.0166	2.4211
มะพร้าว	1.8662	4.0858	4.7895	3.2737
ถั่ว	2.0286	4.7354	5.4662	4.5730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ค่าคงที่ต่างๆ ในไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดิชและแลงเมียร์ของการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 1 ค่าไอโซเทอมดูดซับของแลงเมียร์ของเส้นใยกล้วย

pH	ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	Ce(ความเข้มข้นที่เหลือ)(mg/L)	Cs(X) (mg/g)	Ce/X
3	10	6.7398	6.5204	1.0336
7	10	8.9864	2.0272	4.4329
9	10	9.8525	0.95	10.3710

ตารางที่ 2 ค่าไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ของเส้นใยถั่ว

pH	ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	Ce(ความเข้มข้นที่เหลือ)(mg/L)	Cs(X) (mg/g)	Ce/X
3	10	4.8198	10.3604	4.0426
7	10	8.4315	3.1370	2.6870
9	10	9.1359	1.7294	5.2826

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ของเส้นใยมะพร้าว

pH	ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/L)	Ce(ความเข้มข้นที่เหลือ)(mg/L)	Cs(X) (mg/g)	Ce/X
3	10	5.1293	9.7414	0.5265
7	10	7.9443	4.1114	1.9322
9	10	9.5413	0.9171	10.4037

ตารางที่ 4 ค่าไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของเส้นใยกล้วย

pH	Q(mg/g)	Ce(mg/L)	Log Q	Log Ce
3	6.5204	6.7398	0.8142	0.8286
7	2.0272	8.9864	0.3068	0.9535
9	0.95	9.8525	-0.022	0.9935

ตารางที่ 5 ค่าไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของเส้นใยถั่ว

pH	Q(mg/g)	Ce(mg/L)	Log Q	Log Ce
3	10.3604	4.8198	1.0153	6.5943
7	3.1370	8.4315	0.4965	-0.3040
9	1.7294	9.1359	0.2378	-0.623

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ค่าไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของเส้นใยมะพร้าว

pH	Q(mg/g)	Ce(mg/L)	Log Q	Log Ce
3	9.7414	5.1293	0.9886	0.7101
7	4.1114	7.9443	0.6139	0.9001
9	0.9171	9.5413	-0.0375	0.9796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้