



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสียโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น	
Ammonia Removal from The King's Royally Initiated Leam Phak Bia Environmental Research and Development Project Wastewater by Powder and Sheets Palm Shell Charcoal	
นามผู้วิจัย นางสาวสุนันท์ นาคกร	
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)
ประธานสาขาวิชา	(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสียโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น

Ammonia Removal from The King's Royally Initiated Leam Phak Bia Environmental Research and
Development Project Wastewater by Powder and Sheets Palm Shell Charcoal

โดย

นางสาวสุนันท์ นาคกร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

สุนันท์ นาคกร 2555: การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสีย โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์, Ph.D. 107 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสีย โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนียปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งได้แก่ พีเอช (5-12) ความเร็วรอบการเขย่า (0-200 รอบ/นาทิจ) ระยะเวลาเขย่า (10-120 นาที) ระยะเวลาสัมผัส (10-120 นาที) ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน (5-50 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณตัวดูดซับ (20-240 กรัม/ลิตร) และผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง ปริมาณ 4 กรัม และ ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น 10 กรัม คือ พีเอช 11 ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 100 รอบ/นาทิจ ระยะเวลาเขย่าเท่ากับ 10 นาที ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 และ 90 นาทีตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน 40 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะดังกล่าวตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 74.13 และ 65.68 ตามลำดับ รูปแบบของการดูดซับแอมโมเนียด้วยตัวดูดซับทั้งสองชนิดในการทดลองแบบเบดซ์สโตคคัลกับไอโซเทอร์ม ฟรุนดิช ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นด้วยวิธีแบบเบดซ์ตามสภาวะที่เหมาะสมได้ ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 83.68 และ 75.49 ตามลำดับ จากการทดลองด้วยวิธีแบบการไหลต่อเนื่อง สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผงปริมาณ 540 กรัม เริ่มหมดสภาพเมื่อผ่านสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียหรือน้ำเสียจากโครงการแหลมผักเบี้ย 0.60 ลิตร และหมดสภาพเมื่อปล่อยน้ำผ่าน 4.2 และ 3.6 ลิตรตามลำดับ และเมื่อนำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น 400 กรัม มาทดลองแบบเบดซ์กับน้ำทั้งสองชนิดปริมาตร 20 ลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 16.34 และ 37.21 ตามลำดับ ในการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียเท่ากันและใช้ตัวดูดซับทั้งสองชนิดที่มีน้ำหนักเท่ากันมาดูดซับแอมโมเนีย พบว่า กระบวนการไหลต่อเนื่องที่ใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผงให้ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียได้มากกว่ากระบวนการแบบเบดซ์ที่ใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น นอกจากนี้วิธีการแบบเบดซ์และการไหลต่อเนื่องยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Sunan Narkkorn 2012: Ammonia Removal from The King's Royally Initiated Leam Phak Bia Environmental Research and Development Project Wastewater by Powder and Sheets Palm Shell Charcoal. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 107 pages.

The objective of this research was to study the feasibility of using powder treated palm shell and sheets palm shell to adsorb ammonia in wastewater. Factors affecting the ammonia adsorption were examined including pH (5-12), mixing speed (0-200 rpm), shaking time (10-120 min), contact time (10-120 min), concentration of standard ammonia solution (5-50 mg/L) and adsorbent dose (20-240 g/L). The results showed that optimal conditions for ammonia adsorption by 4 g of palm shell charcoal powder and 10 g of palm shell charcoal sheet were pH 11, 100 rpm of mixing speed, 10 min of shaking time, 10 and 90 min of contact time respectively, 50 mL of 40 and 20 mg / L of the standard ammonia solution, respectively. Under such conditions, the two types of adsorbents can adsorb ammonia 74.13% and 65.68% respectively. The model adsorption of both adsorbents in batch experiment were conformed with Freundlich Isotherm. The removal performance of ammonia in the King's Royally Initiated Leam Phak Bia Environmental Research and Development Project wastewater using palm shell charcoal powder and palm shell charcoal sheet by batch method were 83.68 % and 75.49 % respectively. Continuous flow experiment was conducted and found that 40 mL/min was the suitable flow rate to remove ammonia. The break point of 540 g of palm shell charcoal powder was found to be 0.60 L for both of the standard ammonia solution and wastewater from Leam Phak Bia project. Exhaustion point was found at 4.2 and 3.6 L respectively. Furthermore, the batch condition were done at 400 g of palm shell charcoal sheet and 20 L of the standard ammonia solution and wastewater from Leam Phak Bia project and were found that the removal efficiency at 16.34% and 37.21% respectively. And also shown that palm shell charcoal powder had higher adsorption in continuous process than palm shell charcoal sheet in batch process at the same weight and same concentration of ammonia. In addition batch and continuous conditions method can also be applied to remove ammonia from the King's Royally Initiated Leam Phak Bia Environmental Research and Development Project wastewater.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลต่างๆ หลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการเคมี ในการทำศึกษาวิจัยทดลอง ขอขอบคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านทุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ ผู้ช่วยนักวิจัยที่ได้คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยทดลอง

ขอขอบคุณคณาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในวิทยาลัยสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัววนาคร อย่างสุดซึ้งที่ให้กำเนิด คอยเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ ตลอดจนสนับสนุนทุนการศึกษาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณญาติ พี่ น้อง ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมาเช่นกัน จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุนันท์ นาคกร
กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	58
สรุปและข้อเสนอแนะ	90
สรุป	90
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	92
ภาคผนวก	95
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ	6
2 ปริมาตรในการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ	47
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น	60
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับค่าพีเอช	62
5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับความเร็วรอบในการเขย่า	63
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาเขย่า	65
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาเวลาสัมผัส	66
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน	68
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับปริมาณถ่าน	69
10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากน้ำเข้าบ่อดกตะกอนจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี	77
11 การดูดซับแอมโมเนียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรีด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นโดยทำการทดลองแบบเบดซ์	79
12 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรีหลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงโดยทำการทดลองแบบเบดซ์	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
13 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นโดยทำการทดลองแบบเบตซ์	80
14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหล ผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนีย หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที	82
15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหล ผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนีย หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที	84
16 คุณภาพน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที	85
17 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นโดยทำการทดลอง แบบปั่นกววนด้วยใบพัดที่ต่อเนื่องเข้ากับมอเตอร์พัดลม	87
18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียกับร้อยละ ความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ 1 ครั้ง	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผงกับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น	97
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นกับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น	98
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มแบบผงกับค่าพีเอช	99
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของ ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นกับค่าพีเอช	99
5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มผงกับความเร็วรอบในการเขย่า	100
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มแบบแผ่นกับความเร็วรอบในการเขย่า	100
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มแบบผงกับระยะเวลาเขย่า	101
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มแบบแผ่นกับระยะเวลาเขย่า	101
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่าน กะลาปาล์มแบบผงกับระยะเวลาสัมผัส	102
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบแผ่นกับระยะเวลาสัมผัส	102
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน	103
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบแผ่นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน	103
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงกับปริมาณถ่าน	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นกับปริมาณถ่าน	104
15 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบผง	105
16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น	105
17 การดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง 7 ซ้ำ	105
18 การดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น 7 ซ้ำ	106
19 การดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริเพชรบุรีด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง	106
20 การดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริเพชรบุรีด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น	106

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ	13
2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	15
3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	15
4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	16
5 การดูดซับของตัวถูกละลายบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	17
6 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ	18
7 เคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ	21
8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	24
9 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	25
10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	26
11 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรันทซ์	27
12 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	28
13 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกละลายถูกดูดซับจนอิ่มตัว	28
14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	29
15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท	30
16 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท	31
17 ลักษณะของ break through point (ชั้นถ่านที่อยู่กับที่)	32
18 แสดงปริมาณของผลผลิตและผลพลอยได้จากการสกัดปาล์มน้ำมัน	39
19 กะลาปาล์มที่ยังไม่ได้เผา (ก) และวิธีการเผา (ข)	48
20 ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น	49
21 ปรับพีเอชของสารละลายแอมโมเนียมมาตรฐาน	50
22 เครื่องเย้าที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนีย	51
23 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัส	52
24 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัด (บ่อตกตะกอน) ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	การศึกษาการดูดซับแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	55
26	การศึกษาการประยุกต์ใช้งานจริงโดยการปั่นกวาดด้วยใบพัด ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์พัดลม	56
27	กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย	59
28	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น	60
29	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับค่าพีเอช	61
30	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับความเร็วรอบในการเขย่า	63
31	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาเขย่า	64
32	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล	66
33	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน	67
34	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์ม แบบผงและแบบแผ่นกับปริมาณถ่าน	69
35	ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของเลงเมียร์ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง	71
36	ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของฟรุนดิชด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง	71
37	ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของเลงเมียร์ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น	74
38	ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของเลงเมียร์ด้วยถ่านกะลาปาล์ม แบบแผ่น	75
39	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่าน แบบต่อเนื่องกับความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับ ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาทีของน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี	83
41	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นกับปริมาณถ่านด้วยวิธีปั่นพัคลม	86
42	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ 1 ครั้ง	88

การจัดแอมโมเนียจากน้ำเสียโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น

Ammonia Removal from The King's Royally Initiated Leam Phak Bia
Environmental Research and Development Project Wastewater by Powder and
Sheets Palm Shell Charcoal

คำนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหามลพิษเป็นสิ่งที่น่าสนใจของประชากรโลกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ทำให้ปัจจุบันเกิดมลพิษทางน้ำเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดผลเสียต่อภาวะสมดุลของระบบนิเวศน์ และยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง แหล่งกิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดมลพิษน้ำแบ่งเป็น 3 แหล่งกิจกรรมหลัก ได้แก่ ชุมชนและพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม และจากการเกษตร ซึ่งทั้ง 3 แหล่งมีการปนเปื้อนของแอมโมเนีย เช่น น้ำเสียจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์โดยเฉพาะบริเวณชุมชนที่อยู่ติดแม่น้ำสายต่างๆ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น จังหวัดสมุทรปราการ พบว่า คุณภาพน้ำคลอง และคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเล มีคุณภาพเสื่อมโทรม รวมทั้งมีการปนเปื้อนแอมโมเนียโดยเฉลี่ยสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) นอกจากนี้ในแหล่งน้ำยังมีสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำซึ่งจัดเป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยไนโตรเจน ซึ่ง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ คือ สารละลายแอมโมเนียไอออน (ionized ammonia, NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (un-ionized ammonia, NH_3) แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแบบใด และแต่ละรูปแบบจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับค่า อุณหภูมิ พีเอช (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น แอมโมเนียเป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียเป็นสารที่ไม่คงตัว มักจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกลายเป็นสารประกอบไนไตรท์ ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเช่นกัน แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว มูลและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง แอมโมเนียอิสระ (NH_3) เป็นรูปที่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ โดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) อุณหภูมิ พีเอช เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียให้มีปริมาณต่ำกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ปัจจุบันโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้มีการนำเทคโนโลยีมาปรับใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การเลี้ยงปลาในบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ โดยทดลองเลี้ยงปลาประเภทกินพืชในบ่อบำบัดที่เป็นปลาเศรษฐกิจที่นิยมในท้องตลาด ดังนั้นในบ่อบำบัดที่เลี้ยงปลาจึงมีการจับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ คือแอมโมเนียและอาจเกิดได้จากปริมาณเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำ นอกจากแอมโมเนียที่มาจากสิ่งขับถ่ายจากน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี ถ้าในบ่อบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียเข้มข้นสูงมากๆ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ส่งผลต่อบ่อบำบัดน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดและควบคุมปริมาณแอมโมเนียในบ่อบำบัดที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อไม่ให้บ่อบำบัดมีแอมโมเนียเข้มข้นสูงเกินไปเกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่เลี้ยงไว้

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการนำของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กาแฟ ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น มาทำการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดอีกทางเลือกหนึ่ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้และของเสียด้วย เนื่องจากปัจจุบันประชาชนส่วนใหญ่ได้หันมาอุปโภค-บริโภคน้ำมันปาล์มเป็นจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มคือ กะลาปาล์ม มาเป็นวัสดุดูดซับ เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของกะลาปาล์มในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำ เพื่อปรับปรุงและบำบัดคุณภาพของน้ำเสียให้ดีขึ้น และทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดการทิ้งผลิตภัณฑ์ส่วนเกินจากกระบวนการผลิตออกสู่สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นดูดซับแอมโมเนีย
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียด้วยกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริเมืองเพชรบุรี

การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

1.1 ความหมายของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2535) ได้ให้ความหมายไว้ว่า “น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น”

กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ให้ความหมายกว้างๆ ที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดน้ำเสียว่า “น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ไม่ต้องการหรือใช้แล้วระบายทิ้ง น้ำใช้แล้วจากชุมชนอาจประกอบด้วยสิ่งปะปนที่ติดมาจากกิจกรรมที่อยู่อาศัย ธุรกิจ โรงงาน อุตสาหกรรม และสถาบันต่างๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำฝน”

1.2 ประเภทของน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

แบ่งแหล่งกำเนิดน้ำเสียออกเป็น 3 แหล่ง คือ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

1.2.1 น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งน้ำรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้น หรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด

1.2.2 น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการทำการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ น้ำล้างคอกสุกร จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง โดยน้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร ส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของสารเคมีฆ่าแมลง และปุ๋ย

1.2.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ

อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมเครื่องหนัง เป็นต้น โดยที่น้ำจากอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก สารพิษต่างๆ ที่ยากต่อการทำลาย

2. แอมโมเนีย

2.1 แอมโมเนีย

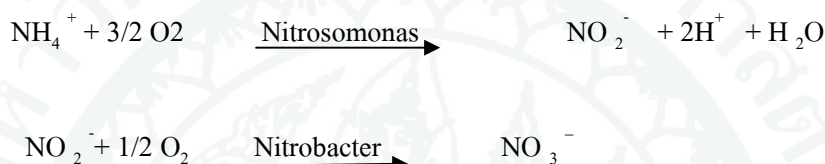
แอมโมเนีย เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ปุ๋ยและอาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง กระบวนการสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนจนกลายเป็นแอมโมเนีย อิสระ (NH_3) และแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) เรียกว่า Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ โดยปกติเมื่อพูดถึงแอมโมเนียในน้ำจะหมายถึงแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) หรือ ผลรวมของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ในน้ำแอมโมเนียทั้งสองรูปจะอยู่ปนกันโดยมีสมดุลเคมีดังนี้



แอมโมเนียเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำและปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Hargreaves, 1998) แอมโมเนียเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียโดยเฉลี่ยจากสัตว์ทะเล 17 ชนิด อยู่ที่ 1.86 mg NH_3/l (USEPA, 1984, 1987 อ้างตาม Randall and Tsui, 2002) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียส่วนใหญ่ได้มาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนานๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึงสูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งโดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงได้กำหนดค่าของแอมโมเนียไว้ทั้งในมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง แอมโมเนียจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำ

แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแบบหรือปริมาณมากน้อย ขึ้นกับค่าพีเอช (pH) อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นหลัก แอมโมเนียในแหล่งน้ำสามารถลดปริมาณลง โดยการเปลี่ยนแปลงรูปเป็นไนเตรท เรียก กระบวนการนี้ว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) มีแบคทีเรียชนิด aerobic chemoautotrophic bacteria เป็นตัว ช่วย ดังสมการต่อไปนี้



2.2 ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ

แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำโดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ แอมโมเนียไอออนเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยทั่วไปนิยมรายงานความเป็นพิษของแอมโมเนียในเทอมของความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมากกว่า แอมโมเนียทั้งหมด สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระคำนวณในรูปไนโตรเจน 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร นานประมาณ 1 ชั่วโมงอาจทำให้เกิดการตายอย่างเฉียบพลัน

ในแหล่งน้ำจะพบแอมโมเนียไอออนเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียไอออนขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ และปริมาณเกลือแร่ โดยค่าความเป็นกรด-เบสจะมีอิทธิพลสูงสุด ปริมาณแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด - เบส และอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเท่ากับ 7.0 และอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส จะเกิดแอมโมเนียไอออนประมาณ 99.2% ของแอมโมเนียทั้งหมดที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ถ้าค่าความเป็นกรด - เบสเพิ่มขึ้นเป็น 9.0 จะเกิดแอมโมเนียไอออนประมาณ 55.4% ของแอมโมเนียทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะมีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งเกิดจากอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ หากมีการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบต่อเนื่องจึงควรมีข้อมูลคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำรุ่นต่อไป และอาจใช้อ้างอิงได้ถ้าเกิดปัญหาในการเลี้ยง เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในแหล่งน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียของ

สัตว์น้ำจะลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด - เบสของเลือดจึงสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ และความคงสภาพของเนื้อเยื่อ ทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน และเสียชีวิตในที่สุด อย่างไรก็ตาม ความเป็นพิษของแอมโมเนียยังขึ้นกับปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ชนิดของสัตว์น้ำ ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ สภาพบ่อที่เลี้ยง ความหนาแน่นของการเลี้ยง คุณภาพอื่นๆ ของน้ำ โดยเฉพาะออกซิเจนละลายที่ความเข้มข้นเดียวกัน แอมโมเนียอิสระจะเป็นพิษมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำ

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ แบ่งเป็นช่วงได้ดังนี้

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
0.1 – 0.4	สัตว์เจริญเติบโตช้า
0.5 – 1	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว
2 – 3	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว อ่อนแอ เกิดการติดเชื้อจากแบคทีเรีย และเริ่มตาย
4 – 5	อัตราการตายเพิ่มขึ้น
6 – 7	อัตราการตายเพิ่มขึ้น

ที่มา: สุชาดา (2546)

จะเห็นว่าแอมโมเนียแม้จะมีในน้ำปริมาณเพียงเล็กน้อย ระดับส่วนในล้านส่วนก็อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก โดยจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ สูญเสียมูลค่าการส่งออก ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศ วิธีการควบคุมปริมาณแอมโมเนียเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

- 1) ควบคุมปริมาณการให้อาหารไม่ให้เหลือหรืออาจลดปริมาณอาหารที่ให้อาหารครั้งหนึ่ง
- 2) ควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำให้อยู่ระหว่าง 7.5 – 8.0

3) เปลี่ยนถ่ายน้ำ 10% แล้วทำการเช็กระดับแอมโมเนียภายหลังการเติมน้ำใหม่แล้ว 12-24 ชม.

4) เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เต็มที่

5) การดูดเก็บตะกอนภายในบ่อ

2.3 พืชต่อสุขภาพมนุษย์

2.3.1 พืชแบบเฉียบพลัน

1) กรณีหายใจเข้าไปโดยตรงที่ระดับความเข้มข้น 5,000-10,000 ส่วน ต่ออากาศ 1 ล้านส่วนหรืออัตราผสมกับอากาศ 0.5 - 1% จะทำให้เกิดอาการหายใจขัด อาจทำให้เสียชีวิตได้ทันที

2) กรณีกระเด็นเข้าตาจะเกิดการระคายเคืองแสบตาอย่างรุนแรง ถึงขั้นทำให้ตาบอดบางส่วนหรือตาบอดทั้งหมด

3) กรณีแอมโมเนียเหลวสัมผัสผิวหนังโดยตรงเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ผิวหนังไหม้และเซลล์เนื้อเยื่อตายเพราะเย็นจัด

4) กรณีรับประทานเข้าไปจะกัดทำลายเยื่อภายในปาก และระบบทางเดินอาหาร จะทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนและหมดสติในที่สุด

2.3.2 พืชแบบเรื้อรัง

หากร่างกายได้รับแก๊สแอมโมเนียอยู่เสมอมานานเนื่องมาจากการทำงานเป็นระยะเวลานานๆ ในบรรยากาศที่มีแอมโมเนียผสมจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเรื้อรังของตา จมูก และระบบทางเดินหายใจ (โสธรา, 2543)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียจะมีพิษมากน้อยหรืออยู่ในสภาพแวดล้อมในขณะนั้นว่าส่งผลให้เกิดแอมโมเนียอิสระได้มากหรือน้อยเพียงใด การใช้แอมโมเนียทั้งหมดในน้ำเป็นดัชนีบอกความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์อย่างเดียวนั้นไม่พอ ต้องมีข้อมูลปัจจัยทางด้าน pH และอุณหภูมิประกอบด้วย Trussell (1972) and Emerson et al. (1975) พบว่า pH และอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแอมโมเนียอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิในน้ำแอมโมเนียมีค่าลดลงส่งผลให้ความทนทานของสัตว์น้ำมีค่าลดลง

Bower and Bidwell (1978) ได้เพิ่มปัจจัยความเค็มมาเป็นตัวแปรอีกอย่างหนึ่งทำให้ทราบว่าร้อยละของการแตกตัวให้อิออนไนซ์แอมโมเนียในน้ำทะเล จะมีปริมาณลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น Alabaster et al. (1979) พบว่า ปลา Atlantic salmon ทนทานต่อพิษของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นโดยมีค่าความทนทานต่อสารพิษ (LC_{50}) ในเวลา 24 ชั่วโมงของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ต่อปลา Atlantic salmon ขนาดความยาว 146 ± 7 มิลลิเมตร ที่ความเค็ม 0 และ 30 ส่วนในพันส่วน มีค่าเท่ากับ 0.09 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตรของ NH_3 -N ตามลำดับ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย Markens and Downing (1957) สรุปว่า เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงความเป็นพิษของแอมโมเนียสูงขึ้นขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียลดลงเช่นเดียวกับความเค็มและค่า ionic strength ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งทำให้ pH ของน้ำลดลงและมีผลต่อเนื่องถึงปริมาณแอมโมเนียอิสระ (Lloyd and Herbert, 1960)

2.5 การใช้ประโยชน์แอมโมเนียในอุตสาหกรรม (โศรดา, 2543)

- ใช้ในการทำปุ๋ย

- ใช้ผลิตสารเคมีอื่นๆ เช่น ammonium sulfate, sodium nitrate, urea และ ammonium

Phosphate

- ใช้ทำวัตถุระเบิด

- ใช้ในการกลั่นน้ำมัน โดยเป็นตัวทำลายกรดที่ติดอยู่ในน้ำมันซึ่งจะกัดกร่อนผิวอุปกรณ์ที่ทำด้วยเหล็ก

- ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกน้ำตาล และฟอกหนัง

- ใช้ในการย้อมสีเส้นใย พิมพ์ผ้าฝ้าย

- ใช้ในอุตสาหกรรมไฟเบอร์และพลาสติก

- ใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น sulfanilamide, sulfathiazole, sulfapyridine และยาซัลฟา

- ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

- ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ

- ใช้เป็น curing agent ในอุตสาหกรรมหนัง ป้องกันการเกิดราใน tanning liquors

- ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

- ใช้ในการผลิต nitrogen oxides

- ใช้ในการทำความเย็นในโรงงานน้ำแข็ง ห้องเย็นและห้องแช่แข็ง

- ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

3. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิมและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ (landfill) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับ จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การย่อยสลายด้วยแสง หรือการย่อยสลาย

ด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์และคณิตา, 2550)

3.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

3.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

3.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

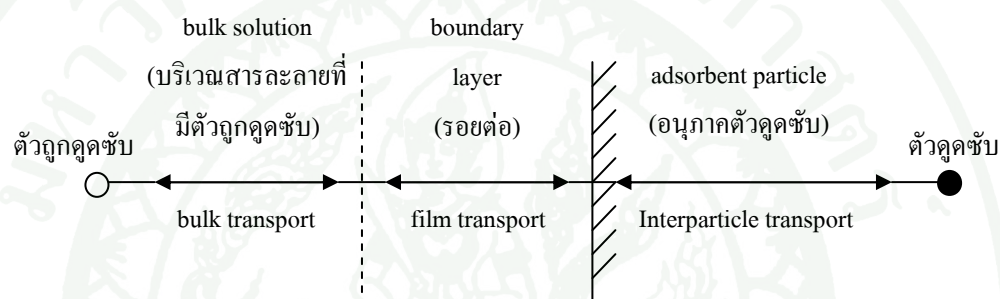
3.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลผิวหน้าชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้

3) การขนส่งภายในอนุภาค (Interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และกนิดา (2550)

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ

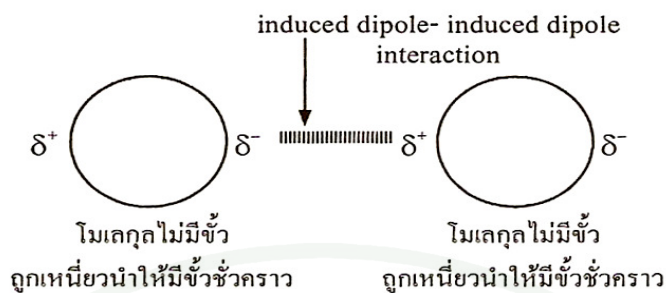
3.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (intermolecular force)

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

3.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal force) คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โควาเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โควาเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอน (London force) หรือแรงแผ่กระจาย (Dispersion force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราว (Induce Dipole) ขึ้น ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้ จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงมีขั้วขึ้นมา ถ้าโมเลกุลมีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อๆ ไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Induced Dipole-Induced Dipole Attraction)

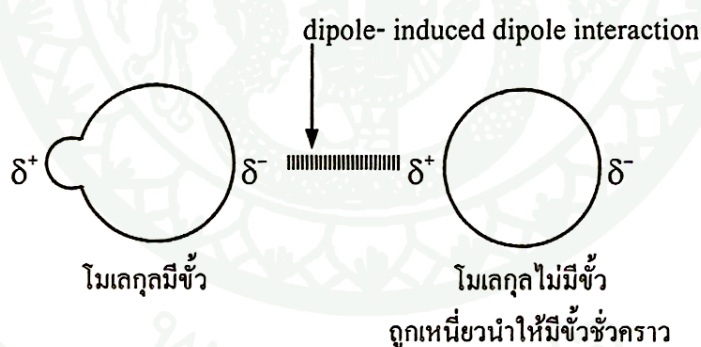
แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย



ภาพที่ 2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

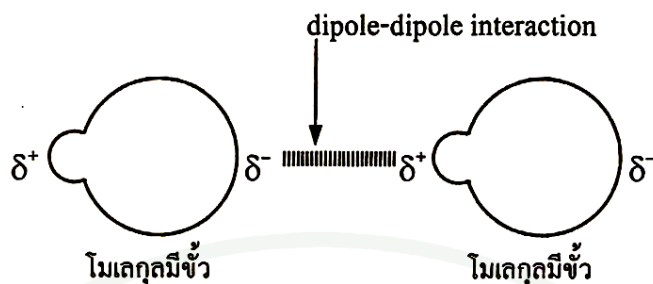
2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Dipole-Induced Dipole Attraction)



ภาพที่ 3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน เรียกว่า แรงไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole attraction)



ภาพที่ 4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ได้แก่ ธาตุฟลูออรีน ออกซิเจน และไนโตรเจน ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวกจึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ Cl-Cl ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูลต่อโมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (Desorption) อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

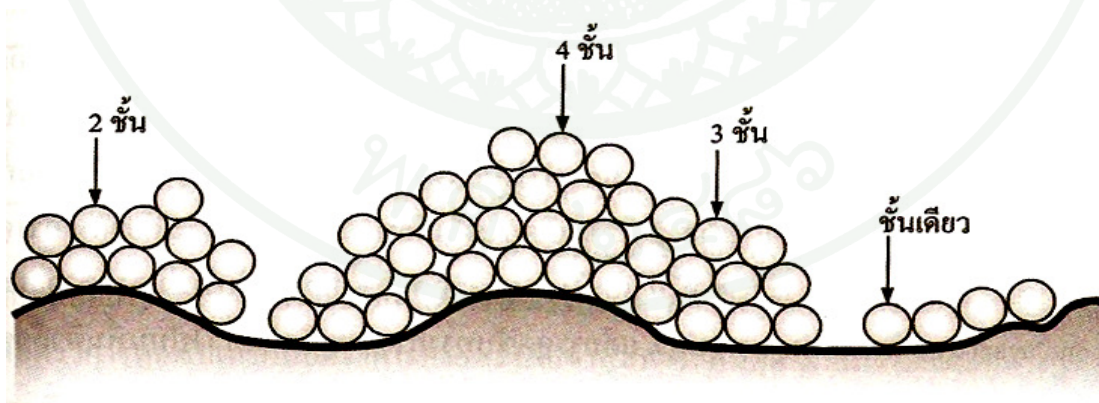
3.3.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมมูลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible process) จึงไม่เกิดการคาย

3.4 รูปแบบของการดูดซับ

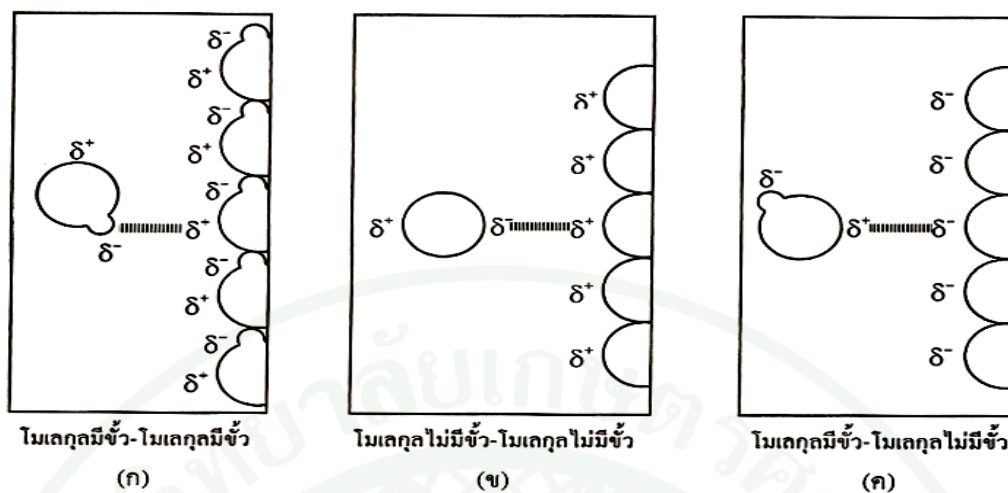
สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption หรือ physical adsorption หรือ van der waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้านั้น และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 6 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ

หมายเหตุ ภาพ (ก) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ข) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ค) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้ว และ โมเลกุลตัวดูดซับเป็น โมเลกุลไม่มีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และกณิตา (2550)

3.4.2 การดูดซับทางเคมี จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น และ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าวจะเป็นแบบชั้นเดียว และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ ประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20-100 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา (2550) อ้างโดย Maron and Prutton (1961)

3.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

3.5.1 ความดัน ความดัน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันของระบบ ถ้าน้ำมีความดันต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในตรงกันข้าม ถ้าความดันสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

3.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

3.5.3 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอร์ (พอร์เข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

3.5.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลาย

น้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดซับได้ดี

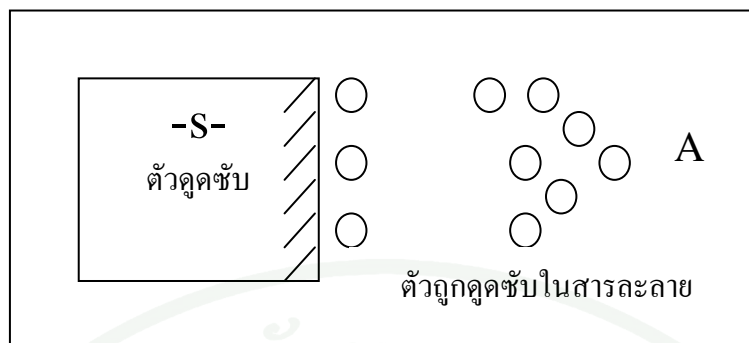
3.5.5 pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

3.5.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

3.5.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

3.6 สมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกละลายเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายและจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายที่คายออกมามีปริมาณคงที่ (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และกณิดา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมล/ลิตรในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

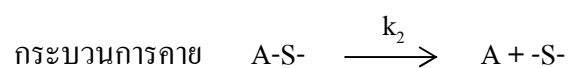
$(1-q)$ เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือนอยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = k_1[C](1-q)$$



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$r_2 = k_2(q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

$$k_1[C](1-q) = k_2(q)$$

$$\frac{q}{(1-q)} = \frac{k_1}{k_2}[C] = K[C]$$

$$q = \frac{K[C]}{1+K[C]} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



$$\text{ณ สภาวะสมดุล } K = \frac{q}{C} \quad \text{.....(2)}$$

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_i - C_e) \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับหน่วยเป็น ปริมาณตัวถูกละลายต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) หรือ โมลต่อกรัม (mol/g)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม (mg) กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลิตร

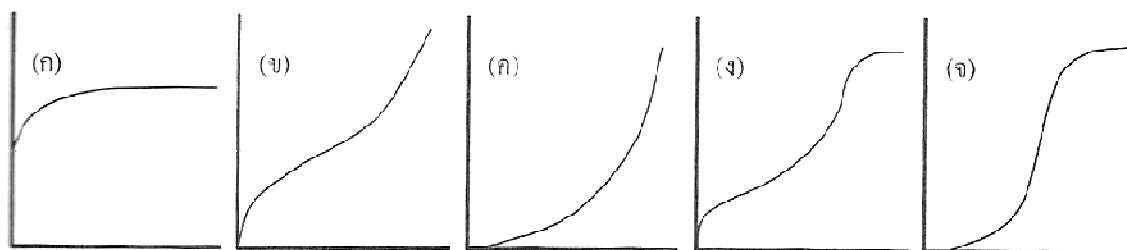
C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เป็นโมลต่อลิตร (mol/l)

3.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่ภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของ ไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ (ดังภาพที่ 11)



ภาพที่ 8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550) อ้างโดย Maron and Prutton (1961)

จากภาพที่ 8 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

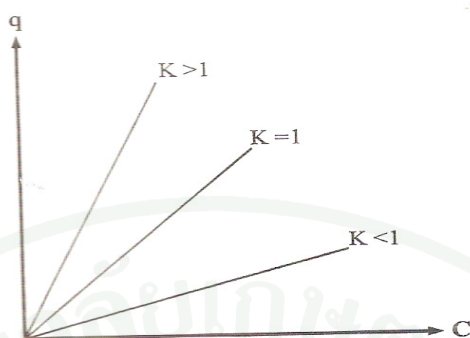
สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะกล่าวถึง 4 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

1) สมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear Equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad K &= \frac{q}{C} \\ q &= KC \end{aligned}$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำ (ดังภาพที่ 9)

150



ภาพที่ 9 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

2) สมการการดูดซับของฟรุนดิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Adsorption Surface พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนดิช (Freundlich Constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป $1/n$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใช้ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(5)$$

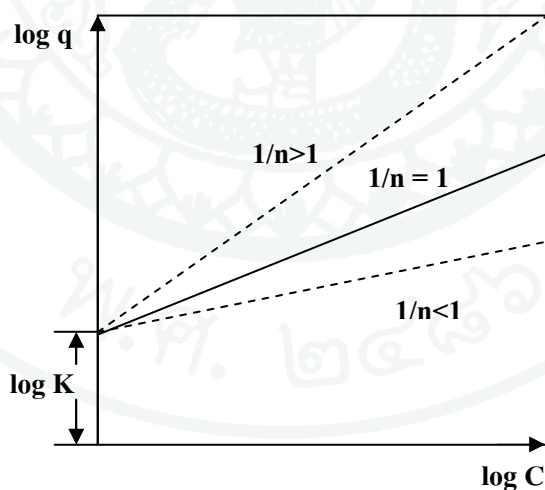
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$ (ดังภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

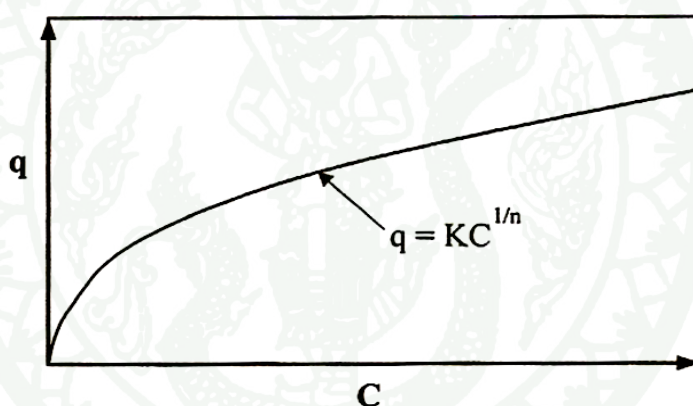
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกลถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกลถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (9) จะไม่สามารถบอกลถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้

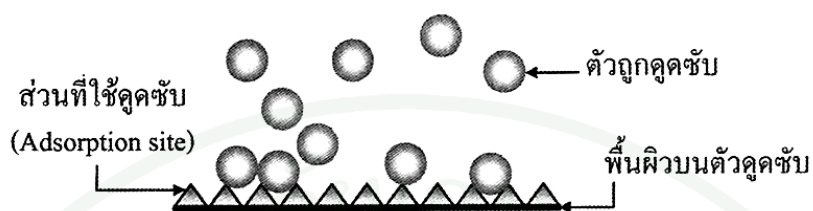


ภาพที่ 11 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

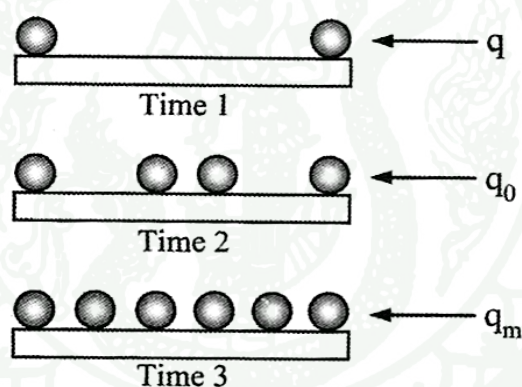
3) สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีข้อกำหนดว่าพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ ไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูก

ปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) (ดังภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 13 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์ จะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

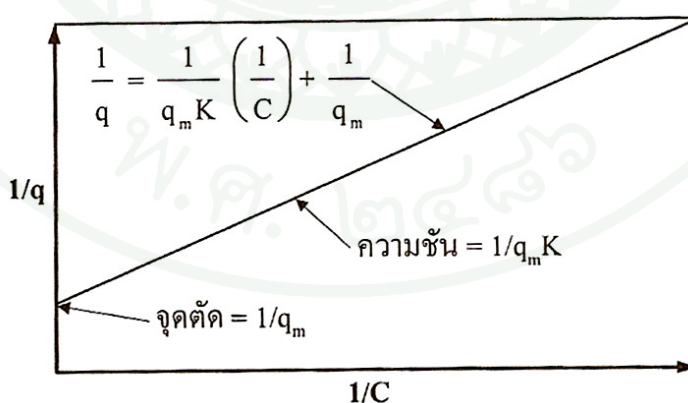
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{K q_m}$

และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ (ดังภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

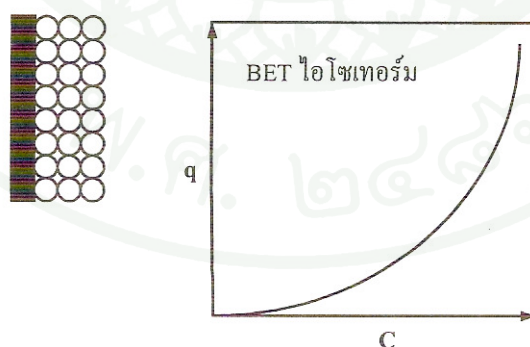
4) สมการดูดซับแบบเบท (Brunauer Emmett Teller หรือ BET adsorption isotherm) ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่านในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett and Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

- 1) การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบหลายชั้น (Multi-layer Adsorption)
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
- 3) ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน
- 4) แต่ละชั้นของการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป

สมการการดูดซับแบบเบทซ์ถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{(C_0 - C)[1 + (K-1)C/C_0]} \dots\dots\dots(8)$$

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังนี้



ภาพที่ 15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท

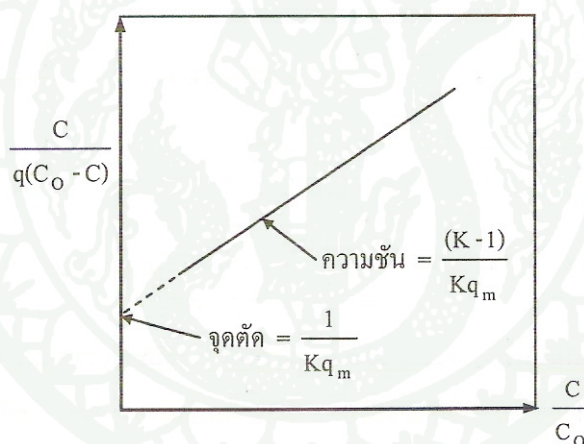
ที่มา: นิพนธ์ และกณิดา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (8) ใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_0 - C)} = \frac{1}{q_m K} + \frac{K-1}{q_m K} \left(\frac{C}{C_0} \right) \quad \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q(C_0 - C)}$ กับ ค่า $\frac{C}{C_0}$ ได้กราฟเส้นตรงมี

ความชันเท่ากับ $\frac{(K-1)}{Kq_m}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$

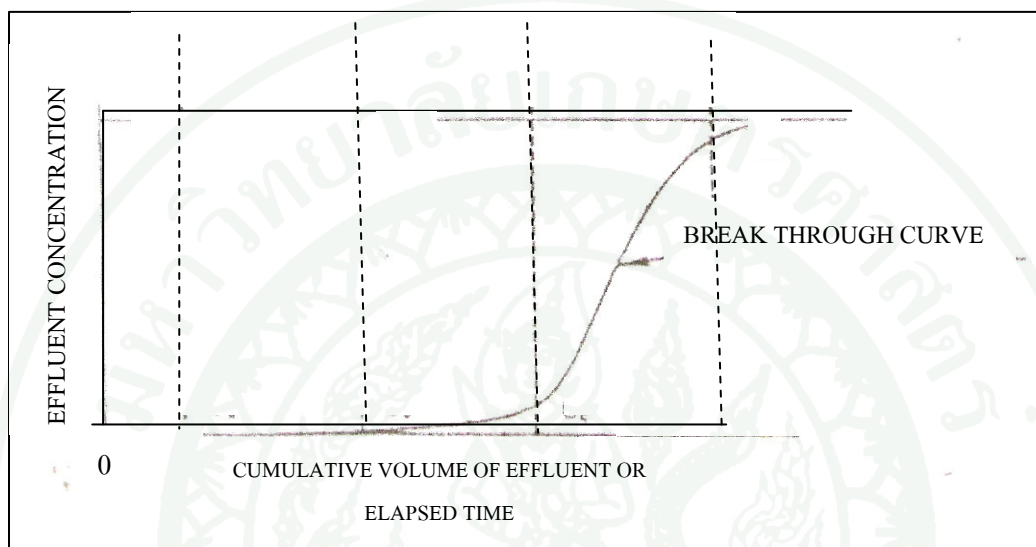


ภาพที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และคณิดา (2550)

การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง เป็นการทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของตัวดูดซับ ที่มีความเป็นไปได้ในการดูดซับตัวถูกดูดซับก่อนจะหมดประสิทธิภาพ โดยที่การทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง เมื่อตัวถูกดูดซับไหลผ่านตัวดูดซับ ตัวดูดซับชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับก่อน และชั้นของตัวดูดซับที่หมดประสิทธิภาพประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลาการใช้งาน หลังจากนั้นความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ เรียกจุดนี้ว่า จุดเบรคทรูจ (Break Through Point) และเส้นโค้งดังแสดงในภาพที่ 47 เรียกว่า เส้นโค้งเบรคทรูจ (Break Through Curve) โดยเวลาที่นับจาก

เริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดเบรคทรูจ์ เรียกว่า เวลาการใช้งาน โดยที่เวลาการใช้งานของตัวดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ อัตราการไหลแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง และความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับและเมื่อตัวดูดซับไม่สามารถที่จะดูดซับได้อีก เรียกจุดนี้ว่า จุดที่ตัวดูดซับหมดประสิทธิภาพ (Exhaustion point) (Clark and Lykins, 1989)



ภาพที่ 17 ลักษณะของ break through point (ชั้นถ่านที่อยู่กับที่)

ที่มา: Sunstorm and Klei (1979)

3.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

3.8.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอกติเวเตดซลิคา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

3.8.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

3.8.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน(เรซิน, resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

3.8.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีเลียม ไคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เถาเกล็ดดำ เป็นต้น

3.8.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

4. วัสดุที่ทำการศึกษา

4.1 ปาล์ม

4.1.1 ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์

- ปาล์มน้ำมัน OIL PALM, AFRICAN OIL PALM
- ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis Guineensis* jacq.
- อยู่ในวงศ์ ARECACEAE หรือ PALMAE
- ชื่ออื่น มะพร้าวลิง มะพร้าวหัวลิง หมากมัน (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ปาล์ม นับเป็นพืชวงศ์ใหญ่ที่สุด (รองจากหญ้า) ทั้งในแง่จำนวนของชนิด และปริมาณที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ จำแนกได้กว่า 210 สกุล และราว 3,800 ชนิด เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่แยกกิ่งก้านสาขา พืชจำพวกปาล์มนี้มีร่องรอยในซากดึกดำบรรพ์ที่เก่าแก่ถึงประมาณ 80 ล้านปีมาแล้ว

ปัจจุบันนี้เราพบปาล์มได้ในหลากหลายพื้นที่ทั่วโลกอันเนื่องจากปาล์มสามารถเติบโตในสภาพภูมิอากาศที่หลากหลาย แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นพืชพื้นเมืองในเขตร้อน และถึงเขตร้อนก็ตาม แต่ปาล์มสามารถเติบโตได้ตั้งแต่ละติจูด 30 องศาเหนือ ลงมาจนถึงละติจูด 30 องศาใต้ ปาล์มที่พบในเขตเหนือสุด คือปาล์มพัตยุโรป (*Chamaerops humilis*) ซึ่งเติบโตในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และแอฟริกาตอนเหนือ ส่วนปาล์มที่พบตอนใต้สุด คือปาล์มนิเกา (*Rhopalostylis sapida*) ที่พบในนิวซีแลนด์ และหมู่เกาะแซนธอมปาล์มก็ยังเติบโตบนพื้นที่สูงถึง 3,000 เมตร (บนเทือกเขาแอนดิส) ส่วนที่แห้งแล้งอย่างทะเลทราย (อินทผลัม) และที่ชื้นแฉะ ก็ยังเป็นที่ยึดอาศัยส่วนใหญ่ของปาล์มหลากหลายชนิด (เช่น จาก ชิด สาธุ) ปาล์มส่วนใหญ่มีลักษณะเฉพาะที่เด่นชัด กล่าวคือลำต้นเป็นข้อ มีใบบนยอดเพียงที่เดียว ไม่แตกกิ่งก้าน มีก้านใบที่ยาวและใหญ่ ลักษณะใบแตกต่างกัน แต่ก็ไปรวมกลุ่มกันที่ปลายก้านที่เดียว แต่ก็ยังมีปาล์มอีกหลายชนิดที่ไม่ได้มีลำต้นสูงพื้นดิน แต่ก็มีลักษณะใบแบบปาล์ม ทลายปาล์มส่วนมากมีลักษณะลำต้นเดี่ยว งอกขึ้นจากพื้นดินเดียว ไม่แตกหน่อ หรือแตกกิ่ง เช่น มะพร้าว หมากรูด ปาล์มน้ำมัน ตาล เป็นต้น และยังมีปาล์มอีกหลายชนิดที่มีลำต้นเดี่ยวแต่มีการแตกกอขึ้นในที่ใกล้กันจึงปรากฏเป็นกอใหญ่ เช่น หมากรูด หมากรูดเหลือง ปาล์มไฟ ส่วนปาล์มที่มีขนาดเล็ก นิยมปลูกเป็นไม้ประดับนอกจากลักษณะเด่นทั้งสองแล้วยังมีลำต้นที่แตกกิ่งเช่นปาล์มกิ้ง (*Hyphaene thebaica*) นับว่ามีลักษณะที่โดดเด่นจากปาล์มชนิดอื่นๆ มากทีเดียว ส่วนปาล์มที่มีขนาดเล็กจะมีลำต้นอยู่ใต้ดิน เช่น กระจัง หรือลำต้นทอดไปตามพื้นดิน เช่น จาก และลำต้นเป็นเถาเลื้อย ปาล์มส่วนใหญ่จะมีต้นสูง สามารถแบ่งเป็นสามส่วน คือเรือนยอด (crown) ตั้งแต่ก้านใบขึ้นไปคือยอด (Crownshaft) อยู่ระหว่างลำต้น และพุ่มใบ และส่วนลำต้น (trunk) ตั้งแต่โคนขึ้นมาจนถึงคอ ข้อหรือวงแหวนรอบลำต้นนั้น นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญอย่างหนึ่งของปาล์ม ซึ่งเกิดจากการร่วงหลุดของก้านใบ บางชนิดเมื่อร่วงแล้วลำต้นเกลี้ยง บางชนิดแม้ใบจะเหี่ยว แต่ก้านใบก็ไม่หลุดเสียเลยทีเดียว ปาล์มบางสกุลมีลำต้นที่อ้วนป่องตรงกลาง (ปาล์มขวด, ปาล์มแซมเปญ) มีการสะสมน้ำไว้ในลำต้นขณะที่ปาล์มขนาดเล็กบางชนิดมีรากพันที่ลำต้น (จิ้ง, เกราะยา)

4.2 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชในสกุลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว อินทผลัม และตาลโตนด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeisguineensis Jacq* เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาและนำมาปลูกในแถบเอเชียราวปีพ.ศ.2391 ที่ประเทศอินโดนีเซีย และทำการค้าในปี พ.ศ.2454 ต่อมาก็ปลูกในประเทศมาเลเซียในพ.ศ.2460 และแพร่หลายอย่างกว้างขวาง จนปัจจุบันมาเลเซียเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยในประเทศไทยการปลูกปาล์มน้ำมันจะปลูกในเขตภาคใต้ของประเทศ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ชอบอากาศเขตร้อนที่มีฝนตกชุก มีความชื้นสูง

เป็นที่ราบใกล้ชายฝั่งทะเล เนื้อดินสมบูรณ์ไม่มีน้ำขัง อากาศถ่ายเทได้ดี โดยนำมาปลูกครั้งแรกใน จังหวัดสงขลาและปลูกเป็นลักษณะเชิงการค้าครั้งแรกที่อำเภอปลายพระยา จังหวัดกระบี่ และหลังจากนั้นปาล์มน้ำมันก็เป็นที่รู้จักของเกษตรกรในจังหวัดกระบี่และจังหวัดใกล้เคียง ต่อมามีการ ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นในหลายๆจังหวัด ปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตได้หลังจากการปลูกประมาณ 3-4 ปี ผลผลิตมีสูงสุดในปีที่ 9 กล่าวคือจะสามารถให้ผลปาล์มประมาณ 3,500 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจไปจนถึง ปีที่ 25 -30 ต่อไปจะให้ผลไม่คุ้มค่าแม้จะมีอายุยืนยาวไปถึง 50 - 60 ปีก็ตาม

4.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับมะพร้าว ตาล จาก และระกำ พันธุ์ปาล์มที่นิยมปลูกกันอยู่ทั่วไปคือ พันธุ์เทนอร์รา ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมที่ได้มาจากการผสมข้าม ระหว่างพันธุ์รูราและพันธุ์ฟิลิเฟอร์รา (DxP) ซึ่งมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์โดยทั่วไปเป็นดังนี้

- ราก ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย (fibrous root system) ลักษณะจะ แยกประสานไปมาอย่างหนาแน่น ในจำนวนรากที่มีอยู่เกือบทั้งหมดจะเจริญอยู่ตามแนวนอนใน ระดับใกล้ผิวดินที่มีความลึกประมาณ 2 เมตร ขนาดส่วนฐานของลำต้นเป็นรากใหญ่ที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-6 มิลลิเมตร ในต้นที่สมบูรณ์และเจริญเติบโตดี รากชุดนี้จะมีความยาว ได้ถึง 5 เมตร รากชุดที่ 2 เป็นรากที่แตกออกจากรากชุดแรก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-4 มิลลิเมตร รากชุดที่ 3 จะแตกออกจากรากชุดที่ 2 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.5 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และรากชุดที่ 4 จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 มิลลิเมตร ยาว 1-4 เซนติเมตร ที่งอกออกจากรากชุดที่ 3 ในบางครั้งจะเห็นต้นปาล์มน้ำมันมีรากแตกออกจาก โคนส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินด้วย หรือที่เรียกว่ารากพิเศษหรือรากอากาศ (Adventical root) ราก เหล่านี้จะมีส่วนช่วยในการหาอาหาร หายใจ และยึดลำต้นให้แข็งแรงเพิ่มขึ้น

- ลำต้น เป็นลำต้นเดี่ยวตั้งตรง ภายในประกอบไปด้วยเส้นใย ไม่มีเนื้อเยื่อเจริญ จึงมักพบว่าหากลำต้นของปาล์มเกิดมีบาดแผล จะไม่มีเนื้อไม้งอกขึ้นมาแทนที่ ขณะเดียวกัน หาก ส่วนยอดของปาล์มถูกทำลายจะด้วยเหตุใดก็ตามจะเป็นเหตุทำให้ต้นนั้นตายได้ง่าย เนื่องจากต้น ปาล์มจะมีเนื้อเยื่อเจริญอยู่ที่บริเวณยอดเพียงจุดเดียว ลำต้นของปาล์มน้ำมันจะเจริญเติบโตให้เห็นได้ ครั้งแรกหลังจากปลูกไป 3 ปี การพัฒนาในส่วนของลำต้นจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ภายในระยะเวลา 1 ปี ลำต้นจะมีความสูงเพิ่มขึ้นเพียง 14-18 เซนติเมตร ตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม อากาศ

และพันธุ์กรรม การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันตามปกติในสภาพที่เป็นป่าอาจมีความสูงถึง 30 เมตร แต่การปลูกปาล์มที่เป็นแบบไร่เพื่อเป็นการค้า ส่วนใหญ่ต้องการความสูงเพียงประมาณ 15-20 เมตร เท่านั้น

- ใบ การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันในระยะช่วง 3 ปีแรก จะมีการเจริญเติบโตทางด้านข้างก่อน คือ จะเกิดมีการสร้างใบใหม่ขึ้นมาเรื่อย ๆ ต่อเมื่อมีอายุหลังจาก 4 ปีไปแล้ว การเจริญเติบโตทางด้านข้างก็คงที่จะมีการเจริญการด้านลำต้นหรือความสูงต่อไป ลักษณะของการเกิดใบหรือทางใบของปาล์มน้ำมัน จะเกิดเรียงหมุนเวียนไปรอบลำต้น จะเป็นทางซ้ายหรือขวาก็ได้ ใบของปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะคล้ายกับใบของมะพร้าว เป็นรูปขนนก ในแต่ละทางใบจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนก้านทางใบ ส่วนนี้มีความยาวประมาณ 2-5 เมตร และส่วนของใบย่อยซึ่งจะติดอยู่ทั้งสองข้างของก้านทางใบในลักษณะตรงข้ามกันมีจำนวนประมาณ 100-160 คู่ต่อหนึ่งทางใบ ใบย่อยที่อยู่บริเวณส่วนกลางของก้านทางใบ อาจยาวถึง 90 เซนติเมตร และกว้าง 4-6 เซนติเมตร การสร้างทางใบตามปกติของปาล์มน้ำมันจะมีอยู่ประมาณ 20-39 ทางใบต่อต้นต่อปี ในต้นที่ปลูกเป็นการค้ามักจะเหลือทางใบไว้ประมาณ 40-50 ใบต่อต้น การจะไว้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับอายุ การตัดแต่ง และระยะปลูกที่เหมาะสม เป็นต้น

- ช่อดอก ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน อยู่คนละดอกแต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monokioecious) ทั้งช่อดอกตัวผู้และดอกตัวเมียโดยทั่วไปจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ส่วนของดอกตัวผู้จะมีสีขาวหม่นขนาดความยาวประมาณ 3-6 มิลลิเมตร กว้าง 2 มิลลิเมตร ดอกตัวเมียมีสีขาวยาวประมาณ 14 มิลลิเมตร กว้าง 8 มิลลิเมตร ส่วนของดอกในระยะแรกจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ 2 ชั้น เมื่อดอกเจริญขึ้นเยื่อที่หุ้มก็จะแตกออกประมาณ 2 อาทิตย์ก่อนที่จะดอกจะบาน จุดกำเนิดของดอกปาล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นบริเวณใจกลางของโคนใบทุกใบ ในปีหนึ่งๆ ของปาล์มแต่ละต้นจึงสามารถที่จะเกิดช่อดอกได้โดยเฉลี่ยประมาณ 10-15 ช่อดอก ปาล์มแต่ละต้นจะมีการออกดอกเป็นชุดๆ ติดต่อกัน อาจจะเป็นชุดของดอกตัวผู้หรือตัวเมียออกก่อนก็ได้ ในต้นที่มีตัวเมียออกก่อนเป็นชุดแรกก็มักจะออกอยู่ได้นานถึง 3 เดือน และเว้นช่วงไปอีก 3 เดือน จึงมีดอกตัวผู้เริ่มออกเป็นชุดที่สองซึ่งจะใช้เวลาเกือบเท่าๆ กัน ดังนั้นการเกิดช่อดอกตัวผู้และดอกตัวเมียของปาล์มน้ำมันในต้นเดียวกันจะไม่พร้อมกัน และต้องอาศัยการผสมพันธุ์โดยการผสมข้ามต้น มีพวกลมและแมลงเป็นตัวชักนำ

- ผลหรือทะลาย ในปาล์มน้ำมันหนึ่งทะลายจะประกอบไปด้วย ก้านทะลาย ช่อทะลายย่อย และผล หลังจากที่ช่อดอกตัวเมียได้รับการผสม จากนั้นประมาณ 5-6 เดือน ทะลายปาล์มน้ำมันก็จะให้ผลสุก ในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นการค้า ส่วนใหญ่จะมีความต้องการทะลายปาล์มที่มีน้ำหนัก 10-25 กิโลกรัม ผลปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในประเภทผลไม้ที่ไม่มีเมล็ดแข็ง ไม่มีก้าน รูปร่างของผลมีหลายแบบตั้งแต่รูปรียาวเหลื่อมไปจนถึงรูปไข่ยาวรี ในแต่ละผลจะประกอบด้วย เปลือกนอกเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดที่มีชั้นของเนื้อเยื่อ epidermis บางเรียบสีเหลืองอมแดง ชุ่มน้ำมันประกอปกันอยู่ ส่วนที่สองเป็นกะลา หรือชั้น endocarp และส่วนสุดท้ายคือเนื้อใน ซึ่งมีจำนวน 1-4 อัน แต่ละเนื้อจะมีดินอ่อนอยู่ 4 ดัน (จิรวัดน์และณาคยาณี, 2549)

4.2.2 พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด โดยพิจารณาจากลักษณะของผลคือความหนาของกะลาในผลปาล์มเป็นลักษณะสำคัญ เพื่อแยกความแตกต่างในแต่ละพันธุ์

- พันธุ์คูรา (Dura) ลักษณะของผลมีเปลือกชั้นนอกบาง มีกะลาหนา ล้อมรอบเนื้อเยื่อในเมล็ด ในประเทศมาเลเซียส่วนใหญ่เป็นพวก Deli dura ซึ่งแตกต่างไปจาก African dura ตรงที่ผลมีความหนาของเปลือกชั้นนอกมากกว่า ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมปลูกกันมากนัก เพราะให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

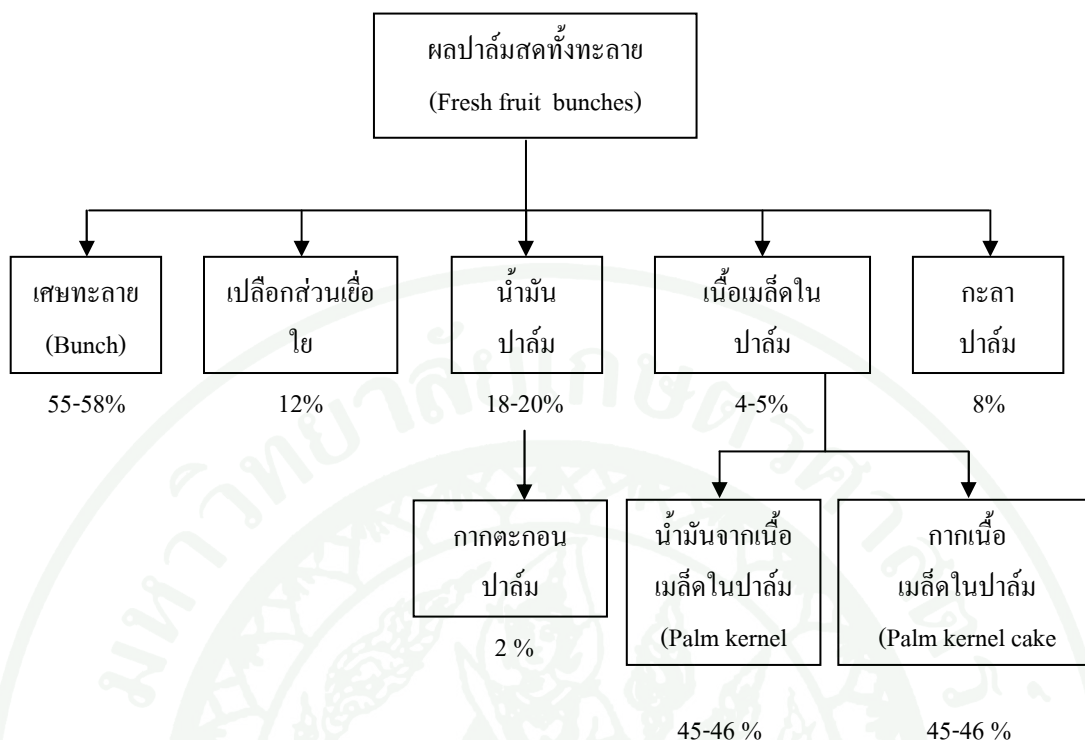
- พันธุ์ฟิสิเฟอรา (Pisitra) ลักษณะของผลมีเปลือกชั้นนอกหนา กะลาที่ล้อมรอบเนื้อเมล็ดในบาง เนื้อเมล็ดในมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพันธุ์คูราและเทนเอร่า ปัจจุบันไม่นิยมปลูกเป็นการค้า เพราะพันธุ์ฟิสิเฟอราให้จำนวนทะลายต่อต้นน้อยเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การฟ่อของดอกตัวเมียสูง

- พันธุ์เทนเอร่า (Tenera) ลักษณะของผลมีเปลือกชั้นนอกหนา กะลาบาง มีจำนวนทะลายต่อต้นมากกว่าพันธุ์คูรา แต่ขนาดของทะลายเล็กกว่า ความหนาของกะลาที่แตกต่างไปจากพันธุ์คูรา จะสังเกตได้จากการพบวงแหวนของเส้นใยในเปลือกชั้นนอกที่ล้อมรอบกะลาในผลปาล์มพันธุ์เทนเอร่า แต่ไม่พบในพันธุ์คูรา เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันเป็นการค้าทั่วโลก เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักทะลายสูงถึงประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดพันธุ์เทนเอร่าที่ผลิตได้ในปัจจุบันกระทำโดยการผสมพันธุ์ระหว่างการใช้ละอองเกสรตัวผู้จากพันธุ์ฟิสิเฟอราเป็นต้นพ่อ ผสมกับดอก

ตัวเมียของพันธุ์คูราเป็นต้นแม่ (DxP) นอกจากนี้ยังมีวิธีการขยายพันธุ์โดยใช้เทคนิคการเลี้ยงเนื้อเยื่อจากส่วนของราก ยอดอ่อน และช่อดอกให้เป็นต้นกล้าปาล์มได้ (เกษมและทวี, 2520)

4.3 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มสด

ทะลายปาล์มสด (fresh fruit bunch-FFB) ซึ่งเป็นผลผลิตจากต้นปาล์ม (รูปที่ 2.10) จะประกอบด้วยทะลายปาล์มเปล่า (Bunch) และผลปาล์ม (fruit) ภายในผลจะประกอบด้วยส่วนของชั้นเปลือก (mesocarp) ในชั้นนี้จะมีน้ำมัน เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (Palm oil) จากชั้นเปลือกจะมีกะลา (shell) หุ้มเมล็ดในอยู่ ภายในเมล็ดจะมีน้ำมันอีกชั้นหนึ่งเรียกว่าน้ำมันเมล็ดใน (kernel oil) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างไปจากน้ำมันปาล์ม (ตารางที่ 2.3) ปริมาณน้ำมันจากเปลือกซึ่งเป็นตัวที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงสุดนั้น จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามอายุของปาล์ม พันธุ์ปาล์ม ตลอดจนการดูแลรักษา ในกรณีที่ปาล์มมีอายุน้อย ปริมาณน้ำมันจากเปลือกก็จะน้อยด้วย (อรรถน์และศิริชัย, 2545)



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณของผลผลิตและผลพลอยได้จากการสกัดปาล์มน้ำมัน

ที่มา: จิรวัดน์ และ ณาตยาณี (2549)

4.4 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทย

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยนั้นมีการผลิตเป็นรายแรกเมื่อปี พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกระบี่ต่อมาโรงงานก็ได้ขยายจำนวนขึ้นตามปริมาณวัตถุดิบที่เพิ่มมากขึ้น โรงงานทั้งหมดแยกตามลักษณะการผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มชนิดแยก คือจะผลิตน้ำมันปาล์มจากเนื้อและแยกเมล็ดในออกไปกะเทาะและส่งให้โรงงานอื่นต่อไปโรงงานนี้จะเป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่ มีกำลังผลิตระหว่าง 10 – 60 ตันต่อชั่วโมง ใช้เงินทุนในส่วนเครื่องจักรตั้งแต่ 10 ล้านบาทขึ้นไป ส่วนใหญ่จะได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และมักมีสวนปาล์มเองด้วยเพื่อจะได้มีวัตถุดิบไว้รองรับจำนวนหนึ่ง น้ำมันที่ได้มีคุณภาพดีมีสิ่งเจือปนน้อย

2) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มชนิดรวม ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตประมาณวันละ 5 ตันผลปาล์มสด เงินทุนจดทะเบียนอยู่ระหว่าง 0.10 – 1.50 ล้านบาท และเงินทุนในสินทรัพย์ระหว่าง 1 – 5 ล้านบาท ใช้คนงานมากโดยเฉพาะการสับทลายเพื่อแยกลูกปาล์ม เครื่องจักรมีไม่มาก ที่สำคัญคือเครื่องบีบอัดความดันสูงที่จะบีบเอาน้ำมันปาล์มออกจากทั้งเนื้อปาล์ม และเมล็ดในปาล์ม

4.4.1 ผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

- 1) ทะลายปาล์ม - ถูกแยกหลังจากถูกรอบนึ่งแล้ว มีประมาณร้อยละ 55-58 ของปาล์มทั้งทะลาย
- 2) กากเยื่อใยปาล์ม - เป็นส่วนเปลือกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้ว ร้อยละ 12
- 3) กากเมล็ดปาล์มน้ำมัน - เป็นกากปาล์มที่ใช้เมล็ดโดยไม่แยกกะลาหรือกากเนื้อในเมล็ดปาล์มออก ซึ่งมีทั้งกะลาและเนื้อปาล์ม
- 4) เนื้อในเมล็ดปาล์ม - เป็นส่วนที่แยกเปลือกและกะลาออกแล้วมีประมาณ 4-5 %
- 5) กากผลปาล์ม - ประกอบด้วยเปลือกนอก กะลา และเนื้อในของเมล็ด
- 6) กะลาปาล์ม - ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานมีประมาณ 8 %
- 7) กากตะกอนปาล์ม - เป็นของเหลือที่เป็นของเหลวจากโรงงานปาล์มน้ำมัน

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนวนดี (2546) ศึกษาถึงการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายเซลล์เดียว งานวิจัยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยง โดยเพิ่มหน่วยบำบัดเข้าไปในบ่อ โดยนำคลอเรลลาซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่พบทั่วไปในบ่อเลี้ยงกุ้งมาใช้ในการบำบัดในโตรเจนในน้ำ ศึกษาอัตราส่วนของระยะเวลาที่รับแสงต่อระยะเวลาที่ไม่ได้รับแสงและเวลารับแสงที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด โดยทำการศึกษาการบำบัดใน 4 ขนาด คือ 50 มิลลิลิตร 40 ลิตร 200 ลิตร และ 10 ลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาพบว่า อัตราจำเพาะของการใช้แอมโมเนียของการทดลองในระดับห้องทดลองในขนาด 50 มิลลิลิตร 240 ลิตร และ 10 ลูกบาศก์เมตร ให้ผลลักษณะเดียวกัน คือ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม L/D ratio สูงขึ้นแต่จะลดลงถ้า L/D ratio มีค่าสูงเกินไป ค่าอัตราการใช้แอมโมเนียจำเพาะที่สูงที่สุดในการทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร 240 ลิตร และ 10 ลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 0.707 0.980 และ 0.060 mg-N/mg-chl a /hr ตามลำดับ โดยการทดลองในระดับห้องทดลอง 50 มิลลิลิตร ในขนาด 240 ลิตร และ 10 ลูกบาศก์เมตร ให้ระยะเวลารับแสง และ L/D ratio ที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเป็น 5 นาที และ 1/3 ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ photobioreactor ขนาด 40 ลิตร ซึ่งส่วนที่ได้รับแสงมีความลึกต่ำกว่า พบว่า ระยะเวลารับแสง และ L/D ratio ที่น้อยกว่า สามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีเทียบเท่ากับการทดลองข้างต้น ดังนั้น การควบคุมและการบ่งชี้เงื่อนไข เป็นปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดด้วยวิธีนี้

บุญยมาศ (2542) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งชุมชน โดยการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า ที่พีเอชต่างกัน มีผลให้ความสามารถในการกำจัดแอมโมเนีย และฟอสเฟตต่างกัน โดยที่พีเอช 7 มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ร้อยละ 96.08 และ 95.26 ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นและอัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าคอลัมน์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย และฟอสเฟตจะลดลง และเรซินใหม่และเรซินที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตไม่ต่างกัน

สุชาดา (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ ทำการทดลองหา pH ที่เหมาะสมของน้ำเสียสังเคราะห์ และขนาดที่เหมาะสมของหินภูเขาไฟแบบทีละเท หลังจากนั้น ศึกษาหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถังกรองแบบคอลัมน์ ที่ความสูงของหินภูเขาไฟ 30 และ 60 ซม. และอัตราการกรอง 0.4, 0.8 และ 1.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยใช้อัตราการกรอง และความสูงของหินภูเขาไฟที่เหมาะสม พบว่า หินภูเขาไฟ

เป็นหินบะซอลต์ ค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 7-8 และขนาดของหินภูเขาไฟที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.30 – 0.85 มม. จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของหินภูเขาไฟที่มีความสูงต่างกัน พบว่า ที่ระดับความสูงของหินภูเขาไฟที่สูงกว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้มากขึ้น ในทุกๆ อัตราการกรองประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้มากกว่า 95 % โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและสารอินทรีย์ที่ระดับความสูงหินภูเขาไฟ 60 ซม. เท่ากับ 96.8 % และ 60.8 ตามลำดับ

อุษา และคณะ (2543) ได้ทำการบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งด้วยซีโอไลต์ ทำให้ทราบว่าซีโอไลต์สามารถดูดซับแอมโมเนียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งได้ และถ้าเพิ่มระยะเวลาให้ซีโอไลต์ดูดซับแอมโมเนียได้เต็มที่ เมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียเพิ่มขึ้นด้วย

Aurelio and Thomas (1996) ได้ทดลองนําระบบ Floating bead filter และ Rotating biological contractor มาใช้ร่วมกันในการบำบัดแอมโมเนียทั้งหมด (total ammonia) และ ไนโตรที่จากน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาหมอเทศในอัตราหนาแน่น โดยมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า สามารถกำจัดแอมโมเนียทั้งหมดได้ในอัตรา 60.6 กรัมต่อวัน และกำจัดไนโตรที่ไนโตรเจนได้ในอัตรา 59.6 กรัมต่อวัน

Aiyuk et al. (2004) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนจากน้ำเสียชุมชน โดยการใช้คลินอฟไทโลไลต์ ซึ่งเป็นซีโอไลต์ตามธรรมชาติ พบว่า ขนาดซีโอไลต์ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1 – 2.5 มม. มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้ดีที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนขึ้นอยู่กับอัตราการไหล อัตราการไหลต่ำประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าอัตราการไหลสูง ประสิทธิภาพจะลดลง 95-47 % ตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และความจุของไอออนบวกในซีโอไลต์

Bouldin (1974) ศึกษาถึงกลไกการสูญเสียแอมโมเนียในโตรเจนจากแหล่งน้ำจืด โดยใส่แอมโมเนียในตรถลงในแหล่งน้ำ พบว่า แอมโมเนียจะเกิดการระเหยโดยตรงจากผิวน้ำ การระเหยโดยตรงจะอยู่ในช่วง 2 – 28 % ต่อวัน

Sujanee (2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้ทำการทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพ การทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวแบบฟลูนคลิซและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ด้วยอัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงของสารดูดซับ 0.30, 0.60, 0.90 และ 1.20 เมตร ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว มีค่าไอโอดีน 532.29 มิลลิกรัม/กรัม พื้นที่ผิว 492.4200 ตารางเมตร/กรัม การทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวแบบฟลูนคลิซโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 8.37 และ 5.52 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนการทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 2.45, 2.57, 2.69 และ 2.81 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 2.21, 2.45, 2.45 และ 2.70 มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.824 และ 9.830 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 486.45 มิลลิกรัม/กรัม มีพื้นที่ผิว 385.9073 ตารางเมตร/กรัม การทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวแบบฟลูนคลิซโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 2.53 และ 1.63 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ผลการทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวแบบฟลูนคลิซพบว่า สามารถดูดซับตะกั่วและปรอทได้ 50.18 และ 19.95 มิลลิกรัม/กรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ สามารถดูดซับตะกั่วได้ 3.83, 3.83, 3.75 และ 3.88 มิลลิกรัม/กรัม และดูดซับปรอทได้ 3.61, 3.83, 3.61 และ 3.72 มิลลิกรัม/กรัม ที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ที่ความเข้มข้นของตะกั่วและปรอทเริ่มต้น 9.853 และ 9.865 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 0.0001 กรัม รุ่น WB-0250003 บริษัท KERN & Sohn GmbH

1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 2 ละเอียด รุ่น WB-0250003 บริษัท Mettler Toledo รุ่น PB-1501

1.3 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)

1.4 pH Meter รุ่น 410 บริษัท Thermo Orion Co.,Ltd.

1.5 ตู้อบ (Oven) รุ่น OF-11E บริษัท JEIO TECH KOREA

1.6 เครื่องเขย่า (shaker) Orbit shaker รุ่น OM-S4050 บริษัท UMAC Scientific Co., Ltd.

1.7 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman

1.8 ตะแกรงร่อนขนาด 425 ไมครอน

1.9 เติสสิเคเตอร์ (Dessicator)

1.10 กรวยกรอง

1.11 โกร่งบดยา

1.12 เครื่องแก้วต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ที่ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด)

1.13 ชุดกรองประคิษฐ์ และภาชนะทรงกระบอกสำหรับบรรจุตัวดูดซับแบบต่อเนื่อง

1.14 ปั๊ม (Pump)

1.15 ถังตาข่ายในลอนสำหรับบรรจุตัวดูดซับ

2. สารเคมี

2.1 แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride, NH_4Cl) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

2.3 โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium Hypochloride, NaOCl) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

2.4 โซเดียมซาลิไซเลต (Sodium Salicylate, $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

2.5 โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium Nitroprusside, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท APS

2.6 น้ำกลั่น

2.7 กรดไฮโดรคลอริก 36-38 % (Hydrochloric, HCl) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Uni-chem

2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$)

1.1.1 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 0.9548 กรัม ด้วยน้ำกลั่น (de-ionized) และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

1.1.2 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) เข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากข้อ 1.1.1 มา 25.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จนถึงขีดบอกระดับ

1.1.3 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) เข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร จากข้อ 1.1.2 มา 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จนถึงขีดบอกระดับ

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไฮโปคลอไรด์ รีเอเจนท์ (Sodium Hydroxide - Sodium Hypochloride reagent) 250 มิลลิลิตร

นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 125 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 250.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 สารละลายโซเดียมซาลิไซเลต (Sodium Salicylate Solution)

ชั่งโซเดียมซาลิไซเลต 8.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.4 สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ (Sodium Nitroprusside Solution)

ชั่งโซเดียมไนโตรปริสไซด์ 0.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชา (เก็บได้นาน 1 เดือน)

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 100.0 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตรต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2 เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน

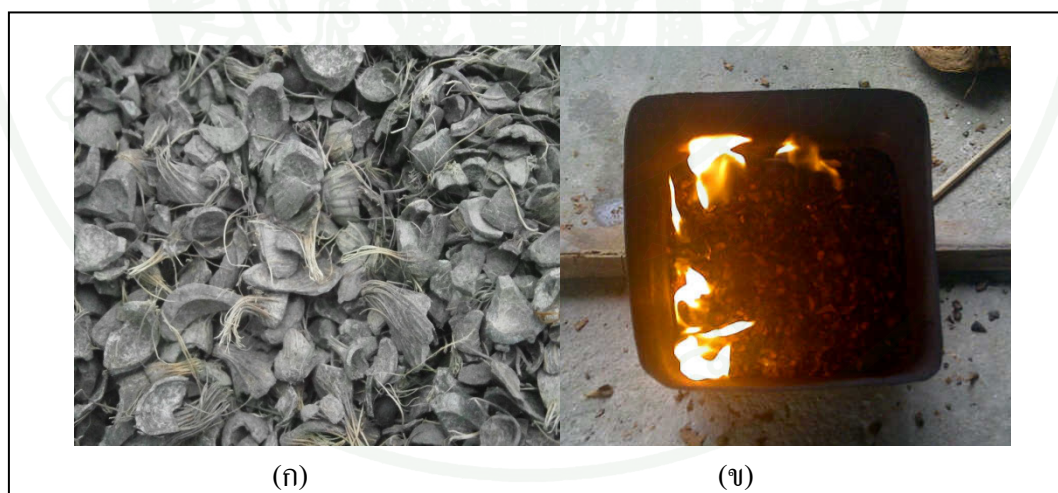
ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาตรในการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายที่ได้ มิลลิกรัม/ลิตร (ppm)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน $\text{NH}_3\text{-N}$ เข้มข้น 100 ppm ที่ใช้ มิลลิลิตร (ml)
5	2.5
10	5
15	7.5
20	10
25	12.5
30	15
35	17.5
40	20
45	22.5
50	25

ปิเปตสารละลายแอมโมเนีย แต่ละความเข้มข้นมา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100.0 มิลลิลิตร แต่ละใบเติมสารละลายโซเดียมซาลิไซเลต 1 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ 1 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไฮโปคลอไรด์ รีเอเจนท์ 5 หยด ทิ้งไว้ 15 นาที เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตร (ตัดแปลงจากวิธีฟินด์) เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 650 นาโนเมตร

3. การเตรียมตัวดูดซับถ่านกะลาปาล์ม

นำกะลาปาล์มตากแดดให้แห้ง เเผาแบบชาวบ้านโดยเผาในปิป ใส่เชื้อเพลิงเช่น ยาง เศษไม้ ไร่ด้านล่างปิป จุดไฟ จากนั้นค่อยๆเทกะลาปาล์มที่ตากแดดแห้งลงไป ในปิปที่ละน้อยๆ เเผาจนได้ ถ่านสีดำจะได้ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น (ภาพที่ 19) ก่อนใช้นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น เก็บในที่แห้งและมีฝาปิดมิดชิด ส่วนถ่านกะลาปาล์มแบบผงนำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นที่เผาได้ไปบดให้เป็นผง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน และอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น เก็บผงกะลาปาล์มที่ได้ในที่แห้งและมีฝาปิดมิดชิดไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป



ภาพที่ 19 กะลาปาล์มที่ยังไม่ได้เผา (ก) และวิธีการเผา (ข)



ภาพที่ 20 ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น

4. การวางแผนการทดลอง

4.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบเบ็ดเสร็จ

4.1.1 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับเบื้องต้น

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 กรัม ตามลำดับ ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 5.0 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย เช่นเดียวกับวิธีเตรียมกราฟมาตรฐานในข้อที่ 2 ทำการทดลอง 3 ครั้ง

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบ

ผง

4.1.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้น

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม (เป็นปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1.1) ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับพีเอชเป็น 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ตามลำดับ ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ปิเปตสารละลายแต่ละพีเอชที่กรองได้มาอย่างละ 5.0 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ทำการทดลอง 3 ครั้ง

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยใช้ปริมาณถ่าน 6 กรัม (เป็นปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1.1)



ภาพที่ 21 ปรับพีเอชของสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน

4.1.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชให้เท่ากับประสิทธิภาพการดูดซับ

แอมโมเนียสูงสุด (ที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1.2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 โดยแปรผันความเร็วรอบเป็น 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ตามลำดับ

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยใช้ปริมาณถ่าน 6 กรัม (เป็นปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1.1)

4.1.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเขย่า

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชและความเร็วรอบในการเขย่าให้เท่ากับประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียสูงสุด ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.3 โดยแปรผันระยะเวลาเขย่าเป็น 0, 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยใช้ปริมาณถ่าน 6 กรัม (เป็นปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1.1)



ภาพที่ 22 เครื่องเขย่าที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแอมโมเนีย

4.1.5 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมพัทธ์

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า และระยะเวลาเขย่า ให้เท่ากับประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียสูงสุด ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.4 โดยแปรผันระยะเวลาสัมพัทธ์เป็น 0, 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยใช้ปริมาณถ่าน 6 กรัม



ภาพที่ 23 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมพัทธ์

4.1.6 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นแอมโมเนีย

ชั่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น ปริมาตรต่างๆ กัน ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาเขย่า และระยะเวลาสัมพัทธ์ให้เท่ากับประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียสูงสุด ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.5 โดยแปรผันความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน $\text{NH}_3\text{-N}$ เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยใช้ปริมาณถ่าน 6 กรัม

4.1.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นและไอโซเทอร์มของการดูดซับแอมโมเนีย

ซึ่งถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม เดิมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้นที่ได้จากการศึกษาข้อ 4.1.6 ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ปรับพีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาเขย่า และระยะเวลาสัมผัสให้เท่ากับประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียสูงสุด ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.6 โดยแปรผันปริมาณถ่านเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ และนำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช

นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมาทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านกะลาปาล์มแบบผง

4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี มาวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ค่าความขุ่น ดีไอ บีโอดี และ ซีโอดี เป็นต้น



ภาพที่ 24 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัด (บ่อดกตะกอน) ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในน้ำตัวอย่างจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบแบตช์

ทำการทดลองปิเปตน้ำตัวอย่างมา 50.0 มิลลิลิตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียสูงสุดในแต่ละสภาวะของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนีย ทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง โดยใช้ชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ (customised filter) ที่บรรจุถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบผง

4.4.1 ทดลองกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

นำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร มาปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 ให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอกคาร์ทริดจ์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุถ่านกะลาปาล์มแบบผงจนเต็มกระบอก (ปริมาณ 540 กรัม) อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที และเก็บตัวอย่างแอมโมเนียที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 15 นาที และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียด้วยเครื่องยูวี – วิสibelสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 650 นาโนเมตร

4.4.2 ทดลองกับน้ำตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 และทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1



ภาพที่ 25 การศึกษาการดูดซับแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

4.5 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบผงที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ทำการทดลองโดยนำถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่ผ่านการใช้งานแล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่นนำไปแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง ตากให้แห้ง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นนำถ่านกะลาปาล์มแบบผง ที่ผ่านการฟื้นฟูมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายแอมโมเนีย เปรียบเทียบกับถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบดซ์และแบบชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย

4.6 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเพื่อการประยุกต์ใช้งานจริงกับน้ำตัวอย่างจากบ่อน้ำบาดาลของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ของถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบแผ่น

4.6.1 ทดลองกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

นำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 20 ลิตร มาปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 นำถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นปริมาณ 50,

100, 150, 200, 300, 400 และ 500 กรัม ตามลำดับ ใส่ในน้ำตัวอย่าง จากนั้นใช้ใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ปั่นจน นานเท่ากับระยะเวลาเขย่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.4 ตั้งทิ้งไว้ระยะเวลา สัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.5 นำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับแอม โมเนีย

4.6.2 ทดลองกับน้ำตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 และทำการ ทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.6.1 โดยเลือกปริมาณถ่านที่เหมาะสมจากข้อ 4.6.1



ภาพที่ 26 การศึกษาการประยุกต์ใช้งานจริงโดยการปั่นกวนด้วยใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์พัดลม

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของการจัดการน้ำทั้งเทศบาลเพชรบุรี

5.2 วิเคราะห์หาค่าร้อยละการดูดซับจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับด้วยวิธีการทดลองแบบเบคค์เพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

5.3 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแผ่น ในน้ำเสียจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ด้วยการทดลองแบบเบคค์

5.4 วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ) ที่ได้จากสถานะที่เหมาะสม และกลไกการดูดซับจากไอโซเทอร์มของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ (Freundlich Adsorption Isotherm and Langmuir Adsorption Isotherm) และสร้างไอโซเทอร์มของการดูดซับ

5.5 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับแบบคอลัมน์ของถ่านกะลาปาล์มและการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับด้วยชุดเครื่องกรองประดิษฐ์

6. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ระยะเวลาในการทดลอง

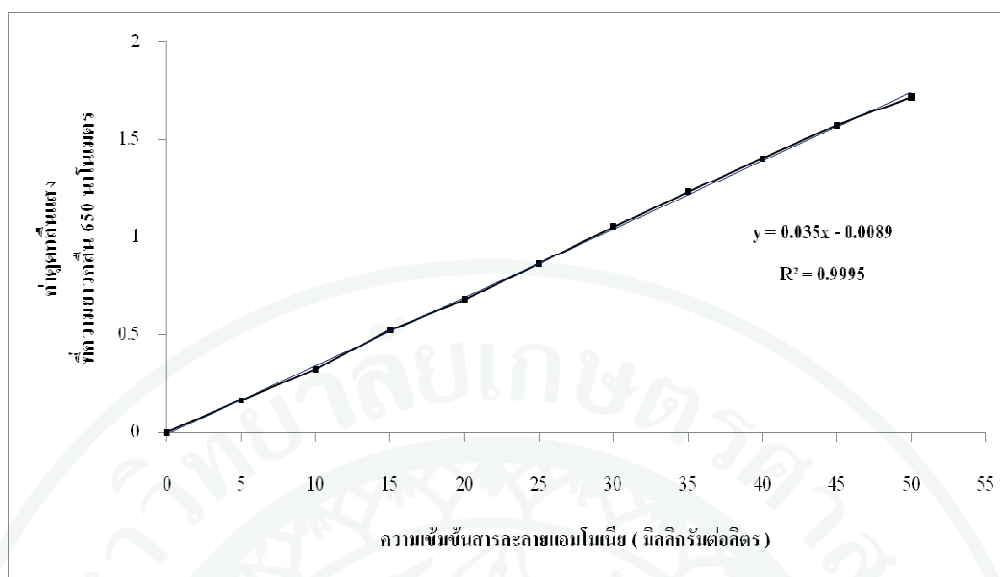
ระยะเวลาที่ทำการศึกษาทดลอง 12 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการดูดซับแอมโมเนียของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบแบตช์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับเบื้องต้น พีเอชเริ่มต้น (pH) ความเร็วรอบการเขย่า (mixing speed) ระยะเวลาเขย่า (shaking time) ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือระยะเวลาสัมผัส (contact time) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ปริมาณตัวดูดซับ และการวิเคราะห์หาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมถึงการทดลองการดูดซับและการฟื้นฟูตัวดูดซับผ่านชุดเครื่องกรองประติสร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง นำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หรือแหล่งน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย

จากการทดลองเตรียมกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 650 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี – วิสibelสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกนตั้ง) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย (แกนนอน) พบว่า สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้คือ $y = 0.035x - 0.0089$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) มีค่าเท่ากับ 0.9995 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.0200) ดังภาพที่ 27

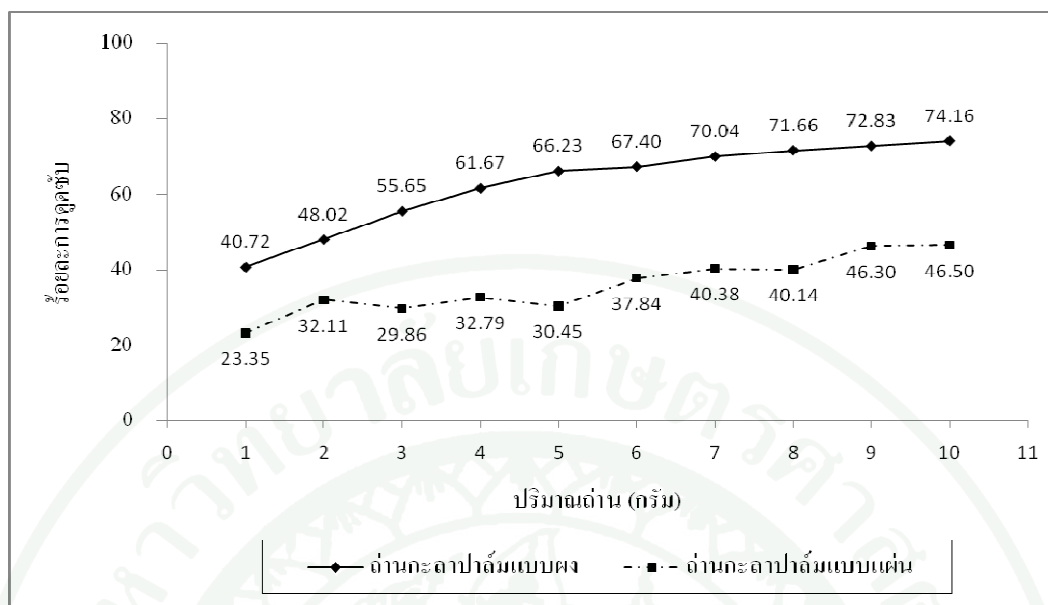


ภาพที่ 27 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบเบคซ์

2.1 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับเบื้องต้น

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.1 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ปริมาณถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุดคือร้อยละ 61.67 ดังภาพที่ 28 และตารางที่ 3 และที่ปริมาณ 6 กรัม ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น 6 กรัม สามารถดูดซับได้ร้อยละ 37.89 ดังภาพที่ 28 และตารางที่ 3



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับปริมาณถ่านเริ่มต้น

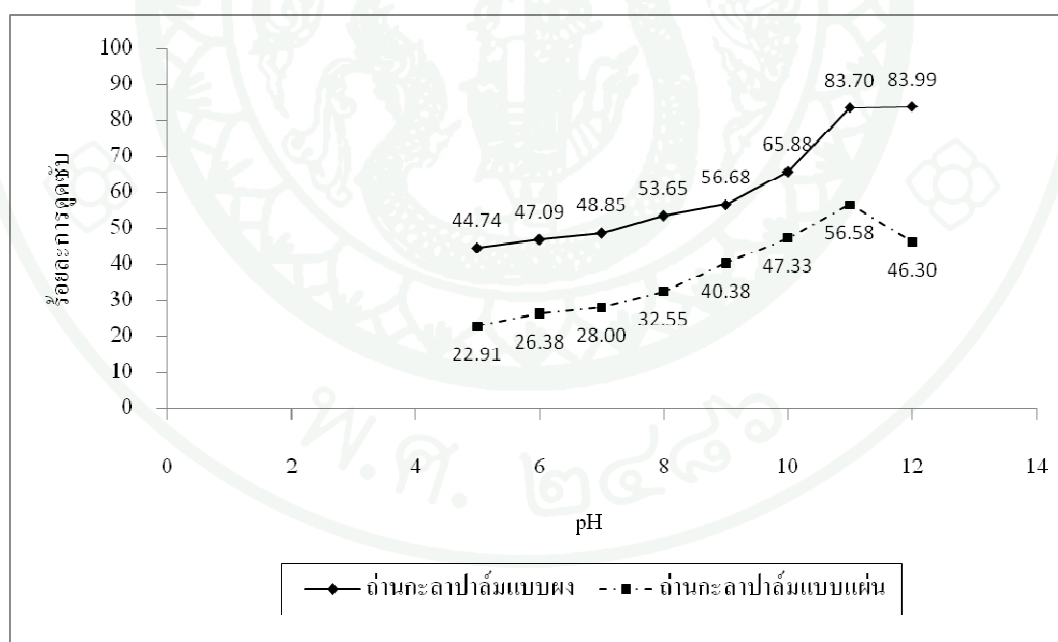
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
1	40.72	23.35
2	48.02	32.11
3	55.65	29.86
4	61.67	32.79
5	66.23	30.45
6	67.40	37.84
7	70.04	40.38
8	71.66	40.14
9	72.83	46.30
10	74.16	46.50

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกะลาปาล์มไม่ว่าจะเป็นชนิดผงหรือชนิดแผ่นทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเนื่องจากการเพิ่มปริมาณถ่านเท่ากับการเพิ่มพื้นที่ผิวในตัวดูดซับจึงทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันความเข้มข้นของแอมโมเนียเท่ากันในทุกปริมาณถ่าน ทำให้ร้อยละการดูดซับมีแนวโน้มคงที่ แต่ที่ทุกปริมาณตัวดูดซับ ถ่านกะลาปาล์มแบบผงให้ร้อยละการดูดซับสูงกว่าถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น นั่นคือ ถ่านกะลาปาล์มแบบผงมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าแบบแผ่น เนื่องจากแบบผงมีพื้นที่ผิวมากกว่าแบบแผ่น จึงสามารถดูดซับได้มากกว่าถ่านที่มีพื้นที่ผิวน้อย (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้น

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.2 โดยปรับพีเอชของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่พีเอชต่างๆ กัน คือ ตั้งแต่พีเอช 5 ถึง 12 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนีย ที่พีเอช 11 ทั้งถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นสามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงสุด คือ ร้อยละ 83.70 และ 56.58 ตามลำดับ ดังภาพที่ 29 และตารางที่ 4



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับค่าพีเอช

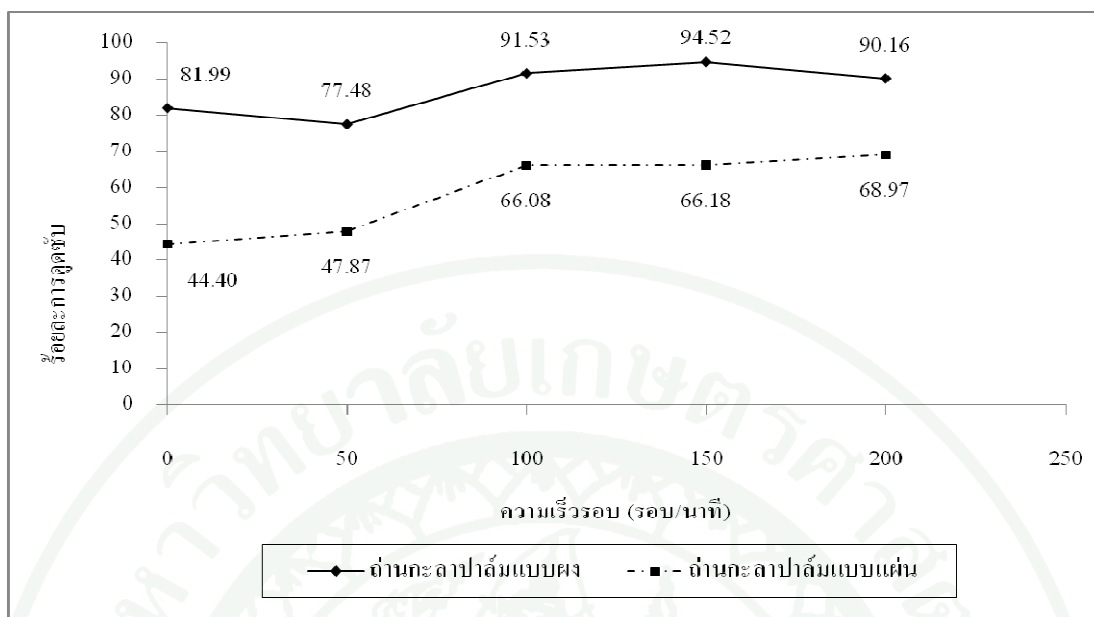
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับค่าพีเอช

พีเอช	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
5	44.74	22.91
6	47.09	26.38
7	48.85	28.00
8	53.65	32.55
9	56.68	40.38
10	65.88	47.33
11	83.70	56.58
12	83.99	46.30

อธิบายได้ว่าการดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวของตัวดูดซับ จากการทดลอง เนื่องจากในสถานะที่เป็นเบส แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีสภาพพื้นผิวแสดงอำนาจไฟฟ้าลบได้ดี (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.3 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มปาล์มแบบผงและแผ่น เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการเขย่า มีผลให้ร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นเพิ่มขึ้น โดยมีร้อยละการดูดซับที่เหมาะสมที่ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 100 รอบ/นาที เท่ากับ 91.53 และ 66.08 ตามลำดับ ดังภาพที่ 30 และตารางที่ 5



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของผ่านกะลาปาล์มแบบผุงและแบบแผ่นกับความเร็วรอบในการเขย่า

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของผ่านกะลาปาล์มแบบผุงและแบบแผ่นกับความเร็วรอบในการเขย่า

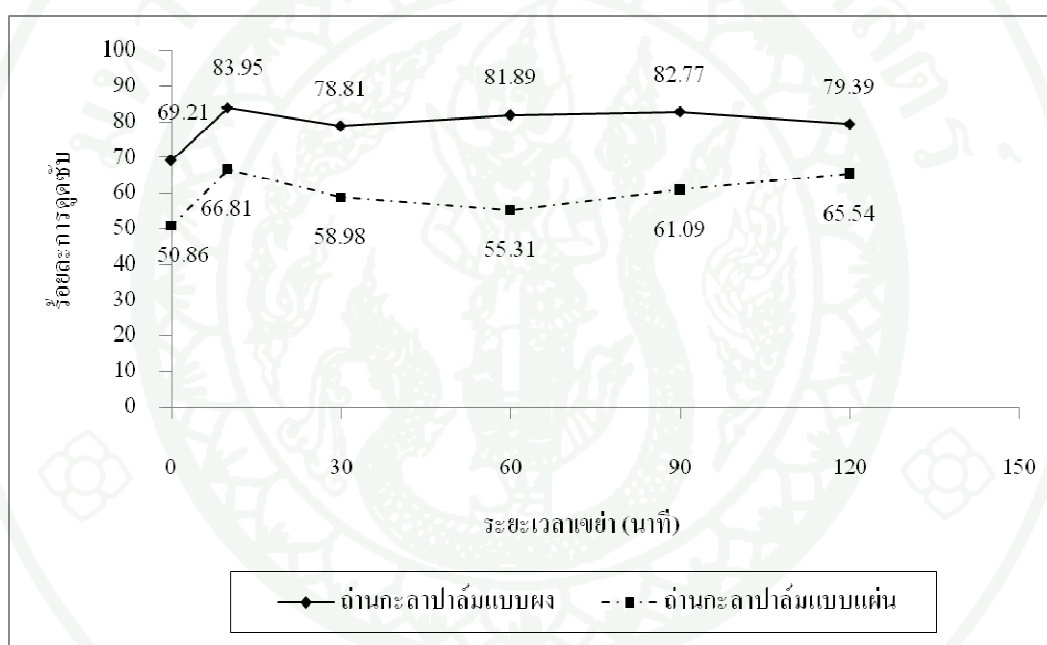
ความเร็วรอบในการเขย่า (รอบต่อนาที)	ร้อยละการดูดซับด้วย ผ่านกะลาปาล์มแบบผุง	ร้อยละการดูดซับด้วย ผ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
0	81.99	44.40
50	77.48	47.87
100	91.53	66.08
150	94.52	66.18
200	90.16	68.97

อธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการเขย่า มีผลให้ร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของผ่านกะลาปาล์มแบบผุงและแบบแผ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบของการเขย่า ทำให้โมเลกุลของแอมโมเนียเคลื่อนที่ได้มากขึ้น และทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มของน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับบางลง ทำให้แอมโมเนียเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น ขณะที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ตัวถูกดูดซับไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เมื่อความเร็วรอบเขย่ามากกว่าความเร็วรอบเขย่าที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุด (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเขย่า

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.4 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ผ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นที่ระยะเวลาปั่นกวน 10 นาที สามารถดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียได้สูงสุด โดยดูดซับได้ร้อยละ 83.95 และ 66.81 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียจะลดลง ดังภาพที่ 31 และตารางที่ 6



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของผ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาเขย่า

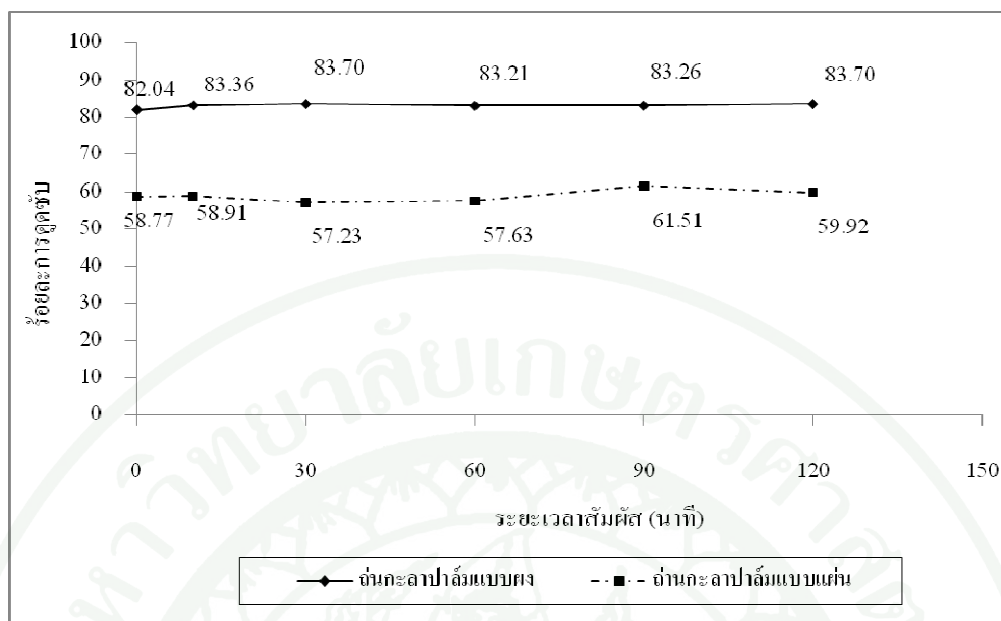
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาแช่

ระยะเวลาแช่ (นาที่)	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
0	69.21	50.86
50	83.95	66.81
100	78.81	58.98
150	81.89	55.31
200	82.77	61.09

อธิบายได้ว่าในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของตัวดูดซับมีพื้นที่มากทำให้มีอัตราการดูดซับมีมากขึ้น จนถึงระยะเวลานึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับจะลดน้อยลงถูกปกคลุมไปด้วยตัวถูกดูดซับ (แอมโมเนีย) ส่งผลให้อัตราการดูดซับมีประสิทธิภาพลดลง (นิพนธ์ และ คณิดา, 2550)

2.5 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัส

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.5 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นใช้ระยะเวลาในการแช่ไม่เท่ากัน โดยถ่านกะลาปาล์มผงให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 83.36 ที่ระยะเวลาสัมผัส 10 นาที และถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 61.51 ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ดังภาพที่ 32 และตารางที่ 7



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของอานกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาสัมผัส

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของอานกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับระยะเวลาสัมผัส

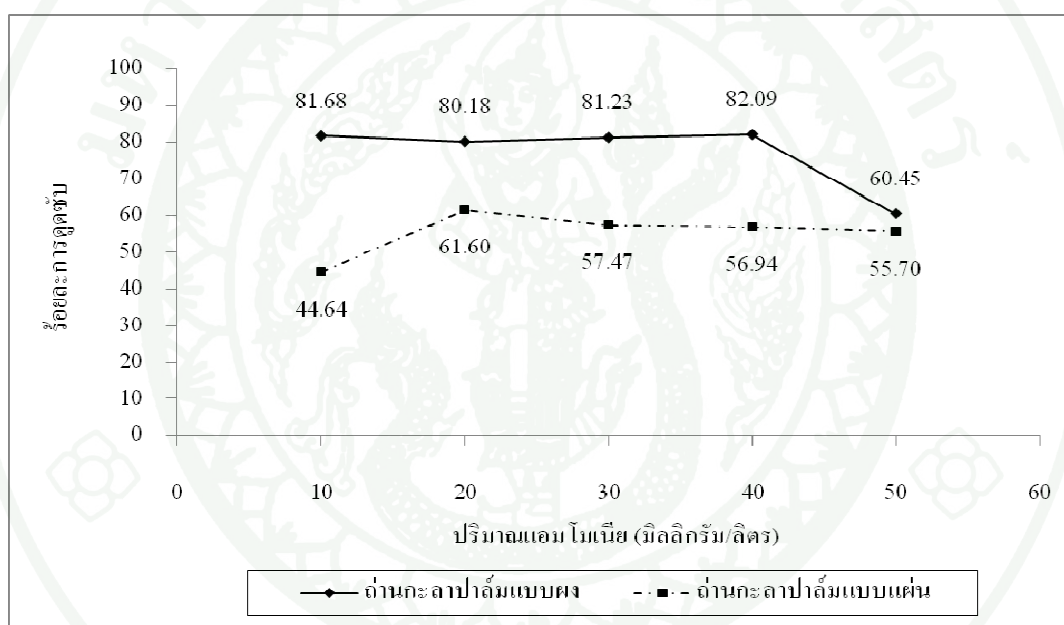
ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับด้วย อานกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย อานกะลาปาล์มแบบแผ่น
0	82.04	58.77
10	83.36	58.91
30	83.70	57.23
60	83.21	57.63
90	83.26	61.51

อธิบายได้ว่าอานกะลาปาล์มแบบผงใช้ระยะเวลาสัมผัสน้อยกว่าอานกะลาปาล์มแบบแผ่น เนื่องจากอานกะลาปาล์มแบบผงมีพื้นที่ผิวให้ตัวดูดซับสัมผัสและถูกดูดซับได้มากกว่าแบบแผ่น เมื่อระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวดูดซับมีระยะเวลาในการยึดเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับมากขึ้น หลังจากนั้นเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับก็จะคงที่และเริ่มลดลง เนื่องจากการดูดซับจะเริ่มเข้าสู่สมดุล (อัตราดูดซับ = อัตราคาย

การดูดซับ) ทำให้ตัวดูดซับเกิดการอิ่มตัวและเริ่มหมดสภาพมีผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่หรือลดลง (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.6 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นแอมโมเนีย

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.6 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นที่ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 40 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่ถ่านสามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 82.09 และ 61.60 ตามลำดับ ดังภาพที่ 33 และตารางที่ 8



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน

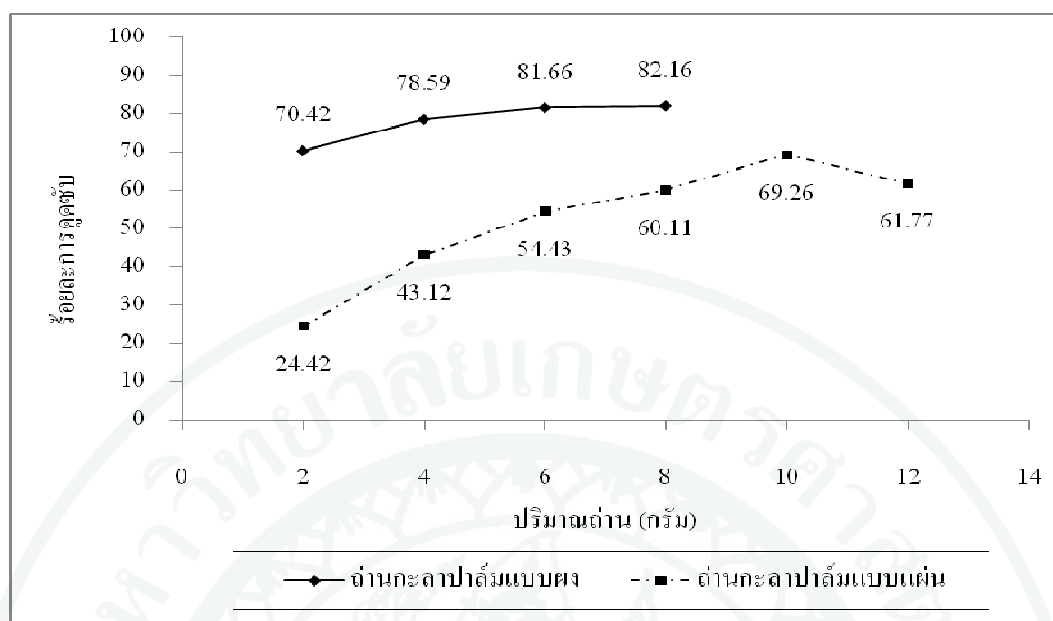
ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
10	81.68	44.64
20	80.18	61.60
30	81.23	57.47
40	82.09	56.94
50	60.45	55.70

อธิบายได้ว่าเนื่องจากกลไกการดูดซับเป็นการดูดซับแบบหลายชั้นหากพื้นผิวของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นเต็มพื้นผิวแล้วจะไม่สามารถดูดซับได้อีก จะให้ได้ว่าจากผลการทดลองที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เกินความเข้มข้นที่ให้ ร้อยละการดูดซับสูงสุดจะเริ่มคงที่และลดลง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำร้อยละการดูดซับสูงกว่าความเข้มข้นแอมโมเนียสูง ในขณะที่ปริมาณถ่านที่ใช้เท่ากันทุกความเข้มข้น เพราะที่ความเข้มข้นต่ำเมื่อถ่านดูดซับแอมโมเนียแล้วจะเหลือโมเลกุลของแอมโมเนียในสารละลายน้อย (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น และไอโซเทอร์มของการดูดซับแอมโมเนีย

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.7 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นที่น้ำหนัก 4 และ 10 กรัม ตามลำดับ เป็นน้ำหนักที่สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 78.59 และ 69.26 ตามลำดับ ดังภาพที่ 34 และตารางที่ 9



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับปริมาณถ่าน

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นกับปริมาณถ่าน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	ร้อยละการดูดซับด้วย ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
2	70.42	24.42
4	78.59	43.12
6	81.66	54.43
8	82.16	60.11
10	*	69.26
12	*	61.77

หมายเหตุ * เป็นค่าของถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่ไม่ได้ทำการทดสอบเนื่องจากค่าร้อยละการดูดซับมีค่าเริ่ม
คงที่

จากการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผง คือ สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ถ่านกะลาปาล์มแบบผง 4 กรัม ปรับพีเอช 11 ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 10 นาที และระยะเวลาสัมผัส 10 นาที มาทำการทดลอง 7 ซ้ำ พบว่าถ่านกะลาปาล์มแบบผงมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียได้ร้อยละ 74.13 (ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือ 10.63 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังตารางที่ 17 ซึ่งจากสมการที่ (3) คำนวณประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad qW = V(C_i - C_e) \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{แทนค่า} \quad q(4) = 0.05(40-10.63)$$

$$q = 0.37 \quad \text{มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น ถ่านกะลาปาล์มแบบผง 1 กรัม สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ 0.37 มิลลิกรัม

และจากการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น คือ สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ถ่านกะลาปาล์มแบบผง 10 กรัม ปรับพีเอช 11 ความเร็วรอบในการเขย่า 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 10 นาที และระยะเวลาสัมผัส 90 นาที มาทำการทดลอง 7 ซ้ำ พบว่าถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียได้ร้อยละ 65.68 (ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือ 6.93 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังตารางที่ 18 ซึ่งจากสมการที่ (3) คำนวณประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมได้ดังนี้

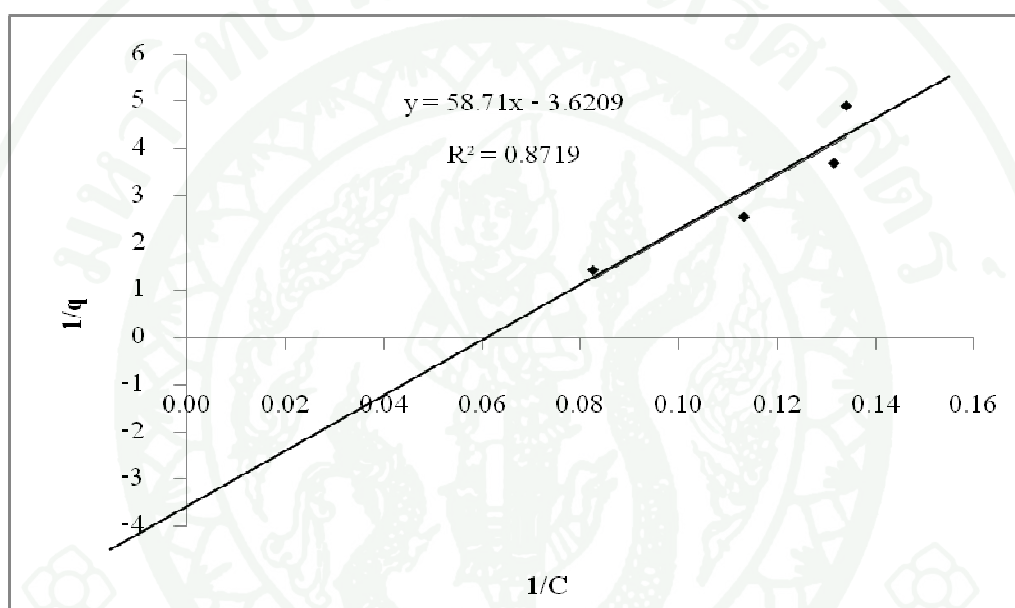
$$\text{จาก} \quad qW = V(C_i - C_e) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{แทนค่า} \quad q(10) = 0.05(20-6.93)$$

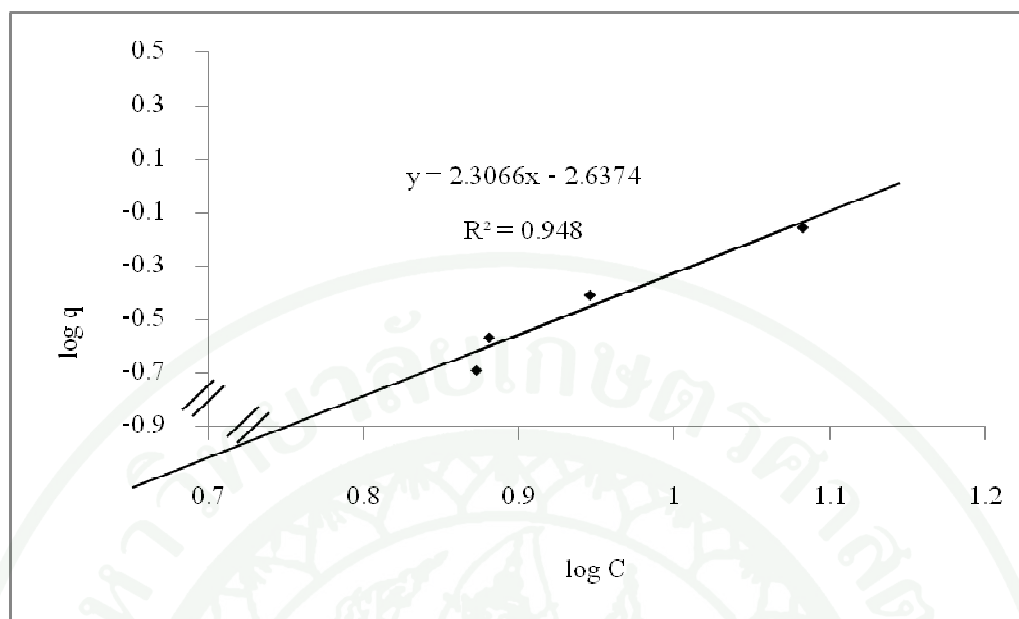
$$q = 0.07 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น 1 กรัม สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ 0.07 มิลลิกรัม

ไอโซเทอร์มในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ของถ่านกะลาปาล์มแบบผงเมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดิช จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 35 และภาพที่ 36



ภาพที่ 35 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของแลงเมียร์ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง



ภาพที่ 36 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของฟรูดิชด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง

จากผลการทดลอง พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแอมโมเนียและฟรูดิช มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับแอมโมเนียจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเท่ากับ 0.8719 และ 0.948 ตามลำดับ ซึ่งค่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรูดิชอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.2000) แต่ไอโซเทอร์มการดูดซับของแอมโมเนียไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นกลไกการดูดซับแอมโมเนียจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย จึงสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรูดิช โดยกลไกการดูดซับของฟรูดิช พื้นผิวบนตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด การดูดซับไม่สามารถบอกปริมาณของตัวถูกดูดซับ เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถเกิดการซ้อนทับกันได้ เมื่อตัวดูดซับถูกดูดซับไว้แล้ว จะเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับได้ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับอิ่มตัว

$$\text{สมการไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของแอมโมเนีย โดยทั่วไป คือ } q = \frac{q_m KC}{1 + KC}$$

นำมาเขียนใหม่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 12

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \dots\dots\dots(12)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 58.71 \frac{1}{C} - 3.6209 \dots\dots\dots(13)$$

จากสมการที่ (13) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 58.71 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ -3.6209 นั่นคือ

$$\begin{aligned} \frac{1}{q_m K} &= 58.71 \\ \frac{1}{q_m} &= -3.6209 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad K = -0.0617$$

จากไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่า ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวตัวดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบผง

สำหรับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของฟรุนดิช โดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ นำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึม ได้ดังสมการที่ 6

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots(14)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\log q = -2.6374 + 2.3066 \log C \dots\dots\dots(15)$$

จากสมการที่ (15) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ 2.3066 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ -2.6374 นั่นคือ

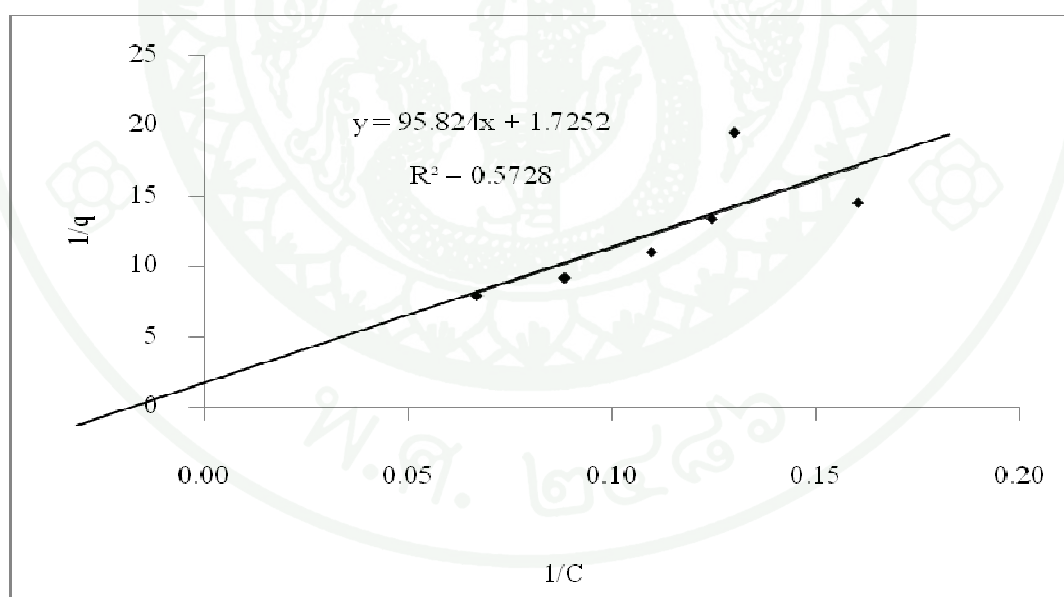
$$\log K = -2.6374$$

$$1/n = 2.3066$$

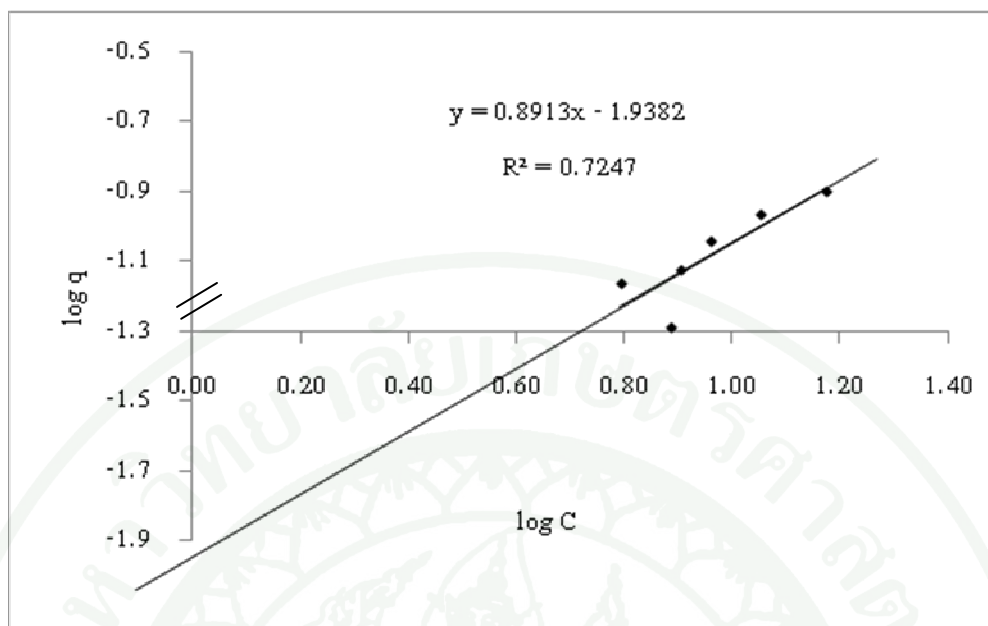
$$n = 0.4335$$

ไอโซเทอร์มจากสมการดูดซับของฟรุนดลิช พบว่า ค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงมีความจุของการดูดซับที่ดี นอกจากนี้ค่า n ยังใช้บอกความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ คือ ถ้าค่า n มากกว่า 1 หมายความว่า ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับไว้ได้มาก หรือ กล่าวว่า บริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ จากการทดลอง พบว่า ถ่านกะลาปาล์มแบบผงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในการดูดซับแอมโมเนียจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียได้

สำหรับไอโซเทอร์มในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ของ ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นเมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 37 และภาพที่ 38



ภาพที่ 37 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของแลงเมียร์ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น



ภาพที่ 38 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของฟรูดิชด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น

จากผลการทดลอง พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแกลงเมียร์และฟรูดิช มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับแอมโมเนียจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเท่ากับ 0.5728 และ 0.7247 ตามลำดับ ซึ่งค่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรูดิชและไอโซเทอร์มการดูดซับของแกลงเมียร์ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.2000)

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของแกลงเมียร์ โดยทั่วไป คือ $q = \frac{q_m KC}{1+KC}$

นำมาเขียนใหม่ในรูปของสามการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 11

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \quad \dots\dots\dots(16)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 95.824 \frac{1}{C} + 1.7252 \quad \dots\dots\dots(17)$$

จากสมการที่ (17) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 95.824 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ 1.7252 นั่นคือ

$$\frac{1}{q_m K} = 95.824$$

$$\frac{1}{q_m} = 1.7252$$

$$\text{ดังนั้น } K = 0.0180$$

จากไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่า ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวตัวดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น

สำหรับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแอมโมเนียของฟรุนดิช โดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ นำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึม ได้ดังสมการที่ 6

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{.....(18)}$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\log q = -1.9382 + 0.8913 \log C \quad \text{.....(19)}$$

จากสมการที่ (19) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 0.8913 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ - 1.9382 นั่นคือ

$$\log K = -1.9382$$

$$1/n = 0.8913$$

$$n = 1.1220$$

ไอโซเทอร์มจากสมการการดูดซับของฟรุนดิช พบว่า ค่า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงมีความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับต่ำ มีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับปริมาณจำกัดในการดูดซับ

พบว่า ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในการดูดซับแอมโมเนียจากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียได้

จากการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยการทำการทดลองแบบเบดซ์ พบว่า ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น จะมีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่ ปริมาณถ่าน 4 และ 10 กรัม ฟีเอชเท่ากับ 11 ความเร็วรอบการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่าเท่ากับ 10 นาที ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 และ 90 นาที ตามลำดับ โดยถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 74.13 และ 65.68 ตามลำดับ

3. การเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง

น้ำเสียที่นำมาทำการศึกษา เก็บจากน้ำเข้าบ่อดักตะกอนจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ฟีเอช, ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), ดีไอ (DO), ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), ไขมันและน้ำมัน, แอมโมเนีย เป็นต้น มีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากน้ำเข้าบ่อดักตะกอนจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำเสียน้ำเข้า (บ่อดักตะกอน)	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ผิวดิน ประเภท 3*
พีเอช	7.3	5 - 9
อุณหภูมิ (°C)	31.5	อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่า อุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	615	ไม่ได้กำหนด
ความเค็ม	0.1	ไม่ได้กำหนด
ความขุ่น (NTU)	40.67	ไม่ได้กำหนด

ตารางที่ 10 (ต่อ)

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำเสียน้ำเข้า (บ่อดกตะกอน)	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ผิวดิน ประเภท 3*
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	504	ไม่ได้กำหนด
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	68	ไม่ได้กำหนด
ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/l)	436	ไม่ได้กำหนด
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	18.4	4.0
บีโอดี (mg/l)	26.85	2.0
ซีโอดี (mg/l)	93.6	ไม่ได้กำหนด
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	0.17	ไม่ได้กำหนด
แอมโมเนีย (mg/l)	5 ถึง 7	0.5

หมายเหตุ * การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ โดยประเภทที่ 3 ได้แก่

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

4. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในน้ำตัวอย่างจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น ชนิดละ 7 ชั่วโมง โดยการทดลองแบบเบตซ์

จากการทดลอง ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผง ปริมาณ 4 กรัม และถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบแผ่น ปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำตัวอย่างจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ปริมาณตัวอย่างละ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ คือ พีเอช 11 นำไปเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 และ 90 นาทีของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้

จากการนำถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นมาทดลองกับน้ำเสียจากบ่อบำบัดของ
โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ในสถานะที่
เหมาะสมจากการศึกษา 7 ชั่วโมง ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียชุมชน โดยวัดปริมาณแอมโมเนียได้ 6.28
มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นมีร้อยละการดูดซับ 83.68 และ 75.49
ตามลำดับ และมีปริมาณแอมโมเนียที่เหลือ 1.24 และ 1.73 ตามลำดับ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การดูดซับแอมโมเนียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม
แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดย
ทำการทดลองแบบเบตซ์

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
ถ่านกะลาปาล์มแบบผง	6.28	1.24	83.68
ถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น	6.28	1.73	75.49

ตารางที่ 12 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอัน
เนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยทำการ
ทดลองแบบเบตซ์

พารามิเตอร์	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
พีเอช	11	10.7	2.73
อุณหภูมิ (°C)	33.7	31.9	5.34
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1647	1416	14.03
ความเค็ม	0.7	0.5	28.57
ความขุ่น (NTU)	125	9.79	92.17
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	1832	1094	40.28
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	200	146	27.00
ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/l)	1632	948	41.91
ซีโอดี (mg/l)	32	24	25.00
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	0.11	0.07	42.48
แอมโมเนีย (mg/l)	6.28	1.24	80.25

ตารางที่ 13 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

พารามิเตอร์	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
พีเอช	11	10.8	1.82
อุณหภูมิ (°C)	33.7	32	5.04
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1647	1470	10.75
ความเค็ม	0.7	0.7	0.00
ความขุ่น (NTU)	125	7.87	93.70
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	1832	1156	36.90
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	200	172	14.00
ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/l)	1632	984	39.71
ซีโอดี (mg/l)	32	24	25.00
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	0.11	0.07	39.82
แอมโมเนีย (mg/l)	6.28	1.73	72.45

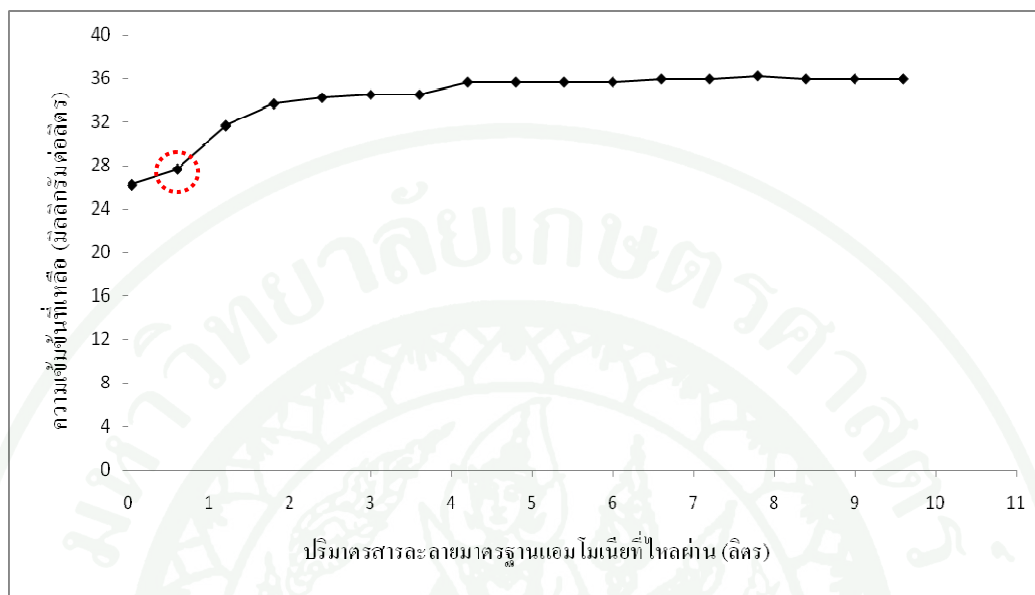
5. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนีย ทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง โดยใช้ชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ (customised filter) ที่บรรจุถ่านกะลาปาล์มแบบผง

5.1 ทดลองกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.6 ปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 (พีเอช 11) ให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอกคาร์ทริดจ์ ซึ่งบรรจุถ่านกะลาปาล์มแบบผงปริมาณ 540 กรัม ทำการทดลองที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 15 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย โดยถ่านกะลาปาล์มแบบผงเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไปปริมาตร 0.60 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับ 27.68 มิลลิกรัมต่อลิตร

และถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหลผ่านเท่ากับ 4.2 ลิตร ดังภาพที่ 39 และตารางที่ 14



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่อง กับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับด้วยถ่านกัลลาปาล์มแบบ ผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

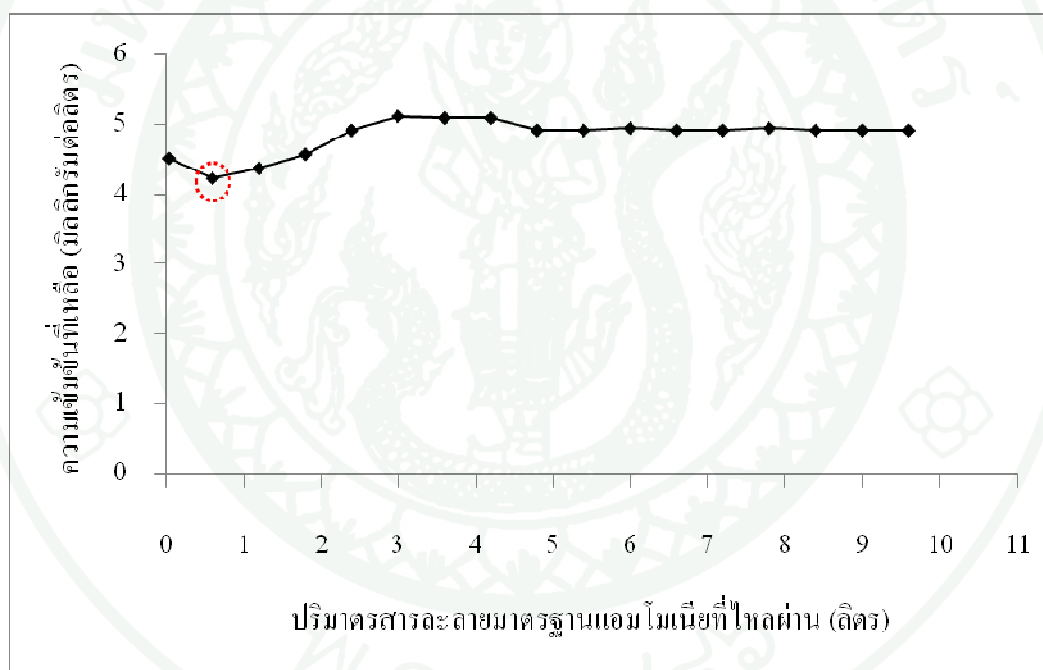
เวลา (นาทีก)	ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0.04	26.25
15	0.6	27.68
30	1.2	31.68
45	1.8	33.68
60	2.4	34.25
75	3	34.54
90	3.6	34.54
105	4.2	35.68
120	4.8	35.68
135	5.4	35.68
150	6	35.68
165	6.6	35.97
180	7.2	35.97
195	7.8	36.25
210	8.4	35.97
225	9	35.97
240	9.6	35.97

5.2 ทดลองกับตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี

น้ำเสียตัวอย่างจากบ่อบำบัดของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 (พีเอช 11) มีความเข้มข้นแอมโมเนียเริ่มต้น 6.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอกคาร์ทริดจ์

ซึ่งบรรจุถ่านกะลาปาล์มแบบผงปริมาณ 540 กรัม ทำการทดลองที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 15 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย โดยถ่านกะลาปาล์มแบบผงเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไปปริมาตร 0.60 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับเท่ากับ 4.23 มิลลิกรัมต่อลิตร พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช, ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), ดีโอ (DO), ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), ไขมันและน้ำมัน, แอมโมเนีย เป็นต้น และถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหลผ่านเท่ากับ 3.6 ดังภาพที่ 40 และตารางที่ 15



ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่อง
กับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของแอมโมเนียหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมลาปาล์มแบบ
ผงที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0.04	4.51
15	0.6	4.23
30	1.2	4.37
45	1.8	4.57
60	2.4	4.91
75	3	5.11
90	3.6	5.08
105	4.2	5.08
120	4.8	4.91
135	5.4	4.91
150	6	4.94
165	6.6	4.91
180	7.2	4.91
195	7.8	4.94
210	8.4	4.91
225	9	4.91
240	9.6	4.91

ตารางที่ 16 คุณภาพน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

พารามิเตอร์	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
พีเอช	11	10.8	1.82
อุณหภูมิ (°C)	33.7	31.2	7.42
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1647	1434	12.93
ความเค็ม	0.7	0.6	14.29
ความขุ่น (NTU)	125	7.84	93.73
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	1832	1052	42.58
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	200	90	55.00
ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/l)	1632	962	41.05
ซีโอดี (mg/l)	32	24	25.00
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	0.11	0.07	35.40
แอมโมเนีย (mg/l)	6.28	4.23	32.64

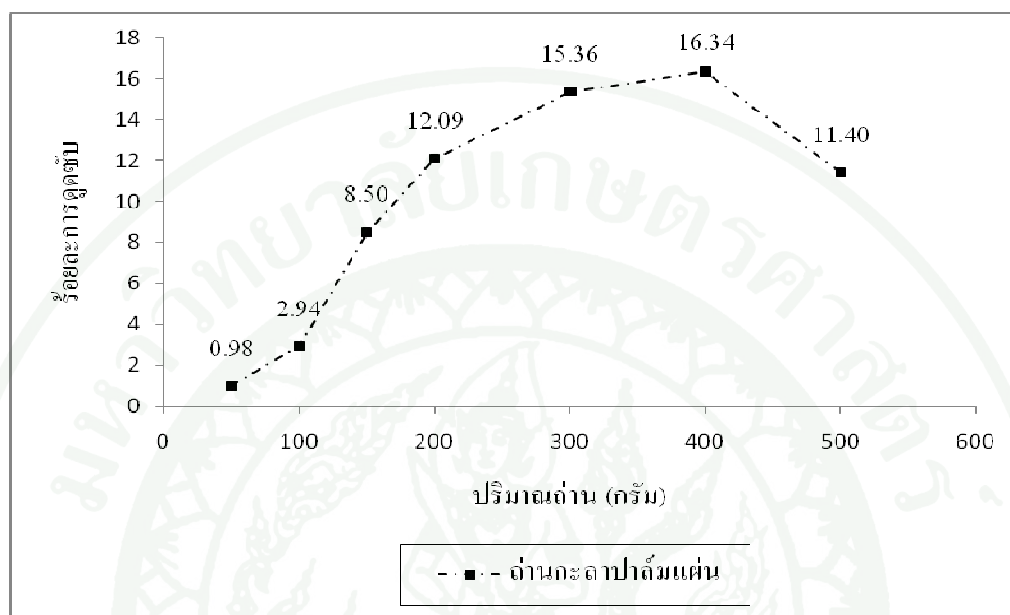
จากการทดลองคอลัมน์ต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแบตช์ เพราะการไหลมีแรงกระแทก ทำให้ตัวถ่านดูดซับหลุดออกไปได้ ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

6. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในการประยุกต์ใช้งานจริงกับน้ำตัวอย่างจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบแบตช์

6.1 ทดลองกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียจริงมีแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพื่อป้องกันแอมโมเนียระเหยจึงใช้ความเข้มข้นที่ต่ำ ปริมาณ 20 ลิตร ปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 (พีเอช 11) ใส่กะลาปาล์มแบบแผ่นดังข้อที่ 4.1.5 จากนั้นใช้ใบพัดปั่นกวนนาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 90 นาที

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย โดยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นปริมาณ 400 กรัม สามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงสุดที่ร้อยละการดูดซับ 16.34 ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่นกับปริมาณถ่านด้วยวิธีป็นพัลลม

6.2 ทดลองกับตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี

น้ำเสียตัวอย่างจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี ปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 (พีเอช 11) ใส่ปริมาณถ่านที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.5 (400 กรัม) จากนั้นใช้ใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์พัลลมปั่นกวนนาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 90 นาที พบว่า สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 37.21 ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการดูดซับ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), ดีโอ (DO), ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), ไขมันและน้ำมัน, แอมโมเนีย เป็นต้น ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี หลังการดูดซับด้วยถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบแผ่น โดยทำการทดลองแบบป้อนด้วยใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์พัดลม

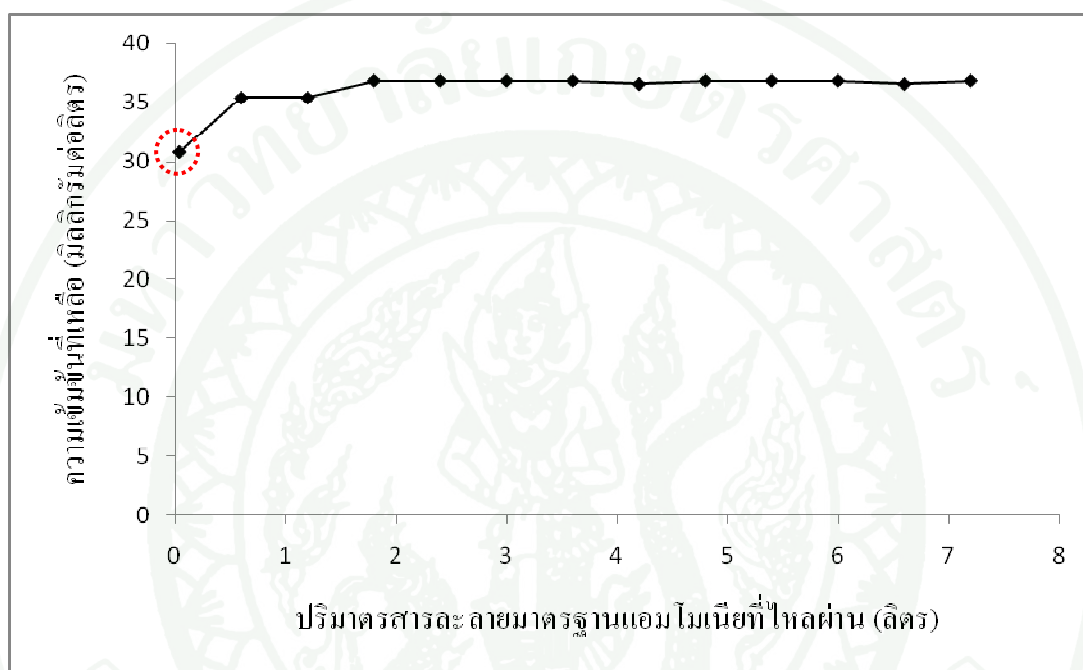
พารามิเตอร์	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
พีเอช	11	10.7	2.73
อุณหภูมิ (°C)	33.7	31.3	7.12
สภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1647	1100	33.21
ความเค็ม	0.7	0.4	42.86
ความขุ่น (NTU)	125	7.99	93.61
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	1832	934	49.02
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	200	194	3.00
ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/l)	1632	740	54.66
ซีโอดี (mg/l)	32	24	25.00
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	0.11	0.02	85.84
แอมโมเนีย (mg/l)	6.28	4.11	34.55

7. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบผงหลังผ่านการใช้งานแล้ว

การทดลองใช้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.6 ปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1.2 (พีเอช 11) ให้ไหลผ่านภาชนะรูปทรงกระบอกคาร์ทริดจ์ ซึ่งบรรจุถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบผงปริมาณ 540 กรัม ทำการทดลองที่อัตราการไหล 40 มิลลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 15 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย โดยถ่านกะลาปาล์มแบบผงที่ผ่านการใช้งานแล้วมาฟื้นฟูสภาพ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียจะลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก โดยพบว่าที่การใช้งานครั้งแรก ถ่านกะลาปาล์มแบบผงเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไปปริมาตร 0.60 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับเท่ากับ 27.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหลผ่าน

เท่ากับ 9.60 และเมื่อนำถ่านกะลาปาล์มที่ผ่านการใช้งานมาฟื้นฟู ประสิทธิภาพการดูดซับ แอมโมเนียลดลงโดยที่ ถ่านเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไป ปริมาตร 0.04 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับ 30.83 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหล ผ่านเท่ากับ 1.8 ดังภาพที่ 42 และตารางที่ 18



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่เหลือของ แอมโมเนียที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ 1 ครั้ง

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียกับความเข้มข้นที่เหลือของ แอมโมเนียที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ 1 ครั้ง

เวลา (นาท)	ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ
1	0.04	30.83
15	0.6	35.40
30	1.2	35.40
45	1.8	36.83
60	2.4	36.83

ตารางที่ 18 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ
75	3	36.83
90	3.6	36.83
105	4.2	36.54
120	4.8	36.83
135	5.4	36.83
150	6	36.83
165	6.6	36.54
180	7.2	36.83

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น โดยวิธีแบบแบดซ์ และแบบวิธีไหลต่อเนื่อง ด้วยชุดเครื่องกรองประคิษฐ์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่น มีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย 40 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 11 ความเร็วรอบการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่าเท่ากับ 10 นาที ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 และ 90 นาที ตามลำดับ โดยถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 74.13 และ 65.68 ตามลำดับ เมื่อทดลองกับน้ำเสียจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี พบว่า ถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 83.68 และ 75.49 ตามลำดับ ซึ่งถ่านกะลาปาล์มแบบผงจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าแบบแผ่น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณถ่าน และความเข้มข้นที่เท่ากัน กระบวนการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงและแบบแผ่นสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช เมื่อทำการทดลองแบบการไหลต่อเนื่องที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่ออนาที ถ่านกะลาปาล์มแบบผงเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไปปริมาตร 0.60 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับเท่ากับ 27.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหลผ่านเท่ากับ 4.2 การฟื้นฟูสภาพถ่านกะลาปาล์มปรับสภาพแบบผงและแบบแผ่นหลังผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าถ่านกะลาปาล์มแบบผงมีประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียลดลงจากการใช้งานครั้งแรกประมาณ ส่วนการทดลองด้วยวิธีการไหลแบบต่อเนื่องในน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี พบว่า ถ่านกะลาปาล์มแบบผงเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายแอมโมเนียไหลผ่านไปปริมาตร 0.60 ลิตร มีความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากการดูดซับเท่ากับ 4.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ่านกะลาปาล์มแบบผงหมดสภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อปริมาตรสารละลายแอมโมเนียไหลผ่านเท่ากับ 3.8 การทดลองประยุกต์ใช้งานจริงโดยการปั่นกวन्दด้วยใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์พัดลมกับกะลาปาล์มแบบแผ่น พบว่า สามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูงสุดที่ปริมาณถ่าน 400 กรัม ดูดซับได้ร้อยละ 16.34 และ การทดลองประยุกต์ใช้งานจริงโดยการปั่นกวन्दพัดลมกับกะลาปาล์มแบบแผ่นในน้ำเสียจากจากบ่อ

นำบัคของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี พบว่า สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ร้อยละ 37.21

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเผาถ่านกะลาปาล์มให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
2. ควรมีการศึกษาการนำถ่านกะลาปาล์มผสมเป็นวัสดุปลูกในการดูดซับแอมโมเนียในดิน
3. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุดูดซับจากของเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่น เพื่อให้เกิดการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดต่อไป
4. ควรมีการศึกษาการกำจัดสารเจือปนชนิดอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น ไครเมียม นิเกิล ปรอท เป็นต้น โดยใช้กะลาปาล์มเป็นวัสดุดูดซับ
5. หลังจากการดูดซับควรนำน้ำที่ผ่านการดูดซับแล้วมาไหลผ่านใยแก้วเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำดีขึ้น
6. ควรศึกษาการนำถ่านกะลาปาล์มที่ผ่านการดูดซับแล้วไปใช้ประโยชน์ต่อไป
7. ควรมีการศึกษาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ถ่านกะลาปาล์มแบบผง และแบบแผ่นในการกำจัดแอมโมเนีย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรณีการ สิริสิงห์. 2544. เหม็ของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. ฐานข้อมูลปาล์มน้ำมัน. แหล่งที่มา:
<http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/dbfieldcrop/maincrop/oilplam/mainoilplam1.htm>,
15 กันยายน 2553.

กาญจนาดี คงขิม. 2546. การบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายเซลล์เดียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

คณิดา วัฒนกิจ, นัตรชัย คงเดชอุดมกุล และภาณิน มงคลขจรศิลป์. 2540. การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิตติวรรณ วิจิตรานุษ, สุภาวดี หนูยศ และ อนันต์ กองแก้ว. 2542. การดูดซับโลหะโครเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุษยมาส มั่งขวัญ. 2542. การกำจัดแอมโมเนีย และฟอสเฟตในน้ำทิ้งชุมชนโดยการแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โศรดา ขุนโท. 2543. แอมโมเนียกับอุตสาหกรรม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 49 (157) : 11-13

สังวาลย์ ราชธรรมมา และอังสนา ภู่วุวรรณ. 2549. ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ.

สุชาดา ขางเอน. 2546. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้เลี้ยงปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543. คู่มือปฏิบัติสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อุษา อ้นทอง นินนาท โชติบริบูรณ์ และธัญญา พันฤทธิคำ. 2543. การบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งในจังหวัดสงขลาด้วยซีโอไลต์. มหาวิทยาลัยทักษิณ.

APHA, AWWA and WPCR. 1992. **Standard Metods for the Examination of Water and Wastewater**. 18 th ed., American Public Health Assoc., Wash. D. E., United State Amerarica.

Aiyuk, S. H.XU, A.Van Haandel and W. Verstrate. 2004. Removal of Ammonium Nitrogen from Pretreated Domestic Sewage using A Natural Ion Exchanger. **Environmental Technology**. 25: 1321-1330.

Bower, C.E. and J.P. Bidwell. 1978. Ionization of ammonia in seawater: effect of temperature, pH and salinity. **J. Fish. Res. Board Can.** 35 : 1012 – 1016.

Brown,P., Jefcoat, I.A., D.Parrish, S.Gill and E.Graham, 2000. Evaiuation of the Adsorption capacity of peanut hull pellets for heavy metals in solution. **Advance in environmental Reserch**. 4:19-29

- Emerson, K., R.C. Russo, R.E. Lund and R.V. Thurston. 1975. Aqueous ammonia equilibrium Calculation. effect of pH and temperature. **J. Fish. Res. Board Can.** 32: 2379-2383.
- Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*. 166: 181- 212.
- Loyd, R. and D. W. M. Herbert. 1960. The influence carbon dioxide on the toxicity of unionized ammonia to rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. **Ann. Appl. Biol.** 48 : 399 – 404.
- Randall, D.J. and T.K.N. Tsui. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin**. 45: 17-23.
- Patterson, J. W. 1978. **Wastewater Treatment Technology**. 3ed. Arbor A. Science Publ. Inc., Michigan, USA.
- Khuysangaim, S. 2001. **Lead and mercury removal from textile wastewater by activated carbon from palm shell and coconut shell**. M.E. Thesis, Chulalongkorn University.
- Sunstorm, D. W. and H. B. Klei. 1979. **Wastewater treatment**. Department of chemical engineering the university of Connecticut. Prince-Hall.
- Trussell, R.P. 1972. The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at Difference pH levels and temperatures. **J. Fish. Res. Board. Can.** 29: 1505-1507
- Weast, R.C. 1978. **Handbook of Chemistry and Physics**. CRC Press, U.S.A.





ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผงกับ
ค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
1	11.80	11.77	11.80	11.79	0.02	40.72
2	10.34	10.31	10.45	10.37	0.08	48.02
3	8.88	8.83	8.94	8.88	0.06	55.65
4	7.68	7.71	7.74	7.71	0.03	61.67
5	6.83	6.85	6.80	6.83	0.03	66.23
6	6.54	6.60	6.65	6.60	0.06	67.40
7	6.05	6.08	6.11	6.08	0.03	70.04
8	5.68	5.83	5.80	5.77	0.08	71.66
9	5.60	5.48	5.54	5.54	0.06	72.83
10	5.23	5.31	5.31	5.28	0.05	74.16

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น กับค่าปริมาณถ่านเริ่มต้น

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
1	15.11	15.23	15.17	15.17	0.06	23.35
2	13.40	13.51	13.48	13.46	0.06	32.11
3	13.91	13.97	13.83	13.90	0.07	29.86
4	13.28	13.34	13.37	13.33	0.04	32.79
5	13.80	13.80	13.77	13.79	0.02	30.45
6	12.37	12.34	12.34	12.35	0.02	37.84
7	11.80	11.88	11.88	11.85	0.05	40.38
8	11.91	11.94	11.85	11.90	0.04	40.14
9	10.68	10.71	10.71	10.70	0.02	46.30
10	10.63	10.68	10.68	10.66	0.03	46.50

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผง กับค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	11.05	10.97	11.00	11.01	0.04	44.74
6	10.54	10.60	10.51	10.55	0.04	47.09
7	10.23	10.17	10.23	10.21	0.03	48.85
8	9.25	9.34	9.23	9.27	0.06	53.65
9	8.60	8.74	8.71	8.68	0.08	56.68
10	6.91	6.94	6.83	6.89	0.06	65.88
11	3.45	3.34	3.48	3.43	0.08	83.70
12	3.37	3.31	3.43	3.37	0.06	83.99

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น กับค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	15.31	15.17	15.28	15.25	0.08	22.91
6	14.65	14.63	14.45	14.58	0.11	26.38
7	14.28	14.28	14.23	14.26	0.03	28.00
8	13.40	13.31	13.43	13.38	0.06	32.55
9	11.91	11.77	11.88	11.85	0.08	40.38
10	10.43	10.51	10.57	10.50	0.07	47.33
11	8.60	8.80	8.71	8.70	0.10	56.58
12	10.77	10.60	10.74	10.70	0.09	46.30

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงกับ
ความเร็วรอบในการเขย่า

ความเร็วรอบ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	3.77	3.83	3.68	3.76	0.07	81.99
50	4.68	4.68	4.54	4.64	0.08	77.48
100	1.97	1.85	1.88	1.90	0.06	91.53
150	1.34	1.43	1.20	1.32	0.12	94.52
200	2.11	2.45	1.94	2.17	0.26	90.16

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
กับความเร็วรอบในการเขย่า

ความเร็วรอบ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	10.91	11.23	11.08	11.07	0.16	44.40
50	10.57	10.43	10.20	10.40	0.19	47.87
100	6.94	6.77	6.85	6.85	0.09	66.08
150	7.00	6.77	6.74	6.84	0.14	66.18
200	6.23	6.34	6.31	6.29	0.06	68.97

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงกับ
ระยะเวลาแช่

ระยะเวลา แช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	6.11	6.23	6.40	6.24	0.14	69.21
10	3.45	3.25	3.43	3.38	0.11	83.95
30	4.34	4.60	4.20	4.38	0.20	78.81
60	3.74	3.80	3.80	3.78	0.03	81.89
90	3.65	3.60	3.57	3.61	0.04	82.77
120	4.25	4.34	4.20	4.26	0.07	79.39

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
กับระยะเวลาแช่

ระยะเวลา แช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	9.88	9.91	9.65	9.82	0.14	50.86
10	6.83	6.68	6.63	6.71	0.10	66.81
30	8.17	8.34	8.20	8.24	0.09	58.98
60	8.83	9.05	8.97	8.95	0.12	55.31
90	7.71	7.80	7.97	7.83	0.13	61.09
120	6.85	7.20	6.83	6.96	0.21	65.54

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผงกับ
ระยะเวลาเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลา เข้าสู่สภาวะ สมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	3.45	4.03	3.77	3.75	0.29	82.04
10	3.37	3.34	3.77	3.49	0.24	83.36
30	3.31	3.37	3.60	3.43	0.15	83.70
60	3.57	3.51	3.48	3.52	0.04	83.21
90	3.57	3.45	3.51	3.51	0.06	83.26
120	3.40	3.31	3.57	3.43	0.13	83.70

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
กับระยะเวลาเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลา เข้าสู่สภาวะ สมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	9.17	9.11	9.20	9.16	0.04	58.77
10	9.14	9.14	9.11	9.13	0.02	58.91
30	9.48	9.54	9.45	9.49	0.04	57.23
60	9.45	9.40	9.37	9.41	0.04	57.63
90	8.63	8.54	8.54	8.57	0.05	61.51
120	8.94	8.88	8.91	8.91	0.03	59.92

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผง
กับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	1.97	2.00	1.85	1.94	0.08	81.68
20	4.08	4.25	4.00	4.11	0.13	80.18
30	6.17	5.80	5.74	5.90	0.23	81.23
40	7.37	7.43	7.51	7.44	0.07	82.09
50	19.80	19.83	19.34	19.65	0.27	60.45

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น
กับความเข้มข้นของแอมโมเนียมาตรฐาน

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	5.77	5.77	5.74	5.76	0.02	44.64
20	8.17	8.11	8.08	8.12	0.04	61.60
30	13.54	13.60	13.54	13.56	0.03	57.47
40	17.97	18.05	18.00	18.01	0.04	56.94
50	21.97	21.91	21.88	21.92	0.04	55.70

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบผง กับปริมาณถ่าน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
2	12.23	11.94	12.17	12.11	0.15	70.42
4	8.80	8.88	8.83	8.84	0.04	78.59
6	7.60	7.60	7.63	7.61	0.02	81.66
8	7.34	7.40	7.48	7.41	0.07	82.16

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแอมโมเนียของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น กับปริมาณถ่าน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
2	14.85	15.05	14.97	14.96	0.10	24.42
4	11.37	11.17	11.43	11.32	0.14	43.12
6	9.03	9.25	9.08	9.12	0.12	54.43
8	8.03	7.94	8.08	8.02	0.07	60.11
10	6.17	6.28	6.25	6.24	0.06	69.26
12	7.80	7.63	7.65	7.69	0.09	61.77

ตารางผนวกที่ 15 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบผง

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
2	40	12.11	0.05	0.6972	1.4343	0.0826	-0.1566	1.0832
4	40	8.83	0.05	0.3897	2.5662	0.1133	-0.4093	0.9457
6	40	7.60	0.05	0.2700	3.7034	0.1316	-0.5686	0.8807
8	40	7.45	0.05	0.2034	4.9162	0.1342	-0.6916	0.8724

ตารางผนวกที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลาปาล์มแบบแผ่น

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
2	20	14.97	0.05	0.1258	7.9500	0.0668	-0.9004	1.1752
4	20	11.31	0.05	0.1086	9.2075	0.0884	-0.9641	1.0535
6	20	9.11	0.05	0.0907	11.0207	0.1098	-1.0422	0.9596
8	20	8.03	0.05	0.0748	13.3620	0.1246	-1.1259	0.9045
10	20	6.23	0.05	0.0689	14.5198	0.1606	-1.1620	0.7942
12	20	7.68	0.05	0.0513	19.4850	0.1302	-1.2897	0.8855

ตารางผนวกที่ 17 การดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์มแบบผง 7 ชั่วโมง

ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)								เฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ
ก่อน	หลังดูดซับ							การดูดซับ		
ดูดซับ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7			
40	10.63	10.54	10.68	10.57	10.80	10.57	10.60	10.63	0.003	74.13

ตารางผนวกที่ 18 การดูดซับแอมโมเนียในสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียด้วยถ่านกะลาปาล์ม
แบบแผ่น 7 ชั้น

ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)								เฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
ก่อน	หลังดูดซับ									
ดูดซับ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7			
	1	2	3	4	5	6	7			
20	1.34	1.11	1.34	1.25	1.23	1.17	1.23	1.24	0.004	65.68

ตารางผนวกที่ 19 การดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา
สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรีด้วยถ่านกะลาปาล์ม
แบบผง

ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)								เฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
ก่อน	หลังดูดซับ									
ดูดซับ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7			
	1	2	3	4	5	6	7			
6.28	6.85	6.97	6.91	7.00	6.83	7.11	6.85	6.93	0.004	83.68

ตารางผนวกที่ 20 การดูดซับแอมโมเนียในน้ำเสียจากจากบ่อบำบัดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา
สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรีด้วยถ่านกะลาปาล์ม
แบบแผ่น

ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)								เฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
ก่อน	หลังดูดซับ									
ดูดซับ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7			
	1	2	3	4	5	6	7			
6.28	1.80	1.68	1.77	1.71	1.65	1.71	1.80	1.73	0.06	75.49

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุนันท์ นาคกร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 17 กรกฎาคม 2528
สถานที่เกิด	สถานีอนามัยบางสะพาน จ.ประจวบคีรีขันธ์
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอัน เนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี