

การดูดซับแคดเมียมด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จาก

แผ่นพีเรกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ADSORPTION OF CADMIUM BY SYNTHETIC ADSORBENT FROM
GLASS FIBER REINFORCED EPOXY RESIN PREPREG



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโทเรื่อง การดัดซั้บแคดเมียมด้วยตัวดัดซั้บสังเคราะห์จากแผ่นพีเพอริกอีพอกซี
เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

โดย นางสาวใบบุญ ทองดวง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสสรณ์

ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาโทนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาโท



.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสสรณ์)



.....กรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)



.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การดูดซับแคดเมียมด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว
นักศึกษา	นางสาวใบบุญ ทองดวง
รหัสประจำตัว	60010561
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสร์ณ

บทคัดย่อ

แผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วเป็นวัสดุผสมหลักในแผ่นวงจรไฟฟ้า มีกลุ่มอะลูมิเนียมซิลิเกตเป็นส่วนประกอบซึ่งอะลูมิเนียมและซิลิเกตสร้างพันธะสามเหลี่ยมสี่หน้า มีประจุสุทธิเป็นลบทำให้สามารถจับประจุบวกได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ตัวดูดซับแคดเมียมจากเศษแผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่เหลือจากการตัดชิ้นงาน และแผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพ และศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การสังเคราะห์ตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยกระบวนการแช่ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่กระบวนการดูดซับที่อุณหภูมิ 250 °C ในบรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ส่วนที่สองคือการศึกษาไอโซเทอมของตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเพอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียมในเตรท 1, 2, 3 และ 4 มิลลิโมลาร์

ผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงสามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงสุด โดยความสามารถในการดูดซับสูงสุดอยู่ที่ 0.17, 0.34, 0.56 และ 1.07 มิลลิโมลต่อกรัม ที่ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมในเตรทเริ่มต้น 1, 2, 3 และ 4 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และไอโซเทอมของการดูดซับเป็นไปตามสมการฟรุนดลิชซึ่งสนับสนุนสมมติฐานว่าตัวดูดซับสามารถเกิดการดูดซับชั้นเดียวหรือหลายชั้นได้ และพลังงานสำหรับการดูดซับแต่ละตำแหน่งบนผิวตัวดูดซับไม่เท่ากัน โดยมีค่าคงที่ K เท่ากับ 0.136 และค่าคงที่ n เท่ากับ 0.709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Report Title ADSORPTION OF CADMIUM BY SYNTHETIC ADSORBENT
FROM GLASS FIBER REINFORCED EPOXY RESIN PREPREG

Student Miss Baibun Thongduang

Student ID. 60010561

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2020

Advisor Asst. Prof. Dr. Apinan Namkanisorn

ABSTRACT

Glass fiber reinforced epoxy resin prepreg is a composite material comprising of aluminosilicate groups, whose distinctive structures consist of three-dimensional frameworks of SiO_4 and AlO_4 with net negative charges in lattice capable of neutralization with small cations. This project aims to produce the adsorbent from glass fiber reinforced epoxy resin prepreg waste that are the off spec product from the manufacturer and from the remaining prepreg after cutting process. The adsorption isotherm of the adsorbent was then investigated. The experimental section was divided into 2 parts: the first part involved synthesis of the adsorbent from glass fiber reinforced epoxy resin prepreg by soaking in potassium hydroxide solution at the concentration of 1 molar for 1, 2 and 3 hours, then activating at 250°C in a nitrogen atmosphere. The second part was to determine the adsorption isotherm of the synthetic adsorbent from glass fiber reinforced epoxy resin prepreg at the initial concentration of cadmium nitrate solution of 1, 2, 3 and 4 mmolar. From the results, the optimum soaking time is 1 hour to yield the highest capacity of cadmium adsorption of 0.17, 0.34, 0.56 and 1.07 mmol per gram of adsorbent at initial concentration 1, 2, 3, 4 mmol, respectively. Adsorption isotherm data is best fitted with Freundlich Isotherm with K and n constants of 0.136

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{II} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

adsorbate coverage can be a mono or multi-molecule layer on the surface, and the adsorption site energy is distributed.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{III} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ผศ.ดร.อภิรักษ์ นัมคณิสร์ ที่ได้มอบความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยตลอดจนงานปริญญาโทนี้สมบูรณ์

ขอบพระคุณรศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ และผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ กรรมการตรวจสอบปริญญาโทที่ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ เทคนิค และประสบการณ์ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา สนับสนุนข้าพเจ้า และเป็นที่ยึดเหนี่ยวทางจิตใจ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นางสาวไบบุญ ทองดวง สำหรับความพยายาม ความอดทน ความมานะ ความพากเพียร และแรงขับเคลื่อนทางใจที่ทำให้ปริญญาโทนี้เสร็จสมบูรณ์

ไบบุญ ทองดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{IV} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1	1
1.1 แนวคิดที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2	3
2.1 แผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (GLASS FIBER REINFORCED EPOXY RESIN PREPREG)	3
2.2 แคดเมียม (CADMIUM)	4
2.3 ตัวดูดซับ (ADSORBENT)	4
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3	14
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 ขั้นตอนการแยกอีพอกซีเรซินออกจากแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว	14
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโลหะหนัก	15
3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 ขั้นตอนทดลองการดูดซับ	16
บทที่ 4	17
4.1 ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับจากแผ่นพีเพอกรีฟอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว	17
4.2 อัตราการดูดซับของตัวดูดซับจากแผ่นพีเพอกรีฟอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว	18
4.3 แบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์	19
4.4 แบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช	20
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	22
5.1 สรุปผลการวิจัย	22
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
ภาคผนวก	27
ภาคผนวก ก	28
ภาคผนวก ข	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use ^v Only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง ก.1 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 1	28
ตาราง ก.2 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 2	29
ตาราง ก.3 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 3	30
ตาราง ก.4 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 1	31
ตาราง ก.5 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 2	32
ตาราง ก.6 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 3	33
ตาราง ก.7 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 1	34
ตาราง ก.8 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 2	35
ตาราง ก.9 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 3	36
ตาราง ข.1 ข้อมูลสำหรับกราฟเทียบความเข้มข้นแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท	37
ตาราง ข.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ b และ ความสามารถในการดูดซับสารชั้นเดียว(q_m)	39
ตาราง ข.3 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ K และ n	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปภาพ 1.1 โครงสร้างซีไอไลต์พื้นฐาน	3
รูปภาพ 2.1 แบบจำลองอนุภาคตัวดูดซับและชั้นของเหลวหนืดหนึ่งในสารละลาย	6
รูปภาพ 2.2 การดูดซับสสารในลักษณะชั้นเดียว	11
รูปภาพ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกระบวนการแยกอีพอกซีเรซิน	15
รูปภาพ 4.1 ผลวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมในเตรท	17
รูปภาพ 4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการดูดซับแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมในเตรท	18
รูปภาพ 4.3 แบบจำลองการดูดซับจากสมการแลงเมียร์	19
รูปภาพ 4.4 ผลการวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมจากสมการแลงเมียร์	20
รูปภาพ 4.5 ผลการวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมจากสมการไอโซเทอมและผลการทดลอง	21
รูปภาพ ข.1 กราฟเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมในเตรท	37
รูปภาพ ข.2 การแก้สมการ 2 ตัวแปรด้วยฟังก์ชัน polyfit	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{VII} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดที่มาและความสำคัญ

แผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass fiber reinforced epoxy resin prepreg) เป็นวัสดุคอมโพสิตที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลายด้วยคุณสมบัติแข็งแรง มีความเหนียว ไม่นำความร้อน ไม่นำไฟฟ้า ทนต่อการกัดกร่อนและติดไฟได้ยาก นิยมนำไปใช้เป็นแผ่นวงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board, PCB) องค์ประกอบหลักของแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว ประกอบด้วย ใยแก้ว อีพอกซีเรซิน สารเติมเต็ม และสารหน่วงการติดไฟ (Yildirim, Onwudili, and Williams 2015) แผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพของโรงงานและเศษแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่หลุดจากการตัดชิ้นงานทำให้เกิดขยะไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วขึ้น การกำจัดขยะไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยการฝังกลบก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระยะยาวเนื่องจากการฝังกลบทำให้เกิดการสลายตัวของบิสฟีนอล-เอ และสูลูเสียทรัพยากร (Jianbo Wang and Xu 2015) จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อหาวิธีกำจัดขยะแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วหรือนำแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีที่ไม่สร้างมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม

เส้นใยแก้วที่เป็นส่วนผสมในแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วมีกลุ่มอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate group) เป็นส่วนประกอบซึ่งอะลูมิเนียมซิลิเกตเป็นองค์ประกอบหลักของซีโอไลต์ (Zeolite) (Wise and Santa 2005) เนื่องจากซิลิเกต (Silicate) และอะลูมิเนียม (Aluminate) สร้างพันธะกันก่อให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลรูปร่างสามเหลี่ยมสี่หน้า มีรูพรุน ประจุไฟฟ้าลบสุทธิ สามารถจับประจุบวกได้ ผู้ทำโครงการต้องการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพของโรงงานและเศษแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่หลุดจากการตัดชิ้นงาน

โครงการนี้ศึกษาความสามารถและหาแนวทางเพื่อสร้างตัวดูดซับจากขยะแผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วสำหรับการดูดซับแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมในเตรท เพื่อสร้างมูลค่าให้แก่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขยะแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วมาสร้างมูลค่า โดยการใช้กระบวนการกระตุ้น (Activation) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. หาแนวทางการผลิตตัวดูดซับจากเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว
- 1.2.2. เพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแคดเมียมจากของตัวดูดซับจากเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพและเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเมื่อผ่านการเคลือบผิวเป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง
- 1.3.2 ศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพและเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเมื่อสารละลายแคดเมียมมีความเข้มข้นเริ่มต้น 1, 2, 3 และ 4 มิลลิโมลาร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

การศึกษานี้สร้างตัวดูดซับสารแคดเมียมจากเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพและเศษแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์เพิ่มมูลค่า และลดขยะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

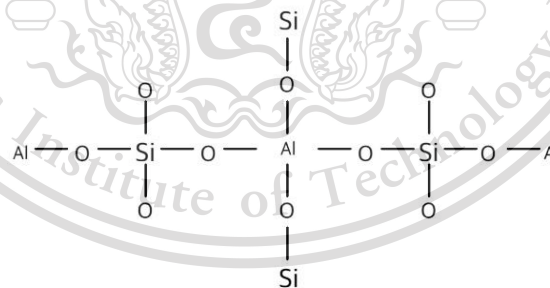
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (Glass fiber reinforced epoxy resin prepreg)

แผ่นไฟเบอร์พริกอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเป็นวัสดุผสมที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลายด้วยคุณสมบัติแข็งแรง มีความเหนียว ไม่นำความร้อน ไม่นำไฟฟ้า ทนต่อการกัดกร่อนและเผาไหม้ได้ยากส่วนประกอบหลักดังนี้

2.1.1 กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate group)

กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต ประกอบด้วย ออกซิเจน (O_2) ซิลิกา (Si) อะลูมิเนียม (Al) มีสูตรเคมีพื้นฐานคือ Al_2SiO_5 ธาตุทั้ง 3 เป็นส่วนประกอบสำคัญของใยแก้วประเภท อี (E-Glass fiber) (Bilisik et al. 2018) และเป็นส่วนประกอบสำคัญของซีโอไลต์ สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ประเภทต่างๆได้ จากการสร้างพันธะของซิลิเกต (Silicate) และอะลูมิเนต (Aluminate) ก่อให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า มีรูพรุน มีความสามารถในการดูดซับ



รูปภาพ 1.1 โครงสร้างซีโอไลต์พื้นฐาน

2.1.2 อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin)

อีพอกซีเรซินเป็นกลุ่มของเทอร์โมเซตที่มีหมู่อีพอกไซด์ (epoxide groups) อยู่ในโครงสร้างตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป อีพอกซีเรซินมีลักษณะเป็นของเหลวไปจนถึงของแข็ง จุดหลอมเหลวของอีพอกซีเรซินขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของอีพอกซีเรซิน การผลิตอีพอกซีเรซินที่มีความหน่วงไฟสามารถทำได้โดยการบ่ม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(Curing) สารผสมระหว่าง ไดโกลซิไดลอีเทอร์บิสฟีนอล เอ (diglycidyl ethers of bisphenol A) และไดโกลซิไดลอีเทอร์เททระโบรโมบิสฟีนอล เอ (diglycidyl ethers of tetrabromobisphenol A) ด้วยสารเพิ่มความแข็ง (Luda et al. 2007)

2.2 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียม (Cadmium) เป็นของแข็งสีเงินขาว เงามาว ไม่มีกลิ่น มักพบร่วมสังกะสีและทองแดง ด้วยสมบัติทนทานการสึกกร่อนได้ดี ทำให้สารประกอบหลอมตัวได้ง่าย ผสมกับโลหะตัวอื่นเพื่อเพิ่มสมบัติ ทำให้แคดเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ นอกจากนี้แคดเมียมสามารถทำให้โพลีเมอร์บางประเภทคงรูป เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้สารแคดเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายรูปแบบ แต่สารแคดเมียมมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก สามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในรูปแบบฝุ่น ไอะโรเฮย สารละลายปนเปื้อน จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณแคดเมียม (เขมชาติ ธนาภิชาตญเจริญ n.d)

2.3 ตัวดูดซับ (Adsorbent)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นหนึ่งในกระบวนการแยกหรือทำให้บริสุทธิ์ วัสดุที่เป็นตัวดูดซับ จำเป็นต้องมีพื้นที่ผิวภายในที่สูง มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเช่น ความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน และมีคุณสมบัติทางจลนศาสตร์ที่ดีซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สามารถแสดงได้จากเคลื่อนย้ายมวลสารที่ต้องการดูดซับเข้าสู่บริเวณดูดซับ ตัวดูดซับส่วนมากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผ่านกระบวนการกำจัดสารที่ถูกดูดซับ ออกจากตัวดูดซับ กระบวนการนี้จะต้องไม่ทำให้ตัวดูดซับเสียประสิทธิภาพและไม่สร้างความเสียหายแก่ตัวดูดซับ

2.3.1 ประเภทการดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ไม่กำหนดเฉพาะเจาะจง สารถูกดูดซับ แรงในการยึดเหนี่ยวผิวตัวดูดซับและสารถูกดูดซับเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์จึงไม่แข็งแรง สามารถคายการดูดซับได้เอง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง กำหนดสารถูกดูดซับอย่างเฉพาะเจาะจง พันธะระหว่างผิวตัวดูดซับและสารถูกดูดซับแข็งแรง ไม่สามารถคายสารถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เองได้ และพลังงานที่ใช้ในการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานการเกิดปฏิกิริยาเคมี (กระทรวงแรงงาน 2564)

2.3.2 กลไกของการดูดซับ

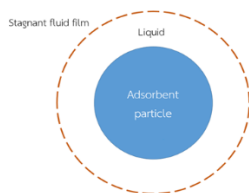
กลไกของการดูดซับ คือการเคลื่อนย้ายมวลสารซึ่งเกิดจากสารที่ต้องการแยกออกจากของเหลว เคลื่อนตัวมาสะสมหรือเกาะบริเวณผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลที่สะสมที่ผิวตัวดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) (เชี่ยวชาญ n.d.) ขั้นตอนการดูดซับประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การเคลื่อนย้ายเชิงมหภาค (Macrotransport) เป็นการเคลื่อนย้ายของสารถูกดูดซับผ่านของเหลวเข้าสู่บริเวณตัวดูดซับ
2. การเคลื่อนย้ายเชิงจุลภาค (Microtransport) เป็นการแพร่ของสารถูกดูดซับเข้าสู่ช่องว่างภายในตัวดูดซับ สารที่ต้องการดูดซับแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของของเหลว (film diffusion) ก่อนหลังจากนั้นแพร่เข้าสู่ช่องว่างหรือโพรงของตัวดูดซับ (pore diffusion) (Thomas and Crittenden 1998)
3. การดูดซับ (Adsorption) เป็นการยึดติดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับ

2.3.3 กลไกพื้นฐานการถ่ายโอนมวลในกระบวนการดูดซับแบบกะ (Basic mass transfer mechanisms in batch adsorption)

การถ่ายโอนมวลข้ามฟิล์มบางของสารถูกดูดซับเกิดขึ้นจากการแพร่ของโมเลกุล (Molecular diffusion) ถ้าความเข้มข้นของสารละลายสูงความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวหยุดนิ่ง (Stagnant fluid film) ลดลงและความต้านทานการถ่ายโอนมวลลดลง

ในความเป็นจริงของเหลวจะหยุดนิ่งที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ รอบๆ ผิวของตัวดูดซับมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ห่างจากผิวของตัวดูดซับออกไปคือพื้นที่กันชน (Buffer zone) และเขตสารละลายที่ถูกผสมกันอย่างดี (Thomas; W. John; Crittenden; Barry 2012)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปภาพ 2.1 แบบจำลองอนุภาคตัวดูดซับและชั้นของเหลวหยุดนิ่งในสารละลาย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำหรับการจำลองแบบการถ่ายโอนมวลอย่างง่าย แบบจำลองประกอบด้วยชั้นฟิล์มของเหลวหยุดนิ่งและเขตสารละลายที่ถูกผสมกันอย่างดี ความต้านทานการถ่ายโอนมวลแปรผันตรงกับความหนาของชั้นฟิล์มที่ของเหลวหยุดนิ่ง และสามารถหาความต้านทานการถ่ายโอนมวลจากสมการ (1)

$$\text{ความต้านทานการถ่ายโอนมวล} = \frac{\delta}{D_{AB}} \quad (1)$$

กำหนด δ คือ ความหนาของชั้นของเหลวหยุดนิ่ง (เมตร)

D_{AB} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารถูกละลาย A ในสารทำละลาย B (เมตร²/วินาที)

เมื่อพิจารณาความต้านทานการถ่ายโอนมวล 2 บริเวณได้แก่ความต้านทานการถ่ายโอนมวลภายนอกอนุภาค และความต้านทานการถ่ายโอนมวลในอนุภาค การถ่ายโอนมวลสามารถอธิบายในรูปแบบอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับแสดงในสมการ (2) หรือสมการเส้นตรงของแรงขับเคลื่อน (Linear driving force)

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = k_f S_0 (C - C_i) \quad (2)$$

กำหนด \bar{q} คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ (โมล/ลูกบาศก์เมตร)

t คือ เวลา (วินาที)

k_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล

S_0 คือ อัตราส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับต่อปริมาตรของอนุภาคตัวดูดซับ (เมตร⁻¹)

C คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในของเหลว (โมล/ลูกบาศก์เมตร)

C_i คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ (โมล/ลูกบาศก์เมตร)

สำหรับการถ่ายโอนมวลในวัฏภาคของแข็ง แบบจำลองที่พื้นฐานที่สุดคือ แบบจำลองการแพร่ในวัฏภาคของแข็ง (Homogeneous solid diffusion model หรือ HSDM) เมื่ออนุภาคตัวดูดซับรูปทรงกลม สัมประสิทธิ์การแพร่เท่ากันทุกจุดในอนุภาค อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับสามารถหาได้จากสมการ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{D_s}{r^2} \frac{\partial}{\partial r^2} (r^2 \frac{\partial q}{\partial r}) \quad (3)$$

กำหนด D_s คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (เมตร²/วินาที)

r คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่สนใจกับจุดศูนย์กลางอนุภาค (เมตร)

2.3.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการดูดซับของตัวดูดซับมีดังนี้ (Iftekhar et al. 2018)

อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถดูดซับของตัวดูดซับลดลงเพราะโมเลกุลของสารถูกดูดซับเกิดการสั่นมากขึ้นทำให้เกิดการคายซับง่ายกว่าการดูดซับ

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

หลักการดูดซับสสารของตัวดูดซับเกิดจากการแพร่เข้าสู่โพรงของตัวดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้นทำให้มีบริเวณเกิดการดูดซับมากขึ้นแต่ในทางตรงกันข้ามพื้นที่ผิวมาก รูพรุนของตัวดูดซับจะเล็ก หากสารถูกดูดซับมีโมเลกุลใหญ่จะทำให้เกิดการดูดซับน้อยลง

คุณสมบัติของสารถูกดูดซับ

ชนิดของสารถูกดูดซับส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมาก เมื่อสารถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์เจือจางในสารอินทรีย์จะมีการดูดซับน้อยกว่าสารถูกดูดซับที่เป็นสารอินทรีย์ละลายในน้ำ

โครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับ

โครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับสามารถอธิบายได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 10 Å ถึง 1000 Å การเลือกใช้ตัวดูดซับควรพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของตัวดูดซับ เพราะว่าโมเลกุลของสารถูกดูดซับแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน ขนาดรูพรุนของตัวดูดซับควรกับเหมาะสมขนาดโมเลกุลสารถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คุณสมบัติของตัวทำละลาย

สำหรับสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติ ไม่มีขั้ว ละลายได้น้อยในน้ำ สามารถเพิ่มการดูดซับได้โดยการเลือกสารทำละลายอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ไม่ควรใช้สารทำละลายที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุลสารถูกดูดซับ

ความเป็นกรด-ด่างของสารถูกดูดซับ

สภาวะกรด-ด่างของสารถูกดูดซับส่งผลต่อการดูดซับมาก ชนิดของสารดูดซับมีช่วงเหมาะสมของสภาวะกรดต่างในการแลกเปลี่ยนไอออน สำหรับสารถูกดูดซับประเภทกรดมีการดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำ ส่วนสารถูกดูดซับธรรมดาดูดซับได้ดีเมื่อค่า pH สูง

2.3.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารถูกดูดซับและมวลของสารดูดซับที่สภาวะสมดุลการดูดซับและอุณหภูมิคงที่ ความสัมพันธ์นี้สามารถหาได้จากการนำผลการทดลองแทนในสมการ (4) และ (5) (เขียวชาญ n.d.)

$$q_e = \left(\frac{X}{m}\right) \quad (4)$$

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (5)$$

โดยที่ q_e = ค่าความสามารถในการดูดซับ (มิลลิโมล/กรัม)

X = ปริมาณสารถูกดูดซับในตัวดูดซับ(มิลลิโมล)

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (มิลลิโมล/ลิตร)

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิโมล/ลิตร)

V = ปริมาตรของสารละลายที่มีสารถูกดูดซับ (ลิตร)

m = มวลของสารดูดซับ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.6 สมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm equation)

สมการไอโซเทอมแลงเมียร์เป็นหนึ่งในสมการสำหรับคำนวณการดูดซับของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุลและอุณหภูมิคงที่ เพื่อความเหมาะสมแก่การทดลอง สมมติฐานของสมการแลงเมียร์ประกอบด้วย 4 สมมติฐาน (Patihā et al. 2016)

1. การดูดซับเกิดขึ้นบนผิวตัวดูดซับ
2. แต่ละพื้นที่ดูดซับสามารถจับได้เพียง 1 โมเลกุลของสารถูกดูดซับ
3. พลังงานสำหรับการดูดซับเท่ากันในทุกจุดบนผิวตัวดูดซับ
4. ไม่มีแรงกระทำระหว่างกันของโมเลกุลที่ถูกดูดซับทั้งหมด

อัตราการดูดซับสามารถหาได้จากสัดส่วนของความเข้มข้นสารละลาย (C_e) และสัดส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ว่าง ($1-\theta$) เมื่อ θ คือ สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกคลุม และ k คือค่าคงที่ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราการดูดซับ} = kC_e(1-\theta) \quad (6)$$

เมื่อตั้งสมมติฐานให้พื้นที่ดูดซับเหมือนกันทั้งหมด แสดงว่าค่า k มีค่าเท่ากันทั้งหมดและมีเพียงโมเลกุลชั้นเดียวที่ปกคลุมตัวดูดซับ การดูดซับจะหยุดเมื่อค่าเท่ากับ 0 ในขณะที่เดียวกันเมื่อ k' คือค่าคงที่ของการคายซับ อัตราการคายซับสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราการคาย} = k'\theta \quad (7)$$

ที่สภาวะสมดุลอัตราการดูดซับและอัตราการคายซับมีค่าเท่ากันสามารถเขียนเป็นสมการ (8) และ (9) เมื่อกำหนดให้ b คือ k/k'

$$kC_e(1-\theta) = k'\theta \quad (8)$$

$$\theta = \frac{bC_e}{1+bC_e} \quad (9)$$

ความสามารถในการดูดซับในรูปแบบความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ กำหนดให้ q_m ความสามารถในการดูดซับสารชั้นเดียว เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q = \frac{bq_m C_e}{1+bC_e} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำสมการ (10) จัดรูปเป็นสมการเส้นตรง

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{bq_m C_e} \quad (11)$$

เมื่อกำหนดให้ q_0 คือค่า q ที่สภาวะสมดุล C_0 คือความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น และ r คือสัดส่วนการแยก (Separation factor) สมการแลงเมียร์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$y = \frac{x}{r + (1-r)x} \quad (12)$$

$$y = \frac{q}{q_0} \quad (13)$$

$$x = \frac{C}{C_0} \quad (14)$$

2.3.7 สมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm equation)

สมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช เป็นสมการศึกษาความสามารถในการดูดซับที่มีสมมติฐานแตกต่างจากสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ สมมติฐานของสมการฟรุนดลิชได้แก่ พื้นผิวของตัวดูดซับไม่ใช่การดูดซับเพียงชั้นเดียว พลังงานในการดูดซับในแต่ละพื้นที่การดูดซับไม่เท่ากัน อัตราการดูดซับและอัตราการคายขึ้นอยู่กับความแข็งแรงหรือพลังงานของพื้นที่ดูดซับนั้นๆ (Jianlong Wang and Guo 2020)

$$q = KC_e^{1/n} \quad (15)$$

เมื่อ n คือค่าคงที่ของฟรุนดลิช และ K คือค่าคงที่ของฟรุนดลิชแสดงความสามารถในการดูดซับ ค่าของทั้งสองตัวแปรขึ้นอยู่กับค่า pH ของระบบ

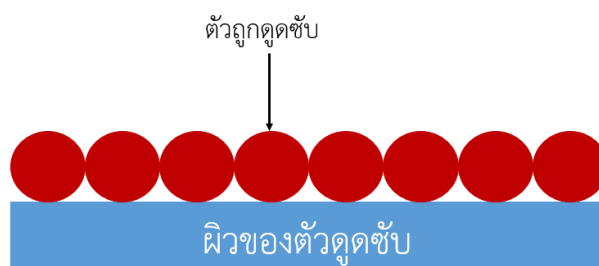
2.3.8 สมการของบรูเนอร์ เค็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller's equation)

บรูเนอร์ เค็มเมทท์และเทลเลอร์ศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่บริเวณผิวและภายในรูพรุนของตัวดูดซับ ทำการทดลองโดยนำตัวดูดซับในภาชนะบรรจุไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิคงที่ จากนั้นแก๊สไนโตรเจนจะถูกดูดซับที่ผิวและภายในรูพรุนตัวดูดซับทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงจากความดันเริ่มต้นจนกระทั่งความดันคงที่ พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับเคลือบผิวตัวดูดซับในลักษณะโมเลกุลชั้นเดียวดังรูปภาพ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปภาพ 2.2 การดูดซับสสารในลักษณะชั้นเดียว

จากผลการศึกษา Brunauer, Emmett และ Teller ได้สร้างสมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมพัทธ์และปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับขึ้น โดยตั้งชื่อว่า “สมการของ BET” แสดงดังนี้ (Jianlong Wang and Guo 2020)

$$\frac{1}{W \left[\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right]} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (16)$$

เมื่อ W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ (กรัม)

P = ความดันคงที่ได้จากการทดลองการดูดซับแก๊สไนโตรเจนของตัวดูดซับ (มิลลิเมตรของปรอท)

P_0 = ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน (มิลลิเมตรของปรอท)

W_m = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่เคลือบบนผิวตัวดูดซับในลักษณะโมเลกุลชั้นเดียว (กรัม)

จากสมการของ BET สามารถหาความชัน (s) แล้วจุดตัดแกน Y (i) ได้ดังนี้

$$s = \frac{C-1}{W_m C} \quad (17)$$

$$i = \frac{1}{W_m C} \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลการทดลองสามารถหาปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่เคลือบบนผิวตัวดูดซับในลักษณะโมเลกุลชั้นเดียว (W_s) พื้นที่ผิวจำเพาะ (S_t) ปริมาตรรูพรุน (V_p) และรูพรุนเฉลี่ย (\bar{r}_p) ได้จากสมการ (19) ถึง (22) (จินดาวุฒิกุล 2012)

$$W_m = \frac{1}{s+i} \quad (19)$$

$$S_t = \frac{W_m NA_{cs}}{M} \quad (20)$$

$$V_p = \frac{W_s}{\rho} \quad (21)$$

$$\bar{r}_p = \frac{2V_p}{S_t} \quad (22)$$

เมื่อ N คือ เลขอาโวกราโดร (6.023×10^{23} โมเลกุลต่อโมล)

M คือ น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28 กรัมต่อโมล)

A_{cs} คือ พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23} เมตร²)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tatariant Maksym และคณะ (Tatariants et al. 2017) ศึกษาการแยกขยะแผ่นวงจรไฟฟ้าโดยใช้สารไดเมทิลฟอร์มมาร์ไมด์ (Dimethylformamide) เป็นสารละลายอินทรีย์ และใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงในกระบวนการแยกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 75°C พบว่าโบรมิเนตอ็อกซีเรซินมีการสลายตัวจากแผ่นวงจรไฟฟ้าไปเป็นของเหลวในสารละลายเมทิลฟอร์มมาร์ไมด์ ของแข็งที่ยังคงสภาพอยู่คือใยแก้วและโลหะ เมื่อลดอุณหภูมิจะทำให้อัตราการสลายตัวของโบรมิเนตอ็อกซีเรซินลดลง ในปีค.ศ. 2016 Himanshu Ranjan Verma และคณะ (Verma, Singh, and Mankhand 2016) ศึกษาการแยกขยะแผ่นวงจรไฟฟ้าโดยใช้สารไดเมทิลฟอร์มมาร์ไมด์เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 135°C พบว่าความสามารถในการทำละลายโบรมิเนตอ็อกซีเรซินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารไดเมทิลฟอร์มมาร์ไมด์ หลังจากนั้นในปีค.ศ. 2018 Tatariant Maksym และคณะ (Tatariants et al. 2018) พบว่าเมื่อใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงที่สูงขึ้น ความสามารถของสารไดเมทิลฟอร์มมาร์ไมด์ในการทำให้พันธะแวนเดอร์วาลส์ของโบรมิเนตอ็อกซีเรซินสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Wath S.B.และคณะ (Wath et al. 2015) ได้ทำการศึกษาการแยกโบรมิเนตอีพอกซีเรซินออกจากขยะแผ่นวงจรไฟฟ้าโดยใช้สารละลายนอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน (N-Methyl Pyrrolidone) เป็นตัวทำละลาย และเปรียบเทียบกับการใช้สารไดเมทิลซัลฟอกไซด์เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิเท่ากัน พบว่าสารละลายนอร์มอลเมทิลไพโรลิโดนสามารถทำละลายโบรมิเนตอีพอกซีเรซินได้ดีกว่า

Hadi Pejman และคณะ (Hadi et al. 2013) ผลิตตัวดูดซับโลหะหนักจากขยะแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออก (NMP) โดยการนำขยะแผ่นวงจรไฟฟ้าเข้าสู่กระบวนการกระตุ้น (Activation) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 250°C พบว่าแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออกเมื่อไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้นมีพื้นที่ผิวน้อย ความสามารถในการดูดซับที่ต่ำ ในขณะที่เดียวกันแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออกเมื่อผ่านการกระตุ้นแล้วมีพื้นที่ผิวที่มากกว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ดี เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักกับ Suqing D401 และ Lewatit TP207 ซึ่งเป็นสารดูดซับที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียพบว่าแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออกเมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นแล้วมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงกว่าสารดูดซับทั้งสองชนิดมาก ต่อมา Hadi Pejman และคณะ (Hadi, Barford, and McKay 2014) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะหนักมากกว่าหนึ่งชนิดในระบบของแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออกที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักลดลงเมื่อมีสารในระบบมากกว่าหนึ่งชนิดแต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับ Suqing D401 Lewatit TP207 และ MCM-41 พบว่าความสามารถในการดูดซับของแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการแยกโลหะออกเมื่อที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นแล้วนั้นสูงกว่าสารดูดซับทั้งสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. นอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน (N-Methyl-2-Pyrrolidone 99.9% Industrial Grade หรือ NMP) จากบริษัท วินเน็กซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide 90%) จากบริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด
3. สารละลายแคดเมียมไนเตรท (Cadmium nitrate, Cd= 1000 mg/L) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็มแอนด์พี อิมแป็กซ์
4. แผ่นพีเพอร์กอซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดก้นกลมสามคอ (3-Necks round bottom flask)
2. เครื่องทำความร้อน (Heater)
3. เครื่องปั่นกวน (Magnetic stirring)
4. อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. เตาเผา (Muffle furnace)
7. เครื่องบด (Grinder)
8. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

3.2 ขั้นตอนการแยกอีพอกซีเรซินออกจากแผ่นพีเพอร์กอซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

1. ตัดแผ่นพีเพอร์กอซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วให้ได้ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร
2. ติดตั้งอุปกรณ์ให้ได้ดังรูปภาพ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
3. ใส่สารนอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมสามคอ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. เปิดเครื่องทำความร้อนจากนั้นรอให้อุณหภูมิคงที่ที่ 80°C
5. ใส่แผ่นพีเพอกรออีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วน้ำหนัก 10 กรัมลงในขวดก้นกลมสามคอ และเปิดเครื่องปั่นกวน
6. เมื่อปั่นกวนเป็นเวลา 180 นาที ทำการกรองแยกของแข็งออกจากของเหลวจากนั้นล้างของแข็งด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปอบแห้งที่ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปภาพ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกระบวนการแยกอีพอกซีเรซิน

3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโลหะหนัก

1. เตรียมสารละลายแคดเมียมไนเตรท 5.6, 11.2, 16.9 และ 22.5 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำปราศจากไอออนลงในสารละลายแคดเมียมที่เตรียมไว้ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ

1. นำของแข็งจากการกระบวนการแยกอีพอกซีเรซินออกจากแผ่นพีเพอกรออีพอกซีเสริมแรงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งมอบให้โดยไม่มีค่าตอบแทน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. แยกขนาดด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน
3. นำของแข็งที่ได้แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ ในอัตราส่วนของแข็ง 2 กรัมต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง
4. นำของแข็งในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เข้าเตาเผาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง
5. ล้างของแข็งที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5 ขั้นตอนทดลองการดูดซับ

1. ผสมตัวดูดซับ 0.05 กรัมลงในสารละลายแคดเมียมไนเตรทความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
2. วัดค่าพีเอชตัวอย่างสารละลายแคดเมียมไนเตรทที่เวลา 1, 2, 3, 6, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นสารแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

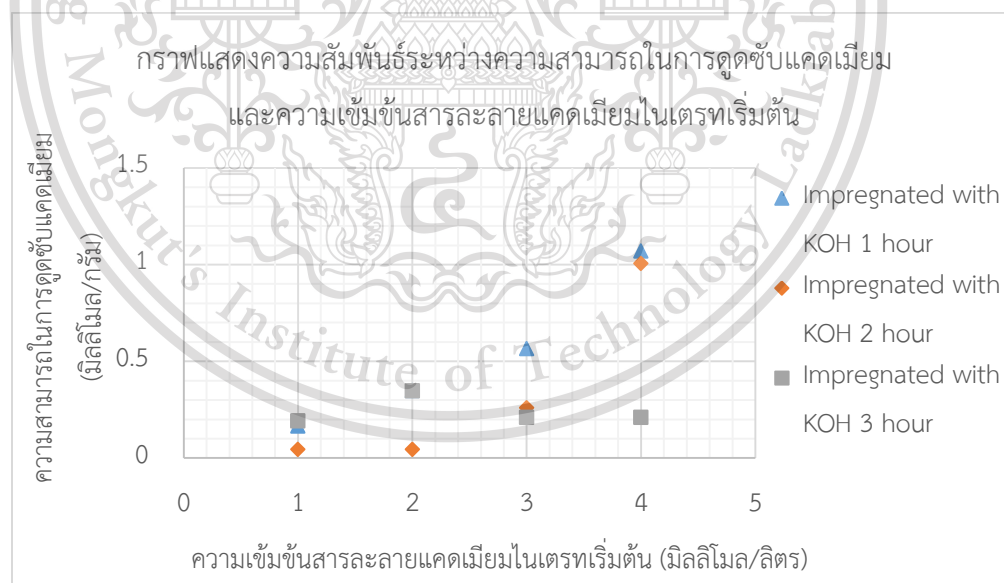
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับจากแผ่นพีเรอกรีฟอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับจากแผ่นพีเรอกรีฟอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว ที่ผ่านกระบวนการเคลือบในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แสดงในรูปภาพ 4.1 พบว่าความสามารถในการดูดซับแคดเมียมมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายแคดเมียมในเตรทสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นสูงมีแรงการขับเคลื่อนในการแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับมากกว่าความเข้มข้นต่ำ



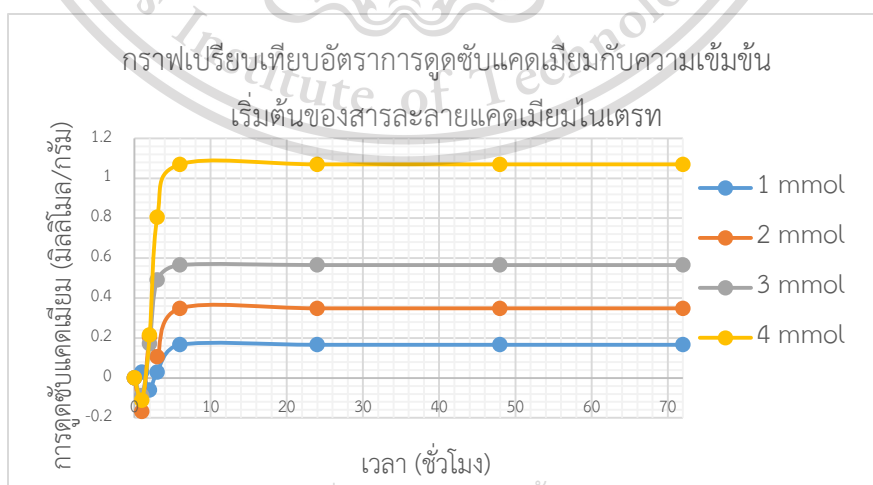
รูปภาพ 4.1 ผลวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมในเตรท

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับแคดเมียมพบว่าใยแก้วที่ผ่านการเคลือบสารละลายเอกสารนี้เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีความสามารถดูดซับแคดเมียมเฉลี่ย 1.07 มิลลิโมล/กรัม แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สารละลายแคดเมียมไนเตรทความเข้มข้นเริ่มต้น 4 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเป็นค่าสูงสุด เนื่องจากการเคลือบใยแก้วในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมงส่งผลให้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึมเข้าใยแก้วมากขึ้น เมื่อได้รับพลังงานความร้อนไปกระตุ้นพันธะซิลานอล (Silanol) ในใยแก้วจะเปลี่ยนเป็นพันธะซิลานเซน (Siloxane) ส่งผลให้โครงสร้างมีรูพรุนแต่เมื่อรูพรุนมีปริมาณมากโครงสร้างของตัวดูดซับเสียหายทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

4.2 อัตราการดูดซับของตัวดูดซับจากแผ่นพีเรอกรีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับกับเวลาพบว่าในช่วงแรกการดูดซับนั้นติดลบเนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จากผิวตัวดูดซับทำให้ในสารละลายตัวอย่างมีไฮดรอกไซด์มากขึ้นค่าพีเอชจึงลดลงเมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมไนเตรทด้วยสมการที่ (5) ผลของการคำนวณการดูดซับจึงมีค่าเป็นลบ หลังจากนั้นแคดเมียมไอออนได้เข้ามาแทนที่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผิวของตัวดูดซับจึงทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้นเมื่อคำนวณค่าการดูดซับจึงสูงขึ้น และเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อตัวดูดซับถึงจุดสมดุล เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับของตัวดูดซับที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายแคดเมียมไนเตรท 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงกับเวลา แสดงในรูปภาพ 4.2 พบว่าการเข้าสู่สมดุลของสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกันเข้าสู่สมดุลในช่วงเวลาเดียวกัน แต่อัตราการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 4 มิลลิโมลาร์มีค่าสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปภาพ 4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการดูดซับแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่พิมพ์แต่เพียงอย่างเดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

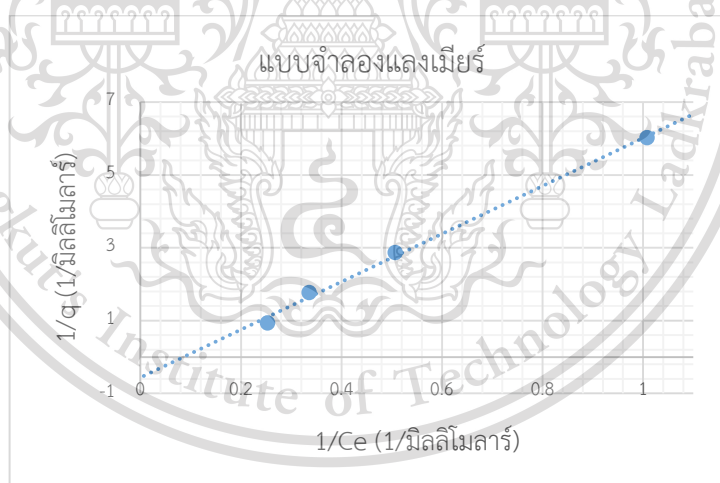
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดลองพบว่าเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของใยแก้วจากแผ่นพีเพอริกอีพอกซี เสริมแรงด้วยใยแก้วที่ผ่านการเคลือบในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลา 6, 24 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

4.3 แบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์

จากการนำผลการทดลองไปทำแบบจำลองจากสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ในรูปแบบเส้นตรง ได้แบบจำลองดังรูปภาพ 4.3 และได้ค่าคงที่แลงเมียร์เท่ากับ -0.085 ลิตร/มิลลิโมล ความสามารถดูดซับ แคนเดียมสูงสุดสำหรับการดูดซับชั้นเดียวเท่ากับ -1.780 มิลลิโมลต่อตัวดูดซับ 1 กรัมซึ่งเป็นค่าที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎีความสามารถในการดูดซับชั้นเดียวไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 0 เมื่อแทนในสมการแลงเมียร์ได้สมการ ดังนี้

$$q = \frac{0.151(Ce)}{1 - 0.085(Ce)} \quad (25)$$

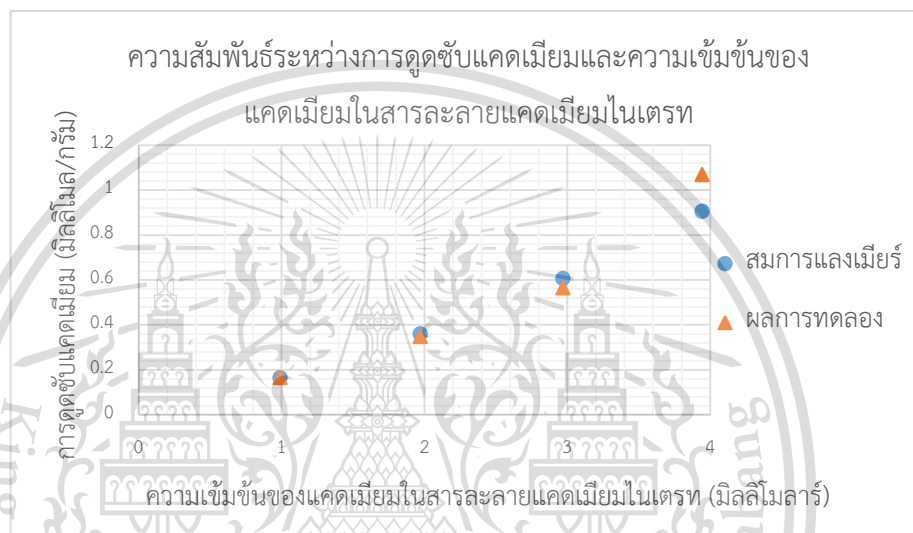


รูปภาพ 4.3 แบบจำลองการดูดซับจากสมการแลงเมียร์

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับจากสมการที่ (25) ในรูปภาพ 4.4 ค่าการดูดซับแคนเดียมจากสมการแลงเมียร์มีค่าที่แตกต่างจากการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันและแตกต่างกันมากเมื่อความเข้มข้นของแคนเดียมในสารละลายแคนเดียมไนเตรท 3.95 มิลลิโมลาร์ ค่าการดูดซับแคนเดียมจากสมการเอกสารนี้เป็น แลงเมียร์มีแนวโน้มแตกต่างจากค่าการดูดซับจากการทดลองมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคนเดียม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายแคดเมียมไนเตรทสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่าสมมติฐานของแลงเมียร์นั้นไม่เหมาะสมกับตัวดูดซับ การดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับไม่เป็นการดูดซับชั้นเดียว และพลังงานในการดูดซับแต่ละจุดบนตัวดูดซับไม่เท่ากัน



รูปภาพ 4.4 ผลการวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมจากสมการแลงเมียร์

4.4 แบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช

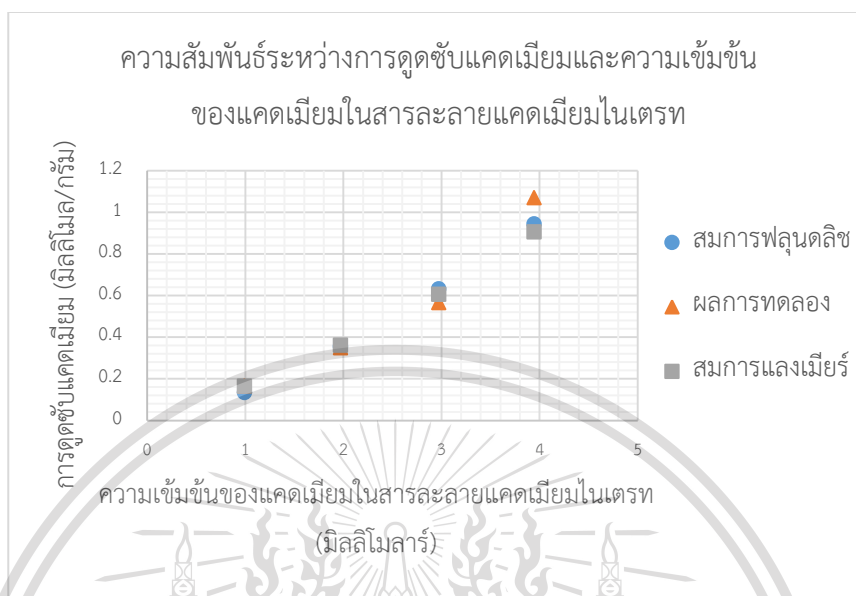
จากการนำผลการทดลองไปทำแบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช แบบจำลองแสดงในรูปภาพ 4.5 โดยค่าคงที่ฟรุนดลิช K และ n เท่ากับ 0.136 และ 0.709 แสดงในรูปสมการ (29) เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับพบว่าค่าการดูดซับจากสมการฟรุนดลิชนั้นใกล้เคียงกับค่าการดูดซับจากการทดลองในช่วงแรก และเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรทสูงขึ้นค่าการดูดซับแคดเมียมจากสมการฟรุนดลิชมีแนวโน้มแตกต่างจากผลการทดลองมากขึ้น เนื่องจากค่าคงที่ K และ n เป็นค่าเฉพาะสำหรับค่าพีเอชในระบบ เมื่อเกิดการดูดซับค่าพีเอชในระบบจึงสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับแคดเมียมจากสมการฟรุนดลิชมีค่าแตกต่างจากผลการทดลอง

$$q = 0.136C_e^{1/0.709} \quad (29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปภาพ 4.5 ผลการวิเคราะห์การดูดซับแคดเมียมจากสมการไอโซเทอมและผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างแนวโน้มค่าการดูดซับแคดเมียมจากสมการแลงเมียร์ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าสมการพอลินดิลิกซ์แต่ค่าการความสามารถดูดซับแคดเมียมสูงสุดสำหรับการดูดซับเดียวของสมการแลงเมียร์เป็นค่าติดลบทำให้ไม่สามารถคำนวณความสามารถในการดูดซับแคดเมียมเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรทสูงได้ สมการพอลินดิลิกซ์จึงเหมาะสมมากที่สุด นอกจากนี้จากค่าจากผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นลักษณะเส้นโค้งมากกว่าเส้นตรงซึ่งสนับสนุนสมมุติฐานของสมการไอโซเทอมพอลินดิลิกซ์ ที่พื้นผิวของตัวดูดซับสามารถมีการดูดซับหลายชั้น และพลังงานในการดูดซับในแต่ละพื้นที่บนผิวตัวดูดซับการดูดซับไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การดูดซับแคดเมียมด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเรอกรีตอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้ว ได้เริ่มต้นการศึกษาโดยการผลิตตัวอย่างตัวดูดซับสังเคราะห์จากใยแก้วที่ผ่านการแยกออกจากแผ่นพีเรอกรีตอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยการเคลือบในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ก่อนเข้ากระบวนการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับซึ่งผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ 3 เวลาได้แก่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมงพบว่า ระยะเวลาในการเคลือบใยแก้วด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับแคดเมียมโดยใยแก้วหลังจากผ่านการเคลือบสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ที่เวลา 1 ชั่วโมงมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมเฉลี่ยสูงสุด เมื่อสารละลายแคดเมียมในเตรทความเข้มข้นเริ่มต้น 4 มิลลิโมลาร์ ที่ 1.07 มิลลิโมลต่อกรัม เนื่องจากการเคลือบสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมงทำให้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึมเข้าสู่อใยแก้วมากขึ้น หลังจากได้รับการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส พันธะซิลานอลเปลี่ยนเป็นพันธะซิลานอนเป็นโครงสร้างรูพรุนจำนวนมากส่งผลให้โครงสร้างของตัวดูดซับเกิดการเสียหายเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวจึงลดลง ทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมมีน้อยกว่าตัวดูดซับที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และผลการเปรียบเทียบอัตราดูดซับสารแคดเมียมของตัวดูดซับที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์พบว่าตัวดูดซับเข้าสู่จุดสมดุลเร็วที่สุดคือใยแก้วที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ชั่วโมงเข้าสู่สมดุลที่เวลา 6 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวดูดซับพบว่า ใยแก้วที่ผ่านการเคลือบสารละลายโพแทสเซียม 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเป็นตัวดูดซับแคดเมียมที่ดีที่สุด

ผลการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอมพบว่าแบบจำลองไอโซเทอมที่เหมาะสมกับผลการทดลองที่สุดคือแบบจำลองการดูดซับจากสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิช โดยสมการที่เหมาะสมที่สุดกับการทดลองคือ $q = 0.136(Ce^{1/0.709})$ แบบจำลองนี้สนับสนุนสมมติฐานว่าการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับนั้นเป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การดูดซับแบบหลายชั้น และพลังงานในการดูดซับเป็นลักษณะกระจายในแต่ละจุดบนตัวดูดซับใช้พลังงานในการดูดซับแคดเมียมไม่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ตัวดูดซับจากแผ่นพีเพอกรีโอพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วไม่มีผลการทดสอบเพื่อยืนยันว่ามีการดูดซับแคดเมียมไว้ที่ผิวของตัวดูดซับจริง เนื่องจากไม่สามารถส่งตัวดูดซับไปวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุและหมู่ฟังก์ชันในตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ การทดสอบการดูดซับและคายซับของแก๊สไนโตรเจนเพื่อวิเคราะห์ประเภทไอโซเทอมของตัวดูดซับ ในการทดสอบการดูดซับควรมีการยืนยันค่าความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมในเตรทด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อ้างอิง

- Bilisik, Kadir et al. 2018. "Applications of Glass Fibers in 3D Preform Composites." *Advances in Glass Science and Technology*.
- Hadi, Pejman, John Barford, and Gordon McKay. 2014. "Selective Toxic Metal Uptake Using an E-Waste-Based Novel Sorbent-Single, Binary and Ternary Systems." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2(1): 332–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2014.01.004>.
- Hadi, Pejman, Ping Gao, John P. Barford, and Gordon McKay. 2013. "Novel Application of the Nonmetallic Fraction of the Recycled Printed Circuit Boards as a Toxic Heavy Metal Adsorbent." *Journal of Hazardous Materials* 252–253: 166–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.02.037>.
- Iftekhar, Sidra et al. 2018. "Understanding the Factors Affecting the Adsorption of Lanthanum Using Different Adsorbents: A Critical Review." *Chemosphere* 204(April): 413–30. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.053>.
- Luda, M. P., A. I. Balabanovich, M. Zanetti, and D. Guaratto. 2007. "Thermal Decomposition of Fire Retardant Brominated Epoxy Resins Cured with Different Nitrogen Containing Hardeners." *Polymer Degradation and Stability* 92(6): 1088–1100.
- Patiha, E. Herald, Y. Hidayat, and M. Firdaus. 2016. "The Langmuir Isotherm Adsorption Equation: The Monolayer Approach." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 107(1).
- Tatarants, Maksym et al. 2017. "Characterization of Waste Printed Circuit Boards Recycled Using a Dissolution Approach and Ultrasonic Treatment at Low Temperatures." *RSC Advances* 7(60): 37729–38.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อ้างอิง (ต่อ)

- Tatariants, Maksym, Samy Yousef, Gintaras Denafas, and Regita Bendikiene. 2018. "Separation and Purification of Metal and Fiberglass Extracted from Waste Printed Circuit Boards Using Milling and Dissolution Techniques." *Environmental Progress and Sustainable Energy* 37(6): 2082–92.
- Thomas; W. John; Crittenden; Barry. 2012. "Adsorbent." *Adsorbents* 66: 37–39.
- Thomas, W. John, and Barry Crittenden. 1998. "The Development of Adsorption Technology." *Adsorption Technology & Design*: 1–7.
- Verma, Himanshu Ranjan, Kamalesh K. Singh, and Tilak Raj Mankhand. 2016. "Dissolution and Separation of Brominated Epoxy Resin of Waste Printed Circuit Boards by Using Di-Methyl Formamide." *Journal of Cleaner Production* 139: 586–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.084>.
- Wang, Jianbo, and Zhenming Xu. 2015. "Disposing and Recycling Waste Printed Circuit Boards: Disconnecting, Resource Recovery, and Pollution Control." *Environmental Science and Technology* 49(2): 721–33.
- Wang, Jianlong, and Xuan Guo. 2020. "Adsorption Isotherm Models: Classification, Physical Meaning, Application and Solving Method." *Chemosphere* 258(July): 127279. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127279>.
- Wath, S. B. et al. 2015. "Separation of WPCBs by Dissolution of Brominated Epoxy Resins Using DMSO and NMP: A Comparative Study." *Chemical Engineering Journal* 280: 391–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.007>.
- Wise, W S, and California Santa. 2005. "Structure of Zeolites." *Encyclopedia of Geology*: 591–600.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อ้างอิง (ต่อ)

Yildirim, Eyup, Jude A. Onwudili, and Paul T. Williams. 2015. "Chemical Recycling of Printed Circuit Board Waste by Depolymerization in Sub- and Supercritical Solvents." *Waste and Biomass Valorization* 6(6): 959–65.

กระทรวงแรงงาน. 2564. "ทฤษฎีการดูดซับ." : 6–23.

http://nlrc.mol.go.th/research/IBISsr6/02IBISsr6.pdf?fbclid=IwAR3L9_bXM-PGXAXeepTdGYSkrfb_6Aro46wAjQqN7VQh-LmLDPwEddi6fVg.

เข็มชิต ธนากิจชาญเจริญ. "ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม."

จินดาอุตติกุล, สุพะไชย์. 2012. "การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ." *สรรสาร* 189: 22–24.

เชี่ยวชาญ, ปราโมช. "การปรับปรุงคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ตอนที่ 2 กระบวนการดูดซับ." *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*: 1–6. https://www.วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ.com/บทความวารสารความปลอดภัยฯ 2561/บทความ อ.ปราโมช/2436_กระบวนการดูดซับ.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ

ตาราง ก.1 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 1

	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.190	1.200	1.170	1.200	1.250	1.250	1.250	1.250
	2	0.930	0.900	0.970	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000
	3	0.720	0.710	0.740	0.780	0.790	0.790	0.790	0.790
	4	0.620	0.610	0.640	0.700	0.730	0.730	0.730	0.730
[H ⁺] (M)	1	0.065	0.063	0.068	0.063	0.056	0.056	0.056	0.056
	2	0.117	0.126	0.107	0.112	0.100	0.100	0.100	0.100
	3	0.191	0.195	0.182	0.166	0.162	0.162	0.162	0.162
	4	0.240	0.245	0.229	0.200	0.186	0.186	0.186	0.186
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	-0.001	0.003	-0.001	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
	2	0.000	0.008	-0.010	-0.005	-0.017	-0.017	-0.017	-0.017
	3	0.000	0.004	-0.009	-0.025	-0.028	-0.028	-0.028	-0.028
	4	0.000	0.006	-0.011	-0.040	-0.054	-0.054	-0.054	-0.054
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	0.029	-0.061	0.029	0.166	0.166	0.166	0.166
	2	0.000	-0.167	0.206	0.105	0.349	0.349	0.349	0.349
	3	0.000	-0.088	0.171	0.490	0.565	0.565	0.565	0.565
	4	0.000	-0.111	0.215	0.804	1.070	1.070	1.070	1.070

ตาราง ก.2 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 2

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.220	1.210	1.180	1.250	1.260	1.230	1.230	1.230
	2	0.900	0.920	0.950	0.880	1.010	1.010	1.010	1.010
	3	0.790	0.730	0.800	0.820	0.880	0.880	0.880	0.880
	4	0.570	0.610	0.630	0.670	0.750	0.750	0.750	0.750
[H ⁺] (M)	1	0.060	0.062	0.066	0.056	0.055	0.059	0.059	0.059
	2	0.126	0.120	0.112	0.132	0.098	0.098	0.098	0.098
	3	0.162	0.186	0.158	0.151	0.132	0.132	0.132	0.132
	4	0.269	0.245	0.234	0.214	0.178	0.178	0.178	0.178
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	0.001	0.006	-0.004	-0.005	-0.001	-0.001	-0.001
	2	0.000	-0.006	-0.014	0.006	-0.028	-0.028	-0.028	-0.028
	3	0.000	0.024	-0.004	-0.011	-0.030	-0.030	-0.030	-0.030
	4	0.000	-0.024	-0.035	-0.055	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	-0.028	-0.116	0.080	0.106	0.027	0.027	0.027
	2	0.000	0.113	0.273	-0.118	0.561	0.561	0.561	0.561
	3	0.000	-0.479	0.074	0.216	0.605	0.605	0.605	0.605
	4	0.000	0.472	0.692	1.103	1.820	1.820	1.820	1.820

ตาราง ก.3 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 3

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.180	1.190	1.260	1.200	1.270	1.190	1.190	1.190
	2	0.950	0.930	0.940	0.990	1.050	1.030	1.030	1.030
	3	0.730	0.750	0.760	0.780	0.860	0.860	0.860	0.860
	4	0.610	0.620	0.690	0.660	0.750	0.750	0.750	0.750
[H ⁺] (M)	1	0.066	0.065	0.055	0.063	0.054	0.065	0.065	0.065
	2	0.112	0.117	0.115	0.102	0.089	0.093	0.093	0.093
	3	0.186	0.178	0.174	0.166	0.138	0.138	0.138	0.138
	4	0.245	0.240	0.204	0.219	0.178	0.178	0.178	0.178
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	-0.002	-0.011	-0.003	-0.012	-0.002	-0.002	-0.002
	2	0.000	0.005	0.003	-0.010	-0.023	-0.019	-0.019	-0.019
	3	0.000	-0.008	-0.012	-0.020	-0.048	-0.048	-0.048	-0.048
	4	0.000	-0.006	-0.041	-0.027	-0.068	-0.068	-0.068	-0.068
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	0.030	0.222	0.059	0.246	0.030	0.030	0.030
	2	0.000	-0.105	-0.052	0.197	0.460	0.376	0.376	0.376
	3	0.000	0.167	0.248	0.404	0.960	0.960	0.960	0.960
	4	0.000	0.111	0.823	0.532	1.348	1.348	1.348	1.348

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 1

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.260	1.290	1.190	1.220	1.300	1.350	1.310	1.310
	2	1.040	1.020	1.000	1.020	0.980	0.970	1.040	1.050
	3	0.890	0.850	0.850	1.000	0.810	0.780	0.850	0.930
	4	0.840	0.760	0.790	0.780	0.730	0.660	0.770	0.850
[H ⁺] (M)	1	0.055	0.051	0.065	0.060	0.050	0.045	0.049	0.049
	2	0.091	0.095	0.100	0.095	0.105	0.107	0.091	0.089
	3	0.129	0.141	0.141	0.100	0.155	0.166	0.141	0.117
	4	0.145	0.174	0.162	0.166	0.186	0.219	0.170	0.141
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	-0.004	0.010	0.005	-0.005	-0.010	-0.006	-0.006
	2	0.000	0.004	0.009	0.004	0.014	0.016	0.000	-0.002
	3	0.000	0.012	0.012	-0.029	0.026	0.037	0.012	-0.011
	4	0.000	0.029	0.018	0.021	0.042	0.074	0.025	-0.003
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	0.073	-0.192	-0.106	0.096	0.205	0.119	0.119
	2	0.000	-0.086	-0.175	-0.086	-0.269	-0.318	0.000	0.041
	3	0.000	-0.248	-0.248	0.574	-0.519	-0.740	-0.248	0.226
	4	0.000	-0.583	-0.351	-0.427	-0.830	-1.479	-0.504	0.066

ตาราง ก.5 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 2

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.300	1.390	1.240	1.290	1.300	1.390	1.320	1.320
	2	1.000	1.050	0.940	0.950	1.000	1.030	1.010	1.010
	3	0.830	0.810	0.760	0.760	0.830	0.870	0.870	0.870
	4	0.680	0.640	0.610	0.600	0.700	0.700	0.800	0.800
[H ⁺] (M)	1	0.050	0.041	0.058	0.051	0.050	0.041	0.048	0.048
	2	0.100	0.089	0.115	0.112	0.100	0.093	0.098	0.098
	3	0.148	0.155	0.174	0.174	0.148	0.135	0.135	0.135
	4	0.209	0.229	0.245	0.251	0.200	0.200	0.158	0.158
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	-0.009	0.007	0.001	0.000	-0.009	-0.002	-0.002
	2	0.000	-0.011	0.015	0.012	0.000	-0.007	-0.002	-0.002
	3	0.000	0.007	0.026	0.026	0.000	-0.013	-0.013	-0.013
	4	0.000	0.020	0.037	0.042	-0.009	-0.009	-0.050	-0.050
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	0.187	-0.148	-0.023	0.000	0.187	0.045	0.045
	2	0.000	0.217	-0.295	-0.243	0.000	0.133	0.045	0.045
	3	0.000	-0.139	-0.516	-0.516	0.000	0.259	0.259	0.259
	4	0.000	-0.402	-0.728	-0.842	0.187	0.187	1.005	1.005

ตาราง ก.6 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงชุดที่ 3

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.260	1.180	1.210	1.220	1.220	1.270	1.270	1.270
	2	0.960	0.920	0.920	0.960	0.980	1.010	1.050	1.050
	3	0.790	0.700	0.740	0.780	0.790	0.860	0.960	0.960
	4	0.620	0.670	0.640	0.660	0.670	0.710	0.830	0.830
[H ⁺] (M)	1	0.055	0.066	0.062	0.060	0.060	0.054	0.054	0.054
	2	0.110	0.120	0.120	0.110	0.105	0.098	0.089	0.089
	3	0.162	0.200	0.182	0.166	0.162	0.138	0.110	0.110
	4	0.240	0.214	0.229	0.219	0.214	0.195	0.148	0.148
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	0.011	0.007	0.005	0.005	-0.001	-0.001	-0.001
	2	0.000	0.011	0.011	0.000	-0.005	-0.012	-0.021	-0.021
	3	0.000	0.037	0.020	0.004	0.000	-0.024	-0.053	-0.053
	4	0.000	-0.026	-0.011	-0.021	-0.026	-0.045	-0.092	-0.092
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	-0.222	-0.134	-0.106	-0.106	0.025	0.025	0.025
	2	0.000	-0.211	-0.211	0.000	0.098	0.238	0.409	0.409
	3	0.000	-0.744	-0.394	-0.075	0.000	0.481	1.047	1.047
	4	0.000	0.520	0.215	0.421	0.520	0.895	1.833	1.833

ตาราง ก.7 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 1

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.290	1.300	1.300	1.140	1.260	1.270	1.310	1.380
	2	1.030	1.090	1.080	0.990	0.970	0.930	1.070	1.120
	3	0.920	0.900	0.960	0.900	0.820	0.780	0.870	0.960
	4	0.800	0.820	0.820	0.790	0.710	0.670	0.770	0.830
[H ⁺] (M)	1	0.051	0.050	0.050	0.072	0.055	0.054	0.049	0.042
	2	0.093	0.081	0.083	0.102	0.107	0.117	0.085	0.076
	3	0.120	0.126	0.110	0.126	0.151	0.166	0.135	0.110
	4	0.158	0.151	0.151	0.162	0.195	0.214	0.170	0.148
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	-0.001	-0.001	0.021	0.004	0.002	-0.002	-0.010
	2	0.000	-0.012	-0.010	0.009	0.014	0.024	-0.008	-0.017
	3	0.000	0.006	-0.011	0.006	0.031	0.046	0.015	-0.011
	4	0.000	-0.007	-0.007	0.004	0.036	0.055	0.011	-0.011
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	0.023	0.023	-0.422	-0.073	-0.048	0.046	0.191
	2	0.000	0.240	0.202	-0.179	-0.276	-0.482	0.164	0.348
	3	0.000	-0.113	0.211	-0.113	-0.620	-0.911	-0.292	0.211
	4	0.000	0.142	0.142	-0.074	-0.727	-1.102	-0.226	0.211

ตาราง ก.8 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 2

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.410	1.290	1.270	1.190	1.320	1.430	1.330	1.350
	2	1.090	1.060	1.060	1.020	0.980	1.070	1.030	1.040
	3	0.890	0.960	0.920	0.890	0.820	0.890	0.930	0.930
	4	0.840	0.770	0.830	0.800	0.740	0.730	0.860	0.860
[H ⁺] (M)	1	0.039	0.051	0.054	0.065	0.048	0.037	0.047	0.045
	2	0.081	0.087	0.087	0.095	0.105	0.085	0.093	0.091
	3	0.129	0.110	0.120	0.129	0.151	0.129	0.117	0.117
	4	0.145	0.170	0.148	0.158	0.182	0.186	0.138	0.138
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	0.012	0.015	0.026	0.009	-0.002	0.008	0.006
	2	0.000	0.006	0.006	0.014	0.023	0.004	0.012	0.010
	3	0.000	-0.019	-0.009	0.000	0.023	0.000	-0.011	-0.011
	4	0.000	0.025	0.003	0.014	0.037	0.042	-0.007	-0.007
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	-0.247	-0.295	-0.511	-0.179	0.035	-0.157	-0.115
	2	0.000	-0.116	-0.116	-0.283	-0.467	-0.076	-0.240	-0.198
	3	0.000	0.382	0.171	0.000	-0.449	0.000	0.226	0.226
	4	0.000	-0.504	-0.067	-0.278	-0.746	-0.830	0.130	0.130

ตาราง ก.9 ผลการทดสอบตัวดูดซับสังเคราะห์ที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงชุดที่ 3

	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mmol/liter)	เวลา (hour)							
		0	1	2	3	6	24	48	72
pH	1	1.330	1.180	1.280	1.210	1.280	1.490	1.420	1.350
	2	1.050	1.010	1.100	1.010	1.010	1.140	1.150	1.120
	3	0.850	0.880	0.900	0.850	0.820	0.960	0.960	0.960
	4	0.790	0.810	0.860	0.790	0.730	0.780	0.790	0.850
[H ⁺] (M)	1	0.047	0.066	0.052	0.062	0.052	0.032	0.038	0.045
	2	0.089	0.098	0.079	0.098	0.098	0.072	0.071	0.076
	3	0.141	0.132	0.126	0.141	0.151	0.110	0.110	0.110
	4	0.162	0.155	0.138	0.162	0.186	0.166	0.162	0.141
[H ⁺] ที่เปลี่ยนแปลง (M)	1	0.000	0.019	0.006	0.015	0.006	-0.014	-0.009	-0.002
	2	0.000	0.009	-0.010	0.009	0.009	-0.017	-0.018	-0.013
	3	0.000	-0.009	-0.015	0.000	0.010	-0.032	-0.032	-0.032
	4	0.000	-0.007	-0.024	0.000	0.024	0.004	0.000	-0.021
การดูดซับ (mmol)	1	0.000	-0.385	-0.114	-0.297	-0.114	0.287	0.174	0.042
	2	0.000	-0.171	0.193	-0.171	-0.171	0.332	0.365	0.264
	3	0.000	0.188	0.306	0.000	-0.201	0.630	0.630	0.630
	4	0.000	0.145	0.481	0.000	-0.479	-0.075	0.000	0.417

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

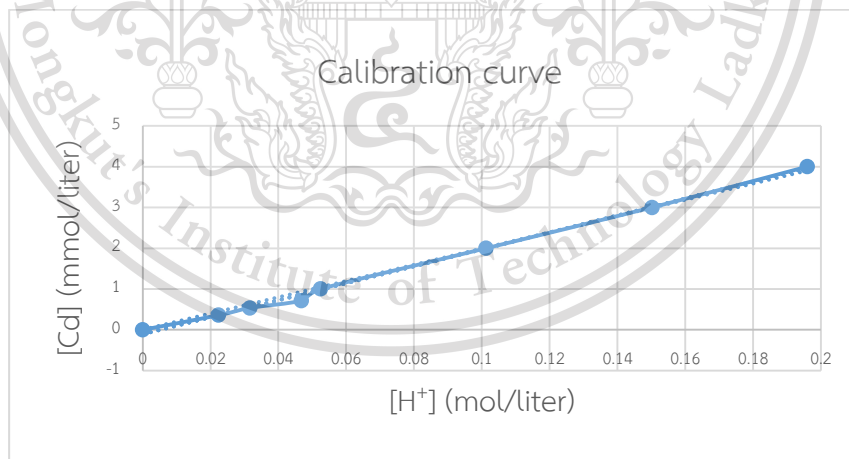
ข.1 การคำนวณความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับ (q_e)

ตัวอย่างการคำนวณ : การทดลองการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีเรกอีพอกซีเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมไนเตรทเริ่มต้น 4 มิลลิโมลาร์ โดยมีผลการทดลองดังตาราง ก.1

ตาราง ข.1 ข้อมูลสำหรับกราฟเทียบความเข้มข้นแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท

[Cd] (mmolar)	0	0.36	0.54	0.71	1	2	3	4
ค่า pH	7.56	1.65	1.5	1.33	1.28	0.99	0.82	0.71
[H ⁺] (molar)	2.75×10^{-8}	0.022	0.031	0.047	0.052	0.101	0.150	1.96

1. สร้างสมการหาความเข้มข้นจากกราฟเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท จากข้อมูลในตาราง ข.1



รูปภาพ ข.1 กราฟเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรท

สมการหาความเข้มข้นของแคดเมียม [Cd] จากกราฟเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายแคดเมียมไนเตรทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 $[Cd] = 0.02[H^+]$ (24)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. คำนวณหาความเข้มข้นของแคดเมียม [Cd] จากสมการ (24)

ความเข้มข้นเริ่มต้น $[Cd_0] = 0.02 \left[0.240 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right]$

$$[Cd_0] = 4.80 \frac{\text{mmol}}{\text{liter}}$$

ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล $[Cd_e] = 0.02 \left[0.186 \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right]$

$$[Cd_e] = 3.72 \frac{\text{mmol}}{\text{liter}}$$

3. คำนวณความสามารถในการดูดซับแคดเมียมจากสมการ (5)

การทดลองใช้สารละลายแคดเมียมในเตรทปริมาณ 0.05 ลิตร และตัวดูดซับ 0.05 กรัม

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (5)$$

$$q_e = \frac{0.05 \text{ liter} \left(4.80 \frac{\text{mmol}}{\text{liter}} - 3.72 \frac{\text{mmol}}{\text{liter}} \right)}{0.05 \text{ g}}$$

$$q_e = 1.08 \text{ mmol}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข.2 การคำนวณหาแบบจำลองแลงเมียร์

ตัวอย่างการคำนวณ : การทดลองการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับสังเคราะห์จากแผ่นพีวีเอคอกซ์เสริมแรงด้วยใยแก้วที่ผ่านการเคลือบโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงชุดที่ 1

ตาราง ข.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ b และ ความสามารถในการดูดซับสารชั้นเดียว (q_m)

ตัวแปร	ค่าที่ได้จากการทดลอง	หน่วย
การดูดซับที่จุดสมดุลที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 mmol/liter (q_1)	0.166	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุลที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 mmol/liter (q_2)	0.349	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุลที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 mmol/liter (q_3)	0.365	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุลที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 4 mmol/liter (q_4)	1.070	Mmol/g
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 1 mmol/liter (C_{e1})	0.992	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 2 mmol/liter (C_{e2})	1.972	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 3 mmol/liter (C_{e3})	2.972	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 4 mmol/liter (C_{e4})	3.947	Mmol/liter

จากสมการ (11) สามารถวาดกราฟหาค่าคงที่ b และ q_m โดยแทนค่า $1/q$ ที่ความเข้มข้นใดใดเป็นแกน Y และ $1/C_e$ เป็นแกน X ดังรูปภาพ 4.3

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{bq_m C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (11)$$

จะได้สมการเส้นตรง

$$Y = 6.575X - 0.562$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดย $\frac{1}{q_m} = -0.562$
 $q_m = -1.780$

นำค่า $\frac{1}{qm}$ ที่ได้ไปหาค่า b $\frac{1}{bq_m} = 6.575$
 $\frac{1}{b}(-0.562) = 6.575$

สมการเส้นตรงแลงเมียร์ที่ได้คือ $b = -0.085$
 $\frac{1}{q} = \frac{1}{0.151Ce} - \frac{1}{1.780}$

สมการแลงเมียร์ที่ได้คือ $q = \frac{0.151(Ce)}{1 - 0.085(Ce)}$ (25)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข.3 การคำนวณหาแบบจำลองฟรอนตลิช

ตาราง ข.3 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ K และ n

ตัวแปร	ค่าตัวแปร	หน่วย
การดูดซับที่จุดสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 1 mmol/liter (q_1)	0.166	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 2 mmol/liter (q_2)	0.349	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 3 mmol/liter (q_3)	0.565	Mmol/g
การดูดซับที่จุดสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 4 mmol/liter (q_4)	1.070	Mmol/g
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 1 mmol/liter (Ce_1)	0.992	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 2 mmol/liter (Ce_2)	1.972	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 3 mmol/liter (Ce_3)	2.972	Mmol/liter
ความเข้มข้นหลังเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 4 mmol/liter (Ce_4)	3.947	Mmol/liter

จากสมการ (15)

$$q = KCe^{1/n} \quad (15)$$

ขั้นตอนการหาค่าคงที่ K และ n จากโปรแกรม Matlab

จัดรูปสมการ (15) เป็นสมการเส้นตรง

$$\text{Log}(q) = \text{Log}(K) + \left(\frac{1}{n}\right)\text{Log}(Ce) \quad (26)$$

จัดค่า Log(q) และ Log(Ce) ให้อยู่ในรูป matrix ได้ค่าผลดังนี้

$$\text{Log}(q) = [-0.7799 \quad -0.4572 \quad -0.2480 \quad 0.0294] \quad (27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (28) การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำสมการ (27) และ (28) แทนในฟังก์ชัน Polyfit ในโปรแกรม matlab

```

>> log_q=[-0.77989 -0.45717 -0.24795 0.02938]
log_Ce=[0.04883 0.29885 0.50880 0.56891]
p=polyfit(log_Ce,log_q,1)
K=10^p(2)
n=1/p(1)

log_q =
    -0.7799    -0.4572    -0.2480     0.0294

log_Ce =
    0.0488    0.2989    0.5088    0.5689

p =
    1.4105   -0.8665

K =
    0.1360

n =
    0.7090

```

รูปภาพ ข.1 การแก้สมการ 2 ตัวแปรด้วยฟังก์ชัน polyfit

ผลลัพธ์

$$K = 0.136$$

$$n = 0.706$$

สมการพหุนดลีส

$$q = 0.136Ce^{1/0.706} \quad (29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.