

**การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับตะกั่วและเหล็กโดยใช้
ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน
Feasibility of Lead and Iron adsorption by using epoxidized natural
rubber modified with ethylenediamine**

**ชณัฐภา กะการดี
Chanatda Kakandee**

**วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Bachelor of Science Project in Chemistry
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University**

2552

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับตะกั่วและเหล็กโดยใช้ยางธรรมชาติ
อีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน

Feasibility of Lead and Iron adsorption by using epoxidized natural
rubber modified with ethylenediamine

ผู้ทำวิจัย นางสาวชนัญญา กะการดี
สาขาวิชา เคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดกมล ลาโสภา)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี

.....

(อาจารย์เน่งน้อย แสงเสนห์)

ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตวิชาเคมี

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับตะกั่วและเหล็กโดยใช้ยางธรรมชาติ

อีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน

Feasibility of Lead and Iron adsorption by using epoxidized natural rubber modified with ethylenediamine

ผู้ทำวิจัย

นางสาวชนัญญา กะการดี

สาขาวิชา

เคมี

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายเป็นกิจการอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโลหะหนัก มีจุดหลอมเหลวต่ำ อยู่ในสถานะ Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+} ตะกั่วปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ ดินและน้ำ น้ำเสียของโรงงานจากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักแหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลและแม่น้ำสายต่างๆของประเทศ ไทย พบว่ามีการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง เหล็กเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับตะกั่ว และเหล็กโดยใช้ยางธรรมชาติ อีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED) สภาวะที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) นั้น เตรียมโดยใช้อัตราส่วนน้ำยาง 1.7 โมล ทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 20 %DRC กับกรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล กรดฟอร์มิก 0.9 โมล โดยใช้ 10 เปอร์เซนต์ Triton X-100 จำนวน 30 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ยาง ENR ที่ได้มีเปอร์เซนต์หมู่อีพอกไซด์เท่ากับ 58.24 เปอร์เซนต์โมลอีพอกไซด์ นำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีนในอัตราส่วน 10 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อนำยาง ENR-ED ไปวิเคราะห์ FT-IR สามารถยืนยันโครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีการต่อของเอทิลีนไดเอมีน

จากการศึกษาการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED พบว่ามีค่าความจุของการดูดซับเท่ากับ 1.197 และ 2.609 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทั้งสอง Pb^{2+} และ Fe^{3+} มีการดูดซับสูงสุดที่เวลา 10 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่ pH 5 มีการดูดซับ เนื่องจากที่ pH สูง จะมีปริมาณ OH^- เป็นจำนวนมากจะขัดขวางการโปรโตเนตบนยาง ENR-ED และจะมีปริมาณ H^+ น้อย การขัดขวางในการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างลิแกนด์กับโลหะน้อยลง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูง ที่ pH ต่ำ ๆ จะมี H^+ จำนวนมาก H^+ จะไปขัดขวางการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างลิแกนด์กับโลหะ H^+ จะเกิดการโปรโตเนตและเกาะบนตัวดูด ทำให้ไม่สามารถดูดซับโลหะ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ รุ่งนภา พิมเสน ที่กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนวทางและแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดจนการวิจัยในครั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสิ้น สมบูรณ์ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชและเจ้าหน้าที่ภาคเคมี ที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้เขียนด้วยความเมตตากรุณา จนผู้เขียนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ชนัญญา กะการดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
กิตติกรรมประกาศ	(ข)
สารบัญ	(ค)
สารบัญตาราง	(จ)
สารบัญภาพ	(ฉ)
 บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ระยะเวลาการทำการวิจัย	3
 บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ยางธรรมชาติ	4
สมบัติของยาง	10
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	12
โลหะหนัก	15
การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	18
ทฤษฎีการดูดซับ	18
ไอโซเทอร์มการดูดซับ	22
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมี	29
ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)	30
การศึกษาตัดแปรงยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)	30
ศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	
ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)	37
การศึกษาตัดแปรงยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)	40
ศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	53
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้าง cis 1, 4 Polyisoprene	4
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ	7
ภาพที่ 2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของยาง (ก) ก่อนให้แรงดึง (ข) ขณะให้แรงดึง	9
ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก	10
ภาพที่ 2.5 แสดงการเปิดวงของหมู่ไอพอกไซด์เมื่อค่าคงที่การแตกตัวของกรดคาร์บอกซิลิกสูงขึ้น	11
ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาของหมู่ไอพอกไซด์กับสารเคมีชนิดต่าง ๆ	12
ภาพที่ 2.7 กราฟสมการ (2.2) ของ Langmuir	19
ภาพที่ 2.8 กราฟสมการ (2.3) ของ Langmuir	20
ภาพที่ 2.9 กราฟหาค่า C_s สำหรับสมการ (4) ของ BET	20
ภาพที่ 2.10 กราฟสมการ (2.5) ของ BET	21
ภาพที่ 2.11 กราฟสมการ (2.6) ของ Freundlich	22
ภาพที่ 4.1 สเปกตรัม FT-IR ของยางธรรมชาติ	36
ภาพที่ 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 10 ชั่วโมง	37
ภาพที่ 4.3 กราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์โมลไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติไอพอกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (Davey and Loadman, 1984)	37
ภาพที่ 4.4 ปฏิกิริยาเตรียมยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยกรดเปอร์ฟอร์มิก	
ภาพที่ 4.5 ปฏิกิริยาของการดัดแปรยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน	
ภาพที่ 4.6 ปฏิกิริยาการดัดแปรยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน	
ภาพที่ 4.7 การโคออดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างโลหะกับหมู่ของเอมีนของ poly(acrylamidino diethylenediamine) (Youg Gun และ Ung Su Choi, 2007)	38
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ที่เวลาต่างๆ	39
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Fe^{3+} ที่เวลาต่างๆ	40
ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ที่เวลาต่างๆ	40
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ที่ pH ต่างๆ	44
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Fe^{3+} ที่ pH ต่างๆ	47

ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ที่ pH ต่างๆ	47
ภาพที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ที่ pH ต่างๆ	49
ภาพที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Fe^{3+} ที่ความเข้มข้น ต่างๆ	51
ภาพที่ (1) กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ Pb^{2+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโกปี (AAS)	
ภาพที่ (2) กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ Fe^{3+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโกปี (AAS)	

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ	8
ตารางที่ 2.2	ปริมาณน้ำทิ้งและคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะในเขตกรุงเทพ ฯ มะนิลา และสหรัฐอเมริกา	13
ตารางที่ 2.3	ชนิดและปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะหนักที่มีไซยาไนด์ และไม่มีไซยาไนด์ เก็บจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร	14
ตารางที่ 4.1	ผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยยาง ENR-ED ที่เวลาต่างๆ	41
ตารางที่ 4.2	ผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED ที่เวลาต่างๆ	43
ตารางที่ 4.3	ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยยาง ENR-ED	45
ตารางที่ 4.4	ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED	46
ตารางที่ 4.5	ผลการศึกษาความจุของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)	48
ตารางที่ 4.6	ค่า $\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม) เพื่อหาความจุของการดูดซับ Pb^{2+}	48
ตารางที่ 4.7	ผลการศึกษาความจุของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)	49
ตารางที่ 4.8	ค่า $\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม) เพื่อหาความจุของการดูดซับ Fe^{3+}	50
ตารางที่ 4.9	ค่าความจุของการดูดซับ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ด้วยวิธีแบบการแช่ โดยสมการของ Freundlich	51

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายเป็นกิจการอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโลหะหนัก มีจุดหลอมเหลวต่ำ อยู่ในสถานะ Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+} ตะกั่วปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ ดินและน้ำ น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีตะกั่วเจือปนอยู่ในปริมาณสูง เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะทำให้ร่างกายมีอาการผิดปกติ โดยจะมีอาการปวดศีรษะ อาเจียนเนื่องมาจากได้รับสารตะกั่วเข้าไปในปริมาณมาก (ฉัตรปกรณันันท์ ทวงศ์และคณะ, 2548) ซึ่งโลหะเหล่านี้โดยส่วนใหญ่จะพบใน อุตสาหกรรม สารเคมี การผลิตท่อน้ำ การผลิตปุ๋ย และการผลิตแบตเตอรี่จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักแหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลและแม่น้ำสายต่างๆของประเทศไทย พบว่ามีการปนเปื้อนโลหะหนัก ไคแก่ โปรท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกบริเวณจังหวัดตราด (แววตา ทองระอา, 2549) บริเวณทะเลสาบสงขลา มีการปนเปื้อน โลหะ ทองแดง ตะกั่ว และ โปรท เกินค่ามาตรฐาน (ประดิษฐ์ มีสุข และ เสาวณี โพชนุกูล, 2548) บริเวณแม่น้ำน่าน ในจังหวัดอุตรดิตถ์มีการปนเปื้อนของ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และ ตะกั่ว (ชูสิน ชิริสวัสดิ์, 2551) บริเวณแม่น้ำกวัง จังหวัดลำพูน มีการปนเปื้อนของ เหล็ก ตะกั่ว โครเมียม (นิริวัต จำรูญรัตน์, 2548) นอกจากทะเลและแม่น้ำ พบว่าน้ำบาดาลซึ่งถือได้ว่าเป็นน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคที่มักใช้กันในบ้านเรือนทั้งในตัวเมืองและชนบท พบว่าน้ำบาดาลที่อยู่ใกล้กับแหล่งปฏิภนในตัวเมืองขอนแก่นมีการปนเปื้อนโลหะหนัก แคดเมียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม โปรท คาร์บอนเนต ซัลเฟต และ ไนเตรท ซึ่งพบว่ามีปริมาณ โปรท เกินค่ามาตรฐาน (ฉลอง บัวผัน และคณะ, 2542) จะเห็นได้ว่าในแหล่งน้ำหลายๆที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค มีการปนเปื้อนโลหะหนัก และโลหะหนักบางชนิดมีค่าเกินมาตรฐาน เมื่อได้รับปริมาณโลหะมากจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นการกำจัดโลหะก่อนปล่อยลงในแหล่งน้ำของโรงงานต่างๆจึงจำเป็นมากในการกำจัดโลหะหนักก่อนการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำวิธีการกำจัดโลหะมีหลายวิธี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน รีเวอร์สออสโมซิส การดูดซับ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน และการตกตะกอน ในวิธีทั้งหมดนี้การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

วิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำยางธรรมชาติเพื่อที่จะนำมาพัฒนาในการที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับโลหะหนักโดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดัดแปลงด้วยเอทิลีนไดเอมีนแล้ว ยางพาราเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ และโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยพันธะคู่ซึ่งสามารถดัดแปรโดยหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดพันธะกับโลหะหนักได้ เช่น หมู่เอมีน เนื่องจากยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยการส่งออกส่วนใหญ่จะส่งในรูปวัตถุดิบซึ่งมีมูลค่าต่ำ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพารา และสามารถแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก เป็นเหตุทำให้เกิดงานวิจัยครั้งนี้ขึ้น ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เน้นการดัดแปรยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะ ตะกั่ว และเหล็ก ในน้ำเสียที่สังเคราะห์

ซึ่งสาเหตุที่มีแนวคิดในการนำยางธรรมชาติมาดัดแปลง เพื่อที่ใช้เป็นตัวดูดซับนั้นเนื่องมาจาก

1. ในประเทศไทยมีการปลูกยางพารามาก จึงทำให้น้ำยางธรรมชาติหาได้ง่ายและมีราคาไม่แพงนัก
2. เพื่อเป็นการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำยางธรรมชาติ
3. ไม่ทำให้เกิดสีและกลิ่น
4. ไม่จำเป็นต้องทำการรีเจนเนอเรท กำจัดง่ายโดยการนำไปฝังดินและยางยังเป็นอาหารของแบคทีเรียในดิน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)

ขอบเขตของการวิจัย

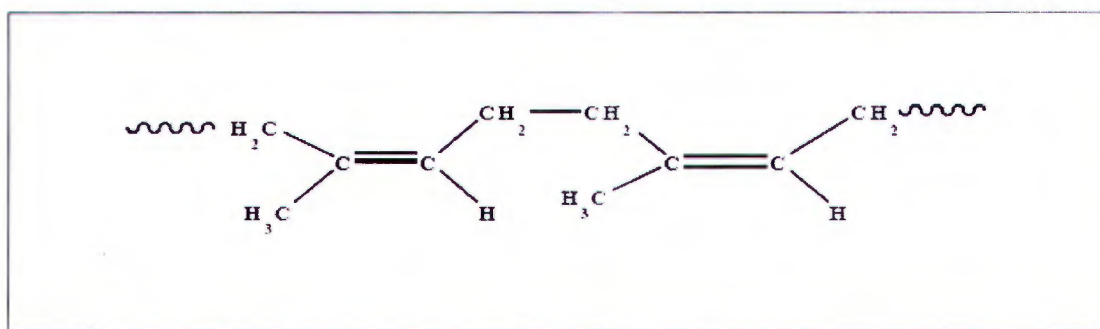
ศึกษาการดัดแปรยางธรรมชาติด้วยเอทิลีนไดเอมีน โดยผ่านการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิก ใช้เอทิลีนไดเอมีนที่มากเกินไปในการดัดแปรสามารถดูดซับโลหะหนัก ศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่วและเหล็กของยางธรรมชาติดัดแปรเอทิลีนไดเอมีนด้วยวิธีแบบแห้ง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-Polyisoprene, PI) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงที่มีหน่วยซ้ำๆ กันเป็น C_5H_8 จากการศึกษพบว่าหน่วยซ้ำๆ กันเหล่านี้มีการจัดแบบซิส (cis) กล่าวคือหมู่ CH_3 ของทุกหน่วยอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ตลอดสายโซ่ของยาง ซึ่งมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้าง cis 1, 4 Polyisoprene

ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

โมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ประเภทอีลาสโตเมอร์ ที่ได้จากธรรมชาติ คือ ต้นยางพาราที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ “ฮีเวีย บราซิลิเียนซิส” (Hevea Brasiliensis) บางครั้งจึงเรียกยางธรรมชาติว่า “ยางฮีเวีย” (Hevea latex) หรือยางพารา

น้ำยางที่ได้จากต้นยางโดยปกติแล้วจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีสภาพความเป็นกรดและด่าง (pH) ประมาณ 6.5 ถึง 7.0 และมีพลังงานพื้นผิวอิสระ (surface free energy) ตั้งแต่ 4.0 ถึง 4.5 ไมโครจูลต่อตารางเซนติเมตร โดยทั่วไปในน้ำยางจะมีส่วนประกอบต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

- | | |
|---|----------------|
| (1). ส่วนที่เป็นเนื้อยาง | 35 เปอร์เซ็นต์ |
| (2). ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง | 65 เปอร์เซ็นต์ |
| - ส่วนที่เป็นน้ำ | 55 เปอร์เซ็นต์ |
| - ส่วนที่เป็นลูทอยด์ (Lutoid) และสารอื่นๆ | 10 เปอร์เซ็นต์ |

1. ส่วนที่เป็นเนื้อมยาง (Rubber phase)

ในส่วนของเนื้อมยางนั้นจะมีลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลมคล้ายลูกแพร์ โดยจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02 ถึง 3 ไมโครเมตร มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยส่วนประกอบของเนื้อมยางแห้งมีดังนี้

ยางไฮโดรคาร์บอน	86 เปอร์เซ็นต์
น้ำ	10 เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	3 เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	1 เปอร์เซ็นต์

นอกจากสารดังกล่าวแล้ว ยังมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียมโพแทสเซียม และทองแดงปน อยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์

อนุภาคยางเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ในสภาพน้ำยางสดผิวรอบอนุภาคถูกหุ้มห่อด้วยไขมันพวกฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) และโปรตีน โดยฟอสโฟลิปิดเป็นตัวที่ยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนและสารโปรตีน

2. ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อมยาง

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ (Aqueous phase)

ส่วนที่เป็นน้ำ (Aqueous phase) หรือ เรียกว่า ซีรัม มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังนี้

2.1.1 คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นพวกแอลเมทิลลิโนซิทอล (l-Methy linositol) หรือที่เรียกว่า ควีบราซิทอล (Quebrachitol) มีอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยาง และยังมีคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ บ้างเล็กน้อยได้แก่พวก กลูโคส ซูโครส กาแลกโตส ฟรุคโตส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำยาง กล่าวคือ หากมีการรักษาสภาพน้ำยางไม่เพียงพอ จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นพวกกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดฟอร์มิก อะซิติก และโพรพิโนอิก กรดเหล่านี้มีผลทำให้น้ำยางเสียสถานะและจับตัวเป็นก้อนได้

2.1.2 โปรตีน และกรดอะมิโนโปรตีน ที่สำคัญได้แก่ อัลฟา-โกลบูลิน (α -globulin) และฮีวิน (Hevein) อัลฟา-โกลบูลินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีมากในส่วนน้ำของน้ำยางสด มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายได้ในสารละลายของเกลือ ของกรด และของด่าง

การเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางจะเพิ่มการเคลื่อนไหวของอัลฟา-ไกลบูลิน และอนุภาคของยาง ซึ่งเป็นการช่วยรักษาสภาพน้ำยางได้

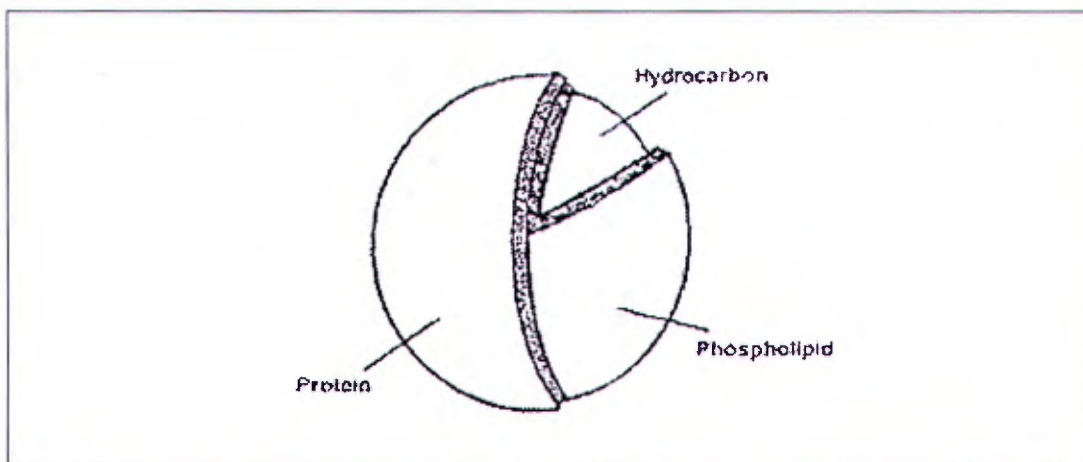
2.2 ส่วนที่เป็นลูทอยด์ (Lutoid) และสารอื่นๆ

ลักษณะของลูทอยด์เป็นรูปกลมมีเยื่อหุ้มอยู่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-5 ไมโครเมตร หนักกว่าอนุภาคยางภายในเยื่อบางของลูทอยด์ประกอบด้วยของเหลว ที่เรียกว่าบีเซรัม (Bserum) มี pH ประมาณ 5.5 เป็นสารละลายของกรดเกลือ แร่โปรตีน น้ำตาล และพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) พอลิฟีนอลออกซิเดส ทำให้น้ำยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจนลูทอยด์ในน้ำยางมีอิทธิพลต่อความเหนียวหนืด และสภาพการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด กล่าวคือ ลูทอยด์จะจับตัวได้อย่างเต็มที่ และเร็วกว่าส่วนอื่นๆ ของน้ำยางจากหลักการนี้ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการทำยางเครพขาว โดยทำให้น้ำยางส่วนที่มีสีเหลืองจับตัวกันแล้วแยกออกมาก่อน แล้วจึงให้น้ำยางที่เหลือซึ่งมีสีขาวจับตัวอย่างสมบูรณ์

ลูทอยด์มีคุณสมบัติที่เกิดปฏิกิริยาออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยาง จึงมีผลทำให้ลูทอยด์เกิดการบวมหรือพองตัวแล้วแตกออก ทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้น ในวิธีการแปรรูปน้ำยางเป็นยางแห้งได้รวมเอาขั้นตอนของการเติมน้ำ ทำให้น้ำยางเจือจางก่อนการทำให้ยางจับตัวหมายความว่า ลูทอยด์เกิดการบวมหรือพองตัวแล้วแตกออก ก่อนที่น้ำยางจะจับตัว และส่วนของลูทอยด์จะต้องติดอยู่ภายในก้อนยางที่จับตัวด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของยางได้ เมื่อเจือจางน้ำยางด้วยน้ำ ความหนืดของน้ำยางจะสูงในระยะแรก จนถึงจุดที่หนืดเต็มที่แล้วความหนืดจะลดลงทันที การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เนื่องจากลูทอยด์ในน้ำยางบวมแล้วแตกออก การกรีดยางทำให้น้ำยางภายในท่อน้ำยางเจือจาง ซึ่งมีผลทำให้ลูทอยด์พองตัวแล้วความหนืดของน้ำยางจะเพิ่มขึ้น อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้น้ำยางหยุดไหล อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ลูทอยด์เกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งแตกออก ก็คือขณะที่น้ำยางไหลออกจากต้นยาง ลูทอยด์จะเกิดการเสียดสีกันเองมีผลทำให้ลูทอยด์แตกได้

นอกจากนี้ในชั้นของลูทอยด์ยังมีสารอีกพวกหนึ่ง ที่เรียก อนุภาคฟรี-วิสลิง (Frey-Wyssling) อนุภาคนี้มีลักษณะกลมอยู่กันเป็นกลุ่ม มีสีเหลืองจัด ไม่ใช่เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อยาง มีขนาดและความหนาแน่นมากกว่ายางเล็กน้อย สีเหลืองของฟรี-วิสลิง เป็นผลเนื่องจากสารคาโรทีนอยด์ ฟรี-วิสลิงประกอบด้วยไขมัน และคาโรทีนอยด์ จะไม่พบอนุภาพฟรี-วิสลิงในน้ำยางชั้นที่ใส่แอมโมเนีย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ถูกแยกออกระหว่างการปั่นน้ำยาง หรืออาจละลายในซีรัมขณะเติมแอมโมเนียลงในน้ำยาง ในการทำให้น้ำยางข้นโดยการปั่น จะมีการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง แอมโมเนียช่วยเอาลูทอยด์ออก และเยื่อของลูทอยด์อาจละลายอยู่ในสารละลายแอมโมเนีย เกิดเป็นสารละลายสีน้ำตาลกับตะกอน (Sludge) ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอน

ตะกอนนี้อาจเป็นพวกแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ มักติดอยู่ภายในตัวเครื่องปั๊ม และจะต้องคอยถอดเครื่องเพื่อล้างตะกอนออก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำยางขึ้นลดลง



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ

ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

น้ำยางที่ได้สามารถเก็บรักษาไว้ในรูปของเหลวแขวนลอย โดยการเติมสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษานี้ เรียกว่า Preservation เมื่อต้องการให้ตัวยางแยกออกจากระบบแขวนลอยก็เติมกรด เช่น กรดอะซิติก ฟอรั่มิก หรือซัลฟิวริก ตัวยางจะรวมตัวกัน (Coagulate) เป็นก้อน เรียกว่า โคเอกูลัม (Coagulum) แล้วนำไปทำเป็นแผ่นล้างให้สะอาดแล้วทำให้แห้งโดยการผึ่งลม แผ่นยางที่ได้เรียกว่าแผ่นยางดิบ

ยางธรรมชาติ ประกอบด้วย 2 ภูมิภาค ได้แก่ sol และ gel ความแตกต่าง คือความสามารถของการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีปริมาณกิ่งก้านสาขามากๆ และการเชื่อมโยงโมเลกุลที่เกิดขึ้นในยางแตกต่างกัน ซึ่งการทำให้เกิดแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical Shear) กับยาง เช่น การบด หรือการเกิดออกซิเดชันด้วยความร้อน และออกซิเจน จะทำให้เจลเฟสแตกออก จึงมีผลทำให้การละลายเพิ่มขึ้น ตัวทำละลายที่ดีของยางธรรมชาติ ได้แก่ Aliphatic และ Aromatic Hydrocarbon, Chlorinated Hydrocarbon, Ether, Carbon Disulfide ส่วนตัวไม่ทำละลาย ได้แก่ Ketone, Alcohol, Esters

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ

Density	0.92
Refractive index (20 ⁰ C)	1.52
Coefficient of cubical expansion	0.00062 / ⁰ C
Cohesive energy density	63.7 cal./g
Thermal conductivity	0.00032 cal./sec/cm ²
Dielectric constant	2.37
Powder factor (1.000 cycles)	0.15 – 0.2
Volume resistivity	10 ¹⁵ ohms/c.c.
Dielectric strength	1.000 volts / mil
Heat of combustion	10.700 cal./g

ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

สมบัติของยาง (Properties of Rubber)

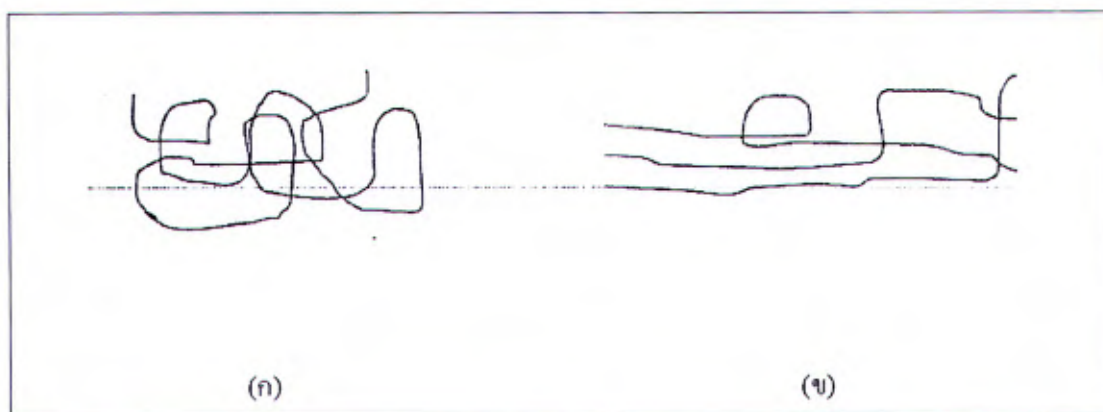
การที่ยางเป็นวัสดุที่นิยมใช้ และมีการประยุกต์ใช้อย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เด่น คือ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น (Flexible) เหนียว (Tough) แข็งแรง มีการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่ำ สามารถรับแรงดึงหรือแรงกดอัดได้อย่างมาก สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างมากเมื่อได้รับแรง และกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยแรง นอกจากนี้ยางบางชนิดยังมีสมบัติพิเศษ เช่น ทนน้ำมัน ทนอุณหภูมิสูง ทนตัวทำละลาย ฯลฯ ดังนั้น สามารถนำยางมาประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางและหลากหลาย ผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันไป เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ยางจะมีองค์ประกอบหรือสูตรยาง

แตกต่างกันไป เช่น สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents) สารเร่งการเชื่อมขวาง (Accelerators) ตัวกระตุ้น (Activators) สารเพิ่มเนื้อ (Fillers) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) ฯลฯ ชนิด และปริมาณของสารเหล่านี้ จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง นอกจากนี้วิธี และสถานะการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เช่น อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูป ก็มีความสำคัญและมีผลต่อสมบัติของยางเช่นกัน

การที่ยางมีสมบัติเด่นดังกล่าว เนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลไม่น้อยกว่า 50,000 กรัมต่อโมล โมเลกุลสามารถเคลื่อนไหวได้ง่าย มีความยืดหยุ่นสูง นั่นหมายความว่า สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้น จะต้องไม่ถูกขัดขวาง การ

มีความยืดหยุ่นสูง นั้นหมายถึงว่า สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้น จะต้องไม่ถูกขัดขวาง การเคลื่อนที่ และการหมุน เช่น การมีหมู่อะโรมาติกจะทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์นั้นมีความแข็ง ทำให้โมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ทำให้พอลิเมอร์นั้นไม่มีสมบัติคล้ายยางอุณหภูมิลายแก้ว (T_g) ต่ำ และสมบัติที่สำคัญของยาง คือ สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้สมบูรณ์เมื่อปล่อยแรง เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพัน (Entanglement) หรือเชื่อมโยงกัน (Crosslink)

การที่วัสดุยางสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อปล่อยแรง โมเลกุลจะต้องมีการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแห (Crosslinking) โดยมีพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ทุก 100 หน่วยโดยประมาณ เพื่อป้องกันการไม่กลับคืนตำแหน่งเดิม โครงสร้างโมเลกุลจะต้องยาว และสามารถ เปลี่ยนการจัดเรียงตัวได้ในหลายรูปแบบ เคลื่อนไหวได้ง่ายและมีความยืดหยุ่นสูง นั่นคือมีโครงสร้าง โมเลกุลที่เปลี่ยนโครงรูป (Configuration) ได้ง่ายโดยการหมุนของสายโซ่โดยไม่จำเป็นต้องใช้พลังงาน มากในการเปลี่ยนมุมระหว่างพันธะ แรงที่ทำให้ยางมีการหดตัวกลับเมื่อทำการยืดและปล่อยแรง เนื่องจากการเปลี่ยน “เอนโทรปี” (Entropy) พิจารณาการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของยางก่อนและหลังการให้แรงดังภาพที่ 2.3 (ก) และ (ข) เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของยาง (ก) ก่อนให้แรงดึง (ข) ขณะให้แรงดึง จะเห็นได้ว่าการยืดออกของยางเมื่อได้รับแรงดึง เป็นการเปลี่ยนโครงรูปจากโครงรูปที่พันกัน อย่างไม่เป็นระเบียบ เป็นโครงสร้างที่มีการเรียงตัวของสายโซ่ตามแนวแรง โดยไม่มีการเปลี่ยนมุมระหว่างพันธะ ดังนั้น โครงสร้างจะมีการเปลี่ยนพลังงานภายในเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จะมีการลดลง



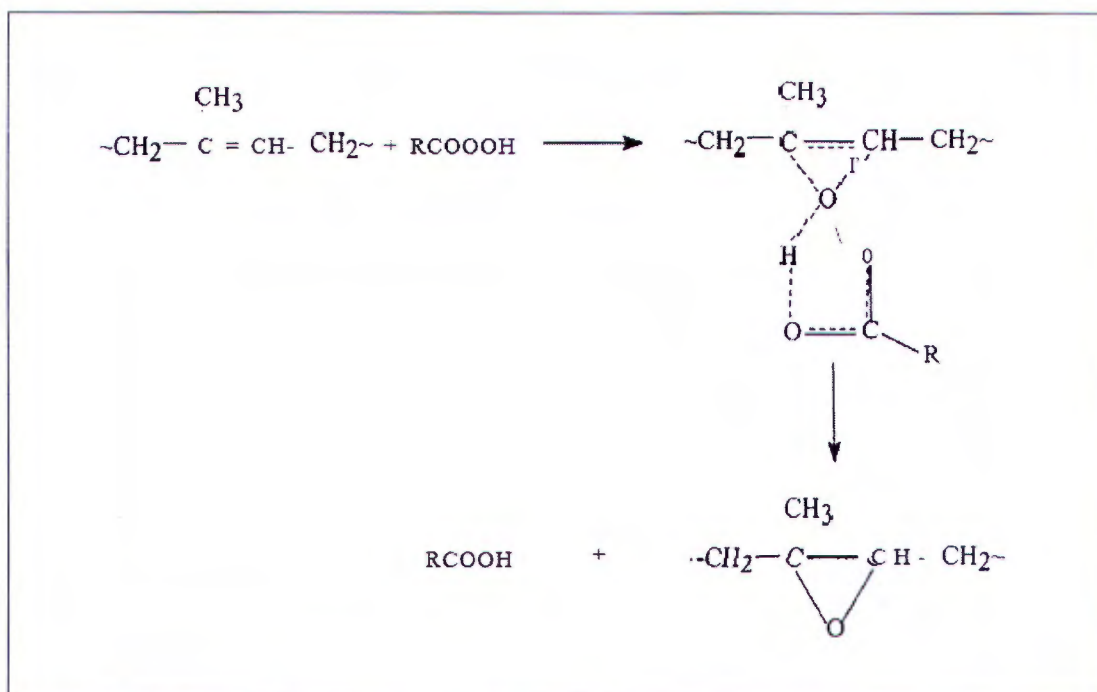
ภาพที่ 2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของยาง (ก) ก่อนให้แรงดึง (ข) ขณะให้แรงดึง
ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

จะมีการลดลงของเอนโทรปีอย่างมาก เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวตามแนวแรง มีความเป็นระเบียบสูงขึ้น เนื่องจากตามธรรมชาติโมเลกุลชอบที่จะอยู่ในสภาวะไร้ระเบียบที่มี เอนโทรปีสูง ดังนั้นเมื่อมีการปล่อยแรงโมเลกุลพอลิเมอร์จึงหดกลับกลายเป็นโครงสร้างไร้ระเบียบเหมือนเดิม เป็นสาเหตุของการหดกลับของยาง

การทำให้วัสดุคล้ายยางมีสมบัติความยืดหยุ่น และกลับคืนสู่สภาพเดิมสามารถทำได้ โดยการเติมสารเคมีจำพวก กำมะถัน (Sulphur) หรือเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) เพื่อทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์เชื่อมโยระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า ปฏิกิริยาลักคาไนเซชัน (Vulcanization)

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

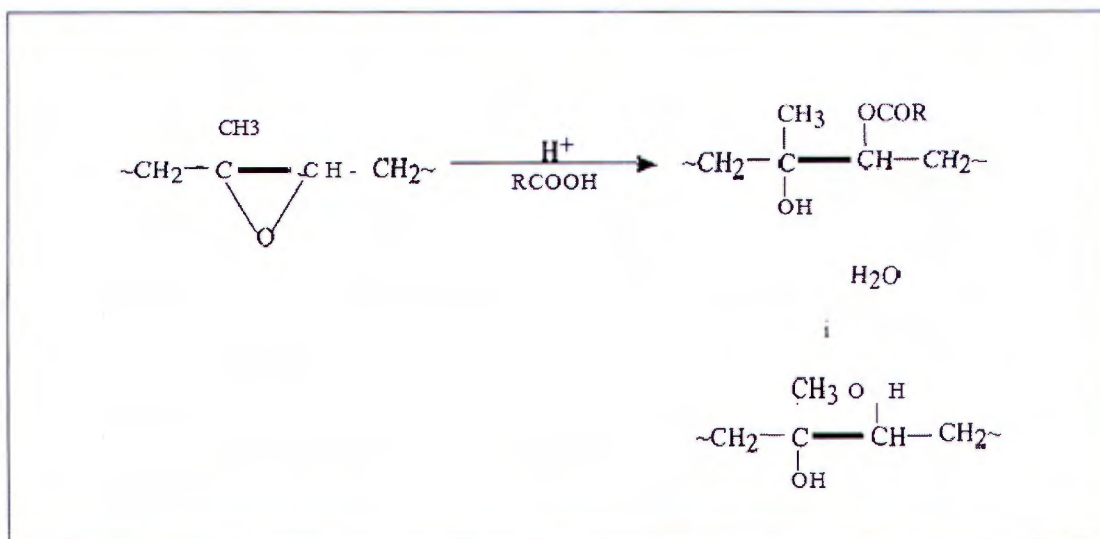
การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นวิธีหนึ่ง ที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ โดยการใช้กรดเปอร์ออกซีเป็นสารเคมีในการทำปฏิกิริยา เช่น กรดเปอร์เบนโซอิก (Perbenzoic acid) กรดเปอร์ฟธาลิก (Perphthalic acid) กรดคลอโรเปอร์เบนโซอิก (Chloroperbenzoic acid) กรดโมโนเปอร์ฟธาลิก (Monoperphthalic acid) กรดเปอร์อะซิติก (Peracetic acid) หรือใช้กรดเปอร์อะซิติกโดยกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (p-Toluenesulfonic acid) เป็นต้น กลไกของปฏิกิริยาซึ่งเป็นที่ยอมรับเขียนโดย Bartlett ได้เสนอไว้ว่า อิเล็กโตรฟิลิกจะทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก (Peroxy-carboxylic acid) ที่ตำแหน่งพันธะคู่ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก

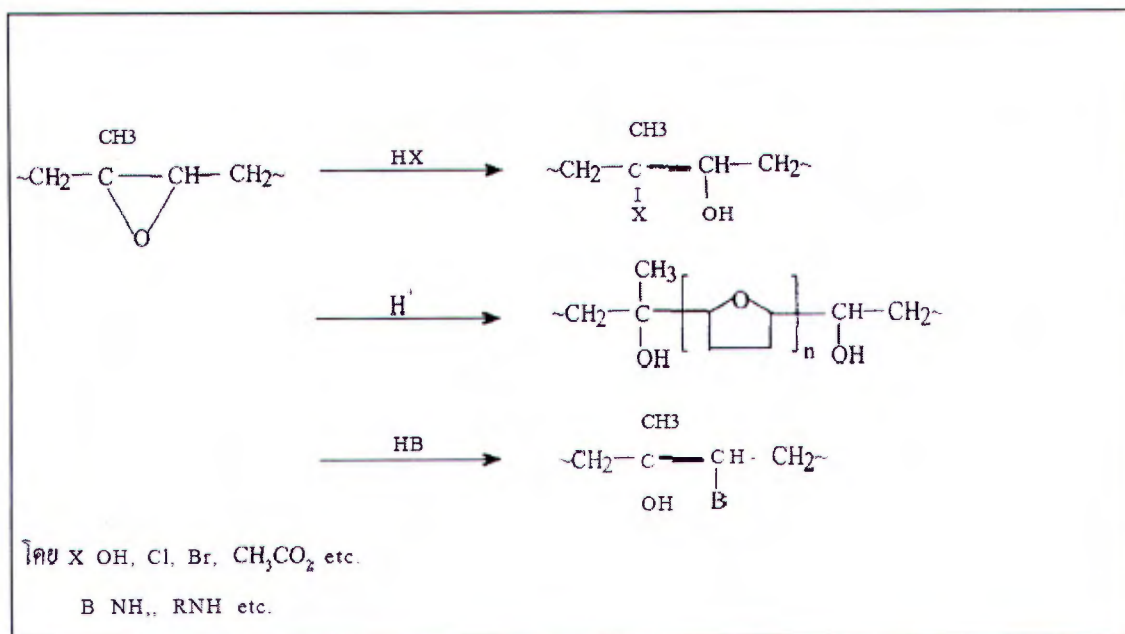
ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนที่ตำแหน่งพันธะคู่ โครงสร้างของกรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก และตัวทำละลาย เมื่อใช้สารตั้งต้นที่มีโครงสร้างเป็นแบบซิสในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นแบบซิสเช่นเดียวกัน โดยเสถียรภาพของหมู่พอกซีจะลดลง เมื่อค่าคงที่การแตกตัว ของกรดคาร์บอกซิลิกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้วงพอกไซด์เปิดออกโดยมีกลไกเปิดวงอีพอกไซด์แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการเปิดวงของหมู่เอพอกไซด์เมื่อค่าคงที่การแตกตัวของกรดคาร์บอกซิลิกสูงขึ้น
ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxydized natural rubber, ENR) ที่เกิดขึ้นสามารถใช้เป็นสารเริ่มต้นในการตัดแปรรูปโครงสร้างต่อไปได้ เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่เข้าทำปฏิกิริยา ดังตัวอย่างต่อไปนี้



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาของหมู่เอพอกไซด์กับสารเคมีชนิดต่าง ๆ
ที่มา: (จันทร์ ทองปิ่น และคณะ ,2548)

โลหะหนัก (Heavy metal)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ภายในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นจึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปและเสถียรกว่าการเป็นโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (food chain) โลหะหนักสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยการปนเปื้อนลงในดิน น้ำ และอากาศ จากนั้นจึงเข้าสู่มนุษย์ พบว่าโลหะหนักหลายชนิดก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าสู่สิ่งมีชีวิต และเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต

จากการสำรวจปริมาณ และคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะในเขตกรุงเทพมหานคร มหานคร และสหรัฐอเมริกา เปรียบเทียบกัน พบว่า ปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะในกรุงเทพฯ สูงกว่ามะนิลาและสหรัฐอเมริกา โดยโครเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดง มีปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 210, 62, 29 และ 21 เท่า ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และจากการสำรวจชนิด และปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะหนักที่มีไซยาไนด์ และไม่มีไซยาไนด์เก็บจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมบางขุนเทียนกรุงเทพมหานคร แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำทิ้งและคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะในเขตกรุงเทพฯ มะนิลา และสหรัฐอเมริกา

คุณภาพน้ำ	กรุงเทพฯ	มะนิลา	สหรัฐอเมริกา	มาตรฐานน้ำทิ้ง*
ปริมาณน้ำทิ้ง (m ³ /day)	5.1	4.0	27.0	-
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.4	6.6	8.0 – 9.0	5.5 – 9
ปริมาณโครเมียม (mg/l)	52.5	8.9	0.02 – 1.8	ไม่เกิน 0.25
ปริมาณนิกเกิล (mg/l)	62.0	9.0	2.0 – 4.5	ไม่เกิน 1.00
ปริมาณสังกะสี (mg/l)	145.0	44.8	1.0 – 125	ไม่เกิน 5.00
ปริมาณทองแดง (mg/l)	42.0	23.5	0.1 – 20	ไม่เกิน 2.00

ที่มา: (กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539)

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะหนักที่มีไซยาไนด์ และไม่มีไซยาไนด์ เก็บจากศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร

โลหะหนัก	น้ำเสียที่ไม่มีไซยาไนด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	น้ำเสียที่มีไซยาไนด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
โครเมียม	337.5	42.5
นิกเกิล	213.4	19.3
ทองแดง	25	19.6
แมงกานีส	5.7	3.1
สังกะสี	171.3	296.3
ตะกั่ว	1.9	0
เหล็ก	1595.3	181
รวม	2,349.8	561.9

ที่มา: (กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539)

ข้อมูลทั่วไปของตะกั่ว

ตะกั่ว เป็นโลหะอ่อน สีเทาเงินหรือเกมน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส แต่ในการเชื่อมบัดกรี ใช้ผสมกับดีบุก ทำให้จุดหลอมเหลวลดลงเหลือ 200 องศาเซลเซียส พบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ โดยเฉลี่ยในหินจะมีตะกั่วอยู่ 13 มิลลิกรัมต่อก้อน 1 กิโลกรัม (13 พีพีเอ็ม) เช่น ในหินอัคนีพบประมาณ 10 - 20 พีพีเอ็ม ในหินตะกอนพบประมาณ 10 - 70 พีพีเอ็ม แร่ที่มีตะกั่วผสมอยู่ได้แก่ แร่กาลีนา (Galena, PbS) แร่เซอร์สไซต์ (Cerrussite, PbCO_3) แร่อะไนไลต์ (Anglesite, PbSO_4) ในดินพบคล้ายในหิน คือประมาณ 5 - 25 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม (5-25 พีพีเอ็ม) ในน้ำ โดยเฉพาะน้ำบาดาล พบในอนุภาคขนาดเล็ก ประมาณ 1-60 พีพีเอ็ม ในทะเลสาบ และแม่น้ำ พบประมาณ 1-10 พีพีเอ็ม แต่ในน้ำทะเลพบตะกั่ว น้อยกว่าน้ำจืด โดยพบ 0.08 - 0.04 พีพีเอ็ม ในอากาศบริเวณห่างไกลชุมชนพบประมาณ 0.0006 ไมโครกรัม ต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม.) แต่บริเวณชุมชนพบมากถึง 0.001 ไมโครกรัมต่ออากาศ 1 ลบ.ม. ในพืชโดยทั่วไปพืชขนาดใหญ่ พบประมาณ 1.0 พีพีเอ็ม (ของเนื้อไม้แห้ง) ในพืชผัก พบประมาณ 0.1 - 1.0 พีพีเอ็ม (ของพืชแห้ง)

พิษของตะกั่ว

ในบรรดาโลหะในโลก ตะกั่ว เป็นโลหะที่มนุษย์สนใจ กับความเป็นพิษของมันมากที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างมากมาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่รถยนต์ เรือดำน้ำ ใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลิตผลตะกั่วทั้งหมด และยังใช้ในรูปแบบตะกั่วอินทรีย์ (Alkyl lead) เป็นสารเคมีที่ใช้ เติมในน้ำมันเบนซิน เพื่อป้องกันเครื่องยนต์เดินสะดุด แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้สารชนิดอื่นทดแทน

ในอุตสาหกรรมสี และสารเคมี ใช้สารประกอบตะกั่วมาก เช่น สีแดง ของตะกั่วออกไซด์ (Red lead) สีเหลือง จากตะกั่วโครเมต (Lead chromate) สีขาว จากตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate) และ ตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) สารฆ่าแมลงจากตะกั่วอาร์เซนเนทใช้ผสมสีทาอาคาร ซึ่งสีที่มีตะกั่วเหล่านี้ อาจผสมในสีของเล่นสำหรับเด็ก สีวาดภาพ สีที่ใช้พิมพ์ในวารสาร หนังสือพิมพ์ ซึ่งเป็นสีซึ่งต้องสัมผัสเสมอในชีวิตประจำวัน ทำให้บุคคลที่สัมผัส มีโอกาสได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้สูงประโยชน์ของตะกั่วมีมากแต่ก็มีโทษมากเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการนำตะกั่วออกไซด์ใช้เป็นเครื่องสำอางด้วย กองพิษวิทยา เคยตรวจพบแ่งโรยตัวเด็ก เป็นผงสีขาว และ สีแดงอ่อน มีตะกั่วปนอยู่ร้อยละ 74 ซึ่งอันตรายต่อเด็กมาก เนื่องจากผิวหนังเด็กดูดซึมตะกั่วได้ดีกว่าผู้ใหญ่

สำหรับบุคคลทั่วไป ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ ทางปากโดยรับประทานอาหาร และ น้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่ว ทางหายใจ โดยเฉพาะจากไอเสียรถยนต์ ส่วนการดูดซึมทางผิวหนัง ส่วนมากเกิดกับ บุคคลที่มีอาชีพ เกี่ยวข้องกับตะกั่วเป็นส่วนใหญ่ โดยตะกั่วอินทรีย์ ถูกดูดซึมเข้าผิวหนังได้ดี

เคยมีการสำรวจดิน และฝุ่นบริเวณริมถนน ที่เป็นชุมชนหนาแน่น พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 7,500 พีพีเอ็ม ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผิวดิน โลกเพียง 5-25 พีพีเอ็ม

พิษเรื้อรัง (Chronic toxicity or poisoning)

พิษเรื้อรังของตะกั่ว คือ ค่อยๆแสดงอาการออกมา ภายหลังจากได้รับสารตะกั่วทีละน้อย เข้าสู่ของเหลว ในร่างกาย และ ค่อยๆสะสม ในร่างกาย จนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นปี จึงแสดงอาการ ส่วนมาก เกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดง แทนที่เหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ ปริมาณเหล็กใน น้ำเหลือง เพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน ไปสะสมในกระดูก ตะกั่ว (Pb^{2+}) จะเข้าไปแทนที่ แคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะ ที่จำเป็นในการสร้างกระดูก และฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อ กระดูกผุ และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่า เส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัย พบว่าตะกั่ว สามารถเกาะกับกระดูกในร่างกาย ได้นานถึง 32 ปี และยังคงสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหารคลื่นไส้อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาท และสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ชิมไม่รู้สึกรสชาติ ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

การรักษา

อาการพิษเฉียบพลัน จากสารตะกั่ว ส่วนมากเกิดจากการรับประทาน ฉะนั้นแพทย์ จะต้องล้างท้อง โดยใช้สารละลาย 3 เปอร์เซนต์โซเดียม หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต และหรือให้ผงถ่าน (Activated charcoal) เพื่อป้องกันการดูดซึม แล้วรักษาตามอาการ อาการพิษเรื้อรัง อาการเริ่มแรก ของพิษตะกั่ว สังเกตค่อนข้างยาก เช่น อาการปวดหัว กระสับกระส่าย ซึ่งมีหลายสาเหตุ จึงมักใช้ผลวิเคราะห์ทางเคมีในเลือด และปัสสาวะ เป็นข้อบ่งชี้ ร่วมกับสังเกตอาการทางคลินิก การรักษาทั้งใน เด็กและผู้ใหญ่ แพทย์ใช้หลักการเดียวกันคือพยายามเร่งการขับตะกั่วออกจากร่างกาย โดยการให้ สารเคมีเกาะ แล้วดึงตะกั่วออกจากร่างกายทางปัสสาวะ (Chelating agent) ส่วนมากใช้แคลเซียม โซเดียม เอดีเตด ($\text{CaNa}_2 \text{EDETATE}$) ฉีดเข้าเส้นเลือดดำ 1 - 2 กรัม ต่อวัน

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การกำจัดสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลหะหนักที่ออกมาจากขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี แต่การเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมืออุปกรณ์ และ เทคโนโลยี ตลอดจนความชำนาญของบุคลากรที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นการจะบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน จึงควรเลือกวิธีการหรือเทคนิคในการบำบัด และกำจัดที่เหมาะสม วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธี ได้แก่

1. การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation)

เป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำ เพื่อให้ไอออนของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำเปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเกิดเป็นตะกอนจมตัวลง แล้วจึงแยกออกจากรน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนหรือการกรอง สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เฟอร์ริคคลอไรด์ เฟอร์ริคซัลเฟต เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอน ไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ กัน ส่วนตะกอนหรือสลัดจ์ (sludge) ที่ได้จะมีส่วนประกอบของโลหะที่เป็นพิษต้องนำไปกำจัดต่อ

2. การออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis)

เป็นขบวนการที่อาศัยแรงดันสูงผ่านเยื่อกรอง (semipermeable membrane) เพื่อแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ มักใช้แรงดัน 300-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือสูงกว่า เยื่อกรองจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านไอออนต่างๆ ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ แผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้มักทำมาจากเซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) มีความหนาประมาณ 100 ไมครอน ประกอบด้วย 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานหนาประมาณ 0.2 ไมครอน ทำหน้าที่ขัดขวางมิให้สารต่างๆ ซึมผ่านไปพร้อมกับน้ำ อีกชั้นทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุนสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้

3. อิเล็กโตรไลซิส (electrodialysis)

เป็นขบวนการอาศัยเยื่อกรองเช่นเดียวกันแต่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยกไอออนออกจากน้ำ แผ่นเยื่อกรองที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แผ่นบวก และแผ่นลบ ซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุเหมือนกันไหลผ่าน แต่โมเลกุลของน้ำจะไหลผ่านได้ยากทำให้แยกไอออนของโลหะออกจากน้ำได้

4. การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (oxidation and reduction)

คือกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการให้และรับอิเล็กตรอนของอะตอม โดยการใช้สารออกซิแดนท์ (oxidant) และสารรีดิวซิง (reducing agent) ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ใน

น้ำเสีย สารออกซิเดนต์มีหลายชนิด เช่น โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด่างทับทิม และ คลอรีน ส่วนสารรีดิวซ์ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟด์ เมตาไบซัลไฟด์ ไฮโดรซัลไฟด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น

5. การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลว และตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็งที่เรียกว่า สารแลกเปลี่ยน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (resinuos ion exchange)

5.1 ซีโอไลต์มีทั้งแบบธรรมชาติ ได้แก่ green sand และแบบสังเคราะห์จากสารประกอบต่างๆ เช่น โซเดียมซิลิเกต ซึ่งมีโซเดียมไอออน (Na^+) ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำได้ ในปัจจุบันจะใช้ซีโอไลต์ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสเท่านั้น ส่วน เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นสารสังเคราะห์พวกอินทรีย์โพลิเมอร์ มีอำนาจการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าซีโอไลต์

5.1.1 หมู่ฟังก์ชัน functional group ของเรซิน เป็นตัวกำหนดความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนไฮโดรคาร์บอน ทำให้เรซินมี ประจุบวกหรือลบ ถ้าหมู่ไอออนมีประจุลบเรซินจะมีประจุลบประจำตัวใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากรน้ำ เรียกว่า เป็น cation exchanger ถ้าหมู่ไอออนมีประจุบวก คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบออกจากรน้ำ เรียกว่า anion exchanger สามารถแบ่งเรซินได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

(1) **เรซินแบบกรดแก่ (strong acid cationic resin)** มีหมู่ซัลโฟนิค (SO_3^-) ซึ่งอยู่ในรูปของ $\text{SO}_3^- \text{H}^+$ หรือ $\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากรน้ำ

(2) **เรซินแบบกรดอ่อน (weak acid cationic resin)** มีหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) หรือ (COONa) โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากรน้ำ

(3) **เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin)** มีหมู่ไอออนเป็น quaternary amine เช่น $(\text{CH}_3)_3\text{CH}_2\text{N}^+$ มีไอออนลบอิสระเป็น OH^- หรือ Cl^- สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนลบที่ต้องการกำจัดออกจากรน้ำ

(4) **เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin)** ใช้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 ออกจากรน้ำ โดยไม่มีการแลกเปลี่ยนไอออน แต่กรดแก่ทั้งโมเลกุลจะเข้ามาจับกับเรซิน ซึ่งต่างจากเรซิน ทั้ง 3 ประเภทข้างต้น

5.2 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้มันคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน

6. การดูดซับหรือดูดติดผิว (adsorption)

เป็นขบวนการที่สารตัวกลางตั้งโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดอยู่บนผิวของมัน จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ adsorbate เรียกว่า adsorbent

ทฤษฎีการดูดซับหรือการดูดติดผิว

การดูดซับหรือการดูดติดผิว (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ในการที่โมเลกุลของไหลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปสัมผัส และเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า adsorbent ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า adsorbate การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผล 3 ประการคือ

- การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น van der waals force หรือ ด้วยแรงเคมี (chemical adsorption) หรือทั้ง 2 อย่างรวมกัน
- ความสามารถในการดูดซับ (adsorbability) เนื่องจากสารดูดซับมีพื้นผิวเป็นรูพรุน (capillary tube) จึงเกิดภาวะของ capillary action ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะติดอยู่ได้
- สารดูดซับมีประจุบนพื้นผิว (surface charge) สามารถดูดจับกับวัตถุอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ สภาพดังกล่าวนี้คล้ายกับปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange mechanism)

ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การวิเคราะห์ระบบการดูดซับ ถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการอย่างง่ายแล้วนำสมการมาเขียนกราฟ เพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการคำนวณออกแบบระบบดูดซับ การวิเคราะห์ระบบดูดซับได้มีผู้วิเคราะห์ไว้อยู่ 3 กลุ่ม คือ Langmuir, Freundlich และ Brunauer - Emmett - Teller (BET)

1. สมการของ Langmuir

สมการของ Langmuir มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะคิดเฉพาะผิวชั้นเดียว และโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad (2.1)$$

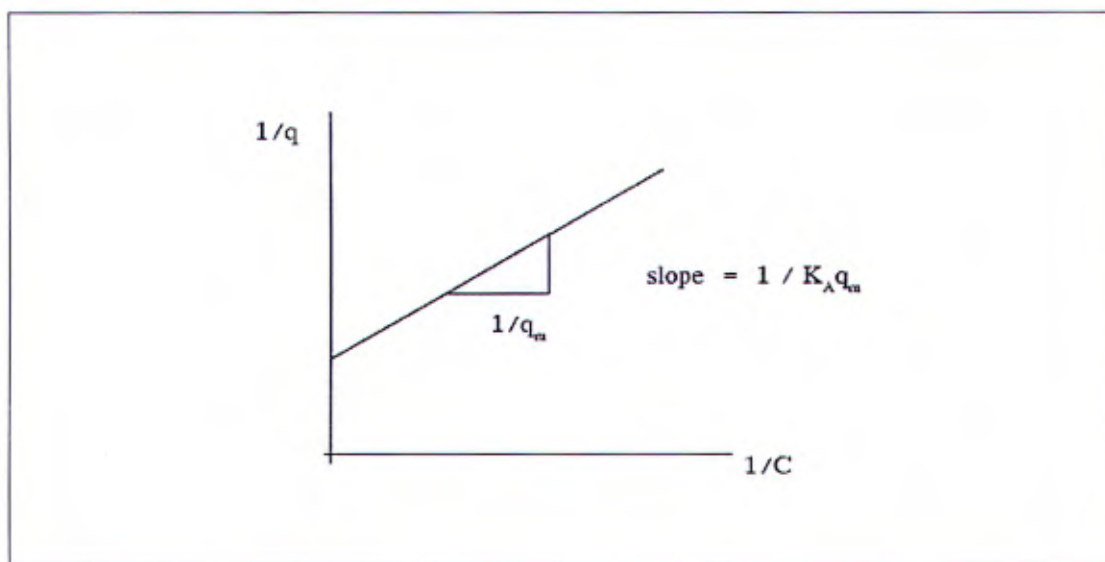
เมื่อ	q	= ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ
	q_m	= ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล
	K_A	= ค่าคงที่ของการดูดซับ, ลิตรของตัวดูดซับ/มก. ของสารถูกดูดซับ
	C	= ความเข้มข้นของสารละลาย, มก./ล.

เพื่อให้สามารถหาค่า q_m และ K_A ได้ด้วยวิธีกราฟ จึงต้องจัดรูปแบบสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

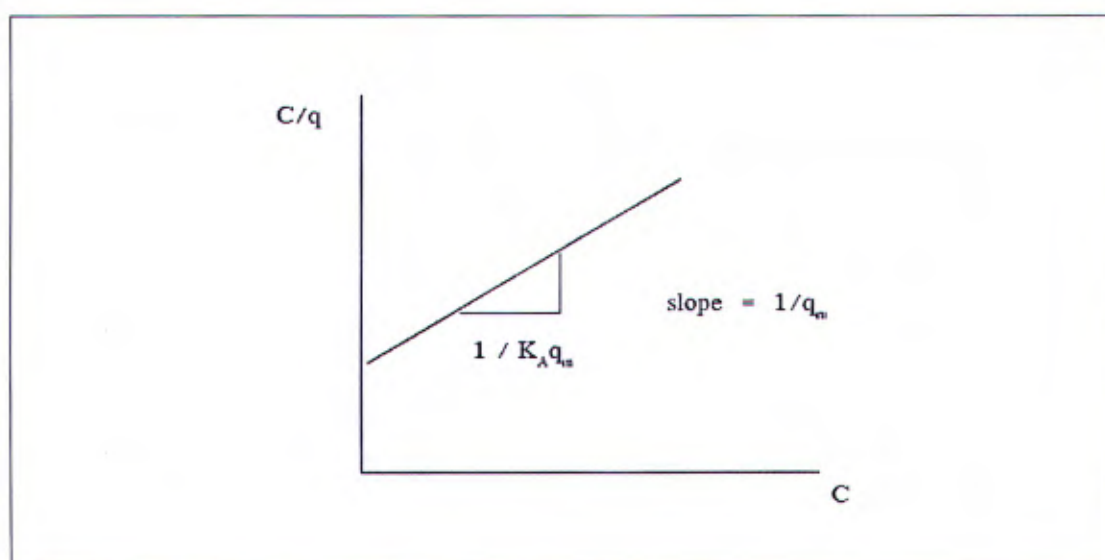
$$1/q = 1/q_m + [1/K_A q_m] * 1/C \quad (2.2)$$

$$C/q = C/q_m + 1/K_A q_m \quad (2.3)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 2.7 กราฟสมการ (2.2) ของ Langmuir



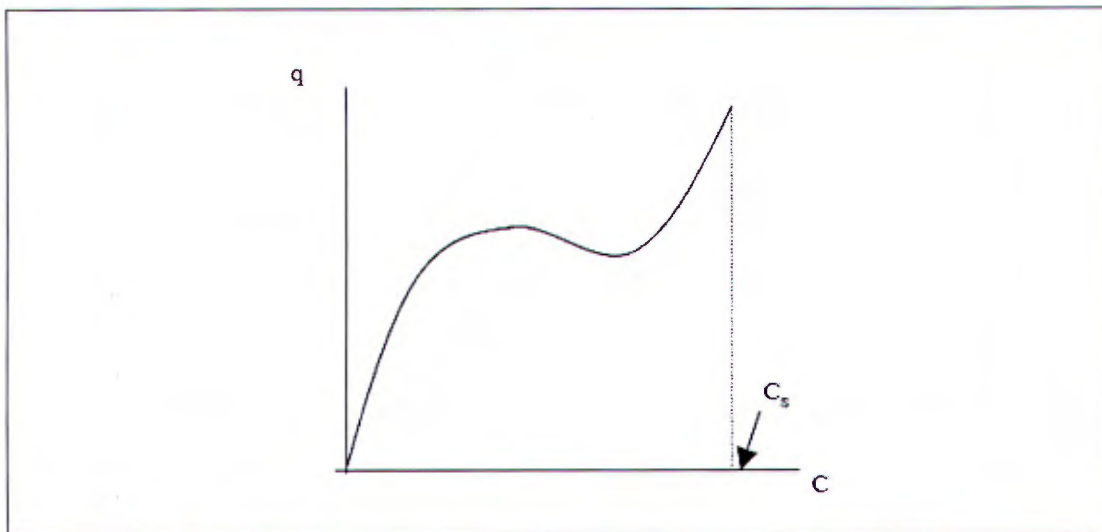
ภาพที่ 2.8 กราฟสมการ (2.3) ของ Langmuir

2. สมการของ Brunauer - Emmett - Teller (BET)

สมการของ Brunauer - Emmett - Teller (BET) มีเงื่อนไขว่าโมเลกุลของสารถูกดูดซับ ไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว และการดูดซับมีระดับคงที่ สำหรับทุกๆ โมเลกุล

$$q = \frac{q_m K_B C}{(C_s - C)[1 + (K_B - 1)(C/C_s)]} \quad (2.4)$$

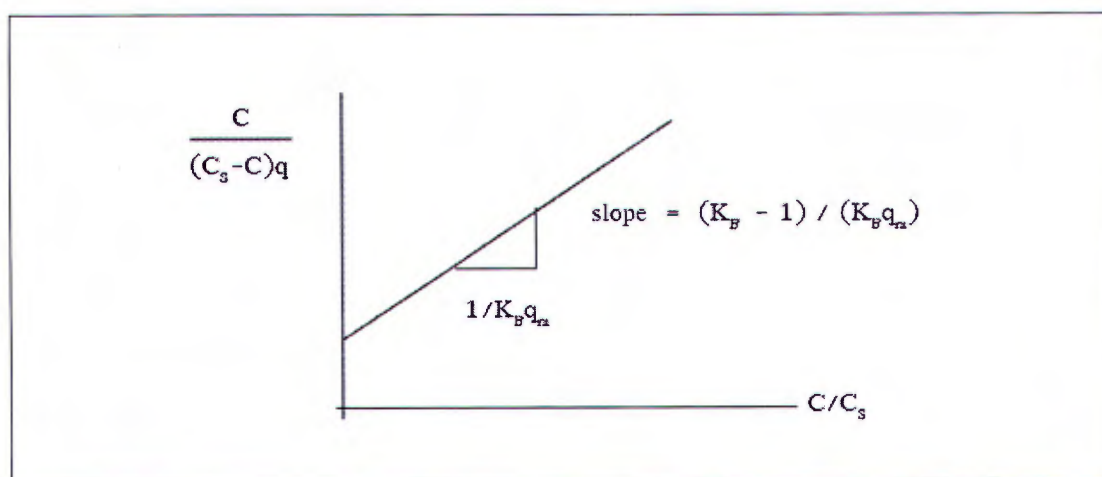
เมื่อ C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารถูกดูดซับ ณ ทุกๆ ชั้น, มิลลิกรัม/ลิตร
 K_B = ค่าคงที่ของการดูดซับ



ภาพที่ 2.9 กราฟหาค่า C_s สมการ (4)

เพื่อให้สามารถหาค่า K_B และ q_m ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟ จึงต้องจัดรูปสมการให้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{C}{(C_s - C)q} = \left(\frac{1}{K_B q_m} \right) + \left(\frac{K_B - 1}{K_B q_m} \right) \left(\frac{C}{C_s} \right) \quad (2.5)$$



&ภาพที่ 2.10 กราฟสมการ (2.5)

3. สมการของ Freundlich

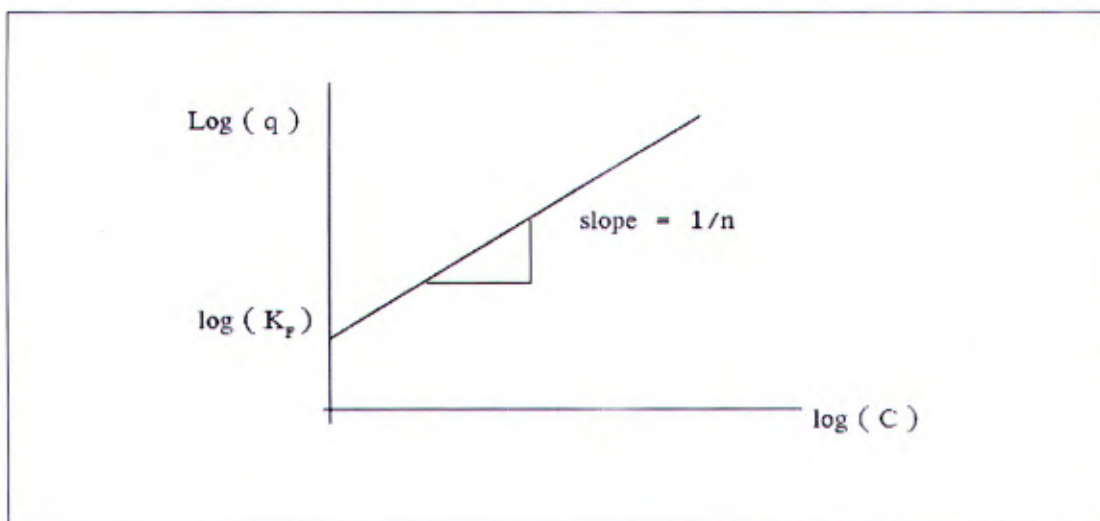
สมการของ Freundlich เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$q = K_F C^{1/n} \quad (2.6)$$

เมื่อ K_F = ค่าคงที่
 $1/n$ = ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถหาค่า K_F และ $1/n$ ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟ จึงจำเป็นต้องใช้ Logarithm มาจัดรูปสมการใหม่ ให้เป็น สมการดังนี้

$$\text{Log} (q) = \text{log} (K_F) + 1/n \text{log} (C)$$



ภาพที่ 2.11 กราฟสมการ (2.6) ของ Freundlich

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

อัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความปั่นป่วน (Turbulence)

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film diffusion) หรือการแพร่ผ่านรูพรุน (Pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) จะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาดและพื้นที่ผิว โดยพบว่าอัตราเร็วในการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราเร็วในการดูดซับที่ผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่ขึ้นกับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวก และตัวดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำๆ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งกันที่จะถูกดูดซับในตัวดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย แต่จะมีผลในทางตรงกันข้าม เมื่อการดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลง (และปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น) จึงลดการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับ และในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบก็จะให้ผลตรงกันข้าม

4. อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับเป็นประเภทใด คือถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง

ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น

5. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำก่อนแล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำมากกว่า สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ข้างบนไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่าความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

6. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสาร หรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เมื่อนำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์ โดยถ่านกัมมันต์จะพบว่า ถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวเทอริกได้มากขึ้นตามขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างยาวมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำลดลงจึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักจะดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกเป็นรูพรุน

7. เวลาสัมผัส (contact time)

เวลาสัมผัสในกระบวนการดูดติดผิวเป็นพารามิเตอร์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง (Cheremisinoff และคณะ, 1976) แนะนำไว้ว่าเพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่าการดูดติดผิวของสารแปลกปลอมในน้ำเป็นไปได้ที่เหมาะสม สารละลายควรจะมีเวลาเก็บกักในชั้นของคาร์บอนนานประมาณ 30 นาที

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Young Gun Ko & Ung So Choi (2007) ศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วย polymeric chelating fiber (poly(acrylo-amidino diethylendiamine)) ซึ่งเตรียมโดยใช้ Polyacrylonitrile fiber 6 กรัม ทำปฏิกิริยากับ diethylendiamine 500 กรัม และเติม $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เท่ากับ 11.4 mequiv/g เปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 1560 ตารางเมตร/กรัม และพบว่าทั้ง (poly(acrylo-amidino diethylendiamine)) และ ถ่านกัมมันต์มีพฤติกรรมการดูดซับเหมือนกันดูจาก ไอโซเทอม ของการดูดซับ (adsorption isotherm) โดย cations (Cu^{2+} Ni^{2+} Fe^{2+} และ Ag^+) ที่ pH สูง เกิดการดูดซับได้ดีกว่า pH ต่ำ เนื่องจาก H^+ ดูดซับบนวงเบนซีนในกรณีของ ถ่านกัมมันต์ และ acticated groups ในกรณี poly(acrylo-amidino diethylendiamine) ซึ่งทำให้ไปขัดขวางการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะระหว่างวัสดุดังกล่าว การดูดซับโลหะหนักบน ถ่านกัมมันต์ต่ำกว่า poly(acrylo-amidino diethylendiamine) เนื่องจาก poly(acrylo-amidino diethylendiamine) เกิดการเติบโตของผลึกทำให้หมู่ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ดูดซับโลหะหนักมีมากขึ้นทำให้การดูดซับดีกว่า แม้ว่า ถ่านกัมมันต์จะมีจำเพาะในการดูดซับสูงกว่าก็ตาม ส่วนในกรณี anions (CrO_4^{2-} และ PO_4^{3-}) จากการดูดซับในระดับที่สูงที่สุด pH ต่ำ

Gulay Bayramoglu & M. Yakup Arica (2005) ศึกษาการจัดโครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) ด้วย Ethylenediamine grafted poly(glycidylmethacrylate-co-methylmethacrylate) ศึกษาโดยการเตรียม poly(GMA-co-MMA) beads ด้วยวิธีการพอลิเมไรเซชันแบบแขวนลอย ด้วยสารละลายของ 0.2 M NaCl ขั้นตอนประกอบด้วย GMA (7.5 มิลลิลิตร), MMA (10 มิลลิลิตร), EGDMA (7.5 มิลลิลิตร; as cross-linker) และ isopropyl alcohol (15 มิลลิลิตร, containing 5.0 เปอร์เซ็นต์ polyvinyl alcohol as stabilizer) ผสมรวมกันกับ 0.5 กรัมของ AIBN ใน 30 มิลลิลิตร ของโทลูอีน (toluene) ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ให้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลาปล่อยแก๊สไนโตรเจน ทำการรีฟลักซ์สมทำปฏิกิริยาพอลิเมไรเซชันในฟืนเนล (funnel) กวน 200 รอบ/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนทำปฏิกิริยาที่ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และขณะที่ 85 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากทำปฏิกิริยา นำไปกรองบีด (beads) และล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลทำให้แห้งด้วยการอบนำ Ethylenediamine เชื่อมต่อที่ epoxy groups carrying บนบีดของ poly(GMA-co-MMA) ทำปฏิกิริยากับสารละลาย ethylenediamine (2.0% ในน้ำกลั่น) ที่ 80 องศาเซลเซียส, pH 11.0 (ปรับ NaOH) 10 กรัม

และกวน magnetically เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยาได้ poly(GMA-co-MMA)-ED แล้วนำไปดูดซับสารละลาย CrO_4^{2-} พบว่าทั้งสองมีการดูดซับสูงที่ pH 2 การดูดซับสูงสุด 0.044 และ 0.441 มิลลิโมล ตามลำดับ ไอโซเทอมการดูดซับเป็นตามแบบจำลองของแลงเมียร์-ฟรุนดลิช

Z.Yilmaz และคณะ (2007) ศึกษาการกำจัด ไนโตรเจนไอออน (nitrite ions) จากสารละลายโดยใช้ poly (N,N dimethylamine ethylmethacrylate)hydrogel Poly(DMAEMA) ซึ่งมีประสิทธิภาพและควรเลือกจำเพาะสูงในการกำจัดไนโตรเจนไอออนพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนไอออนของ Poly(DMAEMA) เพิ่มขึ้นเป็น 3100 มิลลิกรัม NO_2^- ลิตร/กรัม ของ Poly(DMAEMA) dry gel มีการเกิด interaction ระหว่างไนโตรเจนไอออนและ quaternized amin groups

Mourad Amara & Hac ene Kerdioud (2005) ศึกษาการดูดซับไนเตรทไอออนโดยใช้ polydiethylenediamine เป็นหลักการ electro-adsorption (anion exchange) membrane

Mykola Seredych & Teresa J. Bandoaz (2007) ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียโดยใช้ graphite oxide (GO) ที่มีขายตามท้องตลาด การดูดซับแอมโมเนียเกิดได้ทั้งจากปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของ GO และทางกายภาพ ในการศึกษาเน้นที่ปฏิกิริยาเคมี เนื่องจาก GO มีหมู่ฟังก์ชัน OH, COOH, epoxy ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอมโมเนีย

S. Shiratori (2001) ศึกษาการดูดซับแก๊สพิษด้วยสารเคมีที่ผสมในพอลิเมอร์ ทำการทดลองโดยการเติมสารเคมีตัวเติมสมรรถนะสูงเพื่อดูดซับแก๊สพิษ เช่น แอมโมเนีย อะเซทอลดีไฮด์ เป็นวัสดุใหม่ล่าสุดที่ทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยตัวมันเอง บนพื้นผิวของผ้าฉนวนใยแก้วคุณภาพดีกว่าถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่ใช้อยู่เดิม ตัวเติมที่พัฒนาขึ้นมามีสมรรถนะสูงอย่างน่าทึ่ง เพราะสามารถดูดซับโมเลกุลของแก๊สได้จำนวนมากทั้งทางเคมีและทางกายภาพ

Ronald R.Navro และคณะ (2000) ศึกษาบทบาทของไอออนลบบนเซลลูโลสคัดแปร poly (glycidylmethacrylate) และ polyethylene-imine เตรียม poly (CGMAPEI) โดยทำปฏิกิริยาในระบบแก๊สไนโตรเจนในขวดสามคอที่ต่อกับเครื่องกวนที่ 25 องศาเซลเซียส ผสม Celulose 5 กรัม และน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปล่อย air คู่มส่วนผสม เติม ammonium nitrate initiator (CAN) 7.5 กรัม กวน 150 รอบ/นาที อีก 15 นาที เติม glycidylmethacrylate (GMA) 25 มิลลิกรัม ทำการ graft polymerization 4 ชั่วโมง ได้ poly (cellulose-GMA) นำไปประเหยสารทำละลายออก 6 ชั่วโมง แล้วทำปฏิกิริยากับ PEI ที่ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลาย diethylformamide (DMF) ได้เป็น poly(CGMAPEI) ศึกษาอิทธิพล anions บน poly (CGMAPEI) ดูดซับโลหะหนักจากสารละลายการทดลองแสดงให้เห็นการดูดซับโลหะด้วยไอออนลบของ resin การศึกษาการดูดซับในเวลาเริ่มต้นเกิดการดูดไอออนโลหะ

หนักในสารละลายและเพิ่มขึ้นที่มี pH เพิ่มขึ้น pH จะมีผลต่อปฏิกิริยาทำให้การดูดมีประสิทธิภาพดีขึ้นความเข้มข้นของไอออนลบ เช่นกันผันแปรตามกระบวนการไอออนลบ มีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ(chelating adsorbent)

วรพัฒน์ พัฒนวรเศรษฐ์ (2546) ศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะมิโนสไตรีน เพื่อใช้เป็น ตัวดูดซับไอออนของโลหะหนักเกิด สังกะสี ทองแดง และโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นการสังเคราะห์พอลิอะมิโนสไตรีนจากปฏิกิริยาในเตรชันของพอลิสไตรีน และปฏิกิริยารีดักชันเพื่อเปลี่ยนพอลิไนโตรสไตรีนให้เป็นพอลิอะมิโนสไตรีนโดยใช้สแตนนัสคลอไรด์ (SnCl_4) กับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) พอลิอะมิโนสไตรีนที่สังเคราะห์จะมีหมู่เอมีนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะ นำไปดูดซับในการกำจัดไอออนของโลหะหนักนิกเกิล $[\text{Ni(II)}]$ ทองแดง $[\text{Cu(II)}]$ สังกะสี $[\text{Zn(II)}]$ และโครเมียม $[\text{Cr(III)}]$ พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะหนักนิกเกิลและสังกะสีเท่ากับ 6.5 และเวลาที่เหมาะสมคือ 6 ชั่วโมง ส่วนโลหะหนักทองแดงมี pH ที่เหมาะสมในการใช้งานเท่ากับ 5 และเวลาที่เหมาะสมคือ 6 ชั่วโมง แต่ไม่ดูดซับโครเมียมความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของโลหะหนัก สามารถอธิบายได้จากไอโซเทอมการดูดซับของสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช

เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ (2549) ศึกษาโครงการเทอร์โมพลาสติกวัลคาร์ในซ์จากการเบลนด์ไวนิลอะซิเตดกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวฟอสเฟต ศึกษาโดยการเตรียมอีพอกไซด์ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิก ทำปฏิกิริยาที่ 1.10 ชั่วโมง ที่ 50 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติมี หมู่อีพอกไซด์ประมาณ 20 เปอร์เซ็นโมลอีพอกไซด์ดัดแปรโมเลกุลด้วยไดบิวฟอสเฟต (DSNR) ในความเข้มข้น (ENR-20)/ไดบิวฟอสเฟต = 1 ที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เตรียมเบลนด์เอทิลไวนิลอะซิเตดกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยพอลิเมอร์เบลนด์แบบธรรมดาของ ENR-20 กับโคพอลิเมอร์ของเอทิลกับไวนิลอะซิเตด (ENR) [ENR-20/ENR] และDSNR/EA ที่ 160 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที นำทั้งสองเตรียมเทอร์โมพลาสติกของ (ENR) [ENR-20/ENR] และDSNR/EA ผสมในลูกกลิ้งที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองเข้ากันบางส่วน มีสมบัติการไหลสูงกว่าการเบลนด์แบบธรรมดา มีสมบัติต้านต่อตัวทำละลายที่เป็นน้ำมันและด้านการติดไฟ

อาชิซัน แกสมาน และคณะ (2547) ศึกษาการเตรียมยางเบลนด์ระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ซึ่งเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ด้วยวิธีการเกิดกรดเปอร์ฟอร์มิกใช้น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง 20 %DRC 115 กรัม เดิม Teric-N30 ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 13 กรัม กวน 30 นาที เดิมกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.9 โมลาร์ เดิมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 2.9 โมลาร์

ทำปฏิกิริยาที่ 50 องศาเซลเซียส กวน 170 รอบ/นาที เตรียมพอลิเมทาคริเลตโดยเทคนิคอิมัลชัน โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์วาลเฟตเป็นตัวริเริ่ม และโพแทสเซียมคลอเรตเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่ 65 องศาเซลเซียส ในระบบไนโตรเจน กวน 400 รอบ/นาที ทำการเบลนด์ทั้งสองชนิดในสถานะลาเทกซ์ที่อุณหภูมิห้อง ในอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์กับยางอีพอกไซด์ต่างกัน และเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติต่างกัน พบว่าค่าความหนืดมูนีเพิ่มขึ้นตามหมู่อีพอกไซด์ลดลงเมื่อพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นค่าความข้นเหนียวและความหนืดเหนียวเพิ่มขึ้นตามหมู่อีพอกไซด์ อัตราส่วน 75/25 (ENR-10, ENR-30, ENR-50) และ 50/50 (ENR-20, ENR-40) จะมีความข้นเหนียวสูงสุด

เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ (2544) ศึกษาการเตรียมสมบัติเชิงความร้อนและสมบัติการไหลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ทำโดยการทำปฏิกิริยาของน้ำยางกับกรดเปอร์ฟอร์มิกในระบบก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ไนออนไอออน (ชื่อการค้า Emulwin W) เป็นสารเพิ่มความเสถียรของยาง สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดหมู่อีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันคือ ชุดการทดลองในสภาวะที่ 1 อัตราส่วนน้ำยาง 1.7 โมลาร์ ทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 20 %DRC กับ กรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมลาร์ กรดฟอร์มิก 0.9 โมลาร์ ผสมกันแล้วนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำยางในระบบแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลากวนทำปฏิกิริยาที่ 10 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์สูงสุดถึง 60 โมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ การหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ทำโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีแล้วนำกราฟที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโมลอีพอกไซด์ การศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์พบว่า ค่าอุณหภูมิกลายแก้ว (T_g) ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าสูงขึ้นกว่ายางธรรมชาติ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ หมู่อีพอกไซด์ในลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ค่าความหนืดมูนีของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้ค่าความข้นเหนียวและความหนืดเหนียวจะเพิ่มตามหมู่อีพอกไซด์ สมบัติของไหลพบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์จะหลอมเหลว มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก

ประวีณา ตีระ (2540) ศึกษาการยางธรรมชาติให้เป็นยางเรซิน เตรียมโดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ซึ่งอุณหภูมิ ชนิดของกรด และค่าความเป็นกรดมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันชนิดของน้ำยางและสารเคมีทำให้เสถียรไม่มีผลต่อปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน triton X-100 เหมาะในการทำปฏิกิริยาทนความได้ดี เวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น แล้วนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปร โครงสร้างให้มีหมู่เปอเลเปลี่ยนไอออน เพื่อใช้ในการกำจัดโลหะ สามารถกำจัดโลหะอยู่ในช่วง 0.00 - 0.03 meq/g

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3110
2. เครื่อง FT-IR
3. เครื่องกวน ยี่ห้อ IKA® RW20 digitat
4. เตาอบ ยี่ห้อ Hotpack รุ่น 352602
5. แผ่นให้ความร้อน ยี่ห้อ Gerhardt
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Meter Toledo
7. อ่างอ่างไอน้ำ ยี่ห้อ Julaba
8. ตู้ควั่น ยี่ห้อ Meter Toledo
9. พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Model 1260

2. อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. กระบอกตวง
3. ปีเปตต์
4. ขวดปรับปริมาตร
5. หลอดหยด
6. ขวดรูปชมพู่
7. บิวเรตต์
8. กระดาษกรอง
9. กรวยกรอง
10. สแตน
12. กระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์

13. แท่งแก้ว
14. ซ้อนดักสาร
15. ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่าง
16. ลูกยาง
17. โถดูดความชื้น
18. กระดาษชั่งสาร
19. พาราฟิล์ม
20. คอลัมน์
21. สายยาง
22. ขวดก้นกลมสามคอ
23. จุกยาง
24. ถังแก๊สไนโตรเจน

3. สารเคมี

สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	เกรด	บริษัท
1. น้ำยางแอมโมเนียสูง 60 %DRC	C_5H_8	HA	-
2. กรดฟอร์มิก 95%	HCOOH	AR	Carlo erbe
3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์	H_2O_2	AR	Qrec
4. ไตรดอนเอ็กซ์-100			Panrrae
5. เอทิลีนไดเอมีน 99 เปอร์เซ็นต์	$NH_2(CH_2)_2NH_2$	AR	Fluka
6. กรดไนตริก	HNO_3	AR	-
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	AR	LAB-SCAN
8. น้ำกลั่น	H_2O		
9. แก๊สไนโตรเจน	N_2		ร้านนครกิจ
10. สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร	Pb^{2+}	AR	spectrosol
11. สารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร	Fe^{3+}	AR	spectrosol

ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (ENR)

การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ได้ประยุกต์ตามวิธีการของเจริญ นาคะสรรค์คณะ (2544) โดยเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในอัตราส่วนน้ำยาง 1.7 โมล ทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 20 %DRC กับ กรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล กรดฟอร์มิก 0.9 โมล ใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง เตรียมในขวดสามคอที่ต่อกับเครื่องกวนภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน มีขั้นตอนและอัตราส่วนดังนี้ น้ำยางความเข้มข้น 60 %DRC 192.6 กรัม ใส่ลงในขวดสามคอที่ต่อกับเครื่องกวน เติมน้ำยาง 60 %DRC ด้วยน้ำกลั่น 385.2 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้นของน้ำยางเท่ากับ 20 %DRC กวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 20 เดิม 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 จำนวน 167.34 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นค่อยๆ เติมกรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการเตรียมระหว่างกรดฟอร์มิก 95 เปอร์เซ็นต์ 39.9 มิลลิลิตร กับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 เปอร์เซ็นต์ 230.91 มิลลิลิตร กวนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง น้ำน้ำยาง 10 กรัม ทำให้แข็งตัวโดยการเติมเมทานอลปริมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร แล้วรีดให้เป็นแผ่นบางๆ นำไปอบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาหมู่เอพอกไซด์ด้วยเทคนิค FT-IR

การศึกษาดัดแปรยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)

การศึกษาดัดแปรยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน เป็นกราฟต์พอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (ENR) กับเอทิลีนไดเอมีน (ED) เตรียมพอลิเมอร์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย โดยใช้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในสภาวะลาเทกซ์ (ที่เตรียมเป็นเวลา 10 ชั่วโมง) ทำการทดลองต่อการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ โดยเติมเอทิลีนไดเอมีนในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกวนตลอดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากการพอลิเมอไรเซชันน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน มาทำให้แข็งตัวโดยการเติมเมทานอลแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ นำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก

ศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED โลหะที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED มีโลหะหลายชนิดที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ถูกปล่อยออกจากอุตสาหกรรม และสิ่งปฏิกูล ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่ว (Pb^{2+}) และเหล็ก (Fe^{3+})

1. ศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)

การศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED โดยแช่ ENR-ED 1 กรัม ในสารละลายโลหะความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ของโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} แต่ละชนิดโดยเตรียมจาก Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิตร ปรับด้วย 1000 มิลลิตร

1.1 ศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ

การศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ โดยใช้ยาง 1 กรัม แช่ใน สารละลายโลหะ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 50 มิลลิตร ศึกษาการดูดซับที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 ชั่วโมง

1.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายโลหะในการดูดซับของยาง ENR-ED

การศึกษา pH ของสารละลายที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยยาง ENR-ED ครั้งนี้ศึกษาโดยใช้ยาง ENR-ED 1 กรัม แช่ในสารละลายโลหะ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 50 มิลลิตร โดยทำการศึกษาการดูดซับโดยใช้สารละลายโลหะที่มีค่า pH เท่ากับ 1, 2, 3, 4, และ 5 ใช้ HNO_3 และ $NaOH$ ในการปรับค่า pH ใช้เวลาในการดูดซับ จากเวลาที่เหมาะสมจากข้อที่ 1.1

1.3 ศึกษาความจุของการดูดซับแบบถั่งแช่

การศึกษาความจุของการดูดซับแบบถั่งแช่ ทำโดยนำยาง ENR-ED 1 กรัม แช่ใน สารละลายโลหะความเข้มข้นต่างกันแต่ละชนิด ดังนี้ 20 , 40 , 60 , 80 , 100 , 120 และ 140 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมจาก Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ศึกษาที่ pH และเวลาที่เหมาะสมจากการทดลอง

2 วิเคราะห์โลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS)

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS) จะต้องเตรียมสารละลายมาตรฐาน ในการทำการกราฟมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิดจะมีการเตรียมดังนี้

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+}

ใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก

2.1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน Pb^{2+} สร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย นำ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก ตามลำดับ

2.1.2 วิเคราะห์ Pb^{2+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี(AAS) ที่

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Fe^{3+}

ใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก

2.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน Fe^{3+} สร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย นำ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก ตามลำดับ

2.2.2 วิเคราะห์ Fe^{3+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี(AAS) ที่

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เป็นการทดสอบความเที่ยงในการวิเคราะห์ สามารถคำนวณหาโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ \%RSD} = \frac{\text{SD} \times 100}{\bar{X}} \quad (3.1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

X = ค่าที่วัดได้ของตัวอย่าง

n = จำนวนตัวอย่าง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) หมายถึง รากที่สองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลแต่ละตัว จากค่าเฉลี่ยกำลังสองเป็นการวัดการกระจายที่บอกว่าข้อมูลกระจาย

ไปจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลในกลุ่มแตกต่างกันมาก ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลในกลุ่มนั้นใกล้เคียงกัน สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ SD การหาค่าเฉลี่ยมีวิธีการดังนี้

$$SD = \frac{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}{n-1} \quad (3.2)$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X_i = ค่าของตัวอย่างที่วัดได้ในแต่ละครั้ง
 n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

3. มัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic mean)

มัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic mean) หรือ ค่าเฉลี่ย หมายถึง ค่าที่ได้จากการนำคะแนนทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยคะแนนทั้งหมด สัญลักษณ์ที่ใช้คือ $\bar{X}$ การหาค่าเฉลี่ยมีวิธีการดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.3)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
 $\sum X$ = ผลรวมของคะแนน
 n = จำนวนตัวอย่าง

4. ค่าความจุของการดูดซับ (adsorption capacity)

ค่าความจุของการดูดซับเป็นค่าของปริมาณตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น โมล/กิโลกรัม, โมล/กรัม, มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีสมการในการหาดังนี้

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{M} \quad (3.4)$$

- เมื่อ q = (ความจุของการดูดซับ) ปริมาณตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
- C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น โมล/ลิตร
- C = ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือยู่ในสารละลายหน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น โมล/ลิตร
- V = ปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วย ซม.³ หรือ ลิตร
- M = มวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น กิโลกรัม

5. หาคความจุของการดูดซับโดยสมการของ Freundlich

เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$\text{Log } (q) = \text{log } (K_f) + 1/n \text{ log } (C) \quad (3.5)$$

เขียนกราฟระหว่าง $\text{Log } (q)$ กับ $\text{log } (C)$ จะได้ ความชัน = $1/n$ และ จุดตัด = $\text{log } (K_f)$

หาคความจุของการดูดซับจาก

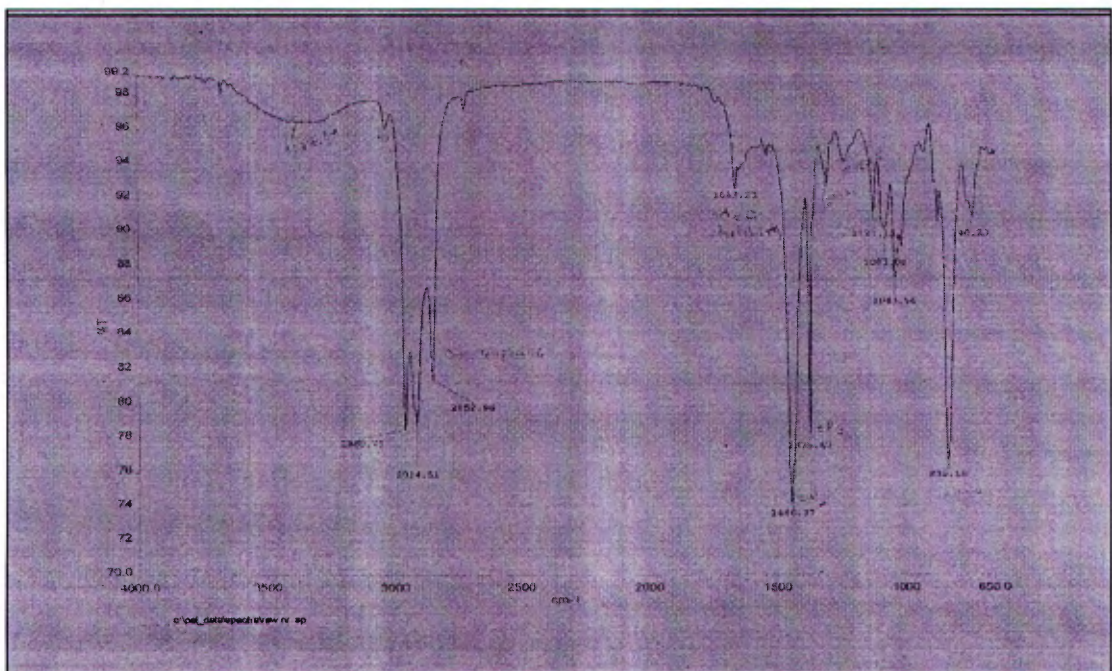
$$q = 10^{\log k} \text{ มิลลิกรัม/กรัม} \quad (3.6)$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

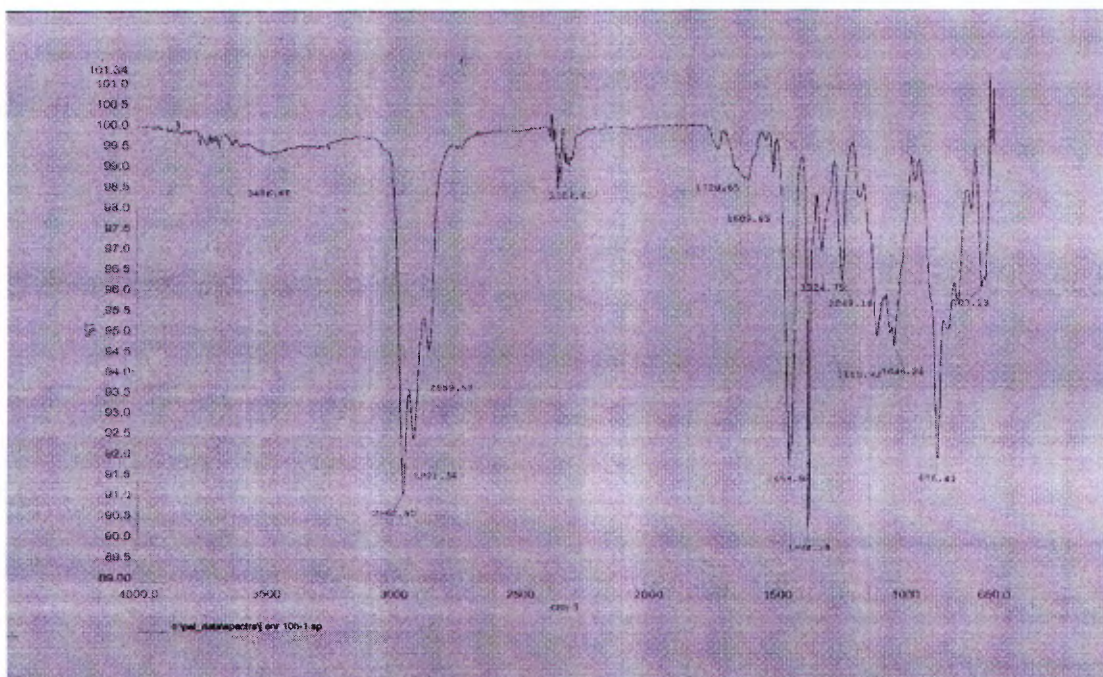
ผลศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

จากการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ได้ประยุกต์ตามวิธีการของเจริญ นาคะสรรค์ คณะ (2544) โดยเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในอัตราส่วนน้ำยาง 1.7 โมล ทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 20 %DRC กับ กรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล กรดฟอร์มิก 0.9 โมล ใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ทำปฏิกิริยาเวลา 10 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR แสดงสเปกตรัมดังภาพที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของยางธรรมชาติในภาพที่ 4.2 พบว่าปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่โดยเป็นแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันอีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240 cm^{-1} เกิดเพิ่มขึ้นในของยางธรรมชาติ

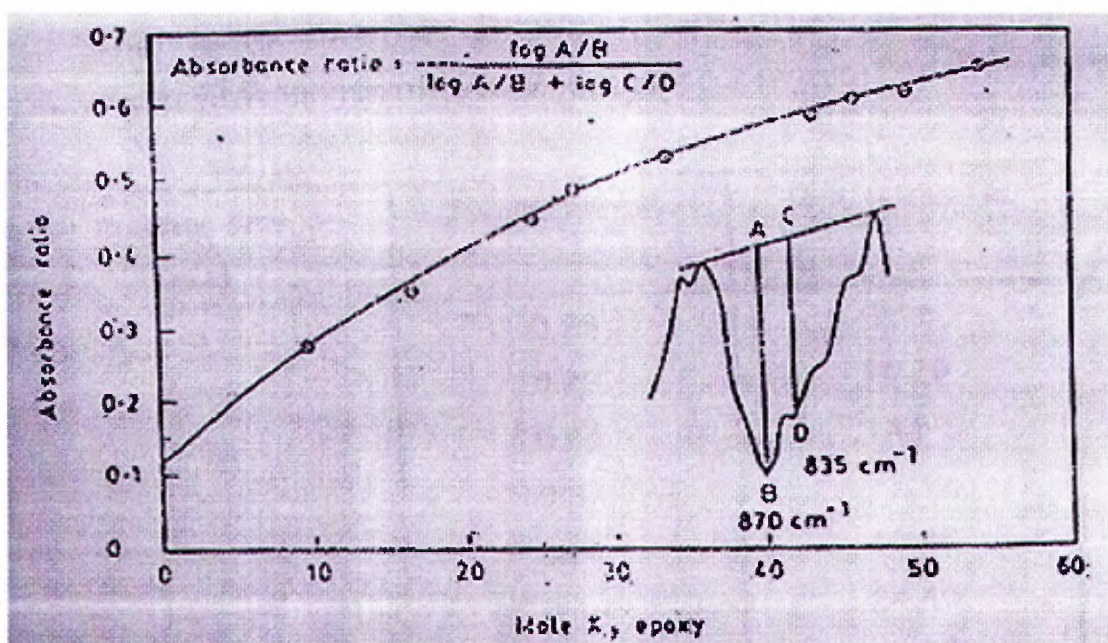


ภาพที่ 4.1 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของยางธรรมชาติ

ที่มา : (อาชีชัน แกสมาน และคณะ, 2547)



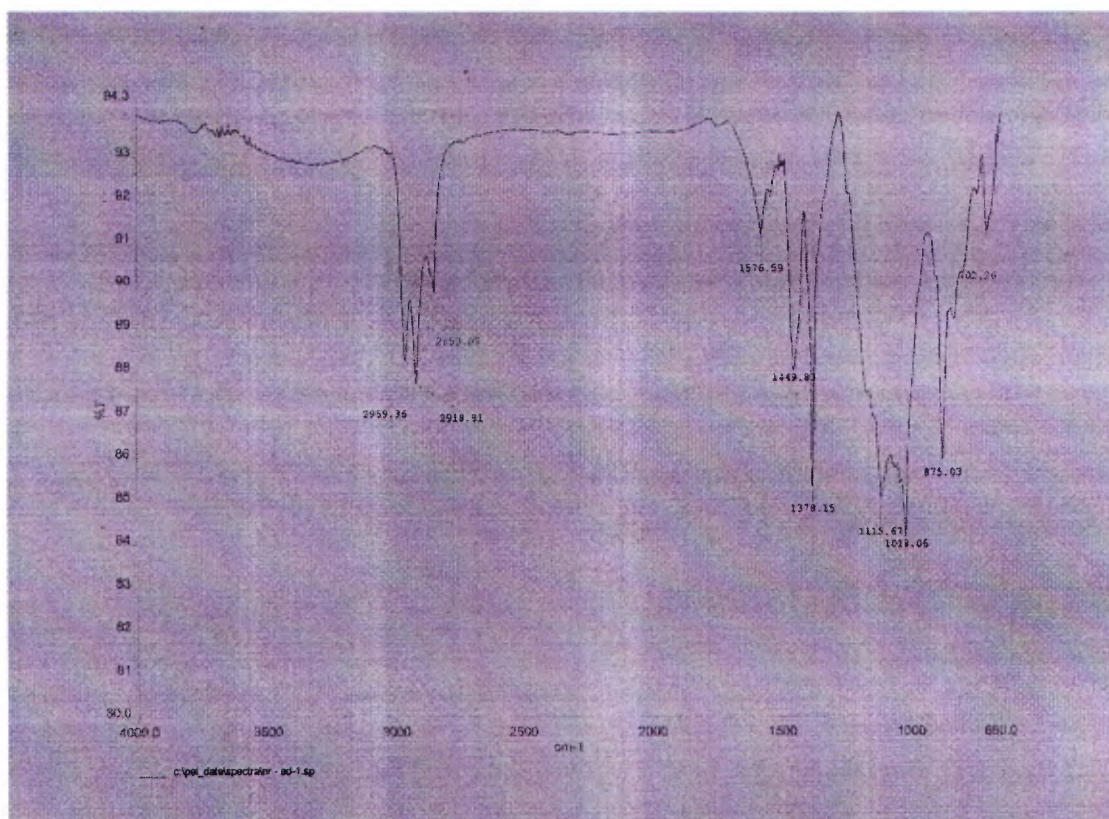
ภาพที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 10 ชั่วโมง
ที่มา : (อาชีชัน แกสมาน และคณะ, 2547)



ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติจากการ
วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (Davey and Loadman, 1984)

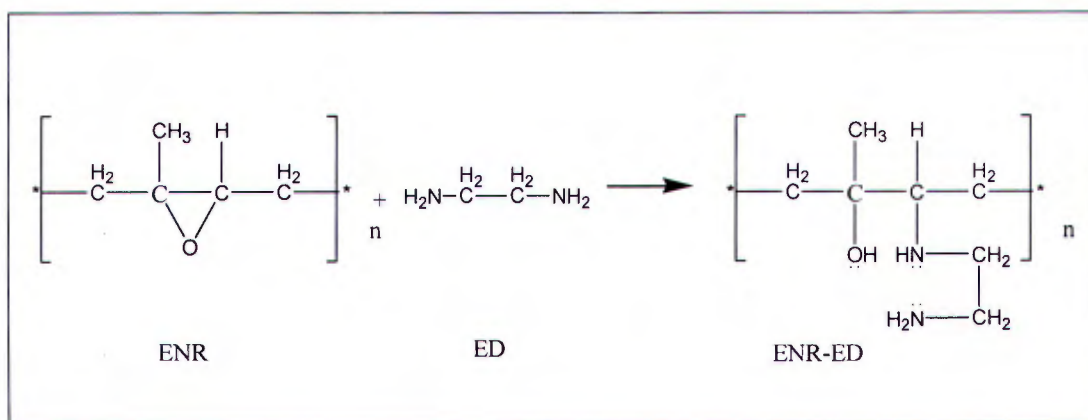
ที่มา : (อาชีชัน แกสมาน และคณะ, 2547)

เปรียบเทียบกับสเปกตรัม FT-IR ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในภาพที่ 4.2 พบว่าแถบการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1243.16 แสดงตำแหน่งแถบการดูดกลืนของหมู่ C-O-C ไม่ปรากฏในภาพที่ 4.5 ซึ่งเป็นผลจากการดัดแปรเอทิลีนไดเอมีน ทำให้พันธะระหว่าง C-O-C ที่อยู่เป็นวงในยางธรรมชาติอีพอกไซด์แตกออกต่อกับเอทิลีนไดเอมีน และพบแถบการดูดกลืนใหม่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1576.59 และ 1533.82 แสดงตำแหน่งแถบการดูดกลืนของหมู่ NH_2 และ NH ตามลำดับ หมู่ดังกล่าวเป็นหมู่ฟังก์ชันองค์ประกอบของเอทิลีนไดเอมีน



ภาพที่ 4.5 แสดงปฏิกิริยาของการดัดแปรยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน
ที่มา : (อาชีชัน แกสมาน และคณะ, 2547)

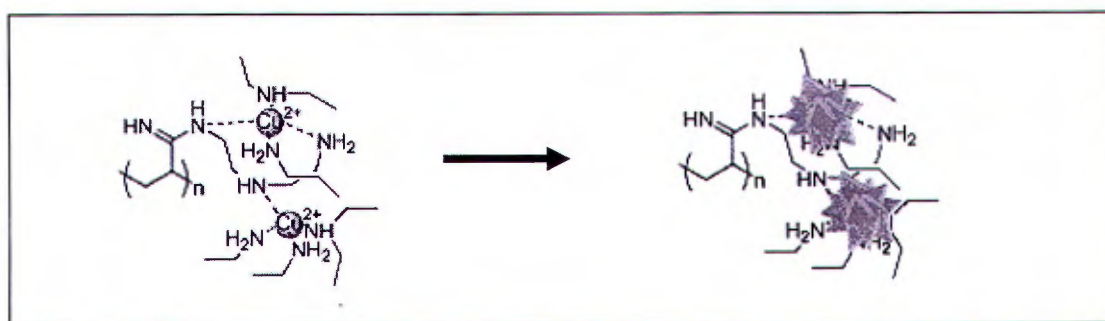
จากการดัดแปร โครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์โดยการกราฟต์ด้วยเอทิลีนไดเอ-
มินสามารถสนับสนุนโครงสร้างของยางดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ปฏิกริยาการดัดแปรยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน

ที่มา: (เจริญ นาคะสรรค์, 2544)

เมื่อทำการกราฟต์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน จะได้ยางธรรมชาติชนิดใหม่ที่ต่อเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED) ซึ่งเอทิลีนไดเอมีนมีหมู่ของเอมีนในโครงสร้าง 2 หมู่ ซึ่งหมู่ของเอมีน จะมีในโตรเจน จะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ ซึ่งเมื่อพบกับโลหะหนัก ในโตรเจนสามารถที่จะเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ กับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โลหะจะติดกับโครงสร้างของยาง ENR-ED ทำให้สามารถกำจัดโลหะในสารละลายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกิดการโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงการโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างโลหะกับหมู่ของเอมีนของ poly(acrylo-
amidino diethylenediamine)

ที่มา: (Young Gun & Ung Su Choi, 2007)

จากภาพจะเห็นการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างโลหะ กับหมู่ของเอมีนซึ่งเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์จับโลหะได้เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการต่อเอทิลีนไดเอมีนแล้ว สามารถดูดซับโลหะจากสารละลายจากการทดลองได้ ซึ่งสามารถอธิบายการดูดซับโลหะของยาง ENR-ED ในลักษณะเดียวกัน

ผลการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED

1 ผลการศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)

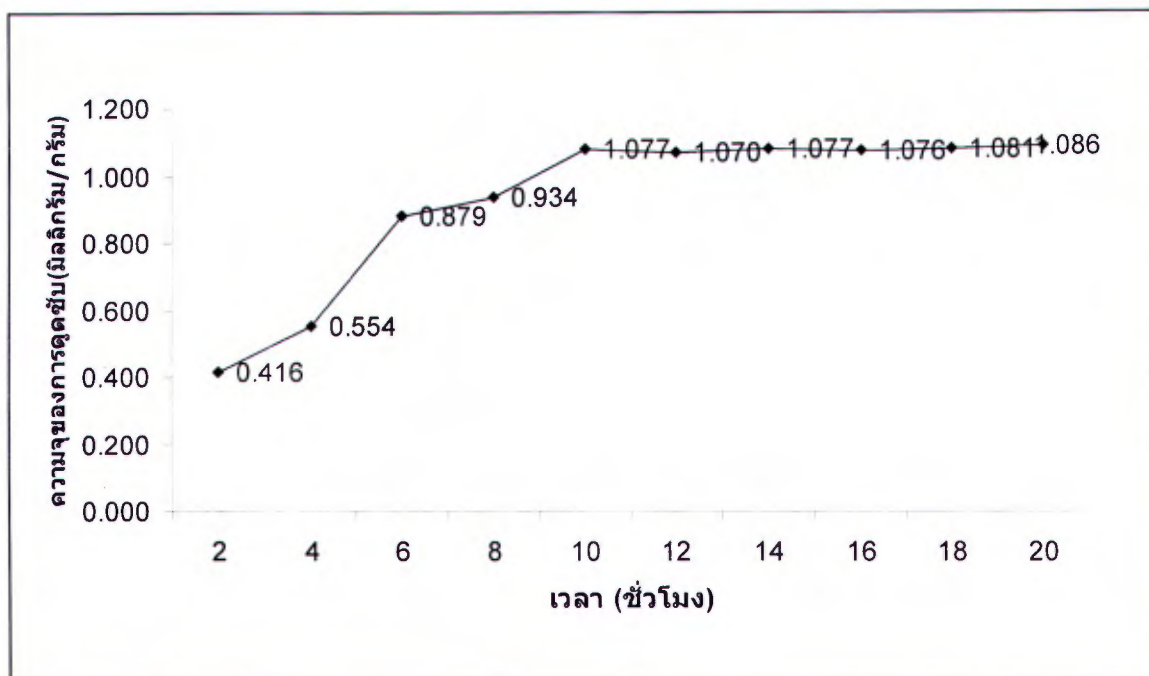
เมื่อศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED โดยแช่ ENR-ED 1 กรัม ในสารละลายโลหะ Pb และ Fe ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ผลดังนี้

1.1 ผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ

จากการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ ซึ่งศึกษาการดูดซับที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายโลหะที่มี pH 5 ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองทั้งการดูดซับโลหะสองชนิด โดยปริมาณการดูดซับโลหะทั้งสองแสดงผลดังตาราง 4.1 4.2 และ ภาพที่ 4.8 4.9

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยยาง ENR-ED ที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ เฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
2.000	0.187	0.174	0.164	0.416	0.143
4.000	0.247	0.227	0.239	0.554	0.185
6.000	0.392	0.361	0.378	0.879	0.294
8.000	0.406	0.392	0.409	0.934	0.308
10.000	0.459	0.463	0.464	1.077	0.354
12.000	0.457	0.459	0.462	1.070	0.352
14.000	0.461	0.461	0.465	1.077	0.354
16.000	0.459	0.463	0.461	1.076	0.354
18.000	0.462	0.464	0.464	1.081	0.356
20.000	0.464	0.467	0.466	1.086	0.358

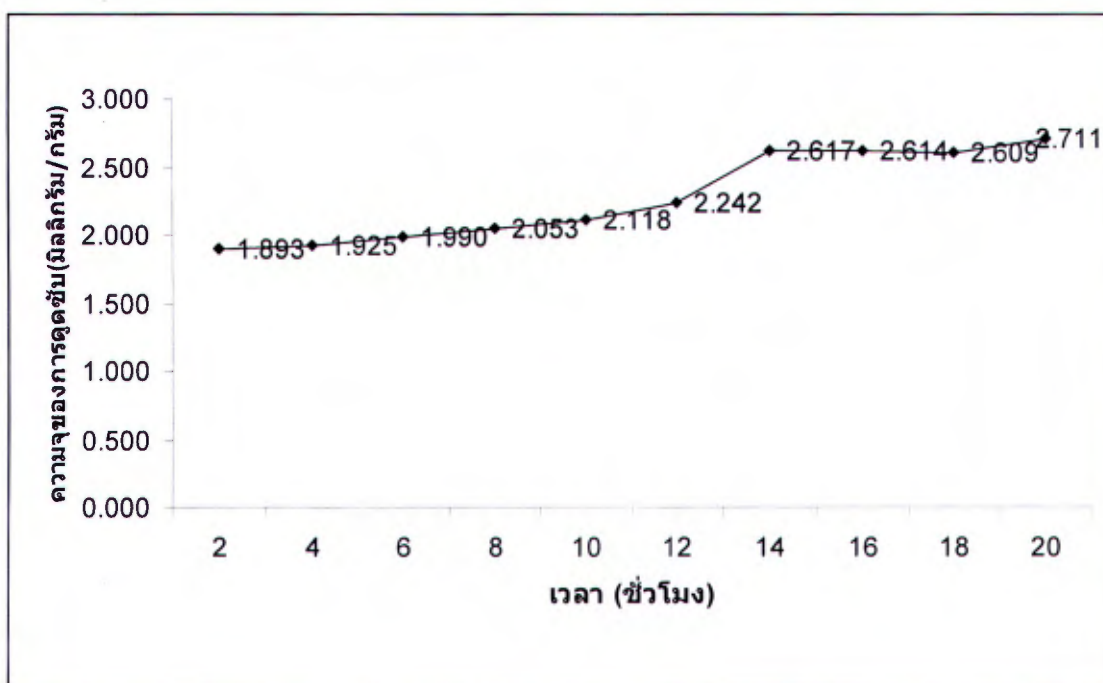


ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นจากภาพที่ 4.8 ปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและมีการดูดซับเริ่มคงที่ ที่เวลา 10 ชั่วโมง เกิดจากพื้นที่ผิวของยาง ENR-ED ถูกปกคลุมไปด้วยโลหะ Pb^{2+} ที่เกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างตัวลิแกนด์กับโลหะบนพื้นผิวยาง ENR-ED (Young Gun Ko และ Ung So Choi ,2007) เนื่องจากตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด เมื่อโลหะเกิดพันธะจับกับลิแกนด์จนเต็มทั่วทั้งพื้นผิวตัวดูดซับจึงไม่สามารถดูดซับโลหะได้อีก (วรพัฒน์ พัฒนวรเศรษฐ์ , 2546) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ผลของการดูดซับคงที่ เป็นผลทำให้สมดุลของการดูดซับโลหะ Pb^{2+} สมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED ที่เวลาต่าง ๆ

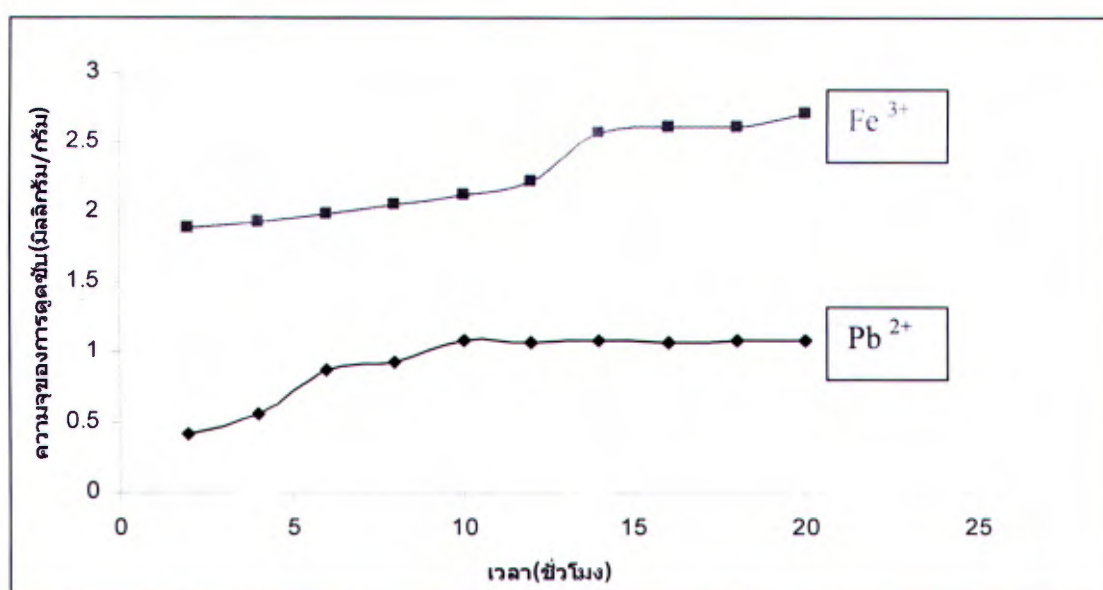
เวลา (ชั่วโมง)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ เฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
2.000	0.812	0.809	0.817	1.893	0.624
4.000	0.811	0.832	0.847	1.925	0.627
6.000	0.831	0.867	0.877	1.990	0.646
8.000	0.863	0.891	0.897	2.053	0.669
10.000	0.892	0.912	0.944	2.119	0.688
12.000	0.941	0.969	0.941	2.224	0.733
14.000	1.119	1.124	0.997	2.575	0.877
16.000	1.121	1.121	1.121	2.616	0.863
18.000	1.117	1.119	1.120	2.609	0.860
20.000	1.210	1.127	1.121	2.711	0.916



ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Fe^{3+} ที่เวลาต่างๆ

และเมื่อทำการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ Fe^{3+} จากผลการทดลองจะสังเกตเห็นดังได้ จากภาพที่ 4.9 จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับ Fe^{3+} จะเพิ่มขึ้นเรื่อยตาม เวลาที่เพิ่มขึ้นแล้วจะเริ่มคงที่ ที่เวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับการดูดซับ Pb^{2+} เนื่องจาก Fe^{3+} เกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างตัวลิแกนด์กับโลหะจับอยู่บนพื้นผิว ของ ENR-ED เต็มทั่วทั้งพื้นผิวทำให้ไม่สามารถที่จะดูดซับโลหะได้อีก

เมื่อนำการดูดซับ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ที่เวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกันแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ที่เวลาต่างๆ

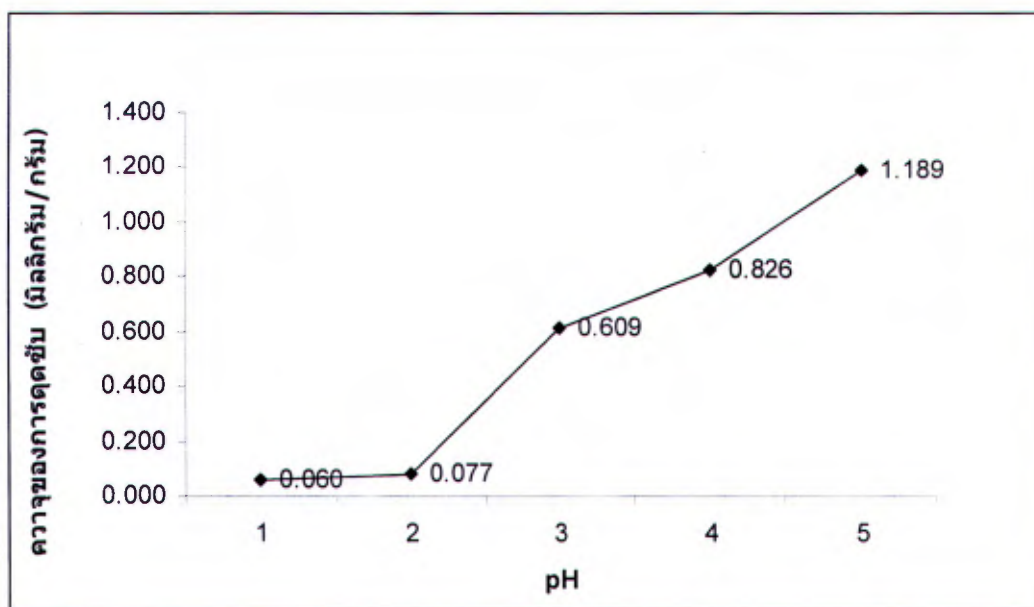
จากภาพที่ 4.10 ผลของการศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับโลหะ เมื่อนำ Pb^{2+} และ Fe^{3+} มาเปรียบเทียบกันความจุของการดูดซับและเวลาที่สมดุลของการดูดซับทั้งสองมีความแตกต่างกัน ความจุของการดูดซับและเวลาที่สมดุลของการดูดซับโลหะ Fe^{3+} จะมากกว่าการดูดซับโลหะ Pb^{2+} โดยโลหะ Fe^{3+} การดูดซับที่สมดุลที่เวลา 14 ชั่วโมง มีปริมาณการดูดซับที่สมดุลเท่ากับ 2.575 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งต่างจากโลหะ Pb^{2+} ที่มีการดูดซับสมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง มีปริมาณการดูดซับที่สมดุลเท่ากับ 1.077 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเช่นนี้เนื่องจากความสามารถของยาง ENR-ED ในการดูดซับโลหะ Fe^{3+} มีมากกว่าการดูดซับโลหะ Pb^{2+} เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการดูดซับจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน แต่เมื่อการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ถึงจุดสมดุล แต่โลหะ Fe^{3+} จะมีการดูดซับต่อไปเพราะยาง ENR-

ED มีความสามารถในการดูดโลหะ Fe^{3+} ทำให้ยังสามารถที่จะดูดซับโลหะ Fe^{3+} ได้แต่เมื่อโลหะ Fe^{3+} ถูกจับเต็มบนพื้นผิวของยาง ENR-ED ในการดูดซับจะคงที่ ณ จุดสมดุล

1.2 ผลศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายโลหะในการดูดซับของยาง ENR-ED

จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายโลหะในการดูดซับของยาง ENR-ED ประสิทธิภาพการดูดซับของยาง ENR-ED ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายโลหะ ประสิทธิภาพการดูดโลหะสูงที่ pH สูง (Young Gun Ko และ Ung So Choi, 2007) จากศึกษาการดูดซับโลหะครั้งนี้ที่ค่า pH เท่ากับ 1, 2, 3, 4, และ 5 ซึ่งช่วง pH จาก 1-5 นี้เป็นช่วงที่ไม่ทำให้โลหะตกตะกอน ตกตะกอนที่เกิดดังกล่าวทำให้รบกวนการทดลอง ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายโลหะในการดูดซับของยาง ENR-ED แสดงให้ดังตารางที่ 4.3 4.4 และ ภาพที่ 4.11 4.12 ตารางที่ 4.3 แสดงผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยยาง ENR-ED

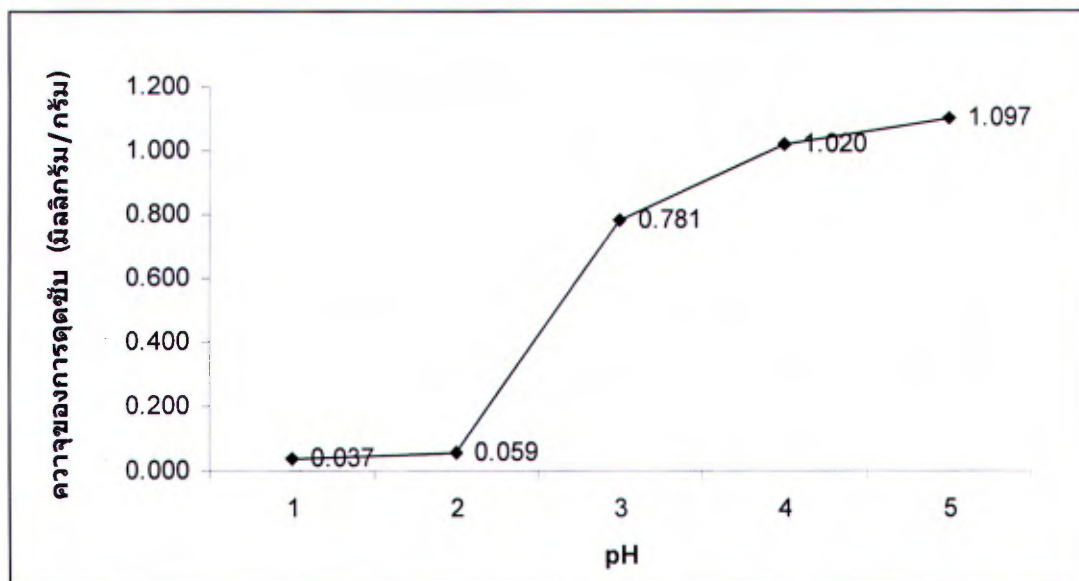
pH	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ เฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
1	0.007	0.039	0.041	0.060	0.019
2	0.006	0.054	0.052	0.077	0.027
3	0.249	0.271	0.268	0.609	0.012
4	0.317	0.387	0.367	0.826	0.036
5	0.514	0.509	0.497	1.189	0.009



ภาพที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} ที่ pH ต่างๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED

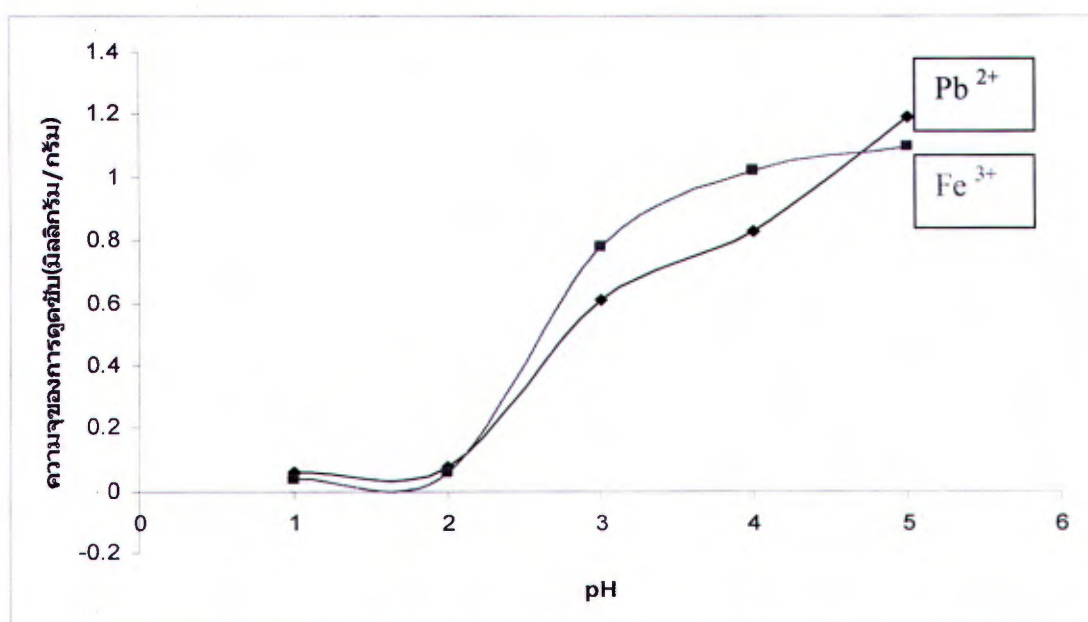
pH	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ เฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
1	0.004	0.027	0.019	0.037	0.012
2	0.006	0.039	0.041	0.059	0.020
3	0.316	0.342	0.369	0.781	0.027
4	0.427	0.439	0.461	1.020	0.017
5	0.464	0.471	0.487	1.097	0.012



ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Fe^{3+} ที่ pH ต่างๆ

จากผลการทดลองสามารถสังเกตเห็นได้จากภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของสารละลายกับความสามารถในการดูดซับโลหะของยาง ENR-ED จะเห็นได้ว่าโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} จะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตาม pH ที่เพิ่มขึ้นสามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อนำทั้งสองมาเปรียบเทียบกับกันดังภาพที่

4.13



ภาพที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ที่ pH ต่างๆ

1.3 ผลศึกษาความจุของการดูดซับแบบถังแช่

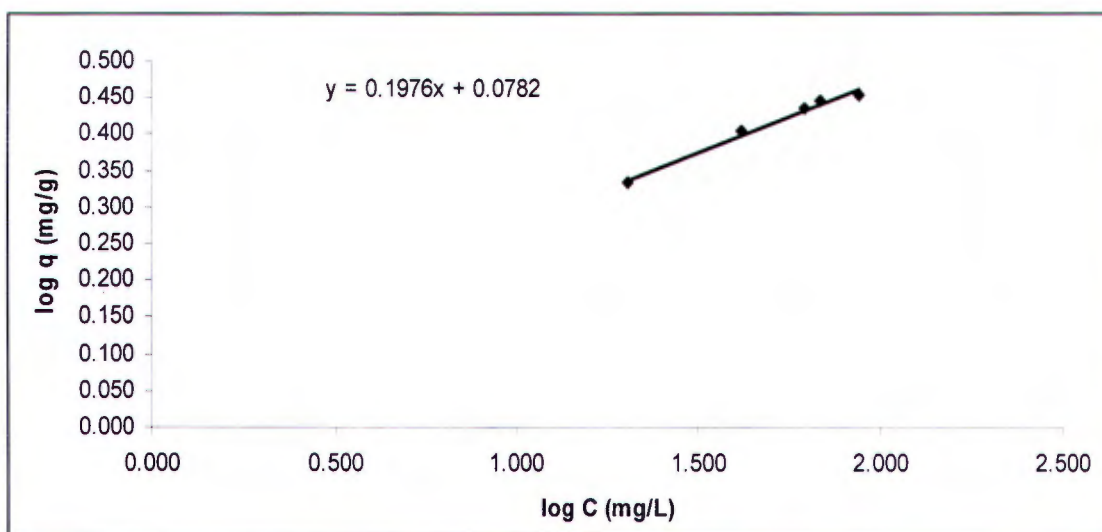
จากการศึกษาความจุของการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ทำโดยนำยาง ENR-ED 1 กรัม แช่ในสารละลายโลหะความเข้มข้นต่างกันแต่ละชนิด ดังนี้ 20 , 40 , 60 , 80 , 100 , 120 และ 140 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษาที่ pH 5 และเวลาการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ใช้เวลา 10 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ หาความจุของการดูดซับโดยใช้สมการของ Freundlich แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 4.5 , 4.6 , 4.7 , 4.8 และภาพที่ 4.15 , 4.16

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาความจุของการดูดซับ Pb^{2+} ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ เฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
20	2.397	1.641	2.411	2.150	0.441
40	2.546	2.412	2.636	2.531	0.113
60	3.080	2.369	2.741	2.730	0.356
80	3.104	2.497	2.787	2.796	0.304
100	3.187	2.596	2.714	2.832	0.313

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า $\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม) เพื่อหาความจุของการดูดซับ Pb^{2+}

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	$\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม)	$\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม)
20	0.332	1.308
40	0.403	1.619
60	0.436	1.793
80	0.447	1.835
100	0.452	1.942



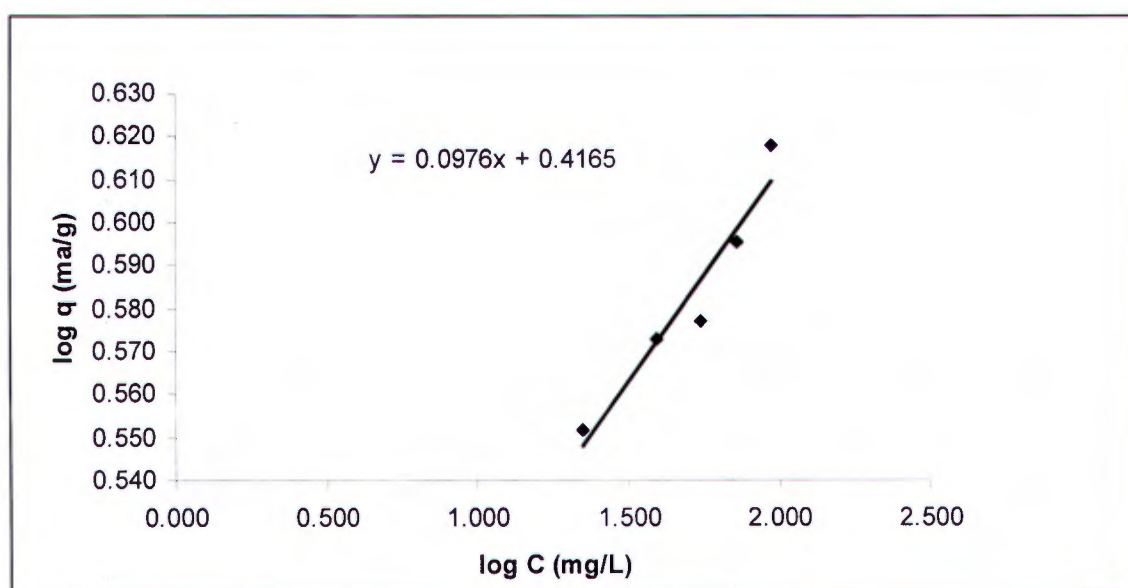
ภาพที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของการหาความจุของการดูดซับ Pb^{2+} โดยสมการของฟรอนดิช

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาความจุของการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 1 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 2 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับ ครั้งที่ 3 (มิลลิกรัม/กรัม)	ความจุของการดูดซับเฉลี่ย (มิลลิกรัม/กรัม)	SD
20	3.491	3.729	3.468	3.563	0.145
40	3.697	3.811	3.712	3.740	0.062
60	3.741	3.901	3.686	3.776	0.112
80	3.739	4.211	3.862	3.937	0.245
100	4.108	4.217	4.119	4.148	0.060

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า $\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม) และ $\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม) เพื่อหาความจุของการดูดซับ Fe^{3+}

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	$\log q$ (มิลลิกรัม/กรัม)	$\log C$ (มิลลิกรัม/กรัม)
20	0.552	1.349
40	0.573	1.593
60	0.577	1.743
80	0.595	1.864
100	0.618	1.977



ภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของการหาความจุของการดูดซับ Fe^{3+} โดยสมการของฟรูนดิช

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความจุของการดูดซับ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ด้วยวิธีแบบการแพร่ โดยสมการของ Freundlich

โลหะ	ค่าความจุของการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
Pb^{2+}	1.197
Fe^{3+}	2.609

จากการค้นคว้าโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} จะมีเลขออกซิเดชันต่างกัน คือ Pb มีเลขออกซิเดชัน 2+ และ Fe มีเลขออกซิเดชัน 3+ โดยโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน 2+ จะสามารถดูดซับได้ดีกว่า 3+ เนื่องจากเลขออกซิเดชันน้อยง่ายในการเกิดโคออร์ดิเนชันมากกว่า จากการดูดซับ Fe^{3+} ด้วยโพลีอะมิโนสไตรีนสังเคราะห์ (วรพัฒน์ พัฒนวรเศรษฐ์ , 2546) และ การศึกษาการดูด Al^{3+} ด้วย poly (CGMAPEI) poly (CGMAPEI) (Ronald R.Navirro และคณะ , 2000) ทั้งสองไม่สามารถดูดซับโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน 3+ ได้

การศึกษาทดลองครั้งนี้ ให้ผลที่ต่างกันออกไปจากผลงานศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตัวดูดซับยาง ENR-ED สามารถที่จะดูดซับ Fe^{3+} ได้ เนื่องจากตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นใหม่นี้จะมีลิแกนด์ที่สามารถที่จะปรับตัวเอทิลีนไดอามีนที่ ที่อยู่ในโครงสร้างของยาง ENR เข้ามาใกล้กันทำให้เหมาะสมกับการดูดซับ จึงสามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับโลหะ Fe^{3+}

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการนำยางธรรมชาติพอกไซค์ที่ได้จากการเตรียมยางธรรมชาติพอกไซค์ที่ได้ประยุกต์ตามวิธีการของเจริญ นาคะสรรค์คณะ (2544) มาดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีนในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติพอกไซค์ที่ดัดแปรเอทิลีนไดเอมีนได้มีการต่อของเอทิลีนไดเอมีนในโครงสร้าง โครงสร้างของยางธรรมชาติหลังจากดัดแปรเอทิลไดเอมีนจะมีการต่อเอทิลีนไดเอมีนได้เป็นยาง ENR-ED ซึ่งเอทิลีนไดเอมีนมีหมู่ของเอมีนในโครงสร้าง 2 หมู่ และ ออกซิเจนซึ่งหมู่ของเอมีน และออกซิเจน จะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ ซึ่งสามารถจะเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โลหะจะจับบนพื้นผิวยาง ENR-ED ทำให้สามารถกำจัดโลหะ

เมื่อนำยางธรรมชาติพอกไซค์ดัดแปรเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED) ศึกษาการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} พบว่าสมมูลของการดูดซับที่ pH 5 ของโลหะทั้งสองให้ผลที่ต่างกัน โลหะ Pb^{2+} การดูดซับสมมูลที่เวลา 10 ชั่วโมง โลหะ Fe^{3+} การดูดซับที่สมมูลที่เวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณการดูดซับที่สมมูลเท่ากับ 1.197 และ 2.609 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ การดูดซับโลหะ Fe^{3+} มากกว่า โลหะ Pb^{2+} สันนิฐานได้ว่า โลหะ Fe^{3+} มีความต้องการอิเล็กตรอนซึ่งพอดีกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของตัวดูดซับ มากกว่า Pb^{2+} ทำให้ค่าความจุของ Fe^{3+} มีมากกว่า

pH ของสารละลายโลหะ จะมีผลต่อปริมาณการดูดซับโลหะของยาง ENR-ED ปริมาณการดูดซับของโลหะทั้งสองมีการดูดซับสูงที่ pH สูง ที่ pH สูง จะมีปริมาณ OH^- เป็นจำนวนมาก จะช่วยในการขัดขวางการโปรตรอนบนตัวดูดซับ (Ronald R.Navirro และคณะ , 2000) ที่ pH สูงจะมีปริมาณ H^+ น้อยทำให้ไม่มีการขัดขวางในการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างลิแกนด์กับโลหะ (Young Gun Ko & Ung So Choi, 2007) ปริมาณการดูดซับโลหะเพิ่มขึ้น จากการทำการทดลองศึกษาการดูดซับที่ pH 1-5 พบว่าปริมาณการดูดซับของโลหะทั้งสองจะเพิ่มสอดคล้องกับค่า pH ที่เพิ่มขึ้น มีการดูดซับสูงสุดที่ pH 5 ที่ pH ต่ำ ๆ จะมี H^+ จำนวนมาก H^+ จะไปขัดขวางการเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ระหว่างลิแกนด์กับโลหะ (Young Gun Ko และ Ung So Choi, 2007) โดย H^+ จะเกิดการโปรตรอนบนพื้นผิว ยาง ENR-ED (Ronald R.Navirro และคณะ , 2000) ทำให้ไม่สามารถดูดซับโลหะได้ การดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} จึงมีค่าต่ำมาก ที่ pH 1 ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่นำมาอ้างอิงถึง

ความจุของการดูดซับโลหะทั้งสอง คือ โลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ให้ผลที่สอดคล้องกับเวลาที่สมดุลของการดูดซับ โดยความจุของการดูดซับโลหะ Pb^{2+} น้อยกว่าโลหะ Fe^{3+} มีค่าเท่ากับ 1.197 และ 2.609 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาการดูดซับโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} ด้วยยาง ENR-ED ครั้งนี้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทั้งสองดังนี้ โลหะ Pb^{2+} มีการดูดซับสูงสุดที่เวลา 10 ชั่วโมง และโลหะ Fe^{3+} มีการดูดซับสูงสุดที่เวลา 14 ชั่วโมง ในสารละลายโลหะ pH 5

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาทำการวิจัยควรในครั้งต่อไปศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับเพิ่มเติมเพื่อหาสภาวะที่ทำให้ยาง ENR-ED มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับ
2. ควรที่จะศึกษาการนำ ENR-ED ไปใช้ในการบำบัดน้ำหรือควรนำมาประยุกต์ใช้ได้เพื่อทำให้เกิดประโยชน์ได้จริง

บรรณานุกรม

- Mourad Amara and Hac ene Kerdioudj. 2005. *Analytica Chimica Acta* 547, 50-52
- Mykola Seredych and Teresa J. Bandoaz. 2007. Letters to the Editor/*Carbon* 45, 226–2139
- Gulay Bayramoglu and M. Yakup Arica. 2005. **Ethylenediamine grafted poly (glycidylmethacrylate-co-methylmethacrylate) adsorbent for removal of chromate anions**, *Separation and Purification Technology* 45, 192–199
- S. Shiratori. 2001. **Removal of toxic gas by hybrid chemical filter fabricated by the sequential Adsorption of polymers**, *Thin Solid Films*. 39, 243-248
- Ronald R. Navro, Kenji Tatsuhiro, Katsuhiro Sumi and Masatoshi Matsumura. 2000. **Role of anions on heavy metal sorption of a cellulose modified with poly(glycidylmethacrylate) and Polyethyleneimine**, *Wat. Res.* 2001; 35(11), 2724–2730,
- Davey, J.E. and Loadman, M.J.R. 1984 **Chemical demonstration for the randomness for Epoxidation of natural**. *Br. Polym. J.*, 16 : 134-138
- ฉัตรปรกรณ์ นันทวงศ์ และคณะ. 2548 “การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์”, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ครั้งที่4
- เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ. 2547. **เทอร์โมพลาสติกวัลคาไรซ์จากการเบลนด์ไวนิลอะซิเตดกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวฟอสเฟต**, รายงานฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- ฉลอง บัวผัน และมนตรี บุญเสนอ. 2542. **โลหะหนักในบาดาลเนื่องจากการปนเปื้อนจากกองขยะเมืองขอนแก่น**. รายงานการวิจัย ภาคเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี สำนักงานกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- อาชิซัน แกสมาน และคณะ. 2547. **การเตรียมยางเบลนด์ระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์**, รายงานฉบับสมบูรณ์ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- ประดิษฐ์ มีสุข และ เสาวณี โพชนุกูล. 2548. **การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา**, รายงานการวิจัย สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา

- วรพัฒน์ พัฒนวรเศรษฐ์. 2546. การสังเคราะห์โพลีอะมิโนสไตรีนเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับไอออนของโลหะหนักเกิด สังกะสี ทองแดง และโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์, วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ประวีณา ติระ. 2540. การเตรียมยางธรรมชาติให้เป็นยางเรซิน, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- แหวดดา ทองระอา. 2549. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา
- ชูสิน ชิริสวัสดิ์ และคณะ. 2551. การศึกษาคุณภาพทางเคมีและปริมาณโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำน่านบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเคมีอุตสาหกรรม และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
- นิธิวัฒน์ จำรูญรัตน์ และคณะ. 2548. การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแม่น้ำกวังกรณีศึกษาเขตเมืองลำพูน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เชียงใหม่

ภาคผนวก

1 การคำนวณอัตราส่วนสารเคมีในการเตรียมน้ำยอกไซด์

การเตรียมน้ำยอกไซด์เตรียมจากธรรมชาติของพืชโดยใช้วิธีของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ(2554) ใช้อัตราส่วนน้ำยอก 1.7 โมล ที่มีความเข้มข้น 20 %DRC ทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอริก ที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล กรดฟอริก 0.9 โมล

คำนวณอัตราส่วนต่างๆดังนี้

1.1 การเตรียมน้ำยอก 1.7 โมลความเข้มข้น 20 %DRC

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักยอก} &= \frac{(1.7 \text{ โมล})(68 \text{ กรัม})(100 \text{ กรัม})}{(1 \text{ โมล})(60 \text{ กรัม})} \\ &= 192.66 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ดังนั้น ; จะได้น้ำหนักยอกที่มีความเข้มข้น 60 %DRC น้ำหนัก 192.66 กรัม

เจือจางน้ำยอกจากความเข้มข้น 60 %DRC เป็น 20 %DRC

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ V_2 &= \frac{(60 \text{ เปอร์เซ็นต์})(192.66 \text{ เปอร์เซ็นต์})}{20 \text{ เปอร์เซ็นต์}} \\ &= 577.8 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ดังนั้น ; จะต้องเจือจางด้วยน้ำ $577.8 - 192.66 = 385.2$ กรัม

เนื่องจาก 1 กรัม $\approx$ 1 มิลลิลิตร

ดังนั้น ; ในการเจือจางน้ำยอกจากความเข้มข้น 60 %DRC เป็น 20 %DRC จะต้องใช้น้ำปราศจากไอออน 385.2 มิลลิลิตร เจือจางน้ำยอกหนัก 192.66 กรัม

1.2 การเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= \frac{(2.6 \text{ โมล})(34 \text{ กรัม})(100 \text{ กรัม})}{(1 \text{ โมล})(35 \text{ กรัม})} \\ &= 281.7 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= \frac{(281.7 \text{ กรัม})(1 \text{ มิลลิลิตร})}{1.22 \text{ กรัม}} \\ &= 230.91 \text{ มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

ดังนั้น ; ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล มีปริมาตรเท่ากับ 230.91 มิลลิลิตร

1.3 การเตรียมกรดฟอร์มิค 0.9 โมล

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักกรดฟอร์มิค} &= \frac{(0.9 \text{ โมล})(46 \text{ กรัม})(100 \text{ กรัม})}{(1 \text{ โมล})(85 \text{ กรัม})} \\ &= 48.7 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= \frac{(48.7 \text{ กรัม})(1 \text{ มิลลิลิตร})}{1.22 \text{ กรัม}} \\ &= 39.9 \text{ มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

ดังนั้น ; ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6 โมล มีปริมาตรเท่ากับ 39.9 มิลลิลิตร

1.4 การเตรียม 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อเยื่อ

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100} &= \frac{(30 \text{ มิลลิลิตร})(557.8 \text{ กรัม})}{(100 \text{ กรัม})} \\ &= 167.34 \text{ มิลลิลิตร}\end{aligned}$$

ดังนั้น ; การเตรียม 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อเยื่อในเนื้อเยื่อ 557.8 กรัม จะต้องใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 ปริมาตร 167.34 มิลลิลิตร

จากการคำนวณจะได้อัตราส่วนในการเตรียมยารวมชาติอีพอกไซด์ดังนี้ น้ำยาง 192.66 กรัม เจือจางน้ำปราศจากไอออน 385.2 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 20 %DRC ทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอร์มิคที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 230.91 มิลลิลิตร กรดฟอร์มิค 39.9 มิลลิลิตร จะต้องใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 ปริมาตร 167.34 มิลลิลิตร

2 การคำนวณอัตราส่วนในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน

ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน ในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง

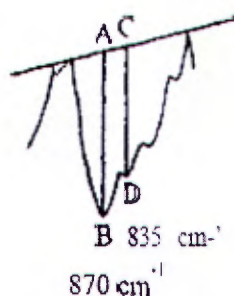
คำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณเอทิลีนไดเอมีน} &= \frac{(\text{น้ำหนักของธรรมชาติอีพอกไซด์ กรัม}) \times 10}{100} \\ &= \dots\dots\dots \text{กรัม}\end{aligned}$$

3 การหาปริมาณอีพอกซีของยางธรรมชาติที่เตรียมได้

โดยในหาปริมาณของหมู่อีพอกซีที่เกิดขึ้นทำโดยนำอัตราส่วนความสูงของพีค ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกซีของ Davey และ Loadman (1984) คำนวณหาอัตราส่วนความสูงของพีค ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนความสูงของพีค} = \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D}$$



เค้าโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับโลหะ ตะกั่ว และ เหล็กโดยใช้ยาง
ธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยไดเอทิลีนไดเอมีน
Feasibility of Lead and Iron adsorption by using epoxidized natural
rubber modified with ethylenediamine

ประเภทของงานวิจัย	วิจัยเพื่อพัฒนา
สาขาที่ทำการวิจัย	เคมี
ผู้ทำวิจัย	นางสาวชนัญญา กะการดี MISS. CHANATDA KAKANDEE
สาขาวิชา	หลักสูตรวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Project in Chemistry
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน
สถานที่ทำการทดลอง	หลักสูตรวิชาเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายเป็นกิจการอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโลหะหนัก มีจุดหลอมเหลวต่ำ อยู่ในสถานะ Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+} ตะกั่วปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ ดินและน้ำ น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีตะกั่วเจือปนอยู่ในปริมาณสูง เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะทำให้ร่างกายมีอาการผิดปกติ โดยจะมีอาการปวดศีรษะ อาเจียรเนื่องมาจากได้รับสารตะกั่วเข้าไปในปริมาณมาก (ฉัตรปกรณ์ นันทวงศ์และคณะ, 2548) ซึ่งโลหะเหล่านี้โดยส่วนใหญ่จะพบใน อุตสาหกรรมสารเคมี การผลิตท่อน้ำ การผลิตปุ๋ย และการผลิตแบตเตอรี่จากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักแหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลและแม่น้ำสายต่างๆของประเทศไทย พบว่ามีการปนเปื้อนโลหะหนัก ไคแก่ โปรท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิกเกิล เหล็ก และแมงกานีส บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกบริเวณจังหวัดตราด (แววตา ทองระอา, 2549) บริเวณทะเลสาบสงขลา มีการปนเปื้อน โลหะ ทองแดง ตะกั่ว และ โปรท เกินค่ามาตรฐาน(ประดิษฐ์ มีสุข และ เสาวณี โพชนุกูล, 2548) บริเวณแม่น้ำน่าน ในจังหวัดอุตรดิตถ์มีการปนเปื้อนของ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และ ตะกั่ว (ฐสิน ชิริสวัสดิ์, 2551) บริเวณแม่น้ำกวัง จังหวัดลำพูน มีการปนเปื้อนของ เหล็ก ตะกั่ว โครเมียม(นิริวัต จำรูญรัตน์, 2548) นอกจากทะเลและแม่น้ำ พบว่าน้ำบาดาลซึ่งถือได้ว่าเป็นน้ำที่ใช้

ในการอุปโภคบริโภคที่มักใช้กันในบ้านเรือนทั้งในตัวเมืองและชนบท พบว่าน้ำบาดาลที่อยู่ใกล้กับแหล่งปฏิภนในตัวเมืองขอนแก่นมีการปนเปื้อนโลหะหนัก แคดเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม โปรท คาร์บอนเนต ซัลเฟต และ ไนเตรท ซึ่งพบว่ามีปริมาณ โปรท เกินค่ามาตรฐาน (ฉลง บัวผัน และ มนตรี บุญเสนอ, 2542) จะเห็นได้ว่าในแหล่งน้ำหลายๆที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค มีการปนเปื้อนโลหะหนัก และโลหะหนักบางชนิดมีค่าเกินมาตรฐาน เมื่อได้รับปริมาณโลหะมากจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นการกำจัดโลหะก่อนปล่อยลงในแหล่งน้ำของโรงงานต่างๆจึงจำเป็นมากในการกำจัดโลหะหนักก่อนการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำวิธีการกำจัดโลหะมีหลายวิธี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน รีเวอร์สออสโมซิส การดูดซับ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน และการตกตะกอน ในวิธีทั้งหมดนี้การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

วิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำยางธรรมชาติเพื่อที่จะนำมาพัฒนาในการที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับโลหะหนักโดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการดัดแปลงด้วยเอทิลีนไดเอมีนแล้ว วิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ดังนี้ FT-IR spectrometry ในการหา หมู่ฟังก์ชัน Atomic adsorption spectroscopy ในการหาปริมาณโลหะ เพื่อศึกษาสัญญาณวิทยา และวิเคราะห์ทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสาเหตุที่มีแนวคิดในการนำยางธรรมชาติมาดัดแปลง เพื่อที่ใช้เป็นตัวดูดซับนั้นก็เพราะ

1. ในประเทศไทยมีการปลูกยางพารามาก จึงทำให้น้ำยางธรรมชาติหาได้ง่ายและมีราคาไม่แพงนัก
2. เพื่อเป็นการนำน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำยางธรรมชาติ
3. ไม่ทำให้เกิดสีและกลิ่น
4. ไม่จำเป็นต้องทำการรีเจนเนอเรท กำจัดง่ายโดยการนำไปฝังดินและยางยังเป็นอาหารของแบคทีเรียในดิน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดัดแปลงยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ด้วย ethylendiamine
2. ศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ที่ดัดแปลงสภาพแล้ว
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะของยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ที่ดัดแปลงด้วย ethylendiamine

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการดัดแปรสภาพยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ด้วย ethylenediamine
2. สามารถทราบถึงโครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ที่ดัดแปรสภาพแล้ว
3. สามารถทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะของยางธรรมชาติอีพอกไซด์(ENR) ที่ดัดแปรด้วย ethylenediamine

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mykola Seredych และ Teresa J. Bandoaz , Letters to the Editor / Carbon 45 (2007) 226 – 2139 ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียโดยใช้ graphite oxide(GO) ที่มีขายตามท้องตลาด การดูดซับแอมโมเนียเกิดได้ทั้งจากปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของ GO และทางกายภาพ ในการศึกษาเน้นที่ปฏิกิริยาเคมี เนื่องจาก GO มีหมู่ฟังก์ชัน OH , COOH , epoxy ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรกับและแอมโมเนีย(จากการศึกษาหลาย paper มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาการเปิดวงอีพอกไซด์ด้วยปฏิกิริยา aminolysis เช่น

1. aluminium triflate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2 mol % Toluene ที่ 100 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง ได้ % yield 80-90% ข้อดีคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. aluminium trifluoromethanesulfonate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 50 mol % ใน acetonitrile นอกจากนี้ยังเคยมีการศึกษา LiCl_4 , NaCl_4 , $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$, $\text{Zn}(\text{OTf})_2$, LiBF_4 และ CaCl_2 ในการ acetonitrile ในอุณหภูมิห้อง
3. zinc(II)chloride เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ 5 mmol amine และ 5 mmol epoxide ภายใต้ อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

Young Gun Ko และ Ung So Choi Separation and purification Technology Volume 57, Issue 2, 15 October 2007 , Pages 338-347 ศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วย polymeric chelating fiber (poly(acrylo-amidino diethylenediamine)) ซึ่งเตรียมโดยใช้ Polyacrylonitrile fiber 6 กรัม ทำปฏิกิริยากับ diethylenediamine 500 g และเติม $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เท่ากับ 11.4 mequiv/g เปรียบเทียบกับ activated carbon มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ $1560 \text{ m}^2/\text{g}$ และพบว่าทั้ง (poly(acrylo-amidino diethylenediamine)) และ activated carbon fiber มีพฤติกรรมดูดซับเหมือนกับจาก adsorption isotherm โดย pH สูง เกิดการดูดซับได้ดีกว่า pH ต่ำ เนื่องจาก H^+ ดูดซับบนวงแวนเบนซินในกรณีของ activated carbon fiber และ และ activated groups ในกรณี(poly(acrylo-amidino diethylenediamine)) ซึ่งทำให้ไปขัดขวางการเกิด

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะระหว่างวัสดุดังกล่าว การดูดซับโลหะหนักบน activated carbon fiber ต่ำกว่า(poly(acrylo-amidino diethylendiamine))เนื่องจาก

(poly(acrylo-amidino diethylendiamine)) เกิดการแตกตัวของผลึกทำให้หมู่ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ดูดซับโลหะหนักมีมากขึ้น ทำให้การดูดซับดีกว่าแม้ว่า activated carbon fiber จะมีจำเพาะในการดูดซับสูงกว่าก็ตาม ส่วนในกรณี anions จะการดูดซับในระดับที่สูงที่สุด pHs ต่ำ^[2]

Mourad Amara และ Hac ene Kerdioudj , Analytica Chimica Acta 547 (2005) 50- 52 ได้ศึกษาการดูดซับ ในเรทไทอออนโดยใช้ polydiethylendiamine เป็นหลักการ electro-adsorption (anion exchange) membrane^[3]

เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ(2549) ศึกษาโครงการเทอร์โมพลาสติกวัลคาร์ในซ์จากการเบลนด์ไวนิลอะซิเตดกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวฟอสเฟต ศึกษาโดยการเตรียมอีพอกไซด์ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิก ทำปฏิกิริยาที่ 1.10 ชั่วโมง ที่ 50 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติมี หมู่อีพอกไซด์ประมาณ 20 เปอร์เซ็น โมลอีพอกไซด์ดัดแปรโมเลกุลด้วยไดบิวฟอสเฟต(DSNR)ในความเข้มข้น (ENR-20)/ ไดบิวฟอสเฟต = 1 ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เตรียมเบลนด์เอทิลไว-นิตอะซิเตดกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยพอลิเมอร์เบลนด์แบบธรรมดาของ ENR-20 กับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตด(ENR)[ENR-20/ENR] และ DSNR/EA ที่ 160 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาทีนำทั้งสองเตรียมเทอร์โมพลาสติกของ (ENR)[ENR-20/ENR]และDSNR/EA ผสมในลูกกลิ้งที่ 50องศาเซลเซียส พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองเข้ากันบางส่วน มีสมบัติการไหลสูงกว่าการเบลนด์แบบธรรมดามีสมบัติต้านต่อตัวทำลายที่เป็นน้ำมันและด้านการติดไฟ

ประวีณา ติระ (2540) ศึกษาการยางธรรมชาติให้เป็นยางเรซิน เตรียมโดยผ่านปฏิกิริยา อีพอกซิเดชัน เป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ซึ่งอุณหภูมิ ชนิดของกรด และค่าความเป็นกรดมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ชนิดของน้ำยางและสารเคมีทำให้เสถียรไม่มีผลต่อปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน triton X-100 เหมาะในการทำปฏิกิริยาทนความได้ดี เวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น แล้วนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรโครงสร้างให้มีหมู่แปลเปลี่ยนไอออน เพื่อใช้ในการกำจัดโลหะ สามารถกำจัดโลหะอยู่ในช่วง 0.00 - 0.03 meq/g

เอกสารอ้างอิง

Young Gun Ko and Ung So Choi. Observation of metal ions adsorption on novel polymeric chelating fiber and activated carbon fiber. Separation and Purification Technology., Voiume 57, Issue 2, 15 October 2007 , Pages 338-347

Mourad Amara and Hac ene Kerdioudj , Analytica Chimica Acta 547 (2005) 50- 52

Mykola Seredych and Teresa J. Bandoaz , Letters to the Editor / Carbon 45 (2007) 226 – 2139

B.L.Rivas,M.Carmen Aguirre . Nitrite removal from water using water-soluble polymers in
Conjunction with liquid-phase polymer-based retention technique Reactive & Functional
Polymers 67 (2007) 1487-1494

ฉัตรปกรณั นันทวงศ์และคณะ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ม
หาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.ครั้งที่4 . , 2548

แววตา ทองระอา.การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาค
ตะวันออก.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา ;2549

วิธีการดำเนินวิจัย

ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอ็อกไซด์ (ENR)

การเตรียมยางธรรมชาติอ็อกไซด์ ได้ประยุกต์ตามวิธีการของเจริญ นาคะสรรค์คณะ
(2544) โดยเตรียมยางธรรมชาติอ็อกไซด์ในอัตราส่วนน้ำยาง 1.7 โมล ทำปฏิกิริยาที่
ความเข้มข้น 20 %DRC กับ กรดเปอร์ฟอร์มิกที่ได้จากการเตรียมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.6
โมล กรดฟอร์มิก 0.9 โมล ใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก
เนื้อยาง เตรียมในขวดสามคอที่ต่อกับเครื่องกวนภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน มีขั้นตอนและ
อัตราส่วนดังนี้ น้ำยางความเข้มข้น 60 %DRC 192.6 กรัม ใส่ลงในขวดสามคอที่ต่อกับเครื่อง
กวน เติมน้ำยาง 60 %DRC ด้วยน้ำกลั่น 385.2 มิลลิลิตร ให้ความเข้มข้นของน้ำยาง
เท่ากับ 20 %DRC กวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 20 เดิม 10 เปอร์เซ็นต์ Triton X-100 จำนวน
167.34 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นค่อยๆ เติมกรดเปอร์ฟอร์มิกที่
ได้จากการเตรียมระหว่างกรดฟอร์มิก 95 เปอร์เซ็นต์ 39.9 มิลลิลิตร กับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
35 เปอร์เซ็นต์ 230.91 มิลลิลิตร กวนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง
นำน้ำยาง 10 กรัม ทำให้แข็งตัวโดยการเติมเมทานอลปริมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร แล้วรีดให้เป็น
แผ่นบางๆ นำไปอบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วย
เทคนิค FT-IR

การศึกษาคัดแปรยางธรรมชาติอ็อกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (ENR-ED)

การศึกษาคัดแปรยางธรรมชาติอ็อกไซด์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน เป็นกราฟต์พอลิเมอร์
ระหว่างยางธรรมชาติอ็อกไซด์ (ENR) กับเอทิลีนไดเอมีน (ED) เตรียมพอลิเมอร์ด้วยปฏิกิริยา

พอลิเมอร์เซชันแบบแขวนลอย โดยใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในสภาวะลาเท็กซ์ (ที่เตรียมเป็นเวลา 10 ชั่วโมง) ทำการทดลองต่อการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยเติมเอทิลีนไดเอมีน ในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อยาง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกวนตลอดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากการพอลิเมอร์เซชันนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดัดแปรด้วยเอทิลีนไดเอมีน มาทำให้แข็งตัวโดยการเติมเมทานอลแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ นำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก

ศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED โลหะที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของยาง ENR-ED มีโลหะหลายชนิดที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ถูกปล่อยออกจากอุตสาหกรรม และสิ่งปฏิกูล ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่ว (Pb^{2+}) และเหล็ก (Fe^{3+})

1. ศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED ด้วยวิธีแบบการแช่ (Batch method)

การศึกษาการดูดซับของยาง ENR-ED โดยแช่ ENR-ED 1 กรัม ในสารละลายโลหะ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ของโลหะ Pb^{2+} และ Fe^{3+} แต่ละชนิดโดยเตรียมจาก Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร 10 มิลลิลิตร ปรับด้วย 1000 มิลลิลิตร

1.1 ศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ

การศึกษาเวลาสมดุลของการดูดซับ โดยใช้ยาง 1 กรัม แช่ใน สารละลายโลหะ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ศึกษาการดูดซับที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 ชั่วโมง

1.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายโลหะในการดูดซับของยาง ENR-ED

การศึกษา pH ของสารละลายที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยยาง ENR-ED ครั้งนี้ศึกษาโดยใช้ยาง ENR-ED 1 กรัม แช่ในสารละลายโลหะ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร โดยทำการศึกษาการดูดซับโดยใช้สารละลายโลหะที่มีค่า pH เท่ากับ 1, 2, 3, 4, และ 5 ใช้ HNO_3 และ $NaOH$ ในการปรับค่า pH ใช้เวลาในการดูดซับ จากเวลาที่เหมาะสมจากข้อที่

1.3 ศึกษาความจุของการดูดซับแบบถ้งแซ่

การศึกษาความจุของการดูดซับแบบถ้งแซ่ ทำโดยนำยาง ENR-ED 1 กรัม แซ่ในสารละลายโลหะความเข้มข้นต่างกันแต่ละชนิด ดังนี้ 20 , 40 , 60 , 80 , 100 , 120 และ 140 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมจาก Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ศึกษาที่ pH และเวลาที่เหมาะสมจากการทดลอง

2 วิเคราะห์โลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS)

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS) จะต้องเตรียมสารละลายมาตรฐาน ในการทำกราฟมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิดจะมีการเตรียมดังนี้

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Pb^{2+}

ใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก

2.1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน Pb^{2+} สร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1 , 2 , 3 , 4 , และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย นำ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก ตามลำดับ

2.1.2 วิเคราะห์ Pb^{2+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี(AAS)

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Fe^{3+}

ใช้ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก

2.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน Fe^{3+} สร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1 , 2 , 3 , 4 , และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย นำ Stock Solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วย 1 เปอร์เซ็นต์กรดไนตริก ตามลำดับ

2.2.2 วิเคราะห์ Fe^{3+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี (AAS)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เป็นการทดสอบความเที่ยงในการวิเคราะห์ สามารถคำนวณหาโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ \%RSD} = \frac{\text{SD} \times 100}{\bar{X}}$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

X = ค่าที่วัดได้ของตัวอย่าง

n = จำนวนตัวอย่าง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) หมายถึง รากที่สองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลแต่ละตัว จากค่าเฉลี่ยกำลังสองเป็นการวัดการกระจายที่บอกว่าข้อมูลกระจายไปจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลในกลุ่มแตกต่างกันมาก ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลในกลุ่มนั้นใกล้เคียงกัน สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ SD การหาค่าเฉลี่ยมีวิธีการดังนี้

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

เมื่อ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X_i = ค่าของตัวอย่างที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

3. มัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic mean)

มัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic mean) หรือ ค่าเฉลี่ย หมายถึง ค่าที่ได้จากการนำคะแนนทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยคะแนนทั้งหมด สัญลักษณ์ที่ใช้คือ $\bar{X}$ การหาค่าเฉลี่ยมีวิธีการดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
 $\sum X$ = ผลรวมของคะแนน
 n = จำนวนตัวอย่าง

4. ค่าความจุของการดูดซับ (adsorption capacity)

ค่าความจุของการดูดซับเป็นค่าของปริมาณตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น โมล/กิโลกรัม, โมล/กรัม, มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีสมการในการหาดังนี้

เมื่อ q = (ความจุของการดูดซับ) ปริมาณตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
 C_0 = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือนอยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น โมล/ลิตร
 C = ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือนอยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น โมล/ลิตร
 V = ปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วย ซม.³ หรือ ลิตร
 M = มวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น กิโลกรัม

5. หาความจุของการดูดซับโดยสมการของ Freundlich

เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$\text{Log} (q) = \log (K_F) + 1/n \log (C)$$

เขียนกราฟระหว่าง $\text{Log} (q)$ กับ $\log (C)$ จะได้ ความชัน = $1/n$ และ จุดตัด = $\log (K_F)$

หาความจุของการดูดซับจาก

$$q = 10^{\log k} \text{ มิลลิกรัม/กรัม}$$

ระยะเวลาในการทำวิจัย

แผนการดำเนินงาน	2552									2553		
	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1.ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง												
2.เขียนเค้าโครงวิจัย												
3.ทำการทดลอง												
4.รวบรวมผลการทดลอง												
5.วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล และสรุปผลการทดลอง												
6.จัดทำเอกสารรายงานผล												

สถานที่ทำวิจัย

หลักสูตรวิชาเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อ.....ผู้ทำวิจัย

(นางสาวชนัญญา กะการดี)

ความเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

.....

.....

.....

.....

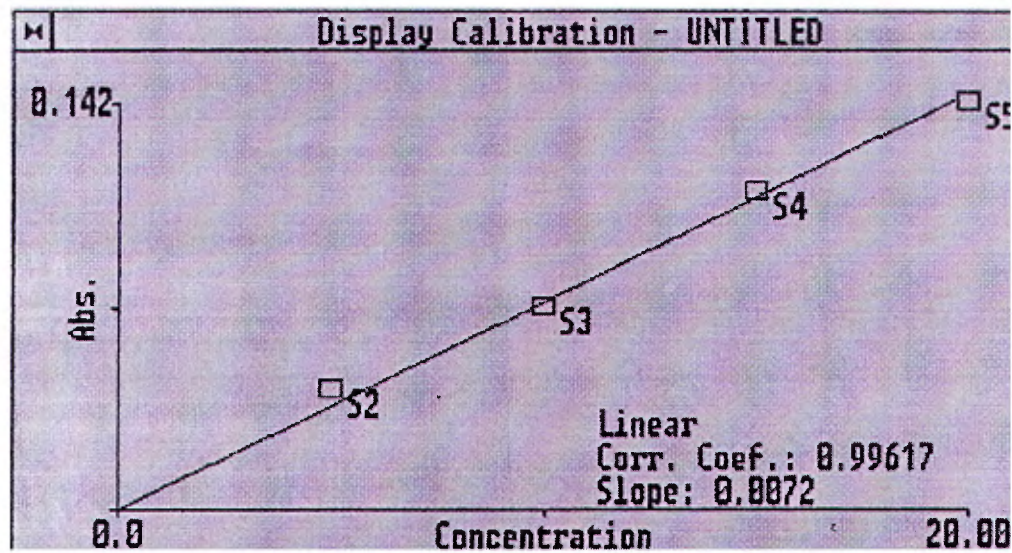
ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์รุ่งนภา พิมเสน)

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวชนัญญา กะการดี
เกิด	วันที่ 9 มกราคม 2529
อายุ	24 ปี
ภูมิลำเนา	7/3 หมู่ 1 ตำบลโคกม่วง อำเภอลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา 90230
ประวัติการศึกษา	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดโคกเหรียญ ตำบล โคกม่วง อำเภอลองหอยโข่ง จังหวัด สงขลา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนส่องแสงวิทยา ตำบลพะตง อำเภอลาดใหญ่ จังหวัด สงขลา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนส่องแสงพัฒนิกการ ตำบลพะตง อำเภอลาดใหญ่ จังหวัด สงขลา ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ภาพที่ (1) แสดงกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ Pb^{2+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี (AAS)



ภาพที่ (2) แสดงกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ Fe^{3+} ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโกปี (AAS)

