

บริจาค

รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

การแข่งขันกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยวิธีการดูดซับด้วยเซรามิกส์
(Competitive Removal of Heavy Metal Ions from Solution
by Adsorption using Ceramics)

โดย

รศ. ดร. ศิริวรรณ ศรีสรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ นครนายก

งบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2548

1 ๕ ก.ค. 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดไอออนโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียมออกจากสารละลาย โดยใช้เศษเซรามิกส์เป็นตัวดูดซับทั้งแบบชนิดเดี่ยวและแบบแข่งขันระหว่างไอออนต่างชนิด ทำการทดลองแบบกะโดยเศษเซรามิกส์ที่มีขนาด mesh no.4 – 8 และ mesh no.8-16 หนัก 5 กรัม สารละลายไอออนเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร จากการทดลองพบว่า การดูดซับของไอออนตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ด้วยตัวดูดซับทั้ง 2 ขนาด จะเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 300, 300 และ 300 นาทีตามลำดับและมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน โดยเศษเซรามิกส์ที่มีขนาด mesh no.4 - 8 สามารถดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ได้ 0.49, 0.38 และ 0.34 มิลลิกรัมโลหะหนักต่อกรัมเศษเซรามิกส์ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 97.51%, 77.86% และ 68.68% ตามลำดับ จากการศึกษาผลของความเป็นกรดด่าง(pH) ของสารละลายในช่วง pH 2 - 6 พบว่า เศษเซรามิกส์สามารถดูดซับไอออนโลหะตะกั่วได้ดีและเหมาะสมที่ pH = 3-5 โดยมีค่าเป็น 96- 98 % และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.461 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเศษเซรามิกส์ ที่ pH 5 (97.54 %) สำหรับแคดเมียมมีค่าการดูดซับมากที่สุดเท่ากับ 0.369 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมเศษเซรามิกส์ (77.51%) ที่ pH 7 สำหรับไอออนโลหะสังกะสี พบว่าที่ค่า pH 7 เศษเซรามิกส์ สามารถดูดซับไอออนโลหะสังกะสีได้มากที่สุดเท่ากับ 0.322 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัมเศษเซรามิกส์ (69.46 %) และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลาย(30-60 เซลเซียส) โดยพบว่าเซรามิกส์จะสามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการแข่งขันการดูดซับระหว่างไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ที่ 30 และ 60 เซลเซียส พบว่าเซรามิกส์สามารถดูดซับไอออนโลหะหนักได้เรียงตามลำดับดังนี้คือ $Pb > Cd > Zn$ ที่ 30 เซลเซียส ไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้สูงสุดประมาณ 98.32% แคดเมียมถูกดูดซับได้ 84.60% และสังกะสีถูกดูดซับได้ 79.16% และที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส ไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้ 99.16% แคดเมียมถูกดูดซับได้ 89.04% และสังกะสีถูกดูดซับได้ 83.15 การดูดซับสามารถอธิบายได้ดีตามทฤษฎีของ Langmuir และ Freundlich

คำสำคัญ : น้ำเสียสังเคราะห์; ไอออนโลหะหนัก ; เศษเซรามิกส์เซรามิกส์ ; แบบจำลองการดูดซับ

Abstract

Adsorption of heavy metal ions by ceramic chip was investigated in this work. The aim of this work was to remove the heavy metal ion from synthetic wastewater by ceramics via adsorption both single ion and competitive adsorption. The experiments were conducted in batch mode and heavy metal ions used in this study were lead (Pb(II)), cadmium(Cd(II)) and zinc(Zn(II)) and the solution was kept at 50 mg/l initial concentration. Sizes of ceramic chip samples used in this study were in the ranges between mesh no.4 - 8 and mesh no.8 -16. The experimental results indicated the adsorption equilibrium of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) were obtained within 300, 300, and 300 minutes respectively regardless of the ceramic chip size. The values of adsorption capacity were 0.4938, 0.3818 and 0.3364 mg of heavy metal ions /g ceramic chip respectively. Effects of pH(2-6), temperature (30⁰C - 60⁰C) have also been investigated. The adsorption capacity was increased as the temperature increase and has the appropriate value at slightly acid to neutral pH. Percent maximum adsorption values of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) were 97.54% , 77.51% and 69.46% at pH = 5, 7 and 7 respectively. Langmuir and Freundlich adsorption models were employed to describe the single-solute sorption isotherm. The result showed that both Langmuir and Freundlich adsorption model were appropriated for describing the isotherm.

Key words: Synthetic wastewater, Metal ions, Ceramic chips, Adsorption model

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีพ.ศ.2548ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่มีน้ำใจช่วยเหลือให้งานวิจัยดำเนินไปด้วยดี

ศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์

สารบัญ (Table of Contents)

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
ประกาศคุณูปการ	ค
สารบัญ	ง
บัญชีตาราง	ช
บัญชีรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำเสีย	4
2.2 คุณลักษณะของน้ำเสีย	7
2.3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย	9
2.4 การดูดซับ (Adsorption)	10
2.5 เซรามิกส์	15
2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
3.1 วัสดุและสารเคมี	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
3.3 วิธีการทดลอง	20

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	23
4.1 ศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักของเศษเซรามิกส์ที่อุณหภูมิห้อง	23
4.2 ศึกษาผลของ pH ต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี โดยใช้เซรามิกส์เซรามิกส์	25
4.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะโดยใช้เซรามิกส์	26
4.4 ศึกษาการดูดซับของสารละลายโลหะหนักผสม	29
4.5 การศึกษาแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich	31
บทที่ 5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผล	35
5.2 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก. เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย	39
ภาคผนวก ข. ประวัติผู้วิจัย	43

บัญชีตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารเคมีที่สำคัญในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	5
2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฯ	8
2.3 หน้าที่หลักของวิธีบำบัดน้ำเสียทางกายภาพต่างๆ	10
2.4 การเปรียบเทียบเครื่องปั้นดินเผาชนิดต่างๆ	16
2.5 แสดงการดูดซับไอออน โลหะCd และ Zn บนแร่ Kaolinite	18
4.1 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่ค่า pH ต่างๆ	26
4.2 ค่า v_m ค่า n ค่า K และค่า R^2 ของการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยใช้เศษเซรามิกส์	33

บัญชีรูปภาพ

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH = 5	23
4.2 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับโลหะแคดเมียมโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ความเข้มข้นของโลหะแคดเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH = 5	24
4.3 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับโลหะสังกะสีโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ความเข้มข้นของโลหะสังกะสี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH = 5	25
4.4 กราฟแสดงผลของ pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีความเข้มข้นสารละลายไอออนโลหะ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม	27
4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะตะกั่ว ที่มีอยู่ในสารละลาย ที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5	28
4.6 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะแคดเมียมที่มีอยู่ในสารละลาย ที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5	28
4.7 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะสังกะสีที่มีอยู่ในสารละลายที่ เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5	29

บัญชีรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่มีอยู่ในสารละลายที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5	30
4.9 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะผสมของโลหะตะกั่ว แคดเมียม และ สังกะสี ที่เวลาต่าง ๆ ในอัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50:50:50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์ 5.00 กรัม pH 5 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30เซลเซียส	30
4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะผสมของโลหะตะกั่วแคดเมียม และ สังกะสี ที่เวลาต่าง ๆ ในอัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50:50:50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์ 5.00 กรัม pH 5 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 60เซลเซียส	31
4.11 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะตะกั่วตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5	32
4.12 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะแคดเมียมตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5	32
4.13 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะสังกะสีตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5	32

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆมากมาย เช่น ด้านการคมนาคม การติดต่อสื่อสาร อุตสาหกรรม และเทคโนโลยี เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับประเทศอื่นๆได้รวมทั้งเป็นการยกระดับความเป็นอยู่ของประชาชนให้ดีขึ้น และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นได้อย่างพอเพียง แต่การพัฒนาในด้านต่างๆเหล่านี้ หากขาดการวางแผนการจัดการและป้องกันปัญหาที่จะเกิดตามมาอย่างรอบคอบแล้วอาจก่อให้เกิดผลกระทบใน ทางลบกับประเทศ ไม่ว่าจะเป็นทางเศรษฐกิจ ความมั่นคงของประเทศ ความเป็นอยู่ของ ประชาชน และที่สำคัญคือปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันทั้งภาครัฐและเอกชนต่างตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นที่นับวันก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน และปัญหาที่เกิดจากกากของเสียต่างๆ ที่ต้องเร่งหาทางจัดการแก้ไข ลด และป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต

ในปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปัญหาที่สำคัญมาก สารที่เป็นอันตรายจากโรงงานต่างๆได้ถูกปล่อยทิ้งออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ได้มีการนำสารประกอบของโลหะหนักต่างๆเช่น Cd^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} และ Pb^{2+} มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตโซดาไฟ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานฟอกหนัง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานเหล่านี้ บางส่วนได้ถูกชะลงสู่แม่น้ำ หรือ แหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้เกิดการเน่าเสีย หรือ เกิดความเป็นพิษจากโลหะหนักที่อยู่ในน้ำ ทำให้ไม่สามารถนำน้ำเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ได้ ปัญหาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหนึ่งที่ควรให้ความสนใจ เพราะโลหะหนักเป็นสารที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้น้อยมาก เมื่อเกิดการปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมจะเกิดการสะสม ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณโลหะหนักที่ถูกสะสมจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นและมีความเป็นพิษมากขึ้นตามลำดับ สาเหตุหนึ่งของการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเกิดเนื่องจากการฝังกลบกากของเสียอย่างไม่ถูกหลักสุขาภิบาล ทั้งที่เป็นกากของเสียอันตรายและไม่อันตรายแต่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ โดยจะเกิดน้ำชะขยะซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามกากของเสียที่นำมาฝังกลบแม้แต่ในสถานที่ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยกลับคืนสู่ธรรมชาติจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง

เทคนิคโดยทั่วไปในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำมีหลายวิธี เช่น เทคนิคการตกตะกอน เทคนิคการกรองผ่านเยื่อแผ่นและเทคนิคการดูดซับ การที่จะเลือกใช้เทคนิคประเภทใดหรือใช้วัตถุดิบ

ชนิดใดมาผลิตเป็นตัวดูดซับนั้น ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปฏิบัติงานเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ต้องพิจารณาโดยต้องสอดคล้องกับประสิทธิภาพของการใช้งานด้วย วิธีที่นิยมใช้กันมากและมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงนั้นก็คือเทคนิคการดูดซับ และถ้ามีการใช้สิ่งของเหลือทิ้งและมีราคาถูกมาใช้เป็นตัวดูดซับแทนการสังเคราะห์ตัวดูดซับขึ้นมาใหม่ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้มากและอาจจะใช้ตัวดูดซับบำบัดโลหะหนักได้โดยมีต้องนำกลับมาใช้ใหม่

เนื่องจากพบว่าเศษดินเผาที่ผลิตมาจากดินเหนียว มีโอกาสที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับเพราะในดินเหนียวจะประกอบไปด้วยแร่ดินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ มีประจุในตัวเอง มีรูพรุน รวมทั้งมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก เพราะมีทั้งพื้นผิวชั้นนอก(external surface)และผิวชั้นใน (internal surface) รวมทั้งยังมีราคาถูกกว่าวัสดุอื่น ๆ เช่น ถ่านกัมมันต์ และ ซีโอไลต์ (Su-Hsia lin ,2001) ทำให้คาดว่าเศษเซรามิกส์จากดินเผาน่าจะเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการเป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะหนักได้ นอกจากนั้นยังเป็นการนำสิ่งของที่เหลือใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีก

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการกำจัดไอออนโลหะหนัก Zn^{2+} , Pb^{2+} และ Cd^{2+} ในสารละลายโดยใช้เซรามิกส์ที่เหลือทิ้ง
2. เพื่อศึกษาหาความสามารถในการแข่งขันกำจัด Zn^{2+} , Pb^{2+} และ Cd^{2+} ของเซรามิกส์
3. เพื่อศึกษาแบบจำลองการดูดซับ
4. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดไอออนโลหะหนัก

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาใช้เซรามิกส์ดูดซับไอออนโลหะหนัก Zn^{2+} , Pb^{2+} และ Cd^{2+} แบบเดี่ยวในสารละลาย
2. ศึกษาใช้เซรามิกส์ดูดซับไอออนโลหะหนัก Zn^{2+} , Pb^{2+} และ Cd^{2+} ผสมในสารละลาย
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ pH และอุณหภูมิของสารละลาย
4. ศึกษาแบบจำลองการดูดซับไอออนโลหะหนักในสารละลาย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่น่าผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้จะเป็นกระบวนการศึกษาค้นคว้าการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เศษเซรามิกส์ที่เหลือทิ้งมาทำการดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งจากแหล่งอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้เป็นแหล่งทดแทนสารดูดซับที่จะต้องสั่งซื้อและเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ถึงแม้ว่าความสามารถในการกำจัดอาจจะไม่มากเท่ากับวัสดุที่มีการซื้อขาย แต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกในการใช้วัสดุตัวดูดซับที่เหลือทิ้ง หรือมีราคา

ทำได้ สำหรับโรงงานที่มีน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักที่ความเข้มข้นไม่มาก หรือการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ

1.4 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. เตรียมดินทำเซรามิกส์												
2. ศึกษาการดูดซับไอออนเดี่ยว												
3. ศึกษาการดูดซับไอออนผสม												
4. ศึกษาผลของปัจจัย เช่น pH อุณหภูมิสารละลาย												
5. ศึกษาแบบจำลองการดูดซับ												
6. สรุปและรายงาน												

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมาก เนื่องจากมีสารที่เป็นพิษปะปนอยู่ โดยสารที่เป็นพิษ เช่น phenol จากโรงงานผลิตสารเคมี arsenic จากเหมืองแร่และโรงกลั่นน้ำมัน และในปัจจุบันได้มีการนำโลหะหนักต่างๆ เช่น Cd, Hg, Pb, Zn, Ni และ Cu มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตโซดาไฟ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ เป็นต้น น้ำเสียจากสิ่งเหล่านี้ ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการบำบัดและกำจัดทิ้ง จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม กำหนดว่าปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและ สังกะสี จะต้องไม่เกิน 0.2 0.03 และ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

โดยทั่วไปในการกำจัดโลหะหนักจะมีหลายวิธี เช่น reduction and precipitation การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) หรือ coagulation ถึงแม้ว่าวิธีเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากแต่มีค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคการดูดซับ (adsorption) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูง จากการศึกษาพบว่าสารที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับส่วนใหญ่จะมีรูพรุน รวมทั้งมีส่วนประกอบเป็นซิลิกอน ออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ เป็นส่วนมาก และจากการศึกษาพบว่าเศษเซรามิกส์ที่ได้จากงานเครื่องปั้นดินเผาสามารถดูดซับและกำจัดโลหะหนักได้ดี (2, 3) และจากการ ศึกษาพบว่าส่วนประกอบของเศษเซรามิกส์มีอะลูมินาประมาณ 60% และมีรูพรุนในอนุภาคด้วย และในน้ำทิ้งจากโรงงานมักจะมีไอออนโลหะหนักเหล่านี้ผสมกันออกมาด้วยกัน ในการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการกำจัดไอออนโลหะหนักแต่ละชนิด และความสามารถในการแข่งขันกำจัดไอออนเหล่านี้ ตลอดจนการเลือกปัจจัยที่เหมาะสมในการเลือก (selectivity) การกำจัดไอออนที่ต้องการ

2.1 น้ำเสีย

น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีมลสาร (Pollutants) ต่างๆเจือปนในปริมาณที่สูงมากจนกระทั่งกลายเป็นน้ำซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป น้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่แหล่งน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้น้ำเน่าเหม็นเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ

2.1.1 ประเภทของน้ำเสีย

เราสามารถแบ่งประเภทของน้ำเสียได้ 3 ประเภท ใหญ่ๆ ดังนี้

1. น้ำเสียชุมชน (Municipal Wastewater)

หมายถึง น้ำเสียต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน เช่น การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่าย สิ่งสกปรกต่างๆ ในน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ ฯลฯ

2. น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการผลิตอุตสาหกรรมทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมจำพวกอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมโลหะ ฟอกหนัง อุตสาหกรรมเคมี จำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อล้างทำความสะอาดวัตถุดิบหรือใช้น้ำเพื่อหล่อเย็น ดังนั้น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จึงมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปะปนกันอยู่ เนื่องจากลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชนิดต่างๆมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นสารเคมีที่ได้จากน้ำทิ้งของโรงงานจึงแตกต่างกันด้วยดังตาราง2.1 ความเข้มข้นของสาร อินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่าสูงกว่าน้ำเสียจากชุมชน

ตาราง 2.1 สารเคมีที่สำคัญในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

สารเคมี	ชนิดของอุตสาหกรรม
อัลคาไลน์	อุตสาหกรรมฟ้าย, ฟอกขนแกะ , และซักรีด
อะเซนิค	อุตสาหกรรมฟ้าย และเหมืองแร่
คลอรีน	อุตสาหกรรมซักรีด, ย่อยกระดาษ และฟอกผ้า
โครเมียม	อุตสาหกรรมหล่อโลหะ, ชุบโครเมียม และอลูมิเนียม
แคดเมียม	อุตสาหกรรมหล่อโลหะ
ทองแดง	อุตสาหกรรมหล่อโลหะ
ไซยาไนด์	อุตสาหกรรมหล่อโลหะ, ทำความสะอาดโลหะ และก๊าซ
ไขมันและน้ำมัน	อุตสาหกรรมฟอกขนแกะ, ซักรีด, ทอผ้า และน้ำมัน
ตะกั่ว	อุตสาหกรรมแบตเตอรี่, เหมืองตะกั่ว, สี และน้ำมัน
เมอร์แคปแทน	อุตสาหกรรมน้ำมัน และย่อยกระดาษ
นิเกิล	อุตสาหกรรมหล่อโลหะ และชุบโลหะ
ฟีนอล	อุตสาหกรรมก๊าซ และถ่านโค้ก, สังกะสีเรซิน, ทอผ้า และน้ำมัน
สังกะสี	อุตสาหกรรมแบตเตอรี่, หล่อโลหะ และยาง

2.1.2. โลหะหนัก

หมายถึง โลหะที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ ในจำนวนนี้มี ส่วนที่เป็นโลหะหนัก (Heavy Metal) อยู่ 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็น ของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) โลหะหนักสามารถปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำได้เนื่องจากมีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า จึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรมากกว่า โลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อน ใน ดิน น้ำ อากาศ พืชและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตราย ร้ายแรง เมื่อเข้าสู่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

2.1.2.1 ตะกั่ว (Lead) เป็นโลหะที่มีพิษมาก รูปแบบที่เป็นพิษคือ Lead, Lead acetate, and Lead sulphate อาการเป็นพิษแบบเฉียบพลันได้แก่ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของ กล้ามเนื้อ โรคโลหิตจาง ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากตะกั่วกีดขวางการสร้างและการทำงานของ hemoglobin ในเม็ดเลือดแดงโดยปกติแล้ว hemoglobin เมื่อมีอายุมากขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็น methemoglobin ซึ่งมีความ สามารถนำพาออกซิเจนได้น้อยลง เม็ดเลือดแดงโดยทั่วไปมีอายุประมาณ 4 เดือน hemoglobin จะถูก เปลี่ยนเป็น methemoglobin ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเร่งการทำงานของม้ามและตับในการกำจัดเม็ดเลือด แดง

2.1.2.2 แคดเมียม (Cadmium) เป็นโลหะที่มีพิษมาก รูปแบบที่เป็นพิษคือ สารประกอบอินทรีย์ แคดเมียม เมื่อสูดดมเข้าไปจะมีผลต่อเมตาโบลิซึมของร่างกาย ถ้าได้รับเกิน 15 มิลลิกรัมจะอาเจียน อาการ เป็นพิษเรื้อรังที่พบในประเทศญี่ปุ่นกับคนงานเหมืองแร่ เรียกว่าโรค itai-itai (ouch-ouch) เกิดกับผู้หญิง อายุระหว่าง 50-60 ปี จะปวดตามข้อและกระดูก แต่บางครั้งอาการนี้มีสาเหตุมาจากการขาดวิตามินดี และแคลเซียมในสารอาหารก็ได้

2.1.2.3 แมงกานีส (Manganese) เป็นโลหะที่มีพิษปานกลาง รูปแบบที่พบมากที่สุดคือ Mn^{2+} และที่เป็น พิษมากที่สุดคือ Mn^{3+} อาการเฉียบพลันแต่ไม่เด่นชัด แต่พิษเรื้อรังจะมีอันตรายร้ายแรงมากทำให้ร่างกายและ จิตใจพิการได้ แต่ไม่ถึงตาย แมงกานีส Mn^{2+} จะเข้าไปจับกับ -SH ของโปรตีนในเนื้อเยื่อของระบบ ประสาทและสมองทำให้สมองฝ่อ มีอาการปวดหัว มีอารมณ์แปรปรวน จะพบว่าเม็ดเลือดแดงมากกว่า ปกติ แต่มีเม็ดเลือดขาว ลดลง ภูมิคุ้มกันลดลง แมงกานีสจะรบกวนการสร้าง DNA ในเซลล์ ซึ่งเป็น ทั้ง mutagen และ carcinogen

2.1.2.4 สังกะสี (Zinc) เป็นโลหะที่มีพิษน้อย รูปแบบที่เป็นพิษคือสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ปกติ สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อเมตาโบลิซึมของร่างกาย และเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์หลายตัว ในสิ่งมีชีวิต สังกะสีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์ การคงสภาพของผนังเซลล์ การ มองเห็นในที่มืด การรับรส และระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งคนเราต้องการ 6-15 มก. ต่อวัน ถ้าขาดจะทำให้

เป็นโรคเตี้ย แคระ (dwarfism) ผอมร่าง ผิวหนังอักเสบ ท้องร่วง ขาดภูมิคุ้มกัน แต่ถ้าได้รับมากเกินไป จะมีอาการกระหายน้ำ ปวดศีรษะ มึนชา หูอื้อ และท้องเสีย ถ้าได้รับ 12 กรัม เป็นเวลา 2 วัน จะมีพิษต่อระบบหมุนเวียนโลหิต ตับ และไต

2.1.2.5 ทองแดง (Copper) เป็นโลหะที่มีพิษน้อย รูปแบบที่เป็นพิษคือ cuprous oxide (Cu^+), cupric oxide (Cu^{2+}), copper hydroxide อาการที่แสดงคือ โรคแข็งตัวของหลอดเลือด ความดันโลหิตต่ำ คีซ่าน ตับแข็ง และกรดอะมิโนถูกขับออกมามากขึ้น

2.1.3. มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

จากการนำและการแสวงหาโลหะหนักมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นใน จึงทำให้ธรรมชาติก่อให้เกิดการเสียสมดุล และหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมจะนำมาสู่ปัญหามลพิษของน้ำที่รุนแรง จึงได้มีมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 (2525) ให้ผู้รับใบประกอบกิจการอุตสาหกรรมจะต้องดูแลรักษาระบบและระบายน้ำทิ้งให้อยู่ในสภาพเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ โดยมีให้ระบายน้ำทิ้ง เว้นแต่ได้กระทำอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างแต่ต้องไม่ใช่วิธีทำให้เจือจาง ซึ่งน้ำทิ้งต้องมีลักษณะดังตาราง 2.2

2.1.4 น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater)

หมายถึง น้ำทิ้งที่เป็นผลมาจากการวางแผนทางด้านการเกษตรที่ไม่ดีพอ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นการใช้ปุ๋ย, การใช้ยาปราบศัตรูพืช

2.2 คุณลักษณะของน้ำเสีย (Characteristics)

น้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและชีวภาพ

2.2.1 คุณลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Characteristics of Wastewater)

คุณลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ หรือทางฟิสิกส์ของน้ำ หมายถึง ลักษณะความสกปรกของน้ำที่ปรากฏให้เห็น จะสังเกตได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 โดยจะประกอบไปด้วย ปริมาณของแข็ง กลิ่น อุณหภูมิ สี ความขุ่น

2.2.2 คุณลักษณะน้ำเสียทางเคมี (Chemical Characteristics of Wastewater)

คุณลักษณะของน้ำเสียทางเคมีจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากชุมชน คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน ซึ่งสามารถแสดงค่าความสกปรกหรือเสียด้วยค่า BOD DO และ ค่า COD ซึ่งค่า BOD₅ คือค่าปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic) โดยจุลินทรีย์ในช่วงเวลา 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 °C ส่วนค่า COD ใช้สำหรับประมาณปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ทั่วๆ ไป โดยที่สารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์ โดยปริมาณมากเกินพอของ $K_2Cr_2O_7$ ในสภาพความเป็นกรด โดยทั่วไปแล้วค่าของ COD จะมากกว่าค่าของ BOD_5 เพราะว่าปริมาณของสารที่ถูกออกซิไดซ์โดยวิธีทางเคมีจะมีปริมาณมากกว่าสารที่ถูกออกซิไดซ์โดยทาง ส่วนค่า DO คือปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ออกซิเจนเป็นธาตุที่สำคัญที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำและยังมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

ตาราง 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่ง แวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539): (นำมาบางส่วน)

ลักษณะน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐาน (mg/l)	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง	5.5-9.0	-pH Meter-
ไซยาไนด์ (HCN)	ไม่มากกว่า 0.2	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
สังกะสี	ไม่มากกว่า 0.5	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma
โครเมียม	ไม่มากกว่า 0.5	-
สารหนู	ไม่มากกว่า 0.25	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma
ทองแดง	ไม่มากกว่า 1.0	-
ปรอท	ไม่มากกว่า 0.005	Atomic Absorption Cold Vapour Technique
แคดเมียม	ไม่มากกว่า 0.03	-
ตะกั่ว	ไม่มากกว่า 0.2	-
นิกเกิล	ไม่มากกว่า 1.0	-
แมงกานีส	ไม่มากกว่า 5	-
ฟีนอล และ/หรือ ครีโซลส์	ไม่มากกว่า 1.0	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
ยาฆ่าแมลง, สาร	ไม่มีเลย	-
กัมมันตรังสี		-
อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า 40 °C	-
สี หรือ กลิ่น	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	-

สารอินทรีย์เป็นสารที่มีอยู่ในน้ำเสียต่างๆ ไป ซึ่งจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียนั้นๆ สารอินทรีย์บางชนิดก็จำเป็นต้องมีอยู่ในน้ำเสียบ้าง เพื่อช่วยให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีวภาพเป็นไปได้อย่างดี แต่ก็มีสารอินทรีย์บางชนิดไม่ควรให้มีในน้ำเสียเลย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลายได้ พารามิเตอร์ที่จะแสดงถึงคุณภาพของน้ำที่เกิดจากสารอินทรีย์ ได้แก่ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ พีเอช (pH) และคลอไรด์ ค่า pH ของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5 ถึง 9

2.2.3 คุณลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา (Biological Characteristics of Wastewater)

โดยทั่วไปน้ำเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ (microorganisms) หมายถึงพวกพืช (ไวรัส, แบคทีเรีย, เห็ดรา, สาหร่าย) และสัตว์ (โปรโตซัว, rotifers = สัตว์เซลล์เดียว, crustaceans) มีผลทำให้เกิดรสและกลิ่นในน้ำ ถ้ามีจุลินทรีย์บางชนิดในน้ำมากเกินไปอาจทำให้เกิดโรค เช่น ไทฟอยด์ (Typhoid จากเชื้อ *Vibrio cholerae*) โดยปกติน้ำจะมีสิ่งเจือปนอยู่แล้วตามธรรมชาติ

2.3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

กระบวนการกำจัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.3.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit process)

คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้แยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง (Screening) การตัดย่อย (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Floatation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Removal) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีมีหน้าที่ที่แตกต่างกัน ดังตาราง 2.3

2.3.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Process)

คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกเอามลสารต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (Coagulation / Flocculation) ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) คลอรีเนชัน (Chlorination)

2.3.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีฟิสิกัลเคมี (Physical Chemical Process)

คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange), การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption), ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis), การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (Electrodialysis) เป็นต้น

กระบวนการนี้ เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง อาศัยเครื่องมือที่มีอุปกรณ์ค่อนข้างมากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียวิธีอื่นๆ แต่กระบวนการนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพดีจนถึงระดับเป็นน้ำดื่มได้ กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบนี้มักจะใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายหลังจากระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ทางชีวภาพและหรือทางเคมีต่อเนื่องตามลำดับ

ตาราง 2.3 หน้าที่หลักของวิธีบำบัดน้ำเสียทางกายภาพต่างๆ

วิธีบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ	หน้าที่หลัก
ตะแกรง	ดักเศษขยะต่างๆ ที่ไหลมากับน้ำเสีย โดยมากจะเป็นชิ้นแรกๆในโรงบำบัด
เครื่องตัดย่อย	ทำการบดตัดเศษขยะขนาดใหญ่ให้เป็นเศษตะกอนเล็กที่มีขนาดเท่าๆ กัน
การกำจัดตะกอนหนัก	ทำการแยกตะกอนหนักต่างๆ เช่น หิน กรวด ทราย เศษอาหาร เป็นต้น โดยอาศัยการควบคุมการไหลของน้ำในถัง หรือรางกำจัดตะกอนหนัก
การกำจัด และไขมัน	ทำการดักหรือกวาดพวบน้ำมันและไขมันออกจากน้ำ
การตกตะกอน	ทำการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีแรงโน้มถ่วง ตะกอนต้องมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1
การทำให้ตะกอนลอย	ทำการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียด้วยวิธีทำให้ลอย โดยมากใช้กับตะกอนที่ความถ่วงจำเพาะใกล้เคียง 1
การกรอง	ทำการดักตะกอนแขวนลอยเล็กๆ ด้วยชั้นทราย หรือชั้นหิน หรืออื่นๆ โดยทั่วไปตะกอนส่วนมากจะถูกดักบริเวณผิวชั้นกรองจนเกิดฟิล์มบางๆขึ้น

2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับบนของแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งบนถ่านกัมมันต์ (Active carbon) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย การดูดซับเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณ

พื้นผิว หรือระหว่างหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ระหว่างหน้าของ 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุล หรือ คอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

2.4.1 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) หรือ การดูดซึม (Sorption) อาจเกิดขึ้นได้ทั้งแบบทางกายภาพและทางเคมี (Chemical Adsorption or Chemisorption) ในขบวนการดูดซับทางกายภาพ หมอกออิเล็กทรอนิกส์ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะกระทำโดยทั้งหมดกับโมเลกุลของสารดูดซับ ในทางตรงข้ามการดูดซับเคมีจะเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยน หรือการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างกันและกัน จนในที่สุดจะเกิดพันธะเคมี

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นองค์ประกอบจะยึดติดแน่นบนผิวของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูงของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของระบบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติจะให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย แต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น เมื่อลดความดันของระบบหรืออุณหภูมิลงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ทำให้การดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า desorption ซึ่งเป็นวิธีการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ในการดูดซับนี้สารดูดซับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี การดูดซับทางกายภาพบางครั้งเรียกว่า Van der Waal's adsorption โดยการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 Kcal/mol นอกจากนี้การดูดซับทางกายภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption or chemisorption) เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับสร้างสารประกอบระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวของตัวดูดซับทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง ซึ่งไม่ขึ้นกับความดันมากนักและดูดซับตัวถูกดูดซับไว้ได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เนื่องจากการดูดซับเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีบนพื้นผิวจึงเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้น และการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับได้ (desorption) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ ปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิปกติองค์ประกอบบางชนิดจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้ โดยแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) ในช่วงสั้นๆ รวมถึงการเกิดสารประกอบเชิง

ซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการเปลี่ยนลิแกนด์(ligand)และพันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) และพันธะไฮโดรเจน(hydrogen bonding) การที่โลหะหนักสามารถถูกดูดซับไว้ที่ผิวของตัวดูดซับต่างๆ เช่น คอลลอยด์ดินเหนียว เนื่องจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชันที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ผิวของตัวดูดซับความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 Kcal/mol ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การดูดซับทางเคมีเพิ่มขึ้น

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.2.1 ธรรมชาติของสารดูดซับ (Nature of the adsorption)

1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pore structure)

พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของสารดูดซับมากขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

2 ขนาดของวัตถุ (Particle size)

ในกรณีที่สารดูดซับที่ไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าสารดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุนเพราะฉะนั้นในกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดวัตถุ

2.4.2.2 ธรรมชาติของสารถูกดูดซับ (Nature of the adsorbate)

1. ความสามารถในการละลาย

ตัวถูกดูดซับที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2 น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักและขนาดของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่นถ้าโมเลกุลของสารที่ดูดซับเป็นสารอินทรีย์ เมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้นการดูดซับก็จะมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

2.4.2.3 ความมีขั้วของโมเลกุล (Polarity)

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงในสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.4.2.4 สภาพแวดล้อม

1 ผลของอุณหภูมิของสารละลาย (Effect of temperature)

เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเกี่ยวข้องกับชนิดของพันธะที่ยึดเหนี่ยวกัน ถ้าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นชนิดคายความร้อนการดูดซับจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่ในกรณีที่ปฏิกิริยาการดูดซับความร้อน ความสามารถในการดูดซับจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2 ผลของความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (Effect of pH)

เนื่องจาก pH มีผลต่อรูปแบบ (species) ของโลหะ เช่น ไอออนของตะกั่วจะมีรูปแบบต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ที่ pH ต่ำกว่า 6 ตะกั่วจะอยู่ในรูป Pb^{2+} เป็นส่วนใหญ่ แต่ที่ pH สูงๆ ไอออนของตะกั่วจะมีการรวมตัวกับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบประเภท hydroxo complexes ชนิดต่างๆ เช่น Pb^{2+} , $Pb(OH)_4^{4+}$, $Pb_6(OH)_8^{4+}$ และ $Pb_3(OH)_4^{2+}$ นอกจากค่า pH ของสารละลายจะมีผลต่อประจุของไอออนของโลหะแล้ว ยังมีผลต่อประจุที่ผิวของตัวดูดซับด้วย (pH dependent charge) ซึ่งเป็นผลมาจากการ ionization ของหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุในดิน

2.4.3 สมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption equilibrium and adsorption Isotherm)

การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย (liquid-solid adsorption) จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินไปเรื่อยๆ จะมีการคายการดูดซับ (desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จนในที่สุดจำนวนตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับกับที่คายออกมาจะเท่ากัน ผลที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ อัตราการดูดซับและอัตราการคายตัวจะเท่ากันหรือ ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่าสมดุลของการดูดซับ (adsorption equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิวของแข็งไม่เปลี่ยนแปลง ตำแหน่งที่เกิดสมดุลของการดูดซับหนึ่งๆ จะเป็นคุณสมบัติของระบบนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวถูกละลาย ตัวดูดซับตัวทำละลาย อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของระบบ ปริมาณของการดูดซับที่สมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปเราใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ เป็นตัวแทนในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เกิดขึ้น

2.4.3.1 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอมของการดูดซับ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_e) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่สารละลายที่สภาวะสมดุล (C_e) ณ อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นเส้นที่ลากขึ้นมาเพื่อบอกถึงปริมาณการดูดซับการดูดซับสารหรือไอออนบนผิวของตัวดูดซับต่างๆ แบบจำลองที่นิยมใช้มากในการศึกษาที่เกี่ยวกับการดูดซับด้วยดินคือแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich

1. แบบจำลอง Langmuir

สมการของ Langmuir ใช้ได้ดีที่สุดเมื่ออธิบายการดูดซับที่ความเข้มข้นต่ำ การดูดซับที่มีพื้นผิวเป็นแบบเอกพันธ์โดยมีสมมติฐานของ มีดังนี้

- 1. การดูดซับจะเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอน และพื้นที่นั้นๆสามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว (การดูดซับแบบชั้นเดียว, monolayer adsorption)
- 2. การดูดซับสามารถย้อนกลับได้
- 3. จะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ บนพื้นผิวของตัวดูดซับ
- 4. พลังงานในการดูดซับจะเท่ากันในทุก ๆ พื้นที่ของการดูดซับ และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ สมการ Langmuir สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{C_x}{V} = \frac{C_x}{V_m} + \frac{1}{K V_m}$$

เมื่อ V	ค่าปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารตัวดูดซับ
Cx	คือความเข้มข้นของตัวถูกละลายเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล(มิลลิกรัม/ลิตร)
Vm	คือปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัมของดินเผา)
K	คือค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับ bonding strength หรือเป็นค่าคงที่ความร้อนของการดูดซับ

2. แบบจำลอง Freundlich

แบบจำลอง Freundlich ถูกใช้ครั้งแรกเพื่ออธิบายการดูดซับก๊าซและตัวถูกละลายในสารละลาย จะใช้ได้ดีในสารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลาง โดยอธิบายถึงการลดลงของพลังงานในการดูดซับเมื่อการปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นในรูปของลอการิทึม สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\log v = \log K + \frac{1}{n} \log C_x$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย
n คือ correcting factor

2.5 เซรามิกส์

เซรามิกส์ (Ceramics) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาดิน(clays) ต่างๆ หินทรายและแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในธรรมชาติมาขึ้นรูปตามที่ต้องการแล้วนำไปเผา ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์อาจจำแนกได้หลายประเภท เช่น Pottery, Refractories, Structural ceramics, Glass, Enamel และ Special ceramic

2.5.1 การจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

เครื่องปั้นดินเผา (Pottery) เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งทางเซรามิกส์ และจากลักษณะเนื้อดินเผาและอุณหภูมิที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์อาจจำแนกได้ 4 ชนิด คือ

- 1. Earthenware เป็นเครื่องปั้นดินเผาที่มีลักษณะเนื้อหนา หยาบ มีความพรุนตัวสูงประมาณ 4-10% เนื้อดินปั้นส่วนมากเตรียมได้จากดินเหนียวธรรมดาโดยทั่วไป ซึ่งมักมีสีเทาเข้มหรือน้ำตาลเข้ม เมื่อเผาแล้วส่วนมากมีสีน้ำตาลอ่อน สีเทาอ่อน หรือสีเหลืองอ่อน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เผาในช่วงอุณหภูมิค่อนข้างต่ำประมาณ 1,100°C
- 2. Stoneware ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาที่จุดสูงแล้ว มีความพรุนตัวประมาณ 1-6% โดยมากเนื้อดินปั้นมีส่วนผสมของหินและดินเผาๆ กัน หรืออาจมีมากกว่าเล็กน้อยก็ได้ เนื้อดินปั้นเมื่อเผามักมีสีตามสีของวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีขาว สีเทา สีน้ำตาลเป็นต้น อุณหภูมิที่ใช้เผาค่อนข้างสูงกว่าชนิดแรกคือ ตั้งแต่ 1,200°C ขึ้นไป
- 3. Porcelain ware เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่า stoneware เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษ เนื้อดินปั้นเป็นสีขาว โปร่งแสง (Translucency) เผาถึงจุดสูงตัวตั้งแต่ 1,250°C ขึ้นไป มีความพรุนตัวต่ำประมาณ 0-3%
- 4. Bone Chinaware เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงที่สุด เนื้อดินปั้นมีส่วนผสมของเถ้ากระดูกสัตว์ (Bone ash) ในปริมาณสูง ช่วยให้เกิดการโปร่งแสง ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้แข็งแกร่งมาก มีสีขาว เวลาเคาะมีเสียงกังวานและโปร่งแสงดีมาก

2.5.2 วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจะคงรูปได้ขึ้นนับตั้งแต่เริ่มทำจนถึงหลังเผาจะประกอบด้วยวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลัก (Structure construction material) เช่น kaolin, domolite, pyrophyllite วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบย่อยหรือเป็นตัวเนื้อ (Combination material) เช่น พวกดินต่างๆ วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมหรือตัวเชื่อมส่วนประกอบย่อยต่างๆ เข้าด้วยกัน (Fluxing material) เช่น feldspar เศษแก้ว และวัตถุดิบอื่นๆ (Miscellaneous) ที่ต้องการเติมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบย่อยต่างๆ เข้ากันได้ดีตามต้องการ เช่น พวก silica, diatomite, coloring เป็นต้น

ตาราง 2.4 การเปรียบเทียบเครื่องปั้นดินเผาชนิดต่างๆ

ลักษณะ	Earthenware	Stoneware	Porcelain	Bone China
ส่วนผสม	ดินน้อย	ดินมาก	ดินฟันม้ามาก	เถ้ากระดูก
เผาดิบ	800 °C	800 °C	800 °C	800 °C
เผาเคลือบ	800-1,200 °C	1,100 °C	1,250 °C ขึ้นไป	1,100 °C
การเผา	ออกซิเดชัน	ออกซิเดชัน	รีดักชัน	ออกซิเดชัน
ลักษณะเคลือบ	ทึบแสง	ทึบแสง	โปร่งแสง	โปร่งแสง

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Prasad และคณะ(8) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องแบบจำลองการดูดซับตะกั่วและสังกะสีโดยใช้แร่ Francolite ซึ่งเป็นหินฟอสเฟตที่พบในประเทศอินเดีย พบว่าแร่ Francolite สามารถกำจัดสารละลายของตะกั่วและสังกะสีได้ดี โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับของไอออนตะกั่วและสังกะสี และใช้แบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich ในการอธิบายการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ จากการทดลองพบว่าแร่ Francolite ดูดซับ Pb^{2+} ได้ดีกว่า Zn^{2+} ซึ่งแร่ Francolite มีประสิทธิภาพในการกำจัด Pb^{2+} ได้มากที่สุดเท่ากับ 82 – 99.9% กระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและแบบจำลองการดูดซับแบบ Langmuir Isotherm เป็นแบบที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักบนแร่ Fran-colite ที่อุณหภูมิต่างๆ

Vinod K. Gupta และคณะ(10) ได้ทำการศึกษาการขจัดโลหะหนัก โดยใช้โคลนแดง ซึ่งเป็นวัตถุที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมอลูมิเนียม มาเป็นตัวดูดซับโดยทำการแช่โคลนแดงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ติดมาจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่ 500 °C เป็น

เวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการดูดซับไอออน Cd^{2+} และ Zn^{2+} ที่ความเข้มข้นต่ำ (1.78×10^{-5} - 1.78×10^{-4} โมลาร์ สำหรับ Cd^{2+} และ 3.06×10^{-5} - 3.06×10^{-4} โมลาร์สำหรับ Zn^{2+}) ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการดูดซับนี้เป็นแบบคายความร้อนและค่าการดูดซับของ Cd^{2+} ยังมีค่าเกือบ 100 % ที่ความเข้มข้นต่ำๆ (น้อยกว่า 3.56×10^{-4} โมลาร์) และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น (มากกว่า 8.89×10^{-4} โมลาร์) คล้ายสมการดูดซับของ Zn^{2+} ที่เข้าใกล้ 100% ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 9.18×10^{-4} โมลาร์ และลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (มากกว่า 1.84×10^{-3} โมลาร์)

A. Mellah และคณะ (6) ได้นำแร่เบนโทไนต์ (Bentonite) ตามธรรมชาติมาศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับ Zn^{2+} ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแร่ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการขจัดสารอินทรีย์ในอุตสาหกรรมการผลิต Phosphoric acid (Bovalia.et.al.,1993) โดยการทดลองจะทำการศึกษาคูณลักษณะการดูดซับและปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว พบว่าอัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แสดงถึงการดูดซับเป็นระบบคายความร้อน และการดูดซับเกิดจากแรงดึงดูดแบบกายภาพ และพบว่าปริมาณตัวดูดซับ Bentonite 8 กรัม/ลิตร สามารถดูดซับไอออนของ Zn^{2+} ได้มากเมื่อใช้ปริมาณแร่ ที่ 1 กรัม/ เนื่องจากปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่ผิวดูดซับเพิ่มขึ้นการเพิ่มขึ้น

Su-Hsia Lin (9) และคณะ ได้นำแร่มอนท์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) ที่ทำการปรับปรุงโดยใช้ Sodium dodecyl sulfate (SDS) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักเช่น Cu^{2+} และ Zn^{2+} จากสารละลาย โดย SDS มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaSO}_3$ โดยการเตรียมตัวดูดซับเริ่มจากนำ 25 กรัม ของแร่ Montmorillonite มาแช่ใน สารละลาย SDS ความเข้มข้นในช่วง 10-30 มิลลิโมล ต่อน้ำปราศจากไอออน 11 มิลลิลิตร จากนั้นแช่เป็นเวลา 2 ชม. และใช้เทคนิค x-ray diffraction เพื่อตรวจสอบการเข้าไปแทรกภายในชั้นแร่มอนท์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) ของ SDS โดยจากรูปแสดงค่า Zeta potential ทั้งก่อนและหลังการเติม SDS ที่ช่วง pH ต่างๆ โดยค่า บวกและลบแสดงถึงประจุที่ผิวของอนุภาค โดยจากการทดลองพบว่าก่อนเติม SDS ผิวของแร่มอนท์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีประจุลบ สามารถดึงดูดไอออนโลหะได้ที่ pH 7-12 แต่เมื่อเติม SDS แล้วพบว่า ค่า Zeta potential มีค่าเป็นลบ มากขึ้นและมีช่วง pH ที่ 2-12 ทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น

Mohammad Ajmal (7) และคณะได้นำแร่ ไคอะไนต์ (Kyanite) ซึ่งโดยทั่วไปถูกใช้เป็นวัสดุทนไฟ และมี Alumina เป็นส่วนประกอบมาทำการดูดซับโลหะหนัก จำพวก Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} และ Cu^{2+} จากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ จากการทดลองถึงผลกระทบของไอออนชนิดเดิมที่มีอยู่ในน้ำเสียจึงได้ทำการเติมไอออนบางชนิด เช่น SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- และ Ca^{2+} เพื่อดูการดูดซับที่เกิดขึ้น พบว่า การดูดซับ Cu^{2+} จะไม่ขึ้นอยู่กับการมี Na_2SO_4 และ NaCl อยู่ และการดูดซับ Cu^{2+} จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี sodium hydrogen carbonate (NaHCO_3) ซึ่งเป็นการเพิ่ม pH ให้กับน้ำ ซึ่งทำให้สามารถดูดซับไอออนได้มากขึ้น

G.Suraj และคณะ(13)ได้นำแร่คาโอลิไนต์ (Kaolinite) มาทำการปรับปรุง โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และการปรับสภาพด้วยกรด (Calcined and acid activated) แร่ที่นำมาทำการทดลองได้มาจาก 2 แหล่งคือ South Kerala (Tk) และ North Kerala (Mk) , India จากการทดลองทำการดูดซับโลหะหนัก Cd^{2+} และ Cu^{2+} พบว่าค่าการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อนำตัวอย่างของแร่ทั้ง 2 ชนิดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C และปรับสภาพด้วยกรด พบว่าค่าการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นมากดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 แสดงการดูดซับไอออน โลหะCd และ Zn บนแร่ Kaolinite

ตัวอย่าง	Cd (mmol/kg)		Cu (mmol/kg)	
	Tk	Mk	Tk	Mk
คาโอลิไนต์ธรรมชาติ	6.34	6.55	6.56	6.21
คาโอลิไนต์ (350 °C)	6.18	6.44	6.75	6.24
คาโอลิไนต์ (600 °C)	3.08	3.15	3.06	4.16
คาโอลิไนต์ธรรมชาติ + กรด	6.76	6.75	7.86	7.46
คาโอลิไนต์ (350 °C) + กรด	7.29	6.85	8.34	8.23
คาโอลิไนต์ (600 °C) + กรด	13.36	13.64	18.79	18.09

Ho และ McKay (5) ได้ทำการศึกษาความสามารถของพีท (peat) ซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่ถูกทับถม มาทำการดูดซับไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ในสารละลายที่สภาวะต่าง ๆ ได้แก่ การปรับเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว ขนาดของอนุภาคพีท อุณหภูมิของสารละลาย และความเร็วในการกวน ผลการศึกษาความเข้มข้นของ Pb^{2+} เริ่มต้น พบว่าอัตราการดูดซับในช่วงเริ่มต้นจะเกิดอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ช้าลงเมื่อเข้าสู่สมดุลในทุก ๆ ความเข้มข้น สำหรับผลของอุณหภูมิของสารละลาย พบว่าอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงแสดงว่าการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ส่วนผลเนื่องจากขนาดอนุภาคของพีทพบว่ายิ่งขนาดอนุภาคของพีทเล็กลงทำให้อัตราการดูดซับจะสูงขึ้น และผลจากอัตราเร็วในการกวน พบว่าอัตราการดูดซับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ชฎิล ฉายรัมย์, เมธิ ชลไมตรี และสุนทรี เฟื่องฟู (1) ได้ทำการศึกษการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวัสดุชีวภาพที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น กากเมล็ดกาแฟ ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุชีวมวลผสมดินเหนียว โดยโลหะหนักที่ใช้ได้แก่ ทองแดง สังกะสี นิกเกิล ตะกั่วและแคดเมียม พบว่าวัสดุชีวมวลที่ทำเป็นถ่านมีความสามารถ

ในการดูดซับโลหะหนักมากกว่าดินเหนียว โดยถ่านกากเมสส์คาแฟ > ถ่านซังข้าวโพด > ถ่านชานอ้อย ตามลำดับ กากเมสส์คาแฟมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในช่วง 7.862 – 17.544 มิลลิกรัม / กรัม ชีวมวลแห้ง และหลังจากนำถ่านที่ผลิตจากชีวมวลผสมกับดินเหนียว และสามารถดูดซับโลหะหนักได้ เรียงตามลำดับดังนี้ สังกะสี > แคดเมียม > ทองแดง > นิกเกิล > ตะกั่ว โดยเฉพาะถ่านกากเมสส์คาแฟ ผสมดินเหนียวมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด จากการศึกษาขนาดเม็ดชีวมวลและ อัตราส่วนของวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียว พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียว 1:1 จะมี ประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงเม็ดชีวมวลที่มีถ่านกากเมสส์คาแฟเพียงอย่างเดียว และเม็ดชีวมวลที่มี ขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักดีกว่า

การดูดซับจึงมีความสามารถในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สำหรับสิ่งเจือปนในน้ำเสียที่กระบวนการดูดซับกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น โดยเฉพาะโลหะหนัก เป็นต้น กล่าวคือ อีกทั้งยังเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มี ประสิทธิภาพที่ดีและระบบมีความทนทานต่อสารพิษซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ ยังมีข้อดีคือ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพแล้ว ต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดขนาดของระบบได้ง่าย

การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียไม่ได้มีเพียงแค่การใช้แร่ฟรานโคไลต์เท่านั้นที่ให้ ประสิทธิภาพดีแต่ยังได้มีการค้นคว้าวิจัยหาสารหรือวัสดุที่เหมาะสมอื่นๆ อีก อาทิเช่น เศษวัสดุเหลือใช้ จากดินเผาเซรามิกส์ โดยสิริวรรณ ศรีสรณ์และคณะ (2, 3, 4, 11, 12) ได้ทำการศึกษาการดูดซับ ไอออนโลหะหนักโดยใช้เซรามิกส์ที่ได้จากการทำเครื่องปั้นดินเผา ในประเทศไทยพบว่าสามารถดูดซับ Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} และ Hg^{2+} ได้ดี โดยที่อุณหภูมิห้องผงเซรามิกส์สามารถกำจัดไอออนเหล่านี้ออกจาก สารละลายได้ถึง 73.99%, 14.53%, 95% และ 90.34% ตามลำดับ และเซรามิกส์แบบเม็ดสามารถกำจัด ไอออนเหล่านี้ออกจากสารละลายได้ถึง 70.31%, 14.33%, 94.22% และ 85.77% ตามลำดับ และยัง สามารถใช้แบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich ในการอธิบายการดูดซับได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมออกจากสารละลายโดยใช้เซรามิกส์ โดยจะศึกษาผลของขนาด ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย อุณหภูมิสารละลาย ไอออนโลหะที่มีผลต่อการกับ การดูดซับไอออนโลหะการกำจัดไอออนโลหะผสมและหาแบบจำลองการดูดซับ

3.1 วัสดุและสารเคมี

เซรามิกส์ที่ใช้ได้จากกระถางดินเผาปลุกต้นไม้จาก เกาะเกร็ด อ. ปากเกร็ด จ. นนทบุรี สารเคมีหลักที่ใช้ได้แก่ Zinc (II) nitrate (AR Grade บริษัท Ajax Finechem) Lead (II) nitrate (AR Grade) Cadmium (II) nitrate (AR Grade บริษัท Asia Pacific Specialty Chemical Limited CAN) Sodium Hydroxide (AR Grade บริษัท Merck) Nitric Acid (AR Grade บริษัท Merck) Lead Standard Solution Zinc Standard Solution และ Cadmium Standard Solution

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตะแกรงร่อนคัดขนาด (Sieve) และเครื่องเขย่า (Sieve shaker) ยี่ห้อ Gilson SS50/SS50A เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Sanyo Orbital Incubator เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ GSC รุ่น 908 AA เครื่องชั่งน้ำหนักโดยละเอียด (ทศนิยม 4 นิยม) ยี่ห้อ OHAUS รุ่น AP310S pH Meter ยี่ห้อ Denver Instrument model 15 เครื่องเขย่า Gallenkamp Orbital Shaker เตาอบยี่ห้อ Lenton และชุดเครื่องแก้ว

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมเซรามิกส์จากกระถางต้นไม้

เตรียมเศษเซรามิกส์โดยนำกระถางดินเผาสำหรับปลุกต้นไม้ที่ได้จากอ. เกาะเกร็ดมาทำการลดขนาดและคัดขนาดโดยผ่านตะแกรงคัดขนาดด้วยตะแกรงจนได้ขนาดอนุภาค 2 ขนาดคือ ขนาดอนุภาคที่

mesh no.4 - 8 และ mesh no.8 -16 จากนั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 เซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นของเซรามิกส์ จากนั้นนำเซรามิกส์ที่เตรียมไว้เก็บในเดซิเคเตอร์ (Dessicator) แล้วนำไปใช้ในการทดลอง

ตอนที่ 2 ศึกษาการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในสารละลายแบบเดี่ยว

เตรียมสารละลายไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 5 จากนั้นนำเซรามิกส์ที่เตรียมไว้ปริมาณหนัก 5.00 กรัม ใส่ลงในแต่ละขวด และนำไปแช่ที่อุณหภูมิห้อง ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 แล้วนำสารละลายใส่ที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่อง AAS แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเวลาที่สมดุลในการดูดซับและหาประสิทธิภาพการดูดซับ

ตอนที่ 3 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะของเซรามิกส์ในสารละลาย

เตรียมสารละลายไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 1 จากนั้นนำเซรามิกส์ที่เตรียมไว้ปริมาณหนัก 5.00 กรัม ใส่ในแต่ละขวดและนำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่างๆ จนถึงเวลาที่สมดุล แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายใส่ที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่อง AAS ทำการทดลองตามสภาวะข้างต้นแต่เปลี่ยนค่า pH เป็น 2 , 3 , 4 , 5 และ 6

ตอนที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะของเซรามิกส์ในสารละลาย

เตรียมสารละลายไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตรส่วนละ 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 5 จากนั้นเซรามิกส์ใส่ปริมาณ 5.00 กรัม ในแต่ละขวด และนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่าง ๆ จนถึงเวลาที่สมดุล แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายใส่ที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่อง AAS และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 เซลเซียส เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียส

ตอนที่ 5 ศึกษาการแข่งขันการดูดซับไอออนโลหะหนักผสมในสารละลาย

เตรียมสารละลายไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร นำสารละลายทั้ง 3 ชนิดมาผสมกัน ในอัตราส่วน 1:1:1 แล้วปรับ pH ของสารละลายให้ได้ 5 นำสารละลายโลหะหนักผสมใส่ในขวดรูปชมพู่อย่างละ 50 มิลลิลิตร และเชรามิกส์ที่เตรียมไว้ใส่ขวดละ 5.00 กรัม และทำการเขย่าที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่าง ๆ จนกระทั่งความเข้มข้นคงที่ แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำส่วนของสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะด้วยเครื่อง AAS และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียส

ตอนที่ 6 ศึกษาแบบจำลองการดูดซับ

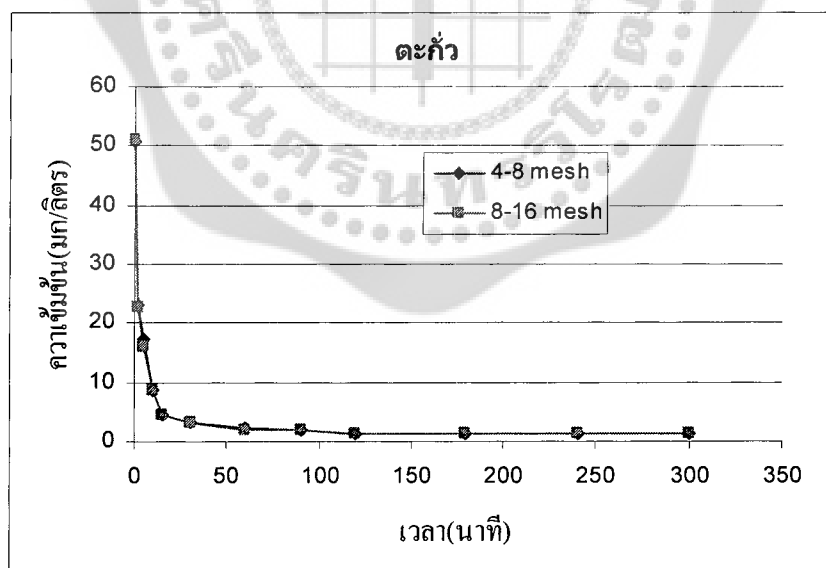
เตรียมสารละลายไอออนโลหะสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 30, 40, 50, 60 และ 70 มิลลิกรัม/ลิตร ครั้งละ 50 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH ตามต้องการแล้วใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นใส่เชรามิกส์ขวดละ 5.00 กรัม แล้วนำไปเขย่าที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียส ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำการเก็บสารตัวอย่าง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายส่วนที่ใส่ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตามทฤษฎีของแลงเมียร์ และฟรอนด์ลิช

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักของเศษเซรามิกส์ที่อุณหภูมิห้อง

จากการทดลองนำเศษเซรามิกส์ 2 ขนาดที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 - 8 และ mesh no.8 -16 มาทำการดูดซับสารละลายที่มีไอออนโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว, แคดเมียมและสังกะสีที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตรที่ pH 5 ใช้เศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม โดยตามขั้นตอนนี้จะหาความเข้มข้นของไอออนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่เหลืออยู่เมื่อผ่านการดูดซับที่เวลาต่าง ๆ กัน จนการดูดซับเข้าสู่สมดุล โดยเขย่าด้วยความเร็ว 180 รอบ/นาที ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลได้แก่ 0 2 5 10 15 30 60 90 120 180 240 และ 300 นาที ตามลำดับ และหาความเข้มข้นของไอออนโลหะที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) พบว่าเศษเซรามิกส์ทั้ง 2 ขนาดสามารถดูดซับ ไอออนตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสีได้อย่าง

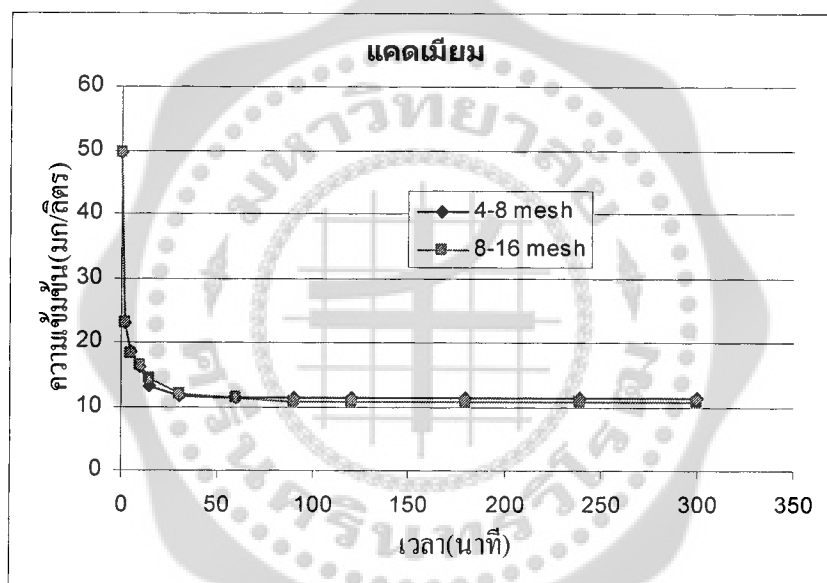


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม
ความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH = 5

รวดเร็วในช่วงเริ่มต้นจากนั้นจะค่อย ๆ ช้าลงและ คงที่เมื่อเวลาผ่านไป 300 ,300 และ 300 นาที ตามลำดับ จึงถือให้เวลาดังกล่าวระบบได้เข้าสู่สมดุลแล้ว

จากการทดลองพบว่าเศษเซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 - 8 สามารถดูดซับ ไอออนตะกั่วได้ 0.49 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเศษเซรามิกส์ คิดเป็น 97.28% เศษเซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาค อยู่ในช่วง mesh no. 8 -16 สามารถดูดซับ ไอออนตะกั่ว ได้ 0.49 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเศษเซรามิกส์คิด เป็น 97.54 % ดังรูปที่ 4.1

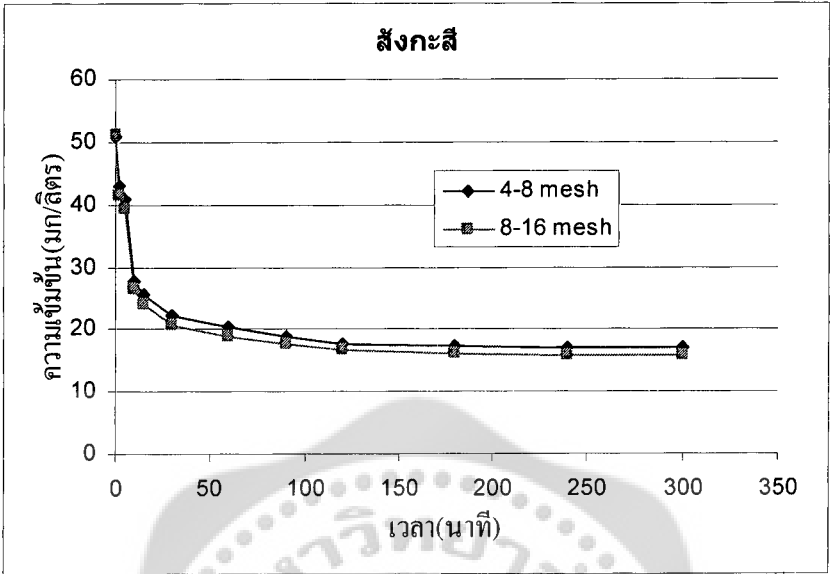
เศษเซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 – 8 สามารถดูดซับ ไอออนแคดเมียมได้ 0.38 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมเศษเซรามิกส์คิดเป็น 77.12% เศษเซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no. 8 -16 สามารถดูดซับ ไอออนโลหะแคดเมียมได้ 0.38 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมเซรามิกส์คิดเป็น 77.86 % ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับโลหะแคดเมียมโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ความเข้มข้นของโลหะแคดเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH = 5

เซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 - 8 สามารถดูดซับ ไอออนสังกะสี ได้ 0.34 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัมเศษเซรามิกส์ หรือคิดเป็น 66.17% เซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no. 8 -16 สามารถดูดซับ ไอออนสังกะสี ได้ 0.3517 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัมเศษเซรามิกส์ คิดเป็น 68.68 % ดังรูปที่ 4.3 และจากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าเซรามิกส์ตัวดูดซับทั้ง 2 ขนาด มีความสามารถในการกำจัด โดยการดูดซับ ไอออนโลหะใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเท่ากันตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองซึ่งแสดงให้เห็น

เห็นว่าขนาดของตัวดูดซับในช่วง mesh no. 8 -16และ mesh no.4 - 8 มีความสามารถแตกต่างกันน้อย ดังนั้นจะเลือกใช้ตัวดูดซับที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 - 8 มาทำการทดลองในตอนต่อไป



รูปที่4.3 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับโลหะสังกะสีโดยเศษเซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม ความเข้มข้นของโลหะสังกะสี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร pH = 5

4.2 ศึกษาผลของ pH ต่อการกำจัดโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี โดยใช้เซรามิกส์

เมื่อนำเซรามิกส์ที่เตรียมไว้มาทำการดูดซับโลหะหนักแบบเดี่ยวได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในสารละลายเข้มข้นของ 50 มิลลิ-กรัม ต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร ที่ pH= 2-7 จนถึงเวลาสมดุล แล้วทำการวัดค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะที่เหลือโดยใช้เครื่อง AAS พบว่า

ที่ค่า pH 5 เศษเซรามิกส์สามารถดูดซับไอออนโลหะตะกั่วจะดูดซับที่ดีและเหมาะสมที่ pH = 3- 5 โดยมีค่าเป็น 96- 98 % และดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับ 0.461 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเศษ เซรามิกส์ ที่ pH 5 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะตะกั่วเท่ากับ98 % แต่ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 3 จะทำให้การดูดซับน้อยลงและมีการตกตะกอนของไอออนออกมาบ้างในสารละลายเมื่อ pH สูงกว่า 5

สำหรับไอออนโลหะแคดเมียมพบว่าการเพิ่มค่า pH ของสารละลายระหว่าง 1-6 ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้ความ สามารถในการะดูดซับโลหะแคดเมียมมีแนวโน้มได้เพิ่มขึ้น และดูดซับได้ในช่วง pH = 5- 6 โดยมีค่าประมาณ 77% และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.369 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมเศษเซรามิกส์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ77.5 %

สำหรับไอออนโลหะสังกะสี พบว่าที่ค่า pH 7 เศษเซรามิกส์ สามารถดูดซับไอออนโลหะสังกะสี ได้มากที่สุดเท่ากับ 0.322 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัมเศษเซรามิกส์ คิดเป็นการดูดซับไอออนโลหะสังกะสี เท่ากับ 69.46 % และพบว่าการเพิ่มค่า pH ของสารละลายระหว่าง 1-6 ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้ความสามารถในการดูดซับไอออนสังกะสีของเซรามิกส์จะมีแนวโน้มเพิ่ม ขึ้น และดูดซับได้ดีที่สุดที่ค่า pH = 6 -7 คิดเป็น 69% โดยผลของ pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสรุปได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

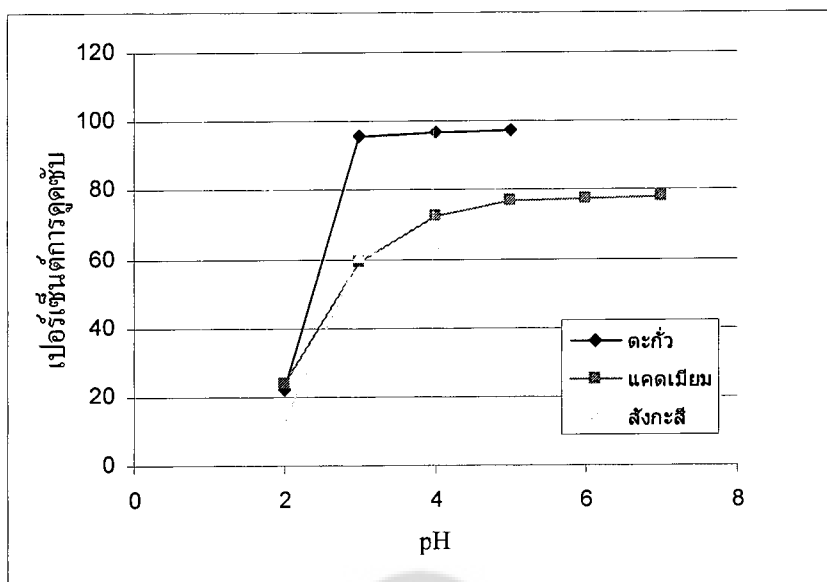
จากรูปจะพบว่า อัตราการดูดซับไอออนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดคือตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ด้วยเศษเซรามิกส์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราการดูดซับสามารถอธิบาย ได้ว่าในน้ำเสียสังเคราะห์จะเกิดการแข่งขันกันระหว่าง H^+ กับไอออนโลหะหนักและที่ค่า pH ต่ำๆ (2-3) จะมี H^+ อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์เป็นจำนวนมาก เมื่อความหนาแน่นของ H^+ มีค่ามาก ทำให้ H^+ มีโอกาสที่จะ เข้าไปจับกับ active site ที่เป็นประจุลบของเศษเซรามิกส์ได้มาก กว่าไอออนของโลหะหนัก ทำให้อัตรา การดูดซับไอออนโลหะหนักในช่วงพีเอช 2-3 มีค่าน้อย นอกจากนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลงค่า pH ยังเป็น การลดประจุลบที่ผิวของผลึกในเศษเซรามิกส์ ซึ่งเกิดจาก ไฮดรอกไซด์ออกไซด์ (hydrated oxide) อีกด้วย

ตาราง 4.1 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่ค่า pH ต่างๆ

pH	เปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะ(%)		
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
pH2	22.01	23.29	12.45
pH3	95.76	59.26	60.56
pH4	96.55	72.39	64.47
pH5	97.54	76.71	67.73
pH6	-	77.06	69.02
pH7	-	77.51	69.46

4.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะโดยใช้เซรามิกส์

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของสารละลายไอออนโลหะหนักได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว และ แคดเมียมที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโดยเตรียมสารละลายโลหะหนักให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH 5 เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม นำไปแช่อยู่ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60เซลเซียส ด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที แล้วทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลาต่าง ๆ ไปวัด ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS แล้วหาความเข้มข้นไอออนโลหะที่เหลือในสารละลายโดยการเทียบ กับกราฟมาตรฐานของไอออนโลหะแต่ละชนิด



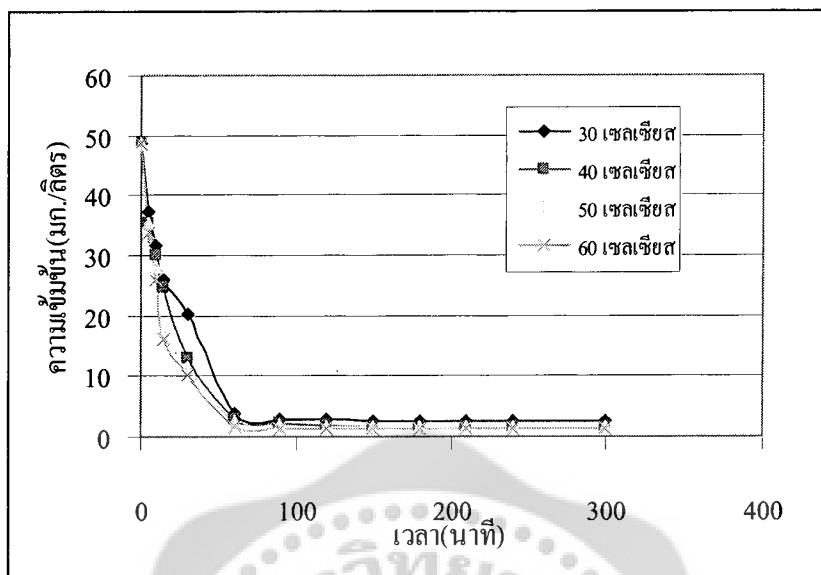
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของ pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีความเข้มข้นสารละลายไอออนโลหะ = 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เซรามิกส์หนัก 5.00 กรัม

จากการทดลองพบว่า สำหรับการดูดซับไอออนโลหะตะกั่วที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส พบว่า เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เซรามิกส์สามารถดูดซับโลหะตะกั่วได้ 0.4610, 0.4694, 0.4702 และ 0.4731 มิลลิกรัม/กรัม เซรามิกส์ คิดเป็น 94.92, 96.76, 96.83 และ 97.42 % ตามลำดับ จากการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

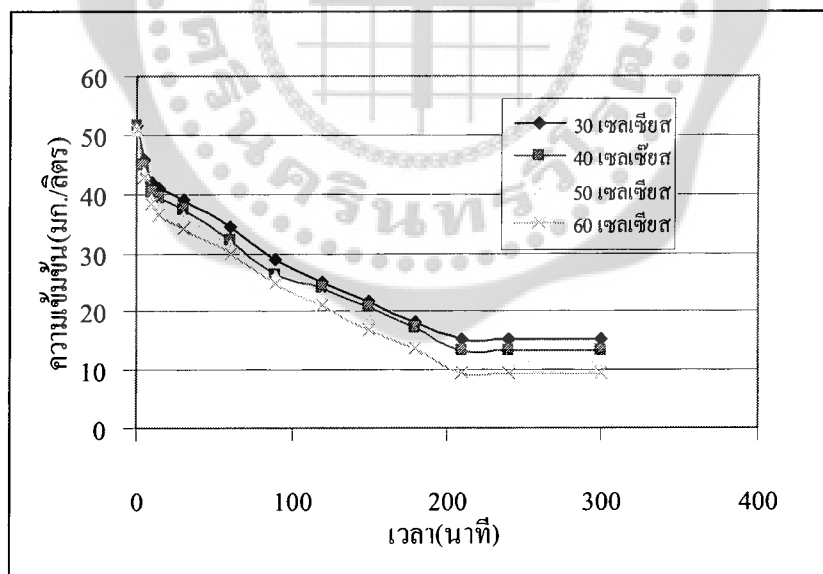
สำหรับไอออนแคดเมียม พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้เซรามิกส์จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่การดูดซับไอออนโลหะแคดเมียมที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส พบว่า เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เซรามิกส์สามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้ 0.3643, 0.3813, 0.3969 และ 0.4149 มิลลิกรัม/กรัมเซรามิกส์ คิดเป็น 70.69, 73.98, 77.75 และ 81.28 % ตามลำดับ ซึ่งผลจากการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

สำหรับการดูดซับไอออนโลหะสังกะสีที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส พบว่า เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เซรามิกส์สามารถดูดซับโลหะสังกะสีได้ 0.34, 0.35, 0.36 และ 0.37 มิลลิกรัม/กรัมเซรามิกส์ คิดเป็น 68.64% 71.21% 73.19

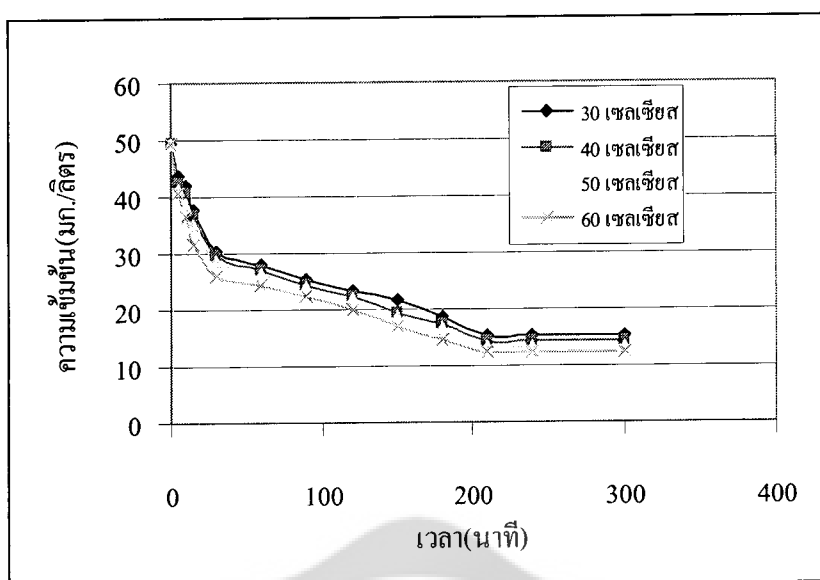
และ 74.98 % ตามลำดับ โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และสรุปผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะตะกั่ว ที่มีอยู่ในสารละลายที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกน้ำหนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะแคดเมียม ที่มีอยู่ในสารละลายที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกน้ำหนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5

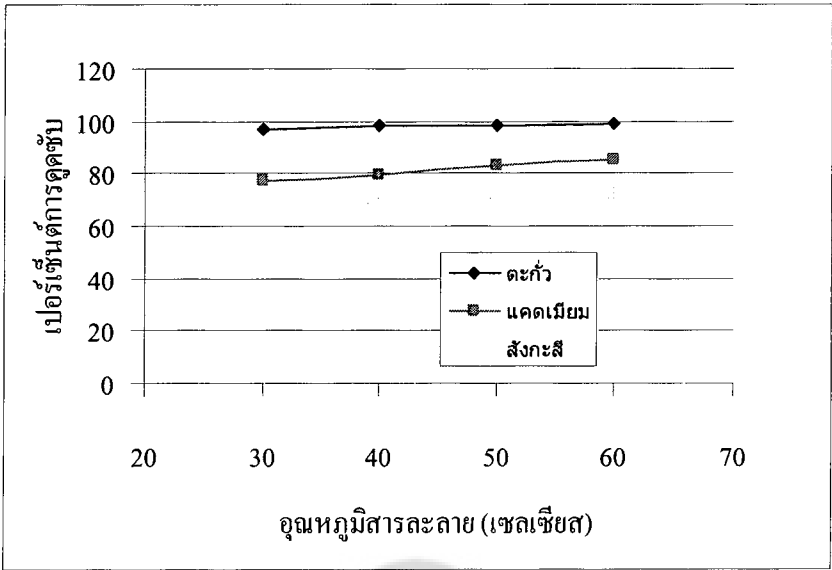


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะสังกะสีที่มีอยู่ในสารละลายที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกน้ำหนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5

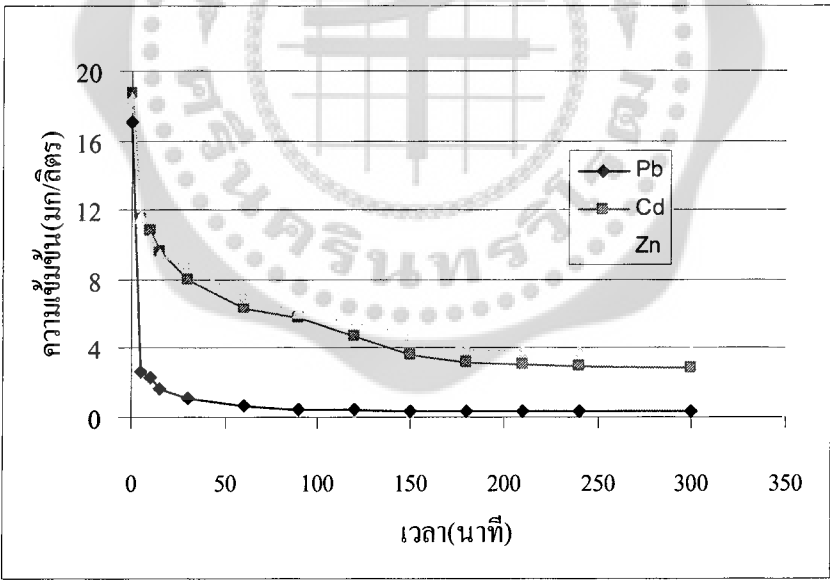
4.4 ศึกษาการดูดซับของสารละลายโลหะหนักผสม

จากการวิเคราะห์สารละลายไอออนโลหะผสมโดยการเตรียมสารละลายตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 แล้วปรับ pH ให้ได้ pH 5 จากนั้นนำไปเขย่าที่อุณหภูมิ 30 และ 60 เซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที แล้วทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลาต่าง ๆ จนครบ 5 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายส่วนที่ใสไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

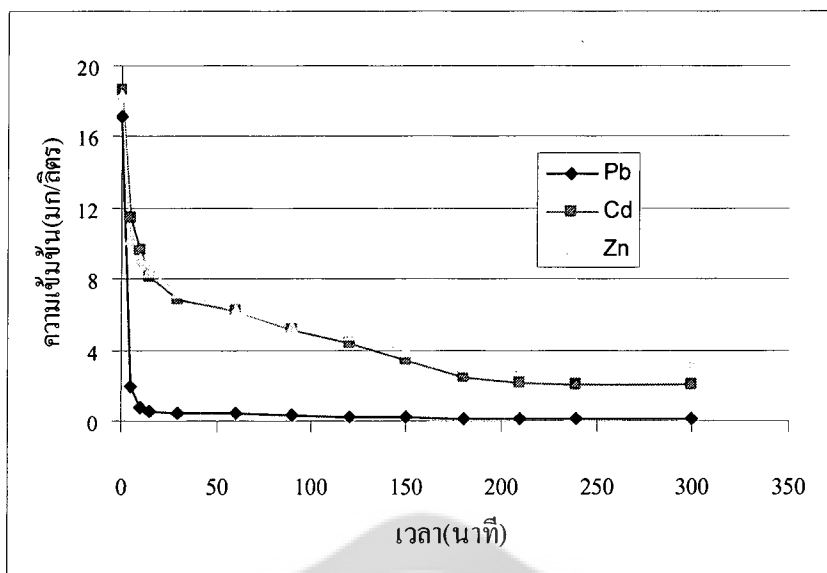
จากผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการแข่งขันดูดซับโลหะที่อุณหภูมิ 30 เซลเซียสจากสารละลายโลหะผสมโดยเรียงตามลำดับได้ดังนี้คือ $Pb > Cd > Zn$ โลหะตะกั่วถูกดูดซับได้ 98.32% โลหะแคดเมียมถูกดูดซับได้ 84.60% และโลหะสังกะสีถูกดูดซับได้ 79.16% ดังรูปที่ 4.9 และเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส ไอออนโลหะตะกั่วถูกดูดซับได้ 99.16% ไอออนโลหะแคดเมียมถูกดูดซับได้ 89.04% และไอออนโลหะสังกะสีถูกดูดซับได้ 83.15% ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสีที่มีอยู่ในสารละลายที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 เซลเซียส เมื่อความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกน้ำหนัก 5.00 กรัม ที่ pH 5



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของไอออนโลหะผสมของโลหะตะกั่ว แคดเมียม และ สังกะสีที่เวลาต่าง ๆ ในอัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50:50:50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิก 5.00 กรัม pH 5 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30เซลเซียส



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนโลหะผสมของโลหะตะกั่ว,แคดเมียม และ สังกะสี ที่เวลาต่าง ๆ ในอัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50:50:50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เซรามิกส์ 5.00 กรัม pH 5 ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 60เซลเซียส

4.5 การศึกษาแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich

เนื่องจากประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะของเซรามิกส์นั้น สามารถพิจารณาได้จากค่า ปริมาณสารที่ดูดซับสูงสุดต่อน้ำหนักสารตัวดูดซับ(V_m)ของแบบจำลองการดูดซับโลหะของแลงเมียร์ (Langmuir) และค่า n ของแบบจำลองการดูดซับไอออนโลหะของฟรอนด์ลิช (Freundlich) โดยใช้ค่า Correlation index(R^2)ในการบอกว่าเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไอออนโลหะโดย สมการสำหรับการดูดซับทั้ง 2 แบบจะแสดงอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง คือ

1. Langmuir adsorption isotherm

$$\frac{C_x}{V} = \frac{C_x}{V_m} + \frac{1}{KV_m}$$

เมื่อ V = ค่าปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารตัวดูดซับ

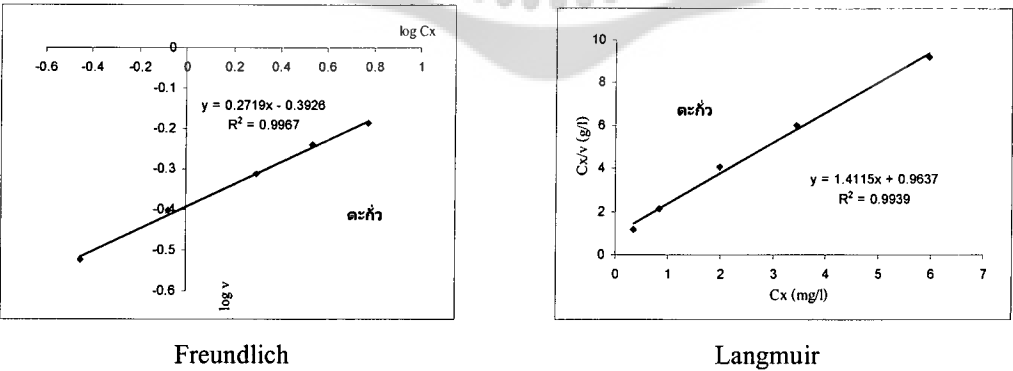
V_m = ค่าปริมาณสารที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อน้ำหนักสารตัวดูดซับ
 C_x = ความเข้มข้นสารที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สมดุล

2. Freundlich adsorption isotherm

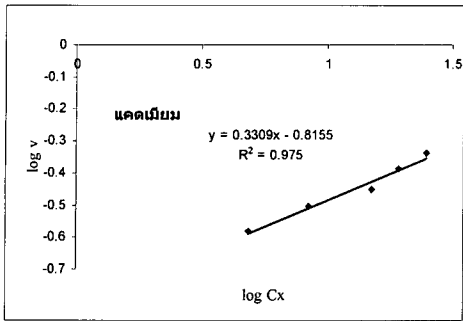
$$\log V = \frac{1}{n} \log C_x + \log K$$

เมื่อ n, K = ค่าคงที่ใดๆ

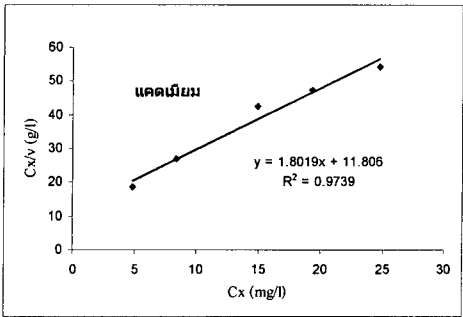
จากการทดลองจะสามารถหาค่า C_x และ V ก็สามารเขียนกราฟหาค่า V_m และหาค่า K ได้สำหรับ Langmuir adsorption isotherm และหาค่า n และ K ได้สำหรับ Freundlich adsorption isotherm ในที่นี้ค่า C_x หรือค่าความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล และค่า V หรือ ค่าปริมาณไอออนโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักวัสดุดูดซับที่จุดสมดุลโดยถือว่าเวลาที่ 280 นาที 300 นาที และ 300 นาทีสำหรับการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล ตามลำดับโดยให้สารละลายมี pH 5 อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส เมื่อนำค่า C_x และค่า C_x/V จากตารางมาสร้างกราฟโดยให้ C_x เป็นแกนนอน และให้ C_x/V เป็นแกนตั้ง จะได้กราฟเส้นตรงของการดูดซับไอออนโลหะทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 – 4.16 โดยกราฟที่ได้มีค่าความชันเป็น $1/V_m$ และมีค่าจุดตัดแกนตั้ง เป็น $1/KV_m$ สำหรับ Langmuir adsorption isotherm และสำหรับ Freundlich adsorption isotherm ได้ค่าความชันเป็น $1/n$ มีค่าจุดตัดแกนตั้ง เป็น $\log K$ จากการทดลองจะพบว่าแบบจำลองการดูดซับโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีโดยใช้ชรามิกัลเป็นไปตามแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich adsorption isotherm โดยพิจารณาได้จากค่า Correlation index (R^2) ดังแสดงในรูป 4.11 ถึง รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะตะกั่วตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5

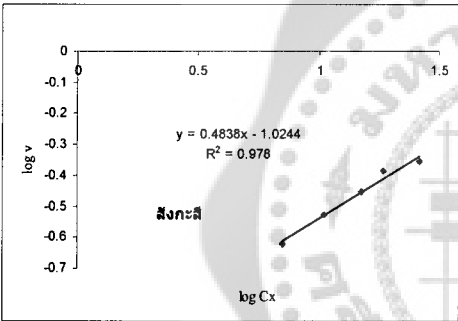


Freundlich

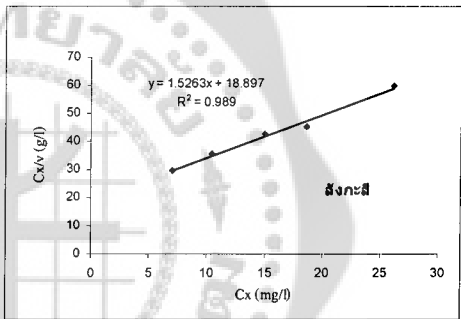


Langmuir

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะแคดเมียมตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5



Freundlich



Langmuir

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนโลหะสังกะสีตามแบบจำลอง Freundlich และ Langmuir Adsorption Isotherm ที่อุณหภูมิสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส pH 5

ตาราง 4.2 ค่า v_m ค่า n ค่า K และค่า R^2 ของการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยใช้เศษเซรามิกส์

โลหะหนัก	Langmuir Isotherm			Freundlich Isotherm		
	V_m (mg/g)	K (L/mg)	R^2	n	K (g/mg)	R^2
Pb	0.709	1.465	0.994	3.676	0.405	0.997
Cd	0.555	0.153	0.974	3.027	0.153	0.975
Zn	0.655	0.066	0.989	1.931	0.087	0.999

จากตารางพบว่าค่า R^2 ของ Freundlich Adsorption Isotherm และ Langmuir Adsorption Isotherm มีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้การดูดซับไอออนโลหะโดยใช้เซรามิกส์สามารถใช้แบบจำลองการดูดซับทั้งของ Langmuir และ Freundlich มาใช้อธิบายการดูดซับได้ โดยที่ค่า V_m คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับได้สูงสุดต่อกรัมวัสดุดูดซับของโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี มีค่าดังนี้คือ 0.709, 0.555 และ 0.655 มิลลิกรัมโลหะต่อกรัมเซรามิกส์ ตามลำดับและค่า K มีค่าดังนี้คือ 1.4747, 0.153 และ 0.066 ลิตร/มิลลิกรัมไอออนโลหะตามลำดับ สำหรับแบบจำลองของ Langmuir

ส่วนแบบจำลองของ Freundlich สามารถอธิบายได้ด้วยค่า n คือค่าที่แสดงถึงการกระทำต่อกันระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับ พบว่าค่า n ของไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี มีค่าดังนี้คือ 3.676 3.027 และ 1.931 ตามลำดับ ส่วนค่าคงที่การดูดซับ (K) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงแรงดึงดูดระหว่างไอออนโลหะหนักกับผิวของตัวดูดซับ ถ้าค่า K มีค่าสูงแสดงว่าโลหะหนักตัวนั้นมีแรงดึงดูดสูง มีการดูดซับได้ดีและเข้าสู่สมดุลได้เร็ว จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าคงที่การดูดซับของโลหะตะกั่ว โลหะแคดเมียม และโลหะสังกะสี มีค่าดังนี้คือ 0.405 0.153 และ 0.087 กรัมเซรามิกส์/มิลลิกรัมไอออนโลหะตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโลหะตะกั่วจะถูกดูดซับได้ดีที่สุดและเข้าสู่สมดุลได้เร็วที่สุด รองลงมาคือโลหะแคดเมียม และโลหะสังกะสีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งเส้นไอโซเทอร์มการดูดซับนั้น มีการดูดซับ Pb^{2+} ได้เร็วกว่า Cd^{2+} และเร็วกว่า Zn^{2+} ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองการดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีออกจากสารละลายโดยใช้เศษเซรามิกส์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เศษเซรามิกส์จากกระถางต้นไม้สามารถกำจัดไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีออกจากสารละลายได้ โดยการดูดซับโดยสามารถดูดซับไอออนโลหะตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม และดีกว่าสังกะสี โดยคิดได้ประมาณ 98% 77% และ 67% สำหรับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีตามลำดับ

2. ขนาดของเศษเซรามิกส์ที่ใช้ศึกษาที่อนุภาคอยู่ในช่วง mesh no.4 - 8 และ mesh no.8 - 16 สามารถดูดซับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีออกจากสารละลายได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งในการจะใช้ขนาดในช่วง mesh no.4 - 8

3. ค่าความเป็นกรด่างของสารละลาย(pH)มีผลต่อความสามารถในการกำจัดโดยการดูดซับ โดยจะสามารถดูดซับไอออนโลหะได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน(pH ประมาณ 4-7) ได้ประมาณ 98% 78 % และ 66% สำหรับไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีตามลำดับ ยกเว้นไอออนตะกั่วที่จะเริ่มมีการตกตะกอนที่ pH สูงกว่า 5

4. อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยพบว่าเซรามิกส์จะสามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้อุณหภูมิ 30-60 เซลเซียส

5. จากการศึกษาการแข่งขันการดูดซับระหว่างไอออนโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีออกจากสารละลายที่อุณหภูมิ 30 และ 60 เซลเซียส พบว่าเซรามิกส์สามารถดูดซับไอออนโลหะหนักได้เรียงตามลำดับดังนี้คือ $Pb > Cd > Zn$ ที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 30 เซลเซียส ไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้สูงสุดประมาณ 98.32% แคดเมียมถูกดูดซับได้ 84.60% และสังกะสีถูกดูดซับได้ 79.16% และที่อุณหภูมิของสารละลายเท่ากับ 60 เซลเซียส ไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้ 99.16% แคดเมียมถูกดูดซับได้ 89.04% และสังกะสีถูกดูดซับได้ 83.15% ซึ่งการดูดซับไอออนโลหะหนักจะมีความสัมพันธ์กับค่าElectro-negativities โดยที่โลหะตะกั่วจะมีค่า Electronegativities สูงที่สุด ส่วนโลหะแคดเมียมและสังกะสี พบ

จะมีค่า Electronegativities ใกล้เคียงกัน จึงทำให้การดูดซับสารละลายโลหะหนักผสมโลหะตะกั่วจึงถูกดูดซับได้ดีที่สุด ส่วนโลหะแคลเซียมและสังกะสี จะถูกดูดซับได้ใกล้เคียงกัน

6. การศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามทฤษฎีของ Langmuir และ Freundlich พบว่าในการ ดูดซับ ไอออนโลหะตะกั่ว แคลเซียม และสังกะสีออกจากสารละลายโดยใช้เศษเซรามิกส์สามารถใช้แบบ จำลองการดูดซับได้ทั้ง 2 แบบ คือ Langmuir และ Freundlich Adsorption Isotherm โดยที่แบบจำลองการดูดซับของ Langmuir โลหะที่ถูกดูดซับได้เร็วและสามารถเข้าสู่สมดุลได้เร็วเรียงตามลำดับดังนี้คือ ไอออนตะกั่ว แคลเซียม และสังกะสี ตามลำดับ และแบบจำลองของ Freundlich ก็พบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกัน

ในการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยใช้เศษเซรามิกส์จากกระถางต้นไม้ พบว่าเศษเซรามิกส์สามารถดูดซับไอออนโลหะหนักได้ดีพอสมควร ซึ่งเซรามิกส์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและอาจใช้เซรามิกส์จากเศษกระถางที่แตกหักมาใช้ในการดูดซับเนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างต่ำ และเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ประโยชน์

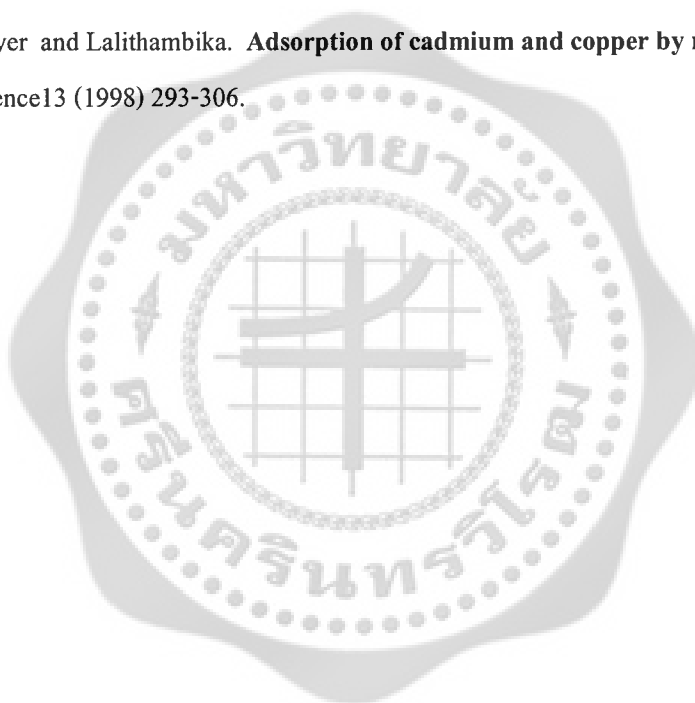
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง กับโลหะหนัก เช่น โรงงานทำถ่านไฟฉาย, โรงงานชุบโลหะ ฯลฯ เนื่องจากในน้ำทิ้งจะมีไอออนของโลหะหนักหลายชนิด
2. ควรมีการศึกษาตัวดูดซับชนิดอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ
3. ควรมีการศึกษาการชะไอออนโลหะหนักออกจากตัวดูดซับเพื่อเป็นการนำเศษเซรามิกส์ กลับมาใช้ใหม่
4. ควรมีการปรับสภาพผิว (Modify) ของเศษเซรามิกส์เพื่อให้สามารถดูดซับได้ดีมากขึ้น (ประสิทธิภาพสูง)

บรรณานุกรม

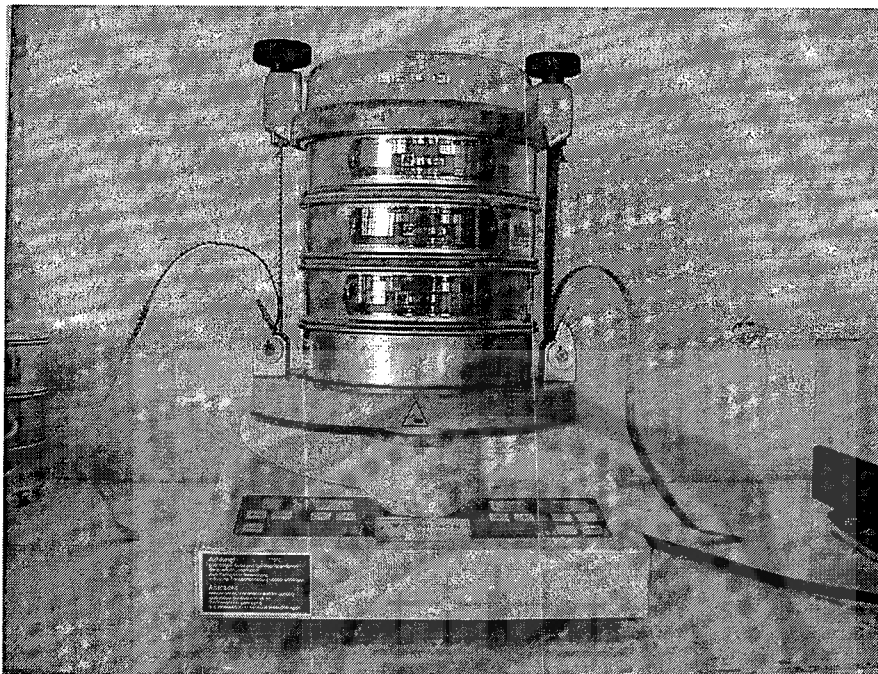
1. ชฎิล ฉายรังสี, เมธี ชลไมตรี และสุนทรี เพ็องฟู, 2541, การดูดซับโลหะหนักด้วยวัสดุชีวมวลขึ้นรูปด้วยดินเหนียว วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า132
2. ศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์ สวนิต เจริญรุ่ง กฤษฎา โฉมฉาย และ อรรถพร ช้อยประเสริฐ. ผลขององค์ประกอบของเซรามิกส์ต่อการกำจัดอออนโลหะหนักจากสารละลาย. ตีพิมพ์เผยแพร่ในเอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 พ.ศ. 2546
3. ศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์ วันเพ็ญ เบญจพันธ์ อภิรติ รัศมี และ ภัทราภรณ์ บุรพลชัย. ผลของอุณหภูมิที่เผาเซรามิกส์ต่อการกำจัดอออนโลหะหนักจากสารละลาย. ตีพิมพ์ เผยแพร่เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 พ.ศ. 2546
4. Bodin Hinrunyopakorn, Siriwan Srisorrachatr and Sinsupha Chuichulcherm. **Removal of Heavy Metal Ions from Synthetic Wastewater using Earthenware Chips.** In Conference of “The 3rd Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium” April 6-9 2005
5. Y.S Ho and G. Mckey. **The Sorption of Lead (II) ions on Peat,** Water Resource, vol.33, no.2, pp. 578-584, 1999.
6. A. Mellah And S. Chegrouche. **The removal of Zinc from aqueous solutions by natural bentonite ,**Water Research Val.31 ,No.30 ,pp. 621-629 ,1997
7. Mohammad Ajmal, Rifaqat A.K. Rao, Rais Ahmad, Jameel Ahmad and Liaqat A.K. Rao. **Rmoval and recovery of heavy metals from eletroplating wastewater by using Kyanite as an adsorbent,** Journal of hazardous materials B87 (2001) 127-137 .
8. M. Prasad, S.Saxena, and S.S. Amritphale. **Adsorption models for sorption of lead and zinc on francolite mineral,** Ind. Eng.Chem. Res.2002 41, 105-111.
9. Su-Hsia lin and Ruey- Shin Juang. **Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite.** Journal of hazardous materials B92 (2002) 315-326.
10. K. Vinod. Gupta and Saurabh sharma. **Removal of Cadmium and Zinc from aqueous solutions by Red Mud,** Environmental Science Technology. 2002, 36, 3612-3617.

11. Siriwan Srisorrachatr. **Removal of Heavy Metal Ions from Solution by Adsorption using Waste-Ceramics.** In Conference of Sixth International Symposium on Environmental Biotechnology and Fourth International Symposium on Cleaner Bioprocess and Sustainable Development, June, 2002, Mexico.
12. Siriwan Srisorrachatr. **Use of Ceramics for Heavy Metal Ion Removal from Synthetic Wastewater.** In Conference of “The Biennial Symposium International Society of Environmental Biotechnology, 18-21 June, 2004, Chicago, Illinois, USA.
13. G.Suraj , C.S.P. Iyer and Lalithambika. **Adsorption of cadmium and copper by modified kaolinite.** Applied Clay Science13 (1998) 293-306.

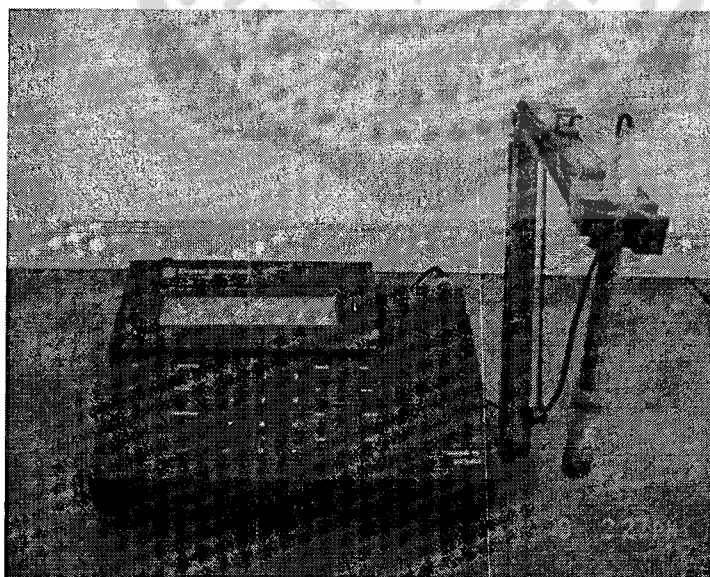


ภาคผนวก (Appendix)

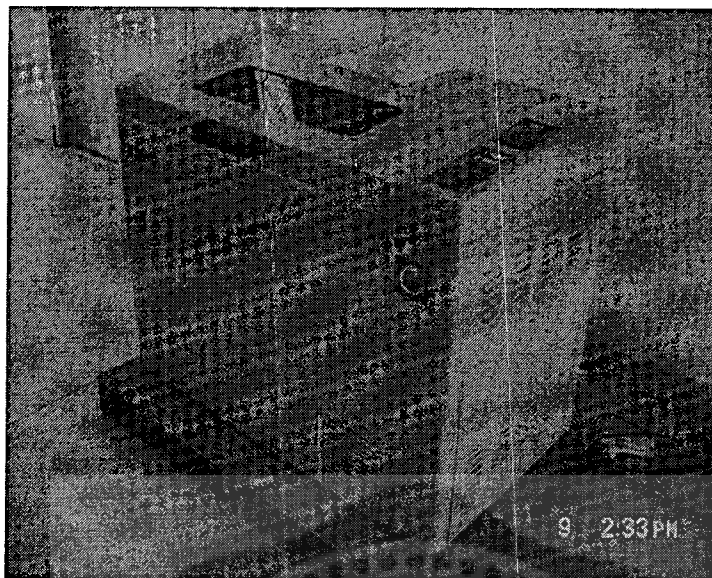
ภาคผนวก ก. เครื่องมือที่ใช้การทำงานวิจัย



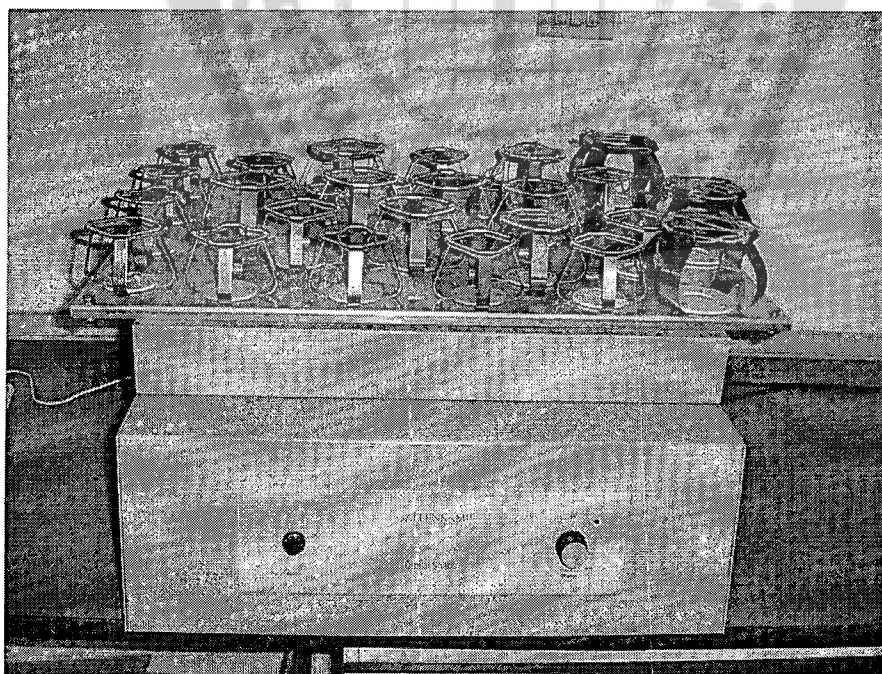
รูปที่ ก.1 แสดงเครื่องกัดขนาด Gilson 5550/5550A



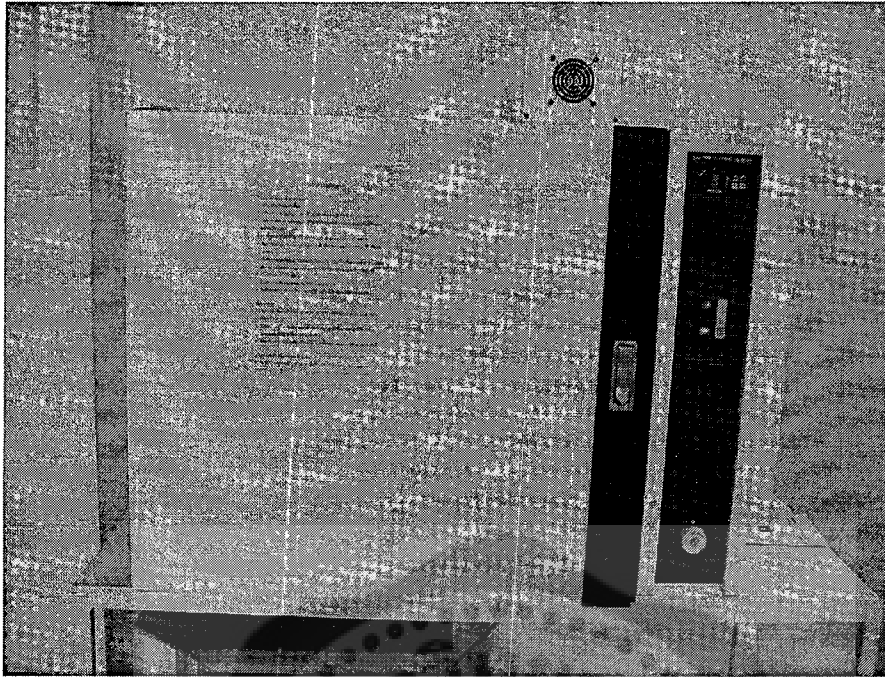
รูปที่ ก.2 เครื่อง pH Meter ยี่ห้อ Denver Instrument model 15



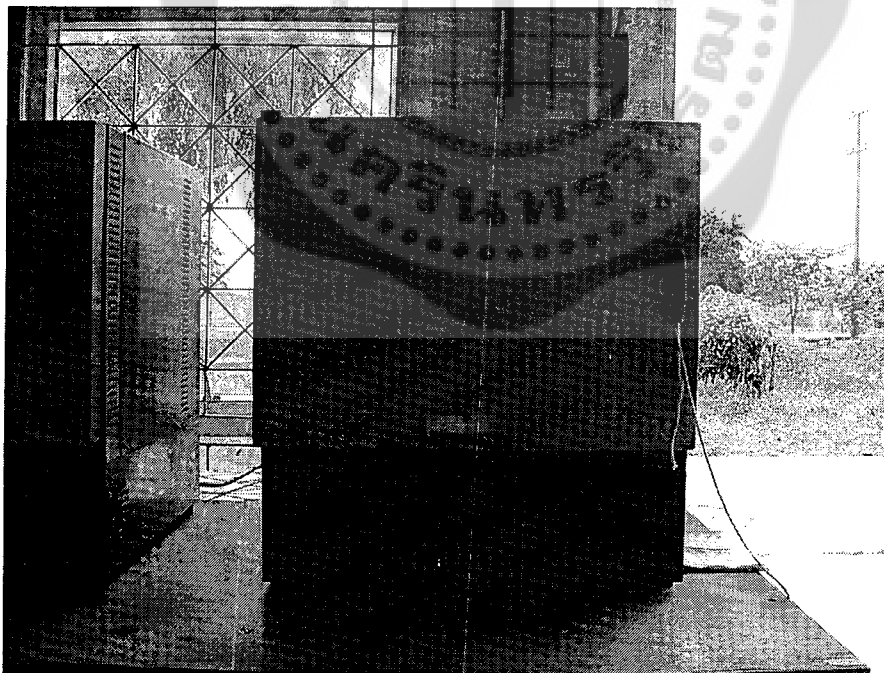
รูปที่ ก.3 เครื่องเขย่ายี่ห้อ Sanyo Orbital Incubator



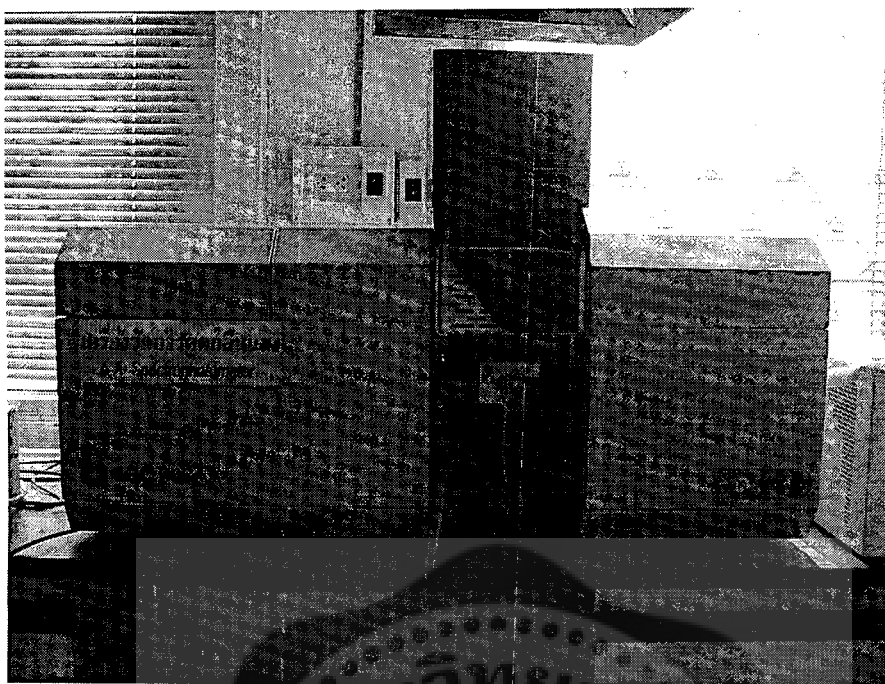
รูปที่ ก.4 แสดงเครื่องเขย่า Gallenkamp Orbital Shaker



รูปที่ ก.5 แสดงตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ ก.6 แสดงเตาเผาไฟฟ้า Fisher Scientific Isotemp Muffle Furnace



รูปที่ ก.7 แสดงเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)/JBC908AA



ภาคผนวก ข.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ นางศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์
Mrs. Siriwan Srisorrachatr
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9
3. หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
อ.องครักษ์ จ. นครนายก 26120 โทรศัพท์ 02-664-1000 ต่อ 2069 โทรสาร 037-322-608
e-mail: siriwans@swu.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
วท.บ.(เคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ.2523
วท.ม.(เคมีฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2525
ปร.ด. (เคมีเชิงฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2531
5. ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ระดับ 9 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สิ่งแวดล้อม การแยกสาร
7. งานวิจัยและตีพิมพ์

1. **Wastewater Treatment by Dissolved-Air Floatation for Dyestuff Plant.** In Conference of Regional Symposium on Chemical Engineering 1999, November 22-24, 1999, Songkla, Thailand.

2. **Anaerobic Wastewater Treatment by UASB Reactor.** In Conference of Chemical and Process Engineering Conference (CPEC) in conjunction with Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE), December 2000, Singapore.

3. **Removal of Heavy Metal Ions from Solution by Adsorption using Waste-Ceramics.** In Conference of Sixth International Symposium on Environmental Biotechnology and Fourth International Symposium on Cleaner Bioprocess and Sustainable Development, June 2002, Mexico.

4. ผลขององค์ประกอบของเซรามิกส์ต่อการกำจัดอิมัลชันไขมันจากสารละลาย พิมพ์ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ที่ Royal Hill Resort and Golf Course จ. นครนายก ระหว่าง วันที่ 30-31 ตุลาคม 2546

5. ผลของอุณหภูมิที่เผาเซรามิกส์ต่อการกำจัดอิมัลชันไขมันจากสารละลาย พิมพ์ใน เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ที่ Royal Hill Resort and Golf Course จ. นครนายก ระหว่าง วันที่ 30-31 ตุลาคม 2546

6. การปรับปรุงและเพิ่มมูลค่าแกลบเป็นปุ๋ย/วัสดุปลูก ได้รับทุนวิจัยจากโครงการเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน ปี 2547

