



การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

พิสมัย ตีละบาล

พัชรินทร์ ยัญติ

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีการศึกษา 2563

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

พิสมัย ตีละบาล

พัชรินทร์ ยัญติ

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ปีการศึกษา 2563

หัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์
โดย	พิสมัย ตีละบาล พัชรินทร์ ยัญติ
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีการศึกษา	2563

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
อนุมัติให้โครงการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉาติศา เนียมมณี)
หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการการสอบโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวพันธุ์ ชูอินทร์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณบรรจบ อภิรติกุล)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนาวลัย อุฑารสกุล)

ประธานกรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

กรรมการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณบรรจบ อภิตติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้คำแนะนำและช่วยเหลือแนะ ขอบขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนาวลัย อุฑารสกุล กรรมการคุมสอบที่ให้ความช่วยเหลือคำปรึกษาที่ดี ข้อเสนอแนะและข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการวิจัยที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ ประธานกรรมการสอบโครงการวิจัยที่ได้กรุณาให้คำแนะนำโครงการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ ในการศึกษาวิจัยและทดลอง

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ แรงใจสนับสนุนและช่วยเหลือทุกสิ่งอย่างตลอดมา ขอบคุณเพื่อนสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยจนโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2563

หัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์
โดย	พิสมัย ดิละบาล พัชรินทร์ ยัญติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. รณบรรจบ อภิรติกุล
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ 2) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับ จากการศึกษาพบว่า 1) ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด (ขนาดอนุภาคระหว่างรูตะแกรงขนาด 20-40 เมช) จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร สำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับของถ่านที่ผ่านการคัดขนาดและไม่ผ่านการคัดขนาด ไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุดประมาณ 1.6 มิลลิกรัมต่อกรัม 2) เมื่อใช้เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 3 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะเริ่มคงที่ โดยจะคงที่ตั้งแต่เวลา 30 นาทีเป็นต้นไป สำหรับทุกๆการทดลอง (ถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด และความเข้มข้นเริ่มต้น 1 และ 2 มิลลิโมลาร์) แสดงให้เห็นว่า ระบบได้เข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที 3) ผลของขนาดอนุภาคถ่านกัมมันต์ ไม่มีผลการดูดซับสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาต่างๆ แต่มีผลต่อการดูดซับสารละลายตะกั่ว ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการคัดขนาด จะมีปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่คัดขนาด อย่างมีนัยสำคัญ 4) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายตะกั่ว จาก 1 มิลลิโมลาร์ เป็น 2 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ สูงสุดประมาณ 2.4 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : จลนพลศาสตร์, การดูดซับ, ตะกั่ว, ถ่านกัมมันต์

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
แผนการดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
การดูดซับ	5
สมดุลการดูดซับ	7
ถ่านกัมมันต์	8
โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	8
คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์	9
วัตถุดิบหลักในการผลิตถ่านกัมมันต์	10
โลหะหนัก	11
ตะกั่ว	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
พื้นที่ทำการวิจัย	21
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การเก็บรวบรวมข้อมูล	22
ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	22
การวิเคราะห์ข้อมูล	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)	28
ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ (ร้อยละของความเข้มข้น)	29
ผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)	30
ผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ (ร้อยละของความเข้มข้น)	31
ผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)	32
ผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ (ร้อยละของความเข้มข้น)	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	34
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	34
ผลการวิจัย	35
ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แผนการดำเนินการวิจัย	4
2	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้โลหะหนัก	12
3	ชนิดโลหะหนัก และระดับอนุญาตให้ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ในแหล่งน้ำผิวดิน	16
4	สารละลาย Buffer ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)	23
5	สารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 1-2 มิลลิโมลาร์ (mM)	23

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการดูดซับ	6
2	ลักษณะของถ่านกัมมันต์	8
3	ลักษณะของตะกั่ว	13
4	แผนภาพการศึกษาขั้นตอนการทดลองปัจจัยด้านเวลาในการดูดซับ	25
5	แผนภาพการศึกษาผลของปัจจัยด้านอนุภาคถ่านที่มีต่อการดูดซับ	26
6	แสดงผลของเวลาต่อการดูดซับ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)	28
7	แสดงผลของเวลาต่อการดูดซับ (ร้อยละของความเข้มข้น)	29
8	แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	30
9	แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับตะกั่ว (ร้อยละของความเข้มข้น) ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	31
10	แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์	32
11	แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับ (ร้อยละของความเข้มข้น) ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์	33

บทที่1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตน้ำถูกนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค และน้ำเมื่อใช้แล้วก็จะถูกปล่อยทิ้ง ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอีกครั้งหนึ่งระบบหมุนเวียนดังกล่าว ได้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อถูกนำมาใช้ในภาคครัวเรือนการเกษตร และการอุตสาหกรรม ในอัตราสูงและถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ในลักษณะของน้ำเสียที่มีปริมาณมากเกินขีดความสามารถที่แหล่งน้ำธรรมชาติจะปรับตัวได้ทันทำให้แหล่งน้ำของประเทศไทยมีสภาพเสื่อมโทรมซึ่งหากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้ผ่านการบำบัดหรือบำบัดไม่ดีพอ จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำและน้ำใต้ดินและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์โดยตรง เป็นสาเหตุการเจ็บป่วยและเสียชีวิตลงได้

โดยแหล่งน้ำเสียประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญและมีผลกระทบกับมนุษย์โดยตรงคือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตโลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติซึ่งมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ใน ดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมที่อยู่ในสัตว์น้ำ โลหะหนักที่เกิดขึ้น เช่น แคดเมียม ปรอท โครเมียม ตะกั่ว สารหนู สังกะสี ที่มักเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากสารปราบศัตรูพืชทางการเกษตร เมื่อถูกปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำที่มีการสะสมของโลหะหนักเหล่านั้นในปริมาณที่สูง เช่น เกิดโรคมะเร็ง โรคไต โรคหัวใจ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการบริโภคปลาที่มีสารปรอทและแคดเมียมปนเปื้อน นอกจากนี้ สารโลหะหนักในน้ำยังอาจส่งผลทำให้มนุษย์ที่นำน้ำมาบริโภคได้รับผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคกระดูกพรุน โรคระบบประสาท เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีกักกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีพื้นที่ผิวสูง เพื่อให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ของเหลว และก๊าซได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพแล้ว นำกลับมาใช้ซ้ำได้ โดยเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด เพื่อลดขั้นตอนในการผลิตมาทำการทดลองเชิงวิจัยในครั้งนี้โดยผู้วิจัย จะทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์
2. เพื่อให้ทราบผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ทำการศึกษาเฉพาะการดูดซับโลหะหนักในรูปของสารละลายแบบหนึ่งองค์ประกอบเท่านั้น
2. ใช้สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตด/กรดแอสติคในการควบคุมความเป็นกรด-ด่างเท่านั้น โดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ร่วมกับสารละลายโลหะหนัก

ขอบเขตด้านตัวแปร

สำหรับวัตถุประสงค์ข้อ 1. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์

ตัวแปรอิสระ

- (1) ระยะเวลาในการดูดซับที่เวลา 60 นาที
- (2) ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ (mM)
- (3) ปริมาณถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10 กรัม

ตัวแปรตาม

ปริมาณตะกั่วที่อยู่ในถ่านกัมมันต์

ตัวแปรควบคุม

- (1) อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- (2) ความเป็นกรดต่างของสารละลาย (pH) ที่ 5 หน่วย
- (3) สารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ (mM)
- (4) น้ำหนักวัสดุดูดซับ ปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10 กรัมต่อปริมาตรน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร

สำหรับวัตถุประสงค์ข้อ 2. ผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับ (โดยศึกษา 2 ปัจจัย)

2.1 เพื่อศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ

2.2.1 ตัวแปรอิสระ

ระยะเวลาในการดูดซับที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที

2.2.2 ตัวแปรตาม

ปริมาณตะกั่วที่อยู่ในถ่านกัมมันต์

2.1.3 ตัวแปรควบคุม

- (1) ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ (mM) และ 2 มิลลิโมลาร์ (mM)
- (2) ปริมาณถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด 3 กรัม
- (3) อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- (4) ความเป็นกรดต่างของสารละลาย (pH) ที่ 5 หน่วย
- (5) สารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ (mM)
- (6) น้ำหนักวัสดุดูดซับ ปริมาณ 3 กรัมต่อปริมาตรน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร

2.2. เพื่อศึกษาผลของอนุภาคของถ่านที่มีต่อการดูดซับ

2.2.1 ตัวแปรอิสระ

ปริมาณถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด

2.2.2 ตัวแปรตาม

ปริมาณตะกั่วที่อยู่ในถ่านกัมมันต์

2.2.3 ตัวแปรควบคุม

- (1) ระยะเวลาในการดูดซับที่เวลา 60 ,120 และ 180 นาที
- (2) ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 1 mM และ 2 mM
- (3) อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที
- (4) ความเป็นกรดต่างของสารละลาย (pH) ที่ 5 หน่วย
- (5) สารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์
- (6) น้ำหนักวัสดุดูดซับ ปริมาณ 3 กรัมต่อปริมาตรน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร

ขอบเขตด้านพื้นที่

ดำเนินงานทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและศูนย์วิทยาศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาเป็นสถานที่ทำการทดลองตลอดการทำการวิจัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาการศึกษาวิจัยและเก็บข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย เริ่มต้นตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ 2563 ถึง กันยายน 2563

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

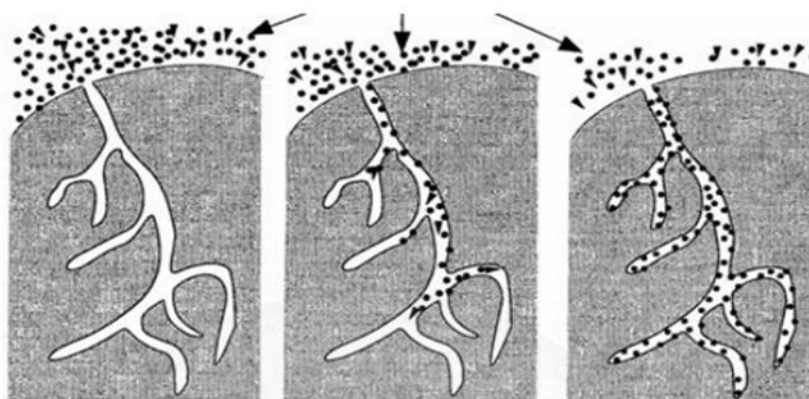
ในการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ ผู้วิจัยได้รวบรวมและเรียบเรียงเนื้อหาทางวรรณกรรมตลอดจนเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การดูดซับ (Adsorption)
2. สมดุลการดูดซับ
3. ถ่านกัมมันต์
4. โครงสร้างของถ่านกัมมันต์
5. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์
6. วัตถุดิบหลักในการผลิตถ่านกัมมันต์
7. โลหะหนัก
8. ตะกั่ว
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการแยกสิ่งปนเปื้อน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถออกแบบได้ง่าย สามารถใช้ได้ทั้งกับระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) และระบบแบบเป็นช่วง (Batch Process) มีค่าใช้จ่ายน้อย มีช่วงความเข้มข้น ของสารมลพิษที่สามารถกำจัดได้กว้าง 71 โดยการดูดซับนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวอันเป็นผลมา จากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของมลสารที่ผิวของตัวดูดซับ หรือบริเวณผิวหน้าที่ต่อเชื่อมกัน (Interface) ระหว่าง 2 ภูมิภาค ซึ่งการดูดซับสามารถเกิดได้ทั้งในกรณีของก๊าซและของเหลว โดยอะตอม ของสารที่บริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับทำให้เกิดเป็นแรงเนื่องจากความไม่สมดุลของความเข้มข้นที่พื้นผิว โดยส่วนที่เกิดการดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) และสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) 53 ซึ่งการถูกดูดซับของก๊าซจะเกิดขึ้นเมื่อผิวของของแข็งสัมผัสกับก๊าซหรือไอซึ่งจะส่งผล ให้โมเลกุลบางโมเลกุลเกิดการดูดซับ โดยในช่วงแรกอัตราการดูดซับจะเกิดขึ้นได้มากเนื่องจากโพรง ที่ว่างบนผิวของตัวดูดซับ และจะลดลงตามพื้นผิวที่ถูกปกคลุมด้วยสารถูกดูดซับ ทั้งนี้ปริมาณการดูดซับที่สมดุลจะขึ้นกับความดันของก๊าซ และอุณหภูมิของการดูดซับซึ่งสมดุลการดูดซับนี้สามารถ แสดงเป็นไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption

Isotherm) หลายแบบ ซึ่งรูปแบบไอโซเทอมที่สำคัญ คือ สมการไอโซเทอมของ แลงเมียร์ ฟรอนลิช และ BET53 ซึ่งในการดูดซับอนุภาคของสารถูกดูดซับจะ ถูกดูดติดกับผิววัตถุที่เป็นของแข็งทำให้สามารถแยก ก๊าซหรือไอของสารออกจากอากาศเสียที่ปล่อยออก จากแหล่งกำเนิดได้ ทั้งนี้ตัวดูดซับมักจะเป็นวัสดุ ของแข็งที่มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งโดยทั่วไปมักจะนำเทคโนโลยีการดูดซับไปประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุม สารประกอบอินทรีย์ โดยสารประกอบอินทรีย์ที่มี โมเลกุลมากกว่า 45 มักเป็นสารถูกดูดซับที่ดี โดย ตัวดูดซับส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ 72 โดยกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้น อย่างเป็น ขั้นตอน โดยในขั้นแรกเป็นการแพร่กระจายของโมเลกุลสารถูกดูดซับเข้าสู่ผิวของตัวดูดซับ ในขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลสารถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากพื้นที่เล็กๆ ของผิวของตัวดูดซับที่มีขนาดเพียง 2-3 ตารางเมตรต่อกรัม ไปยังโพรงรูพรุนภายในของตัวดูดซับ ซึ่งการดูดซับจะเกิดในโพรงรูพรุนเหล่านี้ เนื่องจากมี ความเหมาะสมระหว่างรูปร่างของโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับลักษณะของพื้นที่ผิวภายใน โพรงรูพรุนของ สารดูดซับซึ่งมีขนาดหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม และในขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของสารถูก ดูดซับจะเกิด การเกาะติดที่ผิวในโพรงรูพรุน



ภาพที่ 1 กลไกการดูดซับ

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

กระบวนการในการดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากแรง ดึงดูด ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับโดยไม่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน จึง

สามารถย้อนกลับได้ ทั้งนี้ตำแหน่งที่เกิดการดูดซับทางกายภาพจะไม่มี ความจำเพาะเจาะจง โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถจับหรือเกาะได้ทั่วทั้งพื้นผิวบริเวณใดก็ได้ อย่างอิสระ ซึ่งค่าความร้อนที่เกิดจากกระบวนการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าน้อย (ประมาณ 100 cal/mol) 72 โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ทั้งแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น 54 ทั้งนี้สำหรับถ่านกัมมันต์ปกติที่ไม่ผ่านการปรับสภาพการดูดซับสารมลพิษมักจะเกิดขึ้นโดยกระบวนการดูดซับทางกายภาพเนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารองค์ประกอบที่ถูกดูดซับหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) 73 แต่ผลจากการปรับสภาพจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ลดลง

1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นผลจากการที่เกิดการ แลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนทำให้เกิดการยึดเกาะโดยพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและสาร ถูกดูดซับทำให้ยากต่อการกลับสู่สภาพเดิมหรือย้อนกลับไม่ได้ โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับ แบบชั้นเดียวซึ่งจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับเท่านั้นโดยไม่มีการดูดซับบนชั้นของโมเลกุลของสาร ถูกดูดซับที่สะสมอยู่บนผิวของตัวดูดซับ 54 ซึ่งมีค่าความร้อนที่เกิดจากกระบวนการดูดซับค่อนข้างสูง (< 10 kcal/mol) 72 ทั้งนี้การปรากฏอยู่ของหมู่ฟังก์ชันนอกที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะทำให้เกิดการ ดูดซับสารมลพิษ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยกระบวนการดูดซับทางเคมี

2. สมดุลการดูดซับ

สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของมวลสารซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวที่ถูกดูดซับในวัฏภาคของเหลวกับความเข้มข้นของตัวที่ถูกดูดซับบนวัฏภาคของแข็ง กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆโดยสารที่ถูกดูดซับและมีการครายการดูดซับไปพร้อมกันซึ่งสมดุลจะขึ้นเมื่ออัตราดูดซับและการครายการดูดซับเท่ากันการวัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆโดยการแสดงด้วยรูปกราฟเรียกว่าไอโซเทอมการดูดซับซึ่งเป็นตัวแทนในการอธิบายการกระจายตัวของสารที่ถูกดูดซับ ระหว่างวัฏภาคของของเหลวและของแข็งโดยอัตราการกระจายตัวนี้ดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่งและจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับอ่อนลงเนื่องจากตำแหน่งพื้นผิวมีน้อยลงแต่อาจยังสามารถดูดซับโมเลกุลตัวที่ถูกดูดซับได้โดยทำให้เกิดเป็นการดูดซับชั้นที่สองหรือชั้นที่สามเกิดขึ้นซึ่งอาจเกิดการดูดซับชั้นที่สองก่อนที่ชั้นแรกจะเต็มทุกตำแหน่งและในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับหลายชั้นซ้อนสูงขึ้นไปรูปล่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ

3. ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่ผลิตได้จากการนำวัสดุทางธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการกระตุ้นจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) โดยประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 80-90 และธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบร่วมเพียงเล็กน้อย เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน ธาตุที่เป็น องค์ประกอบเหล่านี้วิเคราะห์โดยเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Elemental analysis, EA) (Mestre et al., 2014)



ภาพที่ 2 ลักษณะของถ่านกัมมันต์

ที่มา : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2552)

4. โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

โครงสร้างถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) คือ มีอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวเป็นชั้นแต่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบน้อยกว่า มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์และอะตอมในชั้นเดียวกันจะยึดเหนี่ยวกันด้วย พันธะโควาเลนต์ โดยในแต่ละชั้นประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นโครงสร้างรูปหกเหลี่ยม มีความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 0.144 นาโนเมตร และแต่ละชั้นห่างกัน ประมาณ 0.335 นาโนเมตรทั้งนี้ ถ่านกัมมันต์สามารถเตรียมได้จากถ่านที่ได้จากการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากวัสดุตั้งต้นโดยอาศัยความร้อนในกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) โดยในระหว่าง กระบวนการจะเกิดการเผาไหม้เพื่อสลายอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน โดยอะตอมเหล่านี้จะถูก

กำจัดออกในรูปของก๊าซเหลือเพียงอะตอมของคาร์บอนที่มี การจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนเชื่อมโยกันอย่างไม่เป็นระเบียบเกิดเป็น ช่องว่างหรือโพรงซึ่งเป็นที่อยู่ของสารจำพวกทาร์และสารอื่นๆ ที่เกิดขึ้นหรือเหลือจากการเผาผลาญ โดยช่องว่างหรือโพรงเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับหลังจากผ่าน กระบวนการกระตุ้นเพื่อกำจัดสารในโพรงที่จะขัดขวางการดูดซับ ซึ่งความพรุนของถ่านกัมมันต์เป็น ผลจากปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ โครงสร้างโดยธรรมชาติของวัตถุดิบตั้งต้น สภาพะในการผลิต และองค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น44 ทั้งนี้ในการใช้งานเพื่อการดูดซับรูพรุนและขนาดของรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งสัมพันธ์กับความเหมาะสมในการใช้งาน เช่น การใช้งานเพื่อการ ดูดซับก๊าซหรือไอขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีขนาดน้อยกว่า 20 อังสตรอม ในขณะที่การใช้เพื่อการกำจัดสีในน้ำขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีขนาด 20-500 อังสตรอม

5. คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติแตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่น คือพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีความเป็นขั้วเล็กน้อย เนื่องจากมีกลุ่มฟังก์ชันของออกไซด์หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic) ปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานอยู่หลายประการ ดังต่อไปนี้ (กษิต แหลมทองมงคล, 2551)

5.1 มีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง ถ่านกัมมันต์เป็นโครงสร้างของคาร์บอนที่มีความขรุขระบนพื้นผิวสูง ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สามารถสัมผัสกับสารอื่นจากของไหลได้มากพอที่จะเกิดแรงจับทางกายภาพ หรือเกิดเป็นพันธะเคมีขึ้นมาได้ภายในอนุภาคของถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายรูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่เหมาะกับการดูดซับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากทำให้พื้นที่ผิวยานอกมาก ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์เหมาะสำหรับดูดซับสารอินทรีย์มากกว่าสารอื่น ในปัจจุบันสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 ตารางเมตรต่อกรัม จนกระทั่งมากกว่า 3,000 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงมาก

5.2 สามารถทำการบำบัดเพื่อคืนสภาพแล้วนำมาใช้งานซ้ำได้ ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีค่าความร้อนในการดูดซับต่ำ (Heat of adsorption) หรือจะมีแรงดึงดูดของการดูดซับต่ำกว่าสารดูดซับชนิดอื่น จึงสามารถดึงเอาสารที่ถูกดูดซับออกมาจากผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย ทำให้ใช้พลังงานในการเผาไหม้เพื่อสลายอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน โดยอะตอมเหล่านี้จะถูกกำจัดออกในรูปของก๊าซเหลือเพียงอะตอมของคาร์บอนที่มี การจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่ละชั้น

ประกอบด้วยวงแหวนเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบเกิดเป็น ช่องว่างหรือโพรงซึ่งเป็นที่อยู่ของสารจำพวกทาร์และสารอื่นๆ ที่เกิดขึ้นหรือเหลือจากการเผาผลาญ โดยช่องว่างหรือโพรงเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับหลังจากผ่าน กระบวนการกระตุ้นเพื่อกำจัดสารในโพรงที่จะขัดขวางการดูดซับ ซึ่งความพรุนของถ่านกัมมันต์เป็น ผลจากปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ โครงสร้างโดยธรรมชาติของวัตถุดิบตั้งต้น สภาพะในการผลิต และองค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น44 ทั้งนี้ในการใช้งานเพื่อการดูดซับรูพรุนและขนาดของรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งสัมพันธ์กับความเหมาะสมในการใช้งาน เช่น การใช้งานเพื่อการ ดูดซับก๊าซหรือไอขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีขนาดน้อยกว่า 20 อังสตรอม ในขณะที่การใช้เพื่อการกำจัดสีในน้ำขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีขนาด 20-500 อังสตรอม

5.3 สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องกำจัดความชื้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วเล็กน้อย ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์มีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือสามารถดูดซับน้ำได้น้อยเมื่อเทียบกับการดูดซับอินทรีย์และสารที่มีขั้ว ถ่านกัมมันต์จึงเป็นสารดูดซับเพียงชนิดเดียวในท้องตลาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและในสภาวะจริงซึ่งมีความชื้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนใช้งาน

5.4 สามารถผลิตได้จากวัสดุราคาถูก วัตถุดิบของการผลิตถ่านกัมมันต์ คือสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูงซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด สารที่ถูกใช้ในปัจจุบันนี้ ได้แก่ ถ่านหินปิทิวมินัส ถ่านหินลิกไนต์ กระดูก เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว วัสดุที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียม วัสดุที่เหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษ ชี้อ้อยไม้ เมล็ดมะขาม เป็นต้น ส่วนใหญ่แล้วสารเหล่านี้จะเป็นของเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากจะมีราคาต่ำแล้วยังอาจสะสมก่อให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นส่วนใหญ่ วัตถุดิบที่ดีจะต้องมีโครงสร้างภายในที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุนสม่ำเสมอ

5.5 มีความทนทานสูง ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ดีนอกจากมีความสามารถในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนจำนวนมากและมีรูพรุนขนาดที่ต้องการแล้วยังต้องมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดี และมีความปนเปื้อนต่ำด้วย อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ยังสามารถใช้เป็นตัวยัดสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงและอุณหภูมิสูงได้ดี

6. วัตถุดิบหลักในการผลิตถ่านกัมมันต์

คือ กะลามะพร้าว แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดผงละเอียด และชนิดเม็ดหรือเกล็ด โดยชนิดผงละเอียดสามารถกระจายในน้ำได้ดีจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือ

ของเหลว เช่น ใช้ฟอกสีและดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมน้ำตาล การผลิตน้ำมันพืช อุตสาหกรรมอาหาร และ การทำน้ำให้บริสุทธิ์ ส่วนชนิดเม็ดหรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เช่น เครื่องกรองอากาศ เครื่องกันก๊าซพิษ กันกรองบูหรี เป็นต้น

การเติบโตของตลาดถ่านกัมมันต์แปรตามการใช้งานในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่มากมาย ดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ อุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในครัวเรือนโดย เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น เช่น กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า ตู้รองเท้า ฯลฯ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตลาด ของถ่านกัมมันต์มีอยู่อย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มในการใช้งานอย่างสม่ำเสมอในประเทศ และยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตามยังต้องมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ใน อุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพของถ่านกัมมันต์ระดับสูง เช่น ในอุปกรณ์ฟอกอากาศบางชนิด จึงทำให้ยังมีมูลค่าการนำเข้าสูงกว่ามูลค่าการส่งออกไปในปัจจุบันโดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสามารถหาได้ ภายในประเทศทั้งหมดที่สำคัญ คือ กะลามะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน แกลบ ชีเลื่อย เป็นต้น ซึ่งต้องนำไป เผาให้เป็นถ่านก่อนนำไปใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์และสารเคมีบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก ฯลฯ ส่วนเครื่องจักรที่ใช้ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งต้องออกแบบสร้างโดยทีมวิศวกรและนักเคมีผู้เชี่ยวชาญ ถ่านกัมมันต์เป็นสินค้าที่มีการใช้งานในหลายๆ อุตสาหกรรม

7. โลหะหนัก

ความหมายของโลหะหนัก คือ ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอม ตั้งแต่ 23-92 จำนวนทั้งหมด 72 ธาตุ ในคาบที่ 4-7 อาทิ แคดเมียม โครเมียม โปรท ตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งธาตุโลหะหนักเหล่านี้ บางชนิดมี ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม บางชนิดมี ประโยชน์ต่อร่างกาย แต่บางชนิดก็เป็นพิษต่อร่างกาย คุณสมบัติของโลหะหนัก

- (1) สามารถละลายน้ำได้
- (2) สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้
- (3) สามารถตกตะกอน หรือ เป็นอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำได้

แหล่งกำเนิดโลหะหนัก

ประเภทที่แตกต่างกันของอุตสาหกรรมมักจะเกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดโลหะหนัก แหล่งกำเนิดมลพิษโลหะหนักจากกิจกรรมมนุษย์

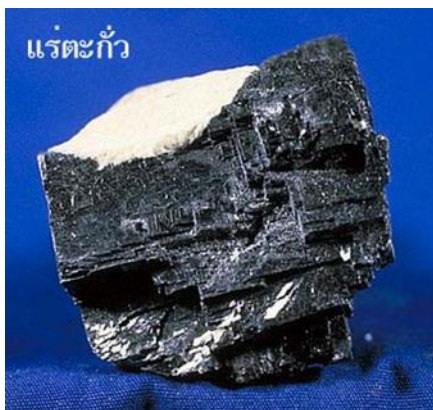
ตารางที่ 2 อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้โลหะหนัก

อุตสาหกรรมเหมืองแร่	Pb, Cd, As, Cr, Co, Zn, Cu
อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn
อุตสาหกรรมชุบโลหะ	Cr, Ni, Zn, Cu
อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg
อุตสาหกรรมการผลิตสี	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn
อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจร	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn
หลอมฝังกลบขยะ	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg

ที่มา : O'Connell et al. (2008)

8. ตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead, Pb) คือ ธาตุที่มีเลขอะตอม 82 โดยเป็นธาตุของหมู่ 4A ในตารางธาตุ น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลว 327.5 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 1,740 องศาเซลเซียส ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีมักจะนำไปใช้ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคหลายชนิดที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน สีป้องกันสนิม แบตเตอรี่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า บัดกรี เป็นต้น แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อมนุษย์ ทั้งการสัมผัส การสูดดม การรับรส หรือการใช้สินค้าต่างๆ ที่มีตะกั่วเจือปนอยู่ ทำให้มนุษย์เสี่ยงต่อการได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ตะกั่วจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อมนุษย์ในทันทีทันใด มนุษย์จึงรู้สึกว่าจะไม่ได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย แต่ตะกั่วจะสะสมอยู่ในร่างกายและแสดงพิษออกมาเมื่อได้สะสมอยู่ในร่างกายจนถึงขนาดแล้ว ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างมาก



ภาพที่ 3 ลักษณะของตะกั่ว

ที่มา : สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน

8.1 การใช้ตะกั่วในภาคอุตสาหกรรม ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมนำตะกั่วใช้ประโยชน์มากที่สุดในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ และใช้ในรูปแบบของเตตระเอทิลเลดซึ่งใช้เติมใส่น้ำมันเพื่อเพิ่มเลขออกเทนของน้ำมัน ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ที่สำคัญของตะกั่วมีดังนี้

ใช้ในการสังเคราะห์สารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyl lead เขียนย่อว่า TEL) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมใส่แก๊สโซลีนเพื่อเพิ่มเลขออกเทน (Octane number) ของแก๊สโซลีน สาร TEL เตรียมจากเอทิลคลอไรด์ (Ethyl chloride) และโลหะเจือของตะกั่ว

ใช้ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้ทั่วไปเป็นเซลล์กัลวานิกที่ใช้โลหะตะกั่วเป็นแอโนดและออกไซด์ของโลหะตะกั่ว PbO_2 เป็นคาโทด เนื่องจากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่เป็นอุตสาหกรรมหลักชนิดหนึ่งประกอบกับแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานจำกัด อุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์จึงเป็นแหล่งที่มีการใช้ตะกั่วในปริมาณมหาศาลแห่งหนึ่ง เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาเองได้มีการค้นพบว่าเด็กที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านที่ 8 ตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เกิดอาการเป็นพิษเนื่องจากตะกั่ว กล่าวคือเด็กกลุ่มอายุตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 6 ขวบ แสดงลักษณะผิดปกติในการพัฒนาภาษา สายตาบกพร่องหรือผิดปกติ และระดับสติปัญญามีแนวโน้มที่จะต่ำกว่าระดับปกติ การวิจัยในขณะนั้นพบว่าสาเหตุตะกั่วเป็นพิษนี้เกิดขึ้นจากการนำกากหม้อแบตเตอรี่ตะกั่วที่ใช้แล้วจากโรงงานแบตเตอรี่ที่อยู่ใกล้เคียงมาถมดินและถนน เมื่อนำดินในบริเวณหมู่บ้านนี้มาวิเคราะห์พบว่าตะกั่วมีระดับสูงกว่าที่ดินที่ไม่ได้ถมด้วยกากแบตเตอรี่รถยนต์ถึง 25 เท่า การวิเคราะห์ระดับตะกั่วได้นำพืช ผัก ปลา ตลอดจนในเลือดและเส้นผมของเด็กที่อาศัยในบริเวณหมู่บ้านแห่งนี้ก็พบว่าสูงกว่าระดับเกณฑ์ปกติตามเช่นกัน

การใช้งานอื่นๆ ได้แก่ ใช้งานบัดกรี ทำโลหะเจือ ใช้ในการทำท่อในอุตสาหกรรมเคมี เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกรดซัลฟิวริก กระสุนปืน และเคยใช้ผสมกับสีทาบ้าน เป็นต้น

8.2 การปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันสารตะกั่วถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นทุกปีๆ นอกจากนี้การปนเปื้อนสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มความเข้มข้นมากขึ้นในอนาคต เช่น การปนเปื้อนสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการนำแบตเตอรี่และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เสื่อมสภาพแล้วนำมาผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ไม่ถูกวิธี และมีการลักลอบนำชิ้นส่วนแบตเตอรี่เก่าไปเผาในสถานที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ตะกั่วออกมาเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (วรัญญา ประสานวงศ์, 2557) ผลจากการกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ตามมาทั้งนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2(พ.ศ. 2539)ตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าโลหะหนักตะกั่วไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2539)

8.3 พิษของสารตะกั่วตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ทั้งจากการหายใจ การกิน และทางผิวหนัง ขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปแบบของตะกั่วที่ได้รับ เมื่อตะกั่วซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทำให้สามารถพบตะกั่วได้ในทุกๆ ส่วนของร่างกายทั้งเนื้อเยื่ออ่อน ได้แก่ ไขกระดูก ระบบประสาท ไต และตับ เป็นต้น รวมทั้งเนื้อเยื่อแข็ง ได้แก่ กระดูก เส้นผม เล็บ และฟัน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในกระดูกสูงถึง 90% อย่างไรก็ตามตะกั่วจะถูกขับออกจากร่างกายผ่านทางเหงื่อ ปัสสาวะหรือน้ำนมหากถ้าได้รับเพิ่มขึ้นหรือสะสมจนถึงระดับหนึ่งร่างกายก็จะแสดงอาการเจ็บป่วยออกมา เช่น ในระบบเลือดหากมีตะกั่วสูงกว่า 10 μg ต่อ 100 mL อาจทำให้โลหิตจาง เนื่องจากตะกั่วจะไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินและเม็ดเลือด หรือเมื่อมีตะกั่วในเลือดเกินกว่า 16 μg ต่อ 100 mL จะมีผลต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำให้เกิดอาการประสาทหลอนกระวนกระวายชัก กล้ามเนื้ออ่อนแรงตาบอดและอาจรุนแรงถึงตาบอดได้นอกจากนี้ยังทำให้ไตอักเสบรวมทั้งมีผลต่อระบบสืบพันธุ์โดยเฉพาะผู้ที่ได้รับการสะสมติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้เป็นหมันได้ (เบญจวรรณ วงศ์ศิริ, 2547)

พิษแบบเฉียบพลัน

การเกิดพิษเฉียบพลันมีโอกาสพบได้น้อย แต่หากรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่วในปริมาณมาก หรือตั้งใจรับประทานตะกั่วเข้มข้นเข้าไป รวมถึงการสูดดมไอตะกั่วเข้มข้น สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ทันที ได้แก่ ปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียน ระบายน้ำ คอแห้ง อาจมีอาการถ่ายอุจจาระบ่อย หรือท้องเสีย มือชา เป็นตะคริว ปวดศีรษะรุนแรง กล้ามเนื้ออ่อนแรง เดินเซ เสร้าซึม มีอาการชัก เป็นลมหมดสติ และถึงขั้นเสียชีวิตได้ภายใน 1-2 วัน

พิษแบบเรื้อรัง

- (1) พิษต่อระบบประสาท ได้แก่ เซลล์สมองถูกทำลาย มีอาการกระวนกระวายเดินเซ ซึมมือ-ซืมเท้าตก ความจำเสื่อม ความจำเสื่อม หากเป็นรุนแรงมากจะมีอาการชัก
- (2) พิษต่อระบบเลือด ได้แก่ ยับยั้งการสังเคราะห์เม็ดเลือดแดงในไขกระดูก เซลล์เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เซลล์เม็ดเลือดผิดปกติ เม็ดเลือดมีขนาดเล็ก เซลล์เม็ดเลือดแตกง่าย และมีอายุสั้น
- (3) พิษต่อไต ได้แก่ พบกรดอะมิโนและฟอสเฟตในปัสสาวะสูง แต่ฟอสเฟตในเลือดต่ำ เพราะไม่มีการดูดกลับ ขัดขวางการสร้างพลังงานของไต ไตทำงานผิดปกติทำให้รูปร่างไตผิดปกติ ไตมีขนาดเล็กลง และเกิดภาวะไตวายตามมา
- (4) พิษต่อระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ พบเส้นของตะกั่วสีเงินที่เหงือกที่เกิดจากตะกั่วซัลไฟด์เข้าไปเกาะ กล้ามเนื้อกระเพาะและลำไส้เกร็ง มีอาการปวดท้องบ่อย คลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร เพราะตะกั่วเข้าทำลายระบบการทำงานของน้ำย่อย
- (5) พิษต่อระบบสืบพันธุ์ ได้แก่ เมื่อรับและสะสมตะกั่วมานานๆ และเพิ่มปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ เกิดเป็นหมันทั้งในชายและหญิง เพศชายมีจำนวนอสุจิน้อย ตัวอสุจิอ่อนแอ มีความผิดปกติของรูปร่าง ส่วนเพศหญิงจะมีประจำเดือนมาผิดปกติ รังไข่ทำงานผิดปกติ หากมีลูกจะแท้งได้ง่าย

ตารางที่ 3 ชนิดโลหะหนัก และระดับอนุญาตให้ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทั้งในแหล่งน้ำผิวดิน

โลหะหนัก	ระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สารหนู	0.01
แคดเมียม	0.05
ตะกั่ว	0.05
แมงกานีส	1.0
ทองแดง	0.10
ปรอท	0.002
สังกะสี	1.0

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553.

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับและการคายโลหะหนักทั้งในและต่างประเทศ ดังต่อไปนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ

ฐิตินาถ สุคนเขตร์และคณะ (2562) งานวิจัยนี้มุ่งแปรรูปกะลามะพร้าวเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยใช้เป็นตัวดูดซับโลหะตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้นของตัวกระตุ้นและเวลาในการกระตุ้นที่มีต่อสมบัติการดูดซับ และสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ ศึกษาผลของเวลาในการดูดซับ และปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย พบว่า เมื่อเผาถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราส่วนถ่านต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1:3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียจากความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm และ 1.5 ppm ได้ร้อยละ 98.33 และ 57.88 เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 30 กรัม ดูดซับเป็นเวลา 30 และ 120 นาที ตามลำดับ

ธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคลและปิยธิดา อูระชื่น (2560) ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่ว(II) ไอออนในสารละลายด้วยการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จากไม้มะขามเตรียมได้จากการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และนำไปใช้กำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม พบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่งมุม 2-ทีตา 25.58 และ 44.56 องศา และค่าไอโอดีน 725 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าการเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามประสบความสำเร็จส่วนการกำจัดตะกั่ว(II) ไอออนในสารละลายศึกษาโดยการแปรผันปัจจัยต่าง ๆ ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว(II) ไอออนในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้มะขาม คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของ สารละลาย 5.0 เวลาในการปั่นกววน 60 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 2.0 กรัมต่อลิตรจลนศาสตร์การดูดซับตะกั่ว(II) ไอออนบนถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามในสารละลาย เป็นไปตามแบบจำลองอันดับสองเทียม (ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 1.000) แสดงว่าเกิดการดูดซับทางเคมี จากนั้นศึกษาสารละลายของถ่านกัมมันต์จากไม้มะขาม (ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว(II) ไอออน 10-250 มิลลิกรัมต่อ ลิตร)พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นไปตามแบบแลงเมียร์ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 1.000) เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวบนผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้มะขาม ค่าความจุการดูดซับตะกั่ว(II) ไอออนสูงสุดในสารละลายของ ถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามเท่ากับ 19.06 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าปัจจัยของการแยก (RL) มีค่า 0.001-0.030 แสดง ว่าการดูดซับตะกั่ว(II) ไอออนบนถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามเกิดได้ดี นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามมี ประสิทธิภาพที่ดีกว่าถ่านจากไม้มะขามในการกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

เทียมชัย บัวลอย (2553) ได้ทำการศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ใน การศึกษานี้จะทำการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์มูลโค โดยทำการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้น (Activation) ด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มูลโคที่ได้มาดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับพบว่าการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที จากนั้นนำมาศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการดูดซับจากการศึกษาไอโซเทอร์มพบว่าการดูดซับของแลงเมียร์ให้ค่าการดูดซับสูงสุด(q_m)เท่ากับ 4.314 มิลลิกรัมต่อกรัมและไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนด์ลิชสามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าของแลงเมียร์ ($R^2=0.9895$, $R^2=0.9583$) และจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่า ถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 82.03

เปอร์เซ็นต์หลังจากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นและพีเอช พบว่าที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับและพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ 4, 5 และ 6 และจากการศึกษา พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 75-100 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ยกเว้นที่พีเอช 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

วรรณถ จงเลิศจรรยาและธิดาทิพย์เลิศ ชุตินากุล (2555) ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบการดูดซับโดยการตรวจสอบไอโซเทอร์มการดูดซับและจลนศาสตร์ผลการวิจัยพบว่าประเภทของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความสามารถในการดูดซับ ในกรณีของ *Bacillus subtilis* ค่าสูงสุดของการดูดซับความจุของกรดฮิวมิก 11.44 มิลลิกรัมต่อกรัมชีวมวลถูกสังเกตโดยอาศัยไอโซเทอร์มดูดซับแลงเมียร์และค่า K เท่ากับ 3.17×10^{-2} ((มิลลิกรัมต่อกรัม) (มิลลิกรัมต่อลิตร) n) จากไอโซเทอร์มการดูดซับ Freundlich การศึกษาจลนศาสตร์ระบุว่าหลอกลำดับที่สองสมการพอดีกับข้อมูลอย่างน่าทึ่งส่งผลให้อัตราคงที่สำหรับการดูดซับเข้าสู่บาสิลลัสซับทิลิส

อภิปริยา คงสุวรรณ (2549) ศึกษาการดูดซับและการคายซับของโลหะหนักจากถ่านกัมมันต์ จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยกรดฟอสฟอริกซึ่งโลหะหนักที่นำมาศึกษาคือทองแดงและตะกั่วในระบบหนึ่งองค์ประกอบและสององค์ประกอบ ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงและตะกั่ว คือ pH 5 และอัตราเร็วในการดูดซับสามารถทำนายด้วยสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองและความสามารถในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับทองแดงและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.45 และ 0.53 มิลลิโมลต่อกรัม ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องในการดูดซับ คือ หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่เอมีน และหมู่เอไมด์ กลไกในการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดโลหะหนักจะเป็นการดูดซับทางกายภาพในการดูดซับสององค์ประกอบของทองแดงและตะกั่วพบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากกว่าทองแดงและความสามารถในการดูดซับของโลหะแต่ละชนิดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับโลหะหนักหนึ่งองค์ประกอบในการคายซับโลหะหนักด้วยกรดซิตริกจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกและอุณหภูมิในการคายซับจะทำให้ประสิทธิภาพการคายซับสูงขึ้นกรดซิตริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 4 หรือ 8 สามารถสกัดโลหะหนักหนึ่งองค์ประกอบได้ เกือบ 100% แต่ในการแยกโลหะหนักสององค์ประกอบให้ได้มากที่สุดควรใช้กรดซิตริกที่มีความเข้มข้น

0.01 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 16 และอัตราเร็วในการคายซับการสกัดสามารถทำนายได้ ด้วยสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองเช่นเดียวกัน

พรรษกร ใจประดับเพชร (2549) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียม และสังกะสี โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขามจะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 651 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 609 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 366.68 ตารางเมตรต่อกรัม และ 137.05 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ค่าคงที่ความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขาม เท่ากับ 6.4912 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 4.2854 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับค่า $1/n$ เท่ากับ 0.723 และ 0.4508 ตามลำดับ และค่าค่าคงที่ความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับสังกะสีของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขาม เท่ากับ 7.6839 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 5.3654 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับค่า $1/n$ เท่ากับ 0.5451 และ 0.4045 ตามลำดับ

งานวิจัยต่างประเทศ

Rahman (2012) ทำการตรวจสอบความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีทางเคมีได้ดำเนินการเพื่อประเมินการดูดซับโลหะหนักบางชนิด พบว่าวัตถุดิบที่ผ่านการบำบัด (กะลาปาล์มด้วยกรดซัลฟิวริก 5%) ช่วยลดสิ่งเจือปนและเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ พื้นที่ผิวเดิมที่ได้เปรียบเทียบกับเงื่อนไขต่อไปนี้ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 30% วัตถุดิบที่อุณหภูมิ 500 ° C ใช้เวลา 2 ชั่วโมงในการกระตุ้น พื้นที่ผิวจำเพาะ Brunauer-Emmet-Teller (BET) ที่ได้คือ 1058 m²/g¹ และพบเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 20.64 นาโนเมตร การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ยังยืนยันการกระจายขนาดของรูพรุนบนถ่านกัมมันต์ ความเสถียรทางความร้อนสูงสุดได้ถึง 600 ° C โดยเครื่องวิเคราะห์การวิเคราะห์ความร้อน (TGA) ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ผ่านการทดสอบโดยน้ำที่ปนเปื้อนผ่านกระดาษกรองและพบว่าการดูดซับ Cr 100% ตามด้วย Pb (99.8%), Cd (99.5%) และ Cu (25%)

Ayinla RidwanTobi (2019) การเปลี่ยนปาล์มที่เหลือใช้เป็นถ่านกัมมันต์ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีสารเคมีลิกโนเซลลูโลส ในอดีตขยะปาล์มหลายชนิดถูกเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์สำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูง มีประสิทธิภาพการใช้งานในก๊าซโลหะหนักและการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช การบำบัดน้ำและเป็นวัสดุใช้งานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมีสองชั้น เนื่องจากการ

เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการเตรียมการจึงไม่มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากปาล์มอย่างเพียงพอ ในการศึกษานี้ได้ใช้เมล็ดปาล์ม (PKS), ใบปาล์มน้ำมัน (OPF) และทะลายปาล์ม (EFB) ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการเติมคาร์บอนทางกายภาพขั้นตอนเดียวและกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700°C และค้างไว้ 1 ชั่วโมง IME มีการนำเสนอการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะทางเคมีกายภาพของถ่านกัมมันต์ ผลลัพธ์ XRD แสดงถึงลักษณะอสังฐานของตัวอย่างทั้งหมดและพื้นที่ผิว BET ที่ $823\text{ m}^2/\text{g}$, $700\text{ m}^2/\text{g}$ และ $592\text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ

Badreddine Belhamdi (2016) วัตถุประสงค์หลักของงานนี้คือการผลิตถ่านกัมมันต์ต้นทุนต่ำจากของเสียจากหินวันที่สำหรับการดูดซับแอล-ฟีนิลอะลานีน ถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH (ACK) และ ZnCl_2 (ACZ) และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ถ่านกัมมันต์ ACK และ ACZ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งเหมาะสำหรับการดูดซับมีการทดลองแบบกลุ่มเพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับพบความสามารถในการดูดซับของ pH สูง ความจุจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 5.7 การดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองจลน์พลศาสตร์ นอกจากนี้ข้อมูลการดูดซับยังมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมและความสามารถในการดูดซับสูงสุดของแอล-ฟีนิลอะลานีนเท่ากับ 188.3 และ 133.3 mg g^{-1} ที่ pH 5.7 ตามลำดับการศึกษาทางอุณหพลศาสตร์พบว่าการดูดซับแอลฟีนิลอะลานีนลงบนถ่านกัมมันต์เป็นการคายความร้อนในธรรมชาติ กลไกการดูดซับที่นำเสนอขึ้นมานั้นคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ที่ไม่ชอบน้ำและไฟฟ้าสถิตซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดูดซับแอล-ฟีนิลอะลานีน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาเรื่อง การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการดูดซับถ่านกัมมันต์ โดยมีรายละเอียดวิธีดำเนินงานวิจัยตามหัวข้อ ดังนี้

พื้นที่ทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการดำเนินงานทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นสถานที่ทำการทดลองตลอดงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยเป็นชุดทดลองเกี่ยวกับการดูดซับและการคายโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

1.เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 เครื่องเขย่า (Shaker)
- 1.2 กระจกทรง
- 1.3 ลูกยาง
- 1.4 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flasks) ขนาด 25 และ 250 มิลลิลิตร
- 1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance)
- 1.6 เครื่องวัด pH (pH-meter)
- 1.7 เครื่องปั๊มสุญญากาศ
- 1.8 ขวดเก็บ Stock solution
- 1.9 แ่งแก้ว
- 1.10 ขวดยาพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร
- 1.11 ขวดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร

1.12 ปีกเกอร์ (Beakers) ขนาด 50 100 และ 250 มิลลิลิตร

1.13 Auto Pipette

1.14 ตะแกรงกรองแบบทรงกลมขนาด 40 และ 60 เมช

1.15 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (AR grade)

2.2 สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)

2.3 สารละลายกรดแอสติค (CH_3COOH)

2.4 กรดไนตริก (HNO_3 Conc)

2.5 น้ำกลั่น (Deionized water)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลทุติยภูมิ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วอัตราการดูดซับโลหะหนักด้วยการนำเศษเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุในการดูดซับ และการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเพื่อทำการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการทำโครงการวิจัย

2. ข้อมูลปฐมภูมิ

2.1 ข้อมูลการชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์

2.2 ข้อมูลการคำนวณหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่เวลา t (q_t)

2.3 ข้อมูลการนำเสนอกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความสามารถการดูดซับกับเวลาพร้อมข้อมูลค่าความผิดพลาด (Error bar) ที่แสดงถึงช่วงความเป็นไปได้

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและวัสดุดูดซับในการทดลอง (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1)

1.1 เตรียมการชั่งถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาดที่ปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัม ที่ความเข้มข้น Buffer 15 มิลลิโมลาร์ โดยใส่สารเคมีดังปริมาณที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 และ

4 (ความเข้มข้น Pb 1 มิลลิโมลาร์ และ 2 มิลลิโมลาร์) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (Deionized water)

ตารางที่ 4 สารละลาย Buffer ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)

$\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (mM)	Buffer	
	($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) (g)	(CH_2COOH) (ml)
15	0.2890	0.1073

ที่มา: วิริยะมะเดชา, (2549)

ตารางที่ 5 สารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 1-2 มิลลิโมลาร์ (mM)

ความเข้มข้น Pb (mM)	ความเข้มข้น Pb (mg/L)	น้ำหนักPb (g)
1	207.19	0.0828
2	414.38	0.1656

ที่มา : วิริยะ มะเดชา, (2549)

1.2 จากนั้นใส่ลงในขวดยาพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดยาให้สนิทเพื่อใช้สำหรับเตรียมการทดลองต่อไป

2. ขั้นตอนการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ (วัตถุประสงค์ข้อที่ 2)

2.1 เพื่อศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ

2.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ นำถ่านกัมมันต์ที่มีขายเชิงพาณิชย์มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ในปริมาณ 3 กรัม จากนั้นใส่ลงในขวดยาพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดยาให้สนิทเพื่อใช้สำหรับเตรียมการทดลองต่อไป

2.1.2 เตรียมสารละลายตะกั่ว ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ที่ความเข้มข้น Buffer 15 มิลลิโมลาร์ โดยใส่สารเคมีดังปริมาณที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตรน้ำกลั่น (Deionized water)

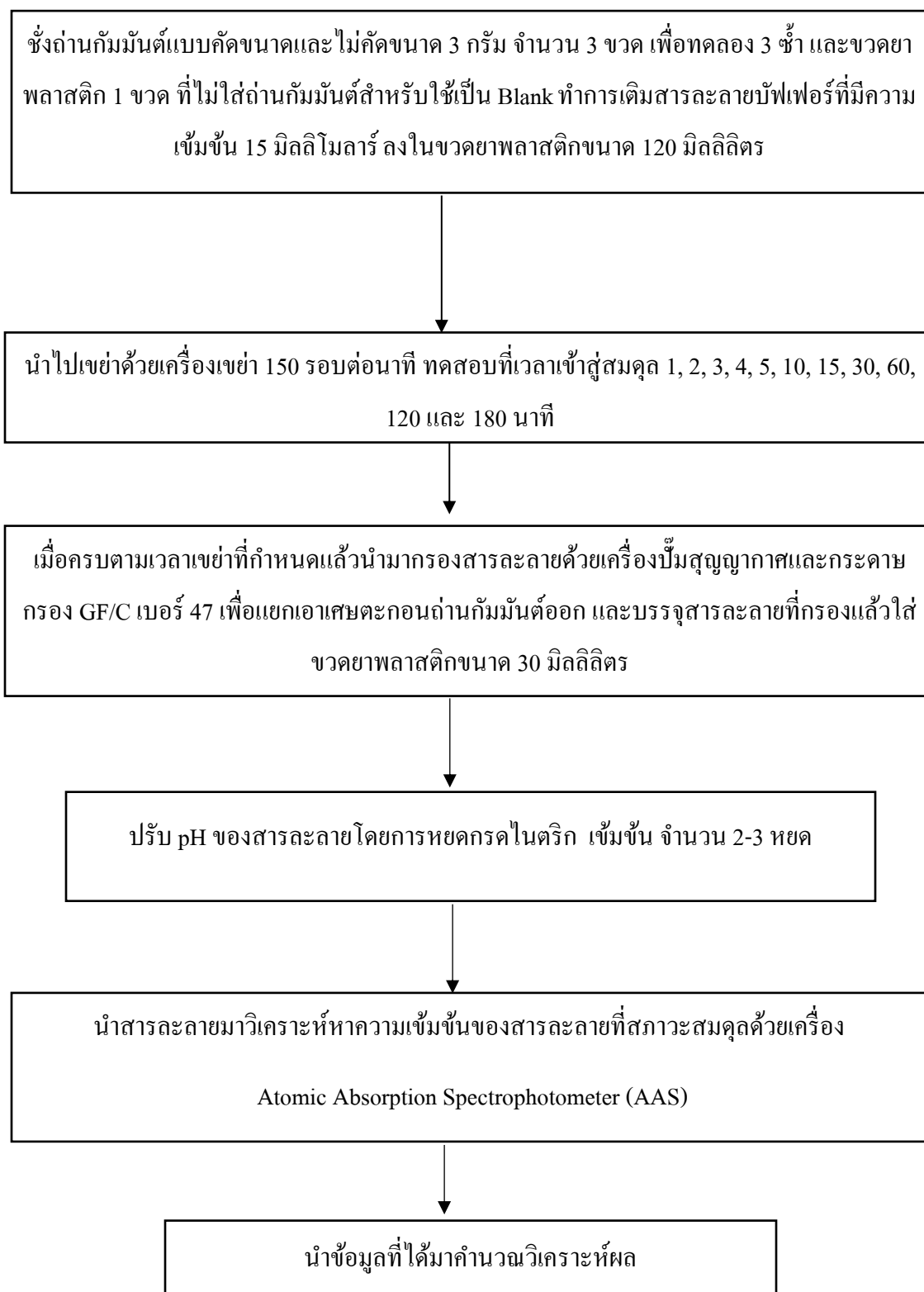
2.1.3 นำไปเขย่าที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที

2.2 เพื่อศึกษาผลของอนุภาคถ่านที่มีต่อการดูดซับ

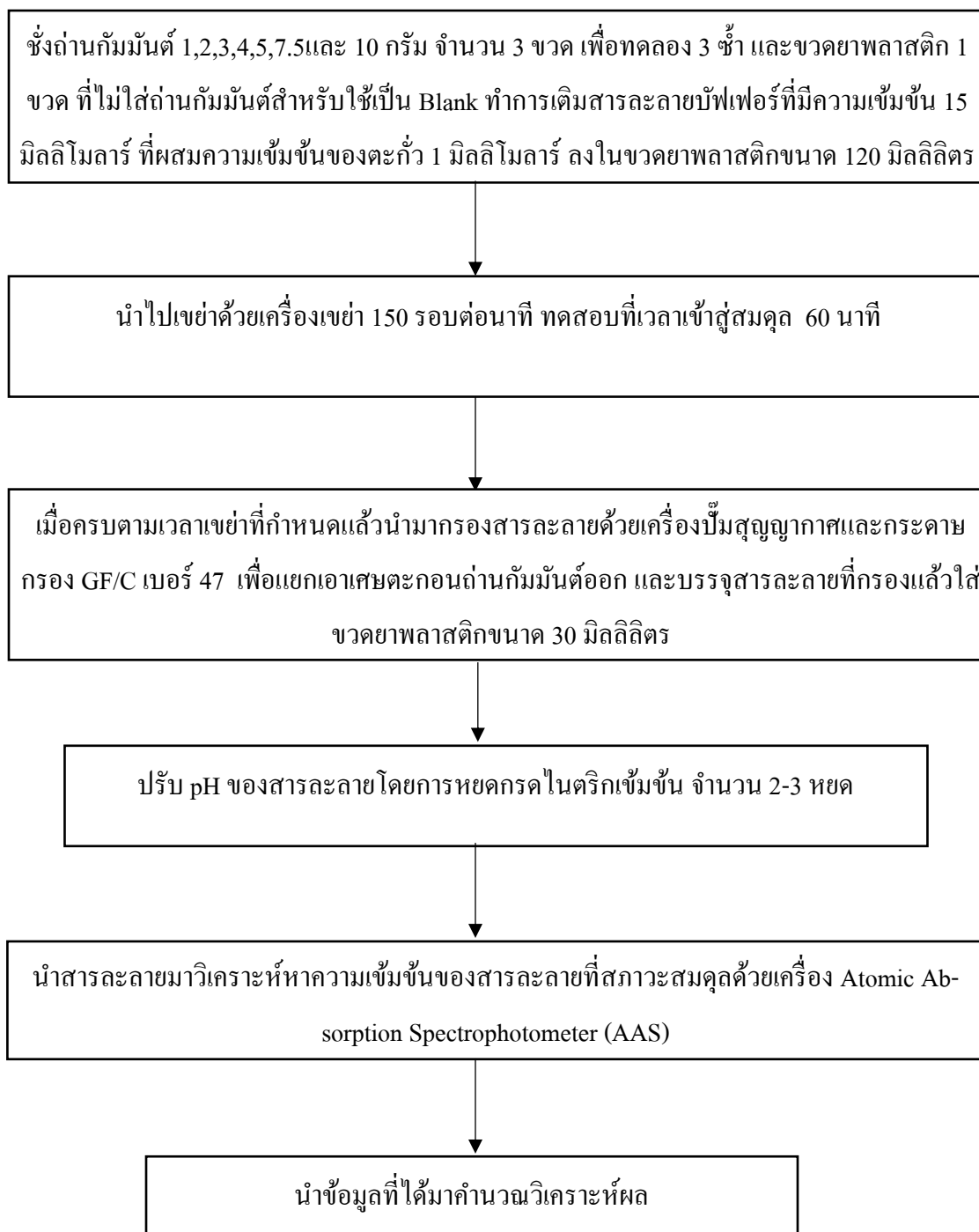
2.2.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาดมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ในปริมาณ 1,2,3,4,5,7.5 และ 10 กรัม จากนั้นใส่ลงในขวดยาพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดยาให้สนิทเพื่อใช้สำหรับเตรียมการทดลองต่อไป

2.1.2 เตรียมสารละลายตะกั่ว ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ที่ความเข้มข้น Buffer 15 มิลลิโมลาร์ โดยใส่สารเคมีดังปริมาณที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (Deionized water)

2.1.3 นำไปเขย่าเป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 4 แผนภาพการศึกษาขั้นตอนการทดลองปัจจัยด้านเวลาในการดูดซับ



ภาพที่ 5 แผนภาพการศึกษาผลของปัจจัยด้านอนุภาคถ่านที่มีต่อการดูดซับ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ

การคำนวณหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ถูกดูดซับในสภาวะสมดุล (Sorption capacity, q_t) โดยคำนวณจากสมการ (Volesky, 1990)

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)}{m_s}$$

เมื่อ q_t คือ ปริมาณโลหะหนักดูดซับบนตัวดูดซับที่เวลา t (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิโมลาร์)

C_t คือ ความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับที่เวลา t (มิลลิโมลาร์)

M_s คือ น้ำหนักของตัวดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย (กรัม)

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาปริมาณการดูดซับโลหะหนัก โดยคำนวณจากสมการเมื่อ μ คือ ค่าเฉลี่ยระดับประชากร

$$\mu = \bar{X} \pm (T_{\frac{\alpha}{2}=0.05, \nu}) \frac{S.D}{\sqrt{N}}$$

เมื่อ μ คือ ค่าเฉลี่ยระดับประชากร

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น

N คือ จำนวนข้อมูล

ν คือ องศาอิสระ (degree of freedom) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $N-1$

$S.D$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

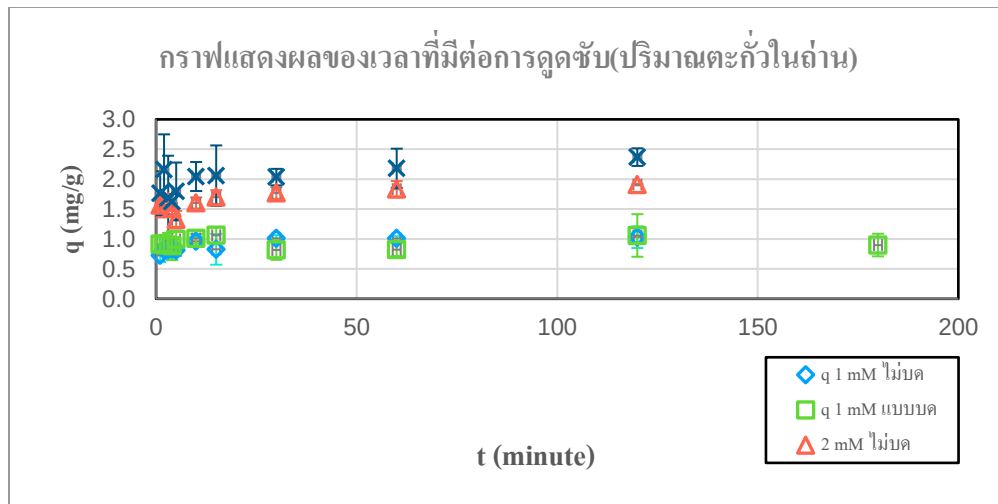
$T_{\frac{\alpha}{2}=0.05, \nu}$ คือ ตัวแปร T ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่องศาอิสระ ν ทั้งนี้สามารถดูตัวอย่างการคำนวณความผิดพลาด (error bar) ที่แสดงถึงช่วงความเป็นไปได้ของค่าเฉลี่ยระดับประชากรของความสามารถในการดูดซับ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

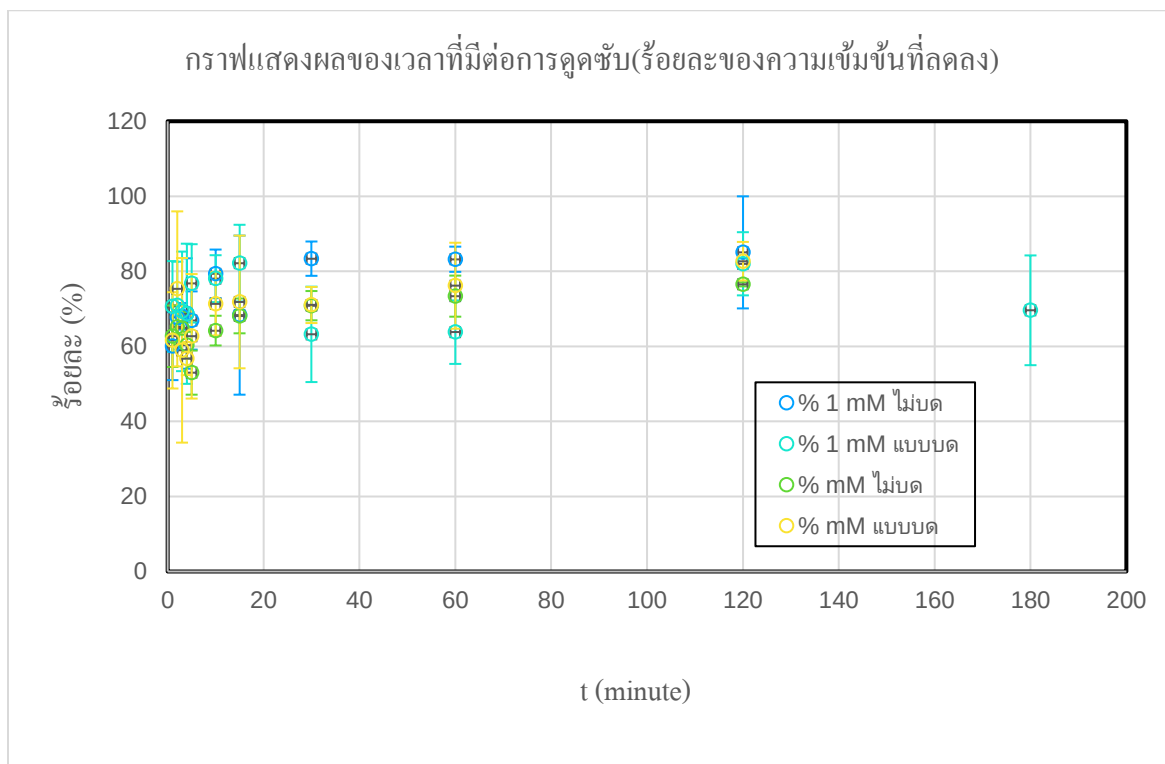
การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ มีรายละเอียดของผลการศึกษาซึ่งสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับถ่านกัมมันต์
2. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ



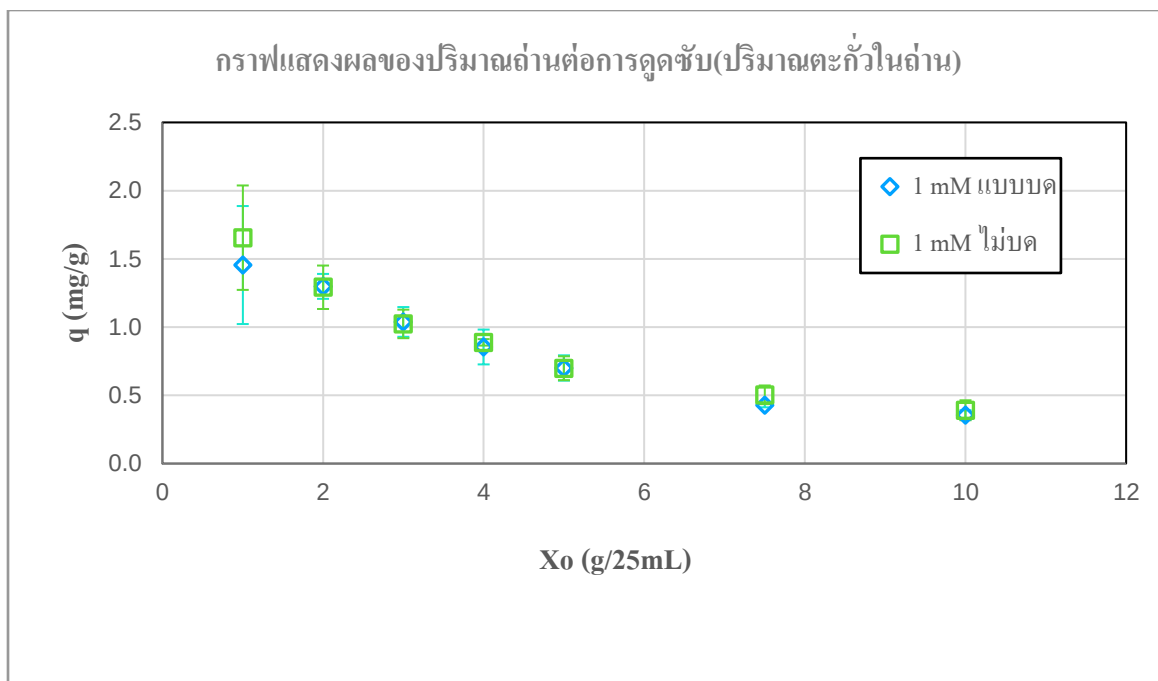
ภาพที่ 6 แสดงผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)

เมื่อใช้เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 3 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะเริ่มคงที่ โดยจะคงที่ตั้งแต่เวลา 30 นาทีเป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่าระบบได้เข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายตะกั่ว จาก 1 มิลลิโมลาร์ เป็น 2 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ สูงสุดประมาณ 2.4 มิลลิกรัมต่อกรัม



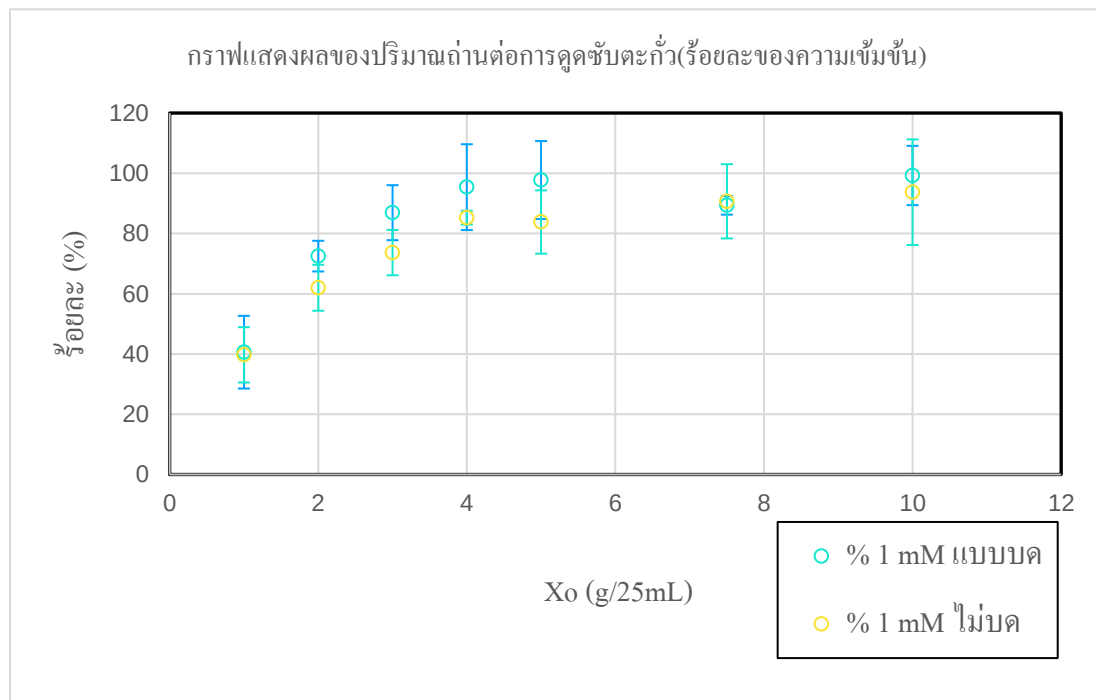
ภาพที่ 7 แสดงผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับ (ร้อยละของความเข้มข้น)

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 3 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร ร้อยละปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาเข้าสู่สมดุล 120 นาที หลังจากนั้น ร้อยละปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะค่อยๆลดลงที่เวลา 180 นาที ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ สูงสุดประมาณร้อยละ 80 %



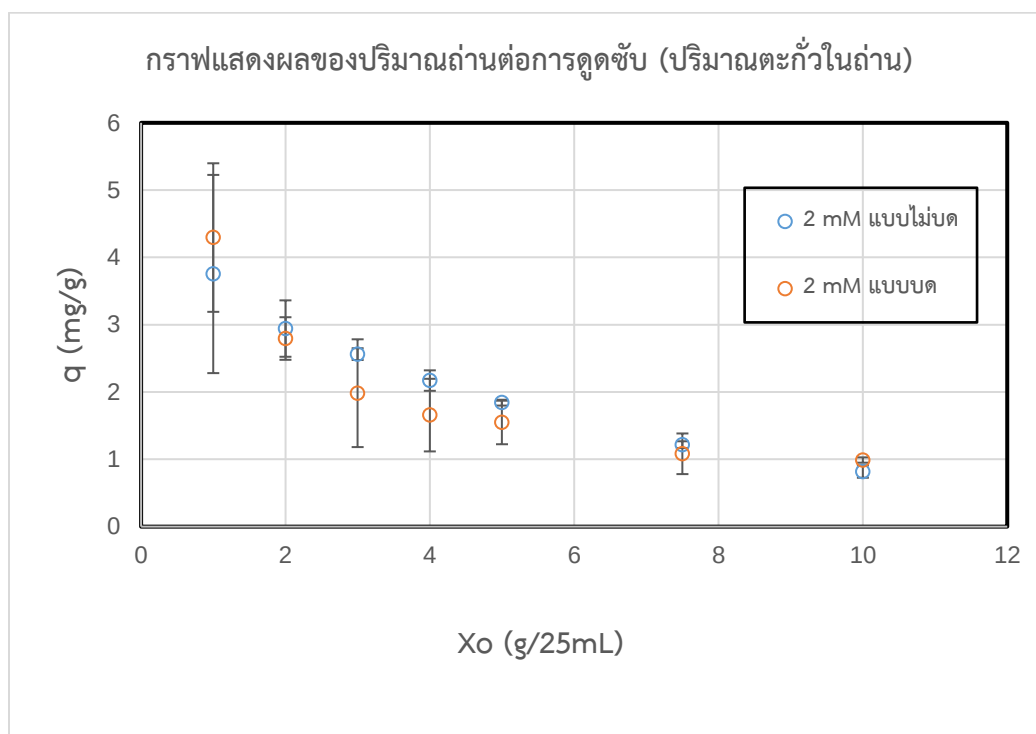
ภาพที่ 8 แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์
(ปริมาณตะกั่วในถ่าน)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาดจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตรสำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับของถ่านที่ผ่านการคัดขนาดและไม่ผ่านการคัดขนาด ไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุดประมาณ 1.6 มิลลิกรัมต่อกรัม



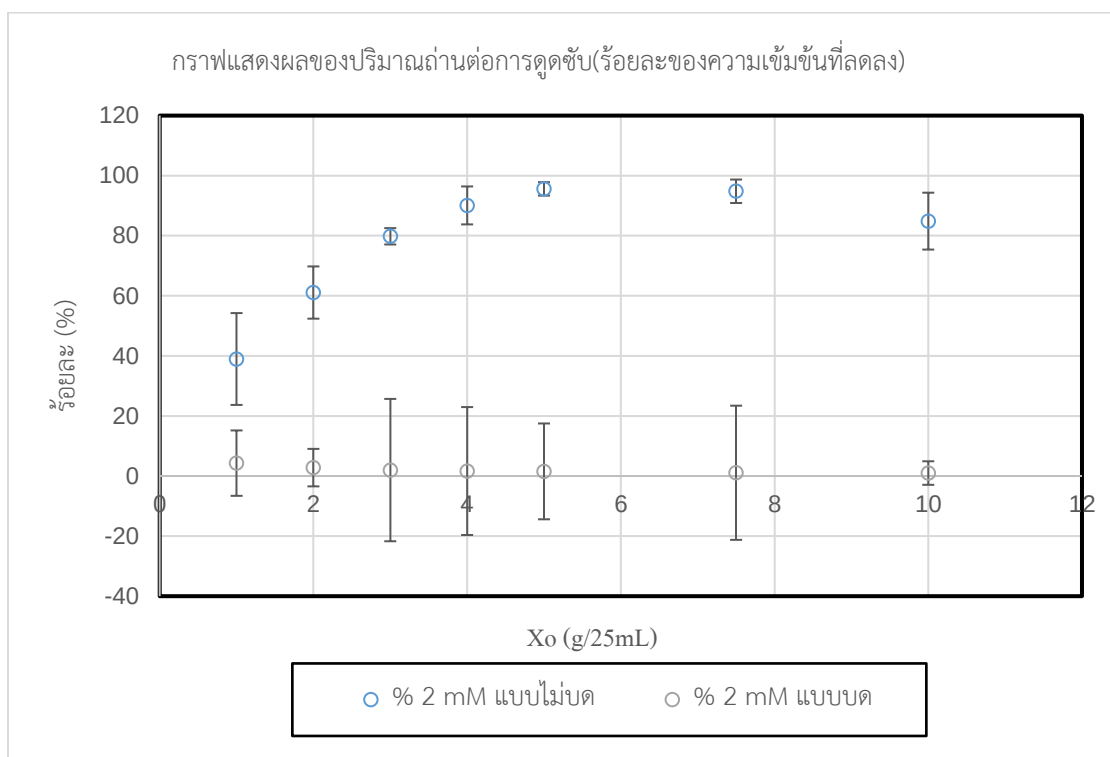
ภาพที่ 9 แสดงปริมาณถ่านต่อการดูดซับตะกั่ว (ร้อยละของความเข้มข้น) ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

จากกราฟร้อยละของปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร สำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 100 % ที่ปริมาณถ่าน 10 กรัม



ภาพที่ 10 แสดงผลของปริมาณถ่านต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ (ปริมาณตะกั่วในถ่าน)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร สำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 2 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับของถ่านที่ผ่านการคัดขนาดและไม่ผ่านการคัดขนาด ไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุดประมาณ 4.3 มิลลิกรัมต่อกรัม



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณถ่านต่อการดูดซับตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ (ร้อยละของความเข้มข้น)

จากกราฟร้อยละของปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาดตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร สำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 2 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาดมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 100 %

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการดูดซับถ่านกัมมันต์ ศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ถ่านกัมมันต์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์
2. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

มีขั้นตอนการวิจัยโดยสังเขป ดังนี้

2.1 ชั่งถ่านกัมมันต์ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัม ลงในขวดยาพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ และ 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรรวมทั้งหมด 25 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 150 รอบต่อนาที ทดสอบที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที นำสารละลายมากรองแล้ววัดค่า pH จากนั้นหยดกรด NH_4OH เข้มข้นจำนวน 2-3 หยด นำไปวิเคราะห์ค่าการดูดซับด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

2.2 ชั่งถ่านกัมมันต์ 3 กรัม ทำการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ผสมความเข้มข้นตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ และ 2 มิลลิโมลาร์ แล้วจึงนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 150 รอบต่อนาที ทดสอบที่เวลาเข้าสู่สมดุล 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาทีตามลำดับ นำมากรองแล้ววัดค่า pH จากนั้นหยดกรด NH_4OH เข้มข้น จำนวน 2-3 หยด นำไปวิเคราะห์ค่าการดูดซับ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการดูดซับถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาพบว่าปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาดและไม่คัดขนาด จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร สำหรับความเข้มข้นตะกั่ว 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาในการดูดซับ 60 นาที นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับของถ่านที่ผ่านการคัดขนาดและไม่ผ่านการคัดขนาด ไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าสูงสุดประมาณ 1.6 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.2 ผลศึกษาของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 120 และ 180 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 3 กรัมต่อน้ำเสีย 25 มิลลิลิตร ปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะเริ่มคงที่ โดยจะคงที่ตั้งแต่เวลา 30 นาทีเป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่า ระบบได้เข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที

ผลของขนาดอนุภาคถ่านกัมมันต์ ไม่มีผลการดูดซับสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาต่างๆ แต่มีผลต่อการดูดซับสารละลายตะกั่ว ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการคัดขนาด จะมีปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่คัดขนาด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

- 1.1 อุปสรรคครั้งนี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

2. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 ควรศึกษาการดูดซับโลหะหนักจากถ่านกัมมันต์ต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้ยังไม่เสร็จสมบูรณ์
- 2.2 ควรเปลี่ยนปริมาณตะกั่วในการทดลองให้มากขึ้นเพื่อทดสอบความดูดซับของถ่าน
- 2.3 ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุดูดซับชนิดอื่นเพิ่มเติมที่มีคุณสมบัติสามารถดูดซับโลหะหนักได้

และหาได้ง่ายตามท้องถิ่น

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2557). **ปัญหาของโลหะหนัก**. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2563 จาก <http://sql.ddd.go.th/LDDSearch/Vicha.aspx>.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). **คุณภาพน้ำและการจัดการ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2563 จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s1.
- กรมทรัพยากรธรณี. (2557). **โลหะหนักในประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2563 จาก http://library.dmr.go.th/library/DMR_Technical_Reports
- เฉลิมวิทย์ ไกรขาว. (2548). **ผลกระทบระยะเวลาการเก็บสลัดจ์ที่มีต่อการดูดติดผิวและการคายกลับของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีด้วยแอกติเวตเตดสลัดจ์ส่วนเกิน**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน. (2552). **ลักษณะของตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2563 จาก <http://www.shawpat.or.th>.
- อภิปรียา คงสุวรรณ. (2549). **การศึกษาการคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมทองแดงและตะกั่วโดยใช้การดูดซับและการคายซับ**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และ รินทวัฒน์ สมบัติศิริ. (2552). **ตะกั่วและพิษของตะกั่ว**. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- วรรณถ จงเลิศจรรยาและธิดาทิพย์ เลิศชูติมากุล (2012) **การศึกษาสมดุลและจลน์ศาสตร์เกี่ยวกับการดูดซับของกรดฮิวมิกโดยการเร่งการตะกอนและแบคทีเรียบาซิลลัสซับทิลิส**. Songklanakarin J. Sci. Technol. 34 (6), 669-677, Nov. - Dec. 2012
- จารุวรรณ คำแก้ว และ อุไรพร ปุณณนิธิ. (2561). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากต้นสาครที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เบญจวรรณ วงศ์ศิริ. (2547). **พิษของสารตะกั่ว**. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

พระราชกร ใจประดับเพชร. (2549). **การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม**. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยนิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฐิตินาถ สุคนเขตร์ฐ,จันทร์สัจ วัฒนีสต์ยวงศ์กุล,วันปิติ ธรรมศรี,วีรชน ภูหินกอง และ นครินทร์ ศรี สุวรรณ. (2562). **การแปรรูปกะลามะพร้าวเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย อุตสาหกรรม**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เทียมชัย บัวลอย. (2553). **การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค**. วิทยาลัยนิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล , ปิยธิดา อูระชื่น. (2560).**การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยใช้ ถ่านกัมมันต์จากไม้มะขามที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก**. กรุงเทพฯ:วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

Jiaqi Zhang et al., (2019). Desorption of calcium-rich crayfish shell biochar for The Removal of lead from aqueous solutions. **Journal of colloid and interface Science**, pp. 417-423.

Pankaj Kumar and M.S. Chauhan, (2003). Adsorption of chromium (VI) from the Synthetic aqueous solution using chemically modified dried water hyacinth roots. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, pp. 103-218.

Bouchelta, C., Medjram, M.S., Bertrand, Bellat, J.P. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. **Journal of Analutical and Applied Pyrolysis**, 82: vpp.70-77.

M.M.Rahman ,M.Awang,B.S.Mohosina,B.Y.Kamaruzzaman,W.B. Wan Nikc and C. M. C. Adnanc (2012) Waste Palm Shell Converted to High Efficient Activated Carbon by Chemical Activation Method and Its Adsorption Capacity Tested by Water Filtration. **APCBEE Procedia** 1 (2012) 293 – 298

ภาคผนวก ก

ค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS)

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Standard 3	30	0.0296
Standard 4	40	0.0337
Standard 5	50	0.0459
Standard 6	60	0.0496
Standard 7	100	0.0789
Standard 8	150	0.1104
Standard 9	200	0.1406
Standard 10	250	0.2060
B 1mM 1m	136.071	0.1105
1mM 1m 1	53.572	0.0435
1mM 1m 2	56.528	0.0459
1mM 1m 3	63.847	0.0519
B 1mM 2m	155.366	0.1262
1mM 2m 1	45.840	0.0372
1mM 2m 2	48.080	0.0391
1mM 2m 3	46.550	0.0378
B 1mM 3m	155.504	0.1263
1mM 3m 1	45.603	0.0370
1mM 3m 2	48.786	0.0396
1mM 3m 3	44.908	0.0365
B 1mM 4m	148.137	0.1203
1mM 4m 1	55.275	0.0449
1mM 4m 2	40.334	0.0328
1mM 4m 3	40.434	0.0328
B 1mM 5m	139.565	0.1134
1mM 5m 1	50.588	0.0411

1mM 5m 2	50.760	0.0412
1mM 5m 3	42.821	0.0348
B 1mM 10m	133.541	0.1085
1mM 10m 1	26.338	0.0214
1mM 10m 2	29.771	0.0242
1mM 10m 3	33.896	0.0275
B 1mM 15m	152.441	0.1238
1mM 15m 1	59.339	0.0482
1mM 15m 2	34.871	0.0283
1mM 15m 3	43.715	0.0355
B 1mM 30m	136.052	0.1105
1mM 30m 1	23.995	0.0195
1mM 30m 2	21.522	0.0175
1mM 30m 3	26.864	0.0218
B 1mM 60m	139.688	0.1135
1mM 60m 1	25.915	0.0211
1mM 60m 2	22.153	0.0180
1mM 60m 3	25.005	0.0203
B 1mM 120m	155.328	0.1262
1mM 120m 1	15.310	0.0124
1mM 120m 2	18.131	0.0147
1mM 120m 3	31.638	0.0257

ตารางที่ ก-1 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank		-0.0009
Standard 1	10	0.0105
Standard 2	20	0.0116
Standard 3	30	0.0153
Standard 4	40	0.0178
Standard 5	50	0.0257
Standard 6	60	0.0274
Standard 7	100	0.0436
Standard 8	150	0.0654
Standard 9	200	0.0817
Standard 10	250	0.1237
B 1 g	139.171	0.0646
1 g 1	92.998	0.0432
1 g 2	79.861	0.0371
1 g 3	82.436	0.0383
B 2 g	138.524	0.0643
2 g 1	36.569	0.0170
2 g 2	39.212	0.0182
2 g 3	42.434	0.0197
B 3 g	139.568	0.0648
3 g 1	24.718	0.0115
3 g 2	16.681	0.0077
3 g 3	14.804	0.0069
B 4 g	128.115	0.0595
4 g 1	2.236	0.0010

4 g 2	1.476	0.0007
4 g 3	16.084	0.0075
B 5 g	161.290	0.0749
5 g 1	-0.637	-0.0003
5 g 2	11.788	0.0055
5 g 3	-1.587	-0.0007
B 7.5 g	149.500	0.0694
7.5 g 1	16.376	0.0076
7.5 g 2	13.230	0.0061
7.5 g 3	16.205	0.0075
B 10 g	146.877	0.0682
10 g 1	-1.596	-0.0007
10 g 2	7.556	0.0035
10 g 3	-2.846	-0.0013

ตารางที่ ก-2 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบคัตขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank	-	-0.0013
Standard 1	10	0.0206
Standard 2	20	0.0218
Standard 3	30	0.0293
Standard 4	40	0.0339
Standard 5	50	0.0453
Standard 6	60	0.0496
Standard 7	100	0.0789
Standard 8	150	0.1083
Standard 9	200	0.1393
Standard 10	250	0.1983
B 1 g	156.622	0.1248
1 g 1	93.362	0.0744
1 g 2	104.378	0.0832
1 g 3	103.657	0.0826
B 2 g	153.69	0.1225
2 g 1	59.556	0.0475
2 g 2	61.263	0.0488
2 g 3	69.164	0.0551
B 3 g	189.054	0.1507
3 g 1	49.684	0.0396
3 g 2	41.435	0.033
3 g 3	40.503	0.0323
B 4 g	158.799	0.1266

4 g 1	26.292	0.021
4 g 2	24.055	0.0192
4 g 3	23.365	0.0186
B 5 g	147.655	0.1177
5 g 1	30.416	0.0242
5 g 2	18.846	0.015
5 g 3	31.618	0.0252
B 7.5 g	164.525	0.1311
7.5 g 1	6.115	0.0049
7.5 g 2	21.713	0.0173
7.5 g 3	18.67	0.0149
B 10 g	196.422	0.1565
10 g 1	2.205	0.0018
10 g 2	5.238	0.0042
10 g 3	23.931	0.0191

ตารางที่ ก-3 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank	-	-0.0013
Standard 1	10	0.0206
Standard 2	20	0.0218
Standard 3	30	0.0293
Standard 4	40	0.0339
Standard 5	50	0.0453
Standard 6	60	0.0496
Standard 7	100	0.0789
Standard 8	150	0.1083
Standard 9	200	0.1393
Standard 10	250	0.1983
B 3g 1m	139.927	0.1115
3g 1m 1	43.103	0.0344
3g 1m 2	53.938	0.043
3g 1m 3	39.432	0.0314
B 3g 2m	147.03	0.1172
3g 2m 1	44.25	0.0353
3g 2m 2	52.822	0.0421
3g 2m 3	38.307	0.0305
B 3g 3m	155.883	0.1242
3g 3m 1	37.765	0.0301
3g 3m 2	57.632	0.0459
3g 3m 3	47.14	0.0376
B 3g 4m	159.92	0.1274

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
3g 4m 1	56.086	0.0447
3g 4m 2	35.091	0.028
3g 4m 3	54.334	0.0433
B 3g 5m	146.447	0.1167
3g 5m 1	31.913	0.0254
3g 5m 2	32.474	0.0259
3g 5m 3	43.459	0.0346
B 3g 10m	160.823	0.1282
3g 10m 1	37.787	0.0301
3g 10m 2	34.228	0.0273
3g 10m 3	29.999	0.0239
B 3g 15m	166.533	0.1327
3g 15m 1	31.243	0.0249
3g 15m 2	20.246	0.0161
3g 15m 3	31.343	0.025
B 3g 30m	164.103	0.1308
3g 30m 1	49.672	0.0396
3g 30m 2	55.943	0.0446
3g 30m 3	65.419	0.0521
B 3g 60m	154.846	0.1234
3g 60m 1	61.222	0.0488
3g 60m 2	50.68	0.0404
3g 60m 3	56.39	0.0449
B 3g 120m	144.814	0.1154
3g 120m 1	33.85	0.027
3g 120m 2	25.708	0.0205
3g 120m 3	24.04	0.0192

B 3g 180m	163.817	0.1306
3g 180m 1	44.396	0.0354
3g 180m 2	39.586	0.0315
Sample Label	Conc.	Mean Abs.
3g 180m 3	57.234	0.0456

ตารางที่ ก-4 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank	-	-0.0006
Standard 1	50	0.0450
Standard 2	60	0.0491
Standard 3	100	0.0778
Standard 4	150	0.1100
Standard 5	200	0.1422
Standard 6	250	0.1990
Standard 7	300	0.2028
Standard 8	350	0.2290
Standard 9	400	0.2752
Standard 10	450	0.2837
B 2mM 1m	332.902	0.2326
2mM 1m 1	117.183	0.0819
2mM 1m 2	151.674	0.1060
2mM 1m 3	127.054	0.0888
B 2mM 2m	343.035	0.2396
2mM 2m 1	63.398	0.0443

2mM 2m 2	73.803	0.0516
2mM 2m 3	117.289	0.0819
B 2mM 3m	358.263	0.2503
Sample Label	Conc	Mean Abs.
2mM 3m 1	177.260	0.1238
2mM 3m 2	136.311	0.0952
2mM 3m 3	109.777	0.0767
B 2mM 4m	337.129	0.2355
2mM 4m 1	153.854	0.1075
2mM 4m 2	141.949	0.0992
2mM 4m 3	150.168	0.1049
B 2mM 5m	337.933	0.2361
2mM 5m 1	152.418	0.1065
2mM 5m 2	126.539	0.0884
2mM 5m 3	105.857	0.0740
B 2mM 10m	357.357	0.2497
2mM 10m 1	88.057	0.0615
2mM 10m 2	96.057	0.0671
2mM 10m 3	111.124	0.0776
B 2mM 15m	348.598	0.2435
2mM 15m 1	70.204	0.0490
2mM 15m 2	118.385	0.0827
2mM 15m 3	101.766	0.0711
B 2mM 30m	323.121	0.2258
2mM 30m 1	103.483	0.0723
2mM 30m 2	91.885	0.0642
2mM 30m 3	103.356	0.0722
B 2mM 60m	356.596	0.2491

2mM 60m 1	99.877	0.0698
2mM 60m 2	69.854	0.0488
2mM 60m 3	76.028	0.0531
Sample Label	Conc.	Mean Abs.
B 2mM 120m	342.432	0.2392
2mM 120m 1	59.974	0.0419
2mM 120m 2	52.098	0.0364
2mM 120m 3	66.299	0.0463

ตารางที่ ก-5 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank	-	0.0005
Standard 1	50	0.0509
Standard 2	60	0.0549
Standard 3	100	0.0868
Standard 4	150	0.1202
Standard 5	200	0.1544
Standard 6	250	0.2206
Standard 7	300	0.2213
Standard 8	350	0.2463
Standard 9	400	0.2948
Standard 10	450	0.2982
B 2mM 1m	307.763	0.2329
2mM 1m 1	120.8	0.0914
2mM 1m 2	113.211	0.0857

2mM 1m 3	101.212	0.0766
B 2mM 2m	297.101	0.2249
2mM 2m 1	100.721	0.0762
Sample Label	Conc.	Mean Abs.
2mM 2m 2	110.716	0.0838
2mM 2m 3	101.763	0.077
B 2mM 3m	308.933	0.2338
2mM 3m 1	106.691	0.0807
2mM 3m 2	99.478	0.0753
2mM 3m 3	109.397	0.0828
B 2mM 4m	296.966	0.2248
2mM 4m 1	123.402	0.0934
2mM 4m 2	117.603	0.089
2mM 4m 3	115.019	0.0871
B 2mM 5m	315.329	0.2387
2mM 5m 1	139.062	0.1052
2mM 5m 2	148.555	0.1124
2mM 5m 3	134.694	0.1019
B 2mM 10m	290.869	0.2201
2mM 10m 1	104.812	0.0793
2mM 10m 2	104.501	0.0791
2mM 10m 3	112.368	0.085
B 2mM 15m	303.439	0.2297
2mM 15m 1	101.24	0.0766
2mM 15m 2	95.185	0.072
2mM 15m 3	90.061	0.0682
B 2mM 30m	292.367	0.2213
2mM 30m 1	90.014	0.0681

2mM 30m 2	81.897	0.062
2mM 30m 3	90.053	0.0682
B 2mM 60m	296.234	0.2242
Sample Label	Conc.	Mean Abs.
2mM 60m 1	75.804	0.0574
2mM 60m 2	75.995	0.0575
2mM 60m 3	87.328	0.0661
B 2mM 120m	286.542	0.2169
2mM 120m 1	69.953	0.0529
2mM 120m 2	69.823	0.0528
2mM 120m 3	71.027	0.0538

ตารางที่ ก-6 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบคัตขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank	-	-0.0016
Standard 1	50	0.0183
Standard 2	60	0.0231
Standard 3	100	0.0458
Standard 4	150	0.1101
Standard 5	200	0.1300
Standard 6	250	0.1356
Standard 7	300	0.1684
Standard 8	350	0.1993
Standard 9	400	0.2241
Standard 10	450	0.2460

B 2mM 1m	381.709	0.2151
1m 1	254.304	0.1433
1m 2	242.727	0.1368
Sample Label	Conc.	Mean Abs.
1m 3	208.685	0.1176
B 2mM 2m	384.070	0.2164
2m 1	137.568	0.0775
2m 2	164.329	0.0926
2m 3	147.958	0.0834
B 2mM 3m	379.708	0.2140
3m 1	74.294	0.0419
3m 2	76.631	0.0432
3m 3	82.483	0.0465
B 2mM 4m	383.827	0.2163
4m 1	36.535	0.0206
4m 2	29.296	0.0165
4m 3	48.689	0.0274
B 2mM 5m	384.453	0.2166
5m 1	15.876	0.0089
5m 2	14.191	0.0080
5m 3	20.866	0.0118
B 2mM 7.5m	391.230	0.2204
7.5m 1	14.703	0.0083
7.5m 2	18.734	0.0106
7.5m 3	26.613	0.0150
B 2mM 10m	392.669	0.2213
10m 1	70.493	0.0397
10m 2	42.017	0.0237

10m 3	62.511	0.0352
-------	--------	--------

ตารางที่ ก-7 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบไม่คัดขนาด

Sample Label	Conc.	Mean Abs.
Cal Blank		-0.0016
Standard 1	50	0.0183
Standard 2	60	0.0231
Standard 3	100	0.0458
Standard 4	150	0.1101
Standard 5	200	0.1300
Standard 6	250	0.1356
Standard 7	300	0.1684
Standard 8	350	0.1993
Standard 9	400	0.2241
Standard 10	450	0.2460
B 2mM 1m คัดขนาด	378.877	0.2135
1m 1	246.901	0.1391
1m 2	240.591	0.1356
1m 3	213.458	0.1203
B 2mM 2m คัดขนาด	403.807	0.2275
2m 1	191.046	0.1077
2m 2	183.603	0.1035
2m 3	170.902	0.0963
B 2mM 3m คัดขนาด	378.098	0.2130
3m 1	199.917	0.1126

3m 2	124.709	0.0703
3m 3	178.001	0.1003
B 2mM 4m คัดขนาด	427.174	0.2407
4m 1	163.530	0.0921
4m 2	100.373	0.0566
4m 3	157.082	0.0885
B 2mM 5m คัดขนาด	412.293	0.2323
5m 1	87.307	0.0492
5m 2	75.322	0.0424
5m 3	125.216	0.0706
B 2mM 7.5m คัดขนาด	419.751	0.2365
7.5m 1	111.965	0.0631
7.5m 2	89.561	0.0505
7.5m 3	40.664	0.0229
B 2mM 10m คัดขนาด	418.203	0.2356
10m 1	6.759	0.0038
10m 2	5.109	0.0029
10m 3	16.930	0.0095

ตารางที่ ก-8 ผลของค่าความเข้มข้นตะกั่วที่วัดได้จากเครื่อง

Atomic Absorption spectrophotometer (AAS) จากถ่านกัมมันต์แบบคัดขนาด

ภาคผนวก ข
ประมวลภาพการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ ข-1 การชั่งปริมาณถ่านกัมมันต์



ภาพที่ ข-2 การชั่งสารฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์



ภาพที่ ข-3 การทำสารละลายมาตรฐานเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ผล



ภาพที่ ข-4 วัด pH ของสารละลาย Buffer



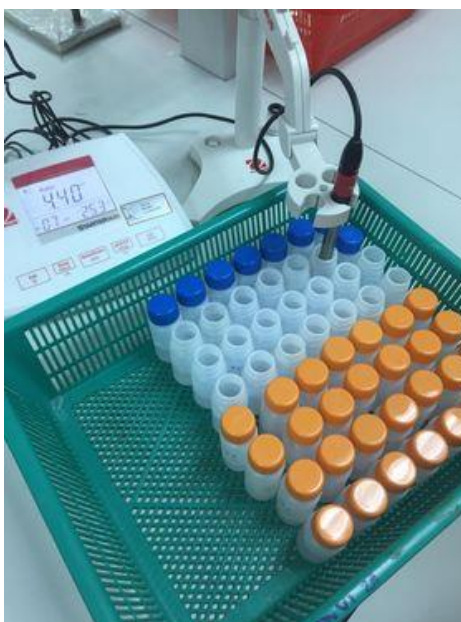
ภาพที่ ข-5 นำสารละลาย Buffer ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในตัวอย่างที่มีถ่านกัมมันต์และBlank



ภาพที่ ข-6 เขย่าถ่านกัมมันต์ในสารละลายด้วยเครื่องเขย่า



ภาพที่ ข-7 การกรองถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายที่ผ่านการเขย่าแล้ว



ภาพที่ ข-8 นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองมาวัดค่า pH



ภาพที่ ข-9 นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาหยดกรดไนตริก 2-3 หยด



ภาพที่ ข-7 เตรียมสารละลายทั้งหมดไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง Atomic Absorption

Spectrophotometer (AAS)