



รายงานวิจัย

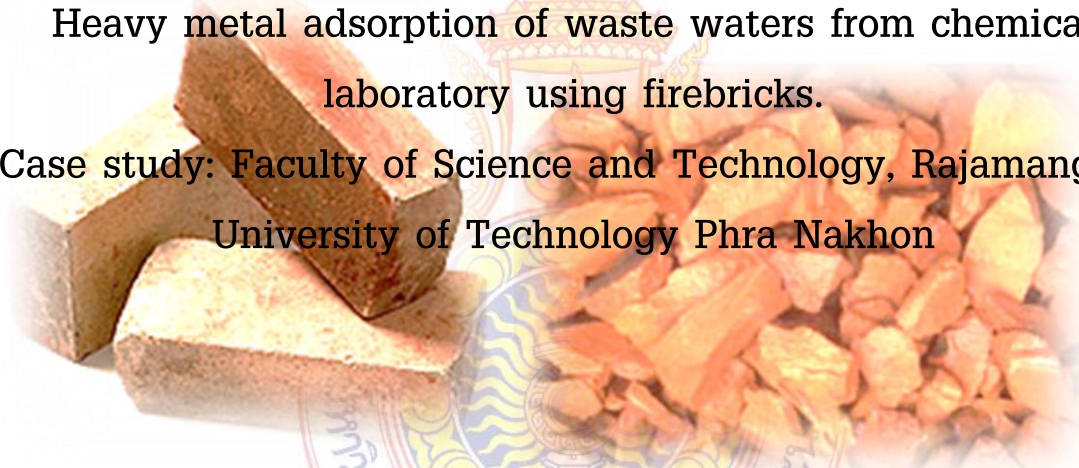
การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยอิฐมอญ

กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Heavy metal adsorption of waste waters from chemical
laboratory using firebricks.

Case study: Faculty of Science and Technology, Rajamangala
University of Technology Phra Nakhon



วรวิทย์ จันท์สุวรรณ

ประเทืองทิพย์ โจรณวิภาต

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยอิฐมอญ กรณีศึกษาคณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้วิจัย : วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ
ประเทืองทิพย์ โรจนวิภาต

พ.ศ. : 2556

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองเชิงปฏิบัติการเพื่อศึกษาการดูดซับโลหะหนักจากน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยการใช้อิฐมอญเป็นวัสดุดูดซับ โดยรวบรวมเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีระหว่างการทำทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ปฏิบัติการหลักเคมี และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักประกอบด้วยระยะเวลาการกวน ปริมาณของตัวดูดซับต่อปริมาตรโลหะหนัก และอุณหภูมิ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือระยะเวลาการกวน 2 ชั่วโมง ปริมาณอิฐมอญ 10 กรัมต่อปริมาตรสารละลาย 100 มิลลิลิตร และที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับต่อโลหะหนัก ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและโครเมียมในตัวอย่างน้ำทิ้งเท่ากับ 65.1, 54.8, 63.4 และ ND ตามลำดับ



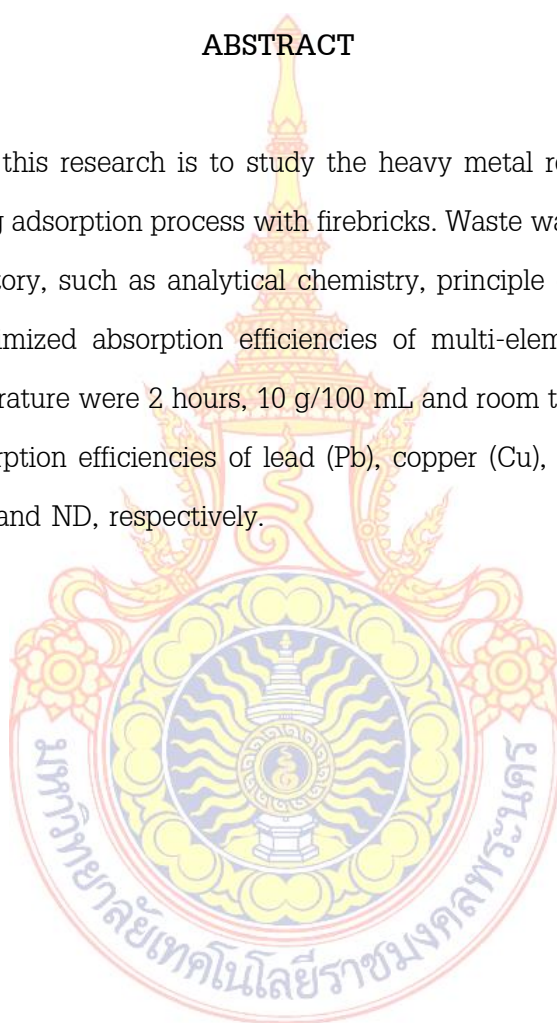
Title : Heavy metal adsorption of waste waters from chemical laboratory using firebricks. Case study: Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Researcher : Woravith Chansuvarn
Pratuangtip Rojanavipat

Year : 2013

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the heavy metal removal from wastewater from laboratory by using adsorption process with firebricks. Waste water was collected among three courses of laboratory, such as analytical chemistry, principle chemistry and chemistry for engineers. The optimized absorption efficiencies of multi-elements with stirring time, volume ratio and temperature were 2 hours, 10 g/100 mL and room temperature, respectively. It was found that absorption efficiencies of lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr) were 65.1, 54.8, 63.4% and ND, respectively.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย จากงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2556 ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหามา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วรวิทย์ จันทรสุวรรณ
ประเทืองทิพย์ โรจนวิภาต



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความหรือนิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ของเสียจากห้องปฏิบัติการ	3
2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี	5
2.3 อีซูมอญ	19
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 รูปแบบการวิจัย	22
3.2 เครื่องมือและสารเคมี	22
3.3 วิธีการทดลอง	23
3.4 การหาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของอีซูมอญ	25
3.5 การดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งตัวอย่าง	26
3.6 การหาความถูกต้องและความแม่นยำของการวิเคราะห์	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลอง	28
4.2 การดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้ง	34
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	38

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการแยกประเภทของของเสีย	14
รูปที่ 2.2 สภาพการตกตะกอนโลหะหนักที่ pH ต่างกัน	16
รูปที่ 2.3 แผนผังการบำบัดน้ำเสียที่มีไฮดรอนโลหะปนเปื้อน	17
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์ด้วย AAS	24
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองโดยการดูดซับโลหะด้วยอิฐมอญ	26
รูปที่ 4.1 ถังเก็บน้ำทิ้ง (ก) โลหะหนักทั่วไป (ข) โลหะหนักที่มีปรอท และ (ค) โลหะหนักที่มีโครเมียม	31
รูปที่ 4.2 ปัจจัยระยะเวลาในการกวนในการดูดซับโลหะหนัก	32
รูปที่ 4.3 ปัจจัยปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก	33
รูปที่ 4.4 ปัจจัยอุณหภูมิต่อการดูดซับโลหะหนัก	33



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานปริมาณสารพิษและโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ที่ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการระบายน้ำทิ้ง ประเทศญี่ปุ่น	18
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของอิฐมอญที่ผลิตจากแหล่งผลิตต่างกัน	20
ตารางที่ 4.1 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์	28
ตารางที่ 4.2 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบรายวิชาปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร	29
ตารางที่ 4.3 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบรายวิชาปฏิบัติการหลักเคมี	30
ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี	34



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาต่างๆ ทั้งของรัฐบาลและเอกชน ได้จัดให้มีการเรียนการสอนทั้งในสาขาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับด้านการเรียนภาคปฏิบัติ มีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก บางชนิดมีความเข้มข้นและมีความเป็นพิษสูง เช่น พวกละหะหนัก สารอินทรีย์ กรด-ด่าง เป็นต้น ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดหรือจัดการอย่างถูกวิธีจะเป็นเพิ่มมลพิษทางน้ำได้มากที่สุด แต่วิธีการบำบัดหรือลดความรุนแรงก็มีได้หลายวิธีขึ้นกับกับชนิดและปริมาณของสารเคมีนั้นๆ [1, 2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จัดการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์รองรับนักศึกษาทุกคณะของมหาวิทยาลัย ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ รายวิชาปฏิบัติการเคมีถือได้ว่าเป็นรายวิชาที่สำคัญในการฝึกทดลองทางวิทยาศาสตร์ แต่ในการทำทดลองจำเป็นต้องใช้สารเคมีจำนวนมากและปริมาณเยอะ ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้นก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ จำนวนห้องปฏิบัติการเคมีและสิ่งแวดล้อมมีรวม 6 ห้อง ซึ่งใช้ในการสอนรายวิชาปฏิบัติการหลักเคมี ปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และปฏิบัติการทางด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ไหลไปตามระบบท่อรวบรวมภายในอาคารแล้วลงสู่รางระบายน้ำน้ำฝน ซึ่งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังไม่มีระบบการจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่เกิดรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมี ปริมาณ และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทิ้งเพื่อศึกษาเป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการของเสียตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการ

ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้อิฐมอญเป็นตัวดูดซับโลหะหนักเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งก่อนทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป เนื่องจากอิฐมอญเป็นวัสดุที่ก่อสร้างที่ใช้กันแพร่หลายมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อิฐมอญทำจากดินเหนียว น้ำและวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ไข่ไก่ แกลบ ทราบผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก ความเหนียวของดินเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่ายอุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1100 องศาเซลเซียส เพื่อให้อิฐมีความแข็งแรงโดยไม่มีการหดตัวหรือผิกรูปมากเกินไป การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำโดยวิธีมาตรฐานด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี เช่น AAS หรือ ICP-OES [3, 4] เพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังก่อนดูดซับด้วยอิฐมอญ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อควบคุมโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยวิธีอิมมูโน
2. เพื่อศึกษาเป็นแนวทางในการจัดการของเสียอันตรายตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการเคมี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษา น้ำเสียที่เก็บหลังการทดลองเคมีในรายวิชาปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-103) ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) และปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) โดยแยกชนิดของสารพิษและโลหะหนัก
- 2) ศึกษาการควบคุมโลหะหนักโดยใช้วิธีอิมมูโน
- 3) ชนิดของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท โครเมียม ทองแดง สังกะสี เป็นต้น
- 4) เก็บรวบรวมน้ำเสียในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 และ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556

1.4 คำจำกัดความหรือนิยามศัพท์เฉพาะ

น้ำเสีย (waste water) คือน้ำที่ไม่ต้องการหรือน้ำที่ใช้แล้วและระบายลงท่อน้ำทิ้ง ในการศึกษานี้คือน้ำทิ้งจากการทำการทดลองทางเคมี น้ำล้างสารเคมี น้ำยาสารเคมี เป็นต้น

สารพิษ (toxic) คือของที่ทำให้ผลร้ายต่อชีวิต เช่น ฟอสฟอรัส ไซยาไนด์

โลหะหนัก (heavy metal) คือ กลุ่มโลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 และมีความเป็นพิษสะสม เช่น ตะกั่ว ปรอท โครเมียม ทองแดง สังกะสี เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ประสิทธิภาพของวิธีอิมมูโนในการควบคุมโลหะหนัก
- 2) สามารถนำข้อมูลเป็นแนวทางในการพิจารณาเกี่ยวกับการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการเคมี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสียจากห้องปฏิบัติการ

การทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ตัวทำละลาย หรือสารละลายจะต้องเกิดของเสียขึ้นจำนวนมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับกรทดลอง ของเสียจำพวกนี้อาจแบ่งแยกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย (non-hazardous waste) และของเสียที่เป็นอันตราย (hazardous waste) โดยของเสียที่ไม่เป็นอันตรายสามารถทิ้งได้ตามท่อน้ำทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อมมากนักแต่ต้องทำการเจือจางก่อนทิ้ง หรือมีการทำให้เป็นกลางก่อน ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของเสีย ปริมาณและความเข้มข้น แต่ของเสียที่เป็นอันตรายจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ของเสียที่เป็นอันตรายอาจประกอบด้วยคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งตามคำนิยามของวัตถุอันตราย คือ

- 1) วัตถุระเบิดได้
- 2) วัตถุไวไฟ
- 3) วัตถุออกซิไดส์และวัตถุเปอร์ออกไซด์
- 4) วัตถุมีพิษ
- 5) วัตถุทำให้เกิดโรค
- 6) วัตถุกัมมันตรังสี
- 7) วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
- 8) วัตถุกัดกร่อน
- 9) วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง
- 10) วัตถุอย่างอื่น ไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์หรือสิ่งแวดล้อม

การกำหนดคำนิยามของของเสียอันตรายที่ความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ สำหรับองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) โดย Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) ได้กำหนดลักษณะของของเสียอันตรายที่เกิดจากห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1) สารไวไฟ (ignitability) คือของเหลวที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 60 °C (140 F) หรือเป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกติดไฟได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐานเมื่อเกิดการเสียดสี การดูดความชื้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น สารละลายอินทรีย์ สารออกซิไดส์ เป็นต้น

2) สารกัดกร่อน (corrosity) คือของเหลวที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่าหรือเท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า เช่น H_2SO_4 HCl NaOH เป็นต้น

3) สารเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (reactivity) คือของเสียที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรุนแรงและรวดเร็วโดยไม่ต้องการกระตุ้น เป็นสารที่ทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ เป็นสารที่รวมกับน้ำจะเกิดแก๊สที่เป็นพิษ

4) สารพิษ (toxicity) คือของเสียจำพวกโลหะหนัก เช่น อาร์เซนิก มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่วมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรอทมากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

การแบ่งประเภทของเสียจากห้องปฏิบัติการอาจจำแนกตามสถานะของของเสียเช่น ของเหลว ของแข็งและแก๊ส แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการกำจัดหรือนำบำบัดอาจจำแนกได้ 5 ประเภทคือ

- 1) ของเสียสารเคมี (chemical waste) ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สารเคมี ตัวทำละลาย สารละลายอินทรีย์ รวมทั้งสารตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตรวจวิเคราะห์ ของเสียประเภทนี้จัดเป็นของเสียอันตรายที่ต้องผ่านบำบัดก่อนทิ้ง
- 2) ของเสียติดเชื้อ (infectious waste) ส่วนใหญ่จะพบในสถานพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา มากกว่าในการทดลองปกติ เช่น การเพาะเลี้ยงเชื้อ หรือของเสียที่มีเลือดเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น
- 3) ของเสียกัมมันตรังสี (radioactivity) เป็นของเสียที่อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส ที่สามารถแพร่กระจายรังสีของอนุภาคแอลฟา (alpha) เบต้า (beta) หรือแกมมา (gamma) รังสีเอ็กซ์ (x-ray) นิวตรอน โปรตอนและอิเล็กตรอนความเร็วสูง
- 4) ของเสียแหลมคม (sharp) คือของเสียที่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโดยตรงและหากมีการปนเปื้อนสารพิษ สารเคมีหรือเชื้อโรคก็จะมีอันตรายสูงมาก
- 5) ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย (non-hazardous waste) เป็นของเสียที่ไม่มีการปนเปื้อนสารเคมี สารพิษหรือเชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสี

2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

ของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการเคมีส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวและสารละลาย เนื่องจากการทดลองจะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก เช่นกรดแก่ ต่างแก่ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ เป็นต้น รวมทั้งน้ำที่ใช้ล้างอุปกรณ์ เครื่องแก้วต่างๆ ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้นมักถูกทิ้งลงท่อน้ำทิ้ง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยและปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา

2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่นำมาศึกษาในงานวิจัยเป็นการรวบรวมจากห้องปฏิบัติการเคมีในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) ปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104)

2.2.2 อันตรายจากสารพิษและโลหะหนักในน้ำทิ้ง

การปล่อยน้ำเสียที่มีสารพิษและโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเสียก่อนย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ และอาจสะสมในพืชและสัตว์ ซึ่งนำไปสู่อันตรายต่อมนุษย์ อันตรายของสารพิษและโลหะหนักที่จัดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและคาดว่าจะพบในน้ำทิ้งในห้องปฏิบัติการเคมี เช่น

1) ไสยาไนต์

ความเป็นพิษจากสารไซยาไนด์ (cyanide) นับว่าเป็นภัยจากสารเคมีอีกชนิดที่อันตรายที่มีต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างสูง ถึงแม้ว่าสารไซยาไนด์ไม่ถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง แต่ก็มีความเสี่ยงสูงถึงแก่ความตายได้หากร่างกายได้รับเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ Baskin และคณะ [5] รายงานว่าการได้รับสารไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นสูงอาจทำให้เสียชีวิตได้ในระยะเวลาเพียงไม่กี่วินาทีและสารเคมีชนิดนี้ถูกใช้เป็นยาพิษเมื่อหลายพันปีแล้ว สูตรโมเลกุลโดยทั่วไปของไซยาไนด์คือ $-CN$ ซึ่งสามารถไปจับกับธาตุหรือสารประกอบอื่นๆ ได้ง่าย โดยส่วนใหญ่จะให้สารประกอบที่เป็นพิษต่อร่างกาย โดยทั่วไปแบ่งกลุ่มของสารประกอบหมู่ไซยาไนด์ได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มสารอนินทรีย์ (inorganic cyanide) และกลุ่มสารอินทรีย์ (organic cyanide หรือ nitriles) ตัวอย่างสารประกอบไซยาไนด์เช่น

- acrylonitrile (vinyl cyanide, cyanoethylene, propene nitrile) ลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย ใช้เป็นสารตั้งต้นของอุตสาหกรรมยา ยางแผ่น และสารลดแรงตึงผิว

- calcium cyanamide (nitrolim, calcium carbimide, cyanamide) ลักษณะเป็นผงสีดำเทา เป็นประกาย ใช้สำหรับบ่มเพาะในงานเกษตรกรรม ยางแผ่น ยาปราบวัชพืช อุตสาหกรรมผ้าคอตตอน อุตสาหกรรมเหล็กใช้ทำให้เหล็กแข็งตัว และยังเป็นสารตั้งต้นของการผลิตเมลามีน

- cyanogen, cyanogen bromide and cyanogen chloride ใช้เป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิง และใช้ในการตัดเหล็กที่ทนความร้อนสูง นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นส่วนประกอบของยาฆ่าแมลง และใช้สกัดทอง

- hydrogen cyanide ใช้ในอุตสาหกรรมไฟเบอร์ พลาสติก ชัดเงาโลหะ การย้อมสี และการถ่ายภาพ

- sodium cyanide ใช้เป็นวัตถุเคลือบโลหะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการสกัดทองและเงิน ใช้ทำสะอาดโลหะ ใช้ในการทำยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมการผลิตในลอนเป็นต้น

- potassium ferricyanide (red prussiate of potash) ใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ การถ่ายภาพ การย้อมสี และการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

กําลังสารไฮยาโนค นิยมกําลังสารไฮยาโนคในรูปสารละลาย จากงานวิจัยของ Adams [6] ซึ่งทำการวิจัยหาประสิทธิภาพการดูดซึมสารละลายไฮยาโนคโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุต่างๆ พบว่าถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากไม้ให้ประสิทธิภาพการดูดซึมสูงสุดประมาณ 90%

2) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) เป็นธาตุที่สำคัญในการส่งผ่านพลังงานของจุลินทรีย์และเป็นองค์ประกอบของเซลล์ เช่น ฟอสโฟไลปิด, นิวคลีโอไทด์ และกรดนิวคลีอิก ที่สำคัญ มันจะอยู่ในรูป ATP (adenosine triphosphate) ฟอสฟอรัสที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ อาจจะอยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำ หรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติและน้ำโสโครก หรืออาจเกิดจากหินฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โดยตรง ในอีกทางหนึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้สารประกอบฟอสเฟต เช่น ผงซักฟอก เป็นต้น โดยทั่วไป น้ำเสียชุมชน จะมีปริมาณฟอสเฟตเป็นปริมาณมาก เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ผงซักฟอกและสิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และสัตว์ ซึ่งจะพบว่า มากกว่า 50% ของโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) จะเกิดจากผงซักฟอกหรือสิ่งที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ

ผลของการมีฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ เกิดปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไปในบางที่เราจะเรียกว่า Eutrophication หรือ Algae bloom (Algal bloom) ซึ่งก็คือการที่แหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไปจนทำให้การเพิ่มจำนวนของ แพลงก์ตอนพืช (สาหร่ายขนาดเล็ก) อย่างรวดเร็ว จนทำให้น้ำเปลี่ยนสีไปจากสีปกติ อาจเป็นสีเขียว สีน้ำตาล หรือสีแดง ขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้นๆ ผลกระทบจากการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงในเวลากลางคืน เป็นเหตุให้สัตว์น้ำบางประเภทตายได้ และถ้าปรากฏการณ์นี้กินเวลานาน อาจมีการทับถมของซากพืชซากสัตว์ที่ตายแล้วจำนวนมากจนอาจทำให้แหล่งน้ำนั้นตื้นเขินได้ ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสีย จึงควรมีการบำบัดน้ำให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อที่ว่า เมื่อน้ำเสียที่มีการบำบัดแล้วได้ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ

ธรรมชาติจะไม่ได้ทำให้เกิดภาวะที่มีสารอาหารมากเกินไปได้ ปรากฏการณ์ Eutrophication จะเกิดขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเกิน 0.01 mg/L และ NO_3^- -N เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่มีส่วนร่วมคือ แสงแดด, อุณหภูมิ, ความเค็ม, ความเสถียรของน้ำ และ พฤติกรรมของแพลงก์ตอนพืชเป็นต้น

3) ปรอท

ปรอท (mercury, Hg) เป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่อยู่ในรูปบริสุทธิ์จะอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเกิดการหกหรือไหลปรอทสามารถกลิ้งไปมาและระเหยเป็นไอได้ง่าย และเข้าสู่ร่างกายทางการสูดดม ปรอทบริสุทธิ์ดูดซึมได้น้อยมากทางการกิน ส่วนการสัมผัสผ่านทางผิวหนังทำให้เกิดผื่นแพ้ได้ นอกจากนี้ในรูปโลหะบริสุทธิ์ ยังพบปรอทได้ในรูปปรอทอินทรีย์ และปรอทอินทรีย์อีกด้วย อาการพิษของปรอทแต่ละรูปจะมีความแตกต่างกันไป เช่น

- ปรอทบริสุทธิ์ (elemental mercury) อยู่ในรูปของเหลวหากกินหรือกลืนเข้าไปจะดูดซึมเข้าทางเดินอาหารได้น้อยมาก จึงมักไม่เกิดพิษขึ้น แต่ในรูปไอระเหยสามารถดูดซึมเข้าทางปอดได้มากและรวดเร็ว ทำให้เสี่ยงต่อความเป็นพิษสูง อาการเฉียบพลันหากได้รับปริมาณสูงกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจะทำให้เกิดปอดอักเสบและปอดบวมอย่างรุนแรง อาการระยะยาวกรณีรับสัมผัสในระดับต่ำเป็นเวลานานจะเกิดกับระบบประสาทเป็นหลัก ระยะแรกที่เกิดคืออาการสั่น (tremor) ตามด้วยการเคลื่อนไหวแบบกระตุกของแขนขา ต่อมาเกิดความเปลี่ยนแปลงต่อสภาพจิต คือ อ่อนเพลีย นอนไม่หลับ เบื่ออาหาร ความจำไม่ดี ปัญหาทางอารมณ์ที่เกิดขึ้นคือ ซึมเศร้า วิดกกังวล กระวนกระวายผิดปกติ หากอาการรุนแรงอาจทำให้เพ้อคลั่งและความจำเสื่อม อาการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นได้คือเหงื่อออกซึ่งจะพบเป็นเส้นสีฟ้าปรากฏที่เหงื่อและฟัน อาการชาปลายมือปลายเท้าและไตเสื่อม

- ปรอทอินทรีย์ (inorganic mercury) เนื่องจากส่วนใหญ่อยู่ในสารประกอบที่เป็นของเหลวทางเข้าหลักของปรอทอินทรีย์จึงเป็นการกินหรือกลืน แม้ว่าการเข้าทางลมหายใจอาจมีความเป็นไปได้เช่นกัน เมื่อกลืนสารกลุ่มปรอทอินทรีย์เข้าไป โดยเฉพาะเมอร์คิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride, HgCl_2) จะทำให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรงทันที ทั้งยังเสี่ยงต่อไตอักเสบมีเลือดออก ถ้ารุนแรงจะทำให้ไตล้มเหลวช็อกและเสียชีวิตได้ในที่สุด นอกจากนี้ยังมีพิษต่อไตทำให้ไตวายเฉียบพลันจาก acute tubular necrosis ภายใน 2 – 3 วันหลังกินเข้าไป ระดับที่ทำให้เสียชีวิตหากกิน HgCl_2 เข้าไปอยู่ที่เพียง 1–4 กรัมเท่านั้น การรับสัมผัสในระดับต่ำแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดอาการทางระบบประสาทเช่นเดียวกับกรณีของปรอทบริสุทธิ์

- ปรอทอินทรีย์ (organic mercury) โดยทั่วไปคนจะได้รับปรอทอินทรีย์มากที่สุดจากทางการกินอาหารที่มีปรอทปนเปื้อน เช่น ปลา การดูดซึมในทางเดินอาหารของปรอทอินทรีย์จึงจัดว่าเกิดได้ดี ส่วนการดูดซึมผ่านทางหายใจและผิวหนังมีโอกาสเกิดน้อยแต่เป็นไปได้เช่นกัน อาการพิษที่เกิดในสารกลุ่มปรอทอินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ที่เคยเกิดขึ้นมากที่สุดคือพิษจากเมทิลเมอร์คิวรี (methylmercury, CH_3Hg^+) ซึ่งจะทำให้เกิดอาการทางระบบประสาทเป็นหลัก คือชาและเป็นเหน็บที่ปลายมือปลายเท้าและริม

ผิดปกติ เช่น มือสั่น กล้ามเนื้อเกร็งกระตุก พูดไม่ชัด การได้ยินผิดปกติ ลานสายตาแคบลง อาการทางจิตจะทำให้พฤติกรรมเปลี่ยนแปลง สติปัญญาเสื่อม ผิวหนังแดงลอก ไตเสื่อม หากอาการรุนแรงจะถึงขั้นเสียชีวิตได้ อาการพิษเกิดขึ้นหลังจากได้รับ methylmercury เพียง 2 – 3 สัปดาห์ถึงเดือน ในกรณีของหญิงตั้งครรภ์เด็กที่คลอดออกมาจะได้รับผลกระทบทางระบบประสาทคือจะทำให้เป็นปัญญาอ่อนได้ กรณีของพิษ methylmercury ที่เคยเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและมีผู้ป่วยจำนวนมากนั้นมีการตีตัวอย่างที่ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1956 ผลจากการปล่อยของเสียที่มีสารปรอทจากโรงงานเคมีลงสู่อ่าวมินามาตะ (Minamata) ทำให้เกิดการสะสมของ methylmercury ในปลาทะเล เมื่อคนในชุมชนจับปลามากิน ทำให้เกิดอาการพิษจาก methylmercury ขึ้นจำนวนมาก เด็กทารกที่คลอดออกมาจากมารดาที่ได้รับพิษในช่วงนั้นจะปัญญาอ่อน เหตุการณ์ในครั้งนี้รุนแรงจนต้องเรียกขานกันต่อมาว่า “Minamata disease”

4. ตะกั่ว

ตะกั่ว (lead, Pb) เป็นโลหะหนักที่มีลักษณะอ่อนทำให้หลอมเหลวได้ง่ายและสามารถพิมพ์แบบออกมาเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มีการนำตะกั่วมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณ ในปัจจุบันก็ยังมีใช้ตะกั่วในงานต่างๆ อย่างแพร่หลาย ภาวะตะกั่วเป็นพิษเป็นโรคที่พบได้บ่อยในประเทศไทย อาการของตะกั่วเป็นพิษเป็นอาการที่เกิดขึ้นกับอวัยวะหลายระบบ และคล้ายกับอาการของโรคอื่นๆ ดังนั้นถ้าแพทย์ไม่ได้นึกถึงทำให้การวินิจฉัยผิดพลาด ซึ่งมักเกิดขึ้นเสมอ

ตะกั่วเป็นสารที่พบปนเปื้อนทั่วไป ในสมัยก่อนเด็กเป็นโรคพิษตะกั่วจากการรับประทานสีทาบ้าน หรือใช้มือจับของที่ติดสีดังกล่าว ในปัจจุบันสีทำด้วยตะกั่วมีน้อยลง แหล่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดพิษสำหรับผู้ใหญ่คือจากอุตสาหกรรมได้แก่ โรงงานทำแบตเตอรี่และโรงงานอื่นๆ ที่มีการใช้ตะกั่วอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ สำหรับประชาชนโดยทั่วไปอาจได้รับตะกั่วจากอากาศ ซึ่งมักมีตะกั่วปนเปื้อนจากการใช้เตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead) ในน้ำมันรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีแหล่งอื่นๆ อีกจำนวนมากที่อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะตะกั่วเป็นพิษ ได้แก่ หัวกระสุนตะกั่วที่ตกค้างในร่างกาย การทำงานในสนามยิงปืน ยาสูบไฟร หมึก แบตเตอรี่ (จุกสู่ง) ภาชนะเซรามิกส์ ที่มีตะกั่ว ท่อประปาที่ทำด้วยตะกั่ว ผลิตภัณฑ์จากแบตเตอรี่และอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อน เหล้าไวน์ เครื่องยนต์ที่ใช้ตะกั่วเป็นส่วนประกอบ การเสิร์ฟในพลอยที่ใช้จานตะกั่ว ตะกั่วที่ใช้เป็นตัวพิมพ์หนังสือ ตะกั่วถ่วงน้ำหนักม่าน สีที่ทาของใช้ของเด็ก เป็นต้น

ตะกั่วเป็นธาตุที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่างๆ ไป ปกติผู้ใหญ่จะรับประทานอาหารโดยมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ด้วยประมาณวันละ 150 ไมโครกรัม อาหารเด็กอาจมีตะกั่วปนประมาณวันละ 100 ไมโครกรัม และรับตะกั่วในน้ำดื่มประมาณ 100 ไมโครกรัมต่อวัน นอกจากนี้คนเรายังรับตะกั่วทางการหายใจ โดยทั่วไปอากาศอาจจะมีปริมาณตะกั่ว 1-2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประมาณกันว่าถ้าปริมาณตะกั่วในอากาศ 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจะทำให้ตะกั่วในเลือดสูงขึ้น 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ลิตร โดยสรุปคนหนึ่งอาจ

รับตะกั่วเข้าไปในร่างกายวันละ 0.1-2 มิลลิกรัม ในจำนวนนี้ประมาณ ร้อยละ 75 เข้าทางทางเดินอาหารและ ร้อยละ 25 เข้าทางการหายใจ การดูดซึมตะกั่วไปทางเดินอาหาร ผู้ใหญ่จะดูดซึมเข้าไปในร่างกายประมาณ ร้อยละ 10 ส่วนเด็กจะดูดซึมมากกว่าถึงร้อยละ 40 ดังนั้นเด็กที่รับประทานสารที่ปนเปื้อนตะกั่วทางปาก อาจมีอาการเป็นพิษมากกว่า ส่วนตะกั่วที่เข้าไปในทางเดินหายใจ ถ้าขนาดของผงฝุ่นที่มีตะกั่วยิ่งเล็กลง การดูดซึมก็ยิ่งมาก ผงฝุ่นตะกั่วที่เล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร ร่างกายสามารถดูดซึมได้ถึงร้อยละ 90 การกระจายของตะกั่วในร่างกาย เนื่องจากปกติตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกกำจัดออกไปช้าๆ ผลทำให้ตะกั่วมีการสะสมขึ้น ในคนทั่วไปตะกั่วอาจจะสะสมในร่างกายประมาณ 200 mg ส่วนในคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับสารตะกั่วอาจจะสะสมถึง 500 มิลลิกรัม



5. ทองแดง

ทองแดง (copper, Cu) ใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม เป็นต้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การน้ำดื่ม การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กระบวนการภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และขับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือ ร่างกายต้นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก

6. โครเมียม

โครเมียม (chromium, Cr) และสารประกอบของโครเมียมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภท เช่น การชุบโลหะ ผลิตภัณฑ์ส่วนรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ผสม (alloy) ผลิตภัณฑ์ ชุบเครื่องประดับ การย้อมผ้า การฟอกหนังสัตว์ เป็นต้น โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่ม โดยแบ่งตามเลขออกซิเดชัน ได้แก่ 0, +1, +2, +3, +4 และ +6 ซึ่งกลุ่ม +3 หรือเรียกว่า trivalent chromium (Cr^{3+}) และ +6 ที่เรียกว่า hexavalent chromium (Cr^{6+}) จะเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญ ทั้งในด้านการนำมาใช้ประโยชน์และผลต่อสุขภาพของคน มีรายงานการศึกษาในสัตว์ทดลองและการศึกษาทางระบาดวิทยา ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับ Cr^{6+} เป็นเวลานานๆ ที่สนับสนุนว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ซึ่งกลไกของโครเมียมขึ้นกับเลขออกซิเดชัน คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ในคนทั่วไปมีการประมาณว่า จะได้รับโครเมียมในรูป Cr^{3+} จากอาหารที่บริโภคประจำวัน 50-200 ไมโครกรัม และร้อยละ 3-5 ของอาหารที่บริโภค จะถูกดูดซึมเข้าสู่

ร่างกาย ส่วน Cr^{6+} จะถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่า Cr^{3+} ถึง 3-5 เท่า นอกจากนี้โครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ

เมื่อโครเมียมเข้าสู่ร่างกายแล้ว Cr^{3+} จะรวมกับ transferrin ในพลาสมาและกระจายไปทั่วร่างกาย มีเพียงส่วนน้อยที่เข้าไปในเม็ดเลือดแดง ส่วน Cr^{6+} จะผ่านเข้าไปในเม็ดเลือดแดงอย่างรวดเร็ว และจะรวมกับ b-chain ของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และเปลี่ยนไปเป็น Cr^{3+} ในเม็ดเลือดแดงด้วย โครเมียมเกือบทั้งหมดจะถูกขับออกทางไต มีเพียงส่วนน้อยที่สะสมอยู่ในร่างกาย มีการประมาณว่าผู้ใหญ่สุขภาพแข็งแรง ที่ได้รับโครเมียมจากอาหารวันละ 30-100 ไมโครกรัม จะมีระดับโครเมียมเฉลี่ยในปัสสาวะ 2-10 ไมโครกรัม/ลิตร และครึ่งชีวิต (half-life) ของ Cr^{6+} ในปัสสาวะอยู่ระหว่าง 15-41 ชั่วโมง นอกจากนี้ โครเมียมยังถูกขับออกทางน้ำดี ประมาณร้อยละ 10 ของการขับออกทั้งหมดและมีปริมาณน้อยมากที่ขับออกทางนม น้ำนมเล็บบและเหงื่อ



7. แคดเมียม

การได้รับแคดเมียม (cadmium, Cd) จำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ พิษเฉียบพลันส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นหรือพุ่มแคดเมียม ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแคดเมียมถูกทำให้ร้อน โดยทั่วไประยะเวลาหลังจากสัมผัสสารจะยาวนาน 2-3 ชั่วโมงก่อนแสดงอาการ อาการเริ่มแรกจะมีอาการระคายเคืองเล็กน้อยของทางเดินหายใจส่วนต้น อีก 2-3 ชั่วโมงต่อมาจะมีอาการไอ เจ็บปวดในทรวงอก เหงื่อออกและหนาวสั่น ซึ่งเป็นอาการที่คล้ายกับการติดเชื้อทั่วไปของทางเดินหายใจส่วนต้นต่อมา 8-24 ชั่วโมง หลังจากสัมผัสสารอย่างเฉียบพลัน อาจเห็นอาการระคายเคืองอย่างแรงที่ปอดเจ็บปวดในทรวงอก หายใจลำบาก ไอ และอ่อนเพลียอาการหายใจลำบากจะรุนแรงขึ้นเมื่อเกิดน้ำท่วมปอดตามมา อันตรายจากกรณีเช่นนี้มีถึงร้อยละ 15 ผู้ป่วยที่รอดชีวิตอาจมีฟองอากาศในเนื้อเยื่อ และเนื้อปอดบวมออกมา ซึ่งต้องใช้เวลานานในการรักษาให้หาย มีรายงานว่าพบพิษเรื้อรังเกิดขึ้นหลังจากสัมผัสพุ่มแคดเมียมออกไซด์เป็นเวลานาน หลังจากแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะมีครึ่งชีวิตที่ยาวนานและคงอยู่ในตับและไตเคยมีชื่อเรียกโรคพิษของแคดเมียมเป็นภาษาญี่ปุ่นว่า "อิไต-อิไต" ซึ่งแปลว่า "โหย โหย" ปรากฏขึ้นครั้งแรกที่ประเทศญี่ปุ่น แถบแม่น้ำจินสุ เขตโตยามา เนื่องมาจากมีการทิ้งขี้แร่ที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ ชาวบ้านที่ใช้น้ำจากแม่น้ำหรือได้รับแคดเมียมทางอ้อมจากแม่น้ำ เกิดเป็นโรคไต กระดูกผุ เจ็บปวดบริเวณหลังและเข่าอย่างรุนแรงมาก และการมีเด็กพิการในอัตราสูงผิดปกติเมื่อได้รับแคดเมียมสะสมมากๆ ผู้ที่ได้รับแคดเมียมสะสมในร่างกาย จะสังเกตเห็นวงสีเหลืองที่โคนของซี่ฟัน ซึ่งจะขยายขึ้นไปเรื่อยๆจนอาจเต็มซี่ ถ้าขนาดของวงยิ่งกว้างและสียิ่งเข้ม ก็แสดงว่ามีแคดเมียมสะสมมาก มีหลักฐานพิสูจน์ได้ว่าแคดเมียมออกไซด์เป็นสารก่อมะเร็งที่ไตและต่อมลูกหมาก นอกจากนั้นยังทำอันตรายต่อไต ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพการคั่งและทำให้เลือดจางแต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคดเมียมมักเป็นชนิดเรื้อรัง โดยการได้รับแคดเมียมติดต่อกันเป็นเวลานาน โรคที่เกิดอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1) โรคปอดเรื้อรัง การได้รับแคดเมียมนานๆ และในปริมาณมากโดยเฉพาะจากการหายใจ จะทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ซึ่งเป็นเพราะมีการอักเสบของหลอดลม มีพังผืดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีการทำลายของถุงลมซึ่งจะกลายเป็นโรคถุงลมโป่งพองในที่สุด ผู้ที่มีความเสี่ยงมากคือคนทำงานกับผงแคดเมียมโดยตรง เช่น โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

2) โรคไตอักเสบ จะแสดงออกโดยมีการอักเสบของไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ท่อในไตซึ่งจะพบแคดเมียมในปัสสาวะสูง มีโปรตีน กลูโคสสูงในปัสสาวะ การทำงานทางท่อในไตเสียการทำงาน พบว่ามีการสะสมของแคดเมียมที่หมวกไตก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายต่อไป และอาจเป็นไตวายได้ในที่สุดการเกิดโรคไตอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร

โดยเกณฑ์มาตรฐานปอดภัยที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก กำหนดไว้ว่าคนปกติไม่ควรได้รับแคดเมียมเกินสัปดาห์ละ 0.40 - 0.50 มิลลิกรัม

8. แมงกานีส

แมงกานีส (manganese) เป็นธาตุโลหะชนิดหนึ่ง พบได้มากมายตามธรรมชาติ จัดว่าเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิด ตัวธาตุบริสุทธิ์จะมีลักษณะเป็นผงสีเทา - ขาว แต่ส่วนใหญ่ที่พบในชีวิตประจำวันมักพบในรูปสารประกอบมากกว่า การเกิดพิษของแมงกานีสจะเกิดที่ระบบประสาทมากที่สุด คือทำให้มีอาการคล้ายคนเป็นโรคพาร์กินสัน ซึ่งเราเรียกอาการนี้ว่า แมงกานีสซึม (manganism) ซึ่งกลไกการก่อโรค ปัจจุบันยังไม่ทราบกลไกการก่อโรคที่ชัดเจน ส่วนอาการทางคลินิกอาจแบ่งเป็นอาการเฉียบพลันและเรื้อรังดังนี้

1) อาการเฉียบพลัน การสัมผัสในรูปแบบของแมงกานีสไดออกไซด์ เช่น ที่พบจากการหล่อหลอมโลหะ ทำให้เกิดโรคไข้โลหะ (metal fume fever) จะมีอาการไข้สูง แ่น้ำหนัก และหอบเหนื่อย การสัมผัสสาร MMT ที่ผิวหนังทำให้เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง การสูดดมไอสาร MMT ทำให้ปวดศีรษะ ลิ้นรู้สึกรสโลหะ คลื่นไส้ หายใจขัด เจ็บหน้าอก หากสูดดมสาร MMT ปริมาณมากอาจทำให้เกิดปอดอักเสบ ตับอักเสบ และไตเสื่อม [7]

2) อาการเรื้อรัง ระบบที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดสำหรับการสัมผัสเรื้อรังคือระบบประสาท สารแมงกานีสจะเข้าสะสมในสมองส่วน globus pallidus ทำให้เกิดอาการทางสมอง โดยอาการระยะแรกจะอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ พฤติกรรมเปลี่ยนแปลง เช่น กระวนกระวาย พุดมากผิดปกติ กระตุ้นความรู้สึกทางเพศ รวมเรียกว่า manganese psychosis อาการทางจิตนี้ บางครั้งอาจทำให้สับสนกับคนเป็นโรคจิตเภท (คนบ้า) ได้ ในระยะรุนแรงจะมีอาการคล้ายคนเป็นโรคพาร์กินสัน (parkinsonism) เรียกว่ากลุ่มอาการ manganism คือ พุดช้า (slow speech) หน้าตาดูไม่มีความรู้สึก (mask faces) เคลื่อนไหวช้าและกระตุก (brady kinesia) ท่าเดินผิดปกติ (gait dysfunction) ส่วนอาการมือสั่น (tremor) ที่พบได้บ่อยในคนเป็นโรคพาร์กินสันทั่วไปอาจจะพบได้น้อยกว่าในคนเป็นโรคพิษแมงกานีส [7]

2.2.3 การจัดการน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี [8, 9]

น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีจัดเป็นน้ำเสียเนื่องจากการปนเปื้อนสารพิษหรือโลหะหนักที่เกิดจากการทดลองในเกี่ยวข้องกับสารเคมีชนิดต่างๆ เช่น แก๊สพิษ ตะกอน สารกัมมันตรังสี สารเคมีระเหยและจุลชีพ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ไม่ผ่านการบำบัดที่ถูกต้องซึ่งส่งผลกระทบต่อมลพิษเมื่อมีการระบายลงสู่ท่อระบายน้ำทิ้งและทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แม้ว่าสารพิษบางส่วนมีการจัดเก็บในภาชนะต่างๆ ซึ่งก็ยังเป็นปัญหาเพราะต้องส่งกำจัดซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง และบางแห่งมีการกำจัดที่ไม่ถูกต้องโดยให้เทศบาลหรือหน่วยงานภาครัฐดำเนินการฝังกลบเช่นเดียวกับขยะมูลฝอยโดยทั่วไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเวลาต่อมา เช่น คุณภาพดิน คุณภาพน้ำผิวดิน หรือน้ำบาดาล เป็นต้น

ดังที่กล่าวแล้วมาของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีมีหลายชนิดแต่ในที่นี้จะพิจารณาของเสียที่เป็นน้ำทิ้ง น้ำเสียจะมีปริมาณและลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดการทดลอง การใช้สารเคมี อันตรายของสารเคมี เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดขึ้นก็เกิดจากต้นเหตุที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีต้องพิจารณาชนิดของน้ำเสียเป็นสำคัญ วิธีการบำบัดที่เหมาะสมแบ่งตามประเภทของของเสียได้ 23 ประเภทดังนี้

- 1) น้ำเสียที่เป็นกรด
- 2) น้ำเสียที่เป็นเบส
- 3) น้ำเสียที่เป็นเกลือ
- 4) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยฟลูออไรด์
- 5) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยไซยาไนด์
- 6) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยไซยาไนด์ที่สลายตัวยาก
- 7) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยโครเมียม(VI)
- 8) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยปรอทอินทรีย์
- 9) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยปรอทอนินทรีย์
- 10) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยอาร์เซนิก
- 11) น้ำเสียที่เป็นไอออนของโลหะหนัก
- 12) น้ำเสียที่เป็นสารออกไซด์
- 13) น้ำเสียที่เป็นสารรีดิวซ์
- 14) น้ำเสียที่เป็นของเหลวที่สามารถเผาได้ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์
- 15) น้ำเสียที่เป็นน้ำมัน
- 16) น้ำเสียที่เผาไหม้ยาก เช่น สารประกอบอินทรีย์ของธาตุแฮโลเจน
- 17) น้ำเสียที่เป็นของเหลวอินทรีย์ที่ประกอบด้วยน้ำ
- 18) น้ำเสียที่เป็นสารไวไฟพิเศษ
- 19) น้ำเสียที่ได้จากการถ่ายภาพ

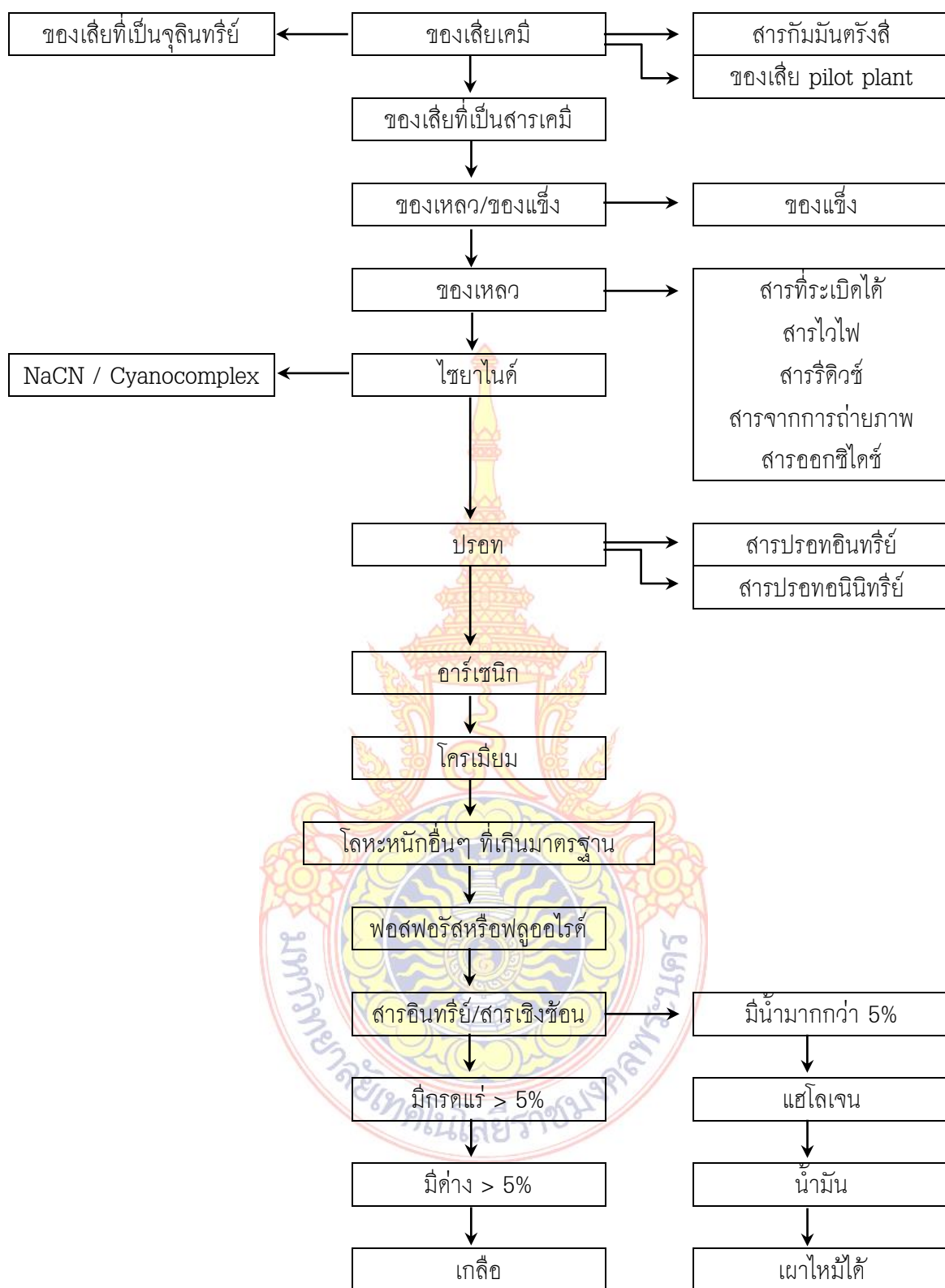
- 20) ของเสียที่ระเหยได้
- 21) สารกัมมันตรังสี
- 22) น้ำเสียที่มีจุลินทรีย์
- 23) ของเสียจาก pilot plant

2.2.4 วิธีจำแนกของเสีย [10]

ของเสียจากห้องปฏิบัติการสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มตามลักษณะของการจัดการ ดังนี้

- 1) ของเสียไม่อันตรายที่สามารถปล่อยทิ้งได้ เช่น ของเสียจำพวกเกลือของโลหะที่ไม่เป็นอันตราย ของเสียความเข้มข้นเจือจางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (มีสารเคมีละลายอยู่ไม่เกินร้อยละ 5) และของแข็งที่ไม่เป็นพิษ
- 2) ของเสียอันตรายที่ควรบำบัดในเบื้องต้นก่อนส่งทิ้งหรือส่งบำบัด แบ่งออกได้เป็นสารละลายกรดและเบส ตัวออกซิไดซ์ สารไวต่อน้ำ/หรืออากาศ ของแข็งที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ปนอยู่และสารละลายประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณน้อย (น้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)
- 3) ของเสียอันตรายที่ต้องส่งกำจัด แบ่งออกเป็น 14 ประเภทหลัก ได้แก่ของเสียพิเศษ ของเสียที่มีไซยาไนด์ ของเสียที่มีสารออกซิไดซ์ ของเสียที่มีปรอท ของเสียที่มีโครเมต ของเสียที่มีโลหะหนัก ของเสียที่เป็นกรด ของเสียที่มีอัลคาไลน์ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ของเสียประเภท oxygenated ของเสียประเภท NPS ของเสียประเภทแฮโลเจน ของแข็ง และของเสียที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายอื่นๆ
- 4) ของเสียกลุ่มพิเศษ ได้แก่สารกัมมันตรังสี ของเสียติดเชื้อ แผ่นฟิล์มเอกซเรย์ เป็นต้น

จากการแบ่งประเภทของของเสียและการศึกษาแหล่งที่มาของของเสียนั้นๆ นับได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดอย่างเหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะจะสามารถแยกของเสียแต่ละประเภทและจะสามารถกำจัดหรือบำบัดตรงกับประเภทของเสีย การแยกของเสียทางเคมีในห้องปฏิบัติการเคมีสามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการแยกประเภทของของเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการเคมีอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่คือการบำบัดทางเคมีและการทางกายภาพ การเลือกวิธีการบำบัดขึ้นกับชนิดของน้ำเสียหรือน้ำเสียบางประเภทจำเป็นต้องใช้การบำบัดทั้ง 2 ประเภทร่วมกัน

น้ำเสียที่มีปรอท

น้ำเสียที่มีปรอทมีวิธีการบำบัด 2 วิธีคือ

1) วิธีตกตะกอนซัลไฟด์ (sulfide sedimentation) วิธีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปรอทสูง โดยทำการปรับ pH อยู่ในช่วง 6-8 แล้วตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้ำที่ผ่านการตกตะกอนซัลไฟด์ต้องไปบำบัดต่อด้วยวิธีดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน (chelate resin adsorption)

2) วิธีดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน (chelate resin adsorption) วิธีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปรอทต่ำๆ กรองสารแขวนลอยแล้วทำการปรับ pH อยู่ในช่วง 4-7 แล้วไปบำบัดต่อด้วยวิธีดูดซับด้วยคลีเรตเรซิน

น้ำเสียที่มีไซยาไนด์

น้ำเสียประเภทนี้จัดว่ามีความเป็นอันตรายสูง วิธีการบำบัดโดยการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ให้อยู่ในรูปแบบทางเคมี (chemical form) ที่ไม่มีอันตราย และควรเก็บภายใต้ pH มากกว่า 10.5

น้ำเสียที่มีฟลูออไรด์

น้ำเสียประเภทนี้บำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เรียกว่า calcification

น้ำเสียที่มีฟอสฟอรัส

น้ำเสียประเภทนี้บำบัดด้วยการตกตะกอนเช่นเดียวกับน้ำเสียที่มีฟลูออไรด์

น้ำเสียที่มีโลหะหนักทั่วไป

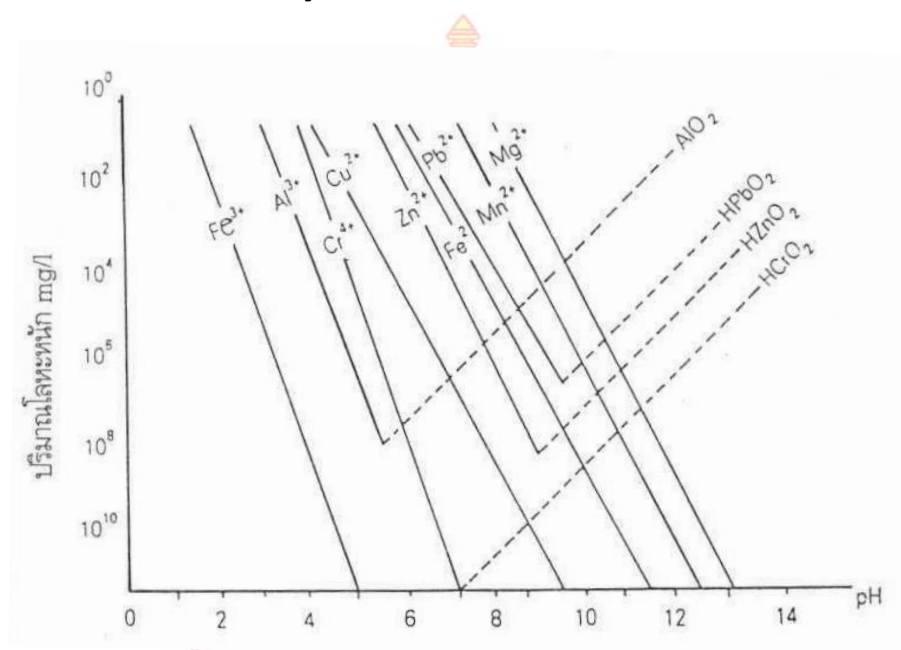
น้ำเสียที่มีโลหะหนักทั่วไปที่ไม่ใช่โครเมียม(VI) ปรอท และแคดเมียม มีวิธีการบำบัดได้ 3 วิธี

คือ

1) การตกตะกอน (precipitation) โดยการปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตกตะกอนโลหะให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ที่ pH ต่างกัน ดังรูปที่ 2.2

2) วิธีเฟอร์ไรท์ (ferrite method) โดยการใช้ฟอสฟอรัสและโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตกตะกอนโลหะหนัก

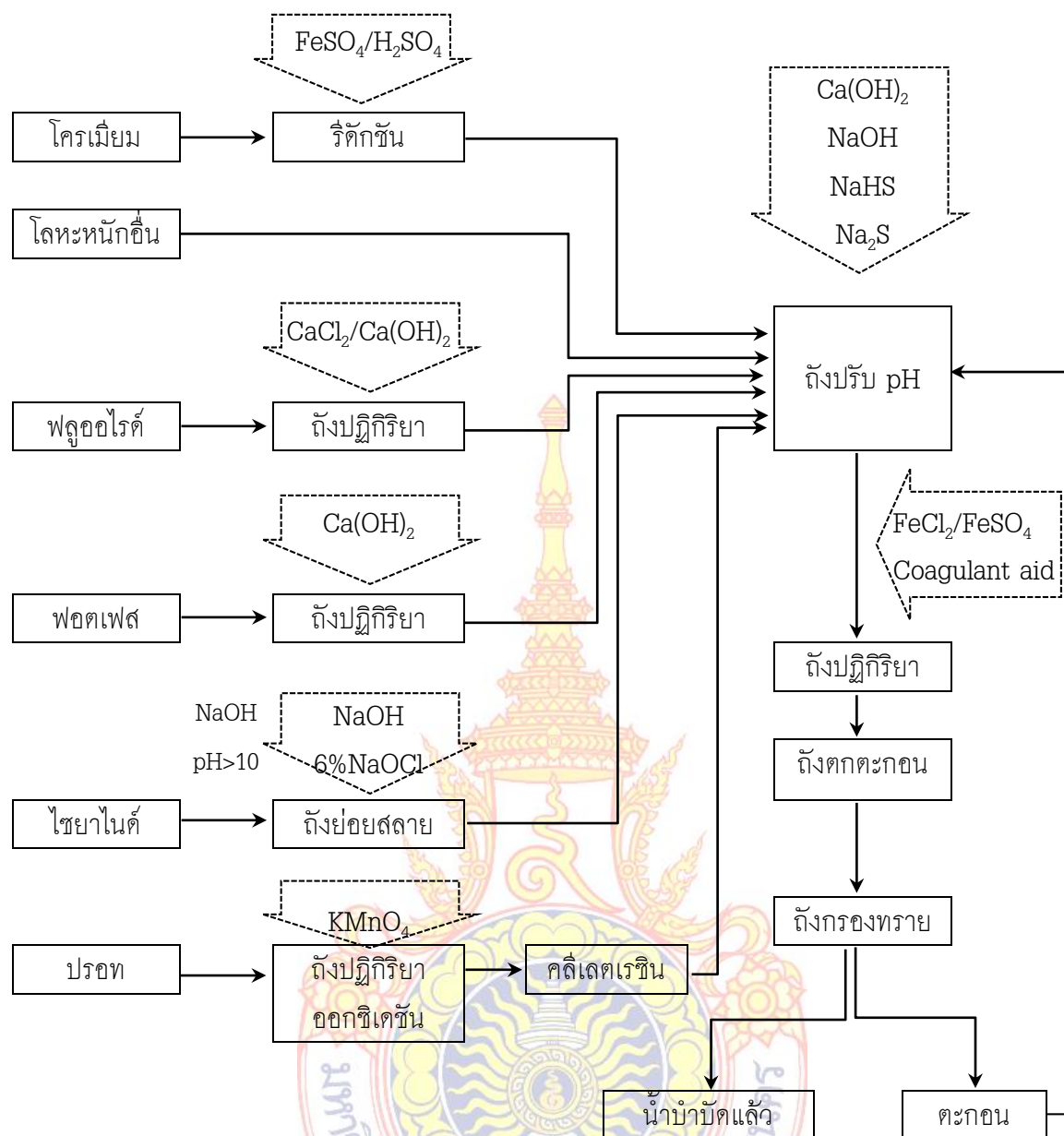
3) วิธีการดูดซับ (adsorption) วิธีเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปริมาณต่ำ (ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยทำการดูดซับโลหะหนักด้วยคลีเรตเรซิน



รูปที่ 2.2 สภาวะการตกตะกอนโลหะหนักที่ pH ต่างกัน

น้ำเสียที่เป็นกรด-ด่าง

ในการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะต้องทำให้สารละลายเป็นกลาง (neutralization) โดยการทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบสก่อนทิ้ง



รูปที่ 2.3 แผนผังการบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนโลหะปนเปื้อน

กฎหมายเกี่ยวกับน้ำเสีย

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมของเสียที่เกิดจากห้องปฏิบัติการโดยตรง มีเพียงกฎหมายที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ควบคุม เช่น

1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (2525) เรื่อง “หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน” ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 99 ตอนที่ 33 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 5 มีนาคม 2525

2) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม” ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 99 ตอนที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539 (ภาคผนวก)

ในขณะที่กฎหมายของต่างประเทศเช่นญี่ปุ่น ออกบังคับใช้ควบคุมน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยต่างๆ ซึ่งมหาวิทยาลัยโตเกียวล้มมหาวิทยาลัยเกียวโตได้ใช้มาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าวเพื่อจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งสรุปเป็นค่าดัชนีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานปริมาณสารพิษและโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการระบายน้ำทิ้ง ประเทศญี่ปุ่น

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
1) ความเป็นกรด ต่าง	-	5-9
2) ไสยาไนต์และสารประกอบไฮยาไนต์	มก./ล.	< 0.5
3) พรอท	มก./ล.	< 0.005
4) ตะกั่ว	มก./ล.	< 0.1
5) ทองแดง	มก./ล.	< 3.0
6) โครเมียม	มก./ล.	< 0.25
7) แคดเมียม	มก./ล.	< 0.05
8) สังกะสี	มก./ล.	< 5.0
9) สารประกอบฟอสฟอรัส	มก./ล.	< 0.5
10) แมงกานีส	มก./ล.	< 10.0

2.3 อิฐมอญ

อิฐมอญ (firebrick) [10] ถูกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมาเป็นเวลานานเนื่องจากน้ำหนักเบา อิฐมอญทำจากดินเหนียว น้ำ และวัสดุที่ไม่มี ความเหนียว อาทิ ขี้เถ้า แกลบ ทราบ ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก อิฐมอญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 601/2547) รองรับ โดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว แต่อาจจะบิ่นได้เล็กน้อย มีความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาวและความหนา ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 [11]



รูปที่ 2.4 อิฐมอญ

การผลิตอิฐมอญมีขั้นตอนหลายขั้นตอนดังนี้

1) การเตรียมดิน ดินที่จะใช้ควรนำมาตากลมไว้ก่อนใช้ 1 – 2 เดือนจะทำให้ดินอ่อนนุ่มและเหนียวดียิ่งขึ้น ถ้าเป็นดินแข็งต้องนำเครื่องบดดินก่อนนำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้แกลบหรือขี้เถ้าอย่างใดอย่างหนึ่งผสมในอัตราส่วนไม่เกิน 25 % เพราะถ้ามากกว่านี้จะทำให้อิฐเปราะไม่แข็งแรง

2) ขั้นตอนรูปแผ่นอิฐในขั้นตอนนี้มีวิธีการทำอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือการทำด้วยแรงคนวิธีนี้จะต้องมีแม่พิมพ์หรือแบบซึ่งอาจจะทำด้วยไม้หรือโลหะ เมื่ออัดดินลงไปเป็นแบบแล้ว ใช้ไม้หรือมือปาดให้ด้านบนเรียบเสมอกัน แล้วจึงนำแบบออก และการทำด้วยเครื่องอัด วิธีนี้นำดินเหนียวใส่เข้าไปในเครื่องอัด เครื่องจะทำการอัดดินออกมาเป็นแท่งได้ขนาดเท่ากันทุกแผ่น มีผิวเรียบ นำไปผึ่งให้แห้งหมาดและแห้งด้วยอากาศ แล้วจึงนำเข้าเตาเผาต่อไป

3) การผึ่งให้แห้ง ถ้านำอิฐที่ยังเปียกอยู่เข้าเตาเผาทันที ความชื้นที่ผิวจะออกเร็วเกินไป อาจทำให้อิฐแตกเนื่องจากการหดตัวเร็ว ฉะนั้นจึงต้องมีการผึ่งให้แห้งหรือแห้งเพียงหมาดๆ แล้วจึงนำเข้าเตาเผา

4) การเผา นำอิฐที่ผึ่งแห้งหมาดเข้าเตาเผา จากนั้นใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผา ความร้อนจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนถึงความร้อนสูงสุด และลดต่ำลงตามลำดับจนเย็นใช้เวลาประมาณ 1 – 2 สัปดาห์ โดย

การเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 700-900 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของอิฐมอญได้แก่ มีความแข็งแรง พื้นผิวไม่เรียบ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง

โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิดคือ ดิน น้ำ แกลบและไม้ โดยน้ำทำให้ดินอ่อนตัวก่อนที่จะขึ้นเป็นรูป ส่วนแกลบหรือไม้จะเป็นส่วนช่วยในการเผาไหม้ ชนิดของดินจากแหล่งที่ต่างกัน จะแสดงสมบัติของอิฐมอญที่ต่างกันออกไปซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของอิฐมอญที่ผลิตจากแหล่งผลิตต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)	พื้นที่ผลิตอิฐมอญ (จังหวัด)			
	มอญเขาแก้ว (ลำปาง)	เมืองกุ่ม (เชียงใหม่)	มายิ่ง (นครศรีธรรมราช)	สมิงโม (สงขลา)
SiO ₂	59.55	63.09	60.67	64.23
Al ₂ O ₃	19.70	20.93	20.08	18.49
Na ₂ O	0.33	0.12	0.43	1.65
K ₂ O	2.30	3.44	2.23	2.24
MgO	0.89	0.93	1.20	1.03
CaO	0.65	0.27	0.13	0.10
Fe ₂ O ₃	8.23	4.55	6.54	3.67
TiO ₂	0.88	0.65	0.89	0.95
Loss on ignition	7.25	5.10	7.63	7.19

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประภรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล [12] ได้ทำการวิเคราะห์และการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้พืชท้องถิ่น 3 ชนิดได้แก่ ผักตบชวา จอก ผักบุ้ง แล้ววิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ และปริมาณโลหะหนักต่างๆ จากน้ำเสียเช่น ความเป็นกรด - เบส ค่าอุณหภูมิ ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว สังกะสี จากการศึกษาวิเคราะห์ พบว่าน้ำเสียค่าความเป็นกรด-เบส เฉลี่ย 7.55, 7.64 และ 7.66 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 27.42, 27.51, 27.44 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์ในการเพิ่มค่า DO 1.74, 1.64, 1.51 % ค่า BOD ลดลง จากเดิม 1.50, 1.28, 1.30 %ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดปริมาณทองแดงในน้ำลดลง 97.7, 89.02, 85.36 % ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดปริมาณเหล็กในน้ำลดลง 98.81, 95.72, 79.51 % ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำลดลง 61.70, 55.39, 55.51 % ค่า

สัมประสิทธิ์ในการลดปริมาณสังกะสีในน้ำลดลง 24.91, 22.83, 22.08 % ตามลำดับ จากการศึกษาวิเคราะห์พบว่าผักตบชวาเป็นพืชที่ควบคุมค่าความเป็นกรด ต่าง ค่าอุณหภูมิ ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว สังกะสี ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ จอกและผักบุ้งตามลำดับและพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างปริมาณของโลหะหนักต่างๆ อยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พอลดา ประสานนาม [13] เตรียมอนุพันธ์ของเซลลูโลสสำหรับเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักบางชนิด พบว่าเรซินสามารถดูดซับไอออนของทองแดง ตะกั่ว โคบอลต์ สังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม ได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง เวลา 1 ชั่วโมง

วิชชุดา ไชยะโชค และ สุธา ขาวเขียว [14] ได้นำกากของเหลวเขียวซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษมาเป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักโครเมียมและทองแดงน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม การทดลองแบบกวนผสมแบบแบตช์ระดับห้องปฏิบัติการและตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS



บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (operational research) แบบการทดลองเชิงปฏิบัติการ (experimental study) โดยรวบรวมเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ระหว่างการทำการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) ปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104)

ประชากรที่ทำการศึกษาคือน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 9408 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตัวแปรที่ทำการวิจัย คือสารพิษและโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

สารพิษ ได้แก่ ฟอสฟอรัส และไซยาไนด์ แต่จากการวิเคราะห์การใช้สารเคมีในการทดลองพบว่าไม่มีการทดลองใดที่มีสารทั้งสอง ดังนั้นการศึกษาก็คือตัวแปรที่เป็นสารพิษไม่มีการทดลองในรายงานวิจัยนี้

โลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง โครเมียม แคดเมียม สังกะสี ปรอท แมงกานีส

3.2 เครื่องมือ (apparatus)

- 1) อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS), Thermo, USA
- 2) เตาอบไฟฟ้า, Binder FD115, Germany
- 3) เครื่องชั่งละเอียด, AND HM-200, Japan
- 4) เครื่องกวนสารละลาย
- 5) เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน
- 6) กระดาษกรอง whatman
- 7) เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ
- 8) เตาไฟฟ้า

สารเคมี (reagents)

- 1) สารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (Pb, Cu, Zn และ Cr) 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร, Merck, Germany
- 2) กรดเกลือ (Hydrochloric acid, 37% HCl), AR grade, BDH, England
- 3) กรดอะซิติก (Acetic acid, CH₃COOH), AR grade, BDH, England

- 4) แอมโมเนีย (Ammonia solution, 30% NH_3), AR grade, Panreac, Spain
- 5) กรดไนตริก (Nitric acid, 70% HNO_3), AR grade, BDH, England
- 6) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, 99% H_2SO_4), AR grade, BDH, England

3.3 วิธีการทดลอง (methodology)

3.3.1 การจำแนกชนิดของโลหะหนักจากคู่มือปฏิบัติการ

ชนิดของไอออนที่เกิดจากใช้สารเคมี ตัวทำลายหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) ปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104) ได้มีการจำแนกตามบทปฏิบัติการของรายวิชาต่างๆ

3.3.2 การเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียโดยเก็บน้ำทิ้งจากการทำการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) ปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104) ของภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2555 และภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2556 โดยการเก็บของเสียที่เกิดจากการทำการทดลองที่เป็นของเหลวและสารละลายทั้งหมดโดยให้นักศึกษาเทใส่ในถังพลาสติกที่เตรียมไว้โดยแยกถังเป็นดังนี้

ถังโลหะหนักทั่วไป (ยกเว้นโครเมียม พรอท)

ถังโครเมียม สำหรับเก็บสารเคมีที่มีโครเมียมหรือสารประกอบของโครเมียมผสมอยู่ทุกกรณี

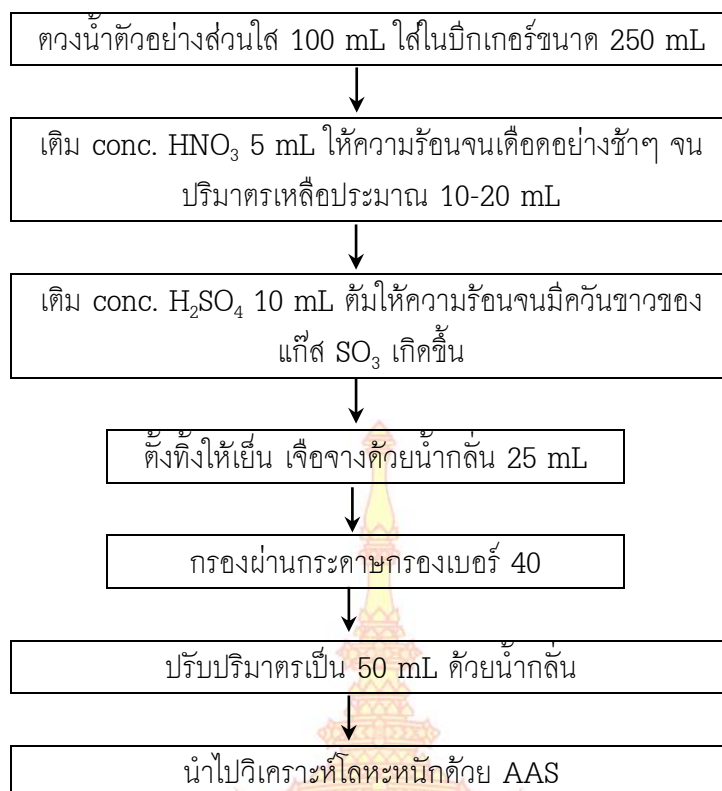
ถังพรอท สำหรับเก็บสารเคมีที่มีพรอทผสมอยู่ทุกกรณี

3.3.3 การเตรียมอิฐมอญ (Firebrick)

อิฐมอญถูกทุบด้วยค้อนจนมีขนาดเล็ก คัดเลือกขนาดที่ยังคงเป็นก้อนขนาดใกล้เคียงกัน โดยประมาณ โดยไม่เอาส่วนที่เป็นผงเนื่องจากจะเกิดปัญหาการอุดตันในการกรองได้ง่าย

3.3.4 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการย่อยสลายเปียก (Sample preparation by wet digestion)

ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียที่เก็บรวบรวมจากห้องปฏิบัติการเคมีทั้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยอิฐมอญ น้ำตัวอย่างต้องผ่านการย่อยสลายเปียกด้วยกรดไนตริกและซัลฟิวริกโดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์ด้วย AAS

3.3.5 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักด้วยอิฐมอญ

1) ระยะเวลาการกวน

- ชั่งอิฐมอญ 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายมาตรฐานโลหะหนักผสมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที
- กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองแล้วนำไปย่อยสลายตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง
- นำสารละลายไปวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS เทียบกับกราฟมาตรฐาน

2) ปริมาณของตัวดูดซับต่อปริมาณโลหะหนัก

- ชั่งอิฐมอญ 1, 5, 10, 15 และ 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายมาตรฐานโลหะหนักผสมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 120 นาที
- กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองแล้วนำไปย่อยสลายตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง
- นำสารละลายไปวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS เทียบกับกราฟมาตรฐาน

3) อุดหนุน

- ชั่งอูดหนุน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายมาตรฐานโลหะหนักผสมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นเวลา 120 นาที โดยให้อุดหนุนมีขนาดกวนที่แตกต่างกันคือ อุดหนุนห้อย, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส
- กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองแล้วนำไปย่อยสลายตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง
- นำสารละลายไปวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS เทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.4 การหาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของอูดหนุน

ประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของอูดหนุนโดยการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการดูดซับด้วยอูดหนุน ประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักคำนวณโดยจากสมการ [15]

$$AC = \frac{(C_i - C_f) \times V}{W_g} \quad \text{.....(1)}$$

$$RE (\%) = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ AC คือ ปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (adsorption capacity)

RE คือ ประสิทธิภาพการกำจัด (removal efficiency)

C_i คือ ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/L) ก่อนการดูดซับ

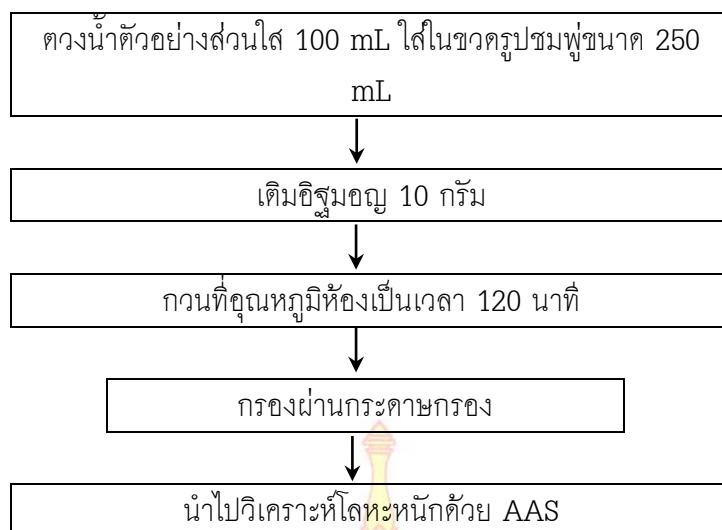
C_f คือ ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/L) หลังการดูดซับ

V คือ ปริมาตรของสารละลาย (mL)

W_g คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)

3.5 การดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งตัวอย่าง

น้ำทิ้งตัวอย่างที่เก็บรวบรวมในห้องปฏิบัติการเคมีที่เป็นโลหะหนักทั่วไปและน้ำเสียที่มีโครเมียมได้นำมาใช้ในการดูดซับด้วยอูดหนุน ขั้นตอนแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองโดยการดูดซับโลหะด้วยอิฐมอญ

3.6 การหาความถูกต้องและ แม่นยำของการวิเคราะห์

3.6.1 การหาความถูกต้อง (Accuracy)

ทำการศึกษาความถูกต้องของการวิเคราะห์โดยหาค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery) โดยนำมาเติมสารละลายมาตรฐาน แล้วนำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ แล้วคำนวณจากสมการ

$$\% \text{ recovery} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

- เมื่อ
- A = ปริมาณของโลหะหนักที่เติมรวมกับที่ตรวจพบ
 - B = ปริมาณของโลหะหนักที่ตรวจพบ
 - C = ปริมาณโลหะหนักที่เติม

3.6.2 การรายงานความแม่นยำ (Precision)

ทำการศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้ง ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ จากนั้นคำนวณหาค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) และร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Standard Deviation, %RSD)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$\%RSD = \left(\frac{s}{\bar{X}} \right) \times 100$$

เมื่อ	%RSD	=	ร้อยละของความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
	SD	=	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X_i	=	ปริมาณที่วัดได้จากตัวอย่างแต่ละครั้ง
	$\bar{X}$	=	ปริมาณเฉลี่ย
	N	=	จำนวนครั้งที่วิเคราะห์



บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอิฐมอดูเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งจะนำมาประยุกต์ในน้ำทิ้งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี

4.1.1 การจำแนกชนิดของโลหะหนักจากคู่มือปฏิบัติการ

การจำแนกชนิดของไอออนบวกและไอออนลบของแต่ละการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106) ปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102) และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104) ของภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2555 และภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2556 แสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (02-412-106)

ที่	เรื่อง	ชนิดโลหะหนัก	ชนิดแอนไอออน	ชนิดตัวทำละลาย/ของเสีย
1.1	การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออน	Ba^{2+} , K^+	Cl^- , SO_4^{2-}	-
1.2	การหาปริมาณนิกเกิลไอออนโดยตกตะกอนกับไดเมทิลไกลอกซิม	Ni^{2+}	SO_4^{2-}	
2.1	การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH	K^+	-	เบส
2.2	การเตรียมและเทียบมาตรฐานสารละลาย HCl	Na^+	$\text{C}_2\text{O}_3^{2-}$	กรด
3.1	การวิเคราะห์กรดแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำส้มสายชูกลั่น	-	-	NaOH, CH_3COOH
3.2	การวิเคราะห์ปริมาณอัลคาไลน์โดยรวมของโซดาแอช	Na^+	$\text{C}_2\text{O}_3^{2-}$	-
4.1	การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยวิธีของ Mohr	Ag^+ , K^+ , Na^+	Cl^- , CrO_4^{2-} , Cl^-	-

4.2	การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	Mn^{2+} , Na^+	SO_4^{2-}	-
4.3	การวิเคราะห์หาความกระต้างรวมในตัวอย่งน้ำ	Ca^{2+} , Zn^{2+}	S^{2-} , IO_3^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	
5.1	การหาค่า K_a และน้ำหนักสมมูลของกรดอ่อนโดย potentiometric	-	-	NaOH , CH_3COOH
6.1	การหาปริมาณเหล็กรวมในน้ำโดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	$\text{Fe}^{2+/3+}$	-	-
6.2	การหาปริมาณแอสไพรินด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	$\text{Fe}^{2+/3+}$	-	-

ตารางที่ 4.2 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบรายวิชาปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร (02-411-104)

ที่	เรื่อง	ชนิดโลหะหนัก	ชนิดแอนไอออน	ชนิดตัวทำละลาย
1	การชั่ง ตวง วัดทางวิทยาศาสตร์ตามหลักนัยสำคัญ	-	-	-
2	ปริมาณสัมพันธเคมี	Ba^{2+} , K^+	Cl^- , SO_4^{2-}	-
3	ปฏิกิริยาของทองแดงและสารประกอบของทองแดง	Cu^{2+} , Zn^{2+}	-	HNO_3 , NaOH , H_2SO_4
4	รูปร่างโมเลกุล	-	-	-
5	การหาค่าคงที่ของแก๊ส	Mg^{2+}		HCl
6	โครงผลึก	-	-	-
7	ปฏิกิริยาผันกลับและสมดุลเคมี	Fe^{3+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , K^+ , Co^{2+}	CrO_4^{2-} , SCN^- , NO_3^-	NaOH , H_2SO_4
8	อัตราการเกิดปฏิกิริยา	Na^+ , K^+	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, BrO_3^- , I^-	HCl
9	กรด-เบส เกลือ และอินดิเคเตอร์	-	-	NaOH , CH_3COOH , HCl
10	การไทเทรตระหว่างกรด-เบส	-	-	NaOH , CH_3COOH
11	สมดุลการละลาย	Ca^{2+}	-	-

ตารางที่ 4.3 ชนิดของไอออนบวกและไอออนลบรายวิชาปฏิบัติการหลักเคมี (02-411-102)

ที่	เรื่อง	ชนิดโลหะหนัก	ชนิดแอนไอออน	ชนิดตัวทำละลาย
1	การชั่ง ตวง วัดทางวิทยาศาสตร์	-	-	-
2	เทคนิคการแยกสารผสม	-	-	-
3	ปริมาณสัมพันธ์เคมี	Ba^{2+} , K^+	Cl^- , SO_4^{2-}	-
4	ปฏิกิริยาของทองแดงและสารประกอบของทองแดง	Cu^{2+} , Zn^{2+}	-	HNO_3 , NaOH , H_2SO_4
5	ปฏิกิริยาผันกลับและสมดุลเคมี	Fe^{3+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , K^+ , Co^{2+}	CrO_4^{2-} , SCN^- , NO_3^-	NaOH , H_2SO_4
6	การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของโปแตสเซียมไดโครเมตกับเอทานอล	K^+	CrO_4^{2-}	-
7	กรด-เบส 1 : อินดิเคเตอร์ ไฮโดรลิซิสของเกลือและบัฟเฟอร์	-	-	NaOH , CH_3COOH
8	กรด-เบส 2 : การไทเทรตระหว่างกรด-เบส	-	-	NaOH , CH_3COOH
9	ไฟฟ้าเคมี : การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์	Fe^{2+} , K^+ , Mn^{2+}	-	-
10	เคมีอินทรีย์ : การศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	-	-	-

จากการวิเคราะห์ชนิดของไอออนที่ใช้ในการทดลองและได้ดำเนินการเก็บน้ำทิ้งโดยแยกถังเก็บเป็นดังนี้
 ถังที่ 1 ถังเก็บโลหะหนักทั่วไป (ยกเว้นโครเมียม พรอท) พบว่าจะมีไอออนโลหะคือ Ba^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ และ Mg^{2+} และไอออนที่เป็นโลหะหนัก ได้แก่ Ni^{2+} , Ag^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} และ Co^{2+}

ถังที่ 2 ถังเก็บโครเมียม สำหรับเก็บสารเคมีที่มีโครเมียมหรือสารประกอบของโครเมียมผสมอยู่ทุกกรณี ในการทดลองไม่มีการใช้สารโครเมียม แต่มีสารมีสารประกอบของโครเมียมผสมอยู่คือ CrO_4^{2-} และมีการใช้ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามของเสียประเภทนี้ก็ได้แยกออกจากของเสียประเภทอื่น

ถังที่ 3 ถังเก็บพรอท สำหรับเก็บสารเคมีที่มีพรอทผสมอยู่ทุกกรณี ในการทดลองมีการใช้สารพรอทในการทดลองเพียงเท่านั้นและมีการใช้ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามของเสียประเภทนี้ก็ได้แยกออกจากของเสียประเภทอื่น



(ก)

(ข)

(ค)

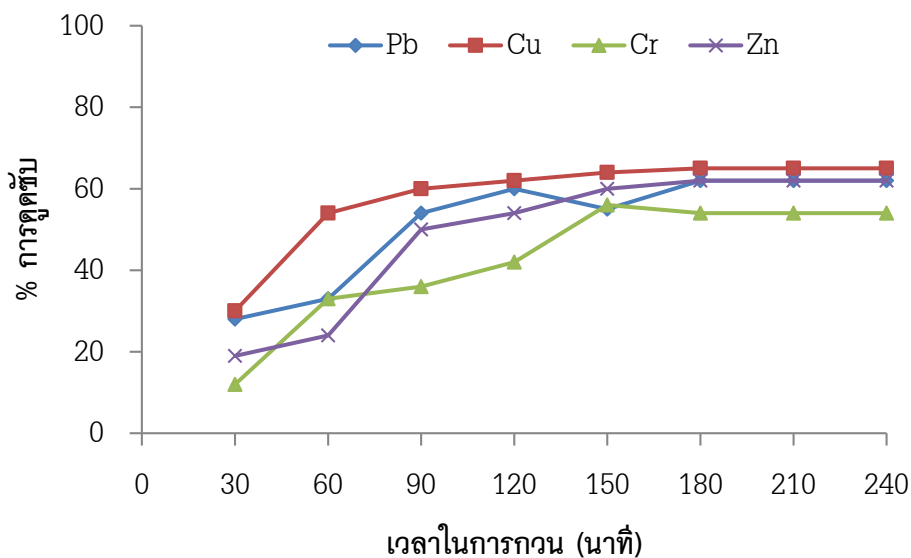
รูปที่ 4.1 ถังเก็บน้ำทิ้ง (ก) โลหะหนักทั่วไป (ข) โลหะหนักที่มีปรอท และ (ค) โลหะหนักที่มีโครเมียม

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักโดยเลือกชนิดโลหะหนักเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาคือ ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม และทองแดง ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยระยะเวลา (time) ปริมาณน้ำหนักอิฐมอญ (volume ratio) และอุณหภูมิ (temperature) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก

4.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักด้วยอิฐมอญระบบแบบถ้ำ

1) ระยะเวลาการกวน

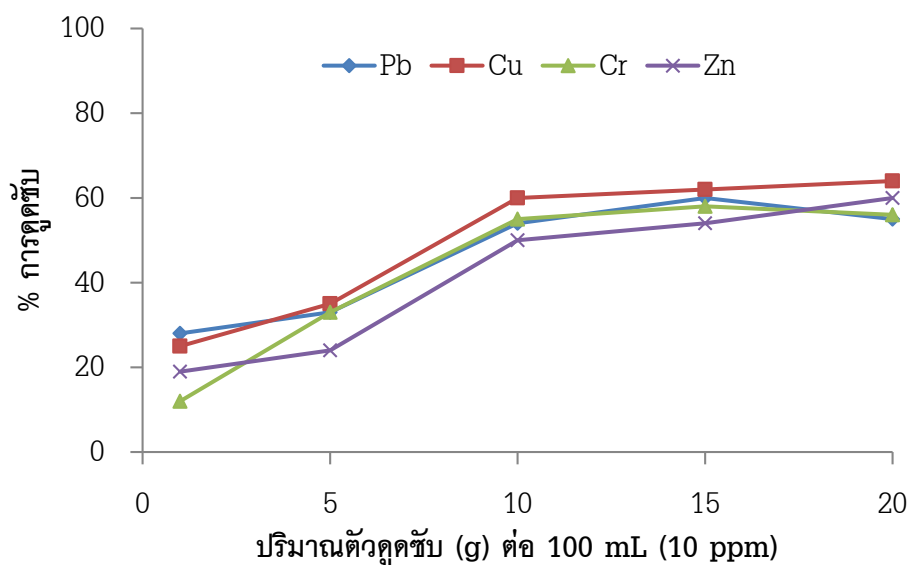
การศึกษาปัจจัยระยะเวลาในการกวนสารละลายโดยใช้อิฐมอญ 10 กรัม ในสารละลายปริมาตร 100 mL ของโลหะหนักผสมของ Pb, Cu, Cr และ Zn ที่มีความเข้มข้น 10 mg/L อัตราในการกวนคงที่ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับคือ 30 60 90 120 150 180 210 และ 240 นาที จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 30 นาทีแรก ประมาณ 30% เนื่องจากเกิดการดูดซับบนรูพรุนของอิฐมอญและร้อยละการดูดซับจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยโลหะตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีจะพบว่าร้อยละการดูดซับจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และคงที่ตั้งแต่เวลา 90 นาทีเป็นต้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในขณะที่โลหะโครเมียมจะเริ่มดูดซับได้น้อยเมื่อเวลา 150 นาที แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการดูดซับของโลหะทั้งหมดยังมีร้อยละที่ไม่เกิน 60 ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถของอิฐมอญในปริมาณจำกัด (adsorption capacity) และพื้นผิวของอิฐมอญไม่ได้เพิ่มความจำเพาะต่อไอออนโลหะหนักจึงอาจทำให้เกิดหลุดออกมาเมื่อมีการกวน ดังนั้นในการทดลองใช้เวลาในการกวนที่ 120 นาที



รูปที่ 4.2 ปัจจัยระยะเวลาในการกวนในการดูดซับโลหะหนัก

2) ปริมาณของตัวดูดซับต่อปริมาตรโลหะหนัก

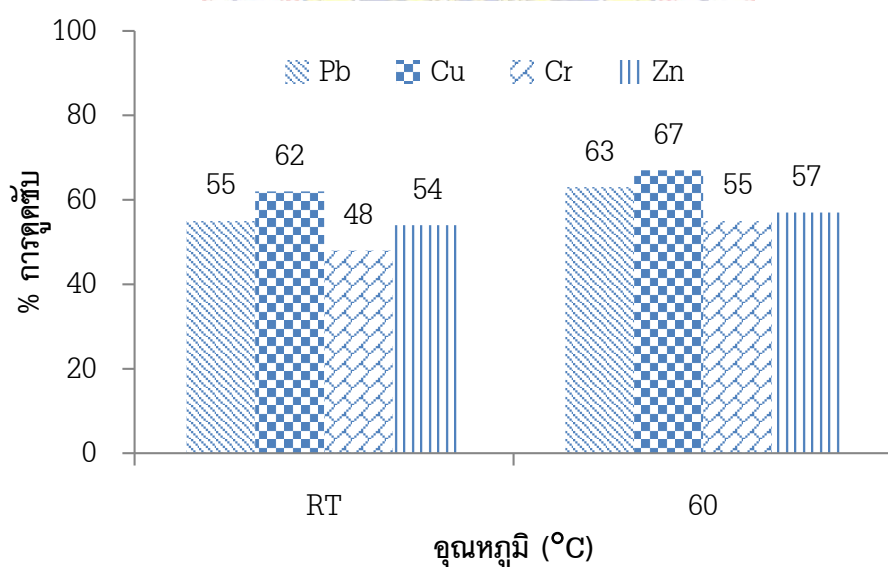
การศึกษาปัจจัยของปริมาณของอิฐมอญต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักโดยทำการศึกษาปริมาณอิฐมอญที่แตกต่างกันคือที่ 1 5 10 15 และ 20 กรัมต่อปริมาตรของโลหะหนัก 100 mL ความเข้มข้น 10 mg/L โดยใช้สภาวะการทดลองคือ ระยะเวลาการกวน 120 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีเพิ่มขึ้นประมาณ 30% เมื่อใช้ปริมาณอิฐมอญ 5 กรัม ในขณะที่โลหะโครเมียมและจะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ประมาณ 60% เมื่อปริมาณอิฐมอญเป็น 10 กรัม และประสิทธิภาพการดูดซับโลหะตะกั่ว ทองแดง โครเมียมและสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณของอิฐมอญเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองคือปริมาณอิฐมอญ 10 กรัมต่อปริมาตรของโลหะหนัก 100 mL ความเข้มข้น 10 mg/L



รูปที่ 4.3 ปัจจัยปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก

3) อุณหภูมิ

การศึกษาปัจจัยอุณหภูมิได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ อุณหภูมิห้อง และ 60 องศาเซลเซียส โดยปริมาณอิฐมอญ 10 กรัมต่อปริมาตรของโลหะหนัก 100 mL ความเข้มข้น 10 mg/L และเวลาในการกวนที่ 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะตะกั่ว ทองแดง โครเมียมและสังกะสีจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 48 - 62% ถึง 55 - 67% อุณหภูมิห้อง และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะที่อุณหภูมิห้องจะน้อยกว่า แต่ในการทดลองนี้เลือกศึกษาที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากเพื่อสะดวกต่อการทดลองและให้สอดคล้องกับประยุกต์ใช้จริงในการดูดซับในน้ำตัวอย่าง



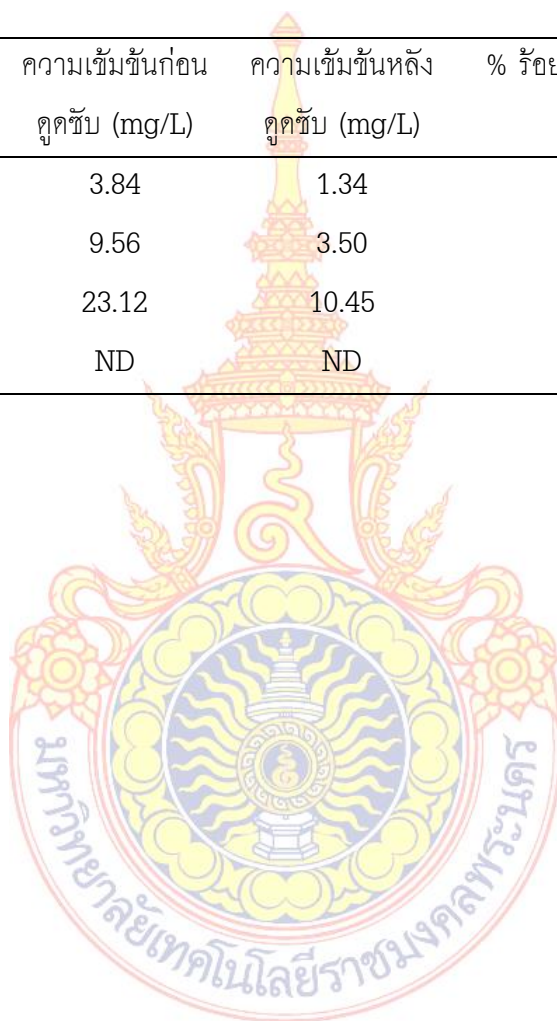
รูปที่ 4.4 ปัจจัยอุณหภูมิต่อการดูดซับโลหะหนัก

4.2 การดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้ง

จากผลการทดลองที่เหมาะสมคือปริมาณอิฐมอญ 10 กรัมต่อปริมาตรของโลหะหนัก 100 mL ความเข้มข้น 10 mg/L และเวลาในการกวนที่ 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำมาประยุกต์ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีพบว่า ในการทดลองแบบแบทช์ได้ร้อยละการดูดซับของโลหะตะกั่ว สังกะสี โครเมียมและทองแดงในช่วง 54.8-65.1%

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี

โลหะหนัก	ความเข้มข้นก่อน ดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นหลัง ดูดซับ (mg/L)	% ร้อยละการดูดซับ
Pb	3.84	1.34	65.1
Zn	9.56	3.50	63.4
Cu	23.12	10.45	54.8
Cr	ND	ND	ND



อภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลและอภิปรายผล

การดูดซับโลหะหนักจากน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยการใช้อิฐมอญเป็นวัสดุดูดซับ โดยรวบรวมเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ระหว่างการทำการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ปฏิบัติการหลักเคมี และปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกร การวิเคราะห์ชนิดของไอออนที่ใช้ในการทดลองและได้ดำเนินการเก็บน้ำทิ้งพบว่าจะมีไอออนโลหะคือ Ba^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} และไอออนที่เป็นโลหะหนัก ได้แก่ Ni^{2+} , Ag^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Co^{2+}

สถานะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักรวมประกอบด้วยระยะเวลาการกวน ปริมาณของตัวดูดซับต่อปริมาตรโลหะหนัก และอุณหภูมิ พบว่าสถานะที่เหมาะสมคือระยะเวลาการกวน 2 ชั่วโมง ปริมาณอิฐมอญ 10 กรัมต่อปริมาตรสารละลาย 100 มิลลิลิตร และที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับต่อโลหะหนัก ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและโครเมียมในตัวอย่างน้ำทิ้งเท่ากับ 65.1, 54.8, 63.4 และ ND ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบแบทช์ (batch) ซึ่งอาจมีความจำกัดในส่วนของปริมาณอิฐมอญที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งมีปริมาณจำกัด ซึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับอาจทำได้โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ (column) ซึ่งจะช่วยให้มีการใช้ปริมาณอิฐมอญที่เป็นตัวดูดซับปริมาณมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเร็วการไหลผ่านตัวดูดซับก็คงมีความจำเป็นในการใช้คอลัมน์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อม น้ำ พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์ 2538.
2. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และเพชรพร เชสวกิจเจริญ. ปฏิบัติการอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2536.
3. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุนน. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2535.
4. APHA, AWWA and WPCF. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. New York: APHA, 1992.
5. S.I. Baskin, J.B. Kelly, B.I. Maliner, G.A. Rockwood, C.K. Zoltani, Cyanide poisoning, in: S.D. Tuorinsky (Ed.), Textbook of Military Medicine: Medical Aspects of Chemical Warfare, Office of The Surgeon General at TMM Publications, Borden Institute, Washington, DC, 2008, 371–410.
6. M.D. Adams, Removal of cyanide from solution using activated carbon, *Minerals Engineering*, 7(1994) 165-1177.
7. Ladou J. Current occupational & environmental medicine 4th ed. New York: McGraw-Hill 2007.
8. ศิษยา บุญมานุช. ลักษณะสมบัติน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขานามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น 2542.
9. สิริโสภา นิลพันธ์. การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่รวบรวมได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยวิธีโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ 2542.
10. สิริพรรณ นิลโพธิ์ ธิฐมอญ [ออนไลน์]
<http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/March/radio3-2.htm> (6 สิงหาคม 2556).
11. ธิฐมอญ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 601/2547).
12. ประกรณ์ เลิศสุวรรณ์ไพศาล. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้พืชท้องถิ่น (กรณีศึกษา: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม). รายงานวิจัย สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม 2545.

13. พอตา ประสานนาม, การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก Hydroxyethyl Cellulose, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 2547.
14. วิชชุดา ไชยะโชค และ สุธา ชาวเขียว. การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้การของเหลวเยียวจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเป็นวัสดุดูดซับ, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2552.
15. Lo S.F., Wang S.Y., Tsai M.J., Lin L.D. Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. *Chemical Engineering Research and Design*. 90(2012) 1397–1406.



ภาคผนวก

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าที่คี่เอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	● ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันได้แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. ● น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าที่คี่เอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่คี่เอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันได้แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันได้แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C) (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry
16.1. สังกะสี (Zn)		ชนิด Direct Aspiration
16.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy
16.3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
16.5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
16.6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
16.8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
16.9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
16.11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16.10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.11. ซีเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	- Atomic Absorption Cold Vapour Technique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม” ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 99 ตอนที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายวรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Woravith Chansuvarn, Ph.D.

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงาน กลุ่มวิชาเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เลขที่ 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

โทร 0 2913 2424 ต่อ 195 โทรสาร 0 2913 2424 ต่อ 194

อีเมล : woravith.c@rmutp.ac.th มือถือ 0846673969

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาขาเคมี (เคมีวิเคราะห์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พ.ศ.2555)

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมี (เคมีวิเคราะห์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (พ.ศ.2547)

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี (เกียรตินิยมอันดับ 2) สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี (พ.ศ.2544)

ผลงานตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

Chansuvarn W. and Imyim A. Visual and colorimetric detection of Hg(II) ion using gold nanoparticles stabilized with dithia-diaza ligand, Microchim. Acta, 176(2012) 56-67. IF=3.033.

Chansuvarn W., Panich S., and Imyim A. Simple spectrophotometric method for determination of melamine in liquid milks based on green Mannich reaction, Spectrochimica Acta Part A: molecular and biomolecular spectroscopy, 113(2013) 154-158. (IF=2.02)