



การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี
 โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2543

ISBN 974-665-136-6

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

112943654

กพ
 ๙๖๑๖๓
 ๒๕๔๓
 ค.๒

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี
โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี


.....

นางชุตินธร มุลทองน้อย
ผู้วิจัย


.....

นายพัฒน์ ทวีโชค Ph.D.
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

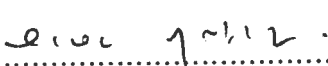
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำลอง อรุณเลิศอารีย์ Ph.D.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

นางสาวอัจฉราพร สังข์เพชร Ph.D.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย


.....

รองศาสตราจารย์รุ่งจิตร หุดะเจริญ วท.ม.
ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่
เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
คนละสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 19 ตุลาคม 2543



นางชุตินทร มุลทองน้อย

ผู้วิจัย



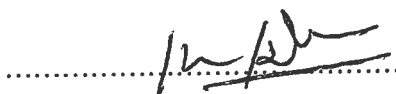
นายพัฒน ทวีโลก Ph.D.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จำลอง อรุณเลิศอารีย์ Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



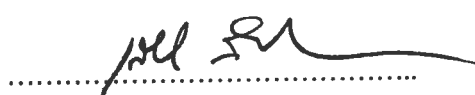
ศาสตราจารย์นายแพทย์เทพนม เมืองแมน Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



นางสาวอังธรพร สังข์เพชร Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลี้มล้อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยเนื่องจากความกรุณาของคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ทั้ง 4 ท่าน ได้แก่ คร.พัฒน์ ทวีโภค ผศ.ดร.จำลอง อรุณเลิศอารีย์ ดร.อัญญาพร สังข์เพชร และ ศ.นพ.เทพนม เมืองแมน ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ปรับปรุง แก้ไข ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จมาได้ด้วยความกรุณาจากหลายฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถตอบแทนอย่างอื่นได้นอกจากขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณหน่วยงานห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ สำหรับทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

คุณกาญจนา บุญสุข และคุณณภารัตน์ ขนนทัย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และมิตรภาพที่ดี ตลอดจนคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ที่ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ขอระลึกถึงพระคุณ คุณแม่ศิริพงษ์ พี่สาวและพี่ชายที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา และให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอระลึกถึงคุณพ่อสุนทร มูลทองน้อยและคุณสุชาติ อาวุธปัญญากุล ผู้ล่วงลับและคอยให้กำลังใจอยู่ห่างๆ

ชุตินทร มูลทองน้อย

3937665 ENAT/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร ;

วท.ม.(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

คำสำคัญ : น้ำเสีย / โลหะหนัก / การบำบัด / การตกตะกอน

ชุตินธร มูลทองน้อย : การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี (CONTAMINATION AND REMOVAL OF HEAVY METALS FROM LABORATORY WASTEWATER BY CHEMICAL PRECIPITATION) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : พัฒน ทวีโชค, Ph.D. จำลอง อรุณเลิศอารีย์, Ph.D. อัจฉราพร สังข์เพชร, Ph.D., 130 หน้า. ISBN 974-665-136-6

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสีย ที่ทำการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยสารเคมีกลุ่มไฮดรอกไซด์ กลุ่มคาร์บอเนตและกลุ่มซิลิเกต ตลอดจนสถานะที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสีย โดยนำอัตราส่วนของน้ำเสียจากการวิเคราะห์ DO : BOD : COD : $\text{NH}_3\text{-N}$: $\text{NO}_3\text{-N}$ คือ 7.5 : 27 : 7.5 : 1.5 : 1.5 ลิตร ตามลำดับ มาทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักพบว่า มีปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นในน้ำเสียได้แก่ เงิน โปรท โครเมียม เหล็ก แมงกานีส แมกนีเซียม และแคลเซียม เท่ากับ 0.034 49.989 50.47 152.6 361.23 58.66 และ 0.723 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นนำน้ำเสียมาทำการบำบัดโลหะหนัก โดยใช้สารตกตะกอน Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ Na_2SiO_3 ในปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัม/ลิตร พบว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ผ่านการปรับ pH ด้วย NaOH และหिनอ่อนจนมี pH 9.0 แล้วนั้นสามารถบำบัดโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้มากกว่าร้อยละ 98-99 ยกเว้นแมกนีเซียมที่ถูกบำบัดด้วย Na_2CO_3

น้ำเสียที่มีการปรับสภาพให้เหมาะสมกับการบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอน โดยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด จะมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักน้อยกว่าวิธีการบำบัดด้วยสารตกตะกอนโดยไม่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ก่อน ส่วนปริมาณโลหะหนักต่างๆ หลังการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงงาน ยกเว้นในกรณีของโปรทที่ยังคงมีค่าสูงเกินมาตรฐาน โดยสารตกตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุดที่สุดแตกต่างไปจากผลการบำบัดด้วยสารตกตะกอน Na_2CO_3 และ Na_2SiO_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียต่ำสุดเมื่อเทียบกับสารตกตะกอนอีก 2 ชนิด คิดเป็นเงิน 7.54 บาทต่อลิตร

3937665 ENAT/M : MAJOR : APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE
DEVELOPMENT ; M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR
RESOURCE DEVELOPMENT)

KEY WORDS : WASTEWATER / HEAVY METAL / PRECIPITATION

CHUTINTORN MOOLTHONGNOI : CONTAMINATION AND REMOVAL OF
HEAVY METAL FROM LABORATORY WASTEWATER BY CHEMICAL PRECIPITATION.

THESIS ADVISORS : PATTANA TAVIPOKE ,Ph.D. , CHUMLONG ARUNLERTAREE , Ph.D. ,
ACHARAPORN SUNGPETCH , Ph.D. , 130 p. ISBN 974-665-136-6

The main objective of this research is to study the possibility of employing chemical precipitation to treat wastewater from an environmental laboratory. Level of heavy metal contamination in wastewater samples was examined. The effectiveness of three chemicals under different conditions in metal removal, as well as cost of each treatment was observed and compared.

For the precipitation studies, Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and Na_2SiO_3 were utilized. Wastewater samples from DO, BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ analysis were collected and mixed in the proportion of 7.5, 27, 7.5, 1.5 and 1.5 liters, respectively. The mixture sample was found to comprise 0.03 mg Ag / L, 49.99 mg Hg / L, 50.47 mg Cr / L, 152.60 mg Fe / L, 361.23 mg Mn / L, and 0.72 mg Cd / L, which were much higher than acceptable standards. In order to facilitate chemical precipitation, the pH level of the sample were adjusted. The results showed that at pH 9.0 the removal of the concerned heavy metals in the water sample with 10 g precipitants could be maximized. Up to 99 % of the original concentrations of the above heavy metals were reduced. Except for Mercury, concentration of other metals fell below standard levels for effluent water.

In comparison to other two chemicals, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ generated the highest heavy metal removal rate ($p = 0.05$) at the lowest expenditure. The cost of treatment was found to be 7.54 Baht/ L.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 กรอบแนวความคิด	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7 นิยามศัพท์	5
2 ทบทวนวรรณกรรม	7
2.1 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี	7
2.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม	15
2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	19
2.4 การจำแนกวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 รูปแบบการวิจัย	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 สารเคมี	29
3.4 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	29
3.5 การควบคุมคุณภาพ	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	28
วิธีดำเนินการวิจัย	
3.6 วิธีดำเนินการศึกษา	30
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย	35
4	39
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ	39
วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี	
4.2 การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์	44
คุณภาพน้ำทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี	
4.3 การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์โดยวิธี	72
การตกตะกอนด้วยสารเคมี	
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย	74
จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	
5	
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
5.1 อภิปรายผลและข้อสรุป	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	
รายการอ้างอิง	83
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก	86
ภาคผนวก ข	96
ภาคผนวก ค	102
ภาคผนวก ง	117
ประวัติผู้วิจัย	121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการตรวจวิเคราะห์ตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม	7
2-2	คุณลักษณะของน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี	12
2-3	ชนิดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี	15
3-1	วิธีการตรวจวิเคราะห์หาคุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	32
4-1	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเริ่มต้น และหลังการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	40
4-1	สรุปผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน	49
4-3	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังจากทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วย NaOH และหินอ่อน	53
4-4	สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยสารตกตะกอน	62
4-5	สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี (ชุดใหม่) ด้วยสารตกตะกอนที่ สภาวะเหมาะสม	71
4-6	ผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียเคราะห์ด้วยสารตกตะกอนที่ สภาวะเหมาะสม	73
4-7	สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายของโลหะกับพีเอช	22
3-1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน	36
3-2	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนัก	37
3-3	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนัก	38
4-1	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเริ่มต้น และหลังการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	40
4-2	สรุปผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน	49
4-3	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังจากทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วย NaOH และหินอ่อน	53
4-4	สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม	62
4-5	สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี (ชุดใหม่) ด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม	71
4-6	ผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำสังเคราะห์ด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม	73
4-7	สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในช่วงระยะเวลา 2 - 3 ทศวรรษที่ผ่านมากระแสความตื่นตัวในเรื่องสิ่งแวดล้อม ได้แผ่ขยายไปทั่วโลก สืบเนื่องมาจากการขยายตัวของการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการบริโภคที่เปลี่ยนแปลง (1) สำหรับประเทศไทยได้มีการขยายตัวทาง อุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วเริ่มตั้งแต่ ปี 2530 จนถึงปี 2539 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ต่อปี (2) (3) และแม้การขยายตัวจะลดลงตามวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจในระยะ 2 - 3 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2540 - 2542) แต่ปัญหามลพิษทางน้ำยังจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญ ซึ่งหากไม่มีการจัดการปรับปรุงระบบการจัดการควบคุมให้ดีขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากกว่าเดิมไปเรื่อย ๆ ทางภาครัฐได้มีการจัดตั้งหน่วยงานขึ้นมาควบคุมการปล่อยสารมลพิษ โดยหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบคือ กรมควบคุมมลพิษ สังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมเจ้าท่า สังกัดกระทรวงคมนาคม กรมโรงงานอุตสาหกรรม สังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งหน่วยงานเหล่านี้ได้ออกเกณฑ์หรือมาตรฐานในรูปของกฎหมายบังคับใช้ควบคุมแหล่งต้นกำเนิดมลพิษ (4) กำหนดให้ผู้ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมต่างๆ ทำรายงานผลการตรวจสอบ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสารมลพิษของตนให้กับหน่วยงานที่ควบคุมดูแลอย่างน้อยเดือนละครั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแหล่งกำเนิดสารมลพิษต้องทำการตรวจวัดคุณภาพของเสียที่ผลิตจากกิจกรรมนั้นๆ เช่น คุณภาพน้ำทิ้ง โดยส่งตัวอย่างน้ำทิ้งไปทำการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งในประเทศไทยมีอยู่จำนวนไม่น้อยกว่า 60 แห่งที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรม (5) รวมถึงสถาบันการศึกษาที่มีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งห้องปฏิบัติการเหล่านี้สามารถทำการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำต่าง ๆ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม

ในการวิเคราะห์ ดัชนีคุณภาพน้ำบางชนิด เช่น ค่าบีโอดี และซีโอดี มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น หลังจากที่ทำกรวิเคราะห์ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีการ

ปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ก็ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียเป็นของตนเอง (6) และถึงแม้ว่าจะมีหน่วยงานที่รับกำจัดกากอุตสาหกรรม เช่น ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่หน่วยงานดังกล่าวจะรับน้ำเสียไปกำจัดต่อเมื่อมีน้ำเสียในปริมาณมาก อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 1,000 ลิตร (7) ซึ่งในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมนั้นการรวบรวมปริมาณน้ำเสียจำนวนมากในระดับนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บไว้ในภาชนะจัดเก็บที่มีขนาดใหญ่ และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก เป็นเหตุให้ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ปล่อยน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนเกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะโดยตรง (6) โลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำนั้นสามารถแพร่กระจาย และก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ในที่สุด (8) ดังนั้นหากห้องปฏิบัติการทุกแห่งมีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำก็จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอาจทำได้หลายวิธี อาจใช้สาร Chelating agent บางชนิดที่มีคุณสมบัติสามารถดูดซับโลหะหนักได้ เช่นพวกกลุ่มเรซินบางชนิดที่มี Silydryl (SH) หรือ ใช้ซีโอไลต์ (Zeolite) หรือใช้ วิธีทางเคมี โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนัก ซึ่งวิธีหลังนี้สามารถปฏิบัติได้อย่างรวดเร็วและใช้ต้นทุนไม่สูงนัก (8) โดยใช้สารเคมีที่ไม่เป็นพิษหรือมีความเป็นพิษน้อยและราคาไม่สูง สามารถใช้ในงานประจำวันที่ทำในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ได้ดี ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบขบวนการตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียโดยสารเคมีชนิดต่างๆ ว่าจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันเพียงใด และสารเคมีชนิดใดจะมีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้ในงานประจำมากที่สุด อันจะเป็นส่วนช่วยในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อมได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาระดับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคมีกลุ่มไฮดรอกไซด์ กลุ่มคาร์บอเนต และกลุ่มซิลิเกตในการตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.2.3 เพื่อศึกษาหาชนิดของสารเคมีที่เหมาะสม และต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สารเคมีต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน

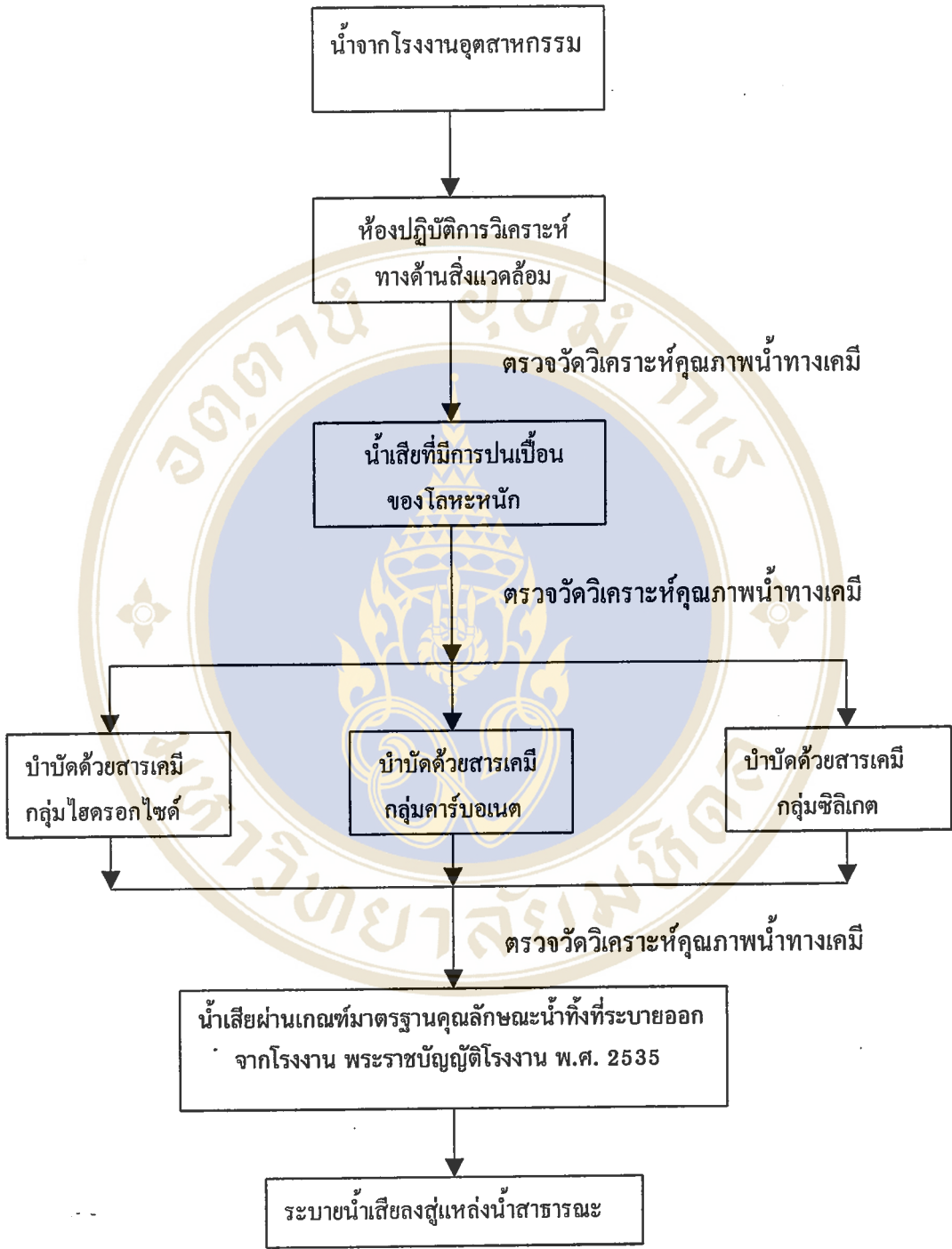
1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมดจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.4.2 ใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี 3 ชนิด คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ในการบำบัดโลหะหนักซึ่งมีกำหนดไว้ในมาตรฐานคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้แก่ แมงกานีส (Mn)ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) เงิน (Ag) เหล็ก (Fe) แคดเมียม (Cd) ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

1.5 กรอบแนวความคิด

การปนเปื้อนและการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี มีแนวความคิดมาจากการที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ส่งตัวอย่างน้ำเสียมาให้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อมตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางเคมี เช่น BOD COD DO $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์ต้องมีการใช้สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์ปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ซึ่งห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยตรง โลหะหนักจึงสามารถแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำและอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำขึ้นได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และศึกษาถึงการตกตะกอนโลหะหนักด้วยสารตกตะกอนกลุ่มไฮดรอกไซด์ กลุ่มคาร์บอเนต และกลุ่มซิลิเกต โดยหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอนและสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนักเพื่อให้ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ดังแสดงกรอบแนวความคิดไว้ในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงคุณลักษณะ และระดับความปนเปื้อน โลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.6.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพ และวิธีการเบื้องต้นที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.6.3 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม หมายถึง ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ และสถานะอื่นๆ ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดเป็นเกณฑ์ทั่วไป สำหรับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

1.7.2 แหล่งกำเนิดมลพิษ หมายถึง ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม อาคาร สิ่งก่อสร้าง ยานพาหนะ สถานที่ประกอบกิจการใด ๆ หรือสิ่งอื่นใด ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของมลพิษ

1.7.3 น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่เสื่อมคุณภาพหรือน้ำที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงปรารถนาปนเปื้อนทำให้เกิดความเสียหายต่อการใช้ประโยชน์ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกันตามการเจือปนขององค์ประกอบหลักซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้

1.7.4 โลหะหนัก (Heavy Metal) หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไปที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ภายในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางเคมี คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนัก จึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารเคมีอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ และบางชนิดเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compound) สามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ด้วยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (food chain)

1.7.5 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ของน้ำเสีย โดยการใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดส์สูงภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง

1.7.6 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณความต้องการออกซิเจน
ซึ่งแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการตรวจวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ มีคุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกลือของโลหะหนักสำหรับดัชนีคุณภาพน้ำ และวิธีวิเคราะห์ที่ทางห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีวิเคราะห์เป็นประจำ แสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีการตรวจวิเคราะห์ตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีที่ทำการตรวจวิเคราะห์
1. พีเอช (pH)	พีเอช มิเตอร์ (pH Meter)
2. ความเป็นกรดและความเป็นด่าง	อินดิเคเตอร์ ไตเตรชัน (Indicator Titration)
3. ปริมาณของแข็ง	
3.1 ตะกอนหนัก	ทิ้งให้ตกตะกอนใน Imhoff cone ขนาด 1000 มล. 1 ชั่วโมง
3.2 ปริมาณสารแขวนลอย (SS)	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว
3.3 ของแข็งที่ละลายได้ (TDS)	นำน้ำที่ผ่านการทำ SS มาระเหยแห้ง ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3.4 ของแข็งรวม (TS)	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ออกซิเจน	
4.1 ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)
4.2 บีโอดี (BOD)	บ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 5 วัน และวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย ด้วยวิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน

4.3 ซีโอดี (COD)	ย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)
5. ไนโตรเจน	
5.1 ทีเคเอ็น (TKN)	วิธีเจลดาคัล (Kjeldahl Method)
5.2 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	วิธีเนสสเลอร์ไรเซชัน (Nesslerization)
5.3 ออร์แกนิก-ไนโตรเจน	วิธีเจลดาคัล (Kjeldahl Method)
5.4 ไนเตรท-ไนโตรเจน	วิธีแคดเมียมรีดักชัน (Cadmium Reduction)
5.5 ไนไตรท์-ไนโตรเจน	เทียบสีวิธี Griess-Ilosvay Diazotization
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ย่อยสลาย โดยเปอร์ซัลเฟต (Persulfate Oxidation Ascorbic acid)
7. น้ำมันและไขมัน	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
8. คลอรีนอิสระ	วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric method)
9. คลอไรด์	วิธีมอร์ (Mohr Method)
10. ความกระด้าง	EDTA ไตเตรชัน (EDTA-Titrimetric Method)

ที่มา : Law and Standards on Pollution Control in Thailand 2nd ed. (9)

จากดัชนีคุณภาพน้ำและวิธีที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี ที่กล่าวถึงในตารางที่ 2-1 จะมีดัชนีคุณภาพน้ำอยู่ 5 ชนิดที่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบในการตรวจวิเคราะห์ คือ

2.1.1 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen , DO)

ปัจจุบันวิธีวิเคราะห์หาออกซิเจนละลายน้ำที่จัดว่าเป็นมาตรฐานคือ Azide Modification of Winkler Method หลักการของวิธีนี้ก็คือ ออกซิเจนจะออกซิไดซ์ Mn^{+2} ไปเป็น Mn^{+4} ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง Mn^{+4} นี้สามารถจะออกซิไดซ์ I^- ไปเป็น I_2 อิสระภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นั่นคือปริมาณของ I_2 อิสระที่ถูกขับออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต ซึ่งสามารถแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในรูปสมการ ดังนี้

เมื่อเติม $MnSO_4$ และ alkali-iodide ($NaOH + NaI$)



ถ้าในน้ำมี O_2 จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปดังนี้



ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ Mn^{2+} ให้เป็น MnO_2 เรียกว่าขบวนการ fixation จะเกิดซ้ำๆ ที่อุณหภูมิต่ำเมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ และตกตะกอนแล้วจึงเติมกรดกำมะถันเข้มข้นลงไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ I^- เกิดเป็น I_2



ซึ่งเมื่อไทเทรตด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จะสามารถวิเคราะห์ปริมาณ I_2 ที่เกิดขึ้นได้



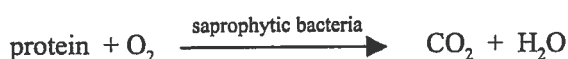
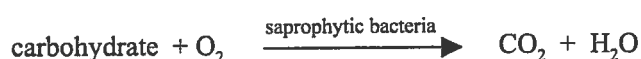
ออกซิเจนนับว่าเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของ คน สัตว์ และพืช เพราะเป็นสารจำเป็นที่ต้องนำไปใช้ในขบวนการต่างๆ ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic processes) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีววิทยา ที่เกิดขึ้นจะเกิดโดย aerobic organisms หรือ anaerobic organisms โดยกลุ่ม aerobic organism ใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่กลุ่ม anaerobic organisms ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันของเกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น SO_4^{2-} ก่อให้เกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) ที่มีกลิ่นเหม็น นอกจากนั้นค่าออกซิเจนละลาย ยังใช้เป็นค่าดัชนีพื้นฐานของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) อีกด้วย (10)

2.1.2 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand , BOD)

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากขบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และแบ่งตัวต่อไปผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดส์สารอาหารเหล่านี้อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร (11)

การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดส์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ



ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากการใช้โดยแบคทีเรีย คือค่าบีโอดี ที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบไนโตรเจน ดังสมการ



โดยกลุ่ม nitrifying bacteria ซึ่งเป็น autotrophic bacteria กลุ่มหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีอยู่เป็นปริมาณน้อยในน้ำเสีย (raw sewage) และมี การแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนน้อยมากที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า BOD ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า BOD จึงไม่มากนัก แต่หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นจนปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สาร NH_3 เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรทในตัวอย่างซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

ค่าบีโอดีเป็นดัชนีบ่งชี้ให้เห็นถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ ในเทอมของออกซิเจน ซึ่งต้องการใช้เมื่อปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แม่น้ำลำคลองซึ่งมีสถานะที่มีออกซิเจนอยู่ การหาค่าบีโอดี ยังมีความสำคัญในการจัดการควบคุมคุณภาพของน้ำในลำธาร และแม่น้ำต่าง ๆ เพราะค่า BOD จะบอกถึงระดับความสกปรกของแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการใช้ออกแบบระบบในการบำบัดน้ำเสียด้วย

การหาค่าบีโอดีเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อให้จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์ จึงต้องทำให้แฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือค่าบีโอดีมาตรฐานจะทำการบ่ม (incubate) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวก็เพราะที่ 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับของน้ำทั่วไปและ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกใช้เวลาที่ใช้บ่ม (incubate) 5 วันก็เพราะถ้าเวลาน้อยกว่านี้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมากและเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ O_2 ในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้นและประการสุดท้ายหากใช้เวลาบ่ม (incubate) นานเกินไป ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดก็อาจจะมีมากเกินไปความสามารถที่จะรองรับของระบบนั้น ๆ ได้ ค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้ นิยมเขียนสัญลักษณ์ว่า BOD_5

2.1.3 ซีโอดี (Chemical oxygen demand , COD)

ซีโอดี (COD) คือ การวัดค่าความสกปรกของน้ำเสียโดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โดยภายใต้สภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง ตัวเติมออกซิเจน (Oxidizing agent) สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ย่อยสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดในน้ำทิ้งหรือประมาณร้อยละ 95 - 98 ให้เปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำโดยที่ไม่มีขบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้น ในขณะที่ยวกันสารพวกอะมิโน

ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบก็จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ (11)



เมื่อทราบปริมาณตัวเดิมออกซิเจนที่ใช้ไปก็สามารถคำนวณกลับหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในปฏิกิริยาได้

สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเดิมออกซิเจน (oxidizing agents) ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี มีอยู่หลายชนิด เช่น โพตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เซริกซัลเฟต ($Ce_2(SO_4)_3$) โพตัสเซียมไอโอเดต (KIO_3) และโพตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) แต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกัน แต่ $K_2Cr_2O_7$ เป็นตัวเดิมออกซิเจนที่ดีที่สุด มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง สามารถใช้กับสารอินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด และทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปถึงจุดสิ้นสุดได้ (11)

ปฏิกิริยาย่อยสลาย (Oxidation) สารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำโดยใช้ $K_2Cr_2O_7$ จะเกิดในสภาวะที่เป็นกรดอย่างแรงเนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องอาศัยขบวนการกลั่นกลับคืน (reflux) เพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารที่ระเหยได้ที่มีอยู่เดิมในตัวอย่างน้ำหรือที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิกิริยาในการวิเคราะห์ต้องเติม Ag_2SO_4 ลงไปเพื่อใช้เป็นตัวเร่งให้สารที่ย่อยสลายได้ยากเช่น fatty acid straight-chain alcohol และ straight chain acid รวมทั้ง straight chain aliphatic compounds ย่อยสลายได้เร็วขึ้น และใช้ $HgSO_4$ เป็นตัวกำจัดการขัดขวางปฏิกิริยาย่อยสลายนี้ของสารในกลุ่มคลอไรด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขบวนการออกซิไดซ์ของสารอินทรีย์ โดยใช้ $K_2Cr_2O_7$ เป็นไปตามสมการ



หรือเขียนเป็นสมการง่ายๆ ดังนี้



ในการวิเคราะห์จะเติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ทราบจำนวนแน่นอนที่มากเกินไป หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ $Cr_2O_7^{-2}$ ส่วนที่เหลือ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้สามารถทำ

ได้โดยการทิตเรทกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ หรือ FAS โดยใช้ Ferroin ($\text{Fe}(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)_3$) เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้คือ



โครเมียมอ็อกไซด์ในสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ซึ่งอยู่ในรูปของ Cr^{+6} ซึ่งมีสีเหลืองจะถูกรีดิวส์ให้เป็น Cr^{+3} ซึ่งมีสีเขียวแทน เมื่อนำมาทิตเรทกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้ Ferroin เป็นอินดิเคเตอร์จนได้จุดยุติ (end point) เป็นสีน้ำตาลแดง ซึ่งมองเห็นได้ชัดกว่าสีเขียวของเกลือโครมิกที่เกิดขึ้น จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับสารอินทรีย์ได้

Gould et.al (11) ศึกษาพบว่าค่าซีโอดีเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสียและน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นการวัดความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ (chromium hexavalent) ที่ลดลง แต่การวิเคราะห์ซีโอดีมีข้อเสียคือในน้ำเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์มีปริมาณเงิน ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมีปริมาณปรอทซึ่งใช้ในการกำจัดคลอรีนในปริมาณมาก โดยทั่วไปของเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ซีโอดีมีความเข้มข้นของเงินและปรอทอยู่ในช่วง 1,000 – 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร โครเมียมอยู่ในช่วง 200 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี

ปริมาณความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เอกสารอ้างอิง
Cr	Ag	Hg	
230	1429	1220	Gould et.al (12)
305	1464	945	สุรัตน์ เพชรเกษม (6)

2.1.4 แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)

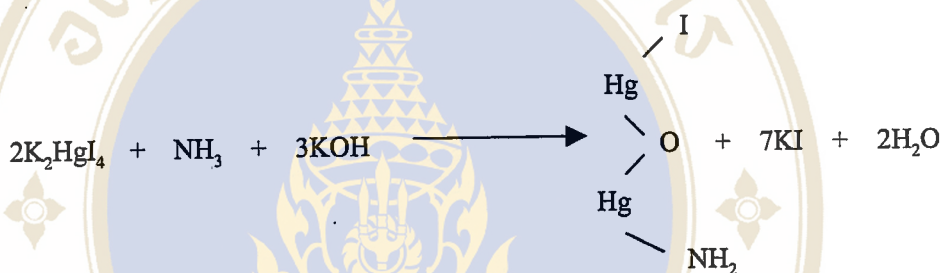
แอมโมเนียไนโตรเจน คือ ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูป NH_4^+ หรือในรูป NH_3 ซึ่งสมมูลกัน เรียกว่า แอมโมเนียไนโตรเจน เขียนแทนด้วยสมการดังนี้



ตามธรรมชาติจะพบแอมโมเนียในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และในน้ำโสโครก (Wastewater effluent) แอมโมเนียจำนวนมากเกิดจากขบวนการ deamination ของสารประกอบที่มีอินทรีย์สารไนโตรเจนและจากขบวนการไฮโดรไลซิสของยูเรีย นอกจากนี้ อาจเกิดตามธรรมชาติโดยการ

รีดักชันของไนเตรทภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แฟลคเตอร์สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีวิเคราะห์แอมโมเนียคือความเข้มข้น และสิ่งแทรกสอด (interference) โดยทั่วไปแล้วการหาค่าแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ เช่น มักใช้ colorimetric method วิธี nesslerization โดยไม่ผ่านวิธีการกลั่น แต่ถ้าต้องการความแม่นยำสูงให้ทำการกลั่นตัวอย่างก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ตามปกติ

หลักการของการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนด้วยวิธี nesslerization คือแอมโมเนียในตัวอย่างจะทำปฏิกิริยากับน้ำยาเนสเลอร์ ซึ่งเป็นสารละลายต่างแก่ของโปตัสเซียมเมอร์คิวริกไอโอไดด์ (K_2HgI_4) เกิดเป็นคอลลอยด์สีน้ำตาลเหลือง ความเข้มของสีเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ในตัวอย่างสมการ (10)

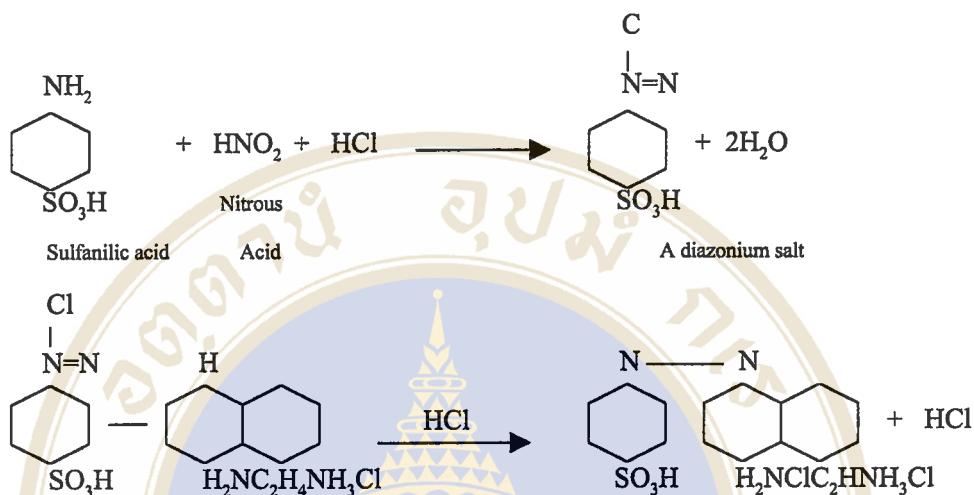


2.1.5 ไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen, NO_3-N)

ไนเตรทไนโตรเจน เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน เพื่อใช้เป็นอาหารของคนและสัตว์ต่อไป ไนเตรทเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตปล่อยของเสียซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนออกมาและเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง โปรตีนในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งพืชนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนได้ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปความต้องการแบคทีเรียสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทต่อไป ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรทไนโตรเจนปริมาณน้อยโดยทั่วไปต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร และอย่างสูงไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรทสูงตั้งแต่ 0 – 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ไนเตรทนอกจากเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้วยังเกิดจากการชะล้างปุ๋ยที่มีการใช้ในการเกษตรกรรมอีกด้วย วิธีวิเคราะห์ไนเตรทไนโตรเจนที่กำหนดในมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรมคือวิธี Cadmium Reduction Method (11)

หลักการวิเคราะห์ไนเตรทไนโตรเจนด้วยวิธี Cadmium Reduction Method นั้นไนเตรทไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำสามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ ด้วยปฏิกิริยารีดักชันได้เกือบสมบูรณ์ภายใต้สภาวะที่มีโลหะแคดเมียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจึงวิเคราะห์ไนไตรท์ใช้วิธี Colorimetric method โดยวิธี Griess - Ilosvay Diazotization ซึ่งมีหลักการว่าไนไตรท์ที่ออกจะทำปฏิกิริยากับอะมิโนกรุปของ

กรดซัลฟานิลิกให้เกลือไดอาโซเนียม ซึ่งเมื่อรวมกับแอลฟาแนทิลลามีนไฮโดรคลอไรด์จะให้สารประกอบสีม่วงแดงของเอโซดาบ (azo dye) สีที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณไนโตรที่ดังสมการ



ค่าไนโตรเจนที่วัดได้เท่ากับความเข้มข้นของไนเตรทรวมกับไนไตรท์ ดังนั้นถ้าวิเคราะห์หาไนไตรท์ในตัวอย่างน้ำด้วย ผลต่างระหว่างปริมาณไนไตรท์ที่วัดได้โดยวิธีแคดเมียมรีดักชัน และไนไตรท์ที่วัดได้ตามปกติ (ไม่ผ่านวิธีแคดเมียมรีดักชัน) จะเท่ากับค่าความเข้มข้นของไนเตรทในตัวอย่างน้ำ

(11)

จากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีจะเห็นว่า การใช้สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำเสียห้องปฏิบัติการทางเคมีซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ชนิดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

ดัชนีคุณภาพน้ำ	สารเคมีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ	ชนิดของโลหะหนัก
1. ออกซิเจนละลาย (DO)	- $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn
2. บีโอดี (BOD)	- $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mn Mg
3. ซีโอดี (COD)	- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - Ag_2SO_4 - HgSO_4 - $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$	Fe Cr Ag Hg Fe
4. แอมโมเนียไนโตรเจน	- HgI_2	Hg
5. ไนเตรทไนโตรเจน	- Cadmium granular	Cd

2.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีแล้วพบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อาจมีปริมาณมากเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงสามารถที่จะกล่าวได้ว่า หากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยมีได้มีการบำบัดในเบื้องต้นย่อมจะก่อให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อม และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมถึงมนุษย์ด้วย (13) ซึ่งการที่จะแก้ปัญหาที่ตามมาจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะความเป็นมาและการเกิดพิษของน้ำเสีย เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว

2.2.1 โลหะหนัก (Heavy metal)

ธาตุต่าง ๆ ในโลกเท่าที่ค้นพบในปัจจุบัน ซึ่งมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น รวมกันแล้วมีประมาณ 106 ธาตุ และในจำนวนนี้มีส่วนที่เป็นโลหะหนัก (Heavy Metal) อยู่ 68 ธาตุ

โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ (14) โลหะหนักที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แมงกานีส โปรท โครเมียม เงิน เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม

2.2.1.1 แมงกานีส (Manganese-Mn)

โดยทั่วไปแมงกานีสมีคู่กับเหล็กในน้ำ แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่า น้ำผิวดินที่ไม่มีการไหลถ่ายเทจะมีแมงกานีสสูง โดยเฉพาะบริเวณก้นอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากแมงกานีสเป็นโลหะจำเป็นสำหรับการทำงานของเอ็นไซม์บางตัว ดังนั้นการรับแมงกานีสจากอาหารในระดับ 10 มิลลิกรัม/วัน จึงไม่ถือว่าเป็นอันตราย แต่หากมีปริมาณมากขึ้นก็อาจส่งผลร้ายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต นอกจากนั้นหากแมงกานีสในน้ำมีความเข้มข้นเกินกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หรือความเข้มข้นรวมกับเหล็กมากกว่า 0.3 - 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร จะตกตะกอนแยกตัวจากน้ำถ้าสัมผัสกับออกซิเจนหรือคลอรีน เกิดเป็นคราบจับติดอยู่ภายในท่อ ซึ่งบางครั้งก็หลุดติดไปกับน้ำประปาด้วย คราบที่เกิดจากแมงกานีสไดออกไซด์จะมีสีดำ แต่ถ้ามีเหล็กอยู่ด้วยจะมีคราบสีน้ำตาลเข้ม ถ้าใช้น้ำประปาที่มีแมงกานีสเจือปนอยู่ซักผ้าสีอ่อนๆ จะมีรอยดำ หรือถ้าใช้กับสุขภัณฑ์สีขาวจะมีคราบ น้ำที่มีแมงกานีสอยู่จะเปลี่ยนรสของเครื่องดื่ม ในประเทศไทยใช้มาตรฐานเดียวกับ EPA (14) โดยกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของแมงกานีสไว้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร (15)

2.2.1.2 โปรท (Mercury-Hg)

โปรทจากธรรมชาติเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูป HgS ในแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar) มีสีแดงและไม่ละลายน้ำ มักเกิดขึ้นในที่ที่ห่างไกลจากผู้คน แต่จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาถ่านหินหรือแหล่งอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานผลิตโซดาไฟและคลอรีน การผลิตสี การถลุงแร่ การผลิตพลาสติกพีวีซีและกิจกรรมทางด้านการเกษตรซึ่งใช้สารประกอบโปรทเป็นยาปราบศัตรูพืชและฆ่าเชื้อรา ทำให้เกิดการกระจายโปรทเข้าสู่สิ่งแวดล้อม สารประกอบอนินทรีย์ของโปรทไม่มีในธรรมชาติ แต่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปในอุตสาหกรรมต่างๆ หรือโดยกระบวนการทางชีวภาพที่มีจุลินทรีย์ (methanogenic bacteria) ที่อยู่ใต้น้ำเป็นตัวการสำคัญ (13)

สำหรับความเป็นพิษ ไอของโปรทจัดว่ามีพิษร้ายแรงที่สุด แต่เนื่องจากโปรทมีความดันไอลำบาก ดังนั้นโอกาสจะได้รับไอของโปรทเข้าสู่ร่างกายจึงน้อย ส่วนมากโปรทจะเข้าสู่ร่างกายได้โดย

ทางน้ำและอาหาร แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปจะมีปรอทน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/ลิตร ในขณะที่อาหารบางชนิดจะมีปรอทเจือปนอยู่ในช่วง 10-70 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามมาตรฐานแล้ว อัตราการรับปรอทเข้าสู่ร่างกายควรไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/วัน สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม Hg_2Cl_2 และ $HgCl_2$ เป็นสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทที่ละลายน้ำได้ มีฤทธิ์กัดกร่อนเมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถก่อให้เกิดปัญหาในระบบทางเดินอาหารและไตได้ อย่างไรก็ตามความเป็นพิษที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทเช่น dimethyl mercury และ methyl ethyl mercury ยังไม่ร้ายแรงนักเนื่องจากสารในกลุ่มหลังนี้ละลายได้ดีมากในไขมัน ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมตามเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง เช่น มันทมออง ไปขัดขวางการทำงานของระบบประสาท ทำให้ระบบประสาทผิดปกติ โดยเริ่มมีการทรงตัวที่ผิดปกติ เดินไม่เรียบคล้ายคนเมา กล้ามเนื้อทำงานไม่สัมพันธ์กัน เกี่ยวกับอาหารลำบาก กิจกรรมที่เคยทำได้จะทำได้ยากขึ้น เช่นการดื่มน้ำจากแก้ว การสูบบุหรี่ จุดไม้ขีดไฟ การเขียนหนังสือ ฯลฯ ต่อมาจะสูญเสียการได้ยิน การรับรส พุดตะกุกตะกัก ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบนใบหน้าได้ มีอาการตกใจง่าย มีความรู้สึกเศร้าสลด ความจำเสื่อม คาดหมายอารมณ์ไม่ได้ บางครั้งจะมีการโกรธอย่างรุนแรงบางครั้งจะซึมเศร้า จนในที่สุดจะทำให้เสียสติ หุนหวนว คาบอด ข้อต่าง ๆ โกงงอ ทำให้เกิดท่าทางที่ผิดปกติ มีจำนวนมากที่ระดับน้ำตาลในเลือดสูงจนถึงขั้นเป็นโรคเบาหวาน และมีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ตับอ่อน ในระยะสุดท้ายจะมีการสลายไม่รู้สีกตัวและเสียชีวิตในเวลาต่อมา มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มของประเทศไทยกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของปรอทในน้ำดื่มไว้เท่ากับระดับที่ EPA กำหนดคือ 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร (14) (15)

2.2.1.3 โครเมียม (Chromium-Cr)

โครเมียมใช้ผสมโลหะทำให้แข็ง ป้องกันสนิมและทนต่อการผุกร่อนใช้ในการชุบโลหะ ทำสี ยางและอุตสาหกรรมฟอกหนังย้อมสี โครเมียมชนิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการพาณิชย์มี 2 วาเลนซ์ คือ วาเลนซ์ 3 และวาเลนซ์ 6

สารประกอบโครเมียมที่มีวาเลนซ์ 3 มีอันตรายน้อยไม่ดูดซึมในทางเดินอาหารส่วนสารประกอบที่มีวาเลนซ์ 6 เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหาร ผิวหนังและทางเดินหายใจ ส่วนโครเมียมนี้สามารถรบกวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอในเซลล์ได้ จึงจัดเป็นสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้เกลือโครเมียมยังสามารถทำลายไตของสัตว์พวกหนูและกระต่ายทดลองได้อีกด้วย (14)

พิษของโครเมียมจะทำอันตรายต่อคนได้เล็กน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับอนุมูลโครเมียม กล่าวคือ Cr^{+6} ที่ร่างกายได้รับเข้าไปแม้จำนวนเล็กน้อยก็สามารถทำให้โปรตีนในร่างกายตกตะกอนและเกิดการระคายเคืองที่ไต อันเป็นสาเหตุให้ไตอักเสบจนถึงแก่ความตายได้ Cr^{+6} ที่ซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังจะถูกรีดิวซ์เป็น Cr^{+3} ในชั้นคอเรียม (Corium) ของผิวหนัง ซึ่ง Cr^{+3} นี้จะไปทำปฏิกิริยา

กับโปรตีนในร่างกายเกิดเป็นสารแอนติเจนแอนติบอดีเชิงซ้อน (Antigen-Antibody Complex) ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง (Dermatitis) แต่ยังไม่มียาหรือสารที่แน่นอนสำหรับอันตรายที่เกิดจาก Cr^{+3} โดยตรง มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มของประเทศไทยกำหนดความเข้มข้นเฉพาะของโครเมียม (+6) หรือ Cr^{+6} ไม่ให้เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร (15)

2.2.1.4 เงิน (Silver-Ag)

มีการใช้สารประกอบของเงินเป็นสารฆ่าเชื้อและยาหยอดตา พืชจากการสะสมสารประกอบเงินจะทำให้เกิดเป็นจ้ำสีคล้ำๆ ตามผิวหนัง ตา และ mucous membrane ซึ่งอาการเหล่านี้มีชื่อทางการแพทย์ว่า argyria (14) มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดของประเทศไทยกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร (15)

2.2.1.5 เหล็ก (Iron-Fe)

เหล็กที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 รูปคือ เฟอรัส (Fe^{+2}) และเฟอริก (Fe^{+3}) ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในน้ำ ตามปกติในน้ำบาดาลหรืออ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่ขาดออกซิเจน จะมีสารละลายเหล็กในรูปเฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง และถ้ามี CO_2 อยู่ด้วยมักพบในรูปเฟอรัสไบคาร์บอเนต $[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]$ ที่ละลายน้ำได้ดีแต่ในภาวะเป็นด่าง คือที่ระดับพีเอช 8 - 9 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นเฟอริกไฮดรอกไซด์ $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ ที่ละลายน้ำได้น้อยมาก เหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดงของคนและสัตว์ ความต้องการของคนอยู่ในช่วง 7 - 35 มิลลิกรัม/วัน น้ำที่มีเหล็กปนเปื้อนในระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดสนิมเหล็กเปรอะเปื้อนเครื่องสุขภัณฑ์ต่าง ๆ เมื่อใช้ซักเสื้อผ้าขาวก็จะมีจุดสนิม หากความเข้มข้นสูงถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้น้ำมีรสไม่น่าดื่ม หุ่นขาวก็บูดเร็ว นอกจากนี้เหล็กที่อยู่ในน้ำยังเป็นตัวการให้เกิดแบคทีเรียเหล็ก เช่น crenothrix ซึ่งทำให้เกิดกลิ่น และรสที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำส่วนเมือกของจุลินทรีย์ในท่อจะทำให้ท่ออุดตัน นอกจากนั้นน้ำที่มีเหล็กยังมีฤทธิ์กัดกร่อนอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานเหล็กในน้ำประปาได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร (14)

2.2.1.6 แมกนีเซียม (Magnesium-Mg)

โดยทั่วไปในน้ำธรรมชาติจะพบแคลเซียมในปริมาณมากกว่าแมกนีเซียมเสมอโดยที่ในน้ำอ่อน (ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร) จะมีสัดส่วนของแคลเซียมและแมกนีเซียมประมาณ 48 % และ 14 % ของธาตุประจุบวกทั้งหมดส่วนในน้ำกระด้างจะมีสัดส่วนประมาณ 53 % และ 35% ตามลำดับ แมกนีเซียมมีความสำคัญต่อการเพาะปลูกเพราะเป็นส่วนสำคัญของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ แต่หากมีเจือปนอยู่ในน้ำดื่มร่วมกับซัลเฟตจะมีอันตรายต่อสุขภาพ เพราะจะมีฤทธิ์

ทำให้ถ่ายท็อก ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณแมกนีเซียมในมาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภคของประเทศไทยให้มีค่าไม่เกิน 150 มิลลิกรัม/ลิตร (14) (15)

2.2.1.7 แคดเมียม (Cadmium-Cd)

แคดเมียมในธรรมชาติส่วนใหญ่พบปะปนอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด มีส่วนน้อยที่อยู่ในรูป CdS แคดเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเคลือบผิวและชุบโลหะ ใช้ผสมในสีบางชนิด ผสมในน้ำมันเครื่อง ยาง และพลาสติก แหล่งน้ำคุณภาพดีควรมีแคดเมียมต่ำกว่า 1 ppb แต่น้ำธรรมชาติทั่วไปอาจมีอยู่สูงถึง 10 ppb แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางน้ำและอาหาร ควันบุหรี่ก็เป็นอีกแหล่งที่มีแคดเมียม เพราะบุหรี่ 1 มวนมีแคดเมียมประมาณ 1.3 ไมโครกรัม เช่นเดียวกับปรอท ตะกั่วและสารหนู เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะเริ่มสะสม และเพิ่มปริมาณขึ้นตามอายุ แคดเมียมในร่างกายถ้ามีปริมาณสูง ทำให้คนและสัตว์เป็นหมัน เป็นมะเร็ง และโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อตับและไต พิษเรื้อรังจากแคดเมียมที่รู้จักกันดีคือ โรคอิไต-อิไต ซึ่งมีอาการสาบตาผิดปกติและปวดกระดูกตามน่อง ซี่โครงและสันหลัง (14) ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณแคดเมียมในมาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภคของประเทศไทยให้มีค่าไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร (15)

2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ในน้ำทิ้งจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในรูปของแข็งและสารละลาย การบำบัดน้ำเสียจึงมีด้วยกันหลายวิธี สามารถเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งในการบำบัดหรือใช้หลายวิธีรวมกันในการบำบัด วิธีการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่คือ (16)

2.3.1 ขบวนการทางฟิสิกส์ (Physical Processes) ใช้ในการกำจัดของแข็งที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ การคัดด้วยตะแกรง (screening) การกวาด (skimming) การทำให้ลอย (flotation) การตกตะกอน (sedimentation) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) และการกรอง (filtration)

2.3.2 ขบวนการทางชีววิทยา (Biological Processes) ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ขบวนการกำจัดแบบใช้ออกซิเจน (aerobic processes) ได้แก่ oxidation ponds aerated lagoons activated-sludge trickling filters biological disc filters และขบวนการกำจัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic processes) ได้แก่ anaerobic lagoons anaerobic digestion anaerobic contact และ anaerobic filters

2.3.3 ขบวนการทางฟิสิกส์เคมี (Physical-Chemical Processes) ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ละลายน้ำที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์มีหลายขบวนการเช่น Gas stripping Reverse Osmosis

Adsorption Ion exchange การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีฟิสิกัลเคมี โดยทั่วไปจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการกำจัดด้วยวิธีอื่น จึงมักใช้ในการกำจัดขั้นสูง (Advanced treatment) หรือ (Tertiary treatment) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบางชนิดซึ่งละลายอยู่ในน้ำทิ้งด้วยความเข้มข้นที่ต่ำมากและไม่เหมาะสมที่จะกำจัดด้วยวิธีอื่น

2.3.3.1 Gas Stripping เป็นขบวนการแยกก๊าซหรือสารประกอบที่ระเหยง่ายออกจากน้ำทิ้ง โดยให้น้ำทิ้งสัมผัสกับอากาศทำให้ก๊าซหรือสิ่งสกปรกกระเหยหนีไป ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธีคือ ใช้ถังเดิมอากาศมีเครื่องเดิมอากาศกวนน้ำอย่างรุนแรงทำให้ก๊าซระเหยหนีไป หรือใช้ packed tower ซึ่งเป็นหอสูงมีตัวกลางที่ช่วยในการสัมผัสระหว่างน้ำทิ้งกับอากาศบรรจุอยู่เต็ม น้ำทิ้งจะถูกโปรยลงมาจากตอนบนสุดสวนทางกับอากาศที่เป่าสวนขึ้นไป

2.3.3.2 รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นขบวนการแยกของเสียโดยใช้แผ่นกรอง ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้สารบางชนิดผ่านไปได้ (Semipermeable membrane) จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำเสียก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบ

2.3.3.3 การดูดซับ (Adsorption) ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ไม่ค่อยละลายน้ำในการบำบัดขั้นสูงและใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ในขั้นตอนการบำบัดทางฟิสิกัลเคมีขบวนการดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงดึงดูดของสารดูดซับกับโมเลกุลของสารที่ผ่านสารดูดซับได้จนกระทั่งสารดูดซับอิ่มตัวแล้วทำการปรับคืนสภาพ (regenerate) แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3.4 ขบวนการทางเคมี (Chemical Processes) ใช้ในการกำจัดสารประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนมากเป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งวิธีการในขบวนการทางเคมี มีด้วยกันหลายประเภท เช่น

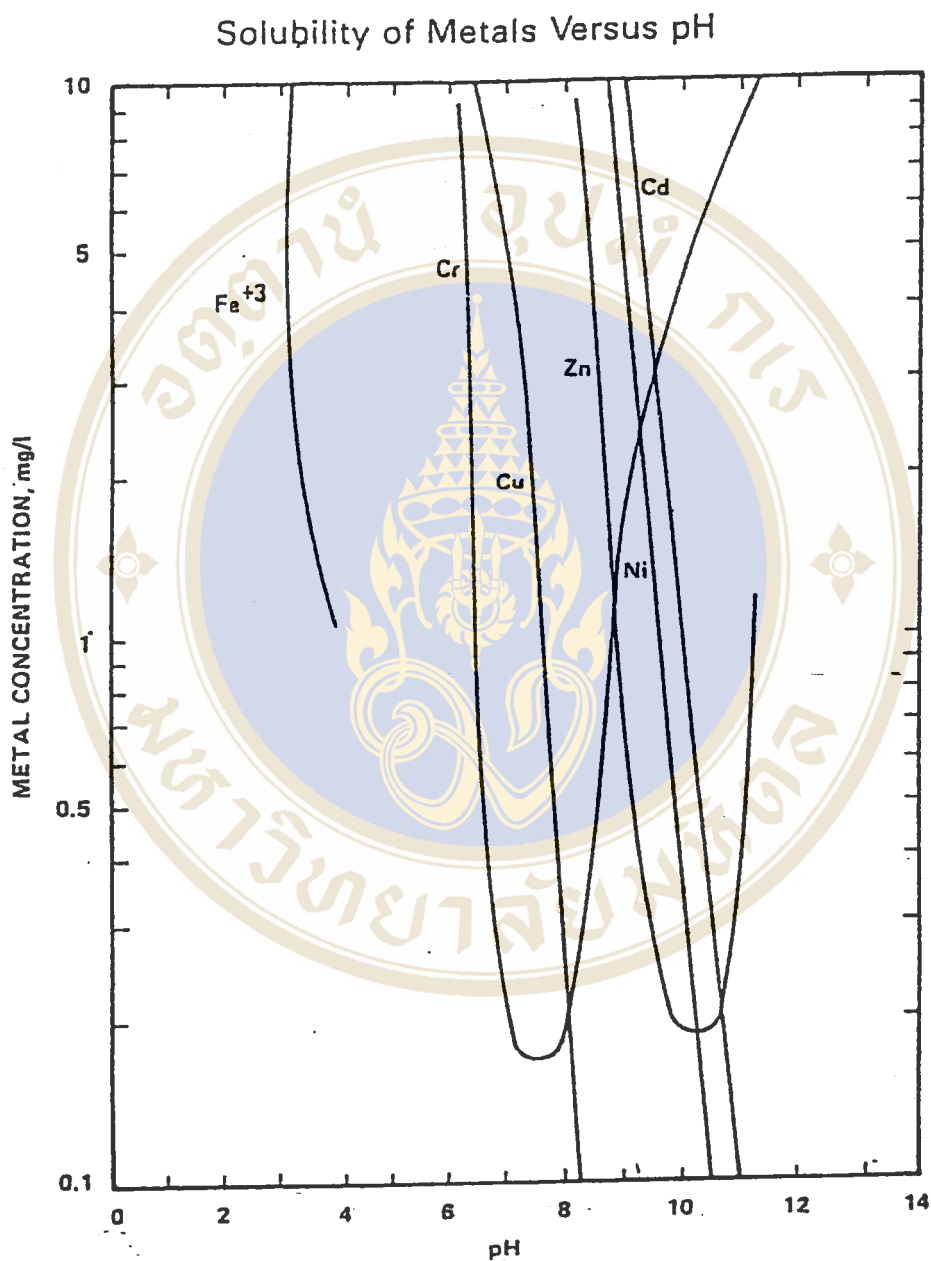
2.3.4.1 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) น้ำเสียส่วนใหญ่จะไม่เป็นกลาง จึงมีลักษณะเป็นกรด มีพีเอช ต่ำกว่า 7 หรือมีคุณลักษณะเป็นด่าง มีพีเอช สูงกว่า 7 ซึ่งการที่จะระบายน้ำเสียลงสู่ลำน้ำสาธารณะ ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม จะต้อง มีพีเอช ระหว่าง 5 - 9 ดังนั้นการปรับค่าพีเอช หรือการทำให้เป็นกลางจึงเป็นวิธีการบำบัดที่สำคัญที่ใช้กันทั่วไป

2.3.4.2 การรวมตะกอน (coagulation) เป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกตะกอน

2.3.4.3 การตกตะกอน (Precipitation) เป็นการเติมสารลงไป ในน้ำเสียเพื่อให้ไปทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกที่ละลายอยู่ในน้ำเสียเกิดเป็นตะกอนหนักซึ่งจมตัวได้ เช่น การกำจัดฟอสฟอรัสและโลหะหนักด้วยปูนขาว โลหะหนักโดยทั่วไปนิยมตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ ด้วยการเติมปูนขาวหรือโซดาไฟ ในช่วงพีเอชที่มีค่าความสามารถในการละลายต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามสารบาง

ชนิดเป็นได้สองลักษณะคือ เมื่อพีเอช เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ค่าความสามารถในการละลายจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่มีค่าความสามารถในการละลายต่ำสุดแต่เมื่อเพิ่มค่าพีเอชไปเรื่อยๆ ค่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-1





รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายของโลหะกับพีเอช
ที่มา : Eckenfelder, 1989 (17)

การตกตะกอนด้วยสารเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย สามารถที่จะทำได้หลายขั้นตอนในระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ

- 1) ใส่สารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนัก ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นแรกในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (pre-precipitation)
- 2) ใส่สารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนัก หลังผ่านกระบวนการฟ้นอากาศ (co-precipitation)
- 3) ใส่สารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะหนัก หลังผ่านการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง ก่อนเข้าสู่ระบบการกรอง (post-precipitation)

2.3.4.4 การเติมสารคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน (chlorination) ลงไปในน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียชุมชน มีจุดมุ่งหมายเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เป็นแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้ยังใช้เพื่อประโยชน์อย่างอื่นอีก เช่น การกำจัดกลิ่น การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

2.4 การจำแนกประเภทวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

Wentz (18) ได้จำแนกการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้วิธีตกตะกอนด้วยสารเคมีเป็น 5 ประเภท คือ

2.4.1 การตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ (hydroxide precipitation)

การตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ เป็นการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ



โดยที่ M^{+2} คือ โลหะไอออน

X คือ ธาตุหมู่ 1 หรือธาตุหมู่ 2

n คือ จำนวนอะตอมของไฮดรอกซีไอออน

ช่วงพีเอช ที่โลหะส่วนใหญ่ตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ได้คืออยู่ในช่วงพีเอช 8 - 11 หลังจากผ่านการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์จะมีความเข้มข้นของโลหะน้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.2 การตกตะกอนในรูปซัลไฟด์ (sulfide precipitation)

การตกตะกอนในรูปของซัลไฟด์ เป็นการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (NaHS) หรือเฟอร์รัสซัลไฟด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะตกตะกอน แสดงดังสมการ



โลหะซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ข้อเสียสำหรับการตกตะกอนในรูปซัลไฟด์คือ การเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งในขณะทดลองจึงต้องทำการควบคุมให้มีพีเอช สูงกว่า 8 เพื่อป้องกันก๊าซที่อาจเกิดขึ้น ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีซัลไฟด์หลงเหลืออยู่ในน้ำจึงจำเป็นต้องบำบัดก่อนที่ระบายน้ำทิ้ง

2.4.3 การตกตะกอนในรูปคาร์บอเนต (carbonate precipitation)

ในการตกตะกอนของโลหะ เช่น แคดเมียมและตะกั่ว การตกผลึกในรูปของคาร์บอเนตให้ผลดีกว่าการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ เนื่องจากสามารถทำได้ในระดับพีเอช ที่ต่ำกว่า ในการตกตะกอนรูปคาร์บอเนตของแคดเมียมและตะกั่วเกิดขึ้นที่พีเอช ประมาณ 7.8 - 8.5 ในขณะที่การตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ต้องควบคุมพีเอช ประมาณ 10 หรือมากกว่านั้น สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)



2.4.4 การตกตะกอนในรูปซิลิเกต (silicate precipitation)

การตกตะกอนในรูปของซิลิเกต เป็นการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีได้แก่ โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมซิลิเกต ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) หรือแคลเซียมเมตตาซิลิเกต (CaSiO_3) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ



2.4.5 การตกตะกอนในรูปโพลิเมอร์ (Polymer precipitation)

โพลีเมอร์เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ การใช้โพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอนสามารถใช้กับตะกอนที่มาจากกระบวนการบำบัดขั้นแรกและตะกอนที่มาจากกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง กลไกสำคัญที่ใช้ในการช่วยตกตะกอนด้วยสารโพลีเมอร์ คือ การทำลายประจุและการใช้สารอินทรีย์ โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค โดยทั่วไปในการปรับสภาพกากตะกอนที่เกิดจากน้ำเสีย ชุมชนนิยมใช้สารโพลีเมอร์ประเภทแคทไอออนิกก่อนที่จะนำกากตะกอนมาผ่านกระบวนการแยกน้ำออกจากกากตะกอน ส่วนกากตะกอนที่เกิดจากขบวนการบำบัดทางเคมีนั้นการใช้สารโพลีเมอร์ประเภทแอนไอออนิกจะให้ผลที่ดีกว่าประเภทแคทไอออนิก (19)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีด้วยกันหลายวิธีเช่น การใช้ขบวนการทางฟิสิกส์ โดยการกรอง ขบวนการทางฟิสิกัลเคมี โดยการแลกเปลี่ยนไอออนหรือการดูดซับ ขบวนการทางเคมี โดยการตกตะกอนเป็นต้น ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน เช่น

ในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำบาดาลด้วยวิธีการกรอง สำราญ เรืองศรี (20) ได้ทำการศึกษาการจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยระบบทรายกรองเร็ว โดยไม่มีเครื่องเติมอากาศและถังตกตะกอน ในขณะที่วีรเชิร จุ่งรุ่งเรือง (21) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลระหว่างตัวกรองที่เป็นทรายกรองเร็วกับทรายไม่คัดขนาด ผลการศึกษาของทั้ง 2 ท่านพบว่าอัตรากรองที่เหมาะสมคือ 2 แกลลอน/ตารางฟุต-นาทื จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กสูงกว่า 90 % และมีอายุการกรองกว่า 7 ชั่วโมง และตัวกรองที่เป็นทรายไม่คัดขนาดมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลได้มากกว่าตัวกรองที่เป็นทรายกรองเร็วทุกขนาด ตัวกรองที่มีความหนามากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลได้มากกว่าตัวกรองที่มีความหนาน้อย

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนและไฟฟ้าเคมีมีผู้ทำการศึกษาวิจัย หลายท่าน เช่น Wang (22) ได้ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก ได้แก่ นิเกิล ทองแดง แคดเมียมและโครเมียม ในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่เจือจาง และสรุปผลการทดลองว่า เรซินประจุลบสามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์ และโลหะหนักซึ่งอยู่ในรูปของอนุมูลเชิงซ้อน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถระบายลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะได้ นันทนา อธิธิพรโกวิท (23) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิล (Sulfoethyl) และครอสส์ลิงก์ แชนเทต (Cross-link centrate) ที่ทำจากผักตบชวา โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยน

ไอออนของซัลโฟเอทิลอยู่ในช่วง 0.233 - 0.503 meq/g และ 0.279 - 0.595 meq/g สำหรับโครสส์ลิง แชนเทต ในการแลกเปลี่ยนไอออนกับสังกะสีมีค่าสูงกว่าการแลกเปลี่ยนไอออนกับนิกเกิล และ ทองแดง นอกจากนี้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของ โลหะหนักน้อยลง

ส่วน Kongsricharoen N. และ Polprasert C. (24) ได้ศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจาก ขบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical precipitation, ECP) โดยใช้แผ่นเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าแบบขั้วเดียว (Monopolar) ใช้แหล่งพลังงานจากเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของ ECP คือค่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า 75 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 4.8 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 50 นาที และ ค่าพีเอชเบื้องต้นสูงกว่า 3.5 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมสูง

สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน ด้วยวิธีการตกตะกอนมีผู้ทำการศึกษา หลายท่าน โดยใช้สารตกตะกอนที่แตกต่างกัน เช่น ศิริรัตน์ กงมนต์ (25) ใช้ปูนขาวซึ่งเป็นสาร ตกตะกอนที่มาจากธรรมชาติในปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้าง ในน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารส้ม สามารถลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้างได้มากกว่าร้อยละ 90 ส่วน วิโรจน์ จันทรศรี (26) ใช้โคโคแซนซึ่งสกัดจากเปลือกกุ้งกุลาดำ เป็นสารตกตะกอนในการกำจัด โครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ พบว่าที่พีเอช 10 เมื่อใช้ปริมาณโคโคแซน 5 มิลลิกรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 500 มิลลิตร จะกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 85.48 และเมื่อใช้โคโคแซน ร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต ที่พีเอช 8 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมสูงถึง 99.65

ส่วนในการบำบัดปรอทในน้ำเสียโดยใช้สารเคมี สามารถใช้สารเคมีได้หลายชนิด ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ โซดาไฟ กรดซัลฟูริก เฟอร์รัสซัลไฟด์ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ เฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งมีผู้ทำการศึกษาหลายท่าน เช่น Okazaki (27) Lanouete (28) และ Maruyama et al. (29) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณปรอทที่เหลือหลังจากการตกตะกอนด้วยสารเคมี ดังกล่าว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแต่ทั้งนี้ต้องมีการทำ precoat filter หรือ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพิ่มเติม

ในการบำบัดน้ำเสียซีโอดี ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนหลายชนิด ก็มีผู้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น การศึกษาของสุรัตน์ เพชรเกษม (6) และ Orano (30) ได้ใช้โซเดียมคลอไรด์ในการตกตะกอนเงิน ใช้เฟอร์รัสซัลไฟด์ในการตกตะกอนปรอท และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอน โครเมียมและเหล็ก ส่วนสุรัตน์ ฅมยาศิริกุล (31) ได้ใช้เฟอร์รัสซัลเฟตในการกำจัด ปรอท โครเมียมและเหล็กในน้ำเสียซีโอดี ผลการศึกษาพบว่า

โลหะหนักส่วนใหญ่สามารถถูกบำบัดไปได้มากกว่าร้อยละ 97 ทั้งนี้ในการบำบัดโลหะหนักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสถานะที่เหมาะสม เช่น พีเอช และปริมาณสารที่ใช้ในการตกตะกอน



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ในห้องปฏิบัติการ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาการตกตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะ เงิน (Ag)ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) ด้วยวิธีการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และซลิเกต รวมถึงหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนโลหะหนัก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้มี ดังนี้

- 3.2.1 เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-22A
- 3.2.2 ตู้อบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Contherm รุ่น 260M
- 3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของโลหะหนัก
- 3.2.4. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Weighing Balance) ยี่ห้อ Avery รุ่น WA205
- 3.2.5. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer) ยี่ห้อ Labinco รุ่น L35
- 3.2.6. ซ้อนตักสาร
- 3.2.7. กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร
- 3.2.8. ชุดกรองสูญญากาศ
- 3.2.9. เครื่องแก้วต่างๆ
 - ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 100 250 1000 มิลลิลิตร
 - ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 50 100 มิลลิลิตร
 - ขวดรูปหม้อ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 100 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร

- กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 250 1000 มิลลิลิตร
- ปิเปต (Pipette) ขนาด 1 2 5 10 20 มิลลิลิตร
- หลอดหยด (Dropper)
- แท่งแก้วคน (Sterring Rod)
- กรวยแก้ว (Funnel)
- กระจกนาฬิกา

3.2.10. ตู้ดูดควัน (Hood)

3.3 สารเคมี

สารเคมีทั้งหมด เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Merck เกรด AR.

- 3.3.1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มัล
- 3.3.2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- 3.3.3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- 3.3.4. โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3)
- 3.3.5. กรดไนตริก (HNO_3)
- 3.3.6. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.3.7. สารละลายมาตรฐานโลหะหนัก Ag Hg Cr Fe Mn Cd
- 3.3.8. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized Water)

3.4 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี ภายหลังจากการวิเคราะห์ DO BOD COD $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ซึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจำนวน 1 ตัวอย่าง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ทั้ง 5 พารามิเตอร์ จะก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาตรรวม 3500 มิลลิลิตรต่อ 1 ตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์

สำหรับตัวอย่างน้ำเสียปริมาตรรวม 45 ลิตร ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยจะประกอบไปด้วยอัตราส่วนของน้ำเสีย DO : BOD : COD : $\text{NH}_3\text{-N}$: $\text{NO}_3\text{-N}$ คือ 7.5 : 27 : 7.5 : 1.5 : 1.5 ลิตร ตามลำดับ

3.5 การควบคุมคุณภาพ

ในการทำการทดลอง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแน่นอนก่อนจะทำการทดลองทุกครั้งจะมีการเตรียมเครื่องแก้ว และวัสดุที่ใช้ในการทดลองโดยจะแช่เครื่องแก้วและวัสดุทุกชิ้นที่ใช้ในการทดลองลงในกรดไนตริก 1:1 (V/V) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากอิออนหลายๆ ครั้งจนหมดความเป็นกรด (นำน้ำล้างเครื่องแก้วมาวัดพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-7.0) ใช้อลูมิเนียมฟอยล์ปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่น แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้ง

ส่วนการวัดปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำเสีย เพื่อตรวจหาความแม่นยำในการวัดทุกครั้งจะมีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างที่ทราบปริมาณโลหะหนักด้วยทุกครั้งและเพื่อให้สามารถตรวจสอบการแปรผันของข้อมูล (SE) ได้ ในทุกการทดลองจะทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ โดยค่าที่ได้จะต้องอยู่ในระดับต่ำกว่า 10 % หากสูงเกินกว่านี้จะทำการทดลองใหม่โดยจะตรวจเช็คในแต่ละขั้นตอน เช่น การล้างเครื่องแก้วด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ใหม่ หรือทำการเตรียมตัวอย่างใหม่เป็นต้น จนกว่าค่า %SE จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

3.6 วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

3.6.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

3.6.2 การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

3.6.3 การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

3.6.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย มีขั้นตอนดังนี้

1) นำน้ำเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์ DO BOD COD แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) เทใส่ลงในถังพลาสติกใบที่ 1 ขนาด 100 ลิตร จนได้ปริมาตร 45 ลิตร (จดปริมาตรของน้ำเสียแต่ละประเภทไว้)

2) เก็บตัวอย่างน้ำเสียส่วนหนึ่ง จำนวน 2 ลิตร ไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

และพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-1 ตามวิธีของ Standard Method (10) และส่วนหนึ่งนำไป วิเคราะห์หาปริมาณ เงิน (Ag) โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) โดยนำไปสกัดตามวิธี Nitric Acid – Hydrochloric Acid Digestion (9) คือ นำตัวอย่างมาเติมไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เพื่อปรับ pH ให้น้อยกว่า 2 หลังจากนั้นแบ่งตัวอย่างน้ำมา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร เติมนิตริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร เสร็จแล้วนำไปประเหบบนเตาไฟฟ้าโดยไม่ให้ตัวอย่างน้ำเดือดจนปริมาตรเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เย็นแล้วเติมนิตริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปประเหยใหม่โดยเพิ่มอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าจนกระทั่งทำให้ของเหลวในบีกเกอร์เดือดเบา ๆ จนปริมาตรเหลือ 5 มิลลิลิตร (เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไปอีกถ้าจำเป็น) จนกระทั่งการย่อยสลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (โดยทั่ว ๆ ไปสังเกตได้จากตะกอนที่เหลือจะมีสีอ่อน) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 6 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร และชะล้างภายในของบีกเกอร์ และกระจกนาฬิกาด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ตั้งบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรของสารละลายที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บใส่ในขวดแก้วปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก ICP (Inductively Coupled Plasma)

ส่วนวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณปรอท (Hg) นำไปสกัดตามวิธี Dithizone Method (9) คือ เติมน้ำออกมา 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดเออร์เลนเมเยอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 5 มิลลิลิตรและกรดไนตริก (HNO_3) 2.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) 8 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์-ไฮดรอกซิลลามีนซัลเฟตเพื่อกำจัดเปอร์แมงกาเนตที่เหลืออยู่จนสีหมดไปจากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้วิธี อะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน โคลด์ เวปเปอร์เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapor Technique) (9)

ตารางที่ 3-1 วิธีการตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. พีเอช (pH)	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH Meter)
2. ของแข็ง (Solids)	
2.1 ของแข็งรวม (Total Solids)	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103–105 °C ในเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2.2 สารแขวนลอย (Suspended Solids)	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2.3 ของแข็งที่ละลายได้ (Dissolved Solids)	นำน้ำที่ผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด

ที่มา : APHA, AWWA, WPCF, (1995)

3) ทดสอบการปรับพีเอช ของน้ำเสียด้วย 12 นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ น้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติม 12 นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงไปจนได้พีเอช ที่ต้องการ คือประมาณ pH 2 จดปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับปริมาตรน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร

4) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 12 นอร์มัล ลงในถังพลาสติกใบที่ 1 ในระดับ ปริมาตรซึ่งคำนวณได้จากการทดสอบในข้อ 3) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วนำมาวัดค่า พีเอชใหม่

5) เก็บน้ำเสียจำนวน 1 ลิตร ไปสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ตามวิธีในข้อ 2

6) ทดสอบการปรับพีเอช ของน้ำเสียด้วยหินอ่อน โดยใช้ น้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติม หินอ่อนขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร ลงไปจนได้พีเอชที่ต้องการคือ 5.5 จดปริมาตรของหินอ่อน ที่ใช้ในการปรับปริมาตรน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร

7) นำหินอ่อนขนาด 1 x 1 x 1 เซนติเมตร ค่อยๆ เทใส่ลงในถังพลาสติกใบที่ 1 ใช้ปริมาตร ซึ่งคำนวณได้จากผลการทดสอบในข้อ 6) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

8) นำตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนการปรับค่าพีเอช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 12 นอร์มัล แล้ว มาวัดค่าพีเอชใหม่



- 9) เก็บน้ำเสียจำนวน 1 ลิตร ไปสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ตามวิธีในข้อ 2)
- 10) นำตัวอย่างน้ำเสียที่เหลือ ไปทำการทดลองขั้นที่ 2 ตามวิธีในข้อ 3.6.2 เพื่อศึกษาการบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

3.6.2 การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

นำตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการปรับค่าพีเอชด้วยหินอ่อนในขั้นตอนที่ 1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในปริมาตรส่วนละ 9 ลิตร โดยส่วนที่ 1 นำมาตกตะกอนให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ส่วนที่ 2 นำมาตกตะกอนให้อยู่ในรูปคาร์บอเนตโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ส่วนที่ 3 นำมาตกตะกอนให้อยู่ในรูปซิลิเกตโดยใช้โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.6.2.1 การหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน

- 1) นำตัวอย่างน้ำเสียเทลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 3 ใบ ปริมาตรใบละ 500 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารตกตะกอนจำนวน 10 กรัมต่อลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์
- 3) เปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
- 4) หลังจากนั้นเปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน
- 5) นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปทำการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ตามวิธีในข้อ 2) (หัวข้อ 3.6.1)

3.6.2.2 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

- 1) นำตัวอย่างน้ำเสียเทลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ใบ ปริมาตรใบละ 600 มิลลิลิตร
- 2) ปรับ pH ในแต่ละบีกเกอร์ให้มีค่า 8.0 8.5 9.0 9.5 และ 10.0 ตามลำดับ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล
- 3) นำน้ำใสส่วนบนที่ปรับพีเอช ในแต่ละบีกเกอร์ จำนวน 100 มิลลิลิตรไปทำการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ตามวิธีในข้อ 2) (หัวข้อ 3.6.1)

- 4) นำบีกเกอร์แต่ละใบที่ปรับค่าพีเอชแล้ว วางบนเครื่องกวนสารละลายใส่แท่งกวนแม่เหล็ก ลงในแต่ละบีกเกอร์
- 5) เติมสารตกตะกอนจำนวน 10 กรัมต่อลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์
- 6) เปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
- 7) หลังจากนั้นเปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน
- 8) นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปทำการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตามวิธีในข้อ 2) (หัวข้อ 3.6.1)

3.6.2.3 การหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน

- 1) นำตัวอย่างน้ำเสียเทลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ใบ ปริมาตรใบละ 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอช ในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ค่าพีเอช ที่เหมาะสมตามขั้นตอนที่ 1 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล
- 2) นำบีกเกอร์ที่มีตัวอย่างน้ำที่ปรับค่าพีเอชแล้ว วางบนเครื่องกวนสารละลายใส่แท่งกวนแม่เหล็กลงในแต่ละบีกเกอร์
- 3) เติมสารตกตะกอนจำนวน 0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตรลงในแต่ละบีกเกอร์
- 4) เปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
- 5) หลังจากนั้นเปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน
- 6) นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปทำการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตามวิธีในข้อ 2) (หัวข้อ 3.6.1)

3.6.2.4 การตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม

- 1) นำตัวอย่างน้ำเสียชุดใหม่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียแล้วตามข้อ 3.6.1 เทลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 3 ใบ ปริมาตรใบละ 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอช ในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ค่าพีเอช ที่เหมาะสมตามขั้นตอนที่ 3.6.2.2
- 2) นำบีกเกอร์แต่ละใบที่ปรับค่าพีเอช แล้ววางบนเครื่องกวนสารละลายใส่แท่งกวนแม่เหล็กลงในแต่ละบีกเกอร์
- 3) เติมสารตกตะกอนลงในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมตามผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.6.2.3 ลงในแต่ละบีกเกอร์

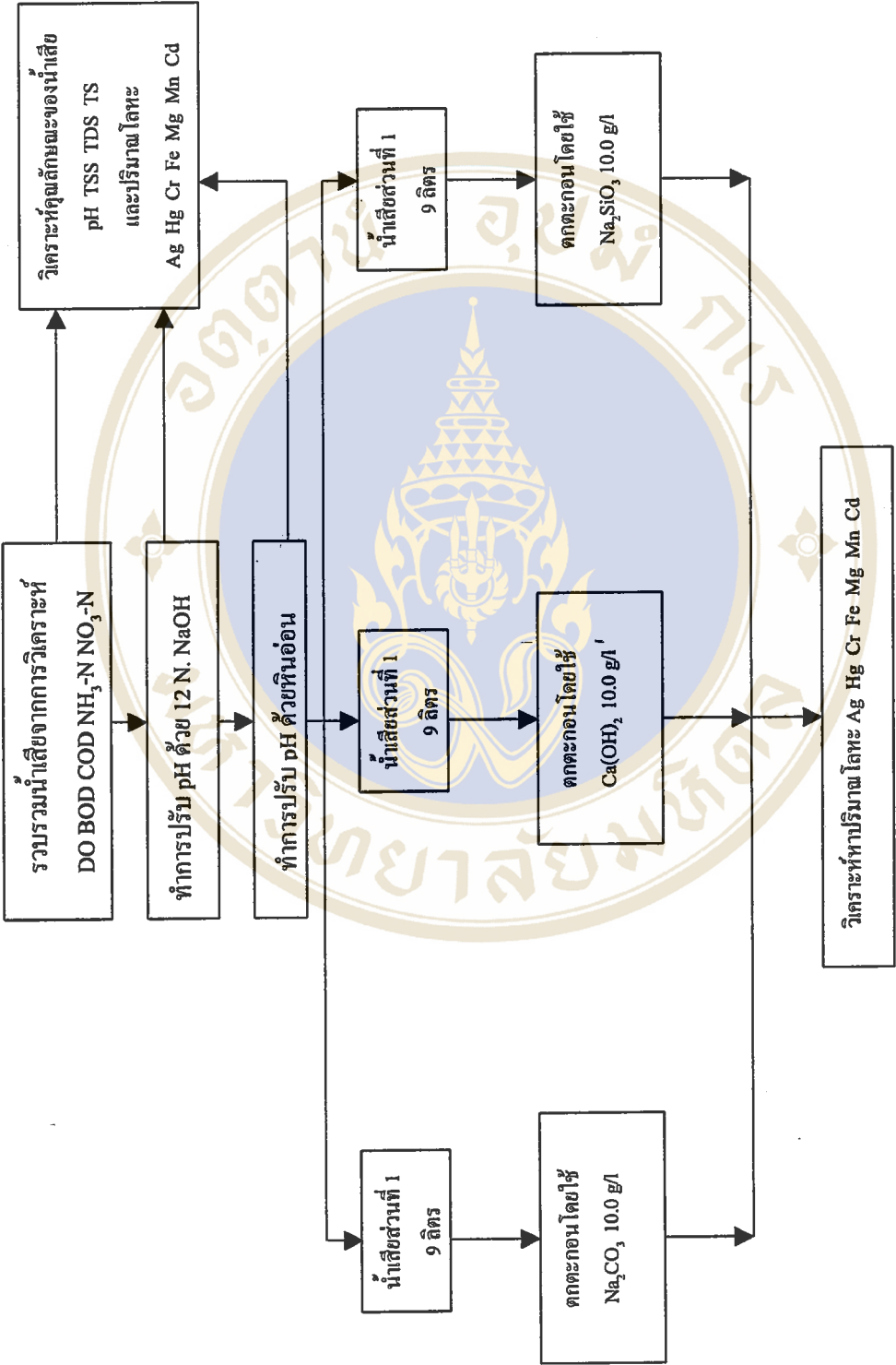
- 4) เปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
- 5) หลังจากนั้นเปิดเครื่องกวนสารละลายไปที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที
ทิ้งให้ตกตะกอนนำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปทำการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ
ตามวิธีในข้อ 2) (หัวข้อ 3.6.1)

3.6.3 การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

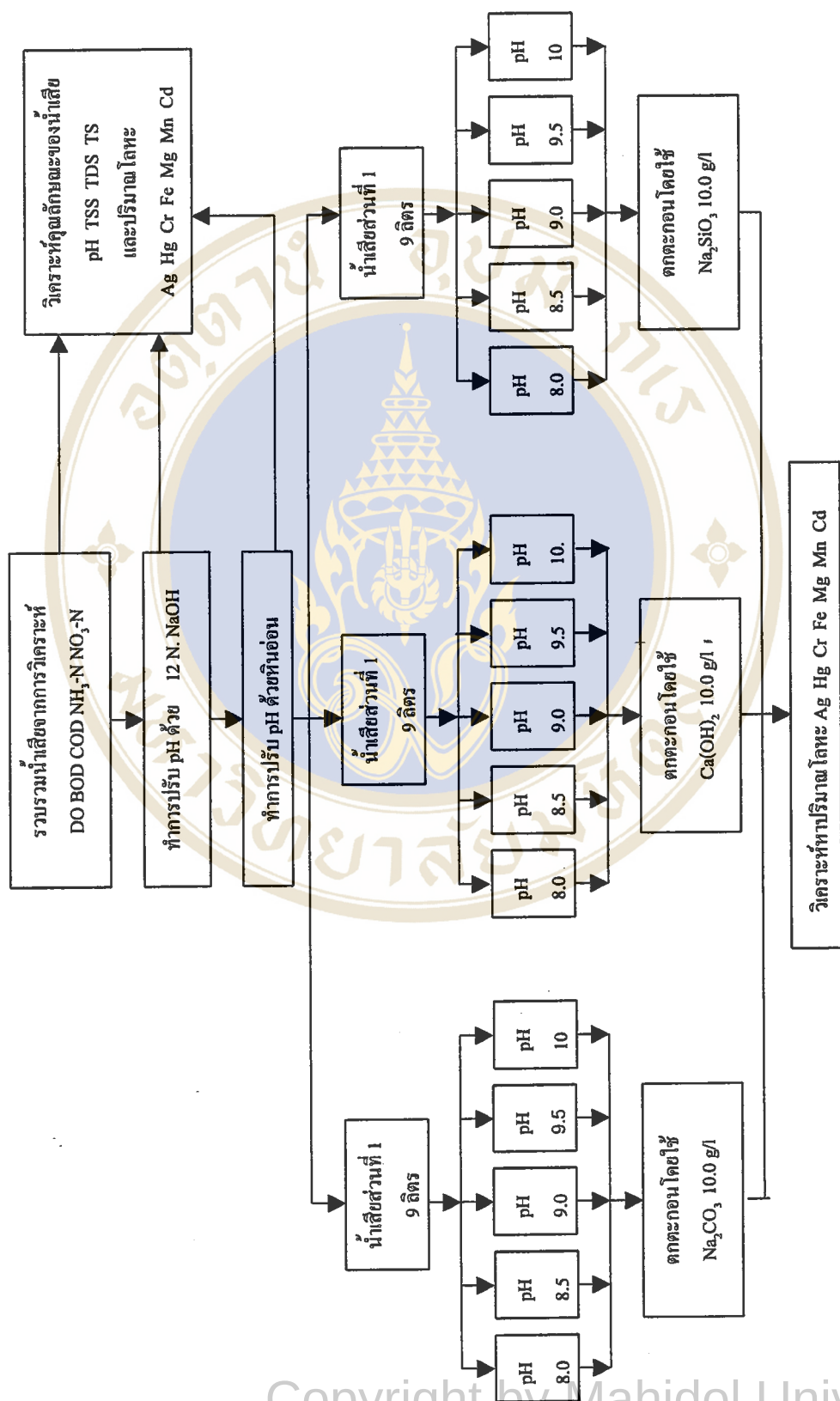
- 1) การเตรียมตัวอย่างน้ำสังเคราะห์ ให้มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด
ใกล้เคียงกับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีโดย
นำสารละลายโลหะหนักมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว (สารละลายมาตรฐาน โลหะ
Ag Hg Cr Fe Mg Mn Cd) มาคำนวณหาปริมาณที่ต้องการ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000
มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้น้ำสังเคราะห์ ความเข้มข้นตามที่
ต้องการ
- 2) นำน้ำสังเคราะห์มาทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนัก โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสาร
เคมีโดยมีขั้นตอนการศึกษาเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.6.1 ในส่วนของการหาปริมาณโลหะหนัก และ
ขั้นตอนที่ 3.6.2 ในส่วนของการตกตะกอนโลหะหนักในสภาวะที่เหมาะสม

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

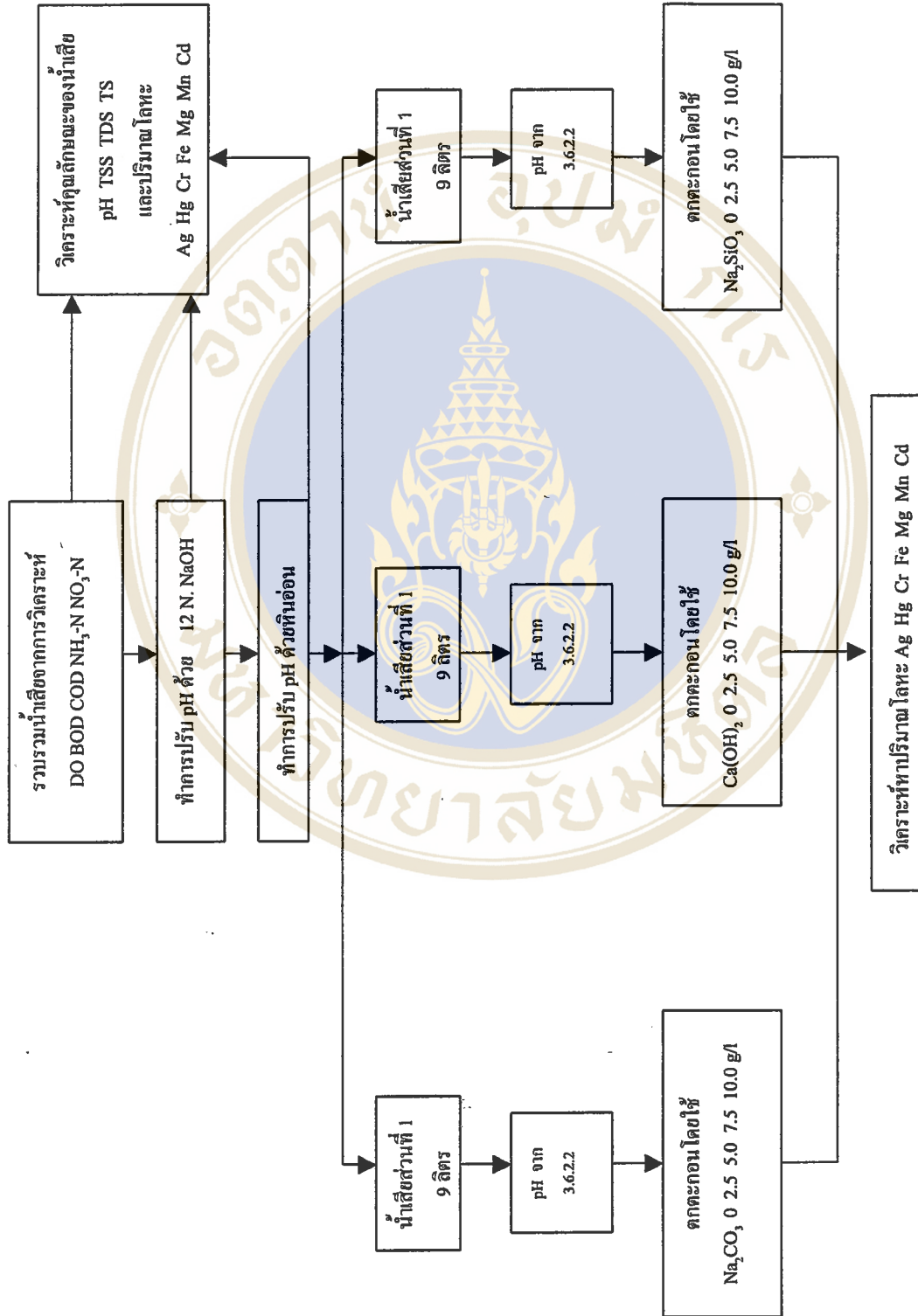
จากข้อมูลที่ได้ ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ
เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ ANOVA (Analysis of Variance) และทำการทดสอบ
ด้วยวิธี Multiple Comparisons โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS FOR
WINDOWS 7.5 เพื่อทดสอบหาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูล



รูปที่ 3-1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน



รูปที่ 3-2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน โลหะหนัก



รูปที่ 3-3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนัก

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

ในการศึกษาการบำบัดโลหะหนักของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ผู้วิจัยได้รวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ ซีโอดี บีโอดี ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ซึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 1 ตัวอย่างทำการทดลอง 2 ซ้ำทั้ง 5 พารามิเตอร์ เมื่อนำมาเทรวมกันจะก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาตรรวม 3,500 มิลลิลิตร โดยลักษณะของน้ำเสียจะเป็นสารละลายสีน้ำตาลปนเทาจากผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่าค่าพีเอชมีค่าต่ำอยู่ในระดับ 0.36 เนื่องจากในการวิเคราะห์ ซีโอดี บีโอดีและออกซิเจนละลายน้ำต้องใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้นในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (10) สำหรับปริมาณของแข็งส่วนใหญ่เป็นของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21,299 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21,727 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 428 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากผลการศึกษาค่าของพีเอช และปริมาณของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย นั้นจะพบว่าค่าพีเอช ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง (9) ในขณะที่ปริมาณของแข็งประเภทต่างๆ อยู่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอย่างมาก (9) ซึ่งคุณลักษณะน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีดังกล่าวมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช และสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้น ๆ โดยเฉพาะที่ระดับพีเอช ประมาณ 4 หรือต่ำกว่า ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ทำให้การเจริญเติบโตผิดปกติ และอาจทำให้ตายได้ (32) ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่สูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานหากปล่อยไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง อาจเพิ่มความขุ่นให้กับแหล่งน้ำทำให้ปริมาณแสงสว่างที่สามารถส่องผ่านได้น้อยลง ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ โดยเฉพาะแพลงก์ตอน

พืชในแหล่งน้ำลดลง ให้ปริมาณอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลงด้วย อีกทั้งตะกอน และสารแขวนลอยสามารถเข้าไปอุดช่องเหงือกของสัตว์น้ำทำให้การหายใจติดขัด ทำให้การเจริญเติบโตช้าลงกว่าปกติ นอกจากนั้นยังมีผลต่อการฟักเป็นตัวของไข่ การเจริญเติบโตของตัวอ่อน และลดความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ อีกด้วย (32) ส่วนระดับของของแข็งละลายที่มีค่าสูงนั้น อาจส่งผลกระทบต่อขบวนการแลกเปลี่ยนสาร (osmo-regulation) ของสิ่งมีชีวิตได้ (33)

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเริ่มต้น และหลังการปรับค่าพีเอช ของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

พารามิเตอร์	น้ำเสียเริ่มต้น	หลังจากทำการปรับพีเอชด้วย NaOH 12 N.	หลังจากทำการปรับพีเอชด้วยหินอ่อน
พีเอช	0.36	2.0	5.5
Total Solids (mg/L)	21,727	113,612	110,793
Suspended Solids (mg/L)	428	235	228
Dissolved Solids (mg/L)	21,299	113,377	110,565
เงิน (Ag) (mg/L)	0.034	0.005	< 0.001
ปรอท (Hg) (mg/L)	0.050×10^3	0.032×10^3	0.015×10^3
โครเมียม (Cr) (mg/L)	0.050×10^3	0.004×10^3	0.001×10^3
เหล็ก (Fe)	0.153×10^3	0.100×10^3	< 0.001
แมงกานีส (Mn)	0.361×10^3	0.295×10^3	0.241×10^3
แมกนีเซียม (Mg)	0.059×10^3	0.039×10^3	0.038×10^3
แคดเมียม (Cd)	0.723	0.106	0.075

ส่วนปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนจากการเติมโลหะในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ลงไปในขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 โดยเงิน (Ag) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.034 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรอท (Hg) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.050×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม (Cr) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.050×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็ก (Fe) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.153×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีส (Mn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.361×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียม (Mg) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.059×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร

และแคดเมียม (Cd) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.723 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอย่างมาก อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และคน เช่น สายตาเสื่อม เสียความทรงจำ ไปทำลายอวัยวะต่าง ๆ และอาจทำให้ถึงตายได้ (14) และหากปล่อยน้ำเสียนี้อยู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็อาจเกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้โดยโลหะหนักสามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม และในสิ่งมีชีวิต ทั้งในพืชและสัตว์ เมื่อมนุษย์นำสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มาใช้เป็นอาหาร สารโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ อีกทั้งการปล่อยโลหะหนักที่มีราคาแพง เช่น เงิน (Ag) และ โครเมียม (Cr) ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะเป็นการสิ้นเปลืองหากเราสามารถสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกใหม่ หรือนำไปขาย จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการวิเคราะห์และเป็นการลดปัญหามลพิษทางน้ำได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการโดยใช้สารตกตะกอนจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้เพื่อการจัดการน้ำเสียได้

เนื่องจากน้ำเสยวมที่เกิดขึ้นมีค่าพีเอชที่ต่ำมากไม่เหมาะสมกับการทำการทดลองการตกตะกอนโดยสารตกตะกอนจึงมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำตัวอย่างโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล และหिनอ่อน โดยขั้นแรกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับ เนื่องจากกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ทำปฏิกิริยารุนแรงกับด่างแก่คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ก่อให้เกิดความร้อนและสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเข้มเกือบดำ จึงต้องเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อย่างช้า ๆ ลงในน้ำตัวอย่าง และผสมสารละลายให้เข้ากัน หลังจากทิ้งให้สารละลายตกตะกอนเป็นเวลา 2 วัน สารละลายจะเป็นสารละลายสีเขียวใสตะกอนสีส้ม เมื่อทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของส่วนสารละลาย ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-1 ซึ่งพบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 2.0 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 113,612 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งละลายมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 113,377 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนของแข็งแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือ 235 มิลลิกรัมต่อลิตร เหตุที่ค่าของแข็งทั้งหมด และของแข็งละลายมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเริ่มต้นน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในน้ำตัวอย่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ละลายในน้ำทำให้ของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม แต่ก็มีโซเดียมอินบางส่วนทำปฏิกิริยากับซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกิดเป็นตะกอนของ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ดังแสดงในสมการที่ 4.1



ส่วนไฮดรอกไซด์ไอออนบางส่วน อาจทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะในสารละลายดังแสดงในสมการที่ 4.2



เมื่อนำน้ำใส่ส่วนบนมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตกตะกอนไปในขั้นตอนการทดลองนี้ (ตารางที่ 4-1) พบว่ามีโลหะที่สามารถตกตะกอนในขั้นนี้ได้มากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น คือ เงิน (Ag) และแคดเมียม (Cd) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เงิน (Ag) ตกตะกอนไปถึงประมาณร้อยละ 86 ในขณะที่แคดเมียม (Cd) ตกตะกอนไปประมาณร้อยละ 62 ส่วนโลหะอื่น ๆ ได้แก่ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และแมกนีเซียม (Mg) ตกตะกอนไปประมาณร้อยละ 35 จะเห็นได้ว่าการบำบัดโลหะเงิน (Ag) สามารถทำได้สะดวกและง่ายที่สุด แม้ระดับพีเอช จะยังอยู่ในระดับต่ำคือ 2.0 ก็สามารถบำบัดปริมาณส่วนใหญ่ไปได้แล้ว ซึ่งอาจอธิบายได้โดยใช้ค่า K_{sp} หรือค่าความสามารถในการละลาย ของเกลือของโลหะเงิน (Ag) มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะอื่น ๆ จึงทำให้โลหะเงิน (Ag) ตกตะกอนได้ดีที่สุด (34) ส่วนโลหะอื่น ๆ โดยเฉพาะปรอท (Hg) ซึ่งมีปริมาณตั้งต้นถึง 0.050×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งไปมากแม้จะตกตะกอนไปบ้าง แต่ก็ยังมีระดับความเข้มข้นที่เหลือสูงกว่ามาตรฐานไปมาก จำเป็นต้องทำการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

หลังจากทำการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้ว เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัด จึงมีการใช้เศษหินอ่อนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตหินอ่อนในการปรับพีเอชในขั้นต่อไป โดยหินอ่อนจะทำปฏิกิริยากับ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เกิดเป็นฟองฟูของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีการตกตะกอนของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และสารประกอบโลหะคาร์บอเนตตัวอื่นๆ ดังแสดงในสมการที่ 4.3 และ 4.4



เมื่อตั้งทิ้งให้ตกตะกอนไว้ 3 วัน และนำน้ำใส่ส่วนบนมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะของน้ำเสีย ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.5 ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของ

แข็งละลาย และของแข็งแขวนลอยไม่เปลี่ยนแปลงจากผลการทดลองในขั้นตอนนี้มากนัก โดยค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ในระดับ 110,793 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งละลายมีค่าอยู่ในระดับ 110,564 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งแขวนลอยประมาณ 228 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณโลหะปนเปื้อนจะเห็นว่าในขั้นตอนนี้มีโลหะที่ตกตะกอนไปมากกว่าร้อยละ 99 ของปริมาณเริ่มต้น คือ เงิน (Ag) และเหล็ก (Fe) ในขณะที่โครเมียม (Cr) ตกตะกอนไปประมาณร้อยละ 95 แคดเมียม (Cd) ร้อยละ 89ปรอท (Hg) ร้อยละ 50 แมงกานีส(Mn) ร้อยละ 33 ส่วนแมกนีเซียม (Mg) ตกตะกอนไปเพียงร้อยละ 35 จะเห็นว่าในขั้นตอนนี้ เหล็ก (Fe) ตกตะกอนเพิ่มจากขั้นตอนแรกมาก เนื่องมาจากที่ระดับพีเอชประมาณ 3 - 5 เหล็กอิสระจะอยู่ในรูป Fe^{3+} เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเหล็กในรูปนี้จะสามารถละลายน้ำได้น้อย (17) (34) เมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น ๆ ซึ่งแม้จะตกตะกอนไปบ้าง แต่ก็ยังคงมีความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานไปมากจำเป็นต้องทำการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

4.2 การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

4.2.1 การหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน

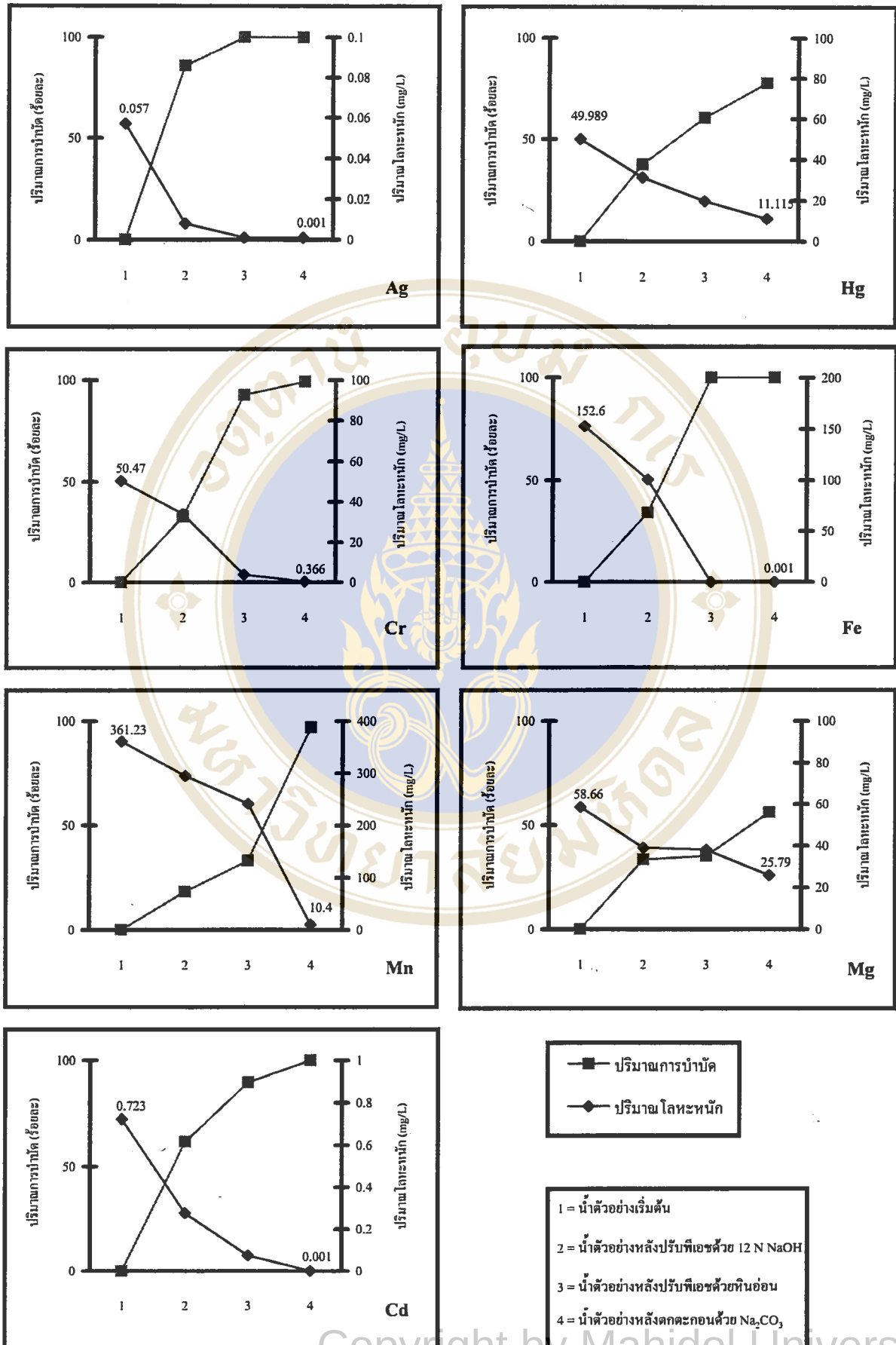
หลังจากทำการปรับพีเอชด้วยหินอ่อนแล้วนำน้ำตัวอย่างมาทำการบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4-1 4-2 และ 4-3 หลังจากการปรับค่าพีเอชด้วยหินอ่อนและทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าความเข้มข้นของปรอท (Hg) ในน้ำตัวอย่าง หลังทำการตกตะกอนด้วยสารทั้ง 3 ชนิดข้างต้น พบว่าลดน้อยลงกว่าเดิมในทุกตัวอย่าง โดยในตัวอย่างที่ใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในการตกตะกอนพบว่าปริมาณปรอท (Hg) ลดลงจากขั้นตอนปรับค่าพีเอชด้วยหินอ่อนเหลือ 0.011×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเบื้องต้นของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง ปริมาณปรอทลดลงไปร้อยละ 96.54 ในตัวอย่างที่ใช้ Na_2SiO_3 ปริมาณปรอทลดไป 0.012×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลดไปร้อยละ 98.48 ส่วนการใช้ Na_2CO_3 สามารถตกตะกอนปรอท (Hg) ได้น้อยที่สุด รวมปรอท (Hg) ที่ตกตะกอนไปทั้งหมดเพียงร้อยละ 77.76 ซึ่งอาจอธิบายได้จากค่า K_{sp} กล่าวคือ ค่า K_{sp} ในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์จะมีค่าต่ำกว่า ค่า K_{sp} ของสารประกอบซิลิเกต และคาร์บอเนต ตามลำดับ จึงทำให้ปรอท (Hg) ที่ถูกตกตะกอนด้วยคาร์บอเนต มีปริมาณการตกตะกอนที่ต่ำกว่าเพราะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า (35)

ส่วนความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) นั้น พบว่าหลังการตกตะกอนด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Na_2CO_3 และ Na_2SiO_3 แล้วลดลงเหลือ 0.004 0.366 และ 0.373 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณการลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียจากห้องทดลอง มากกว่าร้อยละ 99 ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ตกตะกอนด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ความเข้มข้นลดลงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนโลหะแมงกานีส (Mn) และแมกนีเซียม (Mg) นั้นหลังจากขั้นตอนการตกตะกอนด้วยสารทั้ง 3 ชนิด เหลือปริมาณละลายในน้ำตัวอย่างลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นมาก โดยเฉพาะในการตกตะกอนด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ Na_2SiO_3 ปริมาณลดลงไปทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 99 และความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) ลดต่ำลงได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน ส่วนในการตกตะกอนด้วย Na_2CO_3 พบว่าแมกนีเซียม (Mg) ลดลงไปเพียงร้อยละ 56 ของความเข้มข้นตั้งต้น อาจอธิบายได้จากค่าพีเอช กล่าวคือ สารประกอบในรูปแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 10 (36) ฉะนั้นที่ระดับพีเอช 5.5 แมกนีเซียม (Mg) จึงยังไม่สามารถตกตะกอนได้มากนัก

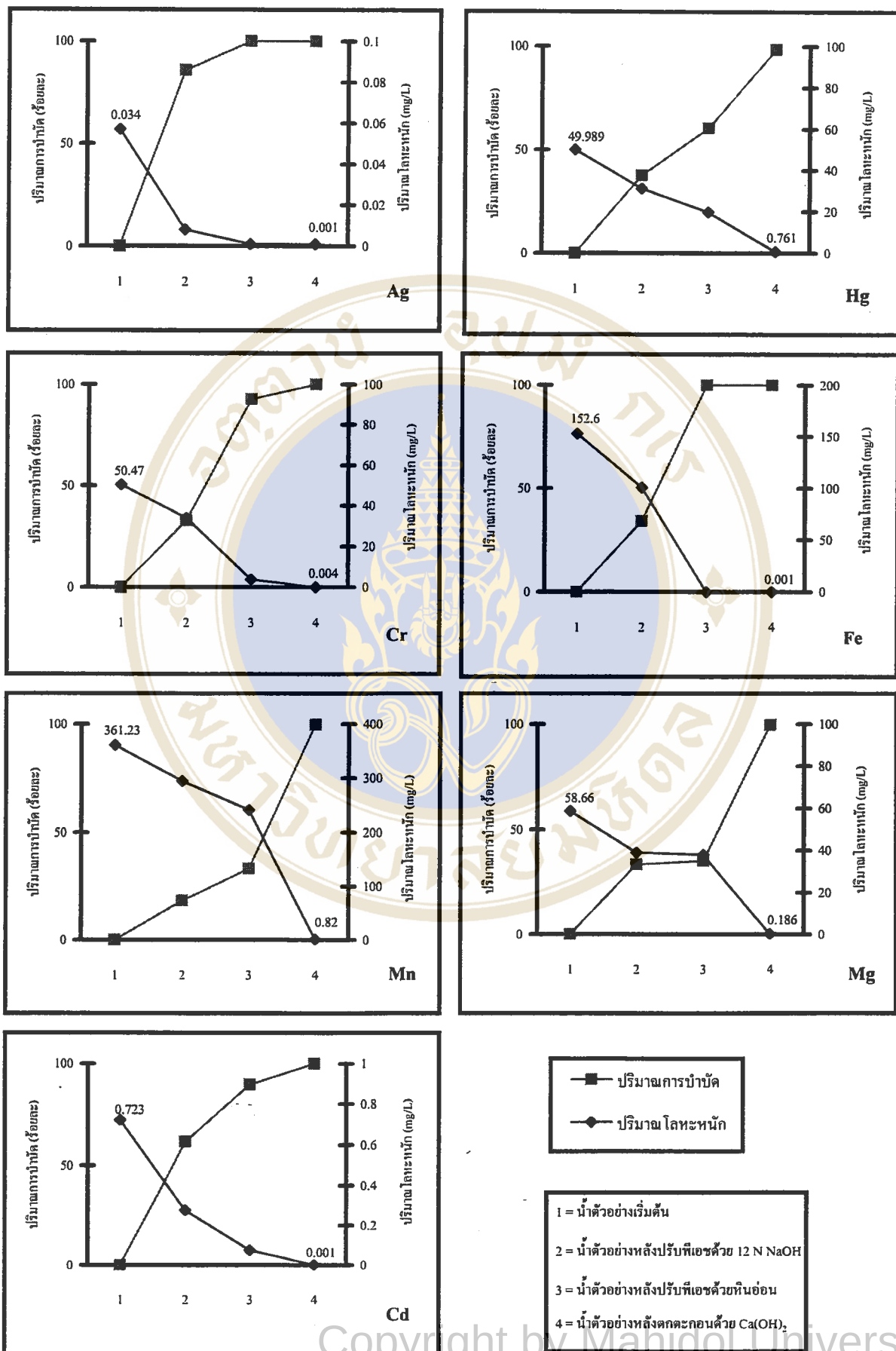
ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) หลังการทำการตกตะกอนด้วยสารเคมี ความเข้มข้นลดต่ำลงจนไม่สามารถวัดค่า แคดเมียม (Cd) ในตัวอย่างทั้ง 3 ได้ แสดงให้เห็นว่าที่ระดับพีเอช 5.5 แคดเมียม (Cd) สามารถทำปฏิกิริยากับสารตกตะกอนทั้ง 3 เกิดเป็นเกลือของโลหะไฮดรอกไซด์ ซิลิเกต และคาร์บอเนตที่มีค่าการละลายต่ำ

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ สามารถทำการตกตะกอนโลหะได้ดีที่สุด โดยปริมาณโลหะชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ลดลงไปมากกว่าร้อยละ 98 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่า K_{sp} เนื่องจากค่า K_{sp} ของโลหะในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์จะมีค่าต่ำกว่าค่า K_{sp} ของสารประกอบซิลิเกต และสารประกอบคาร์บอเนต ตามลำดับ จึงทำให้สารประกอบในรูปไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้น้อยกว่าสารประกอบในรูปซิลิเกต และคาร์บอเนต ดังนั้นจึงสามารถตกตะกอนได้ดีกว่า

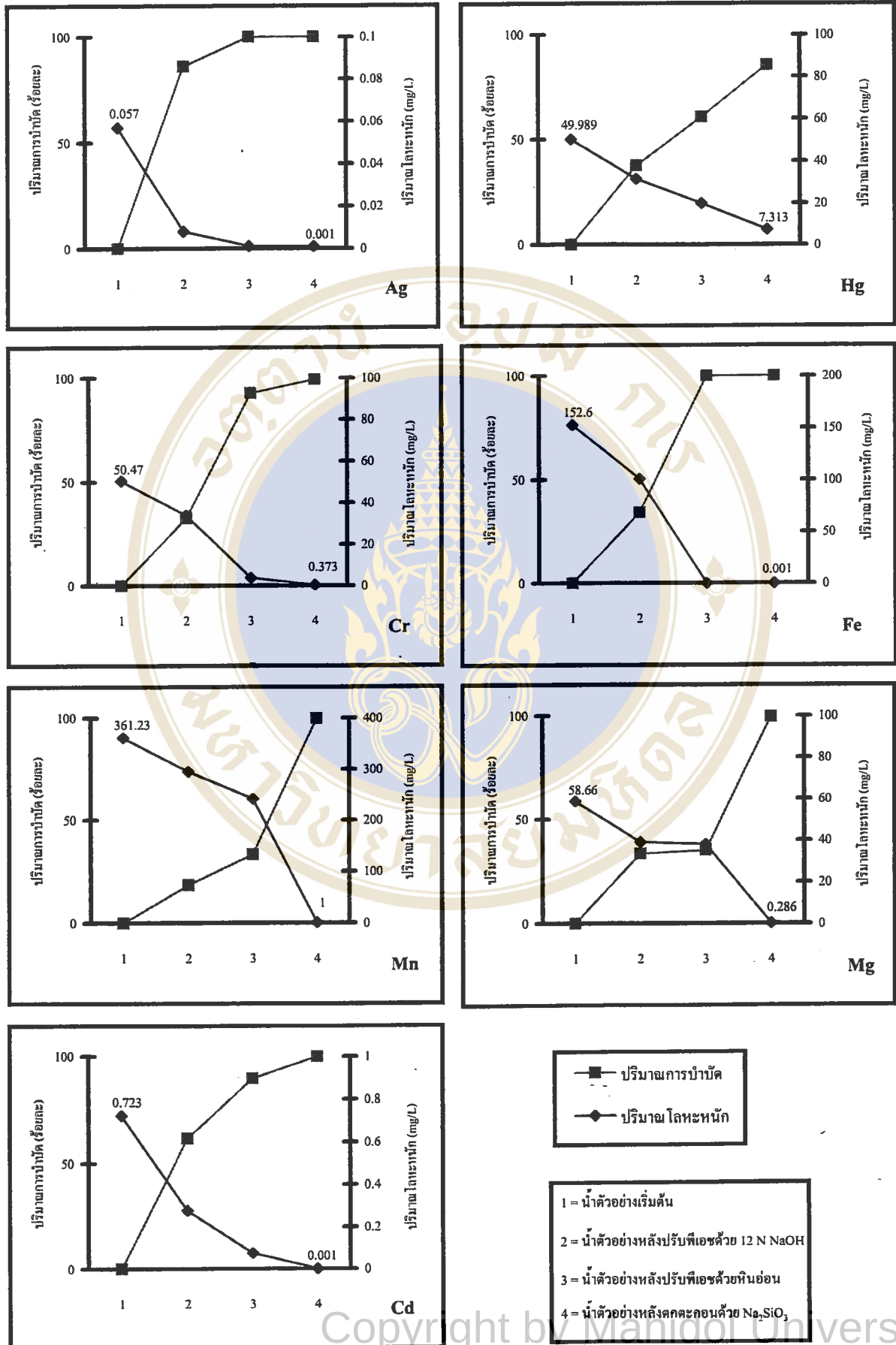
สรุปผลประสิทธิภาพของสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4-2



รูปที่ 4-1 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่างๆ ของการบำบัดด้วยสารตกตะกอน Na_2CO_3



รูปที่ 4-2 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำบัดด้วยสารตกตะกอน Ca(OH)_2



รูปที่ 4-3 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำบัดด้วยสารตกตะกอน Na_2SiO_3

ตารางที่ 4-2 สรุปผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ทางเคมี (มก./ลิตร)	การบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน*						ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ตาม พ.ร.บ. โรงงาน ฯ พ.ศ. 2535 (มก./ลิตร)
		Na ₂ CO ₃ **		Ca(OH) ₂ **		Na ₂ SiO ₃ **		
		ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน.	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	
Ag	0.034	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Hg	0.050 x 10 ³	11.115	77.76	0.761	98.48	7.313	85.37	0.005
Cr	0.050 x 103	0.366	99.27	0.004	99.99	0.373	99.26	0.25
Fe	153 x 10 ³	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Mn	0.361 x 10 ³	10.4	97.12	0.82	99.77	1	99.72	5
Mg	0.059 x 10 ³	25.79	56.03	0.186	99.68	0.286	99.51	-
Cd	0.723	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	0.03

* หมายถึง นำเสียผ่านขั้นตอนการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล หินอ่อน และบำบัดด้วยสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร

** จัดเส้นใต้ หมายถึง ค่าที่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

4.2.2 การทดสอบผลของระดับพีเอชที่มีต่อปริมาณโลหะที่ละลายในน้ำตัวอย่าง

หลังจากทำการปรับค่าพีเอช ด้วยหินอ่อนจนน้ำตัวอย่างมีค่าพีเอช 5.5 แล้ว แบ่งตัวอย่างน้ำมา 5 ส่วน ส่วนละ 500 มิลลิลิตร นำมาทำการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ให้ได้ค่าพีเอช เท่ากับ 8.0 8.5 9.0 9.5 และ 10.0 ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในตัวอย่างน้ำทั้ง 5 ตัวอย่าง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-4 ผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดคือ ที่ระดับพีเอชสูงขึ้น ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่าง ๆ ในน้ำตัวอย่างจะลดลง แต่ในอัตราต่าง ๆ กัน ซึ่งตรงกับความสัมพันธ์ของระดับพีเอชกับความสามารถในการละลายของเกลือโลหะที่มีลักษณะเป็นแบบผกผัน (17) ในช่วงพีเอชที่ใช้ในการทดลอง พบระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียม (Mg) ลดลงเพียงเล็กน้อย ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของความเข้มข้นน้ำตัวอย่างเริ่มต้นที่ระดับพีเอช 5.5 สำหรับความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ในช่วงพีเอช 8.0 และ 9.0 แต่เมื่อระดับพีเอชสูงขึ้นเป็น 9.5 และ 10.0 ปริมาณของโลหะทั้ง 2 ที่ตกตะกอนไปเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะแคดเมียม (Cd) นั้น ความเข้มข้นลดลงไปมากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น (ตารางที่ 4-3) ขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) ลดลงในอัตราที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชที่เปลี่ยนสูงขึ้น โดยระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ระดับพีเอช 10 ซึ่งมีปริมาณแมงกานีส (Mn) ตกตะกอนไปประมาณร้อยละ 85 ของความเข้มข้นเริ่มต้น

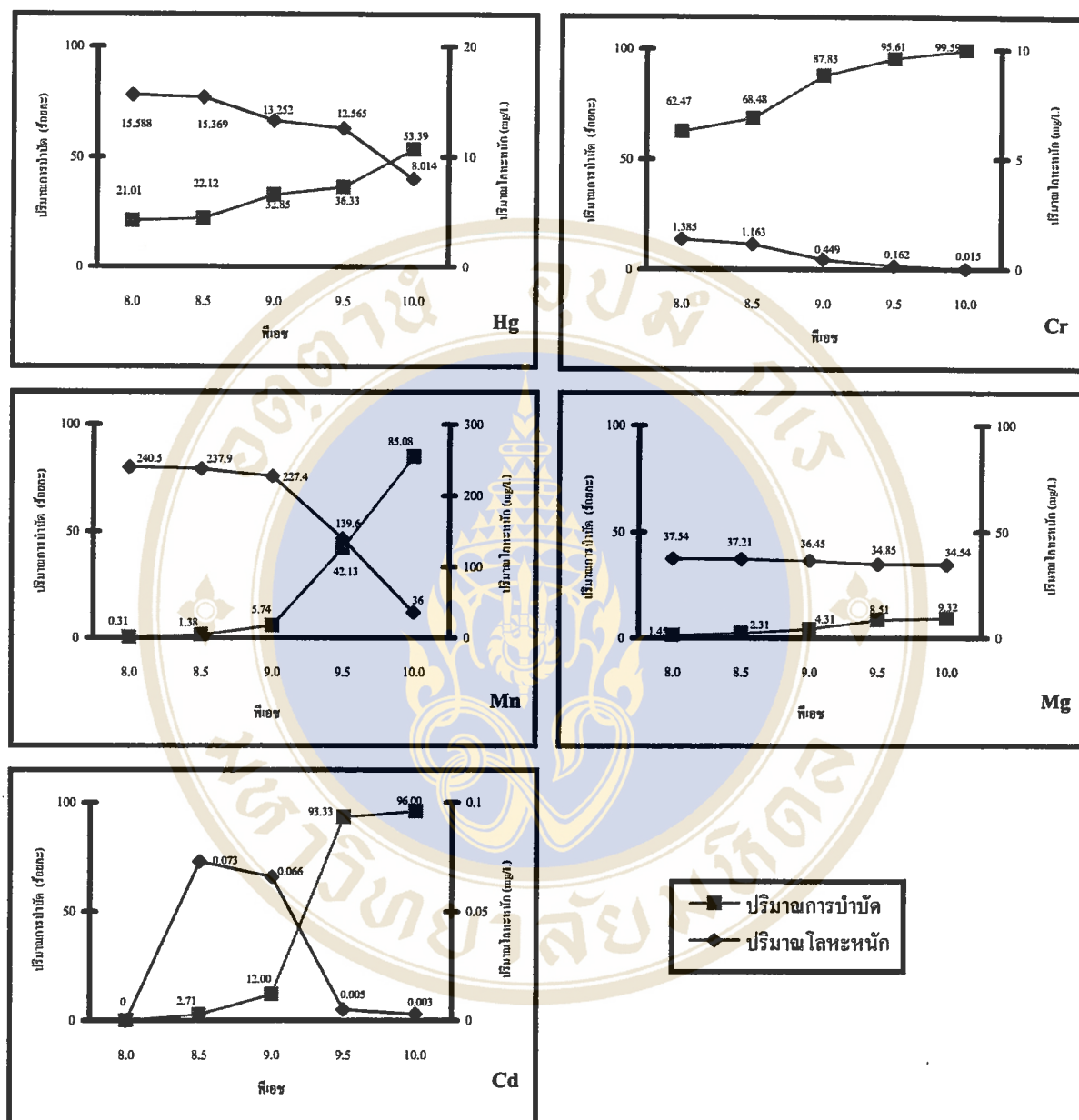
เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะชนิดอื่น ๆ ความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงพีเอชที่ทำการทดลอง โดยที่พีเอช 8.0 และ 8.5 ความเข้มข้นลดลงมากกว่าร้อยละ 60 และที่พีเอช 9.0 9.5 และ 10.0 ความเข้มข้นลดลงจากเดิมเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 90

ส่วนโลหะที่ตกตะกอนน้อยที่สุดในช่วงพีเอชที่ทำการทดลองคือปรอท (Hg) โดยความเข้มข้นลดลงประมาณร้อยละ 20 ที่ระดับพีเอช 8.0 และ 8.5 ประมาณร้อยละ 30 ที่ระดับพีเอชประมาณ 9.0 และ 9.5 และลดลงสูงสุดที่พีเอช 10.0 ประมาณร้อยละ 50

จะเห็นว่าในขั้นตอนนี้โลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้มากขึ้นที่ระดับพีเอชสูงขึ้นเนื่องจากที่พีเอช สูงค่าความสามารถในการละลายของโลหะส่วนใหญ่จะลดลง (17) ซึ่งจากข้อมูลการทดลองขั้นต้นจะเห็นได้ว่า แม้จะมีการตกตะกอนของโลหะหนักไปบางส่วนในช่วงระดับพีเอชที่ใช้ในการทดลอง แต่ก็ยังมีปริมาณโลหะหนักในน้ำตัวอย่างเหลืออยู่มากโดยเฉพาะโลหะหนักที่มีพิษมาก คือ แคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) ระดับความเข้มข้นคือ 0.003 และ 8.014 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ยังคงสูงกว่าระดับมาตรฐานที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ จำเป็นต้องทำการบำบัดในขั้นตอนต่อไป คือ การตกตะกอนด้วยสารเคมีเพิ่มเติมด้วย





รูปที่ 4-4 ปริมาณร้อยละของโลหะหนักที่ตกตะกอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังทำการปรับค่าพีเอชด้วย NaOH ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ให้มีค่าพีเอชที่ระดับ 8.0 8.5 9.0 9.5 และ 10.0 ตามลำดับ

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit) ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังจากทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วย NaOH และหีนอ่อน

พารามิเตอร์	น้ำเสียเริ่มต้น (mg/L)	ปรับ pH ด้วย 12 N. NaOH		ปรับ pH ด้วยหีนอ่อน	
		ปริมาณที่ตกตะกอน (mg/L)	% ในการตกตะกอน	ปริมาณที่ตกตะกอน (mg/L)	% ในการตกตะกอน
Ag	0.057	0.049	85.96	0.007	> 99.99
Hg	49.989	18.779	37.57	11.475 ± 0.047	36.77
Cr	50.47	16.50	32.69	30.28 ± 0.057	89.14
Fe	152.6	52.01	34.08	100.58 ± 0.0	> 99.99
Mn	361.23	66.36	18.37	270.73 ± 1.463	18.19
Mg	58.66	19.632	33.46	0.94 ± 0.277	2.41
Cd	0.723	0.446	61.69	0.202 ± 0.129	72.92

4.2.2.1 การบำบัดโลหะหนักด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

น้ำตัวอย่างที่ทำการปรับค่าพีเอชเป็น 5 ระดับแล้ว เมื่อนำไปทำการทดลองตกตะกอนโลหะหนักด้วยสารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-5

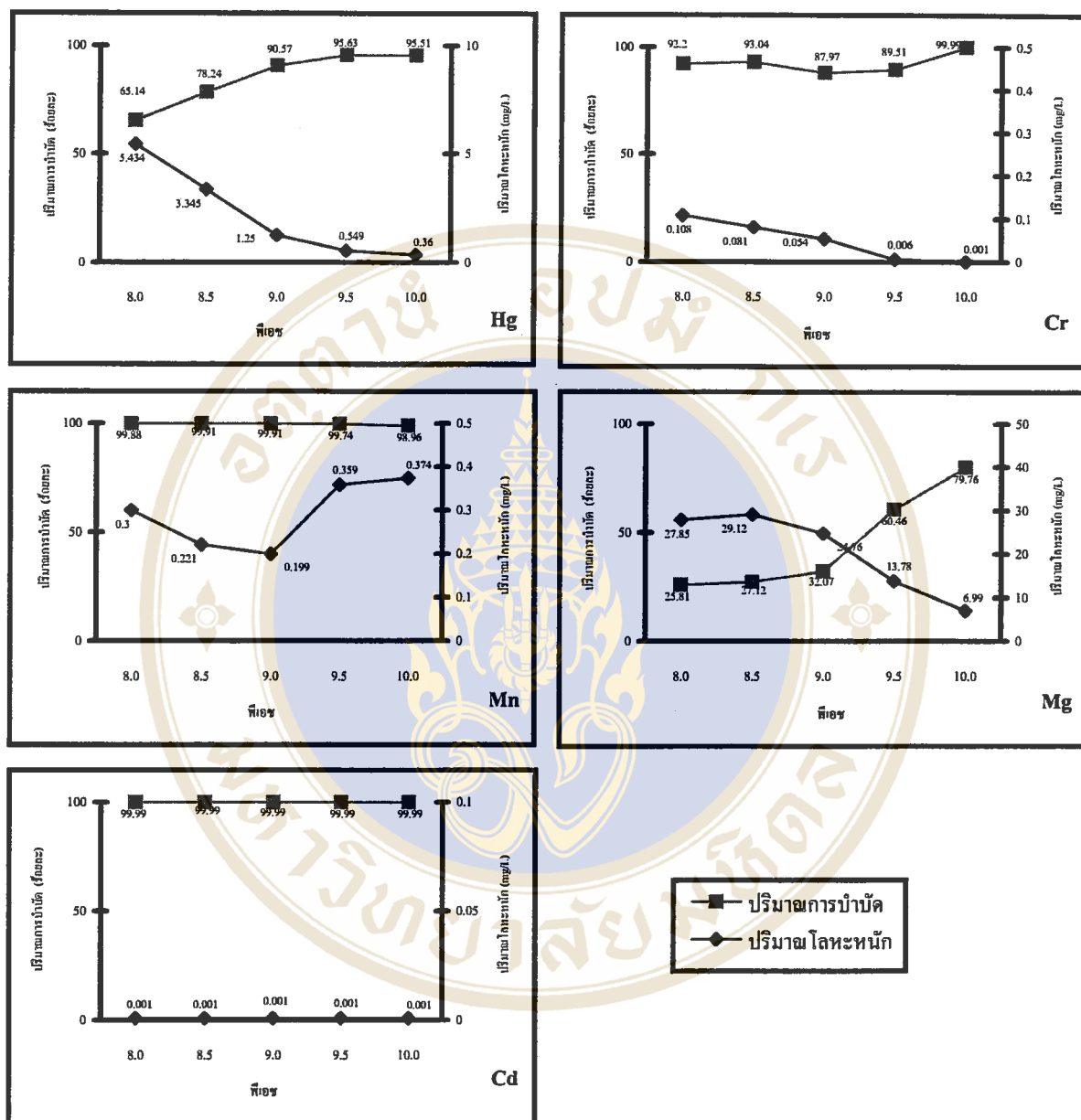
จะเห็นว่าการใช้สารตกตะกอน Na_2CO_3 ทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มัล เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครเมียม (Cr) และแมงกานีส (Mn)

ส่วนความเข้มข้นของปรอทในน้ำตัวอย่าง หลังทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) พบว่าปริมาณปรอท (Hg) ที่เหลืออยู่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งในทุกการทดลอง แต่เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเบื้องต้นของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง ปริมาณปรอท (Hg) ลดลงไ้มากกว่าร้อยละ 89 (ตารางที่ 4-3) โดยระดับความเข้มข้นของปรอท (Hg) จะต่ำที่สุดที่พีเอช 10.0

สำหรับโครเมียม (Cr) และแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นลดลงไ้มากกว่าร้อยละ 99 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และปริมาณที่เหลือของโลหะทั้ง 2 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกการทดลอง

ส่วนความเข้มข้นของแมกนีเซียม (Mg) นั้น เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงพีเอช 8.0 - 9.0 แต่เมื่อระดับพีเอชสูงขึ้นเป็น 9.5 และ 10.0 ปริมาณของโลหะแมกนีเซียม (Mg) จะถูกตกตะกอนไ้มากกว่าร้อยละ 76 จากความเข้มข้นเริ่มต้น

ในช่วงพีเอชที่ใช้ในการทดลอง ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยระดับความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) จะมีค่า < 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุกการทดลอง ซึ่งอาจอธิบายได้จากการตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตของแคดเมียมจะเกิดได้ดีที่พีเอชประมาณ 7.8 (18)



รูปที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอน โลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Na_2CO_3

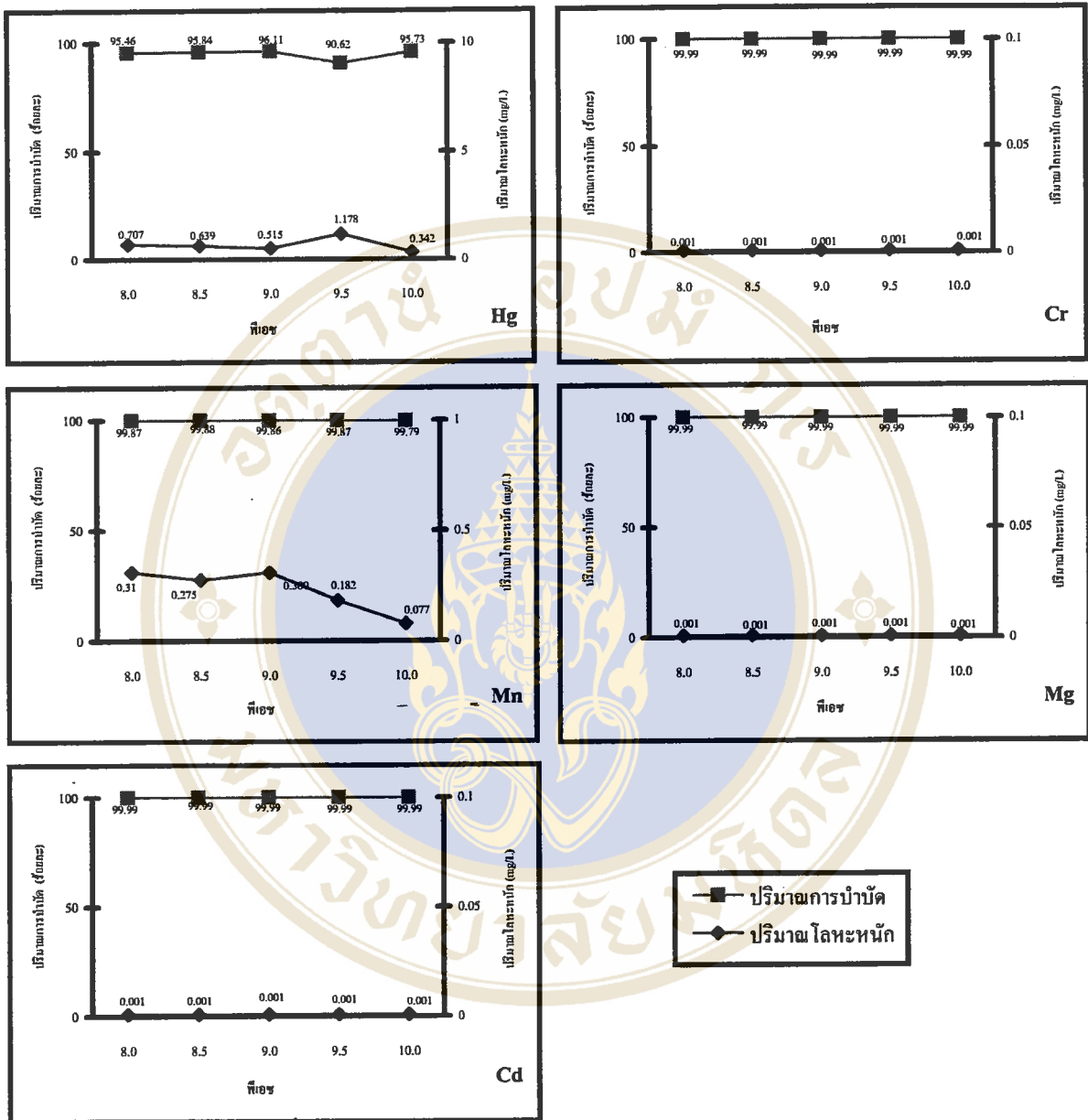
* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit) ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

4.2.2.2 การบำบัดโลหะหนักด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]

น้ำตัวอย่างที่ทำการปรับค่าพีเอชเป็น 5 ระดับแล้ว เมื่อนำไปทำการทดลองตกตะกอนโลหะหนักด้วยสารตกตะกอนสารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-6 จะเห็นว่าการใช้สารตกตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจากการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มัล เพียงอย่างเดียว

ส่วนความเข้มข้นของปรอทในน้ำตัวอย่าง หลังทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] พบว่าปริมาณปรอท (Hg) ที่เหลืออยู่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งในทุกการทดลอง และเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเบื้องต้นของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง ปริมาณปรอทลดลงไปมากกว่าร้อยละ 97 (ตารางที่ 4-3) โดยระดับความเข้มข้นของปรอทจะต่ำที่สุดที่พีเอช 10.0 และจะพบว่าการตกตะกอนปรอท (Hg) ในรูปของปรอทไฮดรอกไซด์ [$\text{Hg}(\text{OH})_2$] จะให้ผลการบำบัดที่ดีกว่าการตกตะกอนในรูปปรอทคาร์บอเนต (HgCO_3) เนื่องจากค่า K_{sp} ของสารประกอบปรอทไฮดรอกไซด์ [$\text{Hg}(\text{OH})_2$] มีค่าต่ำกว่าจึงตกตะกอนได้ดีกว่า (ภาคผนวก ง)

สำหรับโครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) และแคดเมียม (Cd) ความเข้มข้นลดลงไปมากกว่าร้อยละ 99 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และปริมาณที่เหลือของโลหะทั้ง 4 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกการทดลอง เนื่องจากโลหะส่วนใหญ่สามารถตกตะกอนได้ดีในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ ในช่วงพีเอช 8–11 (18)



รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Ca(OH)_2

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit) ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

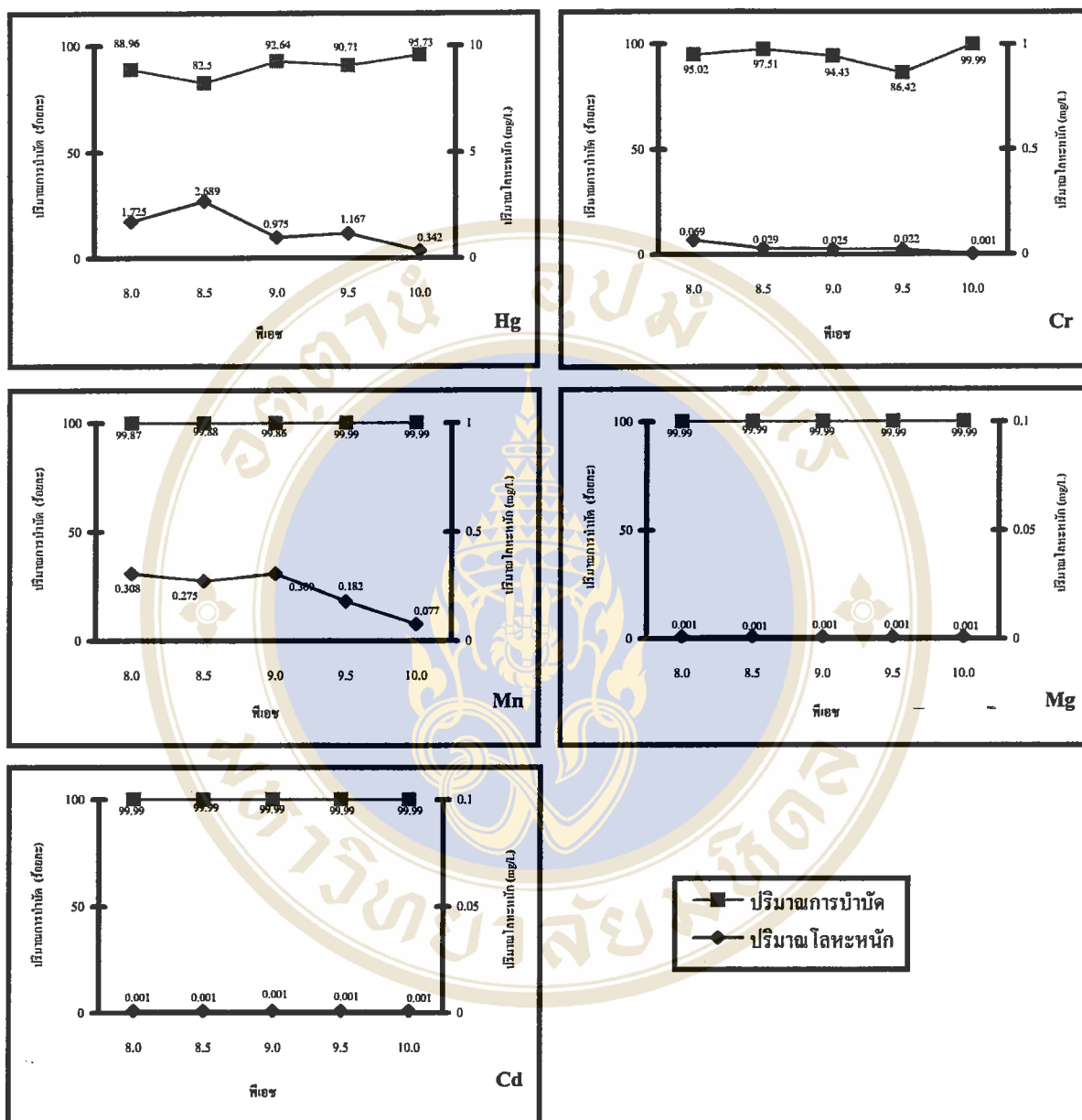
4.2.2.3 การบำบัดโลหะหนักด้วยโซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3)

น้ำตัวอย่างที่ทำการปรับค่าพีเอชเป็น 5 ระดับแล้ว เมื่อนำไปทำการทดลองตกตะกอนโลหะหนักด้วยสารตกตะกอนสารตกตะกอนโซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-7 หลังจากทำการตกตะกอน ดังข้างต้น ส่วนความเข้มข้นของปรอท (Hg) ในน้ำตัวอย่าง หลังทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนโซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) พบว่าปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งในทุกการทดลอง และเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง ปริมาณปรอทลดลงไปมากกว่าร้อยละ 94 โดยระดับความเข้มข้นของปรอทจะต่ำที่สุดที่พีเอช 10.0 และจะพบว่าการตกตะกอนในรูปปรอทไฮดรอกไซด์ [$\text{Hg}(\text{OH})_2$] จะให้ผลการบำบัดดีที่สุดที่ลดลงมาได้แก่ปรอทในรูปของปรอทซิลิเกต (HgSiO_3) และปรอทคาร์บอเนต (HgCO_3) ตามลำดับ เนื่องจากค่า K_{sp} ของสารประกอบปรอทไฮดรอกไซด์ [$\text{Hg}(\text{OH})_2$] มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ค่า K_{sp} ของปรอทซิลิเกต (HgSiO_3) และปรอทคาร์บอเนต (HgCO_3) ตามลำดับ (ภาคผนวก ง)

สำหรับโครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) ความเข้มข้นลดลงไปมากกว่าร้อยละ 99 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และปริมาณที่เหลือของโลหะทั้ง 4 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกการทดลอง

จากการทดลองการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่พีเอชต่าง ๆ จะพบว่าที่ค่าพีเอช 10.0 ปริมาณโลหะที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นปรอทที่ยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน แต่เนื่องจากที่พีเอช 10.0 เป็นค่าพีเอชที่เกินจากมาตรฐานกำหนดไว้ (มาตรฐานกำหนดให้พีเอชของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5 – 9) (9) จึงเลือกพีเอช 9.0 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป เนื่องจากที่พีเอช 9.0 ปริมาณโลหะที่เหลือส่วนใหญ่ ยกเว้นปรอทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับผลการวิเคราะห์การบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี หลังจากทำการปรับค่าพีเอช ด้วยหินอ่อนในน้ำตัวอย่างจนมีค่าพีเอช 5.5 แล้ว นำมาทำการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล จนมีพีเอช เป็น 9.0 จากนั้นนำน้ำเสียที่ถูกปรับพีเอช มาทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด สรุปผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-3



รูปที่ 4-7 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Na_2SiO_3

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit) ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

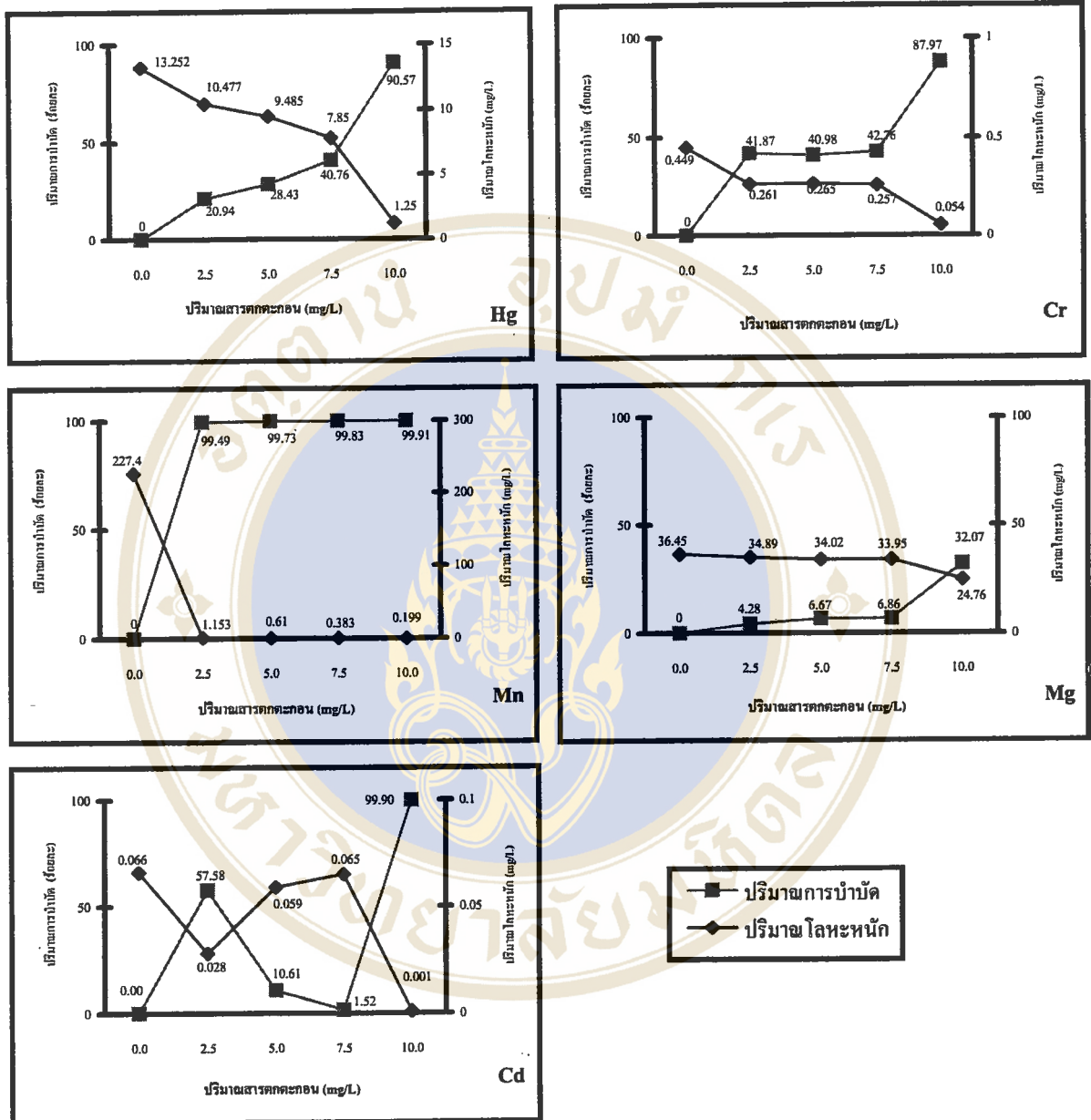
4.2.3 การทดสอบหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนัก

ในการทำการทดลองในขั้นตอนนี้เป็นทดลองเพื่อหาปริมาณของสารตกตะกอนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการทำการตกตะกอนโลหะหนักในน้ำตัวอย่างที่สภาวะเหมาะสม คือน้ำตัวอย่างที่ได้ทำการปรับพีเอชเป็น 9.0 แล้วทำการทดลองตกตะกอนโดยใช้สารตกตะกอนในปริมาณ 0.0 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.2.3.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

ผลการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-8 พบว่าจากปริมาณสารตกตะกอน ที่ใช้ในการทดลองนั้น ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุดในการตกตะกอนโลหะหนัก โดยสามารถลดปริมาณปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) ในน้ำตัวอย่างได้เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นโลหะก่อนการทดลองตกตะกอน ส่วนปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ลดลงไปเพียงประมาณร้อยละ 30 ซึ่งอาจอธิบายได้จากพีเอชที่ดีในการตกตะกอนแมกนีเซียม ในรูปของแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) คือที่พีเอช 10.0 แต่จากการทดลองในขั้นตอนนี้ทำการทดลองที่พีเอช 9.0 จึงทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนได้ไม่มากนัก (35)

แต่ในภาพรวมแล้ว ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่ในน้ำตัวอย่างหลังทำการตกตะกอนด้วย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นปรอทซึ่งยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 4-4)



รูปที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Na_2CO_3 ที่ค่าพีเอช 9.0

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit)
ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

ตารางที่ 4-4 สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ทางเคมี (มก./ลิตร)	การบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน						ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ตาม พ.ร.บ. โรงงาน ฯ พ.ศ. 2535 (มก./ลิตร)
		Na ₂ CO ₃ *		Ca(OH) ₂ *		Na ₂ SiO ₃ *		
		ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	
Ag	0.034	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Hg	0.050 x 10 ³	1.25	97.5	0.515	98.97	0.975	98.05	0.005
Cr	0.050 x 103	<u>0.054</u>	99.84	<u>≤ 0.001</u>	> 99.99	<u>0.025</u>	99.95	0.25
Fe	153 x 10 ³	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Mn	0.361 x 10 ³	<u>0.199</u>	99.94	<u>0.309</u>	99.91	<u>0.309</u>	99.98	5
Mg	0.059 x 10 ³	24.76	57.79	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Cd	0.723	<u>≤ 0.001</u>	> 99.99	<u>≤ 0.001</u>	> 99.99	<u>≤ 0.001</u>	> 99.99	0.03

สภาวะที่เหมาะสม หมายถึง นำเสียผ่านขั้นตอนการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล หินอ่อน และบำบัดฟิออซ 9.0

ปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร

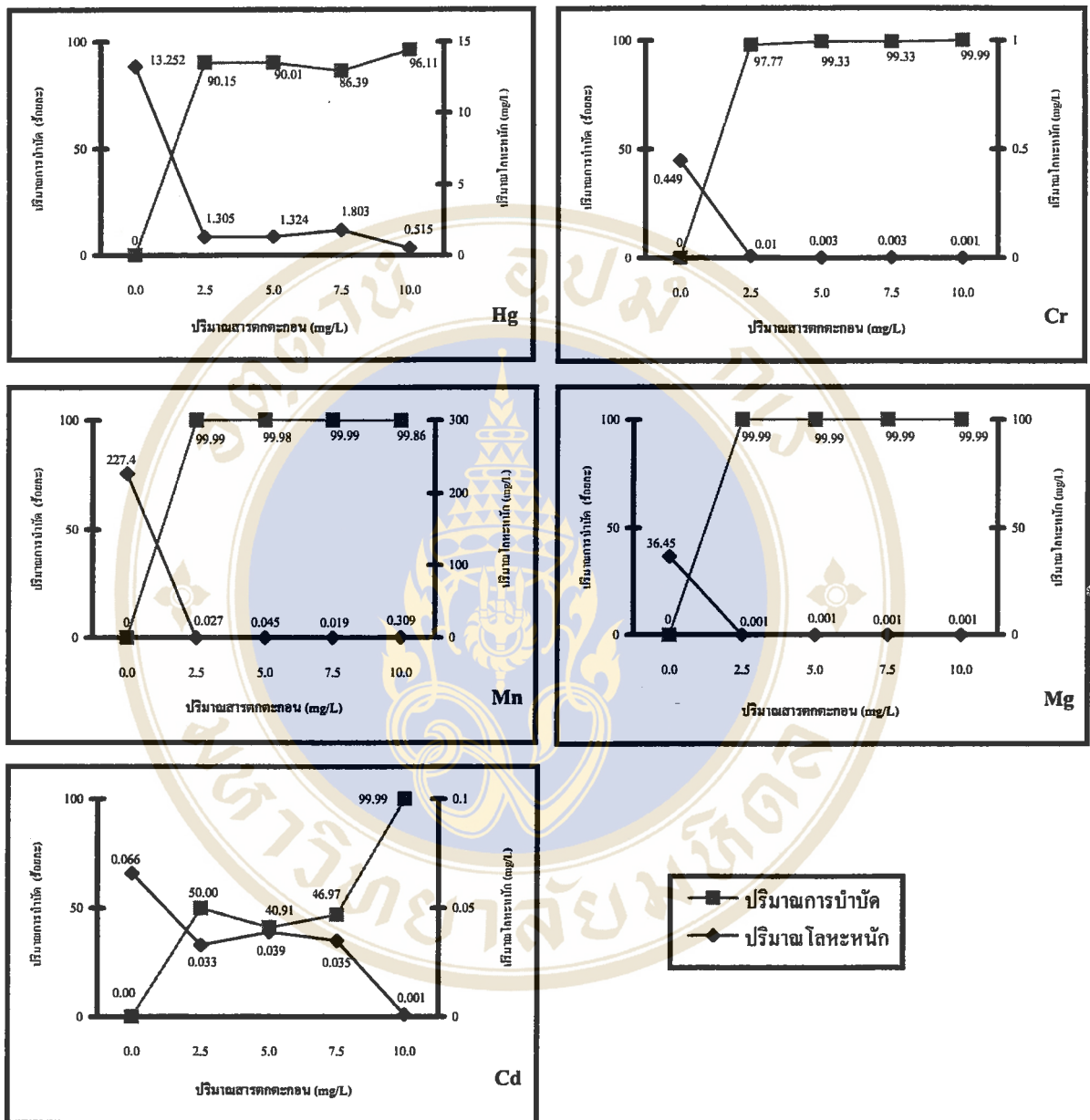
* จัดเส้นใต้ หมายถึง ค่าที่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง



4.2.3.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$

ผลการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-9 พบว่าจากปริมาณสารตกตะกอน ที่ใช้ในการทดลองนั้น ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุดในการตกตะกอนโลหะหนัก โดยสามารถลดปริมาณปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) ในน้ำตัวอย่างได้เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 96 ของความเข้มข้นโลหะก่อนการทดลองตกตะกอน

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะส่วนใหญ่ในน้ำตัวอย่างหลังทำการตกตะกอนด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นปรอทซึ่งยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 4-4)



รูปที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสีย

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Ca(OH)_2 ที่ค่าพีเอช 9.0

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit)

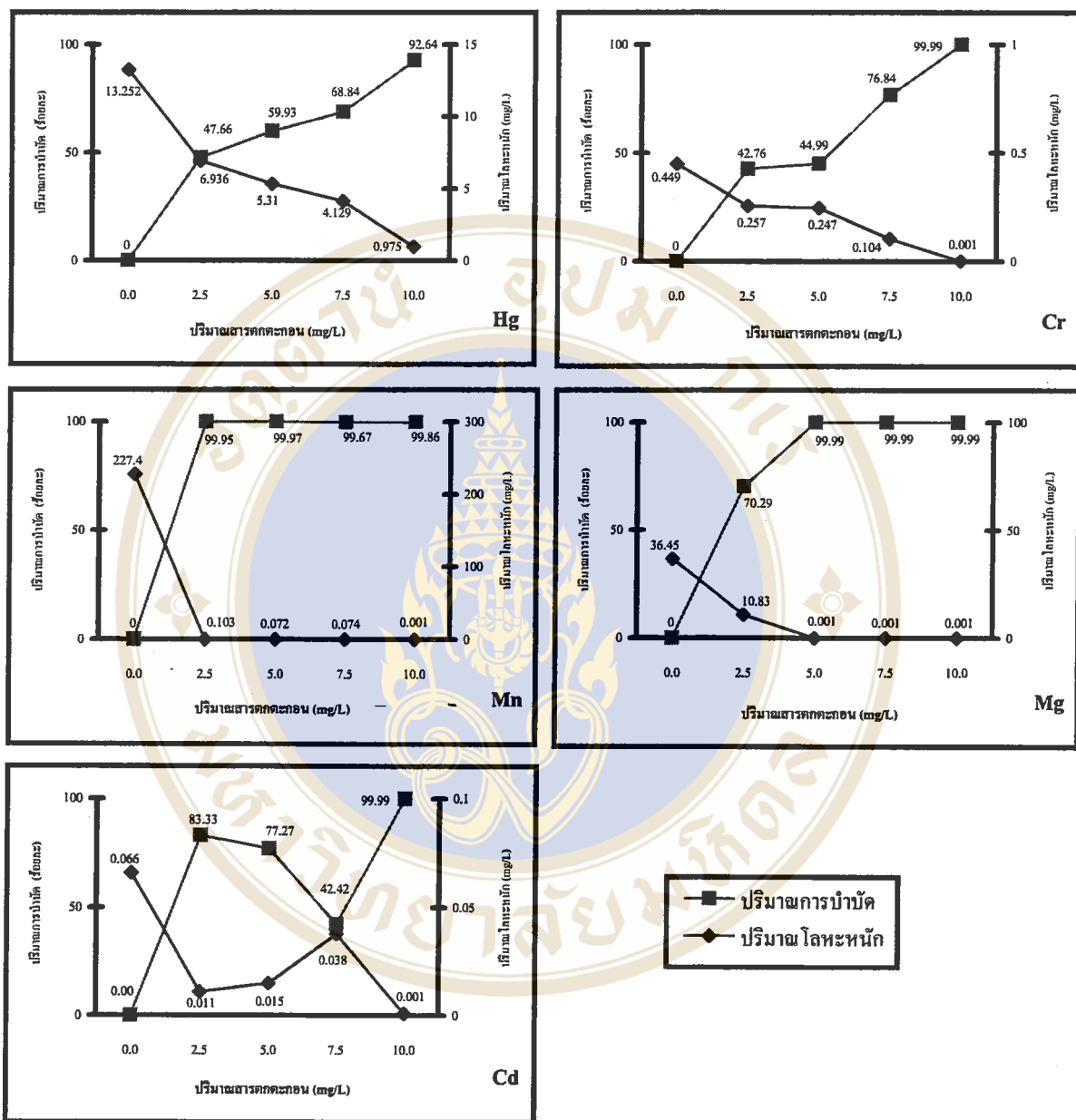
ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

4.2.3.3 การหาปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3)

ผลการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารตกตะกอนโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-10 พบว่าจากปริมาณสารตกตะกอน ที่ใช้ในการทดลองนั้น ปริมาณโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) 10.0 กรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุดในการตกตะกอนโลหะหนัก โดยสามารถลดปริมาณปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) ในน้ำตัวอย่างได้ประมาณมากกว่าร้อยละ 92 ของความเข้มข้นโลหะก่อนการทดลองตกตะกอน ปริมาณความเข้มข้นของโลหะส่วนใหญ่ในน้ำตัวอย่างหลังทำการตกตะกอนด้วยโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นปรอทซึ่งยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 4-4)

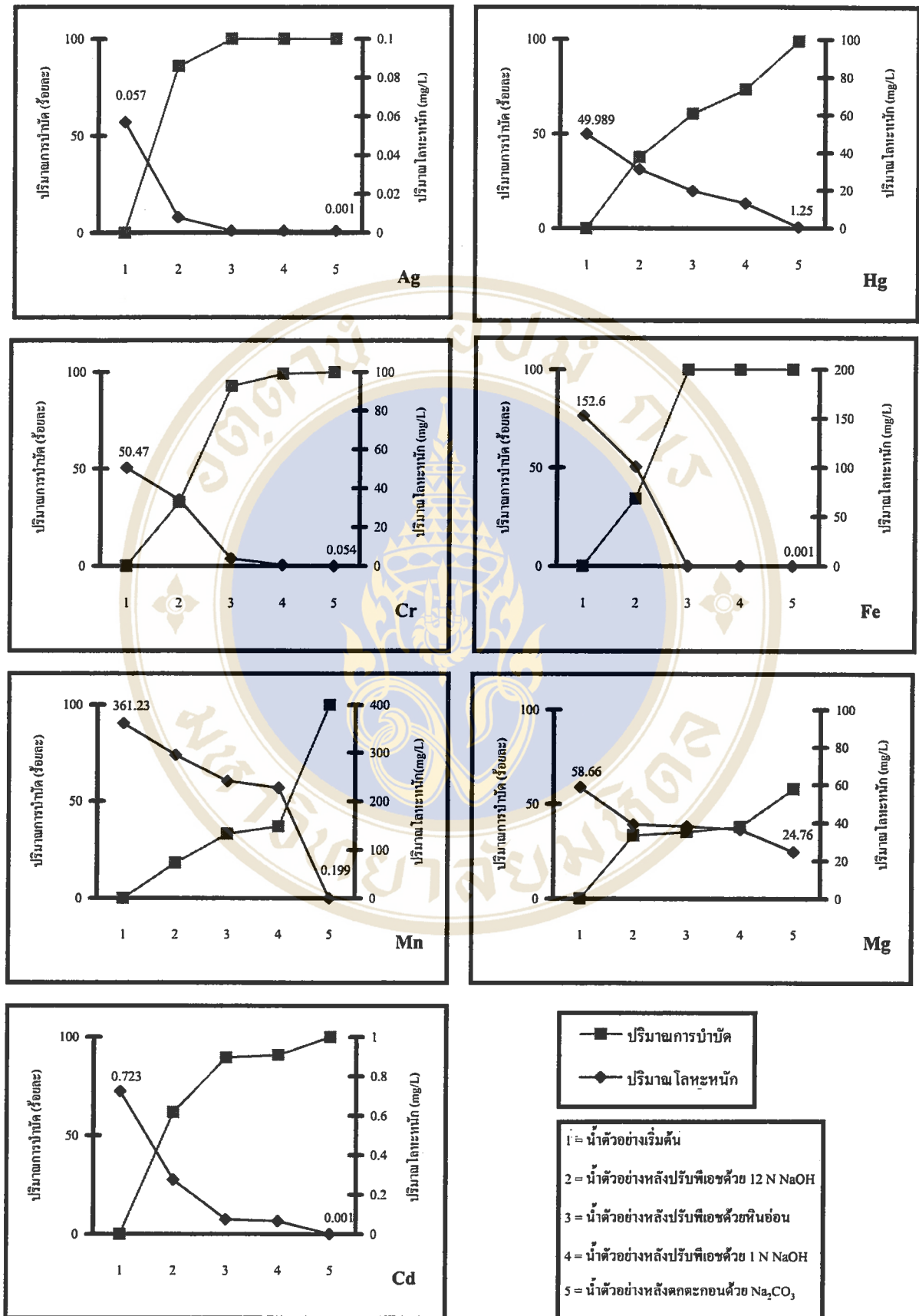
สรุปผลการศึกษาหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมของสารทั้ง 3 ชนิด พบว่าการใช้ปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร จะเป็นปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากระดับความเข้มข้นของโลหะที่เหลือส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นโลหะปรอทที่ยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] สามารถทำการตกตะกอนโลหะส่วนใหญ่ได้ดีที่สุด โดยปริมาณโลหะชนิดต่าง ๆ ลดลงไปกว่าร้อยละ 96 ส่วนสารตกตะกอนโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) สามารถทำการตกตะกอนโลหะส่วนใหญ่ได้มากกว่าร้อยละ 92 และ 90 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่า K_{sp} เนื่องจากค่า K_{sp} ของโลหะในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์จะมีค่าต่ำกว่าค่า K_{sp} ของสารประกอบซิลิเกต และสารประกอบคาร์บอเนต ตามลำดับ จึงทำให้สารประกอบในรูปไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้น้อยกว่าสารประกอบในรูปซิลิเกต และคาร์บอเนต จึงตกตะกอนได้ดีกว่าอีกทั้งในช่วงพีเอชที่เท่ากันโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ (18)

โลหะหนักในขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำบัดที่สภาวะเหมาะสม (ที่พีเอช 9.0 และปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 4-11 4-12 และ 4-13 ตามลำดับ



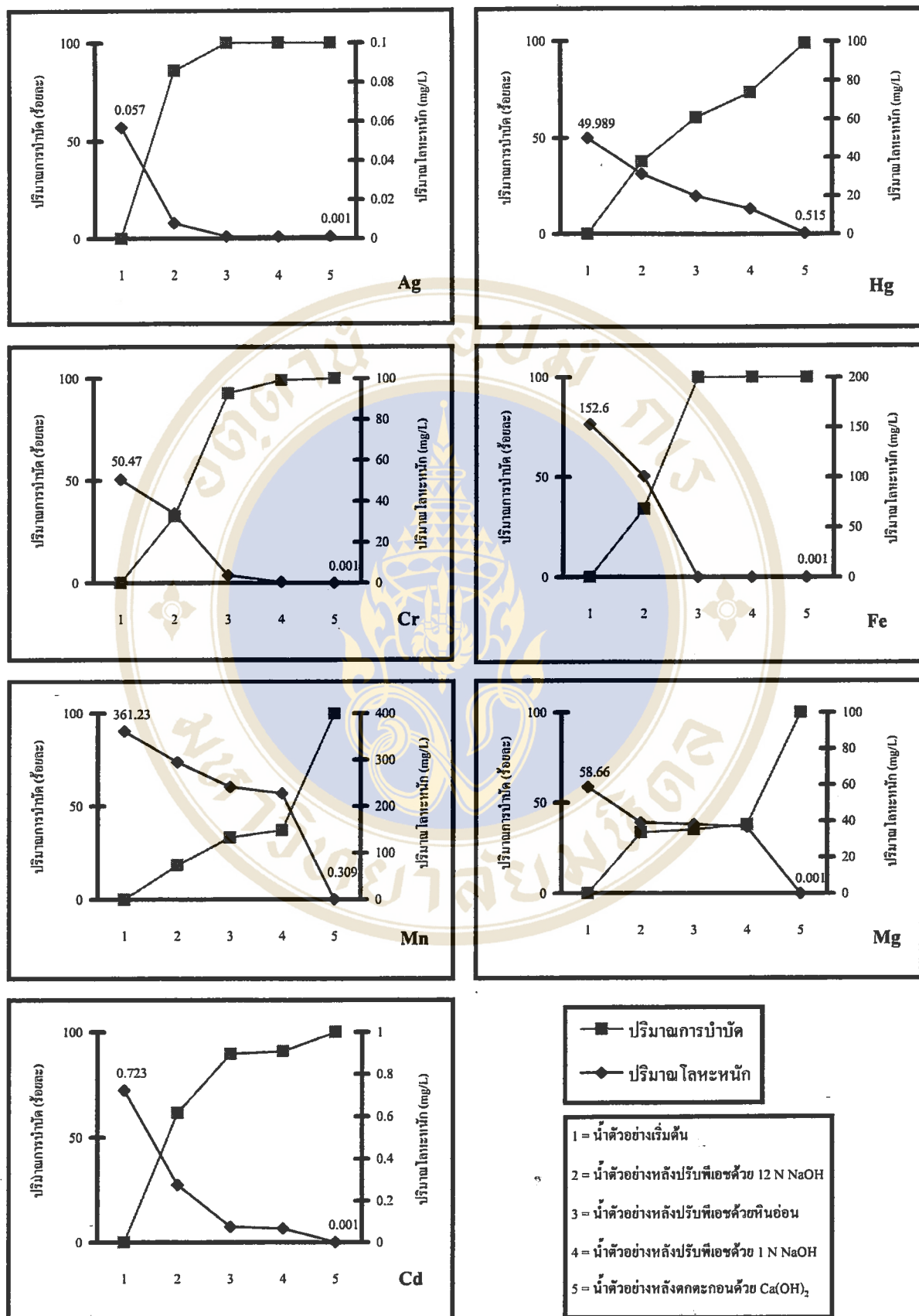
รูปที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน Na_2SiO_3 ที่ค่าพีเอช 9.0

* ปริมาณโลหะหนัก 0.001 mg/L หมายถึง ปริมาณต่ำกว่าความสามารถในการวัด (detection limit)
ของเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)

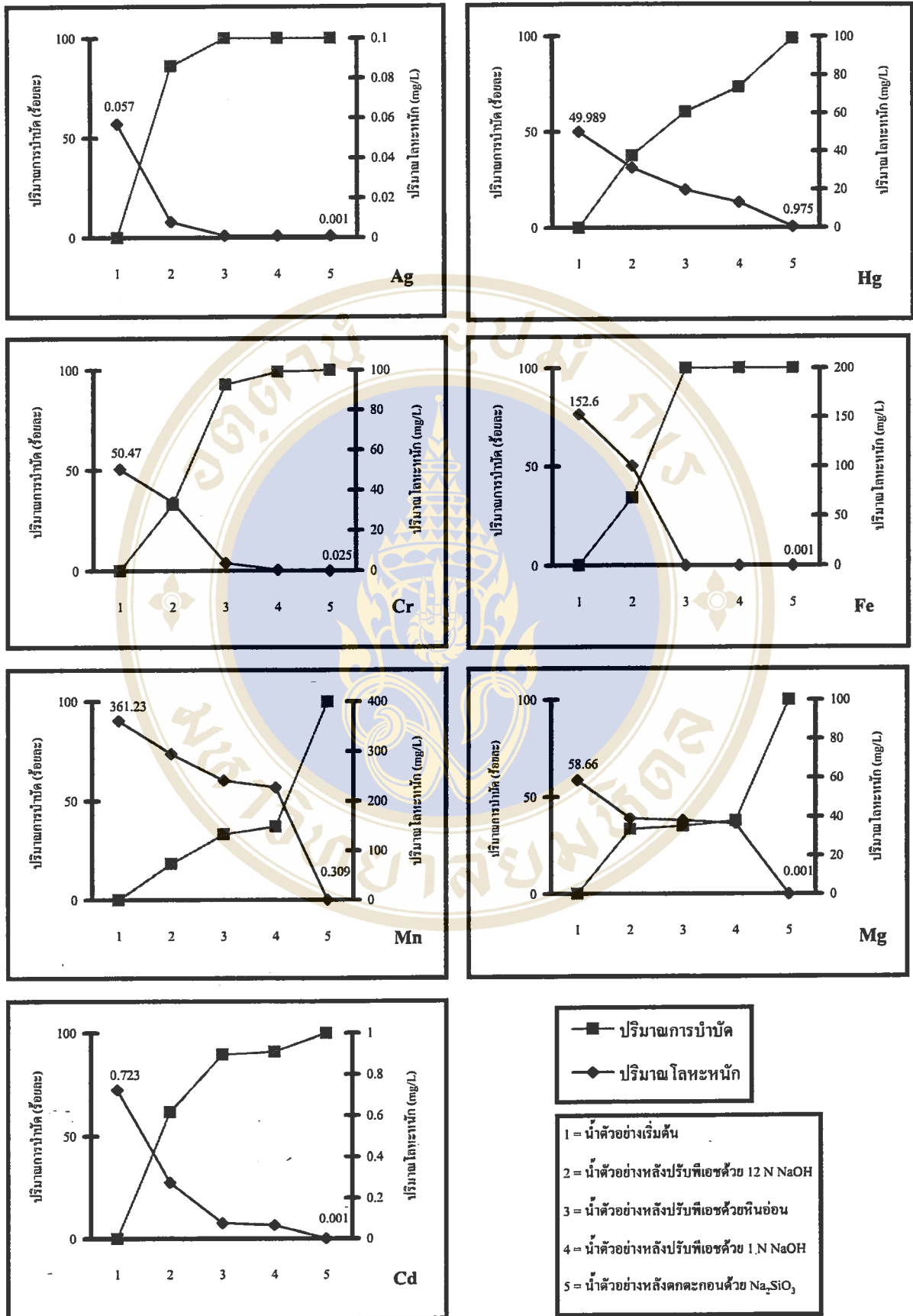


รูปที่ 4-11 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่างๆ ของการบำบัด

ด้วยสารตกตะกอน Na_2CO_3 ที่สภาวะเหมาะสม (ที่พีเอช 9.0 และปริมาณสารตกตะกอน 10.0 กรัม/ลิตร)



รูปที่ 4-12 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่างๆ ของการบำบัดด้วยสารตกตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่สภาวะเหมาะสม (ที่พีเอช 9.0 และปริมาณสารตกตะกอน 10.0 กรัม/ลิตร)



รูปที่ 4-13 ปริมาณในการบำบัด (ร้อยละ) และความเข้มข้นของโลหะหนักในขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำบัด

ด้วยสารตกตะกอน Na_2SiO_3 ที่สภาวะเหมาะสม (ที่พีเอช 9.0 และปริมาณสารตกตะกอน 10.0 กรัม/ลิตร)

4.2.4 การตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม

จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมทั้งสภาวะพีเอช และปริมาณสารตกตะกอนจากหัวข้อ 4.2.2 และ 4.2.3 พบว่าค่าพีเอช 9.0 และปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร มีค่าสัดส่วนในการบำบัดโลหะหนักได้ดีที่สุด จึงดำเนินการทดสอบการตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว เพื่อทดสอบการตกตะกอนของโลหะหนักในน้ำเสียอีกครั้ง โดยนำน้ำเสียชุดใหม่มาทำการบำบัดโลหะหนักในสภาวะที่เหมาะสม คือนำน้ำเสียมาทำการปรับพีเอช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล หินอ่อน และปรับพีเอช เป็น 9.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล และปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร สรุปปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ดังแสดงในตารางที่ 4-5 พบว่าหลังจากผ่านขั้นตอนการบำบัดสภาวะที่เหมาะสมแล้วโดยใช้สารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ตามลำดับ แนวโน้มในการบำบัดโลหะหนักจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ โลหะส่วนใหญ่ตกตะกอนไปมากกว่าร้อยละ 96 จากความเข้มข้นเริ่มต้น ยกเว้นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ที่ตกตะกอนในรูปแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ตกตะกอนได้ร้อยละ 69 และปริมาณความเข้มข้นของโลหะที่เหลือเกือบทั้งหมด ยกเว้นโลหะปรอท (Hg) อยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

ตารางที่ 4-5 สรุปปริมาณที่เหลือของโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี (ชุดใหม่) ด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี (มก./ลิตร)	การบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน						ค่ามาตรฐานที่ถึง ตาม พ.ร.บ. โรงงาน ฯพ.ศ. 2535 (มก./ลิตร)
		Na ₂ CO ₃ *		Ca(OH) ₂ *		Na ₂ SiO ₃ *		
		ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	
Ag	1.24 ± 0.124	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	0.008 ± 0.002	99.35	-
Hg	50.02 ± 0.986	1.54 ± 0.326	96.62	0.748 ± 0.289	98.51	0.854 ± 0.321	98.29	0.005
Cr	50.0 ± 0.681	0.062 ± 0.321	99.88	0.027 ± 0.012	99.95	0.84 ± 0.013	99.83	0.25
Fe	155.4 ± 0.231	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Mn	360.20 ± 0.967	0.754 ± 0.625	99.79	0.965 ± 0.036	99.73	1.24 ± 0.654	99.65	5
Mg	43.50 ± 0.326	13.25 ± 0.697	69.54	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Cd	0.705 ± 0.010	0.005 ± 0.031	99.29	0.009 ± 0.005	98.72	0.01 ± 0.001	98.58	0.03

สภาวะที่เหมาะสม หมายถึง น้ำเสียผ่านขั้นตอนการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล หินอ่อน และบำบัดที่พีเอช 9.0

ปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร

* ชีตเส้นใต้ หมายถึง ค่าที่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

4.3 การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

จากการศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนัก คือ ที่พีเอช 9.0 และใช้ปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตรจึงได้น้ำสถานะที่เหมาะสมดังกล่าวมาทำการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์ สรุปปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ดังแสดงในตารางที่ 4-6 พบว่าหลังจากผ่านขั้นตอนการบำบัดสถานะที่เหมาะสมแล้วโดยใช้สารตกตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ตามลำดับ โลหะส่วนใหญ่จะถูกตกตะกอนไปได้มากกว่าร้อยละ 97 ของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย ส่วนโลหะแมกนีเซียม (Mg) ถูกตกตะกอนไปได้มากกว่าร้อยละ 85 ของความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย ซึ่งแนวโน้มในการตกตะกอนจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี แต่จะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นที่เหลือของโลหะปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) จากน้ำเสียสังเคราะห์หลังจากการตกตะกอนยังคงมีระดับความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง อีกทั้งปริมาณแมงกานีส (Mn) และแมกนีเซียม (Mg) ก็สูงกว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์มีระดับสูงกว่าและในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ยังมีสารอินทรีย์อื่น ๆ ปนเปื้อนอยู่ด้วยต่างจากน้ำสังเคราะห์ ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดขบวนการ chelating กับไอออนของโลหะหนักช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักได้ดีขึ้น (8)

ตารางที่ 4-6 ผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำสังเคราะห์ด้วยสารตกตะกอนที่สภาวะเหมาะสม

พารามิเตอร์	การบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน							ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ตาม พ.ร.บ. โรงงาน ฯ
	น้ำสังเคราะห์ (มก./ลิตร)	Na ₂ CO ₃ *		Ca(OH) ₂ *		Na ₂ SiO ₃ *		
		ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ปริมาณที่เหลือ (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	
Ag	50.0 ± 0.365	0.222 ± 0.123	99.56	0.278 ± 0.235	99.36	0.446 ± 0.052	98.97	-
Hg	25.0 ± 0.896	0.290 ± 0.562	98.82	0.488 ± 0.635	98.05	0.627 ± 0.587	97.45	0.005
Cr	50.0 ± 0.351	1.054 ± 0.321	97.89	0.262 ± 0.187	99.45	0.650 ± 0.364	98.7	0.25
Fe	150.0 ± 0.935	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	< 0.001	> 99.99	-
Mn	350.0 ± 1.235	2.061 ± 0.854	99.41	1.088 ± 0.639	92.35	17.321 ± 1.230	95.05	5
Mg	50.0 ± 0.451	7.268 ± 2.301	85.46	< 0.001	> 99.99	5.754 ± 0.654	88.49	-
Cd	2.0 ± 0.12	0.040 ± 0.032	98	0.033 ± 0.024	98.04	0.174 ± 0.041	89.71	0.03

สภาวะที่เหมาะสม หมายถึง น้ำเสียผ่านขั้นตอนการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล หินอ่อน และบำบัดที่พีเอช 9.0

ปริมาณสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร

* สีเส้นใต้ หมายถึง ค่าที่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4-7 พบว่าต้นทุนในการบำบัดโลหะหนักเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เท่ากับ 10.04 บาทต่อลิตร เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] เท่ากับ 7.54 บาทต่อลิตร และเมื่อใช้โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) เท่ากับ 17.54 บาทต่อลิตร

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

4.4.1 ค่าใช้จ่ายในการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดการค้า (commercial grade) 25 กิโลกรัมเป็นเงิน 750 บาท
ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 51.2 กรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{51.2 \text{ กรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{\text{กิโลกรัม}}{1000 \text{ กรัม}} \times \frac{750 \text{ บาท}}{25 \text{ กิโลกรัม}} \\ &= 1.54 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 20 ลิตรต่อสัปดาห์

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{1.54 \text{ บาท}}{\text{ลิตร}} \times \frac{20 \text{ ลิตร}}{\text{สัปดาห์}} \times \frac{52 \text{ สัปดาห์}}{\text{ปี}} \\ &= 1597.44 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

4.4.2 ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนด้วย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรด AR. 1 กิโลกรัม เป็นเงิน 850 บาท

ใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 10 กรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{10 \text{ กรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{\text{กิโลกรัม}}{1000 \text{ กรัม}} \times \frac{850 \text{ บาท}}{1 \text{ กิโลกรัม}} \\ &= 8.50 \text{ บาทต่อลิตร} \\ \text{รวมค่าใช้จ่าย} &= 8.50 + 1.54 \text{ บาทต่อลิตร} \\ &= 10.04 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 20 ลิตรต่อสัปดาห์

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{10.04 \text{ บาท}}{\text{ลิตร}} \times \frac{20 \text{ ลิตร}}{\text{สัปดาห์}} \times \frac{52 \text{ สัปดาห์}}{\text{ปี}} \\ &= 10,437.44 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

4.4.3 ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] เกรด AR. 1 กิโลกรัม เป็นเงิน 600 บาท

ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 10 กรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{10 \text{ กรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{\text{กิโลกรัม}}{1000 \text{ กรัม}} \times \frac{600 \text{ บาท}}{1 \text{ กิโลกรัม}} \\ &= 6.00 \text{ บาทต่อลิตร} \\ \text{รวมค่าใช้จ่าย} &= 6.00 + 1.54 \text{ บาทต่อลิตร} \\ &= 7.54 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 20 ลิตรต่อสัปดาห์

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{7.54 \text{ บาท}}{\text{ลิตร}} \times \frac{20 \text{ ลิตร}}{\text{สัปดาห์}} \times \frac{52 \text{ สัปดาห์}}{\text{ปี}} \\ &= 7,837.44 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

4.4.4 ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนด้วย โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3)

โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) เกรด AR. 1 กิโลกรัม เป็นเงิน 1,600 บาท

ใช้โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) 10 กรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= 10 \frac{\text{กรัม}}{\text{ลิตร}} \times \frac{\text{กิโลกรัม}}{1000 \text{ กรัม}} \times \frac{1,600 \text{ บาท}}{1 \text{ กิโลกรัม}} \\
 &= 16.0 \text{ บาทต่อลิตร} \\
 \text{รวมค่าใช้จ่าย} &= 16.0 + 1.54 \text{ บาทต่อลิตร} \\
 &= 17.54 \text{ บาทต่อลิตร}
 \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 20 ลิตรต่อสัปดาห์

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} &= \frac{17.54 \text{ บาท}}{\text{ลิตร}} \times \frac{20 \text{ ลิตร}}{\text{สัปดาห์}} \times \frac{52 \text{ สัปดาห์}}{\text{ปี}} \\ &= 18,237.44 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4-7 สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

ขั้นตอนการบำบัด	สารเคมี	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม/ลิตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลิตร)
ปรับพีเอชด้วย NaOH	NaOH (commercial grade)	30	51.2	1.54
ปรับพีเอชด้วยหินอ่อน	หินอ่อน	-	88.89	-
บำบัดด้วย Na_2CO_3	Na_2CO_3 (AR.Grade)	850	10	8.50
บำบัดด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (AR.Grade)	600	10	6.00
บำบัดด้วย Na_2SiO_3	Na_2SiO_3 (AR.Grade)	1,600	10	16.00

เมื่อนำผลการทดลอง การตกตะกอนโลหะหนักด้วย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ สุรัตน์ เพชรเกษม (6) ซึ่งทำการทดลองใช้ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เฟอรัสซัลไฟด์ (FeS) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารตกตะกอนน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี โดยเสียค่าใช้จ่ายเป็นเงิน 10.25 บาทต่อลิตร แล้วจะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการด้วยสารตกตะกอนในการศึกษาครั้งนี้มีราคาต่ำกว่าเล็กน้อย ในเชิงธุรกิจจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาใน 3 ประเด็นหลักคือ ระดับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตกตะกอนในกลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มไฮดรอกไซด์ และกลุ่มซิลิเกตในการบำบัดโลหะหนัก และวิธีการที่เหมาะสมและประหยัดในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มาจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

ผลการศึกษาการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีสรุปได้ว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าพีเอชอยู่ในระดับต่ำมากคือ 0.36 นอกจากนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นยังมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่สูงมากอันเป็นผลเนื่องมาจากการเติมโลหะหนักในรูปของสารประกอบต่างๆ ลงไป ในการทดลองบำบัดโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง ด้วยสารตกตะกอนจำเป็นต้องปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้สูงขึ้นโดยแบ่งเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกปรับค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างเป็น 2.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล ซึ่งต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณเท่ากับ 51.2 กรัมต่อลิตร ของน้ำตัวอย่าง หลังจากการปรับค่าพีเอชในขั้นตอนนี้ พบว่าโลหะเงิน (Ag) ตกตะกอนไปมากกว่าร้อยละ 85 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และแคดเมียม (Cd) ตกตะกอนไปมากกว่าร้อยละ 60 ส่วนโลหะชนิดอื่น ๆ ตกตะกอนไปในขั้นตอนการปรับค่าพีเอชเฉลี่ยร้อยละ 30 ในขั้นตอนที่สองเพื่อประหยัดต้นทุนในการบำบัดน้ำตัวอย่างจึงใช้เศษหินอ่อนจากขบวนการผลิตของโรงงานทำหินอ่อนในการปรับค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง โดยใช้หินอ่อน 88.89 กรัมต่อลิตรของน้ำตัวอย่าง พบว่าในขั้นตอนนี้เหล็ก (Fe) ตกตะกอนเพิ่มจากขั้นตอนแรกรวมแล้วมากกว่าร้อยละ 99.99 ของความเข้มข้นในน้ำตัวอย่างเริ่มต้น ส่วนแคดเมียม (Cd) ตกตะกอนรวมเป็นร้อยละ 89.65 ของความเข้มข้นเริ่มต้นในน้ำตัวอย่าง ในขณะที่โลหะอื่น ๆ มีการตกตะกอนเพิ่มจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยจะตกตะกอนรวม 2 ขั้นตอนเฉลี่ยร้อยละ 33 - 50 ของ

ความเข้มข้นตั้งต้น สรุปรวมหลังขั้นตอนการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ หินอ่อน ปริมาณเงิน (Ag) และเหล็ก (Fe) จะอยู่ในระดับต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP ที่จะวัดได้คือ < 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของโลหะชนิดอื่น ๆ ยังคงอยู่ในระดับที่เกิน มาตรฐานน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

5.1.2 การหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอนกลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มไฮดรอกไซด์และกลุ่ม ซิลิเกต ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารตกตะกอนกลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มไฮดรอกไซด์ และ กลุ่มซิลิเกตโดยนำน้ำเสียที่ผ่านการปรับค่าพีเอชแล้วนำมาทดลองการตกตะกอน พบว่าสารตก ตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถตกตะกอนโลหะส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น ยกเว้นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งหากใช้สารตกตะกอน Na_2CO_3 ในการทดลอง ปริมาณลดลง เหลือร้อยละ 32 จากความเข้มข้นเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักในน้ำตัวอย่างดีที่สุดที่สุด รองลงมา ได้แก่ โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ตามลำดับ โดยปริมาณ โลหะหนักส่วนใหญ่ ยกเว้นปรอท (Hg) หลังการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ แล้วจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามพระ ราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ในขณะที่ในการใช้สารตกตะกอนอีก 2 ชนิดในการบำบัดน้ำตัวอย่าง ปริมาณโลหะหนักส่วนมากยังคงมีปริมาณที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน และต่างจากผลการตกตะกอน โดยการใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

5.1.3 การหาวิธีการที่เหมาะสมและประหยัดในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มาจากห้อง ปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

5.1.3.1 การทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ในการใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดเพื่อทำการบำบัดโลหะหนักพบว่าที่พีเอช 10.0 จะ สามารถบำบัดโลหะหนักได้ดีที่สุดมากกว่าร้อยละ 99 และความเข้มข้นโลหะหนักส่วนใหญ่ ยกเว้น ปรอท (Hg) จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน พระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ.2535 แต่เนื่องจากค่าพีเอช 10.0 เป็นค่าพีเอช ที่เกินค่ามาตรฐานฯ (9) โดยในมาตรฐาน กำหนดให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง อยู่ระหว่าง 5.0 - 9.0 ฉะนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่เลือกนำมาใช้ในการ

บำบัดโลหะหนักในการศึกษานี้คือ ที่พีเอช 9.0 ซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และแม้ว่าความสามารถในการบำบัดโลหะหนักที่ค่าพีเอชนี้จะต่ำกว่าที่พีเอช 10.0 เล็กน้อยแต่ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเกือบทุกชนิด ยกเว้นปรอทผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งเช่นกัน

5.1.3.2 การทดสอบหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

ในการทดลองหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนัก พบว่า ในช่วงปริมาณของสารที่เลือกใช้ คือ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร มีเพียงความเข้มข้นของสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร เท่านั้นที่สามารถตกตะกอนโลหะหนักส่วนใหญ่ ยกเว้นปรอทในน้ำตัวอย่างเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 98 ของความเข้มข้นเริ่มต้น และปริมาณที่เหลืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ฯ

5.1.4 การตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม

ในการใช้สภาวะมาตรฐานที่ได้จากผลการทดลองในขั้นตอนก่อนนี้ คือ ค่าพีเอช 9.0 และสารตกตะกอน 10 กรัมต่อลิตร เพื่อทดสอบการตกตะกอนโลหะหนักในน้ำตัวอย่างต่างชุดกัน พบว่ามีผลการทดลองใกล้เคียงกับผลจากตัวอย่างชุดแรกคือ โลหะส่วนใหญ่ตกตะกอนไปมากกว่าร้อยละ 96 จากความเข้มข้นเริ่มต้น ยกเว้นโลหะแมกนีเซียม (Mg) ที่ตกตะกอนในรูปแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ได้ร้อยละ 69 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะที่เหลือเกือบทั้งหมด ยกเว้นปรอทอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐาน ฯ

5.1.5 การบำบัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี

ผลการทดลองบำบัดโลหะหนักในน้ำสังเคราะห์ใกล้เคียงกับผลการทดลองในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ต่างกันในส่วนของคุณลักษณะความเข้มข้นของโลหะหนักบางตัว เช่น แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) ซึ่งหลังทำการทดลองตกตะกอน ด้วยสารตกตะกอนแล้ว ยังมีความเข้มข้นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 อีกทั้งความเข้มข้นของเงิน (Ag) แมกนีเซียม (Mg) และแมงกานีส (Mn) หลังทำการตกตะกอน ด้วยสารตกตะกอนยังคงสูงกว่าในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีเล็กน้อย

5.1.6 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนัก

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักพบว่า ในการใช้สารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุดคือ 7.54 บาทต่อลิตร รองลงมาได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 10.04 บาทต่อลิตร และโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3) 17.54 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ฉะนั้นเมื่อพิจารณาต้นทุนในการบำบัดแล้วการใช้ สารตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ จึงน่าจะประหยัดที่สุด

จากการศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยสารตกตะกอนต่างชนิดกัน จะเห็นว่าผลการทดลองมีความแตกต่างกันบ้าง ซึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี คือ

1. ปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักในน้ำเสียที่จะนำมาบำบัด และการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
2. ชนิดของสารที่จะนำมาใช้เป็นสารตกตะกอน เช่น สารตกตะกอนกลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มไฮดรอกไซด์ หรือกลุ่มซิลิเกต
3. สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น พีเอช ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการละลายของโลหะหนัก หรือปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้
4. ความสามารถในการละลายของเกลือโลหะแต่ละชนิด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากหลังการทำการตกตะกอน โดยสารเคมีแล้วปริมาณความเข้มข้นของปรอท (Hg) ยังคงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม จึงอาจจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำตัวอย่างในขั้นตอนต่อไป เช่น การทำ precoat filter (27) หรือการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพิ่มเติม (29)

2) ในการปรับค่าพีเอชด้วยเศษหินอ่อน จากการสังเกตพบว่าขนาดของหินอ่อนมีผลต่อค่าพีเอช และเวลาที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชกล่าวคือ หินอ่อนขนาดเล็กสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าทำปฏิกิริยาทั่วถึงมากกว่า และทำให้สามารถลดการใช้ปริมาณหินอ่อนลงได้

3) เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอน ควรทดลองนำ

สารตกตะกอนเกรดทางการค้า (commercial grade) มาทำการศึกษาว่าจะให้ผลใกล้เคียงกับสารซึ่งเป็นเกรดในการวิเคราะห์คุณภาพ (analytical grade) หรือไม่

4) ควรนำเทคนิคในการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และนำไปปรับปรุงเทคนิคให้เหมาะสมกับแต่ละห้องปฏิบัติการ

5) เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้มีการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ในการปรับค่าพีเอชและในการตกตะกอนโลหะหนัก จึงทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ในปริมาณมาก แต่เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีมีปริมาณโดยเฉลี่ย 20 ลิตรต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มากนักจึงอาจแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ โดยการเจือจางด้วยน้ำก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ



รายการอ้างอิง

1. ณรงค์ ณ เชียงใหม่. มลพิษสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2525 ; กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, หน้า 7-17.
2. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 (2530 – 2534). กรุงเทพมหานคร : สำนักนายกรัฐมนตรี, 2530.
3. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (2535 – 2539). กรุงเทพมหานคร : สำนักนายกรัฐมนตรี, 2535.
4. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พุทธศักราช 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ; กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535.
5. ฝ่ายทะเบียนและสถิติโรงงานอุตสาหกรรม กองควบคุมโรงงาน. สถิติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2541 : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540.
6. สุรัตน์ เพชรเกษม. การศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ไอดี โดยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล, 2541
7. ศูนย์บริการการกำจัดกากอุตสาหกรรม. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ, มปป.
8. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 5, 2536 ; กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 137
9. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน, 2539.
10. APHA, AWWA, WPCF, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Washington , D.C : American Public Health Association, 1995.
11. กรรณิการ์ สิริสิงห์.เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2, 2525 : หน้า 179-223
12. Gould J.P, Masingale M.Y. , Miller M. . Recovery of Silver and Mercury from COD samples by Iron cementation. Journal Water Pollution Control Federation, March, Part 1 of 2 1984 : 280 - 286
13. บัณฑิต อนุรักษ์. เอกสารประกอบคำบรรยายวิชา พิษวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ : หน้า 46 – 50

14. ไมตรี สุทนต์. สารพิษในสิ่งแวดล้อมและการเกิดมะเร็ง. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : หน้า 46 - 80
15. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาไทย. ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ. กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ : หน้า 1 - 2
16. เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย : หน้า 116 - 119
17. Eckenfelder, W., Wesley, Jr. Principles of Water Quality Management Boston, MA., CBI Publishing Co., Inc., 1980 : 480.
18. Wentz, C.A. Hazardous Waste Management Argonne National Laboratory (1970): 146-149
19. นิตยา สุโพธิ์เงิน. ผลของการใช้สารโพลิเมอร์ในการปรับสภาพกากตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล , 2541.
20. สำราญ เรืองศรี. การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยระบบทรายกรองเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล , 2532.
21. วิเชียร ชุ่มรุ่งเรือง. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาล ระหว่างตัวกรองที่เป็นทรายกรองเร็วกับทรายไม่คัดขนาด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล , 2533.
22. The Eric H. Wang Civil Engineering Research Facility , University of New Mexico. Treatment of Electroplating Waste by Ion Exchange. USA : National Technical Information Service , 1973.
23. นันทนา อธิธิพร โกวิท. การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิลและโครอสต์ลิ่ง-แซนเทดที่ทำจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538.
24. Kongsricharoen N., Polprasert C. Electrochemical Precipitation of Chromium (Cr^{+6}) from an Electroplating Wastewater. Wat.Sci.Tech. 1995 ; 31 (9) : 109 – 117
25. ศิริรัตน์ คงมนต์. การศึกษาการลดปริมาณอลูมิเนียมตกค้างโดยใช้ดินขาวเป็นตัวช่วยตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2532.

26. วิโรจน์ จันทศรี. ประสิทธิภาพของไคโตแซนที่สกัดจากเปลือกกุ้ง สำหรับการกำจัดโครเมียม
ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหุบโลหะที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2538.
27. Okazaki, H. Practice of Hazardous Waste Treatment. Treatment and Disposal of Hazardous
Wastes from Industry: Some Experience. 1983: 99-131
28. สุริรัตน์ ฌมยาศิริกุล. การกำจัดไอออนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอไซด์ด้วยกระบวนการเพอร์ไรต์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
29. Lanouette, K.H. Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering Chemical Engineering.
1977: 116-123.
30. Maruyama, T., Hannah, S.A., Cohen, J.M. Metal removal and Chemical treatment
process. Water Pollution Control Federation 47 May 1975.
31. Orano, E.A.R. Review of the Issues in Hazardous and Toxic Waste Management in
Developing Countries. Water Pollution Control in Asia. 1988: 433-439. -
32. ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์ สำหรับการวิจัยทาง
การประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง
กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ : หน้า 33 - 34
33. Rand G.M., Petrocelli S.R. Fundamentals of Aquatic Toxicology : Methods and
Applications. Hemisphere Publishing Co., New York. 1986.
34. ตำราญ พฤษสุนทร. เคมี เล่ม 3 ฉบับสมบูรณ์ ว 037 กรุงเทพฯ, 2542 : สำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา
: 133-137 หน้า
35. Vernon L. Snoeyink, David Jenkins Water Chemistry New York, John Wiley & Son .
1980 : 265 – 266



ตารางที่ ๙-1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังจากทำการปรับค่าพีเอช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12 นอร์มัล

พารามิเตอร์	น้ำเสียเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณที่เหลือหลังจาก ปรับพีเอช ด้วย NaOH ความเข้มข้น 12 นอร์มัล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณที่ตกตะกอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอน
Ag	0.034	0.008 ± 0.007	0.049	85.96
Hg	0.050 x 10 ³	31.21 ± 0.315	18.779	37.57
Cr	0.050 x 10 ³	33.97 ± 0.486	16.50	32.69
Fe	0.153 x 10 ³	100.59 ± 2.438	52.01	34.08
Mn	0.361 x 10 ³	294.87 ± 8.301	66.36	18.37
Mg	0.059 x 10 ³	39.03 ± 0.448	19.63	33.46
Cd	0.723	0.277 ± 0.036	0.446	61.69

ตารางที่ พ-2 ผลการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เคลือบไฮดรอกไซด์ $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ และ โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na_2SiO_3)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเริ่มต้น (มก./ลิตร)	หลังปรับค่าพีเอชด้วย NaOH 12 N.		ปรับค่าพีเอชด้วยหินอ่อน		ตกตะกอนด้วย Na_2CO_3		ตกตะกอนด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$		ตกตะกอนด้วย Na_2SiO_3	
		ตกตะกอน (มก./ลิตร)	% การตกตะกอน	ตกตะกอน (มก./ลิตร)	% การตกตะกอน	ตกตะกอน (มก./ลิตร)	% การตกตะกอน	ตกตะกอน (มก./ลิตร)	% การตกตะกอน	ตกตะกอน (มก./ลิตร)	% การตกตะกอน
Ag	0.034	0.029	85.96	> 0.007	> 99.99	0.000	0	0	0	0.000	0
Hg	0.050×10^3	18.779	37.57	11.475	36.77	8.62 ± 0.361	43.68	18.974 ± 0.102	96.14	12.422 ± 0.451	62.94
Cr	0.05×10^3	16.500	32.69	30.280	89.14	3.324 ± 0.013	90.08	3.686 ± 0.001	99.89	3.317 ± 0.001	89.89
Fe	0.152×10^3	52.010	34.08	> 100.58	> 99.99	0.000	0	0.000	0	0.000	0
Mn	0.361×10^3	66.360	18.37	53.630	18.19	230.840 ± 0.396	95.69	240.420 ± 0.042	99.66	240.240 ± 0.198	99.58
Mg	0.059×10^3	19.630	33.46	0.940	2.41	12.300 ± 0.707	32.29	32.29 ± 0.003	99.51	37.804 ± 0.008	99.25
Cd	0.723	0.446	61.69	0.202	72.92	> 0.074	> 99.99	> 0.074	> 99.99	> 0.074	> 99.99

ตารางที่ ผ-3 ผลการตกตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีหลังจากทำการปรับค่าเพื่อชดเชยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

พารามิเตอร์	น้ำเสียที่ถูกปรับ	pH 8.0		pH 8.5		pH 9.0		pH 9.5		pH 10.0	
		ปริมาณที่ตกตะกอน	% การตกตะกอน	ปริมาณที่ตกตะกอน	% การตกตะกอน	ปริมาณที่ตกตะกอน	% การตกตะกอน	ปริมาณที่ตกตะกอน	% การตกตะกอน	ปริมาณที่ตกตะกอน	% การตกตะกอน
Ag	* 19.735	* 4.147±0.007	* 21.01	* 4.366±0.031	* 22.12	* 6.483±0.570	* 32.85	* 7.170±0.532	* 36.33	* 11.721±0.171	* 53.39
Hg											
Cr	3.690	2.305±0.061	62.47	2.527±0.233	68.48	3.241±0.016	87.83	3.528±0.007	95.61	3.675±0.001	99.59
Fe	* 241.240	* 0.740±0.891	* 00.31	* 3.340±2.913	* 1.38	* 13.840±1.443	* 5.74	* 101.640±2.447	* 42.13	* 205.240±1.594	* 85.08
Mn											
Mg	38.090	0.550±0.226	01.45	0.880±0.242	2.31	1.640±0.813	4.31	3.240±1.380	8.51	3.550±2.489	9.32
Cd	0.075	0.000	0	0.002±0.013	2.70	0.009±0.013	12.00	0.070±0.001	93.33	0.072±0.001	96.00

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้

ที่ ผ-4 ผลการวิเคราะห์หาฟิเออร์ที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)

ตัวแปร	ฟิเออร์ 8.0			ฟิเออร์ 8.5			ฟิเออร์ 9.0			ฟิเออร์ 9.5			ฟิเออร์ 10.0		
	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
1	15.588	5.435±0.040	65.14	*	*	*	13.252	1.25±0.007	90.57	*	*	*	*	*	*
2	1.385	0.108±0.008	92.2	*	3.345±0.006	78.24	0.449	0.054±0.008	87.97	*	0.549±0.018	95.63	8.014	0.36±0.007	95.51
3	240.5	0.3±0.002	99.88	*	0.081±0.009	93.04	*	*	*	*	0.017±0.002	89.51	0.015	*	> 99.99
4	37.54	27.85±0.11	25.81	*	0.221±0.002	99.91	227.4	0.199±0.013	99.91	*	0.359±0.008	99.74	36	0.374±0.007	98.96
5	0.075	*	> 99.99	0.073	27.12±0.316	27.12	36.45	24.76±0.805	32.07	> 99.99	13.78±0.051	60.46	34.54	6.99±0.082	79.76
6					*	> 99.99	0.066	*	> 99.99	*	*	> 99.99	0.003	*	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้

เ-5 ผลการวิเคราะห์หาฟิเออร์ที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอนแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ [Ca(OH)₂]

ตัว ต่อ	ฟิเออร์ 8.0			ฟิเออร์ 8.5			ฟิเออร์ 9.0			ฟิเออร์ 9.5			ฟิเออร์ 10.0		
	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
1	* 15.588	* 0.707±0.030	* 95.46	* 15.369	* 0.639±0.054	* 95.84	* 13.252	* 0.515±0.016	* 96.11	* 12.565	* 1.178±0.021	* 90.62	* 8.014	* 0.342±0.019	* 95.73
	1.385	*	> 99.99	1.163	*	> 99.99	0.449	*	> 99.99	0.162	*	> 99.99	0.015	*	> 99.99
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	240.50	0.310±0.034	99.87	237.90	0.275±0.050	99.88	227.40	0.309±0.041	99.86	139.6	0.182±0.002	99.87	36.00	0.077±0.020	99.79
5	37.54	*	> 99.99	37.21	*	> 99.99	36.45	*	> 99.99	34.85	*	> 99.99	34.54	*	> 99.99
	0.075	*	> 99.99	0.073	*	> 99.99	0.066	*	> 99.99	0.005	*	> 99.99	0.003	*	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้

ที่ ผ-6 ผลการวิเคราะห์หาฟิเออร์ที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยสารตกตะกอน โซเดียมเมตาซิลิเกต (Na₂SiO₃)

iเตอร์	ฟิเออร์ 8.0			ฟิเออร์ 8.5			ฟิเออร์ 9.0			ฟิเออร์ 9.5			ฟิเออร์ 10.0		
	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
g	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
g	15.588	1.725±0.024	88.96	15.369	2.689±0.031	82.50	13.252	0.975±0.011	92.64	12.565	1.167±0.010	90.71	8.014	0.342±0.013	95.73
r	1.385	0.069±0.011	95.02	1.163	0.029±0.004	97.51	0.449	0.025±0.013	94.43	0.162	0.022±0.006	86.42	0.015	< 0.001	> 99.99
u	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
n	240.50	0.308±0.040	99.87	237.90	0.275±0.014	99.88	227.40	0.309±0.031	99.86	139.6	0.182±0.009	99.87	36.00	0.077±0.016	99.79
g	37.54	*	> 99.99	37.21	*	> 99.99	36.45	*	> 99.99	34.85	*	> 99.99	34.54	*	> 99.99
d	0.075	*	> 99.99	0.073	*	> 99.99	0.066	*	> 99.99	0.005	*	> 99.99	0.003	*	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้



ตารางที่ ผ-7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) เพื่อใช้ในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีที่พีเอช 9.0

พารามิเตอร์	ปริมาณ ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	0.0 กรัม/ลิตร		2.5 กรัม/ลิตร		5.0 กรัม/ลิตร		7.5 กรัม/ลิตร		10.0 กรัม/ลิตร	
		หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
Ag	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hg	13.252	13.252±0.041	0	10.477±0.0280	20.94	9.485±0.029	28.43	7.850±0.048	40.76	1.250±0.028	90.57
Cr	0.449	0.449±0.010	0	0.261±0.009	41.87	0.265±0.543	40.98	0.257±0.011	42.76	0.054±0.457	87.97
Fe	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mn	227.40	227.40±0.740	0	1.153±0.321	99.49	0.610±0.081	99.73	0.383±0.456	99.83	0.199±0.982	99.91
Mg	36.45	36.45±0.321	0	34.89±0.690	4.28	34.02±0.654	6.67	33.95±0.185	6.86	24.76±0.124	32.07
Cd	0.066	0.066±0.002	0	0.028±0.010	57.58	0.059±0.012	10.61	0.065±0.006	1.52	< 0.001	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้

ตารางที่ ผ-8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [Ca(OH)₂] เพื่อใช้ในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีที่พีเอฟเอช 9.0

พารามิเตอร์	ปริมาณ (มก./ลิตร)	0.0 กรัม/ลิตร		2.5 กรัม/ลิตร		5.0 กรัม/ลิตร		7.5 กรัม/ลิตร		10.0 กรัม/ลิตร	
		หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
Ag	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hg	13.252	13.252	0	1.305±0.574	90.15	1.324±0.741	90.01	1.803±0.530	86.39	0.515±0.630	96.11
Cr	0.449	0.449	0	0.010±0.031	97.77	0.003±0.293	99.33	0.003±0.051	99.33	< 0.001	> 99.99
Fe	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mn	227.40	227.40	0	0.027±0.026	99.99	0.045±0.451	99.98	0.019±0.843	99.99	0.309±0.330	99.86
Mg	36.45	36.45	0	*	> 99.99	*	> 99.99	*	> 99.99	*	> 99.99
Cd	0.066	0.066	0	0.033±0.002	50.0	0.039±0.012	40.91	0.035±0.024	46.97	*	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้

ตารางที่ ผ-9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมของโซเดียมเมตาซิลิเกต (Na₂SiO₃) เพื่อใช้ในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีที่พีเอช 9.0

พารามิเตอร์	ปริมาณ ก่อนตกตะกอน (มก./ลิตร)	0.0 กรัม/ลิตร		2.5 กรัม/ลิตร		5.0 กรัม/ลิตร		7.5 กรัม/ลิตร		10.0 กรัม/ลิตร	
		หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน	หลังตกตะกอน (มก./ลิตร)	% ตกตะกอน
Ag	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hg	13.252	13.252	0	6.936±0.730	47.66	5.310±0.630	59.93	4.129±0.430	68.84	0.975±0.086	92.64
Cr	0.449	0.449	0	0.257±0.430	42.76	0.247±0.041	44.99	0.104±0.020	76.84	< 0.001	> 99.99
Fe	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mn	227.40	227.40	0	0.103±0.131	99.95	0.027±1.012	99.97	0.074±0.030	99.67	0.309±0.241	99.86
Mg	36.45	36.45	0	10.83±0.053	70.29	*	> 99.99	*	> 99.99	*	> 99.99
Cd	0.066	0.066	0	0.011±0.018	83.33	0.015±0.006	77.27	0.038±0.003	42.42	*	> 99.99

* = ความเข้มข้นต่ำกว่าความสามารถของเครื่อง ICP จะวัดได้



(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่กำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาแต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution) ” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ที่ดินเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าที่ดินเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าที่ดินเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ดินเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่ กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2 เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5 อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6 โครเมียม (Chromium)	
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7 บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8 นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อ ลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอรัมัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
(8) สารประกอบฟีนอล (Phenol)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
(9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
(10) เพสตีไซด์ (Pesticide)	ต้องไม่มี
(11) อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
(12) สี	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
(13) กลิ่น	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่

ที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่า สังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเรกต์แอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิซัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัปเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิกและเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride

Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชั่น สเปกโตรสโกปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน โคลด์ เวปอร์ เทคนิก (Atomic Absorption Cold Vapor Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไทเตรท (titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธีไพรีดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธีไพรีดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association , American Water Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สำเนาถูกต้อง

(นายเสถียร วีรวงศ์)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539



Ag

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		0.000	2	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	1.04E-39	1	1.04E-39
			Deviation	0.000	1	0.000
				0.000	6	0.000
	Total			0.000	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		.	
	Groups	Linear Term	Contrast	.	
			Deviation	.	
				.	
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.

Hg

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	11.11467	0.2555	0.14751
		Ca(OH) ₂	3	0.761	7.20E-02	4.16E-02
		Na ₂ SiO ₃	3	7.313	0.319	0.18417

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	10.47996	11.74937	10.859	11.37
		Ca(OH) ₂	0.58214	0.93986	0.689	0.833
		Na ₂ SiO ₃	6.52055	8.10545	6.994	7.632
		Total	2.90614	9.8863	0.689	11.37

ANOVA

			Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups	(Combined)	164.58	2	82.29
		Linear Term	21.679	1	21.679
		Contrast Deviation	142.901	1	142.901
	Within Groups		0.344	6	5.74E-02
	Total		164.924	8	

			F	Sig.
concentration	Between Groups	(Combined)	1433.411	0.000
		Linear Term	377.627	0.000
		Contrast Deviation	2489.194	0.000
	Within Groups			
	Total			

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	10.35367*	0.196	0.000	9.87497	10.83236
	Na ₂ SiO ₃	3.80167*	0.196	0.000	3.32297	4.28036
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-10.35367*	0.196	0.000	-10.83236	-9.87497
	Na ₂ SiO ₃	-6.55200*	0.196	0.000	-7.0307	-6.0733
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-3.80167*	0.196	0.000	-4.28036	-3.32297
	Ca(OH) ₂	6.55200*	0.196	0.000	6.0733	7.0307

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Cr

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	0.366	9.00E-03	5.20E-03
		Ca(OH) ₂	3	4.00E-03	1.00E-03	5.77E-04
		Na ₂ SiO ₃	3	0.373	1.00E-03	5.77E-04

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	0.34364	0.38836	0.357	0.375
		Ca(OH) ₂	1.52E-03	6.48E-03	0.003	0.005
		Na ₂ SiO ₃	0.37052	0.37548	0.372	0.374
		Total	0.10713	0.3882	0.003	0.375

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		0.267	2	0.134
	Groups	Linear Term	Contrast	7.35E-05	1	7.35E-05
		Deviation_		0.267	1	0.267
	Within Groups			1.66E-04	6	2.77E-05
	Total			0.267	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		4829.892	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	2.657	0.154
		Deviation		9657.127	0.000
	Within Groups				
Total					

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.36200*	0.004	0.000	0.35149	0.37251
	Na ₂ SiO ₃	-0.00700	0.004	0.154	-1.75E-02	3.51E-03
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.36200*	0.004	0.000	-0.37251	-0.35149
	Na ₂ SiO ₃	-0.36900*	0.004	0.000	-0.37951	-0.35849
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00700	0.004	0.154	-3.51E-03	1.75E-02
	Ca(OH) ₂	0.36900*	0.004	0.000	0.35849	0.37951

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Fe

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std.Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		0.000	2	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	1.04E-39	1	1.04E-39
		Deviation		0.000	1	0.000
	Within Groups			0.000	6	0.000
	Total			0.000	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		.	
	Groups	Linear Term	Contrast	.	
		Deviation		.	
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.

Mn

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std.Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	10.4	0.28	0.16166
		Ca(OH) ₂	3	0.82	3.00E-02	1.73E-02
		Na ₂ SiO ₃	3	1	0.14	8.08E-02

			95 % Confidence Interval		Minimum	Maximum
			for Mean			
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	9.70443	11.09557	10.12	10.68
		Ca(OH) ₂	0.74548	0.89452	0.79	0.85
		Na ₂ SiO ₃	0.65222	1.34778	0.86	1.14
		Total	0.42351	7.72315	0.79	10.68

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		180.169	2	90.084
	Groups	Linear Term	Contrast	132.54	1	132.54
		Deviation		47.629	1	47.629
				0.198	6	3.30E-02
	Total			180.367	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		2732.59	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	4020.425	0.000
		Deviation		1444.756	0.000
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	9.58000*	0.148	0.000	9.21725	9.94275
	Na ₂ SiO ₃	9.40000*	0.148	0.000	9.03725	9.76275
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-9.58000*	0.148	0.000	-9.94275	-9.21725
	Na ₂ SiO ₃	-0.18000	0.148	0.000	-0.54275	0.18275
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-9.40000*	0.148	0.000	-9.76275	-9.03725
	Ca(OH) ₂	0.18000	0.148	0.000	-0.18275	0.54275

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Mg

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	25.79	0.5	0.28868
		Ca(OH) ₂	3	0.186	2.00E-03	1.16E-03
		Na ₂ SiO ₃	3	0.286	6.00E-03	3.46E-03

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	24.54792	27.03208	25.29	26.29
		Ca(OH) ₂	0.18103	0.19097	0.184	0.188
		Na ₂ SiO ₃	0.2711	0.3009	0.28	0.292
		Total	-1.0692	18.5772	0.184	26.29

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		1306.029	2	653.014
	Groups	Linear Term	Contrast	975.681	1	975.681
		Deviation		330.348	1	330.348
		Within Groups		0.5	6	8.34E-02
	Total		1306.529	8		

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		7834.919	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	11706.299	0.000
		Deviation		3963.54	0.000
		Within Groups			
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	25.60400*	0.236	0.000	25.02721	26.18079
	Na ₂ SiO ₃	25.50400*	0.236	0.000	24.92721	26.08079
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-25.60400*	0.236	0.000	-26.18079	-25.02721
	Na ₂ SiO ₃	-0.10000	0.236	0.000	-0.67679	0.47679
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-25.50400*	0.236	0.000	-26.08079	-24.92721
	Ca(OH) ₂	0.10000	0.236	0.000	-0.47679	0.67679

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Cd

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std.Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		0.000	2	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	1.04E-39	1	1.04E-39
	-	-	Deviation	0.000	1	0.000
	Within Groups			0.000	6	0.000
	Total			0.000	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		.	
	Groups	Linear Term	Contrast	.	
	-	-	Deviation	.	
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.

Ag

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.00000	0.00000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.00000	0.00000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.00000	0.00000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

					Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups	(Combined)			0.000	2	0.000
		Linear Term	Contrast		1.04E-39	1	1.04E-39
			Deviation		0.000	1	0.000
	Within Groups				0.000	6	0.000
	Total				0.000	8	

					F	Sig.
concentration	Between Groups	(Combined)			.	
		Linear Term	Contrast		.	
			Deviation		.	
	Within Groups					
	Total					

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.

Hg

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.24967	6.66E-03	3.84E-03
		Ca(OH) ₂	3	0.515	1.57E-02	9.07E-03
		Na ₂ SiO ₃	3	97733	1.05E-02	6.06E-03

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.23313	0.126621	1.244	1.257
		Ca(OH) ₂	0.47596	0.55404	0.498	0.529
		Na ₂ SiO ₃	0.95124	1.00343	0.967	0.988
		Total	0.66664	1.16136	0.498	1.257

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration		(Combined)		0.828	2	0.414
	Groups	Linear Term	Contrast	0.111	1	0.111
		Deviation		0.716	1	0.716
		Within Groups		8.03E-04	6	1.34E-04
	Total		0.828	8		

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		3090.819	0.000
	Groups	Linear Term	Contrast	830.899	0.000
		Deviation		5350.739	0.000
		Within Groups			
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.73467*	0.009	0.000	0.71155	0.75778
	Na ₂ SiO ₃	0.27233*	0.009	0.000	0.24922	0.29545
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-0.73467*	0.009	0.000	-0.75778	-0.71155
	Na ₂ SiO ₃	-0.46233*	0.009	0.000	-0.48545	-0.43922
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-0.27233*	0.009	0.000	-0.29545	-0.24922
	Ca(OH) ₂	0.46233*	0.009	0.000	0.43922	0.48545

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Cr

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	0.39467	0.00815	0.00470
		Ca(OH) ₂	3	0.00167	0.00116	0.00067
		Na ₂ SiO ₃	3	0.02500	0.01253	0.00723

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	0.37443	0.4149	0.389	0.404
		Ca(OH) ₂	-1.20E-03	4.54E-03	0.001	0.003
		Na ₂ SiO ₃	-6.13E-03	5.61E-02	0.013	0.038
		Total	-6.43E-03	0.28732	0.001	0.404

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups	(Combined)		0.292	2	0.146
		Linear Term		0.205	1	0.205
		Contrast		8.67E-02	1	8.67E-02
	Within Groups	Deviation		4.49E-04	6	7.49E-05
		Total		0.292	8	

				F	Sig.
concentration	Between Groups	(Combined)		1947.197	0.000
		Linear Term		2737.124	0.000
		Contrast		1157.271	0.000
	Within Groups	Deviation			
		Total			

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	-0.39300*	0.007	0.000	0.37571	0.41029
	Na ₂ SiO ₃	-0.36967*	0.007	0.000	0.35238	0.38696
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-0.39300*	0.007	0.000	-0.41029	-0.37571
	Na ₂ SiO ₃	-0.02333*	0.007	0.000	-0.04060	-0.00604
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-0.36967*	0.007	0.000	-0.38696	-0.35238
	Ca(OH) ₂	0.023333*	0.007	0.000	0.00604	0.04062

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Fe

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

					Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups	(Combined)			0.000	2	0.000
		Linear Term	Contrast		1.04E-39	1	1.04E-39
			Deviation		0.000	1	0.000
	Within Groups				0.000	6	0.000
	Total				0.000	8	

				F	Sig.
concentration	Between Groups	(Combined)		.	
		Linear Term	Contrast	.	
			Deviation	.	
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1	.a	.

Mn

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	0.199	1.31E-02	7.57E-03
		Ca(OH) ₂	3	0.30933	4.10E-02	2.37E-02
		Na ₂ SiO ₃	3	0.309	3.14E-02	1.82E-02

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	0.16642	0.23158	0.187	0.213
		Ca(OH) ₂	0.20744	0.41122	0.269	0.351
		Na ₂ SiO ₃	0.23092	0.38708	0.281	0.343
		Total	0.22541	0.31948	0.187	0.351

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups	(Combined)		2.43E-02	2	1.24E-02
		Linear Term	Contrast	1.82E-02	1	1.82E-02
			Deviation	6.12E-03	1	6.12E-03
	Within Groups			5.69E-03	6	9.47E-04
	Total			2.97E-02	8	

				F	Sig.
concentration	Between Groups	(Combined)		12.81	0.007
		Linear Term	Contrast	19.157	0.005
			Deviation	6.463	0.044
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	-0.11033*	0.025	0.005	-0.17183	-4.88E-02
	Na ₂ SiO ₃	-0.11000*	0.025	0.005	-0.1715	-4.85E-02
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.11033*	0.025	0.005	4.88E-02	0.18183
	Na ₂ SiO ₃	0.00033	0.025	0.99	-6.12E-02	6.18E-02
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.11000*	0.025	0.005	4.85E-02	0.115
	Ca(OH) ₂	-0.00033	0.025	0.99	-6.18E-02	6.12E-02

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Mg

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	24.76	0.80505	0.46479
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	22.76013	26.75987	23.96	25.57
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	-1.26675	17.77475	0.001	0.57

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between	(Combined)		1226.016	2	613.008
	Groups	Linear Term	Contrast	919.512	1.00E+00	919.512
			Deviation	306.504	1.00E+00	306.504
	Within Groups			1.296	6	0.216
	Total			1227.312	8	

				F	Sig.
concentration	Between	(Combined)		2837.562	0.00000
	Groups	Linear Term	Contrast	4256.344	0.00000
			Deviation	1418.781	0.00000
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	24.75900*	0.380	0.000	23.83039	25.68761
	Na ₂ SiO ₃	24.75900*	0.380	0.000	23.83039	25.68761
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	-24.75900*	0.380	0.000	-25.68761	-23.83039
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.380	1.000	-0.92861	0.92861
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	-24.75900*	0.380	0.000	-25.68761	-23.83039
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.380	1.000	-0.92861	0.92861

* = The Mean difference is significant at the .05 level

Cd

Oneway Analysis

			N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Ca(OH) ₂	3	1.00E-03	0.000	0.000
		Na ₂ SiO ₃	3	1.00E-03	0.000	0.000

			95 % Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
			Lower Bound	Upper Bound		
concentration	chemical	Na ₂ CO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Ca(OH) ₂	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Na ₂ SiO ₃	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001
		Total	1.00E-03	1.00E-03	0.001	0.001

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square
concentration	Between Groups		(Combined)	0.000	2	0.000
		Linear Term	Contrast	1.04E-39	1	1.04E-39
		Deviation		0.000	1	0.000
	Within Groups			0.000	6	0.000
	Total			0.000	8	

				F	Sig.
concentration	Between Groups		(Combined)	.	
		Linear Term	Contrast	.	
		Deviation		.	
	Within Groups				
	Total				

Multiple Comparisons

Chemical	Chemical	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Na ₂ CO ₃	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Na ₂ SiO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
Na ₂ SiO ₃	Na ₂ CO ₃	0.00000	0.000	1.000	.a	.
	Ca(OH) ₂	0.00000	0.000	1.000	.a	.



การคำนวณค่าความสามารถในการละลาย (Ksp)

ค่า Ksp หมายถึง ค่าคงที่ผลคูณของการละลาย ซึ่งสารประกอบใดที่มีค่า Ksp มากจะละลายน้ำได้ดีกว่าสารประกอบที่มีค่า Ksp น้อยกว่า

ตัวอย่าง ในการคำนวณค่า Ksp ของ HgCO_3 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$ และ HgSiO_3

HgCO_3



จากขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน Na_2CO_3 พบว่ามีปริมาณตะกอน

$\text{HgCO}_3 = 8.62$ มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} \text{สูตรโมเลกุลของ } \text{HgCO}_3 &= 201 + 12 + (16 \times 3) \\ &= 261 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HgCO}_3 = 8.62 \text{ มิลลิกรัม คิดเป็นจำนวนโมล} &= \frac{0.00862}{261} \\ &= 3.303 \times 10^{-5} \text{ โมล} \end{aligned}$$

จากสมการ (1)

เมื่อ HgCO_3 ละลายได้ 1 โมล จะได้ Hg^{2+} 1 โมล และ CO_3^{2-} 1 โมล

HgCO_3 ละลายได้ 3.303×10^{-5} โมล จะได้ Hg^{2+} 3.303×10^{-5} โมล

และ CO_3^{2-} 3.303×10^{-5} โมล

$$\begin{aligned} K_{sp} &= [\text{Hg}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] \\ &= (3.303 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}) \times (3.303 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}) \\ &= 1.091 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$$\text{ฉะนั้นค่า } K_{sp} \text{ ของ } \text{HgCO}_3 = 1.091 \times 10^{-9}$$

$\text{Hg}(\text{OH})_2$



จากขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ พบว่ามีปริมาณตะกอน

$\text{Hg}(\text{OH})_2 = 18.974$ มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned}\text{สูตรโมเลกุลของ } \text{Hg}(\text{OH})_2 &= 201 + (16 \times 2) + (1 \times 2) \\ &= 235\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hg}(\text{OH})_2 = 18.974 \text{ มิลลิกรัม คิดเป็นจำนวนโมล} &= \frac{0.018974}{235} \\ &= 8.07 \times 10^{-5} \text{ โมล}\end{aligned}$$

จากสมการ (2)

เมื่อ $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ละลายได้ 1 โมล จะได้ Hg^{2+} 1 โมล และ $(\text{OH})^-$ 2 โมล

$\text{Hg}(\text{OH})_2$ ละลายได้ 8.07×10^{-5} โมล จะได้ Hg^{2+} 8.07×10^{-5} โมล และ

$(\text{OH})^- [(8.07 \times 10^{-5}) \times 2]$ โมล

$$\begin{aligned}K_{sp} &= [\text{Hg}^{2+}] [(\text{OH})^-]^2 \\ &= (8.07 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}) (1.615 \times 10^{-4} \text{ โมล/ลิตร})^2 \\ &= 2.10 \times 10^{-12} \text{ โมล}\end{aligned}$$

ฉะนั้นค่า K_{sp} ของ $\text{Hg}(\text{OH})_2 = 2.10 \times 10^{-12}$



จากขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสารตกตะกอน Na_2SiO_3 พบว่ามีปริมาณตะกอน

$\text{HgSiO}_3 = 12.422$ มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned}\text{สูตรโมเลกุลของ } \text{HgSiO}_3 &= 201 + 28.4 + (16 \times 3) \\ &= 277.4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hg SiO}_3 = 12.422 \text{ มิลลิกรัม คิดเป็นจำนวนโมล} &= \frac{0.012422}{277.4} \\ &= 4.478 \times 10^{-5} \text{ โมล}\end{aligned}$$

จากสมการ (3)

เมื่อ Hg SiO_3 ละลายได้ 1 โมล จะได้ Hg^{2+} 1 โมล และ SiO_3^{2-} 1 โมล

Hg SiO_3 ละลายได้ 4.478×10^{-5} โมล จะได้ Hg^{2+} 4.478×10^{-5} โมล และ SiO_3^{2-} (4.478×10^{-5}) โมล

$$\begin{aligned} K_{sp} &= [\text{Hg}^{2+}] [\text{SiO}_3^{2-}] \\ &= (4.478 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}) (4.478 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}) \\ &= 2.005 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

ฉะนั้นค่า K_{sp} ของ Hg SiO_3 = 2.005×10^{-9}





ชื่อ

นางชุตินธร มุลทองน้อย

วัน เดือน ปีเกิด

13 สิงหาคม 2508

สถานที่เกิด

จังหวัดนครปฐม

ประวัติการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, พ.ศ. 2532-2535

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีพลาสติก)

มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2539-2543

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสม
เพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

ตำแหน่ง : นักวิทยาศาสตร์ 6