สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

นายจักรี เผ่าพันธ์
นายประพฤทธิ์ วงศ์วิญญูตระการ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37640
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Heavy Metal form Industrial Wastewater by A Rotary Electrochemical Reactor

Mr. Jagkree Powpan

Mr. Praprut Wongwin-utrakarn

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of Bachelor Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ : การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

นักศึกษา : นายจักรี เผ่าพันธ์
นายประพฤทธิ์ วงศ์วิญญูตระการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

ภาควิชา : เคมี

ปีการศึกษา : 2542

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักทองแดงจากน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยอาศัยหลักการทางเคมีไฟฟ้า ในโครงงานพิเศษฉบับนี้ได้ทดลองบำบัดโลหะหนักทองแดงโดยใช้วิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน ในการศึกษาได้นำน้ำเสียอุตสาหกรรมล้างท่อแอร์และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะทองแดง ที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเฉลี่ย 11,115 พีพีเอ็ม และ 11,413 พีพีเอ็ม มาบำบัดด้วยวิธีทางเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนตามลำดับ มีสภาวะที่ใช้ศึกษาในเซลล์เคมีไฟฟ้าดังนี้ ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ค่าความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่เท่ากับ 43.33 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร กระแสไฟฟ้าที่ใช้คงที่ที่ 13 แอมแปร์ ปริมาตรน้ำเสีย 0.5 ลิตร เวลาที่ใช้ศึกษา 60 นาที และสภาวะที่ใช้ในการศึกษาด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนดังนี้ ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ค่าความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่เท่ากับ 0.12 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 19 แอมแปร์ ปริมาตรน้ำเสีย 6 ลิตร เวลาที่ใช้ศึกษา 60 และ 120 นาที จะพบว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในการบำบัดคิดเป็น 36.53 และ 28.88 เปอร์เซ็นต์ อัตราการลดลงของโลหะทองแดงเท่ากับ 427.07 และ 316.26 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์ในเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Removal of Copper form Industrial Wastewater by A Rotary Electrochemical Reactor
Name	Mr.Jagkree Powpan
	Mr.praprut Wongwin-yutarkran
Special Project Advisor	Pitsamai Chairat-utai
	Krongkaew Tippayasak
Department	Chemistry
Academic Year	1999

Abstract

Treatment of industrial wastewater by electrochemical method were studied . Wastewater from cleaning copper and brass, a part of air condition, were studied by the two methods, electrochemical cell and rotary electrochemical reactor. The average copper concentration in wastewater which used in those method were 11,115 and 11,413 ppm respectively, The condition in the electrochemical cell were set as the following; pH 2, volume of wastewater 0.5 liter , current density 43.33 Ampere per dm^2 , and constant current 13 Ampere . The other method conditions were set as pH 2 , volume of wastewater 6.0 liter, current density 0.12 Ampere per dm^2 and steady current 19 Ampere. After direct current (DC) passed through wastewater 60 and 120 minutes in electrochemical cell and reactor respectively. The energy efficiency were 36.53 and 28.88 % , the mass of copper that were treat are 427.07 and 316.26 mg per hour – Ampere in electrochemical cell and reactor respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะของอาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์และอาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ที่เสียสละเวลาในการเป็นกรรมการคุมสอบและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ซึ่งทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณ คุณชัยกฤษณ์ ธัญพิทยากุล มหาบัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางและดูแลเอาใจใส่ในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ รวมถึงการช่วยหาข้อมูลและแก้ไขข้อบกพร่องของโครงงานจนโครงงานพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอบพระคุณ คุณสุวัฒน์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีตลอดเจ้าหน้าที่อื่นๆในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์สารเคมีที่ใช้และการดำเนินการอื่นๆในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง เพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจและช่วยสนับสนุนในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด

จักรี เผ่าพันธ์

ประพฤทธิ์ วงศ์วิญญูตระการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข.
กิตติกรรมประกาศ	ค.
สารบัญตาราง	ง.
สารบัญรูปภาพ	ฉ.
บทที่ 1 บทนำ	1.
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1.
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1.
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2.
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2.
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2.
บทที่ 2 ทฤษฎี	3.
2.1 แหล่งกำเนิดและชนิดของน้ำเสีย	3.
2.2 เทคโนโลยีในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	4.
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักทองแดง	5.
2.4 ทฤษฎีและหลักการกำจัดโลหะหนักด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	7.
2.5 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโตรไลซีส	11.
2.6 หลักการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	13.
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	15.
3.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ทำการศึกษา	15.
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15.
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16.
3.4 วิธีการทดลอง	16.
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	19.
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	35.
5.1 สรุปผลการทดลอง	35.
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	36.
5.3 ข้อเสนอแนะ	37.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	38.
ภาคผนวก ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	40.
ภาคผนวก ข. แสดงการคำนวนค่าต่าง ๆ	46.
ภาคผนวก ค. โลหะหนักทองแดง	50.
ภาคผนวก ง. การส่งผ่านมวล	55.
ภาคผนวก จ. คำจำกัดความ	57.
ภาคผนวก ฉ. มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม	58.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรม ในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1 19.

ตารางที่ 4.2 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรม ในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2 21.

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1 23.

ตารางที่ 4.4 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2 25.

ตารางที่ 4.5 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 3 27.

ตารางที่ 4.6 แสดงผลความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทองแดงในน้ำเสีย อุตสาหกรรมในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าและแบบเครื่อง ปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน 29.

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของโลหะโครเมียมที่ละลายออกมาจากขั้วแอโนด ของเซลล์เคมีไฟฟ้า 32.

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของโลหะโครเมียมที่ละลายออกมาจากขั้วแอโนด ของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน 33.

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง ระหว่างวิธีทางเคมีไฟฟ้ากับวิธีการตกตะกอนทางเคมี 34.

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของทั้ง 2 วิธี 36.

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า ครั้งที่ 1 40.

ตารางที่ ก.2 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า ครั้งที่ 2 41.

ตารางที่ ก.3 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 1 41.

ตารางที่ ก.4 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2 42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ก.5	บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 3	43.
ตารางที่ ก.6	บันทึกผลปริมาณโลหะสังกะสีต่อระยะเวลาในการบำบัด ด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า	43.
ตารางที่ ก.7	บันทึกผลปริมาณโลหะสังกะสีต่อระยะเวลาในการบำบัด ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	44.
ตารางที่ ก.8	บันทึกผลปริมาณโลหะโครเมียมต่อระยะเวลาในการบำบัด ด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า	44.
ตารางที่ ก.9	บันทึกผลปริมาณโลหะโครเมียมต่อระยะเวลาในการบำบัด ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	45.
ตารางที่ ค.1	แสดงข้อมูลศักดิ์ไฟฟ้าอิเลคโทรดมาตรฐานของทองแดง	52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์ไฟฟ้า	8.
รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	14.
รูปที่ 2.3 แสดงเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง	14.
รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1	20.
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2	22.
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 1	24.
รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2	26.
รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 3	28.
รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้า	30.
รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	30.
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ	31.
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนที่เวลาต่าง ๆ	31.
รูปที่ 4.10 แสดงผลความเข้มข้นของโครเมียมต่อเวลาในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้า	32.
รูปที่ 4.11 แสดงผลความเข้มข้นของโครเมียมต่อเวลาในการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน	33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักทองแดงปนเปื้อนอยู่ โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสืบค้นและศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาหลักพื้นฐานทางเคมีไฟฟ้า หลักการของกระบวนการทางอิเล็กโทรลิซีส เพื่อนำมาใช้ในโครงงาน ศึกษารูปแบบเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่ใช้หลักการเดียวกันเพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียทางเคมีมากที่สุด

ขั้นที่ 2 การทดลองและหาประสิทธิภาพของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนโดยใช้น้ำเสียอุตสาหกรรมล้างท่อแอร์ที่มีความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ย 11,000 พีพีเอ็ม

ขั้นที่ 3 ประมวลผลการทดลองสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. น้ำเสียที่นำมาทดลองได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทล้างชิ้นส่วนท่อแอร์
2. โลหะหนักที่ศึกษาคือ ทองแดง (Cu)

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้

1. สามารถประยุกต์ใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมได้
2. ช่วยลดมลภาวะทางน้ำเนื่องจากโลหะหนัก
3. ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้วิธีการอื่นบำบัดเนื่องจากต้องใช้สารเคมีในการตกตะกอนและฝังกลบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 แหล่งกำเนิดและชนิดของน้ำเสีย

แหล่งที่มาของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะคือ สารละลายที่ใช้แล้วจากขบวนการผลิต หมายถึง สารละลายที่ใช้ในการชุบที่ใช้แล้วจากถังชุบ ซึ่งมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูง แต่จะมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มีการระบายทิ้ง น้ำชะล้างต่าง ๆ หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากขบวนการชะล้างต่าง ๆ จึงมีความเข้มข้นของโลหะต่ำกว่าน้ำเสียจากขบวนการผลิต ซึ่งเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงานประเภทนี้ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม น้ำล้างพื้นและน้ำล้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิต ของเสียที่เกิดจากการชุบเคลือบผิวโลหะ หลังจากการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าได้หมดสภาพลง เรซินที่ใช้ หรือ สารละลายที่ใช้ในการฟื้นสภาพเรซิน จะปนเปื้อนออกมากับน้ำทิ้งได้

นอกจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียแล้ว ในขบวนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบจะมีการใช้น้ำกรดเพื่อขัดผิวชิ้นงานก่อนชุบให้สะอาด ซึ่งเป็นลักษณะของน้ำเสียที่นำมาศึกษาในโครงงานนี้(ค่าพีเอชประมาณ 2 – 3) และน้ำด่าง (ค่าพีเอช ประมาณ 8 – 10) เพื่อกำจัดคราบไขมัน น้ำมัน (ศนิชาและคณะ 2541) ความเป็นพิษของโลหะหนักที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ เช่น ทำให้แหล่งน้ำเสีย ไม่สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้ ผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์โดยโลหะหนักบางชนิดในปริมาณต่ำสามารถกระตุ้นให้การทำงานดีขึ้นเช่น ทองแดง สังกะสี เป็นต้น แต่จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เมื่อมีปริมาณสูง จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุดโดยเฉพาะโลหะโครเมียมและแคดเมียม ผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยตรง ผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ เช่น เกิดการขาดแคลนอาหารเนื่องจากห่วงโซ่อาหารในน้ำถูกทำลาย เกิดผลกระทบต่อการประกอบอาชีพของมนุษย์ที่อาศัยแหล่งน้ำทำมาหากิน และโรคภัยต่าง ๆ ซึ่งขึ้นกับชนิดของโลหะหนัก

โครเมียม (Cr)

สารประกอบของโครเมียมประจุหกทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง ไอกรดโครมิกเป็นอันตรายต่อทางเดินหายใจ

ทองแดง (Cu)

ทำให้เกิดโรค Wilson Disease (เป็นความผิดปกติเนื่องจากมีระดับทองแดงสะสมอยู่ในร่างกายมาก กรณีที่เกิดอุบัติเหตุร่างกายได้รับทองแดงเข้าไปมาก ซึ่งจะเกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลันคือ อาเจียน ท้องร่วง ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และอาจทำให้เสียชีวิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิล (Ni)

นิกเกิลและนิกเกิลคาร์บอนิลที่ใช้เป็นสารประกอบในการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ การแพร่กระจายของนิกเกิลในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันที่ผิวหนัง

สังกะสี (Zn)

จัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษต่ำ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากจะเกิดพิษต่อร่างกายได้ ทำให้เกิดอาการ ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน เกิดการผุกร่อนของเยื่อบุทางเดินอาหาร ไตไม่ทำงาน โลหิตจาง ช็อก และอาจถึงตายได้

2.2 เทคโนโลยีในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีโลหะหนักอยู่นั้น สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้

1. **การตกตะกอนผลึก** เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะหนักที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปโลหะของแข็ง (Solid) สามารถทำได้ โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้
   - 1.1 การเติมสารละลายเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรง เกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ
   - 1.2 การเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับค่าพีเอช
   - 1.3 การเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบของโลหะนั้นมีค่าความสามารถในการละลายน้ำลดลง

2. **การรวมตะกอน** เป็นกระบวนการในการทำให้ตะกอนรวมตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น

3. **การตกตะกอน** เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของแข็งออกจากน้ำ โดยสารประกอบโลหะหนักที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ สามารถตกตะกอนได้เร็วโดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการตกตะกอนผลึก และการรวมตะกอน

4. **การกรอง** เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็ก และแขวนลอย ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

5. **ออกซิเดชันและรีดักชัน** เป็นกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนค่าเลขประจุเพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น โครเมียม (VI) เป็นโครเมียม (III)

6. **กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ** (ion exchange) เป็นกระบวนการทางเคมี น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีประจุบวกหรือสารประกอบที่มีประจุลบ เมื่อผ่านเรซิน ก็จะถูกจับไว้ในเรซิน ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียสังเคราะห์ทองแดงซัลเฟตความเข้มข้นเฉลี่ย 117.3 ,1,002.0 พีพีเอ็ม ลดลงจนเหลือความเข้มข้นเฉลี่ย 0.7 , 4.3 พีพีเอ็มตามลำดับและน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมความเข้มข้นของโลหะทองแดงไอออนเฉลี่ยเท่ากับ 99.97 และ 871.5 พีพีเอ็ม ลดลงเหลือ 0.75 และ 2.3 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

2.4 ทฤษฎีและหลักการกำจัดโลหะหนักด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนเป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการบำบัดน้ำเสียโดยมีหลักการทางเคมีไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่าเซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเคมีเรียกว่า อิเล็กโตรไลซีส (Electrolysis) จะเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลายแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น – รีดักชัน หรือเรียกว่าปฏิกริยารีดอกซ์ (Oxidation – Reduction of Redox Reaction) ซึ่งปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารที่ใช้ทำปฏิกิริยากัน หรือหมายถึงปฏิกิริยาเคมีที่ออกซิเดชั่นสเตต (Oxidation state or Number) ของธาตุต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนแปลงได้ ออกซิเดชั่นสเตทคือจำนวนประจุไฟฟ้าประจำตัวของอนุภาค เช่น Na^+ , NH_4^+, SO_4^+ และ Cl_2 เป็นต้น ตัวอย่างของปฏิกิริยาออกซิเดชั่น – รีดักชันในโครงงานนี้คือกระบวนการอิเล็กโทรไลซีสของทองแดงจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะ

ปฏิกิริยาที่อาจเกิดที่ขั้วแอโนด

$$2\,SO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \qquad E^0 = +2.01\ V \qquad (2\text{-}1)$$

$$H_2O\,(l) \rightleftharpoons 1/2O_2\,(g) + 2\,H^+(aq) + 2e^- \qquad E^0 = +1.23\ V \qquad (2\text{-}2)$$

ปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu\,(s) \qquad E^0 = +0.34\ V \qquad (2\text{-}3)$$

$$2\,H_2O\,(l) + 2e^- \rightleftharpoons H_2\,(g) + 2\,OH^- \qquad E^0 = -0.83\ V \qquad (2\text{-}4)$$

$$2\,H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2\,(g) \qquad E^0 = 0.00\ V \qquad (2\text{-}5)$$

จากสมการต่าง ๆ ที่กล่าวมาเป็นปฏิกิริยาที่อาจจะเกิดขึ้นได้แต่จากการทดลองพบว่าเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนด และโลหะทองแดงมาเกาะที่ขั้วแคโทดเพราะฉะนั้นปฏิกิริยาของเซลล์คือ

$$Cu^{2+}(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons Cu\,(s) + 1/2O_2\,(g) + 2H^+(aq) \qquad (2\text{-}6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Resistance Overvoltage

เกิดเนื่องจากสารละลายบางอย่างมีความต้านทานมาก และไม่เท่ากันในบริเวณต่าง ๆ

3. Concentration Overvoltage

เกิดเนื่องจากความเข้มข้นรอบ ๆ อิเล็กโทรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้การนำไฟฟ้าลดลง

นอกจากนี้ยังมีผลจากความต้านทานภายในเซลล์ ดังนั้นในการทดลองจริง ๆ เราจำเป็นต้นให้ศักย์ไฟฟ้าแก่เซลล์มากกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

ในการบำบัดน้ำโดยอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซีสต้องมีการควบคุมสภาวะต่าง ๆ ของสารละลายเพราะจะมีผลต่อการเกาะของโลหะที่ขั้วเช่น คุณสมบัติของโลหะ ส่วนประกอบของสารละลาย ความเป็นกรด – เบสของสารละลาย (pH) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Conductivity) อุณหภูมิของสารละลาย ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะในสารละลาย ศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ ความหนาแน่นของกระแส เหล่านี้จะทำให้การทำอิเล็กโทรลิซีสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันหลักการอิเล็กโทรลิซีสได้มีการพัฒนาในหลาย ๆ ด้านเช่น กระบวนการแยกโลหะ โครงสร้างรูปร่างของเครื่องมือ หรือที่เรียกว่าเซลล์ ระบบการทำงานที่แตกต่างกันไป

2.5 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซีส

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ค้นพบความสัมพันธ์แบบปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรด และระยะเวลาที่ให้กระแสไหลผ่าน

ความมากน้อยของการเปลี่ยนแปลงทางเคมี มีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็คตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ตัวอย่างเช่น การรีดิวซ์ไอออนของทองแดงให้เป็นโลหะทองแดง

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu\,(s) \qquad (2\text{-}10)$$

หนึ่งโมลของไอออนของทองแดงทำปฏิกิริยากับสองโมลของอิเล็คตรอน เนื่องจากจำนวนอิเล็คตรอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไฟฟ้า เพราะฉะนั้นการรีดิวซ์ไอออนของทองแดงเพื่อให้ได้โลหะหนึ่งโมลจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าสองเท่า

ปริมาณไฟฟ้าที่จะต้องผ่านเข้าไปในเซลล์ เพื่อให้อิเล็คตรอนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน เรียกว่าหนึ่งฟาราเดย์ ดังนั้นจากสมการจะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าสองฟาราเดย์ เพื่อทำให้ไอออนของทองแดงเกิดเป็นโลหะทองแดงหนัก 63.54 กรัม

ปริมาณไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมป์ (Coulomb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q = It$

Q เป็นปริมาณไฟฟ้าหน่วย คูลอมป์ (C)

I เป็นกระแสไฟฟ้าหน่วย แอมแปร์ (A)

t เป็นเวลาในหน่วย วินาที (s)

ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ (F)เป็นผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็คตรอนหนึ่งโมล เมื่อประจุของอิเล็คตรอนเท่ากับ 1.6210×10^{-19} N_A คือ เลขอาโวกาโดร (Avogadro Number)

$F = eN_A = (1.6210\times10^{-19})(6.02252\times10^{23}\ mol^{-1}) = 96{,}487\ Cmol^{-1}$

หรือ 1 ฟาราเดย์ = 96,487 C

น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดโดยการผ่านปริมาณไฟฟ้า 96,487 C เข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลติกเป็นน้ำหนักสมมูลของสารนั้น ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะรับอิเล็คตรอนหนึ่งโมล

สรุปได้ว่า ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์จะทำให้ผลิตผลที่ได้จากออกซิเดชันหรือรีดักชันในกระบวนการอิเล็กโทรไลซีสหนักเท่ากับหนึ่งกรัมสมมูลเสมอ

ดังนั้นกระบวนการอิเล็กโทรไลซีสไอออนของทองแดง ถ้าผ่านปริมาณไฟฟ้าเข้าไปหนึ่งฟาราเดย์ โลหะทองแดงที่ได้จากรีดักชันที่แคโทดจะมีน้ำหนัก 63.54/2 = 31.77 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักกรัมสมมูลของทองแดง

ดังนั้นฟาราเดย์จึงตั้งกฎขึ้นเรียกว่า กฎอิเล็กโทรไลซีสของฟาราเดย์ (Faraday's Laws of Electrolysis) ดังนี้

1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือแคโทด ในขณะที่เกิดอิเล็กโทรไลซีสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์

2. มวลของสารต่างๆ กัน ที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรไลซีสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

2.6 หลักการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นการสร้างขึ้นมาโดยอาศัยพื้นฐานของเซลล์ที่มีการเคลื่อนที่ของขั้วแคโทด (Moving Cathode Cell) เรียกได้ว่าเป็นเซลล์ที่มีการหมุนของขั้วอิเล็กโทรด (Rotating Cylinder Electrode) ภายในเซลล์จะเป็นส่วนของขั้วอิเล็กโทรด (ขั้วแคโทดและขั้วแอโนด) และสารละลายอิเล็กโทรไลท์ (สารละลายที่นำไฟฟ้าได้)

ส่วนประกอบของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวเซลล์

เป็นท่อพลาสติกพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ยาว 1 ฟุตภายในเป็นส่วนของอิเล็กโทรด และสารละลายอิเล็กโทรไลท์ (สารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะอยู่สูง)

ส่วนของอิเล็กโทรดประกอบด้วย

ขั้วแคโทด ทำจากโลหะทองแดงกลวงขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตรยาว 0.5 เซนติเมตร จำนวนมาก

ขั้วแอโนด ทำจากท่อแสตนเลสมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตรและยังทำหน้าที่เป็นแกนหมุนของเซลล์

ตัวเซลล์จะต่อยู่กับระบบการหมุนที่ประกอบด้วยฟันเฟือง และมอเตอร์เพื่อหมุนตัวเซลล์ให้มีการไหลวนของขั้วแคโทดและสารละลายอิเล็กโทรไลท์

2. ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า

เป็นส่วนที่ให้กระแสไฟฟ้ากับเซลล์ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซีสมีส่วนประกอบดังนี้

2.1 ตัวแปลงศักย์ไฟฟ้า

ทำหน้าที่แปลงศักย์ไฟฟ้าจากไฟบ้านเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการในปฏิกิริยา

2.2 ตัวไดโอด

ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยา

2.3 ตัวเก็บประจุ

ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บประจุไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เซลล์

2.4 ตัววัดกระแสไฟฟ้า

ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

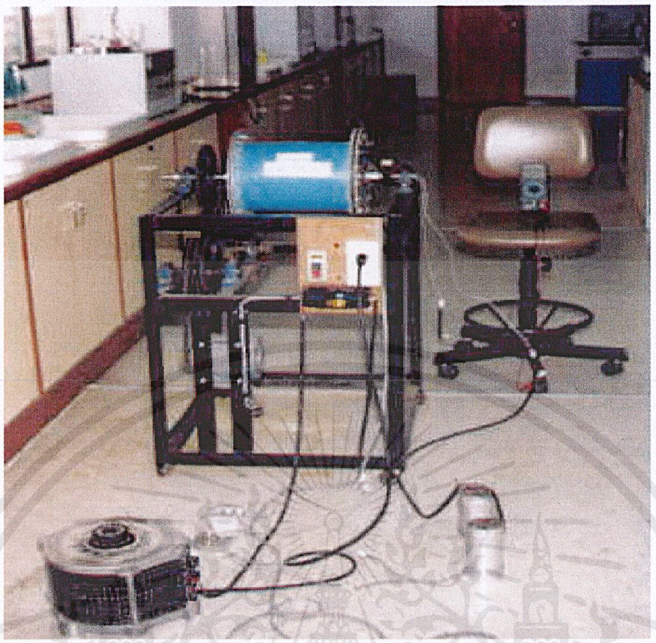
2.5 ตัววัดศักย์ไฟฟ้า

ทำหน้าที่ยืนยันความถูกต้องของศักย์ไฟฟ้าที่ออกจากตัวแปลงศักย์ไฟฟ้า

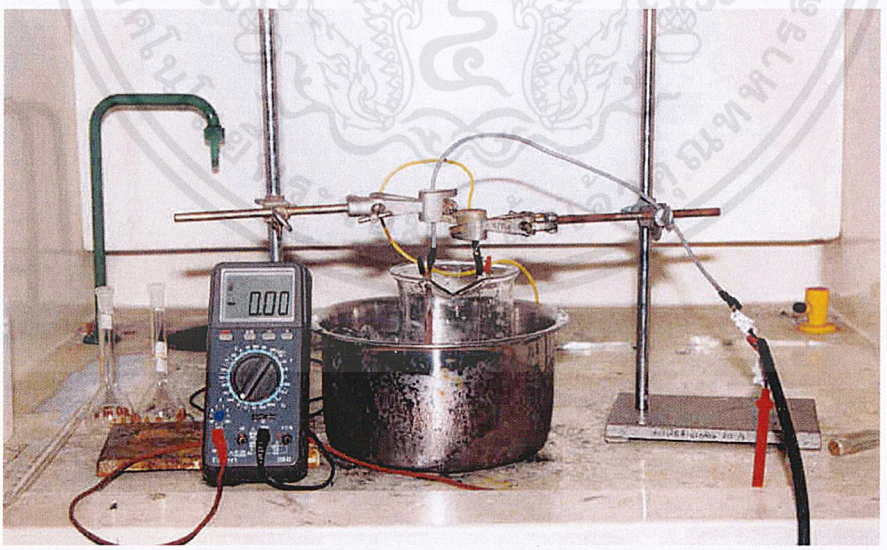
2.6 ตัวนำกระแสไฟฟ้า

ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์เช่น สายไฟ แผ่นสปริง และแผ่นสแตนเลส ที่นำกระแสเข้าสู่ขั้วแคโทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน



รูปที่ 2.3 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ทำการศึกษา

น้ำเสียที่นำมาทำการศึกษาเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมล้างชิ้นส่วนท่อแอร์ เพื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะทองแดงในน้ำเสียเท่ากับ 11,264 พีพีเอ็ม

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ
    1.1 บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิเมตร ใช้บรรจุน้ำเสียที่ทำการทดลอง
    1.2 ขั้วแอโนดทำจากแผ่นสแตนเลสสตีล ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร
    1.3 ขั้วแคโทดทำจากแผ่นโลหะทองแดง ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร
2. เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ
    2.1 ตัวเซลล์ ประกอบด้วย
        2.1.1 ท่อพลาสติก พีวีซี ขนาด 18 นิ้ว ยาว 1 ฟุต
        2.1.2 ขั้วอิเล็กโทรด (โลหะทองแดงกลวงเป็นขั้วแคโทด ท่อสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร เป็นขั้วแอโนด)
    2.2 ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย
        2.2.1 ตัวแปลงศักย์ไฟฟ้า
        2.2.2 ตัวตัดกระแสไฟ
        2.2.3 ตัวไดโอด
        2.2.4 ตัวเก็บประจุ
        2.2.5 ตัววัดกระแสไฟฟ้า
        2.2.6 ตัววัดศักย์ไฟฟ้า
        2.2.7 ตัวนำกระแสไฟฟ้า
    2.3 ระบบการหมุน ประกอบด้วย
        2.3.1 ฟันเฟือง
        2.3.2 มอเตอร์ เพื่อหมุนตัวเซลล์
        2.3.3 แบริ่ง (ตัวยึดแกนท่อสเตนเลสและ หมุนท่อสเตนเลส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โลหะทองแดงกลวงขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร ใช้เป็นขั้วแคโทด

2.5 ท่อสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ใช้เป็นขั้วแอโนด และเป็นแกนหมุนของเซลล์

2.6 ตัวนำกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย

2.6.1 สายไฟ

2.6.2 แผ่นสปริง

2.6.3 แผ่นสเตนเลส

2.7 ตัวต้านทานกระแสไฟฟ้า นำมาลดศักย์ไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ เพื่อความปลอดภัยในการจัดเตรียมชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าก่อนการทดลอง

3. ถังผสมขนาด 20 มิลลิลิตร 1 ใบ
4. ถาดอลูมิเนียม 6 ใบ
5. แผ่นอลูมิเนียม
6. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter รุ่น 713 ของ Metrohm)
7. เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของทองแดงที่เหลืออยู่ในสารละลายภายหลังทำการทดลอง (Atomic Absorbtion Spectroscopy (AAS)) ของ Shimadzu รุ่น 670 และ Hitashi รุ่น 8200
8. เครื่องชั่งละเอียดของ Precisa รุ่น 205 A
9. เครื่องชั่งหยาบ ไว้ชั่งโลหะทองแดงกลวงที่ใช้เป็นขั้วแคโทด ของ Denver รุ่น TR-6101
10. เครื่องแก้ว
11. เครื่องไมโครเวฟ ของMILESTONE รุ่น mls 1200 mega

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดซัลฟุริก (H_2SO_4) เข้มข้นและ เข้มข้น 1 โมลาร์ ของ Carlo Analyst grade
2. น้ำเสียอุตสาหกรรมล้างชิ้นส่วนท่อแอร์
3. กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 65 % ของ Merck Analyst grade
4. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เข้มข้น 40 % ของ Merck Analyst grade
5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 30% ของ Merck Analyst grade
6. สารละลายมาตรฐานทองแดง 1,000 พีพีเอ็ม ของ Merck
7. สารละลายมาตรฐานโครเมียม 1,000 พีพีเอ็ม ของ Merck

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.4 วิธีทำการทดลอง

3.4.1 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า (รูปที่ 2.3)

1. เตรียมชุดจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 13 แอมแปร์
2. นำขั้วบวกของชุดจ่ายกระแสไฟฟ้ามาต่อเข้ากับขั้วแอโนด (แสตนเลสสตีล) ขนาด ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร
3. นำขั้วลบของชุดจ่ายกระแสไฟฟ้ามาต่อเข้ากับขั้วแคโทด (ทองแดง) ขนาด ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร
4. นำน้ำเสียอุตสาหกรรมมา 500 มิลลิลิตร เทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
5. จุ่มขั้วแอโนดและแคโทดลงในบีกเกอร์ลึก 6 เซนติเมตร โดยที่ขั้วทั้งสองอยู่ห่างกัน 2 เซนติเมตรและอยู่กึ่งกลางของบีกเกอร์
6. จ่ายกระแสไฟฟ้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้า 13 แอมแปร์เป็นเวลา 60 นาที
7. เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 0, 5, 15, 30, 45, และ60 นาที จำนวน 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร 2 ซ้ำโดยไม่ต้องหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า
8. นำน้ำเสียอุตสาหกรรมไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไดเจสชัน (Microvave Digestion)
9. วัดหาความเข้มข้นของโลหะทองแดงด้วยเครื่อง อะตอมมิคแอบซอร์ฟชั่น สเปคโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer)

3.4.2 การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

1. เตรียมเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนให้พร้อมใช้งานตามวิธีของชัยกฤษณ์ (2543) ดังรูป 2.2
2. เตรียมชุดจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้มีกระแสคงที่ ที่ 19 แอมแปร์
3. เทน้ำเสียอุตสาหกรรมปริมาตร 6 ลิตรลงไปในถังของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ
4. เทขั้วแคโทด (เม็ดทองแดง) น้ำหนักประมาณ 3.7 กิโลกรัมประมาณ 10,000 เม็ดลงในถังของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ
5. เดินเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ พร้อมจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เครื่อง 19 แอมแปร์
6. เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลา 0, 5, 15, 30, 60, 90, และ 120 นาทีปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร 2 ซ้ำ โดยไม่ต้องหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า
7. นำน้ำเสียอุตสาหกรรมไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไดเจสชัน (Microvave Digestion)
8. วัดหาความเข้มข้นของโลหะหนักทองแดงด้วยเครื่อง อะตอมมิคแอบซอร์ฟชั่น สเปคโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer)
9. วัดหาความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมด้วยเครื่อง อะตอมมิคแอบซอร์ฟชั่น สเปคโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37640

3.4.3 การย่อยน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องไมโครเวฟไดเจสชัน

1. ปิเปตน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาหนึ่งๆ มาครั้งละ 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ใส่ในขวดย่อย 2 ขวด
2. ปิเปตกรดไนตริก 65% จำนวน 8 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดย่อยทั้ง 2 ขวด
3. ปิเปตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% จำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดย่อยทั้ง 2 ขวด
4. ปิเปตกรดไฮโดรฟลูออริก 40% จำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดย่อยทั้ง 2 ขวด
5. ปิดฝาขวดย่อยทั้ง 3 ขวด ให้สนิท นำไปย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ ไดเจสชั่นตาม เงื่อนไขการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน โดยน้ำเสียที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเฉลี่ย 11,264 พีพีเอ็ม ค่า พีเอช ประมาณ 2 นำมาทดลองด้วยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นเวลา 60 นาที 2 ชุดการทดลองและทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนเป็นเวลา 60 นาที 1 ชุดการทดลอง และเป็นเวลา 120 นาที 2 ชุดการทดลองได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตาราง ที่ 4.1 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรมในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1

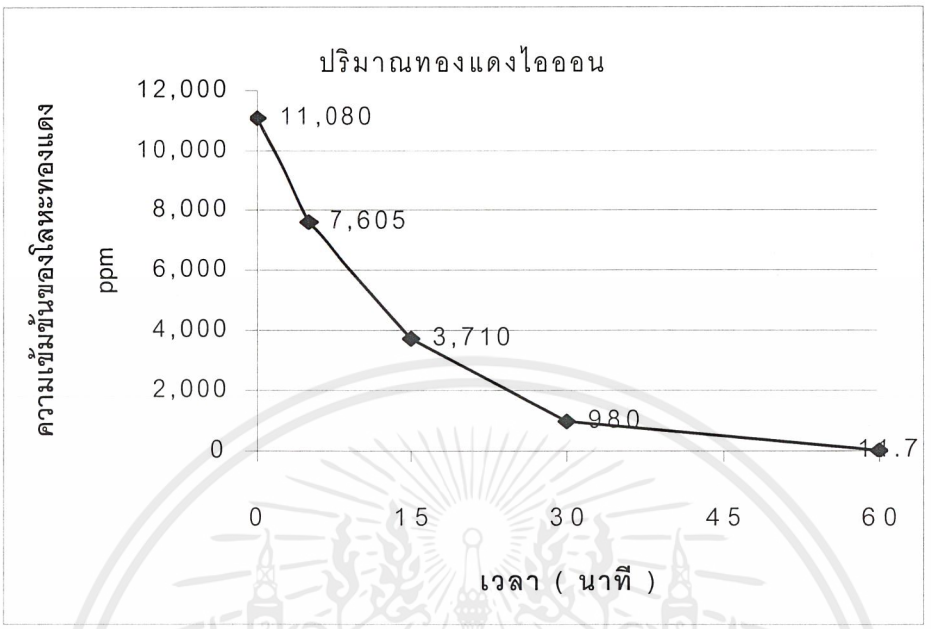
ระยะเวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงไอออน (พีพีเอ็ม)
0	11,080
5	7,605
15	3,710
30	980
60	11.7

หมายเหตุ ช่องที่มีเครื่องหมาย (-) เป็นช่องที่ไม่ได้เก็บตัวอย่าง

สภาวะขณะที่ทำการทดลอง

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,080 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 60 นาที 11.7 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 43.33 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 425.7 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 36.92 %
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นได้ผลดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

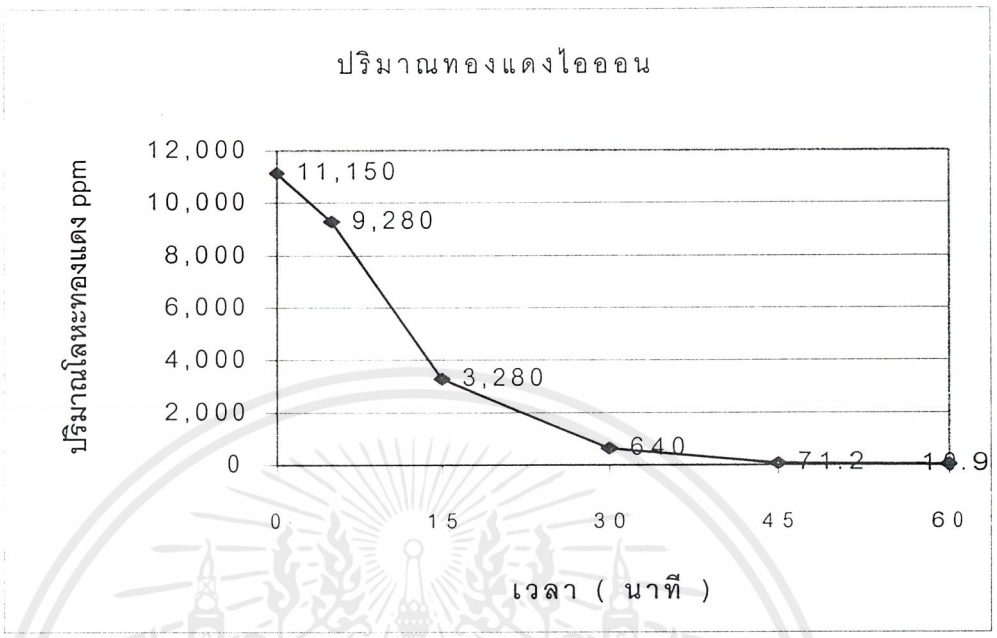
ตารางที่ 4.2 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2

ระยะเวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงไอออน (พีพีเอ็ม)
0	11,150
5	9,280
15	3,280
30	640
45	71.2
60	10.9

สภาวะขณะที่ทำการทดลอง

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,150 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 60 นาที 10.9 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 43.33 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพในการใช้ไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 36.14 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 428.43 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของโลหะหนักทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

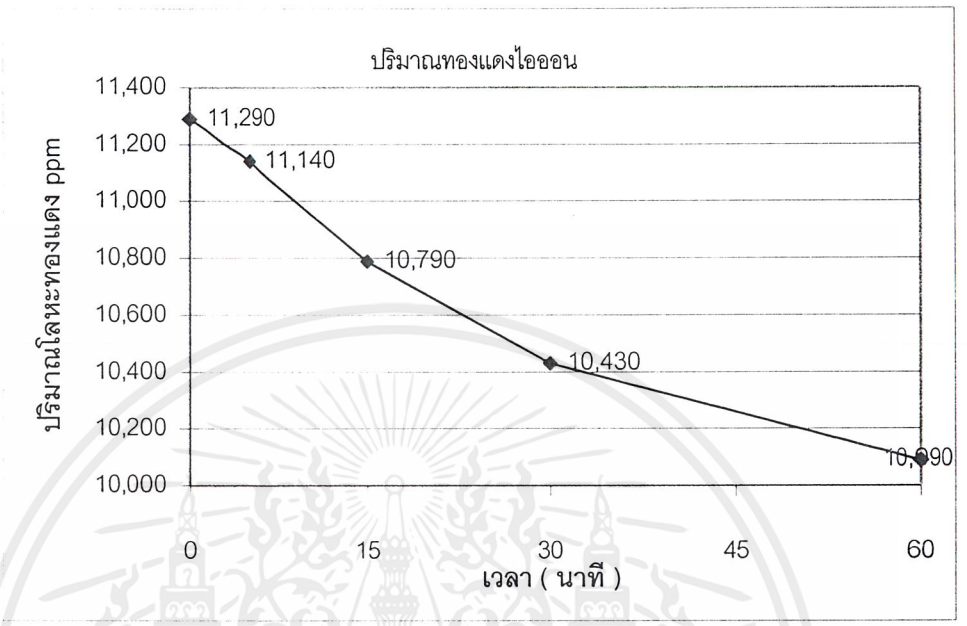
ตารางที่ 4.3 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในการทดลองใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 1

ระยะเวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงไอออน (พีพีเอ็ม)
0	11,290
5	11,140
15	10,790
30	10,430
45	-
60	10,090

สภาวะขณะที่ทำการทดลอง

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,290 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 60 นาที 10,090 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 31.97 %
ประสิทธิภาพในการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่คิดเป็น 95.58 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 378.95 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของโลหะทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

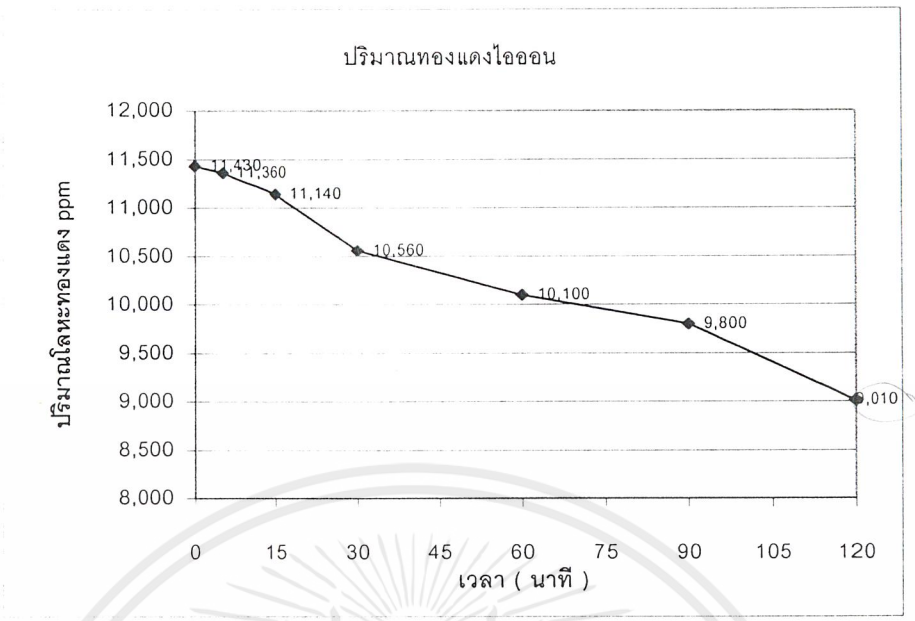
ตารางที่ 4.4 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในการทดลองใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2

ระยะเวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงไอออน (พีพีเอ็ม)
0	11,430
5	11,360
15	11,140
30	10,560
45	-
60	10,100
90	9,800
120	9,010

สภาวะขณะที่ทำการทดลอง

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,430 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 120 นาที 9,010 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 31.91 %
ประสิทธิภาพการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่คิดเป็น 49.59 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 382.11 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของโลหะทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

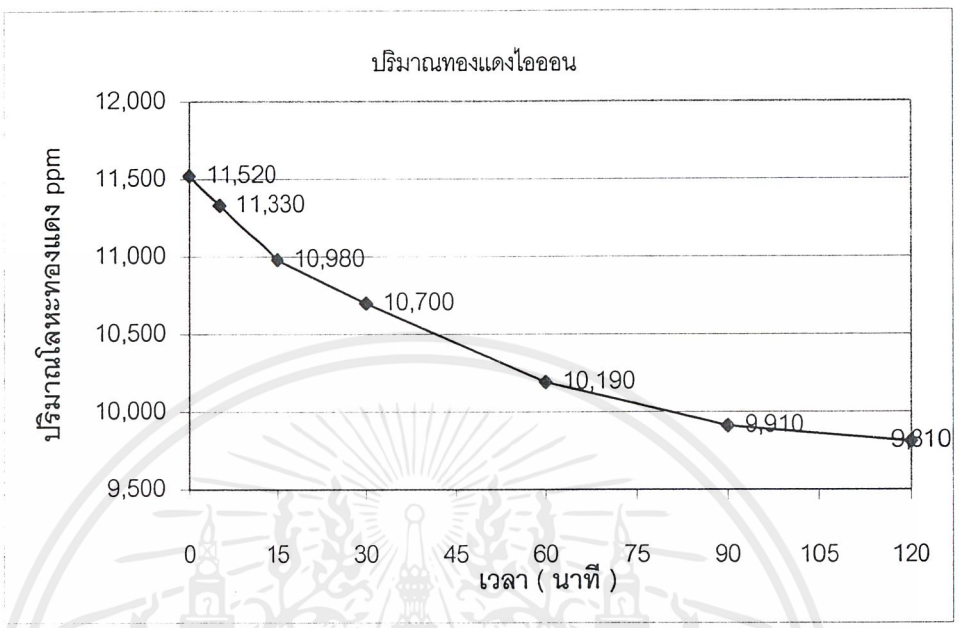
ตารางที่ 4.5 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในการทดลองใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 3

ระยะเวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงไอออน (พีพีเอ็ม)
0	11,520
5	11,330
15	10,980
30	10,700
45	-
60	10,190
90	9,910
120	9,810

สภาวะขณะที่ทำการทดลอง

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,520 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 120 นาที 9,810 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 22.77 %
ประสิทธิภาพในการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่คิดเป็น 92.59 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 270 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากับความเข้มข้นของโลหะทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะทองแดงในน้ำเสียอุตสาหกรรมในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้าและแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า

เวลา	0	5	15	30	60	90	120
เซลล์เคมีไฟฟ้า	11,115	8,443	3,495	810	11	-	-
เครื่องปฏิกรณ์เคมี ฯ	11,413	11,276	10,970	10,563	10,126	9,855	9,410

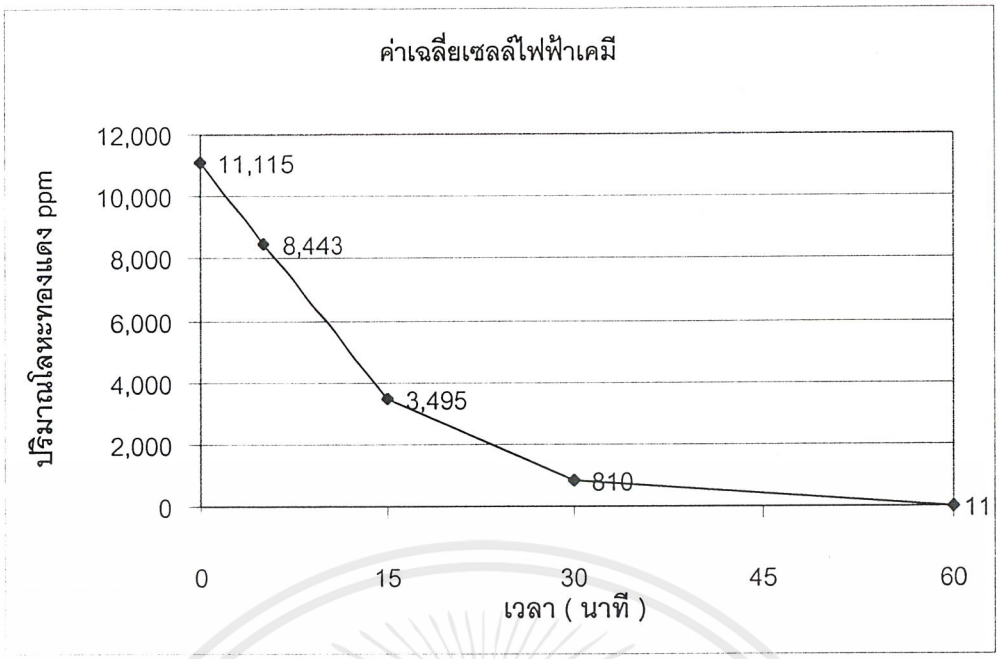
แบบเซลล์เคมีไฟฟ้า

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,115 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 60 นาที 11 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 43.33 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 36.53 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 427.07 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากับความเข้มข้นของโลหะทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.6

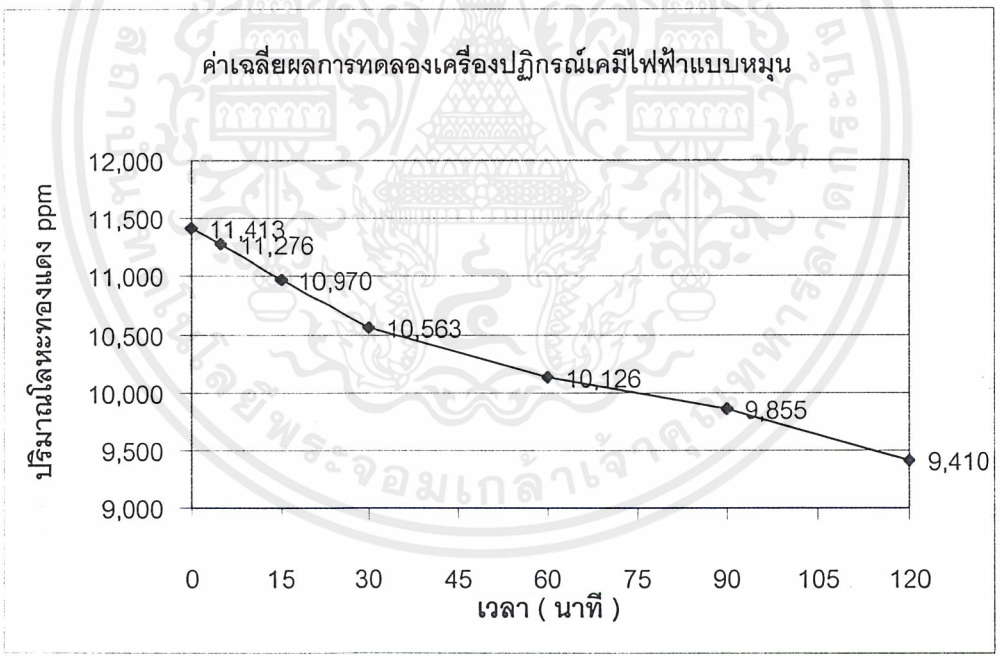
แบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า

น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,413 พีพีเอ็ม
มีความเข้มข้นของทองแดงไอออนเฉลี่ยเหลืออยู่ที่เวลา 120 นาที 9,410 พีพีเอ็ม
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์ 25 โวลท์
ค่า พีเอช เริ่มต้นเท่ากับ 2 และ พีเอช หลังการทดลอง 1.5
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 28.88 %
ประสิทธิภาพการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่คิดเป็น 94.09 %
อัตราการลดลงของโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 316.26 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง-แอมแปร์
เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของโลหะทองแดงได้ผลดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะทองแดงในน้ำเสียต่อเวลาในการบำบัดโดยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ

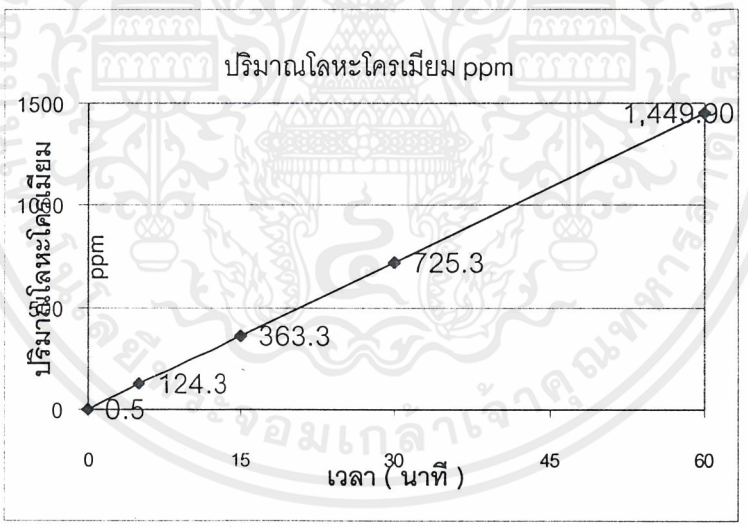
รูปที่ 4.9 ลักษณะน้ำเสียหลังการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนที่เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลปริมาณโลหะหนักโครเมียมที่ละลายออกจากขั้วแอโนด

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของโลหะโครเมียมที่ละลายออกมาจากขั้วแอโนดของเซลล์เคมีไฟฟ้า

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะโครเมียม พีพีเอ็ม
0	0.5
5	124.3
15	363.3
30	725.3
60	1,447.9

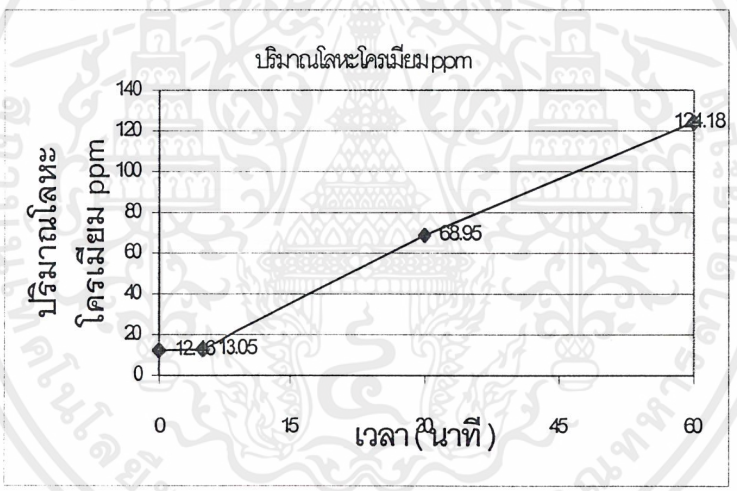


รูปที่ 4.10 แสดงผลความเข้มข้นของโครเมียมต่อเวลาในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลของโลหะโครเมียมที่ละลายออกมากจากขั้วแอโนดของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะโครเมียม พีพีเอ็ม
0	12.46
15	13.05
60	68.95
120	124.18



รูปที่ 4.11 แสดงผลความเข้มข้นของโลหะโครเมียมในการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการบำบัด

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ที่มีทองแดงระหว่างวิธีทางเคมีไฟฟ้า กับวิธีการตกตะกอนทางเคมี

วิธีทางเคมีไฟฟ้า		**วิธีทางเคมี ***	
รายการ	**ราคา (บาท)**	**รายการ**	**ราคา (บาท)**
1. เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนอายุการใช้งาน 100 ครั้ง / ปี เป็นเวลา 5 ปี *คิดเป็นจำนวนเงิน 4.09 บาท / น้ำเสีย 1 ลิตร		1. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักน้ำเสียทุกชนิด (คิดจากน้ำหนักของน้ำเสีย + ภาชนะที่บรรจุ (ถังบรรจุ 200 ลิตร))	4.5บาท / 1 ลิตร
2. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อการบำบัด 1 ครั้ง (ประสิทธิภาพสูงสุด) (25 โวลต์, 19 แอมแปร์, 0.475 กิโลวัตต์.ชั่วโมง) * ที่มา การไฟฟ้านครหลวง ปี พ.ศ. 2543 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3 บาทต่อ 1 หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน 0.2375 บาท / น้ำเสีย 1 ลิตร		2. ค่าขนส่ง (ค่ายานพาหนะที่บรรทุกภาชนะบรรจุ 40 ถังต่อ 1 เที่ยว (ไป – กลับ))	31.75 บาทต่อ 1 กิโลเมตร
3. คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมในการบำบัดน้ำเสีย		3. รวมค่าใช้จ่ายในการบำบัดไม่รวมค่าขนส่ง	4.5 บาท / 1 ลิตร

*ข้อมูลจาก บริษัทบริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) 28 ตุลาคม 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน ความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนการทดลองเท่ากับ 11,115 พีพีเอ็ม และ11,413 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ภายหลังการทดลองพบว่ามีความเข้มข้นของโลหะทองแดงเท่ากับ 11 พีพีเอ็ม และ 9,410 พีพีเอ็ม ในเซลล์เคมีไฟฟ้าและเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ ตามลำดับ เมื่อนำมาคิดอัตราการบำบัดโลหะหนักทองแดงคิดเป็น 427.07 และ 316.26 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง – แอมแปร์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดคิดเป็น 36.53 % และ 28.88 % ประสิทธิภาพการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนคิดเป็น 94.09 % และจากผลการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนพบว่าปริมาณโลหะทองแดงลดลงตามระยะเวลาที่บำบัดดังนั้นจึงสามารถบำบัดโลหะหนักทองแดงจากน้ำเสียอุตสาหกรรมได้ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

จากการทดลองที่ผ่านมาสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการบำบัดด้วยวิธีทั้ง 2 ได้ผลดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของทั้ง 2 วิธี

วิธีเซลล์เคมีไฟฟ้า	วิธีเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน
ข้อดี 1. ทำความสะอาดขั้วได้ง่าย 2. นำโลหะหนักทองแดงกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย 3. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าแบบเครื่องปฏิกรณ์ ฯ 4. มีขั้นตอนการทำงานง่ายกว่า	**ข้อดี** 1. บำบัดน้ำเสียได้ในปริมาตรมากกว่า 2. ปริมาณโลหะหนักโครเมียมที่ละลายออกมาน้อยกว่า 3. อายุการใช้งานนาน 4. เกิดความร้อนขึ้นน้อย
ข้อเสีย 1. ขั้วแอโนดสึกกร่อนง่าย 2. ทองแดงที่เข้ามาเกาะสามารถละลายกลับไปใหม่ได้ 3. อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการระเหยของน้ำเสียไปมาก 4. บำบัดน้ำเสียได้ในปริมาตรน้อย	**ข้อเสีย** 1. ทำความสะอาดขั้วแคโทดได้ยาก 2. ขั้นตอนการทำงานยุ่งยากกว่า 3. ต้องหมั่นดูแลรักษาเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ 4. ต้องหยุดเพื่อระบายแก๊สทุก ๆ 15 นาที

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1.จากการทดลองจะพบว่าโลหะหนักโครเมียมมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาทั้งนี้เนื่องมาจากขั้วแอโนดมีการกร่อนออกมาซึ่งขั้วแอโนดที่เป็นสเตนเลสสตีลมีส่วนผสมของโลหะหนักโครเมียมผสมอยู่ ดังนั้นเมื่อขั้วแอโนดกร่อนจึงทำให้โลหะโครเมียมละลายออกมาด้วย

2. อุณหภูมิในระหว่างทำการทดลองจะพบว่ามีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากพลังงานกระแสไฟฟ้าที่ให้บางส่วนถูกเปลี่ยนไปในรูปของความร้อน อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการบำบัดน้ำเสียทำให้มีประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกาะของโลหะทองแดงที่ขั้วแคโทดอยู่ที่ 25 - 40 องศาเซลเซียส

3.ในการทดลองแบบเซลล์เคมีไฟฟ้า ความร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำในน้ำเสียอุตสาหกรรมระเหยออกจากบีกเกอร์เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้ไปมาก เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ส่งผลให้ปริมาตรก่อนและหลังการทดลองไม่เท่ากันทำให้ความเข้มข้นที่วัดได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องทำการหล่อเย็นในระหว่างการทดลองเพื่อลดอุณหภูมิลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการทดลองนี้ไม่ได้ปรับสภาวะของน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมตามทฤษฎีของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดขั้นตอนและสารเคมีในการเตรียมน้ำเสียก่อนนำมาบำบัด

5. ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่นำมาทำการทดลอง มีองค์ประกอบของสารเคมีหลายชนิดทำให้ไม่สามารถควบคุมตัวแปรได้ทั้งหมด ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเกิดการกร่อนของขั้วแอโนดทำให้ในสารละลายน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของขั้วเพิ่มมากขึ้นเช่นโลหะโครเมียม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของขั้วแอโนดที่จะนำมาใช้ให้ดียิ่งขึ้น เช่นใช้ขั้วแกรไฟต์ในเซลล์เคมีไฟฟ้า หรือแพลตตินัมในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนเป็นต้น

2. การบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมทั้งไอน้ำ ทำให้ความดันภายในถังปฏิกรณ์ สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรหาวิธีปรับปรุงอุปกรณ์ การระบายก๊าซที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องหยุดหมุนเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า ฯ

3. จากการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนจะพบว่าปริมาณโลหะทองแดงมีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลาที่ใช้ในการบำบัด ดังนั้นหากมีการใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่เหมาะสมอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดโลหะทองแดงดีขึ้น จึงน่าจะเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนต่อไป

4. ศึกษาวิธีการนำทองแดงที่มาเกาะที่ขั้วแคโทด ในการนำกลับไปใช้ใหม่ เช่นการนำกลับไปใช้เป็นสารละลายในการทำอิเลคโตรเพลทติ้งหรือการชุบเคลือบผิวโลหะ

5. น้ำเสียภายหลังการบำบัดมีค่า pH ประมาณ 1.5 ซึ่งไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่กำหนดให้มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5 – 9 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างออกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

6. เนื่องจากการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน มีความสามารถในการบำบัดโลหะหนักทองแดงได้สูงสุดที่ความเข้มข้นค่าหนึ่ง ดังนั้นวิธีการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนจึงเหมาะสำหรับการบำบัดขั้นที่สองหลังจากที่ผ่านการบำบัดขั้นแรกด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรรณิการ์ สิริสิงหะ , เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์ พิมพ์ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยมหิดล, 2525

2. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , ดร. การบำบัดน้ำเสีย มิตรนราการพิมพ์ , 2539

3. จงรักษ์ ผลประเสริฐ อุททัม มานันคา ธรรมรัตน์ คุตตะเทพและสาการิกา เฮรัท "แนวทางการจัดการและเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการ" (กรณีศึกษา) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม,คณะสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรและการพัฒนาสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย,2537

4.ชัยกฤษณ์ ธัญพิทยากุล , "การนำทองแดงในน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน " (การเสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์) ภาควิชาเคมี , คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540

5. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ,ดร. วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์,รศ.และสาโรช บุญยกิจสมบัติ " กรณีตัวอย่างเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียในโรงงานกับการใช้บริการโรงบำบัดน้ำเสียกลาง" (กรณีศึกษา) วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม,คณะวิทศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539

6. พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ , ปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. พวงรัตน์ แก้วล้อม , " แนวทางกำจัดน้ำเสียซีโอดีในเขตกรุงเทพมหานคร" วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม,คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

8. นัทธีรา สรรมณี , เคมีสิ่งแวดล้อม , ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร,2541

9. มงคล ปริญญาปริวัฒน์ , "การจัดการและบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นเหล็กอาบสังกะสี" วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม,คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2532

10.มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ , ดร.คู่มือวิเคราะคุณภาพน้ำ โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

11. ศนิชา คงสุวรรณ ศิริพร ปรีชา สนชัย ธนพงศ์พิพัฒน์, "การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี" โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2541

12.Chen,Chuyan; Lu,Kai; Ma, Yali; et al. " Treatment of Wastewater containing heavy metals with magnetic cast iron powder." Chemical Abstract No.236331 D.109(1988)

13. Esref, A. "Electrolytic Recovery of copper from Dilute Solutions Considering Environmental Measure." Journal of Applied Electrochemistry. Vol. 18 , 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pp. 288 –291

14. Mass', M. et.al. "Copper Removal form Aerated Solution Containing Various Metal Ions Using an undevided Rotating Cylinder Electrode Reactor ." Journal of Applied Electrochemistry. Vol 25, 1995. pp. 340 - 346

15.Wentz. C.A. " Hazardous Waste Management " Mc Graw Hill, Singapore , 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะหนักทองแดง พีพีเอ็ม	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	11,020	11,140
5	7,220	7,990
15	3,580	3,840
30	960	1,000
45	-	-
60	13.7	9.6

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5

กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์

เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 2 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะทองแดง(พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	11,520	11,580
5	9360	9,200
15	3,360	3,200
30	620	660
45	72.6	69.7
60	10.3	11.4

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

ตาราง ก. 3 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะทองแดง(พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	11,640	10,940
5	11,020	11,260
15	10,540	11,040
30	10,560	10,300
45	-	-
60	10,320	9,860

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 4 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะทองแดง (พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	11,740	10,520
5	11,320	11,400
15	11,200	11,080
30	10,910	10,210
45	-	-
60	10,380	9,820
90	9,540	10,060
120	9,040	8,980

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 120 นาที

ตารางที่ ก. 5 บันทึกผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะทองแดง (พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	11,400	11,640
5	11,300	11,340
15	11,020	10,940
30	10,560	10,840
45	-	-
60	10,040	10,304
90	9,860	9,960
120	9,940	9,680

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 120 นาที

ตารางที่ ก. 6 บันทึกผลปริมาณโลหะสังกะสีต่อระยะเวลาในการบำบัดด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะสังกะสี (พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	49.1	49.1
5	49.1	49.1
15	49	49.1
30	49	49.1
45	49	49
60	48.7	48.9

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 7 บันทึกผลปริมาณโลหะสังกะสีต่อระยะเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะสังกะสี (พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	49	49
5	48.7	48.5
15	48	47.9
30	46.5	46.7
60	43.8	44.1
90	40.3	40.4
120	36.6	37.7

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 19 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 120 นาที

ตารางที่ ก.8 บันทึกผลของปริมาณโลหะโครเมียมต่อระยะเวลาในการบำบัดด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้า

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหะโครเมียม พีพีเอ็ม	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0.5	0.5
5	124.4	124.3
15	403.4	323.2
30	768.8	681.8
60	1487	1408.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

ตารางที่ ก. 9 บันทึกผลของปริมาณโลหะโครเมี่ยมต่อระยะเวลาในการบำบัดด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

เวลา (นาที)	ปริมาณโลหtโครเมียม (พีพีเอ็ม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	14.024	10.91
15	19.86	6.24
60	68.24	69.72
120	107.26	141.1

ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 1.5
กระแสไฟฟ้าที่ให้เท่ากับ 13 แอมแปร์
เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

1. การเตรียมสารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 2 ลิตร เพื่อนำมาทำความสะอาดโลหะทองแดงกลวงที่ใช้เป็นขั้วแคโทด ภายหลังทำการทดลองเสร็จสิ้นในแต่ละการทดลองเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่

ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกคือ 95% หมายถึง สารละลายที่มีมวล 100 กรัม จะมีกรดซัลฟุริก95 กรัม ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.83 กรัมต่อมิลลิลิตร หมายถึง สารละลาย 1 มิลลิลิตรจะมีมวลของสารละลายกรดซัลฟุริก 1.83 กรัม

สารละลาย 100 กรัม จะมีมวลกรดซัลฟุริก = 95 กรัม

" 1.83 กรัม " = $\frac{95 \times 1.83}{100}$ กรัม

= 1.7385 กรัม

สารละลาย 1 มิลลิลิตร มีมวลกรดซัลฟุริก = 1.7385 กรัม

มวลโมเลกุลของกรดซัลฟุริก 98 กรัมต่อโมล

สารละลาย 1 มิลลิลิตร มีโมลของกรดซัลฟุริก = $\frac{1.7385}{98}$ โมล

" 1000 มิลลิลิตร " = $\frac{1000 \times 1.7385}{98}$

= 17.74 โมล

ถ้าต้องการเตรียมกรดซัลฟุริกที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์ จำนวน 2 ลิตร

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นกรดซัลฟุริก = 1 โมล

" 2000 มิลลิลิตร " = $\frac{2000 \times 1}{1000}$ โมล

= 2 โมล

ถ้าต้องการเตรียมกรดซัลฟุริก 17.74 โมล ในสารละลาย = 1000 มิลลิลิตร

" 2 โมล " = $\frac{2 \times 1000}{17.74}$ มิลลิลิตร

= 112.74 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นปิเปตสารละลายกรดซัลฟุริกมา 112.74 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 2 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายกรดซัลฟุริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์

2. การคำนวนประสิทธิภาพการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่ของเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนคิดเป็นเปอร์เซนต์

เมื่อทดสอบกับน้ำเสียอุตสาหกรรม ที่มีความเข้มข้นของไอออนของทองแดงเริ่มต้นเฉลี่ย 11,520 พีพีเอ็มของการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไอออนของทองแดงเริ่มต้น 11,413 พีพีเอ็ม

สารละลาย 1 ลิตร มีทองแดง = 11,520 มิลลิกรัม

" 6 ลิตร " = $\frac{6\times11,520}{1}$ มิลลิกรัม

= 69,120 มิลลิกรัม

= 69.120 กรัม

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไอออนของทองแดงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 9,810 พีพีเอ็ม

สารละลาย 1 ลิตร มีทองแดง = 9,810 มิลลิกรัม

" 6 ลิตร " = $\frac{6\times9,810}{1}$ มิลลิกรัม

= 58,860 มิลลิกรัม

= 58.860 กรัม

ดังนั้นปริมาณไอออนของทองแดงที่หายไปหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นโลหะทองแดงเข้าเกาะที่โลหะทองแดงกลวงที่ใช้เป็นขั้วแคโทด ตามทฤษฎีมีค่าเท่ากับ

= 69,120-58,860 กรัม

= 10.26 กรัม

จากผลการทดลองปริมาณทองแดงที่เกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นโลหะทองแดงเข้าเกาะที่โลหะทองแดงกลวงที่ใช้เป็นขั้วแคโทด มีน้ำหนักเท่ากับ 9.6 กรัม

น้ำหนักของทองแดง 10.26 กรัม คิดเป็น = 100 %

" 9.6 กรัม " = $\frac{9.6\times100}{10.26}$ %

= 92.59 %

ดังนั้นประสิทธิภาพการนำไอออนของทองแดงในน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ คิดเป็น 92.59 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวนค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุนครั้งที่ 2

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 19 แอมแปร์

เวลาที่ใช้ 2 ชั่วโมง

จาก Q = It

= 19 x 3,600 x 2 คูลอมป์

= 136,800 คูลอมป์

จากความสัมพันธ์

1 ฟาราเดย์ = 96,487 คูลอมป์

136,800 คูลอมป์ = 136,800 / 96,487 ฟาราเดย์

= 1.417 ฟาราเดย์

1 ฟาราเดย์สามารถเกิดทองแดงได้ 31.77 กรัมสมมูล

1.417 ฟาราเดย์สามารถเกิดทองแดงได้ 1.417 X 31.77 กรัมสมมูล

= 45.05 กรัมสมมูล

เพราะฉะนั้นตามทฤษฎีจะสามารถเกิดโลหะทองแดงที่ขั้วแคโทดได้เท่ากับ 45.05 กรัม

การคำนวนหาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

ความเข้มข้นก่อนการทดลอง

น้ำเสีย 1 ลิตร มีโลหะทองแดงหนัก 11,430 มิลลิกรัม

น้ำเสีย 6 ลิตร มีโลหะทองแดงหนัก 11,430 X 6 = 68,580 มิลลิกรัม

= 68.58 กรัม

น้ำเสียหลังการทดลอง

น้ำเสีย 1 ลิตร มีโลหะทองแดงหนัก 9,010 มิลลิกรัม

น้ำเสีย 6 ลิตร มีโลหะทองแดงหนัก 9,010 X 6 = 54,060 มิลลิกรัม

= 54.06 กรัม

ดังนั้นน้ำหนักทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 68.58 – 54.06 = 14.52 กรัม

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัด = (14.52 x 100)/ 45.05

= 31.91 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเท่ากับ 31.91 เปอร์เซนต์

4. **การคำนวนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า**

วิธีเซลล์เคมีไฟฟ้า

จาก ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / พื้นที่ผิว (ตารางเดซิเมตร)

= 13 แอมแปร์ / 0.3 ตารางเดซิเมตร

= 43.33 แอมแปร์ ต่อตารางเดซิเมตร

วิธีเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน

จาก ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / พื้นที่ผิว (ตารางเดซิเมตร)

= 19 แอมแปร์ / 157.08 ตารางเดซิเมตร

= 0.12 แอมแปร์ ต่อตารางเดซิเมตร

5. **คำนวนอัตราการลดลงของโลหะทองแดง**

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไอออนของทองแดงเริ่มต้น 11,413 พีพีเอ็ม

สารละลาย	1	ลิตร	มีทองแดง	=	11,413	มิลลิกรัม
"	6	ลิตร	"	=	11,413 X 6	มิลลิกรัม
				=	68,478	มิลลิกรัม

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไอออนทองแดงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 9810 พีพีเอ็ม

สารละลาย	1	ลิตร	มีทองแดง	=	9,410	มิลลิกรัม
"	6	ลิตร	"	=	6 X 9,410	มิลลิกรัม
				=	56,460	มิลลิกรัม

ปริมาณโลหะทองแดงที่ลดลง = 68,478 – 56,460

= 12,018 มิลลิกรัม

หาอัตราการลดลงของโลหะทองแดง 12,018 มิลลิกรัม / (2 ชั่วโมง X 19 แอมแปร์)

= 316.26 มิลลิกรัม / ชั่วโมง - แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โลหะหนักทองแดง (Copper)

ประวัติความเป็นมา

ทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก และอาจเป็นโลหะชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ สันนิษฐานกันว่าต้นกำเนิดของทองแดงอยู่ในบริเวณหุบเขาของแม่น้ำ Tigis และ Euphrates ได้มีการพบทองแดงในดินแดน Mesopotamia และอิยิปต์ เมื่อ 4000 ปีก่อนคริสต์กาล ก่อนการเกิดของราชวงศ์อิยิปต์ที่อยู่ในช่วง 3200 ปีก่อนคริสต์กาล โดยมีการนำ Copper Carbonate มาใช้เป็นจุลสี (Pigment) อาวุธเช่น ขวาน รวมทั้งเครื่องมือหุงต้ม คำว่า Copper มาจากภาษาลาตินว่า Cuprum

ทองแดงถูกพบทั้งในรูปอิสระ และในรูปสารประกอบของ ซัลไฟด์ (Sulfide) ออกไซด์ (Oxide) และคาร์บอเนต (Carbonate) สินแร่พื้นฐานของทองแดงคือ ชาโคไพไรต์ (Chalcopyrite),$CuFeS_2$ ชาโคไซต์ (Chalcocite),Cu_2S และบอร์ไนต์ (Bornite),Cu_5FeS_4

คุณสมบัติทางเคมี

ทองแดงเป็นธาตุทางเคมี มีสัญลักษณ์ Cu มีเลขอะตอม 29 มีน้ำหนักอะตอม 63.546 ในตารางธาตุทองแดงจะอยู่ระหว่างธาตุนิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชั่น แถวที่หนึ่ง และมีธาตุอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่ากลุ่มโลหะ Coinage คือธาตุเงิน และ ทอง ค่า Electronic Configuration ของทองแดงคือ $[1s^2 2s^2 2p^6 3s^2]3d^{10}4s^1$ หรือ $[Argon]3d^{10}4s^1$ อิเล็คตรอนใน 4s ทำให้ทองแดงมีสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุโพแตสเซียม (P) ที่มี Electronic Configuration เป็น $[Argon]4s^1$ อย่างไรก็ตามทองแดงมีรูปทรงที่ต่างกับโพแตสเซียม ทองแดงมีค่า Ionization Potential ลำดับที่หนึ่งสูงกว่าโพแตสเซียมแต่มีค่า Ionization Potential ลำดับที่สองและสามต่ำกว่าโพแตสเซียม

ตามปกติทองแดงจะไม่ทำปฏิกิริยา ไม่ละลายใน Nonoxidizing Acid เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ค่าOxidation Potential ของปฏิกิริยาคือ –0.34 V ที่ 25 องศาเซลเซียส ทองแดงละลายใน Oxidizing Acid เช่น กรดไนตริก (HNO_3) หรือในตัวทำละลายเช่น ไทโอยูเรีย (Thiourea), $=C(NH_2)_2$ ได้สารละลายที่เสถียรคือ Cu^{1+} ไอออน ดังสมการ

$$Cu + 3S=C(NH_2) + HCl \longrightarrow Cu[S=C(NH_2)_2]_3Cl + 1/2H_2$$

Cu^{2+} จะเกิดขึ้นเมื่อมีแก๊สออกซิเจน (O_2) และตัวทำละลายเช่น แอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการ

$$Cu + 4NH_3 + 1/2O_2 + H_2O \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^-$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนของทองแดงที่พบบ่อยๆ มี 2 รูปคือ Cu^{1+} และ Cu^{2+}

Cu^{1+} ไอออน มี Electronic Configuration เป็น $[Argon]3d^{10}$ ปกติแล้วจะไม่มีสีเพราะมีอิเล็คตรอนอยู่เต็มใน d-shell การที่มีสีปรากฏในสารประกอบของ Cu^{1+} เนื่องจากแสงวิสิเบิล ทำให้อิเล็คตรอนถูกกระตุ้นจาก Cu^{1+} d Orbital ไปสู่ Orbital ที่ว่างของลิแกนด์หรือเกิดจากสีใน ตัวของลิแกนด์เอง สารประกอบของ Cu^{1+} ประกอบไปด้วยโมเลกุลหรือไอออน 2 หรือมากกว่า 2 จำนวนของลิแกนด์ (Coordination Number) ส่วนมากจะเท่ากับ 4 Coordination Number 2 และ 3 พบน้อย ขณะที่ Coordination Number 5 พบยากมาก และ Coordination Number 6 ไม่เคยพบเลย

Cu^{2+} ไอออนมีอิเล็คตรอนใน d-shell ไม่เต็ม ทำให้สารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} มีสี และแสดงสมบัติแม่เหล็กเนื่องจากอิเล็คตรอนที่ไม่เข้าคู่ สมบัติแม่เหล็กนี้ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} บิดเบี้ยวอย่างชัดเจน เกลือของ Cu^{2+} ละลายได้ดีในน้ำ และในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วเช่น เมทานอล (Methanol) และ อะซิโตไนไตร์ (Acetonitrile)

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

โลหะทองแดงมีสีแดงหรือชมพูแดง มีค่าความต้านทางไฟฟ้า 0.15328 โฮมห์ต่อมิเตอร์-กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความนำไฟฟ้า (Specific Electrical Conductivity) 60.0 เมตรต่อโฮมห์ .ตารางมิลลิเมตร มีค่าความแข็ง (Brinell Hardness, H_B) 35×10^3 นิวตันต่อตารางเมตร มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) 1083 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด (Boiling Point) 2595 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของโลหะทองแดงบริสุทธ์ 8.9592 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธ์การขยายตัว (Coefficient of Linear Expansion) 1.65×10^{-5} ต่อองศาเซลเซียส ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนจำเพาะของของแข็ง (Specific Heat of the Solid) 0.092 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะของของเหลว (Specific Heat of the Liquid) 0.112 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะในสถานะไอ (Specific Heat of the Vapor State) 0.08 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส

ทองแดงในธรรมชาติมีไอโซโทป (Isotope) 2 ชนิดผสมกันคือ ^{63}Cu และ ^{65}Cu ไอโซโทปอื่นที่รู้จักกันดีคือ ไอโซโทปที่มีเลขมวล 60, 61, 62, 64, 66 และ 67 ไอโซโทป ^{64}Cu เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิต 12.8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (Standard Electrode Potentials) ของการวิเคราะห์ที่น่าสนใจแสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (Standard Electrode Potentials) ของทองแดง

Reaction	$E°$, v.
$Cu(NH_3)_4^{+2} + 2e = Cu + 4NH_3$	−0.05
$Cu^{+2} + e = Cu^+$	0.167
$CuCl_2^- + e = Cu + 2Cl^-$	0.19
$Cu^{+2} + 2e = Cu$	0.3448
$Cu^+ + e = Cu$	0.522
$Cu^{+2} + 2I^- + e = CuI_2^-$	0.690
$Cu^{+2} + I^- + e = CuI$	0.877

การนำทองแดงมาใช้ประโยชน์

ปัจจุบันได้มีการนำโลหะทองแดงมาเป็นส่วนผสมของสิ่งต่างๆ มากมายดังนี้

1. สิ่งก่อสร้าง (Architecture)

ท่อระบายน้ำ (Gutter) มุงหลังคา (Roofing) มุ้งลวด (Screening) ตะแกรง (Grillwork) ผ้าม่าน (Screen Cloth) เหรียญตรา (Medallion)

2. ตัวขับเคลื่อน (Atomotive)

หม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) ฝาสูบเครื่องจักร (Gasket) เครื่องสะท้อนเสียง (Reflector) แกนของเครื่องฉายรังสี (Rodiator Core)

3. อุปกรณ์ทางไฟฟ้า (Electrical)

ลวดนำไฟฟ้า (Condutive-Wire Contact) มอเตอร์ (Motor) เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductor) หลอดอิเล็คตรอน (Electron Tube) ฝาครอบแบตเตอรี (Battery Cap) ปลอกแสงสัญญาณ (Flashlight Shell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Hardware

บัดกรีทองแดง (Soldering Copper) ลูกลอย (Ball Floate) หมุดโลหะสำหรับตอกยึด (Rivet) หน้าปัดนาฬิกา (Clock Dial) สายปั้ม (Pump Line) โซ่ (Chain) เครื่องมือดับเพลิง (Fire Extinguishers) สกูร (Screw) อุปกรณ์ทางทะเล (Marine Hardware) สายเหล็กบีบยึด (Line Clamp) กุญแจ (Lock) บานพับ (Hinge) อุปกรณ์ที่ใช้ซ่อมท่อต่างๆ (Plumbing Accessory) ลิ้นบังคับการไหลของของเหลวหรือแก๊ส (Valve Stem)

5. อุตสาหกรรม (Industrial)

ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เครื่องระเหย (Evaporator) เยื่อกระดาษ (Pulp and Paper Piping) แทงค์ (Tank) ท่อน้ำและท่อไอน้ำ (Steam and Water Piping) ตัวให้ความร้อน (Heater) เครื่องวัดรังสี (Radiator) หลอดคอนเดนเซอร์ (Condenser Tube)

6. การขนส่ง (Transportation)

ถังหล่อเย็นน้ำมัน (Oil Cooler)

7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการรบ (Mnuitions)

หมุดติดลูกกระสุน (Firing-Pin Support Shell) ที่หุ้มลูกกระสุน (Bullet Jacket) ปลอกสายชนวน (Fuse Cap) สายจุดระเบิดให้เกิดประกายไฟ (Primer)

8. เครื่องสำอาง (Cosmetice)

กล่องใส่ลิปสติก (Lipstick Case) ตลับแป้ง (Compact)

9. อื่นๆ (Other)

ใช้เป็นขั้วแอโนด (Anode) อุปกรณ์ของขบวนการทางเคมี (Chemical Process Equipment) ที่หมุนเครื่องพิมพ์ (Printing Roll) สายเครื่องวัด (Gauge Line) รองพื้นสำหรับชุบทอง (Base for Gold Plate) เครื่องประดับตกแต่ง (Ornamesstal Trim) เครื่องประดับ(Costume Jewelry) แผงหน้าปัดวิทยุหรือโทรทัศน์ (dial)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดงกับสิ่งมีชีวิต

บทบาทของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. มีบทบาทในขบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลด์ของพืช
2. เป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในพืช
3. ใช้ในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของพืชชั้นต่ำเช่น สาหร่าย และ ฟังก์ไจ
4. การขาดทองแดงในพืช ทำให้พืชตาย ไม่สามารถผลิตเมล็ด ลดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง
5. ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา
6. ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นในขบวนการเมตาบอริซึ่มในสัตว์ มนุษย์ผู้ใหญ่ต้องการ 2 มิลลิกรัมต่อวัน และในร่างกายจะมีทองแดง 100-150 มิลลิกรัม
7. ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินในสัตว์
8. ทำให้เกิดโรค Anemia ในสัตว์เนื่องจากมีธาตุทองแดงต่ำในอาหารสัตว์ ในสัตว์จำพวก วัว ควาย และแกะ การขาดธาตุทองแดงทำให้เกิดโรคDiarrhea Anemia
9. เกิดโรคประสาท Nervous Disorder เนื่องจากมีธาตุโมลิบดินั่มมากเกินไป ซึ่งไปยับยั้งการสะสมของทองแดงในตับ มักเกิดกับสัตว์จำพวก วัว ควาย และ แกะ
10. เกิดโรค Reclamation ในพืชเนื่องจากการขาดทองแดงอย่างรุนแรง
11. อาการการขาดธาตุทองแดงในสัตว์ จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด และอายุ แต่ที่ปรากฏอยู่เสมอคือขนของสัตว์จะซีดลง
12. ใช้เป็นอาหารเสริมให้กับสัตว์ กรณีที่สัตว์ขาดธาตุทองแดงหรือเพื่อควบคุมปรสิตภายใน

โทษของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. ดินที่มีทองแดงมากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืช และสัตว์ตามห่วงโซ่อาหาร
2. การสะสมตัวของทองแดงในมนุษย์ทำให้เกิดอาการ อาเจียน ตะคริว และเกิดอาการชัก ถ้ามีปริมาณเท่ากับ 27 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ เรียกว่าโรค Wilson's
3. ยับยั้งการทำงานของเอ็มไซม์ เนื่องจากทองแดงรวมตัวกับ Thiol ของเอ็มไซม์
4. การสะสมของทองแดงในสัตว์เป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดโรคไตวาย และโรคดีซ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ง.

การส่งผ่านมวล (Mass Transport)

การส่งผ่านมวลหรือการเคลื่อนที่ของไอออนเข้าหาขั้วอิเล็กโทรด ในระบบทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical System) สามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ

1. การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ เกิดเมื่อมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอออนบริเวณผิวของขั้วอิเล็กโทรดกับในสารละลาย จะเกิดการแพร่ของไอออนจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ อัตราเร็วของการแพร่ขึ้นกับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นทั้งสองแห่งเช่น ในการทำอิเล็กโทรไลซีสของไอออนที่มีประจุบวก พวกไอออนของโลหะหนัก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่บริเวณผิวของขั้วแคโทด ไอออนที่มีประจุบวกจะเปลี่ยนรูปเป็นโลหะเกาะที่ขั้วแคโทด ทำให้ความเข้มข้นของไอออนที่มีประจุบวกที่บริเวณผิวขั้วแคโทดน้อยกว่าในสารละลาย ทำให้เกิดการแพร่ของไอออนที่มีประจุบวกจากในสารละลายไปยังผิวหน้าของขั้วแคโทด ยิ่งมีความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนที่มีประจุบวกในสารละลายกับบริเวณผิวหน้าของขั้วแคโทดมากเท่าใดก็จะยิ่งมีการแพร่ได้รวดเร็ว การแพร่ทำให้เกิดกระแสขึ้นเรียกว่า กระแสจากการแพร่ (Diffusion Current) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออน อัตราเร็วของการแพร่ยิ่งมาก กระแสจากการแพร่ก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น

2. การไมเกรท (Migration)

เป็นการเคลื่อนที่ของไอออน ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสารละลายนั้น เมื่อไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนด และไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด ความเร็วของ การเคลื่อนเข้าหาหรือเคลื่อนออกจากผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้น หรือลดลงแล้วแต่ศักย์ไฟฟ้า ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านั้น ซึ่งทำให้การไหลของกระแสในวงจรเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย และการที่มีไอออนหลายๆ ชนิดจำนวนมากในสารละลาย ทำให้อัตราส่วนของไอออนที่สนใจต่อประจุทั้งหมดจะลดลง และเมื่อใดที่อัตราส่วนของกระแสที่เกิดจากไอออนที่สนใจต่อประจุทั้งหมดลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ การไมเกรชันของไอออนที่สนใจไปยังขั้วแคโทดจะไม่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การพา (Convection)

การพา เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายถูกพาเข้าหาหรือออกจากผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าเนื่องจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารละลาย และ แรงทางกลศาสตร์เช่น การใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายอิเล็กโทรไลท์ การคนสารละลาย การเขย่าสารละลาย หรือการทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลท์มีการเคลื่อนที่ หรือให้มีการเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ หรือให้มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรด ทั้งหมดนี้ทำให้ไอออนเคลื่อนที่เข้าหาขั้วอิเล็กโทรดได้เร็วขึ้น

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของไอออนเข้าหาขั้วทั้ง 3 แบบคือ อุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารละลาย และความแรงของไอออน (Ionic Strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

คำจำกัดความ

1. “โรงงานอุตสาหกรรม” หมายถึง โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

2. “น้ำเสีย” หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

3. “น้ำทิ้ง” หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้

4. “โลหะหนัก” หมายถึง โลหะที่มีน้ำหนักจำเพาะ (Specific Gravity) มากกว่า 4 มีน้ำหนักอะตอม (Atomic Mass) สูง มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 กลุ่มของโลหะหนักอยู่ภายในคาบที่ 4-7 ตรงครึ่งล่างของตารางธาตุ เรียกโลหะกลุ่มนี้ว่ากลุ่มโลหะทรานซิชัน (Transition Metals) โดยปกติโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนักคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ สะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนักคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ทำให้สามารถรวมตัวกับสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูป สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักโดยทั่วไปจะมีสี ซึ่งละลายน้ำแล้วมีฤทธิ์เป็นได้ทั้งกรดอ่อนและเบสอ่อน โลหะหนักอาจเป็นตัวออกซิไดซ์หรือตัวรีดิวซ์ก็ได้ การที่โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าในรูปโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic Compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนอยู่ในดิน น้ำ อากาศ และอาหาร แล้วเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ กลุ่มโลหะเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุของมลพิษที่มีต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งมาจากหลายแหล่งเช่น ตะกั่วที่อยู่ในน้ำมันเบนซิน น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และการชะไอออนของโลหะหนักออกมาจากดินลงสู่ทะเลสาบและ แม่น้ำ โดยอิทธิพลของฝนกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.
มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)
ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า 'ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นใน

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

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

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแต่ต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตก ต่างจากที่กำหนดไว้ 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 อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6 โครเมียม (Chromium)

4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่> 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8 นิเกิล (Nickel)ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9 ทองแดง (Copper) ม่มากกว่า 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 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound ไม่มากกว่า1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ไม่ต้องมี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12 สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจ แตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่งต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

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

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

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโหละหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคบี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชั่น (HydrideGeneration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคบี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลีคัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริคแอซิค (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมา โตกราฟี (Gas-Chromatography)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิพิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (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, Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ด้วย American Water

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(นายเสถียร วีระวงศ์)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้