

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525. เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ประยูรวงศ์.
- กฤษณา ชุตินา. 2538. หลักเคมีทั่วไป. เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัณทมาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2539. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์. 2539. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดี โดยวิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชยพร สงวนทรัพย์ากร และ พัฒนพงษ์ สงวนรักษ์. 2542. โครงการการเรียนการสอน เพื่อเสริมประสบการณ์ เรื่อง การกำจัดโลหะหนักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทบวงมหาวิทยาลัย. 2528. คณะกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ตามโครงการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัย. เคมีเล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : อักษรเจริญทัศน์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิยา เจริญมวิจาวัด. 2541. การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์โดยใช้แบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพดล คงศรีเจริญ , จงรักษ์ ผลประเสริฐ. 2540. การประยุกต์ใช้เทคนิคการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมีในการกำจัดโลหะหนักและสีออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ สวสท ' 40.

- นวรรัตน์ พรหมจินดา , ศศิโณทัย ไรจนุตมะ และ ศศิธร สว่างศรี. 2543. รายงานโครงการการเรียนรู้การสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ เรื่อง การแยกถังกะสีและตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริเมษ เจริญนพคุณ. 2545. การกำจัดไนเตรดในน้ำทิ้งชุมชนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- พวงรัตน์ แก้วล้อม. 2537. แนวทางการจัดการน้ำเสียซีโอดี ในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรภรณ์ ทวีสุวรรณพร. 2545. การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียซีโอดีโดยใช้เคลือบโพลีเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญศรี ทรัพย์อุดมมาก และ พูนทรัพย์ ตีรภานาถกุล. 2538. รายงานโครงการวิจัย เรื่อง การกำจัดโลหะหนักของแดงในน้ำเสียโดยวิธีทางไฟฟ้าเคมี. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรุตยา ธีระพงศ์ไพบูลย์. 2541. การกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้าร่วมกับ การตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศิริพงษ์ ไรจน์ลือชัย และ สุรรัตน์ ฅมยาศิริกุล. 2536. รายงานโครงการวิจัย เรื่อง การกำจัดสีน้ำเสียสิ่งทอโดยขบวนการไฟฟ้าเคมี. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สุรัตน์ เพชรเกษม. 2541. การศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุรัตน์ ถมยาศิริกุล. 2540. การกำจัดไฮดรอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอดีด้วยกระบวนการเฟอร์ไรต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- หทัยทัต ชื้อสุวรรณ . 2544 . การนำโลหะหนักกลับคืนจากสลัดจ์โดยวิธีไฟฟ้าเคมี . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- อินทิรา หาญพงษ์พันธ์. 2538. เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

- Abdo, M.S. , and Sedahmed, G.H. 1991, June. A new technique for removing hexavalent Chromium from wastewater via galvanic reduction with Iron scrap. World Congress of Chemical Engineering (Karlsruhe, Germany) 16-21 : 10-14.
- Allmand, J. 1931. The principles of electrochemical engineering. 1<sup>st</sup> ed. New York.
- Aslam, S. , and Walker, O. L. 1982. Recycling of mercury and silver from COD tests. Water Pollution Control Federal 54 : 1148-1151.
- Berger, K. 1987. Electrochemical engineering. 2<sup>nd</sup> ed. New York.
- Biwyk, A. 1991, June. Electrocoagulation of biologically treated sewage. World Congress of Chemical Engineering (Karlsruhe, Germany) 16-21 : 41-49.
- Clarence, R.H. 1971, October. Electrolysis in a particulate carbon packing. U.S.Pat 26 : 3 , 616 , 356.
- Comminellis, C. 1992. Electrochemical treatment of wastewater containing phenol. ICHME Symposium series 127 : 97-103.

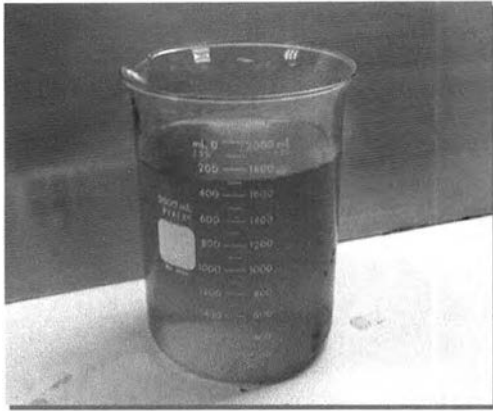
- Cross, W. H. , and McWilliams, R. 1979. Removal, recovery and reuse of silver and mercury from COD wastewater. Presented at the 117<sup>th</sup> Annual Am. Chemical Society Convention, Honolulu (April 1979). Cited by Gould, J. P. , Masingale, M. Y. , and Miller, M. 1984. Recovery of silver and mercury from COD samples by iron cementation. Water Pollution Control Federal 56 : 280-286.
- Freeman, H.M. 1989. Handbook of hazardous waste treatment and disposal. USA : McGraw Hill Book.
- Fresenius, W. , Quentin, K. E. and Schneider, W. 1988. Water analysis. Germany : Springer- Verlag Berlin Heidelberg.
- Gould, J. P. , Masingale, M. Y. , and Miller, M. 1984. Recovery of silver and mercury from COD samples by iron cementation. Water Pollution Control Federal 56 : 280-286.
- Hendrickson, K.J. , Benjamin, M.M. , Ferguson, J.F. 1984. Removal of silver and mercury from spent COD test solution Water Pollution Control Federal 56 : 468-473.
- Kongsricharoern, N. 1994. Application of electro-chemical precipitation for treatment of Cr wastewater . Ph.D. Dissertation in Environmental engineering , Asian Institute of Technology. Bangkok.
- Kongsricharoern, N. and Polprasert, C. 1996. Cr Removal by a Bipolar Electro-chemical Precipitation Process, Wat. Sci. Tech. , Vol. 34 No. 9 : 109-116.
- Krause, W.A. and Shea E.P. 1979, December. System for electrocatalytic treatment of wastewater stream. U.S.Pat 18 : 4 , 179 , 347.
- McDonald, H. 1980. Electrolytic reduction of chromium (VI) and copper using coke electrodes. USBM.RI 8472.
- Mendia, L. 1982. Electrochemical processes for wastewater treatment. Wat. Sci. Tech. 14 : 331-344.
- Molina, C. , Rigal, C. , and Lacoste, G. 1991, June. Electrotreatment of industrial wastewaters and products : A good way for environmental protection. World Congress of Chemical Engineering (Karlsruhe, Germany) 16-21 : 20-21.

- Morkovsky, P. 2001 , November . ETV verification statement . [http://www.epa.gov/etv/pdfs/vrvs/06\\_vr\\_kaselco\\_vs.pdf](http://www.epa.gov/etv/pdfs/vrvs/06_vr_kaselco_vs.pdf) .
- Ohsasa, K., Nakakura, H. , and Sambuichi, M. 1991, June. Development of electroflotation technique using sacrificial electrodes for treatment of oily wastewater. . World Congress of Chemical Engineering (Karlsruhe, Germany) 16-21 : 1-2.
- Oloman, M. 1983. Tutorial lectures in electrochemical Eng. And Tech-II. AICHE Symposium Series 79 : 69-77.
- Pretorius, W. , Johannes, W. , and Lempert, G. 1991, April. Electrolytic iron flocculant production with a bipolar electrode in series arrangement. Water SA 17 : 133-138.
- Reussard, S. , Benezech, J.F. , and Lacoste, G. 1992. Removal of hexavalent chromium converting to chromium hydroxide by treatment in an electrochemical reactor. ICHEME Symposium series 127 : 97-103.
- Ritdhiwanna, W. 2002 . Removal of chromium and mercury from COD analysis wastewater by electrochemical precipitation . The degree of master of science (Environmental Technology) , faculty of graduate studies , Mahidol University . Bangkok .
- Zuranski, D. 1994, November. Electrochemical supplementation to ion exchange for groundwater treatment. Waste Business Magazine 5 : 23-27.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

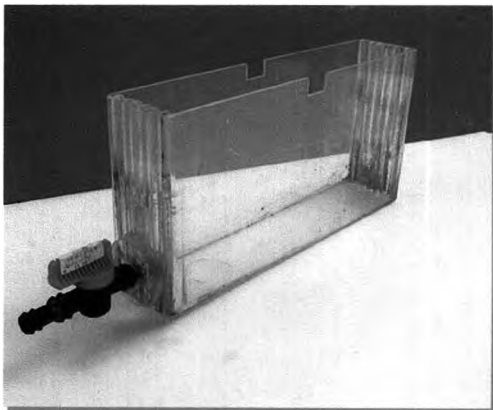
รูปแสดงเครื่องมือ อุปกรณ์ และผลการทดลอง



รูปที่ ก-1 น้ำเสียซัลไฟด์เจือจางที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 3



รูปที่ ก-2 เครื่อง DC Power Supply  
Regulator



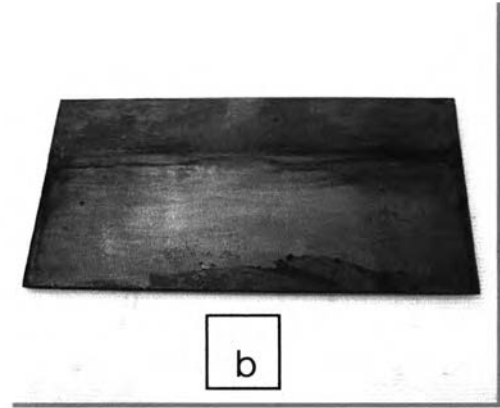
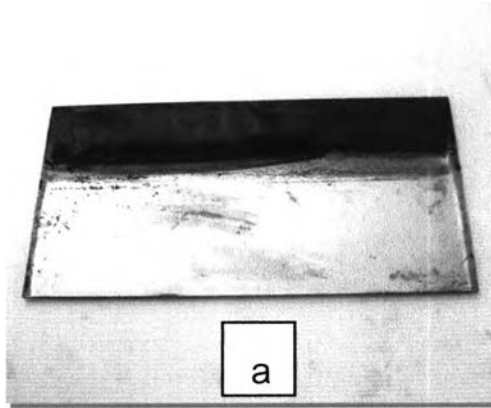
รูปที่ ก-3 Reactor ที่ใช้ในการทดลองที่ 2  
ขั้นตอนที่ 2



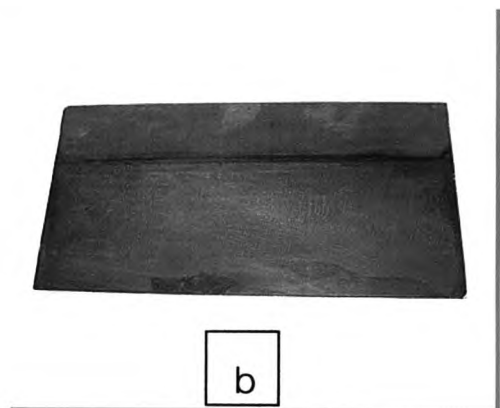
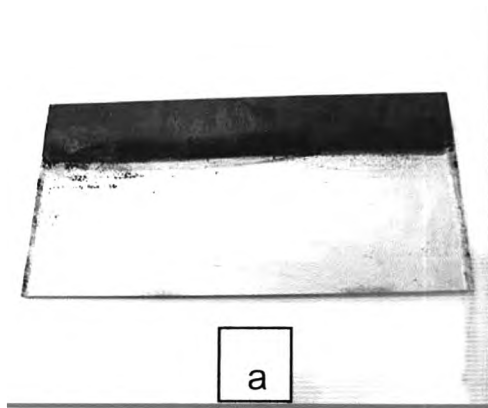
รูปที่ ก-4 แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า



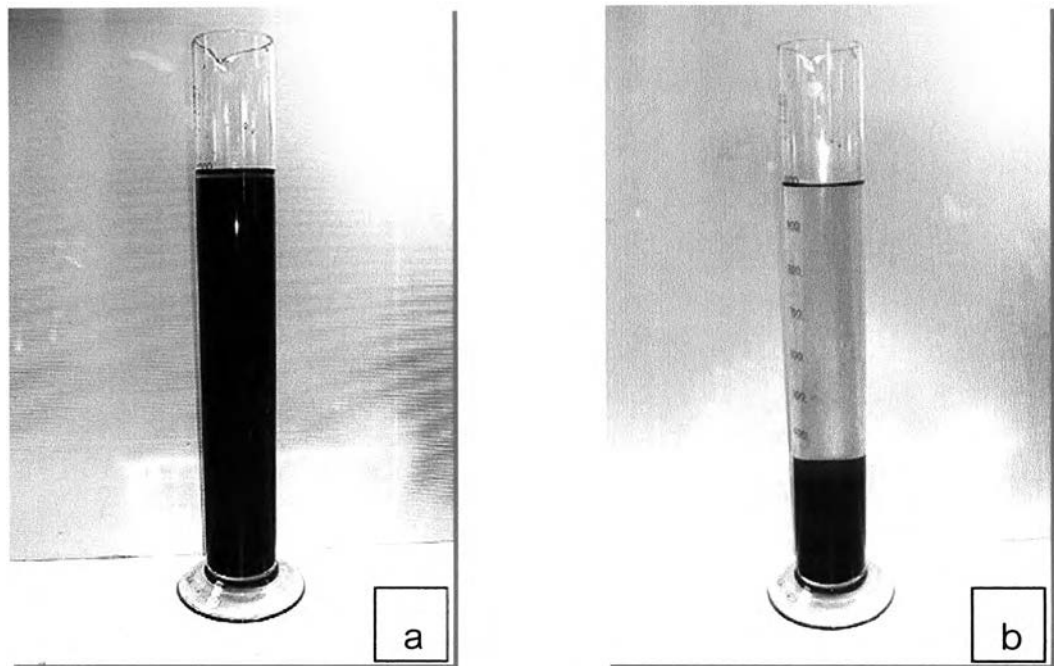




รูปที่ ก-5 ขั้วไฟฟ้าก่อนการทดลอง a) แอนโนด b) แคโทด

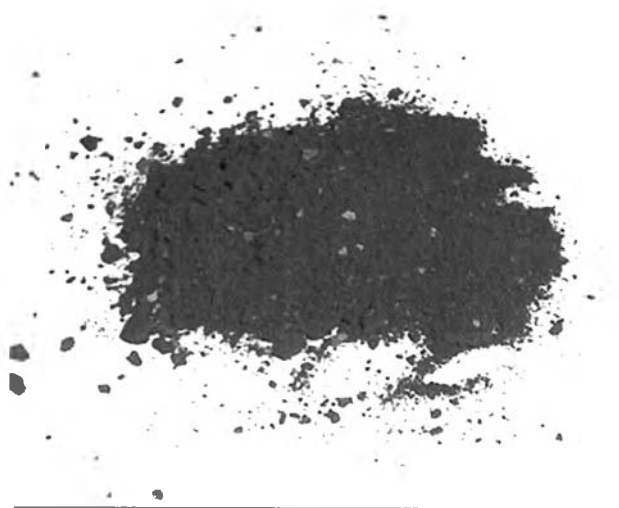


รูปที่ ก-6 ขั้วไฟฟ้าหลังการทดลอง a) แอนโนด b) แคโทด



รูปที่ ๗-7 a) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

b) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที



รูปที่ ๗-8 ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียซีไอดีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

ภาคผนวก ข.

การคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

## ภาคผนวก ข. การคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

การคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วน คือ

### 1. การคำนวณค่าสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 % ในการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียซีโอดีเจือจาง ก่อนที่จะทำการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี และจากหัวข้อ 4.2.4 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักทั้งสามชนิด คือ โครเมียมเงิน และปรอท คือ ค่าพีเอชเริ่มต้น 3 ซึ่งจากตารางที่ 4.1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียซีโอดีเจือจาง (ค่าพีเอชเป็น 0.3) ให้มีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3 คือ 64.2 กรัม/ลิตร ซึ่งเท่ากับ 64.2 กก./ลบ.ม. และโดยปกติสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50 % มีราคาประมาณ 6-10 บาท/ลิตร หรือเท่ากับ 12-20 บาท/กก. (พัชราภรณ์ ทวีสุวรรณพร , 2545) แต่จะใช้ราคา 20 บาท/กก. ในการคำนวณ ดังนั้นถ้าต้องการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 64.2 กก./ลบ.ม. จะต้องเสียค่าใช้จ่าย 1,284 บาท/ลบ.ม.

### 2. การคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้า จะคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ประเภทที่ 6 โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้า 2.6136 + 0.126 บาท / หน่วย

**ตัวอย่างการคำนวณ** การบำบัดน้ำเสียซีโอดีปริมาตร 1.5 ลิตร ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 4.09 แอมแปร์ ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ทำให้เกิดตะกอนของแข็งแขวนลอย 2,240 มก./ล.

$$\text{จากสูตร} \quad W = \frac{V \times I \times T}{1,000}$$

- เมื่อ
- W คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
  - V คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
  - I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
  - T คือ ระยะเวลาที่ใช้ไฟฟ้า (ชั่วโมง)

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสูตร} \quad W &= \frac{2 \times 4.09 \times (15 / 60)}{1,000} \\ &= 0.002045 \quad \text{กิโลวัตต์-ชั่วโมง} \end{aligned}$$

คิดค่าไฟฟ้าต่อปริมาตรน้ำเสียซีโอดีที่ต้องการบำบัด

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้นจะมีค่าเท่ากับ} & \frac{0.002045}{(1.5 / 1,000)} \end{aligned}$$

เท่ากับ 1.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.

หรือเท่ากับ 1.36 หน่วยต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} &= (2.5136 + 0.126) \times 1.36 \\ &= 3.73 \quad \text{บาทต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดค่าภาษี 7 \% เพราะฉะนั้นต้องเสียค่าไฟฟ้า} &= 3.73 + (0.07 \times 3.73) \\ &= 4.00 \quad \text{บาทต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.} \end{aligned}$$

### 3. ค่าบำบัดและกำจัดตะกอน

ปริมาณตะกอนแห้งที่เกิดขึ้น 2,240 กก./ล. (2.24 กก./ลบ.ม. ของน้ำเสียซีโอดีที่เจือจาง 10 เท่า) อย่างไรก็ตามคงเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติที่จะทำแห้งตะกอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวทำให้มีงบประมาณสูง แนวทางที่เป็นไปได้กระทำโดยการแยกน้ำออกบางส่วน เช่น การใช้เครื่องอัดกรอง (filter press) เป็นต้น ซึ่งกากตะกอนที่ได้น่าจะมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยประมาณ 10 – 30 % แต่ในที่นี้ถ้าคิดว่า กากตะกอนหลังการแยกน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 10 % ดังนั้นกากตะกอนดังกล่าวจะมึ้น้ำหนักประมาณ 22.4 กก./ลบ.ม. หรือ 0.0224 ตัน/ลบ.ม. น้ำเสียซีโอดีเจือจาง 10 เท่า

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดจะถูกนำไปทำลายฤทธิ์และฝังกลบยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสำหรับการให้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ แสดงดังตารางที่ ข.1

เนื่องจากค่ากำจัดตะกอนนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างห้องปฏิบัติการกับศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ ดังนั้นในการคำนวณจะใช้ระยะทางโดยประมาณจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ ไป – กลับ ประมาณ 60 กิโลเมตร ดังนั้นเมื่อมีกากตะกอนเกิดขึ้น 22.4 กก./ลบ.ม. จะคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดตะกอน และค่าจัดการฝังรวมค่าขนส่ง ได้ดังนี้

**ตารางที่ ข-1 ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ**

(ธัญญา เจริญมจิราวัฒน์ , 2541)

รายการ	ค่าบริการ (บาท/ตัน)
1. ค่าขนส่งกากของเสียจากห้องปฏิบัติการไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ	165.00
2. ค่าบำบัดกากของเสียที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ	755.00
3. ค่าขนส่งกากของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำไปยังที่ฝังกลบจังหวัดราชบุรี	228.00
4. ค่าจัดการฝังกลบกากของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว	874.00
5. ค่าขนถ่ายกากของเสีย	300.00
รวมค่าบริการ	2,322.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	162.54
รวมค่าใช้จ่าย	2,484.54

**หมายเหตุ**

1. ระยะทางจากห้องปฏิบัติการไป – กลับยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำประมาณ 60 กิโลเมตร
2. ค่าขนส่งกากของเสียจากห้องปฏิบัติการไปยังศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ 2.75 บาท/ตัน-กิโลเมตร

$$\begin{aligned}
\text{ค่านำบำบัดและกำจัดตะกอน} &= \text{ค่าขนส่งกากของเสียจากห้องปฏิบัติการ ไป - กลับ} \\
&\text{ยังศูนย์กำจัดกากแสมดำ} + \text{ค่านำบำบัดกากของเสียที่} \\
&\text{ศูนย์กำจัดกาก} + \text{ค่าขนส่งกากของเสียที่ผ่านการ} \\
&\text{นำบำบัดแล้วจากศูนย์กำจัดกากไปฝังกลบที่จังหวัด} \\
&\text{ราชบุรี} + \text{ค่าจัดการฝังกลบกากของเสีย} + \text{ค่าขนถ่าย} \\
&\text{กากของเสีย} \\
&= (2.75/1,000 \times 22.4 \times 60) + \\
&(755/1,000 \times 22.4) + \\
&(228/1,000 \times 22.4) + \\
&(874/1,000 \times 22.4) + \\
&(300/1,000 \times 22.4) \\
&= 52.01 \text{ บาท / ลบ.ม. ของน้ำเสียซีโอดีเจือจาง 10 เท่า}
\end{aligned}$$

### ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดโลหะหนักด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ จะคิดเฉพาะค่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าพีเอชเริ่มต้น ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดรวมกับค่านำบำบัด และค่านำบำบัดและกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบ ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงเป็นค่าใช้จ่ายเบื้องต้นโดยประมาณเท่านั้น เพื่อนำไปใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสม

$$\begin{aligned}
\text{ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น} &= \text{ค่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \\
&\text{ค่านำบำบัดและกำจัดตะกอน} \\
&= 1,284 + 4.00 + 52.01 \\
&= 1,341 \text{ บาท/ ลบ.ม. ของน้ำเสียซีโอดีเจือจาง 10 เท่า} \\
\text{หรือ} &= 13,410 \text{ บาท/ ลบ.ม. ของน้ำเสียซีโอดีเข้มข้น}
\end{aligned}$$

ภาคผนวก ค.

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียซีไอดี  
ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา



**ภาคผนวก ค.**  
**เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียซีโอดี**  
**ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา**

ปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังการบำบัด รวมถึงปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัดในน้ำเสียซีโอดีของงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมารวมถึงงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ ค-1 ส่วนตารางการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียซีโอดีของงานวิจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ ค-2 โดยในงานวิจัยนี้มีค่าบำบัด 14,370 บาท/ลบ.ม.น้ำเสียซีโอดี ส่วนงานวิจัยของพัชรภรณ์ (2545) มีค่าใช้จ่ายในการบำบัด 11,300 – 15,800 บาท/ลบ.ม. น้ำเสียซีโอดี

จากตารางที่ ค-1 และ ค-2 พบว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียซีโอดีของแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกัน รวมถึงปริมาณความต้องการสารปรับพีเอชด้วย เนื่องจากน้ำเสียซีโอดีมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่ละห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจะเห็นว่าการจะนำค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ (ค่าสารปรับพีเอช + ค่าไฟฟ้า + ค่าบำบัดตะกอน) มาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดของงานวิจัยที่ผ่านมาค่อนข้างทำได้ยาก และราคาของสารเคมีต่างๆ เช่น ราคาของโซเดียมไฮดรอกไซด์ของแต่ละงานวิจัยก็แตกต่างกัน ดังนั้นในตารางที่ ค-2 จึงได้คำนวณราคาค่าสารเคมีออกมาเป็นราคาบาทต่อหน่วยของสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบราคาของสารเคมีชนิดเดียวกันของแต่ละงานวิจัย เช่น คิดเป็นบาทต่อกรัม หรือบาทต่อลิตร และเนื่องจากน้ำเสียซีโอดีของแต่ละงานวิจัยมีปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นในตารางที่ ค-2 จึงคำนวณราคารวมค่าสารเคมี (รวมค่าไฟฟ้า) ออกมาเป็นบาทต่อกรัมของโลหะหนักที่ถูกกำจัดด้วย เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ โดยนำราคารวมที่เป็นบาทต่อลิตรมาหารด้วยปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัดรวมทั้งหมด (กรัมต่อลิตร) ก็จะได้ราคารวมค่าสารเคมีออกมาเป็นบาทต่อกรัมของโลหะหนักทั้งหมดที่ถูกกำจัด แต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายต่างๆ ก็ยังไม่ใช่ค่าที่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน เนื่องจากน้ำเสียซีโอดีมีความเป็นกรดไม่เท่ากันดังจะเห็นได้จากความต้องการปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับพีเอช ดังนั้นถ้าน้ำเสียของงานวิจัยใดมีความเป็นกรดสูงกว่า ก็จะทำให้มีความต้องการปริมาณต่างเพื่อใช้ในการปรับพีเอชสูงด้วย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการบำบัดน้ำเสียซีโอดี ส่วนค่าบำบัดตะกอนไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับระยะทางจากแต่ละห้องปฏิบัติการไปยังศูนย์กำจัดกากด้วย

ค่าใช้จ่ายที่แสดงในตารางที่ ค-2 จะเป็นเพียงค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการบำบัดน้ำเสียซีโอดีของแต่ละงานวิจัย ดังนั้นจึงยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องนักในการนำมาเปรียบเทียบ แต่ก็สามารถช่วยในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายอย่างคร่าวๆ สำหรับแต่ละงานวิจัยได้

ตารางที่ ค-1 ตารางแสดงปริมาณโลหะก่อนและหลังบำบัดรวมถึงปริมาณโลหะที่ถูกกำจัดในงานวิจัยต่างๆ

ผู้วิจัย	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ล.)								
	Cr			Ag			Hg		
	Cr <sub>Inf.</sub>	Cr <sub>Eff.</sub>	Cr <sub>Rem.</sub>	Ag <sub>Inf.</sub>	Ag <sub>Eff.</sub>	Ag <sub>Rem.</sub>	Hg <sub>Inf.</sub>	Hg <sub>Eff.</sub>	Hg <sub>Rem.</sub>
พวงรัตน์ (2537)	700	0.32	699.68	1,150	0.34	1,149.66	1,803	0.005	1,803.00
ชนิษฐา (2538)	288.45	0.01	288.44	921.1	0.5	920.60	1,341	0.001	1,341.20
สุรัตน์ (2541)	301	0.1	300.90	1,455	0.13	1,454.87	940	0.001	940.00
พัชราภรณ์ (2545)	420	0.07	419.93	2,100	0.1	2,099.90	2,000	0.001	2,000.00
ภัคพงศ์ (2546)	450	0.04	449.96	2,000	0.27	1,999.73	1,800	0.0047	1,800.00

หมายเหตุ : - ปริมาณเหล็กไม่ได้แสดงไว้ในตาราง เนื่องจากในงานวิจัยนี้สนใจการกำจัดโครเมียม เงิน และปรอท เท่านั้น

$$\begin{aligned}
 Cr_{Rem} \text{ (ปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัด)} &= Cr_{Inf.} - Cr_{Eff.} = \text{ค่าโครเมียมเริ่มต้นในน้ำเสียซีโอดี} - \text{ค่าโครเมียมที่เหลือหลังการบำบัด} \\
 Ag_{Rem} \text{ (ปริมาณเงินที่ถูกกำจัด)} &= Ag_{Inf.} - Ag_{Eff.} = \text{ค่าเงินเริ่มต้นในน้ำเสียซีโอดี} - \text{ค่าเงินที่เหลือหลังการบำบัด} \\
 Hg_{Rem} \text{ (ปริมาณปรอทที่ถูกกำจัด)} &= Hg_{Inf.} - Hg_{Eff.} = \text{ค่าปรอทเริ่มต้นในน้ำเสียซีโอดี} - \text{ค่าปรอทที่เหลือหลังการบำบัด}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค-2 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียซีไอดีกับงานวิจัยต่างๆ

ผู้วิจัย	ปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัด					สารเคมีและค่าไฟฟ้า				ราคารวม (ค่าสารเคมีและค่าไฟฟ้า)		ค่าบำบัดตะกอน (บาท/ลิตร)
	Cr <sub>Rem.</sub> (มก./ล.)	Ag <sub>Rem.</sub> (มก./ล.)	Hg <sub>Rem.</sub> (มก./ล.)	โลหะรวม (มก./ล.)	โลหะรวม (ก./ล.)	ชนิด	ปริมาณที่ใช้ / น้ำเสีย 1 ลิตร	ราคา/หน่วย (บาท/ หน่วย)	ราคา/น้ำเสีย ซีไอดี 1 ลิตร (บาท)	บาท/ลบ.ม.	บาท / กรัม โลหะหนักที่ ถูกกำจัด	
พวงรัตน์ (2537)	699.7	1,149.7	1,803.0	3,652.4	3.65	NaOH (g) 0.018N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (L) NaCl (L)	215 0.013 0.025	0.03 8.15 18	6.54 0.106 0.45	7,096	1.94	0.08
ธานีษฐา (2538)	288.4	920.6	1,341.2	2,550.2	2.55	NaOH (g) Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	300 20.2	0.02 0.012	6.099 0.24	6,400	2.51	0.06
สุรัตน์ (2541)	300.9	1,454.9	940.0	2,695.8	2.70	NaCl (g) FeS (g) NaOH (g)	4 3 270	0.009 1 0.027	0.036 3 7.2	10,236	3.79	-
พัชราภรณ์ (2545)	419.9	2,099.9	2,000.0	4,519.8	4.52	NaOH (g) ซีเลตติ้งโพลีเมอร์ (g)	559 14.4	0.012-0.02 0.3	6.708-11.18 4.32	11,128- 15,600	2.46-3.45	0.4 (ตะกอนเปียก)
ภักพวงศ์ (2546)	450.0	1,999.7	1,800.0	4,249.7	4.25	NaOH (g) ค่าไฟฟ้า (หน่วย)	642 0.0558	0.02 2.74	12.84 0.1528	13,000	3.06	1.37 (ตะกอนเปียก)

**ภาคผนวก ง.**

**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)**

ภาคผนวก ง.  
ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม  
ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)  
ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535  
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งระบายออกจากโรงงาน

---

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

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และ ไม่มากกว่า 9.0

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

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

## (4) โลหะหนัก มีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า	0.005	มก./ล.
4.2 เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า	0.02	มก./ล.
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า	0.03	มก./ล.
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า	0.2	มก./ล.
4.5 อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า	0.25	มก./ล.
4.6 โครเมียม (Chromium)			
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.25	มก./ล.
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.75	มก./ล.
4.7 แบเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า	1.0	มก./ล.
4.8 นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า	1.0	มก./ล.
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า	2.0	มก./ล.
4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า	5.0	มก./ล.
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า	5.0	มก./ล.

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2

มิลลิกรัมต่อลิตร

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| (7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)       | ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร      |
| (8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds) | ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร      |
| (9) คลอรีนอิสระ (Free chlorine)        | ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร      |
| (10) เพสติไซด์ (Pesticide)             | ต้องไม่มี                          |
| (11) อุณหภูมิ                          | ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส         |
| (12) สี                                | ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ          |
| (13) กลิ่น                             | ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ          |
| (14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)     | ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ |

อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

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

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN sinv Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

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

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดค้างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter)

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

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไคเร็คแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน โคลด์ เวปเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตรเตรท (Tritrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

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

- (9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)
- (10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดครูปืหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)
- (11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัตถุประสงค์ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
- (12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันแลไขมัน
- (13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน คัดต่อกัน หรือวิธีอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
- (14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)
- (15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลายโดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water Works Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน 2539

ไชยวัฒน์ สิ้นสุวรรณ  
(นายไชยวัฒน์ สิ้นสุวรรณ)  
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539  
ที่มา : สวสท. , 2544



ภาคผนวก จ.

การเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้า

## ภาคผนวก จ. การเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้า

จากการทดลองเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้า เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่ขั้วไฟฟ้ากับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยทำการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ค่าสูงสุดของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง จากนั้นจึงปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 2 โวลต์ เพื่อศึกษาถึงกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป และได้ผลตามตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1 การเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้า

ขนาดขั้วไฟฟ้า (เซนติเมตร)	พื้นที่ขั้วไฟฟ้า (ตารางเซนติเมตร)	สภาวะสูงสุด		ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	
		ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
12.5 X 29.5	368.75	2.8	6.33	2.0	4.24
12.5 X 20.0	250	5.1	6.33	2.0	0.85
12.5 X 15.0	187.5	6.2	6.33	2.0	0.45
12.5 X 9.5	118.75	7.0	6.33	2.0	0.24
12.5 X 5.7	71.25	8.7	6.33	2.0	0.07

จากตารางจะพบว่า เมื่อพื้นที่ขั้วไฟฟ้ามีขนาดลดลง ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องจ่ายกระแสไฟตรงสามารถจ่ายได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น (กระแสไฟฟ้าคงที่) แสดงว่าความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 2 โวลต์ จะพบว่าเมื่อพื้นที่ขั้วไฟฟ้ามีขนาดลดลง กระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงด้วย แสดงว่าความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้จะเป็นไปตามกฎของโอห์ม ( $V = I \times R$ )

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ขั้วไฟฟ้า จะทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไป แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้า ก็สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้จ่ายกระแสไฟตามค่าที่ต้องการได้ (สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย)

ภาคผนวก จ.

ตัวอย่างการคำนวณ

**ภาคผนวก จ.**  
**ตัวอย่างการคำนวณ**

บำบัดน้ำเสีย 1.5 ลิตร โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 3.91 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที พื้นที่ขั้วไฟฟ้า 368.75 ตารางเซนติเมตร ขั้วไฟฟ้าหนา 2 มิลลิเมตร ระยะห่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 5 เซนติเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จะสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ

$$V = I \times R$$

เมื่อ V คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)

$$2 = 3.91 \times R$$

$$R = 0.512 \text{ โอห์ม}$$

ค่าความต้านทานไฟฟ้า หมายถึงระบบบำบัดทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) ลักษณะน้ำเสีย ขั้วไฟฟ้า ดังนั้นค่าความต้านทานไฟฟ้านี้จะเป็นตัวกำหนดสภาวะในการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นกระแส} &= \frac{3.91 \times 1000}{(5+0.4) \times 368.75} \\ &= 2 \text{ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

สามารถนำค่านี้ไปคำนวณขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าที่ต้องการ เพื่อให้มีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ และเทียบกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} &= \frac{2 \times 3.91 \times 1}{1.5} \\ &= 5.21 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อน้ำเสีย 1 ลบ.ม.} \end{aligned}$$

สามารถนำค่านี้ไปคำนวณขนาดของระบบ และจะต้องออกแบบสำหรับปริมาตรของสารเคมีที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชด้วย

ภาคผนวก ช.

ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ชัยแควโทด

**ภาคผนวก ช.**  
**ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ซัวแคโทด**

ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียซีไอดีเจือจาง 10 เท่า ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีที่สภาวะที่เหมาะสม คือ บำบัดที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3.91 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

เมื่อนำตะกอนที่ซัวแคโทดไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก คือ โครเมียม เงิน และปรอท ผลการวิเคราะห์ไม่พบปริมาณโครเมียม ส่วนปริมาณเงินและปรอทจะพบในปริมาณที่น้อยมาก คือ มีปริมาณเท่ากับ 0.3 0.002 มก./ล. ตามลำดับ เนื่องจากการทำให้โลหะเกาะที่ซัวแคโทดจะต้องมีปริมาณโลหะในน้ำเสียสูง และใช้เวลาในการบำบัดนานกว่า 2 ชั่วโมง

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ปริมาณโลหะหนักส่วนใหญ่ที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียซีไอดีเจือจางจะอยู่ในตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากการบำบัด และมีกลไกในการกำจัดโลหะหนักตามหัวข้อ 4.4

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภักตพงศ์ เสงยวิจิตร เกิดเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช จังหวัดอุบลราชธานี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543

