

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มิตนราการพิมพ์.
- คงศักดิ์ โชติกุลสุวรรณ. 2545. การแยกสิ่งสกปรกจากน้ำเสียโรงชุบสังกะสีชนิดโซดาในดด้วยวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปริเมษ เจริญพคุณ. 2545. การกำจัดไนเตรทในน้ำทิ้งชุมชนด้วยไฟฟ้าเคมี วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ. 2539. เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มะลิ หุ่นสม. 2544. การนำทองแดง โคโรเนียม และนิกเกิลกลับคืนจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันกุลเวศน์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2551. โครงการสร้างความเข้มแข็งในการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษจากโรงงานในพื้นที่ที่มีความเปราะบางด้านสิ่งแวดล้อม. อ่างทอง. หน้า 82-120.
- วรรณรัตน์ วัฒนชัย. 2547. กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสำหรับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากโรงงานประกอบรถยนต์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรายุทธ ลาภพูนผล. 2549. การกำจัดโคโรเนียมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ร่วมกับการแยกตะกอนลอย วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สหรัฐ เชาว์รูปดี. 2552. การกำจัดสิ่งสกปรกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอนโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี และกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อินทรา หาญพงษ์พันธ์. 2539. เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิรดี สุนทรภา. 2549. การนำกลับคืนจากน้ำเสียโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีและวิธีทาง
ไฟฟ้าเคมี วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Benjamin, M.M. 2002. Water chemistry. Singapore: McGraw Hill Book.
- Cameselle, C., Pazos, M., and Sanroman, M.A. 2005. Selection of an electrolyte to enhance the electrochemical decolourisation of indigo. Optimization and scale-up. Chemosphere 60: 1080-1086.
- Carlos, I. A., Bidoia, E.D., Pallone, E. M. J. A., Almeida, M. R. H., and Souza, C. A.C. 2002. Effect of tartrate content on aging and deposition condition of copper-tin electrodeposits from a non-cyanide acid bath. Surface and Coatings Technology. 157: 14-18.
- Chen, G. 2004. Electrocoagulation technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. 38: 11-44.
- Emamjomeh, M.M., and Sivakumar, M. 2008. Fluoride removal by a continuous flow electrocoagulation reactor. Journal of environmental management. 90: 1204-1212.
- Fourcade, F. and Tzedakis, T. 2000. Study of the mechanism of the electrochemical deposition of silver from an aqueous silver iodide suspension. Journal of Electroanalytical Chemistry. 493: 20-27.
- Freeman, H.M. 1989. Handbook of hazardous waste treatment and disposal. USA: McGraw Hill Book.
- Friedrich, H. 1962. Ion Exchange. New York: MaGraw-Hill.
- Garcia-Gabaldon, M., Perez-Herranz, V., Garcia-Anton, J., and Guinon, J.L. 2005. Electrochemical recovery of tin and palladium from the activating solutions of the electroless plating of polymers Potentiostatic operation. Separation and Purification Technology. 45: 183-191.
- Manahan, J. 1993. Ion Exchange. Ann Arbor Science Publishers Department of Environmental Engineering. Illinois institute of technology. Chicago. 122 p.
- Mollah, M.Y.A., et al. 2004. Fundamentals present and future perspective of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials. B114: 189-199.

- Patterson, J.W. 1985. Industrial wastewater treatment technology. Boston: Butterworth Publisher.
- Pertorius, W., Johannes, W., and Lempert, G. 1991. Electrolytic Iron flocculants production with bipolar electrode in series arrangement . Water SA. 17: 133-13.
- Schlesinger, M., and Paunovic, M. 2000. Modern electroplating. New York: Wiley.
- Scott, K., Chen, X., Atkinson, J.W., Todd, M., and Armstrong R.D. 1997. Electrochemical recycling of tin, lead and copper from stripping solution in the manufacture of circuit boards. Conservation and Recycling. 20: 43-55.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลองทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองการกำจัดค่าความเข้มข้นของ KMnO_4 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิโมลต่อลิตรในถังปฏิกิริยาแบบไม่มีรอยต่อของสารละลายและมีรอยต่อแบบมีรอยต่อของสารละลายด้วยสารละลายไอโอดีนของสารละลายไอโอดีน แผ่นแก้วพอร์ซเลน 4 (sintered glass) และวุ้นอิมมัลชันด้วยสารละลายไอโอดีนเคลือบหลังผ่านศักย์ไฟฟ้าคงที่ 10 โวลต์เป็นเวลา 20 นาที

ถังปฏิกิริยา	KMnO_4 concentration (mmol/l)			SD	% Removal
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
ไม่มีรอยต่อ	2.44	4.30	3.37	1.32	32.60
กระดาศเซลดิลิเฟน	0.11	0.03	0.07	0.06	98.60
แผ่นแก้วพอร์	0.00	0.16	0.08	0.11	98.40
วุ้นอิมมัลชันด้วยสารละลาย NaCl	2.02	2.11	2.06	0.06	58.70

** หมายถึงเหตุ; ทดลองซ้ำครั้งที่ 3 ผล error

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้า
 คงที่ที่ 1,500 มิลลิแอมแปร์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)	% Removal
0	152.82 (*1.51)	0.00
10	130.15 (*1.75)	14.78
20	119.16 (*2.29)	21.98
30	0.00 (*9.88)	100.00
40	0.02 (*11.38)	99.99
45	0.22 (*11.63)	99.85
50	0.39 (*11.79)	99.74
60	0.79 (*11.94)	99.48

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น
 ** หมายถึงเหตุ: ทดลองครั้งเดียว เนื่องจากขั้วเหล็กปลดปล่อยนิมออกมามาก ตามผลการทดลองที่ 4.2.1

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองการกำจัดสัณสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้ละอุนีเมียมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 1,500 มิลลิแอมแปร์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)				SD	% Removal
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	152.73 (*1.58)	152.56 (*1.51)	152.72 (*1.54)	152.65	0.12	0.00
10	108.31 (*2.05)	112.07 (*1.99)	106.40 (*2.04)	110.19	2.66	29.08
20	54.38 (*5.67)	58.50 (*5.31)	52.47 (*5.40)	56.44	2.91	64.40
30	0.10 (*11.24)	0.08 (*11.03)	0.02 (*10.02)	0.09	0.01	99.93
35	0.30 (*11.44)	0.05 (*11.19)	0.11 (*11.09)	0.18	0.18	99.81
40	0.59 (*11.59)	0.05 (*11.29)	0.32 (*11.12)	0.32	0.38	99.61
60	0.70 (*11.75)	0.25 (*11.40)	0.61 (*11.25)	0.48	0.32	99.54

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองการกำจัดด่างซึ่งจากน้ำเสียซึ่งเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้า
 คงที่ที่ 1,500 มิลลิแอมแปร์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)				SD	% Removal
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	152.73 (*1.51)	152.73 (*1.58)	152.56 (*1.58)	152.67	0.10	0.00
10	131.79 (*2.52)	130.52 (*2.13)	120.47 (*1.86)	127.59	6.20	13.71
20	114.66 (*7.74)	121.00 (*6.54)	113.60 (*2.20)	116.42	4.00	24.93
30	1.84 (*10.20)	0.35 (*11.02)	0.69 (*9.10)	0.96	0.78	98.80
35	4.33 (*10.95)	1.77 (*11.32)	4.24 (*11.60)	3.45	1.45	97.16
40	6.20 (*11.57)	4.49 (*11.75)	7.08 (*11.82)	5.92	1.32	95.94
60	9.18 (*11.93)	6.20 (*11.88)	10.51 (*11.88)	8.63	2.21	93.99

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งสกปรกจากน้ำเสียส่งเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 1,500 มิลลิแอมแปร์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)				SD	% Removal
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	152.73 (*1.51)	152.82 (*1.58)	152.73 (*1.58)	152.76	0.05	0.00
10	135.60 (*2.01)	138.39 (*2.10)	136.87 (*2.10)	136.95	1.40	11.22
20	26.10 (*9.73)	25.95 (*9.78)	24.58 (*8.95)	25.54	0.84	82.91
30	2.79 (*11.24)	1.44 (*11.08)	1.18 (*11.20)	1.80	0.86	98.17
35	4.23 (*11.52)	4.16 (*11.48)	2.74 (*11.52)	3.71	0.84	97.23
40	4.68 (*11.55)	4.30 (*11.54)	4.80 (*11.51)	4.59	0.26	96.94
60	7.47 (*11.70)	6.28 (*11.75)	4.87 (*11.61)	6.21	1.30	95.11

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 2,500 มิลลิแอมป์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)	% Removal
0	152.38 (*1.58)	0.00
5	144.35 (*1.61)	5.27
10	138.79 (*1.99)	8.92
15	78.04 (*7.17)	48.78
20	2.84 (*11.42)	98.14
25	18.74 (*11.85)	87.70
30	18.00 (*12.08)	88.19

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

** หมายถึงเหตุ: ทดลองครั้งเดียว เนื่องจากเป็นการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของกระแส

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งกะตือจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ 3,000 มิลลิแอมแปร์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)	% Removal
0	152.38 (*1.58)	0.00
3	141.26 (*1.81)	7.30
6	133.23 (*1.99)	12.57
9	70.32 (*6.95)	53.85
12	0.37 (*10.79)	99.76
15	2.96 (*11.55)	98.06
18	7.09 (*11.81)	95.34
21	15.18 (*11.94)	90.04
24	23.68 (*12.09)	84.46

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

** หมายถึงเหตุ; ทดลองครั้งเดียว เนื่องจากการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของการกะแส

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 4,500 มิลลิแอมป์

เวลา (นาที)	Zinc concentration (mg/l)	% Removal
0	152.70 (*1.58)	0.00
3	138.41 (*1.98)	9.36
5	107.33 (*3.25)	29.71
7	2.81 (*11.29)	98.16
9	10.55 (*11.71)	93.09
11	17.99 (*11.90)	88.22
13	22.21 (*12.07)	85.45

* ค่า pH ของสารละลายที่วัดได้ ณ ขณะนั้น

** หมายถึงเหตุ; ทดลองครั้งเดียว เนื่องจากเป็นการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของกระแส

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งสกปรกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นตัวไฟฟ้าแคโทด และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 1

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)	pH	SD	% Removal
0	-	152.816	1.58	-	0.00
0-2	5,000	141.827	1.90	0.00	7.19
2-5	3,000	134.959	2.49	0.00	11.69
5-8	2,500	65.591	7.39	0.00	57.08
8-11	1,000	0.354	10.90	0.00	99.77
11-14	1,000	2.215	11.12	0.00	98.55
14-17	1,000	2.297	11.42	0.00	98.50
17-20	1,000	4.688	11.56	0.00	96.93
20-23	1,000	4.773	11.71	0.00	96.88
23-26	1,000	8.139	11.82	0.00	94.67
26-29	1,000	10.474	11.92	0.00	93.15

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งปะเจีจกน้ำเสียสั้เคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 2

เวลา (นาทื)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)	pH	SD	% Removal
0	-	152.816	1.58	-	0.00
0-2	5,000	143.201	1.91	0.00	6.29
2-5	4,500	59.238	7.20	0.00	61.24
5-8	3,000	11.058	11.31	0.00	92.76
8-11	1,000	2.627	11.55	0.00	98.28
11-14	1,000	4.962	11.65	0.00	96.75
14-17	1,000	5.529	11.76	0.00	96.38
17-20	1,000	7.315	11.82	0.00	95.21
20-23	1,000	7.589	11.87	0.00	95.03
23-26	1,000	7.658	11.94	0.00	94.99
26-29	1,000	10.886	11.98	0.00	92.88

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งสกปรกน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 3

เวลา (นาทื)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)	pH	% Removal
0	-	153.105	1.60	0.00
0-2	5,000	139.521	1.91	8.70
2-5	4,500	62.322	7.11	59.22
5-8	1,000	40.977	7.33	73.19
8-11	1,000	1.109	10.70	99.27
11-14	1,000	2.502	11.19	98.36
14-17	1,000	2.787	11.35	98.18
17-20	1,000	3.904	11.46	97.45
20-23	1,000	4.324	11.52	97.17
23-26	1,000	4.615	11.62	96.98
26-29	1,000	5.418	11.73	96.45

** หมายเหตุ; เป็นผลการทดลองปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าแบบที่ดีที่สุด

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งก่อกวนน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 4

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)	pH	SD	% Removal
0	-	153.871	1.62	-	0.00
0-2	5,000	140.968	1.89	0.00	7.75
2-5	4,500	58.548	7.16	0.00	61.69
5-8	1,500	38.871	7.41	0.00	74.56
8-11	680	0.974	10.39	0.00	99.36
11-14	680	2.671	11.21	0.00	98.25
14-17	1,000	4.348	11.49	0.00	97.15
17-20	1,000	5.371	11.66	0.00	96.49
20-23	1,000	6.210	11.88	0.00	95.94

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียจริงทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 1

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)						SD	% Removal
		ครั้งที่ 1	pH	ครั้งที่ 2	pH	ครั้งที่ 3	pH		
0	-	152.6	1.65	152.6	1.65	154.4	1.69	1.05	0.00
0-10	5,000	150.8	1.77	151.7	1.71	153.5	1.76	1.39	0.40
10-20	5,000	150.8	2.00	153.5	2.01	149.9	2.04	1.89	0.80
20-30	5,000	151.7	2.96	149.0	3.15	149.9	3.01	1.39	1.59
30-35	3,000	148.0	4.84	147.1	4.76	145.3	4.80	1.39	3.78
35-40	1,000	144.4	5.11	143.5	4.95	141.7	5.02	1.39	6.16
40-45	1,000	141.7	6.89	143.5	6.91	140.8	6.95	1.39	6.96
45-50	1,000	137.1	7.29	136.2	7.23	140.8	7.25	2.41	9.54
50-55	1,000	113.5	7.38	109.8	7.45	107.1	7.42	3.20	27.83
55-60	1,000	62.9	9.33	62.1	9.28	61.8	9.30	0.56	59.20
60-63	680	61.0	9.40	60.7	9.45	61.0	9.41	0.21	60.08
63-66	680	7.4	10.15	7.3	10.22	7.5	10.09	0.11	95.13
66-69	680	0.9	11.05	0.9	11.01	0.8	11.14	0.04	99.42
69-72	680	1.1	11.26	1.2	11.30	1.2	11.33	0.02	99.24
72-75	680	2.1	11.48	2.1	11.46	2.2	11.50	0.05	98.62
75-78	680	2.6	11.49	2.6	11.49	2.5	11.52	0.06	98.32
78-81	680	2.1	11.52	2.1	11.54	2.1	11.55	0.03	98.62
81-84	680	2.4	11.56	2.4	11.60	2.3	11.59	0.04	98.45
84-87	680	3.1	11.63	3.1	11.64	3.0	11.66	0.04	98.00
87-90	680	3.1	11.65	3.1	11.67	3.1	11.69	0.04	97.97
90-93	680	4.2	11.70	4.6	11.71	4.5	11.73	0.20	97.08
93-96	680	6.8	11.78	6.9	11.80	7.4	11.80	0.34	95.39
96-99	680	7.4	11.85	7.8	11.87	8.0	11.88	0.28	94.93

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองการกำจัดสัณฐานเสียจริงทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 2

เวลา (นาทื)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)							SD	% Removal
		ครั้งที่ 1	pH	ครั้งที่ 2	pH	ครั้งที่ 3	pH	เฉลี่ย		
0	-	151.7	1.67	153.5	1.67	153.5	1.63	152.9	1.05	0.00
0-10	5,000	149.0	1.79	151.7	1.77	149.9	1.76	150.2	1.39	1.79
10-20	5,000	146.2	2.05	155.3	2.03	149.0	2.08	150.2	4.67	1.79
20-30	5,000	145.3	2.97	149.0	3.00	145.3	3.02	146.5	2.10	4.17
30-35	3,000	140.8	4.74	147.1	4.60	145.3	4.72	144.4	3.28	5.56
35-40	2,000	137.1	7.04	143.5	7.12	139.9	7.01	140.2	3.20	8.34
40-45	1,000	136.2	7.30	140.8	7.41	137.1	7.35	138.0	2.41	9.72
45-50	1,000	118.0	7.67	122.6	7.73	113.5	7.75	118.0	4.55	22.81
50-55	1,000	90.7	8.39	98.0	8.44	88.9	8.35	92.5	4.81	39.48
55-60	1,000	10.9	10.45	11.4	10.25	10.5	10.33	10.9	0.46	92.85
60-63	680	3.7	10.76	3.9	10.65	3.5	10.71	3.7	0.18	97.58
63-66	680	1.6	11.04	1.7	11.02	1.6	11.10	1.6	0.04	98.94
66-69	680	1.8	11.18	1.8	11.15	1.8	11.14	1.8	0.04	98.83
69-72	680	1.7	11.29	1.8	11.30	1.7	11.28	1.7	0.01	98.86
72-75	680	1.6	11.38	1.7	11.40	1.6	11.35	1.6	0.07	98.93
75-78	680	1.8	11.44	1.8	11.46	1.8	11.41	1.8	0.03	98.83
78-81	680	2.1	11.50	2.1	11.52	2.1	11.52	2.1	0.03	98.64
81-84	680	2.5	11.56	2.5	11.59	2.5	11.57	2.5	0.01	98.39
84-87	680	2.4	11.58	2.4	11.62	2.5	11.60	2.4	0.08	98.41
87-90	680	2.9	11.59	3.0	11.64	3.1	11.63	3.0	0.06	98.04
90-93	680	3.1	11.62	3.1	11.66	3.1	11.66	3.1	0.03	97.96
93-96	680	5.1	11.68	4.9	11.69	4.8	11.71	4.9	0.17	96.78
96-99	680	7.1	11.75	7.3	11.77	6.9	11.78	7.1	0.23	95.36

ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งสกปรกน้ำเสียจากน้ำเสียจริงทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 3

เวลา (นาทื)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	Zinc concentration (mg/l)							SD	% Removal
		ครั้งที่ 1	pH	ครั้งที่ 2	pH	ครั้งที่ 3	pH	เฉลี่ย		
0	-	152.0	1.58	150.7	1.58	153.4	1.58	152.0	1.34	0.00
0-10	5,000	151.3	1.68	146.6	1.69	152.0	1.72	150.0	2.92	1.32
10-20	5,000	148.7	1.96	145.3	1.99	146.0	1.95	146.6	1.77	3.53
20-30	5,000	146.6	2.82	142.6	2.85	145.3	2.85	144.9	2.05	4.70
30-40	3,000	131.9	4.75	132.6	4.76	135.9	4.80	133.5	2.15	12.20
40-45	2,000	119.8	7.64	120.5	7.69	119.8	7.70	120.1	0.39	21.02
45-50	1,000	3.6	10.77	3.5	10.77	3.7	10.75	3.6	0.09	97.63
50-55	680	1.7	11.06	1.7	11.05	1.6	11.05	1.7	0.04	98.90
55-60	680	1.5	11.20	1.6	11.15	1.6	11.18	1.5	0.02	98.98
60-65	680	1.7	11.31	1.7	11.28	1.8	11.30	1.7	0.03	98.86
65-70	680	1.8	11.45	1.9	11.45	1.9	11.41	1.9	0.03	98.78
70-75	680	2.4	11.57	2.4	11.52	2.4	11.59	2.4	0.02	98.42
75-80	680	3.2	11.66	3.2	11.61	3.3	11.64	3.2	0.06	97.88
80-85	680	8.0	11.78	8.2	11.80	8.3	11.81	8.1	0.17	94.64

ตารางที่ ก.16 ผลการทดลองการกำจัดสิ่งสกปรกน้ำเสียจริงทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้การปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาต่างๆ แบบที่ 4

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)	Zinc concentration (mg/l)	pH	% Removal
0	-	153.4	1.59	0.00
0-10	5,000	146.6	1.73	4.37
10-20	5,000	145.3	2.02	5.24
20-30	5,000	142.6	2.94	6.99
30-35	5,000	139.9	6.92	8.74
35-40	3,000	117.2	7.50	23.60
40-45	2,000	3.2	10.91	97.94
45-50	680	1.8	11.19	98.84
50-55	680	1.4	11.32	99.10
55-60	680	2.0	11.46	98.71
60-65	680	3.4	11.64	97.79
65-70	680	7.1	11.78	95.39
70-75	680	8.4	11.90	94.55

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณ

ข.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสัณกะสี

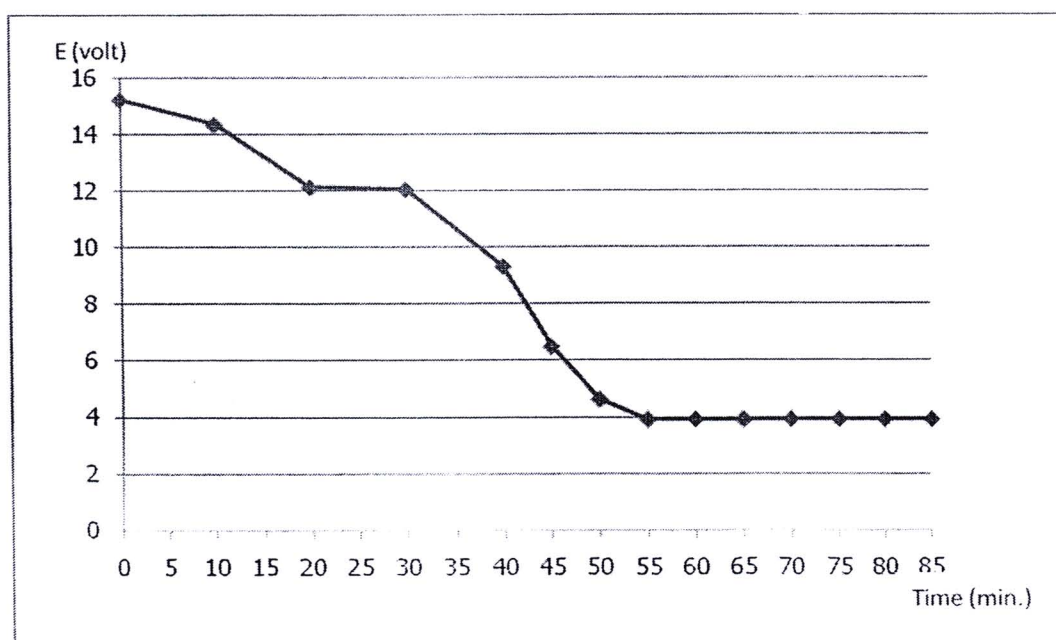
การกำจัดสัณกะสีด้วยกระบวนการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี มีค่าใช้จ่ายอยู่หลายด้าน เช่น ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ ค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้า เป็นต้น แต่ไม่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดนั้นได้ โดยเฉพาะค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่ เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า เครื่องกวน และขั้วไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ถ้าหากจะนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงแล้วนั้น ต้องมีการปรับปรุงขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

ข.1.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการทดลองทางไฟฟ้าเคมี

การคำนวณค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าเคมี จะคำนวณเฉพาะราคาค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยราคาค่าไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = I \text{ (A)} \times V \text{ (volt)} \times \text{time (hr)} / V \text{ (m}^3\text{)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ตามการทดลองกำจัดสัณกะสีในน้ำเสียจริงแบบที่ 3
(ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.15)



รูปที่ ข.1 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา เมื่อควบคุมความหนาแน่นกระแสตาม ตารางที่ ก.15

$$\text{กำลังไฟฟ้า } 5.0 \text{ A} = 5.0 \text{ A} \times \text{พท. ได้กราฟ E** @ 0-30 min/0.9 m}^3$$

$$= (5 \times (0.5 \times (15+12) \times 30) \times (30/60)) / (0.9 \times 1000)$$

$$= 1.13 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า } 3.0 \text{ A} = 3.0 \text{ A} \times \text{พท. ได้กราฟ E** @ 30-40 min/0.9 m}^3$$

$$= (3 \times (0.5 \times (12+9) \times 10) \times (10/60)) / (0.9 \times 1000)$$

$$= 0.06 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า } 2.0 \text{ A} = 2.0 \text{ A} \times \text{พท. ได้กราฟ E** @ 40-45 min/0.9 m}^3$$

$$= (2 \times (0.5 \times (6.2+9) \times 5) \times (5/60)) / (0.9 \times 1000)$$

$$= 0.01 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า } 1.0 \text{ A} = 1.0 \text{ A} \times \text{พท. ได้กราฟ E** @ 45-50 min/0.9 m}^3$$

$$= (1 \times (0.5 \times (6.2+5) \times 5) \times (5/60)) / (0.9 \times 1000)$$

$$= 0.00 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า } 0.68 \text{ A} = 0.68 \text{ A} \times \text{พท. ได้กราฟ E** @ 45-50 min/0.9 m}^3$$

$$= (0.68 \times (0.5 \times (4+5) \times 10) \times (10/60)) / (0.9 \times 1000)$$

$$= 0.01 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้ารวม} = 1.13 + 0.06 + 0.01 + 0.00 + 0.01$$

$$= 1.20 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร}$$

** พื้นที่ใต้กราฟ E ณ เวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ ข.1

การคิดค่าไฟฟ้าจะคิดจากพลังงานในการบำบัดคูณกับราคาค่าไฟฟ้าต่อ

ยูนิต ดังนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{บาท/ยูนิต})$$

$$= 1.20 \times 2.5$$

$$= 3.00 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร (Lab Scale)}$$

ดังนั้นวิธีทางไฟฟ้าเคมีมีค่าใช้จ่าย 3.00 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (Lab Scale)

ข.2 วิธีคำนวณผลการทดลอง

ข.2.1 ร้อยละการกำจัด

$$\% \text{ Removal} = \frac{(W_i - W_f) \times 100\%}{W_i}$$

W_i = ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร)

W_f = ความเข้มข้น ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร)

ข.2.2 ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแส

$$\text{Current efficiency (t) \%} = \frac{nF(C_o - C_f) V \times 100\%}{\int_0^t I(t) dt}$$

โดย n = ปริมาณอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องต่อโมล

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,500 คูลอมป์/eq)

C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้น (โมล/ลิตร)

C_f = ความเข้มข้น ณ เวลาใดๆ (โมล/ลิตร)

V = ปริมาตรของสารละลาย (ลิตร)

$I(t)$ = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

ข.2.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ ตามการทดลองกำจัดสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์แบบที่ 3

ในที่นี้ จะนำความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเสียจริง ในเวลา 8 และ 11 นาที มาเป็นตัวอย่างในการแสดงการคำนวณหาร้อยละการกำจัด และค่าประสิทธิภาพเชิงกระแส เมื่อใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 1,000 มิลลิแอมแปร์

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 152.82 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา 8 นาที ความเข้มข้นของสังกะสี 40.98 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา 11 นาที ความเข้มข้นของสังกะสี 1.11 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\% \text{ Removal} = \frac{(W_i - W_f) \times 100\%}{W_i}$$

แทนค่า ที่เวลา 8 นาที

$$= \frac{(152.82 - 40.98) \times 100\%}{152.82}$$

$$= 73.18\%$$

ดังนั้น เมื่อเวลา 11 นาที ร้อยละการกำจัดสังกะสี คือ 73.18%

แทนค่า ที่เวลา 11 นาที

$$= \frac{(152.82 - 1.11) \times 100\%}{152.82}$$

$$= 99.27\%$$

ดังนั้น เมื่อเวลา 11 นาที ร้อยละการกำจัดสังกะสี คือ 99.27%

$$\text{Current efficiency (t) \%} = \frac{nF(C_o - C_f) V \times 100\%}{\int_0^t I(t) dt}$$

แทนค่า ที่เวลา 8-11 นาที (ช่วงห่าง 3 นาที)

$$= \frac{2 \times 96500 \times [(40.98 - 1.11)/(65.4 \times 1000)] \times 0.9 \times 100\%}{1 \times 3 \times 60}$$

$$= 58.83\%$$

ดังนั้น เมื่อเวลา 11 นาที ค่าประสิทธิภาพเชิงกระแส คือ 58.83%

หมายเหตุ 1 คือ 1 A มาจาก 1,000 mA = 1A

3 คือ เวลา 8 ถึง 11 นาที = 3 นาที

60 คือ แปลงนาทีให้เป็นวินาที

ข.3 วิธีคำนวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

คงที่กระแส 1,500 มิลลิแอมแปร์

พื้นที่ขั้วแคโทด = กว้าง x ยาว x 2 ด้าน x จำนวนแผ่น

$$= 2 \text{ ซม.} \times 10 \text{ ซม.} \times 2 \times 10$$

$$= 400 \text{ ตร.ซม.}$$

ความหนาแน่นกระแส = กระแสต่อพื้นที่ขั้ว

$$= \frac{1,500 \text{ mA}}{400 \text{ cm}^2}$$

$$= 38 \text{ A/m}^2$$

ข.4 อัตราเร็วในการกำจัดสังกะสี

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ค่าความหนาแน่นไฟฟ้าที่ 38 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ณ เวลา 0-30 นาที

ลดปริมาณสังกะสีในสารละลายได้ 100% คือ สังกะสีความเข้มข้นเริ่มต้น 155 มิลลิกรัมต่อลิตร กำจัดได้ 155 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นอัตราเร็วในการกำจัดสังกะสี

$$= \frac{155 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}}{30 \text{ นาที}} = 5 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาที}$$

ดังนั้น คิดเป็นอัตราเร็วในการกำจัดสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อนาที

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิชิต ลีกุล เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือนกันยายน พ.ศ.2528 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนบ้านน้ำพัน จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนกุดจับประชาสรรค์ จังหวัดอุดรธานี เมื่อปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2552 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 4 หมู่ 1 ตำบลน้ำพัน อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี 41360



