

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษดา อิศวรุ่งแสงกุล. 2542. การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2541. คู่มือผู้ควบคุมและผู้ปฏิบัติงานระบบบำบัดมลพิษโรงงาน.
- ขนิษฐา เจริญลาภ. 2543. การกำจัดสีย้อมสี สีไครเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟจากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอน. กัลเลอร์เวย์ 34 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2543): 32-38.
- คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีชา พหลเทพ. 2544. เคมีพิสติกัล 2. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิ่นสยาม ภูมิพาณิชย์. 2546. การบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นฤมล สิริทรวงศ์. 2539. เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อม. กัลเลอร์เวย์ 8 (กรกฎาคม-สิงหาคม 2539): 48-54.
- นันทยา ขานูเมศ. 2532. สีสำหรับวัสดุเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์. สสท 88 (ธันวาคม 2532): 16.
- มันสิน ดัชนีกุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดัชนีกุลเวศม์ และมันรัช ดัชนีกุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรชยวรรณ เทียงวรกานต์. 2546. การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาด้านเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มณฑา จันทร์เกิดเล็ก. 2541. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร:
สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- স্য่อม. คัลเลอร์เวย์ 34 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2544): 14-16.
- อภิชาติ สนธิสมบัติ. 2545. กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- APHA, AWWA, and WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association.
- Cooper, SG. 1978. The Textile Industry, Environmental Protection Agency. Washington. EPA-625/778-002.
- Correia, V.M., Stephenson, T. and Judd, S.J. 1994. Charecterisation of Textile wastewater – A review. Environmental Technology. 15: 917-927.
- Daneshvar, N., Ashassi, H. and Kasiri, M.B. 2004. Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connects. Journal of Hazardous Materials. B112: 55-62.
- Holt, P., Barton, G. and Mitchell, C. 2006. Electrocoagulation as a Wastewater Treatment. The Third Annual Australian Environmental Engineering Research Event. (1999): 23-26 November. Castlemaine Victoria.
- Mumi K. 2002. Color removal from dyeing and printing wastewater in textile industry using electric arc furnace dust. Master's Thesis. Department of Environmental Technology, Graduate School, Mahidol University.
- Kim, T.H., Park, C., Shin, E.B. and Kim, S. 2002. Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. Desalination. 150: 165-175.
- Lin, S.H. and Chen M.L. 1997. Treatment of textile wastewater by chemical method for reuse. Water Research. 31(4): 868-876.
- Lin, S.H. and Peng, C.F. 1994. Treatment of textile wastewater by electrochemical method. Water Research. 28(2): 277-282.
- Lidia, S., Claudia, J., Santosh, N. and Kaul, A. 2001. Comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, Ozone, Hypochlorite and Fenton reagent. Water Research. 35(9): 2129-2136.

- McGarranhan, J. and Yang, C.L. 2005. Electrochemical coagulation for textile effluent decolorization. Journal of Hazardous Materials. B118: 197-203.
- Mehmet, K., Orhan, T.C. and Mahmut, B. 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials. B100: 163-178.
- Montgomery D.C. 2001. Design and analysis of experiment. 5th ed. New York : John Wiley & Sons Ltd.,
- Mollah, M.A., Schennach, R., Parga, R. and Cocke, D.J. 2001. Electrocoagulation (EC) – science and applications. Journal of Hazardous Materials. B84: 29-41.
- Sanroman, M.A., Cameselle, C. and Pazos, M. 2005. Selection of an electrolyte to enhance the electrochemical decolourisation of indigo. Optimisation and scale-up. Chemosphere. 60: 1080-1086.
- Tubtimngam V. 2001. Assessment of electrocoagulation when added to conventional sedimentation treatment for paper mill wastewater. Master's Thesis. Department of Environmental Technology, Graduate School. Mahidol University.
- Vlyssides, A.G., Loizidou, M., Kalis, P.K., Zoopas, A.A. and Papaioannou, D. 1999. Electrochemical oxidation of a textile dye wastewater using a Pt/Ti electrode. Journal of Hazardous Materials. 70 (2 Pt 1): 41-52
- Chaiyabut W. 2003. Removal of color and COD from dyeing process wastewater using electric arc furnace dust as adsorbent. Master's Thesis. Department of Environmental Technology, Graduate School. Mahidol University.
- Anusitth Y. 2000. Efficiency of an anaerobic sequencing bath reactor in the treatment of textile wastewater. Master's Thesis. Department of Environmental Technology, Graduate School. Mahidol University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทำกราฟมาตรฐานของการกำจัดสีโดยวิธีมาตรฐาน Pt-Co Unit

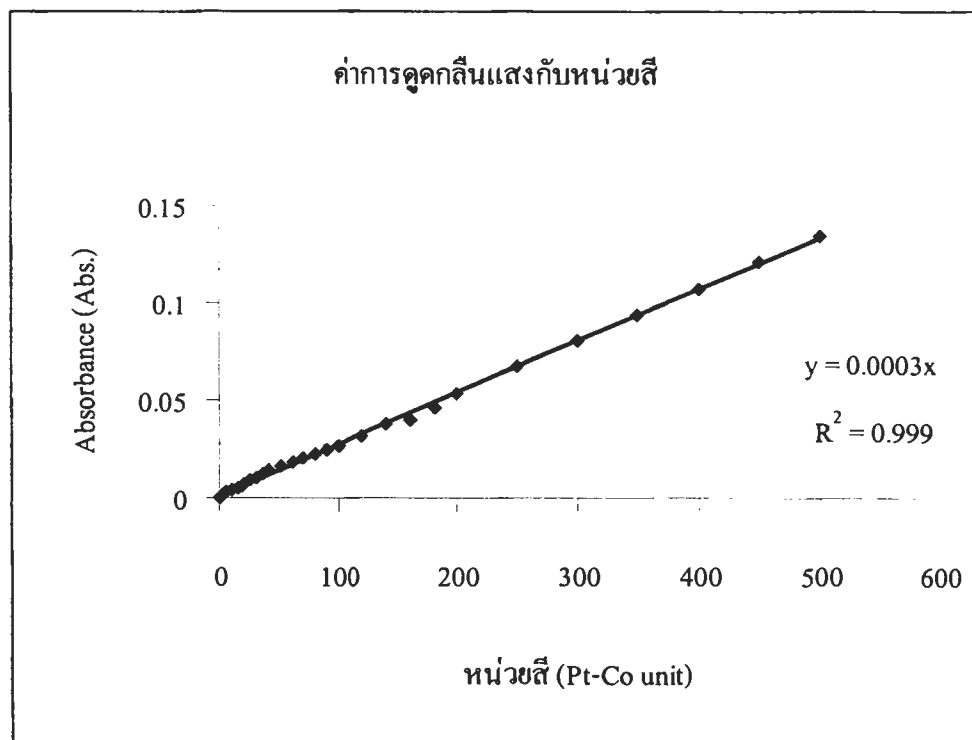
โดยการทำกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) จากการเจือจางสารละลาย และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 456 นาโนเมตร (nm) ซึ่งทำการเจือจางเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ตารางที่ ก-1 APHA Pt-Co Color Standard Preparation

APHA Pt-Co Color Standard Number	APHA No.500Pt-Co Standard (mLtodiluteto100mL)	Absorbance (456nm)
0	0	0.000
1	0.20	0.001
3	0.60	0.002
5	1.00	0.003
10	2.00	0.004
15	3.00	0.005
18	3.60	0.006
20	4.00	0.007
25	5.00	0.009
30	6.00	0.010
35	7.00	0.012
40	8.00	0.014
50	10.00	0.016

ตารางที่ ก-1 APHA Pt-Co Color Standard Preparation (ต่อ)

APHA Pt-Co Color Standard Number	APHA No.500Pt-Co Standard (mLtodiluteto100mL)	Absorbance (456nm)
60	12.00	0.018
70	14.00	0.020
80	16.00	0.022
90	18.00	0.025
100	20.00	0.027
120	24.00	0.032
140	28.00	0.038
160	32.00	0.040
180	36.00	0.046
200	40.00	0.053
250	50.00	0.069
300	60.00	0.081
350	70.00	0.0940
400	80.00	0.107
450	90.00	0.121
500	100.00	0.135



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับหน่วยสี (Pt-Co Unit)

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)

$$R_{dye} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\%$$

โดยที่ R_{dye} = ร้อยละของการกำจัดสี

C_0 = ค่า (Abs.) ก่อนการกำจัดสี

C_t = ค่า (Abs.) หลังการกำจัดสี

ตัวอย่างเช่น จากการวัดสีก่อนทำการทดลองได้ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.) เท่ากับ 0.069 และหลังจากทำการทดลองแล้วนำมาวัดสีอีกครั้ง ได้ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.) เป็น 0.006 ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะได้อีกว่า

$$R_{dye} = \left(\frac{0.069 - 0.006}{0.069} \right) \times 100\%$$

$$R_{dye} = 90.31\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 90.31%

การคำนวณค่าซีโอดี(COD) โดยวิธีclosed reflux และทำการไทเทรต

$$COD(mg/l) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{ml.sample}$$

โดยที่ A = ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตblank (ml)

B = ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง (sample, ml)

M = 0.1 โมลาร์

ml.sample = 2.5 ml

ตัวอย่างเช่น ในการทดลองหนึ่งค่าที่ได้จากการไทเทรตblank 1.45 ml การไทเทรตน้ำตัวอย่างเป็น 1.3ml เมื่อทำการแทนค่าจะได้ว่า

$$COD = \frac{(1.45 - 1.3) \times 0.1 \times 8000}{2.5}$$

$$COD = 48mg/L$$

ดังนั้นค่าCODที่ได้มีค่าเท่ากับ 48 mg/L

ตารางที่ ก-2 แสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	Abs.ก่อน	Abs.หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	S.D.
l	-1	-1	-1	0.069	0.006	90.31	90.14	0.24
				0.071	0.007	89.97		
a	+1	-1	-1	0.060	0.001	97.93	98.195	0.37
				0.065	0.001	98.46		
b	-1	+1	-1	0.058	0.001	97.74	98.025	0.40
				0.072	0.001	98.31		
ab	+1	+1	-1	0.060	0.002	97.16	97.34	0.25
				0.058	0.002	97.52		
c	-1	-1	+1	0.149	0.124	17.00	17.605	0.86
				0.136	0.111	18.21		
ac	+1	-1	+1	0.140	0.007	94.92	93.695	1.73
				0.140	0.011	92.47		
bc	-1	+1	+1	0.140	0.017	87.77	88.27	0.71
				0.149	0.014	88.77		
abc	+1	+1	+1	0.149	0.004	96.92	96.68	0.68
				0.142	0.003	97.77		

ตารางที่ ก-2 แสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม (ต่อ)

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	Abs.ก่อน	Abs.หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	S.D.																																																																																																			
Axial	-1.414	0	0	0.124	0.059	52.81	52.38	0.61																																																																																																			
				0.121	0.073	51.95			Axial	+1.414	0	0	0.115	0.001	98.92	98.315	0.86	0.117	0.003	97.71	Axial	0	-1.414	0	0.117	0.072	38.64	38.09	0.78	0.120	0.075	37.54	Axial	0	+1.414	0	0.114	0.002	97.96	97.19	1.10	0.113	0.004	96.42	Axial	0	0	-1.414	0.032	0.001	96.87	95.95	1.30	0.028	0.001	95.03	Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92	0.181	0.143	21.11	center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0
Axial	+1.414	0	0	0.115	0.001	98.92	98.315	0.86																																																																																																			
				0.117	0.003	97.71			Axial	0	-1.414	0	0.117	0.072	38.64	38.09	0.78	0.120	0.075	37.54	Axial	0	+1.414	0	0.114	0.002	97.96	97.19	1.10	0.113	0.004	96.42	Axial	0	0	-1.414	0.032	0.001	96.87	95.95	1.30	0.028	0.001	95.03	Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92	0.181	0.143	21.11	center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0	0	0.111	0.017	84.20								
Axial	0	-1.414	0	0.117	0.072	38.64	38.09	0.78																																																																																																			
				0.120	0.075	37.54			Axial	0	+1.414	0	0.114	0.002	97.96	97.19	1.10	0.113	0.004	96.42	Axial	0	0	-1.414	0.032	0.001	96.87	95.95	1.30	0.028	0.001	95.03	Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92	0.181	0.143	21.11	center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0	0	0.111	0.017	84.20																				
Axial	0	+1.414	0	0.114	0.002	97.96	97.19	1.10																																																																																																			
				0.113	0.004	96.42			Axial	0	0	-1.414	0.032	0.001	96.87	95.95	1.30	0.028	0.001	95.03	Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92	0.181	0.143	21.11	center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0	0	0.111	0.017	84.20																																
Axial	0	0	-1.414	0.032	0.001	96.87	95.95	1.30																																																																																																			
				0.028	0.001	95.03			Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92	0.181	0.143	21.11	center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0	0	0.111	0.017	84.20																																												
Axial	0	0	+1.414	0.185	0.141	23.82	22.465	1.92																																																																																																			
				0.181	0.143	21.11			center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21	center	0	0	0	0.115	0.018	83.70			center	0	0	0	0.113	0.017	84.13			center	0	0	0	0.117	0.018	83.90			center	0	0	0	0.111	0.017	84.20																																																								
center	0	0	0	0.119	0.019	84.13	84.012	0.21																																																																																																			
center	0	0	0	0.115	0.018	83.70																																																																																																					
center	0	0	0	0.113	0.017	84.13																																																																																																					
center	0	0	0	0.117	0.018	83.90																																																																																																					
center	0	0	0	0.111	0.017	84.20																																																																																																					

ตารางที่ ก-3 แสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วเหล็ก

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	Abs. ก่อน	Abs. หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	S.D.
1	-1	-1	-1	0.060	0.052	12.87	12.79	0.11
				0.071	0.062	12.71		
a	+1	-1	-1	0.073	0.008	89.16	88.99	0.24
				0.075	0.008	88.82		
b	-1	+1	-1	0.072	0.032	55.74	56.19	0.64
				0.065	0.028	56.64		
ab	+1	+1	-1	0.060	0.002	96.77	96.885	0.16
				0.062	0.002	97.00		
c	-1	-1	+1	0.149	0.137	9.32	9.04	0.40
				0.149	0.135	8.76		
ac	+1	-1	+1	0.149	0.120	18.15	18.395	0.35
				0.149	0.121	18.64		
bc	-1	+1	+1	0.149	0.107	28.15	28.00	0.21
				0.147	0.106	27.85		
abc	+1	+1	+1	0.149	0.005	96.56	95.36	0.28
				0.149	0.007	95.16		

ตารางที่ ก-3 แสดงผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วเหล็ก (ต่อ)

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_B)	Abs.ก่อน	Abs.หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	S.D.																																																																																																			
Axial	-1.414	0	0	0.121	0.096	20.55	20.935	0.54																																																																																																			
				0.119	0.094	21.32			Axial	+1.414	0	0	0.115	0.004	96.63	96.37	0.37	0.120	0.005	96.11	Axial	0	-1.414	0	0.119	0.086	27.42	27.005	0.59	0.114	0.084	26.59	Axial	0	+1.414	0	0.117	0.014	88.25	87.935	0.45	0.112	0.014	87.62	Axial	0	0	-1.414	0.024	0.007	70.83	71.13	0.42	0.021	0.006	71.43	Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23	0.184	0.171	7.12	center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0
Axial	+1.414	0	0	0.115	0.004	96.63	96.37	0.37																																																																																																			
				0.120	0.005	96.11			Axial	0	-1.414	0	0.119	0.086	27.42	27.005	0.59	0.114	0.084	26.59	Axial	0	+1.414	0	0.117	0.014	88.25	87.935	0.45	0.112	0.014	87.62	Axial	0	0	-1.414	0.024	0.007	70.83	71.13	0.42	0.021	0.006	71.43	Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23	0.184	0.171	7.12	center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0	0	0.111	0.082	25.60								
Axial	0	-1.414	0	0.119	0.086	27.42	27.005	0.59																																																																																																			
				0.114	0.084	26.59			Axial	0	+1.414	0	0.117	0.014	88.25	87.935	0.45	0.112	0.014	87.62	Axial	0	0	-1.414	0.024	0.007	70.83	71.13	0.42	0.021	0.006	71.43	Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23	0.184	0.171	7.12	center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0	0	0.111	0.082	25.60																				
Axial	0	+1.414	0	0.117	0.014	88.25	87.935	0.45																																																																																																			
				0.112	0.014	87.62			Axial	0	0	-1.414	0.024	0.007	70.83	71.13	0.42	0.021	0.006	71.43	Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23	0.184	0.171	7.12	center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0	0	0.111	0.082	25.60																																
Axial	0	0	-1.414	0.024	0.007	70.83	71.13	0.42																																																																																																			
				0.021	0.006	71.43			Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23	0.184	0.171	7.12	center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0	0	0.111	0.082	25.60																																												
Axial	0	0	+1.414	0.182	0.169	6.80	6.96	0.23																																																																																																			
				0.184	0.171	7.12			center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20	center	0	0	0	0.111	0.083	25.53			center	0	0	0	0.115	0.086	25.40			center	0	0	0	0.113	0.085	25.10			center	0	0	0	0.111	0.082	25.60																																																								
center	0	0	0	0.110	0.082	25.26	25.378	0.20																																																																																																			
center	0	0	0	0.111	0.083	25.53																																																																																																					
center	0	0	0	0.115	0.086	25.40																																																																																																					
center	0	0	0	0.113	0.085	25.10																																																																																																					
center	0	0	0	0.111	0.082	25.60																																																																																																					

ตารางที่ ก-4. แสดงผลของประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีโดยการไทเทรตของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	CODก่อน	CODหลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	S.D.
1	-1	-1	-1	80	48	40.00	40.00	0.00
				80	48	40.00		
a	+1	-1	-1	212	64	69.81	68.40	2.22
				96	32	66.67		
b	-1	+1	-1	206	64	68.96	69.465	0.76
				160	48	70.00		
ab	+1	+1	-1	144	48	66.67	67.71	1.47
				256	80	68.75		
c	-1	-1	+1	288	272	5.56	5.56	0.00
				288	272	5.56		
ac	+1	-1	+1	256	152	40.47	40.735	0.37
				256	151	41.00		
bc	-1	+1	+1	215	128	40.47	40.825	0.50
				272	160	41.18		
abc	+1	+1	+1	256	130	49.22	48.78	0.62
				271	140	48.34		

ตารางที่ ก-4. แสดงผลของประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีโดยการไทเทรตของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม (ต่อ)

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	CODก่อน	CODหลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	S.D.																																																																																																			
Axial	-1.414	0	0	208	102	50.49	49.61	1.24																																																																																																			
				204	105	48.73			Axial	+1.414	0	0	208	48	76.92	76.16	1.07	214	52	75.40	Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.57	1.68	224	184	17.76	Axial	0	+1.414	0	208	80	61.52	61.78	0.37	272	103	62.04	Axial	0	0	-1.414	64	16	75.00	74.22	1.10	96	25	73.44	Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59	408	236	42.21	center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0
Axial	+1.414	0	0	208	48	76.92	76.16	1.07																																																																																																			
				214	52	75.40			Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.57	1.68	224	184	17.76	Axial	0	+1.414	0	208	80	61.52	61.78	0.37	272	103	62.04	Axial	0	0	-1.414	64	16	75.00	74.22	1.10	96	25	73.44	Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59	408	236	42.21	center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0	0	160	100	37.11								
Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.57	1.68																																																																																																			
				224	184	17.76			Axial	0	+1.414	0	208	80	61.52	61.78	0.37	272	103	62.04	Axial	0	0	-1.414	64	16	75.00	74.22	1.10	96	25	73.44	Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59	408	236	42.21	center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0	0	160	100	37.11																				
Axial	0	+1.414	0	208	80	61.52	61.78	0.37																																																																																																			
				272	103	62.04			Axial	0	0	-1.414	64	16	75.00	74.22	1.10	96	25	73.44	Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59	408	236	42.21	center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0	0	160	100	37.11																																
Axial	0	0	-1.414	64	16	75.00	74.22	1.10																																																																																																			
				96	25	73.44			Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59	408	236	42.21	center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0	0	160	100	37.11																																												
Axial	0	0	+1.414	464	272	41.38	41.795	0.59																																																																																																			
				408	236	42.21			center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53	center	0	0	0	256	160	37.50			center	0	0	0	176	112	36.85			center	0	0	0	144	90	37.20			center	0	0	0	160	100	37.11																																																								
center	0	0	0	208	132	36.11	36.954	0.53																																																																																																			
center	0	0	0	256	160	37.50																																																																																																					
center	0	0	0	176	112	36.85																																																																																																					
center	0	0	0	144	90	37.20																																																																																																					
center	0	0	0	160	100	37.11																																																																																																					

ตารางที่ ก-5 แสดงผลของประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีโดยการไทเทรตของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วเหล็ก

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	CODก่อน	CODหลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	S.D.
l	-1	-1	-1	96	80	16.67	16.96	0.41
				96	79	17.25		
a	+1	-1	-1	96	64	33.33	33.33	0.00
				96	64	33.33		
b	-1	+1	-1	128	85	33.59	33.46	0.18
				96	64	33.33		
ab	+1	+1	-1	48	16	66.67	66.67	0.00
				96	32	66.67		
c	-1	-1	+1	288	256	11.11	10.555	0.78
				320	277	10.00		
ac	+1	-1	+1	288	272	5.56	5.905	0.49
				256	240	6.25		
bc	-1	+1	+1	256	203	20.70	21.145	0.63
				352	276	21.59		
abc	+1	+1	+1	288	128	55.56	55.905	0.49
				256	112	56.25		

ตารางที่ ก-5 แสดงผลของประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีโดยการไทเทรตของแต่ละการทดลองเมื่อใช้ขั้วเหล็ก (ต่อ)

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	CODก่อน	CODหลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	S.D.																																																																																																			
Axial	-1.414	0	0	208	140	32.69	31.61	1.53																																																																																																			
				224	155	30.53			Axial	+1.414	0	0	208	80	61.54	60.15	1.97	240	98	58.76	Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.13	1.06	215	179	16.88	Axial	0	+1.414	0	208	112	46.15	45.59	0.79	272	150	45.03	Axial	0	0	-1.414	64	14	76.92	75.70	1.73	80	20	74.48	Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55	415	384	7.59	center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0
Axial	+1.414	0	0	208	80	61.54	60.15	1.97																																																																																																			
				240	98	58.76			Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.13	1.06	215	179	16.88	Axial	0	+1.414	0	208	112	46.15	45.59	0.79	272	150	45.03	Axial	0	0	-1.414	64	14	76.92	75.70	1.73	80	20	74.48	Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55	415	384	7.59	center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0	0	176	142	19.40								
Axial	0	-1.414	0	208	176	15.38	16.13	1.06																																																																																																			
				215	179	16.88			Axial	0	+1.414	0	208	112	46.15	45.59	0.79	272	150	45.03	Axial	0	0	-1.414	64	14	76.92	75.70	1.73	80	20	74.48	Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55	415	384	7.59	center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0	0	176	142	19.40																				
Axial	0	+1.414	0	208	112	46.15	45.59	0.79																																																																																																			
				272	150	45.03			Axial	0	0	-1.414	64	14	76.92	75.70	1.73	80	20	74.48	Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55	415	384	7.59	center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0	0	176	142	19.40																																
Axial	0	0	-1.414	64	14	76.92	75.70	1.73																																																																																																			
				80	20	74.48			Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55	415	384	7.59	center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0	0	176	142	19.40																																												
Axial	0	0	+1.414	464	432	6.81	7.20	0.55																																																																																																			
				415	384	7.59			center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35	center	0	0	0	150	120	20.00			center	0	0	0	180	145	19.46			center	0	0	0	192	155	19.53			center	0	0	0	176	142	19.40																																																								
center	0	0	0	150	120	20.00	19.678	0.35																																																																																																			
center	0	0	0	150	120	20.00																																																																																																					
center	0	0	0	180	145	19.46																																																																																																					
center	0	0	0	192	155	19.53																																																																																																					
center	0	0	0	176	142	19.40																																																																																																					

ตารางที่ ก-6 แสดงภาวะที่มีประสิทธิภาพพร้อมกันของการกำจัดสีและการลดค่าซีไอดีโดยขั้วอะลูมิเนียมที่ได้จากโปรแกรม

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	Abs. ก่อน	Abs. หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	ผลจากโปรแกรม
1	+1	+1	0.03	0.060	0.002	93.11	93.65	94.51 %
				0.058	0.002	93.02		
				0.063	0.002	93.82		
				COD ก่อน	COD หลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	ผลจากโปรแกรม.
				144	34	76.67	75.97	77.35 %
				256	62.08	75.75		
				256	62.72	75.50		

ตารางที่ ก-7 แสดงภาวะที่มีประสิทธิภาพพร้อมกันของการกำจัดสีและการลดค่าซีไอดีโดยขั้วเหล็กที่ได้จากโปรแกรม

Run	Current density (X_A)	Time (X_B)	Conc. Dye (X_C)	Abs. ก่อน	Abs. หลัง	%การกำจัดสี	เฉลี่ย %การกำจัดสี	ผลจากโปรแกรม
1	+1	+1	-1	0.060	0.005	92.50	91.97	91.33 %
				0.062	0.005	91.87		
				0.057	0.005	91.56		
				COD ก่อน	COD หลัง	%การลดค่า ซีไอดี	เฉลี่ย %การลด ค่าซีไอดี	ผลจากโปรแกรม.
				144	48	66.67	68.31	75.45 %
				256	80	68.75		
				144	43.92	69.50		

ภาคผนวก ข

1) การคำนวณค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

$$C = \frac{I}{A}$$

โดยที่ C คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A/cm^2)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดของขั้วแอโนด (cm^2)

ตัวอย่างเช่น ให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดมีค่า 0.25 แอมแปร์ ขนาดอิเล็กโทรด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร เมื่อทำการแทนค่าจะได้ว่า

$$C = \frac{0.25A}{5cm \times 5cm}$$

$$C = 0.01A/cm^2$$

ดังนั้น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.01 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

2) การคำนวณราคาสำหรับการดำเนินการ

จะต้องคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และปริมาณของอิเล็กโทรดที่ถูกใช้ในการบำบัด

- การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า (C_{energy}) สามารถหาได้จากสูตร

$$C_{energy} = \frac{VxAxh}{v}$$

โดยที่ C_{energy} = พลังงานไฟฟ้า (kWh/m³)

V = ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

A = กระแสไฟฟ้า (A)

h = ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (h)

v = ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัด (m³)

ตัวอย่างเช่น บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 1.2 ลิตร โดยใช้ขั้วเหล็กราคา 28บาทต่อกิโลกรัม ขนาด น้ำหนักของแผ่นเหล็กก่อนทำการบำบัดหนัก 4.47 กรัม หลังการบำบัดน้ำหนักเหลืออยู่ 4.42 กรัม ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ 30 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.38 แอมแปร์ เวลาที่ใช้ในการกำจัดสี 1.5 ชั่วโมง

$$C_{energy} = \frac{30 \times 0.38 \times 1.5}{(1.2/1000) \times 1000}$$

$$C_{energy} = 14.25 \text{ kWh} / \text{m}^3$$

- การคำนวณปริมาณอิเล็กโทรดที่ถูกใช้ในการบำบัด ($C_{electrode}$) สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอิเล็กโทรดที่ถูกใช้} &= \frac{4.47 - 4.42}{(1.2/1000) \times 1000} = 0.0417 \text{ g} / \text{m}^3 \\ &= 4.17 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

- การคิดค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก

ผู้ใช้ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์

มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 2,000 หน่วยต่อเดือน

ส่วนที่ 1 ค่าไฟมาตรฐาน

ค่าไฟฟ้าฐาน

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = (14.25 \times 1.8047) = 25.7169 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าบริการ} = 40.90 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 25.7169 + 40.90 = 66.62 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้น รวมค่าไฟฟ้า} = 66.62$$

$$\text{ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)} = 2000 \times 0.03 = 60 \text{ บาท}$$

$$\text{ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7\%} = (66.62 + 60) \times 7/100 = 8.8634 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้น รวมค่าไฟฟ้า} = 66.62 + 60 + 8.8634 = 135.4834 \text{ บาท}$$

- ราคาสำหรับการดำเนินการ

$$\text{operation cost} = aC_{energy} + bC_{electrode}$$

โดยที่ a = ค่าไฟ

b = ราคาอิเล็กโทรด (บาท/กิโลกรัม)

C_{energy} = พลังงานที่ถูกใช้ในการบำบัด (kWh/ m³)

$C_{electrode}$ = ปริมาณ ไอออนที่ถูกใช้ในการบำบัด (kg/ m³)

จากตัวอย่างจะคำนวณราคาได้ดังนี้

$$operation\ cost = 135.4834 + (28 \times 4.17 \times 10^{-5})$$

$$operation\ cost = 135.4845 \text{ บาท/ม}^3$$

โดย ราคาของเหล็ก มีราคา 8 บาทต่อกิโลกรัม และ

ราคาอะลูมิเนียม 56 บาทต่อกิโลกรัม

ราคา ณ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2549 โลหะทั้งสองที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร

3) การแปลงค่าตัวแปรจริงให้อยู่ในรูปตัวแปรเข้ารหัส

ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k จำเป็นต้องแปลงค่าตัวแปรจริงให้อยู่ในรูปของตัวแปรเข้ารหัส (x) สมการที่ใช้ในการแปลงคือ

$$x_i = \frac{\xi_i - (\xi_{i,low} + \xi_{i,high})/2}{(\xi_{i,high} - \xi_{i,low})/2}$$

โดยที่ x_i คือ ตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสของตัวแปร i

ξ คือ ค่าตัวแปรจริงของตัวแปร i

ในทางกลับกันถ้าต้องการแปลงค่าจากตัวแปรเข้ารหัสเป็นตัวแปรจริงก็ทำการย้ายข้างของสมการ

ตัวอย่างการแปลงค่าตัวแปรจริงให้เป็นตัวแปรเข้ารหัส

ต้องการแปลงค่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยา(B) ให้เป็นตัวแปรเข้ารหัส

ค่าสูงสุดที่ทำการทดลอง ($\xi_{B,high}$) คือ 15 นาที

ค่าต่ำสุดที่ทำการทดลอง ($\xi_{B,low}$) คือ 5 นาที

ค่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการแปลง (ξ_B) คือ 10 นาที

$$x_B = \frac{10 - (5 + 15)/2}{(15 - 5)/2}$$

ตัวแปรเข้ารหัสของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 นาที มีค่าเท่ากับ 0

ตาราง ข-1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
ค่าซีไอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) สี่หรือกลืน	ไม่เกิน 120 mg/L ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0
ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 mg/L
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 150 mg/L
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C
ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 mg/L
น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 15 mg/L
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจ ไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
ค่าบีไอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD))	ไม่เกิน 60 mg/L
ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 200 mg/L
โลหะหนัก (Heavy metal)	
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 0.25 mg/L
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 5.0 mg/L
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 mg/L
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/L
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/L
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/L
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/L
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 mg/L
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/L
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/L

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุกัญญา สิ้นสมบูรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีทางด้านวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547