รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กุลยา จงศิริลักษณ์. 2530. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย โดยกระบวนการเฟอร์ไรต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์ กรุงเทพ. 500 หน้า.

จัดการคุณภาพน้ำ, กรม. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.

ประกิต จั่นอุไร. 2522. ผลของแอแรเตอร์โหลดดิงที่มีต่อการกำจัดเหล็กในระบบทรายกรองเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2539. คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง. คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2538. ทะเบียนโรงงานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เหล็ก ลำดับที่ 59. ฝ่ายทะเบียน และสถิติโรงงาน กรมควบคุมโรงงาน.

วิจัยโลหะและวัสดุ, สถาบัน. 2539. โครงการนำกรดกลับมาใช้ใหม่จากกระบวนการขจัดสนิมเหล็กในอุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

Adams, B. A. 1931. Certain Complex Combinations of Iron and Their Removal from Water. Water and Water Eng. 33: 249-252.

American Water Works Association. 1969. Water Treatment Plant Design. Prepared by ASCE, AWWA, and Conf. of State San. Engrs. New York: McGraw-Hill Publishers.

American Water Works Association. 1990. Water Treatment Plant Design. Prepared by ASCE, AWWA, and Conf. of State San. Engrs. New York: McGraw-Hill Publishers.

Breck, D. W. 1984. Zeolite Molecular Sieves. Florida: R. E. Krieger Publishing Co., 569 pp.

Brown, R. L. 1952. Aeration Experiments at Memphis, Tenn. J. AWWA. 44: 336-344.

Casarett and Doull's. 1996. Toxicology the Basic Science of Poison. New York: McGraw-Hill Health Professions Division, 5th ed. pp. 716.

Cleasby, J. L. 1975. Iron and Manganese Removal - A case study., J. AWWA. 67: 147-149.

Conelly, Jr., E. J. 1958. Removal of Iron and Manganese. J. AWWA. 50: 697-702.

Donalson, W. 1923. Aeration Experiments for Removal of Carbonic acid. Engineering News Rec. pp. 874-877.

Dyer, A. 1988. An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, John Wiley & Sons. Ltd. 598 pp.

Engelbrecht, R. S., Oconnor, J. T., and Ghosh, M. 1967. Iron Removal by Aeration and Filtration. Water & Sewage Work Journal. 114: 123-128.

Ficek, K. J. 1980. $KMnO_4$ for Fe & Mn removal and Taste and odor control. Water Treatment Plant Design for the practicing Engineer, Michigan: An Arban Science publishers: pp. 493-518.

Fricks, P. W. 1933. The control of Iron and Manganese in Filter Sand. J. AWWA. 25: 1537-1550.

George, A. D., and Chaudhuri, M. 1977. Removal of Iron from Ground Water by Filtration through Coal. J. AWWA. 69: 385-389.

Ghosh, M. M. 1965. Filtration as Related to the Removal of Iron Ground Water. Ph.D. Thesis Univ. of Illinois., Urbana, Ill.

Ghosh, M. M., Engelbrecht, R. S., and Oconnor, J. T. 1966. Precipitation of Iron in Aerated Ground Water. J. San Engrg. Div. ASCE. 92: 120-124.

Ghosh, M. M., Oconnor, J. T., and Engelbrecht, R. S. 1967. Removal of Iron from Ground Water by Filtration. J. AWWA. 59: 878-896.

Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., and Eaton, A. D. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Waste water. No. 18., Washington, DC.: American Public Health Association: pp. 2.23-2.29, 2.35-2.38, 3.65-3.68, 4.17.

Hauer, G. E. 1950. Iron and Carbondioxide Removal. J. AWWA. 42: 555-561.

Hayashi, S. 1975. Heavy Metal Treatment by Ferritization. Chemical Economy & Engineering Review. 7: 5: 32-43.

Hem, J. D. 1960. Restraints on Dissolved Iron Imposed by Bicarbonate, Eh and pH VS. Geological Survey, Water Supply paper, 1459-B.

Humphrey, S. B., and Eikleberry, M. A. 1962. Iron and manganese Removal using $KMnO_4$. Water and Sew. WKs., pp. 176-180.

Iatrou, A., and Knocke, W. R. 1992. Removing Chlorite by the Addition of Ferrous Iron. J. AWWA. 84: 63-68.

Jobin, R., and Ghosh, M. M. 1972. Effect of Buffer Intensity and organic matter on the oxygenation of ferrous Iron. J. AWWA. 64: 590-595.

Just, G. 1908. Kinetiche Untersuchung der Autooxidation des Ferrobicarbonate. Z. phys. Chem. 63: 412-417.

Kanzaki, T., Toncike, H., and Katsura, T. 1982. Preconcentration of Trace amount of Cadmium in water by Ferrite Process. Bunseki Kagaku. 31: 207-210.

Kiyama, M. 1973. Conditions of the Formation of Fe_2O_3 by the Air Oxidation of $Fe(OH)_2$ Suspension. Bull. Of the Chemical Society of Japan. 47: 1946-1950.

Knocke, W. R., Van, J. E., Kearney, M. J., Soborsk, A.W., and Reckhow, D.A. 1991. Kinetics of Manganese and Iron Oxidation by Potassium Permanganate and Chlorine Dioxide. J. AWWA. 83: 80-89.

Komolrit, K. 1962. Measurement of Redox Potential and Determination of Ferrous Iron in Ground Water. MS. Thesis. Univ. of Illinois, Urbana, Illinois.

Lide, D.P. 1992. Handbook of Chemistry and Physics. Florida: CRC Press, Inc., 73rd ed. pp. 8-43.

Mathews, E. R. 1947. Iron and Manganese Removal by Residual Chlorination. J. AWWA. 39: 680-686.

McGhee, T. J. 1975. Heuristic Analysis of Lime-Soda Softening Processes. J. AWWA. 67: 626-630.

Metcalf & Eddy. 1976. Wastewater Engineering, Tata New Delhi: McGraw-Hill Publisher, 2 nd ed. 562 pp.

Nakashima, T. 1977. Removal of Heavy Metals from Wastewater. Chemical Abstraction, No. 87: Abstrac No. 140832 u.

Nippon Electric Co.,Ltd. 1985. Treatment of Ferrous Ion containing Wastewater. Chemical Abstraction. No. 103: Abstrac No. 34204 b.

Oconnor, J. T. 1971. Iron and Manganese, Water Quality and Treatment. A Handbook of Public Water supplies. AWWA, New York: McGraw-Hill Publisher, pp. 456-478.

Olson, L.L., and Twardowski, C.J. 1975. $FeCO_3$ VS $Fe(OH)_3$ precipitation in Water-Treatment Plant. J. AWWA. 67: 150-153.

Owen, L. V. 1963. Iron and Manganese Removal by Split-Flow Treatment. J. AWWA. 55: 721-728.

Pigeon, P.E., Linstedt, K.D., and Bennett, E.R. 1978. Recovery and Reuse of Iron coagulants in water treatment. J. AWWA. 70: 397-403.

Randtke, S.J., Thiel, C.E., Liao, M. Y., and Yamaya, C. N. 1982. Removing Soluble Organic Contaminants by lime-Softening. J. AWWA. 74: 192-202.

Robinson, Jr., L.R., and Breland, E. D. 1968. Removal of Iron and Manganese from Low Alkalinity Water. Public Works, 99: 72-74.

Robinson, R. B., Minear, R. A., and Holden, J. M. 1987. Effects of Several Ions on Iron Treatment by Sodium Silicate and Hypochlorite. J. AWWA. 79: 116-125.

Robinson, Jr., R. L., and Dixon, R. J. 1968. Iron and Manganese Precipitation in Low Alkalinity Ground Water. Water & Sewage Works Journal.115: 514-518.

Singhal, A. K. 1977. Conventional Lime Soda Ash Softening VS Split Treatment at the Owosso, Mich., Water-Treatment Plant. J. AWWA. 69: 158-161.

Snoeyink, V. L., and Jenkins, D. L. 1980. Water Chemistry. New York: John Willey & Sons: pp.789.

Stumm, W., and Lee, G. F. 1961. Oxygenation of Ferrous Iron. Industrial Engineering Chemistry. 53: 143-146.

Stumm, W., and Morgan, J. J. 1970. Aquatic chemistry. New York: Wiley-Interscience Publishers, pp. 143-169.

Tamura, Y., Mechaimonchit, s., and Katsura, T. 1981. The Formation of V-Bearing Ferrite by Aerial Oxidation of an Aqeous Suspension. J. Inorg. Nucl. Chem. 43: 671-675.

Theis, T. L., and Singer, D. C. 1974. Complexation of Iron (II) by Organic matter and its effect on Iron (II) Oxygenation. Envir. Sci & Technol. 8: 569-572.

Vitayaudom, V. 1967. Iron Removal from Water Supplies. MS. Thesis. Seato Graduate School of Engineering Bangkok.

Walker, R. 1978. Water supply Treatment and Distribution. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.,: pp. 289-356.

Willey, B. F., and Jennings, H. 1963. Iron and Manganese Removal with Potassium Permanganate. J. AWWA., 55: 729-733.

Yukpan, W. 1973. The use of Potassium Permanganate for Iron Removal in Water Treatment. MS. Rhesis, Department of Sanitary Engineering Graduate School, Chulalongkorn University.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้	หมายเหตุ
1	โลหะหนัก			
	- แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.001	
	- ทองแดง (Cu)	"	0.02	
	- ตะกั่ว (Pb)	"	0.05	
	- ปรอท (Hg)	"	0.0005	
	- เหล็ก (Fe)	"	0.3	
	- สังกะสี (Zn)	"	0.1	
2	สารพิษกลุ่ม Organochlorine			
	- DDT	"	0.5×10^{-3}	
	- Dieldrin	"	0.2×10^{-2}	
	- Endrin	"	0.01×10^{-3}	
	- Heptachlor	"	0.4×10^{-3}	
3	สารพิษกลุ่ม Organophosphate			
	- Fenitrothion	"	0.06	
	- Malathion	"	0.02	
	- Methyl parathion	"	0.2	
	- Parathion	"	0.04	
4	สารพิษกลุ่ม Carbamate			
	- Carbaryl	"	0.1	
	- Carbofuran	"	0.008	
5	สารเคมีกำจัดวัชพืช (Herbicide)			
	- Glyphosate	"	4.8	
	- Paraquat	"	0.5	
	- Propanil	"	0.5	
	- 2, 4- D	"	45.0	

ภาคผนวกที่ 1 ต่อ

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้	หมายเหตุ
6	แอมโมเนีย (NH_3-N)	"	0.02	คิดในรูปของ un-ionized ammonia
7	คลอรีน (Chlorine)	"	0.005	คิดในรูปของ total residual chlorine
8	สารซักฟอก (Detergent)			
	- Soft detergent	"	0.3	คิดในรูปของสารลดแรงตึงผิว (surfactant)
	- Hard detergent	"	0.5	
9	ซัลไฟด์ (Sulfides)	"	0.2	คิดในรูปของ undissociated hydrogensulfide

แหล่งที่มาของข้อมูล : เอกสารวิชาการ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 75/2530

เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด (ภาคผนวก ๑)

ภาคผนวกที่ 2 ระดับความเข้มข้นสูงสุด (Maximum Allowance Concentration) ของสารพิษประเภทโลหะหนักที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

โลหะหนัก	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แคดเมียม (Cd)	0.001
ทองแดง (Cu)	0.02
ตะกั่ว (Pb)	0.05
ปรอท (Hg)	0.0005
เหล็ก (Fe)	0.3
สังกะสี (Zn)	0.1

หมายเหตุ 1. ค่าที่กำหนดไว้คิดเป็นความเข้มข้นของไอออนของโลหะแต่ละชนิด

2. โลหะส่วนใหญ่มีพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้นในน้ำอ่อน และมีพิษลดลงในน้ำกระด้าง ดังนั้น ค่าที่กำหนดไว้นี้จึงเป็นเกณฑ์ที่ใช้ได้ทั้งในน้ำที่มีความกระด้างต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนตและสูงกว่า

แหล่งที่มาของข้อมูล : กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2538 เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ มาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ภาคผนวกที่ 3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-9	
2. ค่าของเปอร์แมงกาเนต (Permanganate)	มก./ล. (mg/l)	> 60	
3. ของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved solid)	•	2,000-5,000	น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มเกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเล ค่าที่สารละลายได้ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าสารที่ละลายได้ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.
4. ซัลไฟด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์	•	> 1.0	
5. ไซยาไนด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์	•	> 0.2	
6. โลหะหนัก			
- สังกะสี (Zn)	•	> 5.0	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 3.0
- โครเมียม (Cr)	•	> 0.5	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.2
- สารหนู (As)	•	> 0.25	
- ทองแดง (Cu)	•	> 1.0	
- ปรอท (Hg)	•	> 0.0005	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี >0.002
- แคดเมียม (Cd)	•	> 0.03	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.1
- แบเรียม (Ba)	•	> 1.0	
- ซิลิเนียม (Se)	•	> 0.2	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.02
- ตะกั่ว (Pb)	•	> 0.2	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.02
- นิกเกิล (Ni)	•	> 0.2	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.2

ภาคผนวกที่ 3 ต่อ

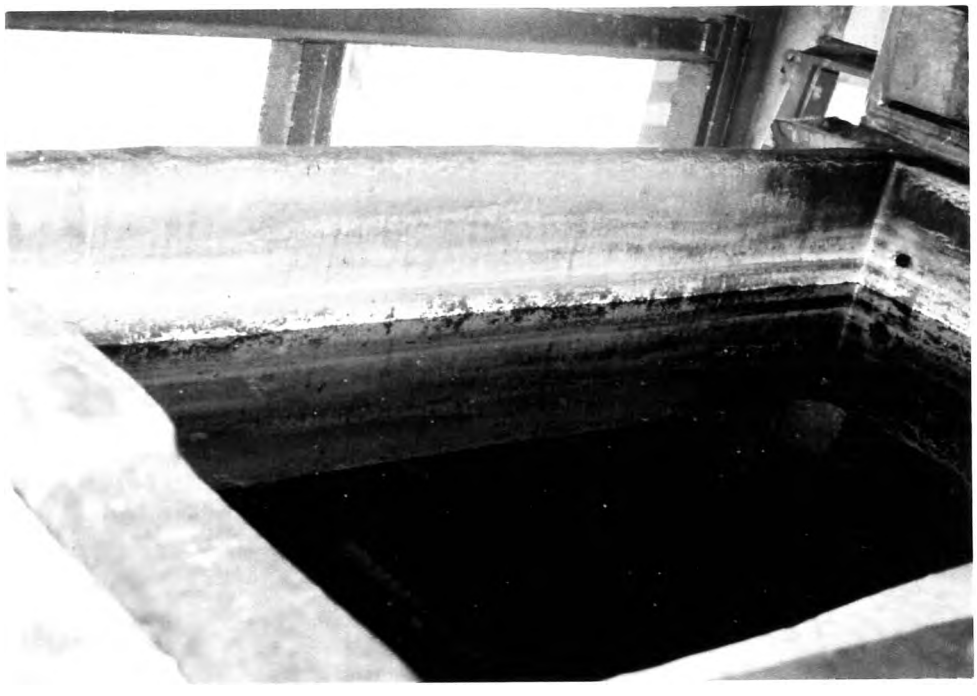
ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
- แมงกานีส (Mn)	"	> 5.0	
- เงิน (Ag)	"	ไม่กำหนด	เกี่ยวกับการถลุงโลหะสังกะสี > 0.02
7. น้ำมันทาร์ (Tar)	-	ไม่มีเลย	
8. น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	มก./ล. (mg/l)	> 5.0	- โรงกลั่นน้ำมันและโรงงานผสมน้ำมันหล่อลื่นและจารบี > 15.0 - เกี่ยวกับการถลุงสังกะสี > 5.0
9. ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	"	> 1.0	
10. ฟีนอลและ/หรือครีโซลส์ (Phenol & Cresols)	"	> 1.0	
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	"	> 1.0	
12. ยาฆ่าแมลง (Insecticides)	"	ไม่มีเลย	
13. สารกัมมันตรังสี (Radioactivity)	"	ไม่มีเลย	
14. สารแขวนลอย (Suspened solids)	"	ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะ	อัตราส่วนผสม 1/8 ถึง 1/150 > 30 1/151 ถึง 1/300 > 60 1/301 ถึง 1/500 > 150
15. บีโอดี (5 วัน) ที่อุณหภูมิ 20 °C	"	> 20	ค่าของบีโอดีอาจแตกต่างไปได้แล้วแต่ภูมิประเทศหรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควรแต่ต้อง > 60 ยกเว้น 1. โรงงานทำอาหารจากสัตว์น้ำและบรรจุในภาชนะที่ผนึกและอากาศเข้าไม่

ภาคผนวกที่ 3 ต่อ

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
			ได้ > 100 2. โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง - โดยวิธีเหวี่ยงแยกแป้งแล้วทำให้แห้งด้วยลมร้อน > 60 - โดยวิธีแยกแป้งด้วยการตกตะกอนแล้วทำให้แห้งบนพื้นอังไฟ > 100 3. โรงงานผลิตอาหารจากแป้งเป็นเส้นหรือชิ้น > 100 4. โรงงานหมัก ฟอกหนังสัตว์ > 100 5. โรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากไม้ ชานอ้อย หญ้า เศษผ้า > 100 6. โรงงานห้องเย็นชนิดแกะล้างแล้วแช่แข็งสัตว์น้ำ > 100
16. อุณหภูมิ (Temperature)	°C	> 40	
17. สี หรือ กลิ่น (Colour & Odour)	-	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	
18. ความกระด้าง (Hardness)	มก./ล. (mg/l)	> 300	คิดเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนต
19. ความเป็นเบส (Alkalinity)	"	> 100	คิดเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนต

หมายเหตุ : > = ไม่มากกว่า

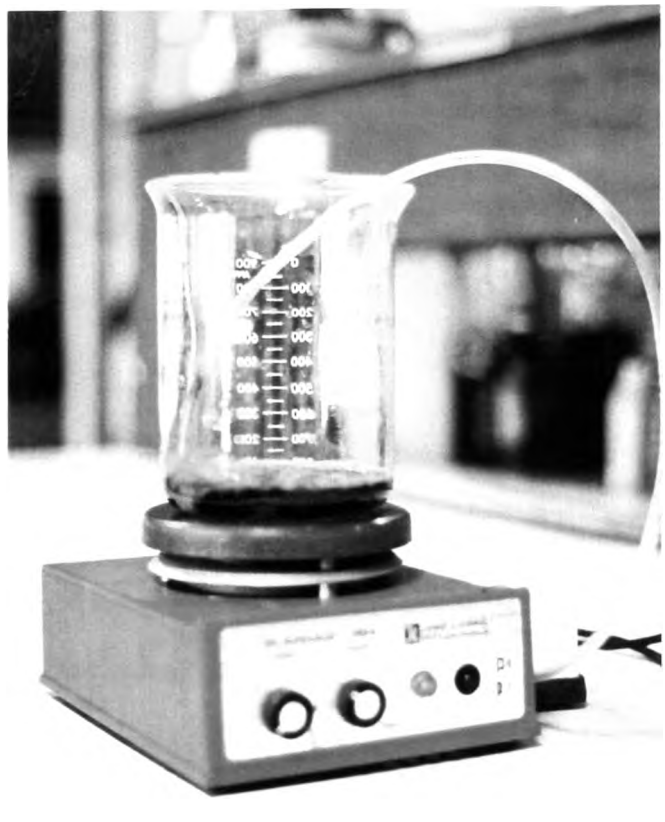
แหล่งที่มาของข้อมูล : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2515 ฉบับที่ 12 (2522)



รูปภาพผนวกที่ 1 แสดงลักษณะของน้ำล้างสนิมเหล็กจากโรงงาน ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด

รูปภาพผนวกที่ 2 แสดงลักษณะของน้ำเสียกรดจากโรงงาน ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด

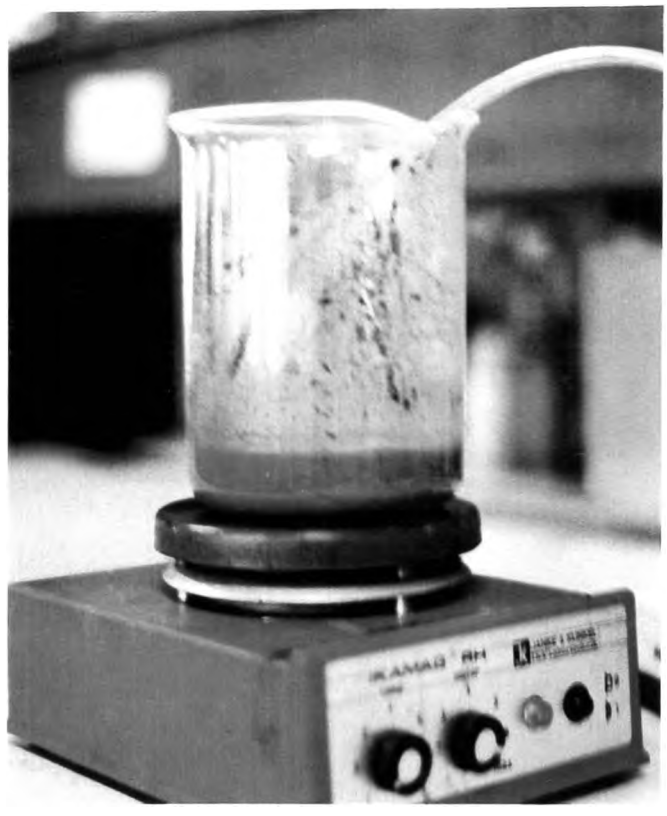
รูปภาพผนวกที่ 3 แสดงลักษณะของบ่อเก็บน้ำเสียกรดจากโรงงาน ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด



รูปภาพผนวกที่ 4 แสดงลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานที่นำมาใช้ในการทดลอง

รูปภาพผนวกที่ 5 แสดงการเกิดฟองกาซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ในการปรับสภาพพีเอช

รูปภาพผนวกที่ 6 แสดงวิธีการกำจัดเหล็กโดยใช้วิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอน ในรูปไฮดรอกไซด์



รูปภาพผนวกที่ 7 แสดงลักษณะของตะกอนที่ได้หลังการเกิดการออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์

รูปภาพผนวกที่ 8 แสดงลักษณะของตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการกำจัดเหล็ก

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุจินดา ลักขณาอดิศร เกิดเมื่อวันที่ 6 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นนิสิตในโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (พสวท.) ในระดับอุดมศึกษา ได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกียรตินิยมอันดับ 2 ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2539