รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ควบคุมมลพิษ,กรม.2539. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2538. กรุงเทพมหานคร:กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ทรัพยากรธรณี,กรม. ฝ่ายพัฒนาโลหะกรรม . 2537. สภาวการณ์อุตสาหกรรมโลหะ. กรุงเทพมหานคร:กองโลหะกรรม.

บริบรูณ์ พุทธรักษา. 2537. การใช้*Thiobacillus ferrooxidans* สกัดโลหะซัลไฟด์ออกจากกากตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2535. คุณภาพวิเคราะห์แบบเซมิไมรโคร. กรุงเทพมหานคร:โอเดียนสโตร์.

ไพทิพย์ ตันติเวชวุฒิกุล. 2531. การใช้ไบโอลิชชิ่งในการสกัดแร่สังกะสีออกจากสังกะสีซิลิเกต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มนัส สถิรจินดา. 2538. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาน ตั้งทองทวี. 2537. อุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม:บทบาทของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมในการกำจัดกากของเสียอันตรายในปัจจุบันและอนาคต. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (อัดสำเนา)

ภาษาอังกฤษ

ASTM. 1989. Standard Test Method for Copper in Iron Ores by Atomic Absorption Spectroscopy. ASTM. Vol.03.06.

Blais, J.F., Auclair, J.C., and Tyagi, R.D.1992. Cooperation between two Thiobacillus strains for heavy metal removal from municipal sludge. Can. J. Microbiol. 38:181-187.

Blais, J.F., Tyagi, R.D., and Auclair, J.C. 1992. Bioleaching of metals from sewage sludge by sulfur-oxidizing bacteria. Journal of Environmental Engineering.118:690-707.

Blais, J.F., Tyagi, R.D., and Auclair, J.C. 1993.Bioleaching of metals from sewage sludge : effects of temperature. Water Research. 27:111-120.

Blais, J.F., Tyagi, R.D., and Auclair, J.C. 1993. Metal removal from sewage sludge by indigenous iron-oxidizing bacteria. J. Environ. Sci. Health,A. 28:443-467.

Blais, J.F., Tyagi, R.D., Auclair, J.C., and Huang, C.P. 1992. Comparison of acid and microbial leaching for metal removal from municipal sludge. Water Science Technology. 26:197-206.

Couillard, D., and Chartier, M. 1993. Decontamination biologique des sediments pollues par les metanx lourds : etude de linfluence du substrat, de la teneur en solides totaux et de la temperature. Environmental Technology. 14:919-930.

Couillard, D., Chartier, M. and Mercier, G. 1991. Bacterial leaching of heavy metals from aerobic sludge. Bioresour Technology. 36:293-302.

DMS. 1993. Cataloque of Strain 1993. 5th ed.Germany.

Enriich, H.L. 1990. Geomicrobiology. 2nd ed. New York : Reusselacr Polytechnic Institute.

Gazo, L.G., Szendroi, A., and Hidvegi, E.J. 1995. Bacterial desulphurization of hungarian coal. In Jerez, C.A., Vargas, T., Toledo, H., and Wiertz, J.V. Biohydrometallurgical Processing.

Herrera, L., Ruiz, P., Aguillon, J.C. and Fehrmann, A. 1989. A new spectrophotometric method for the determination of ferrous iron in the presence of ferric iron. Journal of Chemitry Technology and Biotechnology. 144:171-181.

Hirano. T., Kurosawa, H., Nakamura, K., and Amano, Y. 1996. Simultaneous removal of hydrogen sulfide and trimethylamine by bacterial deodorant. Journal of Fermentation and Bioengineering. 81:337-342.

Hughes, M.N. and Poole, R.K., 1989. Metals and Microorganisms. Chapman & Hall, England.

Hutchins, S.R., Davidson, M.S., Brierley, J.A., and Brierley, C.L. 1986. Microorganism in reclamation of metal. Annual Reviews of Microbiology. 40:311-336.

Jain, D.K., and Tyagi, R.D. 1992. Leaching of heavy metals from anaerobic sewage sludge by sulfur-oxidizing bacteria. Enzyme Microbiology Technology. 14:376-383.

Jenkins, R.L., Scheybeler, B.J., Smith, M.L., Baird, R., Lo,M.P., and Haug, R.T. 1981. Metals removal and recovery from municipal sludge. Journal WPCF. 53:25-32.

John, A.D., (editor). 1971. Lange' s handbook of chemistry . McGraw-Hill. USA.

Kai, T., Nishi,M., and Takahashi, T. 1995. Adaptation of *Thiobacillus ferrooxidans* to nickel ion and bacterial oxidation of nickel sulfide. Biotechnology Letters. 17:229-232.

Karaivko, G.I., Kuznetsov, S.I., and Golonizik, A.I. 1977. The bacterial leaching of metals from ores. Technicopy Ltd., Storehouse, Glos. England. cited in Wong, L., and Henry, J.G. 1984. Decontaminating biological sludge for agricultural use. Water Science Technology. 17:575-586.

Kurosawa, H., Endo, S., Hirano, T., Nakamura,K., and Amano, Y. 1997. Stabilization of freeze-dried *Thiobacillus ferrooxidans* cells as a bacterial deodorant for removal of hydrogen sulfide. Journal of Fermentation and Bioengineering. 83:213-215.

Lawson, E.N., Nicholas, C.J., and Pellat, H. 1995. The toxic effects of chloride ion on *Thiobacillus ferrooxidans*. In Vargas, T., Jerez, C.A., Wiertz, J.V., and Toledo, H. Biohydrometallurgical Processing.

Lundgren, D.G., and Silver, M. 1980. Ore leaching by bacteria. Annual Review of Microbiology. 34:263-283.

Mckenzie, D.I., Denys, L., and Buchanan, A. 1987. The solubilization of nickel cobalt and iron from laterites by means of organic chelating acid at low pH. International Journal of Mineral Processing. 21:275-292.

Menon, A.G. and Dave, S.R. 1993. Amenability studies of complex sulphide ores from various Indian mines. in Torma, A.E., Wey, J.E. and Lakshmanan, V.L. Biohydrometallurgical Technology. Pennsyvania, The minerals, metals and material society.

Ministry of Science, Technology and Energy. Office of the National Environment Board. 1989. National hazardous waste management plan. Vol.1 executive summary report. Bangkok:Office of the National Environment Board.

Scott,S.D., and Horlings, H. 1975. Removal of phosphates and metal from sewage sludges. Environmental Science & Technology. 9:849-855.

Sreekrishnan, T.R., Tyagi, R.D., Blais, J.F., and Campbell, P.G.C. 1993. Kinetics of heavy metal bioleaching from sewage sludge-I. effects of process parameter. Water Research. 27:1641-1651.

Stark, J.G., and Wallace, H.G. 1982. Chemistry data book. (n.p.).

Tyagi, R.D., and Couillard, D. 1987. Baterial leaching of metal from digested sewage sludge. Process Biochemistry. 22:114-117.

Tyagi, R.D., Couillard, D., and Grenier, Y. 1991. Effects of medium composition to the bacterial leaching of metals from digested sludge. Environmental pollution. 91:7-67.

Tyagi, R.D., and Couillard, D., and Tran, F. 1988. Heavy metals removal from anaerobically digested sludge by chemical and microbiological methods. Environmental pollution. 50:295-316.

Tzeferis, P.G., Agatzini, S., and Nerantzis, E.T. 1994. Mineral leaching of non-sulphide nickel ores using heterotrophic micro-organism. Letters in Applied Microbiology. 18:209-213.

Wong, L., and Henry, J.G. 1984. Decontaminating biological sludge for agricultural use. Water Science Technology. 17:575-530.

Zagury, G.J., Narasiah, K.S., and Tyagi, .D. 1994. Adaptation of indigenous iron-oxidizing bacteria for bioleaching of heavy metal in contaminated soils. Environmental Technology. 15:517-530.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

จันทิรา ชัยมงคล. 2523. อนินทรีย์เคมี ทฤษฎี-โครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ชวนพิมพ์.

จุไรรัตน์ สุขพันธ์. 2538. การสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซิลิเกตโดย *Thibacillus ferrooxidans*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดวงพร คันธโชติ. 2530. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม:ผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้า.

เดชนา ชุตินารา. 2536. โลหะกับประโยชน์. กรุงเทพมหานคร:กองโลหะกรรม กรมทรัพยากรธรณี.

สาโรช พันธุ์แพ. 2536. การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:ชวนพิมพ์.

สุวิสา ประดิษฐ์. 2538. การสกัดสังกะสีออกจากแร่สังกะสีซัลไฟด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

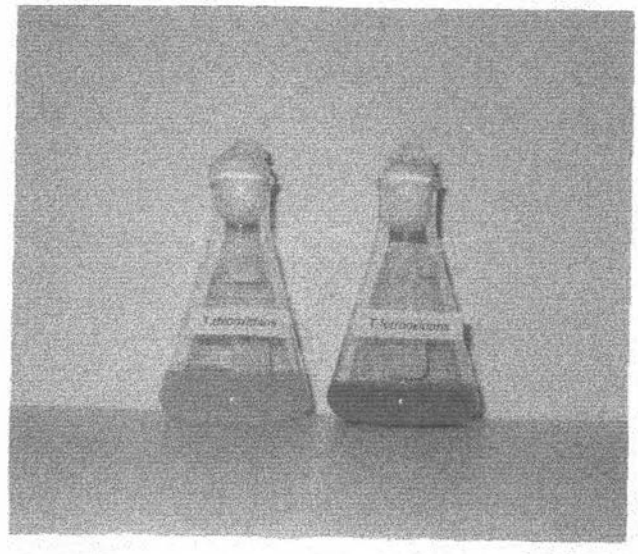
ภาษาอังกฤษ

Mortimer, P.S., et al. 1981. The Prokaryotes : A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria. Vol 1-2. Springer-Verlag, Berlin.

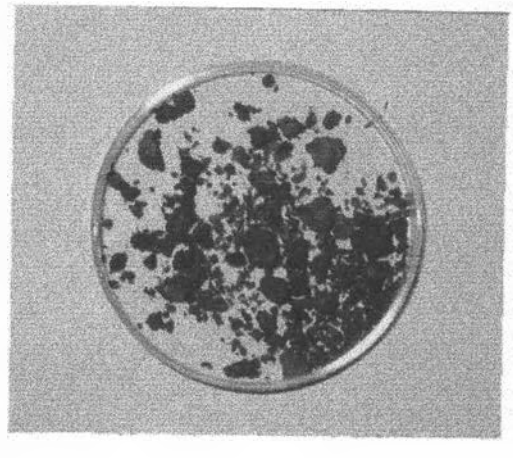
Cotton, F., Albert (Frank Albert). 1976. Basic inorganic chemistry. John Wiley, New York.

ภาคผนวก

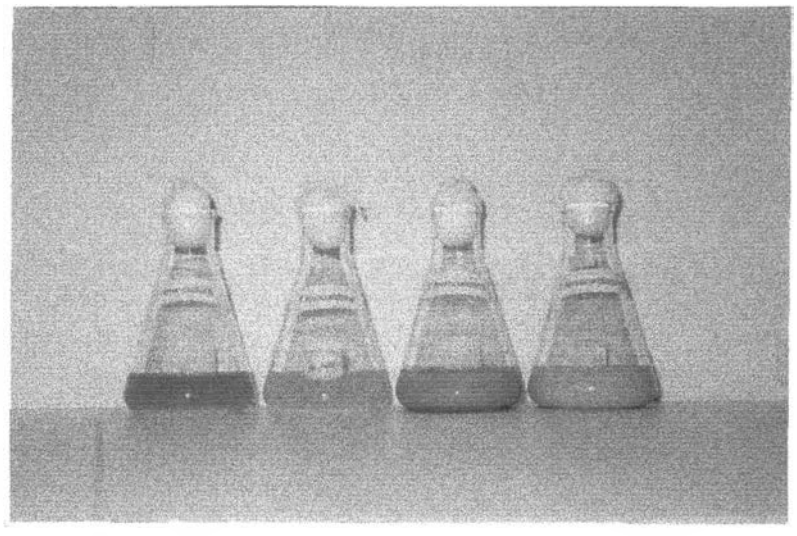
ภาคผนวก ก



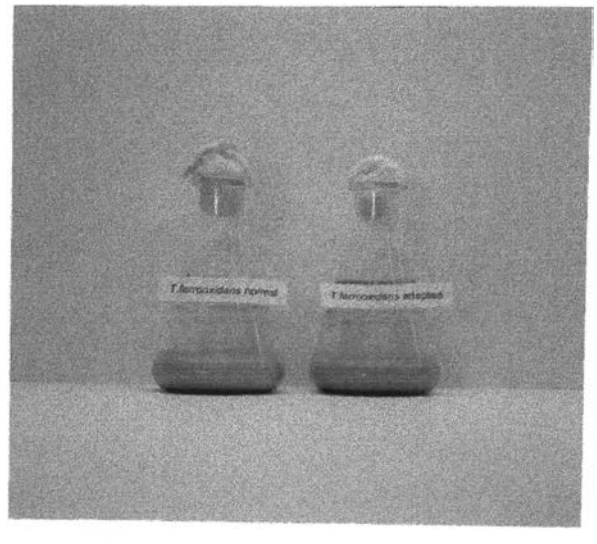
รูปที่ 1 ลักษณะ *T.thiooxidans* และ *T.ferrooxidans* ที่เจริญเต็มที่



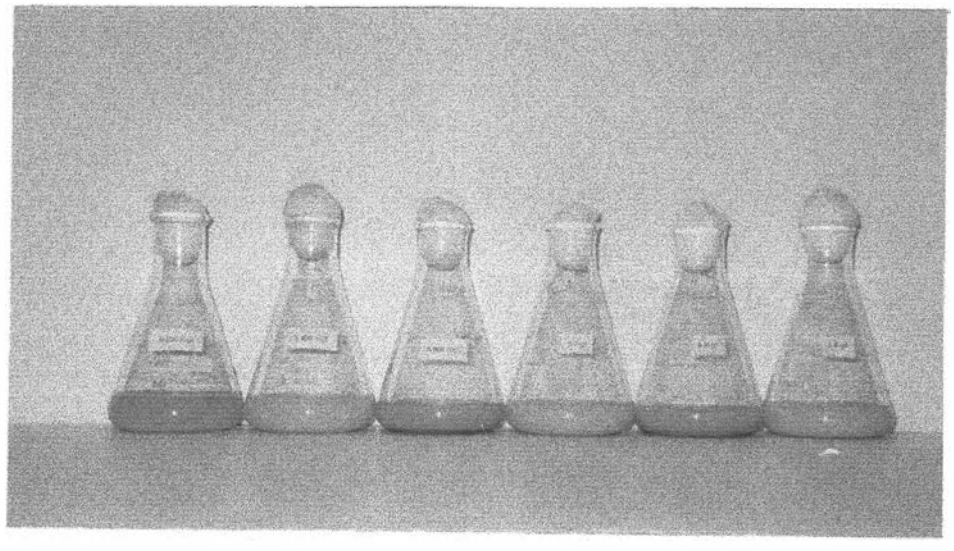
รูปที่ 2 กากตะกอนโลหะหนักที่ใช้ในการทดลอง



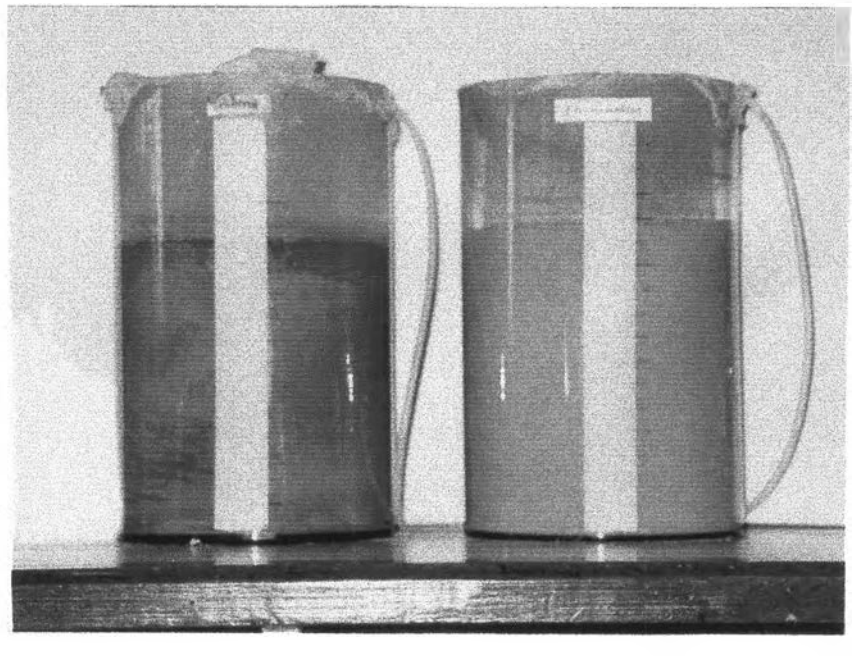
รูปที่ 3 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยแบคทีเรียชนิดต่างๆ



รูปที่ 4 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T.ferrooxidans* ปกติและ *T.ferrooxidans* ที่ปรับสภาพ



รูปที่ 5 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T.ferrooxidans* ในสภาวะที่มีกากตะกอนโลหะหนักปริมาณต่างกัน



รูปที่ 6 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T.ferrooxidans* ในถังปฏิกรณ์แบบทีละเท (วันที่ 14 ของการทดลอง)

ภาคผนวก ข

1 การปรับสภาพเชื้อ *T. ferrooxidans* ให้เคยชินกับกากตะกอนโลหะหนัก

การปรับสภาพเชื้อ *T. ferrooxidans* ให้เคยชินกับตะกอนโลหะหนัก ทำในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร มีอาหาร 9K medium 100 มิลลิลิตร และเชื้อ *T. ferrooxidans* 10 มิลลิลิตร เติมกากตะกอนโลหะหนัก 0.02 กรัม ปรับพีเอช เป็น 2.8 ด้วยกรดซัลฟิวริก นำไปเลี้ยงในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทุก 7 วัน จะทำการเปลี่ยนอาหาร โดยนำเชื้อ *T. ferrooxidans* จากขวดเดิม ใส่ไปในอาหารที่เตรียมใหม่โดยใช้เชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร อาหาร 9K medium 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอช เป็น 2.8 ด้วยกรดซัลฟิวริก และเพิ่มปริมาณกากตะกอนโลหะหนักเป็น 2 เท่า นำไปเลี้ยงในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการทดลองซ้ำแบบเดิมทุกๆ 7 วัน จนปริมาณตะกอนถึง 1 กรัม

2 การวัดปริมาณเฟอร์รัสอิออนโดยวิธีโอฟิลแนนโทรลิน (O-Phenanthroline) (Herrera และคณะ, 1989)

เป็นการวัดสีที่เกิดจากปฏิกิริยาของโอฟิลแนนโทรลินกับเฟอร์รัสอิออนในสภาพที่มีเฟอร์ริกอิออนอยู่ ซึ่งโอฟิลแนนโทรลินจะทำให้เกิดการรีดิวซ์เฟอร์ริกอิออนเป็นเฟอร์รัสอิออนได้ (มีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) จึงต้องเติมไฮดรอกซิลาไมด์ (hydroximide) ลงไปลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว และเติมโซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride) ลงไปให้ฟลูออไรด์ (fluoride) ทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกอิออนให้คงตัวในรูปเฟอร์ริกฟลูออไรด์

สารเคมี

1 คอมเพล็กซ์ รีเอเจนต์ (Complex reagent)

โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride)	2.1	กรัม
น้ำกลั่น	98	มิลลิลิตร
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	2	มิลลิลิตร

เตรียมแล้วเก็บในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene bottle) ใช้งานในเวลา 24 ชั่วโมง

2 คัลลอริเมตริกรีเอเจนต์ ; โอ-ฟิล-โซลูชัน (Colorimetric reagent ; o-phene solution)

โอฟิลแนนโทรลินโมโนไฮเดรต (1,10 phenanthroline monohydrate) 10 มิลลิกรัม

น้ำกลั่น + กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 300 มิลลิลิตร + 10 หยด

ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3 อะซิเตรตบัฟเฟอร์ (Acetate buffer)

แอมโมเนียมอะซิเตรต(ammonium acetate) + น้ำกลั่น 125 กรัม + 75 มิลลิลิตร

กรดอะซิตริกเข้มข้น (glacial acetic acid) 300 มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4โอ-ฟิลรีเอเจนต์ (O-phene reagent) เตรียมจาก1:1ของโอ-ฟิล-โซลูชันกับอะซิ-เตรตบัฟเฟอร์

วิธีการทดลอง

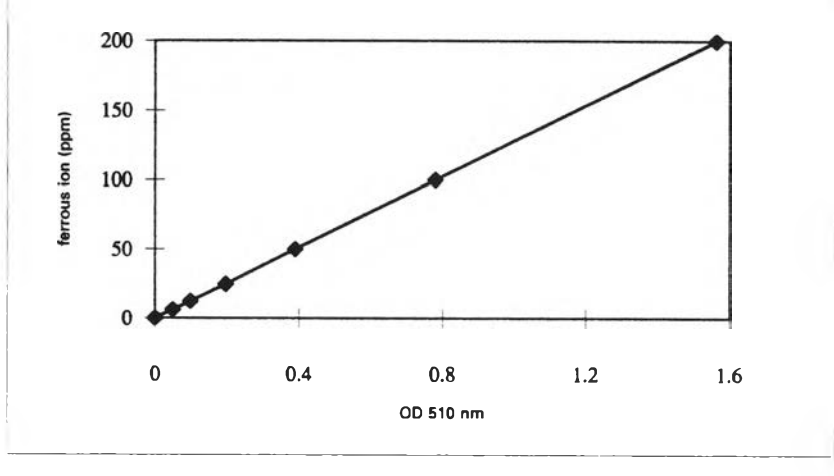
1 นำตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร (มีเหล็กเฟอร์รัสประมาณ 10-100 ppm) ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร

2 เติมคอมเพล็กซ์รีเอเจนต์ 1 มิลลิลิตร เขย่า

3 เติมโอ-ฟิลรีเอเจนต์ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าปรับปริมาตรให้เท่ากับ 2.5 มิลลิลตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำไปวัด OD ที่ 510 นาโนเมตร (nm)

4 ทำ bank ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างทำตามข้อที่ 1- 3

5 standard เตรียมโดยใช้สารละลายที่รู้ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสแล้วเติม ไฮดรอกซี-ลามีน (hydroxylamine)



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเฟอร์รัสและค่า OD

ภาคผนวก ค

1. การวิเคราะห์หาพีเอชเริ่มต้นของกากตะกอนโลหะหนัก

ความเข้มข้นของ กากตะกอนโลหะหนัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	อัตราการเจือจาง (เท่า)	พีเอช	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน
1	100	8.42	3.801×10^{-9}
2	50	8.28	5.248×10^{-9}
4	25	8.12	7.585×10^{-9}
5	20	8.09	8.125×10^{-9}
10	10	7.97	1.071×10^{-8}
20	5	7.92	1.202×10^{-8}
50	2	7.91	1.230×10^{-8}
100	0	7.89	1.300×10^{-8}

2. การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยวิธีทางเคมี

ตารางที่ 2.1 นิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.00, 0.05, 0.10 และ 0.50 โมลาร์

เวลา (วันที่)	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนัก (พีพีเอ็ม)				นิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนัก (เปอร์เซ็นต์)			
	0.00 โมลาร์	0.05 โมลาร์	0.10 โมลาร์	0.50 โมลาร์	0.00 โมลาร์	0.05 โมลาร์	0.10 โมลาร์	0.50 โมลาร์
0	0	646.020	650.740	1590.420	0	13.23	13.33	32.58
0.16	0	2473.163	4618.918	4723.448	0	50.66	94.62	96.74
0.33	0	2517.395	4644.540	4779.770	0	51.56	95.15	97.92
0.5	0	2508.922	4651.040	4865.170	0	51.40	95.28	99.69
1	0	2544.782	4712.760	4872.061	0	52.13	96.55	99.81
2	0	2598.638	4773.022	4873.092	0	53.23	97.78	99.83
3	0	2617.130	4813.022	4875.810	0	53.61	98.60	99.86
5	0	2608.023	4866.139	4876.673	0	53.43	99.69	99.90
7	0	2679.851	4878.640	4877.580	0	54.90	99.94	99.92

ตารางที่ 2.2 พีเอชที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่างๆ

เวลา (วัน)	0.00 โมลาร์	0.05 โมลาร์	0.10 โมลาร์	0.50 โมลาร์
0	7.18	5.15	2.20	0.18
0.16	7.26	5.16	2.21	0.18
0.33	7.36	5.45	2.25	0.19
0.50	7.62	5.47	2.26	0.19
1	7.68	5.62	2.28	0.19
2	7.66	5.73	2.30	0.20
3	7.63	5.76	2.31	0.20
5	7.61	5.81	2.31	0.21
7	7.65	5.89	2.31	0.21

3 ผลของชนิดแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก

เวลา (วัน)	mixed cultures				*T. ferrooxidans* เติม sulfer				*T. ferrooxidans*				*T. thiooxidans*			
	นิกเกิล (%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe 2 + (%)	นิกเกิล (%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe 2 + (%)	นิกเกิล (%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe 2 + (%)	นิกเกิล (%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)
0	8.47	33.097	3.27	100.00	6.67	26.0525	3.30	100.00	6.53	25.506	3.45	100.00	12.62	49.294	3.31	0
1	75.71	304.782	2.48	84.26	67.99	247.009	3.30	81.65	72.68	292.592	2.60	60.69	62.75	252.646	3.31	0
2	79.29	322.559	1.96	56.17	75.00	305.070	2.62	68.80	70.83	288.126	2.03	0.86	83.35	339.057	3.09	0
3	74.23	342.822	1.79	0.11	68.76	282.664	2.04	0.41	66.86	274.823	1.90	0.69	82.86	340.618	3.13	0
4	79.30	308.362	1.48	0.30	72.67	301.898	1.77	0.16	74.78	310.676	1.85	0.06	88.54	367.845	3.01	0
5	82.49	346.388	1.38	0.34	79.75	334.884	1.73	0.14	78.31	329.065	1.88	0.08	90.67	380.736	2.23	0
6	83.40	336.602	1.22	0.53	74.85	317.730	1.30	0.20	79.01	335.385	1.86	0.05	99.14	420.829	1.67	0
7	86.09	369.424	1.10	1.08	82.69	354.832	1.54	0.22	82.18	352.646	1.85	0.06	99.14	432.105	1.38	0

4 ผลของช่วงเวลาเลี้ยงแบคทีเรียต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก

4.1 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans*

ตารางที่ 4.1.1 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ

เวลา (วัน)	ไม่มีเชื้อ				มีเชื้อ			
	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)
0	0	0	3.38	100.00	0	0	3.14	100
4	1.14	1.111	3.34	100.00	36.05	35.191	3.10	100
8	1.15	1.505	3.33	100.00	46.45	45.344	3.07	100
12	1.95	1.900	3.38	97.03	53.23	51.964	3.07	90.16
16	3.12	3.046	3.38	94.45	67.93	66.170	2.95	90.16
20	3.68	3.589	3.41	94.45	72.04	70.323	2.96	0.08
24	6.25	6.105	3.34	89.42	79.19	77.314	2.71	0.05

ตารางที่ 4.1.2 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักหลังจากเชื้อเจริญได้ 18 ชั่วโมง

เวลา (วัน)	ไม่มีเชื้อ				มีเชื้อ			
	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)
0	4.12	4.021	3.13	100.00	0.86	0.835	2.51	100.00
4	55.09	53.784	3.15	100.00	67.96	66.343	2.50	23.07
8	56.51	55.170	3.18	84.80	93.90	91.667	2.44	2.25
12	61.55	60.088	3.14	84.80	96.17	93.888	2.42	0.89
16	63.28	61.773	3.21	71.69	97.43	95.120	2.43	0.74
20	62.45	60.962	3.25	71.36	99.25	96.891	2.42	0.29
24	67.24	65.641	3.31	71.36	99.79	97.421	2.39	0.14

4.2 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans*

ตารางที่ 4.2.1 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans* ในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ

เวลา (ชั่วโมง)	ไม่มีเชื้อ			มีเชื้อ		
	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (พีพีเอ็ม)	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (เปอร์เซ็นต์)	พีเอช	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (พีพีเอ็ม)	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (เปอร์เซ็นต์)	พีเอช
0	6.538	3.34	4.91	14.233	7.28	3.32
0.33	120.556	61.74	4.91	162.086	83.04	3.32
1	128.379	65.76	5.20	167.542	85.81	3.41
2	132.656	67.94	5.33	178.741	91.54	3.53
3	130.079	66.62	5.38	179.608	91.99	3.55
4	139.895	71.65	5.43	180.380	92.38	3.57
5	140.114	71.76	5.45	181.636	93.03	3.00
6	143.319	73.40	5.46	183.615	94.04	2.57
7	144.632	74.07	5.48	184.755	94.63	2.21

ตารางที่ 4.2.2 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans* ในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักหลังเชื้อเจริญได้ 5 วัน

เวลา (วัน)	ไม่มีเชื้อ			มีเชื้อ		
	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (พีพีเอ็ม)	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (เปอร์เซ็นต์)	พีเอช	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (พีพีเอ็ม)	นิกเกิลที่ถูกสกัดออกมา (เปอร์เซ็นต์)	พีเอช
0	19.003	9.73	1.55	35.083	17.96	1.51
0.33	170.134	87.13	1.55	185.748	95.13	1.48
1	173.128	88.67	1.52	187.924	96.25	1.43
2	178.494	91.42	1.53	193.445	99.07	1.33
3	188.506	96.54	1.54	194.598	99.66	1.22
4	190.156	97.39	1.53	193.520	99.11	1.13
5	190.016	97.32	1.55	193.650	99.18	1.10
6	190.953	97.80	1.55	193.987	99.35	0.95
7	191.040	97.84	1.57	193.309	99.01	0.93

5. อิทธิพลของปริมาณเฟอร์รัสอิออนต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans*

ตารางที่ 5.1 นิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans*

เวลา (วัน)	เฟอร์รัสอิออน 0.25 กรัม				เฟอร์รัสอิออน 0.50 กรัม				เฟอร์รัสอิออน 0.75 กรัม			
	ไม่มีเชื้อ		มีเชื้อ		ไม่มีเชื้อ		มีเชื้อ		ไม่มีเชื้อ		มีเชื้อ	
	พีพีเอ็ม	%	พีพีเอ็ม	%	พีพีเอ็ม	%	พีพีเอ็ม	%	พีพีเอ็ม	%	พีพีเอ็ม	%
0	0.808	0.89	6.828	6.99	0.867	0.89	6.877	7.04	1.170	1.19	7.378	7.55
1	14.831	15.19	82.182	84.18	22.352	22.90	87.863	90.00	24.683	25.28	90.067	92.26
2	17.803	18.23	91.360	93.58	25.373	25.99	91.825	94.06	30.537	31.28	92.527	94.78
3	22.764	23.31	91.008	93.62	40.433	41.42	92.958	95.22	47.833	48.99	93.947	96.23
4	27.726	28.40	90.657	92.86	55.494	56.85	94.091	96.38	65.129	66.71	95.368	97.69
5	33.919	34.74	95.133	97.45	61.383	63.34	94.279	96.57	76.967	78.84	94.569	96.87
6	42.593	43.62	95.075	97.39	69.471	71.39	94.561	97.86	80.368	82.32	95.330	97.65
7	51.268	52.51	95.025	97.33	77.560	79.45	94.844	97.15	83.769	85.81	96.091	98.43
8	59.615	61.06	95.522	97.84	80.372	82.33	95.277	97.56	88.280	90.43	96.587	98.94

ตารางที่ 5.2 พีเอชที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในสภาวะที่มีเฟอร์รัสอิออนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	เฟอร์รัสอิออน 0.25 กรัม		เฟอร์รัสอิออน 0.50 กรัม		เฟอร์รัสอิออน 0.75 กรัม	
	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ
0	3.06	2.93	3.12	2.95	3.07	2.94
1	3.06	2.48	3.12	2.42	3.03	2.40
2	3.13	2.34	3.07	2.27	3.04	2.20
3	3.15	2.34	3.05	2.25	3.04	2.21
4	3.18	2.33	3.03	2.23	3.04	2.19
5	3.23	2.34	3.11	2.26	3.14	2.21
6	3.21	2.33	3.06	2.24	3.12	2.20
7	3.19	2.33	3.02	2.23	3.11	2.20
8	3.21	2.29	3.04	2.26	3.08	2.19

ตารางที่ 5.3 ปริมาณเฟอร์รัสอิออนที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก โดย *T. ferrooxidans* ในสภาวะที่มีเฟอร์รัสอิออนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	เฟอร์รัสอิออน 0.25 กรัม		เฟอร์รัสอิออน 0.50 กรัม		เฟอร์รัสอิออน 0.75 กรัม	
	ไม่มีเชื้อ (%)	มีเชื้อ (%)	ไม่มีเชื้อ (%)	มีเชื้อ (%)	ไม่มีเชื้อ (%)	มีเชื้อ (%)
0	100	100	100	100	100	100
1	90.57	3.68	95.35	10.59	99.20	24.62
2	86.93	0	86.57	0	89.06	0
3	69.57	0	82.66	0	88.79	0
4	57.32	0	78.76	0	88.53	0
5	57.32	0	69.56	0	86.57	0
6	51.07	0	32.59	0	69.56	0
7	32.59	0	32.59	0	50.46	0
8	31.47	0	0.38	0	12.73	0

6 ผลการปรับสภาพเชื้อ *T. ferrooxidans* ต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก

เวลา (วัน)	*T.ferrooxidans* ปรับสภาพ				*T.ferrooxidans* ปกติ			
	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)	นิกเกิล(%)	นิกเกิล (พีพีเอ็ม)	พีเอช	Fe2+(%)
0	4.56	16.232	3.21	100.00	6.53	25.506	3.45	100.00
1	94.91	336.928	2.48	54.53	72.68	292.592	2.60	60.69
2	97.97	347.789	1.95	0.10	70.83	288.126	2.03	0.86
3	98.98	351.400	1.95	0.05	74.23	308.362	1.90	0.69
4	99.52	353.303	1.94	0.05	79.30	336.602	1.85	0.06
5	99.93	354.766	1.95	0.05	82.49	346.388	1.88	0.08
6	98.97	351.369	1.95	0	83.40	342.822	1.86	0.05
7	99.26	352.373	1.92	0	82.18	352.646	1.85	0.06

7 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในระบบที่มีปริมาณกากตะกอนโลหะหนักแตกต่างกัน

ตารางที่ 7.1 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนัก (พีพีเอ็ม)

เวลา	กากตะกอน 200 มก./ล.		กากตะกอน 400 มก./ล.		กากตะกอน 800 มก./ล.		กากตะกอน 1 ก./ล.		กากตะกอน 5 ก./ล.		กากตะกอน 8 ก./ล.	
(วัน)	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ
0	5.350	2.700	2.679	8.667	22.793	16.322	20.619	13.327	154.514	184.021	193.507	211.106
0.16	39.175	70.225	65.079	155.607	77.425	259.316	109.213	272.234	1029.101	1181.612	2022.472	2024.909
0.33	50.150	74.549	95.182	159.744	138.927	301.001	202.852	334.040	1381.674	1518.747	2497.502	2601.676
1	67.200	81.100	150.769	160.102	226.640	336.928	298.081	363.233	1614.833	1769.907	2848.001	3042.121
2	80.800	82.112	155.411	163.677	305.867	347.789	305.429	364.819	1762.140	1864.502	2894.671	3154.677
3	79.091	84.091	154.880	163.921	311.661	351.400	318.736	364.986	1787.431	1913.126	2900.044	3186.289
4	79.825	84.144	155.012	164.165	312.523	353.303	319.862	365.214	1798.456	1937.246	2963.342	3207.826
5	80.058	84.413	155.194	165.322	312.740	354.766	324.641	367.811	1814.993	1946.854	2982.291	3240.129
6	81.235	85.219	155.421	166.400	313.575	351.369	333.799	371.673	1831.531	2009.608	3001.2395	3272.434
7	83.300	86.258	154.638	167.901	313.868	352.373	345.469	379.824	1883.6900	2072.417	3019.560	3337.682

7.2 ปริมาณนิกเกิลที่ถูกสกัดออกจากกากตะกอนโลหะหนัก (เปอร์เซ็นต์)

เวลา (วัน)	กากตะกอน 200 มก./ล.		กากตะกอน 400 มก./ล.		กากตะกอน 800 มก./ล.		กากตะกอน 1ก./ล.		กากตะกอน 5ก./ล.		กากตะกอน 8 ก./ล.	
	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ
0	5.48	3.03	1.50	4.88	6.42	4.56	4.64	2.99	6.96	8.29	5.45	5.94
0.16	40.12	79.12	36.66	87.66	21.81	73.04	24.61	61.34	45.54	52.28	55.93	56.00
0.33	51.37	83.99	53.62	89.99	39.13	84.79	45.71	75.27	60.01	65.95	67.79	70.62
1	68.83	91.38	84.94	90.19	63.84	94.91	67.17	81.85	68.81	75.41	75.85	81.01
2	82.27	92.52	87.55	92.21	86.16	97.97	68.83	82.21	73.64	77.92	75.61	82.39
3	81.01	94.75	87.25	92.34	87.79	98.98	71.83	82.24	73.23	79.92	74.26	81.59
4	81.76	94.81	87.33	92.48	88.03	99.52	72.08	82.30	73.30	80.11	75.50	81.72
5	82.00	95.11	87.43	93.13	88.09	99.93	73.16	82.88	73.42	80.40	75.41	81.91
6	83.21	96.02	87.56	93.74	88.33	98.97	75.22	83.75	73.54	80.69	75.32	82.12
7	85.32	97.19	87.12	94.59	88.41	99.26	77.85	85.59	74.09	80.65	74.23	82.05

7.3 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก.

เวลา (วัน)	กากตะกอน 200 มก./ล.		กากตะกอน 400 มก./ล.		กากตะกอน 800 มก./ล.		กากตะกอน 1ก./ล.		กากตะกอน 5ก./ล.		กากตะกอน 8 ก./ล.	
	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ
0	3.20	2.83	3.39	2.81	3.56	3.21	3.99	3.92	3.93	3.94	3.98	3.90
0.16	3.20	2.83	3.39	2.81	3.56	3.21	3.68	3.41	3.93	3.91	3.98	3.90
0.33	3.12	2.84	3.35	2.82	3.50	2.49	3.68	3.41	3.92	3.91	3.85	3.81
1	2.99	2.44	3.19	2.22	3.50	2.48	3.58	2.68	3.67	3.44	3.01	2.87
2	2.88	1.99	3.00	1.84	3.35	1.95	3.31	2.14	2.91	2.70	3.01	2.84
3	2.84	1.83	2.91	1.83	3.24	1.95	3.04	1.95	2.80	2.63	2.80	2.66
4	2.82	1.81	2.73	1.82	3.07	1.94	3.00	1.94	2.76	2.49	2.76	2.62
5	2.79	1.81	2.60	1.81	2.98	1.95	2.97	1.93	2.70	2.28	2.70	2.56
6	2.75	1.80	2.63	1.80	2.91	1.95	2.83	1.94	2.64	2.08	2.64	2.51
7	2.67	1.77	2.58	1.77	2.91	1.92	2.76	1.87	2.16	2.02	2.42	2.19

7.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเฟอร์รัสอิออนในระหว่างการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก (เปอร์เซ็นต์)

เวลา	กากตะกอน 200 มก./ล.		กากตะกอน 400 มก./ล.		กากตะกอน 800 มก./ล.		กากตะกอน 1ก./ล.		กากตะกอน 5ก./ล.		กากตะกอน 8 ก./ล.	
(วัน)	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	93.10	91.54	90.90	37.50	90.99	54.35	88.07	67.94	98.93	89.11	94.11	88.88
2	90.51	65.72	90.00	0.05	89.00	0.10	87.15	33.99	95.74	85.49	89.41	88.33
3	86.20	1.40	89.54	0.05	87.50	0.05	86.23	13.33	95.74	83.93	89.41	88.33
4	69.56	1.17	89.09	0.05	87.50	0.05	84.40	8.91	93.08	62.96	86.61	84.86
5	32.59	0.84	87.27	0.02	86.00	0.05	81.65	4.48	89.09	31.50	82.42	79.65
6	0.43	0.46	85.45	0.00	85.00	0.00	78.89	0.04	85.10	0.10	78.23	74.44
7	0.25	0.18	81.81	0.00	75.00	0.00	77.98	0.04	0.95	0.10	65.88	1.05

8 การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในถังปฏิกรณ์แบบทีละเท

เวลา (วัน)	นิกเกิล(%)		นิกเกิล(พีพีเอ็ม)		พีเอช		ORP		Fe2+(%)		อุณหภูมิ	
	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ	มีเชื้อ	ไม่มีเชื้อ
0	16.55	16.07	64.629	62.782	3.25	3.37	311	180	100.00	100.00	31	31
1	56.55	25.56	221.795	100.248	2.52	3.35	420	251	56.94	90.82	30	30
2	76.25	35.23	299.490	138.393	2.02	3.66	603	320	0.04	89.90	30	30
3	78.29	39.44	307.920	155.139	2.00	3.62	593	317	0.05	88.99	30	29.5
4	82.64	43.57	325.496	171.616	1.97	3.59	607	328	0.04	90.82	30	30
5	84.49	48.31	333.270	190.560	1.94	3.59	610	315	0.04	89.90	30	30
6	83.79	55.71	330.981	220.081	1.87	3.53	610	334	0.14	88.99	30	30
7	87.43	57.06	345.854	225.733	1.88	3.48	613	322	0.09	87.15	29	29
8	86.28	60.63	341.808	240.187	1.88	3.50	615	318	0.11	86.23	30	30
9	86.18	64.45	341.905	255.723	1.84	3.42	613	315	0.13	85.32	30	30
10	86.81	68.20	344.654	270.827	1.82	3.21	613	334	0.13	82.10	30	30
11	87.44	62.35	347.403	248.807	1.80	3.00	612	354	0.14	78.89	29.5	29.5
12	88.99	62.35	354.089	248.807	1.86	2.52	614	425	0.15	54.12	30	30
13	89.86	71.96	358.089	285.932	1.82	2.12	617	577	0.19	0.73	30	30
14	90.13	77.33	359.698	307.698	1.84	2.10	617	583	0.20	0.73	30	30

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ขวัญเรือน หลีสิน เกิดวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538