

低品位 銅鑛石의 細菌浸出에 關한 研究

— I. 坑內水中 特殊細菌의 分離 및 同定에 關하여 —

—李 康 淳·吳 在 賢*·閔 鳳 熙—

(原子力研究所, 生物學研究室 *延大 理工大 金屬工學科)

Studies on the Bacterial Leaching of Low-grade Copper Minerals

— I. Isolation and Identification of Special Bacteria from Mine Water —

RHEE, Kang Soon, Jae Hyun OH* and Bong Hee MIN

(Biology Division, Atomic Energy Research Institute)
(*Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the proprieties of practical application and possibility of bacterial leaching method to the low copper minerals in Korea. Therefore, ore samples and mine water of the Talsung, Ilkwang, Taekwang, Yongho and Siheung were analyzed chemically, mineralogically, and bacteriologically.

The results obtained were as follows:

1. The range of pH value was 2.6-3.8.
2. Copper contents in ore samples of Talsung and Ilkwang were 0.38% and 0.63%, and those in mine water of Talsung and Ilkwang were 584 μg and 15 μg per ml, respectively.
3. Ferric sulfate contents in mine water of Talsung and Ilkwang were 27.2 μg and 10.5 μg per ml, respectively.
4. *Ferrobacillus ferrooxidans* was isolated and identified from Talsung and Ilkwang mine water and specially *Thiobacillus thiooxidans* was isolated from Ilkwang mine water.

緒 論

最近 金屬鑛山 坑內水中에 棲息하는 鐵酸化 및 硫黃酸化 自家榮養性 細菌을 利用하여 低品位 鑛石으로부터 有用金屬을 浸出 乃至 回收하는 細菌浸出法이 研究 開發되어 鑛業分野에서 크게 脚

光을 받고 있다.

이러한 有用金屬 浸出에 微生物이 重要な 役割을 하고 있다는 事實은 相當히 오래前부터 注目되어 1922年 Rudolf 및 Helbronner 등이 硫化銅鑛이나 硫化亞鉛을 黃酸鹽으로 變化시키는 데 硫黃酸化細菌이 關與한다고 報告함으로써 이

研究의 嚆矢가 되었다.

그 後 Waksman 및 Joffe(1922) 등에 依하여 *Thiobacillus thiooxidans* (以下 *T. thiooxidans* 라 略함)를, Parker(1945)에 依하여 *Thiobacillus concretivorus* (以下 *T. concretivorus* 라 略함)를, Colmer 및 Temple (1950) 등에 依하여 *Thiobacillus ferrooxidans* (以下 *T. ferrooxidans* 라 略함)를, 그리고 Kinsel (1960)에 依하여 *Ferroobacillus sulfooxidans* (以下 *F. sulfooxidans* 라 略함)를 分離하여 報告한바 있다. 이와는 別途로 Leathen 및 Braley (1954) 등은 上記 細菌들을 研究하던 中 硫黃이나 sodium thiosulfate를 酸化하는 能力은 없고 다만 金屬鐵만을 酸化하는 鐵酸化細菌을 分離하여 이를 *Ferrobacillus ferrooxidans* (以下 *F. ferrooxidans* 라 略함)라 報告하였다. Bergey (1957)의 記載에 依하면 鑛山 坑內水中에 棲息하고 있는 細菌으로는 *T. thiooxidans*, *T. concretivorus*, *T. ferrooxidans*, *F. ferrooxidans* 및 *F. sulfooxidans*의 5種을 列擧하고 있는 點을 보더라도 上記 5種의 自家榮養性 細菌들이 主로 有用金屬을 浸出하는데 直接 또는 間接으로 作用하는 것으로 생각되고 있으며 繼續 많은 學者들 (Cook, 1964;

Kingsbury *et al.*, 1954; Razzell *et al.*, 1962; 渡邊壓美等, 1965)에 依하여 細菌浸出法에 關한 研究가 系統的으로 이루어지고 있다.

특히 우리나라와 같이 天然地下資源이 貧弱한 나라에 있어 鑛山에서 버려지는 廢滓, 坑內殘鑛 및 低品位 鑛石으로부터 有用金屬物의 遺利를 細菌浸出法으로 回收하는 研究는 必要한 것으로 생각되나 아직 그 報告가 없다.

著者는 우리나라에 있어서 細菌浸出法適用 可能性 與否를 究明하기 爲하여 鑛山 坑內水를 分析하고 또 細菌의 分離 및 同定實驗을 實施하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었기에 이에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

1. 試料

慶北 達城郡 所在 達城鑛山, 慶南 東萊郡 所在 日光鑛山, 釜山直轄市 所在 龍湖鑛山, 京畿道 始興郡 所在 始興鑛山 및 慶北 青松郡 所在 太光鑛山等 5個 鑛山으로부터 坑內水와 原鑛石을 採取하였으며 특히 坑內水는 坑道와 採取場所를 달리하여 1個 鑛山當 1~6個所에서 다른 滅菌容器에 各各 採取하였다.

Table 1. Composition of Culture Media

Constituents, grams Media	Solution	(NH ₄) ₂ SO ₄	FeSO ₄ .7H ₂ O	KCl	K ₂ HPO ₄	Ca(NO ₃) ₂	MgSO ₄ .7H ₂ O	CaCl ₂	KH ₂ PO ₄	Precipitated sulfur	Na ₂ S ₂ O ₃ 5H ₂ O	Dist. Water
9K	A	3.0		.1	.5	.01	.5					700
	B		44.3									300
Leathen	A	.15		.05	.05	.01	.5					900
	B		1.0									100
Waksman	A	.2	.01				.5	.25	3.0	10.0		1000
Sodium thiosulfate	A	.2					.1	.2	3.0		5.0	1000

2. 培養液

細菌의 增殖培養液으로서는 Table 1에서 보는 바와 같이 9K (Silverman *et al.*, 1959), Leathen (Leathen *et al.*, 1951), Waksman (Waksman, 1922) 및 Sodium thiosulfate (Colmer *et al.*, 1950) 등 4個 培養液을 使用하였으며 細菌의 分離 및 同定에 使用한 同定培養液(Corrick *et al.*, 1961)의 組成은 Table 2와 같다.

3. 培養方法

調製 滅菌한 4個의 增殖用 培養液 200ml씩을 滅菌된 250ml容 flask에 넣고 鑛山에서 採取한 坑內水 4ml씩을 無菌의으로 接種한 後 28°C 恒溫培養室에서 6日間 通氣連續培養하여 細菌의 豫備培養實驗을 實施하였다.

細菌을 同定할 目的으로 豫備培養한 試料를 同定培養液에 接種하여 28°C 恒溫培養室에서 9日

Table 2. Composition of Identification Media

Media	Solution	Constituents, grams																				
		(NH ₄) ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂ ·2H ₂ O	FeSO ₄	KH ₂ PO ₄	Precipitated Sulfur	KCl	MgSO ₄ ·7H ₂ O	K ₂ HPO ₄	Ca(NO ₃) ₂	FeSO ₄ ·7H ₂ O	NaNO ₃	MnSO ₄	NaNO ₂	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ S ₂ O ₅ ·5H ₂ O	Na ₂ SiO ₃ ·meta	Agar	Tap Water	Dist. Water	
I	A	.2	.5	.25	T	3.0	10.0														1000	
II	A	.15						.05	.5	.05	.01											900
	B										10.0											100
III	A		.1	.1	T	2.0								T								900
	B															10.0						50
	C	.1																				50
IV	A	.1		.1	.02	2.0		.1					.02			10.0		15.0				1000
V	A	6.0					.05	.5	.01													250
	B								13.5													100
	C										10.0											100
	D																15.0					100
VI	A		.5	.25	T	3.0	10.0					.2										1000
VII	A		.5	.25	T	3.0	10.0					.2										1000

1. Formula from American Type Culture Collection, Washington, D.C.
2. Formula from Science, September 14, 1954, vol. 114, No. 2959, pp. 280-281.
3. Formula from American Type Culture Collection, Washington, D. C.
4. Constituents for Medium IVm except for slight changes made by the authors and incorporated into the above formula, were specified in an article by Starkey, R. L., Isolation of Bacteria which Oxidize Thiosulfate: *Soil Science*, vol. 39, No. 3, 1935, p. 202.
5. Formula from an article by Leathen, W. W., Kinsel, N. A., and Braley, Sr., S. A. *Ferrobacillus ferroxidans*: A Chemosynthetic Autotrophic Bacterium: *Jour. Bact.*, vol. 72, No. 5, 1956, p. 701.
6. Constituents for Media VI and VII are the same as Medium I, except for the source of nitrogen.

間 通氣連續培養하였으며 培養 9日째 同一한 培養法으로 4回 反復繼代培養하여 各各의 同定培養液에 適應한 細菌을 增殖시키어 그 增殖 與否에 따라 細養의 種屬을 同定하였다.

4. 測定方法

pH測定은 Beckman pH meter, model G type을 使用하여 每日 測定하였고 Fe⁺⁺⁺의 測定은 Beck (1960) 方法에 依한 比色法을 利用하여 Beckman spectrophotometer, model B type로 測定하였으며 菌體數는 Thoma의 計算盤을 使用하여 450倍顯微鏡下에서 計測하였다.

結果 및 考察

1. 坑內水의 性狀

細菌浸出法の 適用可能性 與否를 究明할 目的으로 達城, 日光, 龍湖, 始興 및 太光鑛山等 5個鑛山으로부터 採取한 坑內水의 生物學的 및 化學的 分析을 實施하였다. 于先 坑內水의 生物學的 分析에 있어 pH值, 總菌數 및 細菌의 形態學의 特性等을 實驗한 結果는 Table 3에서 보는 바와 같이 5個 鑛山 坑內水 全部가 相當數의 細菌을 含有하고 있었다.

龍湖, 始興 및 太光鑛山 坑內水中에 棲息하는 細菌의 形態學의 特性은 Gram陰性 및 陽性인 桿菌, 單球菌 및 雙球菌等을 觀察할 수 있었는데 比하여 達城 및 日光鑛山 坑內水中의 細菌은 Gram陰性인 0.5~1.0×1.0~1.5μ의 크기를 가진 桿菌들만을 觀察할 수 있었다.

Table 3. Biological Analysis of Mine Water

Mine	Sample	Audit site	pH	No. of cell (Log ₁₀ cell/ml)	Morphological characteristics	Date of sample collection
1st sampling	Talsung	5	3.55	5.8	Short rod, motile Gram negative 0.5-1.0×1.0-1.5μ	May, 1968
		6	3.80	5.4		
		5	3.20	5.9		
	Ilkwang	1	2.60	5.2		
		1	3.08	5.2		
		2	3.04	5.9		
		2	3.10	5.9		
		3	2.90	5.3		
	3	3.02	6.0			
	Yongho	3	7.00	3.2		Gram positive, negative 0.3-0.5×1.0-2.0μ
Siheung	effluent	6.90	1.9	Jul., 1968		
Taekwang	1	6.80	4.2	Oct., 1968		
	2	6.90	2.6			
	3	6.50	5.2			
2nd sampling	Talsung	5	2.53	5.3	Short rod, motile Gram negative 0.5-1.0×1.0-1.5μ	Oct., 1968
		5	2.28	5.1		
		4	2.15	4.7		
	Ilkwang	3	2.08	5.1		Oct., 1968
		3, 5, 6	2.00	4.9		
		effluent	2.00	5.2		
5	2.00	4.7				

pH値는 龍湖, 始興 및 太光鑛山 坑內水는 中性乃至弱酸性을 나타내고 있었으나 達城 및 日光鑛山의 1次採取 坑內水는 pH 2.60~3.80으로 强酸性을 나타내었고 2次採取 坑內水는 pH 2.00~2.53으로 1次採取 坑內水에 比하여 若干强酸性이었다.

또한 達城 및 日光鑛山의 2次採取 坑內水 및 太光鑛山의 1次採取 坑內水의 化學的 分析 結果의 平均値는 Table 4와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 坑內水에 含有되어 있는 全鐵量의 50% 以上이 Fe⁺⁺⁺로 存在하는 達城 및 日光鑛山 坑內水에서 SO₄⁻⁻⁻ 및 Cu⁺⁺

Table 4. Chemical Analysis of Mine Water

Mine	Analysis, ug/ml	Cu	Zn	SO ₄ ⁻⁻⁻	Total Fe	Fe ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	pH
Ilkwang	15	290.0	2,357	21.1	10.6	10.5	2.00	
Taekwang	—	—	—	8.5	8.5	—	6.50	

의 含量이 많았으며 Fe⁺⁺만이 存在하는 太光鑛山 坑內水에서는 Cu⁺⁺ 및 SO₄⁻⁻⁻가 檢出되지 않았다.

以上の 實驗結果에서 記述한 바와 같이 達城 및 日光鑛山 坑內水는 强酸性이며 普通の 微生物은 이와같은 强酸性 溶液中에서는 棲息하지 못하는 것으로 알려져 있다.

上記 2個 鑛山의 坑內水中에는 細菌의 形態學

의 特性이 Gram陰性인 0.5~1.0×1.0~1.5μ의 크기를 가지고 酸에 對하여 耐性을 가진 桿菌即 特殊한 細菌이 棲息하고 있다.

坑內水의 銅含量에 있어 達城(584 ppm) 및 日光鑛山(15ppm)은 相當量 含有하고 있는데 比하여 太光鑛山은 全無하다. 이러한 關係는 SO₄⁻⁻⁻나 第2鐵에 있어서도같은 傾向이며 原鑛石中의 銅含量은 太光鑛山(0.92%)이 達城(0.38%) 및 日

光鑛山(0.92%)보다 오히려 높은 함유이며 坑內水의 銅含量과 比較한다면 그 相反되는 結果에 著者들은 上記 特殊細菌들에 依한 作用의 結果가 아닌가 推理해 보기로 한다.

實際에 있어서 金屬鑛物이나 鑛石으로부터 有用金屬의 浸出은 特殊한 細菌의 作用에 依하여 助長됨은 明白하나 細菌의 浸出機轉에 關係서는 아직 밝혀지지 않은 點이 많다.

現在까지 報告들을 綜合 整理하여 본다면 有用金屬의 浸出은 化學的인 反應에 依하여 이루

어지며 이때 溶出에 必要한 溶液條件에 細菌이 觸媒的으로 매우 有效하게 作用한다는 說(Sutton 및 Corrick, 1963)과 細菌自體가 有用金屬에 直接作用하여 溶出作用을 한다는 說(Razzell, 1962 Silverman *et al.*, 1964 : Schaeffer *et al.*, 1963)의 2가지가 있다.

2. 原鑛石의 性狀

坑內水의 性狀을 分析한 結果를 參考로 하여 達城, 日光 및 太光鑛山의 原鑛石을 分析한 結果는 Table 5와 같다.

Table 5. Chemical Analysis of Copper Mineral

Mineral		Analysis (%)																		
		WO ₃	Sn	As	S	Cu	P	Sb	Mo	Mn	Bi	Pb	Zn	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	N	B	Ag
Talsung		0.18	Tr	0.01	4.55	0.38	0.12	0.05	0.006	0.28	0.006	0.02	0.10	9.44	1.04	67.77	1.10	Tr	Tr	
Ilkwang	high grade			0.26	3.10	1.16						Tr	0.48	5.90						80.9 g/ton
	low grade				1.92	0.63						0.14	Tr	7.40						34.2 g/ton
Taekwang						0.92								2.38	2.24		0.03			

達城鑛山

이 鑛山은 慶北 達城郡 外朴谷 附近에 存在하며 銅, 灰重石, 鐵망간, 重石 및 비스무트 등이 採取되고 있는 銅, 重石鑛山이다.

本鑛山에 있어서 鑛床을 形成하고 있는 角礫들은 變質作用을 받은 安山岩質 岩類들이며 이들 角礫間의 裂隙은 主로 石英脈들에 依하여 充填되었으며 이 石英脈中에 鑛石이 胚胎한다.

主 鑛體는 第1區의 鑛床으로서 角礫파이프를 이루고 있다. 角礫의 間隙은 大體로 石英脈으로 充填되어 있으며 鑛化帶에는 黃銅鑛을 主로 한 鐵, 망간 및 重石이 胚胎되며 灰重石이 隨伴된다. 其他 多量의 黃鐵鑛 및 黃砒鑛의 微晶이 母岩 全體를 通하여 鑛染되어 있다.

第3區의 鑛床은 鑛脈幅이 平均 15cm內外이고 構成鑛物은 黃鐵鑛, 黃砒鑛, 黃銅鑛, 鐵閃亞鉛鑛, 方鉛鑛, 輝蒼鉛鑛 및 cosalite 등이며 脈石鑛物로 石英, 方解石 등이 隨伴되어 있다.

이 비스무트 黃化鑛은 化學分析, X線分析 및 顯微鏡調查를 綜合한 結果 bismuthinite와 cosalite임을 確認하였다.

下記의 複雜黃化鑛은 그 鑛物組織이 大端히 複

雜하여 微粒의 脈石粒子가 비스무트 黃化鑛에 散布되거나 黃銅鑛 및 cosalite의 이용체(exsolution bodies)가 鐵閃亞鉛鑛 및 方鉛鑛內에 利用되고 있는 것도 있다.

本鑛石에 含有되어 있는 有用金屬物의 平均은 Cu 약 0.38%, Fe는 9.44%, Zn은 0.01%이고 其他 여러 有用金屬들이 微量으로 含有되어 있다.

日光鑛山

慶南 東萊郡 日光面에 所在하며 附近의 地質은 花崗岩綠岩이 分布하고 있다. 이 鑛山은 한 때 우리나라 最大의 生産實績을 記錄한 바 있었던 鑛山으로 鑛體는 매우 硅化되거나 電氣石化된 花崗岩綠岩內에 있으며 網狀型으로 되어 있다. 鑛體는 3部分으로 構成되어 나타나고 있는데 中央部는 硅化作用과 電氣石化作用을 받았고 花崗岩綠岩中에 注入된 黃化物이 매우 많으며 黃化鑛物을 含有한 石英이나 細脈들이 豊富하게 分布하고 있다. 硅化作用이나 電氣石化作用을 若干 받은 中間部分에는 黃化物의 注入이 弱하고 若干의 黃化物을 含有한 石英이 나타나고 있다. 外廓部分은 黃化物을 含有하며 硅化作用 및

電氣石化 作用은 거의 없다.

이中 中央部分이 經濟的 價値가 있으며 黃銅鑛, 黃砒鐵鑛, 磁黃錄鑛, 黃錄鑛 및 閃亞鉛鑛等의 鑛物이 產出되어 어떤 곳에서는 灰重石, 黑重石 및 螢石鑛이 產出되기도 한다.

有用金屬物의 平均品位는 Table 5에서 보는 바와 같이 Cu는 高品位鑛이 約 1.16%, 低品位鑛이 約 0.63%, 低品位鑛에서의 Pb는 約 0.14% Fe는 約 7.40%이고 Ag는 約 24.2 g/ton이 含有되어 있다.

太光鑛山

慶北 靑松郡에 所在하는 本 鑛山은 現在 採掘하지 않고 있으나 그 原鑛石에 含有되어 있는 有用金屬의 平均品位는 Cu 約 0.92%, Fe 約 2.38%, CaO 約 2.24% 및 MgO 約 0.03%로서 Cu는 達城 및 日光鑛山에 比하여 높은 含量이다.

3. 豫備培養實驗

5個 鑛山 坑內水에 棲息하는 細菌中 有用金屬 浸出에 關與하는 細菌의 有無를 究明코자 實施한 豫備培養實驗 結果는 Table 6에서 보는 바와 같이 達城 및 日光鑛山의 坑內水를 接種한 9K 및 Leathen 培養液에서 細菌의 顯著한 增殖을 認

Table 6. Preliminary Culture of Mine Water in Specific Media

Media \ Mine	9K	Leathen	Waksman	Sodium thiosulfate
Talsung	+	+	-	-
Ilkwang	±	+	±	±
Taekwang	-	-	-	-
Yongho	-	-	-	-
Siheung	-	-	-	-

Remark

+; nutrient utilized

-; nutrient not utilized

±; nutrient not utilized appreciably

定할 수 있었으나 其他 3個 鑛山 坑內水에 있어서는 細菌의 增殖을 觀察할 수 없었고 Waksman 및 Sodium thiosulfate培養液에 接種한 實驗에 있어서는 日光鑛山 坑內水에서만 若干 增殖하는 傾向이었다.

培養期間中 細菌增殖에 따른 9K培養液의 pH의 變化는 Fig. 1.에서 보는 바와 같이 太光, 龍

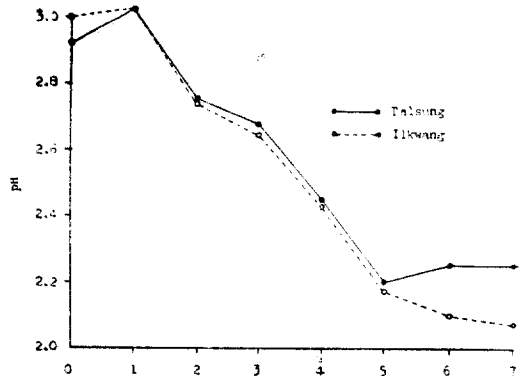


Fig. 1. Changes in pH of the 9K medium during the incubation of Talsung and Ilkwang mine water.

湖 및 始興鑛山 坑內水 培養에 있어서는 細菌의 增殖을 認定할만한 pH의 變化를 觀察할 수 없었으나 達城 및 日光鑛山 坑內水 培養에 있어서는 培養 2日째부터 漸次 低下하기 始作하여 培養 5~6日째에는 pH 2.0~2.3으로 低下하였다.

5個 鑛山 坑內水를 9K培養液에서 培養하는 期間中 黃酸第1鐵 變化는 Fig. 2.에서 보는 바와

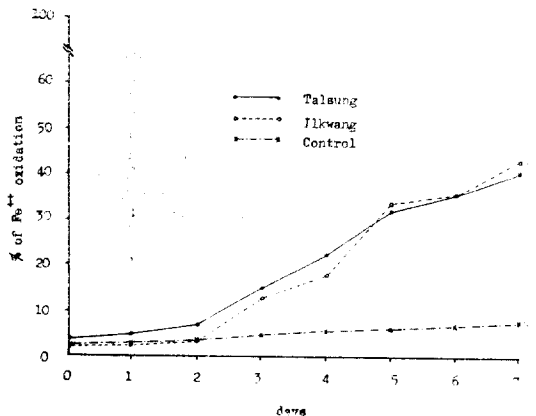


Fig. 2. The percentage of Fe⁺⁺ oxidation in 9K medium during the incubation of Talsung and Ilkwang mine water.

같이 達城 및 日光鑛山 坑內水를 接種한 9K培養液에 있어서는 培養當日부터 黃酸第2鐵로 酸化되기 始作하여 培養 5~6日째의 培養液은 顯著히 酸化되어 赤褐色으로 變色되었으며 培養 7

日째에는 黃酸第1鐵의 50% 前後가 黃酸第2鐵로 酸化되었으나 其他 3個 鑛山 坑內水의 培養結果는 對照群과 같은 成績이었다.

5個 鑛山中 龍湖, 太光 및 始興鑛山 坑內水는 中性乃至 弱酸性으로서 棲息하고 있는 細菌도 多樣하며 (Table 3.) 坑內水中의 銅, SO_4^{--} 및 Fe^{+++} 의 含量이 全無 (Table 4.) 한 狀態였으며 또 豫備培養實驗結果 細菌의 增殖을 認定하지 못하였다. 反對로 達城 및 日光鑛山 坑內水는 普通의 細菌이 棲息할 수 없는 強酸性으로 0.5~1.0×1.0~1.5 μ 크기의 Gram陰性 桿菌단片이 棲息하고 坑內水中의 銅, SO_4^{--} 및 Fe^{+++} 等을 相

當히 含有하고 있으며 또 豫備培養實驗結果 培養液의 pH 및 黃酸第1鐵의 變化는 細菌增殖에 依한 變化라고 생각된다.

以上の 成績들을 檢討해 볼때 9K培養液을 使用한 豫備培養實驗에서 細菌의 增殖을 認知할 수 없었던 龍湖, 太光 및 始興鑛山과 細菌의 增殖을 認知할 수 있었던 達城 및 日光鑛山 坑內水性狀의 差異는 有用金屬을 浸出하는 細菌의 存在에 起因된 結果라고 생각된다.

4. 細菌의 分離 同定 實驗

5個 鑛山 坑內水에 棲息하는 細菌을 分離 및 同定할 目的으로 同定培養液에 4回 反復 培養한

Table 7. Physiological Characteristics of Chemosynthetic Bacteria and isolated Bacteria from Mine Water

Species and Mine water		Media		No. of Identification Media						
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Reference	<i>F. ferrooxidans</i>	-	+	-	-	+	-	-		
	<i>F. sulfooxidans</i>	+	+							
	<i>T. thiooxidans</i>	+	-	+	+	-	-	-		
	<i>T. ferrooxidans</i>	+	+	+	+	+	±			
	<i>T. concretivorus</i>	+	-	+	+	-	+	-		
Isolated bacteria	Talsung	-	+	-	-	+	-	-		
	Ilkwang	-	+	-	-	+	-	-		
		+	-	+	+	-	-	-		
	Taekwang	-	-	-	-	-	-	-		
	Yongho	-	-	-	-	-	-	-		
Siheung	-	-	-	-	-	-	-			

Remarks +; nutrient utilized
 -; nutrient not utilized
 ±; nutrient not utilized appreciably

結果는 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 達城鑛山 坑內水는 同定培養液 I 및 II에서, 日光鑛山 坑內水는 同定培養液 I, II, III, IV 및 V에서 增殖을 認定할 수 있었으나 龍湖, 始興 및 太光鑛山의 坑內水에서는 細菌의 增殖을 認定할 수 없었다.

Bergey (1957)의 記載에 依하면 坑內水中에 棲息하며 浸出에 關與하는 細菌으로는 *F. ferrooxidans*, *F. sulfooxidans*, *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans* 및 *T. concretivorus*等 5種을 들 수 있으며 이 細菌들은 0.5~1.0×1.0~1.5 μ 의 桿菌으로 種에 따라 若干의 差異는 있으나 pH 2.

0~4.0의 強酸性坑內水中에 分布하며 生育에 適當한 溫度는 28°C~32°C 內外라고 한다.

이들은 Gram 陰性菌으로서 energy源으로서는 黃酸第1鐵, 元素硫黃 및 Thio 黃酸鹽等을 酸化하여 生長 增殖하는 無機榮養性 細菌들이라 한다. *T. ferrooxidans* 및 *F. ferrooxidans*은 다같이 黃酸第1鐵을 energy源으로 하여 酸性의 鑛物鹽類를 含有라고 媒質中에서 獨立榮養的으로 生長 增殖하지만 代替 energy源으로서 *T. ferrooxidans*는 Thio黃酸鹽을 酸化하여 利用할 수 있으나 *F. ferrooxidans*는 硫黃 및 Thio黃酸鹽과 같은 黃化合物을 利用할 수 없는 點에서 區別이 된다

고 한다.

著者들이 實驗한 5個鑛山中 達城 및 日光鑛山の 同定實驗 結果는 Table 7에서 보는 바와 같이 黃酸第一鐵을 含有하는 同定培養液인 II 및 V에서 增殖이 可能하였으며 鐵을 酸化하는 細菌이 棲息한다는 豫備培養實驗 結果와 一致하였다.

以上の 成績들을 上記 여러 報告들과 比較하여 볼때 著者들이 達城 및 日光鑛山에서 分離한 細菌은 크기 $0.5 \sim 1.0 \times 1.0 \sim 1.5 \mu$ 의 桿狀菌으로서 酸成坑內水中에 棲息하며 鐵을 酸化하여 生育하는 *F. ferrooxidans*라 同定할 수 있었다.

한편 日光鑛山 坑內水로부터 分離한 細菌의 同

定實驗에 있어서는 同定培地 I, III 및 IV에서 增殖이 있는 것으로 보아 元素硫黃이나 Thio黃酸鹽의 酸化能力이 있는 *T. thiooxidans* 및 *T. concretivorus*의 2種을 생각할 수 있었다. 그러나 同定培地 VI 및 VII에서 增殖할 수 없는 것으로 보아 이 細菌은 nitrate나 nitrite를 利用할 수 없으며 다만 ammonium을 nitrogen源으로 生育하는 眞性無機營養性 細菌으로서 元素硫黃 및 Thio黃酸鹽을 酸化하여 그때 생기는 energy를 生活 energy로 하여 CO₂ 및 ammonia로 菌體를 合成하여 生育하는 *T. thiooxidans*라 생각 된다.

摘 要

低品位 鑛石으로부터 有用金屬을 浸出하는 細菌浸出法の 可能性 與否를 調査할 目的으로 達城, 日光, 太光, 龍游 및 始興等 5個 鑛山으로부터 原鑛石 및 坑內水를 採取하여 이들에 對한 化學的, 鑛山學的, 生物學的 性狀들을 實驗하여 다음과 같은 成績들을 얻었다.

(1) 達城 및 日光鑛山の 坑內水の pH는 2.6~3.8로서 強酸性이었다.

(2) 達城 및 日光鑛山 原鑛石의 銅含量은 0.38% 및 0.63%였고 坑內水の 銅含量은 達城 584ppm, 日光 15ppm이었다.

(3) 達城 및 日光鑛山の 坑內水中 Fe⁺⁺⁺含量은 各各 27.2ppm 및 10.5ppm이었다.

(4) 達城 및 日光鑛山 坑內水로부터 *Ferrobacillus ferrooxidans*를, 別途로 後者로부터 *Thiobacillus thiooxidans*를 分離 同定하였다.

引 用 文 獻

1. Beck, B., 1960. *J. Bacteriol.*, Vol. 79, 502-509.
2. Breed, R.S., Murray, E. G. D., and Smith, N. R., 1957. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 7th ed.
3. Colmer, A. R., Temple, K. L., and Hinkle, M. E., 1950. *J. Bacteriol.*, 59, 317-328.
4. Cook, M., 1964. *J. Bacteriol.*, Vol. 88, No. 3, 620-623.
5. Corrick, J. D., and Sutton, J. A., 1961. United States Department of the interior bureau of mines.
6. Kingsbury, J. M., and Barghoorn, E. S., 1954. *Appl. Microbiol.*, 2, 5-8.
7. Norma A. Kinsel, 1960. *J. Bacteriol.*, 80, 628-632.
8. Leathen, W. W., Braley, S.A., Sr., and MacIntyre, L. D., 1953. *Appl. Microbiology*, 1, 65-68.
9. Leathen, W. W., Kinsel, N. A., and Braley, S. A., Sr., 1956. *J. Bacteriol.*, 72, 700-704.
10. Leathen, W.W., MacIntyre, L. D., and Braley, S. A., 1951. *Science*, 114, 280-281.
11. Parker, C. D., 1945. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 23, 81.
12. Razzell, W. E., Canadian Min. and Metall. 1962 Bulletin, 190-191
13. Razzell, W. E., and Trussell, P. C., 1962. *J. Bacteriol.*, 85, 595-603.
14. Rudolf, W., and Helbronner, 1922. *Soil. Sci.*, 14, 439-464.
15. Schaeffer, W. I., P. E. Holbert and W. W. Umbreit, 1963. *J. Bacteriol.*, 85, 137-140.

16. Silverman, M. P., and H. L. Ehrlich, 1964. *Advances in Appl. Microbiol.*, **6**, 177.
17. Silverman, M. P., and Lundgren, D. G., 1959. *J. Bacteriol.*, **77**, 642-647.
18. Sutton, J. A., and J. D. Corrick, 1963. *Min. Eng.*, **15**, 37-40.
19. Temple, K. L., and Colmer, A. R., 1951. *J. Bacteriol.*, **62**, 605-611.
20. Waksman, S. A., and Joffe, J. S., 1922. *J. Bacteriol.*, **7**, 239-256.
21. Watanabe Atsumi, Uchida Takashi, and Furuya Susumu, 1967. *醸酵協會誌*, **25**, **4**, 155-165.