

萬丈窟 溶岩石柱 (사랑기둥) 附近的 水質 濃度分析

1. 序 論

大阪經濟法大 澤 勳
建 國 大 崔 茂 雄

韓國 濟州道의 萬丈窟은 世界의 記錄에 의하면 總延長 길이가 世界 熔岩 洞窟系 (System)에서 第1位에 있다. 萬丈窟은 世界的인 熔岩 洞窟의 自然史博物館이라고 말할 수 있다. 世界的이고 자랑할 寶物을 가진 萬丈窟은 利用·保存·安全性·保全性의 對策을 세울수 있는 資料가 不足하고 있다.

筆者는 萬丈窟시스템 13.269 m의 길이中, 熔岩 石柱 附近의 水質 濃度 分析의 論文을 쓰기에 이르렀다.

濟州島의 熔岩 洞窟의 形成은 新生代 第3~4期 (150~250萬年前)에 火山 活動이 產物으로써 이루어 졌다. 濟州島 洞窟의 大部分은 表善面玄武岩層內에 發達하였다. 이 表善面層에는 두텁고 緩斜面이 이루어져 있다. 表善面層은 萬丈窟地方을 中心으로한 東北斜面과 빌레 窟·협재窟地方을 中心으로한 北西에 群集되어 있다.

濟州島의 洞窟 分析을 世界的인 位置에서 調査하여 본다면 表1과 같다.

<表1> 世界各州의 熔岩 洞窟 分布地

州 名	나라 또는 地方
(I) 아메리카州	멕시코, 하와이, 아라스카, Gilapagos, 캐나다
(II) 유럽州	아이스랜드, Sicilia島, 가나리아 (Ganarias)
(III) 아프리카州	Kenya, Uganda, Cameroun
(IV) 오스트레리아州	뉴지랜드, 오스트레리아
(V) 亞細亞州	日本에는 富士山, 東京都의 大島 島根縣의 大根島 長崎縣의 福江島와 巢島 韓國에는 濟州島와 울릉도

世界에는 30 m 以上の 熔岩 洞窟은 全體로 約 550 個, 以上이나 있다. 韓國에는 100 個 以上이 있으면 5 分之 1 을 차지하고 있다.

특히 韓國洞窟學聯合會議에 보고에 의하여서는 大本 100 m 이상인 洞窟이 23 個나 등록되고 있다. 여기서 萬丈窟이 가지고 있는 位置는 世界的으로도 너무나 有名한 것이다. 그럼으로 世界 第 1 位로 認定되고 있는 萬丈窟의 規模는 表 2 와 같다.

<表 2 > 世界 第 1 位로 認定되고 있는 萬丈窟의 規模

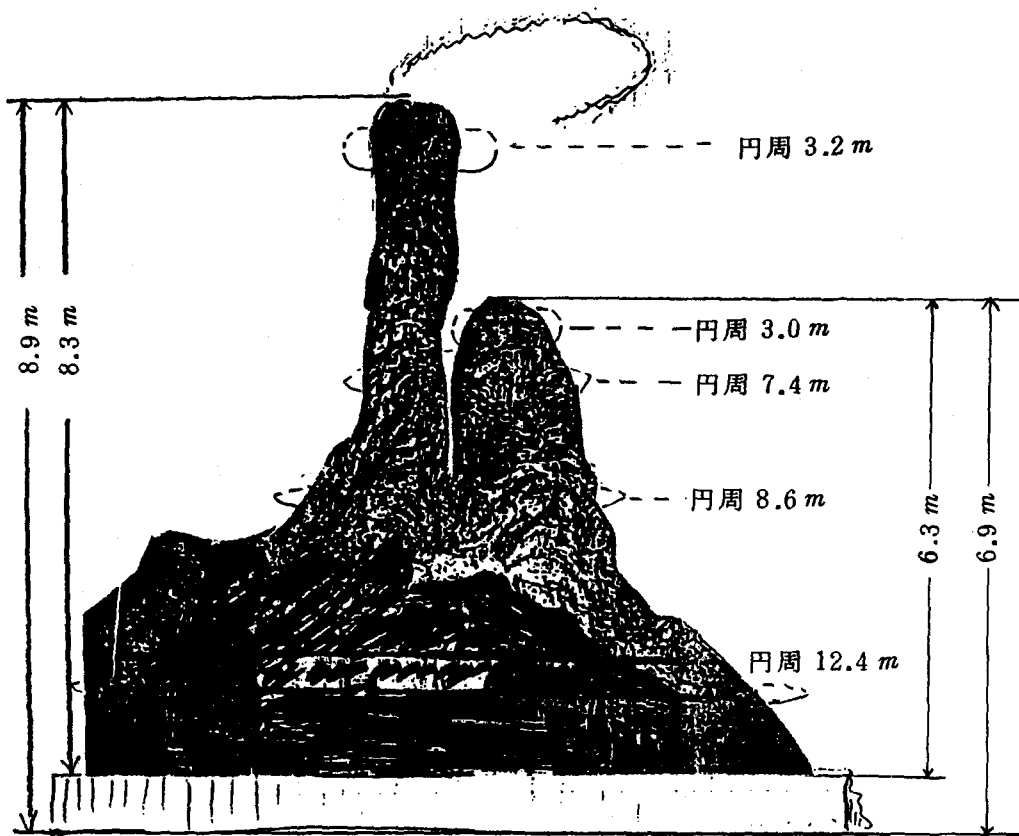
名 稱	規 模
(1) 總延長의 길이	13,269 m
(2) 熔岩 石柱의 높이	7.6 m (8.9 m로 修正을 要望)
(3) 大型熔岩球의 密集分布	21 個
(4) 熔岩橋의 數	15 個 (上層部 11 , 下層部 4)
(5) 熔岩棚 (선반) 의 形	5 Type (A , B , C , D , E 形)
(6) 'Tube in tube	4 個 (美國 1 , 日本 2 , 昭天窟 1)
(7) 天井의 높이 (單層)	18.1 m
(上層)	25.0 m
(8) 上層의 構造段階	5 多層 段階

여기서 熔岩 石柱의 높이는 筆者가 第 4 次 韓日合同濟州島 洞窟調査 (1982 年 2 月) 에 參加할 때에 測量한 것이 圖 1 이다.

圖 1 은 사람의 기둥이라고 愛稱하고 싶다. 두 기둥에는 夫婦의 사랑 · 父子의 사랑 · 兄弟의 사랑 · 姊妹의 사랑 · 學友의 사랑 · 法友의 사

량·道理의 사랑·나라의 사랑 등의 無限한 愛情을 現象化하고 있다.
 사랑의 기둥에 의하여 무엇인가 人生에게 指導하는 것 같이 보인다.
 이 사랑·기둥의 附近에 存在하고 있는 水質·濃度 分析의 研究가
 熔岩 洞窟學의 크나큰 資料가 되며 歷史的인 意味가 있다.

熔岩 石柱는 7.6 m로 되고 있지만 實際는 8.9 m로 確認하였다.



(圖 1) 萬丈窟 溶岩 石柱 (사랑 기둥) 測量值
 指揮 : 洪始煥 斗 金景勳
 測量 : 日本 三遠洞窟研究會
 記錄班 : 建國大學校學生

2. 實 驗 方 法

2.1 生物化學的 酸素消費量 (BOD)

BOD (Biochemical Oxygen Demand)는 水中的 好氣性 微生物에 의하여 消費되고 있는 溶存酸素의 量을 말한다. 試料를 稀釋水로 稀釋하고, 20 °C로 5日間이나 放置할 때에 消費되고 있는 溶存 酸素의 量부터 求한다.

2.1.1 希釋試料의 調製

사이온을 가지고 泡가 이어나지 않도록 注意하여 稀釋水 또는 植種 稀釋水를 코센메시린다 1 ℓ (培養병이 200 ml 以上時에는 코센메시린다 2 ℓ를 使用)에 約 50% 程度를 取한다.

다음에는 前處理 完了한 試料의 適量을 加하여 栓을 닫고서 조용하게 混合시킨다. 試料의 量을 바꾸어서 同一한 操作을 行하든지, 또는 똑같은 操作에 의하여 새로이 이 溶液을 稀釋하여 段階的으로 稀釋倍率의 다른 稀釋 試料 4~5 種類를 調製한다.

試製한 稀釋試料 1 種類에 있어서 培養병 2~4 本을 준비하고서 사이혼을 使用하여 稀釋試料를 分割하여, 充分하게 텀칠 정도로 넣은후에 密栓 (뚜껑을 닫) 한다.

稀釋倍率이 다른 各組에 있어서의 培養병에의 1 本은, 培養前이 溶存 酸素의 定量을 使用한다. 다른것은 20 + 1 °C에 調節한 恒溫器에 넣어서 5日間이나 培養하였다.

2.1.2 BOD의 算出方法

培養前後의 溶存 酸素의 量부터 次式에 의하여 試料의 BOD ($mg\ O/\ell$)를 算出하였다.(JIS-K-0102-21)

(a) 植種을 行하지 않을 때

$$BOD = \frac{(D_1 - D_2)}{P}$$

(b) 植種 稀釋水를 使用할 때

$$BOD = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) \times f}{P}$$

여기서 D_1 : 稀釋試料를 調製한 15分後의 溶存酸素 ($mg\ O/\ell$)

D_2 : 培養後의 稀釋試料의 溶存酸素 ($mg\ O/\ell$)

B_1 : 植種液의 BOD를 測定할 때에 稀釋한 植種液의 培養後의 溶存酸素 ($mg\ O/\ell$)

B_2 : 植種液의 BOD를 測定할 때에 稀釋한 植種液의 培養後의 溶存酸素 ($mg\ O/\ell$)

P : 稀釋 試料中에 있어서 試料가 占하고 있는 割合
(試料 / 稀釋試料)

f : x / y

x : 試料의 BOD를 測定할 때에 稀釋 試料中에 있어서의 植種液 (%)

y : 植種液의 BOD를 測定할 때에 稀釋한 植種液中에 있어서의 植種液 (%)

〈表 3〉

BOD 測定의 DATA

試料	希釋倍率	試料 ml	D ₁	D ₂	D ₁ -D ₂	$\frac{D_1-D_2}{D_1}$	BOD
S 1	X 1	15	4.64	2.58	2.06	44 %	28
S 2	X 1	30	4.92	1.44	3.48	70 %	24
S 3	X 1	60	5.22	1.23	4.17	80 %	

表 3 에 의하면 試料 S1 와 S2 의 $(D_1-D_2)/D_1$ 値이 各各 44 % 와 70 % 로 되고 있으니 BOD 는 28 와 24 로 되고 있다.

그럼으로 平均值로써 $(28 + 24) / 2 = 26 (mg / l)$ 로 決定하였다.

2.2 化學的 酸素消費量 (COD) 의 測定

COD 는 100 °C 에 있어서의 過망강酸칼륨에 의한 酸素消費量 (COD: Chemical Oxygen Demand) 試料를 硫酸酸性하고, 酸化劑로써 過망강酸칼륨을 넣어서, 沸騰水浴中에 30 分間이나 反應시켜, 그때에 消費한 過망강酸칼륨의 量을 求하여, 그에 相當하는 酸素의 量은 $(mg O / l)$ 로 表示한다.

2.2.1 試驗操作

試料의 適量을 三角유리병에 300 ml 를 넣고, 水를 넣어서 100 ml 로 하여서, 硫酸 (1 + 2) 10 ml 를 넣어서, 硫酸銀의 粉末 1 g 을加하여, 심하게 흔들린後 數分間이나 放置하였다. 放置한 試料를 N/40 過망강酸칼륨溶液 10 ml 를 正確히 加하고 沸騰水浴中에 유리병에 넣어서 30 分間이나 加熱한다. 沸騰水浴의 水面은, 언제나 試料面보다

上部에 있도록 한다.

여기서 試料의 適量은 沸騰水浴中에 있어서 30 分間이나 反應한 後의 殘留 N/40 過망강酸칼륨 溶液이 添加量의 50%以上이나 남길수 있도록 하여 採取한다.

다음은 鈉酸나트륨溶液 (N/40) 10ml 를 正確히 加하고, 60~80 °C 에 保存하면서, N/40 過망강酸칼륨 溶液으로 逆適定하고, 液의 色彩가 희미하여 紅色에 變할때를 終點으로 한다.

따로 同一 條件으로 空試驗을 遂行한다.

2.2.2 COD의 算出方法

次式에 의하여 過망강酸칼륨에 의한 酸素 消費量 (mg O/l)인 COD 를 다음과 같이 算出한다.

$$\text{COD}_{\text{Mn}} = (b-a) \times f \times \frac{1000}{V} \times 0.2 \quad (3)$$

여기서 b : 滴定에 必要한 全 N/40 過망강酸칼륨의 溶液 (ml)

a : 空試驗의 滴定에 必要한 N/40 過망강酸칼륨溶液 (ml)

f : N/40 過망강酸칼륨溶液의 係數

V : 試料 (ml)

實際로 計算을 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{Mn}} &= (0.96 - 0.20) \times 1.00 \times \frac{1000}{100} \times 0.2 \\ &= 0.76 \times 10 \times 0.2 \\ &= 1.52 \text{ (mg/l)} \end{aligned}$$

2.3 Phenol 類의 測定

페놀(C_6H_5OH)는 石炭酸이라 하며 無色の 結晶塊이고 特有한 有毒性이 있어서 空中에 放置하여 두면 赤色化한다. 水分에 많이 包含되어 汚染되고 있으면 公害病에 크나큰 문제로 된다.

2.3.1 試料의 調製

方法은 4-아미노안티피링 吸光光度法을 使用하였다.

蒸留에 의하여 試料 250ml 아 出發하였다. リン酸(1+9)로써의 pH 4.0로 調整하였다. 硫酸銅溶液(10%程度)로 하여서 2.5ml를 添加하였다. 그리하여 蒸留를 시켰다. 그 結果 留出液을 225ml로 하였다. 잠간동안을 冷却시켜서 蒸留水를 25ml를 加하면서 또 다시 25ml를 蒸留시켰다. 結果적으로 留出液은 250ml로 하였다.

2.3.2 吸光度 測定方法

留出液 100ml 가지고 始作하였다. 最初로 鹽化암모니아음-안모니아의 溶液 3ml를 加하고 振動시키면서 溶解하였다. 다음에는 4-아미노안티피린의 溶液 2ml를 加하면서 充分히 混合시켰다. 그리하여서 15分間이나 放置하였다.

이 段階에 있어서는 吸光度가 弱하기 때문에 다음과 같은 操作을 수행하였다. 250ml의 分液 로트로써 크로로호르드 10ml와 같이 混合하면서 1分間 以上이나 強烈히 振動시키면서 混合하였다.

混合한 靜置 크로로호르드層을 乾燥한 濾紙로 濾過시켰다.(No.25 12.5cm). 그리한 후에 460mm의 吸光度를 測定하였다.

한편 空試驗에 있어서는 물 100ml에 關하여 吸光度 測定 以後의

操作을 遂行하였다.

2.3.3 Phenol 類의 算出方法

Phenol 類에 있어서의 計算式은 다음과 같다.(JIS-K-0102-28.1)

$$\text{Phenol 類 (mg/l)} = \frac{\text{試料의 吸光度} - \text{空試驗의 값}}{K \text{ 係數}} \quad (5)$$

$$= \frac{0.1432 - 0.142}{1.964} = 0.0005$$

$$\approx 0.001 \text{ (mg/l)} \quad (6)$$

여기서 k 係數는 ① 1.970 ② 1.888 ③ 2.034 의 平均値로 하여서 1.964 로 決定하였다.

2.4 Hexane 抽出物質의 測定

헥기산 抽出物質이란 試料를 微酸性하며 헥기산 (n-헥기산) 抽出을 한 後, 約 80℃로 헥기산을 揮散할 때에 殘留하는 物質을 말한다.

이 試驗은 主로써 揮散하기 어려운 鑛物油 또는 動植物 油脂類의 定量에 適用한다.

다음 式 7 의하여 試料中에 있어서 헥기산 抽出物質의 濃度 (mg/l)를 算出한다. 여기서는 全量을 600ml 로 하였다.

$$P = (a - b) \times \frac{100}{V}$$

여기서 p : 헤기산 抽出物質 (mg / ℓ)

a : 試驗操作에 있어서의 헤기산 抽出物質의 質量 (mg)

b : 空 試驗에 있어서의 情留 物質의 質量 (mg)

v : 試料 (mℓ)

實際로 計算을 한다면 다음과 같다. (JIS - K - 0102 - 24)

$$\begin{aligned} P &= (59.55451 - 59.55352) \times \frac{100}{600} \\ &= 0.99 (mg) / 600 (mℓ) \\ &= 0.99 (mg) / 0.6 (ℓ) \\ &= 1.65 = 1.7 (mg / ℓ) \end{aligned}$$

分析方法에 의하여서는 1974年 日本의 環境報告 64號 附表에 의
한 것이다.

2.5 螢光 X線分析에 의한 濃度分析

分析에 使用한 裝置 (理學電機製 가이 가후렉스 D - S 型) 의 條件은
다음과 같다.

- | | |
|-----------|-----------------|
| (1) 電壓 | 40 kV |
| (2) 電流 | 40 mA |
| (3) 分光結晶 | LiF (弗化리튬) |
| (4) 檢出器 | SC (신치레손 카운터) |
| (5) X線通路 | 空氣中 |
| (6) 波高分析器 | 微分方式와 積分方式 |

- (7) 試料의 回轉數 每分 30 回轉
- (8) X線管球 Philips 製 W (탕그스텝) 管球
- (9) 分析線 Table I
- (10) 試料의 量 100ml

< 表 4 > X-ray fluorecent spectra of Ni, Fe and Zn diffracted by LiF Crystal
 LiF結晶에 의한 Ni, Fe와 Zn의 螢光 X線分析 스펙트르線

Element 元素	Spectral	Diffracton angle (°) 回折角度
Nickel(Ni)	Ni $K\beta_2$	47.81
Iron (Fe)	Fe $K\alpha_1$	51.72
	Fe $K\alpha_1$	57.45
	Fe $K\alpha$	57.49
	Fe $K\alpha_2$	57.58
Zinc(Zn)	Zn $K\alpha_1$	41.74
	Zn $K\alpha$	41.81
	Zn $K\beta_2$	41.86
	Zn $L\beta_1$	79.07

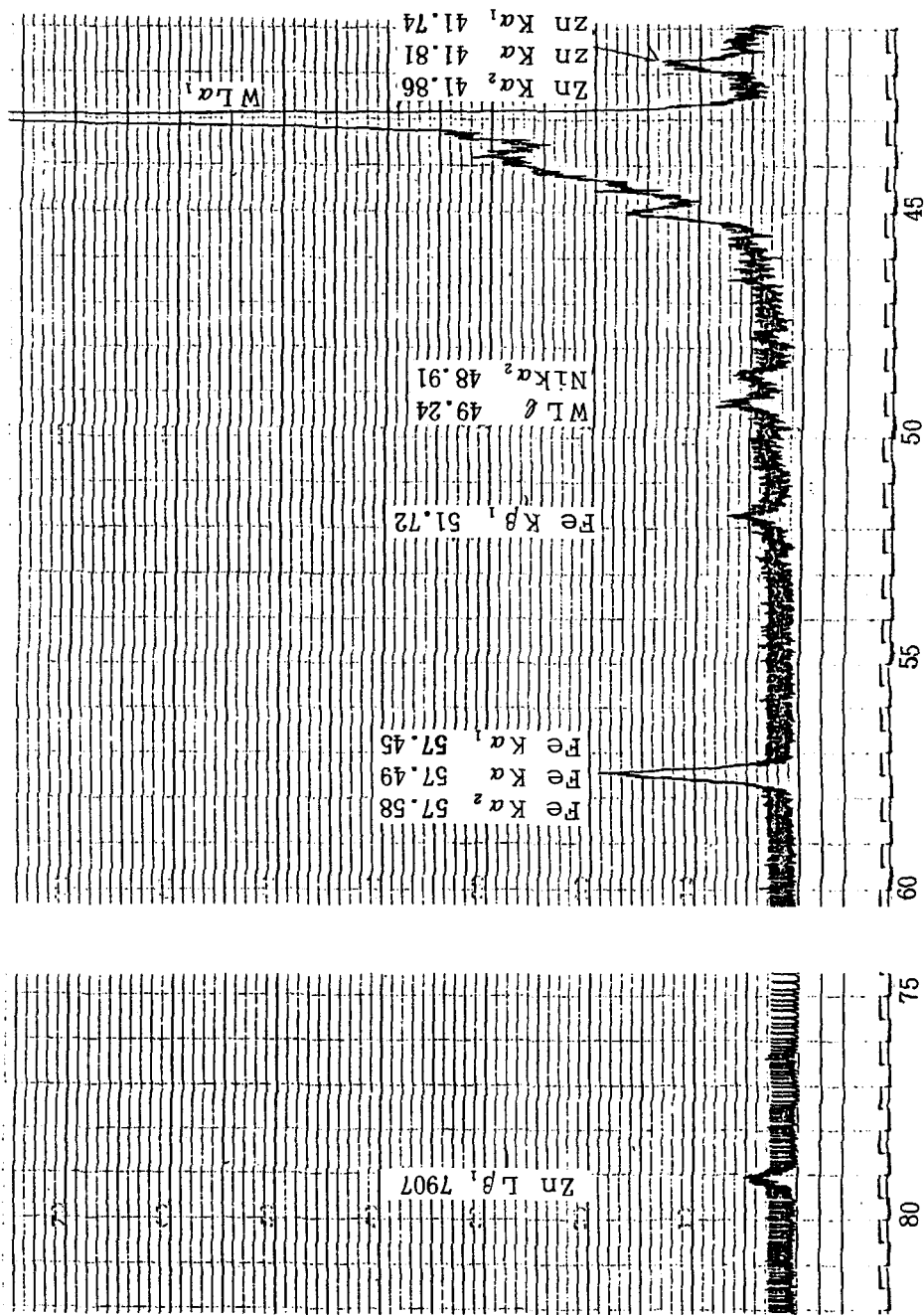


圖 2 回折 回折 角度 (°)
 LiF 續晶에 의한 Ni Fe 와 zn 의 回折角度와 强度值
 X-ray fluorescence spectra on Diffraction angle
 Nickel, Iron and zinc diffracted by LiF Crystal

2.6 原子 吸光法에 의한 濃度 分析

原子 吸光法이란 것은 試料을 原子 蒸發化 할 때에 생기는 基底 狀態의 原子가 이 原子 蒸氣層을 透過하고 있는 特定 波長의 光을 吸收하는 現象을 利用한다. 그리하여 光電測光에 의하여 여러가지의 波長에 있어서의 吸光度를 測定하고 試料中の 元素 濃度を 測定하는 方法을 말하고 있다.

2.6.1 實驗方法

實驗裝置는 NIPPON JARREL-ASH 製 AA-1 MARK-II 型이다.

裝置는 光源部, 試料原子化部 波長選擇部 測光部 指示試錄部부터 구성되고 있다.

測定條件을 設定할 때에는 바아나 프렘 分析線과 lump 電流值를 最 適限에 選擇한다. 여기서는 10mA로 設定하였다.

2.6.2 檢量線法

檢量線法이란 것은 적어도 3 種類 以上の 濃度を 가진 檢量線用 溶液에 있어서 吸光度를 測定한다.

橫軸을 檢量線用 溶液 濃도로 하고 縱軸을 分析을 對象으로 하고 있는 元素의 指示值로 하여 Fig. 와 같이 作成한다.

다음에는 分析 試料에 있어서의

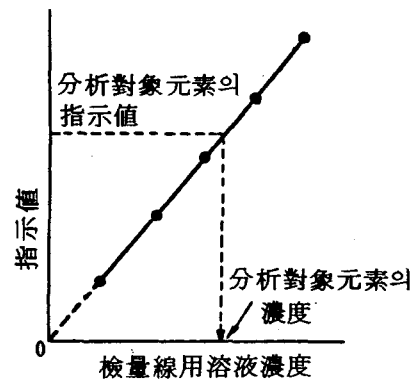


圖 3 . 檢量線圖

指示値를 測定한다. 그리하여 이 檢量線의 直線領域에 의하여 分析 對象이 되고 있는 元素의 濃度を 求한다.

여기서는 ①카드뮴(Cd) ②銅(Cu) ③크롬(Cr) ④水銀(Hg) ⑤鉛(Pb) ⑥亞鉛(Zn) ⑦鐵(Fe)를 測定하였다.

〈表 5〉 原子吸光法에 의한 濃度 分析 條件
Concentration Analyst by Atomic absorption method

(a) 카드뮴(Cd)

C.W.Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Cd / 228 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	27.4
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	0
Fuel	0.47 Kg/cm ²	0.5	l/min
Oxidant	1.45 Kg/cm ²	6.0	l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'14	Inspector	難波

(b) 銅(Cu)

C.W.Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Cu / 324 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	8.1
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	3.5
Fuel	0.47 Kg/cm ²	0.5	l/min
Oxidant	1.45 Kg/cm ²	6.0	l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'14	Inspector	S. Namba

(c) 크롬(Cr)

C.W.Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Cr / 357 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	19.3
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	4.5
Fuel	0.47 Kg/cm ²	1.5	l/min
Oxidant	1.45 Kg/cm ²	6.0	l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'14	Inspector	S. Namba

(d) 水銀(Hg)

C.W.Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Hg / 253 nm	Current	5 mA
P.M.	R-456	Zero	26.7
Damp	3	Chart Speed	10 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	2.7
Fuel	0.47 Kg/cm ²	0.5	l/min
Oxidant	1.45 Kg/cm ²	6.0	l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'13	Inspector	S. Namba

(e) 鉛 (Pb)

C.W. Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Pb / 283 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	23.5
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	5.5
Fuel	0.47	Kg/cm ³	0.5 l/min
Oxidant	1.45	Kg/cm ³	6.0 l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'14	Inspector	S. Namba

<表 6> 原子 吸光法에 의한 鐵 (Fe)의 濃度 分析 條件

C.W. Date	'61'5'22	Model	AA-1 MK-II
Source	Fe / 248 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	100.6
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	0
Fuel	0.47	Kg/cm ³	0.5 l/min
Oxidant	1.45	Kg/cm ³	6.0 l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'6'14	Inspector	難波

C.W. Date	'61'8'30	Model	AA-1 MK-II
Source	Fe / 248 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	41.2
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	3.2
Fuel	0.46	Kg/cm ³	0.5 l/min
Oxidant	1.45	Kg/cm ³	6.0 l/min
Note	Concentration Linear		
Date	'61'9'1	Inspector	山 F. Tomochita

表 6 은 鐵 (Fe)의 濃度 分析을 위한 測定 條件이다. 表 6 에 의 하여 實際 裝置의 指示 記錄部부터 圖 3을 適用한다. 그러면 分析 對象 元素의 指示部가 알게 되면 分析 對象 元素의 濃度를 求할 수 있다.

여기서는 鐵 (Fe)의 檢量線圖을 作成하였다. 그 결과 指示值의 10 mm 임으로 溶液 濃度가 0.5 (mg/) 임을 알게 되었다.

<表 7> 原子 吸光法에 의한 亞鉛 (Zn)의 濃度 分析 條件

第 1 回 實驗

第 2 回 實驗

C.W. Date	61'5'22	Model	AA-1 MK-I
Source	Zn 1213 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	33.01
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	0
Fuel	0.47	Kg/cm ²	0.5 l/min
Oxidant	1.45	Kg/cm ²	6.0 l/min
Note	Concentration Linear		
Date	61'6'14	Inspector	魏波

C.W. Date	61'8'30	Model	AA-1 MK-I
Source	Zn 1213 nm	Current	10 mA
P.M.	R-456	Zero	31.2
Damp	3	Chart Speed	20 mm/min
Burner	Slit Burner	Sens	0
Fuel	0.46	Kg/cm ²	0.5 l/min
Oxidant	1.45	Kg/cm ²	6.0 l/min
Note	Concentration Linear		
Date	61'9'1	Inspector	W.F. Yamashita

表 7은 亞鉛 (Zn)의 溶液 濃度 分析을 위한 測定 條件이다. 方法은 表 6인 鐵 (Fe)과 같다.

亞鉛의 檢量線圖를 作成하였다.

그 結果 測定 裝置의 記錄 指示值의 18mm임으로 溶液 濃度는 0.2 (mg/)임을 알게 되었다.

3. 實驗結果와 討論

洪始煥教授에 의하면 「海岸 一帶에는 海風에 의하여 萬丈窟의 海邊가 있는 貝砂가 地下層이 되고 있는 洞窟 內部에 실려 오므로써 地表面에는 土砂層이 破 되어서 萬丈窟 용암 洞窟은 이 土砂層만을 伏流하고 있는 셈이다」라고 말하고 있다.

濟州島는 阿斯피터式 火山으로 느린 山地 斜面으로 느린 熔岩流들은 發達하게 되었다. 마그마가 地表로 噴出할 때에 溫度 900~1200 °C 高溫 狀態로 流出하였다. 이때에 外部는 時間과 比例하여서 冷却하고 內部와 外部의 溫度가 심하게 되었다. 內部는 約 1000 °C의 高壓·高溫度에 의하여 텅비어 버리어서 海邊으로 流出時에 熔岩清기 形成되었다. 熔岩 洞窟은 粘着性이 弱하고 流動性이 높은 알카리性의 玄武岩層內에 發達한 것이 萬丈窟이라 말할 수 있다. 海邊에 있는 모래가 溶岩 洞窟에 있으니 研究에도 興味가 있다.

3.1 Gas Ball 과 熔岩鏡乳

申裕泳氏의 論文에 의하면 「萬丈窟의 下段 막장부근에는 크고 작은 여러가지의 gas Ball의 附着이 되어있다. 이것은 熔岩의 流動에 따라 gas가 濃縮되어서 軟한 熔岩의 粒子가 붙어 내어서 側壁部와 天井에 形成하였다. 한편 밑바닥에 생긴 gas Ball는 上部에 있었던 gas Ball이 外出하면서 殘留한 一種이다. 壁部와 天井部의 結合性이 弱한 것이라고」말하고 있다.

Gas Ball는 그의 表面에 存在하고 있는 Gas의 量·質·壓力·結合力·溫度·水分의 濃度에 의한 環境 條件이 크나큰 雲影을 미칠 수 있다. 洞窟內的 環口가 작은 부분에는 表面積에 比例하여서 Gas作用이 활발하게 形成하다.

Gas Ball의 種類는 葡萄狀·乳房狀·針狀·檢狀等 여러가지의 熔岩 鍾乳가 形成되고 있다. 이 鍾乳의 外部面에는 水分이 附着되고 있다. 水分에 濃度가 가지는 役割을 無視할 수는 없다.

이때에 一定한 方向으로 비스듬이 기울어 지고 있는것은 洞窟內部에 있는 Gas流動 方向을 뜻한다. 이 Gas形을 觀察하여 본다면 그 周圍에 있는 流動 速度를 研究하는데 重要한 資料로 된다.

萬丈窟에의 gas는 大小 50個가 있다.

<表 8 > 萬丈窟內的 gas 洞窟數

場 所	個 數
끝머니 ~ 第 1 入口	9 個所
第 1 入口 ~ 第 2 入口	4 個所
第 2 入口 ~ 밑으로 上層部	9 個所
第 2 入口(上部) ~ 第 3 入口	4 個所
(下部) ~ 第 3 入口	24 個所
計	50 個所

表 8는 場所에 의하여 gas形이 다르고 있으면 成分이 다르다는 것을 表面觀察에 의하여서도 능이 알수가 있다.

그러면 表面에 形成되고 있는 水質의 分析에도 一助할 可能성이 있다고 본다.

水分은 단지 H_2O 만 있는것이 아니라 螢光 X線分析과 原子 吸光法에 의하면 亞鉛(Zn)와 鐵(Fe) 成分이 包含되고 있는것을 發見하였다.

萬丈窟內的 熔岩石柱 付近에는 亞鉛과 鐵이 水蒸氣속에 잠겨 있다는 것을 確認할 수가 있게 되었다.

3.2 生物化學的 酸素消費量(BOD)에 警告

日本에는 環境基準과 規制基準이 있다. 그것은 ①環境基準 ②水質汚染防止法 ③各都道府縣別의 公害防止條例 ④下水道法 ⑤市町村의 水道條例 ⑥定量限界가 있어서 基準이 다르다.

本大學의 所屬하고 있는 吹田市는 $20(mg/l)$ 이하이고 水質汚染防止法에서는 $160(mg/l)$ 이며 1日間の 平均値는 $120(mg/l)$ 下로 되고 있다.

이 研究에 있어서는 $26(mg/l)$ 임으로 吹田市の 基準에는 違反이 된다. 그러면 吹田市 役所에서는 改善 命令이 있게 된다.

이 原因은 洞窟內部와 輕元素는 水蒸氣로 하여 空中으로 나올 수 있으나 重元素는 沈殿되어서 內部에서 循環되고 있는 要現象이 이루어지고 있다. 特히 여름에는 外部의 溫度가 높기 때문에 流動성이 적기 때문에 水分의 水蒸氣로 의하여 人體에 侵入하게 되면 亞鉛人間, 즉 公害病者로 될 可能性이 많다.

生物의 生活과 保存에는 警告할 필요가 있다.

南宮 峻博士에 의하면 「濟州道 洞窟의 共通的인 特徵의 하나는 生物中에서 (작은 거미) 들이다. 이것을 (濟州島 꼬마 거미류) 로 이름짓고 있는데 半島部の 岾등이, 노래기 등이 生物分布上의 特徵에 反하여 異質性이 있다」고 지적하고 있다.

이 거미들의 保存에도 크나큰 關心을 들릴 必要가 있다.

溶岩石柱에는 새로운 植物이 成長하고 있다. 그것은 外部부 터 種子가 들어와서 Fe와 Zn을 包含한 H₂O와 電灯의 光의 作用에 이루어졌다고 본다. 그러면 이 植物이 公害物質인 Zn에 抵抗力이 強한다면 成長하지만 그렇지 않으면 公害 植物로 되어 버린다는 것을 言及하여야 된다.

3.3 化學的 酸素消費量(COD)는 安全

化學的 酸素消費量은 本 實驗에 있어서는 1.52(mg/l) 이었다.

勳의 「THE FORTRAN」 弘文社에 의하면 BOD와 COD의 相關係數를 求하는데 目的이 있다고 하여 $y = a + b \times x$ 式과 같이

$$\text{COD} = a + b \times \text{BOD} \quad (9)$$

가 式에 係數 a와 b를 求하고 있다. 物質에 따라 틀리지만 △△△에의 係數는 다음과 같다.

係數 a 는 0.99 ~ 5.00

係數 b 는 0.24 ~ 0.83

相關係數는 0.77 ~ 0.95

BOD는 $26(mg/l)$ 이고 COD는 $1.52(mg/l)$ 이다. BOD와 COD는 너무나 큰 차이가 있다는 것을 알게되었다. 말하자면 BOD는 危險하고 COD는 매우 安全性이 있다는 點이 確認되었다.

여기의 實驗에 있어서 PH는 8.0이다. 日本의 水質汚染防止法에는 (5~8)이고 大阪府 公害防止條例에는 (5.8~8.6)이다. 本 實驗의 값은 그의 中間에 있어서 合格이다.

3.4 Phenol 類의 特性

Phenol (C_6H_5OH)는 無色이 特有한 有毒性이 있다. 本 研究에 있어서는 $0.001(mg/l)$ 임으로 水質의 有毒性에는 걱정할 必要가 없다. 日本의 水質汚染防止法에는 $5(mg/l)$ 以下이고, 大阪府 公害防止條件에 있어서도 $1(mg/l)$ 임으로 滿足할 수 있다.

3.5 Hexane 抽出物質의 特性

Hexane의 抽出物質은 本 研究에 있어서는 $1.7(mg/l)$ 이었다.

日本의 水質汚染防止法에서는 $5(mg/l)$ 以下이고, 大阪府 公害防止條例에는 (2~5) (mg/l)이다. 故로 Hexane 抽出物質은 걱정할 必要가 없다.

2.6 螢光 X線 分析에 의한 定性分析

螢光 X線分析은 溶度를 容器에 넣어서 非波張 檢査를 하였다. 回折角度는 全體에 걸치여서 測定을 하였다.

Peak가 크게 나오고 있는 곳은 WLa_1 선과 $WL\theta$ 선이었다. 이것은 X선 管球인 W管球이기 때문이다.

Peak가 나오고 있는 場所를 본다면 Zn $K\alpha$ 선이 41.81° 이고 Ni K_2 선이 48.91° 이고, 또는 Fe $K\alpha$ 선이 57.49° 임으로 이것이 定量·定性分析에는 크나큰 役割을 준다.

한편 Fe $K\beta_1$ 선 (51.72°)와 Zn $L\beta_1$ 선 (79.07°)는 α 선보다 強度가 弱함으로 定量 分析에는 信賴性이 弱하다.

이 螢光 X線分析은 本 實驗에 限하여 定性 分析으로 한다. 그것은 試料의 制限이 있었기 때문이다.

α 선에 의하면 亞鉛(Zn), 鐵(Fe) 그리고 니켈(Ni)가 含有量로 存在하고 있다는 것을 確認할 수 있게 되었다.

韓國洞窟學會誌 第3號 別冊附錄에 있어서 各國 溶岩 洞窟 附近의 玄武岩 化學分析表에 의하면 다음과 같다.

Fe_2O_3 는 (2 ~ 10) %

Fe O 는 (2 ~ 21) %

이것을 본다면 鐵(Fe)는 認定할 수가 있으나 亞鉛과 니켈을 찾아 볼수가 없다. 그것은 萬丈窟의 特性이라고 말할수 있다.

玄武岩成分과 水質 濃度는 一定한 關係가 있다고 볼수가 있다.

3.7 原子 吸光法에 의한 定量 分析

濃度 分析을 하기 위하여 2.6.1의 實驗方法과 2.6.2의 檢量線法을 使用하였다.

濃度 分析 條件은 各各 달르기 때문에 表 6 과 같이 決定하였다.

- (a) 카드뮴 (Cd)
- (b) 銅 (Cu)
- (c) 크롬 (Cr)
- (d) 水銀 (Hg)
- (e) 鉛 (Pb)

이 5種類는 H₂O에 包含되지 않고 있다는 것을 確認하였다. 만약 있다고 하여도 測定할 수가 없는 程度란 것을 알게 되었다.

木獻(3)에 의하면 各國 溶岩洞窟附近 玄武岩 化學分析表에 의하면 萬丈窟의 水質과의 關係를 맺고 싶다.

Fe ₂ O ₃	2 ~ 10 %
Fe O	2 ~ 21 %
Si O ₂	40 ~ 51 %

여기서 日本의 水質汚濁防止法・大阪公害防止條例에는 鐵 (Fe) 溶液性으로 10(mg/l) 以下로 되어 있다. 本 實驗에 있어서는 (mg/l) 임으로 警告는 할 수가 없다.

한편 亞鉛 (Zn)의 實驗에 있어서는 (mg/l)이었다. 이것은 日本 水質汚濁防止法・大阪府公害防止條例에 의하면 5 (mg/l) 以下로 되고 있으니 걱정없다고 말할수 있다.

鐵이나 亞鉛은 무거우니 洞窟 속에 남길 可能이 增大한다. 그럼으로 長期的인 面에 對策도 必要하다.

3.8 溶岩洞窟의 保全성과 安全性

- ① 自然 景觀을 汚損 시키지 않을 것
- ② 地形 構造의 現狀 維持
- ③ 洞窟 生物이 自由的인 活動 保障
- ④ 國家的인 政策과 管理人의 愛情心과 責任性

에 있다고 본다. 여기서 이 적고 작은 2次 生物의 自然 保全은 가장 重要한 問題로 생긴다. 熔岩 洞窟에 있어서는 溫度가 (16 ~ 20) °C 고 玄武岩層인 關係로 洞窟內부의 地下水는 보기 드물다. 그리고 BOD와 Zn이 많은 關係上 眞洞性 生物이 적은 狀態에 있다고 본다.

3.9 科學的 實用化에의 길

1912年 英美戰爭 時에는 洞窟이 發掘이 있었다. 그것은 火藥用 硝石의 採鑛을 하기 위한 것이다. 그리고 Arizona州에서는 Badd 洞窟에서 肥料用 Guano의 採掘이 점점 계속되고 있다.

- ① 濟州道에 있어서는 過去에 양송이 栽培地로 하였고, 研究의 結果에 치즈의 成熟을 위한 備蓄 場所로 利用되었다.
- ② 萬丈窟內에서 넓은 面積이 있기 때문에 半導體工場, Computer의 實驗, 바이오 텍크工場이나 研究所等이 日光없는 點에 適合한다.
- ③ 大形 倉庫, 大形 冷藏庫 等の 低溫場所에 適合한다.
- ④ 電波作用이 없는 研究는 매우 適合하다.
- ⑤ 各種 植物의 栽培實驗·菌類의 貯藏 그리고 物質의 保管이 좋다.

4. 結 論

本 研究에 있어서는 日本의 公害 防止法인 JIS-K-0102에 의하여 實驗을 하였다. 그 結果 다음과 같이 말 할수 있다.

- (1) 生物化學的 酸素消費量(BOD)의 實驗 結果는 $26(mg/l)$ 이고 基準보다 높다.
- (2) 化學的 酸素消費量(COD)의 實驗 結果는 $1.52(mg/l)$ 이며 매우 낮은 水準에 있으니 安全하다.
- (3) Phenol類의 實驗 結果는 $0.001(mg/l)$ 이고 너무나도 낮은 水準에 있다.
- (4) hexane의 實驗 結果는 $1.7(mg/l)$ 이고 大阪府 公害防止條件에는 걱정이 될 정도이다.
- (5) 水質(H_2O)속에 亞鉛(Zn), 鐵(Fe) 그리고 니켈(Ni)가 包含되고 있다는 것을 螢光 X線 分析에 의하여 確認하였다.
- (6) 原子 吸光法에 의하여 亞鉛($Zn: 0.2(mg/l)$)와 鐵($Fe: 0.5 mg/l$)의 溶度 濃度を 알게 되었다.

謝 辭

本 本論의 作成에 있어서 助言하여 주신 韓國洞窟學會會長 地理學 博士인 洪始煥教授에 감사를 드립니다.

萬丈窟의 水(H_2O)를 採集하여 주신 金君天氏와 박행배氏 그리고 郵送에 努力한 동생 金福心, 金景植 그리고 강정섭에게 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

- (1) 洪始煥 「濟州島 萬丈窟 洞窟系 學術調查 報告」 洞窟
Vol.6 No.7 (1981)
- (2) 元鍾寬 「濟州島의 形成史」 洞窟 Vol.6. No.7 (1981)
- (3) 濟州島熔岩洞窟調查謀告書 (1977~7~8), 韓國洞窟學會誌 第3號
別冊附錄
- (4) Denes Balazs 「Lava Tubes on the galapagoes Island」
The NSS Bulletin 37(1) 1~4 (1975)
- (5) 韓國文化公報部 文化財管理局編, 「韓國의 洞窟(1) 濟州島의 溶岩洞窟 5 35~54, 96~111 (1970)
- (6) 申裕泳 「熔岩洞窟의 構造와 形成過程에 關한 研究—萬丈窟을 中心으로」 建國大學校學位論文 (1981)
- (7) 洪始煥 「빌레뒀窟」 調查報告 P. 3 (1981)
- (8) 姜相培 「濟州島 南北斜面 地形의 比較 研究」 (1979)
- (9) 小川考徳 「萬丈窟 調查報告」 洞窟 Vol.6. No.7 (1981)
- (10) Peterson, Larry, 「Coving on Cheju—Do Lorea」
cascade Caver 11 (1972)
- (11) 南宮 竣 「濟州島 熔岩洞窟群의 動物相과 그 環境」 洞窟
Vol.6. No.7 (1981)
- (12) 澤 勳 「THE FORTRAN」 弘文社 (1986)
- (13) 洪始煥 「韓國의 石灰洞窟」 韓國洞窟學會 (1983)
- (14) 李文遠, 孫仁錫, 「濟州島는 이렇게 만들어진 섬일까」 春光 (1984)