

洞窟의 環境汚染 測定

建國大 教授 朴 冕 用

1. 洞窟生物의 生態變化

이제 觀光開發된 洞窟과 未開發洞窟 中 그 代表的인 몇 個洞窟의 生物棲息에 대한 變化에 대하여 調査記錄에 의하여 分析하면 다음과 같다.

即, 寧越의 高氏窟은 1975年 任文淳 그리고 南宮 峻 등의 調査記錄에 나타나 있듯이 Gastropoda 2種, Crustacea 5種, Myriopoda 4種, Insecta 17種, 그리고 Mammalia 3種과 Arachnoida 10種등 總 41種을 發表하고 있는데 觀光開發된 後 3年이 지나 1978年 10月 現在에는 總 28種이 發見되었을 뿐인데 특히 계새우인 Crustacea가 1種, 昆蟲인 Insecta가 7種밖에 捕捉되지 않고 있어 많은 洞窟生의 汚損減少를 나타내고 있다.

이와 반면에 未開發洞窟인 寧越의 龍潭窟의 경우에 있어서는 물론 垂直洞窟이기 때문에 自然汚染이 적었다고도 볼 수 있겠으나 1975年 發表에 따르면 總 24種이 지난 1978年 10月 調査에는 總 20種의 洞窟生物들 그대로의 大部分이 아직 棲息하고 있음을 볼 수 있다.

한편 丹陽의 古藪洞窟의 경우에도 1976年 觀光洞窟로 開發되기 以前에 調査하였을 當時의 任文淳 發表에 의하면 總 180種에 달하였던 것이 지난 1978年 10月 調査에서는 16種의 把握밖에 이루지 못하고 있음은 調査의 不徹底도 있었을 것이나 그러나 實際面에서 많은 種類의 眞洞窟性 生物들이 汚染되고 있음을 判斷할 수 있는 것이다.

또한 古藪洞窟은 降雨季節에 있어 洞窟內에 透水量이 많아져 이들이 洞窟流로 되어 洞窟口로 流出되고 있는 水量이 많아지고 있으므로 季節에 따라 洞窟內에 몰려오는 好洞窟性 및 外來洞窟性的 洞窟生物의 種類에 變化가 있을 수 있는 것이라 하겠다.

이밖에도 忠北丹陽郡佳谷에 있는 麗川窟의 경우를 본다면 未開發 洞窟이므로 自然保全이 잘 되어 있다고 보겠다. 즉, 1977年 調査때의 Mammalia 2種, Amphibia 1種, Crustacea 2種, Arachnoida 2種, Myriopoda 3種, Insecta가 1種으로 總計 9種이 그대로 洞窟內 到處에서 지난 調査에 棲息殘存하고 있음이 確認되었다.

요컨대 이들 鍾乳窟인 高氏窟 古藪窟 龍潭窟 麗川窟 등은 그 모두가 動物相이 季節에 따라 種類에 差異가 나타날 것이나 觀光洞窟은 점차 汚損되고 있고 未開發洞窟은 그대로 殘存保全되고 있음이 이 調査에서 判斷하게 되었다.

특히 眞洞窟性動物의 汚染이 크게 憂慮되고 있는데 古藪洞窟에서의 Galloisiana는 化石昆蟲의 珍貴動物이나 開發後 發見되지 못하고 있음이 매우 遺憾된 일이다.

2. 洞窟의 水質分析

全世界에 널리 分布되어 있는 石灰石의 代表的인 것들을 綜合하여 이를 分析한 結果에 의하면 $CaCO_3$ 이외의 成分으로서 $Fe > Mg > Mn > Sr > Zn > Cu > Ni > V > Pb > Cr$ 의 順序로 含有되고 있는데 이의 含量은 Fe 4,000~10,000.0 ppm, Mg 2,400~4,000 ppm, Mn 400~4,400 ppm, Zn 20~40 ppm, Ni 10~20 ppm, Cu 10~20 ppm, V 5~20 ppm, Pb 5~10 ppm, Cr 5~10 ppm 정도이다.

우리나라의 鍾乳窟에 있는 鍾乳石과 鍾乳窟 附近에 있는 石灰石과의 連關性을 參考하려고 石灰石의 成分을 分析한 結果는 表 1 과 같다.

CaO , MgO , Al_2O_3 는 EDTA 滴定法, Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 는 比色法, Sr , SO 및 Cl 는 이온교환수지를 利用하여 分離한 후 塔도시형법, SiO_2 와 수분은 무게분석법 으로 分析하였다.

특히 水分은 微細粉末의 試料를 105.5°C에서 2시간 乾燥하여 무게의 減量으로 水分含量을 計算하였다. 洞窟内部의 水質 및 鍾乳石 分析結果는 表 2-5와 같다. 이때의 Ca , Mg , SiO_2 , SO , Cl 은 이미 설명한 方法과 같고 Na 와 K 은 불꽃分光光度法으로 定量하였다.

〈표 1〉 石灰石 成分 分析表

성분(%) 산지	CaO	MgO	F_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MnO	Sr	P_2O_5	SO	Cl	H_2O
고씨굴입구	46.57	0.82	0.21	0.15	2.88	0.01	0.04	0.08	0.06	0.02	0.82
성유굴입구	54.23	0.39	0.55	0.32	3.45	0.01	0.04	0.05	0.15	0.01	0.85
용담굴입구	52.85	1.15	0.27	0.20	2.12	>0.01	0.09	0.07	0.04	>0.01	0.36
노동굴입구	49.02	2.53	0.31	0.51	2.42	>0.00	0.13	0.10	0.01	>0.00	0.42
고수굴입구	50.33	2.01	0.28	0.45	2.66	>0.00	0.08	0.08	0.05	>0.00	0.20

〈표 2〉 高氏窟 水質分析

(mg/l)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO_2	SO	Cl
100	7.4	6.2	2.0	4.2	0.2	33	5.0	4.5
300	7.4	5.5	1.0	4.3	0.2	38	4.2	4.5
500	7.2	6.8	2.0	4.2	0.2	40	5.0	5.0
700	7.40	5.2	3.0	4.0	0.2	32	4.5	4.5
800	7.3	5.8	1.0	4.0	0.2	35	4.2	4.5

〈표 3〉 聖留窟 水質分析

(mg/l)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO_2	SO	Cl
100	7.4	16.2	5.0	8.5	0.9	28	7.8	6.8
300	7.2	17.8	4.8	8.8	1.3	27	6.5	9.5
600	7.5	15.6	4.7	8.4	1.2	26	9.7	7.6

〈표 4〉 蘆洞窟 水質分析 (mg/l)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	SO	Cl
100	7.2	8.5	3.2	22	6.8	45	25	12
200	7.0	7.6	3.0	20	7.2	56	19	35
300	6.8	8.2	3.4	20	8.4	58	35	27

표 5 古藪窟 水質分析 (mg/l)

거 리 (M)	pH	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	SO	Cl
100	7.6	7.5	3.2	5.4	0.8	35	4.2	4.5
300	7.3	8.2	4.5	5.2	0.5	42	5.0	12
600	7.4	7.4	4.5	5.7	1.0	38	3.8	6.5

3. 동굴내의 氣象測定(氣溫, 湿度)

동굴내의 氣象測定은 1978년 4월 1일부터, 1978년 10월 31일까지 每月 15日 測定한 값을 平均한 값으로 표 6-10에 실었다. 溫度와 相對湿度만을 測定하였으며 測定位置는 洞窟의 길이에 따라 適當한 간격에서 任意로 測定하였다.

〈표 6〉 고씨굴 氣象測定(入口溫度 18℃)

거 리 (M)	100	300	500	700	800
온 도 (℃)	13.5	12.8	13.0	14.0	14.2
상대습도 (%)	88	89	92	97	98

〈표 7〉 성유굴 氣象測定(入口溫度 20℃)

거 리 (M)	100	300	600
온 도 (℃)	13.2	13.3	14.0
상대습도 (%)	93	97	98

〈표 8〉 노동굴 氣象測定(入口溫度 20℃)

거 리 (M)	100	200	300
온 도 (℃)	13.8	14.5	14.5
상대습도 (%)	88	89	97

〈표 9〉 고수굴 氣象測定(入口溫度 18℃)

거 리 (M)	100	300	600
온 도 (℃)	13.7	14.2	14.2
상대습도 (%)	87	98	98

(표 10) 용담굴 氣象測定 (入口溫度 22℃)

거 리 (M)	100	200	300
온 도 (℃)	13.0	14.7	14.7
상대습도 (%)	86	94	94

4. 二次 生成物 (鍾乳石, 石筍, 風化度) 의 分析

다섯개의 洞窟 中에서 入口로부터 200M 되는 附近의 白색 鍾乳石을 채취하여 表皮를 긁어낸 다음 内部의 物質을 粉末로 만들고 105±5℃에서 2 시간 乾燥한 다음 試料를 使用하여 分析한 結果는 表 11과 같다.

(표 11) 鍾乳石의 成分分析

산 지	성분 (%)	C ₂ O	Co ₂	MgO	K ₂ O ₃	SiO ₂	Sr	Ba
고 씨 굴		55.7	42.9	1.75	6.23	0.11	0.05	ND
성 유 굴		54.4	45.2	0.35	0.01	ND	ND	ND
용 담 굴		53.8	44.2	0.17	0.72	0.53	0.12	0.05
노 동 굴		56.2	43.2	0.22	0.11	0.04	0.05	0.01
고 수 굴		55.8	43.5	0.28	0.15	0.10	0.07	ND

5. 分析結果의 綜合

이상과 같이 洞窟의 動物·水質·氣象 및 二次生成物에 대한 調査分析의 結果는 다음과 같다.

즉, 洞窟動物의 경우 眞洞窟性動物의 數가 減少되고 있으며 더우기 觀光開發은 즉시 洞窟動物이 滅絶이 시작된다고 보아야 하겠다. 다만 季節에 따라 好洞窟性和 外來性動物에는 變化가 있을 수 있으나 대체로 觀光客의 出入數와 正比例되는 汚染을 予測할 수 있다.

그리고 觀光開發洞窟에 있어 洞床의 시멘트補裝과 좁은 通路施設은 環境의 汚染과 破損을 招來하는 重要因子가 된다.

또한 照明器具로서의 電池使用은 무방하나 在來式 蠟燭과 초를 利用하는 洞窟에 있어서는 洞窟內溫度 및 濕度の 變化를 이루게 하여 動物棲息에 커다란 障礙가 되고 있다.

그리고 이들 洞窟內 各地點에 있어서의 洞窟의 水質·氣象 및 二次生成物에 대한 分析 結果는 表 1-11과 같다. 洞窟 附近의 石灰石과 鍾乳石 成分 및 水質成分間의 關係는 현저한 變化가 없고 다만 場所에 따라 약간 變換 따름이다.

동굴의 水質에서 pH는 6.8~7.6 사이를 나타냈으며 동굴의 位置나 깊이에 따른 變化는 없었다. 水質중의 칼슘은 고씨굴이 5.2~6.8 mg/l, 성유굴은 15.6~17.8 mg/l, 노동굴은 7.6~8.5 mg/l, 고수굴은 7.4~8.2 mg/l 이다. 용담굴은 흐르는 물이 없었기 때문에 分析하지 못하였다.



〈오염되어가는 동굴 생물들〉

이러한 濃度의 差異는 동굴내부를 흐르는 물의 양이 많을수록 칼슘 함량이 작은 傾向을 나타냈다. 칼슘외에 다른 성분들은 一般的으로 고씨굴의 水質에 無機物의 含量이 작은 傾向을 나타냈고 다른 洞窟의 水質은 비슷한 傾向을 나타냈다. 이러한 結果는 外國의 洞窟內 水質分析結果와 比較해 볼 때 pH 값은 약간 높은 값을 나타냈지만 無機成分의 분석값은 비슷한 값을 나타내고 있다. 이러한 結果로 미루어 보아 化學成分을 利用하여 동굴의 環境汚染을 判定하는 것은 대단히 어려운 문제라고 본다.

洞窟內部的 氣象測定 結果에 의하면 入口로부터 內部로 갈수록 溫度와 濕度差가 增加하였다. 濕度의 影響을 받아 入口附近에 있는 鍾乳石은 이미 成長이 中止되었고 內部에 있는 것은 繼續해서 成長하고 있었다. 그러므로 이미 電線架設工事나 觀光客에 의하여 破損되었던 鍾乳石 중에서 入口에 있는 것은 成長이 中止되었기 때문에 破損된 그대로 남아 있었고 濕度가 90% 이상되는 場所에 있는 鍾乳石들은 破損된 部分에서 延長되어 成長되므로 美觀이 좋아지는 狀態를 維持하고 있었다. 入口에 있는 鍾乳石은 濕度의 不足으로 인하여 風化되는 現象을 나타냈으며 이것을 防止하려면 入口의 出入口을 보다 좁게 만들어 洞窟內部的 濕度變化를 防止하고 濕度를 90% 이상되게 維持하여야 한다.