

# 우리나라 洞窟의 環境變化에 關한 研究

建國大 대우教授 洪始煥

## I. 개 요

洞窟은 그 내부 규모에 따라서 최대 滯洞人員이 달라져야 한다. 小規模의 동굴속에 많은 觀光客이 들어서면 洞口가 좁아 外氣와의 新陳대사가 안되어 가벼운 두통이나 현기증을 느끼게 된다. 窟素는 보통 23%가 大氣중에 존재하여야 生物의 생존에 아무런 지장이 없는 것인데 이보다 濃度가 높아도 生物에 영향을 준다. 만일 60% 이상의 고농도가 되면 간염이나 순환계 장애가 일어나며 특히 인내성이 적은 동물은 수일만에 태반이 사망할 수도 있다.

그리고 연료에서 오는 탄산가스의 대부분은 植物의 同化作用으로 고정되거나 한편 물에 溶解 吸收되기도 한다.

그러나 大氣중의 탄산가스는 그 濃度가 늘어나므로 이에따라 溫度도 상승하게 된다. 가끔 동굴속에 20℃ 내외에 까지 上昇하는 것은 이의 濃度가 높아졌기 때문이다. 急傾斜의 계단을 오르내리는 것도 洞窟內 溫度를 높이는 결과가 된다고 할 수 있다.

그리고 洞窟의 環境條件 중 적합한 濕氣의 유지는 洞窟 형성부의 生成發達에는 물론, 洞窟動物의 生存維持에 절대적인 影響을 지닌다.

이제 우리나라에서 가장 代表的인 古藪洞窟을 사례로 들어 개관한다면 다음과 같다.

본 洞窟内部의 濕度는 90% 내외이며 전체적인 濕度變化는 90% 내외로 대체로 恒濕이 유지되고 있는 것으로 보인다.

또한 環境이 비교적 안정적인 内部에서는 “삼거리”의 平均較差 0.5℃, “상만물상”의 平均較差 0.4℃, “培學堂”의 平均較差 0.4℃, “사자바위”의 平均較差 0.4℃, “新開發部”의 平均較差 0.7℃로 되어 전체적으로 약 0.5℃의 근소한 較差기온을 보여 대체로 恒溫이 유지되고 있다고 보겠다.

## II. 環境變化와 그要因

### 1. 洞窟內의 環境汚染

洞窟속의 環境은 처음에는 미개발 상태이므로 사람의 출입이 없어 環境은 옛 그대로의 보전을 이룰것이나 관광객의 출입 때문에 오는 洞窟내 環境의 변화는 계속 일어나고 있는 실정이다.

즉 觀光客의 數가 洞窟規模에 比하여 매우 큰 경우에는 많은 洞窟入洞客 때문에 洞窟내의 온도는 올라가게 되고 습도는 낮아지며 二酸化窒素의 含量은 점차 增加하게 된다.

한편 觀光客의 衣服이나 또는 신바닥에 묻여온 진흙이나 감탕 흙 等에는 微生物 또는 菌類가 많이 附着되어 이들이 洞窟內에서 더욱더 繁殖하여 마침내는 生態系에 많은 支障과 變化를 갖어오게 하고 있다.

그밖에도 觀光客이 갖고 들어갔다 버리고 나오는 담배꽂초, 건전지약, 쓰레기, 잔빵 등등은 洞窟속의 汚染度를 더욱더 높여 이것도 棲息環境에 많은 영향을 주게 되는 것이다.

이밖에도 이끼類나 羊齒類와 같은 下等植物等이 洞窟속에서 자라게 되어 洞窟環境의 汚染은 더욱더 심화되어 간다.

### 2. 洞窟堆積物の 汚損 要因

洞窟이 開發되면 그 二次生成物들은 계속적으로 汚損·汚染되어 간다. 이것은 入洞客, 洞窟內의 施設에도 크게 관계되고 있다고 하

켰다.

이제 鍾乳石과 石筍 등의 二次生成物들이 破壞되어가는 汚損 要因을 본다면 다음과 같다. 즉 鍾乳石은 一次로 개발하거나 시설을 설비할 때 파손되었고 二次로는 觀光客에 의하여 汚損되고 다시 三次로는 鍾乳石의 성장에 따라 重力에 의하여 천정의 地盤이 약화되거나 또는 上層地盤의 암석이 板狀을 이루거나 層狀으로 되어 있어 洞窟바닥으로 落盤되어 破損된다.

더구나 최근에는 觀光開發된 이후에도 社會生活의 안정에 따라 怪石이나 水石 그리고 裝飾品으로도 鍾乳石이 환영받고 있으므로 洞窟속의 鍾乳石이나 石筍은 남몰래 파괴되어 가고 있는 것이다.

洞窟 微生物은 태양의 광선이 비추이는 洞窟의 입구 부근에서만 자라는 것으로 알려지고 있다.

그러나 洞窟이 개발되고 있는 내부 洞窟에서는 照明燈이 비추이는 부근에 이끼類나 羊齒類 같은 下等植物이 자라게 되는 경우가 있다.

이것은 照明燈의 빛과 溫度에 관계되는데 이들 하등식물들이 자라게 되므로써 洞窟生物의 生態系에 커다란 변화가 생긴다.

洞窟生物을 해치는 甲虫類가 생기거나 鍾乳石이나 流石(플로우 스톤) 表面을 破壞시킨다.

원래 洞窟내는 恒溫, 恒暗, 恒濕의 환경을 지녀야 하는데 古藪 洞窟은 관광 개발로 이 환경은 점차로 파괴되어 가고 있다. 이와 같은 원인은 밝은 조명과 많은 洞窟 출입 인구 때문에 고온 건조하여 洞窟의 환경이 변화되어 綠色 公害와 洞窟 生物의

生態 變化를 보게 된 것이다.

그리고 二次生成物의 汚損, 剝離現象을 나타내고 있는 현실이다. 그리고 과잉 개발시설과 洞窟口 바로 앞에서의 주차, 통행로의 과밀현상은 古藪洞窟 내에까지 환경을 변화시키고 있으며 洞窟내의 自然景觀 까지도 해치고 있다.

이밖에도 古藪洞窟에의 무질서한 洞窟내외의 행락질서와 環境破壞는 自然美의 훼손, 環境汚損을 초래하는 결과를 보게 하였다.

또한 古藪洞窟 주변의 과도한 상가주택의 밀집과 洞窟내부의 많은 철재 통행시설 및 조명시설은 洞窟環境의 파괴를 가져와 마침내 洞窟生物의 감소, 二次生成物의 乾化剝離 그리고 綠色公害 현상이 深化되어 가고 있다.

이상과 같은 原因들이 洞窟의 환경변화에 박차를 가하고 있어 여기에 주기적인 環境保全 診斷과 對策이 계속적으로 요구되고 있다.

이제 洞窟내의 구역별로 그 環境의 汚損과 汚染狀態를 보면 다음과 같다.

### 3. 水温 및 濕度の 變化要因

洞窟내의 環境變化는 입동객 수와 조명시설 그리고 洞窟의 규모에 관계된다.

古藪洞窟의 水源은 不分明하나 下部洞床을 거의 貫流하는 地下水系가 있고 곳곳에 림푸울이 전개되게 多段階의 石灰華段丘가 형

성되고 있다. 水溫은 14℃ 내외이고 季節的 變化도 0.6℃ 내외이고, 外氣變化의 影響도 거의 없으며, 내부 깊숙한 곳에서는 氣溫, 水溫의 差異도 거의 없다.

洞窟의 環境 條件中 적합한 濕度의 유지는 洞窟 形成部의 生成 발달에는 濕度는 90% 내외이며 전체적인 濕度變化는 0.7% 내외로 대체로 恒濕이 維持되고 있다고 보겠다.

## 1. 洞窟生物의 生態變化 要因

洞窟이 개발되면 그 棲息環境은 점차로 변화되어 간다. 이는 많은 觀光客의 출입과 내부 조명에 따른 棲息環境의 변화때문이라 하겠다.

본 洞窟의 動物은 開發 初期에는 16目 26種이 밝혀졌으나 그 후 많은 변화를 보게 되었다. 이번 조사에서는 12種의 동물만 확인할 수 있었으며, 특히 전기한 稀貴種인 “古藪갈로와 벌레”와 “古藪장님좀딱정벌레”는 아직 찾아볼 수 없었다. 이는 公開以後의 環境汚損이 심하였음에 기인한 것으로 사료되기도 하는데 洞窟 내부 지역으로 옮겨갔을 것도 예측할 수 있다.

한편 微生物의 변화도 점차 심화되어 가고 있다.

즉 觀光開發된 以後부터 찾아드는 觀光客의 人體를 매개체로 한 菌이 마침내 洞窟속에서 갖가지 公害汚染을 나타나게 하고 있다.

黑色公害는 古藪洞窟 속에서 萬物相地區와 新開發地에서도 유사

한 것이 발견되고 있는데 대체로 다른 洞窟의 黑色公害에 비하여 비교적 엷은 색채로 나타나고 있다.

한편 綠色公害는 觀光通路 부근의 도처에서 발견되고 있는데 주로 照明燈 부근에서 나타나고 있다.

이와 같은 변화 요인들은 조명이 밝고 洞窟내의 기온이 높아지면서 하등식물인 綠色公害가 많이 생기게 된다.

즉 洞窟내는 暗黑世界이므로 독자적인 영양 체계를 갖고 있는 消化細菌이나 硫黃細菌을 제외하고는 洞窟生物의 生態系統은 第1段階의 생산층이 없는 특수한 生態構造를 갖고 있기 때문이다. 따라서 從屬營養의 體系를 이루고 있는 많은 토양동물류, 그밖에 거미류, 水棲甲殼類가 실지로 洞窟내에서 살고 있다는 사실은 洞窟밖에서 부터의 有機物 에너지의 投入이 있기 때문이라고 하겠다.

### Ⅲ. 洞窟의 汚染 및 現況分析

#### 1. 洞窟地層의 構造 分析

洞窟의 公開·非公開地區를 막론하고 지층이 均衡된 安定構造를 이루고 있고 또한 緩傾斜의 地層走向을 이루고 있는 곳이 많으나 地盤이 落盤될 만큼 불안정한 地層配列은 아니다.

또한 洞窟周邊에서는 石英斑岩의 岩脈이 平行된 列을 지으면서 大石灰岩統地層을 가로 뻗고 있기는 하나 地層均裂이나 節理面에는 아무런 영향을 미치지 않고 있다.

#### 2. 石灰岩과 化學分析

洞窟내의 公開地區와 非公開地區에서 발달하고 있는 二次生成物인 洞窟堆積物을 다음과 같은 분석 방법으로 분석하였다.

첫째 粉沫試料를 一定量을 1000℃로 1時間 熱을 가하고 De-sicator에서 냉각시켜 定量하였다.

둘째 珪酸을 定量하기 위하여 粉沫試料를 過塩素酸으로 분해하고 이를 거른 후에 그 중량을 측정하였다. 그리고 다시 黃酸(1:1)과 HF를 첨가한 다음 熱을 加하여 珪素分을 발산시킨 다음 그 중량을 측정하여 발산시킨 量으로 珪素分을 定量하였다.

셋째 칼슘은 粉沫試料를 녹여  $\text{PH}_{13}$ 이 되게 조절한 다음 ED-TA 標準溶液으로 적정하여 定量하였다.

넷째 마그네슘을 定量하기 위하여 粉沫試料를 녹여  $\text{PH}_{10}$ 이 되



계 조절하고 EDTA 標準溶液으로 적정하여 Ca와 Mg을 함께  
 定量하고 위에서 정량한 Ca량을 除하여 Mg을 定量하였다.

그밖에 微量의 成分을 分析하기 위하여 시료중에 존재하는 化  
 學成分을 原子吸光分光器 UVIVIS分光光度計 등을 사용하여 定量  
 分析하였다.

위와 같은 分析方法으로 洞窟堆積物의 化學 分析比를 도출한 바  
 다음과 같다.

洞窟堆積物의 化學分析

시 료	CaO	MgO	Fe	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
	%	%	ppm	ppm	%
석 순	54.51	-	352	520	0.52
석 주	53.52	-	242	720	0.22
종 유 석	54.27	-	825	450	0.05
종 유 관	54.19	-	543	582	0.12

시 료	Mn	Sr	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ℓ	H <sub>2</sub> O
	ppm	ppm	%	ppm	%
석 순	-	8.01	0.012	252	1.08
석 주	12	-	0.102	358	1.88
종 유 석	-	0.52	0.027	416	2.02
종 유 관	-	1.58	0.011	125	1.82

또한 洞窟外部의 石灰岩의 成分을 分析한 結果는 다음과 같다.

古藪洞窟 외부의 石灰石 分析

시 료 No.	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
	%	%	%	%	%
1	52.32	1.25	0.09	0.05	3.27
2	53.25	1.10	0.87	0.12	1.09
3	55.72	0.25	0.04	0.08	0.15
4	54.04	0.17	0.57	0.09	0.16
5	53.12	0.44	1.44	0.03	0.58
6	52.41	0.52	1.32	0.10	0.49

시 료 No.	P <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Sr	Mr	Ba	Na	K
	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.022	200	98	-	70	42
2	0.125	-	31	7	28	9
3	0.012	582	12	-	32	25
4	0.015	-	-	-	42	32
5	0.042	305	-	-	22	7
6	0.028	-	-	-	28	4

### 3. 洞窟地形地物の 汚損汚染

이제 公開地區와 非公開地區에 있어서의 地形・地物の 汚損個所 現況을 집계하면 다음과 같다.

#### (1) 公開地區의 汚損・汚染 現況

	區 分	面積 ( 個所 )	備 考
破 損 公 害	1 段階	6 個所	
	2 段階	88 個所	
	3 段階	17 個所	
剝 離 公 害	1 段階	6 $m^2$	
	2 段階	8 $m^2$	
綠 色 公 害	1 段階	8 $m^2$	
	2 段階	7 $m^2$	
	3 段階	12 $m^2$	
黑 色 公 害	—	—	

#### (2) 非公開地區의 汚損汚染 現況

	區 域	面積 ( 個所 )	備 考
破 損 公 害	A 地區	3 個所	
	B 地區	1 個所	
剝 離 公 害	A 地區	1 個所	
綠 色 公 害	—	—	
黑 色 公 害	—	—	

#### 4. 洞窟周邊의 水質現況

##### (1) 水質汚染의 要因

古藪洞窟의 洞窟流는 日常 乾季에는 地表水의 透수가 地下水로 되어 流出되어 있어 水質의 汚染이 거이 없다고 하겠으나 雨季의 洪水時에는 地表水가 岩層의 裂隙이나 吸引口로 大量 流入되므로 이때에는 이미 汚染된 土壤이나 濁流가 섞여서 洞窟流로 되는 경우도 나타나게 된다.

원래 水質汚濁이란 洪水때의 水質의 汚濁, 泥炭지역에 있어서의 粉塵 또는 土壤(炭質)이 流水에 混合되어 汚濁되는 경우 鑛山, 溫泉水의 地質에 의한 酸性化나 重金屬의 流水등의 자연적인 요인과 가정에서의 生活下水, 공장에서의 排出下水 그리고 汚物의 投棄등에 의한 人爲的인 요인등으로 公共水域이나 一般水域의 물이 物理的, 그리고 化學的, 生物學的 水質이 불리한 방향으로 변화되어가는 것을 가리킨다.

洞窟내에 있어서의 水質汚濁의 경우는 洪水氾濫때에 洞窟속으로 地殼의 龜裂, 歐穴 또는 吸引口를 통하여 地表의 汚濁된 물이 스며드는 경우가 커다란 비중을 차지하고 있다.

이밖에도 洞窟속에 찾아온 관광객들에 의하여 放糞放尿, 汚物棄却, 담배꽂초 등등의 投棄도 洞窟내 水質의 汚染 原因 되고 있다.

古藪洞窟의 경우는 이 부근 丹陽地域一帶의 다른 洞窟의 경우와 마찬가지로 上述한 바와 같은 두가지 경우에서 水質汚染과 汚濁을 갖어오고 있다.

(2) 洞窟周邊의 水質分析

한편 古藪洞窟의 앞 개천인 金谷川의 水質과 洞窟내의 湖水 물, 그리고 사자바위 부근의 滴下水 물방울의 수질을 분석한 결과는 다음과 같다.

古藪洞窟 内外의 水質分析

(試料)

장 소	온 도 (°c)	습도%	pH	경 도 CaCO <sub>3</sub> (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
1. 洞窟앞 개천	14.3	-	7.32	17.8	2.0	0.58	0.44
2. 洞窟내 고인물	11.30	98	7.48	81.3	2.4	0.25	1.00
3. 洞窟내 적하수	113.5	70	8.20	148.2	2.2	0.31	0.63

Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리度 HCO <sub>3</sub> (ppm)	ℓ (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)
4.2	0.02	0.05	14.2	1.7	2.8	0.02	11.2
43.2	0.01	0.02	129	1.9	3.0	0.03	16.8
56.0	0.02	0.03	166	2.8	4.0	0.02	9.2

## 5. 洞窟속의 大氣質 現況

### (1) 개요

洞窟은 그 內部 規模에 따라서 最大 滯洞人員이 달리된다. 즉 大氣汚染이란 주로 인위작용에 의한 汚染物質의 발산에서 오는 것으로 그 汚染基準은 매우 막연하다.

소규모의 작은 洞窟속에 동시에 많은 觀光客이 들어서면 洞窟口가 좁아 外氣와의 新陳代謝가 안되어 가벼운 頭痛이나 현기증을 느끼게 되는것은 洞窟內的 大氣質에 變化가 있었기때문이다.

大氣汚染은 一次的인 것과 二次的인 것의 두가지 경우가 주로 되는데 인간이 洞窟內에서 내뿜는 二酸化窒素 또는 洞窟속에서 발산시키는 亞硫酸개스와 같은 一次的으로 방출된 것을 말하고 二次的이란 이들의 복잡한 성분들이 서로 化學變化를 이르켜 二次再生産的인 公害作用을 이르는 것을 말한다.

### (2) 洞窟內 大氣現況

물론 이 水蒸氣의 飽和狀態 즉 濕度는 그 季節과 하루동안에 있어서의 晝夜間에 있어서 차이가 나타나고 있음을 측정할 수 있다. 즉 대체로 여름계절에는 80~90%, 冬계절에는 92~94%를 나타내고 있으며 이번 조사계절인 夏季의 아침에는 90%, 낮時間인 觀光客 出入 時間에는 88%로 나타나고 있다.

이밖에도 별표와 같이 그 洞口와의 거리에도 차이가 있었음을 볼 수 있었다.

洞窟내의 相對溫度와 濕度를 보면 다음과 같다.

古藪洞窟도 다른 일반적인 洞窟과 같이 洞窟내의 大氣(空氣)는 水蒸氣로 飽和되고 있다.

요컨대 洞窟의 濕도가 높고 일정하다는 점은 洞窟내의 濕度を 일정하게 나타나게 할 것으로 이 要因이 恒溫, 恒濕의 環境要因을 이루고 있는 것이다.

다만 洞窟附近에서 濕도가 72%밖에 안되는 것은 洞窟내 보다는 洞窟밖의 濕도가 매우 높기때문에 中和되며 洞窟 內외의 濕도가 각각 다르게 나타나기 때문이다.

氣溫이 낮아짐에 따라 濕度は 上昇하고 溫度가 높아짐에 따라 濕度は 減退되기 때문이다.

### (3) 洞窟에서의 氣流와 氣壓 現況

地表의 氣壓變化는 週期的인 경우와 非週期的인 경우의 두類型으로 나누게 된다. 그중에서도 가장 중요한 몫을 하고 있는 週期的인 氣壓變化는 주야의 기온차에 의한 24시간의 변동이다. 즉 晝間의 空氣는 太陽熱로 기온이 높아지게 되어 밀도도 적어지고 氣壓도 낮아진다. 그 반면에 夜間에는 空氣는 冷却되어 氣壓이 올라가게 된다. 때문에 통상 空氣는 日沒後에는 洞窟내에 外氣의 空氣가 流入되고 日出後에는 洞窟의 大氣가 洞窟밖으로 流出되는 것이다. 이의 경우는 古藪洞窟의 경우에 있어서도 마찬가지로 현상으로 나타나고 있다.

사실상 계속적으로 氣壓의 變化를 갖어오는 관계로 이 氣壓의 차이때문에 大氣의 異狀現象이 일어나게 마련이다.

따라서 洞窟에 있어서도 洞窟 入口가 있어 그 外氣의 空氣가 洞窟내 空氣와의 차이가 있게 마련이므로 氣流의 異動이 일어나게 된다.

洞窟속에 많은 觀光客이 입동하고 있을 경우 이때의 洞窟내의 氣流는 이들의 影響을 받아 氣流의 移動이 減退되기 때문이다.

이와같은 洞窟내의 氣流移動은 비교적 洞窟環境 變化에 크게 미칠 수 있는데 洞窟에서의 實驗結果를 보면 氣流가 大量인 경우 즉 洞窟이 넓고 氣流 이동이 秒速 5 m 이상일 때에는 洞窟내 環境에 커다란 變化를 갖어 온다고 발표되고 있다.

따라서 古藪洞窟의 경우는 秒速 4 m 내외로 最大風速으로 나타나고 있기 때문에 環境變化에는 커다란 影響을 미치지 않는다고 할 수 있다.

#### IV. 結 論

要컨데 洞窟은 밀폐시키고 있지 않는한 그 環境이 變化되는 것은 당연한 일이다.

이와같은 變化를 어떻게 變化되고 있는가 그리고 그 變化의 동기와 원인이 무엇인가 그리고 이들 環境變化를 어떻게 극소화시킬 것인가에 대하여 깊은 研究가 계속 되어야 하겠다.