

觀光洞窟의 環境變化와 保全에 관한 研究

韓國洞窟學會會長 洪始煥

I. 序 論

洞窟이 觀光開發되면 반드시 그 環境은 變化되기 마련이다.

洞窟이 觀光開發된지도 벌써 20年의 歲月이 지났다. 따라서 이 洞窟의 開發은 마침내 많은 環境變化를 가져오게 하였다.

원래 洞窟의 汚染과 汚損의 현상은 크게 堆積物公害와 環境公害의 두가지로 대별되는데 그중 堆積物公害에 破損公害, 綠色公害, 그리고 黑色公害, 剝離公害 등의 네가지로 구분된다.

즉 破損公害는 施設作業 또는 觀光客들의 出入通路 開拓을 위한 開發作業으로 洞窟堆積物들이 破損, 汚染되는 경우를 말한다. 그리고 綠色公害는 光線, 溫度, 濕도와 관련된 하등식물의 公害이고 黑色公害는 炭素분의 公害인 경우도 있고 아니면 菌類의 腐蝕作用에 의한 경우도 있다.

이 밖에 剝離公害란 乾燥風化와 菌類의 腐蝕作用 등으로 이루어지는 것으로 알려져 있다. 한편 環境公害에는 大氣汚染과 水質汚濁등 두가지로 구분되고 있는데 이 環境公害 중 大氣質 汚染은 洞窟內 溫度와 濕도의 정도 그리고 二酸化炭素분의 過多등의 要因에서 오는 大氣質의 公害이고 水質汚濁이란 粉塵 土壤成分, 기타 水質의 酸性化, 重金屬의 유출 등에 의한 水質公害이다.

요컨대 洞窟속의 環境은 계속적으로 변하게 된다. 이는 처음에는 미개발상태이므로 사람의 出入이 없어 環境은 옛 그대로의 保全을 유지했으나 觀光客의 出入 때문에 모든 洞窟내 環境의 變化가 계속 일어나고 있으므로 洞窟環境의 保全이 점차 시급한 문제로 제기되고 있다.

Ⅱ. 고수洞窟의 環境變化

古藪洞窟은 개발된지 10年의 歲月이 지났다. 그 동안 많은 觀光客의 出入은 마침내 環境의 變化를 초래하게 되었다.

원래 洞窟內는 常溫, 常暗, 常濕의 環境을 지녀야 하는데 古藪洞窟은 觀光開發로 이 環境은 점차로 破壞되어 가고 있다. 이와같이 原因은 밝은 照明과 많은 洞窟出入口 때문에 高溫乾燥하여 環境이 變化되어 綠色公害, 洞窟生物의 生態變化를 보게 된다.

그리고 二次 生成物의 汚損, 剝離現象을 나타내고 있는 現實이다. 그리고 과잉개발시설과 洞窟口 바로 앞에서의 駐車, 通行路의 過密現象은 古藪洞窟내에까지 環境을 變化시키고 있으며 洞窟內의 自然景觀까지도 해치고 있다.

이밖에도 古藪洞窟에의 무질서한 洞窟內외의 行樂秩序와 環境破壞는 自然美의 毀損, 環境汚染을 초래하는 결과를 보게 하였다. 또한 古藪洞窟 주변의 과도한 상가주택의 밀집과 洞窟內부의 많은 철재 通行施設 및 照明施設은 洞窟環境의 破壞를 가져와 마침내 洞窟生物의 減少, 2次生物의 전화박리 그리고 綠色公害 現象이 심화되어 가고 있다.

1. 地形地物 汚損

이제 古藪洞窟속의 汚染 및 汚損의 現象을 區分하여 본다면 대략 다음과 같다.

汚損・汚染地域 現況

	區 域	面 積 (個所)	備 考
破 損 公 害	1 段階	10 個所	
	2 "	122 "	
	3 "	24 "	
剝 離 公 害	1 段階	4 m ²	
	2 "	3 m ²	
綠 色 公 害	1 段階	9 m ²	
	2 "	8 m ²	
	3 "	14 m ²	
黑 色 公 害	-	-	희미하게 나타 나고 있을뿐

2. 古藪洞窟의 水質汚染

古藪洞窟의 內部를 흐르고 있는 洞窟流 그리고 洞窟의 鍾乳壁에서 떨어지는 溶解水, 그리고 洞窟속 奧地에 未開放地域의 洞窟湖沼 그밖에 洞窟앞 外部의 냇물을 區分하여 그 水質을 分析한 結果는 다음과 같다.

이 分析 結果로 古藪洞窟의 水質은 다른 石灰洞窟에 비해 그 水質이 매우 좋으며 純度가 높으며 아직 덜 汚染되고 있음을 알 수 있다.

番號	場 所	溫 度	濕 度	pH	경 도 CaCo ³ (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
1	용 수 골	14.2℃	94%	7.10	16.7	1.5	0.22	0.38
2	동굴속용해수	16.4	94	8.19	150.4	1.6	0.36	0.58
3	동 굴 류	16.0	95	7.80	81.4	2.7	0.24	1.04
4	금 곡 천	18.4	64	7.70	16.2	2.2	0.70	0.34

番號	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리度 HCO ³ (ppm)	ℓ (ppm)	So ⁴ CaCo ³ (ppm)	Po ⁴ (ppm)	SiO ⁴ (ppm)	기타 (ppm)
1	4.0	0.01	0.05	12.8	2.4	3.8	0.00	7.2	0.1
2	56.4	0.04	0.01	160	2.5	4.6	0.00	7.8	0.0
3	41.0	0.03	0.03	124	2.0	3.2	0.00	17.8	0.4
4	4.4	0.01	0.04	14.0	1.8	3.0	0.01	01.8	1.4

3. 洞窟内部 環境의 變化相

本 洞窟은 그 構造, 景觀面에서 뿐만아니라 洞窟 生物學的의面에서 도 매우 중요시되고 있으나 觀光洞窟로 開發된 이후 내부 環境에 적지 않은 變化毀損을 가져와 그 保存 管理面에서 많은 문제점을 내포하고 있다.

즉 洞窟은 그 内部 規模에 따라서 最大 滯洞人員이 달리된다. 小規模의 작은 洞窟속에 동시에 많은 觀光客이 들어서면 洞口가 좁아 外氣와의 新陳代謝가 안되어 가벼운 두통이나 현기증을 느끼게 된다. 窒素는 보통 23%가 大氣중에 存在하여야 生物의 生存에 아무런 지장이 없는 것인데 이보다 濃度가 높아도 生物에 影響을 준다. 만일 60%이상의 고농도가 되면 肺炎이나 순환계 障礙가 일어나며 특히 인내성이 적은 動物은 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 上昇하게 된다. 가끔 洞窟속에 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 結果가 된다고 할 수 있다.

大氣는 계속적으로 氣壓의 變化를 가져오는 관계로 이 氣壓의 차이 때문에 대기의 移動現象이 일어나게 마련이다. 따라서 洞窟에 있어서 洞窟입구가 있어 그 外氣의 공기가 洞窟內 공기와 氣壓의 차이가 있게 마련이므로 氣流의 移動이 일어나게 된다.

한편 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.

本 洞窟內部的 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 內部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 較差氣溫을 보여 대체로 恒溫이 維持되고 있다고 보겠다.

4. 洞窟生物의 生態變化

洞窟의 開發이 되면 그 棲息環境은 점차로 變化 되어간다. 이는 많은 觀光客의 出入과 內部照明에 따른 棲息環境의 變化 때문이라 하겠다.

本 洞窟의 動物은 모두 16目 26鍾이 밝혀졌으므로 그 生態的 분포면에서는 眞洞窟性(Tb)이 3鍾—12%, 好洞窟性(Tp)이 10鍾—38%, 外來洞窟性(Tx)이 13鍾—50%로서 洞窟性이 미약한 편이다.

물론 短時日間의 調査였기 때문에 動物相을 확실하게 把握할 수는 없었으나 이번 調査에서는 8目 13鍾의 動物만 確認할 수 있었으며, 특히 前記한 重要鍾인 “古藪갈로와벌레”와 “古藪장님좀딱정벌레”는

아직 찾아볼 수 없었다. 이는 公開 이후의 環境毀損이 甚하였음에
기인한 것으로 사료되기도 하는데 洞窟 内部 地域으로 옮겨 갔을 것
도 豫測할 수 있다.

한편 微生物의 變化도 점차 深化되어 가고 있다.

즉 觀光開發된 以後부터 찾아드는 觀光客의 人體를 매개체로 한
菌의 洞窟內 침입은 마침내 洞窟속에서 갖가지 公害 汚染을 나타나
게 하고 있다.

黑色公害는 古藪洞窟 속에서 萬物相地區와 新開發地에서도 유사한
것이 發見되고 있는데 대체로 다른 洞窟의 黑色公害에 비하여 비교
적 넓은 색채로 나타나고 있다.

한편 綠色公害는 觀光通路 附近의 도처에서 發見되고 있는데 주로
照明등 부근에서 나타나고 있다.

이 微生物의 種類로는 *Asparagillus spp* *Pencilomyces* *Mucorles*,
Phragmatric *Papucospora* *Trichoderma* 등이 發見되었는데 이들은
洞窟内部에 여러가지 색을 나타내면서 곳곳에서 번식한다.

Ⅲ. 高氏窟의 環境變化

高氏窟은 觀光開發된지 12年의 세월이 지났다. 그동안 이窟은 南漢江변에 위치하고 出入한 觀光客數가 적었을 뿐만 아니라 洞窟內부의 規模가 크기 때문에 심한 環境變化는 나타나지 않고 있다. 다만 물지각한 出入客에 의한 汚染公害는 다소 있으나 그밖의 汚染은 비교적 적게 나타나고 있다.

1. 洞窟地形의 汚損

원래 洞窟은 폐쇄적인 것으로 이와 같은 洞窟의 開發은 마침내 많은 環境變化를 가져오게 하였다.

즉 洞窟地形인 鍾乳石이나 石筍들은 물지각한 주민들에 의하여 汚損되어 가고 있거나 또는 많은 入洞客과 環境保全 對策의 미흡으로 堆積物 表면에 일어나는 剝離作用으로 이른바 白色公害가 곳곳에서 일어나고 있음을 보게 된다.

이제 高氏洞窟속의 주요한 汚染 및 汚損의 現況을 본다면 대략 다음과 같다.

2. 洞窟內의 環境汚染

洞窟속의 環境은 계속적으로 변하게 된다. 즉 觀光客의 數가 洞窟規模에 비하여 매우 많은 경우에는 많은 洞窟入洞客 때문에 洞窟內의 溫度는 올라가게 되고 濕度는 낮아지며 二酸化窒素의 含量은 점차 增加하게 되는 것인데 高氏窟의 경우는 入洞客數가 적어서 公害가 심하지 않은 상태이다.

그러나 觀光客의 衣服이나 또는 신발바닥에 묻어온 진흙이나 감탕 흙 등에는 微生物 또는 菌類가 많이 부착되어 이들이 洞窟內에서

더욱 더 번식하여 마침내는 生態系에 많은 지장과 變化를 가져오게 하고 있다.

그밖에도 觀光客이 갖고 들어갔다 버리고 나오는 담배꽂초, 전지약, 찌꺼기 등은 洞窟속의 汚損度를 더욱 더 높여 이것도 棲息環境에 많은 影響을 주게 되는 것이다.

이밖에도 이끼류나 양치류와 같은 下等植物 등이 洞窟에서 자라게 되어 洞窟環境의 汚染은 더욱 더 深化되어 간다. 즉 照明이 밝고 洞窟內 氣溫이 높아지면 下等植物인 綠色公害가 많이 생기게 된다.

이것은 洞窟內的 暗黑世界이므로 독자적인 영양체계를 갖고 있는 消化細菌이나 硫黃細菌을 제외하고는 洞窟生物의 生物系統은 제 1 단계의 생산층이 없는 특수한 生態構造를 갖고 있기 때문이다. 따라서 從屬營養의 體系를 이루고 있는 많은 土壤動物類, 그밖에 거미類, 水棲甲殼類가 실지로 洞窟內에서 살고 있다는 사실은 洞窟 밖에서부터의 有機物 에너지의 撥入이 있기 때문이다.

3. 微生物의 生態變化

洞窟內的 溫度는 年中 14°C ~ 16°C를 유지하며 濕度는 50 ~ 70 %를 이루고 있다. 入口가 넓고 중앙에 空間廣場이 發達되고 內部施設을 했기 때문에 그동안 많은 環境의 變化가 推測된다.

人體를 통한 菌의 洞窟內 侵入으로 公害 汚染을 초래하여 黑色公害와 綠色公害 現象이 나타나고 있다.

綠色公害는 洞窟通路 附近의 도처에서 발견되는데 주로 照明등 附近에서 많이 나타나고 있다. 微生物의 種類로는 *Asparagillus spp.*, *Pencilomyces Mucoraies* 등의 酸化物에 의한 경우도 있으나 有機物에 의해서 더 큰 影響을 받고 있다.

IV. 聖留窟의 環境變化

1. 地形地物의 汚損

鍾乳石은 一次로 開發하거나 施設을 設備할 때 破損되었고 二次로는 觀光客에 의하여 汚損되고 다시 三次로는 鍾乳石의 成長에 따라 重力에 의하여 천경의 地盤이 劣化되거나 또는 上層地盤의 岩石이 板狀을 이루거나 層狀으로 되어 있어 洞窟바닥 위로 落盤되어 破損된다.

더구나 最近에는 觀光開發된 이후에도 社會生活의 안정에 따라 水石裝飾品으로도 鍾乳石이 환영받고 있으므로 洞窟속의 鍾乳石이나 石筍은 남몰래 破壞되어가고 있는 것이다.

聖留窟의 堆積物汚損은 작금의 일이 아니다. 그 옛날부터 그리고 開發工事 당시에 이미 部分的인 汚損은 불가피하였다고 본다.

이제 主要 通路附近에서 把握된 鍾乳石의 汚損個所는 실로 大小 500 여개에 달하고 있는 바 그 중 두드러지게 눈에 띄는 것이 100 個所가 된다.

이제 主要 汚損地點을 圖示하면 다음 圖面과 같다.

다음 洞窟壁이나 堆積物表面의 剝離現象인데 이들의 汚染個所도 다음 圖面에서 보는 바와 같다.

洞窟内部의 2次生成物 分析

시료 №	CaO(%)	MgO (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ² (%)
석 순	52.31	—	350	518	0.48
석 주	52.48	—	238	714	0.19
중 유 석	53.98	—	821	448	0.06
중 유 관	54.11	—	548	569	0.13

시료 No	Mn (ppm)	Sr (ppm)	P ₂ O ₅ %	ℓ (ppm)	H ₂ O (%)
석 순	—	7.99	0.010	248	1.10
석 주	11	—	0.105	351	1.86
종 유 석	—	0.48	0.028	420	2.04
종 유 관	—	1.62	0.014	128	1.88

2. 水質의 汚染

聖留窟에 있어서의 環境破壞는 이미 洞窟의 그 옛날 三國時代부터 修道場이나 探勝地로 利用되어 왔기 때문에 洞窟內的 汚染과 汚損은 두말할 것 없을 정도이다.

다만 이 洞窟은 그 規模가 크고 더구나 空洞이 넓을 뿐만 아니라 王避川의 水系가 洞窟 밑의 地層을 통하여 透水되고 있기 때문에 洞窟內的 大氣汚染은 비교적 甚하지 않은 狀態이다. 물론 季節에 따라 出入口로 부터의 氣流移動 때문에 다소 差異는 있다고 하겠다.

다만 水質은 外部의 王避川水流과 直結되고 있어 洪水시의 水質의 汚染은 매우 심각하다.

이제 聖留窟 內外的 水質을 分析하여 比較한다면 다음과 같다.

즉 王避川의 水質은 洞窟내 제 3 洞窟 안쪽에 있는 水質보다 硬度가 10 分の 1에 해당하는 狀態이며 다음 表에서 보는 바와 같이 커다란 차이를 나타내고 있다.

성류굴의 수질 분석

(박면용 분석)

번호	장 소	OC	습도 (%)	pH	경도-ppm CaCO ₃	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
1	왕 피 천 물	23.8	-	7.74	15.9	2.2	0.55	0.40
2	동굴내고인물	17.4	95	7.78	81.3	2.6	0.28	1.04
3	동굴내적하수	16.6	92	8.18	154.1	2.0	0.30	0.66

Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	알칼리度 HCO ₃ (ppm)	ℓ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)	SiO ₂ (ppm)
4.2	0.01	0.07	14.4	1.4	3.3	0.01	12.1
40.8	0.04	0.04	124	2.4	3.1	0.00	18.4
57.4	0.06	0.01	166	2.9	4.4	0.00	8.4

3. 微生物과 生態의 變化

聖留窟은 王避川을 끼고 있는 地理的인 位置 때문에 多濕한 環境이므로 많은 眞菌類가 發見되고 있다.

더구나 觀光洞窟로 開發된 以後부터는 더욱 더 人體를 媒介로 하여 많은 菌類의 搬入이 이루어지고 있는데 이는 聖留窟 內에 들어서면서 부터 볼 수 있는 黑色公害(靑綠色의 곰팡이類)의 汚染들에 의하여 알 수 있다.

원래 微生物公害 이외에도 下等植物인 綠色公害도 나타나는데 이는 照明燈이 있는 附近에 나타나고 있다.

즉 入洞客에 의하여 不注意로 버려지는 物質인 휴지, 배설물, 음식물의 찌꺼기 그리고 전지약, 遺失物 등이 이 모두 環境을 汚染시키

는 結果를 초래한다. 이와같은 有機物이 腐弊되기에 알맞는 洞窟內의 溫度와 濕度는 微生物의 번식을 促進하게 된다.

그 뿐만 아니라 人體에 묻혀서 洞窟內로 스며들어가는 微生物과 균류도 무시할 수 없을 環境汚染의 要因이 되고 있다.

微生物의 種類로는 *Asparagillus Spp*, *Penicillium Spp.*, *Pencilomyces*, *Trichoderma* 등이 이에 속한다.

이러한 物質들은 洞窟內部에 여러가지 色을 나타내면서 번식한다.

그 중에서도 洞窟 속에는 그 洞窟壁에 검은 곰팡이類가 많이 나타나고 있는데 이는 위에서 말한 微生物들이 번식한 것이다.

V. 環境破壞의 低減方案

1. 概 要

앞서 說明한 바와같이 洞窟이 公開되면 반드시 出入하는 觀光客이나 그밖에 便益施設 등에 의한 洞窟의 破壞는 없을 수 없는 것이다.

다만 어떻게하면 이와같은 汚損, 汚染을 未然에 防止할 수 있으며 低減시킬 수 있는가가 問題이다.

사실상 洞窟속의 鍾乳石과 石筍같은 二次生成物 즉 洞窟 堆積物 등은 오랜 時日에 걸쳐 生成되어온 것으로 어떤 것은 1~2萬年에 걸쳐 成長한 것도 있으므로 이들이 일단 汚損되거나 破壞 되었을때는 참으로 영원히 복구는 되지 못할 것이다. 일단 破壞되면 그만이므로 이들에 대한 恒久的인 保全 對策이 요구되는 것이다.

오늘날 先進國家에서는 이와같은 실정을 참작하여 오래 전부터 洞窟環境의 保全과 汚染防止를 위한 꾸준한 研究實驗이 實施되어 오고 있는 터이다.

우리나라에서도 丹陽의 古藪洞窟에서는 綠色公害나 剝離公害에 대한 防止 方案을 實驗 중에 있기는 하나 아직도 뚜렷한 成果를 보지 못하고 있는 실정이다.

이제 分野別로 이와같은 汚損汚染에 대한 低減方案과 環境의 保全 方案을 들어보면 다음과 같다.

2. 洞窟環境의 保全對策

洞窟의 環境 保全은 洞窟의 生態 保存을 위한 洞窟 環境의 維

持 管理이다.

洞窟은 暗黑世界이고 恒溫, 恒濕의 環境을 지녀 왔으므로 이에 적응된 地形地物의 生成, 地下水生物의 棲息등이 이루어져 오늘에 이르렀다고 할 수 있다.

사실상 洞窟속의 二次生成物들은 洞窟上層部の 岩石構造와 그 成分, 地下水의 透水量과 水質成分, 透水狀態 그리고 地層의 배열과 洞窟內의 氣流, 溫度, 濕度 등과 밀접하게 관계되고 있는 것이다.

예를 든다면 洞窟堆積物의 크기, 成長速度 등은 반드시 위와같은 洞窟속 環境과 직결되는 것이므로 이와같은 洞窟現狀의 維持 保수를 위한 方案은 위와같은 洞窟環境의 環境을 維持시켜 주기 위한 각종 對策이 마련되어야 하는 것이다.

즉 洞窟環境의 維持를 위하여 入洞客에 의한 洞窟內 溫度의 上昇, 濕度の 低下를 調節하기 위한 洞窟內 氣象觀測設備가 필요하다.

이에 의하여 洞窟內의 環境變化를 把握하고 이에 대한 對策을 세울 수 있기 때문이다.

① 洞窟內에 人工瀑布, 撒水作業등으로 溫度의 低減, 一定 濕度の 維持 등에 유의 하여야 한다.

② 出入人員의 統制로 洞窟內 環境의 變化를 低減시켜야 하겠다.

洞窟內의 적절한 滯洞最大人員을 계측하여 同時에 過多한 觀光客이 洞窟속에 오랜동안 체재하지 않도록 調節하여야 한다. 따라서 人員의 制限, 觀光 開放時間의 制限統制 등과 같은 對策이 필요하다.

③ 觀光 公開區間을 季節別로 區分實施 하거나 通路의 交代變動 등으로 洞窟 環境의 保全 還元을 강구하여야 하겠다. 一定期間

의 密閉 維持 管理는 洞窟 環境의 原狀復元에 도움 될 것이다.

- ④ 出入口를 좁게하여 外氣의 大氣가 洞窟內에 影響을 덜 주도록 하여야 한다. 洞窟內의 濕度는 그 位置, 高度에 따라 다르게 나타나고 있으나 恒溫, 恒濕 狀態가 維持될 수 있도록 洞窟 入口가 좁거나 작아져야 하겠다.
- ⑤ 洞窟 出入口가 원래부터 크거나 넓은 경우에는 洞窟內 入口안 쪽 部分의 좁은 通路를 이용한 二重門의 설치로 바깥 공기의 차단을 피할 수도 있다.
- ⑥ 觀光에 지장을 주지 아니 할 정도의 照明(밝기)를 維持하여 지나친 照明施設로 인한 洞窟內의 氣溫上昇에 따른 環境變化가 나타나지 않도록 하여야 하겠다.
- ⑦ 洞窟內 照明施設은 가능한 通路와 特殊 地形物을 위주로 70Lx 內外로 照明하되 自然燈은 水銀燈이나 나트륨燈, 또는 메탈하라이드燈과 같은 發熱量이 적은 燈으로 대체하는 것이 바람직스럽다.
- ⑧ 洞窟의 出入口는 가능한 작아야 하나 박쥐가 드나들 수 있을 定度의 出入口 空間은 確保되 있어야 한다. 박쥐는 好洞窟性 動物로 洞窟속에 棲息하면서 드나들고 있는데 이의 放糞은 구아노로 불리우는 微生物의 棲息 條件에 중요한 要素로 되고 있다.
- ⑨ 照明燈용 防水케이블의 접속을 되도록이면 現在 使用되고 있는 고무테이프이나 P.V.C 테이프들은 나중에 濕度가 차면 漏電되기 쉬우므로 실리콘테이프를 대체하고 케이블 분기 장소에 사용된 分電

盤内の 스위치는 기존휴즈를 使用한 카바나이프 스위치보다 차 단성능이 좋은 漏電遮斷器로 代換 이용하는 것이 바람직스럽다.

- ⑩ 照明의 角度, 方向도 수시로 變動시켜 그 輝度에 의한 照明地 點에의 이끼類나 苔類 같은 綠色公害가 나타나지 않도록 조 치하는 것이 좋겠다.

3. 堆積物의 汚損防止 및 低減方案

洞窟觀光은 神秘로운 地下世界에 대한 호기심과 그리고 그 窟속 에서 볼 수 있는 伏魔殿같은 二次生成物에 의한 地下宮殿 景觀 등 의 觀察 또는 觀賞에 있다고 하겠다.

따라서 洞窟속에서의 地形地物의 景觀樣相이 그 洞窟의 觀光的, 學 術的인 價値와 直結되고 있는 것이다.

더구나 鍾乳石과 石筍 등의 洞窟 堆積物들은 계속 자라고 있있는 돌이라고는 하나 그 成長速度는 매우 느려서 가장 빨리 자라는 鍾乳 管이나 鍾乳石의 成長만해도 우리나라에서 추정 한 平均値를 본다면 直徑 5 mm 크기에 길이 1 cm 자라는데 要하는 時日은 약 15 年의 歲月이 소요되는 것으로 되고 있다. 물론 그 洞窟의 上層地質構造, 洞窟 地表面의 氣候條件, 洞窟內的 環境條件 등에 따라 크게 달달리 된다고는 하나 실제 오랜 時日에 걸쳐 成長하는 것이므로 洞窟堆積 物의 汚損은 절대로 안된다고 하겠다.

물지각한 사람들에 의한 毀損, 開發工事時的 破壞 등등으로 洞窟의 景觀은 점차로 破壞 또는 汚損되어 가고 있는 것이다.

이제 이와같은 景觀과 堆積物의 汚損 低減方案을 제시하면 다음과 같다.

- ① 洞窟內的 環境 維持는 물론이고 二次生成物의 지속적인 成長, 즉 洞窟의 成長을 위하여 洞窟 地表面에 週期的인 人工撒水作業으로 洞窟 堆積物의 成長을 促進시키고 洞窟環境의 保全管理를 기하도록 한다.
- ② 公開를 위한 開發作業에 있어서는 洞窟環境의 原形維持에 주력하여 通路 및 觀光 便益施設의 過剩工事로 周邊 環境이나 洞窟內 環境의 破壞를 초래하지 않도록 하여야 하겠다.
- ③ 地表面의 生態의 保護管理를 위하여 石灰質岩石 土壤의 土壤保全을 期하여야 하겠다. 즉 地表面의 植生 및 地形保護 등으로 石灰質 土層을 確保 維持하고 정상적인 地形 輪廻를 期하도록 한다.
- ④ 觀光 出入客에 事前에 洞窟 堆積物의 重要性을 강조 또는 理解시키는 教育을 할 것이며 이를 위한 제반 案内文이나 說明文을 배포한다.
- ⑤ 出入客으로 하여금 洞窟內的 汚損이나 汚染에 영향을 줄 불건을 갖고 들어가지 못하게끔 物品管理所를 마련하도록 한다. 특히 지팡이, 우산 등등의 물건은 洞窟 堆積物을 汚損시킬 수 있는 기재가 되기 때문이다.
- ⑥ 洞窟內的 地形地物 中 土地崩落이나 落盤이 일어날 수 있는 地點에는 반드시 이를 防止할 수 있는 施設 對策이 필요하다. 특히 地面이 振動할 경우에 위험이 있을 것으로 판단되는 것은 事前에 除去하는 것이 바람직스럽다.

4. 環境의 汚染防止 및 低減方案

洞窟의 環境은 주로 溫도와 濕度の 變化에 의하여 달리 變하게 된다. 더구나 지나친 氣溫上昇, 乾化現象 등은 環境變化에 直結된다.

따라서 生態系에 變化를 보게 되고 綠色公害나 白色公害, 黑色公害와 같은 公害 現象이 나타난다.

綠色公害란 前述한 바와같이 岩石바닥에 이끼類가 나타나는 것이며 白色公害란 堆積物 表面에 剝離公害는 乾濕化 環境의 異常急度에서 일어나는 現象이고 이밖에 黑色公害란 炭質黑鉛質 溶液으로 코오팅된 것이다.

따라서 環境의 特色인 恒溫, 恒濕의 環境 維持가 그대로 洞窟의 汚染을 防止하거나 低減시키는 結果를 나타내는 것이다.

이와같은 對策으로서는 다음과 같은 方案을 제시 할 수 있다.

- ① 洞窟內의 지속적인 變化없는 溫도와 濕度の 維持를 위하여 洞窟內 人工瀑布 撒水作業이 요구된다.
- ② 洞窟內의 諸般施設 즉 通路施設이나 附帶施設을 되도록 酸化되기 쉬운 鐵製物을 사용하지 않고 腐蝕되지 않는 物品資材를 사용한다.
- ③ 洞窟內에 汚染 收去設備를 두어서 汚物을 버리지 않도록 하여야 한다. 電池藥, 그리고 殘飯찌꺼기 등의 汚物들이 窟내에 버려지게 되면 水質의 汚染은 물론이고 나아가서는 環境 全般을 어지럽히게 마련이다.
- ④ 汚染公害의 除去處理는 하이클론 같은 藥物洗劑를 사용하거나 洞窟地下水의 물을 이용하는 것이 바람직하다.
- ⑤ 剝離된 堆積物 表皮는 石灰質 粉末 溶液과 시멘트 등의 接着

劑를 混合하여 이를 코오팅, 또는 附着시키는 것도 한 方面이다.

- ⑥ 地下水系의 直接 또는 間接侵入을 막아 外部로부터의 水流 侵入 때문에 洞窟內 湖水나 洞窟沿澤(연못) 洞窟類의 水質을 汚濁시키거나 汚染되지 않도록 하여야 하겠다.
- ⑦ 되도록 洞窟內의 使用資料, 試藥器材 등은 無公害藥品, 無公害의 플라스틱 資料를 쓰도록 하여 環境汚染을 초래하지 않도록 한다.
- ⑧ 洞窟物의 保護를 위하여 溫·濕度의 繼續的 維持는 물론 騒音 振動 公害를 없애도록 하고 一定한 곳에 保護區域을 정해준다.
- ⑨ 氣流의 流動을 調整하여 風化, 乾化 등의 異狀 變化가 나타나지 않게끔 施設 設備한다.

VI. 結 論

本 研究는 몇개의 開發된 洞窟과 未開發의 洞窟을 택하여 이들의 洞窟動物의 生態가 어떻게 變化되고 있는가 그리고 水質과 氣象 및 二次生成物 등의 分析으로 洞窟環境의 汚染과 破損 중에 있음을 警告하고 아울러 洞窟保全의 必要性和 外國에서의 自然 保護要領을 紹介하였다.

요컨대 一般的인 鍾乳窟의 環境汚染의 狀態는 調查結果 다음과 같다.

첫째 洞窟이 開發되면 洞窟內의 眞洞窟性動物들은 점차 滅種되어갈 運命에 있다.

둘째 外來性動物의 種類와 數는 洞窟內의 氣溫과 濕度 또는 外氣의 氣象과도 密接한 關係를 지닌다.

세째 水質은 그 洞窟의 位置나 深度에 相關이 없으며 流水量이 많을수록 溶出量이 적어진다.

네째 洞窟內의 氣象은 洞窟入口와 內深部와의 差異가 많으며 濕度는 內部에 갈수록 높아진다.

다섯째 洞窟入口 부근에서는 濕度가 낮아 二次生成物의 成長이 中止되고 있는데 通常 90% 이상의 濕度가 있어야 이들은 成長될 수 있다.

여섯째 洞窟內部에서는 氣溫이 거의 비슷하게 나타나며 年中變差도 심하지 않다.

한편 洞窟의 環境을 그대로 保存하기 위하여는 原形대로의 保存도 重要하나 環境의 汚染과 破壞를 防止 또는 減縮시키기 위하여 다음과 같은 留意가 필요하다고 본다.

첫째 洞窟은 되도록이면 觀光開發이나 出入을 삼가하고 洞窟內의 自然環境이 그대로 保存되어야 하겠다.

둘째 觀光開發하여야 할 경우에는 原形의 保存을 위하여 出入口를 작게 하여 外氣가 스며들지 못하도록 한다.

세째 觀光洞窟인 경우 觀光客에 不必要物品을 搬入하여 버리지 말게 할 것이고 自然이 破損되지 않도록 通路를 좁게 照明을 어둡게 할 것이다.

네째 降雨季節에 지나친 地表水의 流入을 防止하며 過多하게 透水된 量은 適當하게 排出토록 人工施設을 한다.

다섯째 自然保護를 위한 精神教育과 철저한 制度化를 기한다.

參 考 文 獻

- 洪始煥, 한국의 자연洞窟 (1978, 金貨社)
- “ , 한국의 용암洞窟 (1981, 韓國洞窟學會)
- “ , 한국의 石灰洞窟 (1983, 韓國洞窟學會)
- “ , 聖留窟 環境保全診斷 報告書 (1982, 韓國洞窟學會)
- “ , 古藪窟 “ “ (1983, “)
- “ , 高氏窟 內部整備 工事計劃 (1985, “)
- “ , 平昌 大和廣川仙窟地區 觀光開發 基本計劃 (1986, “)
- “ , 古藪洞窟 安全診斷 調查報告書 (1987.4 “)
- 文化公報部, 韓國의 洞窟(I), (1973)
- 福島要一, 自然の保護 (1975), 時事通信社
- 吉井良三, 洞穴かう生物學へ (1969), 日本放送出版
- 上野鹿島, 洞窟學入門 (1978), 講談社
- 池田和之, 地底の世界 (1982), 日本 TV放送網株式會社
- 山内浩, 洞穴の科學 (1983), 日本洞穴學研究所
- J.W. Brannard, Nature study for Conseruation (1971), M. M.
U.S.A.
- G.W. Moore, Speleology the study of Caves (1969)