

# 韓國 洞窟의 環境 破壞 分析

신흥전문대 교수 金 秋 潤

## 1. 洞窟環境의 破壞

洞窟環境의 破壞는 여러가지 측면에서 그 원인을 찾을 수 있다.

우선 洞窟이 관광화되기 이전에 동네주민들이 호기심에 들어갔다가 석주·석순과 같은 형상이 좋은 퇴적물을 파괴하여 집에 가져오는 경우도 있고, 관광지도 개발된후 동굴내의 照明등에 의해서 새로운 형태의 녹색공해 즉 下等植物등이 자라거나, 觀光客의 빈번한 출입에 의해서 동굴내부의 溫度가 올라가 표피가 박리현상을 일으켜 탈피되거나 觀光施設을 설치할때에 파괴되거나, 자연적으로 洪水때 汚染된 물이 地下에 流入되어 洞窟生物을 파괴시키는 경우등 그 원인이 여러가지 있을 수 있겠다.

즉 洞窟의 破壞現象은 크게 堆積物公害와 環境公害의 두가지로 대별되는데 그중 堆積物公害는 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, 汚損되는 경우를 말한다. 그리고 綠色公害는 照度, 溫度, 濕度와 관련된 하등식물의 公害이고 黑色公害는 炭素分の 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 두

가지로 구분되고 있는데 이 環境公害 중 大氣質·汚染은 洞窟內 濕度와 濕度의 정도 그리고 二酸化炭素의 過多등의 原因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.

이런 석순, 석주, 종유석의 파괴는 고수굴·성류굴, 고씨굴등 관광지화된 굴에서 흔히 볼수 있으며, 흑색공해 및 녹색공해와 박리현상도 관광동굴에서는 역시 흔히 볼수 있다.

#### ① 破損公害

洞窟속의 二次生成物은 그 景觀과 形態面에서 뛰어나 觀光開發 이전이나 지방문화재나 천연기념물로 지정받기 이전에는 동네주민이나 탐험객들에게 많이 破壞되었는데 특히 石灰洞窟의 경우 석순, 석주, 종유석등이 더 심하게 파괴되었다.

이런 鍾乳石은 1차로 발견초기 동네주민들에 의해서 파괴되고 2차로 觀光施設時 破壞되고 3차로는 觀光客이 몰래 관광시 절단하여 채취해가고 4차로는 鍾乳石의 成長에 따라 重力에 의하여 天井의 地盤이 弱화되거나 또는 上層地盤의 岩石이 板狀을 이루거나 層狀으로 되어 있어 洞窟바닥위로 落盤되어 破損된다.

더구나 最近에는 觀光開發된 이후에도 社會生活의 安定에 따라 종유석이 怪石이나 水石 그리고 裝飾品으로 환영받아 洞窟속의 鍾乳石이나 石筍은 남몰래 따가는 경우가 많다.

#### ② 黑色公害 및 綠色公害

微生物은 洞窟의 入口 즉 太陽의 光線이 비치는 有光地帶에만 자라는데, 洞窟이 開發되어 내부 통로를 안내하기 위한 照明들이 설치

되어 인근을 비치게 되면 이끼류나 羊齒類같은 下等植物이 자라 洞窟生物의 生態系를 파괴시켜 洞窟生物을 해치는 甲蟲類가 생기거나 流石이나 鍾乳石의 表面을 파괴시킨다.

洞窟내는 본래 캄캄한 暗黑世界이므로 독자적인 榮養體系를 갖는 消化細菌이나 黃細菌을 제외하고는 洞窟生物 生態系統은 제 1 차의 生産층이 없는 특수한 生態構造를 갖는다.

즉 從屬榮養의 체계를 이루는 많은 土壤動物類나 거미류 水生甲殼類가 실제로 洞窟內에 서식하는 것은 洞窟 밖에서의 즉 洞窟生態系統 아닌 밖으로 부터의 有機物의 搬入이 있기 때문이다.

이 有機物의 洞內搬入은 동물에 의한 搬入과 植物 起源의 것 등으로 대별되는데 前者는 밤에 활동하는 박쥐류의 糞(구아노) 또는 垂直窟에 빠진 動物 등에 의해서인 경우이고 後者는 植物의 잎, 가래기들이 틈바구니로 들어오거나 흘러들어 온 것이라고 하겠다.

즉 洞窟은 4 계절 거의 온도차가 없이 보통 온도 12-18℃를 유지하고, 습도 80-95%를 유지하여 항상 低溫의 氣溫差가 적은 常濕地를 이루고 있어 지하동굴미생물이나 지하생물들의 좋은 서식처가 되어 있다.

더구나 觀光洞窟로 開發된 以後부터는 더욱더 人體를 媒介로 하여 많은 菌類의 搬入이 이루어지고 있는데 이는 窟內에 들어서면서부터 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 以外에도 下等植物인 綠色公害도 나타나는데 이는 照明燈이 있는 부근에 나타나고 있다.

이밖에도 剝離現象이 石筍이나 石柱 그리고 鍾乳壁面에 나타나고 있는데 이들은 表面의 石質의 組織 成分, 濕度와 CO<sub>2</sub>의 濃度 그밖의 環境條件과 關聯있는 것으로 보고 있다.

現在 黑色公害는 洞窟內 全區間에 나타나고 있으며 特히 洞口부근에서 甚하며 綠色公害는 照明燈 부근에 剝離現象등은 內部與地에 나타나고 있다.

녹색공해의 실태를 알아보기 위해서 고수洞窟內부의 검푸르게 汚染된 土壤을 採取하여 分類, 同定한 結果 아래표에서와 같이 21種의 菌類가 나타났으며 대부분 菌類의 Colong는 검은색 혹은 靑綠色, 暗綠色을 띠고 있었다.

또한 人工照明이 가설된 附近에서의 녹색공해를 알아본 결과 아직까지 양치類의 分布는 찾아 볼 수 없었으나 *Ptychomitrium* sp., *Pinnatella* sp., *Plagiochasma* sp. 등의 이끼類(蘇類나 苔類)가 分布되어 있었다. 또한 人工照明이 設置된 곳의 地下水의 一部에 藻類(algan)가 發見되고 있었다.

표 고수동굴내에서 발견된 균류

균 명	색
<i>Aspergillus sulphureus</i>	코로니-흰색, 회색
<i>Curvularia Clavata</i> Jain	코로니-갈색
<i>Dendrographium</i> sp.	균사-검은색
<i>Deightoniella jabalpurensis</i> Agarwal & Hasija	코로니-검은색

균	명	색
<i>Helminthosporium</i>	<i>velutinum</i> L.	코로나 - 검은색
<i>Mucor</i>	<i>griseo-roseus</i> Linnemann	균사 - 회색, 흰색
<i>Nigrospora</i>	<i>oryzae</i>	균사 - 회색
<i>Nakataea</i>	state of <i>Leptosphaeria</i> <i>salvinii</i> Cattaneo	코로나 - 검은색
<i>Penicillium</i>	<i>chrysoginum</i>	청록색 (무성포자 발생시)
<i>Penicillium</i>	<i>janthinellum</i> Biourge	코니디아 - 회색
<i>Penicillium</i>	<i>oxalicum</i> Currie & Thom	청록색 (무성포자 발생시)
<i>Penicillium</i>	<i>thomii</i> Maire	청록색 - 암갈색
<i>Penicillium</i>	<i>notatum</i> Westling	포자가 발생시 청록색
<i>Penicillium</i>	<i>cyclopium</i> Westling	코로나 - 청록색
<i>Penicillium</i>	<i>herquei</i> Bainier and Sartory	포자 - 녹색
<i>Paecilomyces</i>	<i>javananicus</i>	코로나 - 흰색 성장후에 블루-그레이 균사가 갈색
<i>Rhizotonia</i>	sp.	
<i>Sporocybe</i>	sp.	코로나 - 검정색
<i>Trichurus</i>	sp.	코로나 - 검은색
<i>Trichocladium</i>	<i>pyriforme</i> Dixon	코로나 - 검은색
<i>Trichoderma</i>	<i>viride</i>	코로나 - 흰색, 성숙한 후에 녹색

### ③ 洞窟環境 파괴와 박쥐

박쥐는 超音波의 소리를 내면서 그것을 레이더로 空中을 날고 있으며 낮에는 洞窟속에서 쉬고 밤에는 밖으로 나가 활동한다. 昆蟲을 먹이로 하고, 排泄物은 구아노라고 하여 洞窟微生物의 먹이가 되므로 동굴문을 완전 밀폐하면 박쥐가 드나들수가 없어 洞窟生態가 변화된다.

박쥐는 洞窟의 王者라고 불리운다. 박쥐는 겨울에는 마치 죽은듯이 天井에 매달려 깊은 잠에 들어가 가을철에 저장했던 營養分으로 이듬해 봄철이 다가올 때까지 冬眠한다. 만일에 잠든 박쥐를 깨게 하면 에너지가 소모되므로 봄까지 못살고 그대로 굶어 죽게된다. 따라서 박쥐는 지나치게 춥거나 더운곳에서는 잠들지 않고 적당한 溫度와 濕度를 찾아 그곳에서 冬眠에 들어가므로 해마다 冬眠場所는 一定한 곳이다. 물론 겨울동안에 한두번은 水分을 섭취하기 위하여 깊은 잠에 깨어나기도 한다. 그리고 洞窟속에는 곳곳에 이 박쥐의 배설물인 구아노의 堆積層이 있는데 이 구아노에는 水分 石灰分 이외에 窒素, 磷酸, 칼리등이 포함하고 있어, 洞窟內的 磷酸鹽類物등은 이 구아노의 磷酸과 洞窟內的 物質의 化合으로 생성된 것이다. 이 구아노에는 有機物이 많아 微生物들이 많이 서식하게 되어 박쥐가 많이 서식하는 洞窟은 살아있다고 할 수 있을 만큼 洞窟生物이 多樣하고 풍부하다.

### 2. 洞窟環境의 파괴에 대한 對策

洞窟속에 出入하는 人員數가 많으면 많을수록 그리고 同時에 많은 人員이 洞窟內에 오랜동안 머물게 되면 洞窟內的 溫度는 높아가고 濕

도는 낮아지고 반대로 二酸化炭素의 含量은 증가하게 된다. 더구나 많은 出入客에 附着되어 洞窟內에 스며든 微生物이나 菌類는 이와같은 環境속에서 더욱더 번식하게 되므로 生態系에 많은 變化를 가져오게 된다.

또 洞窟內에 있어서의 高熱燈에 의하여 오랜 동안 照明이 계속될 때 洞窟內의 氣溫은 상승하고 濕度는 낮아지는 관계로 二次生成物表面에 부착된 菌類나 微生物들은 그 棲息環境이 더욱더 有利하게 되어 微生物에 의한 汚染度는 높아지게 된다.

이밖에도 이끼類나 羊齒類같은 下等植物등도 棲息하는데 有利한 環境을 이루게 되어 이른바 洞窟속의 綠色公害가 나타나게 되는 것이다.

#### ① 大氣 및 水質의 汚染 對策

첫째 大氣汚染의 가장 큰 要因은 觀光客이 同時에 많이 出入하기 때문이다. 많은 出入人員이 좁은 洞窟속의 공간을 왕래할 때 二酸化炭素의 含量은 增加되어 마침내 洞窟內 溫度가 上昇하고 環境이 汚染되기 때문에 同時出入人員의 制限이 필요하다. 따라서 時差制를 두어 出入人員을 分散시켜 入洞시키고 洞窟內의 체재인원의 最大人員을 定하여 出入을 통제시켜야 한다. 가급적이면 階段施設을 없애고 通路는 평탄하게 하므로써 觀光客의 通行을 편리케 하여 洞窟內 체재 시간을 단축시켜야 한다. 물론 出口를 따로 施設하여 一方通行施設을 하게 되면 大氣汚染의 폐단은 한층완화 될 것이다.

둘째 照明施設을 되도록 어둡게 하고 照明은 通路와 特殊地形地物에 만 비추게 하여야 할 것이다. 더구나 照明燈은 高熱燈을 피하고

그 照明時間도 時限制를 두어 교대로 照明하여 持续的인 長時間 照明을 피해야 한다.

세째, 通風口를 施設하거나 새로운 出口의 設정이 필요하다. 새 通路의 개발로 出口을 만들어 通風 換氣口로 이용되면 洞窟內 大氣와 水質의 汚染이 완화된다.

洞窟은 두 洞口가 있을 때 氣流의 이동이 生기고 洞內大氣가 流動하게 되므로 換氣에 좋으나 兩 洞口의 位置 특히 位置高度가 다르면 高度差가 심할수록 氣流速度는 커지므로 洞口位置設定에 주의를 요한다. 이때에는 되도록 洞口를 좁게 하거나 二重門으로 通風을 조절하되 박쥐의 出入에 지장없는 施設을 고려해야 한다.

네째, 洞窟內에 있는 常設溫度計에 의한 持续的이고 週期的인 계측으로 洞窟內의 溫度와 濕度유지에 주력하여야 하겠다. 洞窟은 常溫狀態가 유지 되므로써 環境變化가 적기 때문이다. 물론 觀光客의 過多出入에 의한 洞窟內溫度의 上昇과 溫度의 低下에 대한 대책으로는 揚水噴霧器에 의한 徹水作業으로 이를 調整하면 된다.

다섯째 夏季節의 多雨期에는 인근의 汚染된 流水가 地盤으로 침투하여 洞窟內의 水質汚染은 물론 大氣汚染에도 영향을 미치는 경우가 있으므로 地質探査에 의한 조사로 인근하천의 流入을 제어하는 施設工事가 필요하다.

여섯째 施設資材의 부식과 酸化에 의한 汚染對策도 요구된다. 段階的으로 酸化되기 쉬운 施設資材는 되도록 플라스틱材의 代用으로 防止할 수 있으며 되도록이면 洞窟內에 施設을 하지 않고 自然의 通路를 안전하게 通行할 수 있는 정도로 하는 것이 좋다. 또한 각종



地上 施設은 앞으로는 地下에 매몰시킴이 좋겠다.

② 綠色公害(下等植物과 微生物)의 汚染對策

첫째 검푸른 곰팡이類를 제거키 위해 안식향산(0.05%~0.08%), Dehydroacetic acid(0.03~0.06%), Sorbic acid(0.15%~0.3%)와 같은 藥 撒布를 함이 좋은듯하다. 그러나 洞窟內 生物에 커다란 영향을 주기에 자주 사용해서는 안된다.

鋼鐵솔이나 기타의 物質로 닦아내는 方法은 公害가 없는 좋은 方法이지만 그 洞窟 壁面에 凹凸이 많아서 실지로 實用性이 적다. 또한 닦아내는 過程에서 壁面을 汚損시키기도 하는 欠點이 있다. 다만 鍾乳瀑布와 같이 줄기가 커다란 壁面일 때에는 이 方法의 이용이 가능하다.

이밖에 Sand-Brush로 닦아내는 方法이 있는데 이 方法으로 洞窟의 壁面을 닦아낸 다음 물로 씻어내면 公害도 없고 鍾乳石도 파손되지 않은 가장 좋은 方法이다.

이 方法으로 復元한 다음에 紫外線 螢光燈이나 S-Song을 洞窟 內部에 산포하면 微生物의 번식을 방지할 수 있다.

둘째 人工照明의 밝기를 水銀燈을 사용하여 70Lux以下로 조절하여 양치類나 이끼類의 發生을 억제해야 한다.

人工照明燈이 照射되는 部位를 집중적으로 同一 部位에 長時間 照射토록 하는 것 보다는 照射되는 角度的 방향을 수시로 바꾸는 것이 좋다.

세째 殺菌燈을 설치하여 間접적인 照射를 하는 것도 고려해볼 수 있으나 洞窟內의 動物에 해를 끼칠 우려가 있으므로 상당한 注意를

요한다.

네째 地下水의 汚染을 방지하여 菌類의 發生을 억제해야 한다.

다섯째 觀光客으로부터 汚染의 근원이 되는 物質投入이 되지 않도록 유의한다.

### ③ 二次生成物の 汚損 對策

鍾乳石이나 石筍 등의 二次生成物들의 汚損을 방지하기 위해서는 아래와 같은 몇가지를 생각해 볼 수 있다.

첫째 鍾乳石이 오랜 세월을 거쳐 자라왔으므로 중요한 자연자원임을 모든 觀光客에 인식시켜야 하겠다.

鍾乳石의 成長은 地下水 물방울의 크기, 洞窟內 蒸發의 정도, 通風 상태, 그리고 溫度와 濕度, 물방울의 滴下를 초래하는 條件, 表面漲力 粒管現象, 重力등에 관계된다고 하나 대개 年間 0.5 mm의 成長을 나타내고 있음을 보아 몇 萬年 걸린 조물주의 작품임을 강조하여 自然保護心을 일깨워줘야 한다.

둘째로는 入洞觀光客들에게 物品器材를 갖고 들어가지 못하게 하는 제도가 요구된다. 현재까지는 잘 실시되고 있지만 洞窟內部的 物品搬入은 무조건 環境汚染과 汚損의 原因이 되기 때문이다.

세째 觀光客에게 通路를 벗어나지 못하게 강요하여야겠다. 寫眞影 때문이라는 구실로 通路를 벗어나고 있는데 이는 즉 二次生成物の 汚損의 原因이 된다.

네째 保護網을 施設하되 되도록이면 굵지않은 鐵網으로 하여 景觀이 잘 透視되게끔 하여야 한다.

다섯째 중요한 鍾乳石이나 石筍·石柱에는 說明文을 부착하여 自然物의 이해와 보호에 대한 관심을 갖게 해야 한다.

여섯째 落盤의 우려가 있는 地物부근에는 觀光客이 근접 못하게 案内文을 게시하여야 한다.

일곱째 二次生成物과 洞窟의 洞壁의 表面을 보호하기 위하여 주기적으로 撤水作業으로 洞窟內的 濕度유지에 힘써야 한다. 特히 觀光開場이 끝난 후의 撤水作業의 또는 곳곳에 人工瀑布施設이 바람직하다.

여덟째 이미 汚損된 鍾乳石은 人工的인 復元方法에 의하여 復元시킴이 좋겠다.

汚損鍾乳石의 人工復元方法으로는 多孔性的 化學物質로써 比重이 0.15 ~ 0.18 정도되는 가벼운 物質을 이용하여 이것을 鍾乳石에 가까운 모양으로 彫刻한 다음, S-MIN과 P-Yong 化學物을 接着制로 사용하여 이의 模造品을 汚損된 鍾乳石 부분에 접착시킨다. 그리고 染料로 彩色한다.

이때에 이 模造品은 自然生成의 鍾乳石과 同一하게 보일뿐만 아니라 水分이나 溫度變化에도 耐性を 지닌다. 그리고 S-Song을 防腐制로 사용하면 (1~0.5%) 微生物의 寄生을 방지할 수 있다.

#### ④ 棲息 動物環境 파괴의 대책

첫째 棲息環境中の 가장 중요한 榮養供給源의 확보에 노력하여야 하겠다. 生物의 서식에 도움주는 榮養客土(운반토)의 공급은 물론 昆蟲과 박쥐 등의 棲息環境을 지어줘야 한다.

둘째 動物의 保護區域을 설치하여 一定한 自然環境속에서 그대로 洞窟生物이 서식할 수 있는 環境을 지어준다. 즉 出入制限은 물론 開發施設을 하지 않는 洞窟속의 몇개 區域을 설정하여 洞窟生物保護區域으로 한다.

세째 出入하는 觀光客들이 洞窟內에 物品을 반입하지 못하게 하며 生物生態系에 變化를 초래할 수 있는 汚染의 原因이 될 각종 廢棄物이나 배설물 등이 없도록 한다.