

# 동굴관리의 문제점과 발전방향에 관한 연구

지 종 덕\*

## A Study on the problems and the improvement of the cave management

Jong Duck Ji\*

**요약** : 본 연구는 동굴자원의 실태와 문제점을 분석하고, 이를 토대로 발전방향을 도출하여 동굴관리에 기여하는데 목적이 있다. 연구내용은 동굴의 유형과 형성요인을 비롯하여 동굴의 이용 및 동굴자원의 특성과 변화요인을 분석하고 이를 기초로 문제점과 발전방향을 고찰하였다. 연구결과 정책적으로 동굴의 환경진단 실시하고 보전대책의 수립하여 동굴오손 및 동굴오염을 방지하려는 종합적인 노력이 필요할 것으로 나타났다. **주요어** : 동굴관리, 동굴자원, 생태환경, 환경진단

**Abstract** : The purpose of this study is to analyze the actual condition and the problems of the cave resources, and to suggest the improvements of the cave management. For this purpose, I analyzed the use of cave and the characteristics and the changing factors of the cave resources as well as the types and the formative factors of caves, and then investigated the problems and the improvement of the cave management. In conclusion, it is necessary that the comprehensive policies to prevent caves from staining and contaminating be established such as the environmental assessment and the conservative policies.

**key word** : cave management, cave resources, ecology, environmental assessment

### I. 서론

동굴은 생성의 원인이나 형성과정 그리고 형태에 따라 달리 분류된다. 자연굴과 인공굴로 대별되기도 하고鍾유굴, 용암굴 및 파식굴과 절리굴 등으로 세분되기도 한다. 물론 그 형태에 따라 수평굴과 수직굴로 구분될 수도 있다.鍾유굴은 석회동굴이라고도 하며 주로 석회암지역에 널리 분포된다.<sup>1)</sup>

용암굴은 화산이 분출할 때 외측은 냉각하여 굳어지나 용암이 흘러가 버린 내부는 이른 바 공동을 이루어 마치 사람의 창자 내부와 같은 지형을 이룬다. 그리고 파식굴에는 해석동굴과

파식동굴로 구분되는데, 그 대부분이 해안의 해수, 파도의 파식작용으로 이루어진 파식굴이다.<sup>2)</sup> 이밖에도 절리면을 따라 수식작용으로 암반이 삭박되어 절리면이 커져 암굴로 되는 절리굴이 있다. 실제로 절리굴은 대부분이 화강암의 절리에서 많이 나타난다.<sup>3)</sup> 그리고 고생대에 속하는 규암층에 생긴 이른바 역단층에 의한 파쇄대(破碎帶)로 생긴 각력암(角礫岩) 지하수류로 유출 삭박되어 그 곳에 암굴이 발달되는 것이다. 그 밖에 인공굴은 인간의 어떤 목적 수행을 위한 시공동굴로 주로 군사적인 목적과 산업적인

\* 명지전문대학 지적정보과 교수(Professor, Department of Cadastral Information, Myongji College)

목적에 의하여 만들어 놓은 것이다. 동굴은 그 성인에 따라 구별된다.

최근에 계속적인 동굴의 관광개발과 산업개발에 따른 자연환경의 파괴, 그밖에 농약에 의한 희귀생물과 미생물의 빈사상태의 야기 등은 커다란 우려를 던져주고 있는데 많은 사례들에서 이들 자연환경의 정상적인 보전이 필요하게 되었다. 동굴환경의 변화는 그 위치의 지역성, 생태환경 등에 따라 각각 달리 나타나고 있으나 훌륭한 동굴문화재를 후세에 유산으로 남겨주기 위한 만반의 대책이 강구되어야 한다.

특히 지역경제적인 현실문제만 치우치지 말고 문화재의 영원한 보존관리를 위한 제반대책이 절실하게 요구되는 실정이다.

이러한 시점에서 본 연구는 동굴의 의 논리적 기초를 검토하고 동굴의 특성과 변화요인을 비롯하여 동굴관리의 문제점을 분석하고, 이를 토대로 동굴관리의 발전방향을 도출하여 정책결정 과정에 기여하고자 한다.

## II. 동굴의 논리적 기초

### 1. 동굴의 유형과 형성

석회암 지역에서는 용식에 의하여, 해안지방에서는 파식에 의하여 형성된 공동(空洞)으로 동굴의 종류와 형성요인의 차이가 있다.

#### 1) 석회암 동굴

석회암동굴은 탄산칼슘을 주성분으로 하는 석회암층의 내부를 빗물이 용식해서 형성한 동굴로, 대체로鍾乳石(鍾乳石)이 있으므로鍾乳洞이라고도 한다. 빗물은 공기나 표토(表土) 속에 포함되어 있는 탄산가스를 녹여 약산으로 작용하여 조금씩 석회암을 용해한다. 단층면이나 절리면(節理面)을 따라 용식하기 시작한 지하수는

모여서 암층 내에 일정한 유로를 만들고, 유로를 따라 큰 공동을 만든다. 유량이 많으면 유력(流礫)은 기계적으로 석회암을 깎는다. 또 천장의 낙반(落盤) 등이 수반되면 동굴은 확대된다. 그러나 종합적인 조혈작용(造穴作用)은 상류 쪽이 크다. 또 석회암층이 넓은 지역을 차지하고 지상이 안정되어 있을수록 큰 동굴이 형성된다.

#### 2) 해식동

해식동은 바닷물의 물리적인 충격작용으로 이루어진 것으로 파식동이라고도 한다. 일반적으로는 암층의 갈라진 틈, 즉 층리나 절리, 단층 등 저항력이 약한 부분에서 시작되나 관입(貫入)된 암맥(岩脈)이나 비교적 연한 암층과 암석의 국부적인 탈락(脫落)에 의해서 이루어지는 것도 있다. 동굴 안쪽은 파랑(波浪)의 파쇄력이 크게 작용함으로써 암력이나 모래가 쌓여 알아지는 경우가 많다. 해안선으로부터 높은 곳에 있는 응기(隆起) 해식동과 만조(滿潮) 때에는 바닷물에 잠기는 침강(沈降) 해식동이 있는데, 이들은 석회암 동굴이 석회암 지대에서만 생기는 것과는 달리 모암(母岩)의 종류에 관계없이 발달된다.

#### 3) 용암굴

용암터널은 용암류(熔岩流)의 표면이 냉각 응고할 때 내부의 가스나 녹은 용암이 밖으로 빠져나간 자리에 터널 모양의 공동이 형성된 것으로, 역사는 모암의 역사와 같다. 동굴 내부에는 석회암 동굴에서 볼 수 있는 것과 같이 남아 있는 용암 방울에 의해서 고드름 같은鍾乳石이나 석순이 생기는 경우도 있다.

#### 4) 풍혈

동구(洞口)의 대소, 암석의 종류에 관계없이 내부 공기의 대류(對流)에 의해서 동구로부터 바

람이 불기 시작하는 동굴을 말한다. 대체로 풍혈(風穴)은 퇴암(堆岩)의 틈 사이에 형성되는 경우가 많아서 높은 암벽 밑에서 흔히 볼 수 있다.

### 5) 인공동굴

광산·채석장·터널·방공호·지하요새·고대묘지 등의 흔적으로, 상당히 많다. 석회암 동굴과 용암굴은 내부에 2차 생성물이 생기는데 대부분의 경우 눈이 퇴화된 특수한 동물이 서식한다. 석회암 동굴의 2차 생성물은 물에 녹은 탄산칼슘이 여러 가지 모양으로 재결정(再結晶)된 것으로, 생기는 장소나 모양에 따라 종유석·석순·석회화(石灰華)·동굴진주 등이다.

용암굴의 2차 생성물도 규산중유나 규산석순 등은 석회암 동굴의 종유석과 비슷한 과정에서 형성되나, 용암중유나 용암석순은 형성된 후에 발달할 수가 없으므로 오히려 1차 생성물에 가깝다. 2차 생성물이 잘 발달된 동굴은 학술상으로 의의가 클 뿐만 아니라 관광자원으로서도 중시된다.<sup>4)</sup> 한국에는 충북·경북 일대에 동굴이 많이 분포하여 천연기념물로 보호되고 있다.

삼척의 환선굴(幻仙窟)·대이굴(大耳窟)·초당굴(草堂窟)·신령굴(神靈窟)·용연굴(龍淵窟), 정선의 주암굴(晝岩窟), 평창의 백룡굴(白龍窟), 영월의 고씨굴(高氏窟)·용담굴(龍潭窟), 단양의 고수굴(高藪窟)·노동굴(蘆洞窟)·온달굴(溫達窟)·지하굴(地下窟), 원성의 금대굴(金垔窟), 봉화의 평천굴(坪川窟), 울진의 성류굴(聖留窟), 익산의 천호굴(天壺窟), 문경의 관산굴(冠山窟) 등을 들 수 있다. 그밖에 용암굴로는 제주에 있는 김녕사굴(金寧蛇窟)·만장굴(萬丈窟)·협재굴(狹才窟) 등이 대표적이다. 레저스포츠로서 동굴탐험은 케이빙(caving)이라고 하며,<sup>5)</sup> 동굴과학(생물학·고생물학·지학·물리학·화학·인류학)을 조사하는 데 바탕이 된다.

## 2. 동굴의 용도

### 1) 주거지·유적지

동굴은 외전 방어와 비바람을 피할 수 있을 뿐만 아니라 동굴내부의 온도가 연중 비슷하기 때문에 옛 조상들의 주거지로서 이용되어 왔다.

물론 동굴 입구 부근에 국한된 일이고 깊숙한 동굴 내부는 어둡고 습기가 많아서 주거지는 동굴 입구가 이용되었다.

우리나라도 중서부인 한강 유역에 있는 동굴 입구 속에서 타제석기나 마제석기 그것도 사냥용 또는 농경용 석기들이 발견되고 있음은 이를 고증해 주고 있는 사례이다. 단양의 고수동굴 입구에서의 석기 발견, 그밖에 청원군 미원의 청석다리굴의 입구 벽면에서의 성혈 등의 발견들은 이들을 말해 주고 있다. 그 밖에 중국 북경 부근의 주구점에 있는 원인동굴, 산정동굴 등에서는 지금부터 50만년전부터 약 1.5만년전까지 유인원들이 살고 있었음을 알려주는 유적지이다.

### 2) 저장소·재배지

동굴 속은 연중 기온이 비슷하고 습기는 많으나 캄캄한 환경을 이루고 있어 예부터 누에씨의 보관, 시물종자, 양파, 고구마 등의 저장, 그밖에도 양송이 재배등으로 이용되어 왔음이 일본 또는 우리나라 제주도 등지에서 발표되고 있다. 더구나 유럽에서는 야채, 포도주, 치즈 등의 저장지로 이용되었고 현재도 세계 각처에서 이용되고 있다.

### 3) 군사지·피신처

2차 대전당시는 특히 유럽 본토는 물론 우리나라, 베트남 등 동남아시아, 각지에서 동굴이 작전기지, 전략물자, 기타 생화학품, 임진왜란 때의 피난지 또는 피신처, 방공호 등으로 이용되어 왔다. 울진의 성류굴, 영월의 고씨굴 등이 그

사례이다. 특히 태평양 전쟁 말기의 일본 큐우슈우의 많은 동굴들이 전략 물자의 보관처로 이용된 사례가 많다.<sup>6)</sup>

4) 수련장편의장

이 밖에도 동굴은 심신의 수련장과 수도 장소, 신앙이나 미신의 성소, 도박장 뿐만 아니라 때로는 집회장소, 고려장 터, 매장지, 폐기물 등으로 이용되어 오기도 하였다.

온달굴은 온달장군의 수도장이었고 고씨굴은 고려장 터, 화암굴은 결혼식장, 그밖에 제주도의 많은 동굴 입구나 함몰구는 폐기물 처리장 등으로 이용되었던 사실이 밝혀졌다.

5) 약초자수원지

한편 동굴 속에서 서식하고 있는 박쥐의 배설물을 모구아노라 하여 일본에서는 비료로 이용하였고 미국에서는 2차 생성물 중에 미라비라이트, 엘소마이트 광물 등이 채취되어 정화재인 약재로 이용되고 초석광은 흑색 화약 원료로 이용되기도 하였다. 그리고 세계 각처에서의 종유석이나 석순 등은 기암괴석으로도 이용되어 장식품으로 이용되었고 중국에서는 돌약재로 근육이나 골수를 보양하는 약재로 이용되고 있기도 하다. 이외에도 동굴은 그 내부 환경에 따라 다르나 생수 즉 탄산수, 온천수 등의 이용은 물론 수력발전용, 농업관계용수, 양식수원, 도시 상수원으로서의 동굴 지하수의 이용 개발도 활기를 띠고 있다.

6) 관광지·학습장

최근에 자연의 신비로움과 지하 궁전의 화려한 모습, 그리고 지하복마전과 같은 동굴 내 분위기를 이용하여 관광동굴 등이 개발되고 있는데 20세기 초부터 세계는 관광동굴의 개발에 박

차를 가하고 있다.<sup>7)</sup>

최근에는 태초의 신비를 간직하고 있는 동굴들이 자연관찰의 학습 현장으로 개발 이용되고 있다. 선사시대의 주거지였기에 인류 고고학적으로 풍화나 침식을 덜 받은 지질, 지형의 관찰 장소로 그리고 암흑세계와 향온, 향습의 특수 환경 때문에 볼 수 있는 특수 지하생물의 서식처로서의 동굴은 그 학술적 가치가 매우 큰 것이다. 눈이 없거나 퇴화되고 몸체가 희고 작은 생물들, 그밖에 더듬이가 몸체 길이보다 특이하게 길다란 특수동굴생물, 진화의 템포가 느린 화석 곤충 등의 생물들을 동굴 속에서 관찰할 수 있기 때문이다.

Ⅲ. 동굴자원의 특성과 변화요인

1. 동굴자원의 특성

현재 우리나라에는 고수동굴, 성류굴, 고씨굴 등의 석회동굴 이외에 제주도의 만장굴과 협재굴 등이 공개되고 있는 대표적인 관광동굴이다.

이들 동굴들은 계속 드나들고 있는 관광객들에게 자연의 신비로움과 오묘함을 보여주고 있을 뿐만 아니라 자연관찰의 현장으로 그리고 심신단련의 자연도장으로 커다란 몫을 하고 있는 것이 사실이다. 이들 동굴 속에서 우리들은 우리 조상들의 숨결을 엿듣기도 하고 자연창조와 생태변화의 현실을 낱알이 찾아 볼 수 있기 때문이다. 그러나 자연동굴이 점차 오염 또는 훼손되고 있음은 매우 아쉽다. 이는 관광객들의 부주의와 동굴관리자의 무관심이 가져온 소치이다.

석회동굴의 경우 고수동굴내에 있는 종유간들은 해마다 1년에 0.2mm씩의 성장이 계속되고 있다. 이것으로 보아 동굴내에서 볼 수 있는 이들 2차 생성물들은 대부분이 2·4만년의 기나긴 세월동안에 성장한 종유석과 석순 등이 한두 사

람의 부주의로 순간적으로 오손되거나 훼손되는 것은 안된다.8)

대체로 동굴의 환경은 감감하여야 하고 1년동안 계속 동굴 속의 온도가 비슷하거나 같아야 하며 그리고 항상 습기가 많아야 하는 것이므로 이와 같은 동굴환경이 유지되도록 힘써야 한다. 이러한 환경이라야 만이 동굴생물이 서식할 수 있으며 그 동굴생물로서의 특성도 지너 나아갈 수 있게 되는 것이다.9)

동굴의 세계는 그야말로 지표세계와는 달리 신선한 오염되지 아니한 지하세계이다. 대기의 오염, 수질의 오염도 볼 수 없는 자연환경을 이루고 있어 학술적 연구대상은 물론이고 지구과학 각 분야에서의 관찰현장이 되고 있기도 하여 동굴환경을 보전한다는 것이 가장 중요한 당면한 과제이다.

## 2. 동굴자원의 변화요인

동굴은 개발할 때부터 그 내부환경의 변화가 시작된다. 더구나 동굴내부의 보호구역설정을 무시하는 무제한 개발은 환경파괴의 기본이 되고 있다. 동굴의 개발이후 지속적인 환경평가가 요구되고 있음에도 불구하고 당국에서나 개발자가 회피하고 있기 때문에 동굴환경이 파괴되고 있다.

동굴의 환경은 항상 암흑의 세계이고 외부로부터 대기의 영향을 받지 않고 있기 때문에 항상 비슷한 기온을 유지하고 있다. 그리고 비교적 다습한 환경을 지니고 있기도 하다. 이는 동굴의 표면의 지표수가 땅속으로 스며들어가 땅속에서 지하수류를 이루어 형성된 공간이 바로 동굴이기 때문에 동굴속에서는 항상 습도가 높게 나타나고 있다.

따라서 이상과 같은 항암, 항온, 항습의 동굴환경이 외부와는 색다른 환경을 이루고 있기 때

문에 동굴속에는 특수한 생태환경이 조성되고 있어 동굴생물을 비롯하여 동굴속 미지형지물 등 2차 생성물들이 특이한 존재로 형성, 서식되고 있다. 그러므로 동굴의 자연적 환경이 잘 유지되어야만 동굴의 특수한 생태도 영원히 보존될 것이다.

동굴이 개발되어 관광객의 출입이 많은 동굴에서는 개발 이전의 동굴 환경이 그대로 보존될 수가 없다. 동굴 내부의 기온은 올라가고 습기는 건조화 되어가는 통로나 지형지물의 조명시설로 동굴내부가 밝아지는데 지나친 조명으로 인한 녹색공해를 유발시키기도 한다. 또한 동굴 내부의 기온이 오르면 동굴내부에서 건화현상이 일어나 2차 생성물인 종유석, 석순, 석주 등에 이른바 백색공해라는 겹질이 벗겨지는 등의 공해가 나타난다.

동굴의 환경은 자연적 동굴내부의 환경을 그대로 유지하지 않는 경우에는 자연동굴내의 2차 생성물이나 동굴생물에 직접적인 영향과 변화를 일으키게 되므로 동굴의 생태환경은 잘 유지되어야 한다.

## IV. 동굴관리의 문제점과 발전방향

### 1. 동굴자원 관리의 문제점

동굴의 환경파괴는 자연환경의 변화에서 오는 경우와 동굴개발에 따른 인위적인 파괴 등에 의한 것이다. 지진 또는 지각운동에 의한 동굴파괴 또는 동굴환경의 변화도 있겠지만 많은 관광객의 출입에 의한 동굴기온의 상승, 동굴 수질의 변질을 초래할 수 있는 인위적인 폐기물 등에 의한 것도 많다. 동굴의 환경변화와 환경파괴는 동굴의 원칙적인 생태환경을 변질시키게 되므로 동굴생물을 비롯한 동굴의 2차 생성물들의 성장이 멈춘다.

동굴의 경우 동굴 속의 2차 생성물들은 동굴 상층부의 암층구조와 성분, 침투수의 침투량, 수질성분, 침투상태, 지층의 배열과 동굴내의 온도, 습도, 기류 등 수많은 물리 화학적 작용에 의하여 생성되는 것이다.<sup>10)</sup>

특히 동굴생물들은 캄캄한 환경에서 생활하고 있기 때문에 더듬이가 길어지고 눈이 퇴화된 동굴생물이 서식하게 되므로 동굴환경의 파괴와 변화는 동굴생물의 특수성을 잃게 하는 결과를 초래한다. 화산동굴의 환경은 동굴의 입구가 크거나 여러 개소의 출입구가 있지 아니하다면 동굴내부의 환경변화도 크지 않다. 우리나라 제주도의 동굴들은 지표면을 흘러내린 용암류에 의하여 그 속에서 형성된 화산동굴이므로 곳곳에서 동굴의 입구가 발견되고 있다.<sup>11)</sup>

이것은 동굴의 천장에 해당하는 지표면의 지각두께인 지층 두께가 얇기 때문에 오는 지각지층의 함몰, 더구나 지표면에서의 도로개설 등도 요인이 된다. 특히 건조물에 의한 진동 때문에 동굴의 천장을 무너지게도 하고 또 함몰되기도 한다.

### 1) 대기환경의 변화

대기오염의 원인은 1차적인 것과 2차적인 것이 있는데 일차적인 것은 인간이 내뿜는 이산화탄소와 동굴에서 자연적으로 발생하는 아류산가스와 같이 1차적으로 방출되는 것을 말하며, 2차적인 것은 이들의 복잡한 성분들이 서로 화학작용을 일으켜 공해물질들을 방출하는 것을 의미한다.

동굴의 대기는 외부의 영향을 다소 받게 되는데 지표의 대기는 주야의 기온 차에 의하여 주기적으로 변한다. 주간은 공기는 태양열에 의하여 기온이 높아지고 밀도와 기압은 낮아지게 되어 상대적으로 기압이 높은 동굴내로 기류 이동

이 나타난다. 야간에는 반대로 지표의 공기는 냉각되어 기온이 내려가고 밀도와 기압이 높아지므로 상대적으로 기압이 낮은 동굴에서 입구쪽으로 기류가 이동한다.

동굴내부는 습도가 높고 일정하게 나타나는데 동굴입구 주변에서는 변화가 심하나 내부로 갈수록 습도가 하강한다. 이것은 습도가 기온의 영향을 많이 받고 있기 때문이다. 화암동굴의 경우는 동굴의 광장부분이 매우 넓으며 동굴의 입구는 좁고 긴 형태를 유지하고 있어 대기의 영향을 광장부분에서는 거의 받지 않으며 때문에 습도에도 큰 영향을 많이 받고 있다.

### 2) 동굴퇴적물의 오손

동굴이 개발되면 내부에 존재하는 2차 생성물들은 오손, 오염되는데 이는 관광객, 동굴내의 시설에도 크게 관계된다.

동굴내 석순, 종유석 등과 같은 2차 생성물들이 파괴되어 가는 요인들은 다음과 같다. 2차 생성물들은 자연적인 중력이나 그밖에 자체하중, 낙반현상 등에 의하여 파손된다.

동굴이 개발되기 전에 지역주민이나 수집가들에 의하여 인위적인 파괴가 있으며, 동굴을 개발하면서 통로나 시설을 설치할 때 파괴된다. 관광동굴로 개발된 이후 관리미비로 인하여 관광객들에 의한 파손도 있다.

### 3) 동굴의 생태변화

동굴생태계에 가장 큰 영향을 주는 것은 일반적으로 영양분과 습도이다.

이는 미공개 동굴의 경우에 한하며 개방된 동굴의 경우에도 습도와 조명의 밝기, 기온, 영양분 등을 중요한 생태변화 인자로 볼 수 있다.

동굴의 생태환경 조건중 습도의 유지는 매우 중요한데 미공개 동굴의 경우는 습도가 70%내

외로 향습을 유지한다. 그러나 동굴이 개발되면 조명등에서 발생하는 열, 관광객의 호흡과 같은 인위적인 영향에 의하여 동굴의 습도변화가 되는데 향습의 조건을 유지하기 위하여 스프링클러를 이용하는 경우도 있다.

개방동굴에 있어서는 생태계에 중요한 영향을 미치는 것이 조명의 밝기와 각도 등이다. 조명이 특정부분을 지속적으로 집중하게 되면 그 부분은 열과 밝기, 적당한 온도, 습도에 의해서 녹색의 균류가 발생하게 된다.<sup>12)</sup>

동굴이 개발되면 조명과 시설, 관광객에 의하여 동굴생물들은 변형된 동굴환경에 적응하지 못하여 멸종하거나 보다 안정된 환경을 찾아 동굴 깊숙한 내부로 들어가 버리는 경우가 있다. 특히 관광동굴로 개방된 이후 찾아드는 관광객들로 이를 매개체로 하여 동굴내로 들어오는 각종 세균, 신발에서 묻어 들어오는 각종 미생물 등이 동굴생태계를 변화시킨다.

## 2. 동굴자원 관리의 발전방안

### 1) 환경진단의 실시

동굴의 환경진단은 일반적인 인사사고에 대비하는 안전진단과는 다르다. 동굴의 생태환경의 보전을 위한 보전책도 강구하며 특히 동굴생물의 생태유지 등의 실태를 조사하는데 목적이 있다고 하겠다. 동굴은 소중한 천연적인 자연자원이기 때문이다.

최근에 세계의 모든 나라에서는 이와같은 지하세계의 탐승을 위한 관광개발이 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라는 1993년도에 비로소 공개되고 있는 관광동굴에 한하여 1회 이상의 환경보전을 위한 안전진단을 실시할 것을 당국에서 지시하고 있는 실정이다.<sup>13)</sup>

관광동굴은 매일같이 많은 관광객의 출입을 겪어야 하기에 공개된 동굴들은 관람객의 편의

도모는 물론, 동굴 생태환경의 보전과 인명의 안전보호와 안전관리를 위하여 정기적으로 동굴을 둘러싸고 있는 지질구조, 동굴내부의 각종시설 등에 대한 안전성을 비롯하여 그밖에 환경보전을 위한 조사라고 할 수 있어 해마다 1회 이상의 안전진단과 실태조사가 있어야 한다.

어떤 동굴은 수해 때에 동굴이 침수되어 동굴의 생태환경이 크게 변화되는 경우도 있다. 특히 관광개발 이후 동굴내부의 동굴환경 변화의 실태자료가 거의 없다. 따라서 동굴의 지속적인 보호와 보전을 위해서는 제도적 장치로 동굴의 생태환경 진단을 실시하여 관리하는 시스템이 구축되어야 할 것이다.

### 2) 보전대책의 수립

동굴이 공개되면 반드시 출입하는 관광객이나 그밖에 편의시설 등에 의한 동굴의 파괴는 피할 수 없다. 다만 어떻게 오손, 오염을 미연에 방지할 수 있으며 저감시킬 수 있는가 하는 것이 문제이다.

동굴속의 중유석과 석순과 같은 2차생성물인 동굴퇴적물 등은 오랜 시일에 걸쳐 생성되어온 것이다. 어떤 것은 1-2만년에 걸쳐 성장한 것도 있으므로 이들이 이단 오손되거나 파괴되었을 때는 영원히 복구되지 못한다. 일단 파괴되면 그만큼이므로 이들에 대한 항구적인 보전 대책이 있어야 된다.

선진국가에서는 오래전부터 동굴환경의 보전과 오염방지를 위한 꾸준한 연구실험이 실시되어 오고 있다.<sup>14)</sup>

동굴의 환경보전은 동굴의 생태보전을 위한 동굴환경의 유지관리 그리고 동굴의 2차 생성물의 지속적인 성장환경을 유지하는데 있다.

동굴은 항온, 향습의 환경을 지녀왔으므로 이에 따른 2차적 지형지물의 생성, 지하수 생물의

서식 등이 이루어져 왔다. 동굴속의 2차 생성물들은 동굴상층부의 암석구조와 그 성분, 지하수의 투수량과 수질성분, 투수상태 그리고 지층의 배열과 동굴내의 기류, 습도, 온도 등과 밀접하게 관계되고 있다.<sup>15)</sup>

동굴환경의 유지를 위하여 입동객에 의한 동굴내부의 온도상승, 습도의 저하를 조절하기 위한 기본 자료를 수집하기 위해서 공개 동굴에 대해서는 기상관측 설비가 필요하다. 기상관측에 의하여 수집된 기본 자료를 통하여 동굴내의 환경변화를 파악하고 이에 대한 대책을 수립할 수 있기 때문이다.

### 3) 동굴자원의 보전방안

#### (1) 동굴오손의 방지

동굴 관광은 신비로운 지하세계에 대한 호기심과 동굴 속에서 볼 수 있는 2차 생성물에 의한 지하궁전 경관 등의 관찰, 감상에 있다. 즉 동굴속 지형지물의 경관양상이 동굴의 관광적, 학술적인 가치와 직결되는 것이다.

더구나 종유석과 석순 등의 동굴 퇴적물들은 계속 자라는 돌이라고는 하나 성장속도가 매우 느려서 가장 빨리 자라는 종유관이나 종유석의 성장이라고 해도 우리나라 평균치를 본다면 직경 5mm 크기에 1cm 자라는데 약 15년이 소요된다. 이러한 추정치는 동굴의 상층지질구조, 동굴 지표면의 기후조건, 동굴 내부환경 조건 등에 따라 크게 달라진다고 하나 실제로는 매우 오랜 시일에 걸쳐 성장하는 것이므로 동굴 퇴적물의 오손은 어떠한 경우에도 방지해야 된다.<sup>16)</sup>

이에따른 동굴오손 방지방안은 다음과 같다.

첫째, 동굴 내부의 환경유지는 물론이고 2차 생성물의 계속적인 성장, 동굴 속의 성장을 위하여 동굴 지표면에 주기적인 인공 살수작업으로 동굴 퇴적물을 촉진시키고 동굴 환경의 보전 관

리를 기하도록 한다.

둘째, 공개를 위한 개발작업에 있어서는 동굴 환경의 원형유지에 주력하여 통로 및 관광편의 시설의 과잉 공사로 주변환경이나 동굴내부의 환경 파괴를 초래하지 않도록 한다.

셋째, 지표면의 생태보호 관리를 위하여 석회질암석 토양의 토양보전을 기하여야 하겠다. 지표면의 식생 및 지형 보호 등으로 석회질 토층을 확보 유지하고 정상적인 지형유회를 기하도록 한다.

넷째, 관광객에게 사전에 동굴 퇴적물의 중요성을 이해시키는 교육을 하고 제반 안내문이나 설명문을 배포한다.

다섯째, 관광객이 동굴내부의 오손이나 오염에 영향을 줄 수 있는 물건은 반입하지 못하도록 물품관리소를 따로 마련하도록 한다. 지팡이, 우산 등의 물건은 동굴 퇴적물을 오손시킬 수 있는 도구가 된다.

여섯째, 동굴내부의 지형지물 중 토지 붕락이나 낙반이 일어날 수 있는 지점에는 반드시 이를 방지할 수 있는 시설대책이 필요하다. 특히 지면이 진동할 경우 위험이 있을 것으로 판단되는 것은 사전에 제거하는 것이 바람직하다.

#### (2) 동굴오염의 방지

동굴환경은 주로 온도와 습도의 변화에 의하여 달리 변하게 된다. 더구나 지나친 기온 상승, 건화 현상 등은 환경변화에 직결된다. 생태계 변화는 녹색공해나 백색공해, 흑색공해와 같은 공해현상이 나타나게 된다.<sup>17)</sup>

이에따른 동굴오염의 방지방안은 다음과 같다.

첫째, 동굴 내부의 계속적이고도 변화없는 온도와 습도의 유지를 위하여 동굴내 인공폭포와 같은 작업과정이 필요하다.

둘째, 동굴내의 제반시설인 통로시설이나 부



대시설을 되도록 산화되기 쉬운 철제물을 사용하지 않고 부식되지 않는 물품자재를 사용한다.

셋째, 동굴 내에 오염 수거 시설을 두어서 오염을 버리지 않도록 하여야 한다. 건전지, 음식 찌꺼기 등이 동굴 내에 버려지게 되면 수질오염 및 동굴환경의 전반을 악화시킨다.

넷째, 오염공해의 제거처리는 약물세제를 사용하거나 동굴 지하수를 이용하는 것이 바람직하다.

다섯째, 박리된 퇴적물의 표피는 석회질 분말 용액과 시멘트 등의 접착제를 혼합하여 이를 코팅 또는 부착시키는 것도 유용한 방법이다.

여섯째, 지하수계의 직접 또는 간접침입을 막아 외부로부터의 수류 침입때문에 동굴내 호수나 동굴연못, 동굴류의 수질이 오염되지 않도록 한다.

일곱째, 동굴내에 사용하는 재료, 시약 기재 등은 무공해 약품, 무공해의 재료를 쓰도록 하여 환경오염을 초래하지 않는다.

여덟째 동굴내의 보호를 위하여 온도, 습도의 계속적 유지는 물론 소음진동 공해를 없애도록 일정한 곳의 보호지역을 정해둔다.

아홉째, 기류유동을 조절하여 풍화, 건화 등의 이상변화가 나타나지 않게 시설설비를 한다

## V. 결 론

최근 동굴의 관광개발과 산업개발에 따른 자연환경의 파괴, 이에 따른 희귀생물과 미생물의 빈사상태의 야기 등은 커다란 우려를 자아내게 한다. 이러한 많은 사례에서 자연환경의 정상적인 보전의 중요성이 대두된다.

동굴환경의 변화는 지역의 지역성, 생태환경 등에 따라 각각 달리 나타나고 있으나 천연동굴의 자원을 후대에 남겨주기 위하여 만반의 대책

이 강구되어야 한다.

관광개발에는 환경파괴가 뒤따른다는 점은 누구나 무시할 수 없는 사실이기 때문이다.

따라서 최소한의 개발로 환경의 유지보전을 기하도록 하여야 하며 지속적인 환경 변화상태의 파악이 요구된다. 본래 동굴인 경우 외국에서는 동굴길이의 30% 이상의 구역들이 환경보전을 위한 동굴보호 구역으로 설정되어 있다.

뿐만 아니라 동굴이 기념물로 지정되고 있는 경우에는 지형지물이나 생태환경에 대한 각별한 보전관리 조치가 필수조건이다.

우리나라 기념물동굴을 관리하고 있는 문화재관리국은 지금까지 40여년 동안 동굴에 대한 기념물 지정, 환경보전관리에 커다란 역할을 하였다. 그럼에도 불구하고 민간단체가 주관하는 동굴과 국가가 관리하는 일부 동굴들에 대한 관리가 부실해 지고 있다.

관광개발에서 동굴은 1년에 1번 이상의 환경생태 평가조사를 실시하도록 1983년에 강력히 권고 지시하면서도 제대로 시행되지 못하고 있는 것이 현실적인 문제점으로 개선되어야 한다.

본 연구결과에서 나타난 동굴자원과 환경보전을 위한 사항을 종합하면 다음과 같다.

첫째, 동굴 내에 인공폭포, 살수작용 등으로 온도의 저감, 일정 습도의 유지 등에 유의하여야 한다.

둘째, 출입 인원의 통제로 동굴 내부 환경의 변화를 저감시켜야 하겠다. 동굴내의 적절한 체동 최대 인원을 계측하여 동시에 과도한 관광객이 동굴 속에 오랫동안 체제하지 않도록 조절하여야 한다. 따라서 인원의 제한, 관광 개방시기에 제한 통제 등과 같은 대책이 필요하다.

셋째, 출입구를 좁게 하여 외부의 대기가 동굴 내부에 영향을 덜 주도록 하여야 한다. 동굴 내부의 습도는 그 위치, 고도에 따라 다르게 나

타나고 있으므로 항온, 항습 상태가 유지될 수 있도록 동굴 입구가 좁거나 작아져야 한다.18)

넷째, 관광에 지장을 주지 아니할 정도의 조명을 유지하여 지나친 조명시설로 인한 동굴 내부의 기온상승에 따른 환경변화가 나타나지 않도록 한다.19)

기타 동굴의 환경보전 대책을 위한 예치금 제도를 준수하여 필요시에 보수작업 할 수 있도록 예산확보 및 환경진단 등의 제도적 장치가 필요하다.

그밖에도 동굴자원의 유지관리를 위한 전문가들의 세미나개최 및 생태환경 보호를 위한 지속적인이고 종합적인 노력이 강구되어야 할 것이다.

### 文 獻

김병문, 1986, “한국 관광자원의 유형별 분포에 관한 지리학적 연구,” 경희대학교학원 박사논문  
 김원인, 1995, 관광학 원론, 학문사, 서울  
 문화공보부, 1994, 한국의 동굴  
 울진군, 1992, 성류굴의 환경보전 및 안전진단조사 연구보고서  
 유영준, 1997, “동굴의 관광자원으로서의 가치”, 동굴, 49, 31-43  
 유영준, 1998a, “울진 성류굴의 관광적 특성”, 동굴 53, 15-24  
 유영준, 1998b, “경북지역 동굴의 관광적 특성”, 동굴, 54, 9-20  
 이 근, 1996, 신관광자원론, 학문사, 서울  
 이장춘, 1993, 관광자원론, 대왕사, 서울  
 정선군, 1996, 정선군 화암동굴의 환경보전 및 안전진단연구보고서.  
 조현호, 1998, 관광학개론, 대왕사, 서울  
 한주성, 1996, 인간과 환경, 교학연구사, 서울  
 홍시환, 1978, “동굴의 이용에 관한 연구”, 동굴, 2(3), 17-35  
 홍시환, 1987a, “우리나라 주요 관광동굴 실태에 관한 조사 연구”, 동굴, 14(15), 1-16

홍시환, 1987b, “관광동굴의 환경 변화와 보전에 관한 연구”, 동굴, 15(16), 17-60

홍시환, 1990, 한국동굴대관, 삼주출판사, 서울

홍시환, 1998a, “동굴의 이용과 환경보전”, 동굴, 54, 3-8.

홍시환, 1998b, “우리나라 화산동굴의 지형구조 분석 - 만장굴을 중심으로”, 동굴, 55, 15-32.

홍시환, 유영준, 홍충렬, 1997, “동굴의 국내 연구 동향”, 동굴, 49, 3-30.

홍충렬, 1998, “우리나라 관광석회동굴의 환경보전 연구”, 동굴, 55, 33-44.

### 註

- 1) 우리나라에는 전국에 약 1천여 개소의 동굴이 있다고 하나 그 근거가 매우 애매하다. 종유굴은 물이 땅 속으로 스며들어 석회암을 용해시켜 이루어지는 동굴로 천태만상의 종유석(Stalactite)과 석군(Stalagmite), 그리고 석주(Column)들의 장관이 지하궁전의 시비경을 이룬다. 종유굴의 대표적인 예는 울진의 성류굴, 영월의 고씨굴, 정선의 화암굴, 삼척의 초당굴, 환선굴, 관음굴, 단양의 영춘남굴 등이다.
- 2) 용암굴로는 제주도의 빌레못 동굴, 만장굴, 김녕사굴 등이 있으며, 파식굴로는 오동도의 해식굴을 비롯한 남해안의 해변동굴들이 이에 속한다.
- 3) 절리굴로는 마니산의 화암약수굴, 충북미원의 청석다리굴 등 그리고 산정 부근에 분포되고 있는 암굴들 중에서 많이 볼 수 있다.
- 4) 동굴은 석기시대에 이미 인류의 주거지로 이용되었으며 당시부터 근대까지 신앙의 대상이 되기도 하였다. 전쟁 때에는 피난처로서 이용되어 왔고, 지표수(地表水)가 적은 지역에서는 물을 동굴에서 구하기도 하였다.
- 5) 동굴탐험에는 개인장비(헬멧·캠랩프·하켄·카라비너·해머·점핑·스터드볼트), 공동장비(조립식 사다리·쇠줄 사다리·자일·고무보트·에퀴링), 측량용구(평판·핸드레벨·나침반·경사계·거리계·자·풀), 통신연락기구(호루라기·유선전화·트랜시버), 온도계·습도계·카메라·섬광(閃光)촬영장치 등의 특수장비가 필요하다.
- 6) 한국 전쟁 때의 태백산 지역의 많은 동굴이 작전기지로 이용되었고 사이판, 괌 등 태평양 섬들의 동굴 또한 이들의 좋은 사례이다.
- 7) 일본의 경우 110개호의 동굴이 개발되고 있고 미국도 100개소에 가까운 관광동굴이 개발된 반면, 중국 본토에는 약 30개호, 우리나라에는 10개소 밖에 안되는 관광동굴이 개발 이용되고 있다.

- 8) 동굴생물의 경우에도 동일하다. 동굴생물로서의 특징은 캄캄한 환경속에서 살아왔기에 촉각인 더듬이가 몸길이의 몇배나 되고 한편 어둠의 환경 때문에 눈이 필요치 않아 이른바 눈이 퇴화된 장님옆새우가 서식한다. 이와같은 생물들이 밝은 전등불 밑에서 살게 된다면 동굴생물이 지녀야 할 특성도 없어지게 될 것이 틀림없을 것이다.
- 9) 동굴의 환경보전은 물론 동굴 속 지형지물의 보전에도 유의하여야 하겠다. 관광통로의 개통을 위한 지형지물의 오손은 물론 정원석이나 장식품으로서의 수석으로 동굴 속에서 갖고 나오는 행위들은 삼가야 할 여건이라 하겠다. 그리고 동굴 관광 때에는 지형지물에 손을 대지 말아야 하며 되도록 전지약이나 그 밖의 모든 것을 동굴 속에 버리지 않도록 하여야 한다.
- 10) 동굴을 하나의 자연학습의 현장으로만 이해하여서는 안되고 오랜 세월을 거쳐 형성된 지구과학의 학습장으로서 그 가치가 매우 소중한다는 것을 인식하여야 한다. 그러므로 함부로 훼손해서는 안되며 부득이한 개발의 경우 원래의 환경을 유지할 수 있도록 강구하여야 한다.
- 11) 실지로 제주도의 많은 동굴들 중에서 지표면에서의 수직 구멍을 뚫려있는 출입구들은 이상과 같은 지반의 함몰이나 아니면 동굴을 이루고 있던 개스의 분출구멍이 확대되어 오늘의 출입구가 된 것이 많다.
- 12) 균류가 계속 성장하게 되면 하등식물로 되어 동굴생태계에 큰 영향을 주는데 이러한 현상을 녹색공해라고 한다.
- 13) 안전진단이란 공개되어 관광개발된 동굴에 대하여 정기적으로 그 동굴환경에 대한 안전성을 확인하는 작업이다.
- 14) 한때 단양의 고수동굴에서는 녹색공해나 박리공해에 대한 방지방안을 실험 중에 있기는 하나 아직도 뚜렷한 성과를 보지 못하고 있는 실정이다.
- 15) 동굴퇴적물의 크기, 성장속도 등은 반드시 동굴속의 환경에 따라 달리되는 것이므로 이와 같은 동굴환경의 유지 보전을 위한 방안은 계속 유지시켜 주기 위한 각종 대책이 마련되어야 하는 것이다.
- 16) 물지각한 사람들에 의한 훼손, 처음 개발 공사 당시의 파괴 등으로 동굴의 경관은 점차로 파괴되는 오손 되어 가고 있다.
- 17) 동굴의 출입구는 가능한 작아야 하지만 박쥐가 드나들 수 있을 정도의 출입구 공간은 확보되어야 한다. 이런 이유는 박쥐가 호동굴성 동물로 동굴 속에 서식하면서 동굴을 드나들고 있는데 이 박쥐의 방뇨는 “구아노”라고 불리우며 미생물의 서식 조건에 매우 중요한 요소로 되고 있다.
- 18) 조명의 각도와 방향도 수시로 변동시켜 조명에 의한 이끼류나 소태류와 같은 녹색공해가 나타나지 않도록 조치하는 것이 바람직하다.