

우리나라 관광석회동굴의 환경보전 연구

홍 충 렬*4)

1. 서론

동굴이 관광개발되면 반드시 그 환경은 변화되기 마련이다.

동굴이 관광개발된지도 벌써 20년의 세월이 지났다. 따라서 이 동굴의 개발은 마침내 많은 환경변화를 가져오게 하였다.

원래 동굴의 오염과 오손의 현상은 크게 퇴적물공해와 환경공해의 두가지로 대별되는데 그중 퇴적물공해에는 파손공해, 녹색공해, 그리고 흑색공해, 박리공해 등의 네가지로 구분된다.

즉 파손공해는 시설작업 또는 관광객들의 출입통로 개척을 위한 개발작업으로 동굴퇴적물들이 파손, 오염되는 경우를 말한다. 그리고 녹색공해는 광선, 온도, 습도와 관련된 하등식물의 공해이고 흑색공해는 탄소분의 공해인 경우도 있고 아니면 균류의 부식작용에 의한 경우도 있다.

이 밖에 박리공해란 건조풍화와 균류의 부식작용 등으로 이루어지는 것으로 알려져 있다. 한편 환경공해에는 대기오염 대기오염과 수질오탁등 두가지로 구분되고 있는데 이 환경공해 중 대기질 오염은 동굴내 온도와 습도의 정도 그리고 이산화탄소분의 과다 등의 요인에서 오는 대기질의 공해이고 수질오탁이란 분진 토양성분, 기타 수질의 산성화, 중금속의 유출 등에 의한 수질공해이다.

요컨대 동굴속의 환경은 계속적으로 변하게 된다. 이는 처음에는 미개발생태이드

* 오사카 경범대 객원연구원

로 사람의 출입이 없어 환경은 옛 그대로의 보전을 유지했으나 관광객의 출입 때문에 모든 동굴내 환경의 변화가 계속 일어나고 있으므로 동굴환경의 보전이 점차 시급한 문제로 제기되고 있다.

II. 석회동굴의 환경변화

석회동굴은 개발된 지 25년의 세월이 지났다. 그 동안 많은 관광객의 출입은 마침내 환경의 변화를 초래하게 되었다.

원래 동굴내는 상온, 상압, 상습의 환경을 지녀야 하는데 관광개발로 이 환경은 점차로 파괴되어 가고 있다. 이와같은 원인은 밝은 명암과 많은 동굴출입구 때문에 고온건조하여 환경이 변화되어 녹색공해, 동굴생물의 생태변화를 보게 된다.

그리고 이차 생성물의 오손, 박리현상을 나타내고 있는 현상이다. 그리고 과잉개발시설과 동굴구 바로 앞에서의 주차, 통행로의 과밀현상은 고수동굴내에서까지 환경을 변화시키고 있으며 동굴내의 자연경관까지도 해치고 있다.

이밖에도 동굴에의 무질서한 동굴내외의 행락질서와 환경파괴는 자연미의 훼손, 환경오염을 초래하는 결과를 보게 하였다. 또한 동굴 주변의 과도한 상가주택의 밀집과 동굴내부의 많은 철재 통행시설 및 조명시설은 동굴환경의 파괴를 가져와 마침내 동굴생물의 감소, 2차생물의 건화박리 그리고 녹색공해 현상이 심화되어 가고 있다.

1. 지형지물 오손

이제 고수동굴속의 오염 및 오손의 현상을 구분하여 본다면 대략 다음과 같다.

오손·오염지역 현황

	구역	면적(개소)	비고
파손공해	1단계	10개소	
	2단계	10개소	
	3단계	10개소	
백색공해	1단계	10개소	
	2단계	10개소	
녹색공해	1단계	10개소	
	2단계	10개소	
	3단계	10개소	
흑색공해	-	-	희미하게 나타나고 있을 뿐

2. 동굴의 수질오염

동굴의 내부를 흐르고 있는 동굴류 그리고 동굴의 종유벽에서 떨어지는 낙해수, 그리고 동굴속 오지에 미개방지역의 동굴호소 그밖에 동굴앞 외부의 냇물을 구분하여 그 수질을 순석한 결과는 다음과 같다.

이 분석 결과로 동굴의 수질은 다른 석회동굴에 비해 그 수질이 매우 좋으며 순도가 높으며 아직 덜 오염되고 있음을 알 수 있다.

3. 동굴내부 환경의 변화상

본 동굴은 그 구조, 경관면에서 뿐만 아니라 동굴 생물학적면에서도 매우 중요시 되고 있으나 관광동굴로 개발된 이후 내부 환경에 적지 않은 변화훼손을 가져와 그 보존 관리면에서 많은 문제점을 내포하고 있다.

즉 동굴은 그 내부 규모에 따라서 최대 체동인원이 달리된다. 소규모의 작은 동굴속에 동시에 많은 관광객이 들어서면 동구가 좁아 외기와외의 신선대사가 안되어 가벼운 두통이나 현기증을 느끼게 된다. 질소는 보통 23%나 대기 중에 존재하여

야 생물의 생존에 아무런 지장이 없는 것인데 이보다 농도가 높아도 생물에 영향을 준다. 만일 60%이상의 고농도가 되면 폐염이나 순환계 장애가 일어나며 특히 인내성이 적은 동물은 수일만에 태반이 사망할 수도 있다.

그리고 연료에서 오는 탄산가스의 대부분은 식물의 동화작용으로 고정되거나 한편 물에 용해 흡수되기도 한다. 그러나 대기중의 탄산가스는 그 농도가 늘어나므로 이에 따라 온도도 상승하게 된다. 가끔 동굴속에 20℃내외에 가지 상승하는 것은 이의 농도가 높아졌기 때문이다. 급경사의 계단을 오르내리는 것도 동굴내 온도를 높이는 결과가 된다고 할 수 있다.

대기는 계속적으로 기압의 변화를 가져오는 관계로 이 기압의 차이 때문에 대기의 이동현상이 일어나게 마련이다. 따라서 동굴에 있어서 기압의 차이가 있게 마련이므로 기류의 이동이 일어나게 된다.

한편 동굴의 환경조건 중 적합한 습기의 유지는 동굴 형성부의 생성발달에는 물론, 동굴활동의 생존유지에 절대적인 영향을 지닌다.

본 동굴내부의 습도는 90%내외이며 전체적인 습도변화를 90%내외로 대체로 항상 습이 유지되고 있는 것으로 보인다. 또한 환경이 비교적 안정적인 내부에서는 평균교차 0.5℃의 근소한 교차기온을 보여 대체로 항온이 유지되고 있다고 보겠다.

4. 동굴생물의 생태변화

동굴의 개발이 되면 그 서식환경은 점차로 변화되어간다. 이는 많은 관광객의 출입과 내부조명에 따른 서식환경의 변화때문이라 하겠다.

한편 미생물의 변화도 점차 심화되어 가고 있다.

즉 관광개발된 이후부터 찾아드는 관광객의 인체를 매개체로 한 균류의 동굴내

침입은 마침내 동굴 속에서 갖가지 공해오염을 나타나게 하고있다.

그리고 녹색공해는 관광통로 부근의 도처에서 발견되고 있는데 주로 조명등 부근에서 나타나고 있다.

이 미생물의 종류로는 *Asparagillus spp* *Pencilomyces Mucorles*, *Phragmatic* *Papucospora* *Trichoderma* 등이 발견되었는데 이들은 동굴내부에 여러가지 색을 나타내면서 곳곳에서 번식한다.

III. 환경파괴의 저지방안

1. 개요

앞서 설명한 바와 같이 동굴이 공개되면 반드시 출입하는 관광객이나 그밖에 수의시설 등에 의한 동굴의 파괴는 없을 수 없는 것이다.

다만 어떻게 하면 이와 같은 오손, 오염을 미연에 방지할 수 있으며 억제시킬 수 있는가가 문제이다.

사실상 동굴속의 종유석과 석순같은 이차생성물 즉 동굴 퇴적물등은 오랜 시일에 걸쳐 생성되어온 것으로 어떤 것은 1~2만년에 걸쳐 성장한 것도 있으므로 이들이 일단 오손되거나 파괴되었을 때는 참으로 영원히 복구는 되지 못할 것이다. 일단 파괴되면 그만이므로 이들에 대한 항구적인 보전 대책이 요구되는 것이다.

오늘날 선진국가에서는 이와같은 실정을 참작하여 오래전부터 동굴환경의 보전과 오염방지를 위한 꾸준한 연구실험이 실시되어 오고 있는 터이다.

우리나라에서도 단양의 고수동굴에서는 녹색공해나 박리공해에 대한 방지 방안을 실험중에 있기는 하나 아직도 뚜렷한 성과를 보지 못하고 있는 실정이다.

이제 분야별로 이와같은 오손오염에 대한 개선방안과 환경의 보전방안을 들어보면 다음과 같다.

2. 동굴환경의 보전대책

동굴의 환경 보전은 생태 보존을 위한 동굴환경의 유지 관리이다.

동굴은 암흑세계이고 항온, 항습의 환경을 지녀 왔으므로 이에 적용된 지형지물의 생성, 지하수생물의 서식등이 이루어져 오늘에 이르렀다고 할 수 있다.

사실상 동굴속의 이차생성물들은 동굴상층부의 암석구조와 그 성분, 지하수의급수량과 수질성분, 급수상태 그리고 지층의 배열과 동굴내의 기류, 항온, 습도 등과 밀접하게 관계되고 있는 것이다.

예를 든다면 동굴퇴적물의 크기, 성장속도 등은 반드시 위와 같은 동굴 속 환경과 직결되는 것으로 이와 같은 동굴현상의 유지 보전을 위한 방안은 위와 같은 동굴환경의 환경을 유지시켜주기 위한 각종 대책이 마련되어야 하는 것이다.

즉 동굴환경의 유지를 위하여 입동객에 의한 동굴내 온도의 상승, 습도의 저하를 측정하기 위한 동굴내 기상관측설비가 필요하다.

이에 의하여 동굴내의 환경변화를 억제하고 이에 대한 대책을 세울 수 있기 때문이다.

① 동굴내의 인공습포, 산수작업등으로 온도의 저감, 일정 습도의 유지등에 유의하여야 한다.

② 출입인원의 통제로 동굴내 환경의 변화를 저감시켜야 하겠다. 동굴내의 적절한 체동최대인원을 계측하여 동시에 과도한 관광객이 동굴속에 오랜동안 체재하지 않도록 저지하여야 한다. 따라서 인원의 제한, 관광개방시간의 제한통제 등과 같은

대책이 필요하다.

③ 관광 공개구간을 계절별로 구분 실시 하거나 통로의 교대변동등으로 동굴 환경의 보전 대책을 강구하여야 하겠다. 일정기간의 밀폐 유지 관리는 동굴 환경의 원상복원에 도움이 될 것이다.

④ 출입구를 좁게하여 외기의 대기가 동굴내에 영향을 덜 주도록 하여야 한다. 동굴내의 습도는 그 위치, 고도에 따라 다르게 나타나고 있으나 항온, 항습 상태가 유지될 수 있도록 동굴입구가 좁거나 작아져야 하겠다.

⑤ 동굴 출입구가 원래부터 크거나 넓을 경우에는 동굴내 입구 안쪽 부분의 좁은 통로를 이용한 이중간의 설치로 바깥 공기의 차단을 꾀할 수도 있다.

⑥ 관광에 지장을 주지 아니할 정도의 조명(박기)를 유지하여 지나친 조명시설로 인한 동굴내의 기온상승에 따른 환경변화가 나타나지 않도록 하여야 하겠다.

⑦ 동굴내 조명시설은 가능한 통로와 특수 지형물을 위주로 70Lx 내외로 조명하되 자연등은 수은등이나 나트륨등, 또는 메탈하라이드등과 같은 발열량이 적은 등으로 대체하는 것이 바람직스럽다.

⑧ 동굴출입구는 가능한 작아야 하나 박쥐가 드나들 수 있을 정도의 출입구 공간은 확보되어 있어야 한다. 박쥐는 호동굴성동물로 동굴 속에 서식하면서 드나들고 있는데 이의 조분은 구아노로 불리우는 미생물의 서식조건에 중요한 요소로 되고 있다.

⑨ 조명등용 방수 케이블의 접속을 되도록이면 현재 사용되고 있는 고무테이프나 P.V.C 테이프들은 나중에 습도가 차면 누전되기 쉬우므로 실리콘테이프로 대체하고 케이블 분기 장소에 사용된 분전반내의 스위치는 기존휴즈를 사용한 카바나이프 스위치보다 차단성능이 좋은 누전차단기로 대체 이용하는 것이 바람직스럽다.

⑩ 조명의 각도, 방향도 쉬로 변동시켜 그 조도에 의한 조명지점에서의 이끼류나 소태류 같은 녹색공해가 나타나지 않도록 조치하는 것이 좋겠다.

3. 퇴적물의 오손방지 및 저감방안

동굴관광은 신비로운 지하세계에 대한 호기심과 그리고 그 굴속에서 볼 수 있는 종유석같은 이차생성물에 의한 지하궁전 경관 등의 관찰 또는 감상에 있다고 하겠다.

따라서 동굴속에서의 지형지물의 경관양상이 그 동굴의 관광적, 학술적인 가치와 직결되고 있는 것이다.

더구나 종유석과 석순등의 동굴 퇴적물들은 계속 자라고 있는 돌이라고는 하나 그 성장속도는 매우느려서 가장 빨리 자라는 종유관이나 종유석의 성장만해도 우리나라에서 추정된 평균치를 본다면 직경 5mm크기에 길이 1cm로 자라는데 요하는 시일은 약 15년의 세월이 소요되는 것으로 되고 있다. 물론 그 동굴의 상층지질구조, 동굴 지표면의 기후조건, 동굴내의 환경조건 등에 따라 크게 달라된다고는 하나 실제 오랜 시일에 걸쳐 성장하는 것이므로 동굴퇴적물의 오손은 절대로 안된다고 하겠다.

불지각한 사람들에 의한 훼손, 개발공사시의 파괴 등등으로 동굴의 경관은 점차로 파괴 또는 오손되어 가고 있는 것이다.

이제 이와같은 경관과 퇴적물의 오손 저하방안을 제시하면 다음과 같다.

① 동굴내의 환경 유지는 물론이고 이차생성물의 계속적인 성장, 즉 동굴의 성장을 위하여 동굴 지표면에 주기적인 인공급수작업으로 동굴 퇴적물의 성장을 촉진시키고 동굴환경의 보전관리를 기하도록 한다.

② 공개를 위한 개발작업에 있어서는 동굴환경의 원형유지에 주력하여 통로 및 관광 수익시설의 공사로 환경이나 동굴내 환경의 파괴를 초래하지 않도록 하여야 하겠다.

③ 지표면의 생태의 보전관리를 위하여 석회질암석 토양의 토양보전을 기하여야 하겠다. 즉 지표면의 식생 및 지형보전 등으로 석회질 토양을 확보 유지하고 정상적인 지형 유지를 기하도록 한다.

④ 관광 출입객에 사전에 동굴 퇴적물의 중요성을 강조 또는 이해시키는 교육을 할 것이며 이를 위한 제반 안내문이나 설명문을 배포한다.

⑤ 출입객으로 하여금 동굴내의오손이나 오염에 영향을 줄 물건을 갖고 들어가지 못하게끔 물품관리소를 마련하도록 한다. 특히 지팡이, 우산 등등의 물건은 동굴 퇴적물을 파손시킬 수 있는 기재가 되기 때문이다.

⑥ 동굴내의 지형지물 중 토양붕락이나 낙반이 일어날 수 있는 지점에는 반드시 이를 방지할 수 있는 시설 대책이 필요하다. 특히 지면이 진동 할 경우에 위험이 있을 것으로 판단되는 것은 사전에 제거하는 것이 바람직스럽다.

4. 환경의 오염방지 및 저감방안

동굴의 환경은 주로 온도와 습도의 변화에 의하여 달리 변하게 된다. 더구나 지나친 기온상승, 건화현상 등은 환경변화에 직결된다.

따라서 생태계에 변화를 보게되고 녹색공해나 백색공해, 흑색공해와 같은 공해 현상이 나타난다.

녹색공해란 전술한 바와 같이 암석 바닥에 이끼류가 나타나는 것이며 백색공해란 퇴적물 표면에 박리공해는 건습화 환경의 유지가 그대로 동굴의 오염을 방지하

거나 저감시키는 결과를 나타내는 것이다.

따라서 환경의 특색인 향온, 향습의 환경 유지가 그대로 동굴의 오염을 방지하거나 저감시키는 결과를 나타내는 것이다.

① 동굴내의 지속적인 변화없는 온도와 습도의 유지를 위하여 동굴내 인공적인 급수작업이 요구된다.

② 동굴내의 제반시설 즉 통로시설이나 설비시설을 되도록 산화되기 쉬운 물자를 사용하지 않고 부식되지 않는 물품재료를 사용한다.

③ 동굴내에 오염 수거설비를 두어서 오물을 버리지 않도록 하여야 한다. 전지그리고 음식찌꺼기 등의 오물들이 굴내에 버려지게 되면 수질의 오염은 물론이고 나아가서는 환경 전반을 어지럽히게 마련이다.

④ 오염공해의 제거처리는 하이클론 같은 약물제를 사용하거나 동굴지하수의 물을 이용하는 것이 바람직하다.

⑤ 박리된 퇴적물 표피는 석회질 분말 재료과 시멘트 등의 분말제를 혼합하여 이를 코오팅, 또는 도색시키는 것도 한 방안이다.

⑥ 지하수질의 직접 또는 간접수입을 막아 외부로부터의 수류 유입 때문에 동굴내 호수나 동굴소택(연못) 동굴류의수질을 오탁시키거나 오염되지 않도록 하여야 하겠다.

⑦ 되도록 동굴내의 사용재료, 시약재료 등은 무공해약품, 무공해의 플라스틱 재료를 쓰도록 하여 환경오염을 초래하지 않도록 한다.

⑧ 동굴물의 보호를 위하여 온·습도의 계속적 유지는 물론 소음진동 공해를 없애도록 하고 일정한 곳에 보호구역을 정해둔다.

⑨ 기류의 유동을 방지하여 풍화, 건화 등의 이상 변화가 나타나지 않게끔 시설설비한다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 몇개의 개발된 동굴과 미개발의 동굴을 택하여 이들의 동굴동물의 생태가 어떻게 변화되고 있는가 그리고 수질과 기상 및 이차생성물등의 분석으로 동굴환경의 오염과 파손 중에 있음을 경고하고 아울러 동굴보전의 필요성과 외국에서의 자연 보호요령을 서술하였다.

요컨대 일반적인 종유굴의 환경오염의 상태는 조사결과 다음과 같다.

첫째 동굴이 개발되면 동굴내의 진동굴성동물들은 점차 멸종되어갈 운명에 있다.

둘째 외래성 동물의 종류와 수는 동굴내의 기온과 습도 또는 외기의 기상과도 밀접한 관계를 지닌다.

세째 수질은 그 동굴의 위치나 심도에 상관없이 없으며 유수량이 많을수록 칼슘함량이 적어진다.

네째 동굴내의 기상은 동굴입구와 내심부와의 차이가 많으며 습도는 내부에 갈수록 높아진다.

다섯째 동굴입구 부근에서는 습도가 낮아 이차생성물의 성장이 중지되고 있는데 통상 90% 이상의 습도가 있어야 이들은 성장될 수 있다.

여섯째 동굴내부에서는 기온이 거의 비슷하게 나타나며 년중변차도 심하지 않다.

한편 동굴의 환경을 그대로 보존하기 위하여는 원형대로의 보존도 중요하나 환경의 오염과 파손을 방지 또는 저지시키기 위하여 다음과 같은 조치가 필요하다고 본다.

첫째 동굴은 되도록이면 관광개발이나 출입을 삼가하고 동굴내의 자연환경이 그대로 보존되어야 하겠다.

둘째 관광개발하여야 할 경우에는 원형의 보존을 위하여 출입구를 작게 하여 외

기가 스며들지 못하도록 한다.

세째 관광동굴인 경우 관광객에 불필요물품을 지입하여 버리지 말게 할 것이고 자연이 파손되지 않도록 통로를 좁게 조명을 어둡게 할 것이다.

네째 강우계절에 지나친 지표수의 유입을 방지하며 과다하게 침수된 량은 적당하게 배출토록 인공시설을 한다.

다섯째 자연보호를 위한 정신교육과 철저한 제도화를 기한다.

참 고 문 헌

홍시환, 한국의 자연 동굴 (1973, 금화사)

홍시환, 한국의 용암동굴 (1981, 한국동굴학회)

홍시환, 한국의 석회동굴 (1983, 한국동굴학회)

홍시환, 성류굴 환경보전진단 보고서 (1982, 한국동굴학회)

홍시환, 고수굴 환경보전진단 보고서 (1983, 한국동굴학회)

홍시환, 고씨굴 내부정비 공사계획 (1985, 한국동굴학회)

홍시환, 평창 대화광천선굴지역 관광개발 기본계획 (1986, 한국동굴학회)

홍시환, 고수동굴 안전진단 조사보고서 (1987. 4 한국동굴학회)

문화공보부, 한국의 동굴(I), (1973)