

관광동굴의 환경보전관리에 관한 연구

홍 시 환*

I. 서론

최근에 지역소득경제의 방안의 하나로 각 지역에서는 자연동굴의 개발이 시행되고 있다. 아직까지 우리나라는 공개동굴의 비중은 크지 아니하나 일본의 경우에는 무려 10%의 자연동굴들이 관광동굴로 개방되고 있는 실정이다. 실제로 현재까지 우리나라에서 관광동굴로 공개되고 있는 것은 겨우 11개의 동굴뿐임을 볼 때 앞으로의 개발공개에 있어 환경보전에 유의만 한다면 앞으로 좋은 관광자원으로 후세에 길이 남게 될 것이 확실하다.

앞으로 개발될 공개동굴의 환경보전을 위한 몇가지 참고자료를 제시하고자 한다.

II. 동굴환경의 변화

1. 개요

원래 동굴은 개발할때부터 그 내부환경의 변화는 시작된다. 더구나 동굴내부의 보호구역설정을 무시하고 무조건 무제한 개발은 환경파괴의 기본이 되고 있다. 이 때문에 동굴의 개발이후 지속적인 환경평가 요구되고 있음에도 불구하고 당국에서나 당사자나 모두 이를 무시하고 있기 때문에 동굴의 환경은 변화파괴되고 마는 것이다.

2. 환경변화의 원인

동굴의 환경은 항상 암흑의 세계이고 외부로부터 대기의 영향을 받지 않고

* 학회 명예회장

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 있는 것이 사실이다.

따라서 이상과 같은 항암, 항온, 항습의 동굴환경이 외부와는 색다른 환경을 이루고 있기 때문에 이 동굴속에는 특수한 생태환경이 조성되고 있어 동굴생물을 비롯하여 동굴속 미지형지물 등의 2차생성물들이 특이한 존재로 형성 또는 서식되고 있다. 그러므로 이 동굴의 특수한 환경은 잘 보전 유지되어야만 동굴의 특수한 생태도 영원히 보존될 것이다.

물론 동굴이 개발되어 관광객의 출입이 많은 동굴에서는 개발 이전의 동굴환경이 그대로 보존되고 있을리 만무하다. 동굴 내부의 기온은 올라가고 습기는 건조화 되어가는 한편 통로나 지형지물의 조명시설로 인해 동굴 내부가 밝아지고 특히 지나친 조명은 전등빛으로 인한 녹색공해를 유발시키기도 한다. 또한 동굴내부의 기온이 오르게 되면 동굴내부에서는 건화현상이 일어나 2차생성물인 종유석, 석순, 석주 등에 이른바 백색공해라는 겹질이 벗겨지는 등의 공해가 나타나게 된다.

요컨대 동굴의 환경은 원래의 동굴 내부의 환경을 그대로 유지하지 않는 경우에는 자연동굴내의 2차생성물이나 동굴생물에 직접적인 영향과 변화를 일으키게 되므로 동굴의 환경은 잘 보존되어야 한다.

3. 환경변화와 파괴

동굴의 환경파괴는 환경의 변화에서 오는 경우와 동굴 개발에 따른 인위적인 파괴 등에 의한 것이라고 하겠다. 물론 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 환경변화도 있을 수 있다. 동굴의 환경변화와 환경파괴는 곧 동굴의 원칙적인 생태환경을 변화변질시키게 되므로 동굴생물을 비롯한 동굴의 2차생성물들의 성장이 멈추게 된다.

동굴의 경우 동굴속의 2차생성물들은 동굴 상층부의 암층구조와 성분, 침하수의 침투량, 수질성분, 침투상태, 지층의 배열과 동굴내의 온도, 습도, 기류 등 수많은 물리 화학적 작용에 의하여 생성되는 것이므로 동굴을 하나의 자연 학습의 현장으로만 이해하여서는 안되고 오랜세월을 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.

특히 동굴생물들은 캄캄한 암흑세계의 환경에서 생활하고 있기 때문에 더듬이가 길어지고 눈이 퇴화된 동굴생물이 서식하게 되므로 동굴환경의 파괴와 변화는 동굴특수생물의 특수성을 잃게 하는 결과를 초래할 것이다.

4. 석회동굴의 파괴

1) 대기환경의 변화

대기오염의 원인은 일차적인 것과 이차적인 것이 있는데 일차적인 것은 인간이 내뿜는 이산화탄소와 동굴속에서 자연적으로 발생하는 아류산 개스와 같이 일차적으로 방출되는 것을 말하며, 이차적인 것은 이들의 복잡한 성분들이 서로 화학작용을 일으켜 공해물질들을 방출하는 것을 의미한다.

동굴의 대기는 외부의 영향을 다소 받게 되는데 지표의 대기는 주야의 기온차에 의하여 주기적으로 변한다. 주간은 태양열에 의하여 기온은 높아지고 밀도와 기압은 낮아지게 되어 상대적으로 기압이 높은 동굴안으로 기류가 이동이 일어나고, 야간에는 반대로 지표의 공기는 냉각되어 기온은 내려가고 밀도와 기압이 높아지므로 상대적으로 기압이 낮은 동굴에서 입구쪽으로 기류가 이동하는 것이다.

그리고 동굴의 내부는 습도가 높고 일정하게 나타나는데 동굴입구 주변에서는 그 변화가 심하나 내부로 들어갈수록 습도가 하강한다. 이것은 습도가 기온의 영향을 많이 받고 있기 때문이다. 그러나 사실상 화암동굴의 경우는 앞에서 설명한 바와같이 동굴의 광장부분이 매우 넓으며 동굴의 입구는 좁고 길다란 형태를 유지하고 있어 대기의 영향을 광장부분에서는 거의 받지 않으며

이 때문에 습도에도 큰 영향을 많이 받고 있기 때문이다.

2) 동굴퇴적물의 오손

동굴은 개발되면 그 안에 존재하는 2차생성물들은 오손, 오염되어 가는데 이는 입동객, 동굴내의 시설에도 크게 관계되고 있다.

여기서 동굴내 석순, 종유석 등과 같은 2차생성물들이 파괴되어 가는 오손 요인들을 살펴보면 다음과 같다.

2차생성물들은 첫째, 자연적인 중력이나 그밖에 자체하중, 낙반현상 등에 의하여 파손되며 둘째, 동굴이 개발되기 이전에 지역주민이나 수집가들에 의하여 인위적인 파괴가 있으며 셋째, 동굴을 개발하면서 통로나 시설을 설비할 때 파괴되며 넷째, 관광동굴로 개발된 이후 관리미비로 인하여 관광객들에 의한 파손이 있을 수 있는 것이다.

3) 동굴의 생태 변화

동굴생태계에 가장 큰 영향을 주는 것은 일반적으로 영양분과 습도이다.

그러나 이는 미공개동굴의 경우에 한하며 개방된 동굴의 경우에는 습도와 조명의 밝기, 기온, 영양분 등을 중요한 생태변화 인자로 볼 수 있다.

동굴의 생태환경 조건중 습도의 유지는 매우 중요한데 미공개동굴의 경우 습도가 70%내외로 항상을 유지한다. 그러나 동굴이 개발되면 조명등에서 발생하는 열, 관광객의 호흡과 같은 인위적인 영향에 의하여 동굴의 습도는 변화가 되는데 항상의 조건을 유지하기 위하여 스프링쿨러를 이용하는 경우도 있다.

또한 개방동굴에 있어서 생태계에 중요한 영향을 미치는 것은 조명의 밝기와 각도 등인데 특히 조명이 특정부분을 집중적으로 지속적으로 하게되면 그 부분에서는 열과 밝기, 적당한 온도, 습도에 의해서 녹색의 균류가 발생하게 되는데 이 균류가 계속 성장하게 되면 하등식물로 되어 동굴생태계에 큰 영향을 주는데 이러한 현상을 녹색공해라고 한다.

그러나 동굴이 개발되면 조명과 시설, 관광객에 의하여 동굴생물들은 변형

된 동굴환경에 적응하지 못하여 멸종하거나 보다 안정된 환경을 찾아 동굴 깊숙한 내부로 들어가 버리는 경우가 있다.

그리고 관광동굴로 개방된 이후 찾아드는 관광객들로 이를 매개체로 하여 동굴내로 들어오는 각종 세균, 신발에서 묻어 들어오는 각종 미생물 등은 동굴생태계를 변화시켰다고 할 수 있다.

5. 화산동굴의 파괴

화산동굴의 환경은 동굴의 입구가 크거나 여러개소의 출입구가 있지 아니하다면 동굴내부의 환경변화는 크지 아니할 것이 당연하다.

그러나 우리나라 제주도의 동굴들은 지표면을 흘러내린 용암류에 의하여 그 속에서 형성된 화산동굴이므로 곳곳에서 동굴의 입구가 발견되고 있는 것이 사실이다.

이는 즉 동굴의 천장에 해당하는 지표면의 지각두께 즉 지층의 두께가 얇기 때문에 오는 지각지층의 함몰, 더구나 지표면에서의 도로개설이다. 그밖에 건조물에 의한 진동 때문에 동굴의 천장을 무너지게도 하고 또 함몰되기도 한다.

실지로 제주도의 많은 동굴들중에서 지표면에서의 수직 구멍으로 뚫려있는 출입구들은 이상과 같은 지반의 함몰이나 아니면 동굴을 이루고 있던 개스의 분출구멍이 확대되어 오늘의 출입구가 된 것이 많은 것이다.

Ⅲ. 동굴환경의 특수성과 보전

1. 동굴환경의 특수성

현재 우리나라에는 고수동굴, 성류굴, 고씨굴 등의 석회동굴 이외에 제주도의 만장굴과 협재굴 등이 공개되고 있는 관광동굴의 대표적인 것들로 알려져 있다.

이들 동굴들은 계속 드나들고 있는 관광객들에게 자연의 신비로움과 오묘함을 보여주고 있을 뿐만 아니라 자연관찰의 현장으로 그리고 심신단련의 자연도장으로 커다란 몫을 하고 있는 것이 사실이다. 즉 이들 동굴 속에서 우리들은 우리 조상들의 숨결을 엿듣기도 하고 자연창조와 생태변화의 현실을 낱알이 찾아 볼 수 있기 때문이다.

그러나 이와 같은 자연동굴이 점차 오염 또는 훼손되어가고 있음은 매우 안타까운 일이다. 이는 우리 관광객들의 부주의와 동굴관리자들의 무관심이 가져온 소치라 하겠다. 길이 보전 관리하여 자손만대에 자연의 원상 그대로 넘겨주어야 할 자연현장이 일부 몰지각한 사람들에 의하여 폐허화되어가고 있는 사실은 참으로 유감스러운 일이라 하겠다.

석회동굴의 경우를 예로 든다면 고수동굴내에 있는 종유관들은 해마다 1년에 0.2mm씩의 성장이 계측되고 있다. 이것으로 보아 동굴내에서 볼 수 있는 이들 2차 생성물들은 그 대부분이 2~4만년의 기나긴 세월동안에 성장한 종유석과 석순 등이 한두 사람의 부주의로 순간적으로 오손되거나 훼손된다는 것은 통탄할 수 밖에 없다고 할 수 있다.

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 그 특성들이 어떻게 달라질 것인가? 동굴생물이 지녀야 할 특성도 없어지게 될 것이 틀림없다. 생각만 해도 기가 막힌 일인 것이다.

대체로 동굴의 환경은 암흑의 세계라고 할 수 있을 정도로 캄캄하여야 하고 1년동안 계속 동굴 속의 온도가 비슷하거나 같아야 하며 그리고 항상 습기가 많아야 하는 것이므로 이와 같은 동굴환경이 유지되도록 힘써야 하겠다. 이러한 환경이라야만이 동굴생물이 서식할 수 있으며 그 동굴생물로서의 특성도 지녀 나아갈 수 있게 되는 것이다.

한편 우리는 동굴의 환경보전은 물론 동굴 속 지형지물의 보전에도 유의하여야 하겠다. 관광통로의 개통을 위한 지형지물의 오손은 물론 정원석이나 장

식품으로서의 수석으로 동굴 속에서 갖고 나오는 행위들은 삼가야 할 여건이라 하겠다.

그리고 동굴관광 때에는 지형지물에 손을 대지 말아야 하며 되도록 전지약이나 그밖의 모든 것을 동굴 속에 버리지 않도록 하여야 하겠다.

동굴의 세계는 그야말로 지표세계와는 달리 신선한 오염되지 아니한 지하세계이다. 대기의 오염, 수질의 오염도 볼 수 없는 천지창조의 초기와 같은 자연환경을 이루고 있어 학술적 연구대상은 물론이고 지구과학 각 분야에서의 관찰현장이 되고 있기도 하여 동굴의 환경을 그대로 보전한다는 것은 가장 당면한 과제라고 할 수 있다.

2. 환경보전진단의 필요성

동굴의 환경보전진단은 일반적인 인사사고에 대비하는 안전진단과는 다르다. 즉 동굴의 생태환경의 보전을 위한 보전책도 강구하며 특히 동굴생물의 생태유지 등의 실태를 조사하는데 그 목적이 있다고 하겠다.

사실상 동굴은 소중한 천연적인 자연자원이기 때문이다.

최근에 이르러 세계의 모든 나라에서는 이와같은 지하세계의 탐승을 위한 관광개발이 활발하게 이루어지고 있다.

우리나라에서는 1993년도 연말에야 비로소 이미 공개되고 있는 관광동굴에 한하여 1회이상의 환경보전을 위한 안전진단을 실시할 것을 당국에서 지시하고 있는 실정이다.

즉 안전진단이란 공개되어 관광개발된 동굴에 대하여 정기적으로 그 동굴환경에 대한 안전성을 확인하는 작업이다.

관광동굴은 매일같이 많은 관광객의 출입을 겪어야 하기에 공개된 동굴들은 관람객의 편의도모는 물론, 동굴 생태환경의 보전과 인명의 안전보호와 안전관리를 위하여 정기적으로 동굴을 둘러싸고 있는 지질구조, 그리고 그 동굴내부의 각종시설 등에 대한 안전성을 비롯하여 그밖에 환경보전을 위한 조사라고 할 수 있으므로 해마다 1회 이상의 안전진단과 실태조사가 이루어져야 한다.

그리고 어떤 동굴의 경우는 지난번 수해때 동굴내에 침수되어 동굴의 생태환경이 크게 달라졌을 것이 예상되고 있다. 더구나 관광개발이후 동굴내부의 현황상태의 실제조사가 이루어진 바 없어 동굴 환경변화의 실태자료가 없기 때문에 이와같은 조사가 요구되어온 바이다.

따라서 앞으로 동굴의 지속적인 보호와 보전을 위해서는 동굴의 생태환경진단은 반드시 실시하여 기본대장으로 삼아야 할 것이다.

IV. 동굴환경의 보전대책

1. 보전대책의 의의

동굴이 공개되면 반드시 출입하는 관광객이나 그밖에 편익시설 등에 의한 동굴의 파괴는 없을 수 없는 것이다. 다만 어떻게 하면 이와같은 오손, 오염을 미연에 방지할 수 있으며 저감시킬 수 있는가 하는 문제이다.

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

선진국가에서는 오래전부터 동굴환경의 보전과 오염방지를 위한 꾸준한 연구실험이 실시되어 오고 있는 터이다. 한때 단양의 고수동굴에서는 녹색공해나 박리공해에 대한 방지방안을 실험 중에 있기는 하나 아직도 뚜렷한 성과를 보지 못하고 있는 실정이다.

동굴의 환경보전은 동굴의 생태 보전을 위한 동굴 환경의 유지관리 그리고 동굴의 2차생성물의 계속적인 성장환경을 유지하는데 있다.

즉 동굴의 암흑세계이고 향온, 향습의 환경을 지녀왔으므로 이에 따른 2차적 지형지물의 생성, 지하수 생물의 서식 등이 이루어져 오늘에 이르렀다고

할 수 있다.

사실상 동굴속의 2차생성물들은 동굴상층부의 암석구조와 그 성분, 지하수의 투수량과 수질성분, 투수상태 그리고 지층의 배열과 동굴내의 기류, 습도, 온도 등과 밀접하게 관계되고 있는 것이다.

예를 든다면 동굴 퇴적물의 크기, 성장속도 등은 반드시 동굴속의 환경에 따라 달리되는 것이므로 이와같은 동굴환경의 유지 보전을 위한 방안은 계속 유지시켜 주기 위한 각종 대책이 마련되어야 하는 것이다.

즉, 동굴 환경의 유지를 위하여 입동객에 의한 동굴내부의 온도 상승, 습도의 저하를 조절하기 위한 기본 자료를 수집하기 위해서 공개 동굴에 있어서는 반드시 기상 관측 설비가 필요하다고 본다. 이 기상 관측에 의하여 수집된 기본 자료를 통하여 동굴내의 환경 변화를 파악하고 이에 대한 대책을 세울 수 있기 때문이다.

2. 동굴환경의 보전방안

1) 종합

이제 이와같이 오랜 세월을 걸쳐 형성된 동굴자원과 동굴환경의 환경보전을 위한 대책방안을 들어보면 다음과 같다.

(1) 동굴 내에 인공폭포, 살수작용 등으로 온도의 저감, 일정 습도의 유지 등에 유의하여야 한다.

(2) 출입 인원의 통제로 동굴 내부 환경의 변화를 저감시켜야 하겠다.

동굴내의 적절한 체동 최대 인원을 계측하여 동시에 과도한 관광객이 동굴속에 오랫동안 체제하지 않도록 조절하여야 한다. 따라서 인원의 제한, 관광 개방시기에 제한 통제 등과 같은 대책이 필요하다.

(3) 관광 공개 구간을 계절별로 구분하여 공개하거나 통로의 교대 변동 등으로 동굴 환경의 보전 환원을 강구하여야 하겠다. 일정 기간의 밀폐 유지 관리는 동굴 환경의 원상 복원에 도움이 될 것이다.

(4) 출입구를 좁게 하여 외부의 대기가 동굴 내부에 영향을 덜 주도록 하여야 한다.

한편, 동굴 내부의 습도는 그 위치, 고도에 따라 다르게 나타나고 있으므로
향온, 항습 상태가 유지될 수 있도록 동굴 입구가 좁거나 작아져야 하겠다.

(5) 동굴 출입구가 원래부터 크거나 넓을 경우에는 동굴내부의 입구 안쪽
부분의 좁은 통로를 이용한 이중문의 설치로 바깥 공기의 차단을 꾀할 수도
있는 것이다.

(6) 관광에 지장을 주지 아니할 정도의 조명(밝기)을 유지하여 지나친 조명
시설로 인한 동굴 내부의 기온 상승에 따른 환경 변화가 나타나지 않도록 하
여야 하겠다.

(7) 동굴내 조명 시설은 가능한 관광 통로와 특수 지형지물을 위주로 70lux
내외로 조명하되 자연 등은 수은등이나 나트륨등 과 같은 발열량이 적은 등으
로 시설하거나 대체하는 것이 바람직하다고 본다.

(8) 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 불
리우며 미생물의 서식 조건에 매우 중요한 요소로 되고 있다.

(9) 조명등용 방수 케이블의 접속을 되도록 현재 사용되고 있는 고무테이프
나 P. V. C테이프들은 나중에 습도가 차면 누전 되기 쉬우므로 실리콘테이프
로 대체하고 케이블이나 분기 장소에 사용되는 분전반내의 스위치는 기존 퓨
즈를 사용한 커버나이프 스위치 보다 차단 성능이 좋은 것으로 대체 이용하는
것이 바람직하다고 본다.

(10) 조명의 각도와 방향도 수시로 변동시켜 조명에 의한 이끼류나 소태류
와 같은 녹색공해가 나타나지 않도록 조치하는 것이 바람직하다.

2) 오염저감방안

동굴 관광은 신비로운 지하세계에 대한 호기심과 그리고 그 동굴 속에서 볼
수 있는 북마전과 같은 2차생성물에 의한 지하궁전 경관 등의 관찰 또는 감상
에 있다고 하겠다. 따라서 동굴 속 지형지물의 경관양상이 그 동굴의 관광적,
학술적인 가치와 직결되고 있는 것이다.

더구나 종유석과 석순 등의 동굴 퇴적물들은 계속 자라고 있는 돌이라고는 하나 그 성장속도는 매우 느려서 가장 빨리 자라는 종유관이나 종유석의 성장이라고 하여도 우리 나라에서 추정된 평균치를 본다면 직경 5mm 크기에 1cm 자라는데 요하는 시일은 약 15년의 세월이 소요되는 것으로 되어 있다.

물론 이러한 추정치는 그 동굴의 상층지질구조, 동굴 지표면의 기후 조건, 동굴 내부 환경 조건 등에 따라 크게 달라진다고는 하나 실제로는 매우 오랜 시일에 걸쳐 성장하는 것이므로 동굴 퇴적물의 오손은 어떠한 경우에도 안된다고 하겠다.

물지각한 사람들에 의한 훼손, 처음 개발 공사 당시의 파괴 등으로 동굴의 경관은 점차로 파괴 또는 오손 되어 가고 있는 것이다.

이제 이와 같은 경관과 퇴적물 오손 방지 방안을 제시하면 다음과 같다.

(1) 동굴 내부의 환경 유지는 물론이고 이차생성물의 지속적인 성장 즉, 동굴 속의 성장을 위하여 동굴 지표면에 주기적인 인공 살수작업으로 동굴 퇴적물을 촉진시키고 동굴 환경의 보전 관리를 기하도록 한다.

(2) 공개를 위한 개발 작업에 있어서는 동굴 환경의 원형 유지에 주력하여 통로 및 관광 편의 시설의 과잉 공사로 주변 환경이나 동굴 내부의 환경 파괴를 초래하지 않도록 하여야 하겠다.

(3) 지표면의 생태 보호 관리를 위하여 석회질 암석 토양의 토양 보전을 기하여야 하겠다. 즉, 지표면의 식생 및 지형 보호 등으로 석회질 토층을 확보 유지하고 정상적인 지형 윤회를 기하도록 한다.

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

(5) 출입객으로 하여금 동굴 내부의 오손이나 오염에 영향을 줄 수 있는 물건은반입하지 못하도록 하며 이를 위하여 물품관리소를 따로 마련하도록 한다. 특히 지팡이, 우산 등의 물건은 동굴 퇴적물을 오손 시킬 수 있는 기재가 되기 때문이다.

(6) 동굴 내부의 지형 지물 중 토지 붕락이나 낙반이 일어날 수 있는 지점

에는 반드시 이를 방지할 수 있는 시설 대책이 필요하다. 특히 지면이 진동할 경우에 위험이 있을 것으로 판단되는 것은 사전에 제거하는 것이 바람직하다.

3) 오염방지방안

동굴의 환경은 주로 온도와 습도의 변화에 의하여 달리 변하게 된다. 더구나 지나친 기온 상승, 건화 현상 등은 환경변화에 직결된다. 따라서 생태계에 변화를 보게 되고 녹색공해나 백색공해, 흑색공해와 같은 공해 현상이 나타나는 것이며 녹색공해란 전술한 바와 같이 암석바닥에 이끼류가 나타나는 것이며 백색공해란 퇴적물 표면에 박리공해로 건습한 환경의 이상 습도에서 일어나는 현상이고 이밖에 향온, 향습의 환경유지가 그대로 동굴의 오염을 정지하거나 저감시키는 결과를 나타내는 것이다.

이와 같은 대책으로서 다음과 같은 방안을 제시할 수 있다.

(1) 동굴 내부의 계속적이고도 변화 없는 온도와 습도의 유지를 위하여 동굴내 인공 폭포와 같은 살수작업이 요구된다.

(2) 동굴내의 제반시설 즉, 통로시설이나 부대시설을 되도록 산화되기 쉬운 철제물을 사용하지 않고 부식되지 않는 물품자료를 사용한다.

(3) 동굴 내에 오염 수거 시설을 두어서 오물을 버리지 않도록 하여야 한다. 건전지, 음식찌꺼기 등의 오물들이 동굴 내에 버려지게 되면 수질의 오염은 물론이고 나아가서는 동굴내 환경의 전반을 악화시키게 된다.

(4) 오염공해의 제거처리는 하이클론 같은 약물 세제를 사용하거나 동굴 지하수를 이용하는 것이 바람직하다.

(5) 박리된 퇴적물의 표피는 석회질 분말 용액과 시멘트 등의 접착제를 혼합하여 이를 코오팅 또는 부착시키는 것도 하나의 방법이라고 본다.

(6) 지하수계의 직접 또는 간접침입을 막아 외부로부터의 수류 침입 때문에 동굴내 호수나 동굴연못, 동굴류의 수질이 오염되지 않도록 하여야 한다.

(7) 되도록 동굴 내에 사용하는 재료, 시약 기재 등은 무공해 약품, 무공해

의 플라스틱 재료를 쓰도록 하여 환경오염을 초래하지 않도록 한다.

(8) 동굴내의 보호를 위하여 온도, 습도의 계속적 유지는 물론 피음 진동 공해를 없애도록 하고 일정한 곳에 보호지역을 정해둔다.

(9) 기류의 유동을 조절하여 풍화, 진화 등의 이상 변화가 나타나지 않게끔 시설 설비를 하여야 한다.

V. 결론

요컨대 관광개발에는 환경파괴가 뒤따른다는 점은 누구나 무시할 수 없는 사실이다.

따라서 최소한의 개발로 환경의 유지보전을 기하도록 하여야 하며 또한 계속적인 환경변화상태의 파악조사사업이 요구되는 것이다. 원래가 동굴인 경우 외국에서의 예를 본다면 통상 동굴길이의 30%이상의 구역들이 환경보전을 위한 동굴보호구역으로 설정하고 있는 것이 보통이다. 뿐만 아니라 동굴이 기념물로 지정되고 있는 경우 이 때에 동굴이 기념물동굴로 지정되고 있는 지형지물이나 생태환경에 대한 각별한 보전관리가 요구되는 것이 필수조건이다.

실지로 기념물동굴을 관리하고 있는 문화재관리국에서는 여태까지 40년에 가까운 동안 이들 동굴에 대한 기념물의 지정, 환경보전관리에 커다란 역할을 대해 왔음은 그 공로가 크다고 하겠으나 민간단체가 주관하는 동굴과 국가가 관리하는 동굴들에 대한 관리태도가 해이해지고 있음을 볼 때 매우 안타까운 일이라 하겠다.

그리고 관광개발의 동굴의 경우에는 가능하다면 1년에 1번 이상의 환경생태평가조사를 실시하도록 1983년에 강력히 권고 지시하고 있으면서도 이들에 대한 관리가 제대로 시행되지 못하고 있음은 매우 유감스러운 일이라 하겠다.

*** 참고문헌**

홍시환 · 김병우 · 박무범, 1991, 천동굴의 환경보전 및 안전진단조사보고서.

홍시환 · 김병우 · 유재신, 1990, 고수동굴의 동굴실태에 관한 연구, 한국동굴학회지, 24: 42-72.

홍현철 · 김병우, 1990, 노동굴의 환경실태에 관한 연구, 한국동굴학회지, 24: 73-106.

한국의 동굴, 1970, I 제주도 용암동굴-동물상 · 식물상, 62-95, 한국동굴협회, 문공부 문화재관리국.