

환경오염으로 인한 동굴생태환경의 변화와 환경오염물질 분석에 관한 연구

이 경 호*

I. 서론

21세기를 앞두고 있는 현 시점에서 점점 과학화되고 정보화되어 가고 있는 미래의 사회를 맞이하면서 우리 인간들은 자신들의 행복과 건강을 갖기 위하여 자연 속에서 생활하고 자연과 함께 호흡하려고 애를 쓰고 있다. 이들이 찾고 있는 자연환경에는 바다, 강, 산등과 같은 여러 가지의 형태가 존재하지만 특히 요즈음 관심을 가지고 있는 형태 중에 하나는 동굴이다.

우리 나라에는 보통의 관광객들이 들어 갈 수 없는 형태의 동굴을 비롯해서 일반 관광객들이 자유롭게 탐승할 수 있는 개방된 동굴이 많다. 이들 관광객들 중에는 자연관찰학습의 장으로 동굴을 찾는 탐승객이 날로 증가하고 있으며 이러한 증가는 앞으로 동굴환경의 파괴에 한 몫을 할 것으로 예상이 되고 이에 대해 더 많은 관심과 연구가 있어야 할 것으로 사료가 된다. 이로 인하여 이미 공개되고 있는 모든 관광 동굴은 한결같이 동굴의 환경파괴에 신경을 곤두세우고 있는 실정이다.

동굴은 항상 내부가 어둡고 항온·항습의 특수한 환경을 오랜 세월을 거쳐 지나왔으므로 해서 이에 적응된 지형지물이나 지하수 생물들이 각종 동굴의 개발로 인하여 동굴 생태계(cave ecosystem)가 파괴되어 동굴에 살고 있는 여러 가지의 생물종(organism species)이 멸종되는 위기에 처해 있다. 하나의 예를 들어 동굴에 서식지를 두고 있는 박쥐들도 동굴을 떠나고 있으며 거의 멸종위기에 있다는 것은 우리 모두가 잘 알고 있는 얘기이다. 또한 석회동굴의 경우 동굴에 존재하는 기암괴석을

* 경주대학교 환경공학과 교수

학술적인 연구자료나 표본으로써가 아니라 장식품이나 기호품으로 반출하는 환경 파괴적인 행위를 우리는 흔히 볼 수가 있다.

동굴의 경우에는 동굴 속의 이차생성물들은 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 오랜 세월을 거쳐 형성된 지구과학의 학습장으로 그 가치가 매우 소중한다는 것을 인식하여야 하며 그러므로 동굴을 함부로 훼손해서는 절대로 안되며 부득이한 개발의 경우 원래의 동굴환경을 보전·유지할 수 있도록 모든 대책을 강구하여야 한다.

동굴의 환경변화는 동굴이 생성되면서부터 시작되는 것으로 자연적인 동굴의 성장과정에서 발생하는 자연환경의 변화로 인하여 동굴이 형성시기 초부터 환경이 변화되고 생태도 달라지기 때문에 결국은 동굴 환경이 파괴되기도 하고 변화되기도 한다. 그러나 근본적인 환경변화는 동굴이 개발되어 사람들에게 공개된 이후부터 급격하게 일어나게 되는데 특히 동굴의 파괴와 훼손현상은 동굴의 생태변화를 촉진시키게 되는 것이다.

동굴의 피해와 훼손의 현상은 크게 퇴적물 오염과 환경공해로 구별되는데 그중 퇴적물 오염에는 파손, 녹색오염, 흑색오염, 박리오염 등 네 가지로 구분되는데 이러한 훼손 및 오염현상들은 관광시설물 특히 조명에 의한 온도 및 습도의 변화와 동굴 관광객에 의한 오염물질의 동굴 내 반입에 의해서 생성되는 것이다. 한편 환경공해는 대기오염(air pollution)과 수질오염(water pollution) 등 두 가지로 구분되는데 이 환경공해 중 대기질 오염은 동굴 내 온도와 습도의 정도 그리고 관광객들의 호흡으로 인한 이산화탄소의 과다배출 등의 요인에서 오는 대기질의 악화현상이고, 수질오염이란 토양성분, 수질의 산성화, 외부로부터 지하수계를 따라 유입된 유해중금속 등에 의한 오염현상이다. 동굴 속의 환경은 계속적으로 변하게 되는데 처음의 미개발상태에서는 사람의 출입이 없어 환경은 원래의 상태를 유지하나 관광동굴로 개발되고 나면 관광객의 출입으로 인한 동굴내 환경의 변화가 계속적으로 일어나므로 이를 최소한으로 하는 동굴환경의 보전대책이 점차 시급한 문제로 대두되고 있는 실정이다.

따라서 최근 점차적으로 개방되고 있는 동굴의 환경보호와 동굴내에서 나타나고 있는 환경변화에 대한 대처가 시급한 것으로 사료되어 동굴생태계의 환경오염의 상태를 실제분석하였다. 시료의 분석방법은 수질오염공정시험법에 의한 원자흡광광도법에 의하여 시행하였으며 분석항목은 아연(Zn), 철(Fe), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 구리(Cu)의 6개를 하였다.

II. 동굴 내의 환경오염분석

1. 동굴의 대기오염

동굴 내의 대기는 주로 수증기(water vapor)로 포화되어 있다. 사실상 수증기의 포화상태 즉, 습도는 계절과 주야간에 있어서 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 대체로 여름에는 80~88%, 겨울에는 90~92%의 습도를 나타내고 있고, 아침에는 약 86%, 관광객들이 출입하는 낮에는 약 78%를 나타내고 있다.

사실상 동굴의 경우는 그 내부 공간의 넓이나 규모 등으로 보아 대체로 대기의 오염 현상은 일어나지 않는 것으로 보고 있다. 즉, 대기오염은 일차적인 것과 이차적인 것의 두 가지 경우가 있는데 일차적인 것은 인간이 동굴 내에서 내뿜는 이산화탄소(CO₂) 또는 동굴 속에서 발산시키는 아황산가스(SO_x)와 같은 일차적으로 방출된 것이고, 이차적인 오염이란 이들의 복잡한 성분들이 서로 화학반응을 일으켜 이차적으로 재생산적인 공해작용을 일으키는 것을 말한다. 요즈음은 동굴내의 대기오염에 대한 관심은 주로 이차적인 오염의 형태에 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

동굴은 그 내부 규모에 따라서 최대 입동 인원이 달라진다. 따라서 대기오염이란 주로 인위작용에 의한 오염물질의 발산에서 생기는 것으로 그 오염의 기준치의 설정은 너무나 막연하다. 소규모의 작은 동굴 속에 동시에 많은 관람객이 들어가면 동굴의 입구가 좁아 외기와의 통기가 잘 이루어지지 못하므로 가벼운 두통이나 현기증을 느끼게 되는데 이는 동굴내의 대기질 변화 때문이다. 요컨대 동굴의 습도가 매우 높고 온도가 일정하다는 것은 우리가 반드시 인식해야할 환경요인이다. 다만 동굴입구

부근에서는 습도가 매우 높기 때문에 대기질과 중화되는데 이는 동굴내외의 온도가 각기 다르게 나타나기 때문이다. 기온이 낮아짐에 따라 습도는 상승하고 온도가 높아짐에 따라 습도는 감소되기 때문이다. 즉, 주간은 공기는 태양열로 기온이 높아지게 되어 밀도도 적어지고 기압도 낮아지는 반면에 야간에는 공기가 냉각되어 기압이 올라가게 된다. 따라서 일반적으로 공기는 일몰 후에는 동굴 내로 외기의 공기가 유입되고, 일출 후에는 동굴의 대기가 동굴 밖으로 유출되고, 일출 후에는 동굴의 대기가 동굴 밖으로 유출되는 것이다.

사실상 계속적으로 동굴 내에는 기압의 변화를 가져오는 관계로 이 기압의 차이 때문에 대기의 이상현상이 일어나게 마련이다. 그러므로 동굴에 있어서도 외기의 공기가 동굴 내부로 침투하는 경우 많은 관람객이 입동하고 있어 이들의 영향을 받아 기류의 이동이 감퇴되고 있다. 이와 같은 동굴내의 기류 이동은 비교적 동굴환경 변화에 커다란 영향을 준다. 그러나 동굴의 규모가 큰 경우에는 커다란 기류의 이동이 적어 환경 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 다만 출구 부근에 있는 각종의 악취가 동굴 내에까지 역류하여 들어옴으로써 관광객들의 호흡과 어우러져 동굴내의 대기질을 오염시키고 있다. 또한 때로는 날씨의 변화에 의하여서도 동굴 내의 대기질 오염이 생겨나기까지 한다.

2. 동굴의 수질오염

수질오염이란 홍수 때의 수질의 혼탁, 채탄지역에 있어서의 분진 또는 토양(탄질)이 유수에 혼합되어 오염되는 경우와 광산, 온천수의 지질에 의한 산성화나 중금속의 유입 등의 자연적인 요인과 가정에서의 생활하수, 공장에서의 배출하수 그리고 오물의 매립 등에 의한 인위적인 요인 등으로 공공수역이나 일반수역의 수질이 물리적·화학적 그리고 생물학적으로 불리한 방향으로 변화되어 가는 것을 가리킨다.

동굴의 동굴수는 일반적으로 전기에는 지표수의 투수가 지하수로 되어 유입되고 있어 수질의 오염이 거의 없지만 우기의 홍수 시에는 지표수가 암질의 열극이나 흡인구로 대량 유입되므로 이때에는 이미 오염된 토양이나 탁류가 섞여서 동굴수로 되는 경우도 나타나게 된다.

동굴 지표면에 산재하고 있는 크고 작은 여러 개의 돌리네 지역으로 스며드는 지

표수(surface water)가 강수계절에 동굴 속에 스며든 물이 동굴수에 합류되면서 동굴 지하수(ground water)로 되고 있는데 동굴 지표의 상태가 오염되어있지 않기 때문에 동굴 수질의 오염은 심하지 않는 것으로 보고 있다. 그러나 동굴 관광객들에 의하여 동전투여, 방뇨, 오물, 담배꽂초 등을 버리는 경우에 동굴 내 수질오염의 원인이 되기도 하므로 동굴내의 인위적인 오염만을 주의하면 큰 수질오염은 방지할 수 있다. 사실상 동굴내의 수질은 원칙적으로 오염 되서는 안 되는데 이는 진동굴성 생물의 서식에 크게 관계되고 있기 때문이다. 동굴의 수질오염은 동굴생물의 생태계 유지에도 크게 지장 받는 것이므로 이와 같은 물지각한 행위는 삼가해야 하며 동굴 관리자의 주의와 감독이 반드시 필요하다고 본다.

3. 동굴의 수질 실태

동굴은 습도가 높고, 조도가 낮으며, 비교적 환기가 잘 안되는 특성이 있으므로 동굴내의 수질 악화는 동굴외 환경에서의 수질오염시보다 심각한 영향을 초래 할 수 있다. 또한 동굴의 물은 위에서 떨어지면서 분산되어 높은 습도를 유지하고 이러한 수분은 동굴의 물을 우리 인체에 직접 피부를 통하여 접촉하게되고 또는 입으로 흡입되어진다. 따라서 우리 인체에 축적이 되어 독성효과를 일으킬 수 있는 중금속(heavy metal)이 존재할 경우에 매우 심각한 문제를 야기할 수 있다. 어떤 중금속은 수중에 다량 존재시 수질을 악화시키며, 또 다른 중금속은 인체 내에 축적되어 심각한 급성중독증세 또는 만성독성증세를 일으킨다. 따라서 동굴 보전 및 관람객의 건강을 위하여 동굴 내에 존재하는 미량(trace amounts)의 중금속에 대한 분석이 필요하게 된다. 동굴 내의 물 속에 존재하는 미량의 중금속을 분석하기 위한 조건과 결과는 다음과 같다.

1) 시료채취

시료는 1999년 9월 19일 강원도 정선군에 있는 화암굴 내의 두 지점인 이무기 연못과 황금주앞에서 각각 채취하였다. 동굴 내의 두 지점에서 동굴수를 채취한 후 질산을 넣어 pH를 1 이하로 낮춘 다음 분석 시까지 보존하였다.

2) 분석방법(Atomic Absorption Spectrometry : AAS)

시료의 분석방법은 수질오염공정시험법에 의한 원자흡광광도법에 의하여 시행하였으며 분석항목은 아연(Zn), 철(Fe), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 구리(Cu)의 6개 항목으로 하였다.

3) 결과 및 고찰

동굴의 수질분석 결과 하천의 수질환경기준이 설정되어 있는 크롬, 카드뮴, 납은 검출되지 않아 수질환경기준 이내의 범위에 있었으며, 하천의 수질환경기준 항목으로 설정되어 있지 않은 아연, 구리, 철의 분석에서 구리는 검출되지 않았으나 아연은 모든 지점에서 철은 특별한 지점에서 미량 검출되었다.

철은 인체에 필요한 성분이지만 다량의 철은 물에 금속의 맛을 주며, 적수를 만들고 철 박테리아(iron bacteria)의 증식을 초래 할 수 있다. 일반적인 동굴수의 철 함유량은 전세계 하천수의 철 함유 평균농도인 0.67 ppm과 유사한 농도이므로 특별한 의미를 부여할 필요는 없을 듯 하다. 다만 철을 기준으로 볼 때 우리 인간이 먹을 수 있는 음용수로는 부적절할 것 같다. 아연은 인체에 미치는 독성은 비교적 적으나 수질에 따라 1mg/l 이상이 존재하면 백탁하고, 5~8mg/l 존재하면 불쾌한 냄새를 느끼게 한다. 또한 일반적으로 아연과 카드뮴의 존재비율은 200 : 1로 존재하기 때문에 자연 중에 아연이 정상적으로 높게 검출될 때 카드뮴에 의한 오염이 우려가 된다.

4) 분석의 예

동굴내의 수질오염 상태를 조사하기 위해 채집한 동굴내 두 지점의 물을 분석하였다.

유도결합 플라즈마 질량분석기(VG Elemental / PQ II Plus)를 이용하여 측정하였는데, 그 기기의 원리를 살펴보면 다음과 같다. 시료는 라디오 주파수장에 의해 생성·유지되는 아르곤 플라즈마(argon plasma)에 의해 이온화되며, 정전기적 렌즈가 양전하를 가지고 있는 이온을 특정 질량대 전하의 비율에 따라 추출하여 4가지의 필터로 보내 다시 원소별 질량분석을 한다. 또한 이온의 숫자는 이온 검출계(ion

detection system)에서 농도로 계산이 된다. 액체시료의 경우 1% HNO₃ 매트릭스(matrix)이어야 하며, 부유물질(suspended materials)이 있는 경우 0.45 μ m 필터로 여과한다. 필요한 시료의 양은 액체시료는 약 15ml정도이며, 소량의 액체시료의 경우 부착 설치된 전열기화장치에 의해 주입 가능하다. 실험 결과는 다음과 같다.

첫째, 이무기 양어시설 시료의 알루미늄(Al) 함유량이 황금종유벽 시료의 함유량보다 4배 이상 높게 나타나고 있다.

둘째, 니켈(Ni)의 함유량 역시 황금종유벽 시료보다 이무기 양어시설 시료가 3배 정도 높게 나타나고 있다.

셋째, 구리(Cu)의 함유량도 황금종유벽 시료보다 이무기 양어시설 시료가 2배 높다.

넷째, 아연(Zn)의 경우에는 이무기 양어시설 시료가 황금종유벽 시료보다 4배정도 높게 나타나고 있다.

다섯째, 동굴 내의 석회질의 성장과 관계하는 칼슘(Ca) 원소 함유량의 경우는 이무기 양어시설 시료에 비해 황금종유벽 시료가 높게 나타나고 있다.

따라서 이상의 수질 분석 결과 황금종유벽 시료의 경우에는 Ca의 함유량이 높게 나타난 점으로 보아 황금종유벽의 성장이 미세하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 황금종유벽 시료에 비해 이무기 양어시설이 시료에서 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 구리(Cu), 아연(Zn) 등의 원소 함유량이 높게 산출된 점은 황금종유벽의 접근은 어렵는데 비해서 이무기 양어시설에서는 입동객들이 동전을 던지는 행위로 인해 수질이 변화하고 있음을 알 수 있다. 동굴의 수질을 살펴보면 수소이온농도(pH)는 7~8사이의 값을 나타내어 중성부근으로 나타났는데 이는 우리 나라 대부분의 석회동굴에서 나타나는 것과 유사한 pH값을 보이고 있다. 경도는 동굴내부에서는 150~160mg/l 정도로, 외부에서는 그보다 다소 낮게 나타났다. 그러나 이것은 계절과 유량에 따라서 주변 석회암 지대를 흘러나온 유출수의 양에 따라 차이가 많이 나는데 유출수의 양이 많으면 약 2배까지 올라가는 수도 있다.

나트륨(Na)은 대개 1~2ppm으로 전 지역에 걸쳐서 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 인(P)은 1ppm 미만으로 나타나 주위 인근지역에서 산업 및 생활폐수가 크게 유입되지는 않는 것으로 나타났다. 이것은 동굴을 배태하고 있는 산 주위의 상류에

촌락이나 공장을 갖고 있지 않기 때문이다. 마그네슘(Mg)은 0.5ppm 미만으로 전반적으로 다른 동굴에서 나타나는 값과 비슷하게 나타났다. 한편 알카리도는 130내외로 나타났으며 동굴내부의 물에서 약간 더 높게 나타났다. 그리고 SiO₄는 다른 석회동굴과 비슷하게 나타났으며 동굴내부는 외부보다 석회암의 영향으로 조금 높게 나타났다.

한편, 동굴내의 수질오염 분석의 경우에는 계속되는 안전진단에서도 기존에 조사된 수질 오염 상태와 비교함으로써 동굴 내부 이차생성물의 성장과 동굴 내의 환경보전에 기여하는 동굴의 수질을 보호해야만 한다.

4. 동굴의 생태변화

원래 동굴 내는 향온, 향암, 향습의 환경을 지녀야 하는데 모든 동굴은 관광개발로 인하여 이러한 환경이 점차로 파괴되어 가고 있다. 이와 같은 원인은 밝은 조명과 많은 동굴 출입 관람객 때문에 고온 건조하여 동굴의 환경이 변화되어 녹색공해와 같은 동굴환경의 변화를 보게된 것이다. 그리고 심지어는 이차생성물의 오염 및 박리현상 등이 나타나기도 한다.

수온은 대체로 13℃ 내외로 나타났는데 동굴 내의 수온은 계절에 따라 다소 다르게 나타나지만 연중 변화는 2~3℃ 정도에 불과하며 과거의 여름철 조사에 의하면 대체로 14~15℃를 나타내고 있었다. 그리고 과잉개발 시설과 많은 관람객의 동시 관람, 통행로의 과밀현상은 동굴내의 환경을 변화시키고 있으며 동굴내의 자연경관까지도 해치고 있다. 또한 동굴 주변의 과다한 상가주택의 밀집과 동굴내부의 감소, 이차생성물의 건화, 박리, 그리고 녹색 및 흑색공해 현상이 심화되기도 한다. 이상과 같은 원인들이 동굴의 환경변화에 큰 영향을 주고 있어 여기에 주기적인 환경보전진단이 필요하고 조명등이 비추어지는 부근에 이끼류나 양치류 같은 하등식물이 자라게 되는 경우도 있다. 이것은 조명등의 빛과 온도에 관계되는데 이와 같은 하등식물들이 자라게 됨으로써 동굴생물의 생태계에 커다란 변화가 생기기도 하는데 특히 동굴생물을 해치는 갑충류가 생기거나 종유석, 석순, 유석(플로우스톤) 등의 표면을 파괴시키기도 한다. 미생물 오염 이외에도 하등식물인 녹색오염도 나타나는데 이는 조명등이 있는 부근에 나타나고 있다. 이 밖에도 박리현상이 이차생성물의 표면에

나타나고 있는데 이들은 표면의 석질의 조직, 성분, 습도와 이산화탄소(CO₂)의 농도 그 밖의 환경은 파괴되어지는 것이 당연하다.

자연동굴이 그대로 보전되고 있다면 모르지만 일단 관광동굴로 개발되면 개발의 시설, 설비 그리고 개발 후에는 수많은 관광객이 출입하기 때문에 이로 인한 환경파괴는 당연한 일이라고 하겠다. 더구나 관람객에 의하여 부주의로 인해 버려지는 물질인 동전, 휴지, 배설물, 음식물 찌꺼기, 건전지 그리고 각종 유실물 등이 모두 환경을 오염시키는 결과를 초래한다. 이와 같은 유기물이 부패되기에 알맞은 동굴내의 온도와 습도는 미생물의 번식을 촉진하게 된다. 뿐만 아니라 인체에 묻어서 동굴 내로 유입되어진 미생물과 균류도 무시할 수 없는 환경오염의 원인이 되고 있다.

5. 동굴 속의 환경공해 실태

동굴이 개발되면 동굴 속의 생태환경은 파괴되는 것이 사실이다. 더구나 동굴 내부의 시설설비에 의한 환경오염은 물론이지만 많은 사람들의 출입이 동굴내부환경을 크게 변화시키게 되며 특히 통로시설과 조명시설 등의 과잉개발은 조명시설에 의한 조명도에 의한 동굴내부온도, 지형지물에의 투사온도 때문에 이른바 녹색공해인 이끼류의 발생, 지형지물 표면의 건화현상이 백색공해가 나타나게 된다.

한편, 동굴의 생태환경은 항상 동굴 내의 온도나 습도가 일정하고 어둡고 캄캄한 환경이 동굴생물서식에 기본환경이 되고 있는 것이다.

1990년대에는 많은 관광객의 집중 출입으로 동굴내부에 건화현상이 많이 나타나고 있었음은 주지하는 바와 같다. 따라서 동굴관리소측에서는 이와 같은 건화현상을 방지하기 위하여 동굴내의 습도 환경유지를 위하여 스프링 쿨러시설, 동굴내부의 이중 창문시설과 산수작업 등의 환경변화시설을 실시하여 동굴내의 기온, 습도, 환경유지에 주력하고 있는 실정이다.

이 밖에도 최근(1995년 이후)에는 계절별 통행코스의 변경으로 동굴내부의 환경보전을 위하여 제도를 제정하여 이를 실시하고 있는 실정이다.

그러나 지나친 습도(동굴환경습도는 평균 75~80%)유지는 도리어 흑색오염이라고 할 수 있는 지형지물의 흑색오염을 나타내고 있는 현실이고 나아가서는 동굴 내부의 급격한 생태환경의 변화는 지형지물표피 즉 표면에 박리현상(피부병)이라는 공해도

나타나게 된다.

사실상, 지표면 즉 동굴 외부의 기후기상상태가 밀폐되었다고는 하나 옅은 동굴지 각지표지층을 통하여 동굴 내부에 외기 기상상태가 스며들어 오기 때문에 동굴 내부의 환경은 악화되는 것이다. 뿐만 아니라 항상 출입하는 관광객들의 체온과 내뿜는 이산화탄소 등 때문에도 환경오염을 일으킬 수 있는 요인을 조성하게 되는 것이다.

따라서 동굴의 생태조사에서는 흑색공해는 물론이요, 녹색오염현상, 백화현상, 그 밖에 박리현상까지도 곳곳에서 발견되고 있어 이들에 대한 환경보전대책이 요구되고 있는 실정이다.

Ⅲ. 결 론

동굴의 개발에는 문화유적 가치를 높이는 것 이외에 환경파괴가 뒤따른다는 것에 우리 모두가 관심을 가져야할 것이다. 동굴을 개발하여 관람객에게 공개하였을 때 발생하는 동굴내의 환경오염 문제는 이제는 더 이상 묵과해서는 안될 것으로 동굴의 생태계 보전과 관련하여 매우 중요한 문제이다. 동굴내부의 대기오염문제 발생을 막기 위하여 동굴 내부의 적절한 최대 동원인원을 산정하여 동시에 과도한 관광객이 체재함으로써 발생하는 이산화탄소의 양을 줄여야 할 것이다. 동굴내의 과량의 이산화탄소의 발생은 동굴내의 평균 온도를 올릴 가능성이 있음을 주지하여야 한다. 동굴내의 수질오염을 막기 위하여 미량의 중금속이 유입되지 않도록 각별히 조심하여야 하고 이미 오염된 동굴수를 분석할 수 있는 미량분석 방법을 개발하여야만 한다. 따라서 동굴을 개발할 것이냐 아니면 그대로 보전 방치할 것이냐의 문제는 현 시대의 모순이요 딜레마인 것이다. 최소한의 개발로 환경의 유지 보전을 기하도록 해야 하며 또한 지속적인 환경변화 상태의 파악 조사 사업이 요구되는 것이다.

*** 참고문헌**

- 김원인, 1995, 관광학원론, 학문사 : 서울.
- 문화공보부, 1994, 한국의 동굴.
- 울진군, 1992, 성류굴의 환경보전 및 안전진단조사 연구보고서.
- 이장춘, 1993, 관광자원론, 대왕사 : 서울.
- 이 근, 1996, 신관광자원론, 학문사 : 서울.
- 정선군, 1996, 정선군 화암동굴의 환경보전 및 안전진단 연구보고서.
- 조현호, 1998, 관광학개론, 대왕사 : 서울.
- 한주성, 1996, 인간과 환경, 교학연구사 : 서울.
- 홍시환, 1990, 한국동굴대관, 삼주출판사 : 서울.
- 김병문, 1986, "한국 관광자원의 유형별 분포에 관한 지리학적 연구," 경희대학교 대학원 박사학위논문.
- 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.
- 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, 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.

Abstract

A Study on the change of Ecological Environment in Cave cause by the Pollution of Cave Environment and Analysis of Environmental Pollutants in Cave

Lee, Kyung-Ho*

Recently many environmental researcher are concerned about the ecological environment and the issue of environmental pollution in cave. In this paper we discuss about air pollution, water pollution, state of water quality, ecological environment and situation of environmental public damage in cave. The concerning of air pollution in cave is mainly to the type of secondary contamination, which much is developed in various fields recently. The natural water in the most of cave is no problems but ground water has slitting with natural water during much raining period. The state of water quality is gradually contaminated with artificial environmental pollution, that is, the contents of kinds of Aluminum, Nickel, Copper, Zinc and Calcium are higher than before. On the other hand it is very important things to keep the control of constant temperature, darkness and humidity in cave. The contamination by lamp flora and even black colored contamination are appeared nowadays. The ecological environment in cave destructed by growing of microorganism.

In fact the internal of cave is shielded with the state of climate of cave external but the environment of internal cave is contaminated, because blowing from external climate state. In addition to environmental pollution caused by carbon dioxide and body temperature of tourists. By the way eco-examination of cave is black color public damage, green color one and white color one has been discovered, so we need to have the situation of demand of environmental reservation alternatives.

* Professor, Kyongju University