

개방동굴의 환경오염 메카니즘에 관한 연구 - 고수동굴을 사례로 -

홍 현 철*

A Study on the Mechanism of Environmental Pollution in Caves

Hyun-Cheol, Hong

Abstract : If a cave is developed and opened to the public, the pollution in caves is inevitable. This kind of environmental pollution is caused by an environmental pollution system that is formed by the interaction among various pollution factors, not by a single factor. The main causes of the pollution are the development of passage, installation of lamps, tourists, oxidation of fixtures, temperature rise and littering, which in turn causes environmental pollution such as green and black mold growth, vating, exfoliation and water pollution.

Key Words : environmental pollution, mechanism, cave

국문요약 : 동굴이 개발되어 일반인에게 개방되기에 이르면 동굴의 환경오염은 피할 수 없는 문제점으로 부각된다. 이러한 환경오염은 단순한 하나의 요인에 의해서 결정되는 것이 아니고 다른 여러 요인들과 함께 복합적으로 상호작용을 이루면서 하나의 환경오염시스템을 구성한다. 그 주요 요인으로는 통로개설 및 조명 등 설치, 관광객출입, 구조물의 산화, 기온의 상승, 지형지물의 접촉, 쓰레기 투기 및 방치 등을 들 수 있으며, 이러한 요인에 의해 녹색곰팡이, 흑색곰팡이, 건화현상, 박리현상, 수질오염 등의 환경오염을 초래한다. 주요어; 환경오염시스템, 통로, 구조물, 관광객, 녹색곰팡이, 흑색곰팡이, 건화현상, 박리현상, 수질오염

1. 서론

최근 동굴이 하나의 관광자원으로서 각광을 받고 있으며, 이 동굴자원은 동굴의 신비성과 탐험성, 특수성 등의 관광요소와 결합되면서 많은 관광객을 유치하고 있다. 더욱이 동굴을 통한 각종 이벤트 관광은 동굴 자원뿐만 아니라 주변 관광지와 연계관광에도 많은 효과를 발휘한다고 할 수 있다.

이렇게 그 지역의 주요 관광자원으로서 그 자원의 중요성이 높아지고는 있으나, 무한한 관광 자원의 한계성을 가진 동굴은 시간의 경과함에 따라 점차 환경피해사태가 늘어나고 있다. 따라서 최근 외국에서는 환경적 측면에서 동굴에 관

한 논문이 발표 되고 있으며, 이 동굴자원의 관광 자원의 효과를 지속할 수 있는 방법이 모색되고 있다. 그러한 환경오염의 진행 과정을 밝히거나 환경오염 실태를 통한 조사나 연구가 지속되고 있다.

우리나라는 현재 15개의 동굴이 개방되고 있고, 이러한 동굴에 대한 학술조사가 진행되고는 있으나, 아직까지 미래의 동굴환경의 변화에 대한 연구나 대책이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 고수동굴을 사례로 환경오염 실태를 파악하고, 나아가 환경오염의 메카니즘을 밝히는데 있다.

고수동굴의 환경오염 실태조사는 2008년 8월에서 10월까지 4회에 걸친 조사가 이루어졌다.

* 건국대학교 교수

기온, 습도, PH, 수온, 조명시설분포, 조도측정 등의 기초자료의 조사가 이루어졌으며, 이러한 자료를 바탕으로 환경메카니즘을 고찰하였다. 조사는 건국대학교 지리학과 동굴반 학생들의 협조로 이루어졌으며, 자료정리 및 분포도 작성에 도움을 주었다.

2. 고수동굴 내의 환경오염

사례

- 동굴의 환경이라고 한다면 동굴의 기온, 수온, 습도, pH, 조도뿐 만 아니라 동굴 내부의 구조와 종유석, 석순, 석주, 림스톤과 같은 동굴지형, 그리고 동굴내부의 생물들이 동굴의 환경에 포함된다.

- 동굴 환경이 오염 된다는 것은 앞에서 말한 동굴의 기온, 수온 등의 조건들이 변하고 내부의 지형지물이 파손 된다는 것을 의미한다.

- 오염되기 전의 동굴의 환경 즉 동굴의 가장 큰 특징은, 빛이 없어 항상 어둡다는 점이다. 또, 동굴 입구 부근을 제외하고는 내부와 외부의 공기 순환이 잘 일어나지 않는다. 따라서 항상 동굴내부는 연중 일정하게 서늘한 기온, 높은 습도가 유지된다.

- 이렇게 항상 일정하게 유지되는 동굴의 환경이 변하게 되는 것은 관광지로 일반인들에게 개방하기 위해 동굴을 개발하기 때문이다. 아름다운 천연자원인 동굴을 관광지로 개발하기 시작하면서 동굴의 환경오염은 시작된다고 할 수 있다.

2-1. 동굴개방과 통로 개설에 관련된 환경파괴 사례

- 개발로 인한 환경오염으로는 가장 먼저 관

광객을 위한 동굴의 통로개설을 생각 할 수 있다. 통로를 개설하면서 동굴 내부의 지형지물의 훼손이 일어나게 된다.

- 천연 상태의 동굴은 구조가 매우 복잡해서 관광객이 안전하게 내부를 둘러볼 수 있도록 하는 통로나 계단을 설치가 필수적이다.

- 하지만 이 통로와 계단을 안전하게 설치하는 과정에서 어쩔 수 없이 주변 지형지물을 많이 훼손시키게 된다. 주로 통로 바닥의 지형지물 즉 석순과 동굴산호와 같이 동굴의 바닥이나 낮은 벽면에 형성되는 지형지물은 많은 피해를 입게 된다.

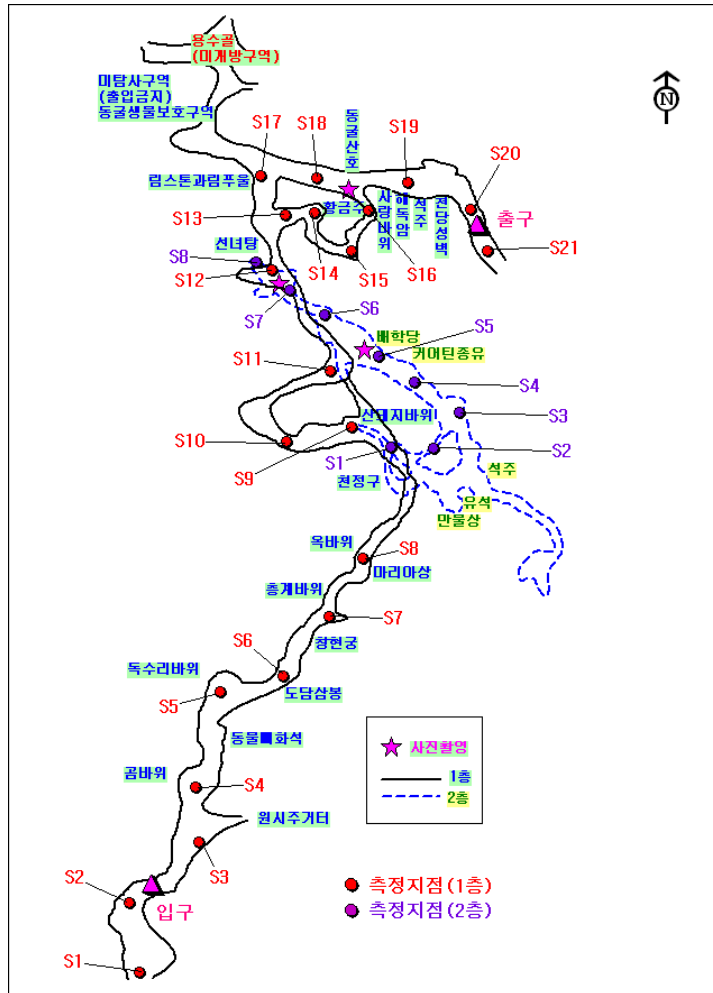
- 또한 통로에 가까운 지형지물들은, 개방 이후 관광객들이 지형지물을 직접 접촉함에 따라 통로에서 가장 가까운 지형지물들은 대부분 표면색이 검게 변화(오손)되어 있다.



사진 1. 동굴내부 이동통로

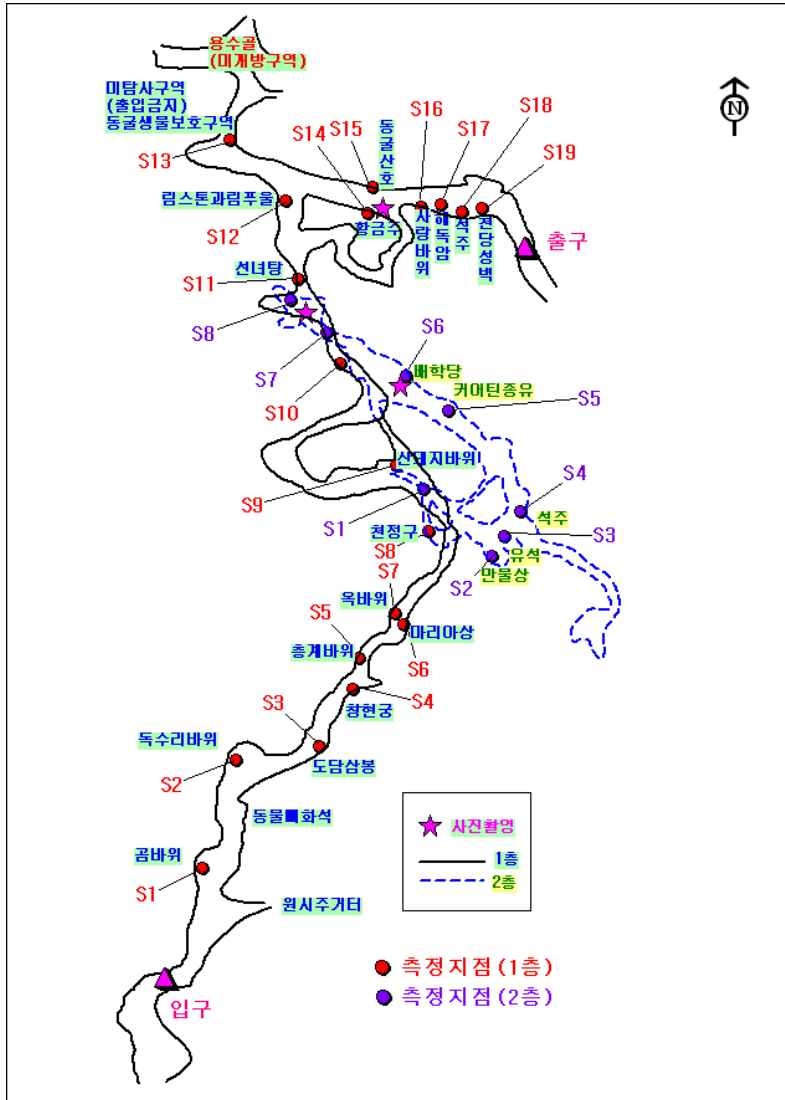
2-2. 기온분포와 관련된 환경오염 사례

- 그림 1은 2008년 9월 19일-20일, 9월 29일에 걸쳐 2차례의 측정된 결과이다.



온도		온도		온도	
s1	23.5	s11	16.7	s22(2층)	17.5
s2	19.9	s12	17.5	s23	18.15
s3	19.5	s13	18.9	s24	18.5
s4	17.1	s14	18.9	s25	18.2
s5	20.4	s15	19	s26	18.7
s6	20.2	s16	20.1	s27	18.6
s7	18.9	s17	17.5	s28	18
s8	16.7	s18	19.6	s29	17.4
s9	19	s19	20.4		
s10	17.3	s20	25.4		
		s21	16.4		

그림 1. 고수동굴내의 기온분포



조도	20lux	조도	20lux	조도	20lux
s1	8.51	s11	3.72	s21(2층)	2.88
s2	6.26	s12	8.41	s22	3.06
s3	8.32	s13	7.44	s23	5.13
s4	9.3	s14	3.25	s24	4.31
s5	6.57	s15	2.57	s25	8.16
s6	2.96	s16	2.12	s26	4.49
s7	1.38	s17	3.78	s27	0.85
s8	4.91	s18	4.2	s28	1.09
s9	1.37	s19	2.68		
s10	5.99	s20	1.54		

그림 2. 동굴 내 조도분포

- 동굴 내부구조 상에서 수직과 수평 동굴의 복합적인 구조를 가진 고수 동굴에서는 2층부와 출구지역 등에서 상대적으로 높은 기온 분포를 나타낸다. 이는 여러 가지 요인에 의해 온도가 높아진 공기는 입구(고도낮음)에서 출구(고도높음)로 이동하거나 2층 지구로 이동하게 되기 때문이다.

- 관람객이 출입하면, 체온과 입김으로 인한 기온상승 현상이 두드러진다.

- 어두웠던 동굴의 내부를 관광객들이 안전하게 이동하기 위한 통로의 조명과 관광객이 지형지물을 잘 볼 수 있도록 지형지물을 비추는 서치라이트형 조명시설의 설치가 필수적인데, 그것 역시 동굴 내부의 기온분포에 막대한 영향을 준다.

- 국지적 지역 중에서 높은 온도를 나타내는 지역은 지형지물과 조명등의 위치가 가깝거나 너무 밝은 조도를 나타내는 조명등 주변지역에서도 온도가 높음을 알 수 있다.

2-3. 동굴 내의 수질오염에 관련된 환경오염 사례

- 동굴의 통로와, 계단은 모두 철제 구조물로 이루어져 있기 때문에 이러한 구조물들은 동굴 내부의 높은 습도로 인해서 쉽게 산화되어 동굴 내부에 있는 물의 PH에도 영향을 끼치게 된다.

- 특히 물속에 지지대를 가진 통로부근에서는 그 산화정도가 더욱 심하여 낮은 PH를 나타낸다.

- 또 다른 원인은 동굴을 방문하는 관람객이라고 할 수 있다. 동굴에 출입하는 관람객이 동굴 환경오염에 큰 역할을 하고 있다.

- 동굴내부를 둘러보면 물속에 들어있던 수많은 동전들을 발견할 수 있으며, 동전들 말고도 생수병과 같은 쓰레기, 음식물 찌꺼기 등이 떠

있는 것을 볼 수 있다.

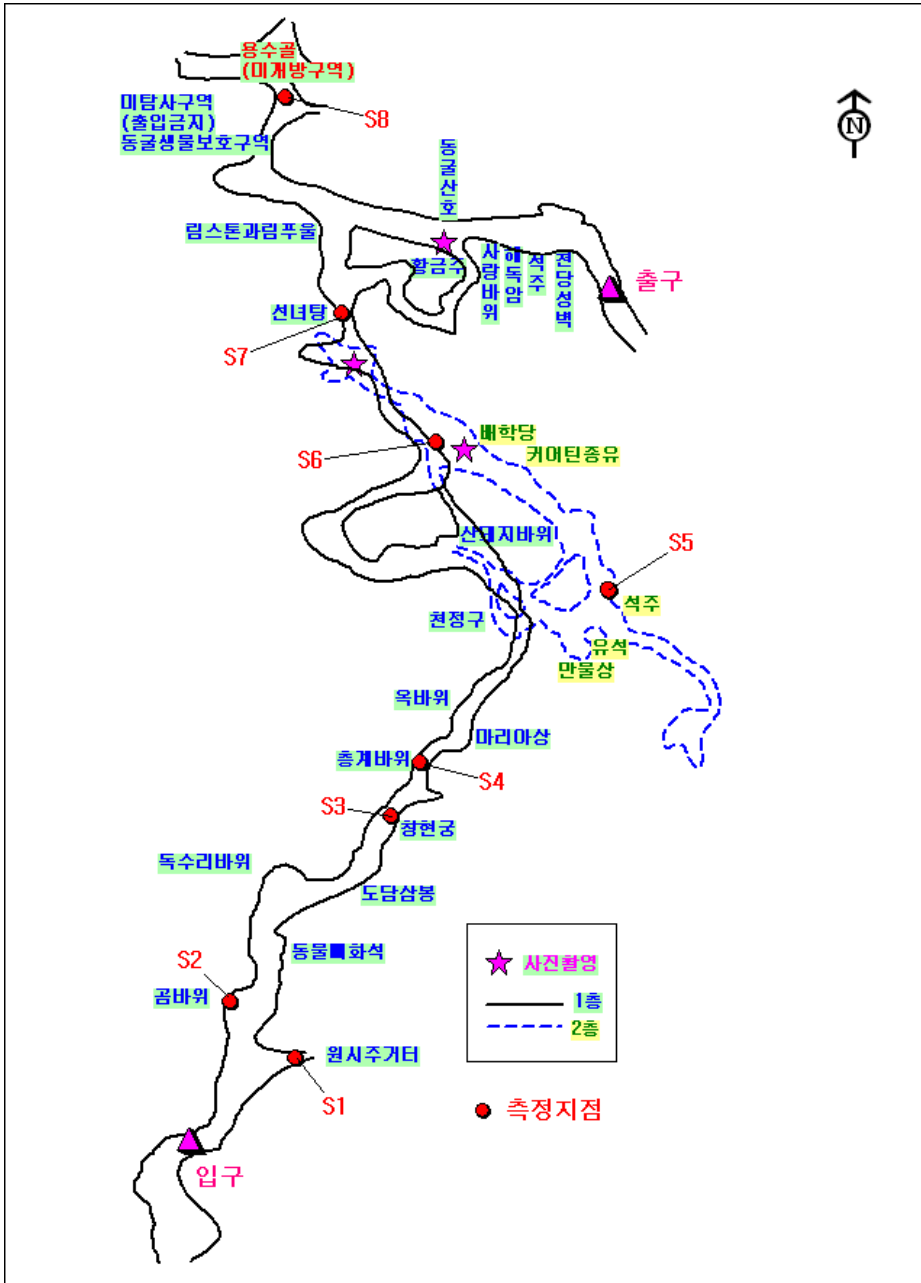
관광객들의 이러한 부주의함으로 인해 동굴 내부 수질이 오염된다고 할 수 있다.



사진 2. 쓰레기 방치



사진 3. 물속에 잠긴 동전



ph		수온	
s1	7.9	s1	15.3
s2	7.9	s2	15
s3	7.4	s3	15.3
s4	7.6	s4	15.1
s5	7.5	s5	15.2
s6	7.9	s6	14.9

그림 3. 수질 및 수온 분포

3. 동굴환경 메카니즘

- 관광객의 출입으로 땀과 체온, 열기와 조명 시설로 인한 가장 큰 문제는 동굴 내부의 기온 상승이다.

- 특히 동굴내 조명은 빛을 비추는 특정 벽면에서만 기온상승이 일어나는 것이 아니라 동굴 내부에 전체적으로 기온을 상승시키게 되었다는 점이다. 원래 동굴은 일정하게 온도가 유지되고 있는데 동굴내부에 전체적으로 영향을 끼치게 되어 기온상승과 동굴내 공기의 흐름을 바꾼다,

- 이렇게 기온이 높은 지역에서는 일반적으로 동굴의 바닥이나 벽면이 말라 나타나는 건화 현상이 진행된다.



사진 4. 건화현상

- 조명이 특정 벽면을 계속 비추면서 그곳의 온도가 상승하여 녹색곰팡이가 생기게 된 것이다.

- 녹색곰팡이는 적당한 온도와 빛, 충분한 습도가 일치되어 형성된다

- 조명의 방향을 주기적으로 변화시켜주면 녹

색곰팡이의 생성을 막을 수 있다. 하지만 그렇게 조명을 비추는 방향을 주기적으로 변화시키면 빛을 받지 못하게 된 벽면의 녹색곰팡이가 흑색곰팡이로 변질되는 현상이 일어난다. 따라서 조명설치로 인해서 동굴내부의 기온상승이 일어났고 이로 인해 녹색과 흑색 곰팡이가 생겼다고 할 수 있다.

- 원시상태의 동굴에서는 내부 어느 곳이든지 기온이 일정하게 나타나는데, 조명으로 인해 동굴 내부 곳곳의 기온이 차별적으로 상승하게 된다. 이로 인해 풍향의 변화가 일어나며, 더운공기가 모인 곳에서는 동시에 동굴 내부가 말라가는 건화현상이 일어나게 됩니다. 또한 건화현상으로 인해 마른 벽면이 그 껍질이 벗겨져 나가는 박리현상이 나타나게 된다.

- 완전폐쇄형 철문으로 되어 있는 동굴은 폐장 후 철문을 닫고 나면 동굴내의 기류의 흐름이 차단되어 고층 지구에 상승된 기류가 계속 머물게 되며 이것이 건화현상을 촉진시키는 역할을 하고 있다.

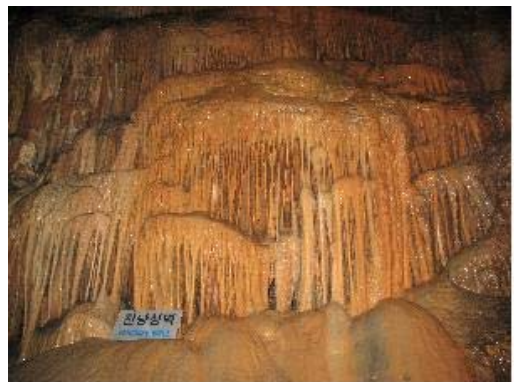


사진 5. 박리현상

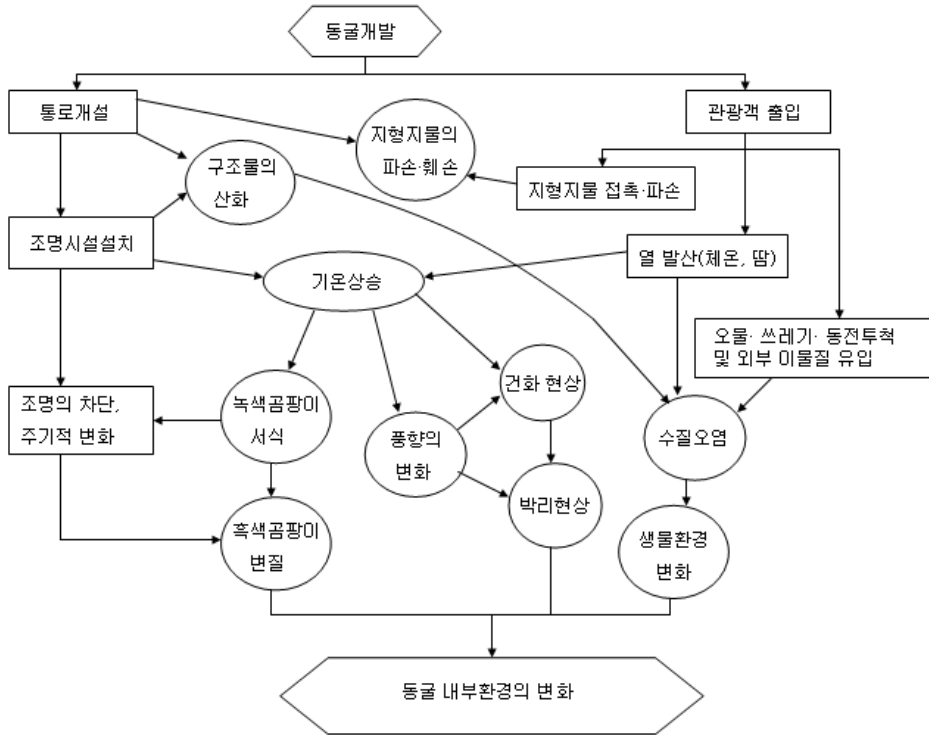


그림 3. 동굴내부 환경오염 메카니즘

- 동굴 내부의 통로와 같은 철계로 된 모든 보조물 들은 동굴수의 수질을 변화시킨다.
- 관광객의 모뎀투기나 쓰레기 방치도 수질에 영향을 준다.
- 이러한 불순물로 인해 동굴수의 PH변화가 발생하고, 동전으로 인한 중금속 오염까지, 동굴 내의 생물에 까지 영향을 주어 동굴내의 환경오염이 우려되고 있는 상황이라고 할 수 있다.
- 이와같은 여러 현상을 간단한 모식도로 표현하면 그림과 같다.

4. 결론

이와 같이 동굴이 개방되고 관광객이 출입되

면서 동굴내부의 환경변화는 어쩌면 필연적이라고도 할 수 있다. 지형지물의 손상 및 변화, 건화 박리 현상, 녹색곰팡이와 흑색 곰팡이의 확대, 수질환경의 변화에 따른 동굴 생물의 감소 등 많은 환경문제를 가지고 있다.

동굴환경에 영향을 끼치는 여러 요인들을 통로개설, 온도와 PH, 관광객, 이들 세가지 원인이 각각 따로 영향을 끼치는 것이 아니라, 복합적으로 상호작용을 통해 동굴 내부 환경에 영향을 끼치게 된다는 사실을 알 수 있다.

이렇게 계속 동굴 내부의 수질이 오염되고 기온, 습도 등이 변하게 되면 동굴 내부 환경이 식생물, 지형지물의 환경에도 큰 영향을 준다. 동굴내부에는 많은 종류의 동굴 생물들이 있는

데, 이런 오염으로 인해 이 생물들이 설 자리를 잃어 가게 된다.

동굴 생물에도 문제가 되지만 관광지로서의 천연의 아름다움을 잃어간다면 그 매력도가 낮아질 뿐만 아니라, 동굴의 안정성에도 문제가 있겠다.

이에 대한 적절한 동굴 환경 보호적 관심과 노력이 필요하다.

참고문헌

- 단양군, 2000, 온달동굴내의 일부지구 환경과 개보수 타당성조사 연구보고서.
- 동해시, 1996, 동해시 천곡동굴의 환경보존 및 안전진단 연구보고서.
- 유신, 1995, 고수동굴의 환경 및 안전진단조사 연구보고서.
- 정선군, 1995, 정선 화암동굴의 환경보전 및 안전진단 학술조사 연구보고서.
- 홍현철·김병우, 1990, 노동굴의 환경실태에 관한 연구, 동굴, 22, 73-106.
- 홍현철·유영준·홍충렬, 1996, 관광개발에 따른 고수동굴의 환경변화, 동굴, 44, 49-67.
- 천동동굴, 1990, 천동동굴 환경 및 안전진단조사 연구보고서.