

# 자연동굴의 보전과 관리

김 병 우  
상지대학교 교수

## I. 석회암동굴의 형성

석회 동굴은 석회암 지층 밑에서 물리적인 작용과 화학적인 작용에 의해서 형성된 동굴이다. 석회암층이 빗물이나, 눈 녹은 물, 지하수의 용해와 용식작용에 의해 동굴이 형성된다. 때로는 암석의 절리에 의해서 공간이 형성되기도 한다. 그 후 지하수에 의하여 석회암층이 서서히 용해되면서 천장이나 벽면, 동굴바닥에 종유석이나 석순, 석주 등의 2차생성물을 성장시킨다.

석회암의 성분이나 지하수의 양, 수질에 따라서 여러 형태로 성장한다. 이 같은 과정을 거쳐 석회 동굴이 형성되며 종유석, 석순, 석주, 종유관 등이 개체로 성장되는 경우도 있지만 대부분 무리를 지어 형성되기 때문에 잘 발달된 곳은 장관을 이룬다. 석회동굴은 지하수의 용식작용에 의해 형성되는 과정이므로 물의 양과 질은 동굴이 살아 숨 쉬는데 필수적인 요소이므로 지하수계의 보전 및 보호가 필요하다.

## II. 동굴의 주요 2차생성물

종유석(Stalactite) : 동굴의 천장이나 벽면에서 석회석이 녹아 아래로 내리떨어 형성된 생성물이다.

종유관(Straw) : 동굴의 천장 곳곳에서 아래로 내리떨어 투명한 대롱모양의 생성물로서 스트로 또는 소다스트로라고 부르기도 한다.

베이콘종유(Bacon stalactite) : 동굴천장의 절리 틈이나 동굴의 느린 경사의 벽에 옆으로 길고 얇게 막의 형태를 이루면서 성장하는 생성물로 생긴 모양이 베이콘과 비슷하다 해서 베이콘종유라고 한다.

석순(Stalagmite) : 동굴의 천장이나 벽면에서 떨어진 지하수에 포함되어 있는 여러 가지 퇴적물에 의해 위로 솟으면서 형성된 생성물이다.

석주(Column) : 천장에는 종유석이 생성되고 그 종유석을 따라 떨어지는 물방울에 의해 동굴바닥의 석순을 발달시키는데, 이들 종유석과 석순의 발달이 계속되어 서로 연결되었을 때 이것을 석주라고 한다.

커튼종유(Curtain stalactite) : 동굴 천장이나 벽면을 따라 형성되는 종유석의 일종으로 물방울이 동굴 벽면을 따라 흐르면서 생성되어 마치 커튼을 쳐놓은 듯 얇고 길게 발달한다.

동굴진주(Cave pearl) : 동굴생성물 가운데 동굴의 천장이나 벽에 부착되지 않은 생성물의 하나가 케이크펠(동굴진주)이다. 그 모양은 원형이나 타원형을 이룬다.

유석(Flowstone) : 동굴벽면을 따라 흘러내리는 지하수에 의하여 생성되는 생성물로서 마치 폭포가 흘러내리는 듯한 경관을 이룬다.

석회화단구(Rimstone, Rimstone-pool) : 동굴 속 지하수가 느린 경사의 동굴바닥을 흘러내리면, 이때

유로 바닥 면에서 증발작용이 일어나 마치 논두렁 같은 지형을 만드는데 이것을 림스톤이라 하고 물이 고인 곳을 림풀이라 한다.

**동굴산호(Cave coral)** : 대부분의 동굴에서 볼 수 있는 동굴 생성물로 구상을 이루는 돌기의 형태로 마치 산호와 같다하여 동굴산호라 한다.

**벨홀(Pocket)** : 석회동굴 속의 포화수대에서 생긴 미시적 형태의 하나로 천장이나 벽면에 패어진 용식 공을 말하며, 반구상의 오목한 곳을 포켓이라 한다.

**캐비티(Cavity)** : 포켓과 같이 포화수대 속에서 생성된 용식 형태의 하나로 그 형태는 포켓과 같으나 절리에 따라 오목하게 패인 것이 다르다.

### Ⅲ. 동굴 환경

지상의 생태계는 광합성을 통해 빛 energy를 화학 energy로 전환하는 생산자인 녹색식물들과 이들을 먹고사는 1차 소비자인 초식동물 또 이들을 먹고사는 육식동물인 2차 소비자와 동식물의 사체나 유기물을 분해하며 살아가는 미생물 같은 분해자로 구성되어 있다. 대부분의 생태계는 태양광선을 energy원으로 하여 풍부한 물질생산과 먹이사슬을 통하여 안정적인 영양공급이 이루어지고 있다.

그러나 지하생태계인 동굴생태계의 주요특성은 첫째, 태양광선이 차단되어 빛이 없는 암흑 상태이며 둘째, 온도가 내부로 들어갈수록 안정성을 나타내며 년 중 평균기온은 10℃~13℃ 사이이며 연평균 기온이나 수온의 년 중 변화가 심하지 않다. 셋째로 상대습도는 80% 이하로 내려가는 경우는 드물며 대부분의 깊은 동굴에서는 포화상태에 가깝다. 넷째로 생태계 구성의 필수조건인 영양공급원이 제한되어 있다. 대형동물이나 초식동물은 생존이 어렵고 박쥐의 배설물인 구아노(Guano)가 주요한 영양공급원이며 기타 영양물질은 지하수를 통해 동굴에 공급되기도 한다.

우리나라에는 천연기념물 178호로 지정된 삼척 대이리 동굴지대 등 13개의 천연기념물 중 환선굴을 포함한 9개가 부분적으로 공개되고 있으며 시도지정기념물중 단양의 천동굴, 정선 화암굴, 태백 용연굴과 비지정 일반 동굴인 동해 시 천곡굴이 공개되고 있다.

미개방 동굴의 환경은 ① 햇빛이 차단된 암흑상태 ② 일정한 온도와 수온, 및 높은 내부습도 유지 ③ 물질순환의 필수요소인 영양공급원이 한정되어 있다.

개방 동굴의 환경은 ① 조명등에 의한 빛과 열의 발생 ② 탐방객에 의한 온도 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도의 상승 및 미생물의 유입 ③ 조명시설의 빛과 열에 의한 녹색오염 발생.

개방 동굴 내에는 동굴 내 환경조건 변화에 의해 각종 오염현상과 지하생태계 교란이 일어나고 있다.

#### 1. 동굴내 온도의 변화

동굴은 지하에 밀폐되어 있는 공간이므로 지상과는 다른 기상특성을 나타내고 있다. 즉 동굴은 햇빛의 유입이 거의 차단되어 있어 열 교환은 오로지 동굴입구를 통한 기류이거나 천정이나 벽면으로부터의 전도를 통하여 이루어진다.

동굴내부의 기류의 이동은 계절에 따라 달라지는데, 동계의 경우 주야간 모두 외부기온이 내부보

다 낮으므로 외부의 공기밀도가 높다, 그러므로 겨울철 기류는 항상 외부에서 동굴 내부로 유입된다. 여름의 경우 풍속은 외부 대기와의 온도차이가 큰 입구 부근에서 비교적 강하고 막장으로 갈수록 약해지지만 갑자기 폭이 좁아지는 경우에는 소용돌이 현상도 나타난다.

## 2. 동굴 내 습도의 변화

동굴은 강수의 직접적인 영향과도 차단되어 있어 내부의 습도는 주로 천정이나 벽면을 통해서 유입되는 지하수에 의해서 결정된다. 그러므로 동굴규모, 깊이, 길이, 입구, 수온 등에 의해서 습도가 영향을 받고 우리나라의 동굴은 평균적으로 동굴 습도가 높고 기온의 연중 변화가 적은 것이 특징이라고 볼 수 있다.

# IV. 동굴생물의 특성

동굴생물은 식물과 동물, 미생물로 크게 구분되지만 태양광선이 완전히 차단된 동굴 내 환경에서는 동굴동물들이 주종을 이루고 있다.

동굴생물에 관한 연구는 육상생태계와 격리된 환경에서 생리, 생태적 적응을 통한 종의 분화나 유전, 진화문제를 연구하며 지하생태계와 육상생태계의 생물적인 유연관계를 규명하기 위한 중요한 분야로 인정된다.

동굴 내에는 환경에 적응하는 종들만이 서식할 수 있고 이들은 생태계 특성에 따라 세 가지로 구분할 수 있다. 환경적응 요인으로는 광도, 습도, 온도, 영양공급원과 섭식장소, 수중생물의 경우는 특히 유속, 수온, 수량, 영양원이다.

## 1. 진동굴성 동물(眞洞窟性 動物, troglobites: Tb)

진동굴성 동물은 동굴 밖의 지상생태계에서는 존재하지 않으며 동굴 속에서만 대를 이어 서식하는 대부분의 희귀종으로 전체의 약 15~20%를 차지한다. 각 동굴의 환경적 특성에 따라 오랜 세월을 거쳐 진화해온 종들이며 동굴생물로서의 특징을 잘 갖추고 있다. 화석동물도 포함된다. 대부분 암 시야에서 서식하기 때문에 시각이 퇴화되었다. 갑각류의 경우 시각이 퇴화되어 체 표면에 색소체가 분비되지 않아 체색은 백색이며 표피가 얇아 투명하다. 활동성이 제한적이고 날개가 퇴화되거나 없는 종들이 많다. 반면에 촉각이 감각기관으로서 발달되고 체모나 다리가 발달하여 감각기관의 보조기능을 하고 있다. 곤충류, 갑각류, 복족류에서 많이 나타난다.

진동굴성 생물에 관한 연구는 이들이 장구한 세월을 외부환경과 차단된 상태에서 적응해 왔으며 생물의 진화와 유전에 관한 연구에 중요한 단서가 된다.

ex) 김띠노래기, 등줄굴노래기, 장님굴새우, 갈르와벌레 등

## 2. 호동굴성 동물(好洞窟性 動物, trogliphiles: Tp)

호동굴성 동물은 동굴 내에서 번식하며 동굴생활에 적응을 잘 하는 종류들이다. 전체의 25~30%정

도를 차지한다. 지상 생태계에서도 비슷한 환경에서 살고 있는 유사한 종류들이 서식하고 있다. 대체로 진동굴성 동물로의 변화과정에 있는 것들이다. 시각이 퇴화과정에 있고 색소는 부분적으로 남아 있다. 생리, 생태적으로 동굴환경에 적응되어 있는 것이 대부분이다. 먹이사슬에 의해 서식지가 구분된다.

ex) 굴뚝거미, 민자가게거미, 방패소경거미, 알락곱둥이, 굴곱둥이, 장님굴가시톡토기, 등

### 3. 외래성 동물(外來性 動物, troglonexes: Tx)

동굴 내에 우연한 기회에 들어온 동물로서 동굴 내에서만 계속 서식하기 어려운 것들이다. 동굴을 드나들며 살거나 동굴입구부근의 그늘진 곳에 산다. 동굴 속에 유입되어 들어온 미입성(迷入性)이거나 동굴에서 서식하면서 외부에서 일정기간 활동하는 내객성(來客性)으로 구분할 수 있다.

전체의 약 50~60%정도를 차지하며 이들 중 박쥐, 나방이, 곱둥이 처럼 야행성인 동물은 섭식활동을 위해 해가지면 동굴 밖으로 주기적으로 나가야하며 그들의 배설물과 사체는 동굴 내 1차 영양원이다. 미입성 생물들은 환경의 차이와 섭식활동의 불능으로 대부분 사멸되고 사체는 다른 동물들의 영양원이 된다.

ex) 긴넓적다리삼당노래기, 산유령거미, 말꼬마거미, 관박쥐, 줄까마귀밤나방, 담흑물결자나방, 돌좀 등

박쥐는 날을 수 있는 포유동물이다. 곤충이나 새와는 달리 길게 늘어난 손가락 사이에 물갈퀴처럼 얇은 피부막이 연결되어 날개가 형성되었으므로 이를 날개막이라고 부른다. 박쥐는 야행성이며 시각보다 청각이 더 예민하고 발달하였다. 초음파를 사용해서 물체의 위치를 파악하는 것이 특징이며 귀가 크고 이주라는 안테나 역할을 하는 기관이 있다. 밤하늘을 날아다니며 초음파를 사용하여 야행성 곤충인 나방이를 비롯한 작은 곤충들까지도 잡아먹는다. 먹이사냥의 방법이 특이하며 날개를 다양하게 이용하여 먹이를 포획한다.

우리나라의 박쥐는 대부분 작은 박쥐류에 속하며 3과 10속 24종 6아종으로 알려져 있다(손, 2001). 관박쥐는 전국적으로 분포하며 우점 종으로 알려져 있다. 개체별로 동면하기도 하고 때로는 집단으로 동면을 하기도 한다.

박쥐는 외래성(Troglonexes)으로 알려진 동물이다. 산간지대의 도로개설, 동굴개방 등으로 활동영역, 번식지, 섭식지가 갈수록 줄어들고 있다. 더욱이 약제로 남획되어 감소경향이 현저한 상태이므로 보호대책이 필요하다.

### 4. 동굴 적응 동물의 일반적 특징

① 몸의 표피가 백색이거나 투명하다.

광선이 없는 동굴에서 나타나는 형태적 특성으로 진동굴성 동물들의 특징이기도 하다. 노래기류, 동굴옆새우류, 동굴성패류, 장님플라나리아, 톡토기류에서 볼 수 있다.

② 눈과 시각이 퇴화되어 흔적만 남아 있다.

광선이 없는 동굴에서 기관과 기능이 동시에 퇴화된 것으로 본다.

③ 감각기관의 발달

시각이 퇴화된 반면에 촉각, 후각, 청각이 예민하다.

더듬이나 다리가 길게 다수 발달한 것들이 있고 몸에 털이 길게 밀생하여 감각 기능을 강화시킨다.

④ 호흡기능의 변화

호흡기관의 퇴화되고 여러 종이 피부로 호흡하며 호흡기능이 약하다.

⑤ 대사의 효율성

환경의 변화가 거의 없으므로 계절변화의 적응이 필요 없으며 빈 영양 상태이므로 적은 양의 먹이로도 오래 지탱이 가능하다. 육상생태계의 근연종보다 2배 이상 오래 산다.

5. 동굴내의 영양원

동굴내의 영양원으로 박쥐의 배설물이 일반적으로 중요하나 동굴생물 분포와 종 다양성을 고려하여 아래의 순위로 구분할 수 있다.

① 점토나 토양이 동굴내로 유입된 지역(침투수나 지하수에 함유된 유기물 퇴적지)

② 박쥐 집단서식지(천정부) 아래 동굴 바닥에 배설물 퇴적지

③ 입구부근의 유입된 낙엽, 나무토막, 동물의 사체, 배설물

박쥐배설물은 특히 수분이 함유되어 습윤한 상태일 때 부근에 생물상이 풍부하고 다양하며 건조 상태이거나 곰팡이 등 미생물이 대 발생시와 물기가 배어 있는 상태에서는 종 및 개체수가 줄어든다.

V. 개방동굴의 생태계 보호대책

진동굴성 생물의 분포는 동굴내의 습도나 수분공급이 원활하고 외부와 이격되어 환경에 변화가 적을수록 서식종이 다양하고 풍부하다. 동굴생물의 서식환경은 종류에 따라 다르다. 유기물의 퇴적지에 여러 종의 생물들이 번식해나가고 있으며 배각강 노래기목의 동물들은 혼합개체군을 형성하여 군서하는 경향이 있다. 집단 서식지는 퇴적유기물, 구아노 등의 동굴내의 집적장소이며 외부로부터 유입된 유기물이나 폐기물이 2차적인 집단서식 장소가 되기도 한다. 개체별로는 수분이 배어나는 벽면에 서식하며 간혹 습한 곳이 건조되면 서식생물들로 이동하며 이때 이동치 못한 개체들은 건조되어 사멸한다.

장님굴새우는 진동굴성 수서생물로 동굴 내에 물이 흘러 고인 곳에서 서식하며 시각이 퇴화되어 장님이며 체색도 색소가 사라져 백색이다. 청정한 수역에 무리지어 살기도 한다.

박쥐의 분뇨인 구아노는 동굴내의 생태계에 필수적인 구성 요소이다. 박쥐는 밤에 굴밖에 나가 나방 등을 포식하므로 동굴외부 생태계의 보호도 필요하다. 기타 동굴 입구부의 외래 성 동물의 분포는 동굴외부의 분포상황과 밀접한 관계가 있다.

## VI. 개방동굴의 관리방안

자연유산으로서 보호되어야 할 부분은 철저히 보존되어야 한다. 자연동굴은 관광자원이나 자연학습장으로서 기능을 가지고 있다. 그러나 무분별한 개발과 탐방객의 인식부족으로 대부분 오염 문제를 내포하고 있으며 심각한 경우도 있다.

동굴환경보전에 있어 가장 이상적인 방법은 동굴을 원형 그대로 보존하고 인근에 인공동굴이나 자연사박물관 등을 설립하여 간접적으로 동굴 탐사와 체험을 유도하는 것이다. 동굴 내에서도 절대 보전되어야 할 곳은 최대한 보전하고 친환경적으로 이용할 수 있는 지역은 효율적으로 관리 운영하는 기술이 필요하다.

자연동굴은 대부분 장구한 세월을 거쳐 이루어진 자연의 유산이기 때문에 이들의 관찰을 통해 지구의 자연현상을 이해할 수 있을 뿐만 아니라 선사시대의 주거지로서 인류문화의 원류를 찾아 볼 수 있는 곳이므로 오늘날 문화관광자원으로 새로이 부각되고 있다. 그러나 너무 다각도의 동굴 이용은 자칫 고유의 자연 환경을 훼손시킬 수도 있으므로 기존의 관광동굴은 환경 친화적 방법을 모색하여 천혜의 희귀자원을 잘 보존해야 하겠다.

## VII. 결 론

- 1) 자연동굴의 종류에는 석회동굴, 화산동굴, 화강암동굴, 해식동굴, 사암동굴, 석고동굴, 소금동굴, 어름동굴이 있다.
- 2) 우리주변에서는 석회동굴과 화산동굴, 해식동굴은 쉽게 볼 수 있다. 석회동굴은 Karst지형에서 흔히 나타나며 화산동굴은 용암이 형성되는 화산지대에서 흔히 볼 수 있다.
- 3) 자연동굴의 생성은 지구의 생성역사의 일부분이므로 그 주변과 내부에서 동굴생성의 역사를 알아낼 수 있다. 그 속에는 박쥐, 새우, 노래기류, 나방이류 등의 생물들이 많이 서식하고 있다. 암흑속에 생태계가 살아 움직이고 있다. 따라서 동굴은 천연의 자연자원이며 아직까지도 변화를 계속하고 있는 지하의 자연학습장이기도 하다.
- 4) 석회동굴은 물과 석회암이 만나서 석회성분(Ca)이 물에 용해되어 중유석, 석순, 유석을 형성한다. 물이 석회동굴을 아름답게 만드는 역할을 한다. 따라서 석회암지대에서 지하수계의 기능은 매우 중요하며, 동굴주변의 지형이나 산림 등의 보호가 필요하다. 이들이 훼손되면 동굴 내에 물이 부족되어 건조 상태가 되며, 이런 상태에서는 석순, 중유석이 성장을 할 수 없다.
- 5) 동굴내부에는 많은 가지굴이 있다. 동굴을 공개하여 탐방객이 많이 드나들게 되면 습도, 온도, 탄산가스(CO<sub>2</sub>)등의 자연환경이 악화되며 특히 과도한 조명으로 인하여 이차생성물에 녹색조류와 이끼가 생성되어 벽면이 훼손된다. 이와 같은 공개동굴의 환경오염을 방지하기 위하여 동굴휴식년제를 시행하여 훼손된 동굴을 다시 자연 상태로 회복시킨 후 연차적으로 부분적 공개를 하기도 한다.
- 6) 동굴에 대한 학술조사를 시행하고 동굴안내자들을 위한 전문교육이 동굴학회에 의해 시행됨으로써 동굴내의 자연환경을 유지시킬 수 있다. 동굴의 보전과 관리를 위해서도 전문 관리인의 양성과

이들의 적절한 활용으로 동굴탐방을 환경 친화적으로 활성화시킬 수 있다.

- 7) 공개동굴(show cave) 주변에 문화유적지, 온천, 특산물 생산지 등의 배후시설 및 관광지 연계를 통해 휴일이나 휴가철 생태관광, 자연학습, 휴양을 겸한 ecotourism System을 구축하여 지속적으로 탐방객유치를 위한 안내와 교통편의 및 휴식시설이 뒷받침되어야 한다.
- 8) 홍보자료를 이용하여 널리 알리고, homepage를 통해서 찾아오는 길, 동굴소개, 주변관광 및 편의시설 예약 등을 용이하게 할 수 있다.
- 9) 동굴은 인류문화의 발상지이기도하며 고고학 고생물학의 발굴지이기도하다. 동굴과학뿐만 아니라, 문화까지 포함한 종합적인 분야로 발전시켜 동굴애호인을 양성하고, 교류를 통해 자연에 대한 인식과 가치관을 향상시킬 필요가 있다.