

한국 자연동굴의 생태계와 환경보전¹⁾

김 병 우²⁾

KISTI ReSEAT Program 전문연구위원 이학박사

자연 동굴의 형성과 분포

자연동굴은 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 지질적 특성을 지닌 지역에 집중적으로 분포하고 있다. 자연동굴은 생성원인에 따라 몇 가지로 분류된다. 석회암지대에 동굴이 형성된 것을 석회암 동굴이라고 부른다. 한편 화산 폭발과 더불어 흘러내리는 용암이 외부로부터 응고되고 내부에 가스와 더불어 용암류가 흐르면서 식어 만들어진 동굴을 용암동굴 또는 화산동굴이라고 한다. 바닷가나 강가의 절벽에 생긴 동굴을 전자는 해식동굴, 후자는 하식동굴이라 한다.

우리나라의 자연동굴의 주종은 석회암동굴로서 Karst 지형에 주로 분포하며 현재 850여개로 추정되고 있다. 강원도에 동해, 삼척, 영월, 정선, 평창, 태백, 강릉지역과 충청북도의 단양지역, 경상북도의 울진, 봉화, 문경지역 등에 주로 분포하고 있다. 그 외에도 크고 작은굴들은 전국적으로 산재하고 있다. 한편 제주도를 비롯한 울릉도에는 화산지대를 중심으로 화산동굴이 100여개 이상 분포하는 것으로 추정되고 있으며 제주도를 비롯한 해안에는 주로 해안선을 따라 해식동굴이 분포하고 있다.

우리나라의 본격적인 동굴탐사는 약 70여

년전으로 거슬러 올라간다. 제주도 만장굴은 1946년 부중휴씨가 학생들과 탐사했고 김녕굴은 1962년 5월 김군천씨의 4명이 탐사하여 널리 알려지게 되었다고 전해내려 오지만 기록사항은 없다. 우리나라의 최초의 동굴탐사 기록은 1958년 경북대 사범대 지리학과 학생조사대가 경북 울진소재 성류굴을 들어간 것으로 알려지고 있다. 그 후 1961년 문화재위원회의 조사를 거쳐 1963년에 천연기념물로 지정되었다. 1966년에 이르러서 본격적인 조사가 이루어진 것으로 기록되고 있다. 우리나라의 동굴이 세인의 큰 관심을 끌게 된 계기는 1965년 삼척 대이리 동굴군의 조사결과가 공개됨으로서 비롯되었다. 이어서 1966년 최초의 동굴종합학술조사가 이루어졌고 용연굴, 용담굴, 고씨굴, 대야굴이 한국동굴협회가 중심이 되어 한일합동으로 조사된 바 있다. 한편 1970년에 발족한 동국대학교 동굴탐험연구회(지도 이해풍 교수)는 양터목, 구덩산수직굴, 강릉의 동대굴, 서대굴, 남대굴, 삼척의 저승굴, 영월의 명마굴 등 수직동굴들을 다수 탐사, 측량하였다. 1973년에 건국대학교에서 발족한 한국동굴학회(회장 홍시환 교수)도 백룡굴, 산호동굴, 삼각산굴, 연하굴의 탐사를 시발로 하여 계속 활동해 왔으며 학회지 및 학술조사보고

1)Natural Environmental Protection on Korean Natural Cave

2)KIM, Byoung Woo, ReSEAT Program, E-mail: etlkim@reseat.re.kr

서를 떠내는 등 탐사와 연구를 계속해 왔다. 1990년대 초반에 한국동굴환경학회가 정기적인 탐사활동을 해왔으며 강원대학교에 한국동굴연구소 90년대 중반부터 정밀조사를 통한 학술조사보고서를 다수 출간해 오고 있다.

우리나라의 천연기념물로 지정된 동굴은 1962년 12월 3일 제주도 김녕굴 및 만장굴이 천연기념물 98호로 최초로 지정되었다. 울진의 성류굴(1963), 삼척의 대이리 동굴지대(1966), 영월의 고씨굴(1969), 단양고수리 동굴(1976), 온달굴(1979), 제주도의 당처물 동굴(1996) 등이 천연기념물로 지정된 바 있다. 그중 만장굴은 1967년 일부를 공개하여 관광동굴이 되었으며 2006년 제주도 용천, 수산동굴이 지정되었고 2009년 정선 산호굴, 평창 섭동굴이 지정되었다. 현재 천연기념물 중 백룡굴 등 일부 천연동굴을 제외한 나머지는 부분적으로 공개하여 관광동굴로 개방되었다. 용담굴, 비룡굴, 용연굴 등 시도기념물은 2002년도에 21건중 정선 화암굴, 태백 용연굴, 단양 천동굴은 부분적으로 공개되어 관광동굴이며 2006년 제주도 해안가,오름에 인공동굴 8개가 지정되었고 1999년 제주 북촌동굴, 2001년 제천 점말동굴이 지정되었다. 기타 일반동굴로서 동해시 천곡굴이 관광동굴이다.

자연동굴은 지구생성이래 수 억년에 걸친 변화로 이루어진 지사학적 현장이며 오랜 세월을 거치는 동안 암흑의 지하공간에서 특수한 지하생태계가 형성되어 오랜 세월 지하환경에 적응해온 희귀한 생물들이 서식하는 현장이다. 자연이 가져다준 천혜의 동굴 자원을 보다 정밀하게 파악하고 분석하여 합리적이고 환경친화적으로 보존하고 관리하여 후손들에게 온전하게 물려 주어야 할 귀중한 자연유산이다.

동굴환경과 지하생태계

동굴 환경의 주요 특성은 첫째, 햇빛이 차단되어 암흑 상태이며, 둘째, 내부습도가 높고 기온이나 수온의 연중 변화가 심하지 않고, 셋째, 먹이 연쇄에 필수적인 영양 공급원이 제한되어 있다는 점이다. 녹색 식물은 광선이 유입되는 입구부나 인공조명 시설 지역을 제외한 곳에서는 서식이 불가능하다. 생물들은 동굴 내의 환경에 적응하는 종들만이 서식할 수 있고, 이들은 그같은 생태적 습성에 따라서 세 종류로 구분할 수 있다.

진동굴성 동물은 동굴 밖의 지상 생태계에서는 존재하지 못하며 동굴 속에서만 생존하는 것으로 대부분의 동물이 시각이 퇴화되어 장님이다. 또한 동굴 심층부에 동물들은 광선이 없어 체표면에 색소가 분비되지 않아 몸체의 색깔은 백색이며 표피가 얇다. 또한 활동성이 미약하여 날개가 퇴화되거나 없는 종류도 있다. 반면에 촉각이 발달하고 체모나 다리가 발달하여 감각기관의 보조기능을 하고 있다. 화석 곤충으로 불리는 갈르와는 날개가 없고 무변태로서 허물만 벗는다. 그 외에 이 지역에서 흔히 발견되는 장님굴새우, 김띠노래기, 등줄굴노래기, 곤봉털노래기 등은 진동굴성 동물들이다. 호동굴



사진 1. 화석곤충 갈로와

성 동물은 동굴 내에서 잘 적응하여 정상적인 생활을 하는 종류다. 진동굴성으로 변화 과정에 있는 것들로 굴뚝거미, 방패소경거미, 알락곱등이, 굴곱등이, 장님굴가시톡토기 등이 이에 속한다. 외래성은 동굴 내에서 계속 생활하기 어려운 종들이다. 박쥐류, 산유령 거미, 긴넓적다리삼당노래기, 말꼬마거미, 물까마귀밤나방, 물결자나방 등이 이에 속한다. 동굴 외부의 생태계가 안정될수록 동굴 내의 생물상도 다양해짐을 알 수가 있다. 동굴 지상부의 숲이 잘 보존되어 있는 동굴은 2차 생성물의 성장도 풍부한 지하수에 의하여 더욱 활발하며 동굴 내의 생태계도 생명력을 지속적으로 유지해 나갈 수 있다.



사진 2. 석회암동굴 천정부의 관박쥐

동굴의 학술, 문화재적 가치

천연동굴은 생성 원인은 시간의 흐름과 지구의 기후와 지질적 변화의 결과로 추정된다. 이제까지의 학술적 조사연구로 보아 각각의 용기, 이동, 화산폭발에 많은 영향을 받은 결과이며 특히 빙하기의 도래와 해빙기로 인한 지하수류형성은 오늘날과 같은 석회암동굴 형성에 계기가 되었을 것으로 사료된다. 단양군 석회암지대의 일부 동굴에서는 인류의 혈거생활의 흔적이 발견되고 짐승뼈에 석회석이 씌워진 화석들이 흔히 발



사진 3. 제주도 협재리 용암동굴 소천굴 입구

견된다. 석회동굴은 초기에 빙하가 녹아내릴 때 혹은 홍수시에 대량으로 지하에 장기간 유입된 지하수에 의해 대형동굴이 석회암 시대 지하에 형성되고 그후 계속 스며드는 지하수는 동굴 내에 종유석, 석순, 석주, 유석 등 2차 생성물을 형성하여 고수굴, 고씨굴과 같은 웅장하고 다양한 지하 궁전을 형성하였다. 따라서 천연동굴은 지하 공간구조형성의 역사적 현상이며 지하의 역사를 간직한 자연의 유산으로 지구과학, 생물학 학습장이기도 하다. 그러므로 개방된 천연 동굴은 과도한 조명을 피해야 하고 동굴 내부 환경을 보존하기 위해 무리한 탐방객의 입구를 억제해야 하며 안내자의 안전 및 동굴의 학술적 가치에 관한 설명과 안내가 질서정연하게 이루어져야 한다. 탐방객은 정숙해야 하고 신발은 입굴 전에 세척하거나 소독하여 오물의 유입이나 투기를 금해야 하고, 입구는 생물들이 드나들 수 있도록 생물 통로를 개설해야 한다.

1994년 12월 장 마리 쇼베와 2명의 동굴학자는 1만 5천년 전에 그려진 동굴벽화로 유명한 프랑스 남부에 라스코동굴 인근에서 라스코벽화보다 1만7천년 전에 그려진 동굴벽화가 300점 이상이나 되는 석회암동굴을 발견하였다. 발견자의 이름을 딴 쇼베동굴에는 현재 유럽에서 멸종된 야생소, 말, 코뿔

소, 사자와 올빼미 및 하이에나 등 13종의 동물이 그려져 있다. 현재 비공개동굴로 철저히 관리되고 있다. 국내의 동굴중에도 전설과 일화를 지닌 동굴이 많이 있다. 미확인 및 미공개 동굴은 정밀한 학술조사를 통하여 위치 실태 및 가치를 평가하고 위험 요소가 있는 동굴은 경고판이나 안전시설을 설치하고 훼손의 우려가 있는 동굴은 지속적으로 보호되어야 한다. 특히 인근 지역 주민과 관계부서와 연계된 감시망을 구축하고 평상시 관리를 강화하여 훼손 및 안전사고를 사전에 방지하여 후손들에게 자연유산인 천연동굴을 온전하게 물려주어야 한다.

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 2차 생성물을 성장시킨다.

석회암의 성분이나 지하수의 양, 수질에 따라서 여러 형태로 성장한다. 이 같은 과정



사진 4. 석회암동굴 내의 석주



사진 5. 석회암동굴지대에 발달된 산림생태계

을 거쳐 석회동굴이 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 숨쉬는데 필수적인 요소이므로 지하수계의 보전 및 보호가 필요하다.

석회동굴내의 대표적인 지형지물은 다음과 같다.

종유석: 동굴의 천장이나 벽면에서 석회석이 녹아 아래로 내리뻗어 형성된 생성물이다.

종유관: 동굴의 천장 곳곳에서 아래로 내리뻗은 투명한 대롱모양의 생성물로서 스트로 또는 소다스트로라고 부르기도 한다.

베이콘종유: 동굴천장의 절리틈이나 동굴의 느린경사의 벽에 옆으로 길고 얇게 막의 형태를 이루면서 성장하는 생성물로 생긴 모양이 베이콘과 비슷하다 해서 베이콘종유라고 한다.

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

석주: 천장에는 종유석이 생성되고 그 종유석을 따라 떨어지는 물방울에 의해 동굴바닥의 석순을 발달시키는데, 이들 종유석과 석순의 발달이 계속되어 서로 연결되었을 때



사진 6. 석회암동굴 내의 종유석

이것을 석주라고 한다.

커튼종유: 동굴 천장이나 벽면을 따라 형성되는 종유석의 일종으로 물방울이 동굴 벽면을 따라 흐르면서 생성되어 마치 커튼을 걸어놓은 듯 얇고 길게 발달한다.

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

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

림스톤과 림플(석회화단구): 동굴속 지하수가 느린 경사의 동굴바닥을 서서히 흘러내리면서 바닥면에 석회석 테라스를 형성하여 마치 논두렁 같은 지형을 만드는데 이것을 림스톤이라 하고 물이 고인 곳을 림플이라 한다.

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

포켓(벨홀): 석회동굴 속의 포화수대에서 생긴 미시적 형태의 하나로 천장이나 벽면에 패여진 용식공을 말하며, 반구상의 오목한 곳을 포켓이라 한다.

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

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 여러종의 생물들이 번식해 나가고 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 간혹이 습한곳이 건조되면 서식생물들로 이동하며 이때 이동치 못한 개체들은 건조되어 사멸한다.

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

박쥐의 분뇨인 Guano는 동굴내의 생태계에 필수적인 에너지원 이다. 박쥐는 밤에 굴 밖에 나가 나방, 모기 등을 포식하므로 동굴 외부 생태계의 보호도 필요하다. 기타 동굴 입구부의 나방이등 외래성 동물의 분포는 동

굴외부 생태계의 환경과 생물분포현황과 밀접한 관계가 있다.

개방동굴의 관리방안

자연동굴은 자연유산으로서 보호되어야 할 부분은 철저히 보존되어야 한다. 자연동굴은 관광자원이나 자연학습장으로서 기능을 가지고 있다. 그러나 무리한 탐방객의 입굴로 인해 동굴내부환경과 생태계의 변화가 우려된다.

동굴환경보전에 있어 가장 이상적인 방법은 동굴을 원형 그대로 보존하고 인근에 인공동굴이나 자연사박물관 등을 설립하여 간접적으로 동굴 탐사와 체험을 유도하는 것이다. 최소한의 파괴와 오염으로 최대의 효과를 추구하는 것이 자연보전의 일면이라 할 수 있겠다.

자연동굴은 대부분 장구한 세월을 거쳐 이루어진 자연의 유산이기 때문에 이들의 관찰을 통해 지구의 자연현상을 이해할 수 있을 뿐만 아니라 희귀한 환경생물들이 현존하고 있고 선사시대의 주거지로서 인류문화의 흔적도 볼 수 있는 곳이므로 오늘날 생태문화관광자원으로 새로이 부각되고 있다. 그러나 너무 과도한 자연동굴의 이용은 자칫 고유의 자연 환경을 훼손시킬 수도 있으



사진 7. 석회암동굴 벽면에 밀착된 유석

므로 관광동굴은 환경친화적 방법을 모색하여 천혜의 희귀자원을 잘 보존해야 하겠다.

1. 자연동굴의 종류에는 석회동굴, 화산동굴, 화강암동굴, 해식동굴, 사암동굴, 석고동굴, 소금동굴, 어름동굴등이 있다.

2. 우리주변에서는 석회동굴과 화산동굴, 해식동굴은 쉽게 볼 수 있다. 석회동굴은 Karst 지형에서 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 자연 자원이며 아직까지도 변화를 계속하고 있는 지하의 타임 캡슐이기도 하다.

4. 석회동굴은 물과 석회암이 만나서 석회 성분(Ca)이 물에 용해되어 중유석, 석순, 유석을 형성한다. 물이 석회동굴을 아름답게 만드는 역할을 한다. 따라서 석회암지대에서 지하수계의 기능은 매우 중요하며, 동굴주변의 지형이나 산림의 보호가 필요하다. 이들이 훼손되면 동굴내에 물이 부족되어 건조상태가 되며 석순, 중유석이 성장을 할 수 없게 된다.

5. 동굴내부에는 많은 지굴이 있다. 동굴을 공개하여 탐방객이 많이 드나들게 되면 습도, 온도, CO₂(탄산가스) 등의 자연환경이 악화되며 특히 과도한 조명으로 인하여 이차생성물에 녹색조류와 이끼가 생성되어 벽면이 훼손된다. 이와 같은 공개동굴의 환경오염을 방지하기 위하여 동굴 휴식년제를 시행하여 훼손된 동굴을 다시 자연 상태로 회복시킨 후 연차적으로 부분적 공개를 하기도 한다.

6. 동굴에 대한 학술조사를 시행하고 동굴 안내자들을 위한 전문교육이 동굴학회에 의

해 시행됨으로서 동굴내의 자연환경을 유지시킬 수 있다. 동굴의 보전과 관리를 위해서도 전문관리인의 양성과 이들의 적절한 활용으로 동굴탐방을 환경친화적으로 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 탐방객을 위한 안내와 교통편의 및 휴식시설이 뒷받침되어야 한다.

8. 홍보자료를 이용하여 널리 알리고, Homepage를 통해서 찾아오는 길, 동굴소개, 주변관광 및 편의시설, 예약 등 용이하게 할 수 있다.

9. 동굴은 인류 문화의 발상지이기도 하며 고고학 고생물학의 발굴지이기도 하다. 동굴 과학 뿐만 아니라, 문화까지 포함한 종합적인 분야로 발전시켜 동굴 애호인을 양성하고, 교류를 통해 자연에 대한 인식과 가치관을 향상시킬 필요가 있다.

참고문헌

- 김병우, 1991. 천곡동굴의 동식물 소고, 한국동굴학회지 28: 85-91.
- 김병우, 1993. 고수동굴 학술조사보고서-동굴생물상-, (주)유신, 135-150.
- 김병우, 1995. 화암동굴의 동굴생물에 관한 연구, 한국동굴학회지 42: 27-40.
- 김병우, 1996. 천곡굴의 생태계 조사보고, 한국동굴학회지 45: 29-40.
- 김병우, 박상영. 2005. 신단양 고수굴의 환경과 서식생물에 관한 연구. 한국동굴학회지 67: 11-20.
- 김병우, 배두안, 2000. 제주도 용암수 형의 종류와 현존식생, 한국동굴학회, 국제동굴학술대회.
- 김병우, 손규남, 오영주, 2006. 평창군 쌍굴의 환경 특성, 상지대환경과학연구 12: 59-63.
- 남궁준, 1981. 원시적 유존동물인 갈르와벌레, 자연보존 33: 18-22.
- 남궁준, 1986. 한국의 주요 동굴동물의 모식산지의 보전문제, 한국동굴학회지 13: 49-67.
- 남궁준, 1987. 강원도의 자연동굴과 동물상, 강원도의 희귀자원 조사보고서 4: 1-156.
- 단양군, 2000. 온달굴내의 일부지구 환경과 개보수 타당성조사 연구보고서.
- 단양군, 2002. 비지정 천연동굴(양당리굴, 북상리굴) 학술조사보고서, pp 1143-197.
- 문화재청, 2001. 제2회 자연유산보존 세미나 및 자연문화재 담당자 대회, pp 77-92.
- 백갑용, 1971. 특수환경의 곤충, 원색과학대사전 ⑤동물, 학원사, 217-222.
- 삼척시, 2002. The Sustainable Management of Cave: "Academic and Policy Implication", pp 212-231.
- 오영근, 1985. 동굴성 박쥐류의 생태, 자연보존, 52: 8-11.
- 원주지방환경관리청, 2001. 동강유역 천연동굴 실태 및 보호방안.
- 이병훈, 1985. 동굴생태계와 동굴생물의 진화, 자연보존 52: 4-7.
- 이영남, 김상섭, 1978. 우리나라의 동굴생물, 한국동물학회지 3: 10-11.
- 임문순, 1975. 단양 고수동굴과 여천굴의 환경요인과 그 동물상에 관한 연구, 한국동굴학회지 1: 17-22.
- 조규송, 남궁준, 1987. 대이리 동굴군 학술조사보고서, 평창군, pp. 30-151.
- 조규송, 이우철, 남궁준, 1989. 백룡굴 학술조사보고서, 평창군, pp. 34-151.
- 한국의 동굴, 1987. 동굴생물, 아카데미서적, pp.264-281.
- 환경부, 2002. 전국 자연동굴 조사지침서 작성에 관한 연구보고서. p. 273.
- Kim, B. W., 2008. Ecological study for The Control of Green Contamination in Korean Show Caves. Journal of the Korean Speleological Society 85: 21-23