

# 심복굴의 동굴 환경

김 추 윤

신흥대학 교수, 한국동굴학회 부회장

## I. 서론

충북지방에 있는 동굴은 전부 석회동굴이다. 이러한 석회동굴은 4~5억 년 전에 바다속의 얇은 곳에서 산호층에 의해서 형성된 석회암이 융기되어 배태된 것으로 주로 조선계의 대 석회암통에 속해 있다. 우리나라의 영월, 제천, 단양, 울진, 익산, 괴산 등지에 널리 분포되어 있다. 석회 동굴 가운데 주요한 굴은 관광동굴로 개발되어 현재 관광지로 이용되고 있는 곳이 많다. 최근에 지자체에서 세수 증대 목적으로 미개발 동굴들을 앞 다투어 무분별한 개발을 하고 있어 앞으로 잘못하면 자연동굴이 사라질 위기에 놓여있다. 따라서 전국에 산재한 자연동굴을 체계적으로 조사하여 보존방안을 마련하려는 동굴기초 조사는 늦은 감이 있으나 유용하고 가치 있는 일이다. 동굴은 지상에 생성된 것도 있지만 대부분 지하에 생성되어 햇빛이 차단된 암흑세계를 이루기에 지상의 세계와는 전혀 다른 환경을 유지하게 된다. 즉 대기상태에 일정한 제약을 받아 항상 일정한 온도, 습도, 암흑 환경을 장기간 유지해오기 때문에 자연히 이에 적응할 생물들만 살아남게 된다. 그리고 동굴수는 외부환경과 차단되어 오염이 안되었기에 보편적으로 수문조건이 양호하며 식수로 사용할 수 있을 정도로 깨끗하다.

우리나라의 동굴은 크게 3대 구분 할 수 있다.

첫째, 해식동굴은 해류의 침식에 의해서 해안연안에 주로 생성되는데 우리나라의 제주도, 울릉도, 흑산도, 남해안 등지의 해안 절벽에서 볼 수 있다. 현재 일부는 관광유람선이 관광코스로서 이용되는 곳도 있다.

둘째, 하식동굴은 하천수의 침식작용에 의해서 하천 절벽에 생성되는데, 우리나라의 경우 동강, 한탄강 등지에 잘 나타나고 있다. 하식동굴은 규모는 작지만 하천과 동굴의 생성 매커니즘을 잘 보여줄 수 있는 동굴이다.

셋째, 화산 동굴은 마그마가 지상에 분출한 후 용암이 급속히 냉각하는 과정에서 생성되는데, 제주도의 만장굴, 소천굴, 협재굴, 쌍용굴 등은 좋은 예이다.

넷째, 석회동굴은 카르스트 지형에 나타나는 대표적인 동굴인데, 주 성분이 방해석인 석회암이 우수 및 CO<sub>2</sub>와 결합하는 과정에서 용식작용에 의해서 나타난다. 우리나라의 제주도 지역을 제외하고 관광개발된 동굴은 전부 석회동굴이다. 석회암 동굴에서 가장 크게 영향을 미치는 것은 우수이다. 이 우수는 대기중의 이산화탄소를 함유하여 지표면을 침투하여 지하수가 되면서 석회암의 절리를 타고 들어가 공동을 형성하여 동굴을 형성하게 된다. 이 공동은 다시 스펀레오템이란 2차 생성물을 생성하여 석순, 석주, 종유석 등을 생성하게 된다.

석회암 동굴은 포화대와 통기대의 경계면인 지하수면 밑에서 잘 발달한다. 그것은 이곳이 이산화탄소의 함유량이 비교적 높고, 지하수면 아래의 물은 탄산칼슘으로 충분히 포화될 때까지 오랫동안

석회암과 접촉해 있기 때문이다. 이산화탄소는 대기 중에 산재한 것이 우수와 함께 지하에 침투하거나 식물의 뿌리에서 발생하기도 한다. 따라서 강우량의 다과는 석회동굴의 생성과 아주 밀접한 관계가 있다. 왜냐하면 지하수는 전부 화석수를 제외하고는 우수이기 때문이다. 따라서 석회동굴의 생성에 주요한 영향을 미치는 환경인자는 지하수, 이산화탄소 등이다. 따라서 석회동굴에 있어서는 수문 환경이 아주 중요하다. 우수의 많고 적음 즉 지하수의 다과에 따라서 석회동굴의 생성여부가 달려 있다고 해도 과언이 아니다.

심복굴은 충북 괴산군 연풍면 갈금리에 위치한 석회동굴이다. 이 동굴의 내부는 우수구간과 무수구간으로 나누어 지는데 우수구간도 수량이 많지 않다. 동굴벽의 습윤 상태가 건조한 것으로 보아 내부에서 잉태하고 있는 지하수는 극히 소량임을 알 수 있다. 심복굴의 동굴환경을 측정하기 위해서 동굴환경조사 지침서(환경부, 2002년발행)에 의해서 4곳을 선정하여 기온, 수온, 습도, 수소이온농도(pH), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 경도 등을 조사 분석하였다.

## II. 조사 결과

### 1. 기온

미공개 동굴인 심복굴과 같은 소동굴들은 내부의 공동이 적은 관계로 기류의 움직임이 매우 느려서 기온분포가 큰 차이가 나지 않는다. 즉 동굴내부로 들어가면 입구를 제외하고는 어느 지점부터는 항온을 유지하기에 동굴속 깊은 곳의 온도는 석회암 온도와 유사하다. 동굴내부에서 기온은 외기의 영향을 받지 않는 내부지점에 있어서는 동계, 하계의 구별로 인한 그 차이가 적다. 오히려 외기의 온도가 상승하면 기류는 동굴내부에서 동굴밖으로 흐르며, 급격한 온도 상승을 억제하여 비교적 낮은 온도를 유지하게 된다. 그래서 여름철 외부는 더워도 내부는 시원한 것이다.

동굴의 통로가 수평굴, 수직굴, 복합굴이냐에 따라 대기흐름의 차단여부가 달려있어 동굴 내부의 온도가 미세하나마 차이나 있지만 보편적으로 동굴 내부로 어느정도 집입하면 큰 차이가 나지 않는다. 심복굴이 위치한 충북지방은 우리나라의 중위도 지역에 속하여 온대성 기후의 특성을 잘 나타내고 있는데 봄철 외부기온이 14.4℃일때 내부기온은 동굴 입구쪽에서 안쪽으로 들어가면서 미세하게 점증했으나 중간 지점부터는 14℃내외로 안정상태를 유지하고 있다. 안쪽으로 들어가면서 우수구간에서는 큰 협착부가 나타나지 않는다. 우측동굴 중간지대에서 입동불능구간이 나타나지만 그 지역이 상에서는 물이 없다. 여름철 외부기온이 27.2℃일 때 입구 안쪽은 약 18.0℃를 유지했으나 이내 중간

〈표 1〉 심복굴의 온도(℃)

위치	4월	7월	10월	12월
S1(입구안)	12.8	18.0	13.0	9.0
S2(좌측막장)	14.1	15.2	14.8	13.5
S3(우측중간)	14.3	15.1	14.9	13.6
S4(우측막장)	14.3	15.5	14.9	13.6

지역을 지나면서 15℃ 내외로 안정상태를 나타내고 있다. 여름철이 봄철보다 기온이 높은 것은 우리나라에 고온 다습한 남태평양 기단이 불어와 동굴 밖의 대기에 영향을 주기 때문이다, 가을철의 경우 외부기온이 14.0℃ 일대 외부대기의 영향을 받아서 동굴 입구쪽의 기온은 13℃내외로 낮았는데 비해서 동굴내부의 중간지대로 들어서면서 기류의 이동이 어느 정도 안정되어 15℃내외로 유지되고 있다.

겨울철의 외부기온이 8.9℃내외의 일때 역시 동굴입구는 거의 외부 대기 온도와 유사한 정도를 나타내고 있으나 동굴 안쪽으로 들어갈수록 14℃내외로 안정되어 있다. 겨울철에 동굴기온이 타 계절보다 낮은 것은 이때는 한랭한 북서 겨울풍이 우리나라 대륙에 불어와 영향을 끼치기 때문이다. 즉 심북굴은 봄, 여름, 가을, 계절변화에 따른 기온에 영향을 받아 약간씩 계절별 온도 차이를 가져오고 있다. 겨울은 외부대기 온도의 변화에 따라서 안쪽보다 상대적으로 기류의 이동이 많은 동굴 입구쪽의 기온에 약간의 변화를 가져올 뿐, 중간지역을 넘어서면 거의 13-15℃의 항온을 유지하는 것으로 나타났다. 동굴내 기온은 위도, 표고, 지표에서의 깊이, 계절에 따른 외기온도의 변화 등에 따라 약간의 변화가 일어난다. 심북굴에서의 온도는 굴벽의 온도와 유사하게 나타났다. 이것은 지층의 구조암인 석회암의 온도에 지배되기 때문이다. 보통굴은 지하 깊은 곳에 위치할수록 온도가 항온이다.

## 2. 습도

습도란 동굴내 공기의 건습상태를 나타내는 것으로 동굴내부의 2차생성물의 성장과 관계가 깊은 주요한 요소이다. 결국 습도는 지하수의 유무, 다량에 관계되는 것으로 동굴의 생성뿐만 아니라 성장하고도 관계가 있다. 용암 동굴과 달리 석회동굴은 습도가 없으면 건조상태가 되어 동굴이 커 질수 없다. 심북굴의 습도는 동굴 입구를 제외하고는 4월, 7월, 10월, 12월 모두 대체로 90%내외를 나타내고 있다. 봄에서 가을까지는 다소 높아지다가 겨울 건계에 들어가면 다소 낮아지는 것으로 나타났다. 습도는 동굴내부의 지하수의 수량과 관계가 깊은데, 심북굴은 지하수 함양 능력이 많지 않고 동굴 자체가 지하수면의 상층에 있는 부분이 많아 지하수량이 작아 습도에 큰 영향을 주지 못한다. 지하수위면보다 높은곳에 있는 부분은 우계에만 상층에서 유입되는 빗물과 만날 수 있어 습윤 상태의 환경을 오랫동안 유지하지 못한다. 따라서 이 부분에서 동굴의 낙반이나 파괴가 불규칙하게 일어난다.

심북굴의 습도는 외부대기와 다소 소통이 되는 동굴 입구 안쪽을 제외하고는 외부 습도 변화에 큰 영향 없이 중간지역을 넘어서면 90%내외를 유지하고 있다. 이것은 천장이나 벽에서 스며 나오는 습기, 동굴하상을 흐르는 지하수에 의해서 대기가 습기로 포화되어 있기 때문이다. 봄, 여름, 가을, 겨울 4계절 모두 동굴입구 안쪽을 제외하고는 동굴 내부로 들어 갈수록 급격한 변화 없이 완만한 증가를

〈표-2〉 심북굴의 습도(%)

위치	4월	7월	10월	12월
S1	62.3	70.1	79.03	72.0
S2	88.0	91.1	90.2	90.0
S3	87.7	92.2	91.0	89.6
S4	88.2	92.2	91.2	90.0

하다가 일정한 지역부터 함습상태를 유지한다. 심복굴 내에서도 유·무수구간이 있고 지하수량이 적어서 국지적으로 미세한 차이가 있으나 그것은 무시해도 좋을 정도로 적은 양이다. 가을철인 10월과 봄철인 4월보다는 7월인 여름철이 다소 높게 나타났는데 이것은 우리나라의 강우량이 6,7,8월 3개월에 1년 전체 강우량의 약 60~70%가 집중해서 내리기에 일시적으로 심복굴 내에 지하수의 유량이 계절적으로 증가하기 때문이다. 심복굴의 이러한 습도변화는 다른 석회동굴과 거의 유사한 형태이다.

### 3. 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 물속에 녹아있는 수소이온(H<sup>+</sup>)의 농도를 말한다. pH1(산성)~pH7(중성)~pH14(알칼리성)의 범위로 나타내는데, 현재 환경부 음용수 수질검사 기준치는 pH5.8~pH8.5사이 이다. 심복굴내의 동굴수는 사계절 모두 각 지점에 상관없이 대부분 중성에 가깝게 pH7.3로 나타나 수질기준의 범위 안에 들어간다. 동굴수는 외부의 우수가 암석의 절리를 타고 침투하여 생긴 지하수이기에 동굴 밖 외부의 공장폐수, 가정하수, 축산폐수, 광산폐수, 농가의 하수 유입 여부 등에 의해 다소 변화를 가져올 수 있다. 심복굴이 배태된 주변지역에 아직까지 크게 환경오염을 미칠 인자가 없기에 동굴로 외부 오염수가 유입된 흔적은 없다. 남한의 대부분의 석회동굴의 수소이온농도가 pH7~8 사이를 나타내는 것으로 보아 심복굴의 수소이온농도 값도 일반적인 현상이지 특이한 결과 값은 아니다.

### 4. 수온

심복굴내 지하수의 수온은 계절적으로 가장 고온인 하계를 제외하고는 봄, 가을, 겨울 3계절에 상관없이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 괴산지역의 기후가 온대몬순지대에 속해 있어 여름철에는 고온다습한 남태평양기단의 영향으로 강수량이 집중하여 가장 많고 온도가 가장 높기 때문이다. 심복굴 동굴내부로 진입하면 입구를 제외하고 바깥기온의 영향을 크게 받지 않기 때문에 수온이 일정하게 된다. 즉 동굴외부대기의 기온이 동굴내 수온에 큰 영향을 못 미치기 때문이다.

계절에 따라 물론 하계에 비해서 동계의 동굴수온이 1~2℃다소 낮아진 것은, 동굴 밖 대기의 찬 공기가 동굴내부로 유입되어 지하수온이 그만큼 낮아 졌기 때문이다. 겨울철은 우리나라가 한랭하고 건조한 시베리아 기단의 영향을 받아 바깥 대기가 몹시 차가워지기 때문이다. 심복굴 지하수는 봄에서 겨울철까지 평균 13~15℃내외를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 우리나라의 석회동굴에 나타나는 일반적인 평균 수온 12~15℃와 유사하다.

일반적으로 제주도에 소재한 용암동굴들은 석회암동굴에 비해서 1~2℃ 높은데, 이것은 화산동굴이

〈표-3〉 심복굴의 수소이온농도

위치	4월	7월	10월	12월
S1	7.30	7.29	7.29	7.28
S2	7.29	7.29	7.31	7.28
S3	7.30	7.30	7.31	7.28
S4	7.30	7.30	7.31	7.28

동굴 입구가 넓고 2차생성물이 적고 수평구조가 많아서 기류를 차단하는 장애물이 적고, 석회동굴은 가지굴 형태의 미로가 많아 외부기류를 부분적으로 곳곳에서 차단시키기 때문이다. 동굴내 지하수는 전부 우수이기에 우수의 오염여부에 의해서 수질에 큰 영향을 받으나 수온은 일단 동굴내로 유입되면 외부대기와 차단되어 일정한 온도를 유지하게 된다. 동굴이 깊은 곳에 배태된 경우는 지하수가 장기간 암석의 절리 사이를 유동하여 약간 높다. 그러나 심복굴은 심층 암반에 생성된 동굴이 아니기에 평균적인 수온을 유지하고 있다.

### 5. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

이산화탄소는 원천적으로 대기중에 떠있는 것이 우수와 함께 지하로 스며들거나, 우수가 땅속을 침투하는 과정에서 식물의 뿌리에서 공급되는데 박쥐의 배설물인 구아노나 동굴내부에 유기물의 퇴적이 많은 경우, 혹은 개방동굴인 경우 인간의 출입으로 인한 이산화탄소의 분압이 지역에 따라 다소 높게 나타날 수 있다. 심복굴은 비공개동굴이고 동굴내 2차생성물이 이미 개발된 관광석회암 동굴보다 화려하지 못해 외부인의 출입이 거의 없어 이산화탄소의 분압이 영향을 거의 받지 않는다. 다만 단체로 기초조사를 위하여 탐굴시 약간 분압이 높아질 수 있다. 심복굴의 경우 다른 일반동굴과 같이 동계보다 하계에 이산화탄소의 분압이 다소 높게 나타났는데, 이것은 여름철에 강우가 집중적으로 내려, 동굴내부로 유입되는 지하수의 양이 많아지기 때문이다.

봄철보다는 가을철에 다소 높게 나타났는데, 이것도 봄철보다 가을철에 비가 다소 많이 내렸기 때문이다. 이것은 대기중에 반영구적으로 떠있는 이산화탄소가 우수에 용해되어 빗물이 탄산수로 되고, 이산화탄소가 토양층을 통과하면서 토양속의 유기물질 속에서 나오는 이산화탄소를 포함하여 동굴내부로 유입되었기 때문이다. 특히 심복굴 벽에 새긴 절리를 따라서 빗물이 침투하면서 석회암에 용식 작용을 가해서 동굴을 확장해 나감과 동시에 지하수는 하상의 낮고 좁은 통로를 따라서 동굴속

〈표-4〉 심복굴의 수온(℃)

위치	4월	7월	10월	12월
S1	12.8	15.8	13.1	12.2
S2	13.8	15.3	13.0	12.3
S3	13.8	15.2	13.1	12.5
S4	13.7	15.3	13.0	12.5

〈표-5〉 심복굴의 이산화탄소(ppmv)

위치	4월	7월	10월	12월
S1	598	617	650	615
S2	750	760	767	750
S3	890	900	907	850
S4	915	920	925	911

수로를 통해 더 낮은 곳으로 스며들며 결국에는 지표수로 다시 나타난다. 심복굴의 이산화탄소 분압은 동굴 안쪽으로 들어갈수록 다소 높게 나타났다.

이것은 심복굴의 내부에서 대기순환이 거의 이루어지지 않고 안쪽으로 갈수록 자정능력의 한계를 넘어서 이산화탄소의 축적이 계속적으로 일어났기 때문이다. 특히 S2 지역은 막장으로 기류의 흐름이 거의 정지된 곳이다. 심복굴은 동굴내로 유입되는 지하수의 양이 풍부하지 않아 이산화탄소의 분압이 높지 않다.

## 6. 경도

경도란 물속의 칼슘, 마그네슘의 이온량을 이에 대응하는 탄산칼슘의 ppm으로 환원하여 나타낸 것이다. 동굴내 지하수의 칼슘과 마그네슘은 주로 암석에서 기인한다. 따라서 동굴의 암석 성분이 무엇이냐에 따라 경도가 크게 달라진다. 경도는 동굴내 적하수와 고인물 사이에도 크게 차이가 난다. 적하수가 보통 2배정도 높다. 우리나라의 주요 동굴인 고수굴은 150내외, 성류굴은 155내외를 나타내는데 비해서 심복굴은 110~120내외를 나타내고 있는 것으로 보아 경도가 다소 낮게 나타났다.

심복굴의 경도는 4계절에 따라 약간씩 다소 차이는 있으나 평균 110~120ppm내외를 유지하고 있다. 다소 다른 석회암 동굴보다 낮게 나타났는데, 이것은 심복굴을 배태한 석회암의 방해석 성분이 낮고, 유입 우수량이 적고, 절리의 발달이 빈약하고, 방해석 성분이 적고 주위에 돌리네와 우발레 발달이 없어 우수를 함양해주는 주위 환경이 좋지 않기 때문이다. 따라서 동굴내 지형지물의 발달이 빈약하게 나타났다. 심복굴의 경도는 동계보다 하계에 상대적으로 다소 높게 나타났는데, 이것은 이 지역 강우의 약 60~70%정도가 6, 7, 8월 여름철에 집중적으로 내려 이산화탄소를 함유한 지하수량의 용출이 동굴내에 일시적으로 많아져 지하수위가 높아져 심복굴의 절리면을 따라 지하수가 유입되어 용식 작용을 활발하게 진전시켰기 때문이다.

동굴 안쪽으로 갈수록 큰 차이는 없지만 경도가 높게 나타났는데, 이것은 심복굴내 지하수가 하계 집중 강우를 제외하고는 유출구가 없어 정지 상태를 유지하고 있는 곳이 있기 때문이다. 석회동굴은 지하수위면 밑에서 석회암이 탄산수에 의해서 제거된 다음 계속해서 이산화탄소가 함유된 지하수의 유입으로 동굴내 하상이 깊어 침식되면 지하수위면이 낮아지는 동시에 빈공동이 지하수위면 위로 올라온다. 특히 지하의 토양층에서 식물 등의 부식층을 통과한 지하수는 더 많은 탄산가스의 일부를 흡수하여 지하로 스며들어 동굴내에서 자유대기와 접하게 됨으로써 탄산가스의 일부는 방출되고 용식되었던 방해석의 일부가 침전된다.

〈표-6〉 심복굴의 경도(mg/l)

위치	4월	7월	10월	12월
S1	111	114	110	112
S2	110	120	115	114
S3	113	121	117	116
S4	116	118	118	117

### Ⅲ. 요약

첫째, 동굴 내 기온은 대략 4월은 13~14℃, 7월은 15℃, 10월은 15℃, 12월은 14℃ 내외를 나타낸다.

둘째, 동굴 내 습도는 대략 4월은 88%, 7월은 92%, 10월은 91%, 12월은 90% 내외를 나타낸다.

셋째, 수소이온 농도는 대략 4, 7, 10, 12월 모두 pH7.30 내외를 나타낸다.

넷째, 수온은 대략 4월은 14℃, 7월은 15℃, 10월은 13℃, 12월은 12.5℃를 나타낸다.

다섯째, 이산화탄소는 대략 4월은 750~900ppmv, 7월은 760~920ppmv, 10월은 770~925ppmv, 12월은 750~910ppmv 내외를 나타낸다.

여섯째, 경도는 4월은 110mg/l, 7월은 120mg/l, 10월은 115mg/l, 12월은 115mg/l 내외를 나타내고 있다.

### Ⅳ. 고찰

심복굴은 지표에 우수를 함양할 만한 환경이 거의 없어 지하수가 풍부한 조건은 아니다. 따라서 여름철 하계 집중기간을 제외하고는 평소 무수구간이 존재하며, 유수구간의 지하수량도 적은 편이다. 동굴내부는 과거 지하수위가 높을 때 형성된 각종 지형물들이 국지적으로 형성되어있다. 이것은 동굴내 지하수의 유량이 적고 석회암의 주성분인 방해석 성분이 낮기 때문이다. 따라서 동굴은 안쪽으로 들어 갈수록 낙반이 많고 불규칙한 돌출물이 있다.

심복굴의 조사결과 관광 석회암동굴보다 방해석 성분이 낮고 제천, 단양 지역의 소규모 미개발 석회동굴의 내용과 큰 차이가 없는 결과를 나타내고 있다. 즉 계절별, 장소별로 약간 차이는 있으나 기온은 평균 13~16℃, 습도는 90%내외, 수소이온농도(pH)는 7-8내외, 수온은 13-16℃내외, 이산화탄소는 700~900ppmv내외, 경도는 110~120mg/l를 나타낸다. 전반적으로 우리나라 석회동굴에 일반적으로 나타나는 향온, 향습, 향압 환경에서 나타나는 결과와 큰 차이가 없으며, 큰 특이성을 갖고 있지는 않다. 다만 경도는 지하 경관이 화려한 기존의 관광개발 동굴에 비해서 떨어진다. 아직까지 외부에 의한 2차 오염현상은 나타나지 않고 있다.

석회암동굴은 카르스트지형이 나타나는 지역에서 지하형성물로 나타나는 공동지역으로 예부터 우리 선조들이 피난처나 농작물저장고, 주거지로 이용하던 곳으로 우리의 생활과 밀접한 곳이다. 따라서 선조들의 삶이 묻어있는 동굴을 잘 조사하고 체계적으로 정리하여 보존하는 것은 상당히 가치있는 일이다. 이런 의미에서 전국적인 동굴의 기초조사는 상당한 의미를 갖게 될 것이다.

### 참고문헌

남궁준 외2인, 1987, 한국의 동굴

최영박, 1993, 위생공학, 형설출판사

환경부, 국립환경연구원, 2004, 2003전국자연동굴조사보고서(황티기굴, 우로굴)

환경부, 국립환경연구원, 2004, 2002전국자연동굴조사보고서(안산안굴, 강릉1,2,3)

- 환경부, 2002, 전국 자연동굴 조사 지침서
- 환경부, 2001, 천연동굴 실태 및 보호 방안
- 동화기술 편집부, 2001, 공정시험방법(수질오염), 동화기술출판사
- 홍시환, 1990, 한국동굴대관, 삼주 출판사
- 환경부·국립환경연구원, 2003, 전국자연동굴 조사보고서
- 영월군, 2001, 천연동굴학술조사보고서
- 홍시환, 2004, 중유굴의 형성과정에 관한 지형학적 연구, 동굴62호, 한국동굴학회지
- 삼척시, 2000, 초당굴 종합학술조사보고서
- 유진삼, 2004, 한국의 천연기념물 동굴, 동굴63호, 한국동굴학회지
- 김주환, 2002, 지형학, 동국대학교 출판부
- June C. Schmid, 1980, Karst Hydrology and Physical speleology, Springer-Verlag, New York Heidelberg
- J. N. Jennings, 1985, Karst Geomorphology, Basil Blackwell Ltd