

우리나라 순환대 성인의 동굴미지형에 관한 연구

학회명에 회장 홍시환

I. 서론

우리나라의 석회동굴들은 그 기후의 다양성과 지질구조의 복잡성, 그리고 지형의 단조성 때문에 매우 이질적이고도 특이한 동굴미지형들의 발달되고 있음을 볼 수 있다.

원래 동굴중에서도 석회동굴은 다른 절리굴이나 수식동굴들보다는 보다 허다하게 많이 발견되고 있는데 이들의 동굴들은 각각 그 동굴속에 다양한 미지형, 미지물의 존재를 관찰할 수 있다.

실제로 단양의 고수동굴과 영월의 고씨굴들은 그 동굴 미지형을 많이 볼 수 있는 대표적인 석회동굴이라 하겠다.

본 연구에서는 특히 고수동굴의 지형지물들의 성인과 그 형성과정을 통하여 동굴속에서 아직 잔재하고 있는 동굴미지형과 미지물들에 관하여 언급하고자 한다.

일반적으로 여태까지의 동굴에 관한 연구논문은 그 동굴 내부의 탐험조사에 의하거나 또는 그 동굴지역에 관한 현황을 체계적으로 조사연구 기록에 치중되었었기에 앞으로는 원리적인 동굴지형지물 등의 전반적인 이론에 치중된 연구조사에 커다란 관심을 기울여야 하겠다고 본다.

II. 석회동굴의 성인구분에 관한 사례

원래 석회동굴의 분류에 학술적으로 체계화시킨 학자는 미국의 스워팅으로 이는 지하수류계열에 의한 동굴의 분류를 처음으로 시도하였다.

즉, 석회동굴의 형태분류 특히 동굴속에서 관찰할 수 있는 동굴미지형과 미지물들에 의한 분류 방법으로 포화수대 속에서 형성된 동굴의 경우, 그리고 순환수대 또는 지하수면에서 이루어진 동굴, 그밖에 수직함물에 의한 동굴의 세가지 성인설을 제창하였다.

이른바 동굴속에 물이 가득차 있어 이때에 동굴 천정과 벽면들이 용식붕괴되면서 동굴이 확장되어 가는 경우와 지하수류가 흘러 내려가면서 또는 지표면 지역의 하천수 등의 수준면 보다 낮은 동굴내 지하수면이 외계 수준면의 영향으로 동굴이 확장된 경우 이밖에 지층의 층서면 등의 지질구조 때문에 동굴천정이나 동굴벽들이 붕락되면서 지하에 커다란 공동을 형성하는 경우 등의 세가지 성인설을 발표하고 있다.

실제로 이의 성인상의 분류 이론은 오늘날 국제적으로 인정받고 있는 학설이 되고 있음은 주지하는 바라고 하겠다.

Ⅲ. 순환수대 성인의 사례 동굴

단양의 고수동굴은 순환수대 속에서 이루어졌다고 보는 대표적인 석회 동굴이다.

대부분의 경우 순환수대란 지하동굴을 형성한 기초가 되는 지하수의 통로가 많은 지하수의 흐름에 의하여 동굴 내부에 물리적인 수식작용에 의한 각종 지형지물들이 발달되고 있는 동굴을 순환수대의 동굴이라 부른다.

이때 이와같은 동굴 속에서는 동굴의 벽면에 깊이 파고들어 구비치고 있는 동굴벽의 지형을 보게 되는데 이들의 지형이 깊이 벽면을 타고 흘러 내려갔을 때와 얇게 또는 매우 둔하게 벽면을 침식하고 있는 경우의 두가지 경우를 보게 된다. 이때 전자는 닛찌라고 부르며 지층의 층서면에 따라 이른바 침식봉(침식선반)이 형성된다. 한편 매우 벽면을 약하게 수식 작용으로 침식하였을 때에는 닛찌라고 부른다.

고수동굴의 경우, 가장 밑바닥 통로에는 매우 뚜렷한 침식선반을 이루는 닛찌지형이 커다란 사행(구비치는) 협곡을 이루고 있음을 보게 된다.

뿐만아니라 용수골은 고수동굴의 지하수류 원천지로 되고 있는데 이 용수골의 저수량은 지표면의 강수량의 다과에 직접적으로 관계되고 있다.

사실상 고수동굴은 먼저 이 아랫바닥의 지하수류 통로가 동굴로 되었는데 현재의 동굴입구는 이른바 지하수류가 동굴속을 흘러 나오는 유출구에 해당되고 있어 이 기본동굴 통로가 계속 하각작용으로 수류수준면이 낮아지면서 한편 화

학적인 용해작용도 병행되어 온 것이다.

즉 지하수류 통로위에 아직도 뚜렷하게 남아 있는 천정용식구나 층리면과 절리면에 발달하고 있는 아나스토모시스 같은 지층, 그리고 천정과 벽면에 깊이 패어져 있는 포켓트 캐비티 같은 오목한 지형들은 순환수대대 천정이나 벽면이 소용돌이의 수식작용으로 이루어진 지형이다. 그밖에도 개선문으로 불리는 천연교, 사자바위로 불리는 모암돌기물(바도우즈 펜던트)등은 모두 순환수대속에서 이루어진 증거라 하겠다.

물론 상·중·만물상 지역들은 동굴 천정의 일부가 낙반되면서 공동이 형성되고 그 후 계속적인 석회질 지하수적의 침적 때문에 유석(종유벽), 종유석의 장관을 이루고 있는 것이다.

IV. 순환수대 속의 지형지물

이제 순환수대가 주요 성인으로 되는 동굴의 경우 이 동굴생성물들을 예를 들어 본다면 다음과 같다.

1. 닛찌(nich)와 낫찌(notch)

흘러 내려가는 지하수류의 수량이 많고 유속이 빠른 경우, 그리고 동굴 벽면이 비교적 수평에 가까운 층리면을 이루고 있다면 이때 흘러 내려가는 지하수류는 이른바 측방침식 작용으로 연약한 암석층을 침식 삭박하여 깊이 타고 들게 되는데 이때 침식선반의 깊이 클때는 닛찌라 칭하고 얇거나 할 때는 낫찌라고 부른다.

즉 낫찌나 닛찌는 동굴내를 지하수류가 흘러 내려간 흔적으로 순환수대 속에서 형성된 동굴의 형성 과정을 연구하는데 좋은 학술자료가 된다.

2. 포켓(pocket)과 캐비티(cavity)

이 지형은 포화수대에서도 형성되고 약한 순환수대에서도 형성되는 미지형인데 천정이나 동굴벽면에 오목하게 패여 들어간 포켓 같은 원형의 오목지형이다.

포화수대 속에서는 용식작용과 수식작용의 병합작용으로 이루어진다고 보는데 대개의 경우 소용돌이의 흐름이 용식 받기 쉬운 지층에 파고 들어 결국 둥근 작은 바가지 모양의 오목지형이 형성된다.

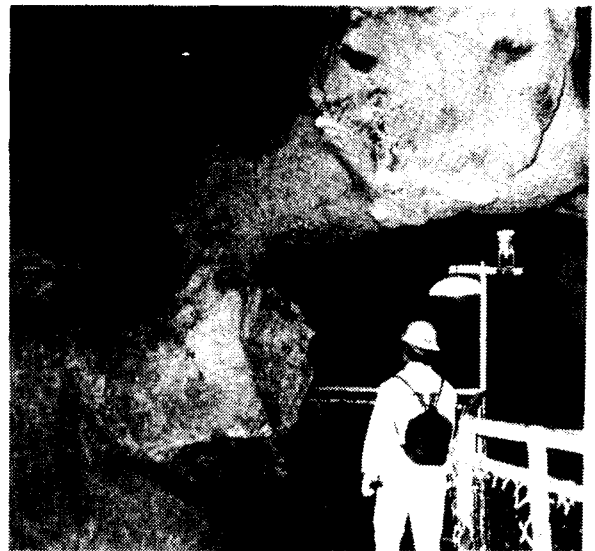
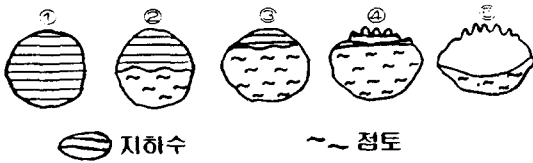
이때 한단계 지형일 때에는 포켓이라 하고 2~3단계 등으로 여러 단계로 패



침식받은 돛지의 형성

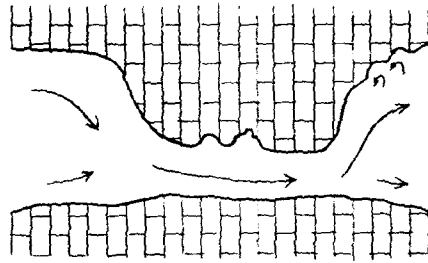
먼저 공동에 물이 차면 점토가 퇴적되어 천정면을 용식형태와 같이 도랑을 형성하는데 나중에 물이 빠지게 되면 천정에 도랑이 생긴다.

침식받은 돛지 (침식선반)

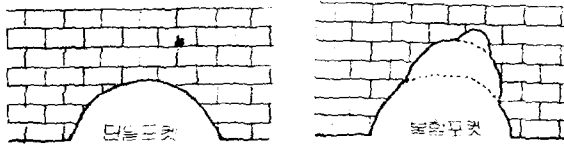


地下水 통로였던 峽谷지대와 돛지地形

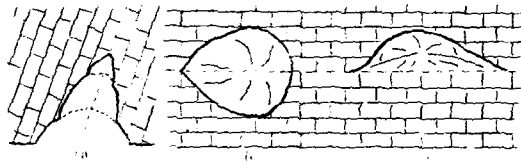
록크스판인 天然橋(개선문)



포켓의 형성위치와 포환대 수류의 방향

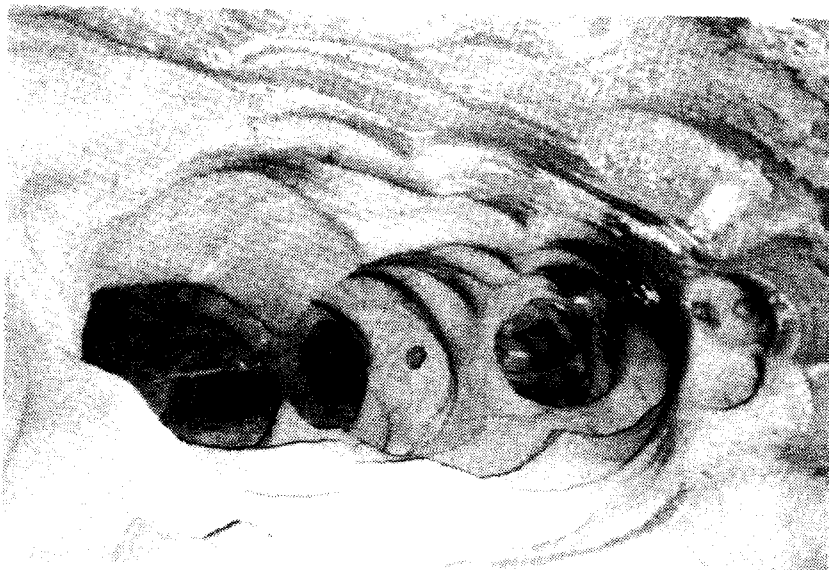


정리와 관계없는 포켓



캐비티와 정리의 관계

- a. 정리 없음
- b. 정리 있음
- c. 정리 있음 (정리 방향이 다른 경우)



複合캐비티 (벨홀)



동굴천정의 천정용식구



동벽에 남아있는 堆積物



鍾乳瀑布 (垂直條痕)

여 들어가 있는 경우에는 이를 캐비티라고 부른다.

그리고 캐비티의 경우에는 지층의 절리면에 따라 발달하고 있는데 물론 소용돌이 물살의 침식작용과 그 암질의 성분하고도 크게 관계 된다고 본다.

우리나라 고수동굴 속에서 많이 보게 된다.

3. 포트홀(pothole)

동굴바닥에 발달한 원형의 오목한 미지형을 가리킨다.

땅 표면에서는 폭포수가 바닥에 떨어져 수식작용으로 바닥에 깊은 오목지형을 이루는 경우가 있는데 이때에 이를 구혈이라고 한다. 즉 이 지표상의 구혈과 같은 성인으로 되는 미지형이다.

물론, 동굴내를 흐르고 있는 지하수류가 동굴바닥의 구혈 즉 틈바구니나, 또는 절리면에 이른바 차별 침식을 하는 경우가 있는데 이때 동굴바닥 지면의 석질이 약하거나 용식, 수식이 빠르게 되면 이곳에 구혈 즉, 포트홀이라 한다.

고수동굴에는 도처에 이들의 미지형을 볼 수 있다.

4. 수직조흔

넓은 공동 또는 동굴의 벽면을 따라 수직으로 내려 뺨고 있는 석회질 줄기를 가리킨다.

즉, 벽면을 흘러 내리는 순환수대, 또는 천정에서 벽면따라 침적되는 지형인데 대부분의 경우에는 순환수대 동굴에서 흘러 내릴 때 형성된다.

대부분의 동굴벽면에 동굴 퇴적물이 많을 때 중유폭포와 같은 유석(플로우스톤)경관의 줄기도 이와같은 수직조흔이라 할 수 있다.

5. 천정구(ceiling channel)

대량의 지하수량이 동굴로 흘러 내려가는 순환수대의 동굴 속의 천정에 형성되는 지형으로 동굴 천정에 마치 반달모양의 도랑 모양으로 용이 꼬리 치면서 지나간 모양의 지형을 이룬 것이다.

우리나라에서는 동해시의 천곡동굴 입구 부근의 동굴천정에서 약 30m 이상의 우리나라 제일가는 천정구를 볼 수 있다.

실제로 이 천정구와 비슷한 미지형으로는 작은 규모의 용식관이 이 천정구와 비슷하지만 용식관은 포화수대 동굴속에서 형성되고 천정구는 순환수대 동굴속에서 이루어진다.

또한 용식관은 횡단면이 원형, 또는 타원형을 이루며 그 천정 지층의 구조면에 관계되면서 형성된다.

그러나 천정구의 경우에는 동굴 천정지층의 구조면과는 관계 없고 이의 횡단면도 깊이 보다는 넓이가 넓은 반달형이다.

예를 든다면 동굴의 발달사의 한 때에 동굴의 유출구인 끝머리 부근의 동굴 통로가 점토로 충전되고 있을 시기가 있게 된다. 특히 천곡동굴의 경우는 이의 좋은 예인데 지금도 천곡동굴 배출구에 해당하는 동굴입구 부근은 점토질이므로 모든 동굴과 동굴 퇴적물들이 코오팅된 것을 보게 된다.

이것은 포화수대 때에 이 지하수면 부근에서 동굴이 형성되고 있을 때 동굴은 한때 점토질 토양으로 메꾸어져 천정벽과의 통로 사이에 지하수류가 흘러 내려가면서 천정구나 또는 모암수하물 즉 바도우즈펜단트 등의 미지형이 형성된다. 바로 천곡동굴에서 이들의 지형을 그대로 관찰할 수 있다.

한편 동굴의 지하수류 상류 즉 동굴 오지에서는 순환수대의 물줄기가 세차게

흘러내려 가는 경우에 이곳에서는 모암돌기물(프레아틱텐단트)이 발달한다. 역시 천곡동굴 동굴오지에서 관찰된다.

6. 수직조흔(vertical lapies)

동굴의 벽면에서 밑으로 길게 뻗어내린 수직의 줄기를 이루는 동굴 퇴적물을 가리킨다.

이 수직 도랑의 넓이는 1~30cm까지 다양하게 나타나는데 이 퇴적물 석회질 줄기의 높이는 1~2cm밖에 되지 않는다.

즉 동굴 천정면이나 벽면의 윗쪽에서 중유벽 따라 밑으로 흘러 내리는 석회질 물줄기들이 밑으로 곧바로 줄기를 이룬 경우이다.

즉 동굴의 벽면을 흘러 내리는 이른바 순환수대의 지하수에 의한 동굴벽면의 침식에 의한 것이 주로 된다. 대체로 동굴내부의 도움형의 수직동굴의 동굴벽면에서 많이 형성된다.

실례로 단양의 고수동굴 속에서 볼 수 있다.

7. 모암수하물과 모암돌기물

모암수하물 즉 바도우즈펜단트와 모암돌기물 즉 프레아틱펜단트는 모두가 순환수대의 동굴중에서 형성되는 것이나 앞서 천정구에서도 언급하였듯이 지하수류가 동굴천정면 까지 침수되고 있을 때 이들의 지형 지물이 형성된다.

물론 물이 가득차 있던 한때 즉 돈화수대로 되고 있을 때에는 차별침식, 또는 용식도 이루어지는데 대부분의 경우에는 순환수대의 동굴 지역에서 형성 된다.

모암수하물의 경우에는 천정바닥이 비교적 평탄하나, 모암돌기물인 경우에는 그 바닥이 날카롭거나 둔한 돌기형태를 이루는데 대부분의 경우 낮은 밑바닥에 발달한다.

동해천곡 동굴이 이들 지형지물들의 보고라 하겠다.

8. 메인다 트렌치(협곡통로)

이 지형은 이른바 순환수대의 지하수 통로가 그대로 하각침식으로 깊게 협곡을 이루고 있는 동굴통로를 가르킨다. 사행하천 모양으로 구비치는 협곡 지대로 고수동굴의 천연교(개선문) 통로가 바로 이에 해당한다.

대체로 계속 순환수대의 동굴류가 있을 때에는 하각침식으로 동굴바닥이 침식삭박으로 수준면이 낮아지는데 만일에 포화수대 시기에 한동안 계속되는 경우에는 이곳에 측방침식 작용이 가해지게 되므로 이 협곡통로의 넓이는 넓어지는 경우가 있다.

9. 스카랍(scallaps)

순환시대의 동굴의 벽면이나 바닥에 흘러 스쳐 지나간 흔적 즉 유흔같이 조개껍질 모양의 얇은 흔적을 나타내고 있는 경우 이것을 스카랍, 또는 유흔이라 한다. 물결의 파도가 쳐 내려가면서 침식한 흔적인데 이것도 동해시의 천곡동굴에서 볼 수 있다.

10. 수평천정(flat ceiling)

순환수대의 동굴통로의 천정이 평탄한 경우인데 포화수대의 동굴에서도 볼 수 있다. 대체로 그 동굴천정을 이루는 지질구조 즉 층서면이나 절리면에 따라 천정이 붕락 되었을 경우가 많다.

정선의 화암동굴의 천정이 이의 좋은 예이다.

V. 결 론

이상에서는 순환수대의 동굴의 사례로 들면서 이들 순환수대의 동굴형성과 동굴퇴적물, 동굴생성물들의 형성과정을 살펴보았다.

우리나라의 대부분의 동굴도 순환수대의 동굴로 태어나서 나중에 포화수대의 동굴시기도 맞게 되는 경우에는 이들의 병합작용으로 동굴 생성물들이 다양하게 발달하는 것이다.

그 동굴지역의 지표면의 돌리네, 우발라 같은 카르스트지형의 규모, 그리고 상태에 따라 지하에 스며드는 지하수량도 차이가 있을 것이나 그뿐만이 아니라 지표지역의 기후, 토지 특히 강수량의 다량과 편중성 등도 크게 관계된다.

즉 순환지하수류의 수량과 유속, 그리고 지하수 통로인 동굴의 지질구조, 지질성분, 규모 등에도 관계되고 있음은 재언을 요하지 않을 것이다.

<참 고 문 헌>

동해시 천곡동 천연동굴학술조사보고서(1991).

동해시 삼척군 대이리동굴 학술조사보고서(1987).

홍시환 : 한국동굴대관(1990) 삼주출판사

홍시환 : 한국의 석회동굴(1983) 한국동굴학회

홍시환 : 우리나라의 자연동굴(1978) 금화사

가와노미찌히로 : 추길대의 석회동 형성(1972).