

우리 나라 포화수대 성인의 동굴미지형 연구

홍시환¹⁾

국문 초록

우리 나라에는 수 많은 석회동굴이 있다. 현재까지 파악된 것만 해도 총 1,000 여개소에 달하는 것으로 추정되고 있으나 실제로는 이보다 많은 동굴이 있을 것이다. 이들 석회동굴의 용식미형태는 다양하다. 따라서 본 연구에서는 포화수대에서 형성된 동굴 속의 용식작용으로 이루어진 동굴 미지형, 동굴 지물들에 대하여 논하고자 한다.

순환수대에서의 동굴 생성물과 미지형은 단조롭고 뚜렷하다고 하겠지만, 이와 반대로 포화수대 동굴 속의 미지형들은 그 모두가 용식작용으로만 이루어지는 것이다. 이들 미지형은 계속 순환수대 동굴로의 이행 때문에 침식·삭박작용도 가해지는 경우가 있어 이른바 복합적인 미지형이 남게 되는 것이다.

현재 우리 나라에는 수 많은 석회동굴이 있으나 개발되어 공개되고 있는 동굴 중에서는 단양의 고수동굴과 동해시의 천곡동굴에서 이와 같은 용식미지형을 볼 수 있다.

앞으로 이들에 대한 보다 계층적이고 구체적인 학술적 연구가 기대되는 바이다.

1. 서론

우리 나라에는 수 많은 석회동굴이 있다. 현재까지 파악된 것만 해도 총 1,000 여개소에 달하는 것으로 추정되고 있으나 실제로는 이보다 많은 동굴이 있을 것이다. 이들 석회동굴은 그 모두가 한반도의 등뼈를 이루고 있는 산줄기 또는 그 기슭에 있으므로 이들 중에는 아직도 발견되지 않은 채 그대로 존재하는 것도 많기 때문이다.

본 연구는 이들 석회동굴이 형성되는 원인 중에 지하수류가 흘러가면서 발달시킨 순환수대로 인한 석회동굴과는 달리 동굴 속이 이

* 학회 명예회장, 동굴환경연구소 소장

들 지하수가 포화상태로 가득차 있는 상태가 오랫동안 세월이 지날 경우, 이때 동굴류 속에 내포되고 있는 화학 성분의 화학적 작용으로 동굴 내에 미지형지물이 형성되는 경우를 주로 언급하였다.

원래 순환수대에서 생긴 미지형지물에 관한 내용은 지난 학회지 「동굴」 제 45호에서 발표되었기에 본론에서는 포화수대에서 생긴 동굴지형지물에 대하여 언급하려고 한다.

물론 처음부터 포화수대에서만 동굴이 이루어지는 것은 아니고 순환수류에 의한 작용과 함께 형성하여 발달되는 것이나 체계상 이를 나누어 언급하려고 한다. 또한 동굴의 생성 발달, 그리고 그 미지형의 분석 규명을 위하여는 이와 같은 연구가 앞으로도 계속 되어야 할 것이다.

즉, 동굴 내부에 생성 발달되고 있는 미지형지물들에 관한 연구는 몇몇 국한된 학자들만에 의하여 발표된 것이 고작이다.

대체로 포화수대에서 생긴 미지형지물들은 사실상 순환수대 지하수류 작용과 매우 밀접한 관계를 지니고 있어 별개로 구분하여 취급하는 것은 곤란하다. 그러나 본 연구에서는 포화수대에서 형성된 동굴 속의 용식작용으로 이루어진 동굴 미지형, 동굴 지물들에 대하여 논하고자 한다.

2. 포화수대 동굴 속의 미지형

이제 포화수대 동굴 속에 생성된 미지형지물을 들어 본다면 다음과 같다. 즉, 포켓트, 스폰지위어크, 록스판, 아나스토모시스, 프레아틱 펜던트, 용식관, 보어 패세지 등 등의 용식 미지형들이다.

1) 포켓(pockets)

석화동굴 내의 동굴 천정이나 동구 벽면에 새겨진 용식공(오목한 미지형)으로 반달 모양의 오목한 미지형이므로 ‘포켓’이라고 한다.

주로 이 포켓은 포화수대 시기에 동굴 속 공동이 확대되고 있는 시기에 생성되며 포화 상태 때 지하수의 화학작용에 의한 용식 형태로, 그 오목지형의 크기는 보통 10~30cm 내외로 되는 경우가 많다. 물론 그 포화시대와 석회질 성분에 따라 그 크기에는 차이가 있는 것도 사실이다. 이들은 실링 포켓(ceiling pocket, 천정) 또는 월포켓(wall pocket, 벽면), 그 밖에 플로어 포켓(floor pocket)으로 분류되기도 하고, 그 수효에 따라 단일 포켓, 복합 포켓으로 구분된다.

이와 같은 사례는 고수동굴을 비롯하여 많은 동굴 속에서 볼 수 있다.

2) 스펀지 워어크(sponge work)

스폰지 워어크는 일명 벌집(honey comb)라고도 불리우는데, 동굴 천정이나 동굴 벽면에서 보는 작은 구멍의 모일체를 말한다. 이 스펀지워어크는 포화수대의 공동 형성 초기에 볼 수 있는 미지형으로 주로 모암의 성분에 따라 차별적으로 용식작용이 이루어져서 이와 같은 미지형이 형성되는데, 이른바 작은 용식구멍지형의 집합체를 가리킨다. 이들의 크기는 매우 다양하다.

석회암의 칼슘과 마그네슘의 포함 비율이 부분에 따라 다를 것이므로 이와 같은 차별 용식작용이 이루어졌을 것이고, 더구나 이 스펀지워어크는 아나스토모시스에서 보는 바와 같은 포화수대 때의 지하수를 공급해 주는 지층의 구조선을 볼 수 없다는 점이다. 즉 석회암층 중의 매우 작고 치밀한 틈바구니를 가득차게 하고 있는 지하수에 의하여 용식작용이 부분적으로 이루어진 결과 이와 같은 미지형이 나타난 것으로 본다.

3) 록스판(rock span)

이 미지형은 동굴 벽면에서 볼 수 있는 미지형 형태로 국부적으로 모암에 의하여 형성된 다리나 기둥을 가리킨다. 그 모양에 따라 천

연교(natural bridge), 주석(pillar), 그 밖에 차단벽(partition wall) 등으로 구분된다.

이 록스판 미지형들은 포화수대 속에서 동굴공동이 형성되기 시작한 때부터 그 공동이 확대되어가는 시기에 걸쳐 나타나는 미지형이다. 즉 지층의 절리면을 따라 용식된 부분에서 남겨진 모암들이다.

특히 천연교의 경우에는 고수동굴 지하바닥 통로에서 볼 수 있는 천연교(개선문)와 같이 대규모 지형도 있는데, 반드시 모암으로 이루어진 지물을 가리킨다.

한편 주석은 석회암층의 기둥으로 관찰되는 것을 가리키며, 2차 생성물인 중유석과 석순의 연결에 의한 석주(column)와는 전혀 다르다.

요컨대 이들은 용식작용을 받은 나머지 모암의 일부가 천연교나 주석 또는 압주 그 밖에 차단벽들로 이루어진 미지형을 가리키는바 이 용해작용이 가해진 부분에는 지질의 구조선이 뚜렷하게 나타나고 있다. 동굴 통로나 동굴 공간 중에 이와 같은 형태를 볼 수 있는 지하수 환경은 반드시 포화수대에서만이 나타나는 것이다.

4) 아나스토모시스(anastomoses)

아나스토모시스는 동굴 천정의 지질구조 면에 따라 용식작용을 받은 작은 관상 모양의 튜브형 구멍이 복잡하게 얽혀 있는 미지형이다. 포화수대의 동굴 공동이 형성되는 초기에 이루어지는 미지형으로 절리면에 따라 윗쪽으로 용식작용이 이루어지며 복잡하게 얽혀 있는 용식관의 복합체라고 하겠다.

이 용식관의 직경은 대체로 5~15cm로 나타나고 있다. 그리고 아나스토모시스의 용식관 크기는 작은 것은 5cm 내외인데, 비교적 같은 장소의 이들은 그 크기가 거의 비슷하며 대체로 둥근 원형의 횡단면을 이루고 있으나 그 직경이 커지면 이는 타원형을 이루는 경우가 많다. 이 용식관과 아나스토모시스와의 차이는 아나스토모시스

의 오목한 형태는 그물 모양의 망상으로 되고 있는데 반하여 용식관은 단순한 한 줄기로 되고 있다는 점이다. 요컨대 아나스토모시스는 동굴 통로 확대에의 모체가 된다.

이는 용식관의 확대에 따라 서로가 연결되고 통로로 되고 있기 때문이며, 또한 복수의 아나스토모시스들이 서로 붕괴 파괴되거나 융합됨으로써 동굴 통로로 확대되고 있는 경우도 있다.

5) 프레아틱 펜던트(phreatic penants)

이 미지형은 동굴 천정에서 밑으로 돌기되어 있는 모암의 일부를 말하며, 그 모양은 종유석과 비슷하다고 하겠다.

이 미지형은 포화수내 공동형성기에서 오랜 시일이 지난 준포화수대까지에 걸쳐서 이루어지는 미지형으로 지하수면에 잠겨 있을 때까지 형성된다. 이른바 모암이 밑으로 매달려 있는 수하물로 이의 크기는 20~30cm 길이가 보통이다.

우리 나라 동해시의 천곡동굴에서 전형적인 프레아틱 펜던트가 발견된 바 있으나 그 밖에 다른 동굴에서는 모식적인 것이 아직 발견되지 못하고 있다.

이는 아나스토모시스의 발달에서 통로의 형성이 진전되어 마침내 천정에서 매달려 있는 듯 밑으로 용식에서 남겨진 모암의 일부로 수하물 즉 돌기물 같은 모양을 이루고 있다.

6) 용식관(solutional tube)

석회동굴 중 동굴 천정이나 동굴 벽면에 반달 모양으로 단면을 이루면서 오블꼬빨하게 굴곡짓고 있는 형태의 튜브 지형을 '용식관'이라 한다.

포화수대의 공동이 형성되는 초기부터 이 공동이 확대되어 가는 시기에 이르기까지 이와 같은 용식관 미지형이 발달하는데 주로 지층의 절리면을 따라 용식작용이 작용하기 때문에 단면이 원형을 이

루는 튜브, 즉 관상을 이루고 있는데, 대체로 직경이 10~50cm에 달하는 것이 보통이다.

단양의 고수동굴, 동해시의 천곡동굴에서 많이 볼 수 있다.

7) 보어 패세지(bore passage)

동굴 천정면에 용식작용으로 형성된 원형의 횡단면을 이루는 통로를 가리킨다.

역시 포화수대 동굴이 초기에 공공이 형성되면서 계속 확대되어가는 시기에 이루어지는 미지형이다. 또한 이 미지형은 지질구조면을 따라 용식작용이 가해져 생긴 것으로 대체로 원형에서 타원형을 이루는 횡단면의 통로로 되고 있다. 직경 50~500cm까지는 대규모의 통로를 이루고 있는데, 고수동굴, 천곡동굴, 그 밖에 백룡굴에서 볼 수 있다.

즉, 포화수대 속의 공동화의 가장 시초 단계에서는 지하수의 환경에 관계없이 지하수류는 지층이 층리나 절리 등의 구조면에 관계하면서 동굴류가 이동하게 되는데, 포화수대의 시기에 있어서는 지하수는 피압되고 있는 상태에 있어 물의 중력에 반작용의 압력작용을 일으키게 된다. 이와 반대로 순환수대 때에 물은 압력을 받지 않고 이동하게 되지만, 포화수대의 지하수류는 이와 반대이므로 반작용을 일으키게 되는 것이다. 따라서 이와 같은 반작용이 이른바 용식작용을 가하게 되는데, 아나스토모시스나 용식관의 단계를 거쳐 점차 대규모의 원형 횡단면을 지니는 보어 패세지 통로를 발달시키게 된다. 그리고 관상의 횡단형 통로가 형성되기도 하지만 때로는 3차원적으로 이른바 프레아틱 루우프(phreatic loop)를 이루는 경우도 있다.

한편 이 미지형에는 순환수대 시기에 순환 지하수류에 의한 확대작용이 가해지기도 하므로, 이 때 스칼랍(scallops)이라는 조개 껍질 모양의 흐름 흔적(current mark)을 남겨 놓기도 한다.

3. 포화수대 동굴의 변이 과정

포화수대 속에서 지하동굴이 형성되는 경우, 이 때부터 점차 이 포화수대의 물 속에서 침식작용이 활발하게 진행되어 마침내 동굴 속 지하수류의 수로는 점차 확대되어간다. 이와 같은 동굴 속은 점차 지하배수로로서의 기능을 갖게 되는데, 이 때문에 동굴의 공간은 급속적으로 확장되어가는 것이 원칙이다.

이와 같은 과정에 있는 동굴은 급속적인 확대작용을 일으켜 이 때문에 동굴의 바닥이나 동굴 벽면은 계속 삭박되고 마는데, 이 때 커다란 동굴로 성장한 동굴의 상층부에는 이른바 공동이 나타나게 된다.

이상과 같은 단계에 이르게 되면 동굴 상층부의 공동에는 동굴 천정이나 벽면에서 침출된 석회질 용해수적(물방울)에 의하여 종유석이 형성된다. 그리고 계속 동굴 내부를 흐르고 있는 물에 의하여 동굴 바닥 즉 동상은 하각되면서 이 동굴의 공동은 비례하여 확장되게 된다.

이와 같은 경우에는 동굴의 천정, 바닥, 그리고 동굴 벽면 등 도처에 종유석, 석순, 플로우 스톤(유석), 그리고 석회화 현상 등의 많은 종류의 동굴 생성물이 성장하게 되는데, 이 때부터가 바로 동굴생성물이 가득한 지하궁전의 모습을 지니게 된다.

그 후 수천 수만년에 걸친 지나간 기간에는 동굴 내의 지하수류는 계속 하각작용, 측방 침식을 하면서 동굴 내의 수면은 점차 내려가게 되므로 최초 동굴 생성시의 지하수 수물 수면보다 훨씬 내려가게 된다. 이 부분에 있어서는 수몰되고 있을 당시에 생성되었던 동굴 생성물들은 그 대부분이 용해되어 없어지게 된다.

그러나 종유석, 석순, 그리고 플로우 스톤, 폭포형 석회화, 그리고 석주 등의 동굴 생성물들은 표면은 비교적 용해되고 있지만, 그

원형은 그대로 남아있는 것이 보통이다. 물론 동굴 생성물들 중에는 화학적 용식작용을 받아 변형된 기묘한 모습을 이루게 되는 종유석, 석순 등이 있다.

우리 나라 동굴의 곳곳에서 볼 수 있는 동굴 천정에 매달려 있는 방패 종유석(고수굴), 그리고 동굴 바닥에 남아있는 삿갓석순(백룡굴), 황금주로 불리우는 종유벽(고수굴), 손가락 바위(노동굴) 등이 이에 해당되는 사례이다. 이 밖에도 동굴 벽면에 자갈과 모래 같은 사력층이 아직도 남아있음(고수굴, 천동굴)을 보게 되는데, 이들 사력층에 해당된 동굴 수면이 오랫동안 계속되다가 그 지하수면의하강으로 그대로 벽면에 남아있음을 보게 되는 좋은 사례이다.

4. 동굴 수면의 변천과 동굴 생성물

우리 나라에서는 석회동굴 중 커다란 광장이 발달되고 있을 경우, 특히 동굴 공간이 수직형으로 넓고 크게 발달하고 있으면서 그 밑으로 몇 단계의 동굴 통로가 수평으로 발달되고 있다면, 이 동굴은 가장 상층부의 공동은 동굴 천정이나 동굴 벽면에 맑은 용식공, 포켓, 캐비티 같은 미지형을 보게 된다(고수동굴의 경우).

동굴 바닥 수면의 변화와 동굴 생성물과의 상관 관계를 설명하면 다음과 같다.

즉, 포화수대 동굴의 경우는 상하로 넓은 공동으로 되는 동굴로 먼저 동굴의 천정이나 동굴 벽면에는 여러 가지 동굴 생성물이 발달하여 아름다운 경관을 이루게 된다.

그러나 이 동굴 천정이 포화수대에 장기간 수몰되고 있는 경우, 이때에 동굴 생성물들은 용해될 뿐만 아니라 이른바 용식지형에 해당하는 캐비티, 주석, 아나스토모시스와 같은 미지형이 형성되게 된다.

이른바 동굴 천정이 동굴 속 지하수가 가득차 있을 경우, 물의 화학적 작용은 물론 석질에 따라 그 규모에 차이는 있겠으나 이른바

용식미지형이 형성된다. 물론 순환수류와 병행되었을 때는 더욱 더 발달하게 된다.

우리 나라 고수동굴의 바닥 통로, 그리고 천곡동굴의 경사진 동굴 벽 등에서 이와 같은 미지형 이외에도 스카랍 같은 침식 미지형도 함께 볼 수 있다.

5. 결론

요컨대 석회동굴의 용식미형태는 다양하다. 더구나 순환수대에서의 동굴 생성물과 미지형은 단조롭고 뚜렷하다고 하겠지만, 이와 반대로 포화수대 동굴 속의 미지형들은 그 모두가 용식작용으로만 이루어지는 것이다. 이들 미지형은 계속 순환수대 동굴로의 이행 때문에 침식·삭박작용도 가해지는 경우가 있어 이른바 복합적인 미지형이 남게 되는 것이다.

현재 우리 나라에는 수 많은 석회동굴이 있으나 개발되어 공개되고 있는 동굴 중에서는 단양의 고수동굴과 동해시의 천곡동굴에서 이와 같은 용식미지형을 볼 수 있다.

앞으로 이들에 대한 보다 계층적이고 구체적인 학술적 연구가 기대되는 바이다.

참고문헌

정창희, 1992, “고수동굴의 지질에 관한 연구,” 「동굴」, 제 32권 제 33호.

홍시환, 1976, “우리 나라 동굴의 성인에 관한 연구,” 「동굴」, 제 2권 제 2호.

홍시환, 1979, “종유굴의 형성과정에 관한 지형학적 연구,” 「동굴」, 제 4

권 제 4호.

홍시환, 1988, “한국 동굴의 구조적 특성,” 「동굴」, 제 16권 제 17호.

홍시환, 1990, 「한국동굴대관」, 삼주출판사 : 서울.

홍시환, 1993, “고수동굴의 이차 생성물에 관한 지형학적 분석,” 「동굴」,
제 32권 제 33호.

홍시환, 1996, “우리 나라 순환수대 성인의 동굴 미지형에 관한 연구,” 「동
굴」, 제 44권 제 45호.

홍시환 · 김병우 · 유재신, 1990, “고수동굴의 동굴 실태에 관한 연구,” 「동
굴」, 제 23권 제 24호.

홍현철, 1996, “천곡동굴의 성인과 형성 과정에 관한 연구,” 「동굴」, 제
44권 제 45호.

秋吉臺 科學博物館, 1975, 「秋吉臺の石灰洞」.