

화산동굴의 용암석회질화 현상 고찰

(제주도 북제주군 협제리 건지굴 중심)

소대화*, 배두안**

명지대학교*, 화산지형지물연구소**

요 약

본 논문은 북제주군 협제리 해안가 근처에 소재한 건지굴을 대상으로 화산지역의 용암동굴에서 특이하게 진행되고 있는 용암석회질화 현상에 대하여 동굴내부와 주변 상황에 근거한 분석과 고찰을 통하여 석회질화의 발생 원인을 규명하는데 기여하고자 하였으며, 특히 동굴내부의 생태계와 연관된 분석을 병행 시도하였다.

용암동굴(화산동굴)은 생성이후 퇴화한다. 그러나 용암동굴에서 용암석회질화(lava-calcification) 현상이 발생하면 용암의 기공과 균열부분 또는 용암석간의 틈새에 석회질 성분이 지하수에 녹아 침투하여 고화되면서 구조적 보강효과가 발생하여 견고하게 진행된다.

이러한 현상은 마치 콘크리트 건축구조물에서 구조재료들을 물리적으로 연결하여 결합시키는 시멘트의 역할과 같으며, 따라서 용암동굴의 경우, 동굴이 형성된 이후에 전반적으로 퇴화가 진행되고 알려진 일반적 경향에 반하여 용암석회질화 현상에 의해 오히려 구조적 보강현상이 이루어지고, 용암석회질화 현상이 진행될수록 용암동굴의 일반적 경향으로 나타나는 동굴퇴화현상 보다는 구조적 견고함의 진행성을 나타내는 특이현상을 갖는다.

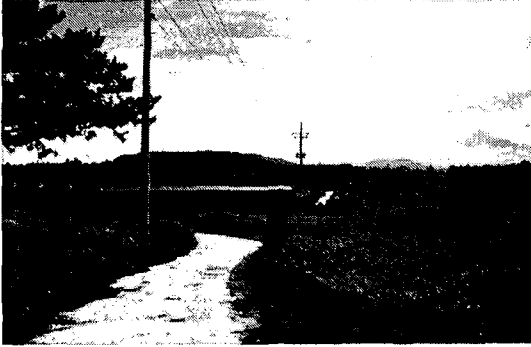
이와 같은 진행성 용암석회질화 현상이 북제주군 협제리에 소재한 건지굴에서 진행되고 있음이 국내에서 최초로 확인되었다.

I. 서론

제주지역에 분포되어있는 용암동굴은 약 200여개가 있으며, 60여개의 동굴은 이미 발굴되어 공개되고 있고, 그 중 대표적인 동굴은 만장굴, 협계굴, 미천굴 등으로 제주지역에서 알려진 관광동굴로 유명하다.

화산섬인 제주도에는 한라산의 주 분화구를 비롯하여 386개의 기생화산이 있어 이 지역에 분포되어 있는 용암동굴과 밀접한 관계를 이루고 있다. 이 지역의 화산분화구는 동쪽으로부터 형성되어 서쪽으로 진행되었고, 산굼부리 분화구가 이를 입증해 주는 대표적인 기생화산의 예이며, 제주도 최남단에 있는 기생화산으로 송악산의 3중분화구를 들 수 있고, 협제앞바다에 있는 비교적 최근에 형성된 비양도는 1002년에 분출된 기생화산의 하나이다. 협계굴은 만장굴계보다 더 긴 동굴계를 이루고 있으며, 하나의 굴로 형성된 것으로는 빌레못동굴이 최장 구조를 이루고 있다. 건지굴은 건대교

수 홍현철(동굴학회 창시자 고 홍시환 박사/전 건국대학교 교수의 아들)의 교수임용기념으로 실시된 제주지역 화산동굴 탐사활동에서 건대지하동굴동지회에 의해 최초로 발굴조사 된 바 있는, 본 동굴의 발굴기념으로 (가칭)건지굴이라 명명되어 불리어 온 것으로 알려져 있다.



(a) 해안 저지대의 평지 모습,



(b) 우거진 초목 숲속의 작은 동굴입구

그림 1. 북제주군 협제리 건지굴 주변의 경관(해안저지대의 평지)

본 논문은 북제주군 협제리 해안가 근처에 소재한 건지굴을 대상으로 화산지역의 용암 동굴에서 특이하게 진행되고 있는 용암석회질화(lava-calcification) 현상에 대하여 동굴내부와 외부의 주변 상황에 근거한 지리-구조적 현상 분석과 지형적 환경 고찰을 통하여 석회질화의 발생 원인을 규명하고자 하였으며, 특히 동굴내부의 해사(모래)와 해양생태계와의 연관된 현상분석을 병행 시도하였다.

II. 협제리 건지굴의 특징

제주도는 한라산 정상에 있는 백록담 주 분화구의 화산폭발로부터 형성된 섬으로써, 지표면의 대부분이 마그마 분출로 형성된 용암석으로 이루어져 있기 때문에 지표 근처에 분포되어 있는 동굴들은 화산동굴 또는 용암동굴의 특징을 이루고 있다. 그러나 극히 일부의 경우에서 건지굴과 같이 굴 내부에 석회질이 형성되거나 아니면 석회동굴에서 나타나는 석순이 성장하는 이상 현상을 나타내는 경우가 있는데, 제주지역의 많은 화산동굴에 대하여 본래 화산동굴이었던 건지굴에서 이와 같은 현상이 나타난 것은 매우 이례적일 뿐만 아니라 특이한 현상이라고 하지 않을 수 없다.

이러한 현상은 주위환경과 지형적 특징, 동굴 내외부의 지질과 지층의 구조 및 성분 등을 면밀히 관찰하여 볼 때, 다음과 같은 몇 가지 특징적 징후를 발견할 수 있다.

첫째, 주위의 지형적 관찰과 기후 분석으로부터 건지굴 주변은 오랫동안 북서계절풍의 영향을 받고 있는 지형을 이루고 있다.

둘째, 건지굴 주변은 해안 지대이고, 해안가는 모래가 많고 긴 모래사장들로 이루어져 있었으며, 이 모래사장에는 일반적인 경우와 마찬가지로 오랜 세월 동안 쌓인 조개껍질로 폐사 층을 이루고 있었으며,

셋째, 이 해안가의 폐사 층이 이미 형성된 용암동굴 주위를 덮거나 용암동굴 속으로 밀려들어 가서 폐사토질 층을 구성하게 되었고,

넷째, 폐사토질 층의 조개껍질 주성분인 칼슘 등이 녹아서 지하에 스며들어 용암동굴 내부에 2차 생성물을 형성하면서 동굴 벽면이나 천정을 뚫고 스며들어와 천정이나 벽면 또는 바닥의 암석 표면과 모래층에 석회질을 형성하게 되었고,

이 석회질화(석회화 또는 회질화 : calcification)의 진행이 마치 석회동굴 내에서 독특하게 진행되는 석순 성장이나 석주 형성과 같은, 석회동굴의 경우와 동일한 현상이 이루어지면서, 해안의 용암동굴이나 바다로 이어진 용천(동)굴에서도 물론이고 다른 어떤 용암동굴에서도 볼 수 없는 특이현상이다.

즉, 용암동굴 속에서의 석회동굴 형성 모습이 이루어지면서 마치 동굴 속의 동굴이 형성되듯 튜브-인-튜브(tube-in-tube) 구조와 같은 특이현상을 보이며 용암동굴의 석회질화 현상으로 인하여 동굴의 골격이 오히려 견고한 구조로 바뀌어 가는 소위 응결구조(凝結構造, solidify, petrify-화석화) 즉, 용암석회질화(熔岩石灰質化 : lava-calcification) 현상이 이루어진 것으로 보인다. 이러한 현상은 일반적으로 다른 화산동굴에서는 볼 수 없는 현상으로 화산동굴이 형성된 이후에 쇠퇴과정을 포함하는 일정기간동안을 겪으면서 또 다른 형태의 동굴로 진행되는 제3의 화산동굴진행형에 속하는 것으로서, “화산동굴은 형성된 직후부터 쇠퇴기에 들어간다.”는 지극히 평범한 속설을 깨는 또 하나의 동굴형성 모델의 논리를 구성하고 있다.

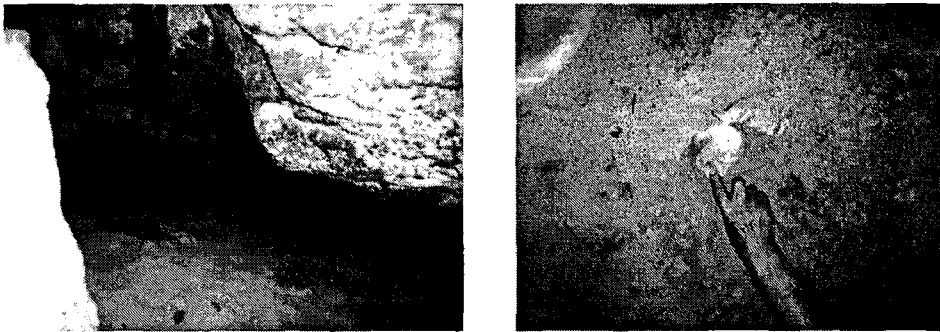


그림 2. 동굴 초입의 평탄한 모래바닥과 석회수 침적으로 깊게 파인 모래바닥

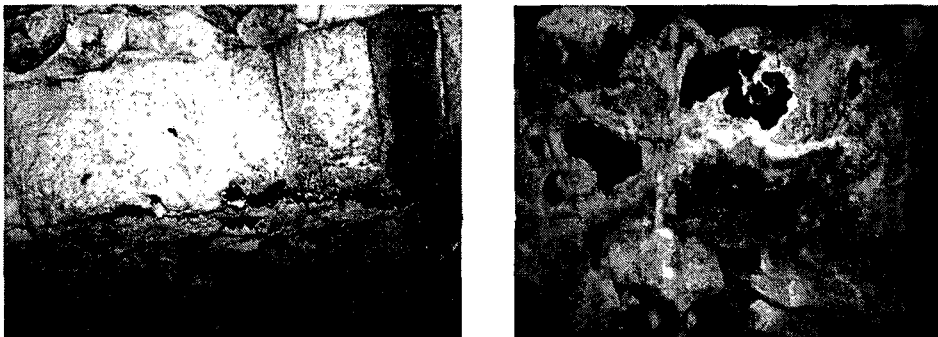


그림 3. 용암 주위에 석회질화가 진행된 용암벽과 천정

Ⅲ. 현장 조사 및 토론

그 뿐만 아니라, 동굴의 내부 구조에서는 주 굴이 이루어져 가면서 다시 지류를 이루듯 돌 또는 그 이상으로 가지 굴이 만들어져 가면서 동굴 안에서 기둥을 형성하거나, 또 어느 부분에서는 마치 아치형 다리와 같은 모습을 형성하고 있고, 내부의 부분적으로는 암질이 서로 다른 모습을 보이는 지층 대를 구성하고 있는 것은, 또 다른 해석을 불러일으키고도 충분히 남음이 있다고 할 것이다. 내부에서 볼 수 있는 생물체는 동굴 벽면의 어디에서나 찾아 볼 수 있는 이름모를 풀인지 이끼류인지 확인해 보아야 할 동굴자생식물의 뿌리군이며, 이 뿌리군 주변에는 침투된 수분이 흥성하고 그 수분의 일부가 증발해서인지 물방울의 점성이 증가된 것처럼 끈끈한 느낌을 보여주는 투명하고 새하얀 물방울 군들을 이루고 있는 것은, 마치 옛날 고관대작들이 묻혀있던 내나라하는 명당 묘 자리를 열면 그 안에서 묘의 나이만큼이나 서러 멧혀져있던 하얀 진주알 같은 물방울들이 밝은 햇빛을 받아 반짝이다가 어느 새 증발하여 홀연히 없어져버렸던 바로 그 투명한 명당물방울과 똑같은 것들이라고 서술할 수밖에 없어서 그렇게 쓰고 보니, 아니 그럼 이곳이 바로 그분(고관대작)들이 찾아 헤매고 다녔던 이 세상에서 하나밖에 둘도 없는 그 명당자리가 아닌가(?) 하는 새로운 착각을 오랜만에 만나 보니, 이 또한 땅굴(동굴)메니아 만의 새로운 즐거움을 맛본 것이 아닌가!! 그뿐이랴, 인간의 말초혈관이나, 말초 풀뿌리만큼이나 가느다란 실뿌리들을 여기저기에 뻗고 있는 내면의 모습들을 그대로 보여주고 있는, 마치 이끼 풀 같기도 한, 모습은 마치 거대한 동물의 소화기관 속에 들어가서 그 위장과 창자벽을 보고 있는 듯한 느낌이며, 어느 것은 높은 천정에서부터 5-6m나 훨씬 되어 보이는 아래의 모래바닥 위까지 가까이 내려와, 그 뿌리 가닥을 늘어뜨려 다시 땅 바닥에 뿌리를 내리고 싶은 속내를 보이는 것은, ‘천정이 땅인가 바닥이 천정인가?’, 도무지 알 수 없는 동굴 속만의 형상이어서 잘 알 수는 없지만, 천년만년이라도 되었을 이 동굴 속에서 어느 미동도 없이 뿌리가 내려져 있는 모습은 이곳이 아닌 다른 어디에서나 찾아볼 수 있을꼬(?)하여 위 아래로 사진을 사정없이 찍어보았으나, 캄캄한 동굴 속에서 증감도(ASA200) 필름으로 찍은 이놈에 사진이 잘 나올지 안나올지는 나도 전혀 모르겠구나!! 그런데 이 뿌리들은 동행한 어느 분의 말씀으로는 동굴 밖의 식물뿌리가 동굴 속까지 뚫고 들어온 것이라고 하는 말에 도저히 찬동할 수가 없어서 그 뿌리와 함께 몸체같이 보이는 덩어리를 샘플로 채취하여 가지고 나왔으니, 그 실체를 한번 확인해 볼 일이다.

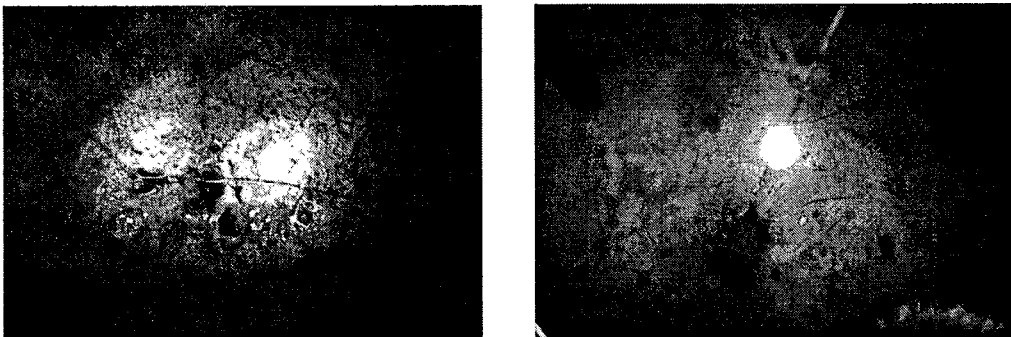


그림 4. 천정에서 모래바닥 위까지 길게 늘어져 자란 자생식물뿌리(혹은 줄기)

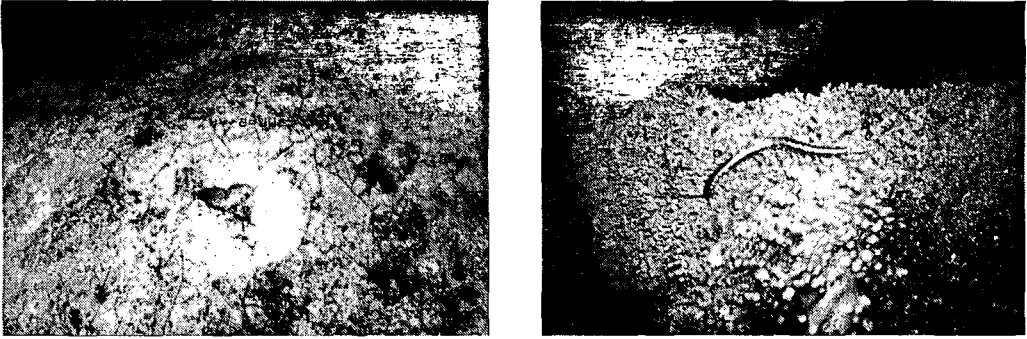


그림 5. 벽에 붙은 나방이와 용암산호 위에 앉아 있는 건강한 지네의 모습

종유-석(鍾乳石, stalactite)은 종유굴의 천장에 고드름같이 달려 있는 석회석을 말하며, 지하수에 녹아 있던 석회분이 수분의 증발과 함께 다시 결정으로 되면서 생긴 일종의 돌고드름(水柱石 또는 석종유)이다. 아직 크고 많은 석회석주나 석회석순(stalagmite)이 자란 모습은 보이지 않지만, 바닥의 용암산호 위에 쌓여 두껍게 자라고 있는 석회석의 바닥흔적은 먼 훗날 형성될 석주의 주춧돌이라도 내려놓은 듯 넓은 바탕 모습을 보여주고 있다.

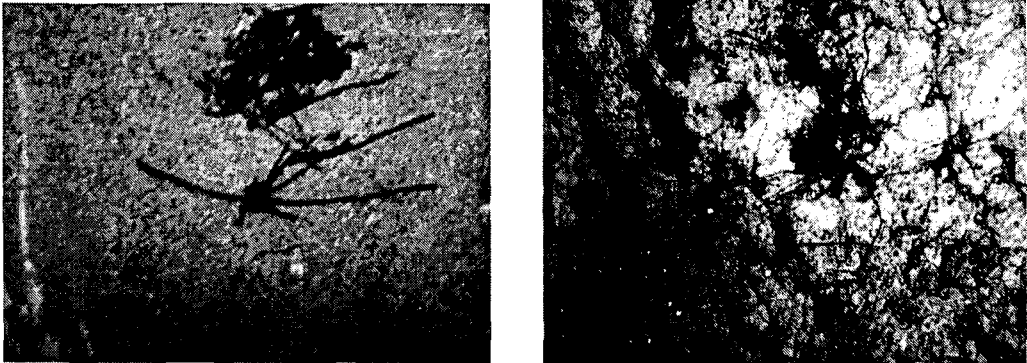


그림 6. 천정과 벽에 붙어 자생하고 있는 생태식물

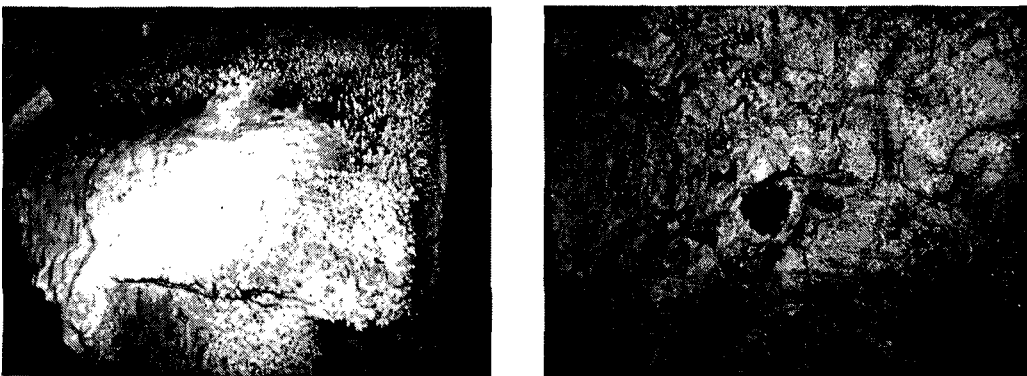


그림 7. 용암산호 위에 형성된 석회석 그림 8. 천정의 박쥐 군집생활 모습

이렇게 캄캄한 지하 동굴에서 도대체 무엇을 먹고 사는 것일까? 벽에 붙어있는 갈색 나방이 벌레들은 깊고 깊은 화산동굴 속에서 이렇게 많은 나방이 형제들과 함께 깊은 잠을 자고 있는지, 아니면 쉬고 있는지도 모른 채 벽에 붙어서 조용히 숨만 쉬고 있는 것일까?, 동굴 속에서 보기도 신기하고 진귀한 지네 한 마리가 진한 몸 색상을 드러내고 용암돌덩이위에 올라 앉아있는데, 어떻게 이런 깊은 곳에서 무엇을 먹을 수 있기에 이리도 건강하고 힘 있는 모습으로 살고 있을까?, 빠질 수없이 나타나 군집 생활을 보여주는 박쥐 떼와 그 배설물은 누구에게 또 다른 삶의 원동력을 불어넣어주면서 어두운 동굴 속을 누비고 다닐까?, 벽에 보이는 하얀 석회질화의 띠, 용암 벽면에 군데군데 검은색 속에 흰색 물을 들여 보이는 석회질화의 암벽색깔은 이 암흑공간에서 누구에게 선을 보여주려고 이리도 곱게 색칠단장을 하고 있는 것일까?, 엉성하게 어우러져있는 암벽 면 사이를 마치 시멘트로 틈을 메워놓은 것처럼 석회질화가 진행되어가는 특이한 구조는 바로 그 틈을 메워주고 있는 석회질 때문에 벽면에 갈라져서 서로 맞대고 의지하여 굴을 형성하고 있는 암벽돌덩어리들이 서로 밀착되어 상호보완적 틀-구조를 이루면서 오히려 견고한 지하공간의 틀을 형성하고 있다. 그 뿐인가? 신기하리만큼 용암산호의 꺼칠꺼칠한 바위 돌 껍질의 느낌은 이곳을 지나가는 사람들이 미끄러져 다치기라도 할세라 신발바닥이 밀착되어 넘어지지 않게 마치 누군가가 정성들여 만들어 놓은 듯한 모양인데, 동굴이 아래 위 사방으로 용암 바위 돌들만으로 이루어 졌는가하고 보면 어느 세 바닥에 흰 모래들이 가득 차있어서 마치 캄캄한 동굴 속에서 해안가 모래사장을 만나 걷고 있는 듯한 착각의 느낌을 주는 동굴 속의 희한한 모래바닥은 그 누가 바닷가로부터 실어다 옮겨놓기라도 한 것일까? 아마 동굴 속을 끝까지라도 가보면 분명히 바닷가 모래사장으로 이어질 것만 같은데, 이것은 어쩌면 아주 먼 옛날로 거슬러 올라가 생각해보면 해수면이 동굴 입구의 바닥 높이보다 높게 있어서 바닷물이 출렁이며 드나들면서 모래알들을 밀어 옮겨놓은 것일세라 하는 생각도 드는데 ---, 이것은 물론 명확한 과학적 분석을 거치는 구체적인 확인과정을 필요로 하는 굵직한 대목(연구대상)이지만, 조개껍질 가루가 섞여있는 폐사임을 볼 때 거의 틀림없으리라고 판단된다.

IV. 결과분석 및 고찰

화산지대의 지반은 대부분 분출된 화산용암 성분으로 이루어진다. 특히 제주도는 화산폭발에 의해 형성된 섬으로 지표면의 지반이 주로 현무암으로 구성되어 있다. 이러한 현무암 지표 성분 때문에 제주도에 형성된 동굴은 모두 화산동굴 또는 용암동굴로 알려져 불리고 있다. 그런데 북제주군 협제리에 있는 속칭 견지굴은 그 형성과 구성 성분이 용암동굴임에도 매우 특이한 현상을 지니고 있다. 그것은 용암벽면이나 천정에서 군데군데 석회질화가 진행되고 있는 현상이며, 용암으로 형성된 화산섬에서 있을 수 없는 석회질 성분이 나타나고 있기 때문이다.

또한, 동굴의 내부에는 해변에서 볼 수 있는 매우 고운 해사(바다모래)가 두껍게 깔려 있다. 주변이 모두 용암으로 구성된 동굴 내부에 바다모래가 있다는 사실은 예사로운 일이 될 수 없으며, 이것은 필경 바닷가의 모래와 연관된 사실을 연상하게 해준다. 현재까지 확인되지는 않았지만, 이 동굴을 계

속 추적하여 끝까지 가본다면 분명히 해변으로 이어져 있을 것임을 예상할 수 있으며, 그것은 이 동굴이 과거에 해수면 보다 낮은 위치에 있었음을 말해주는 사실로써 해수면 아래에 있었기 때문에 해변으로부터 모래가 밀려 동굴 내부로 들어왔을 것임을 시사해 준다고 생각된다. 그것을 뒷받침하는 또 다른 사실은 다른 동굴에서 보기 어려운 현상으로 동굴 내부의 모래가 비교적 평탄하게 깔려 있는 모습이다. 만일 이런 가설이 옳지 않다면, 과거 해저에 있던 바다모래가 화산폭발로 인해서 용암 속에 묻혀서 있다가 동굴이 형성되면서 노출되었을 것이라는 가설을 내놓을 수 있을 것이다. 그러나 이 가설에 대해서는 석회동굴과 같이 지반의 절리현상 등에 의하여 지표수가 지하로 스며들어 장기간의 용해작용으로 지하의 석회성분이 녹아서 동공이 형성되면서 점점 길게 굴로 발전하여 생긴 석회동굴의 생성과정과는 달리 용해된 용암이 지표 가까이의 지하에서 흘러가면서 냉각된 외부주변에 대하여 용암이 흘러 빠져나간 형태로 만들어진 용암동굴에서 이와 같은 가설이 설득력을 얻기에는 여러 면에서 논리적인 부족과 모순들이 충돌될 수밖에 없을 것이며, 비교적 평탄하게 깔려있는 모래바닥 모습은 오히려 해변의 그것을 연상시켜주고 있다.

또 하나의 현상은 지상으로 뚫린 동굴 입구 쪽의 현상이다. 주변이 용암지대임이 틀림없는데 지표공(孔) 바로 밑까지 모래가 가득 차 있다는 사실은 비교적 낮은 해안지대인 협제리가 과거 언젠가는 해수면이 이 지대보다 높아서 현재의 동굴주변이 해저 또는 해변 가였을 가능성도 배제할 수 없다는 추론이다. 이를 뒷받침해 주는 현상은 동굴로 뚫린 구멍이 아주 작은데 비하여 이 입구로 들어갔을 때 입구 바로 밑에서부터 모래가 쌓여있는 상태에서 미끄러지듯 경사진 부분을 지나면 확 트인 로비처럼 꽤 넓고 평평한 부분으로 이어지면서 모래를 밟고 갈 수 있으며, 동굴벽면으로부터 희끗한 색상을 볼 수 있는데 바로 이것이 석회질이 용암 벽 틈으로 흘러 들어와서 석회질이 형성된 흔적들이다.

그렇다면 동굴보다 높은 위치에 탄산칼슘 성분이 분포되어 있다는 사실인데, 이 동굴은 비교적 낮은 곳에 있어서 바로 위 부분이 지표면이라는 점에서 그리 높지 않은 곳에 탄산칼슘 층이 있다는 결론을 말해주는데, 동굴로부터 위 부분은 용암지각으로 되어있을 뿐이며 다소의 모래가루를 발견할 수 있는 정도이다. 따라서 이런 현상들을 미루어 종합해 볼 때 동굴보다 높은 지표면 위까지 해수면 아래에 있었을 가능성을 크게 하며, 바로 이 지표면 근처의 모래에 섞인 어페류(조개) 껍질 즉, 폐사층이 지표면을 구성하고 있기 때문에 지표수와 탄산가스 등이 작용하여 탄산칼슘을 공급하게 되고, 이것이 용암 틈새로 흘러들어가서 지하 동굴에 석회질을 형성하는 공급원이 될 수 있다는 분석적 가능성을 한층 더 높여준다.

뿐만 아니라, 이 동굴 속에서 여러 가지의 동굴생태를 확인할 수 있다는 특이함도 함께 볼 수 있다. 동굴 깊숙한 곳의 벽면에 붙어있는 수많은 나방이며, 동굴의 왕 박쥐군종은 물론, 심지어 흑-홍색이 독특하게 빛나는 건강한 지네며, 곳곳에 길게 뻗어 뿌리를 박고 있는 양치류에 가까운 식물줄거리가 동굴 깊숙이 자라고 있는 것은 굴속에 빛이 전혀 없는 조건에서 기이한 현상으로 밖에 받아들여질 수 없는 일이다.

이런 특이한 용암동굴의 석회질화는 오히려 동굴의 구조를 더욱 견고하게 해주며, 갈수록 동굴 벽면과 천정의 틀을 튼튼하게 유지해주는 보강구조의 특징을 갖는다.

V. 결 론

용암동굴(화산동굴)은 생성이후 퇴화한다. 그러나 용암동굴에서 용암석회질화 현상이 발생하면 용암의 기공과 균열부분 또는 용암석간의 틈새에 석회질 성분이 지하수에 녹아 침투하여 고화되면서 구조적 보강효과가 발생하여 견고하게 진행되며, 그러한 현상은 마치 콘크리트 건축구조물에서 구조재료들을 물리적으로 연결하여 결합시키는 시멘트의 역할과 같으며, 따라서 용암동굴의 경우, 동굴이 형성된 이후에 전반적으로 퇴화가 진행된다고 알려진 일반적 경향에 반하여 용암석회질화 현상에 의해 오히려 구조적 보강 현상이 이루어지고, 용암석회질화 현상이 진행될수록 용암동굴의 일반적 경향으로 나타나는 동굴퇴화현상 보다는 구조적 견고함의 진행성을 나타내는 특이현상을 갖는다.

이러한 현상은 주위환경과 지형적 특징, 동굴 내외부의 지질과 지층의 구조 및 성분 등에 의하여 결정되며, 협제리에 있는 건지굴의 경우에는 다음과 같은 특징이 확인되었다.

첫째, 건지굴 주변은 오랜 세월동안 북서계절풍 영향권의 지형적 기후분포를 이루었다.

둘째, 건지굴 주변 해안지대는 모래사장이 풍부하게 발달되어 있고, 이 모래사장에는 일반적인 경우와 마찬가지로 오랜 세월동안 쌓인 조개껍질로 폐사 층을 이루고 있으며,

셋째, 이 해안가의 폐사 층이 이미 형성된 용암동굴 주위를 덮거나 용암동굴 속으로 밀려들어 가서 폐사토질 층을 구성하였고,

넷째, 폐사토질 층의 조개껍질 주성분인 칼슘 등이 지하수에 녹아 스며들어 용암동굴 내부에 2차 생성물을 형성하여 동굴 내부의 암석 표면과 바닥의 모래층에 석회질화(calcification) 현상을 초래하는 원인제공을 한 것으로 분석된다.

이와 같은 진행성 용암석회질화 현상이 북제주군 협제리에 소재한 건지굴에서 진행되고 있음이 국내에서 최초로 확인되었다.

감사의 글

본 논문은 한국동굴학회 제주화산동굴연구소 배두안 소장님의 상세한 안내와 배경해설에 의한 탐사활동에서 본 학회 임원 변태근, 신대봉, 김정희님의 조언과 협력으로 이루어졌음을 밝히며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

[참고문헌]

- 中國桓仁, 桓仁滿族自治縣人民政府, 主編/孫旭東 外
- 洞穴旅游學, 陳詩才, 福建人民出版社, 2003. 07.
- 地下名勝 龍門溶洞, 조선문화보존사, 편집/김영옥, 촬영/이인철, 유덕인, 인쇄/외국문중합출판사 인쇄창, 발행/1999.6.30, No-7-985321
- 사진 및 영상자료 촬영/편집/제공-소현재
- Wang Jun (王軍), YAO-DONG in CHINA (中國窯洞), Ha-Nam Science and Technology Publishing Firm (河南科學技術出版社), 1999.9.