

용암석회질화가 수반된 위종동 건지굴

소대화* · 홍영자** · 소현재***

Fake Limestone Cave of Geon-Ji Gul Accompanied with Lava-calcification

Soh, Dea-Wha, Hong, Young-Ja, Soh, Hyun-Jae

요약 - 북제주군 협재리 해안가 인근에 소재한 건지굴을 대상으로 화산지역의 용암동굴에서 특이하게 진행되고 있는 용암석회질화(鎔岩石灰質化: lava-calcification)의 위종동(偽鐘洞)에 대하여 동굴내부와 주변상황에 근거한 분석, 고찰을 통하여 석회질화의 원인을 규명하고, 생태와 환경 및 동굴해안접경구와의 상관성을 고찰하고, 주위에 흔히 분포되어있는 스크리아에 대해 분석응용을 하였다.

용암(화산)동굴은 생성이후 퇴화한다. 그러나 용암동굴에서 용암석회질화의 위종동 현상이 발생하면 용암의 기공과 균열부분 또는 용암석간의 공극에 석회질 성분이 침투, 고화, 융합되면서 구조적 보강효과의 발생으로 오히려 건축구조물의 콘크리트 역할과 같이 견고하게 진행되는 특이현상을 갖는다. 이와 같은 진행성 용암석회질화 현상이 북제주군 협재리에 소재한 건지굴에서 진행되고 있음을 최초로 확인하였다.

주요어 : 용암동굴, 용암석회질화, 건지굴, 위종동, 스크리아,

I. 제주지역과 건지굴

삼무삼다도(三無三多島)라는 제주도의 대명사는 대문, 도둑, 거지가 없다는 뜻의 三無와 돌(石多)과 바람(風多), 여인(女多)이 많이 있다는 의미의 三多와의 연유에서 이를 묶어 3무 3다도로 불려온 제주도는 최근 제주특별자치도로 행정구역 명칭이 개칭되었고, 중앙정부로부터 관광특구의 지정에 이어 화산섬과 용암동굴에 대하여 세계자연유산으로 등재된 우리나라 남서해쪽에 있는 가장 큰 화산섬이며, 동서와 남북이 각각 73km, 31km의 타원형으로 이루어져 있다. 상고 시대에는 양(良), 고(高), 부(夫) 삼성신(三姓神)이 세운 탐라국이 있었으며, 1946년에 전라남도에서 분리되어 도(道)로 승격된 역사를 가

지고 있다. 한반도 남녘의 특성상 목축업, 농업, 임업, 수산업, 관광 사업이 발달하였고, 해녀와 말이 많기로 유명하다. 백록담, 삼성혈, 용두암, 만장굴, 천지연 폭포 등의 명승지가 있을 뿐만 아니라, 화산섬으로써 수많은 크고 작은 오름과 널리 분포되어 있는 검붉은 화산암재 스크리아(scoria), 그리고 지하에 얽혀있는 용암동굴이 많기로도 손꼽힌다. 특히 최근에 세계자연유산으로 등재된 제주도의 용암동굴은 동굴을 탐구하는 한국동굴학회 발전을 위해서도 크게 환영해야 할 일이며, 이와 함께 더욱 그 아름다움과 진가를 높여 평가받고 있다.

제주지역에 분포되어있는 용암동굴은 약 200여개가 있으며, 60여개의 동굴은 이미 발굴되어 공개되었고, 그 중 대표적인 동굴은 만장굴, 협

* 명지대학교 교수, dwhs0h@mju.ac.kr

** 영통다모아 - 대표

*** 서울시립대학교 석사과정

재굴, 미천굴 등으로 제주지역에서 잘 알려진 관광동굴로 유명하다.

제주특별자치도의 지형은 한라산을 중심으로 동서사면은 3~5°의 매우 완만한 경사이며, 남북사면은 5°정도로 약간 급한 경사를 이루고 있다. 또한, 섬의 지질은 퇴적암층과 현무암, 조면질안산암(粗面質安山岩), 조면암 등의 화산암류와 기생화산에서 분출한 화산쇄설암(火山碎屑岩) 등으로 구성되어 있으며, 일부 지방의 점사질 토양을 제외하면 대부분이 흑갈색의 화산회토(火山灰土)로 덮여 있다.

화산섬인 제주도에는 한라산의 주 분화구를 비롯하여 386개의 기생화산이 있어서 이 지역에 분포되어있는 용암동굴과 밀접한 관계를 이루고 있다. 이 지역의 화산분화구는 동쪽으로부터 형성되어 서쪽으로 진행되었고, 산굼부리 분화구가 이를 입증해 주는 대표적인 기생화산의 예이며, 제주도 최남단 기생화산으로는 송악산의 3중분화구를 들 수 있고, 협재 앞바다에 있는 비교적 최근에 형성된 비양도는 서기 1002년에 분출된 기생화산의 하나이다.(그림1) 협재굴은 만장굴계보다 더 긴 동굴계를 이루고 있으며, 하나의 굴로 형성된 것으로는 빌레못동굴이 최장구조를 이루고 있다. 황금굴 상류층에 분포된 가지(枝) 굴 중의 하나인 건지굴은 건국대지하동굴 동지회의 제주지역 화산동굴 탐사활동에서 최초로 조사된 바 있는 미 개방동굴로써 이를 계기로 건지굴(가칭)이라고 명명되어 불려왔다.(그림 2 a, b)

따라서 북제주군 협재리 해안가 근처에 소재한 건지굴을 대상으로 화산지역의 용암 동굴에서 특이하게 진행되고 있는 용암석회질화(溶岩石灰質化 : lava-calcification)** 현상에 대하여 동굴내부와 외부의 주변상황에 근거한 지리-구조적 현상 분석과 지형적 환경 고찰을 통하여

석회질화의 원인을 규명하고, 특히 동굴내부의 해사(모래)와 해안접경구 및 그에 대한 해양생태계와의 연관성을 분석하는 조사활동을 병행하였다.



그림1. 북제주군 협재리 앞바다의 선상에서 바라본 작은 섬 비양도

[** 일반적으로 화산지대에서 나타날 수 없는 석회질구조 형성이 주위 해변에 분포된 패각류의 칼슘 용해석출 등의 오랜 생태환경에 의하여 발생된 현상으로, 건지굴의 특징적 현상의 하나로써 용암석회질화로 정의하다]

II. 건지굴의 특징

1. 위중유굴

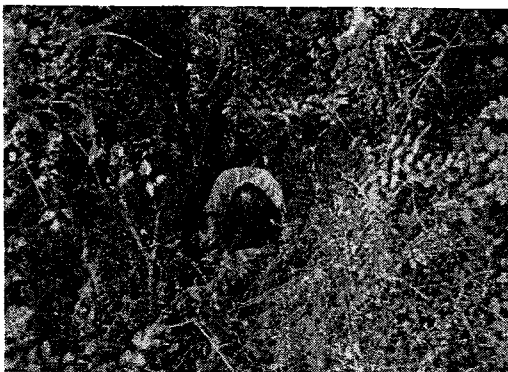
위중유굴(僞鐘洞 : Fake Limestone Cave)이란, 가짜 종유굴을 의미한다. 다시 말하면, 용암동굴이면서 종유굴처럼 석회질에 의한 구조적 지형지물을 지니고 있어서 마치 석회동굴인 것처럼 착각할 수 있을 정도로 위조된 동굴을 말한다.

제주도는 한라산 정상에 있는 백록담 주 분화구의 화산폭발로부터 형성된 섬으로써, 지표면의 대부분이 마그마 분출로 형성된 용암석으로 이루어져 있기 때문에 지표 근처에 분포되어 있는 동굴들은 거의 모두 화산동굴 또는 용암동굴

로 이루어져 있다. 그러나 극히 일부의 경우에서 건조굴과 같이 굴 내부에 석회질이 형성되거나 아니면 석회동굴에서 나타나는 석순이 성장하는 이상 현상을 나타내는 경우가 있는데, 제주지역의 많은 화산동굴 중에서 원래 화산동굴이었던 건조굴에서 이와 같은 현상이 나타난 것은 매우 이례적인 뿐만 아니라 특이현상이라고 하지 않을 수 없다.



(a) 건조굴로 가는 길목-해안저지대 평지



(b) 우거진 초목을 헤치고 찾은 작은 입구

그림2 북제주군 협재리 건조굴 주변의 경관과 동굴입구

2. 용암석회질화

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.

1) 주위의 지형적 관찰과 기후 분석으로부터 건조굴 주변은 오랫동안 북서계절풍의 영향을 받고 있는 지형으로 해변의 모래가 해안저지대를 덮어 패각사지표를 이루고 있다.

2) 건조굴 주변은 해안 지대이고, 해안가는 모래가 많고 긴 모래사장들로 이루어져 있으며, 이 모래사장에는 일반적인 경우와 마찬가지로 오랜 세월동안 쌓인 조개껍질로 패각사 층을 이루고 있다.

3) 이 해안가의 폐사 층이 이미 형성된 용암동굴 주위를 덮거나 용암동굴 속으로 밀려들어가서 패각사토질 층을 구성하게 되었고,

4) 패각사토질 층의 조개껍질 주성분인 칼슘 등이 녹아서 지하에 스며들어 용암동굴 내부에 2차 생성물을 형성하면서 동굴 벽면이나 천정을 뚫고 스며들어와 천정이나 벽면 또는 바닥의 암석표면과 모래층에 석회질을 형성하게 된다.

이 과정에서 용암에 석회질 성분에 의한 석회질화(석회화 또는 회질화 : calcification)현상이 진행되고, 마치 석회동굴 내에서 독특하게 진행되는 석순 성장이나 석주 형성과 같은, 용암동굴이면서 석회동굴의 경우와 동일한 현상이 나타나는 것을 일컬어 소위 용암석회질화(lava-calcification)라고 하며, 이렇게 형성된 동굴을 가짜석회동굴(偽石灰洞窟, 偽種洞: fake limestone cave)이라고 한다. 해안의 용암동굴이나 바다로 이어진 용천굴(龍泉窟)에서도 물론이고, 다른 어떤 용암동굴에서도 볼 수 없는 특이 현상이지만, 바로 건조굴의 여러 곳에서 이러한 현상을 찾아볼 수 있다.

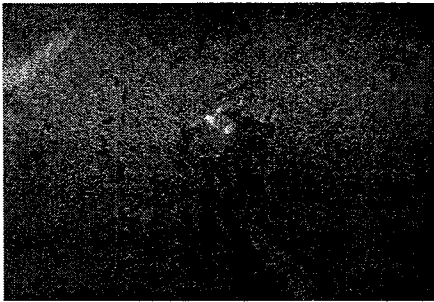
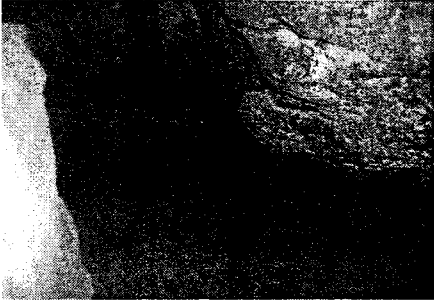


그림3. 동굴 초입의 평탄한 모래바닥과 석회수 침적으로 깊게 파인 모래바닥

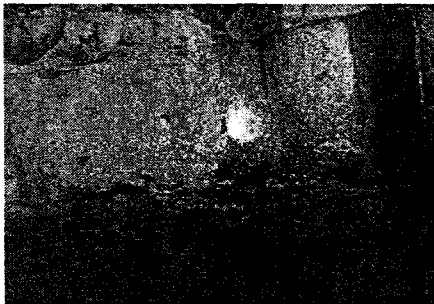


그림4. 용암 주위에 석회질화가 진행된 용암벽과 천정

즉, 용암동굴 속에서의 석회동굴 형성 모습이 이루어지면서 마치 동굴 속의 동굴이 형성되듯 튜브-인-튜브(tube-in-tube)의 특이구조현상을

보이며, 용암동굴의 석회질화 현상으로 인하여 동굴의 골격이 오히려 견고한 구조로 바뀌어 가는 소위 응결구조(凝結構造, solidify, petrify-화석화) 즉, 용암석회질화 현상이 이루어진 것이다. 이러한 현상은 다른 화산동굴에서는 볼 수 없는 현상으로 화산동굴이 형성된 이후에 쇠퇴과정을 포함하는 일정기간동안을 겪으면서 또 다른 형태의 동굴로 진행되는 제3의 화산동굴진행형에 속하는 것으로써, “화산동굴은 형성된 직후부터 쇠퇴기에 들어간다.”는 지극히 평범한 속설을 깨는 또 하나의 새로운 동굴형성모델의 논리를 구성하고 있다.

3. 생태와 환경

그 뿐만 아니라, 동굴의 내부 구조에서는 주굴이 이루어져 가면서 다시 지류를 이루듯 들 또는 그 이상으로 가지 굴이 만들어져 가면서 동굴 안에서 기둥을 형성하거나, 또 어느 부분에서는 마치 아치형 다리와 같은 모습을 형성하고 있고, 내부의 부분적으로는 암질이 상이한 지층대를 구성하고 있는 것은 또 다른 해석을 불러일으키고도 충분히 남음이 있다할 것이다. 동굴 속의 생태와 환경(Ecology and Environment) 측면에서, 내부에서 볼 수 있는 생물체는 동굴벽면의 어디에서나 찾아 볼 수 있는 고사리의 줄기식물 같은(이름 모를 풀인지 이끼류인지 확인해 보아야 할) 동굴자생식물의 뿌리군 과, 이 뿌리군 주변에는 침투된 수분이 흥성하고 그 수분의 일부가 증발해서 만들어진 것인지 물방울의 점성이 증가된 것처럼 끈끈한 느낌을 보여주는 투명하고 새하얀 물방울들을 볼 수 있는데, 마치 옛날 고관대작들이 묻혀있던 내뉘라하는 명당묘 자리를 열면 그 안에서 묘의 나이만큼이나 서려 맺혀져있던 하얀 진주알 같은 물방울들이

밝은 햇빛을 받아 반짝이다가 어느 새 증발하여
 홀연히 없어져버렸던 바로 그 투명한 명당자리
 물방울과 꼭 같은 것들이라고 서술할 수밖에 없
 어서 그렇게 쓰고 보니, 아니 그럼 이곳이 바로
 그 고관대작들이 찾아 해매고 다녔던 이 세상
 에서 하나밖에 둘도 없는 그 명당자리가 아닌가(?)
 하는 새로운 착각을 오랜만에 만나보니, 이 또한
 땅굴(동굴) 메니아들만의 새로운 즐거움을 맛본
 것이 아닌가!! 그뿐이라, 인간의 말초혈관이나,
 말초 풀뿌리만큼이나 가느다란 실뿌리들을 여기
 저기에 뻗고 있는 내면의 모습들을 그대로 보여
 주고 있는, 마치 이끼 풀 같기도 한, 모습은 마치
 거대한 동물의 소화기관 속에 들어가서 그 위장
 과 창자벽을 보고 있는 듯한 느낌이며, 어느 것
 은 높은 천정에서부터 5-6m나 훨씬 되어 보이
 는 아래의 모래바닥 위까지 가까이 내려와, 그
 뿌리 가닥을 늘어뜨려 다시 땅 바닥에 뿌리를
 내리고 싶은 속내를 보이는 것은, '천정이 땅인
 가 바닥이 천정인가?', 도무지 알 수 없는 동굴
 속만의 형상이어서 잘 알 수는 없지만, 천년만년
 이라도 되었을 이 동굴 속에서 어느 미동도 없
 이 뿌리가 내려져 있는 모습은 이곳이 아닌 다
 른 어디에서나 찾아볼 수 있을꼬(?)하여 위 아래
 로 사진을 사정없이 찍어보았지만, 캄캄한 동굴
 속에서 증감도(ASA200) 필름으로 찍은 이놈에
 사진이 잘 나올지 안 나올지는 나도 전혀 모르
 겠구나!! 그런데 이 뿌리들은 동행한 어느 분의
 말씀을 빌리자면, 동굴 밖의 식물뿌리가 동굴 속
 까지 뚫고 들어온 것이라고 하는 말에 도저히
 찬동할 수가 없어서 그 뿌리와 함께 몸체같이
 보이는 덩어리를 샘플로 채취하여 가지고 나왔
 으니, 그 실체를 한번 확인해 볼 일이다.

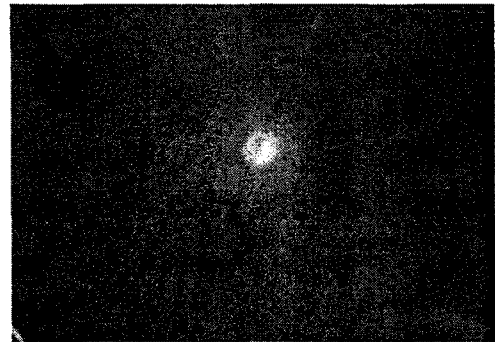
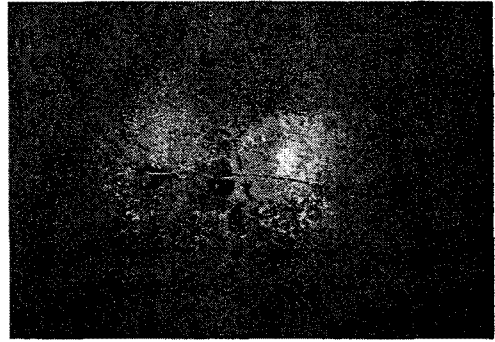


그림5. 천정에서 모래바닥 위까지 길게 늘어져 자란 자생식
 물뿌리(혹은 즐기)

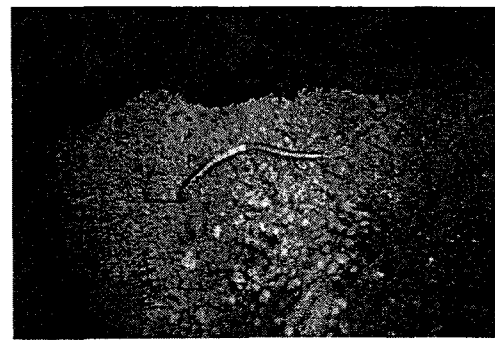


그림6. 벽에 붙은 나방이와 용암산호 위에 앉아있는 건강한
 지네의 모습

중유석(鍾乳石, stalactite)은 중유굴의 천장에 고드름같이 달려 있는 석회석을 말하며, 지하수에 녹아 있던 석회분이 수분의 증발과 함께 다시 결정으로 석출되면서 생긴 일종의 돌고드름(氷柱石 또는 석중유)이다. 아직 크고 많은 석회석주(石灰石柱: calcific stone-pillar)나 석회석순(石灰石筍: calcific stalagmite)이 자란 모습은 보이지 않지만, 바닥의 용암산호(鎔巖珊瑚: lava coral) 위에 쌓여 두껍게 자라고 있는 석회석의 바닥흔적은 먼 훗날 형성될 석주의 주춧돌이라도 내려놓은 듯 넓은 바탕 모습을 보여주고 있다.

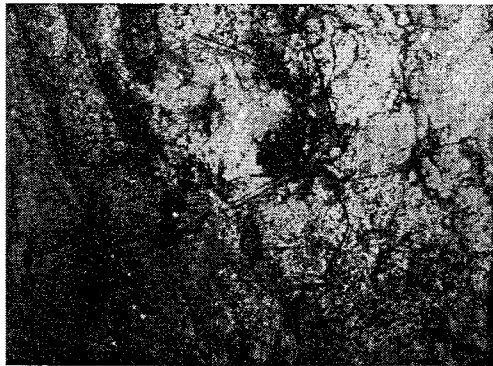
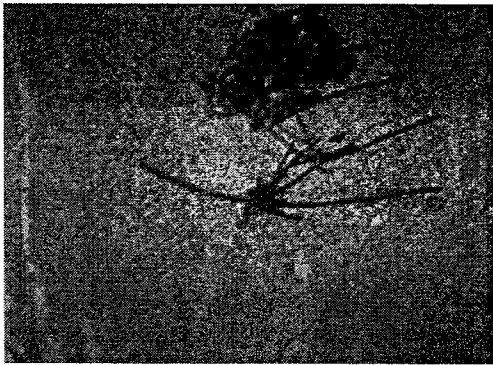


그림7. 천정과 벽에 붙어 자라는 자생식물 생태

이렇게 캄캄한 지하 동굴에서 도대체 무엇을 먹고 사는 것일까? 벽에 붙어있는 갈색 나방이 벌레들은 깊고 깊은 화산동굴 속에서 이렇게 많

은 나방이 형제들과 함께 깊은 잠을 자고 있는지, 아니면 쉬고 있는지도 모르는 채 벽에 붙어서 조용히 숨만 쉬고 있는 것일까?

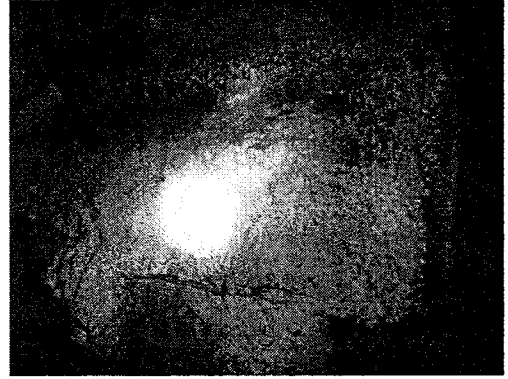


그림8. 용암산호 위에 형성된 석회석

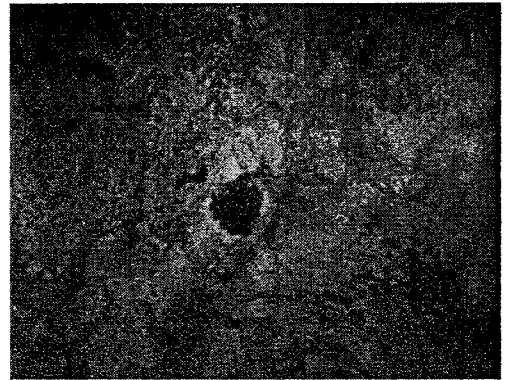


그림9. 천정의 박쥐 군집생활 모습

동굴 속에서 보기드문 신기하고 진귀한 지네 환 마리가 진한 몸 색상을 드러내고 용암돌덩이 위에 올라 앉아있는데, 어떻게 이런 깊은 곳에서 무엇을 먹을 수 있기에 이리도 건강하고 힘 있는 모습으로 살고 있을까?, 빠질 수없이 나타나 군집생활을 보여주는 박쥐 떼와 그 배설물(구아노)은 누구에게 또 다른 삶의 원동력을 불어넣어주면서 어두운 동굴 속을 누비고 다닐까? 벽에 보이는 하얀 석회질화의 띠, 용암벽면에 군데 군데 검은색 속에 흰색 물을 들여 보이는 석회질화의 암벽색깔은 이 암흑공간에서 누구에게

아름다운 선을 보여주려고 이리도 곱게 색칠단장을 하고 있는 것일까?, 엉성하게 어우러져 있는 암벽 면 사이를 마치 시멘트로 틈을 메워놓은 것처럼 석회질화가 진행되어가는 특이한 구조는 바로 그 틈을 메워주고 있는 석회질 때문에 벽면이 갈라졌어도 서로 맞대고 의지하여 굴을 형성하고 있는 암벽돌덩이들이 서로 밀착되어 상호보완적 틀-구조를 이루면서 오히려 견고한 지하공간의 틈을 형성하고 있다. 그 뿐인가? 신기하리만큼 용암산호의 거칠거칠한 바위 돌 껍질의 느낌은 이곳을 지나가는 사람들이 미끄러져 다치기라도 할세라 신발바닥이 밀착되어 넘어지지 않게 마치 누군가가 정성들여 깔아 만들어 놓은 듯한 모양인데, 동굴이 아래 위 사방으로 용암 바위 돌들만으로 이루어 졌는가하고 보면 어느새 바닥에 흰모래(백사)들이 가득 차 있어서 마치 캄캄한 동굴 속에서 해안가 모래사장을 만나 견고 있는 듯 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 동굴 끝까지 면밀히 조사하여 물론 명확한 과학적 분석을 거치는 구체적인 확인과정을 필요로 하는 굵직한 대목(연구대상)이지만, 조개껍질 가루가 섞여있는 패사임을 볼 때 거의 틀림없으리라 판단된다.

주로 동굴에서 살고 있는 박쥐는 이미 필요성을 잃은 시각기관이 퇴화되고 대신 초음파 소리 발생과 청각기관이 발달하여 시각정보에 해당하는 정보매체를 초음파를 사용하여 주고받으며

활동을 하고 있다. 이것은 빛이 전혀 없는 동굴 세계에서 살아가는 데에는 보고 느끼는데 필요한 시각기관의 소용이 없기 때문이며, 그렇기 때문에 대체기관이 진화되어 발달한 까닭이다. 만약 다른 동물이 빛이 없는 동굴에서 오래 동안 살게 된다면 어떻게 될까? 하는 반문이 생길 수밖에 없는데, 그렇다면 건지굴에 있는 나방이와 지네는 과연 어떻게 된 셈일까? 새삼 확인해봐야 할 대상이 생긴 셈이다.

이미 지난 일이지만, 지네와 나방이를 좀 더 자세히 살펴봤어야 할 것인데, 당시에는 그저 여러 가지를 살펴는데 급급했기 때문에 생각이 미치지 못했던 일이 아쉽기만 하다. 그런데 잠시 되돌아 생각해보면, 용암산호 위에 있던 지네와 벽에 붙어있던 나방이들이 왜 캄캄한 곳에 있으면서도 전등불빛을 비쳤을 때 움츠리거나 도망가지 않았을까 하는 의문이 생긴다. 이들 둘 다 불빛에 대하여 전혀 반사동작이 없었던 것이다. 캄캄한 동굴에서 전등 불빛은 분명 색다른 현상이며, 광-에너지에 해당할 뿐 아니라 전등불빛은 가시 광 영역의 적외선을 포함하고 있기 때문에 열에너지의 전달을 느낄 수도 있었을 텐데, 지네는 한참 후에야 어디론지 달아나 버렸다. 그 뿐 아니라, 지네와 나방이의 몸 색깔도 관찰해 볼 대상이다. 전혀 빛이 없는 공간에서 살면서 지네의 몸은 유난히도 찬란한 색을 갖고 있다. 식물에서도 그렇듯이 동물의 경우도 무광공간에서는 멜라닌색소의 광합성이 되지 않는다는 사실에서 보면 역시 의문을 제기하게 된다. 그렇다면 밖에서 들어온 생명체 일까? 그렇게 보면 너무 깊은 곳까지 어떻게 들어올 수 있던 말인가? 밖에서 살던 생명체이면 그들은 시각기관에 의한 외부 환경정보를 얻어야 활동이 가능한 것이 아닌가? 그리고 동굴 속은 너무 깊은 곳이며 그곳에서 먹이를 얻으려면 보지 못하고 어떻게 먹

이를 구할 수 있을까? 의문점은 점점 더 늘어만 간다. 사진을 확대하여 그들의 더듬이를 다시 조사해 보았다 더듬이가 길게 보일 것 같은데 별로 길다고 보이지도 않는다.

동굴 내에 있는 자생식물의 경우도 관찰 대상이다. 광합성이 불가능한 무광공간에서 살고 있기 때문이다. 물론 하등식물의 경우 광합성 없이 살아가는 식물도 있다. 이들의 생태환경과 먹이사슬들은 매우 흥미를 자아내게 한다. 따라서 동굴이 해안가와 접해있거나, 해변으로 연결되어 뚫려있을 가능성에 대한 궁금증을 더 해주는 대목이어서 계속 관찰해 봐야 할 일이다. 중국 환인 지역에 있는 천연동굴 중에 하나인 망천동굴(望天洞窟)을 답사하면서 들은 얘기가 생각난다. 그 깊은 내륙지방의 동굴 속에서, 흔히 물가에서나 볼 수 있고 그런 곳에서 사는 육식동물인 식육목 족제비과의 수달(오소리, 담비와 같은 과에 속하며, 해달과는 다름)이 동굴의 중앙부분 깊숙한 곳에서 살고 있던 것이 당시의 망천동 발굴팀에 의해서 확인되었다는 사실이다. 그래서 물어본 즉, 이 동굴 안에서 그 정도 큰 동물이 살아갈 수 있는 먹이사슬이 이루어지는가? 하였다니, 내부 먹이사슬에 의한 것이 아니고 밖으로 나다니면서 살아왔던 것이라고 설명을 하였다. 세상은 참 오묘한 것이라고 새삼 생각하였다. 어쨌든, 건지굴의 생태와 지형 및 생인의 근거를 밝히는 일은 계속되어야 하겠다.

장기간의 세월 속에서 북서계절풍의 영향을 받아 해변의 모래가 해안지대로 덩허들면서 모래속의 조개껍질 즉 패사의 용해칼슘염이 지표에 스며들면서 지표 바로 아래에 있는 건지굴에서 수분증발에 의한 칼슘의 재석출 현상이 건지굴 내부의 석회질화 현상을 재현해 주고 있는 것이라는 데에는 반론할 근거를 찾기 어려웠다. 그런데 굴 안의 모래는 어디서 나온 것일까??

4. 동굴해안접경구

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 용암동굴이다. 그런데 북제주군 협재리에 있는 속칭 건지굴은 그 형성과 구성 성분이 용암동굴 임에도 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 아니며, 이것은 필경 바닷가의 모래와 연관된 사실이 있음을 시사해준다. 현재까지 확인되지는 않았지만, 이 굴을 계속 추적하여 동굴 끝까지 가보면 분명히 해변으로 이어져 있을 것으로 예상되며, 그것은 이 동굴이 과거에 해수면 보다 낮은 위치에 있었음을 시사해주는 것으로, 해수면 아래에 있었기 때문에 해변의 동굴해안접경구(Coastal Contact Opening of Cave)로부터 모래가 밀려 동굴 내부로 들어왔을 것이라는 판단이 가능하다. 그것을 뒷받침하는 또 다른 사실은 다른 동굴에서 보기 어려운 현상으로 동굴 내부의 모래가 비교적 평탄하게 깔려있는 모습이다. 만일 이런 가설이 옳지 않다면, 과거 해저에 있던 바다모래가 화산폭발로 인해서 용암 속에 묻혀 있다가 동굴이 형성되면서 노출되었을 것이라는 엉뚱한 가정을 해 볼 수 있다. 그러나 이 가정은 석회동굴과 같이 지반의 절리현상 등에 의하여

지표수가 지하로 스며들어 장기간의 용해작용으로 지하의 석회성분이 녹아서 동굴이 형성되면서 점점 긴 굴로 발전되어 생긴 석회동굴의 생성과정과는 달리, 용해된 용암이 지표 가까이에서 지하에서 흘러가면서 냉각된 외부주변에 대하여 용암이 흘러 빠져나간 형태로 만들어진 용암동굴에서 이와 같은 가설이 설득력을 얻기는 여러 면에서 논리적 타당성의 부족과 모순성이 충돌될 수밖에 없으며, 비교적 평탄하게 깔려있는 모래바닥 모습은 오히려 해변의 그것을 자연스럽게 연상시켜주고 있다.

또 하나의 현상은 지상으로 뚫린 동굴입구 쪽의 현상이다. 주변이 용암지대임이 틀림없는 데 지표 공(孔) 바로 밑까지 모래가 가득 차 있다는 사실은 비교적 낮은 해안지대인 협재리가 과거 언젠가는 해수면이 이 지대보다 높아서 현재의 동굴주변이 해저 또는 해변가에 있으면서 해저동굴 또는 해안동굴이었을 가능성도 배제할 수 없다는 추론이다. 이를 뒷받침해 주는 현상은 동굴로 뚫린 구멍이 아주 작는데 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 얇은 곳에 있어서 바로 윗부분이 지표면이라는 점에서 그리 높지 않은 곳에 탄산칼슘 층이 있다는 결론을 말해주며, 동굴로부터 윗부분은 용암지각으로 되어있을 뿐이며 다소의 모래가루를 발견할 수 있는 정도이다. 따라서 이런 현상들을 미루어 종합해 볼 때, 동굴보다 높은 지표

면 위까지 해수면 아래에 있었을 가능성을 크게 해주며, 바로 이 지표면 근처의 모래에 섞인 어패류(조개)껍질 즉, 패각사 층이 지표면을 구성하고 있기 때문에 지표수와 탄산가스 등이 작용하여 탄산칼슘을 공급하게 되고, 이것이 용암 틈새로 흘러들어가 지하 동굴에 석회질을 형성하는 공급원이 되었다는 분석의 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 왕박쥐군중은 물론, 심지어 흑-홍색이 독특하게 빛나는 건강한 지네와 곳곳에 길게 뻗어 뿌리를 박고 있는 양치류에 가까운 식물줄기가 동굴 깊숙이 자라고 있는 것은 굴속에 빛이 전혀 없는 조건에서 기이한 현상임이 틀림없다.

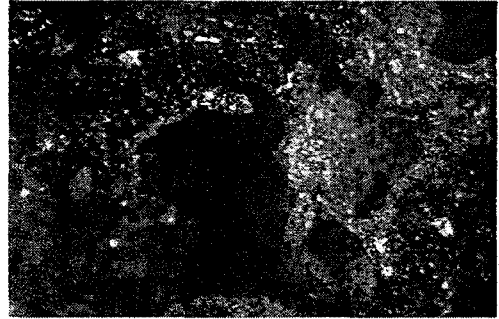
이런 특이한 용암동굴의 석회질화는 오히려 동굴의 구조를 더욱 견고하게 해주며, 갈수록 동굴 벽면과 천정의 틈을 튼튼하게 유지해주는 보강구조의 특징을 갖는다.

IV. 화산섬 특이질 현무암과 스코리아

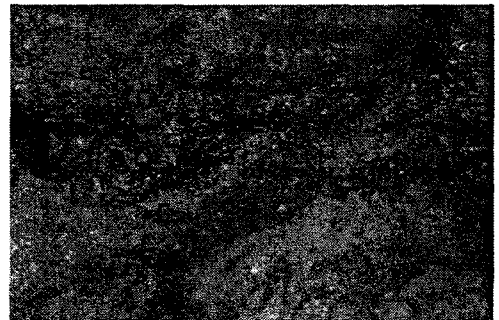
화산섬은 화산폭발과 용암분출과정에서 여러 가지 형태의 지형지물을 지닌다. 화산탄, 화산암재, 용암수형 등 많은 분출물이 그것이다. 특히 제주화산섬의 대표적인 지질은 현무암 계이며, 일반적인 토질은 화산회토(火山灰土)에 해당하는 화산암재 즉, 스코리아(scoria)가 널리 분포되어 있다. 말하자면, 제주도의 지표 암석과 흙에 해당하는 것이다. 흑갈색 또는 적색을 띠는 스코리아는 여러 용도로 유익하게 사용될 뿐 아니라,

첨단산업재료로의 활용이 점점 늘고 있다. 자연산 쿼츠(quartz)나 자수정(rock crystal) 물질을 유기용매 중에서 강제 분산시키면 완전한 미시구조적 형태를 갖는 물질로 변형되어 nano-composite 신물질이 형성된다. 유기용매 중에서 분산되는 연마과정에서는 입자체적이 증가하면서 입자표면영역이 함께 증가하고, 표면층 상태 등의 새로운 변형이 일어나기 때문이다.

따라서 이러한 표면 구조와 형태의 변화 외에도 형성된 물질의 성질과 특성의 차별성을 확보하기 위한 방법으로 바탕물질과 반응물질을 기계-화학적 반응을 통하여 융합반응에 의한 신기능성 나노복합체를 합성하는 응용기술이 적용이 가능하다. 이 신기능성 나노복합체 합성기술의 결과는 밀도가 큰 쿼츠 수정결정체로부터 분산형 nano-composite 분말을 얻는다.



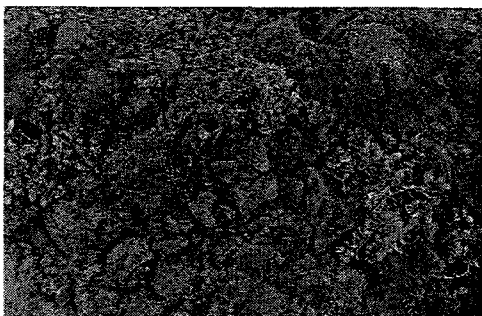
c) 다공질 자성화 흑색스코리아



d) 다공질 자성화 적색스코리아



a) 천연스코리아로 덮힌 송악산 주변경관



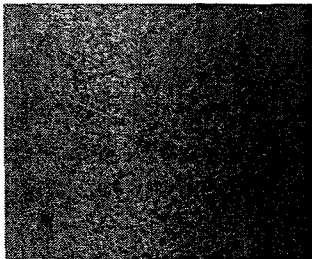
b) 송악산 주변의 화산암재 스코리아

그림10. 제주지역에 널리 분포되어있는 다공질 스코리아 (a, b) 및 자성화분말(c, d)

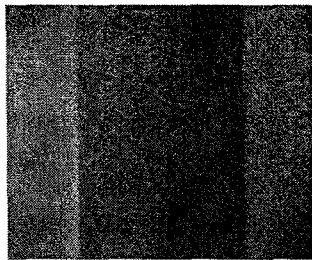
또한, 가까운 화산지역 주변에서 무제한으로 쉽게 얻을 수 있는 자연산 용암석의 일종인 화산암재 스코리아를 대상으로 역시 기계-화학적 반응기법을 적용하여 스코리아의 자성을 띤 기능성화를 유도하기 위한 기술개발 활동으로부터 그림10에 나타난 다공질경량도석재료에 대한 인공적 마그네타이징(magnetizing) 처리기술 확보에 접근하였으며, 그의 combustion magnetic scoria의 산업응용 면에서 해안환경미화를 위한 수면유류물연속흡수처리 기술 등의 국가사회의 선택과 적극적 활용을 권장, 제안한다.

천연 스코리아 특성 활용을 위한 다른 하나는, 비록 천연무한자원일지라도 자원을 아끼고 절약하는 기술의 중요성을 부각시키는 응용기법의 예로써 최근 수요가 급증하는 스코리아 자원 활용에서 '스코리아 분체 전기영동전착 면/판상

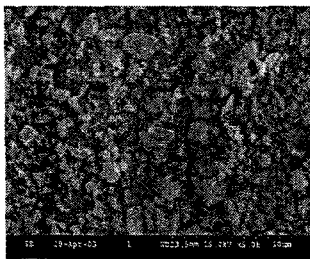
체 제작 기법'을 적용함으로써, 천연자원 스코리아의 소비절약과 함께 첨단화 및 기술고급화를 통한 산업부가가치 제고 및 촉진활동을 펼치는 첨단기술도 그림11에 보인 바와 같으며, 그의 활용을 삶의 지혜와 과학적 기술을 접목시키는 생활과학융합기술 차원에서 과학기술대중화의 확산운동을 제안한다.



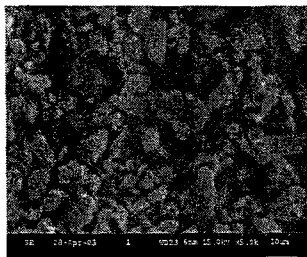
(a) 600배



(b) 150배



(c) 상부(×5000)



(d) 하부(×5000)

그림11. EPD전착시편의 외관(a,b)과 SEM사진(c,d)

이와 관련된 또 다른 하나의 최신 미공개기술은 유기섬유질의 연소과정을 통한 자성탄화물(magnetic charcoal)의 제작과 그 이용기술이다. 앞에서 제시한 수면유류물연속흡수처리 기술에 적용할 수 있는 미래지향적 최신소재기술의 하나이다. 이들을 묶어서 구소련에서 개발된 연소문제기술(combustion problems technology)의 핵심기술인 자기전파고온합성(self-propagating high temperature synthesis : SHS)의 기술로부터 스스로 터득한 수면 아래에 잠재해 있는 지혜를 과학적방법의 신기술로 승화시킨 결과이다.

V. 시사적 평론

우리나라의 제주지역은 전형적인 화산섬으로 대부분 현무암과 화산암재로 덮여있으며, 지하에는 용암동굴이 산재되어있다. 화산지대의 용암동굴은 생성이후 퇴화한다. 그러나 용암동굴에서 용암석회질화 현상이 발생하면 용암의 구조적 기능은 강화되고 기계적, 물리적 특성이 용암 간의 빈틈에 석회질성분이 지하수와 함께 용해, 침투, 고화되면서 구조적 보강효과 발생의 상승효과를 갖고 진행되며, 이런 현상은 마치 콘크리트건축구조물의 구조재료들이 물리적으로 연결되어 결합시키는 시멘트의 역할과 같다.

따라서 용암동굴의 경우, 동굴이 형성된 이후에 전반적으로 퇴화가 진행된다고 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.

이러한 현상은 주위환경과 지형적 특징, 동굴

내외부의 지질과 지층의 구조 및 성분 등에 의하여 결정되며, 협재리에 있는 건지굴의 경우에는 다음과 같은 특징이 확인되었다.

첫째, 건지굴 주변은 오랜 세월동안 복서계절 풍 영향권의 지형적 기후분포를 이루었다.

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

셋째, 해안가의 패각사 층이 이미 형성된 용암동굴 주위를 덮거나 용암동굴 속으로 밀려들어 가서 패각사 토질 층을 구성하고,

넷째, 패각사 토질 층의 조개껍질 주성분인 칼슘 등이 지하수에 용해, 침투되어 용암동굴 내부에 2차생성물을 형성하여 동굴내부의 암석 표면과 바닥의 모래층에 석회질화 현상을 초래하는 원인제공을 하여 용암동굴을 석회동굴로 변화시키는 위중동을 형성한다.

이와 같은 진행성 용암석회질화의 특이 현상이 북제주군 협재리에 소재한 건지굴에서 진행되고 있음이 한국동굴학회 학술조사팀에 의해 확인(2004.7.) 되었다.

한편, 동북아시아 만주지역 내륙에 위치한 옛 고구려 궁성터 오녀산성(중국요녕성본계시현인현 소재)은 우뚝 솟은 용기형의 암석산성으로 그 위용이 매우 아름답다. 주변에서 화산폭발의 흔적을 쉽게 찾아보기는 어렵지만, 용기암벽의 일부에서 현무암의 흔적을 찾아 볼 수 있음은 이 지역이 해저용기의 생성근원을 의심케 하는 근거자료를 제공해 준다.

또한, 제주지역에는 현무암과 화산암재 스코리아가 널리 분포되어 있으며, 특히 스코리아는 기능성산업재료의 유용성을 가지므로 첨단기법과의 융합기술 적용으로 천연자원의 절약효과와 첨단기능성의 특성을 제고하는 과학기술적 지혜

와 한국인의 천부적 기지로 산업부가가치를 제고하는 선택이 있어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 “화산동굴의 용암석회질화”와 “내추럴 켈즈와 화산암재 스코리아의 기능성 마그네타이징 처리 기술”의 기존발표내용을 근간으로 관련 자료를 재분석, 편집하여 작성한 것임을 밝히며, 한국동굴학회 화산지형지물연구소와 명지대학교 반도체기술센터 관계자들의 깊은 협조에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 洞穴旅遊學, 陳詩才, 福建人民出版社, 2003. 07.
- 地下名勝 龍門溶洞, 朝鮮文化保存社, 편집/김영옥, 촬영/이인철, 유덕인, 인쇄/외국문 종합출판사 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.
- 소대화 외, “화산동굴의 용암석회질화 현상 고찰”, 한국동굴학회지, vol.67, 2005.03.
- 중국동북부동굴탐사보고/한중동굴탐사 및 학술세미나, 소대화, 소현재, 2004.10.3~7.
- 소대화 외, “내추럴 켈즈와 화산암재 스코리아의 기능성 마그네타이징 처리 기술”, 한국동굴학회지, vol.63, 2004.3.
- 소대화, “투어머린 세라믹의 살균 및 세균 번식 억제 작용”, 한국동굴학회지, vol.75, 2006.12.