

석회암동굴과 위종유동에서 발견된 Pisolite 변종에 관한 연구

서 무 송*

A Study on the Pisolite of Limestone Caverns in Korea

Moo-Song, Suh

Abstract : The pisolite of the limestone caverns in Korea is one of the varieties of speleology. The main component of the pisolite is calcite, but pisolite often contains quartz and illite too. The mechanism of encrusting is complicated, but the main process is the accretion which is supposed to take place as fast as 2mm per century.

Key Words : limestone caverns, pisolite

국문요약 : 본 연구는 Limestone cavern 산 pisolite와 제주도의 용암동굴(용암수도)을 모체로 한 2차원의 위종유동에서 생성된 pisolite와 이들의 변종인 Axiolite 및 Tabular에 대한 고찰을 하였다. Limestone cavern에 있어서는 지속적인 중탄산칼슘 용액의 점적이 이루어지나 Lava tunnel은 shelly sand의 카르사이트 질이 빗물에 용탈되어 현무암의 절리면을 따라 용암동굴내로 들어간다. 따라서 계절 변화에 따른 점적의 빈도차도 speleothem 생성에 큰 차이가 있을 뿐 만 아니라 pisolite와 그들의 변종인 봉상체 즉 axiolite와 판상체인 tabular의 생성에도 깊이 관여한다는 사실을 알게 되었다.

주요어 : 석회암동굴, pisolite

1. 서론

필자는 1973년부터 동굴에서 생성된 미세한 동굴퇴적물 pisolite와 cave pearl에 대하여 연구하여왔다.

1976년 충북 단양군 대강면 소재 고수동굴의 개발과정에서 고수리에 3개월간 체류하면서 다양한 형태의 pisolite의 수집과 이에 대한 연구를 본격화하였다.

1976년 한해만 하여도 단양군 영춘면 온달굴(남굴)의 mud pisolite, 강원도 영월군 하동면 초리마을의 수정 굴에서 pisolite의 변종인 판상체(tabular)를 발견하고 발표하는 성과를 거두었다.

1983년 제주도 북제주군 한림읍 협재리에 입지한 천연기념물 236호 황금 굴의 조사를 실시하여 판상체(tabular)와 봉상체(axiolite)를 발견하

여 세계최초로 위종유동과 더불어 axiolite와 tabular를 발표하였다.

공식적인 논문으로서는 대한지리학회지 제16호 1977년 “地理學”에 단보로 발표한 “한국의 석회암동굴 산 pisolite에 관한 연구”가 처음이며 이후 오늘날 까지 꾸준히 지속적으로 연구하여왔다.

두 번째 연구는 1983년 서울대학교 사회과학대학 지리학과 논문집인 지리학논총 제10호 김상호 교수 정년퇴임 기념호에 “二次元的 僞鐘乳洞에 關한 洞窟微地形學的 研究”란 제목의 논문을 발표하였다.

이 논문에는 부제로 -천연기념물 236호로 지정된 황금 굴을 중심으로-란 제하에 pisolite에 관한 연구를 본격화 하였다. 이 논문은 다음해인

* 본학회 고문

1984년 일본국 동굴학회지인 동굴학잡지 제9권에 전제되었다.

이들 논문에서 취급된 봉상체란 이름을 부여한 axiolite와 판상체란 이름의 tabular에 관한 연구발표는 세계 최초의 발표이며 아직까지도 이와 같은 동굴퇴적물에 대한 연구사례는 세계적으로 발표된 바 없다.

다만 1997년에 이르러 각설탕 같이 생긴 동굴진주 cubic cave pearl이 Canada의 Castleguard동굴에서 Sura Ballmann이 촬영한 것을 Cave Minerals of the World의 저자 Carol A. Hill이 발표하였다.

이로서 동굴내에는 pisolite의 변종인 tabular, axiolite, cubic cave peals등 다양한 형태의 변종들이 종전에 발표된 동굴 산 pisolite의 연구에 추가되어 발표되었다.

2. 시료를 채집한 동굴지역의

지질과 지형 및 산출상태

고수동굴에 있어서의 산출상태는 Ordovician system인 막동석회암층 으로 된 유절봉(stream cut bench)상에 계절적으로 담수되는 제석 소(rim pool)내에서 pisolite와 axiolite가 발견되었다.

그러나 영춘면 온달 굴에서의 산출상태는 지질시대를 알 수 없는 고성리 석회암층에 발달하는데 계절적으로 한강의 범람에 의한 수몰지역 내의 유절 봉 상에 회색 진흙질 mud pisolite가 발견되었다.

한편 영월군 하동면 초리마을의 수정 굴은 단양군 대강면 고수동굴과 동일한 ordovician system의 막동석회암층에 발달하는데 이곳의 pisolite는 분홍색을 나타내며 다핵질 pisolite와 tabular가 발견되었다.

이들 고수동굴 온달동굴 수정동굴이 발달하는 지역일대의 지형은 우리나라 중부지방인 산악지대에 해당하며 남한강 연안을 끼고 분포 및 발달을 한데 비해 제주도는 화산활동에 의한 용암동굴을 모체로 발달한 보기 드문 이색 지대라는 특이성을 가지고 있다.

제주도는 신생대 제3기말에서 제4기초에 걸쳐 활발하였던 화산활동의 여파로 많은 용암동굴 들이 발달되어있다. 제주도에는 비록 석회암(limestone)이나 백운암(dolostone)은 없으나 용암동굴 내에 기이한 카르사이트 질 2차생성물인 동굴퇴적물(speleothem)이 발달하였다.

이 speleothem 형성의 근원적 물질은 조개껍질 모래(shelly sand)이며 해안선 부근에서 바다가의 파도 즉 surf 의 분쇄작용과 바람의 운반작용으로 내륙 깊숙이 운반되어 용암동굴 위를 평균 2-3m 가장 두터운 곳은 10m의 언덕을 이루며 덮고 있다.

제주도는 우리나라의 다우지역에 속한다. lava tunnel위를 피복한 shelly sand의 현저한 분포지역은 한림읍 협재리 일대가 가장 넓고 두터우며 기타로 구좌읍 김녕리 일대 및 표선면 표선리 일대에 주로 분포하며 세계적으로 휘 귀하며 훌륭한 위 종유동굴을 발달시켰다.

한림읍 협재리 일대에는 소위 협재동굴 군을 이루며 2차원의 위종유동굴로 황금굴이 대표적이다. 구좌읍 김녕리 일대에는 당처물동굴 용천동굴이 있고 표선면 표선리 일대에는 표선동굴이 발달되어있다.

중에서도 풍부한 pisolite를 산출하는 동굴은 협재리의 황금굴이며 이곳에는 완벽한 원형의 Oolite와 Pisolite, Axiolite, Tabular등이 풍부하게 산출되며 석회암동굴을 능가하는데서 조사자를 어리둥절케 한다.

특히 놀라운 사실은 Oolite나 pisolite는 담수

산 달팽이를 중심핵으로 첨가증식(accretion)되는데 직경이 2mm이내의 Oolite와 2mm이상 5mm내외의 크기를 가진 pisolite가 일반적으로 많다.

한편 봉상체인 Axiolite는 담수 산 다슬기를 중심축으로 첨가증식 되는데 담수 산 다슬기는 왜소할 뿐만 아니라 세장하며 직경 1-2mm내외 길이 1cm내외로 정교하게 axiolite를 첨가 증식하여 나간다.

이밖에도 원반모양의 판상 체 tabular의 생성인데 판상 체의 두께 1mm내외 직경1cm내외의 원반(圓盤)형인데 그 정교함이 상상을 초월하며 이들은 모두 연중 중탄산칼슘 용액이 점적되는 곳에 나타난다.

3. Axiolite와 Tabular의 생성 기구를 추리하여 본다.

판상 체 tabular는 연중 끊임없이 점적되는 notch상에서 발견되며 일종의 splash deposits로 필자는 결론지었다. 특이한 동굴퇴적물로 1976년 필자가 발표한 이래 아직까지 세계적으로 발견된 사례가 없다.

따라서 필자의 연구는 필자의 주관적 관찰에 의한 판단이며 비교연구를 위한 연구사례가 있어주기를 바라는 마음 또한 간절하다.

다행히도 Carol A. Hill과 Paolo Forti의 저서 Cave Minerals of the World에 소개된 pisolite의 변종 마치 각설탕과 같은 Cubic Cave Pearls의 발표로 약간의 위안을 삼았을 뿐이다.

Tabular의 생성은 중력 적으로 낙하되는 점적(点滴)수의 빈도와 관련되며 점적될 때마다 notch면을 가격한 수적(水滴)의 물 분자 속에 용존(溶存)한 카르사이트의 비산적(飛散的) 부착성장으로 추리한다.

동시에 농도 짙은 중탄산칼슘 용액의 점적은 판 상체를 미동(微動)시킬 만 큼 위력적이며 개체의 표면은 접지면(接地面)과 대기 속에 노출된 접공면(接空面)에 큰 차이가 없다.

그러나 접공면을 주의 깊게 관찰하면 점적이 남긴 부 푸름을 인식할 수 있는데 이것은 점적의 계절변화에 따른 우기의 생성물로 추정함이 타당할 것으로 결론지었다.

한편 axiolite도 세장한 몸체를 균등하게 첨가 증식하여 나가는 것은 tabular와 마찬가지로 중탄산칼슘 용액의 점적의 충격으로 움직이며 전위시켜나가는데 원인이 있다고 추리하였다.

기타로 두터운 안개 속 물 분자에 용존 된 카르사이트의 역할도 석회암동굴의 첨가증식에 동참한다고 생각 하며 용암동굴은 계절적인 점적의 량과 빈도에 상응한 첨가증식(accretion)의 결과라고 믿어진다.

4. 결 론

이상에서 Limestone cavern산 pisolite와 제주도의 용암동굴(용암수도)을 모체로 한 2차원의 위 중유동에서 생성된 pisolite와 이들의 변종인 Axiolite및 Tabular에 대한 고찰을 하였다.

Limestone cavern에 있어서는 지속적인 중탄산칼슘 용액의 점적이 이루어지나 Lava tunnel은 shelly sand의 카르사이트 질이 빗물에 용탈되어 현무암의 절리 면을 따라 용암동굴내로 들어간다.

따라서 계절 변화에 따른 점적의 빈도차도 speleothem 생성에 큰 차이가 있을 뿐 만 아니라 pisolite와 그들의 변종인 봉상체 즉axiolite와 판상 체인 tabular의 생성에도 깊이 관여한다는 사실을 알게 되었다.

그러나 세계적인 연구사례가 없어 비교연구

의 한계성을 절감하게 된다. 동굴 내의 미세퇴적 현상인 곡석(helictite)과 동굴 내의 꽃모양 퇴적물인 화형물(anthodite)에 대한 연구는 풍부하게 이루어져 있다.

반면 pisolite의 변종인 axiolite와 tabular의 연구사례가 전혀 없어 비교를 위한 연구의 어려움을 통감하는 동시에 젊은 동굴 학자들의 많은 연구 참여를 희망하며 이방면의 연구가들에게는 연구 성과를 비롯한 물심양면의 지원을 아끼지 않을 것을 약속한다.

(주)

1. 제주도 한림읍 협재리 일대의 3.2km²지내에 발달한 조개껍질 사구지대의 최대 퇴적상을 보여주는 모래언덕의 층후(層厚)는 자그마치 10m에 달하며 옛사람들이 쌓아올린 돌각담의 흔적도 보인다.



2. 3.2km²지역 내에서 임의로 16개 지점을 선정하여 조개껍질모래의 표본을 채취하고 확대 관찰하여 보았다. 시료의 중심에는 섬 계의 침골이 분홍색으로 나타나며 유난히 짝작이는 aragonite질도 보인다.



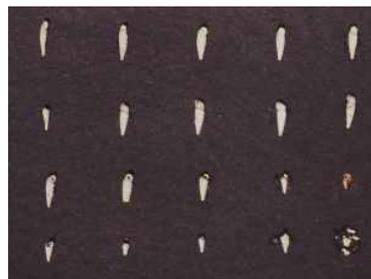
3. pisolite의 조 핵물질인 담수 산 달팽이의 껍각이다. 직경 2mm내외이며 pisolite의 중심핵을 이루는데 이밖에도 석편 심지어는 찰흙으로 된 핵도 관찰되었다.



4. 여기 보는 Oolite의 시료는 황금 굴에서 채집된 것이다. 석양 머리축척의 크기와 비교하여보면 2mm이내임을 알 수 있다. 직경이 2mm보다 클 때에는 pisolite로 분류된다.



5. 시료는 황금 굴에서 채집된 담수 산 다슬기이며 봉상 체(axiolite)의 조 핵물질이다. 이미 첨가증식이 시작되어 다슬기의 개구부(開口部)가 칼슘성분으로 폐쇄된 것도 보인다.



6. 첨가증식(accretion)된 다슬기 기원의 axiolite이다. 아직도 개구부가 남아 다슬기로 확인되는 것 과 완벽하게 봉상체로 변화된 모습도 보인다. 직경은 1mm내외 길이는 3mm이내의 왜소한 axiolite이다.



7. 아주 이상적으로 첨가증식된 axiolite의 완성품으로 직경 2mm내외 길이 3mm내외로 성장한 모습을 보여 준다. 한림읍 협재리 황금 굴은 마치 pisolite 변종인 axiolite의 전시장 같은 인상을 준다.



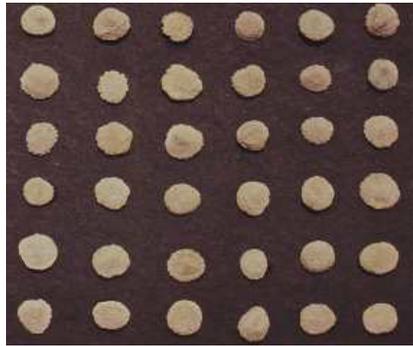
8. 황금 굴에서 채집된 판상 체(tabular)의 개체이다. 직경 6-7mm 두께 1mm내외의 완벽한 원반형 tabular이다. 표면이 거친 것은 점적에 의한 splash deposits라는 것을 설명할 수 있는 증거이기도 하다.



9. 황금 굴 notch위에 자연스럽게 생성된 tabular의 군집 모습이다. 이와 같은 현상은 석회암 동굴에서 pisolite의 군집현상과 닮은꼴이며 벽면의 두툼한 2차 생성경관은 splash deposits를 말없이 증명한다.



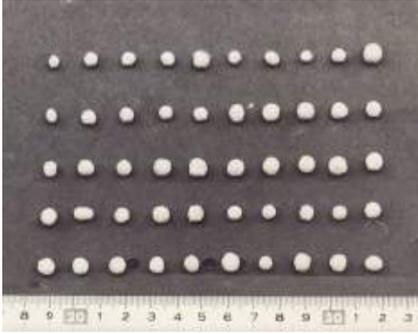
10. 협재리 황금 굴에서 채집된 tabular의 시료를 패널에 부착한 것이다. 판상 체의 표면이 거칠고 변두리가 거치구조(鋸齒構造)를 나타내는 것은 splash deposits의 영향이며 중심의 부풀음은 점적의 흔적이다.



11. 석회암 동굴에서 수집한 다양한 형태의 물질을 첨가증식 한 표본이다. 우선 샷보로(札幌)맥주병 유리파편, 숯, 단추, 아래의 철사 등 다양하다. 철사는 동대굴 내부의 위험표시 철조망에 첨가증식된 것이다.



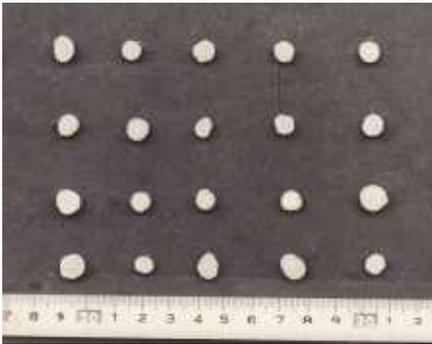
12. 시료는 충북 단양군 대강면 고수동굴 산 pisolite의 시료이다. 직경 5mm내외이며 가장 표준적인 크기의 시료로 말라붙은 구시대의 제석 소(rim pool)에서 채집된 것이다.



13. 12번 시료의 단면구조이다. 20배율의 휴대용 확대경으로 살펴보면 조직의 치밀함과 첨가증식(accretion)된 윤상구조(輪狀構造)가 선명하게 관찰된다.



16. 강원도 영월군 하동면 초리마을 부근에 입지한 수정 굴에서 채집된 연한 분홍색 pisolite의 시료이다. 첨가증식된 윤상구조의 진 흙질과 카르사이트 질 호층은 기후와 관련성이 있는 것으로 믿어진다.



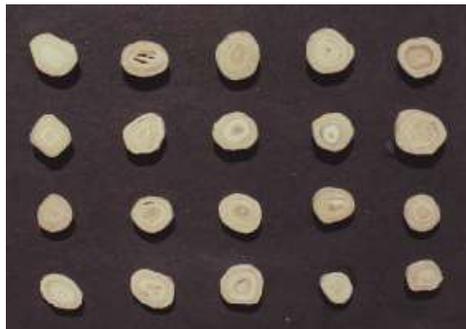
14. pisolite는 표면이 매끄러운 것만 있는 것이 아니며 때로는 거칠며 호두의 내실처럼 주름잡힌 것도 많다. 시료는 충북 단양군 대강면 고수동굴에서 수집된 것이며 매우 이색적인 형태이다.



17. 시료는 충북 단양군 영춘면 남한강 강가에 발달한 온달 굴에서 채집된 진 흙질 pisolite이다. 시료 16과 마찬가지로 카르사이트 질과 진 흙질의 호층은 고 기후학적 측면의 접근을 하였으면 하는 바람이다.



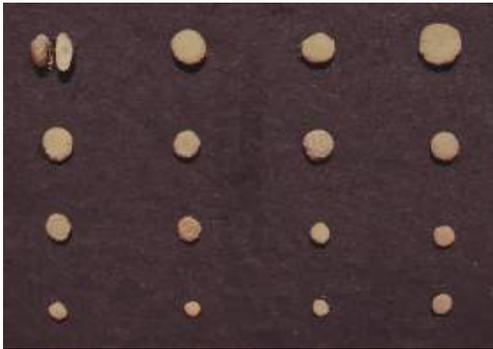
15. 시료14의 단면이다 표면은 거칠지만 내부는 핵 물질을 중심으로 동심원의 시대별 첨가증식의 윤상구조를 보여 준다. 축척이 보여주는 바와 같이 1cm내외의 비교적 큰 pisolite이다.



18. 시료는 고수동굴 담수 산 달팽이 껍질을 핵으로 첨가증식된 여러 가지 모습의 pisolite이다. 동굴 내에서 정밀한 관찰을 지속적으로 행하면 무엇이든 얻을 수 있다는 근거를 보여 준다.



19. 강원도 영월군 하동면 초리마을 인근에 발달한 석회암 동굴 수정 굴에서 채집한 분홍색 판상 두석으로 제주도 한림읍 황금 굴의 tabular와 동일한 판상체인데 단면과 같이 약간 두터운 것이 특징이다.



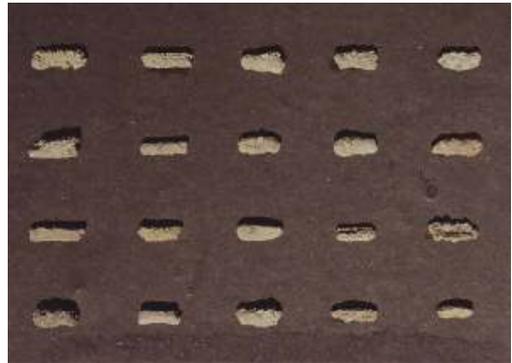
20. 시료는 충북 단양군 대강면 고수동굴 산 tabular이다. 표면은 비교적 매끄러우며 제주도 황금 굴에서 채집된 판상 체처럼 splash deposits가 아닌 물속의 가날 푼 와동과 전동이 원인 인 것 같다.



21. 고수동굴 산 봉상 체 axiolite의 단면이다. 장축의 조 핵물질은 박쥐 뼈이며 제주도 황금 굴의 다슬기 핵처럼 매끄럽고 부드러우며 자연스럽게는 못하지만 pisolite의 변종으로 손색없다.



22. 위와 같은 시료로 박쥐 뼈를 중심으로 첨가증식된 axiolite의 모습이다. 세월이 경과되면 살지고 매끄러운 모습으로 변화될 것으로 예상된다.



참고문헌

- 서무송·허 일, 1977, “한국의 석회암동굴산 pisolite에 관한 연구”, 대한지리학회지, 16, 79-82.
- 서무송, 1977, “한국의 동굴과 이차생성물에 관한 연구”, 이민재박사 회갑 기념 논문집, 374-396.
- naruhiko, k., 1969, some pisolites from limestone caverns in japan, geological and mineralogical studies of limestone caverns, part IX.