

## 석회동굴 내 인산 칼슘 광물 피각의 특징과 성인

장세정 · 김수진

서울대학교 지구환경과학부

### Mineralogy and Genesis of Calcium Phosphate Crust in Limestone Caves

Sae Jung Chang and Soo Jin Kim

School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

인산 칼슘 광물(calcium phosphate mineral)은 피각을 이루며 석회 동굴 생성물의 표면을 덮고 있으며, 특히, 박쥐 서식처에서 다량의 인산 칼슘 광물 피각이 관찰된다. 이러한 피각은 보통 적갈색을 띠고 피각의 두께가 두꺼울수록 검정색에 가까워지기 때문에 석회동굴 생성물이 검게 변하게 되는 중요한 원인 물질 중 하나이다. 본 연구에서는 박쥐 서식처에서 채취한 시료의 광물 조성 and 미조직을 관찰하여 피각의 형성 과정을 밝히고, 그것이 석회 동굴의 흑화현상에 대해 보존과학적으로 어떠한 의미를 지니는지 알아보려고 하였다.

인산 칼슘 피각 시료는 1976년에 관광 개방된 고수 동굴(충청북도 단양군 가곡면 고수리, 천연기념물 제256호)과 현재 박쥐의 서식처로 보호 관리 중인 쌍굴(강원도 평창군 미탄면 마하리)의 천정에서 채취하였다. 광물 조성은 graphite monochrometer가 달린 Rigaku RAD 3-C 기종의 X-선 회절 분석기(Cu target)로 동정하였으며, 피각의 미조직 및 화학 조성 분석을 위해서는 주사 전자 현미경(SEM, scanning electron microscope)을 이용하였다. 구성 광물의 정량 화학 조성 and 원소 분포의 X-선 지도는 전자 현미분석기(EPMA, electron probe microanalyser)를 사용하였다.

인산 칼슘 광물 피각은 모암의 표면에 약 0.3 mm의 두께로 존재하며 모암의 구성 광물인 calcite와 dolomite를 교대하고 있다. 피각은 hydroxylapatite와 amorphous calcium phosphate로 구성되어 있으며, 피각 표면과 내부에는 황을 함유하고 있는 섬유상 박테리아 집합체가 관찰된다. 박테리아에서 기인된 황의 농도가 높은 부위에 Ca/P의 몰비가 낮았는데 이는 그 부위에 더 많은 amorphous calcium phosphate가 분포한다는 것을 의미하며 두 광물의 분포 양상으로 볼 때, 먼저 amorphous calcium phosphate가 생체광물화 작용(biomineralization)에 의해 섬유상 박테리아 주위에 침전이 된 후 hydroxylapatite가 형성된 것으로 보인다. 피각 내 교질 조직(colloform texture), 망상 조직(reticulate texture), 섬

조직(sea-and-island texture) 및 세포 조직(cellular texture)이 관찰되며, 이러한 조직들은 박테리아의 분포와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 인산 칼슘 광물 형성을 위한 칼슘은 모암으로부터 기인되었으며, 인은 박쥐 배출물에서 기인되었을 것으로 사료된다. 이러한 인산 칼슘 광물로 이루어진 흑색피각인 경우는 관광개방에 의한 인위적 오염물이 아니라 자연적으로 생성된 것이므로 보존처리 시 훼손되지 않도록 각별한 주위가 필요하다.