

## X-ray CT를 이용한 암석 내부 특성 연구

현창욱  
박형동

서울대학교 지구환경시스템공학부  
서울대학교 지구환경시스템공학부

### 1. 서 론

암석의 공극 및 균열의 여부나 조직 구성 등의 내부 구조는 암석의 형성과 관련된 기본적인 특성을 알려주고, 또한 공학적 물성을 결정하는 데에 큰 역할을 한다. 암석 내부 구조 파악은 일반적으로 물리적 실험을 통해 알아낼 수 있지만 암석 자체를 파괴하기 때문에 대상 암석을 보존해야 할 경우 적용이 불가능하며 시간, 비용의 측면에서도 비효율적이다. 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 가지 비파괴검사 기법들이 고안되었고, 그 중 한 방법으로 X-ray CT (computed tomography)가 사용된다. X-ray CT 스캐너를 이용하면 암석을 파괴하지 않고 그 내부구조를 신속하고 정확하게 가시화할 수 있다. 미국, 일본 등의 몇몇 국가들에서는 산업용 X-ray CT 스캐너를 이용하여 암석이나 토양 등의 지구 구성 물질 (geomaterial)을 대상으로 다양한 연구 결과가 제시되었지만, 국내에서는 이에 대한 연구 (현창욱 등, 2004)가 소수 시도되었다. 본 연구에서는 일반 의료용 X-ray CT 스캐너를 이용하여 역암에서 기질과 역의 경계 검출과 역의 형상 추출 및 화강암에서의 염 침투 탐지를 수행하여 암석 내부 구조의 특성을 가시화하였다.

### 2. X-Ray CT 원리 및 영상 처리 기법

X-ray CT는 X선 촬영 기법과 컴퓨터 공학을 결합하여 대상 물체 내부의 3차원 입체 구조를 가시화하는 기법이다. 광원 (X-ray source)으로부터 방사된 X선이 물체를 투과하면서 강도 저하가 발생하고, 탐지기 (detector)에서 X선의 강도 감쇄정도를 측정하여 2차원 단면 영상들을 재구성해낸다 (그림 1).

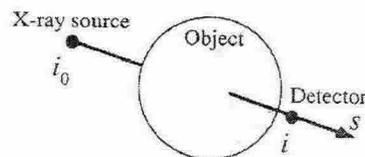


그림 1. X-Ray CT의 기본 원리 (Sato et al., 2003)

이렇게 획득된 단면 영상은 육면체의 부피 속성을 지니는 기본 단위인 복셀 (voxel)들로 구성되며 각각의 복셀에는 CT Number라는 물과 공기의 밀도와 비교하여 계산된 상대 밀도값이 할당된다. 이러한 두께 정보를 가지고 있는 단면 영상들을 조합하여 3차원 입체 영상을 생성한다. CT 영상의 처리는 window width와 window level의 두 가지 수치를 조절함으로써 가시화할 CT Number의 범위를 설정하고 단면 혹은 입체 영상 내에서 관심 대상의 특성을 부각시킬 수 있다.

### 3. 역암 내부 구조 분석

#### 3.1. 분석 대상 역암

연구에 사용된 역암은 경주 지역에서 회수된 시추 코어로부터 획득한 역암 (그림 2)의 일부로 기질과 역이 불균질하게 혼합되어 존재하는 것을 코어 외부에서 육안으로 관찰할 수 있다. 연구 수행 중에 암석의 변형을 최소화하기 위해 시료 표면에 보호 필름을 부착하여 보존 처리를 하였다(그림 3). 단순 관찰의 결과 기질과 역사이의 밀도 차이가 크지 않은 것으로 판단되었고, 실제 역과 기질의 분포 형상은 CT 영상을 이용하여 분석하였다.

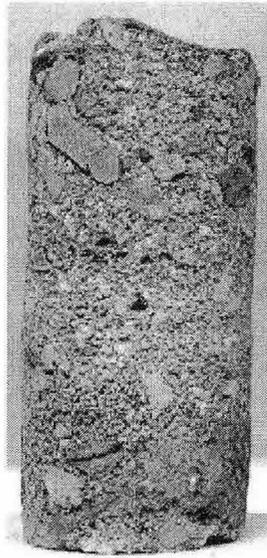


그림 2. 분석 대상 역암

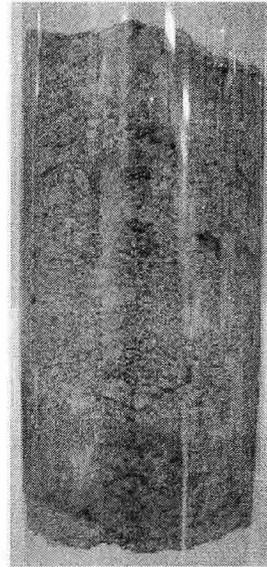


그림 3. 역암 표면의 보존 처리

#### 3.2. 역암 내부 구조 관찰

역암에서 역은 기질 내부에 분포하고 있음을 외관상의 관찰로 쉽게 확인할 수 있지만 역들의 분포 방향성이나 그 정확한 크기는 알 수 없다. 시료의 X-ray CT 영상은 1mm 두께의 단면 영상 121장으로 구성되었다. 이 영상들에서 기질과 역 사이에 밀도 차이가 일정량 이상 존재하는 경우 그 경계와 분포 형상을 영상 내에서 밝기 차이를 이용해 확인 가능하고 CT Number에 임계값을 설정해 역 부분만 추출할 수 있다 (그림 4). 영상에서 고밀도 시료 구성 물질일수록 높은 CT Number가 할당되기 때문에 역 부분이 기질보다 밝게 나타난다. 연구 시료의 역 중 기질과 뚜렷한 대비를 보이는 것은 그림 5의 중심부에 위치한 역으로 CT Number에서도 1600에서 1700 사이로 측정되는 일반 기질 부위보다 약 400정도 높은 수치로 측정되어 2000에서 2100 사이에 분포함을 확인할 수 있었고 이런 CT Number의 차이를 이용하여 역의 3차원 구조 (그림 6)를 추출하였다. 2차원 단면 영상들을 재구성하여 일부 역의 3차원 형상 확인이 가능했지만, 의료용 X-ray CT 스캐너에서 사용되는 X선의 강도가 충분히 강하지 않기 때문에 역암에서 기질과 역으로 이루어진 내부 구조를 선명하게 도시할 수 없었다.

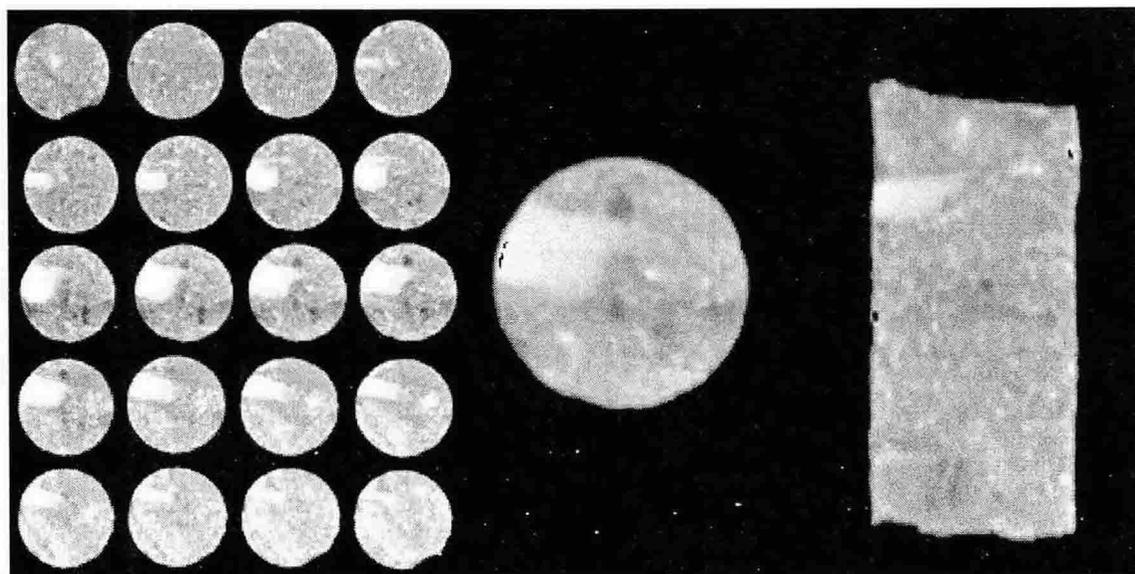


그림 4. 역암 시료 내부의 역 분포

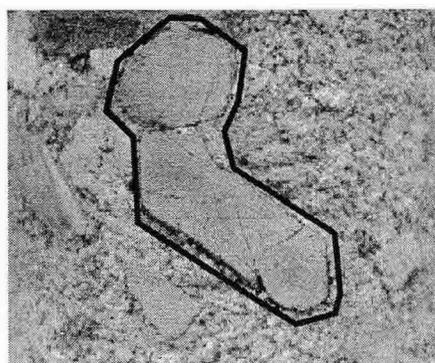


그림 5. 3차원 형상 추출 대상 역



그림 6. 3차원으로 재구성한 역

#### 4. 염의 침투 범위 탐지

암석에는 해안지역에서 해무의 영향 혹은 겨울철 제설작업에 사용되는 NaCl에 의해 염이 침투하게 되고 이로 인해 풍화가 발생한다. 본격적인 풍화가 일어나기 전에 염의 침투 유무나 침투 심도가 CT 영상을 통해 검출되는지 확인해보았다. 분석 시료는 경주지역에서 회수한 시추 코어 중

화강암 (그림 7)을 두 개의 코어 형태로 가공하여 사용하였고, 이중 한 개의 시료에 NaCl 과포화 수용액에 3시간 침수, 105℃에서 2시간 건조, 1시간 실내 건조의 주기로 염의 침투를 3회 실시하여, 육안으로는 침투 정도를 확인하기 어렵지만 염이 암석 표층부에 침투하였을 것이라고 가정하였다. 획득 영상 중 실제로 염이 침투하였을 것이라고 생각되는 암석 표층부에서 대상 영역을 15 x 15 픽셀로 한정하여 총 5단면에 대해 각 단면에서 4지점의 CT Number를 염 침투 실험을 실시하지 않은 화강암 시료의 CT 영상과 비교하여 표면에 인접한 화강암 내부에서 염의 침투로 인한 CT Number가 평균 156.5 상승함 (표 1)을 확인하였다.

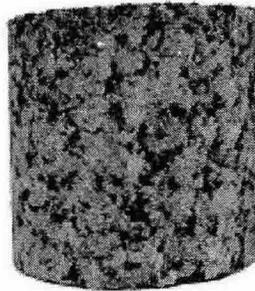


그림 7. 염침투 실험용 화강암 시료

표 1. 염의 침투에 따른 CT Number 분포

	조사 지점 수	평균 CT Number
염침투유	20 개	2244.93
염침투무	20 개	2088.42

## 5. 결 론

의료용 X-ray CT 스캐너를 이용하여 역암 내부의 기질과 역의 분포 구조를 확인하고 기질과 구분이 가장 용이한 역을 선택하여 입체 영상을 도출하였다. 의료용 X-ray CT 스캐너의 X선 강도의 한계 때문에 역과 기질 사이의 밀도 차이가 크지 않은 경우는 구분이 어려웠지만 어느 정도 밀도 차이가 존재하는 경우 역의 분포 형상을 3차원 입체로 확인할 수 있었다. NaCl 과포화 수용액에 시료를 침수시킨 화강암 시료에서는 염 침투 탐지를 실시하여, 육안으로 확인하기 어려운 염의 침투 유무를 CT 영상에서 CT Number의 정량적 해석을 통해 비교 분석하였다. 염의 침투는 건축물 외장이나 석조 문화재에 물리적 강도나 미적 가치 측면에서 치명적인 손상을 일으키며 일단 손상이 일어난 후에는 원래 상태로 회복시키기가 거의 불가능하다. 따라서 육안으로 염의 침투 및 손상이 확인되기 전에 X-ray CT 기술을 이용하면 염의 침투 유무를 탐지해내고 이 결과에 따라 보존 및 회복과 관련된 적절한 대책을 수립할 수 있을 것이다.

향후에는 역암 내 역의 분포와 관련하여 역의 방향성 검출 등 보다 정밀한 역의 분포 형상 재현을 시도하고, 기존의 CT 영상 분석 프로그램에는 암석의 특성 연구를 위한 CT Number 조절 등의 기능이 부족하기 때문에 암석 대상의 CT 영상 분석 프로그램 작성도 함께 수행할 예정이다.

### 참고문헌

- 현창욱, 박형동, Yanjun Shang, 2004, X-Ray CT를 이용한 손상된 암석 시료 분석, 2004년 한국 지구시스템공학회 추계학술발표회 논문집, 59-64.
- Sato, A., Fukahori, D., Sugawara, K., 2003, Crack opening analysis by the X-Ray CT image subtraction method, Proceedings of Internal Workshop on X-ray CT for Geomaterials, 223-228.