

석조문화재 풍화의 정량적 평가기법 기초연구

이상균 · 신기혜 · 박형동¹⁾

1. 서론

국내 석조문화재를 구성하고 있는 암석은 환경이 변화되어가면서 여러 가지 요인들에 의해 다양한 풍화 패턴에 노출된다. 그 요인은 세계의 급성장한 산업화로 인해 매우 다양하지만, 주로 수분, 염분에 의한 영향(김성수, 1999), 산성비(Winkler, 1993), 환경오염 등이 주요인으로 풀이되고 있다. 풍화로 인한 암석의 변화는 매우 서서히 진행되므로 그 위험성을 정확히 인지하지 못하는 경우가 많다. 암석의 강도의 변화를 측정하기 위해 탄성파를 이용한 비파괴 진단기법을 이용하기도 하지만, 석조문화재라는 특성을 감안하면 변화되는 암석의 강도를 체계적으로 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 풍화가 이미 진행된 경우 암석의 처음 상태를 정확히 파악하기 어려우므로 풍화를 유발한 특정요인을 알아내는 것은 매우 어려운 일이다 (Jefferson, 1993).

따라서 자연에서 채취한 암석을 특정 풍화요인에 인공적으로 노출시켜 각 풍화요인에 1:1로 대응되는 내구성 저하도를 정량적으로 파악하는 인공풍화실험법이 가장 적합한 방법으로 추천되고 있다 (김성수, 1999; 김근미, 2000; 장윤섭, 2001). 인공풍화 실험법은 자연환경 조건과 유사하지만 풍화현상이 빠르게 진행될 수 있도록 실험 조건이 인위적으로 개선된 실험 방법이며, 주요 풍화요인에 대한 정확한 인위조절을 통해 그 풍화영향을 정량화 하기 위한 실험법이다 (Hale and Shakoor, 1998; Park, 1996). 석탑의 경우, 외부 풍화조건에 따라 외부에서 내부로 점차 풍화되어 가는 양상을 보이며, 이로 인해 표면이 심하게 변화되기도 한다. 따라서, 인공풍화 실험을 수행하면서 시료의 외부를 면밀히 관측하게 되면 암석 표면의 변화 상태를 통해 석조문화재 풍화의 정량적 평가방식을 도출해 낼 수 있다.

2. 자연상태의 풍화와 인공풍화의 관계

우리나라의 경우 풍화 요인 중에 동결-융해의 반복으로 인한 수분의 변화 양상이 매우 위험한 요인으로 해마다 3-4월의 해빙기에 동결-융해에 따른 암석의 균열현상이 주로 관찰되며, 집중호우기인 7-8월에는 풍화된 암석의 슬레이킹 현상이 아주 쉽게 발생된다. 수분의 경우 암석의 외부의 공극을 통해 내부로 침투하거나, 지표면과 접촉된 암석의 경우 암석 내부의 공극을 통해 침투하게 된다 (Winkler, 1994).

인공풍화 실험에서는 자연상태의 풍화 조건에 비해 더 강한 풍화조건을 설정하여 이용하게 된다. 또한 실험 진행에 따라 변질되어가는 암석의 표면 이미지를 지속적으로 측정하여 관찰하면, 수분으로 인한 풍화패턴이 암석표면에 미치는 정도를 정량적으로 파악할 수 있다.

주요어: 인공풍화실험, 수분, 동결-융해

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부

3. 인공풍화실험

국내 석조 문화재의 경우 대개 화강암으로 이루어져 있으며, 전국 각지에 석탑, 비석, 마애불, 석불 등의 형태로 다양하게 존재하고 있는 점을 감안하여 시료는 A지역 화강암과 B지역 화강암을 이용하여 실험하였다. 수분에 대한 조사를 위해 두 시료는 비슷한 정도의 풍화 등급(CW)을 보이는 것으로 선정하였다. 암석의 표면 변화를 정확히 파악하기 위하여 직경 1.5 in의 core 형태로 각각 2개씩 제작되었다.

두 화강암 모두 석영, 사장석, K-장석 등이 주로 나타나며 부조암광물로 A지역 화강암은 흑운모, B지역 화강암은 각섬석, 미사장석 등이 관찰되었다.

풍화에 매우 민감한 사장석, 정장석 등의 광물과 흑운모 등은 이미 2차 광물로 풍화변질되어 있거나 변질이 진행되고 있는 것으로 판단된다. 현미경 관찰 결과 A지역 화강암이 B지역 화강암에 비해 조금은 더 풍화가 진행된 것으로 추정된다.

인공풍화 실험은 최대한 자연환경과 유사하게 모사하며 극단적인 실험환경을 조성하여 단시간에 최대의 풍화를 유도하도록 설정하였다. 본 연구에서는 국내 기후 조건이 집중호우 시기(여름-가을), 가뭄시 30~40도를 육박하는 고온다습한 시기(여름), 영하로 떨어지는 동결시기(겨울), 해빙되는 시기(봄) 등을 감안하여 다른 인공풍화 사이클을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

시료는 제시된 증류수를 이용한 인공풍화실험방법을 통해 수행하였다. 단, 시료 채취상의 문제로 A지역 화강암을 먼저 core 형태로 제작하여 인공풍화실험을 수행하였고, 이후 26 사이클 이후에 B지역 화강암을 실험할 수 있었다.

인공풍화를 거친 암석은 풍화사이클이 반복되면서 점차 표면이 급속히 변화됨을 관측할 수 있었다. 표면의 변화정도를 보다 정확히 파악하기 위해 Laser profile scanner를 이용하여 보다 정확히 측정하고자 하였다. 관측 결과, 장석 등과 같이 풍화에 약한 부분이 시료에서 떨어져나가고, 점차 거칠어짐을 확인할 수 있었다 (그림 1).

이를 지속적으로 증첩시킴으로써 어떤 광물입자가 어떤 형태로 변화되어 표면에 영향을 미치는지를 파악할 수 있다.

수분 조건만을 제시한 인공풍화실험에서 수분만으로도 암석 표면에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 외부적인 수분 영향이 내부로 침투되면서 암석에 큰 영향을 보이고 있다고 할 수 있다. 앞으로 실험에서 암석의 공극률, 투수율 실험을 통해 암석 내부의 변화를 관측할 필요가 있다.

인공풍화의 횟수가 증가하게 되면 보다 다양한 물성변화양상이 나타날 것으로 예상되며 이러한 기초자료가 축적되면 자연풍화에 의한 석조문화재 풍화의 정량적 평가방법이 도출될 수 있을 것으로 판단된다.

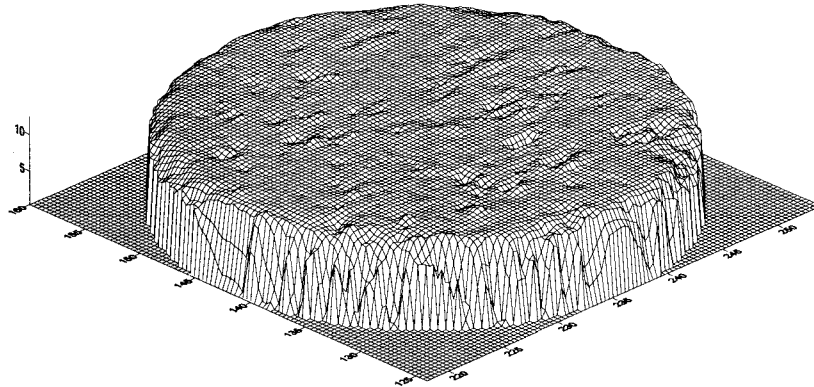


그림 1. 인공풍화 진행후 A지역 화강암(K-1) 표면 이미지.

5. 참고문헌

- 김성수, 1999, 인공풍화 실험을 이용한 석재의 공학적 내구성 평가, 서울대학교 대학원 공학 석사 학위논문, 82p.
- 김근미, 2001, Geotourism 대상지역의 지질공학적 특성 및 장기보존 기술, 서울대학교 대학원 공학석사 학위논문, 73p.
- 김근미, 박형동, 2000, 국내 지질학적 자연유산의 지질공학적 특성, 한국자원공학회 제 75회 학술발표회 논문집, p.106-109
- 장윤섭, 2001, 암석표면 시각정보에 대한 영상처리기법, 서울대학교 대학원 공학석사 학위논문, 110p.
- Jefferson, D.P., 1993, Building stone: the geological dimension, Quarterly Journal of Engineering Geology, 26, p.305-319.
- Hale, P.A. and Shakoor, A., 1998, A laboratory investigation of the effects of climatic changes on unconfined compressive strength of selected sandstones, Proc. of the 8th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Vol. 4, p.2859-2867.
- Park, H.D., 1996, Assessment of the geotechnical properties of the weathered rocks at historical monuments in Korea, Proc. of ISRM International Symposium: Eurock '96, p.1413-1416.
- Winkler, E.M., 1994, Stone in architecture (3rd ed.), Springer-Verlag, p.142-186.

6. 사 사

본 연구는 “과학기술부 국제공동연구 (연구번호:M1010500005301H020005500)” 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.