

## PB2) 경주권역 석조문화재의 생물학적 훼손현황과 풍화 Biodeterioration and Weathering Characteristics of the Stone Cultural Properties in Gyeongju and Boundary

정중현<sup>1)</sup> · 손병현<sup>1)</sup> · 최석규 · 김현규<sup>2)</sup> · 이강우<sup>3)</sup> · 이형근<sup>4)</sup>

서라벌대학 환경과학과, 한서대학교 환경공학과<sup>1)</sup>, 포항공과대학교 화학공학과<sup>2)</sup>,  
부산대학교 환경공학과<sup>3)</sup>, 한국에너지기술연구소 에너지환경연구부<sup>4)</sup>

### 1. 서 론

우리나라는 에너지원 다변화정책의 부족으로 인하여 화석연료의 과다사용 현상을 유발하고 있으며, 이로 인한 대기 및 기상환경의 악화현상이 초래되고 있는 실정이다. 또한, 산성비, 산성안개, 광화학스모그, 은실효과 및 사막화 현상의 원인이 되고 있으며, 이로 인한 심각한 환경오염문제를 유발시키고 있다.<sup>1)</sup> 한편, 경주 및 주변지역에는 1,000여 년을 지켜온 많은 석조문화재와 다양한 문화유적이 산재하여 있다. 그러나, 찬란한 문화유적이 환경오염물질의 유입과 산성비 등에 의해 하루가 다르게 훼손되고 있는 실정이므로 지금부터라도 새로운 각도에서 문화재 보존을 위한 접근 및 문제해결을 위한 방법의 개발이 모색되어야 할 시점이다. 따라서, 본 연구에서는 경주권역과 주변지역에 산재되어 있는 석조문화재에 대해 최근 몇 년간의 자료를 비교·분석하였으며, 생물학적인 측면에서의 석조문화재 훼손과 기계적 풍화현상을 조사하였으며, 이를 바탕으로 환경오염 및 대기오염물질이 석조문화재의 훼손 및 풍화진행 과정에 미치는 영향을 환경공학적 측면에서 접근해 보고자 하였으며, 환경오염물질과 경주지역 석조문화재간의 상관관계를 규명하여 석조문화재 관리를 위한 기초연구 자료로 활용하고자 한다.

### 2. 연구 방법

본 연구에서는 사진촬영 자료를 비교하여 석조문화재 부식현상과 풍화작용 및 문화재 훼손의 진행과정을 조사하였으며, 이와 병행하여 훼손정도가 심한 석조문화재에 대한 기초 물성조사를 수행하였다. 또한, 본 연구에서는 현미경, XRD, SEM-EDX 등을 이용하여 시료의 특성치를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

석조문화재의 표면에서 채취한 이끼류의 현미경 측정결과, 석조물 표면에 곰팡이, 이끼, 조류, 지의류 등 다양한 미생물이 서식하고 있는 것으로 보아, 향후 석조문화재에 미치는 생물학적 훼손에 대한 연구 수행이 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다. 석조문화재가 외부에 노출된 경우 강우에 의해 세척되면 석조면은 chemolithotrophic organism인 세균이 성장하면서 암석에 틈이 형성되고, 미생물의 대사과정에서 나오는 산성물질이 축적되면서 계속하여 암석성분이 용해되어 나오게 되면서 훼손되어 진다.<sup>2)</sup> 한편, 2002년 현재 다보탑과 석가탑 및 감은사지탑 등 신라시대에 만들어진 대표적인 석조문화재들은 박리 및 탈리현상으로 인하여 석재표면이 심하게 손상되었거나, 중심부의 지반침하로 모서리가 위로 치솟는 등 구조적인 변형이 진행되고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 본 연구에서 수행한 SEM-EDX 분석결과, Table 1에서 볼 수 있듯이 풍화가 심하게 된 시료일수록 칼슘, 알루미늄 등의 금속이온의 함량이 적음을 확인할 수 있었다. 이는 균류 등 미생물이 유기산을 생성하여 암석의 칼슘성분을 용해시키고 알루미늄 같은 금속이온을 chelate하여 암석을 훼손하는 것으로 판단된다. 또한, XRD 분석결과 Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 화강암이 점차 분해되어 석영의 결정성이 점차 향상되고 있음도 확인되었는데, 이는 식(1)~(3)에서 보여주듯이 장석이 운모와 고령석, 그리고 석영으로 전환이 진행되고 있음을 간접적으로 확인할 수 있었다. 암석의 화학 및 광물학적 풍화는 주로 용해, 수화, 가수분해, 산화환원, 탄산화 및 킬레이트화 작용 등이 있으나, 대부분은 서로 복합적으로 작용하여 암석의 성분, 성질 및 조직을 파괴한다. 특히 화강암류의 풍화는 장석과 운모류의 변질에서 시작된다는 김 등의 연구결과<sup>3)</sup>와 일치하는 결과를 얻었다.

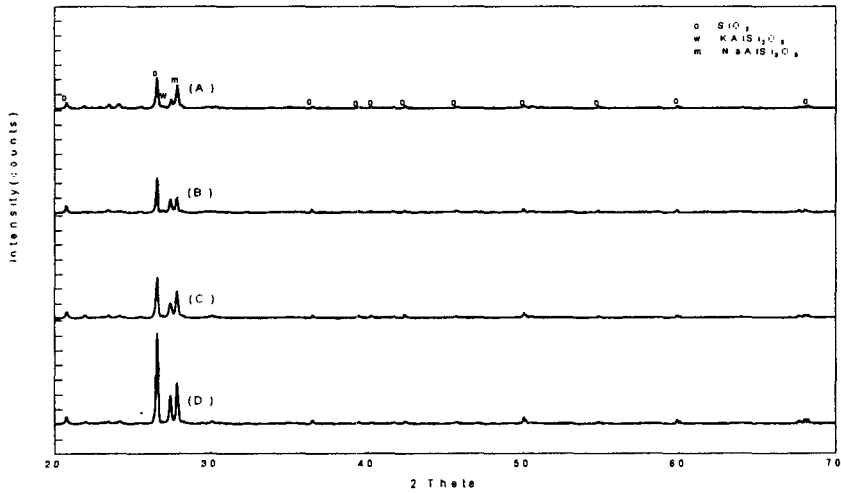
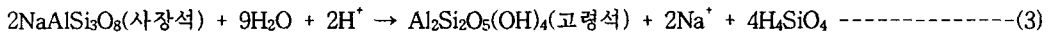
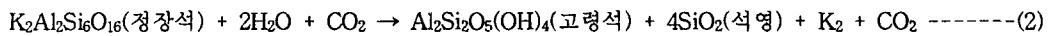
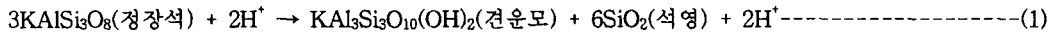


Fig. 1. XRD analysis of stone sample in Gyeongju and boundary.

Table 1. Analysis of EDX results(wt %)

	(A)	(B)	(C)	(D)
O	59.63	60.15	60.25	61.51
Si	27.07	27.53	28.13	27.24
Al	6.14	5.34	4.13	4.69
Na	3.76	3.13	3.26	3.12
K	1.86	2.65	2.49	2.28
Fe	0.36	0.45	0.39	0.70
Ca	0.52	0.21	0.00	0.00
Cu	0.66	0.55	1.36	0.46

본 연구조사에 의하면 경주권역에 산재하는 석조문화재 전반에 대한 훼손 현황조사와 병행하여 기계적 풍화현상 및 물성분석에 의한 각각의 문화재에 대한 대책이 강구되어야 할 것으로 판단되며, 대기오염 및 기타 환경오염에 의한 석조문화재 부식반응 연구의 활성화가 새롭게 요구되는 시점이다.

#### 참고 문헌

1. 정종현, 손병현, 정덕영, (2001), 대기오염물질에 의한 석조문화재 영향조사(I) - 우리나라와 중국의 대기오염물질 발생현황-, (재)한국환경민간단체진흥회·경주환경운동연합, Journal of The Environmental Research, pp. 53-65.
2. 정종현, 최석규, 손병현, 이강우, 이형근, (2002) 대기오염에 의한 경주권역 석조문화재 훼손 현황조사, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집.
3. Kim et al., (1994), The change of natural environmental in the Seoul area : environmental mineralogy of the granite weathering, Journal of the Geological of Society of Korea, 30, 284-296.