

# 지면에 조성된 조립사질 토양이 석조문화재의 훼손에 끼치는 영향

## Influence of Coarse Grained Sandy Soil in Ground on Deterioration of Stone Cultural Properties

도진영(Jinyoung Do)<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>경주대학교 문화재학부

(School of Cultural Assets, Gyeongju University, San 42-1, Hyohyen-dong, Gyeongju, 780-712, Gyeongsangbukdo)

**요약:** 석조문화재 주변의 환경적인 요인은 다양한 형태의 손상을 불러일으킨다. 본 연구에서는 여러 환경 요인 중에서 지면에 조성된 조립사질 토양이 석조문화재의 손상에 끼치는 영향을 불국사 다보탑을 중심으로 살펴보았다. 복잡한 구조를 지닌 불국사다보탑의 주변 지면에는 조립사질토양이 조성되어 있고, 주변은 회랑으로 둘러싸여 있다. 경주의 거센 바람과 수많은 관람객으로 인하여 지면의 토양이 부유되어 복잡한 석탑의 부재 사이에 침착되고 있다. 조립사질토양이 석탑의 손상에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 조립사질 토양과 석탑 주변에 떨어진 풍화편을 채취하여 X-선 회절분석, 편광현미경 및 전자현미경으로 광물조성과 조직을 관찰하였으며, IC와 ICP-AES를 이용하여 수용성 염성분을 분석하였다. 조립사질토양과 풍화편에서는 스멕타이트 뿐만 아니라, 일라이트, 카올리나이트가 검출되었는데, 이들은 수분과 접촉시 팽창을 하여 암석에 압력을 가중시킨다. 풍화편과 조립사질 토양에서는 또한 NaCl 염이 검출되었는데, 이 염은 점토광물에 나트륨이온을 제공하여서, 또는 상대습도 평형을 떨어뜨려서 점토광물의 팽창을 증진시킨다. 분석결과는 조립사질토양이 풍화된 석조문화재의 사이트환경으로는 적절치 못함을 보여준다.

**주요어:** 석조문화재, 조립사질토양, 수용성 염, 점토광물, 사이트환경

**ABSTRACT:** Site environments bring about various different deterioration forms of stone cultural properties. The aim of this study is to document the influence of coarse grained sandy soil on the deterioration of stone cultural properties. Bulguksadabotap is a good example that demonstrates the problem with coarse grained sandy soil. The ground around the Bulguksadabotap is covered with coarse grained sandy soil and the pagoda is surrounded by the corridors. Coarse grained sandy soil float easily in the air and deposit in the complicated stone structure caused by strong wind in Gyeongju and numerous visitors. To explain the influence of coarse grained sandy soil on the deterioration, the coarse grained sandy soil and weathered stone pieces of Bulguksadabotap were analyzed by XRD, optical microscopy, SEM for mineralogical component and IC and ICP-AES for the soluble salts. The soil and weathered stone pieces include clay minerals, such as smectite and kaolinite, can expand with water and exert pressure on the stone. Small size of the clay minerals in the coarse grained sandy soil can easily penetrate into the weathered surfaces of the Bulguksadabotap. The weathered stone pieces also contain NaCl, which is known to contribute to

\*교신저자: hdjy@kju.ac.kr

increase the expandibility of clay minerals by providing with Na<sup>+</sup> or by dropping the equilibrium of relative humidity. These results indicates that coarse grained sandy soil is not proper to site environment for weathered stone cultural properties.

**Key words** : stone cultural properties, coarse grained sandy soil, soluble salt, clay mineral, site environment

## 서론

우리나라의 석조문화재 대다수는 실외에 별 다른 보호시설이 없이 자연에 노출되어 위치하고 있으며, 이들 주변에는 경관을 위하여 수목이 식재되어 있고 지면에는 잔디나 조립의 사질 토양이 조성되어 있다. 석조문화재 주변의 환경적인 요인은 복잡하게 작용하여 다양한 형태의 손상을 야기시킨다(Riederer, 1973). 손상이 상당히 진행된 석조문화재의 진단 및 과학적, 기술적 조치에 대한 연구는 국내외적으로 여러 분야에서 다양하게 진행되고 있으나, 이러한 보존연구는 석조문화재 자체의 손상상태와 손상된 부위를 수리 복원하는 부분에 집중하고 있다. 그러나 손상이 일어나게 된 근본적인 원인을 함께 연구하여 그 문제점을 차단하지 않는 현재와 같은 보존연구는 부분적이고, 단기적이어서 반복적인 손상을 불러일으키는 결과를 가져오게 된다.

석조문화재의 훼손과 관련하여 연구되고 있는 여러 환경 요인 이외에 본 연구에서는 지면에 조성된 조립 사질토양이 석조문화재의 손상에 끼치는 영향을 불국사다보탑을 중심으로 살펴보고자 한다. 국보 20호로 지정된 불국사다보탑의 손상문제는 요즈음 큰 화두로 오를 만큼 세간의 관심을 끌고 있으며, 석조문화재의 손상상태는 이미 조사가 많이 진행되어 보존처리를 기다리고 있고 이러한 손상이 일어나게 된 원인에 대해서도 여러 각도로 연구되었거나 연구중에 있다(김수진 외, 2000; 고려구조ENG, 2001). 불국사다보탑은 총 부재가 266개에 달하는 복잡한 구조를 지니고 있으며, 주변 지면에는 조립 사질토양이 조성되어 있고, 주변은 회랑으로 둘러싸여 있다(그림 1). 예술적인 측면에서는 매우 고무적인 구조적 복잡성이 주위환경 영향과 어우러지면서 보존적인 측면에서는 상당히 어려운 점으로 부각되는 부분이다. 사찰의 전통조경 양식에 따라 석탑의 주변에는 조립사질

토양이 조성되어 있는데, 경주의 거센 바람과 수많은 관람객으로 인하여 지면의 토양이 부유되어 복잡한 석탑의 부재 사이에 침착되고 있다(표 1). 풍화에 의해 점토광물은 암석의 3.5 m 깊이에서도 생성된다고 보고되고 있으며(김수진 외 1994), 더구나 불국사다보탑 같이 심하게 풍화된 암석은 자체적으로 형성된 점토광물 외에 많은 균열 사이로 스며드는 부유 조립사질토양에서 기인한 점토광물 및 수용성 염성분의 영향을 더욱 크게 받는다. 전통양식에 따라 문화재를 보존하고 관리해야한다는 고정적인 관념 때문에 문제점으로 고려되고 있는 제반 사항들이 개선되고 있지 못하는 현실에서, 본 연구를 통해 과학적이고 체계적인 자료를 제시하여 간과되거나 도외시 되고 있는 훼손요인을 제거할 수 있는 기회를 제공하고자 한다.

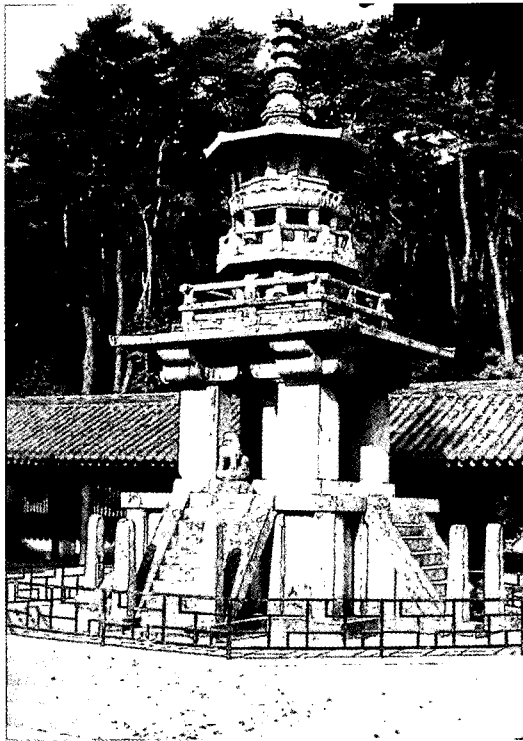
## 연구대상 및 방법

경주 불국사 경내 불국사다보탑 주변 지면에 깔려져 있는 조립 사질토양과 석탑에서 박리되어 탑의 2층 난간에 떨어져 있는 풍화편을 각각 채취하였다. 채취한 시료는 현미경으로 관찰하였으며, 광물 조성분석을 위하여 시료를 60도에서 1시간 동안 건조시킨 후 구경 0.177 mm의 체로 시료를 분리한 후 아게이트 유발에서 분쇄하여 분말 X-선회절분석(XRD)을 실시하였다. 그리고 점토광물의 정확한 감정을 위하여 시료분말과 증류수 혼합액을 초음파 진동기로 처리하여 점토광물의 현탁액을 얻은 후 원심분리하여 미세 입자의 점토광물을 회수하였다. 분리한 시료를 슬라이드 글라스에 도포한 후에 에틸렌글리콜 처리(65℃, 24시간), 550℃ 가열 실험(2시간)을 실시하였다. XRD 분석은 Rigaku RINT2200 모델의 X선회절분석기를 사용하였으며 분석조건은 40 kV/30 mA에서 CuK $\alpha$ 선을 이용하였다.

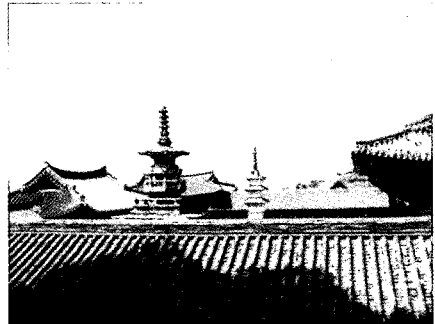
조립 사질토양과 풍화편 시료를 분말화한 후 증

**Table 1.** Average meteorology of the Gyeongju area (data from the Pohang meteorological observatory)

Year	Temperature (°C)		Relative humidity (%)	Rainfall (mm)	Wind speed (m/s)
	highest	lowest			
2002	35.5	-12.5	73.5	1428.0	8.0
2001	36.5	-13.5	71.0	971.0	11.1
2000	35.8	-9.2	69.2	985.5	6.7
1993-2002 Average	31.3	-6.4	-	1113.7	-



(a)



(b)



(c)

**Fig. 1.** Photographs showing Bulguksadabodap and its site environments. (a) the complicate structure and coarse grained sandy soil on the ground, (b) corridors around pagodas, (c) numerous tourists.

류수에 넣어 녹아 나온 이온을 측정하여, 가능한 수용성 염성분을 통계학적으로 조합하였다. 가라앉은 것과 물위에 떠있는 것들은 원심분리 후 여과지로 걸러내었다. 걸러진 용액 중  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ 과  $SO_4^{2-}$  등은 이온크로마토그래피(IC. Ion Chromatograph, LC-10AVP Shimadzu Co.)를 이용하였으며 엘루언트는 1.7 mM  $NaHCO_3$ 와 12.5 mmol  $H_2SO_4$ /1.8 mM  $Na_2CO_3$ 를 사용하여 한국기초과학지원연구원에서 분석하였다.  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  및  $K^+$  등의 양이온은 유도전자결합 플라즈마분석기(ICP-AES, ICP Atomic Emission

Spectrometer, SHIMADZU/ICPS-1000IV)를 사용하여 서울대학교 기초과학교육연구공동기원에서 분석하였다.

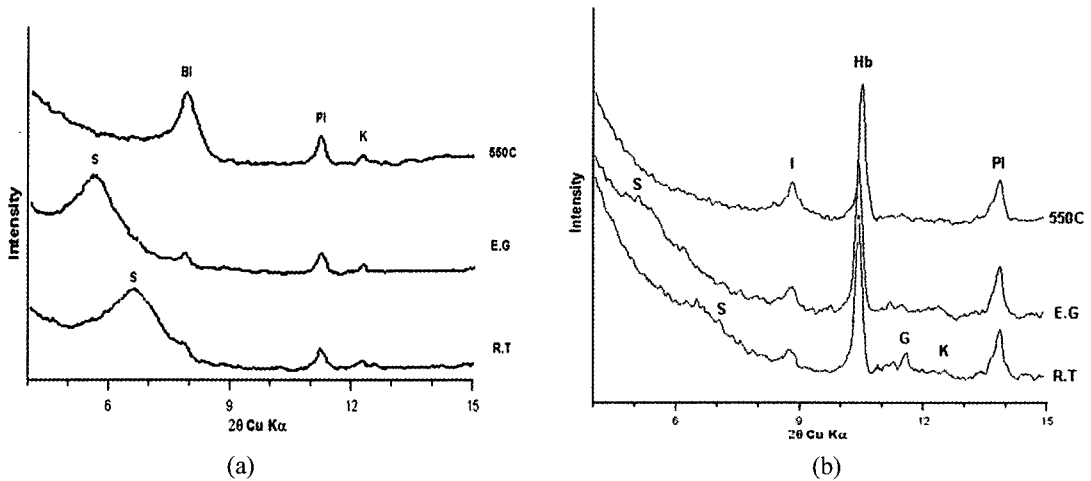
## 연구 결과

### 조성광물성분

불국사다보탑의 구성암석은 문화재를 파괴하여 시료를 채취할 수 없기 때문에 석탑에서 이탈된 풍화편의 분석결과이거나, 부재자체가 총

**Table 2.** Concentration of various ions within the coarse grained sandy soil and weathered stone pieces from Bulguksadabotap (wt.%)

Sample	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
coarse grained sandy soil-1	0.082	0.028	-	0.005	0.430	0.152	2.148	0.438
coarse grained sandy soil-2	0.075	0.011	-	0.002	0.288	0.108	1.657	0.455
weathered stone pieces-1	0.024	0.014	-	0.012	0.267	0.143	2.226	0.370
weathered stone pieces-2	0.028	0.009	-	0.018	0.383	0.183	2.217	0.403



**Fig 2.** X-ray diffraction patterns of oriented powder samples. Note that the smectite peak shift after ethylene glycol treatment, (a) coarse grained sandy soil, (b) weathered stone pieces of Bulguksadabotap (Hb: hornblende, I: illite, K: kaolinite, S: smectite, Bi: biotite, Pl: plagioclase, E.G: Ethylene glycol, R.T: room temperature, 550°C: heated up to 550°C).

266점이기 때문에 다양한 종류의 암석이 사용되었기 때문인지, 사용암석에 대한 암석명이 토함산 화강섬록암(김수진 외, 2000)과 남산화강암(좌용주 외, 2000) 등 다양하게 거론되고 있다. 토함산 화강섬록암은 중립에서 조립질이며 지역에 따라 특히 각섬석과 흑운모의 함량이 달라서 흑운모가 우세하게 함유된 경우와 흑운모와 각섬석이 비슷한 양으로 함유된 경우도 있으며, 주 구성광물은 사장석, 석영, 알칼리장석, 흑운모와 각섬석 등이고 부성분 광물로는 저어콘, 인회석, 갈륨석, 자철석 및 티탄철석 등으로 알려져 있다. 남산화강암도 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석 및 흑운모라고 밝혀져 있다.

어떠한 종류의 암석이든 간에 신선한 암석에 비하여, 불국사다보탑의 풍화암편과 지면의 조립 사질토양의 구성광물은 차이를 보였다. 조립

사질토양의 분말 X선회절 분석결과, 그림 2a에서 보는바와 같이 팽윤성 점토광물인 스멕타이트와 팽윤하지 않는 것으로 알려진 카올리나이트가 검출되었으며, 풍화편(그림 2b)에서는 일라이트, 스멕타이트와 카올리나이트가 확인되었다. 풍화편은 흑운모와 사장석이 시료의 가장자리 부분에서 더 많이 점토광물로 변질되어 있으며, 많은 입자 내에는 미세균열이 형성된 것이 관찰된다(그림 3). 그림 4에서 살펴보는 바와 같이 전자현미경으로는 공극 내와 입자 사이에서는 점토광물과 철산화물이 침전되어 있는 것을 관찰할 수 있으며, 광물의 표면에는 미세한 크기의 염들이 부착되어 있고, 흑운모의 입간이 많이 벌어져 있어 그 사이로 여러 작은 풍화산물들이 들어가 있는 것을 관찰할 수 있다.

분석된 두 결과를 비교하면 조립 사질토양과 풍화편 내의 점토광물이 매우 유사하다고 할

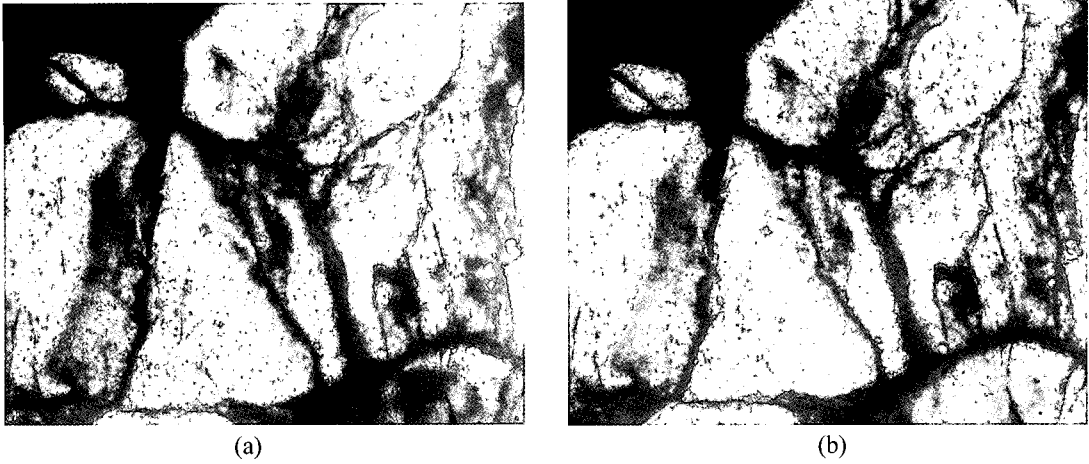


Fig 3. Microphotographs of the weathered stone pieces from Bulguksadabotap. Note the intergranular cracks in a mineral grain. (A) crossed nicol, (B) open nicol (Scale: 0.2 mm).

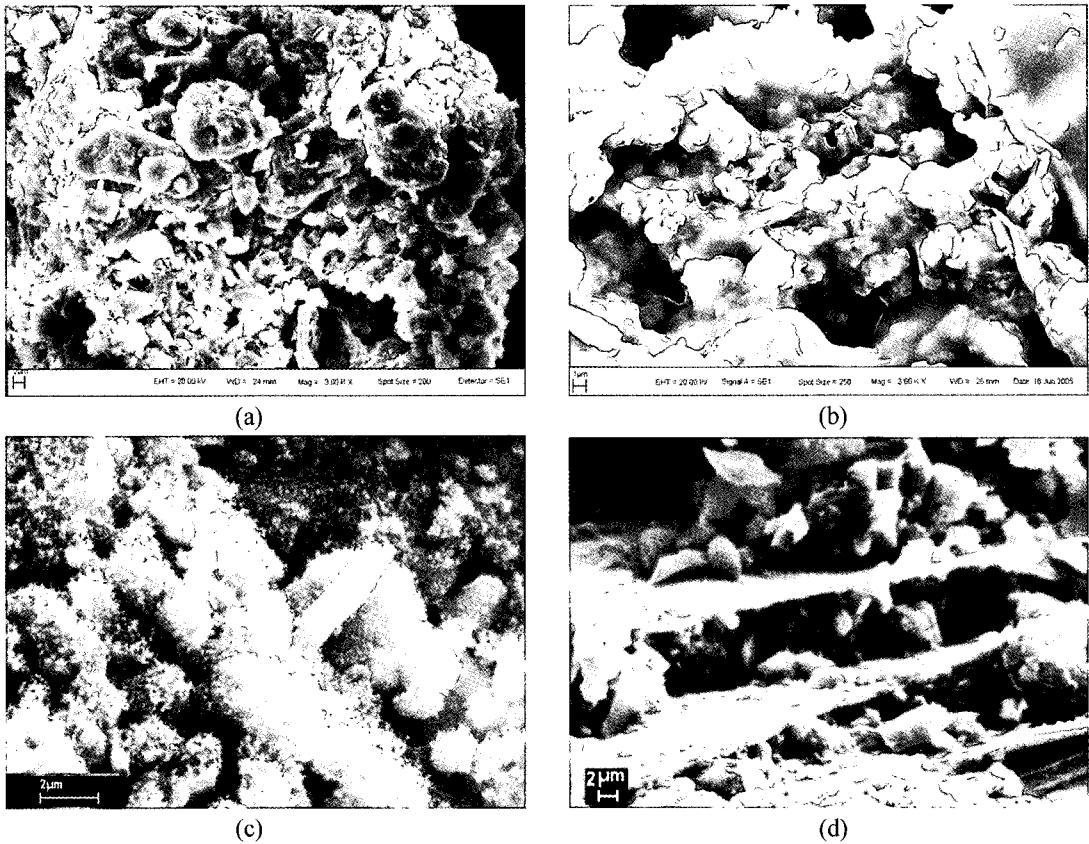


Fig 4. SEM microphotographs of weathered stone pieces of Bulguksadabotap. (a) fine clay minerals deposited at the stone surface, (b) aggregate of clay minerals in pore spaces, (c) formation of the layer very fine salts at the surface of mineral, (d) deposition of weathering products between biotite cleavages.

수 있다. 이는 풍화면 내의 점토광물이 구성암석의 풍화에 의해 생성된 것일 수도 있지만, 주변에 조성된 조립사질 토양이 공기 중으로 부유하여 풍화되어 느슨해진 암석의 조각사이로 스며들어가 형성된 것일 수 있음도 배제할 수 없다는 것을 암시한다.

### 수용성 염성분

시료에 따라 차이는 있지만 용출된 이온은  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  및  $K^+$ 가 상당량 검출되었다. 검출된 이온으로 형성 가능한 염은  $NaCl$ 이며  $Na$ 과  $K$ 는 사장석의 주구성 원소로 다량 검출된 이들 이온의 기원으로 추정된다.

불국사다보탑에서는 탑신부 난간 내부에 부유토양이 침착하여 두터운 점토층이 형성되어 있다. 빗물에 의해 난간 아래로 스며내리는 수분 중에는 침착된 토양에서 용해된 염성분들이 함유되어 있으며, 석재의 표면에서 결정화되어 백색, 갈백색으로 침전되어 있다. 석조문화재 표면에 쌓인 부유토양이 빗물과 같은 수분과 반응하면 토양 중의 수용성 성분이 녹아나오고 이 성분들이 염을 형성하여 암석의 표면과 내부에서 결정화되면서 암석의 손상에 큰 영향을 끼치게 된다. 더구나 다보탑은 이러한 부유물질이 잘 쌓이고 배수의 막힘 등으로 쌓여진 먼지가 빗물에 의해 쉽게 씻겨나가지 못하는 구조라서 염성분에 의해서 그 손상은 더욱 클 것으로 판단된다.

상부에서 흘러내린 염이 함유된 수분은 부재와 부재사이에서 머무르게 되고 건조되면서 결정으로 석출된다. 난간 모서리의 햇볕이 잘 들지 않는 위치의 특성상 습한 분위기가 자주 형성되므로 염용액이 건조되어 결정화되었다 할지라도 강한 흡습성을 지닌 염이 늘 수분을 함유하게 된다. 이렇게 함유된 수분은 암석조직의 미세한 틈으로 침투하여 그 모세관압에 의해 틈이 더 커지게 하는 등의 물리적 손상을 불러일으킨다(Winkler and Wilhelm, 1970). 염용액은 또한 염의 종류에 따라 다양한 pH값을 보여 석재 내의 다른 광물들의 용해를 유도하며, 이온교환을 통하여 광물들을 부식시킨다.

### 토 의

분석 결과 불국사다보탑의 풍화된 석재부위에서는 다량의 점토광물과 염성분이 검출되었다. 또한 지면에 조성된 조립사질토양도 스�멕타이트와 같은 팽윤성 점토광물을 비롯하여 카올리나이트 등의 점토광물이 다량 함유되어 있다. 이 토양은 바람이나 관람객들에 의해 부유되어 다보탑의 표면에 침착하여, 풍화되어 느슨해진 암석의 내부로 쉽게 이동하게 된다. 불국사다보탑처럼 실외에 노출된 문화재의 표면은 눈, 비뿐만 아니라 공기 중의 습기와도 늘 접하고 있다.

수분에 의해 암석의 내부로 유입되는 점토광물과 암석자체의 풍화산물인 점토광물은 암석의 공극내로 스며들어난 수분에 의해 팽창되고, 그 팽창압에 의해 암석구조가 압박을 받게 되며, 건습의 반복작용은 팽창과 수축의 반복을 일으켜 암석을 손상시키게 된다(Brattli and Broch, 1995). 일반적으로 점토광물은 대체로  $4\ \mu m$  이하의 입도이며, 층간을 이루고 있어 표면적이 크다. 특히 스�멕타이트와 같은 점토광물은 층간 결합력이 약해 층간으로 다른 이온이나 물분자가 쉽게 드나들 수 있어 팽윤하는 특성을 지니고 있으며, 탈수작용과 수화작용이 잘 일어난다. 점토광물의 팽창은 크게 점토광물 내에 교환가능한 양이온의 수화에 의해서 발생하는 결정팽창과 점토광물의 표면과 공극 내 수분의 농도차에 의해 발생하는 삼투팽창으로 대별된다(Madsen and Muller-Vonmoos, 1989). 스�멕타이트와 같은 점토광물은 결정팽창을 하여 팽윤성이 큰 광물이기 때문에 스�멕타이트를 다량 함유한 불국사다보탑의 풍화부위에서 더욱 손상이 진행되리라는 것은 쉽게 이해된다. 그러나 비팽창성 점토광물로 알려진 일라이트나 카올리나이트에서도 삼투팽창에 의한 팽창이 일어남이 보고되고 있기 때문에(Morris and Shepperd, 1982), 석탑에서 검출된 이러한 점토광물에 의한 손상도 배제할 수는 없다.

수용성 염성분이 여러 가지 형태로 석조문화재의 손상에 큰 영향을 미친다는 것을 이미 언급하였다. 그러나 염이 미치는 직접적인 영향 외에 점토광물과의 관계속에서 암석의 손상에 미치는 영향을 고려해 볼 수도 있다. 염으로 인해 손상이 발생한 석조물에 물을 이용해 탈염처리를 하는 경우가 있는데, 탈염 후 암석의 손

상이 더욱 심해진 사례가 발표되었으며, 더구나 물로 탈염처리한 후에 박물관내 수장고에 보관된 것들에서도 손상이 계속 진행되고 있는 경우도 보고된 바 있다(Price *et al.*, 1994). 이러한 손상은 염만의 영향으로는 볼 수 없으며, 많은 경우 암석 대부분은 염성분 이외에 점토광물을 다량 함유하고 있다. 음전하를 띄는 점토표면은 다양한 이온이나 물을 흡착할 수 있는데, 석조문화재가 함유하고 있는 NaCl과 NaNO<sub>3</sub> 염은 Na<sup>+</sup>을 제공하고, Na<sup>+</sup>은 수화되어 점토결정의 팽창을 초래한다. 점토광물은 물과의 접촉뿐만 아니라 상대습도의 변화에 의해서도 팽창과 수축을 하는데, 이때 공극 내에 염이 있으면 상대습도 값이 낮아도 수분으로 응축되어 팽창을 시키게 된다. 특히 NaNO<sub>3</sub> 염은 조해성이 커서 상대습도가 75% 이상이면 녹기 시작하여 점토를 팽창시킨다(Arnold and Zehner, 1990). 혼합염이 있을 시에는 염의 상대습도 평형을 떨어뜨려, 상대습도가 75% 이하일 때에도 암석의 공극 내에는 수분이 물의 형태로 존재할 수 있다(Price and Brimblecombe, 1994). 이와 같이 염은 상대습도평형을 떨어뜨림으로서 간접적으로 영향을 끼치고, 이온을 제공하여 줌으로서 점토광물의 삼투팽창을 커지게 한다. 이러한 결과는 수용성 염성분이 점토광물의 팽창을 증진시켜, 이러한 광물을 다량 함유한 석조문화재의 손상을 가중시킨다고 할 수 있다.

## 결 론

문화재들은 주어진 주변 환경에 의해 여러 손상이 일어날 수 있다. 불국사다보탑 부재의 표면에는 석영, 각섬석, 흑운모, 사장석 및 일라이트, 스멕타이트, 카올리나이트 등의 점토광물로 구성된 흑갈색층이 형성되어 있다. 여러 원인들이 있겠지만 주변 지면에 조성된 조립사질 토양이 관람객의 이동이나 바람에 의해 부유되어 석조물 표면에 쌓여 형성되었을 가능성에 대해, 조립 사질 토양의 조성광물성분이 다보탑 난간에 형성된 점토층의 조성성분과 유사함을 보여주는 분석을 통해 살펴보았다.

검출된 점토광물은 팽윤성의 스멕타이트 뿐만 아니라, 비팽윤성으로 알려져 있지만 삼투팽창이 일어날 수 있는 일라이트, 카올리나이트로 존재하며, 이들은 수분과 접촉시 팽창을 하여

암석에 압력을 가중시킬 수 있다. 이렇게 침착된 토양이 빗물과 같은 수분과 반응하면 수용성 염성분이 녹아 나오고 암석의 표면에서 결정화되어 암석의 표면을 변화시키게 된다. 물에 잘 용해되는 염은 다공성 구조의 암석을 다양한 방법으로 손상시킨다. 염은 흡습작용을 하기 때문에 표면에 형성된 염 때문에 암석 안의 습기는 증가하고, 그로 인해 습기가 증가된 부분에서 모세관물흡수가 일어나는 악순환이 계속된다. 또한 수용성염성분은 나트륨이온을 제공하거나 상대습도 평형을 떨어뜨려서 습도가 낮은 상태에서도 점토광물의 팽창을 증진시킬 수 있음을 살펴보았다.

불국사 두 석탑 주위에는 그림 1c에서 보는 바와 같이 바닥의 일부는 돌판을 깔아 그 위로 사람들의 이동을 유도하였으나 관람객이 많은 경우에는 통제가 어렵다. 또한 바람으로 인해 토양이 부유되는 것도 제지하기 어려운 일이다. 따라서 문화재의 손상에 영향을 끼칠 수 있는 조립사질 토양이 문화재 주변에 조성되어야 하는가에 대해 고려해 보아야 한다. 조립 사질토양이 사찰의 고유한 성격이어서 그대로 조성되어야 하는 것이라면 관람객의 수를 제한 또는 관람방법에 대한 주의사항을 강화시킨다든지 하는 여러 방법을 숙고하여야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 2005년도 경주대학교 학술연구비의 지원에 의해 이루어 졌다.

## 참 고 문 헌

- 김수진, 이민성, 김원사, 이수재 (1994) 서울지역의 자연환경 변화에 관한 연구; 남산화강암의 풍화에 관한 환경광물학적 연구, 지질학회지 30, 284-296.  
 김수진, 여상진, 장세정, 성소영, 이범한 (2000) 불국사다보탑의 훼손현황과 보존대책, 한국문화재보존과학회, 제12차 학술대회논문집, 19-26.  
 좌용주, 이상원, 김진섭, 손동운 (2000) 경주 불국사와 석굴암의 석조 건축물에 사용된 석재의 공급지에 대하여, 지질학회지, 36, 335-340.  
 (주)고려구조ENG (2001) 정밀안전진단보고서 불국사다보탑, 경주시, 181p.  
 Arnold, A. and Zehner, K. (1990) Salt weathering on monuments, Analytical methodologies for the investigation of damaged stones, 14-21.

- Brattli, B. and Broch, E. (1995) Stability problems in water tunnels caused by expandable minerals: Swelling pressure measurements and mineralogical analysis. *Engineering Geology*, 39, 151-69.
- Madsen, F. and Muller-Vonmoos, M. (1989) The swelling behavior of clays. *Applied Clay Science*, 4, 143-56.
- Morris, K. and Shepperd, C. (1982) The role of clay minerals in influencing porosity and permeability characteristics in the Bridgeport Sand of Wytch Farm, Dorset. *Clay Minerals*, 17, 41-54.
- Price, C. and Brimblecombe, P. (1994) Preventing salt damage in porous materials. Preprints of the Congress on Preventive Conservation Practice Theory and Research, Ottawa. London, International Institute for Conservation. 90-93.
- Riederer, J. (1973) Staub-Reinhalt, *Luft*, 33, 5.
- Winkler, E. and Wilhelm, E. (1970) Saltbrust by hydration pressures in architectural stone in urban atmosphere, *Geol Soc Am Bull*, 81(2), 567-572.

---

2006년 3월 10일 원고접수, 2006년 3월 20일 게재승인.