

이명성, 최희수  
김지영, 이찬희  
김선덕

함양 승안사지  
삼층석탑의  
풍화훼손도  
진단과  
보존처리

08»

# 함양 승안사지 삼층석탑의 풍화훼손도 진단과 보존처리

이명성<sup>\*.1</sup>, 최희수<sup>\*\*</sup>, 김지영<sup>\*\*</sup>, 이찬희<sup>\*\*</sup>, 김선덕<sup>\*\*\*</sup>

\*국립문화재연구소 보존과학연구실, \*\*공주대학교 문화재보존과학과, \*\*\*서진문화유산(주)



## Deterioration Diagnosis and Conservation Treatment of the Three-storied Stone Pagoda in Seungansaji Temple Site, Hamyang, Korea

Myeong Seong Lee<sup>\*,1</sup>, Hee Su Choi<sup>\*\*</sup>, Ji Young Kim<sup>\*\*</sup>  
Chan Hee Lee<sup>\*\*</sup>, Sun Duk Kim<sup>\*\*\*</sup>

\*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

\*\*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University

\*\*\*Seojin Cultural Heritage Conservation Co. Ltd.

<sup>1</sup> Corresponding Author : mslee75@korea.kr

### | 초록 |

함양 승안사지 삼층석탑은 중립 내지 세립질의 흑운모화강암과 화강편마암이 주를 이루고 있으며 부분적으로 거정질편마암, 백운모편마암, 반려암질암이 혼용되었다. 이 석탑은 주변의 수목 및 잔디에 의해 전면에 걸쳐 지의류와 선태류 등이 서식하고 있어 석탑 표면이 심하게 훼손되어 있다. 따라서 이 연구에서는 이 석탑에 대한 종합적인 풍화훼손도 진단과, 이를 근거로 보존처리를 수행하였다. 보존처리에서는 석탑의 전면에 걸쳐 자생하는 지의류 및 오염물 등에 대해 부드러운 솔과 나무칼을 사용하여 건식세정을 실시하였고 이때 고착지의류 등 잘 제거되지 않는 부분은 증류수를 이용한 습식세정으로 제거하였다. 또한 기존에 설치되어 있는 보호난간을 석탑과의 거리를 고려하여 적당한 높이로 재설치하였으며, 석탑 주변의 지반은 마사토로 정비하고 배수흐름을 원활하게 하기위해 자연구배를 두고 자연측구를 설치하였다.

주제어: 석탑, 훼손, 생물오염, 보존처리

### | ABSTRACT |

The three-storied stone pagoda located in Seungansaji temple site consists mainly of medium to fine-grained biotite granite and granitic gneiss, and partly macrocrystalline gneiss, muscovite gneiss and gabbro. The surface of the stone pagoda is extensively colonized by lichen and moss due to surrounding trees and lawns, and severely deteriorated. Therefore, a comprehensive deterioration diag-

\*접수: 2011. 9. 30 \*수정: 2011. 10. 28 \*게재확정: 2011. 11. 1

nosis has been carried out and conservation treatment was conducted in this study. For the conservation treatment, dry cleaning is performed throughout all the surface of the pagoda for naturally grown lichen and biological contaminants using a soft brush and wooden knife. Crustose lichen strongly adhere to the surface was removed by wet cleaning using distilled water. Also, protective railings were reinstalled to an appropriate height with taking the distance from the stone pagoda into account. Finally, the ground around the stone pagoda was repaired with clay sand, and dike was installed with a natural gradient to facilitate water drainage.

*Key Words* : Stone pagoda, Deterioration, Biological contaminant, Conservation treatment

## 1. 서론

함양 승안사지 삼층석탑은 보물 제294호로 경남 함양군 수동면 우명리 263번지 승안사터에 위치하고 있는 고려시대 탑이다. 이 석탑은 2단의 기단위에 3층의 탑신을 올린 모습으로, 통일신라의 양식을 따르면서도 부분적으로 고려시대 석탑 특유의 기법으로 제작되었다. 현재 승안사지 삼층석탑은 기단부에서부터 상륜부인 양화까지 전체적으로 생물오염과 습기 등으로 인하여 석탑 표면이 훼손되어 있으며 기단석 일부에서는 시멘트 몰탈로 충전한 흔적 및 부분도 관찰된다.

역사적 및 학술적으로 중요한 문화유산임에도 불구하고 승안사지 삼층석탑을 포함한 대부분의 석조문화재는 다른 재질의 문화재에 비해 아무런 보호시설 없이 야외에 노출되어 있는 것이 현실이다. 따라서 오랜 시간 기온변화와 산성비 등의 각종 대기환경에 의한 풍화작용에 그대로 방치되어 암석의 조직을 파괴시킬 뿐 아니라 광물의 변질작용을 이차적 표면오염이 심각한 상황이다. 더구나 습기와 같은 수분은 구성광물의 분해와 변질을 유발하여 석탑 전면에 풍화 잔류물을 생성케 한다. 또한 침식작용도 수반되어 박리, 박락, 입상분해 등과 같은 기계적

훼손을 발생시켜 석탑 자체의 물리적 강도를 상당 수준 약화시키는 결과를 초래한다.

이와 같은 암석의 풍화와 물성변화에 대해서는 이미 국내외의 전문가에 의해 포괄적으로 논의된 바 있다(Chesworth, 1971; Lee and Delfreitas, 1989; 김영화와 장보안, 1992; 이석훈과 김수진, 2000). 이 연구방법론들이 석조문화재에 적용되면서 구성재질의 풍화와 보존에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다(김영택 외, 2005; 도진영, 2005; 박맹언 외 2005; 이선명 외, 2007; 이찬희 외, 2004a, 2004b, 2005; Fitzner et al., 2004; Lee et al., 2005; 2006; 2007).

승안사지 삼층석탑은 우리나라 대부분의 석조문화재와 마찬가지로 대기 중에 무방비 상태로 노출되어 물리적, 화학적 및 생물학적 풍화의 복합작용으로 손상된 상태이다. 따라서 이 연구에서는 구성암석의 재질특성과 요인별 훼손 상태를 진단하고 보존과학적 훼손도를 평가하였다. 이 결과를 종합하여 보존방안을 제시하고 부분적인 보존처리를 실시하였다. 이 자료는 삼층석탑의 안정적이고 장기적인 보존관리에 있어 중요한 자료가 될 것이며, 나아가 석조문화재의 과학적 보존시스템 확립을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

## 2. 현황과 연구방법

### 2.1. 현황

이 석탑은 10세기의 고려시대 탑으로 이중기단 위에 3층의 탑신을 올린 통일신라시대의 전형적인 양식을 계승하고 있다(Fig. 1A). 상층기단의 4면에는 부처, 보살, 비천이 탱주를 사이에 두고 각 면에 2구씩 모두 8구가 조각되어 있다. 하나의 암석으로 된 상층기단 갑석에는 복련의 연꽃잎이 특이하게 새겨졌고 1층 탑신석에는 사천왕이 새겨졌다. 3층옥개석은 모두 4단의 받침이 있으며 추녀선은 직선이고 지붕면은 물매가 급하다. 상륜부에는 노반, 복발, 양화가 남아 있다(문화재청, 2011).

탑신은 각 층의 탑신석과 옥개석을 각각 하나

의 돌로 이루고 있다. 2층부터는 탑신석의 크기가 눈에 띄게 줄어들고 있는데, 1층 탑신석에는 각 면마다 사천왕상을 조각하여 놓았다(Fig. 1B). 옥개석은 탑신석에 비해 넓고, 밑면에 4단의 받침을 두었다. 지붕의 경사는 급하고, 처마는 수평을 이루며 네 귀퉁이가 거의 들려있지 않아 둔중해 보인다. 탑의 꼭대기에는 노반위에 복발과 양화가 남아있으며 찰주가 있던 부분에는 원통형 흔적만 남아 흠으로 채웠다(Fig. 1C).

1962년 이 탑을 현재 위치로 옮길 때, 1층 탑신석에서 사리장치가 발견되었다. 탑의 높이가 4m이며 아름다운 10세기 조각예술을 엿볼 수 있는 석탑이다. 현재 승안사지 삼층석탑은 전면에 걸쳐 지의류와 이끼류 등이 서식하고 있어 석탑 표면이 심하게 훼손되어 있으며 기단석의 일부에서는 시멘트 몰탈도 관찰된다(Fig. 1D, 1E).



Fig. 1. Site occurrence of the three-storied stone pagoda in Seungansaji temple site. (A) Panoramic view (B) First story (C) The pole hole on the top (D) Biological colonization on roof stones (E) Cement mortar of the basement stone (F) Forested surrounding environment

주변에는 탑에 직접적인 영향을 가하는 수목과 지반에서 서식하고 있는 잔디 때문에 수분 유지 시간이 길어져 지대석 및 기단부가 미생물의 오염이 심각하다(Fig. 1F). 또한 석탑 주위로 둘러져 있는 석난간이 지나치게 높아 석탑의 경관을 해치고 있는 실정이다. 따라서 이 석탑의 지질학적 및 생물학적 파괴를 저감하기 위한 보존대책이 절실한 실정이다.

## 2.2. 연구방법

승안사지 삼층석탑은 풍화를 받기 쉬운 야외에 노출되어 있어 전체적으로 표면오염과 탈락, 박리·박락, 생물학적 피해 등 다양한 풍화특성을 보인다. 따라서 이 연구에서는 삼층석탑의 구성재질에 대한 암석학적 및 광물학적인 연구를 수행하였고, 석탑의 풍화 및 훼손상태에 대한 종합적인 진단을 실시하였다. 또한 이를 토대로 삼층석탑의 장기적 보존을 위한 보존과학적 보존처리를 실시하였다.

이 연구를 위해 우선 구성부재의 암석학적 특징에 대한 정밀 육안관찰과 석탑에서 탈락된 암편을 분석용 시료로 채취하였다. 또한 구성재질의 암석학적인 연구를 위해 석탑 구성암석에 대해 전암대자율 측정을 실시하였다. 계측기기는  $10^{-7}$  SI 단위의 측정 한계를 가진 SM30(Susceptibility Meter) 모델을 이용하였으며 대자율의 단위는  $10^{-3}$  SI unit로 표기하였다.

채취한 분석용 시료는 석탑 구성암석의 광물학적 및 조직적 특징과 조암광물의 정밀한 동정을 위해 편광현미경 관찰과 X-선 회절분석을 실시하였다. 여기에 사용된 편광현미경은 자동계수기가 장착된 Nikon사의 Eclipse E600W이며, X-선 회절분석기는 Rigaku제 D/Max-

IIB을 이용하였고 사용된 X-선은  $CuK\alpha$ , 양극의 가속 전압 및 필라멘트의 전류는 각각 40kV와 60mA이다.

이 석탑의 풍화 및 훼손상태에 대한 종합적인 진단을 위해서 요인별 훼손상태를 진단하고 실측도면을 바탕으로 종합훼손지도를 작성하였다. 훼손도면 작성에 사용된 프로그램은 2D그래픽 전문 응용프로그램인 Adobe Illustrator이다. 보존처리는 석탑 전면의 세정과 지의류, 이끼류를 제거하는 작업을 실시하였으며 주변 정리 공사와 지반과 부지를 정비하였다.

## 3. 재질특성

### 3.1. 암석 및 광물학적 특징

승안사지 삼층석탑 일대의 지질은 충적층, 고기하성층, 편마암상화강암, 세립질편상화강암, 편마암상섬록암질암, 호상편마암, 세립화강암질편마암 및 미그마타이트질편마암 등이 분포하고 있으며(김옥준 외, 1964), 석탑도 다양한 종류의 암석이 사용되었다. 정밀육안관찰 결과, 석탑을 구성하는 암석은 중립 내지 세립질의 흑운모화강암과 화강편마암이 주를 이루고 있으며 부분적으로 거정질편마암, 백운모편마암, 반려암질암이 혼재한다.

흑운모화강암은 기단부와 1층 탑신석, 3층 탑신 및 옥개석을 구성하고 있으며 부분적으로 페그마타이트 세맥이 형성되어 있다(Fig. 2A). 페그마타이트 세맥은 폭 10cm 이하로 거의 대부분의 부재에서 관찰되며 유백색을 띠고 있다(Fig. 2B). 화강편마암은 1층 옥개석과 상륜부의 노반, 북측면 기단부의 면석에서 확인되며 흑운모의 배열에 의하여 편리가 잘 관찰된다(Fig.

2C). 또한 기단부에 거정질편마암이 관찰되는데 석영, 장석 등의 입자가 2~5mm로 조립질이다(Fig. 2D). 이 외에도 석탑에는 2층 탑신석의 백운모편마암, 상륜부 복발과 양화의 반려암질암이 혼용되었다(Fig. 2E, 2F).

석탑의 구성암석 중 중립 내지 세립질의 흑운모화강암과 화강편마암의 광물조성, 광물학적 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성을 밝히고자 석탑에서 탈락된 미세시편으로 박편을 제작하여 편광현미경 관찰을 실시하였다. 흑운모화강암은 입자의 크기가 대소를 보이며 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모 등이 주구성광물로 산출되며, 미사장석과 자철석이 부구성광물로 관찰된다(Fig. 3A). 이 중 사장석은 주로 알바이트(albite)와 칼스바드(carlsbad) 쌍정을 이루고 있으며 부분적으로 견운모화 되었다(Fig.

3B). 정장석은 입자 전체가 균질하게 변질되지만 내부가 외각보다 더욱 심한 변질을 받았다.

화강편마암은 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 흑운모가 주구성광물이며, 흑운모가 미약한 선상배열을 하고 있다(Fig. 3C). 이 암석도 흑운모화강암과 마찬가지로 심한 풍화작용을 받아 석영은 미세균열이 발달하였고 흑운모도 입자 경계나 벽개면을 따라 녹니석화된 것을 볼 수 있다(Fig. 3D). 석탑에서 탈락된 미세시료 중 흑운모화강암과 화강편마암을 대상으로 X-선 회절 분석을 실시하였다(Fig. 3E). 그 결과, 흑운모화강암과 화강편마암 시료에서 석영, 정장석, 사장석, 운모 등이 동정되었다. 이는 편광현미경을 통해 관찰된 구성암석의 조암광물과 일치하는 결과이다.

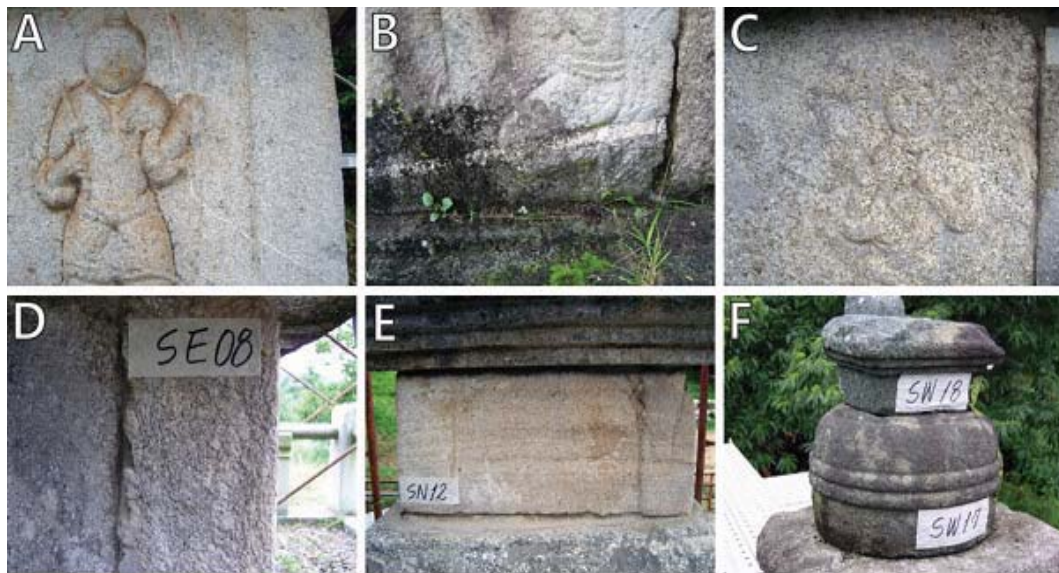


Fig. 2. Rock materials of the pagoda. (A) Biotite granite of the first body stone (B) Pegmatite vein on biotite granite of the basement stone (C) Granitic gneiss of the basement stone (D) Macrocrystalline gneiss of basement stone (E) Muscovite gneiss of second body stone (F) Gabbro of top stones

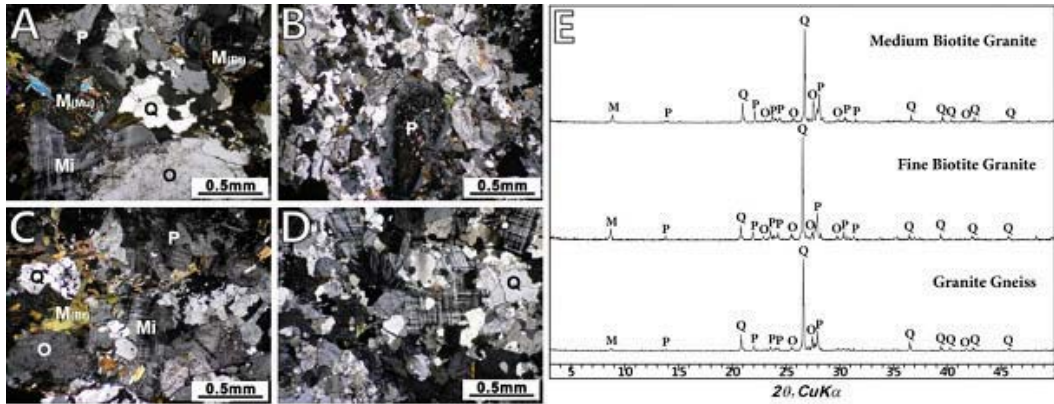


Fig. 3. Polarizing microscopic images and X-ray diffraction patterns of the biotite granite and granitic gneiss. (A) Quartz, feldspar and mica of biotite granite (B) Sericitization of feldspar (C) Linear texture of biotite in the granitic gneiss (D) Microfissured quartz and clay-mineralization of microcline due to weathering (E) X-ray diffraction patterns. Q; quartz, P; plagioclase, O; orthoclase, M; mica

### 3.2. 전암대자율

승안사지 삼층석탑을 구성하는 암석을 대상으로 암석학적 요인에 의한 재질특성을 파악하기 위해 전암대자율을 측정하였다. 전암대자율은 암석의 자화강도를 구분하기 위한 암석학 연구의 한 수단이며, 대자율은 물질의 자기적 특성을 결정하는 상수로서 자철석 함량과 상관관계를 가진다. 일반적인 화강암의 대자율은  $1.256(\times 10^{-3}$  SI unit)을 기준으로 이 값보다 높으면 자철석 계열, 낮으면 티탄철석 계열로 분류한다(Ishihara 1998).

자철석계열 및 티탄철석계열은 마그마의 기원물질, 지각물질의 오염 그리고 마그마 분화에 따른 분별정출작용 등에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다. 이는 암석의 재질을 특징지어 동질성을 파악하는 효과적인 방법으로 국내외 석조문화재 산지를 해석하는데 적용되어 문화재의 원형복원에 활용되어 왔다(좌용주 외 2006;

양희제 외 2006; 이찬희 외 2007; 이명성 외 2009; Uchida et al 2006). 대자율의 측정은 석탑의 각 방향에서 전면에 걸쳐 실시하였으며, 총 110회에 걸쳐 측정하였다(Fig. 4).

석탑을 구성하는 암석들은 대부분 4이하에서 대자율 분포범위를 갖는다. 흑운모화강암은  $1.01\sim 3.51(\times 10^{-3}$  SI unit)의 범위 내에서 분포하며 비교적 균일한 분포를 갖는다. 화강편마암과 백운모편마암은 각각  $0.42\sim 2.14$ 와  $0.03\sim 0.06$ 의 범위 내에서 분포하며 평균 1.58과 0.05의 수치를 갖는 것으로 나타났다. 각 방향의 대자율 수치는 별다른 차이를 보이지 않았으나 석탑을 구성하는 암석의 종류에 따라 다소 차이를 보이고 있었다. 특히 상륜부를 구성하는 반려암질암에서 10이상의 높은 값이 측정되기도 하였다. 이처럼 각각의 대자율 차이는 석탑을 구성하는 암석이 다양한 종류로 사용된 중요한 증거이며 석재의 산지를 추정하는데 활용할 수 있을 것이다.

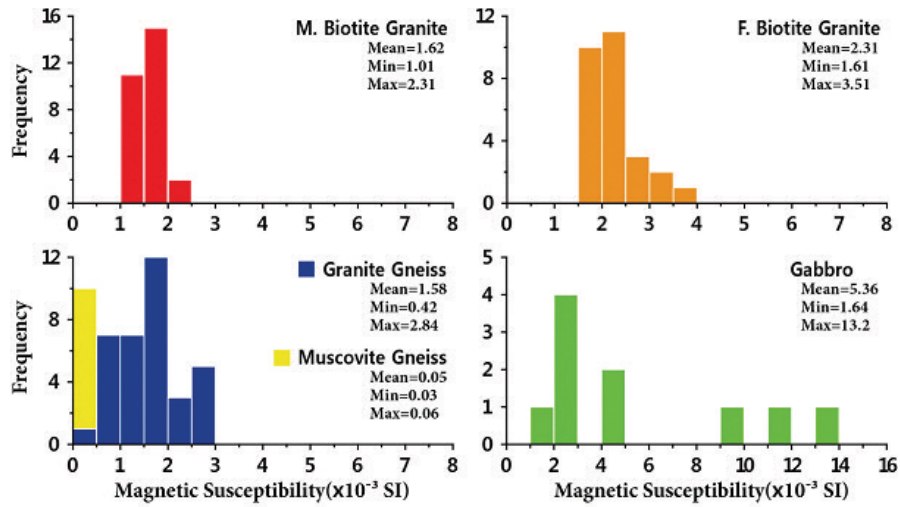


Fig. 4. Magnetic susceptibility distribution of the rock

## 4. 풍화훼손도 진단

### 4.1. 기계적 풍화와 구조안정성

야외에 노출된 대부분의 석조문화재와 마찬가지로 승안사지 삼층석탑은 대기환경에 노출되어 물리적 및 기계적 풍화과정을 겪고 있다. 석탑의 곳곳에서는 박리박락과 같은 표면풍화의 모습이 보이는데 이는 부재의 탈락된 단면과 옥개석 하부를 중심으로 활발히 진행되고 있다 (Fig. 5A). 또한 이 석탑은 수직 또는 수평에 가까운 다양한 산출상태의 미세균열이 보인다. 이

러한 균열들은 주변의 힘에 의한 것과 암석의 결에 따라 진행된 층상 미세 균열 등 다양한 형태로 부재의 기계적 풍화를 촉진키며 더 나아가 탈락을 유발시킬 위험이 있다.

이 석탑은 전반에 걸쳐 부재의 탈락이 심각하다. 대부분의 부재는 모서리를 중심으로 탈락된 상태로 석탑의 동측면과 북측면 기단부의 상대갑석과 각 층의 옥개석에서 훼손이 심각하다 (Fig. 5B). 특히 기단부 상대갑석에는 대단위 탈락, 기단부 우주의 탈락 등 다양한 형태로 탈락되어 결실된 상태이다. 이러한 석탑 부재의 탈락은 석탑의 전반에 걸친 편하증을 발생 시키는



Fig. 5. Physical weathering of the pagoda. (A) Exfoliation of basement rocks (B) Broken stones (C) Cement mortar of the basement stones.



등 구조적 안정성을 위협한다.

이 석탑의 상대갑석은 많은 부분이 탈락되어 시멘트 몰탈로 충전 보수한 상태이다. 그러나 충전된 시멘트가 대기환경에서 자연풍화 과정을 통해 박락되고 변색된 상태로 노출되어 있다 (Fig. 5C). 또한 과거 석탑의 보수과정에서 부재 간 수평을 맞추기 위해 놓은 철판은 불규칙한 형태로 산화되었으며 일부 수평에 맞지 않는 것도 있다. 이 같은 보수부분 풍화는 석탑 표면의 변색이나 생물적 오염을 일으키는 환경을 제공할 수 있고 구조적 문제를 가중시킬 수 있으므로 보수부분의 점검 및 재 보존처리가 필요하다.

#### 4.2. 무기오염물 및 생물학적 훼손

승안사지 삼층석탑의 표면은 부분적으로 황갈색 내지 흑색으로 변색되어 있다(Fig. 6A). 이는 광물의 화학적 풍화작용과 대기오염물, 미생

물의 고사 등에 의한 것으로 보인다. 또한 석탑의 옥개석 하부에는 강수의 유동흔적에 따라 암회색 오염물에 의해 변색되었다(Fig. 6B). 이와 같이 외부에 노출된 석조문화재는 대기환경 하에서 다양한 형태의 환경인자와 반응하여 오염물을 형성하고 강수의 흐름에 따라 암석 표면에 침착되어 변색을 일으킨다.

석조문화재에 나타나는 흑색층은 화학적 및 광물학적으로 매우 복잡한 체계를 갖고 있고 다양한 성분으로 구성되어 있으며 대부분 여러 형태의 염을 함유하고 있으나 유색광물이 변질되어 나타나는 경우도 있다. 이 석탑에서 보이는 흑색 변색은 이차적 오염물질인 시멘트 몰탈이 주변 대기환경에서의 다양한 오염인자와 반응하여 암석 표면에 침착된 것으로 판단된다. 또한 석탑 표면의 일부분에서는 묵서와 같은 낙서에 의한 인위적인 훼손도 관찰된다(Fig. 6C). 이러한 표면의 오염물은 석탑의 미관을 해치고 또

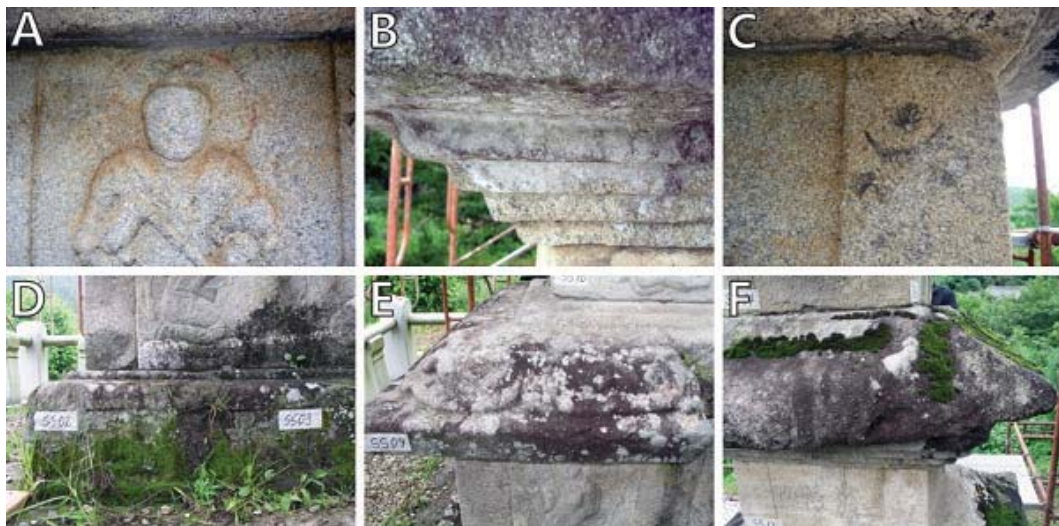


Fig. 6. Discoloration and biological colonization. (A) Brown discoloration of first body stone (B) Dark-gray discoloration of roof stones (C) Brown discoloration and anthropogenic contamination of first body stone (D) Plants around the basement stones. (E) Dark-gray crustose lichen (F) Mosses on the roof stone

다른 이차적 오염물을 생성시켜 표면 풍화를 촉진시킬 것이다.

석탑은 전체적으로 기단부와 옥개석 상부의 생물오염이 심각하다. 석탑의 지대석에는 지반 환경의 충분한 토양과 수분으로 초본식물이 성장하고 있으며(Fig. 6D), 기단부와 옥개석 상부를 중심으로 회색, 암회색의 고착지의류가 암석 표면에 반점상으로 전면에서 걸쳐 산출된다(Fig. 6E). 암석 표면에 흩뿌려진 형태로 자란 녹색 및 암녹색의지의류에서는 석탑 표면의 토양층 형성과 진디물의 서식을 확인할 수 있다. 또한 석탑의 곳곳에서는 다양한 산출상태를 보이는 선태류가 관찰되는데 이는 주로 옥개석 상부에 분포한다(Fig. 6F). 이들은 암석의 표면풍화와 함께 암석 내부의 상당 깊이까지 생물오염이 진행시켜 암석의 물리적 풍화를 야기한다.

### 4.3. 종합훼손도 평가

승안사지 삼층석탑의 훼손상태를 요인별로 크게 기계적 풍화와 구조안정성, 무기오염물에 의한 훼손, 생물학적 풍화 및 훼손으로 구분하고 각각의 훼손상태에 대한 정밀 진단을 하였다. Fig. 7은 석탑의 방위별 훼손유형의 분류와 상태 및 분포를 종합하여 종합훼손지도를 작성한 것이다. 이와 같은 훼손지도의 작성은 석탑의 훼손상태를 한눈에 파악하고 풍화와 훼손을 저감하는 적절한 보존방안 제시의 기초자료로 활용될 것이다.

이 석탑의 남측면 종합 훼손상태는 각층의 옥개석의 모서리를 중심으로 부재의 박리박락과 탈락이 심각한 상태를 보인다. 또한 각층의 탑신과 옥개석 하부를 중심으로 황갈색 및 흑색 변

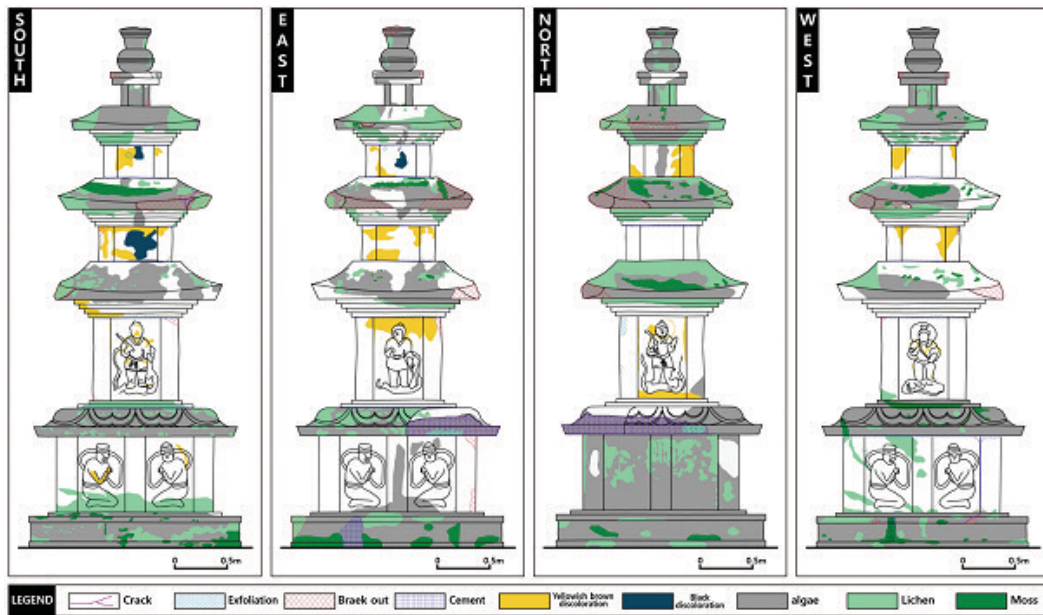


Fig. 7. Deterioration map of the pagoda

색이 두드러지며 옥개석 상부와 지대석을 중심으로 조류, 지의류 및 선태류에 의한 생물오염이 가중된 상태를 보인다.

동측면 훼손상태도 대부분의 부재가 모서리를 중심으로 탈락된 상태를 보이며 특히 상대갑석에는 탈락부위 넓으며 시멘트 몰탈로 보수를 하였다. 또한 전면과 마찬가지로 각층의 탑신을 중심으로 황갈색 및 흑색 변색을 보인다. 이 측면의 지대석과 상대갑석, 각층 옥개석 상부에서는 지의류에 의한 생물오염이 2층 옥개석 상부에서는 선태류에 의한 생물오염이 가중된 상태이다.

북측면도 다른 측면의 경우와 마찬가지로 대부분의 부재가 모서리를 중심으로 탈락된 상태에 있다. 각층 탑신부에 황갈색 및 흑색 변색이 관찰되며 하대갑석, 상대갑석, 각 층의 옥개석 상부를 중심으로 지의류에 의한 생물오염이 가중된 상태이다. 서측면도 모서리 부분의 탈락이 심각한 상태이며 부분적으로 균열, 박리박락 및 생물오염이 심각하다. 이상의 결과를 종합하면, 전체적으로 생물오염에 의한 훼손이 가장 심각한 상태이며 이에 대한 적절한 보존처리가 필요하다.

## 5. 보존처리

승안사지 삼층석탑은 풍화훼손도 진단 결과

에서 알 수 있듯이 전체적으로 생물학적 침해와 무기오염물에 의한 훼손이 상당한 수준에 이르고 있어 향후 풍화속도가 가속화될 것으로 판단된다. 따라서 승안사지 삼층석탑의 표면풍화를 저감시키고 오염과 훼손으로부터 미연에 방지하여 장기적인 안정적 관리를 위해 보존처리와 주변정비를 수행하였다. 보존처리에 앞서 처리의 효율성을 확보하기 위해 임시 가설물을 설치하고 보존처리를 실시하였다(Fig. 8A).

### 5.1. 표면세정

석탑의 표면에 서식하는 지의류, 선태류 등 생물학적 오염인자를 제거하기 위해 건식 및 습식 세정과 석재의 표면 변색에 대한 클리닝을 실시하여 석조물의 외관을 개선하고 이차적인 오염에 대한 훼손을 방지하였다. 표면세정은 석재에 손상이 가지 않도록 일차 건식 세정을 실시하였고 이차로 습식세정을 실시하였다. 먼저 건식세정은 부드러운 솔과 나무칼을 사용하여 실시하였다(Fig. 8B). 나무칼을 이용한 건식세정은 다소 강한 힘을 주더라도 석재에 큰 무리가 가지 않기 때문에 효과적으로 지의류나 선태류 등을 제거할 수 있다.

지의류와 선태류, 무기오염물의 제거는 가능한 범위까지 실시하고 제거가 어려운 지의류 및



Fig. 8. Scaffolding installation(A) and dry and wet cleaning(B, C)

오염물 등은 증류수를 이용한 습식세정으로 제거하였다. 습식세정은 분사식 스프레이를 이용하여 증류수를 뿌려 충분히 불린 다음 부드러운 솔, 나무갈을 이용하여 제거하였다(Fig. 8C). 이때 솔의 모는 가능한 긴 것을 사용하여 석재표면의 수직응력 발생을 최소화하였으며 일정한 방향으로 브러싱하지 않고 원형을 그리며 작업함으로써 표면에 미세균열이 발생하지 않도록 하였다.

## 5.2. 보호난간 재설치 및 지반정리

기존에 설치되어 있는 보호난간의 높이가 적절하지 못하고 석탑과의 거리가 과도하게 인접하고 있어 외관을 저해하고 있었다. 따라서 보호난간을 해체한 후 석탑과의 거리를 고려하여

적당한 높이로 재설치하였다(Fig. 9A). 또한 석탑 보호책 외부 주변의 경사면 부근에 자연석 경계석을 설치하고 배수흐름을 원활하게 하기 위해 자연구배를 두고 자연측구를 설치하였다(Fig. 9B). 또한 석탑 주변의 지반을 마사토로 깔고 다짐하여 정비하였으며(Fig. 9C), 기존의 낙후된 안내판을 C형 안내판으로 교체하였다. 현재는 일차적인 보존처리가 완료되었으며, 주변환경도 정비되어 이전과는 대조적인 모습으로 정돈되어 있다(Fig. 9D, 9E).

## 6. 결 론

1. 함양 승안사지 삼층석탑은 전면에 걸쳐 지의류와 선테류 등이 서식하고 있어 석탑 표면이 심하게 훼손되어 있으며 기단석의 일부에서는



Fig. 9. Protective railings reinstallation(A), site rearrangement(B, C) and before and after the treatment(D, E)

시멘트 몰탈도 관찰된다. 또한 석탑 주위로 둘러져 있는 석난간이 지나치게 높아 석탑의 경관을 해치고 있어 이를 저감하기 위한 보존대책이 절실한 실정이다.

2. 삼층석탑은 중립 내지 세립질의 흑운모화강암과 화강편마암이 주를 이루고 있으며 부분적으로 기단부에 거정질편마암, 2층 탑신석의 백운모편마암, 상륜부 복발과 양화의 반려암질암이 혼용되었다. 흑운모화강암은 부분적으로 페그마타이트 세맥이 형성되어 있으며 화강편마암은 흑운모의 배열에 의하여 편리가 잘 관찰된다.

3. 이 석탑은 각층의 옥개석의 모서리를 중심으로 부재의 박리박락과 탈락이 심각한 상태를 보인다. 또한 각층의 탑신과 옥개석 하부를 중심으로 황갈색 및 흑색 변색이 두드러지며 옥개석 상부와 지대석에는 조류, 지의류 및 선태류에 의한 생물오염이 가중된 상태를 보인다.

4. 이 탑의 표면세정은 석재에 손상이 가지 않도록 일차 건식세정을 실시하였고 이차로 습식세정을 실시하였다. 건식세정은 부드러운 솔과 나무칼을 사용하여 실시하였으며 이때 지의류, 오염물 등 잘 제거되지 않는 부분은 증류수를 이용한 습식세정으로 제거하였다.

5. 기존에 설치되어 있는 보호난간은 해체한 후 석탑과의 거리를 고려하여 적당한 높이로 재설치하였으며 석탑 주변의 지반을 마사토로 깔고 다짐하여 정비하였다. 또한 보호난간 외부의 주변에는 배수흐름을 원활하게 하기위해 자연구배를 두고 자연측구를 설치하였다.

## 참고문헌

• 김옥준, 홍만섭, 윤석규, 박희인, 박양대, 김

기태, 이하영, 윤선, 1964. 한국지질도 운봉도폭(1:50,000). 7-10.

- 김영택, 이찬희, 이명성, 2005. 부여 정림사지 오층석탑의 보존과학적 풍화훼손도 평가. 자원환경지질 38집, 675-687.
- 김영화, 장보안, 1992. 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성변화의 특성. 지질공학회지 2집, 36-46.
- 도진영, 2005. 경주 석빙고 구성재질에 형성된 표면오염물의 특징과 그 제거방안. 제22회 한국문화재보존과학회 학술대회 발표논문집, 71-88.
- 문화재청, 2011. 문화재 상세정보, 보물 제 294호 승안사지 삼층석탑. www.ocp.go.kr.
- 박맹언, 성규열, 2005. 화강암질 석조문화재의 풍화반응경로 특성과 보존에 대한 제언. 한국광물학회지 18집, 83-92.
- 양희제, 이찬희, 최석원, 이명성, 2006. 익산 미륵사지석탑 구성부재의 암석학적 특징과 석재의 원산지 해석. 지질학회지 42집, 293-306.
- 이명성, 전유근, 서정석, 이찬희, 2009. 광주 읍성 축성암석의 재질분석과 산지해석. 보존과학회지 25집, 61-76.
- 이석훈, 김수진, 2000. 유구지역 화강암질 편마암의 풍화작용에 의한 광물 조성의 변화. 광물학회지 13집, 121-137.
- 이선명, 이명성, 조영훈, 이찬희, 전성원, 김주옥, 김선덕, 2007. 안성 청룡사삼층석탑의 풍화훼손도 진단과 보존처리. 자원환경지질 40집, 661-673.
- 이찬희, 김선덕, 한병일, 김영택, 이명성, 2004a. 진천태화4년명 마애불의 풍화훼손도 평가와 보존처리. 보존과학회지 16집, 39-

- 51.
- 이찬희, 이명성, 2005. 우리나라 석조문화유산의 현황과 보존방안. 한국구조물진단학회지 9집, 13-21.
  - 이찬희, 이명성, 서만철, 2005. 영주 가흥리 마애삼존불상의 풍화특성과 불연속면의 안정성 해석. 지질학회지 41집, 401-413.
  - 이찬희, 이명성, 서만철, 최석원, 김만갑, 2004b. 감은사지 서탑의 풍화훼손도 진단과 석재의 산지추정. 자원환경지질 37집, 569-583.
  - 좌용주, 김건기, 고석배, 김종선, 2006. 감은사지삼층석탑(서탑)에 사용된 석재 공급지에 대한 연구. 암석학회지 15집, 128-138.
  - Fitzner, B., Heinrichs, K., 2004. The Bangudae petroglyph in Ulsan, Korea: studies on weathering damage and risk prognosis. Environmental Geology 46, 504-526.
  - Ishihara, S., 1998. Granitoid series and mineralization in the Circum-Pacific Phanerozoic granitic belts. Resource Geology 48, 219-224.
  - Lee, C.H. and Yi, J.E., 2007. Weathering damage evaluation of rock properties in the Bunhwangsa temple stone pagoda, Gyeongju, Republic of Korea. Environmental Geology 52, 1193-1205.
  - Lee, C.H., Lee, M.S., Kim, Y.T. and Kim, J.Y., 2006. Deterioration assessment and conservation of a heavily degraded Korean stone Buddha from the 9th Century. Studies in Conservation 51, 305-316.
  - Lee, C.H., Lee, M.S., Suh, M. and Choi, S.W., 2005. Weathering and deterioration of rock properties of the Dabotap pagoda (World Cultural Heritage), Republic of Korea. Environmental Geology 47, 547-557.
  - Lee, S.G. and De Freitas, M. H., 1989. A revision of the description and classification of weathering granite and its application to granites in Korea. Quarterly Journal of Engineering Geology 22, 31-34.
  - Uchida, E., Cunin, O., Suda, C., Ueno, A. and Nakagawa, T., 2007. Consideration on the construction process and the sandstone quarries during the Angkor period based on the magnetic susceptibility. Journal of Archaeological Science 34, 924-935.