

# 포항 보경사 오층석탑의 훼손진단과 보존처리

하은영\* · 김영택\*\* · 김지영\* · 이찬희\*

\*공주대학교 문화재보존과학과, \*\*(주)엔가드 문화재보존연구소

## Deterioration Diagnosis and Conservation Treatment of the Five-storied Stone Pagoda in the Bogyoengsa Temple, Pohang, Korea

Eun Young Ha\*, Yeong Taek Kim\*\*, Jiyoung Kim\*, Chan Hee Lee\*

*\*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University,  
Kongju 314-701, Korea*

*\*\*Research Institute of Cultural Properties, ENGUARD Co. Ltd,  
Seoul 134-010, Korea*

### 1. 서론

보경사 오층석탑(시도유형문화재 제203호)은 경북 포항시 북구 송라면 중산리 622에 있으며, 1층 기단 위에 5층의 탑신을 올린 고려시대 석탑이다. 이 탑은 전체적으로 부재 표면의 생물피도가 높고 표면변색이 심하며, 부분적으로 박리박락과 입상분해가 나타나고 있어 보존과학적 진단과 훼손 저지 방안이 시급히 요구되었다. 이 연구에서는 석탑을 대상으로 물리적, 화학적 및 생물학적 풍화상태를 진단하였고, 그 결과에 따른 최소한의 보존처리를 실시하였다.

포항 보경사 오층석탑은 보경사 경내 적광전 앞에 위치한다. 이 탑은 금당탑이라고도 하는데 「보경사금당탑기」에 의하면 고려 현종 14년(1023) 3월에 건립하였다고 한다. 탑의 높이는 5m로, 탑신의 체감률이 낮아 전체적으로 고준한 느낌을 주며 통일신라시대의 양식을 계승한 고려시대의 석탑이다(그림 1A).

사이트 환경은 양호하나 보호 철책 안으로 잔디가 심어져 있어 기단부와 옥개석에는 지의류를 비롯한 생물의 서식도 심각하다(그림 1B). 석탑 부재는 옥개석, 탑신이 각각 응회암 및 응회질 사암으로 이루어져 있으며 박리, 박락, 입상분해 및 표면변색과 과거 보수 시 사용된 석회와 시멘트 모르타르로 인한 이차적 오염물이 탑을 훼손

시키고 있다(그림 1C). 그리고 1976년 석탑을 보수할 당시 기단과 4·5층 탑신, 5층 옥개석 등이 원석재와는 다른 화강암으로 교체되어 이질감을 준다.

이 연구에서는 석탑의 물리적, 광물학적 풍화특성 및 훼손상태를 진단하였으며 보수과정에서 탈락된 부재의 미세 시편을 시료로 수습하였다. 이 시료를 대상으로 반정량적인 광물조성과 광물학적 공생관계, 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성을 밝혀내기 위해 주사전자현미경과 편광현미경 관찰을 실시하였다. 또한 부재의 자화강도에 대한 대자율 측정과 일부 시료를 대상으로 암석의 광물조성을 밝히기 위해 X-선 회절분석을 실시하였다.



그림 1. 보경사 오층석탑의 현황. (A) 석탑의 전경. (B) 옥개석의 탈락 및 표면의 생물오염. (C) 시멘트 모르타르로 접합된 양화의 모습.

## 2. 재질특성과 풍화훼손도

이 석탑을 이루는 주요 구성암석은 응회질 사암과 응회암으로, 응회암질 사암은 각 층의 탑신석에, 응회암은 각 층의 옥개석에 이용되었다. 이들의 박편을 편광현미경으로 관찰한 결과, 응회암질 사암은 원마도와 분급이 불량한 아각상의 석영, 장석 및 흑운모로 구성되어 있으며 미약한 선상 배열을 보인다. 기질물질과 장석은 심하게 점토광물화 작용을 받았고 흑운모도 변질작용을 받았다(그림 2A). 응회암은 석영과 장석 및 흑운모의 미세결정이 함유된 결정질 응회암으로서 기질물질에 방향성과 용결의 흔적이 나타난다. 그러나 석영을 제외한 모든 구성물질이 심하게 변질되어 원암의 조직과 조성을 보존하고 있지 못하다(그림 2B).

이 시료들을 분말화하여 X-선 회절분석을 실시한 결과, 응회질 사암에서는 석영과 녹니석이 검출되었고, 응회암에서는 석영과 장석이 검출되었다(그림 2C). 석탑을 구성하는 암석을 대상으로 전암 대자율을 측정하였다. 각 부재의 대자율 측정값은 응회질 사암의 경우  $0.13 \sim 0.90 (\times 10^{-3})$  SI unit, 응회암의 경우  $0.14 \sim 3.73 (\times 10^{-3})$  SI unit의 값을 보인다.

이 보경사 오층석탑은 곳곳에서 박리박락과 같은 표면풍화의 모습을 보이는데, 이는 부재의 탈락된 단면과 옥개석을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 또한 수직 또는 수평에 가까운 균열은 다양한 형태로 부재의 기계적 풍화를 가속시키며 더 나아가 탈락을 유발시킬 위험이 있다.

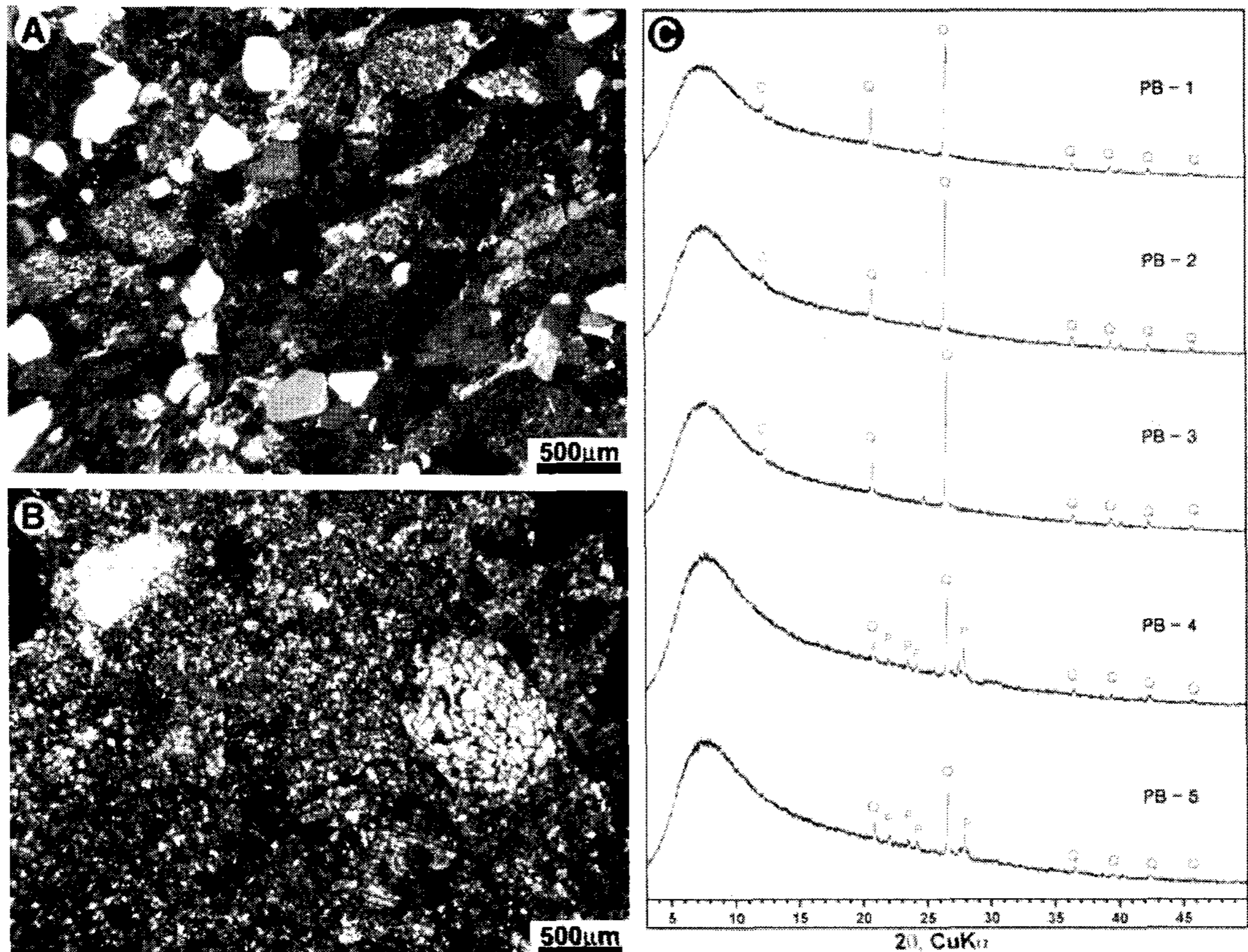


그림 2. 보경사 오층석탑 구성부재의 편광현미경 사진 및 X-선 회절분석. (A) 응회질 사암의 편광현미경 사진. (B) 응회암의 편광현미경 사진. (C) 응회질 사암 및 응회암의 X-선 회절분석 결과.

모든 부재의 표면에는 전체적으로 미세 토양, 먼지의 피복에 의한 황갈색 변색이 보이며, 무기물에 의한 흑갈색 변색과 부재 간 수평을 맞추기 위해 놓은 철판에 의한 적갈색 변색도 관찰된다. 탑신부에는 목서로 인한 인위적 훼손이 보이며, 부재사이를 충전한 석회와 시멘트 모르타르가 흉하게 나타나 있다. 이러한 표면 오염물은 석탑의 미관을 해치고 또 다른 이차적 오염물을 생성시켜 표면 풍화를 촉진시킨다.

오층석탑은 전체적으로 기단부와 옥개석 상부의 생물오염이 심각하다. 기단부와 옥개석 상부를 중심으로 고착 지의류와 엽상 지의류가 암석 표면의 전면에 걸쳐 피복되어 있으며 특히 북쪽면의 옥개석 상부는 다양한 산출상태를 보이는 선태류가 지의류와 함께 관찰되었다. 석탑의 풍화로 인해 떨어져 나온 암편의 내부를 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 암석의 내부에서 식물의 뿌리조직을 확인할 수 있었다. 이는 암석의 표면풍화와 함께 암석 내부의 상당 깊이까지 생물오염이 진행된 것으로 석탑 표면의 풍화상태를 입증한다.

### 3. 보존처리 및 관리

포항 보경사 오층석탑은 (주)엔가드 문화재보존연구소에서 2006년 4월부터 훼손진단 및 보존처리를 실시하였다. 먼저 석탑의 현재 상태를 자료화하고, 향후 모니터링 기초데이터를 축적하기 위하여 3차원 스캐닝을 실시하였다. 보존처리는 표면세정, 접합 및 충전, 고색처리, 발수경화 순으로 진행하였다.

표면세정은 석재에 손상이 가지 않도록 부드러운 솔과 죽침을 사용하여 1차 건식세정을 실시하였고 2차로 습식 세정을 실시하였다. 이때 잘 제거되지 않는 지의류 및 오염물 등은 증류수를 뿌려 충분히 불린 다음 부드러운 솔과 나무칼 등을 이용하여 제거하였다(그림 3A).

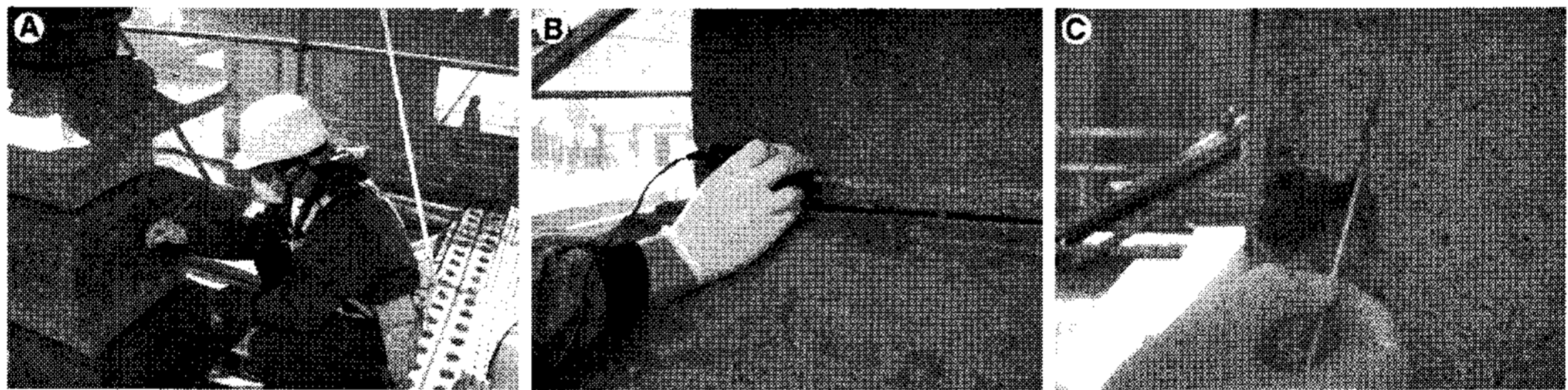


그림 3. 석탑의 보존처리 과정. (A) 죽침을 이용한 건식세정 모습. (B) 핸드드릴을 사용한 시멘트 모르타르 제거 모습. (C) 미세 균열부 수지 충전 모습.

기단과 옥개석 사이를 충전한 석회와 시멘트 모르타르는 치과용 소도구 및 핸드드릴을 이용하여 제거하였으며, 시멘트 모르타르의 잔량, 먼지, 흙 등 불순물은 증류수로 세정하여 제거하고 건조시켰다(그림 3B). 시멘트 모르타르가 제거된 이탈부위는 에폭시수지(L-30)를 사용하였으며 충전제로는 각 부재와 동일한 암종의 파우더를 혼합하여 사용하였다(그림 3C). 또한 에폭시와 충전제의 혼합과정에서 석탑의 암석과

동일한 질감을 가질 수 있도록 색 맞춤을 하였다.

석탑의 옥개석 하부와 기단부 모서리의 미세균열 부위는 주사기를 이용하여 접착용 수지를 암석 내부까지 완전히 충전되도록 주입하였다. 시멘트 모르타르로 덮여있던 양화는 이를 제거 한후 접합하여 원상태로 복원하였다. 발수경화제는 Wacker SILES BS OH 100을 사용하였고 모든 공정이 완료된 후 총 2회 도포하였다. 석탑의 우측에 있던 기존 안내판은 너무 높아 석탑 기단부를 항상 그늘지게 하는 요인이 되므로 이를 철거하고 좌측에 낮은 안내판을 재설치하였다.

#### 4. 결 론

1. 포항 보경사 오층석탑( 시도유형문화재 제203호)은 1층 기단 위에 5층의 탑신을 올린 통일신라시대의 양식을 계승한 고려시대의 석탑이다. 석탑의 이루는 주요 구성 암석은 응회질 사암과 응회암으로, 응회질 사암은 각 층의 탑신석에, 응회암은 각 층의 옥개석에 이용되었다.

2. 이 석탑은 자연적인 풍화와 인위적인 훼손에 의한 복합적인 풍화작용으로 인해 박리박락과 같은 표면풍화가 진행된 상태이다. 석탑의 곳곳에는 균열이 발달하고 있으며, 무기오염물에 의한 변색과 묵서, 철편, 과거에 보수된 석회와 시멘트 모르타르 등으로 인한 이차적 표면풍화를 촉진시킨다. 특히 기단부와 옥개석 상부를 중심으로 생물학적 오염이 가중되어 석탑의 풍화를 더욱 촉진하고 있다.

3. 이 석탑의 장기적인 모니터링을 위해 3D 영상자료를 구축하였으며, 보존을 위해 석탑 전면의 세정과 지의류, 이끼류를 제거하는 작업을 실시하였다. 또한 이전의 보수 시에 사용되었던 시멘트 모르타르 부위를 제거하고 에폭시수지로 충전 및 보강하였으며, 최적의 보존환경을 조성하기 위하여 주변정비 작업을 실시하였다.