

# 상주 상오리 칠층석탑의 손상상태 및 부재의 산지추정

이선명 · 이찬희 · 이정은  
공주대학교 문화재보존과학과

## Provenance Presumption and Damage State for Rock Properties of Seven-storied Stone Pagoda at the Sangori, Sangju, Korea

Sun Myung Lee, Chan Hee Lee, Jeong Eun Yi  
*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea*

### 1. 서 론

상주 상오리 칠층석탑은 보물 제683호로 상주시 화북면 상오리 699번지에 위치한다. 이 석탑은 부재 표면의 정동 및 요철풍화와 균열, 모서리 탈락 및 파손이탈이 심각하여 부재의 전반적인 약화와 구조적 문제점을 야기한다. 또한 기단부 및 옥개석 상부를 중심으로 유기물 및 무기물에 의한 오염현상도 나타난다.

이 연구에서는 석탑을 대상으로 부재의 재질적 특성을 연구하고 기계적, 화학적, 생물학적 풍화 및 손상상태를 진단하였다. 또한 석탑 주변의 암석분포를 살펴보고 주변에 대한 정밀야외지질조사를 통해 채취된 암석 시료에 대해 석탑과 동일한 방법으로 정량분석하여 석탑에 사용된 부재의 산지를 추정하였다.

### 2. 현황 및 연구방법

이 석탑은 토단 주위를 석렬로 구역을 정한 후 이중의 기단위에 7층의 탑신을 세운 일반형 석탑이다. 이 석탑은 사방이 산으로 둘러싸여 있으며 주변에 수목이 있고 지반에 초본식물이 밀생하고 있는 비교적 높은 둔덕 위에 있는 밭 한가운데에 있다. 이 석탑은 일제 강점기 초기 인위적인 훼손이 가해진 이후 방치되었다가 1978년 원형 복원되었으며 이 후 2005년에 해체를 통해 보수되었다(그림 1).

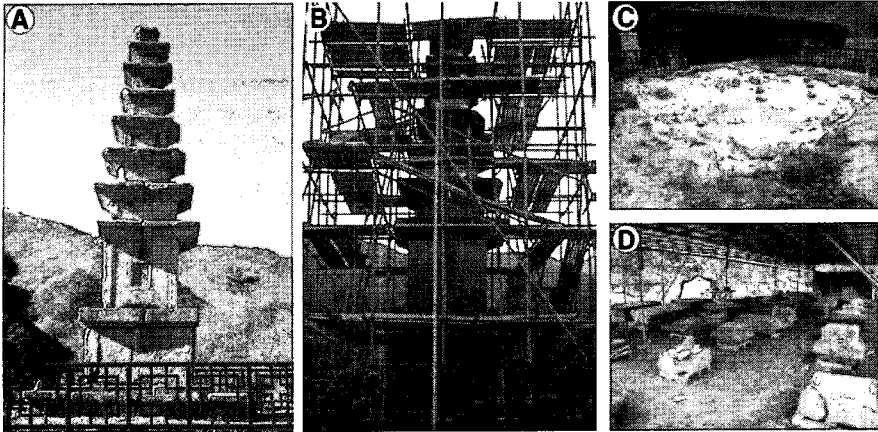


그림 1. 상오리 칠층석탑의 현황. (A) 석탑의 동측면. (B) 해체, 보수를 위한 동측면의 비계설치 모습. (C) 해체 후의 탑 자리 모습과 부재를 보관해 놓은 가설작업장 모습. (D) 가설작업장 내 해체된 부재들.

이 연구에서는 석탑 주변의 지형 및 지질조사와 석탑의 기계적, 광물학적, 생물학적 풍화특성 및 훼손상태를 진단하였으며 해체 및 보수과정에서 탈락된 부재의 편을 시료로 채취하였다. 채취한 시료들은 실내연구를 위한 각종 분석용 시료로 이용하였다. 석탑의 산지추정을 위해서 석탑 인근 지역을 대상으로 정밀 지질조사를 실시하였으며 암석의 육안관찰 및 미세 대자율측정을 실시하여 산지추정에 대한 자료를 확보하였다. 석탑에서 탈락된 미세시료와 산지의 가능성이 보이는 곳의 시료를 채취하여 석탑의 풍화도와 석재의 동질성을 해석하기위한 화학분석을 수행하였다.

### 3. 부재의 재질특성

이 석탑을 이루는 주요 구성암석은 홍장석 화강암으로 중립질 내지 조립질의 홍색 장석을 함유하고 있어 석탑 전반에 걸쳐 담홍색을 띤다. 석탑 표면에는 정동이 발달되어 있고 포켓형의 거정질 페그마타이트맥이 보이며 부재의 모서리 부분에 세립질 화강암인 아플라이트질 암맥도 관찰 된다.

석탑의 주요 구성암석인 홍장석 화강암을 편광현미경으로 관찰한 결과, 조암광물은 정장석, 사장석, 석영, 흑운모 등으로 구성되어 있으며 석영과 알바이트 쌍정이 발달한 사장석 등과 같이 완정질 조직을 이루고 있다(그림. 2A). 또한 거정질로 조립질의 입자

분포를 갖고(그림 2B) 장석은 풍화를 받아 변질되어 견운모 및 점토광물화가 되었고, 흑운모 또한 입자의 경계나 벽개면을 따라 녹니석화가 진행되어 있다(그림 2C).

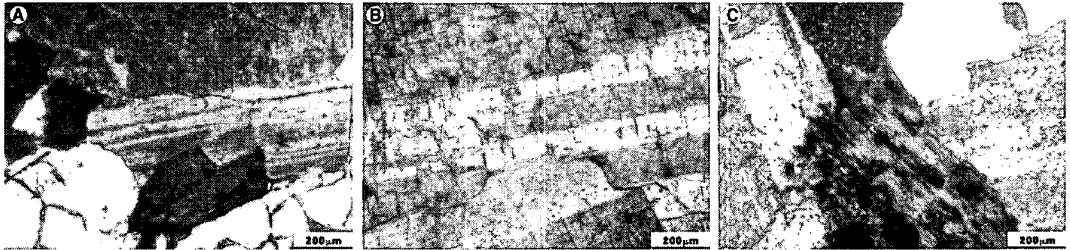


그림 2. 석탑을 이루는 구성암석의 편광현미경사진. (A) 주구성 광물인 정장석, 사장석, 석영, 흑운모의 산출상태. (B) 거정질 조직을 갖는 사장석. (C) 장석의 견운모 및 점토광물화와 흑운모의 녹니석화.

석탑의 해체와 보수과정에서 탈락, 파손된 미세 편을 시료로 채취하고 그 시료 중 일부를 분말화하여 X-선 회절분석을 실시한 결과 석영, 사장석, 정장석과 점토광물인 스멕타이트와 녹니석이 검출되었다. 석탑을 구성하는 암석을 대상으로 전암 대자율을 측정하였다. 측정은 석탑의 상류부에서 하대갑석까지는 부재마다 10회, 하대갑석에서 하대중석까지는 부재마다 5회를 측정하여 총 583회를 측정하였다. 측정결과 석탑의 대자율 측정값은  $0.04 \sim 5.58(\times 10^{-3})$  SI unit)의 넓은 분포를 보이며 평균 2.17 의 값을 보인다.

#### 4. 부재의 손상상태

석탑의 부재 표면은 정동의 발달에 따라 조암광물의 일부가 유실되어 커진 공동이 흉하게 노출되어 있으며 작은 충격에도 광물입자가 쉬게 떨어져 나오는 등 요철풍화를 보인다(그림 3A). 또한 이 탑의 부재들은 대부분 충격에 의한 균열, 모서리 탈락 및 파손이탈이 심각하여 부재의 약화 및 구조적으로 많은 문제점을 야기 시킨다(그림 3B). 석탑은 복원 시 파손이탈 된 부분을 시멘트로 충전 보수하였으나 충전된 갑석과 시멘트 몰탈이 대기환경에서 자연풍화 과정을 통해 박락되어 흉하게 노출되어 있다(그림 3C). 이 같은 보수부분의 풍화는 석탑 표면의 변색이나 생물적 오염을 일으키는 환경을 제공할 수 있고 구조적 문제를 가중시킬 수 있으므로 보수부분의 점검 및 재 보존처리가 필요하다.

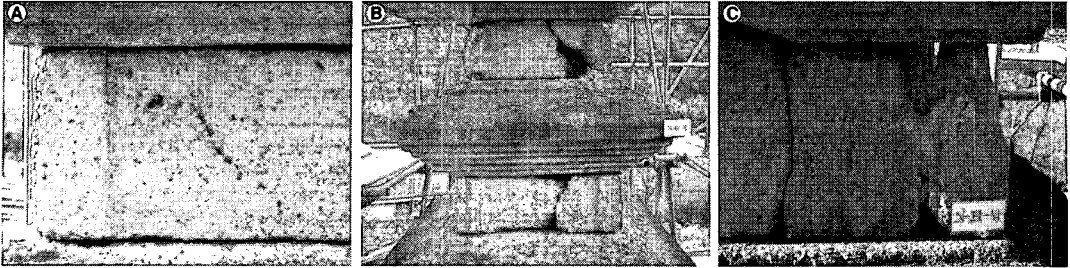


그림 3. 석탑의 기계적 손상상태 및 구조적 불안정. (A) 부재 표면에 발달한 정동. (B) 충격에 의한 부재의 균열, 탈락, 파손이탈과 이로 인해 발생하는 구조적 불안정. (C) 보수한 부분이 다시 풍화되어 발생시킨 구조적 문제.

또한 석탑의 표면은 일제강점기 때, 복원 될 당시 수직부재 간 균형을 맞추기 위해 사용된 철판이 강수의 흐름에 따라 적갈색으로 변색된 상태로 이들의 대부분은 화학적 산화과정에 의해 표면에 부식물이 형성된 상태이며 석탑 표면의 일부분에서는 흑화현상이 보인다. 이 탑은 전체적으로 기단부와 옥개석 상부를 기준으로 다양한 산출상태를 보이는 생물오염이 크며 특히 부재의 북쪽편에 가중되어 있다. 석탑의 해체와 보수과정에서 탈락된 미세 표면시료를 고진공 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 지의류의 포자근과 균사가 다발적으로 산출되거나 표면에 고착되어, 이 석탑의 생물학적 오염이 표면 깊숙이 진행된 상태임을 확인하였다.

## 5. 부재의 산지추정

석탑 주변의 암석분포를 살펴 본 결과, 석탑은 현재 위치하는 지역의 암상과는 일치하지 않았다. 이는 석탑이 현재 위치에서 채석하여 세워진 것이 아니라 다른 장소에서 석재를 공급받은 것을 지시한다. 따라서 석탑 구성암석의 재질특성을 바탕으로 석탑을 구성하는 부재의 산지추정을 위해 석탑 주변 야외 정밀 지질조사를 하였다. 이 결과 육안상 석탑을 구성하는 암석과 산출상태, 색상, 조암광물 및 조직적으로 동일한 것으로 보이는 두 지역에 산지의 가능성이 고려되었다.

이 두 지역들은 석탑이 위치한 곳으로부터 약 3~4.25 km 내에 있는 속리산 문장대를 오르는 길목의 장암리 인근 계곡 노두와 용유리 부근의 채석장으로 석탑으로부터 근접한 지역이다. 두 지역의 암석에 대한 전암 대자율 측정결과 대자율 분포는 다소 차이가 있으나 두 지역 모두 석탑을 이루는 구성암석의 넓은 대자율 분포에 속하는 것으로 두 곳 모두 석탑 부재의 원료 공급지로서의 가능성을 확인하였다(그림

4A). 또한 두 지역에서 채취해온 시료에 대해 석탑의 재질특성 연구와 동일 과정의 실내연구를 실시하여 비교분석한 결과 두 지역 모두 석탑의 구성암석과 동일한 산출 상태를 보였다.

석재의 산지추정은 기본적으로 같은 기원에 의해 생성된 암석은 동일한 화학조성을 가지고 있다는 것을 전제하고 있다. 따라서 석탑 및 산지로 추정되는 두 지역 암석의 성인적 동질성을 명확하게 규명하기 위해 전암 분말시료를 대상으로 주성분 원소와 미량 원소 및 희토류 원소에 대한 분석을 수행하였다.

이 분석치를 각 참고자료의 표준함량을 통한 주성분원소, 미량원소, 희토류원소, 호정 및 불호정 원소로 표준화하여 도시화한 결과 동일한 패턴을 보였다(그림 4B). 이는 동일한 지구화학적 특성을 보이는 것으로 산지로 추정되어진 장암리 인근 계곡 노두와 용유리 인근 채석장이 석탑 부재의 원료 공급지로서의 가능성이 충분함을 반영한다. 또한 차후에 석탑 부재를 대상으로 보강 및 대체석이 필요할 경우 석재 선정의 과학적 근거자료로 활용할 수 있을 것이다.

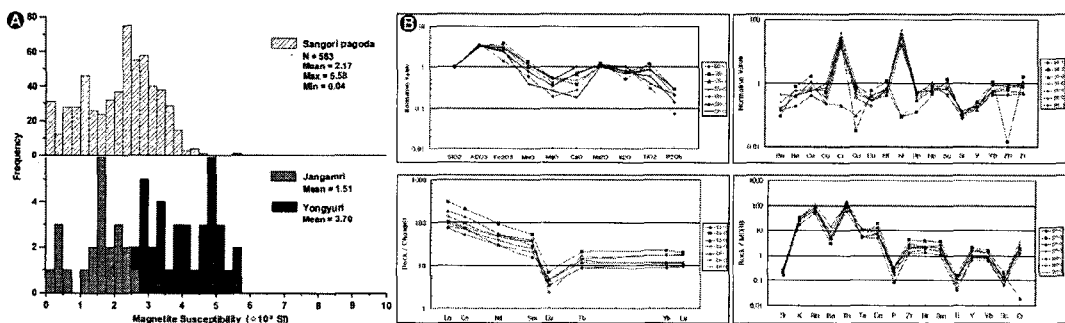


그림 4. 석탑부재와 산지로 추정된 두 지역 암석의 동일성. (A) 석탑과 산지로 추정된 두 지역의 전암 대자율값. (B) 석탑과 산지로 추정된 두 지역 암석의 주성분 원소, 미량 원소, 희토류 원소, 호정 및 불호정 원소를 표준화한 성분변화도.

## 6. 결 론

1. 상주 상오리 칠층석탑의 주요 구성암석은 홍장석 화강암으로 홍색 장석의 함유율이 높아 전반적으로 도홍색을 띠고 있으며 구성광물로는 중립질 내지 조립질의 석영, 각섬석, 흑운모, 사장석이 있다. 암석 표면에는 정동이 발달해 있고 부분적으로 폐

그마타이트 맥과 아프라이트질 맥도 관찰되며 전암 대자율 측정값은 0.04~5.58 ( $\times 10^{-3}$  SI unit) 의 넓은 분포를 보인다.

2. 이 석탑은 자연적인 풍화에 인위적 훼손이 가해진 상태로 부재 표면에는 정동의 발달과 요철풍화가 진행되어 작은 충격에도 광물입자가 쉽게 떨어져 나온다. 또한 균열 면과 모서리를 중심으로 한 부재의 탈락, 파손이탈은 석탑의 부재를 약화시키고 구조적 문제점을 야기한다.

3. 석탑의 표면은 철편과 망간산화물에 의한 오염물질이 부재의 표면에 침착되어 있다. 또한 기단부와 옥개석 상부를 중심으로 유기물이 진행된 상태로 석탑 표면의 생물학적 오염물 피도는 약 50~95%를 보이며 북쪽의 피해가 더 크다.

4. 이 석탑 주변의 암석분포를 살펴보고 주변에 대해 정밀 야외조사를 통해 육안상 석탑과 동일한 재질로 판단되는 두 지역(장암리 계곡 노두, 용유리 채석장)을 선정하였다. 이 석탑과 두 지역의 화강암질암은 산출상태, 암상, 조암광물, 색, 입도 및 조직, 전암 대자율이 거의 유사하다.

5. 또한 주성분 원소, 미량원소, 희토류 원소, 호경 및 불호경 원소의 지구화학적 진화경향도 아주 유사하다. 이는 산지로 추정된 두 지역이 석탑 부재의 원료 공급지로서의 가능성이 충분함을 반영한다. 또한 차후에 석탑 부재를 대상으로 보강 및 대체석이 필요할 경우 석재 선정의 과학적 근거자료로도 활용할 수 있을 것이다.