

보령 성주사지 오층석탑의 재료학적 특성과 정량적 풍화훼손도 평가

권오경 · 최유리 · 이미혜 · 박성미 · 이정은 · 이찬희
공주대학교 문화재보존과학과

Quantitative Deterioration Assessment and Material Properties of the Five-storied Stone Pagoda in the Seongjusaji Temple Site, Boryoung, Korea

Oh Kyung Kweon, Yu Ri Choi, Mi Hye Lee, Sung Mi Park,
Jeong Eun Yi and Chan Hee Lee

*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University,
Kongju 317-701, Korea*

1. 서 언

성주사지 오층석탑은 충남 보령시 성주면 성주리에 위치하며, 보물 제19호로 지정되었다. 이 탑은 통일신라 말기에 축조된 것으로 알려져 있으며 역사적 및 미술학적으로 중요한 의미를 가진다. 탑의 구성재질은 각섬석 화강암이며, 대체적인 사암이 혼용되었다. 현재 이 탑은 비교적 안정한 지반 위에 축조되어 있으나 생물학적 오염, 기단부의 이격 및 부등침하로 인한 구조적인 불균형이 나타나고 있다.

따라서 이 연구에서는 석탑의 정밀조사를 실시하였으며 재질분석, 풍화상태 및 훼손현황을 진단하여 이를 근거로 석탑에 대한 종합훼손지도를 작성하였다. 이 연구결과는 성주사지 석탑의 향후 보존방안과 수리 복원에 대한 보존과학적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 현황 및 연구방법

성주사지 오층석탑은 낮은 보호철책으로 둘러싸여 있으며, 철책 내부는 잔디가 식

재되어있다. 전체적인 사이트 환경은 양호하며 비교적 우수한 보존환경을 갖추고 있다. 이 탑의 후면에 오서산이 위치해 있으며 좌우로 두 기의 삼층석탑과 전면에 석등이 위치해 있다.

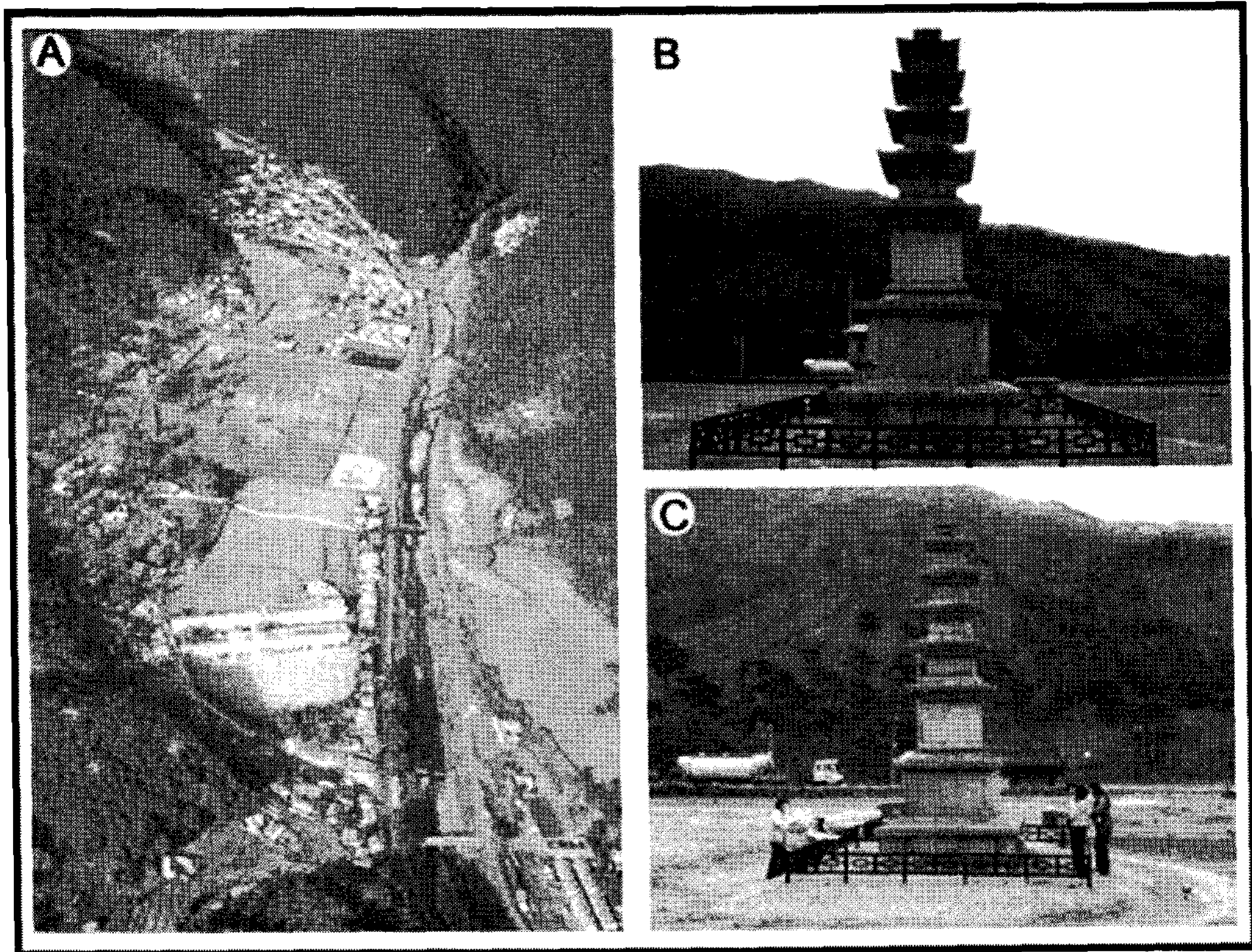


그림 1. 성주사지오층석탑의 현황. (A) 성주사지 일대의 지형 및 자연환경. (B) 석탑 북측면의 산출상태. (C) 풍화훼손도 평가를 위한 정밀조사 모습.

한편 성주사지오층석탑의 암석학적 특성 및 풍화훼손 정도를 알아보고자 탑에서 탈락된 동일 암편을 대상으로 편광현미경 관찰 및 주사전자현미경 분석을 실시하였다. 주변에 위치한 금당지 및 연화대좌의 구성암석과 동일 기원의 암석임을 밝히기 위해 기재적 및 전암대자율을 측정하였다. 또한 일부시료에 대해서는 X-선 회절분석과 정량 화학분석을 통해 광물의 조성 및 암석학적 특성을 규명하였다. 이 탑의 종합적 풍화훼손진단을 위해서 정밀조사 및 종합훼손지도를 작성을 실시하였으며, 이를 토대로 정략적 훼손상태를 평가하였다.

3. 재질특성 및 훼손도 평가

이 석탑을 이루는 주요 구성암석은 각섬석 화강암으로 석영, 각섬석, 흑운모, 정장석, 사장석 등의 조암광물을 포함한다. 이중 석영과 정장석의 교대에 의한 미분상조직이 관찰되고, 장석이 이차변질을 받아 견운모화 되어 있다. 흑운모와 정장석에서는 입자경계와 벽개면을 따라 발달된 점토광물인 녹니석이 관찰된다.

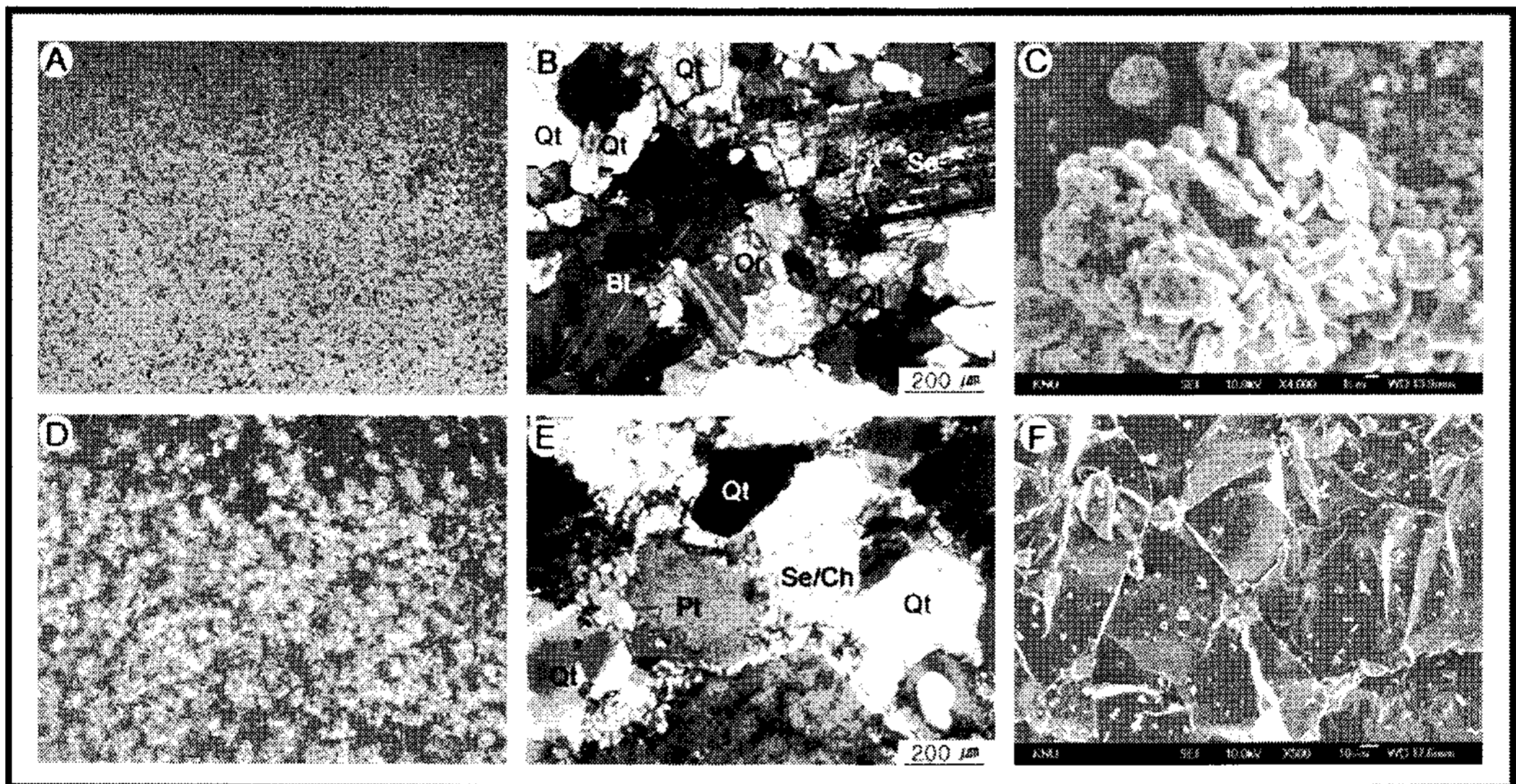


그림 2. 석탑을 이루는 구성암석의 편광현미경 및 주사전자현미경 관찰. (A) 석탑의 주구성 부재인 각섬석 화강암. (B) 조암광물인 장석이 이차변질을 받아 견운모화 되었음. (C) 장석과 점토광물이 혼재되어 나타남. (D) 석탑의 이질부재인 사암. (E) 타원상의 석영입자와 심하게 변질된 사장석으로 이루어진 모습. (F) 사암의 파각상 단면.

이 일대의 지질분포를 보면 석탑의 주요 부재인 각섬석 화강암과 다른 암상을 보이는데, 이는 석탑을 건립할 때 주변지역이 아닌 거리가 떨어진 화강암류 분포지역에서 채석했을 가능성이 크다. 그러나 1층 기반부 일부에 사용한 대체석인 사암은 인근에 분포되어 있는 암석을 사용한 것으로 추정된다.

이를 규명하고자, 석탑의 구성암석인 각섬석 화강암 및 사암과 주변 금당지와 연화대좌에 사용된 화강암 및 사암의 전암 대자율을 측정된 결과, 석탑의 구성암석인 각섬석 화강암의 전암대자율은 $0.2 \sim 0.8 (\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 사이의 티탄철석 계열의 화강

암으로 주변 금당지와 연화대좌에 사용된 화강암의 대자율 값(0.12~0.8)과 유사한 경향을 보인다. 석탑의 대체적인 사암과 주변 금당지의 사암의 전암대자율값도 각각 0.02~0.08과 0.01~0.10로 유사한 경향을 보이는데, 이는 석탑에 사용된 구성암석과 주변 금당지 및 연화대좌에 사용된 암석이 동일 기원의 암석임을 지시하는 것이다.

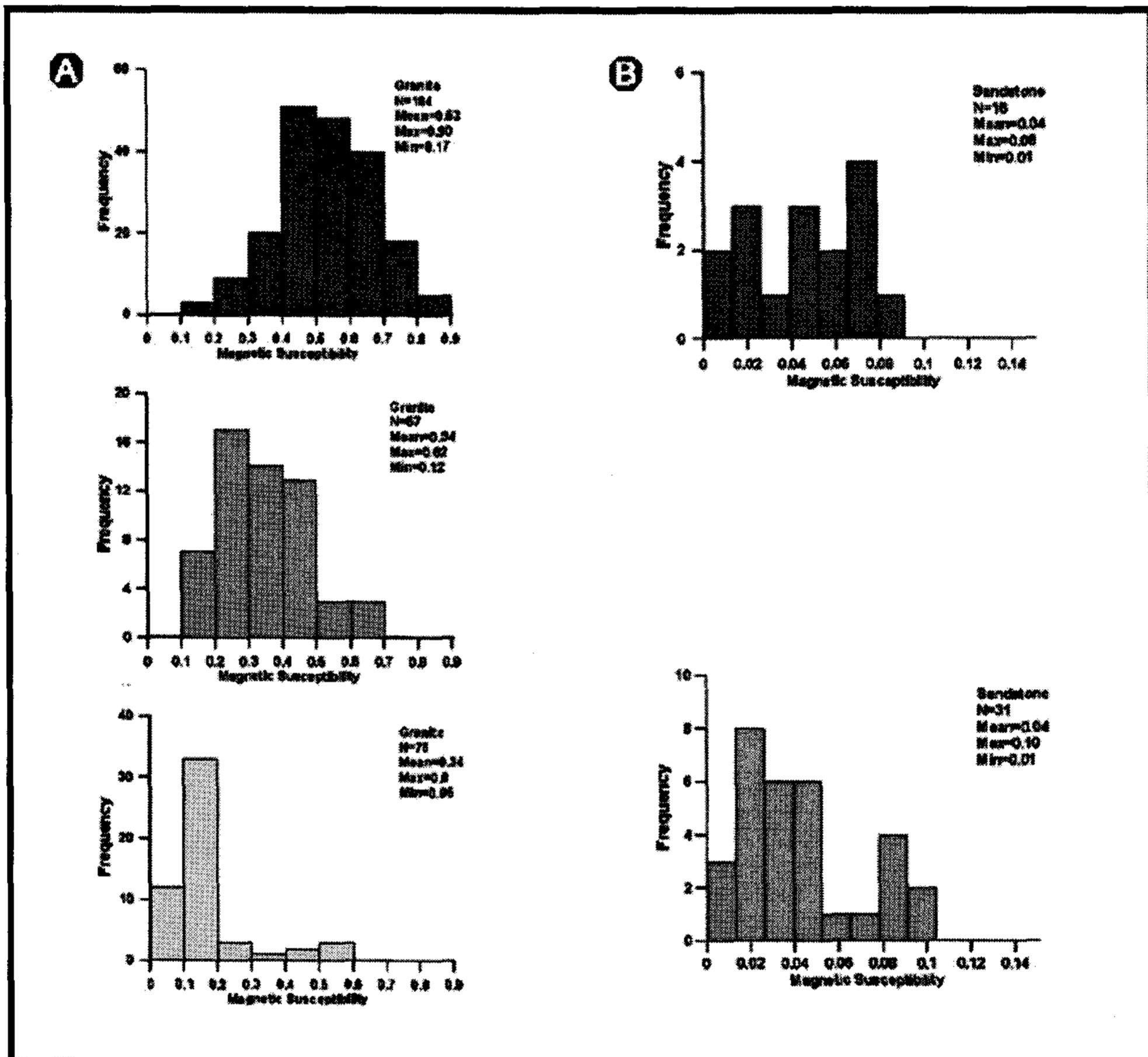


그림 3. 성주사지 오층석탑 및 주변지대의 전암대자율 측정. (A) 오층석탑, 금당지, 연화대좌의 화강암의 전암대자율. (B) 석탑과 금당지 사암의 전암 대자율.

성주사지 오층석탑의 부재는 기상학적, 물리화학적 및 생물학적 풍화요인이 복합적으로 작용하여 석질이 약화되었다. 이 석탑의 물리적 풍화는 다른 훼손양상에 비해 심각한 편은 아니었으나 1층 기단의 부재간 이격과 부등침하 및 부재의 탈락 등으로 보아 향후에 구조적인 훼손이 발생할 것으로 보인다.

이러한 석탑의 훼손도에 대해 물리적 요인, 화학적 요인 및 생물학적 요인을 분석한 후 각각의 인자에 대한 기호를 정하고 사진과 실측도를 이용해 정밀 훼손지도를 작성하였다. 또한 부재의 물성을 통한 풍화훼손 정도를 측정하기 위해 초음파 진단을 실시하였다. 진단 결과 초음파 평균속도 2200m/s로 암석 내부는 이미 석탑의 풍화가 진행되었음이 확인되었다.

4. 결 언

1. 성주사지오층석탑을 이루고 있는 암석은 대부분 석영, 장석, 각섬석, 흑운모 등을 포함하는 각섬석 화강암으로, 대체적인 사암과 혼용되었다. 이 석탑의 대자율 측정 결과, 주변 금당지와 연화대좌의 대자율 값이 유사하며, 암석의 지구화학적 진화경향도 유사한 것으로 보아 동일한 기원의 암석을 사용했을 것으로 판단된다.

2. 이 석탑을 이루고 있는 암석의 정밀 관찰결과, 퍼사이트 조직을 갖는 사장석과 흑운모 벽개면이 이차적으로 변질되어있다. 이는 탑을 구성을 암석이 이미 상당부분 풍화가 진행되었다는 것을 지시하는 것이다.

3. 이 탑의 풍화현상은 물리적, 화학적, 생물학적 원인이 복합적으로 작용한 결과이며, 훼손이 가장 심한 방위는 북쪽면이다. 한편 이 석탑부재 사이의 공간에는 철편, 암편, 기와편 등이 충전되어 있으나 이들의 산화와 부식에 따라 오염물질과 침전물이 산재한다.

4. 기단부의 부재사이에서는 1.5~4cm 정도의 이격이 발생하였으며, 남측면에서는 부등침하로 인한 부재의 균열 및 파쇄현상도 확인되었다. 전반적인 사이트 환경은 양호하나 지반에 대한 정비와 관리가 필요하다. 이 탑의 거의 모든 부분은 생물오염에 의한 변색이 심각하며 각 층 옥개석의 표면에 고착 지의류 및 선태류가 착생한다.

5. 이 탑의 초음파 측정 결과, 전체적으로 풍화가 심각하나 북쪽과 서쪽의 풍화가 더 진행되어 있다. 부재별 풍화상태 진단결과, 기단부 하대중석의 풍화가 심하다. 종합적으로 이 탑에는 구조적 안정을 위한 보강방법이 강구되어야 하며, 균열과 파손부위에 대한 접합 및 경화처리가 필요할 것으로 판단된다.