

부여 정림사지 오층석탑의 풍화훼손도 평가와 부재의 원산지 추정

김영택*·이찬희**·이명성**

*(주)엔가드 문화재보존연구소, **공주대학교 문화재보존과학과

Deterioration Assessment and Provenance Presumption for Rock Properties of the Five Storied Stone Pagoda in the Jeongrimsaji Temple Site, Buyeo, Korea

Yeong Taek Kim*, Chan Hee Lee** and Myeong Seong Lee**

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

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

1. 서 론

정림사지 오층석탑은 충남 부여의 시가지 중심인 부여읍 동남리에 위치한다. 국보 제9호인 이 석탑은 익산 미륵사지 석탑(국보 제11호)과 함께 백제시대에 세워진 귀중한 탑으로 평가되고 있을 뿐만 아니라 상륜부를 제외하고는 원형을 그대로 유지했다는 점에서 매우 중요한 가치를 지닌다. 이 탑은 부재의 균열 및 파손이탈이 부각되지는 않으나 대기오염과 산성비의 영향으로 전체적으로 석질이 약화되어 표면박리와 입자박락이 왕성하게 진행 중이다. 석탑의 4층 옥개석을 구성하는 부재는 뒤틀림과 이격으로 인한 불균형이 관찰된다. 석탑의 거의 모든 표면은 암석의 철과 망간산화물 및 회백색 침전물에 의해 화학적 풍화작용이 가중되고 있다.

이 연구는 정림사지 오층석탑의 구성부재에 대하여 재질의 특성과 기계적, 화학적, 생물학적 풍화 및 훼손도에 대한 평가와 석탑의 보존을 위한 안전진단과 보존처리 방안을 검토한 것이다. 또한 석탑을 중심으로 주변지역의 암석분포도 조사 및 전암 대자율추정을 실시하였으며 석탑과 대상지역 시료의 정밀관찰, 암석학적 분석 및 지구

화학적 정량분석을 수행하였다. 이를 근거로 각 시료간의 상관관계 및 지구화학적 진화경향을 규명하여 석탑 부재의 산지를 추정하였다.

2. 현황 및 재질특성

2.1. 현 황

정립사지 오층석탑은 보물 제108호로 지정되어 있는 석불좌상과 남북 일직선상으로 배치되어 있으며 남쪽으로는 연지유적이 자리 잡고 있다. 사지를 중심으로 서쪽에는 금강이 흐르고 동쪽에는 능산리 고분군이 위치한다. 낙화암이 있는 부소산성은 북쪽에 자리 잡고 있으며, 남쪽에는 궁남지가 위치하고 있다. 현재 석탑은 높이 8.92 m이며, 총 149매의 부재로 이루어져 있으며 기단부는 탑신부에 비해 매우 낮게 구성되는 양식을 보여주고 있다(그림 1).

1층 탑신의 네 면에는 당나라 장수 소정방이 백제를 평정한 사실을 기리는 기공문이 각자되어 있고 각층 옥개석 모서리에는 풍경을 달았던 흔적이 관찰된다. 조선고적도보에 실린 사진에는 당시 4층옥개석의 남쪽 일부가 탈락되어 있는 모습을 확인할 수 있다. 현재 석탑은 전면에 걸쳐 암흑색, 황갈색 및 회백색 변색으로 표면오염이 가중되어 있다(그림 1A, 1B).

2.2. 재질의 특징

야외 정밀조사와 실내연구를 통해서 석탑을 이루는 암석은 조립질의 반상흑운모화강섬록암으로 확인하였다. 석탑은 전체적으로 폭 1~3 cm에 이르는 페그마타이트 세맥을 골고루 갖추고 있으며, 5~10 cm에 이르는 염기성 포획암을 함유하고 있다(그림 1C, 1D). 특히 석탑을 이루는 암석의 가장 큰 특징 중에 하나는 장경과 단경이 2~3 cm에 이르는 사장석 반정을 함유하는 반상조직이 고르게 발달되었다는 점이다(그림 1E). 이러한 특징들은 이 석탑의 구성석재가 다른 유사한 암석과 구별될 수 있는 중요한 단서가 되는 것이다.

석탑의 구성암석이 갖는 반정량적인 광물조성, 광물학적 조직 및 풍화에 의한 변질 광물의 생성을 밝히고자 석탑에서 탈락된 미세시편으로 편광현미경 관찰을 실시하였

다. 석탑의 구성암석은 석영, 알바이트 쌍정이 발달한 사장석, 흑운모, 및 각섬석이 완정질 조직을 이루며 조립질의 입자분포를 갖는 전형적인 화강섬록암임을 관찰하였다. 석탑에서 탈락된 미세시료의 X-선 회절분석 결과에서는 흑운모 화강섬록암의 조암광물인 운모, 석영, 정장석, 사장석이 각각의 시료에서 공통적으로 검출되었다.

3. 풍화상태 및 훼손도 진단

이 석탑은 전체적으로 대기오염과 산성비의 영향으로 석질이 약화되어 표면박리와 입상분해가 심각한 수준이며, 이러한 현상은 2층 탑신 이상에서 더욱 뚜렷이 나타난다(그림 2A). 석탑의 물리적 파손은 적은 편이나 일부에서 부재의 탈락과 파손이탈이 관찰된다. 특히 남측 1층 옥개석 일부가 심하게 파손되어 있으며, 동측면 기단부를 구성하는 부재들은 모서리가 탈락되어 있다(그림 2B). 이 석탑에서 발생하고 있는 구조적인 문제점은 4층 옥개석의 불균형으로 북측편의 4층 옥개석을 구성하는 가운데 부재가 동편으로 뒤틀려져 있다. 이 4층 옥개석의 불균형은 석탑 상층부의 구조적인 안정성에 위협을 가하고 있다(그림 2C).

이 석탑은 대기오염과 산성비의 영향으로 인해 암석표면의 입상분해와 박리현상이 현저하여 수분의 침투와 이차 광물화 작용에 따른 부피변화가 발생하고 있다. 특히 각층의 옥개석에서 이차오염물질에 의한 표면변색이 심하며 주로 황갈색, 적갈색 및 암흑색의 오염양상을 나타낸다(그림 2D, 2E). 한편 회백색 침전물에 의한 백화현상이 강수의 유동흔적을 따라 형성되어 있다(그림 2F). 이와 같이 형성된 오염물질의 표면에는 하등생물이 침착되어 성장하면서 또 다른 유기오염물질을 형성하고 박리와 박락을 유발하여 석탑의 훼손을 가중시키고 있다.

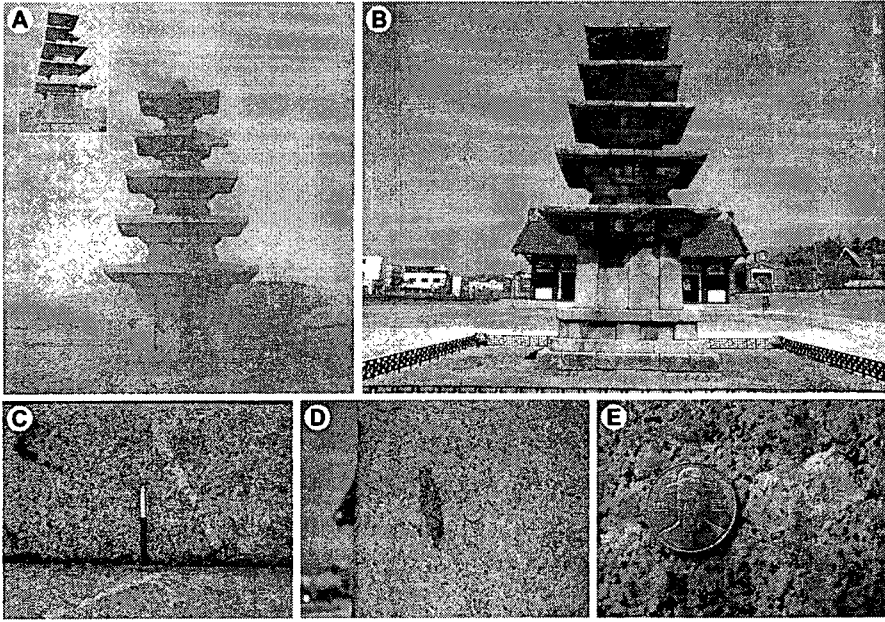


그림 1. 정림사지 오층석탑의 현황 및 재질적 특성.
 (A) 조선고적도보에 실린 사진으로 4층 옥개석의 남쪽 일부가 탈락되어 있다. (B) 표면오염이 가중되어 있는 현재의 석탑 모습. (C) 석탑에 전체적으로 형성되어 있는 페그마타이트 세맥. (D) 5~10 cm에 이르는 염기성 포획암. (E) 장식 반정을 함유하는 반상조직.

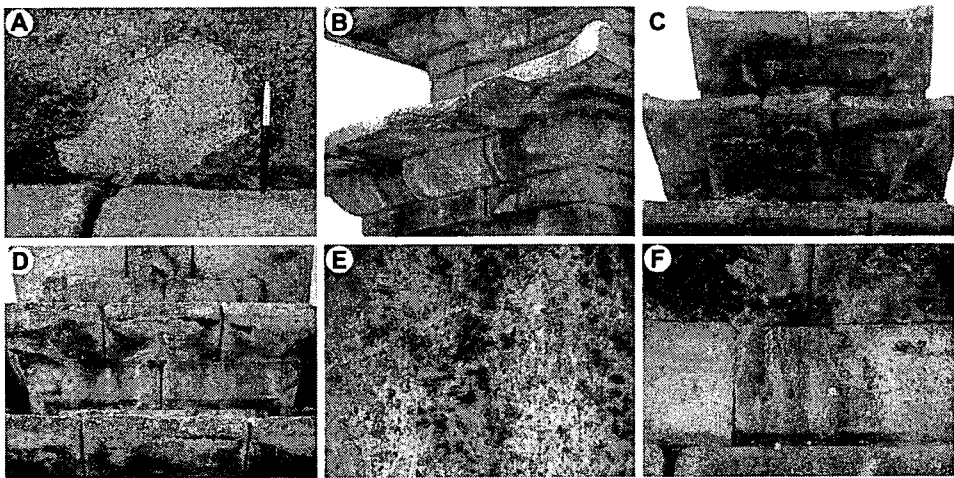


그림 2. 기계적 풍화와 이차오염의 훼손현황.
 (A) 석질의 약화로 인해 형성된 표면박리. (B) 남측면 1층 옥개석의 파손이탈. (C) 4층 옥개석의 불균형 상태. (D) 석탑 전면에 걸쳐 나타나는 이차오염물질에 의한 표면변색. (E) 망간산화물에 의한 암흑색 변색. (F) 강수의 유동흔적을 따라 형성된 회백색 침전물의 침착.

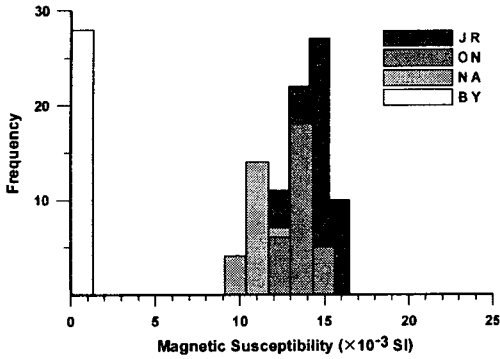
이 석탑의 기계적 풍화와 이차오염에 대하여 전체 표면부재를 대상으로 각 훼손부재의 개수 점유율을 산정하였다. 이 결과, 탈락 및 파손은 5층을 구성하는 부재에서 가장 많이 발생하였고, 부위별로는 탑신 받침에서 그 양상이 가장 심각하게 나타났다. 표면박리 현상도 5층에서 가장 두드러졌으며, 부위별 훼손에서는 탑신이 63.6 %로 가장 높은 점유율을 나타냈다. 이 석탑에서 황갈색, 암흑색 및 회백색의 표면침착은 공통적으로 각층의 옥개받침과 탑신받침에서 오염도가 가장 높게 나타났다. 이 석탑을 훼손시키는 가장 주된 요인은 각 층위별이나 부위별에서 모두 높은 점유율을 보이는 암흑색 변색으로 전체 부재중에서 72.5 %의 표면부재가 오염되어 있어 그 상황이 심각한 수준에 이르렀음을 증명한다.

4. 부재의 원산지 추정

석탑을 구성하는 부재의 재질적 특징을 근거로 석재의 원료 공급지에 대한 산지추정 연구를 수행하였다. 우선 석탑이 위치한 동남리를 중심으로 약 3 km의 반경을 설정하고, 이 지역을 대상으로 정밀조사와 노출된 노두에서 전암 대자율측정을 실시하였다. 그러나 이들 인근지역에서는 조립질의 반상 흑운모 화강섬록암으로 규명된 석탑의 구성암석과 유사하거나 동일한 암석이 없는 것으로 조사되었다.

따라서 석탑을 중심으로 15 km 내외의 광역적인 암석분포도 조사를 수행하였으며 그 결과, 석탑의 구성암석과 동일한 반상 흑운모 화강섬록암은 논산의 남쪽에 위치한 강경의 서부와 북부 일대에서 그 분포양상을 확인하였다. 특히 강경의 서북부에 위치한 옥녀봉과 옥녀봉에서 서북쪽으로 3 km 정도 떨어진 익산의 화산에서 페그마타이트 세맥과 염기성 포획암, 사장석의 반정을 함유하는 반상조각, 조립질의 광물입자 등 석탑의 구성암석과 동일한 재질적 특징을 관찰하였다.

또한 옥녀봉과 화산의 노두에서는 채석흔적이 관찰되어 석재의 공급지로서 가능성을 충분히 뒷받침 한다. 또한 옥녀봉(ON)과 화산(NA)의 노두에서 각각의 전암 대자율 값은 평균 $13.50(\times 10^{-3}$ SI unit)와 $11.68(\times 10^{-3}$ SI unit)의 수치를 갖는 것으로 나타났다. 이는 부여지역(BY)을 대상으로 측정된 대자율 수치와는 달리 석탑의 구성암석(JR)과 거의 동일한 대자율 분포를 보이는 것이다(그림 3).



	JR	ON	NA
Mean	13.90	13.50	11.68
Min	11.80	12.20	9.70
Max	15.70	15.10	14.10
Frequency	101	30	30

그림 3. 정립사지 오층석탑, 부여일대, 옥녀봉 및 화산을 구성하는 암석의 전암 대자율 분포.

이들 두 지역에서 시료를 대상으로 현미경분석을 실시하여 광물조성과 조직 등이 정립사지 오층석탑의 구성암석이 갖는 광물학적 특징들과 거의 동일한 것으로 확인하였다. 또한 X-선 회절분석 결과, 석탑의 시료에서 검출된 운모, 석영, 정장석, 사장석의 조암광물이 옥녀봉과 화산의 암석에서도 공통적으로 검출되었다. 옥녀봉과 화산을 구성하는 암석시료의 정성 및 정량분석을 통하여 석탑에 사용된 석재와의 유사성을 검토하였다. 특히 원소의 진화와 거동, 부화와 결핍정도 및 호정성과 불호정성을 이용하여 표준화 하였을 때도 석탑의 부재와 지구화학적 진화경향이 거의 동일한 것으로 보아, 석탑에 사용된 부재는 옥녀봉과 화산에 분포하는 암석을 원료로 공급하였을 가능성이 상당히 높다.

5. 결 론

1. 정립사지 오층석탑의 구성부재는 조립질의 반상 흑운모 화강섬록암으로 총 149매의 석재로 이루어져 있으며, 높이는 8.92 m이다. 이 석탑을 이루는 부재는 페그마타이트 세맥과 염기성 포획암을 함유하고 있으며, 장경과 단경이 2~3 cm에 이르는 사장석의 반상조직이 고르게 분포한다.

2. 이 석탑은 부재의 탈락 및 파손이탈이 심한 수준은 아니나 전체적으로 석질이 약화되어 표면박리와 입상분해가 왕성하게 진행 중이다. 이 석탑의 4층 옥개석을 구성하는 부재는 뒤틀림과 이격으로 인해 구조적인 불균형이 관찰된다. 이 불균형은 탑

상층부의 안정성에 위협을 가하는 것으로 판단된다.

3. 이 석탑의 거의 모든 표면은 황갈색, 암흑색 및 회백색 침전물로 피복되어 있으며, 특히 각층의 옥개석 하단부와 옥개받침에서 철망간수산화물과 회백색 침전물에 의한 표면착색이 두드러지게 나타난다. 이는 석탑이 산성비와 대기오염물질에 완전히 노출되어 있기 때문으로 해석된다.

4. 이 석탑의 대표적인 훼손현황을 살펴보면, 균열과 표면박리 및 박락은 탑신에서 가장 심하여 전체 부재중에 63.6 %가 훼손된 것으로 나타났으며, 가장 심각한 풍화현상은 암흑색 변색으로 전체 석재 중에서 72.5 %의 표면부재가 오염된 것으로 평가되었다.

5. 석탑을 중심으로 반경 15 km 내외의 암석분포도 조사 및 전암 대자율측정을 실시하여 강경의 옥녀봉과 익산의 화산에 분포하는 노두에서 석탑의 구성부재와 동일한 재질적 특징을 갖추고 있는 반상 흑운모 화강섬록암을 관찰하였다. 또한 옥녀봉과 화산의 노두 곳곳에서 발견된 채석흔적은 석탑의 원료 공급지로서의 가능성을 뒷받침하는 결정적 근거이다.

6. 재질분석을 수행한 결과, 석탑과 옥녀봉, 화산을 구성하는 석재는 암석학적 및 광물학적 특성과 지구화학적 진화경향이 동일하였다. 특히 미량, 희토류, 불이동성원소들의 거동특성이 동일하다는 것은 정립사지 오층석탑과 옥녀봉, 화산을 구성하는 암석이 성인적으로 동일 종류의 마그마에서 생성된 것임을 입증하는 것이다.