

공주 마곡사 오층석탑의 풍화훼손도 진단과 경사도 분석

정영상* · 이찬희* · 이정은* · 박성미* · 서만철**

*공주대학교 문화재보존과학과, **공주대학교 지질환경과학과

Deterioration Diagnosis and Gradient Analysis of the Five Storied Stone Pagoda in the Magoksa Temple, Gongju, Korea

Young Sang Jung*, Chan Hee Lee*, Jeong Eun Yi*

Sung Mi Park* and Man Cheol Suh**

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

***Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University,
Kongju 314-701, Korea*

1. 서 언

마곡사 오층석탑은 충청남도 공주시 사곡면 운암리 마곡사 대광보전 정면에 있으며 보물 제799호로 지정되어 있다. 이 탑은 청동도금제의 풍마동 형식의 상륜부가 원의 라마양식과 유사한 것으로, 이는 국내에서 유일한 것이며 탑이 조성된 편년 파악에 중요한 단서가 된다. 이 탑은 역사학적, 고고학적 및 미술사학적으로 주목을 받아 왔으나 구성암석의 종류와 지질학적 구조안정성, 물리화학적 및 생물학적 풍화훼손과 보존방안에 대한 연구는 미진하다.

따라서 마곡사 오층석탑을 구성하고 있는 섬록암과 화강암류 및 기타 혼용된 암석을 대상으로 암석학적 특성, 풍화양상 및 훼손도를 상세히 연구하였다. 또한 탑에서 나타난 구조적 불안정을 파악하고자 경사도 분석을 실시하였다. 이 연구 결과는 마곡사 오층석탑의 보존과학적 수복을 위한 자료로 이용될 것이다.

2. 현황 및 연구방법

마곡사 오층석탑은 풍화를 받기 쉬운 사찰 경내의 야외에 노출되어 있어 외부환경 요인으로 인한 풍화현상이 심하게 나타나고 있다. 이 석탑은 대부분 석영 섬록암으로 구성되어 있으며, 부분적으로 소량의 화강섬록암과 대체적인 흑운모화강암이 혼용되어 있다. 이 석탑의 표면에서는 박리와 박락, 균열이 나타나 있으며, 계속된 강수와와의 반응에 따라 철수산화물과 산화망간이 생성되어 암갈색과 암흑색의 변색이 발생되어 있다. 석탑의 기단부를 중심으로 지의류, 선태류, 조류, 초본식물 등 다양한 생물종이 자생하고 있다. 또한 석탑의 3층부터 상부로는 북서쪽으로 약간 기울어져 있어 구조적으로 불안정한 상태이다(그림 1).

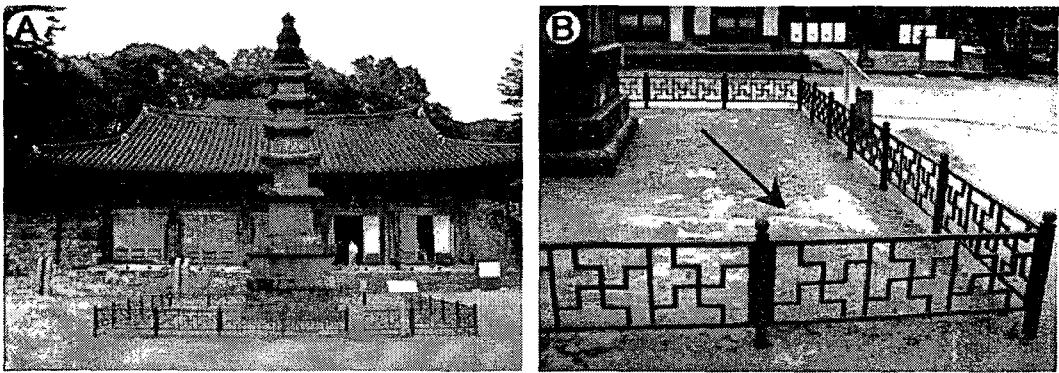


그림 1. (A) 마곡사 오층석탑의 정면의 모습. (B) 낮은 보호철책과 풍화토로 구성된 지반의 산출상태.

이 연구에서는 마곡사 오층석탑 주변의 지형 및 사이트 환경 조사와 부재의 물리 화학적 및 생물학적 풍화특성, 구조 안정성에 관한 정밀조사를 실시하였다. 또한 실내 연구를 위하여 석탑 주변에 분포하는 동일한 암편을 회수하여 암석학적, 광물학적 분석용 시료로 이용하였다. 이 석탑을 구성하고 있는 암편들의 반정량적인 광물조성과 광물학적 공생관계, 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성을 관찰하기 위해 편광현미경 관찰과 주사전자현미경 관찰을 하였으며, 일부 암편 시료에 대해서는 X-선 회절분석과 정량 화학분석을 실시하였다.

3. 부재의 훼손도 평가

마곡사 오층석탑을 이루고 있는 암석은 대부분 중립질의 석영 섬록암이며, 2층 탑신과 노반에서 부분적으로 화강섬록암을 이용했다. 또한 보수 시 대체한 흑운모 화강암이 일부 포함되어 있다. 탑을 구성하고 있는 암석은 석영 세맥을 포함하고 있으며 전체적으로 담갈색의 풍화면을 보인다. 이 석탑의 표면에는 주로 넓은 범위의 박리와 박락, 균열 및 탈락이 진행 중이다. 옥개석은 모서리 마모와 파손이 나타나고, 탑신에서도 파쇄 및 인위적으로 발생한 목서가 보인다(그림 2A, 2B).

이 석탑에서는 전반적으로 남측면 보다 북측면에서 풍화훼손도가 심각하다. 또한 암석의 용해반응으로 용출된 철과 망간산화물의 오염물질이 표면에 착색하여 화학적 풍화작용이 가중되고 있다. 대부분의 표면은 이차적 오염물질이 착색되어, 수직상으로 암갈색, 적갈색, 암흑색의 변색이 나타나고 있다(그림 2C). 이와 같은 이차오염물로 인한 변색은 강수의 흐름을 따라 형성되어 미관을 해치고 있다.

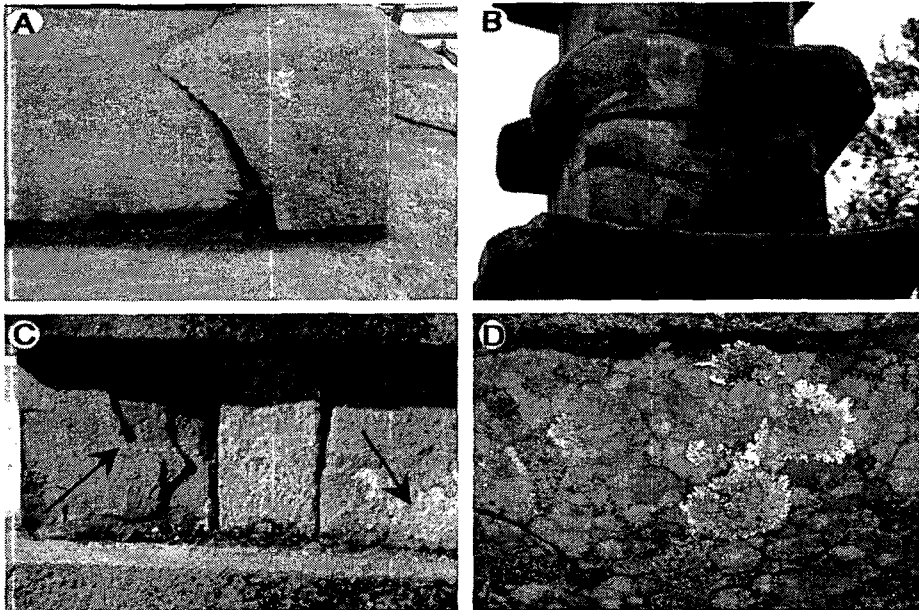


그림 2. 마곡사 오층석탑에서 물리화학적 및 생물학적 풍화 상태. (A) 1층 옥신 괴입석의 균열. (B) 북측 3층 탑신에서 발생한 부재의 파쇄 현상. (C) 석탑 표면에 철수산화물과 유백색 오염물질로 인해 발생된 이차적 변색. (D) 기단부에 자생하고 있는 엽상지의류와 고착지의류.

한편 마곡사 오층석탑의 기단부는 생물학적 오염이 집중되어 있으며 균류, 조류, 지의류나 선대류 등 다양한 생물종이 암석의 표면에 고착되어 기생하면서 황갈색, 청남색, 진녹색의 반점상으로 산출된다. 석탑은 일조량이 적은 산기슭에 위치하고 있기 때문에 수분을 필수적으로 요구하는 조류의 서식이 용이했을 것으로 판단되지만 대부분의 조류는 균류와 공생하는 지의류의 형태로만 관찰되었다(그림 2D).

수습한 암석시료를 통해 광물학적 미세조직의 특징을 편광현미경 관찰한 결과, 석영섬록암의 각섬석 일부가 변질되고 기질의 대부분이 재결정작용을 통해 점토광물화되어 있었다. 또한 암편의 X-선 회절분석을 실시한 결과, 조암광물과 함께 방해석이 동정되어 있다. 이는 암석부재가 염이나 시멘트 몰탈 등에 의해 오염되었기 때문에 생성된 것으로 판단된다.

4. 구조적 불안정 및 경사도 분석

이 석탑의 변위 측량자료를 이용하여 각 방향의 기단면석 중앙 상단부로부터 각층 면석의 중앙 상단부에 설치한 반사점까지 수평거리 및 수직높이를 구하여 그래프로 표시하였다. 이 결과 석탑의 남북방향에서는 북측면이 남측면보다 반사점 사이 수평거리가 짧아 탑이 대칭적이지 못하고 북쪽으로 기울어졌음을 확인하였다. 또한 2층부까지는 대칭적인 구조로 비교적 잘 보존되고 있으나, 3층 탑신부터 현저하게 북북서 방향으로 기울어져 있다(그림 3A, 3C).

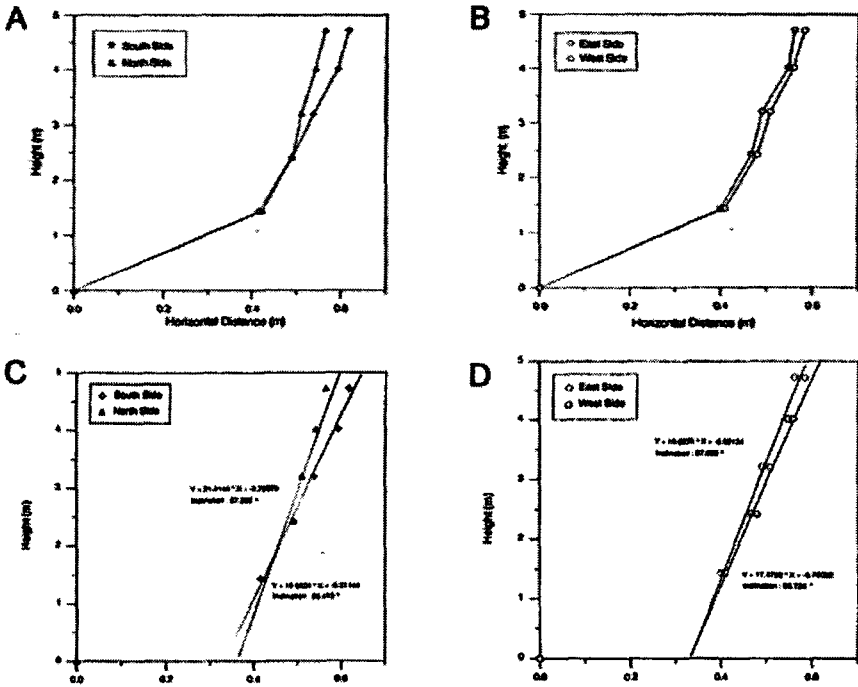


그림 3. 마곡사 오층석탑 측량반사점의 기단면석 중앙 상단부로부터의 수평거리 및 수직 높이.

(A) 남북 방향의 높이차. (B) 동서방향의 높이차.

(C) 남측면과 북측면의 탑신부 경사도 (D) 동측면과 서측면의 탑신부 경사도.

이에 반해 동서방향의 경우는 양측면의 자료가 유사한 경향을 보여 남북방향보다는 균형적이지만, 역시 서측 방향이 동측 방향보다 반사점 사이 수평거리가 약간 서측으로 기울고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 탑의 북측 2층 탑신의 심한 파쇄 현상과, 탑을 지지하는 지반의 부등침하를 발생시킨 원인으로 볼 수 있다. 이에 대한 정확한 해석을 위해 석탑의 지반에 대한 비파괴물리탐사를 수행해야 할 것으로 판단된다(그림 3B, 3D).

5. 결 언

1. 마곡사 오층석탑을 이루고 있는 암석은 대부분 석영섬록암이며 부분적으로 화강섬록암, 흑운모화강암 등이 혼재한다. 이 탑은 기존의 잔디를 제거하여 습기에 의한 피해를 최소화 시키는 올바른 보존적 선택을 했으나, 현재 시멘트와 풍화토가 부분적

으로 유실되어 보존관리가 필요할 것으로 판단된다.

2. 이 석탑의 구성암석에 관한 주요 조암광물은 흑운모, 석영, 사장석, 녹니석, 방해석, 녹니석-스멕타이트 혼합층상광물 등이다. 주사전자현미경 분석결과, 암석 내부에서 식물의 포자근과 유기물 등이 존재하였고 장식과 풍화산물인 고령석과 점토광물이 확인되었다.

3. 변위 측량결과, 이 탑은 북서쪽으로 기울어졌음을 알 수 있다. 기울어짐의 원인은 3층 탑신의 파쇄작용으로 추정되나 다양한 방법으로 정밀한 측정을 통하여 구조적 불안정의 원인을 파악하고 보강방법을 강구할 필요가 있다.

4. 이 석탑의 물리적 훼손으로는 각층 옥개석의 파손과 부재의 박리, 박락, 균열이 주로 이루고 있다. 또한 2층 탑신에는 목서와 물리적인 힘에 의해 훼손된 부분도 있었다. 이 탑에서 나타나는 화학적 풍화로는 암흑색의 변색과, 탑신부 부재 이격에 끼워져 있는 철판의 산화로 인한 암갈색의 변색이 주를 이루고 있다.

5. 이 석탑은 기단부에서 흑회색, 연녹색 지의류, 연황색 조류, 초본식물들이 주로 자생하고 있으나 생물학적 피해는 미약한 편이다. 그러나 탑신 괴임석에서 유백색의 반점상의 조류 분비물도 관찰되어 여러 양상의 생물학적 피해가 가중되고 있다. 따라서 정밀 조사과정을 거쳐 종합적 보존수복 방안을 검토해야 할 것이다.