

## 진천 태화4년명 마애불의 풍화훼손도 평가와 보존 처리

이찬희\* · 한병일\*\* · 김선덕\*\* · 김영택\* · 이명성\*

\*공주대학교 문화재보존과학과, \*\*(주)엔가드 문화재연구소

### Conservational Treatment and Deterioration Assessment of the Sculptured Standing Buddha Named Taehwa 4 Year in Jincheon

Chan Hee Lee\*, Byeong Il Han\*\*, Sun Duk Kim\*\*, Young Taek Kim\*  
and Myeong Seong 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

이 연구는 충청북도 진천군에 있는 진천 태화 4년명 마애불 입상(시도유형문화재 91호)을 대상으로 지질학적, 암석학적 산출상태와 보존과학적 진단 및 보존처리를 검토한 것이다. 이 마애불입상은 충청북도 진천군 초평면 용정리 산 7에 위치하며, 남서쪽을 향하고 있는 절벽의 하단부에 음각으로 조각되어 있다. 이 불상 옆에 새겨진 태화 4년이란 명문을 통해 신라 흥덕왕 5년(830년)에 조각된 것임을 알 수 있다. 이 불상은 가는 선으로 새긴 타원형 광배를 갖추고 연꽃이 새겨진 사각형의 대좌 위에 서 있다.

우리나라 대부분의 석조문화재는 이미 생물훼손이 상당히 진행되어 있어 적합한 보존관리 시스템이 구축되어야 한다. 또한 대부분의 석조문화재에 발달된 불연속면 및 박리와 박락 부위의 접착과 보강이 필수적이다. 보존처리에는 풍화도와 암석의 재질을 고려한 임상실험이 선행되어야 한다. 이 연구에서는 진천 태화4년명 마애불상 입상을 대상으로 암석 및 광물학적 특성과 기계적, 화학적 및 광물학적 풍화훼손을 진단하였다. 또한 생물오염도 분석 및 환경영향을 규명하여 가장 적절한 보존방법과 보존처리 방안을 제시하고자 한다. 이 자료는 보존과학적 정량화를 통해 석조문화재의 체계적인 보존관리 지침으로 활용할 것이다.

## 2. 지형 및 지질

연구지역은 충청북도 진천에서 증평방향의 34번 국도변에 있으며, 초평저수지 부근의 비교적 낮은 산에서 남쪽으로 연장된 능선에 발달한 사면의 하단에 위치한다. 이 지역의 산계는 대부분 100~500 m의 저산성 산지이다. 수계는 금강 상류인 미호천이 남에서 북으로 흐르고, 북동부의 초평저수지로 흐르는 지류와 북서부의 진천읍을 지나 백곡저수지로 이어지는 지류가 형성되어 있다. 마애불의 북부에는 남북방향의 지류가 형성되어 초평천으로 유입되고 있다.

마애불 일대의 지질은 선캠브리아기의 호상편마암과 화강편마암을 기반암으로 하여 이를 관입한 쥐라기 화강암류가 있으며, 이들을 부정합으로 피복한 백악기의 초평층군이 북동-남서 방향으로 분포한다. 초평층군은 적색 각력암, 적색 사암, 적색 이암, 회색 역암, 회색 사암, 녹회색 이암으로 이루어져 있다. 기반암의 상부는 수목이 우거져 있으며, 마애불 주변의 암벽은 거의 수직으로 노출되어 있다.

이 마애불은 지형적인 산계와 수계의 특별한 영향을 받은 것으로는 보이지 않으나 교통량이 많은 국도변에 인접해 있어 지반진동과 소음 및 대기오염 물질의 직접적인 영향을 받을 것으로 보인다. 마애불과 주변에 분포하는 암석의 표면에는 지의류와 선태류의 오염이 심각하여 생물학적 풍화작용을 가중시키고 있다. 한편 마애불의 암반에는 크고 작은 절리면이 발달되어 있고, 이 절리면과 본체 암반 주위로 잡초와 수근이 암석의 기계적 및 생물학적 훼손을 증첩시키고 있다.

## 3. 현황과 암석학적 특성

### 3.1. 현황

진천 태화4년명 마애불은 남서쪽을 향하고 있는 절벽의 하단부에 음각으로 선각되어 있고 총 높이는 1.7 m이며, 불상의 높이는 119 cm 정도이고 두상은 21 cm, 가슴넓이 28 cm이다. 마애불 입상의 부근에는 금정사라는 절이 있었다고 전해오나 확실한 내용은 확인할 수 없다. 불상 좌측 옆 상단에 태화4년 경술3월일이라는 명문이 있어 신라 흥덕왕 6년(830년)에 조성된 미륵상임을 알 수 있다. 높이 1.7 m의 마애불은 가는 선으로 새긴 배 모양의 타원형 광배를 갖추고 연꽃이 새겨진 사각형의 좌대위에서 있으나 불상의 신체부분은 심하게 파손되어 잘 알아볼 수 없다.

이 마애불 입상은 현재 보존처리를 하였으며 보호각을 건립하여 주변을 완전히 정비하였다. 그러나 보존처리 전에는 잡목과 수초가 무성한 가운데 철제 울타리만 설치되어 있었다.

이 불상이 선각된 암반은 미세엽리와 층리가 발달되어 있으며, 크고 작은 불연속면이 불규칙하게 나타나 있다. 또한 지의류의 밀생과 도로변에서 생성된 먼지가 피복되어 암회색의 풍화면을 보인다. 이 마애불에는 다리와 좌대, 두상, 어깨, 가슴, 허리 등 거의 전신에 걸쳐 박리와 박락된 부분이 많아 신체의 각 부분이 불분명하다. 이 마애불입상은 조성연대가 명기된 중요한 불교 문화재로 진천지역에서는 유일하게 절대연도를 가진 불상이다.

### 3.2. 암석학적 특징

이 마애불의 전면은 남서쪽을 향하고 있으며 N40°W의 주향과 거의 수직에 가까운 배면 경사를 갖는다. 이 마애불을 이루는 암반은 N13°W의 주향과 31°NE의 경사를 갖는 층리가 발달하고 있다. 또한 마애불 좌우측에는 수직에 가까운 절리가 발달하며 층리면과 사교하고 있어 암반의 구조적 불안을 야기하고 있다. 이 마애불 일대의 지질은 선캠브리아기의 호상편마암과 화강편마암을 기반암으로 하여 이를 관입한 쥐라기 화강암류가 있으며, 이들을 부정합으로 피복한 백악기의 초평층군이 북북동-남남서 방향으로 분포하고 있다.

마애불을 구성하는 초평층군의 암석은 암회색 세일이다. 마애불과 주변암의 전암 대자율은 특별한 차이 없이 대부분  $0.28\sim 0.50(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$  정도로 낮은 값(평균 0.39)을 보인다. 이는 일반적인 세립질 퇴적암과 거의 동일한 값을 가지는 것으로서 중광물의 함량이 매우 낮은 것임을 지시하는 것이다. 이 암석은 보통 세립질의 석영, 장석 및 운모가 주요 조암광물을 이루고 있으며 각섬석이 미량 포함되어 있다. 장석과 운모 및 각섬석의 입자경계와 벽개면은 이차적인 풍화에 의하여 녹니석, 녹염석 및 불투명 철산화 광물로 교대된 것을 볼 수 있다.

## 4. 풍화상태 및 훼손현황

### 4.1. 물리적 및 기계적 훼손과 풍화

이 마애불의 전면은 층리를 사교하는 크고 작은 불연속면이 발달하며 암석을 기계적으로 훼손시키고 있다. 절리면의 암석은 심한 기계적 및 화학적 풍화가 진행되어 있으며 박리와 박피작용이 현저하다. 따라서 마애불의 음각선은 거의 알아 볼 수 없으며 암상의 변색 및 암편의 박락에 의해 명문도 알아보기 힘들 정도로 마모되어 있다. 또한 마애불의 본체를 구성하는 암반은 수평균열이 발달되어 있고, 얼굴부위는 박리와 박락, 균열에 의하여 물리적 및 기계적으로 파괴되어 있다. 대부분 수직에 가까운 절리들은 배면경사를 하며 상부가 넓어진 특징을 가지고 있었으며, 이 틈에는 잡목과 암석의 파편이 산재한다. 이는 우기에 강수의 통로가 되어 화학적 및 기계적 풍화를 가속시킬 것이며, 겨울에는 결빙과 용해가 반복

되면서 썩기작용에 의한 암석의 파괴가 발생할 것이다.

한편 마애불 주변에는 수 cm의 퇴적동시성 단괴들이 관찰되며 차별침식과 함께 암흑색으로 변색된 표면도 보인다. 마애불의 우측에는 불연속적으로 발달한 층리구조를 보이며 이를 따라 암석의 박리와 박락이 가중되어 있다. 또한 암반 자체가 배면경사를 하고 있어 마애불의 표면은 우수의 영향을 직접적으로 받게 된다. 연화좌 바로 밑의 암반은 구조적으로 불균형을 이루고 있어 쉽게 훼손될 위기에 처해 있다. 이 마애불의 암반에 발달된 불연속면의 주향과 경사를 측정하고 응력의 방향을 해석하고자 평사투영도와 로즈 다이어그램에 투영한 결과, 대부분의 절리계는 N40~60°E와 N13~22°W의 주향과 수직, 수평 및 저경사를 갖는 다양한 불연속면이 중첩된 것으로 나타났다.

#### 4.2. 화학적 및 생물학적 분석과 진단

석조문화재의 훼손등급은 광물입자의 결합력, 탈색 내지 변색정도, 흑운모 또는 장석류의 화학적 풍화정도, 오염물질의 피도 및 생물훼손도에 따라 세분할 수 있다. 이 마애불의 암석학적 강도는 큰 문제가 없으나 탈색과 변색, 무기오염물질의 생성, 생물침해는 상당히 심하다. 각 시료들의 전암 화학조성을 보면, 일부시료를 제외하고는 SiO<sub>2</sub>의 함량이 증가함에 따라 TiO<sub>2</sub>와 MnO 및 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 증가하는 경향을 보여주었다. 이는 황갈색 철산화물과 암흑색 망간산화물이 기반암의 층리를 따라 착색되어 있는 것과 관계가 있다. 암석의 풍화에 의한 원소의 거동특성과 부화 및 결핍정도를 근거로 화학적 풍화지수(CIA)와 풍화잠재지수(WPI)를 구해본 결과, CIA는 43.05~44.58이며 WPI의 범위는 10.53~19.52로서, 현재 암석의 풍화작용이 왕성하게 발생하는 정도는 아니나 풍화잠재지수는 매우 높은 것으로 나타났다.

이 마애불에도 지의류에 의한 생물학적 풍화가 심각하다. 마애불의 전방 10 m 앞에는 일조량을 방해하는 야산이 있어 수분의 증발산이 불량할 것으로 보이며 이것이 암석의 화학적 및 생물학적 풍화를 가속시킨 것으로 판단된다. 따라서 마애불의 표면은 암회색, 암흑색, 청록색 또는 담녹색을 띠는 고착지의류, 엽상지의류 및 이끼류가 성장한 것으로 보인다. 또한 마애불의 좌우측과 상부의 절리면에는 잡목과 잡초가 서식하고 있어 식물체에 의한 풍화를 가속시키고 있다. 마애불입상의 표면에 착생하는 식물은 지의류 3종, 선태류 1종이 동정되었다. 부분적으로 차이는 있으나 전면 상부와 우측면에서 지의류인 *Lepraria*와 선태류인 *Bryum argenteum*을 볼 수 있어 이미 생물의 착생 및 번식이 상당히 진행된 것을 알 수 있었다.

이 외에도 토양화가 진행된 곳에서는 이끼류가 밀생하고 있는 것으로 보아 하등식물의 생활사가 충분히 완수될 수 있을 만큼 식생의 천이가 진행되었다. 마애불의 상부와 좌측면에

는 2차 도입종인 소상지의류(fruticose lichen)인 것으로 보아 마애불입상 표면의 식생변화는 이미 초기단계를 지나 성숙 단계에 이른 것으로 보인다. 마애불의 좌우측면은 부분적으로 선태류에 의해 덮여 있었는데 이들은 두꺼운 층을 형성하고 있어 이미 상당량의 토양이 축적된 것을 알 수 있었다. 따라서 이들의 생육을 억제하기 위한 생태적 조건을 찾는 것이 차선택이겠으나 이 역시 노출된 지역에 위치하고 있어 거의 불가능하므로 하등식물의 천이가 더 이상 진행되지 않도록 표면에 화학적 처리를 해 두는 것이 필요할 것으로 사료된다.

## 5. 보존처리 및 관리

이 마애불이 선각된 암반은 미세엽리와 층리가 발달되어 있으며, 크고 작은 불연속면이 불규칙하게 나타나 있다. 또한 지의류의 밀생과 도로변에서 생성된 먼지가 피복되어 암회색의 풍화면을 보인다. 다리와 좌대, 두상, 어깨, 가슴, 허리 등 거의 전신에 걸쳐 박리와 박락된 부분이 많아 신체의 각 부분이 불분명하다. 보존처리는 충청북도 진천군의 의뢰를 받아 2003년 9월 8일부터 12월 19일까지 실시하였다. 처리부분은 마애불 전면의 세척과 암석의 이탈부위를 접합하고 주변 암석의 균열 및 탈락부위를 충전, 보강하였으며 지의류, 이끼류를 제거하였다. 또한 마애불의 보호각 공사와 빗물의 유입을 최소화하기 위해 배수로를 만들었다.

표면세척은 시방서에 명기된 방법으로 석재에 손상이 가지 않도록 부드러운 솔과 나무칼을 사용하여 1차 건식세척과 2차 습식세척을 실시하였다. 이때 지의류 등 잘 제거되지 않는 부분은 증류수를 뿌려 충분히 불린 다음 부드러운 솔과 나무칼을 이용하여 제거하였다. 이 마애불에는 박리와 불연속면이 무수히 많이 발달되어 있고, 결손부위와 인위적인 파괴흔적이 있어 석조문화재 보강용 수지를 이용한 접합과 충전이 필요하였다. 이런 부위 중에서 마애불의 안전에 위협이 되는 부분을 다음과 같이 보강했다. 암석의 이탈부위는 세척을 끝낸 후 국립문화재연구소에서 추천한 인공수지(L-30)를 사용하였으며 마애불 본체에는 임의 성형되지 않도록 작업을 최소화 하였다. 충전제로는 활석과 규소분말, NY-C를 혼합하여 사용하였다.

마애불 주변 암석의 균열 부위는 주사기를 이용하여 접착용 수지를 암석 내부까지 완전히 충전 되도록 주입하였다. 발수경화제는 DWR를 사용하였고 세척 후 충분히 건조 한 후 작업을 실시하였으며 총 3회 도포하였다. 마애불 상부의 경사면 비탈로부터 흘러내리는 빗물을 최소화하기 위해 자연 암석을 이용해 물이 마애불입상 좌우로 흐르도록 하였다. 배수로 설치하는 추후 공사과정에서 검토하기로 하였다. 마애불 상부의 수목 및 잡초는 최대한 제거하여 뿌리 침투로 인한 암석의 파괴요인을 제거하였으며, 그늘에 의한 습기 발생을 최소화

하여 향후 지의류 발생을 억제토록 조치하였다. 색맞춤은 수지가 완전히 건조되고 주변이 건조된 후 작업하되 주변 암석과 동일한 질감을 갖도록 보채하였다. 현재는 일차적인 보존 처리가 완료되었으며 보호각도 건립하여 이전과는 대조적인 모습으로 정돈되어 있다.

## 6. 결론

1. 이 마애불은 암회색 세일의 암벽에 음각되어 있고 총 높이는 1.7 m이며, 불상의 높이는 119 cm, 두상은 21 cm, 가슴넓이 28 cm이다. 이 불상이 선각된 암반은 미세엽리와 층리가 발달되었고, 크고 작은 불연속면이 불규칙하게 나타나 있다. 이 마애불은 거의 전신에 걸쳐 훼손된 부분이 많아 신체의 각 부분이 불분명하다.

2. 이 마애불의 전면은 남서쪽을 향하고 있으며 N40°W의 주향과 거의 수직경사를 갖는다. 기반암은 N13°W의 주향과 31°NE의 경사를 갖는 층리가 발달하고 있다. 불상의 좌우로는 불연속적으로 발달한 층리가 암석의 박리와 박락을 가중시키며, 암반의 배면경사에 의해 마애불의 표면은 우수의 영향을 직접적으로 받는다.

3. 암석의 풍화에 의한 원소들의 거동특성과 부화 및 결핍정도로 보아 마애불 석재의 화학적 풍화지수는 43.05~44.58의 범위로서, 현재 암석의 풍화작용이 왕성하게 발생하는 정도는 아니나 풍화잠재지수는 높은 것으로 해석된다. 마애불의 암석에서는 이차적 풍화산물인 점토광물과 하등식물의 뿌리조직 및 지의류의 균사체가 혼재되어 나타난다.

4. 이 마애불의 표면에 착생하는 식물은 지의류 3종, 선태류 1종이 동정되었다. 부분적인 차이는 있으나 지의류인 *Lepraria*와 선태류인 *Bryum argenteum*을 볼 수 있어 이미 생물의 착생 및 번식이 상당히 진행된 것을 알 수 있다. 토양화가 진행된 곳에서는 이끼류가 밀생하고 있으며 상당수가 포자낭을 형성하였다.

5. 생물오염을 제거하기 위해서는 현재 사용되거나 개발되어 있는 약제들을 선정하여 생물 침해 종의 저해정도 및 포자의 재발생 여부, 변색부위의 회복에 초점을 맞추어 실험 후 사용해야 할 것이다. 또한 생물오염은 완전히 제거된 것으로 보여도 석조문화재의 특성상 장기적인 보존처리를 위해서는 새로운 미생물의 착생을 차단할 방법을 고안할 필요가 있다.

6. 이 마애불은 2003년 9월 8일부터 12월 19일까지 보존처리를 실시하였다. 보존처리는 1차 건식세척과 2차 습식세척을 실시하고 암석의 이탈부위는 세척을 끝낸 후 합성수지(L-30)를 사용하였으며 충전제로는 활석과 규소분말, NY-C를 혼합하여 사용하였으며, 주변 환경과 이질감이 없도록 색맞춤 하였다. 발수경화제는 DWR을 사용하였으며 세척 후 충분히 건조 한 후 3회 도포하였다.

7. 마애불 상부 산비탈로부터 흘러내리는 빗물을 최소화하기 위해 자연 암석을 이용해 빗

물이 마애불의 좌우로 흐르도록 조치하였다. 또한 주변의 수목 및 잡초를 제거하여 뿌리 침투로 인한 암석의 파괴요인을 방지하고 습기발생을 최소화하여 향후 지의류의 발생을 억제시켰다.

8. 이 마애불은 표면풍화에 의해 석재 자체의 성능이 저하되어 있으므로, 장기적인 모니터링과 함께 석재의 표면을 강화할 수 있는 처리방법을 연구해야 할 것이다. 이 마애불에는 후면의 배수로 확보와 구조적 안정을 위한 지반공학적 보강방법이 강구되어야 할 것이다. 또한 생물상의 침해와 표면습도를 저감하기 위한 방법 및 일조량 확보를 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.