

논산 관촉사 석조미륵보살 입상의 보존과학적 진단 및 기원암의 산지추정

이정은* · 박성미* · 정영상* · 곽연천* · 이찬희*
윤석봉** · 문호은** · 오진희** · 이규란** · 최보미**

*공주대학교 문화재보존과학과, **공주대학교 사범대학 부설고등학교

Conservational Scientific Diagnosis and Provenance Presumption of Source Rock for the Standing Buddha Statue in the Gwanchoksa Temple, Nonsan, Korea

Jeong Eun Yi*, Sung Mi Park*, Young Sang Jung*,
Yean Chun Kaug*, Chan Hee Lee*, Seok Bong Yun**, Ho Eun Mun**,
Jin Hee Oh**, Gyu Ran Lee** and Bo Mi Choi**

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

***The Attached High School to the College of Education at Kongju National
University, Kongju 322-100, Korea*

1. 서 언

이 연구는 한국여성공학기술인협회에서 주관하며 여성 대학원생 및 여대생과 여고생이 참여하는 여성기술인력양성사업(WATCH 21)의 일환으로 진행된 것으로서, 논산 관촉사 미륵보살 입상을 대상으로 풍화훼손도 평가와 기원암의 산지를 추정한 것이다. 이 석불입상은 충남 논산시 은진면에 있는 관촉사 내에 위치하며, 보물 제218호로 지정된 고려시대의 석조문화재이다. 이 석불입상은 고려 광종 19년(968년)에 관촉사의 창건과 함께 조성된 석불이며, 흔히 “은진미륵”이라고 불린다. 당시 충청도에서 유행하던 고려시대의 석불양식을 대표하는 작품으로 우리나라에서 제일 큰 석불이며 보존 가치가 아주 높다.

이 석불입상에 대해 이미 역사학적, 미술사학적인 연구가 진행되어 학술적으로 귀

중한 자료로 평가되어 왔다. 그러나 현재 이 석불입상은 이차오염물에 의한 변색과 표면 박리가 심각하며, 구조적 안정성도 위협을 받고 있다. 따라서 이 연구에서는 석불입상의 보존과학적 측면에서 암석의 특성, 구조적 안정성, 물리화학적 및 생물학적 풍화훼손도에 관한 검토가 수행되었다. 또한 이 석불입상에 사용된 석재의 산지에 대한 과학적인 증거를 제시하였다. 이 연구결과는 이와 유사한 석조문화재의 보존을 위한 자료로 활용할 것이며, 보존과학적 대안을 마련하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 현황 및 연구방법

관촉사 석조미륵보살 입상은 전반적으로 전면으로 약간 경사가 있어 구조적 안정성에 위협이 있고 부재와 부재 사이를 충전한 콘크리트와 철심이 흉하게 드러나 있으며, 철판이 수분과 반응하여 생성된 철산화물에 의한 변색이 심하다(그림 1A). 이 석불입상의 기반암은 불연속면의 발달로 인하여 상당히 불안한 상태이며, 경사진 지반으로 빗물이 흘러들어 암석의 풍화를 촉진시키고 있다(그림 1B).

이 석불의 구성암석 표면은 심한 풍화작용으로 인하여 박리, 박락 및 균열이 생성되어 있다. 사이트 환경은 낮은 보호철타크이 있어 직접적인 인위적 훼손은 없으나 석불입상의 후면으로 여러 수목이 자생하고 있으며, 주변 지반에는 잡초와 잔디가 서식하고 있다. 이는 '높은 상대습도를 오랫동안 유지시키는 역할을 하기 때문에 습기에 의한 조류와 지의류의 오염이 심각하다(그림 1C).

이 연구에서는 관촉사 석조미륵보살입상 주변의 암석분포도 조사 및 기반암의 구조적 안정성 조사와 부재의 암석학적, 물리적, 화학적 또는 생물학적 풍화특성에 관한 정밀조사가 시행되었다. 또한 실내연구를 위하여 석탑 주변에 분포하는 동일한 암편을 회수하여 암석학적, 광물학적 분석용 시료로 이용하였다. 이 석탑에서 발생한 침전물 및 이차수화물의 관찰을 위해 주사전자현미경을 사용하였으며, 암석의 반정량적인 광물조성과 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성 등을 관찰하였다.

일부 암편 시료와 침전물에 대해서는 X-선 회절분석과 주사전자현미경 분석을 실시하였다. 한편 석불입상을 구성하고 있는 암석의 산지 추정을 위해 전암대자율을 측정하였고, 암석의 주성분, 미량 및 희토류 원소의 함량은 XRF와 ICP-MS 및 INAA를 이용하여 정량하였다.

3. 부재특성과 산지추정

이 석불입상을 이루는 암석은 전형적인 화강섬록암으로서 흑운모가 주요 유색 광물이다. 암석의 색은 암회색이며 부분적으로 반정조직을 갖는 조립질의 등립질 입상조직을 보이는 단일 암석으로 구성되어 있다. 또한 페그마타이트 세맥과 석영세맥이 관찰되기도 한다. 암석학적 특성을 알아보기 위해 석불입상과 주변 기반암을 대상으로 전암대자율값을 측정하였다.

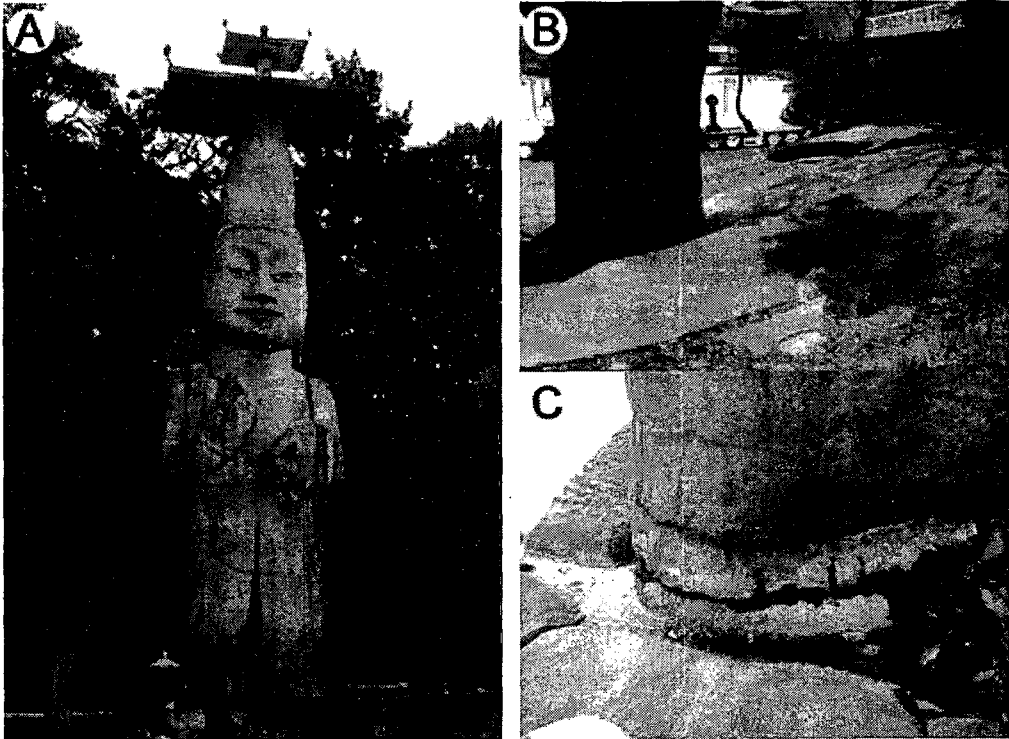


그림 1. (A) 관촉사 석조미륵보살 입상 전면의 균열발생과 이차오염물로 인한 변색. (B) 석불입상 후면의 경사진 기반암의 산출상태. (C) 석불입상 주변 배수로의 모습으로 지하수가 고여 있어 물리화학적 및 생물학적 피해가 가중되고 있음.

전암 대자율 값의 범위는 $6.61 \sim 15.7(10^{-3} \text{ SI unit})$ 정도로 전체적으로 높은 값을 가진다(그림 2A). 이를 세분하면 석불입상의 대자율 값은 $6.61 \sim 15.7$ (평균 11.63)이며, 주변 기반암은 $6.61 \sim 14.2$ (평균 10.65)이다. 석불입상의 대자율 값이 다소 높지만 서로

동일한 분화 과정을 경험한 유사한 종류의 암석으로 해석할 수 있다. 이 화강섬록암은 대자율 측정값으로 보아 자철석 계열에 속하며, 이는 이미 연구하여 보고된 논산 일대의 화강암의 전암대자율 값과도 거의 일치한다.

이 석불입상을 이루는 화강섬록암의 주성분 원소에 대하여 부화와 결핍정도를 비교하고자 석불 주변 화강암체의 평균조성 및 일반적인 화강암의 평균 함량을 기준으로 표준화하였다(그림 2B). 각각의 조성을 일반적인 화강암의 평균 함량으로 표준화하면 그림 2B와 같이 대부분의 원소(Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5)는 부화되어 있으며 MnO 와 K_2O 는 결핍되어 있다. 이 결핍원소들은 암석의 조성적 차이에 따라 다르겠지만 풍화작용에 의하여 소실된 것으로 설명할 수 있다.

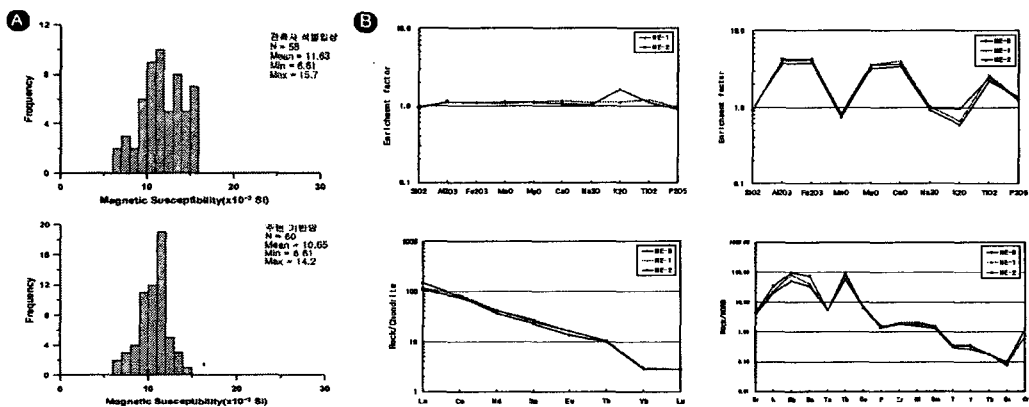


그림 2. (A) 석불입상의 구성암석과 주변 기반암의 전암대자율값. (B) 석불입상의 구성암석과 주변 기반암의 주성분원소, 미량 및 희토류 원소, 호정 및 불호정 원소를 표준화한 성분변화도.

또한 이 암석들의 일부 미량 및 희토류 원소의 함량은 동일 종류의 화강섬록암과 거의 비슷한 특징을 갖는다. 주성분 원소와 동일한 방법으로 일부 미량 및 희토류 원소의 진화경향을 표준화 한 결과 주변 기반암과 석불입상의 구성 암석은 동일 종류의 마그마로부터 기원한 암석일 가능성이 높을 것으로 해석된다.

4. 풍화상태 및 보존과학적 진단

관측사 석조미륵보살입상의 암석학적 훼손의 문제점은 상반신과 하반신에서 일어나고 있는 박리와 박락으로 인한 암석 강도의 약화이다. 이는 강수와 직사광선의 영

향이 강할 것으로 보이는 전면 방향인 남동쪽 부재에서 상대적으로 심하게 발생되어 있었다. 또한 좌, 우 측면 양 팔을 구성하는 화강섬록암에서도 박리와 박락이 보이고 있다. 이 석조미륵보살입상의 표면에는 작은 균열이 발달되어 있으며 심한 균열이 생긴 곳에는 부재가 탈락되어 있다.

전면에는 수직 균열이 발생하였으며 균열 부위에는 이를 충전한 갑석이 흉하게 나타나 있다. 후면 상반신 부재는 심한 기계적 풍화로 인해 암석 표면이 거칠게 드러나 있으며, 특히 우측 부분에서 각 암석의 고정을 위해 철심을 접합하였던 곳이 암석의 파손으로 처리 부위가 노출되고 기계적 풍화를 받아 표면이 훼손되었다(그림 3A). 한편 후면을 제외한 모든 방향에서는 황갈색 침전물로 인한 변색이 관찰된다. 이는 보강된 철판으로 인해 생성된 철수산화물에 의한 변색으로 판단되면 주로 강수의 흐름을 따라 생성되어 있다. 측면의 하단에서는 회백색 침전물이 황갈색 침전물과 함께 형성되어 있다(그림 3B).

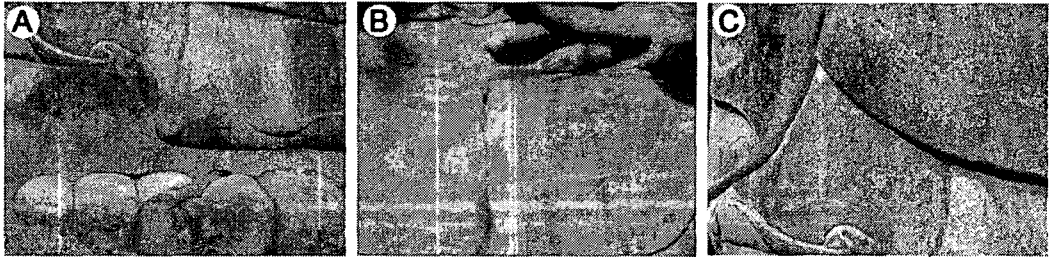


그림 3. (A) 콘크리트 충전 부위에 발생한 부재의 결실과 균열. (B) 전면 중앙에 발생한 수직 균열과 보강된 철판으로 인해 발생한 황갈색 변색. (C) 표면에 착생하는 황녹색, 암녹색의 지의류가 반점상으로 산출된 모습.

이 석불입상에서 발생한 생물학적 훼손은 물리화학적 풍화훼손보다 심각하지는 않지만 주변 사이트 환경에 의해 지속적인 훼손이 진행될 것으로 판단되어 시급한 처리가 요구된다. 표면에는 전반적으로 다양한 종류의 지의류에 의해 피복되어 있으며, 특히 지반과 접하는 하단 부위에 선태류가 착생하고 있다. 고사된 생물체 역시 암흑색 또는 흑갈색으로 변색되어 표면에 반점상으로 산출된다(그림 3C).

5. 결 언

1. 관측사 석조미륵보살 입상을 이루고 있는 암석은 부분적으로 페그마타이트 세맥을 포함한 화강섬록암이며, 반자형 내지 타형의 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 등이

존재한다. 석불입상의 전암대자율 측정 결과, 주변 기반암과 대자율 값이 유사하며 암석의 지구화학적 진화경향도 유사한 것으로 보아 석불입상과 기반암의 성인적 동질성이 인정된다.

2. 이 석불입상을 이루고 있는 암석은 장석의 풍화산물인 고령석이 관찰되며, 흑운모 벽개면이 이차적으로 변질되어 있다. 또한 표면 내부에는 규조류와 지의류의 균사체가 발견되며 이 석재는 점토광물화 작용도 받고 있는 것으로 나타났다.

3. 이 석불입상의 풍화현상은 물리학적, 생물학적, 인위적 원인이 복합적으로 작용한 결과이며, 훼손이 가장 심한 부위는 남동쪽의 전면 방향으로 균열 및 박리박락 등의 풍화가 진행된 상태이다. 이 석불입상 부재 사이의 생성된 공간에는 철판, 철제보강재, 압편, 콘크리트 및 시멘트로 충전되어 있으나, 이들의 산화와 부식에 따라 이차적인 오염물질과 침전물질이 산재하며 풍화가 더욱 촉진되고 있다.

4. 이 석불입상은 전반적으로 황갈색 변색이 심각하며, 좌우측면에 백화현상이 진행 중이다. 또한 표면과 공극에는 조류와 지의류의 오염이 심각하며, 석불주변의 기반암에는 불연속면의 발달에 따른 지반붕괴의 위험성도 있다.

5. 이 석불입상의 사이트 환경은 보호철책 설치로 양호하나 철책 내부의 전면 지반에 깔려있는 잔디를 자갈로 교체하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 생물학적 훼손과 불연속면에 서식하는 식생을 제거하기 위한 생화학 처리가 필요하며, 부식과 철산화물에 의한 심한 변색은 정기적인 세정이 필요하다.

6. 전체적으로 이 석불입상의 박리현상과 표면풍화 및 기계적, 화학적, 생물학적 풍화로 인한 부재의 보존과학적 처리가 필요하며, 석불에 대한 풍화요인과 주변 환경 변화에 대한 장기적인 모니터링과 함께 풍화요소를 저감할 수 있는 처리 방법을 강구해야 할 것이다.