

관촉사 석등의 풍화훼손도 진단 및 석재의 산지추정

이명성 · 이찬희 · 표수희 · 송치영

1. 서 론

충남 논산시 은진면 관촉사내에 위치한 관촉사 석등은 보물 제232호로 지정된 고려시대의 석조문화재이다. 관촉사는 반야산 기슭에 자리 잡고 있으며, 석조미륵보살입상(은진미륵)을 968년(광종 19)에 조성하면서 창건한 것으로 알려져 있다. 이 석불 앞에 놓여 있는 석등은 불상과 같은 시대에 제작된 것으로 추정되며 남한에서 화엄사 각황전 앞 석등(국보 제12호) 다음으로 거대한 규모를 보여준다.

이 석등은 구조적으로 많은 문제점을 보이고 있고 표면박리와 이차적인 오염물에 의한 변색이 심각하다. 암석 표면은 심한 풍화작용으로 인하여 절리와 균열이 생성되어 있으며 약한 충격에도 암편이 떨어져 나온다. 이런 석등에 대하여 이미 역사학적, 고고학적 및 미술사학적 연구는 많이 있으나 암석의 종류와 지질학적 구조안정성, 암석학적 풍화와 훼손, 보존방안 및 석재의 산지추정에 관한 연구는 극히 미진한 실정이다.

따라서 관촉사 석등을 대상으로 구성부재의 암석 및 광물학적 특성과 풍화의 진행에 따른 주성분 및 미량원소의 지구화학적 특성과 거동을 검토하여 석재의 산지를 추정하였다. 또한 석등부재의 기계적, 화학적, 광물학적 및 물리적 훼손도를 평가하였다. 이를 근거로 표면에 발생한 생물 오염도 분석 및 주변 환경에 따른 영향을 규명하여 대상문화재의 가장 적절한 보존방법과 보존처리 방안을 제시하고자 한다. 이 결과는 정량화를 통해 석조문화재 체계적인 보존수복 연구를 위한 기초 자료로 활용할 것이다.

2. 현황과 암석학적 특징

관촉사 석등은 석조미륵보살입상 앞에 놓여있는 4각 석등으로 전체높이는 6.01 m이다. 불을 밝혀두는 화사석이 중심이 되어 아래에는 3단을 받침돌을 쌓고 위로는 지붕돌과 머리장식을 얹었다(그림 1A). 석등에서 가장 심각한 문제점은 구조적 불안정에 의해 각 부재마다 기울어진 방향과 정도가 다르며(그림 1B) 특히 2층 화사석이 남동쪽으로 기울어진 것이 가장 심하다.

또한 4개의 기둥으로 받친 옥개석의 하부에는 표면박리와 박락이 심각한 수준이다. 한편 부재와 부재사이에 충진한 흙, 철판 및 에폭시 수지가 흉하게 나타나 있다. 석등의 전반적인 사이트 환경은 양호하나 탑에 직접적인 영향을 가하는 지반에는 잡초와 잔디가 서식하고 있어 습기에 의해 지대석 및 하대석에 미생물의 오염이 심각하다. 따라서 이 석등에 지질학적 및 생물학적 파괴를 저감하기 위한 보존대책이 절실한 실정이다.

관촉사 석등을 이루는 암석은 화강섬록암으로서 흑운모가 주요 유색광물이다. 부분적으로 미약한 편마상구조를 갖는 중립질이고 반정(사장석)을 보이는 곳도 있으며 표면박리가

주요어 : 석등, 화강섬록암, 지반침하, 표면박리, 오염물질, 산지추정, 보존처리,

공주대학교 문화재보존과학과(mslee@kongju.ac.kr, chanlee@kongju.ac.kr)

심하다. 암석의 색은 암회색이며 단일 암석으로 구성되어 있다. 이 화강섬록암에는 유색광물의 집합체인 포획암이 길고 렌즈상으로 관찰되기도 한다. 1층 화사석에 있는 화대는 신부재로서 화강섬록암으로 구성되어 있다. 논산 일대의 지질보고서에 의하면(장태우 외, 1980) 화강섬록암은 기반암인 변성암류를 관입하고 반상화강섬록암과는 점이적인 관계를 나타내며, 복운모 혼성화강암중에는 포획암(xenolith)으로 포획되기도 한다고 하였다.

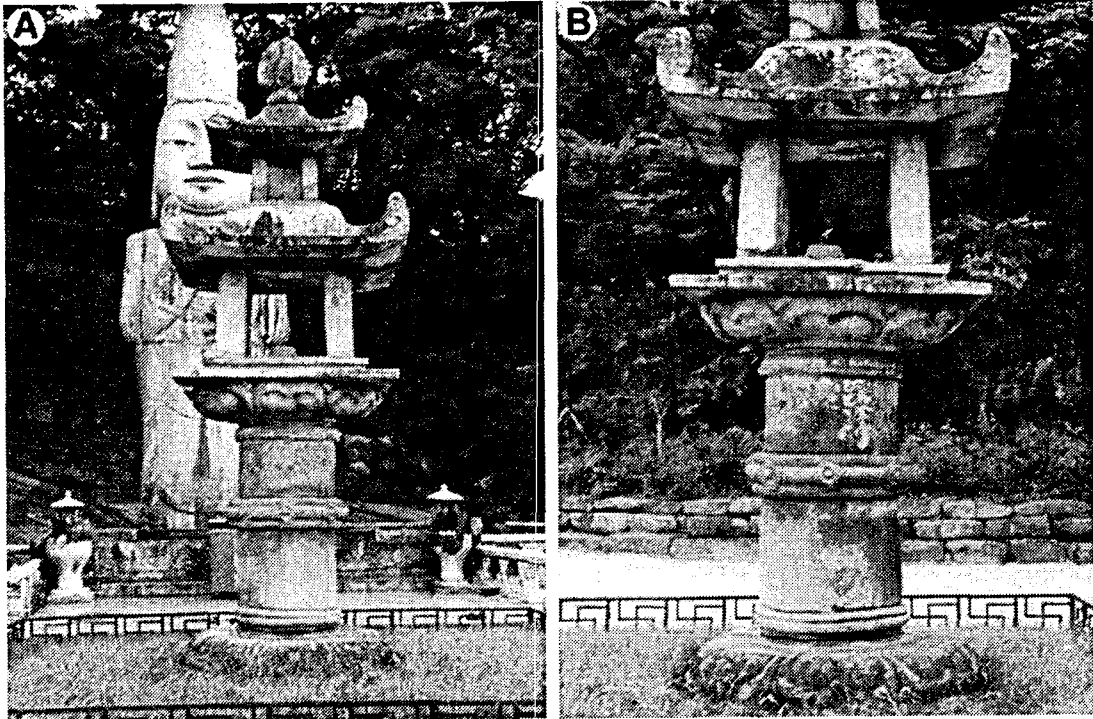


그림 1. 관촉사 석등의 동쪽전경(A) 및 구조적으로 불안한 모습(B). 석조미륵보살입상 앞에 위치한 석등의 부재들은 서로 다른 방향으로 기울어져 있으며 전체적으로 암회색 부착물질의 오염이 심하다.

3. 풍화 및 훼손상태와 진단

관촉사 석등은 지반의 약화에 따라 본체의 불안이 가중되어 전반적으로 구성부재가 뒤틀려 있어 S자형을 보이고 부재간의 이격이 아주 심한 부분도 있다. 이 석등에서 관찰되는 구조적 불균형은 서로 다른 방향으로 기울어진 간주석을 볼 수 있다. 특히 2층 화사석에서 관찰되는 뒤틀림 현상은 구조적으로 많은 문제점을 야기하고 있다(그림 2A). 이 이외에도 석등에는 부재의 표면박리가 관찰되는데 1층 옥개석의 하부에서 가장 심하게 나타나고 있다(그림 2B). 또한 상대석 연꽃무늬를 구성하는 화강섬록암에서도 박리와 박락이 있으며 간주석에도 박리와 박락이 관찰되는데 부분적으로 인위적으로 훼손된 부분도 있다.

이차적인 오염도 심각하여, 상대석의 연꽃무늬와 판석사이에 암회색 및 암흑색 침전물이 침전하여 피복되어 있으며, 2층 옥개석의 하부에도 회백색 침전물에 의해 오염되어 있다(그림 2C). 이를 전자현미경에서 보면 장식들은 용식에 의하여 많은 공극이 발달된 것을 볼 수 있고, 공극과 입간에는 이차적으로 생성된 견운모와 같은 점토광물을 관찰할 수 있다. 특히 시멘트 몰탈이 용해되어 회백색 침전물을 형성한 곳에서는 석고의 결정을 관찰할 수 있다. 또한 석등의 표면을 부식시키고 있는 하등식물(지의류 또는 조류)의 뿌리조직과 석영

또는 사장석의 경계에서는 고령석과 지의류의 뿌리와 균사체로 보이는 유기물이 뒤엉켜 산출된다.

이 석등은 일조량이 적은 산기슭에 위치하고 있어 균류, 조류, 지의류나 선대류들이 암석의 표면에 고착되어 기생하면서 황갈색, 청남색 또는 진녹색의 반점상으로 산출된다(그림 2D). 부분적으로 차이는 있으나 생물훼손의 최종 단계가 시작되는 시점으로 다양한 생물군들이 혼생하고 있고 토양화가 진행된 곳에서는 이끼류가 밀생하고 있는 점으로 볼 때, 석등의 표면에서는 생활사가 충분히 완수될 수 있을 만큼 식생의 천이가 진행되어 있다. 또한 지대석과 지반의 접촉면은 잔디와 잡초가 서식하고 있어 생물상의 천이, 수분상승, 토양오염 물질의 부착 등에 우려가 있다. 이와 같은 다양한 형태의 생물학적 풍화작용을 저감하기 위한 생화학적 처리가 필요하다.

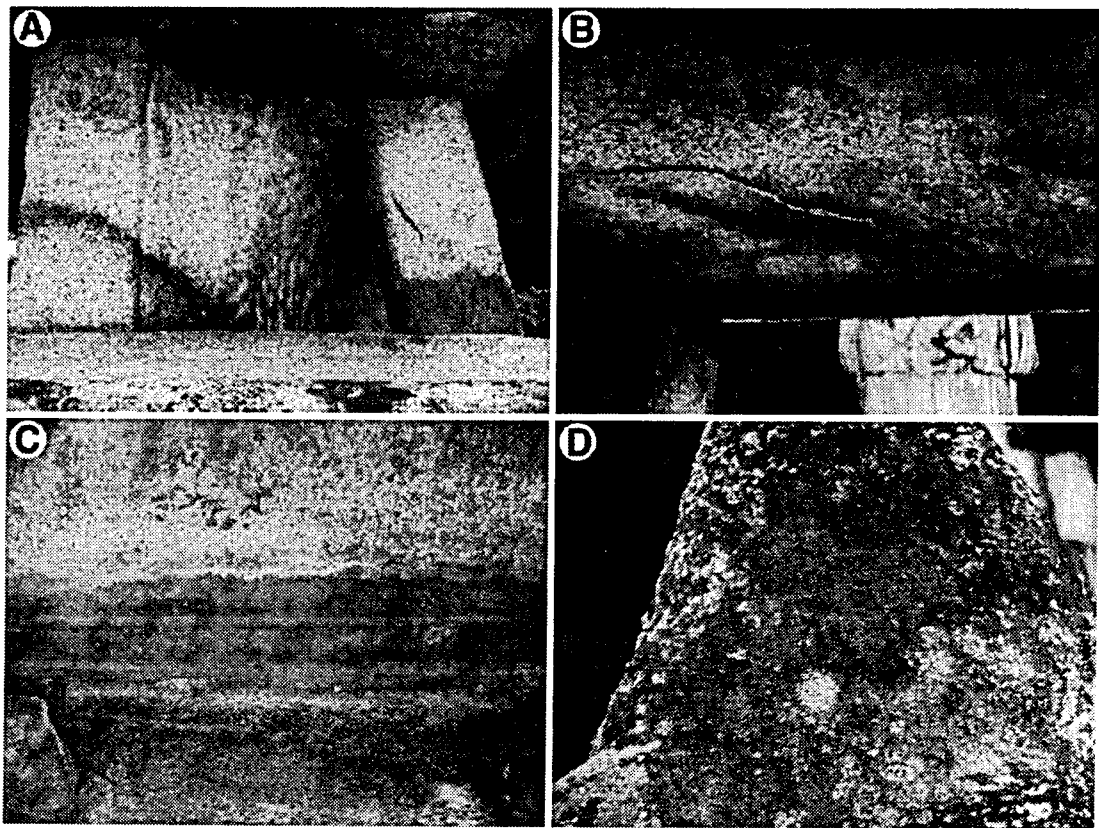


그림 2. 관측사 석등의 훼손현황. (A) 2층 화사석의 변형정도. (B) 1층 옥개석 하부에서 관찰되는 표면박리. (C) 2층 옥개석 하부에 관찰되는 회백색 침전물에 의한 오염. (D) 옥개석에서 기생하는 조류와 지의류의 산출상태.

4. 기원암의 원산지 해석

이 연구에서는 관측사 석등 부재의 주성분 원소에 대하여 부화와 결핍정도를 비교하고자 석등 주변의 화강암체의 평균조성 및 일반적인 화강암의 평균 함량을 기준치로 표준화하였다. 이 석등 구성암석의 조성을 주변 화강암체의 조성으로 표준화한 결과, 모든 원소의 진화 경향은 동일한 양상을 보였으나, 주변 암석에 비하여 SiO_2 를 제외한 거의 모든 원소가 다소 부화되어 있으며 P_2O_5 와 LOI는 다소 결핍된 경향을 나타냈다. 동일 암종에서 편차가 발생한

것은 풍화도의 차이를 반영하는 것으로 보인다. 이 시료들을 Nockolds and Allen (1954)의 조성으로 표준화 하였을 때, 모든 시료에서 SiO_2 , MnO , NaO 및 K_2O 를 제외한 모든 원소가 부화되어 있다. 또한 모든 원소가 주변 화강섬록암과 동일한 함량변화와 거동특성을 갖는 것으로 보아 양자의 성인적 동질성이 인정된다.

이 암석들의 일부 미량 및 희토류 원소의 함량은 동일 종류의 화강섬록암과 거의 비슷한 특징을 갖는다. 그러나 이 자료를 토대로 암석학적 및 지구화학적으로 암석의 기원과 진화 경향을 설명하는 것의 큰 의미가 없을 것으로 보인다. 따라서 주성분 원소와 동일한 방법으로 일부 미량 및 희토류 원소의 진화경향을 Pearce (1983)의 조성으로 표준화 한 결과, 모든 시료에서 동일한 경향을 보였다. 또한 주변 화강섬록암체와도 거의 모든 원소의 거동특성이 동일하였다. 한편 이 시료의 일부 희토류 원소 함량을 Boynton (1984)의 조성으로 표준화 하였을 때도 모든 시료에서 동일한 분화경향을 보였으며, 주변 화강섬록암체와도 조성도 동일한 경향을 보였다.

전암 대자율은 암석의 전체 자화강도를 구분하기 위해 응용된 암석학 연구의 한 수단으로 이미 잘 알려져 있다. 대자율을 통해 자철석을 함유한 화성암의 광역적 분포를 파악할 수 있기 때문에 1.256을 기준으로 이보다 높은 경우는 자철석 계열로, 낮은 경우는 티탄철석 계열의 암석으로 구분 한다 (Ishihara, 1998). 또한 캄보디아 앙코르 사원의 부재 연구에도 적용된 바 있으며 다각적인 성인적 해석도 실시하였다 (Uchida *et al.*, 1999).

이 연구에서 측정된 관촉사 석등과 주변 기반암의 대자율 값의 범위는 $8.2\sim 16.8$ ($\times 10^{-3}$ SI unit) 정도로 전체적으로 높은 값을 가진다. 이를 세분하면 석등의 대자율은 $9.5\sim 16.8$ 의 범위이며 120개 측정값의 평균은 13.4이다. 주변 기반암은 $8.2\sim 14.2$ 의 범위이며 평균은 11.0으로서 석등의 대자율이 다소 높지만 서로 동일한 분화과정을 경험한 유사한 종류의 암석으로 해석할 수 있다. 이 화강섬록암의 대자율 값은 논산일대의 화강암이 6.0×10^{-3} SI unit 이상의 대자율 값을 가진다고 보고한 Jin *et al.*, (2001)의 연구결과와도 거의 일치하는 것이다. 따라서 위의 결과들을 종합할 때, 관촉사 석등의 부재와 주변 화강섬록암체는 생성 환경이 아주 유사한 암석으로 해석된다.

5. 결 론

1. 관촉사 석등의 구성암석은 흑운모 화강섬록암이다. 조암광물은 반자형 내지 타형의 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 흑운모 등이다. 이 광물은 화학적 및 광물학적 풍화에 의하여 장석류와 흑운모는 입자경계와 벽개면에는 점토광물과 철수산화 광물로 교대되어 있다.

2. 석등의 암석과 주변에 분포하는 기반암은 암석학적, 광물학적 및 산출상태가 아주 유사하다. 또한 전암 대자율분포, 주성분, 미량 및 희토류원소의 거동 및 진화경향도 유사한 것으로 보아 양자의 사이에는 성인적 동질성이 인정된다.

3. 이 석등은 전반적으로 S자형으로 기울어져 있어 구조적 변형이 심각하며, 특히 상대석과 1층 옥개석 하부에서 표면박리현상이 발생하고 있어 석재의 표면이 심하게 부서지고 있다. 또한 2층 옥개석 하부와 상대석에는 회백색 침전물들을 볼 수 있으며 균열에 의해 탈락된 부분도 관찰할 수 있다.

4. 관촉사 석등에는 부분적으로 차이는 있으나 생물체손의 최종 단계가 시작되는 시점으로 다양한 생물균들이 혼생하고 있고 지대석과 지반의 접촉면에는 잡초가 서식하고 있어 생물상의 천이, 수분상승, 토양오염물질의 부착 등에 우려가 있다. 이와 같은 다양한 형태의 생물학적 풍화작용을 저감하기 위한 생화학적 처리가 필요하다.

5. 석등의 구조적 안정을 위한 지반공학적 보강방법과 배수로의 설치가 강구되어야 할 것이다. 또한 관측사 석등의 박리현상과 표면풍화 및 기계적, 생물학적 풍화로 인한 부재의 보존과학적 처리가 필요하며, 석등에 대한 풍화요소와 주변 환경변화에 대한 장기적인 모니터링과 함께 풍화요소를 저감할 수 있는 처리방법을 연구해야 할 것이다.

참고문헌

- 장태우, 황재하 (1980) 논산지질도폭 설명서(1:50,000). 자원개발연구소, 32p.
- Boynton, W.V. (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In Henderson, P. (ed.), Rare earth element geochemistry, Elsevier, 63-107.
- Ishihara, S. (1998) Granitoid series and mineralization in the Circum-Pacific Phanerozoic granitic belts. *Resource Geology*, v. 48, p. 219-224.
- Jin, M.S., Lee, J.Y. and Ishihara, S. (2001) Granitoid and Their Magnetic Susceptibility in South Korea. *Resource Geology*, v. 51, p. 189-203.
- Nockolds, S.R. and Allen, R. (1954) Average chemical compositions of some igneous rocks. *Geological Society of American Bulletin*, v. 65, p. 1007-1032.
- Pearce, J.A. (1983) Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. (eds.), *Continental basalts and mantle xenolith*, Shiva, p. 230-249.
- Uchida, E., Ogawa, Y., Maeda, N. and Nakagawa, T. (1999) Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia. *Engineering Geology*, v. 55, p. 101-112.