

월남사지삼층석탑(보물 298호) 표면의 흑화현상 고찰

도진영 · 김수진* · 김사덕**

경주대학교 문화재학부, *서울대학교 지구환경과학부

**국립문화재연구소 보존과학연구실

Study of the Blackening on the Surface of the Wollamsajisamcheungseoktap (Three Storied Stone Pagoda of Wollamsa Temple Site, Treasures No. 298) in Gangjin-gun

Jin-Young Do, Soo-Jin Kim* and Sa-Dug Kim**

School of Cultural Assets, Kyongju University

*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

**Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Properties

1. 서론

전라남도 강진군 성전면 월남리 854에 위치한 월남사지삼층석탑은(보물 제298호) 전탑의 외모를 띤 높이 7m의 석탑으로 그 제작시기를 고려시대로 추정하고 있다. 단층기단 위에 삼층의 옥개석을 올린 삼층탑으로 기단에서 탑신부에 이르기까지 다수의 작은 석재로 구성 되어 있다(그림 1).

주석재는 중립질의 우백질 화강암으로 거의 모든 부재가 원석상태로 존재하고 있으며 석탑의 사이트환경에서 지형은 평지이며 층적토 위에 위치하고 있다. 전면은 남향으로 지반의 상태는 비교적 안정적이고, 석탑 주변의 수풀로 인하여 주위가 습하며 우측에 민가와 가축 사육장이 있어 적절한 환경을 이루고 있지는 않다.

석탑의 주 손상형태는 표면의 흑화현상, 갈색변색, 박리 및 분말상, 사질상입자분해로 특징지을 수 있으며 여러 곳의 크고 작은 균열과 함께 암석이 매우 약해져 있음이 관찰되고, 전부위에 걸쳐 고착지의류로 대별되는 생물체가 서식하고 있다. 두터운 흑색외각과 얇은 흑색막의 형태로 나타나는 석탑표면의 흑화 현상은 비와 같은 물과의 직접적인 접촉이 없는 부분에서 주로 관찰되는데, 이러한 위치에서 농축된 오염물질들이 쉽게 쌓일 수 있기 때문이다. 흑화된 부위는 다양한 성분으로 구성되어 있다. 암석표면의 흑색부위는 일반적으로 공기오염물질, 유기물 및 철과 망간 등의 유색광물의 이동과 침착의 현상에서 생성될 수 있다.

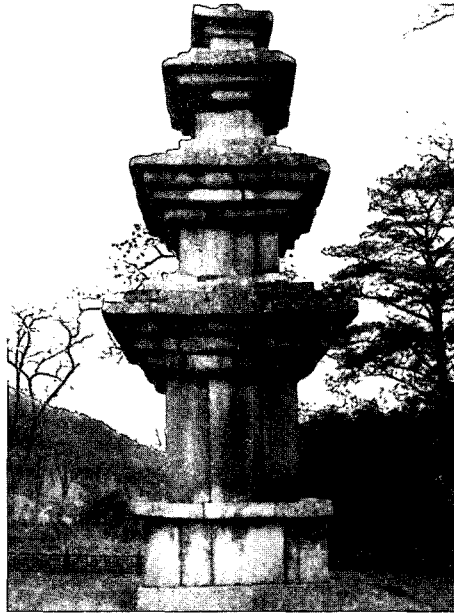


그림 1. 월남사지삼층석탑, 보물 298호.

본 연구에서는 월남사지삼층석탑 표면에서 관찰되는 흑색 층을 구성하고 있는 물질의 화학 성분과 광물성분을 분석하여 흑화의 원인을 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

우선 현장에서의 육안관찰에 의한 손상현황을 조사하였으며, 표면이 심하게 손상되어 생성된 이차물질의 시료를 현장에서 채취하여 현미경, XRD, SEM 및 EDX를 이용하여 상대적으로 덜 소모적인 전처리과정을 통해 여러 성분을 정량적으로 측정하였다.

시료 암석의 화학성분은 손상된 표면부위, 표면 아래층(1~2mm), 신선한 내부부위 등 3부위로 나누어 측정하였다.

3. 결과 및 검토

표면이 심하게 흑색, 흑회색과 갈색으로 변화된 부위 근처의 암석은 수분으로 포화되어 있고 박리현상이 관찰된다. 또한 분말상, 사질상입자분해가 심하게 일어나고 있으며 손톱에 의해서도 쉽게 긁혀 질 정도로 암석이 약해져 있다.

내부의 신선한 부위는 SiO_2 함량이 65wt.% 이상의 높은 규산질의 화강암으로 Fe_2O_3 도 9.60wt.% 이상 함유하고 있다. 신선한 내부부위에 비해 흑색층에 있어서의 화학성분은 뚜렷한 경향을 보이면서 변화함을 보였다. 시료의 채취 위치에 따라 약간의 차이는 있으나 거의



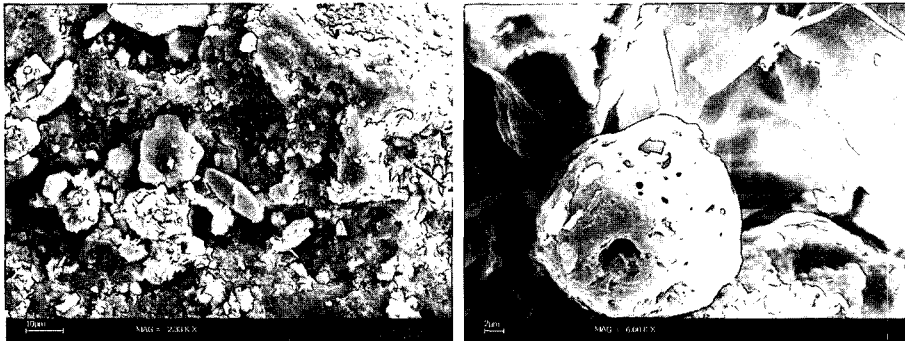
그림 2. 육안관찰에 의한 손상현황.

모든 시료에서 신선한 내부부위 보다 흑화된 부위에서 $MnO(13.82wt.%)$ 와 $Fe_2O_3(17.26wt.%)$ 의 농도가 월등히 높게 분석되었다.

또한 $PbO(2.96wt.%)$ 와 $P_2O_5(2.12wt.%)$ 가 소량이지만 흑화된 부위에서 나타나고 있다. 흑색 표면 아래 1~2mm 층의 화학분석결과에서도 신선한 내부 시료와는 약간의 변화를 나타내었는데, 이곳까지도 손상의 영향이 있었음을 알 수 있다.

광물의 정확한 동정을 위해 실시한 X선회절분석 및 주사전자현미경 관찰에 따르면 흑색 부위의 X선 회절패턴에서 나타난 주 피크는 석영, orthoclase 및 산화망간 광물로 분석되었으며 갈색 부위는 수산화철 광물이 주성분으로 나타났다. 석영, 장석 및 흑운모가 관찰되는 내부의 신선한 부위와 비교하여, 박리되어 이탈된 풍화부위에서는 이외에 장석의 풍화생성물로 보이는 일라이트와 캐올리나이트가 확인되었다.

흑색층 부근에서는 매우 느슨한 조직을 가진 손상층이 형성되어 있으며 20에서 $50\mu m$ 에 이르는 두께를 보였고 암석의 내부로까지 침투된 것을 살펴볼 수 있다. 이층은 극히 작은 크기의 광물입자를 함유하고 있어서 편광현미경으로는 광물감정이 쉽지 않다. 흑색층에서는



(a) 느슨하게 형성된 표면 층

(b) 외부로부터 유입된 이물질

그림 3. 전자현미경관찰에 의한 흑색층 표면과 구형의 이물질.

다양한 형태의 외부로부터 유입된 이물질이 관찰되었다(그림 3).

이상의 분석결과로부터 월남사지삼층석탑의 표면에서 나타나는 흑색 층은 주로 산화망간 광물의 침착에 의해 형성된 것으로 추정된다. 이 산화망간 광물이 내부의 신선한 부위에서 검출되지 않았다. 이러한 현상은 암석에 미량으로 존재하고 있던 망간이 암석 속으로 침투된 빗물에 용해되어 암석 표면으로 이동하여 암석 표면에서 산소와 결합하여 산화광물로 정출되어 생성된 것으로 해석된다. 이 흑색층은 거기에 함유된 산화철 광물의 양의 다소에 따라 암갈색 또는 흑색을 보여준다. 또한 표면에서 빈번하게 관찰되는 이물질은 외부의 물질이 표면에 침착되고 있음을 또한 시사하고 있다.

참고문헌

- Alessandrini, G., Toniolo, L. and Cariati, F., A Black Paint on the Facade of a Renaissance Building in Bergamo, Italy, *Studies in Conservation*, 41, 1996, S.193-204.
- Begonha, A., Sequeira Braga, M., Black crusts and thin black layers in granitic monuments: Their Characterization and The Role of Air Pollution, 8th International Congress on Deterioration and Conservation of stone, 1, 1996, S.371-375.
- Fassina, V. and Lazzarini, L., Effects of Atmospheric Pollutants on the Composition of Black Crusts Deposited on Venetian Marbles and Stones, *Int. Symp. Deterior Build. Stones Proc.* 2nd, 1976, S.201-211.
- Gisbert, J. *et al.*, Black crusts from Rueda Cloister: An Approximation to Fossil, Effects of Pollution a semi Arid Climate, 8th International Congress on Deterioration and Conservation of stone, 1, 1996, S.387-392.
- Nord, A. and Ericsson, T., Chemical Analysis of Thin Black Layers on Building Stone, *Studies*

in Conservation, 38, 1993, S. 25-35.

Roekens, E., Leysen, L. and van Grieken, R., Chemical Characterization of Weathering Crust and Run-off Water for a Deteriorated Limestone Cathedral, 2. Int.Kolloqium, 1986, S.487-489.

Smith, B., Weathering of granite in a polluted environment, Alteration of Granites and Similar Rocks Used as Building Materials, 1993, S. 159-162.

Vargas, M., Maqueda, C. and Franquelo, M., Chemical Analysis of Granites from Quarries and Monument, Environmental protection and conservation of the European cultural heritage, 1996, S.53-59.