

화강암 석불상의 풍화에 관한 연구

-경주굴불사지석불상을 사례로

박경근 · 황상일

경북대학교 지리학과

1. 문제제기

석조문화재에 관한 많은 연구에도 불구하고 석조문화재보존을 위한 기본조사와 연구가 다 이루어진 것은 아니다. 근래에 이르러 석조문화재 보존에 대한 관심이 높아지며 보다 합리적이고 과학적인 보존방법에 대한 구체적 연구의 필요성이 논의되고 있다. 특히 석조문화재의 경우, 사용된 암석에 대한 기본 자료가 없이는 근본적인 보존계획 수립에 많은 어려움이 있을 것으로 생각되며, 석조문화재의 재료인 석재에 대한 암석학적 연구가 반드시 선행되어야 할 것이다. 아울러 풍화와 침식에 대해 기존의 연구 방법은 훼손 범위를 육안으로 조사하며 기술하는데 그쳤으며, 풍화작용의 mechanism은 일반론으로 설명하였다. 따라서 풍화가 심한 부위와 그렇지 못한 부위에 대한 구체적인 인과관계를 파악하는데 한계가 있었다. 특히 석조물의 방향에 따른 풍화의 차이와 기후적 특성과 지형에 의한 풍화의 정도에 대한 논의가 없었다.

따라서 앞으로는 석조문화재의 과학적 보존처리를 위해서 석조문화재에 대한 관심을 가지고 석재의 재질을 고려하고 풍화에 영향을 주는 요소들과 풍화에 의해 나타날 수 있는 현상들에 대한 연구를 진행하면서 기초자료를 수집하고, 이를 바탕으로 보존대책을 강구해야 할 것이다.

2. 연구목적

첫째, 보물 제121호로 지정되어 보호하고 있는 굴불사지석불상의 풍화특성을 파악하기 위하여 석재의 조암광물의 종류와 암석학적 분석을 통해 암석의 특성을 파악하였다.

둘째, 굴불사지석불상 주변의 기후와 대기오염 물질들이 석불상의 훼손에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 알아보기 위하여 기후자료와 산성비 자료를 분석하였다.

셋째, 굴불사지석불상의 절리 분포와 상태 그리고 박리와 박락 등 다양한 기계적(물리적)풍화작용으로 인한 석불상의 훼손상태와 화학적 풍화작용으로 인한 훼손상태, 그리고 조류, 지의류, 이끼류 및 선태류의 하등식물 같은 식생으로 인한

훼손상태를 파악하였다.

넷째, 굴불사지석불상의 수분 값을 측정하여 절리분포 및 변색상태 그리고 식생 등의 분포와 중첩시켜 그 상관관계를 파악하였다. 이것을 통하여 굴불사지석불상의 기계적·화학적 풍화에 미친 요소들을 파악하였다. 특히 네 방향에 조각된 불상들을 비교하여 불상이 입지한 지역의 일조량 상대습도 등의 차이에 따른 풍화의 차이를 검토하였다. 그리하여 수분과 풍화와의 mechanism을 규명하는 동시에 수분으로 인한 석조문화재의 훼손을 감소시키는 방안을 살펴보았다.

다섯째, 굴불사지석불상을 보전하기 위한 자연친화적인 방법에 대해 검토하였다.

3. 연구방법

첫째, 국립지리원에서 발간한 1: 5,000, 1: 25,000 지형도를 판독하여 굴불사지석불상의 위치와 주변 지역의 지형을 파악하고, 현지답사를 통해 굴불사지석불상 주변의 자연환경을 확인하였다. 또한 한국지질자원연구원에서 발간한 1: 50,000 경주 지질도를 통하여 굴불사지석불상이 위치한 지역의 기반암을 파악하였다.

둘째, 굴불사지석불상을 구성하고 있는 암석의 종류와 특성을 알아보기 위하여 굴불사지석불상에서 박리나 박락된 시료를 가지고 XRD 분석을 실시하였다. 굴불사지석불상이 보물 제121호로 지정되어 있어 석재의 직접적인 시료채취를 할 수 없으므로, 육안이나 돋보기 등의 관찰을 통하거나 굴불사지석불상에서 박리와 박락된 것으로 추정되는 시료들을 수집하여 분석을 실시하였다.

셋째, 기상환경으로 인한 훼손상태를 파악하기 위하여 대구기상대에서 1993~2004년까지 경주시 북군동 15번지 계림초등학교 3층 옥상에서 관측한 기상자료를 분석하였고, 대구 지방 환경청에서 1998~2004년에 걸쳐 경상북도 경주시 성건동 667-3번지 성건동 동사무소 2층 옥상에서 관측한 자료로 산성비 등의 대기오염으로 인한 훼손상태를 파악하였다.

넷째, 굴불사지석불상을 육안이나 돋보기를 이용한 관찰을 통하여 절리 및 박리와 박락의 분포 상태, 시멘트 몰탈, 수지 그라우팅 등과 같은 보수결합 물질로 인한 암석의 변색 상태 그리고 지의류, 선태류 등의 식생 분포를 파악하였다.

다섯째, Kett사의 KJT-100 근적외선수분측정기를 이용하여 굴불사지석불상의 석재에 포함된 수분 값을 측정하여 수분포함상태를 파악하고 등치선도를 작성하였다. 수분 분포는 GIS 작업을 통해 절리, 변색 및 식생 등의 분포 상태와 중첩시켜 각 요소들 사이의 상호관계를 밝혔다.

여섯째, 보물 제121호인 굴불사지석불상 주변 부지와 시설물들을 현지답사를 통하여 살펴보고 훼손상태를 기술하였으며, 정비 방안에 관해서도 검토하였다.

4. 결론

1. 굴불사지석불상의 구성 암석은 시료의 XRD 분석 결과 석영(quartz), 사장석(plagioclase), 알칼리 장석(alkali feldspar)이 구성광물의 대부분을 차지하고 있는 각섬석 흑운모 화강암과 흑운모 화강암이다.

각섬석 흑운모 화강암은 회색을 보이며 비교적 굵은 입자로 이루어져 조립질 내지 중립질이며, 대체로 등립질이나 부분적으로 세리에이트 조직을 보이며 괴상을 나타낸다. 흑운모 화강암은 주로 세립질 내지 중립질이며, 대체로 등립질이나 부분적으로 석영 및 장석이 2~3cm의 크기의 반정을 가진 반상조직을 보이고, 미문상 조직을 잘 나타내며, 담홍색의 알칼리장석이 비교적 많이 산출되는 것이 특징이다.

2. 굴불사지석불상이 위치한 경주 지역은 겨울철인 12, 1, 2, 3월에 월 20일이 넘을 정도로 일 최저기온이 영하로 떨어지고 일 최고기온은 영상으로 회복되어 동결·융해의 반복적인 작용이 일어나서 암석의 기계적 풍화를 가속화 시킨다. 그리고 여름철에는 평균기온이 25℃로 매우 높고, 연강수량의 50~60%를 차지하는 554mm의 강수량으로 인해 습도도 77.9%로 매우 높다. 이와 같이 높은 온도와 습도의 기상조건하에서 화학적·생물학적 풍화작용을 가속화 시킨다. 또한 인근의 포항에서 발생한 대기오염 물질들은 봄과 겨울철에 강하게 부는 북북동풍으로 경주로 많이 유입이 된다. 그리하여 경주의 산성비 농도 지수가 pH5.6이하로 떨어지는 월수가 1998년 1회, 1999년 2회, 2000년 1회, 2001년 5회, 2002년 4회, 2003년 4회, 2004년 9회로 해가 갈수록 점점 밀도가 늘어나고, 산성도도 점차 강한 산성비가 내리고 있어 산성비로 인한 석조문화재의 훼손이 심각한 지경에 이르고 있다.

3. 굴불사지석불상의 동면 불상에 발달되어 있는 절리들을 살펴보면 대부분 북쪽에서 남쪽으로 대각선으로 사선 방향을 가진 절리들이 대부분이다. 절리의 주향은 S80°W와 EW이고, 경사는 12°SE, 18°SE, 23°SE, 27°SE, 30°SE 등이다. 서면의 본존불을 포함한 자연암석의 절리의 주향은 N80°W, EW이고, 경사는 10°SW, 31°SW, 36°SW, 37°SW, 39°SW이다. 동면과 마찬가지로 북쪽에서 남쪽 방향으로 대각선 사선방향으로 대부분의 절리들이 발달해 있다. 좌, 우협시불은 본존불이 조각되어 있는 석주와 떨어져 조성한 것이어서 절리의 발달도 미비하고, 본존불과는 다른 절리의 발달 양상을 보이고 있다. 남면은 주로 N2°W, NS의 주향과 2°SE, 6°SE, 15°SE, EW, 4°NE, 8°NE, 13°NE 등의 수평 내지 저경사를 가지는 절리들이 발달해 있다. 북면의 주향은 N40~50°E이고 경사는 2°SE, 4°SE, 10°SE, 18°SE, 20°SE, 25°SE, 28°SE 등이다. 북면의 절리들은 아래쪽에 집중적으

로 몰려 있는데, 대부분 절리들이 발달이 진행되어 깊고 넓은 틈이 많이 형성 되어 있지만, 시멘트 몰탈 등과 같이 충전 보수한 흔적은 전혀 찾아 볼 수 없다.

4. 굴불사지석불상의 동면은 배후산지 소금강산에 접해 있어서 숲에 의해 가려져 있다. 그래서 오전에 잠깐만 햇빛이 비칠 뿐 거의 직사광선을 받지 못한 응달 지역이다. 이로 인해 네 면중 석불의 동면은 거의 전면이 균류와 지의류로 뒤 덮여 있어 흑갈색과 녹색으로 변색 되어 있다. 서면과 남면은 태양의 빛을 많이 받기 때문에 균류와 지의류의 피복이 거의 없다. 그러나 비가 흘러내리는 곳을 따라 균류의 분포로 인해 검게 변색되었다. 북면은 동면보다 태양의 직사광선을 쬐는 시간이 더 적고 수분이 많아서 균류와 지의류가 자라기에 적합한 환경 조건을 가지고 있어서 균류와 지의류가 분포하고 있어 흑갈색과 녹색을 띠고 있다.

5. 수분 등치선도를 보면 동면은 남쪽의 간격이 매우 조밀하다. 이곳은 절리로 인한 틈이 생겨 충전 보강 후 고색처리를 한 곳으로 절리 사이로 수분이 들어갈 수 있기 때문에 다른 곳의 수분의 포함 정도 보다 높은 수치를 나타낸다. 서면의 수분 포함 상태는 네 면중 가장 낮다. 그 이유는 식생이 미약하게 분포하는 것과 같은 맥락으로, 햇볕의 직사광선을 가장 많이 받기 때문인 것으로 판단된다. 좌, 우협시불은 본존불이 조각된 석주에 비해 수분의 등치선도가 다소 높는데 이는 본존불과는 떨어져 조성되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 남면 역시 서면과 마찬가지로 일조시간이 길어 수분의 포함정도가 서면 다음으로 낮다. 그러나 나무들이 우거진 숲에 위치한 연유로 태양의 빛이 가려 지기도 한다. 그리하여 서면 보다는 높은 수분 값을 보인다. 북면은 굴불사지석불상이 네 면 중 가장 수분의 포함 수치가 높다. 이는 햇볕을 거의 받지 못하고 항상 응달에 위치한 지역이기 때문인 것으로 추정된다.

6. 굴불사지석불상의 풍화작용과 수분과의 관계를 살펴보면 절리 분포가 많은 곳은 수분 값이 높게 나타나고, 절리의 방향에 따라 등치선의 방향도 비슷하게 형성되어 있었다. 화학적 풍화작용은 육안이나 돋보기 관찰, 시료에 의한 분석을 통해 이루어진 관계로 수분 등치선과의 관계를 밝히기는 쉽지 않았다. 식생의 분포는 각 면의 전체적인 수분 분포 상태와 방향에 따른 일조시간에 따라 다르며, 태양의 일조시간이 적고, 수분값이 높은 북면, 동면, 남면, 서면 순으로 식생이 성장하였다.

7. 굴불사지석불상의 보존에 있어 약품이나 접착제와 같은 화학물질을 사용을 자제하고 자연친화적인 보존방안을 사용하여 지속가능한 보존을 하여야 할 것이다.

그러기 위해 굴불사지석불상의 보호각을 원래대로 복원하여 풍화작용의 직접적인 영향을 미치는 수분의 차단을 막아야 할 것이다.

참고문헌

- 문화재청, 2002, 석조문화재 보존관리 연구, 문화재청.
- 한국문화재보존과학회, 2001, 석조문화재 보존관리 연구 : 석조문화재 현황 및 보존방안 진단 조사 기록, 부록 1 경주지역 석조문화재, 문화재청.
- 한국문화재보존과학회, 2001, 석조문화재 보존관리 연구 : 석조문화재 현황 및 보존방안 진단 조사 기록, 부록 2 경북 북부, 서부 및 남부지역 석조문화재.
- 한국문화재보존과학회, 2001, 석조문화재 보존관리 연구 : 석조문화재 보존과학 기초연구, 경북지역 석조문화재 현황 및 보존방안 연구, 문화재청.
- Chang, K. H., 1975, Cretaceous stratigraphy of south-east Korea, The Journal of Geological Society of Korea, 11(1), pp.1-23.
- Lee, M J., J. I., Lee, M. S., 1995, Mineralogy and major element geochemistry of A-type alkali granite in the Kyeongju Area, Korea., J. Geol. Soc. Korea., 31(6), pp.583-607.
- Lee, S. G., 1993, Weathering of granite. Journal of the Geological Society of Korea, 29(4), pp.396-413.
- 김병호 · 이용희, 1991, 석조문화재 보존, 보존과학연구, 12.
- 김사덕, 1999, 석조문화재의 보존, 한국건축역사학회 건축사연구, 8(2), 통권 제19호, pp.144-154.
- 金理那, 1975, 韓國古代佛教彫刻史研究-경주 굴불사지의 사면석불에 대하여, 一潮閣, pp.239-268.
- 노재식, 1980, 대기환경이 문화재에 미치는 영향 연구, 보존과학연구, 1.
- 민경희, 1985, 하등식물이 석조문화재에 미치는 영향, 보존과학연구, 6, pp.1-11.
- 손병훈 · 정종현 · 김현규 · 여한구 · 오광중, 2004, 화강암의 풍화에 미치는 환경오염물질의 영향, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, pp.1361-1363.
- 심규훈, 2000, 석조조형물의 화학적 풍화가 미치는 영향-산성비의 영향, 한서대학교 예술대학원 보존관리전공 석사논문.
- 이대성, 1980, 석질문화재에 미치는 자연환경 조사, 보존과학연구, 1.
- 이상헌, 1993, 석조문화재의 암석의 풍화에 대하여, 문화재보존과학연수.
- 이상헌, 1998, 국내 석조문화재의 보전 대책수립을 위한 지질학적 고찰, 보존과학회지, 7(1), pp.9-18.
- 이성민, 2001, 석조문화재 보존연구의 세계적 추세, 한국구조물진단학회 구조물진단학회지, 5(3), pp.88-91.

- 이수재 · 김수진, 1994, 화강암의 풍화에 관한 실험적 연구, 한국광물학회지, 7(2), pp.140-141.
- 정용재 · 서민석 · 이규식 · 한성희, 2003, 석조문화재의 생물학적 손상과 보존방안, 보존과학연구, 24, pp.5-28.
- 정중현 · 최석규 · 손병현 · 이강우 · 이형근, 2002, 대기오염에 의한 경주권역 석조 문화재 훼손 현황조사, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집(II), pp.161-162.
- 정중현 · 손병현 · 김현규 · 최원준 · 이강우 · 이형근, 2003, 석조문화재의 생물학적 훼손 특성, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회논문집. pp.1549-1561
- 정중현 · 손병현 · 김현규 · 이강우 · 정우식 · 이형근, 2004, 경주권역으로의 대기오염물질 이동 및 석조문화재 훼손, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, pp.1016-1018.
- 한성희 · 안희균, 1990, 석조문화재의 생물학적 손상요인과 보존대책, 문화재관리청 문화재, 23, pp.155-163.
- D. A. Robinson · R. B. G. 1994, Willians, Rock Weathering and Landform Evolution, Chichester, New York, Wiley,c.
- M. J. Selby, 1993, HILLSLOPE MATERIALS AND PROCESSES, Oxford, England, Oxford University Press.
- Nicholas K. Coch, 1995, GEOHAZARDS Natural and Human, Queens College, City University of New York, pp.52-55.
- Nicolas Adolphe, 1984, Principles of Rock Deformation, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Peter W. Birkeland, 1999, Soils and Geomorphology, Oxford University.