

국내 석조문화재의 보전 대책수립을 위한 지질학적 고찰

이상헌

강원대학교 지질학과, 강원도 춘천시 효자동

Geological Considerations on the Planning of the Conservation of Stone-Cultural Properties in Korea

Sang Hun Lee

Department of Geology, Kangwon National University
Hyoja-dong, Chuncheon, Kangwon 200-701, KOREA

초록 우리나라에는 전국에 걸쳐 약 1470기의 석조문화재가 지정되어 관리되고 있으며 가장 대표되는 종류는 석탑, 부도, 석불, 마애불, 비석, 당간지주, 그리고 석등이며 그 외 석장승, 석인상, 수조, 다리, 그리고 산성 등이 있다. 이러한 석조문화재는 대부분이 자연환경에 노출되어 있어 오랜 시간에 걸친 암석의 풍화작용에 의해 파손되거나 훼손되어진다. 따라서 석조문화재의 보전을 위해서는 우선 풍화작용과 이에 연관된 여러 현상들에 대한 지질학적 연구가 이루어져야 한다. 즉 석조문화재를 이루고 있는 암석자체에 대한 것과 풍화작용을 일으키는 요인들에 대한 조사와 원인 분석이 우선적으로 세밀하게 이루어져야 함을 의미한다. 기본적인 조사내용에는 정밀실측, 암석의 종류와 암상의 특징, 암석물성, 풍화현상과 진행상태 및 원인, 암석의 구조선의 발달 상태, 틈의 발달 양상과 원인, 구조적 안정성, 복원시 재사용가능 부재, 그리고 지형적 특징 등이 포함되어진다. 이들 각각에 대한 원인 분석이 이루어지고 이를 바탕으로 보수할 부분과 방법 등 기본적인 보수 원칙을 수립하여 계획서를 작성하여 보수기간과 예산이 산정되는 과정을 거치는 것이 가장 바람직스럽다고 판단된다. 계획서에는 정착제 사용 부위 및 종류, 보충할 암석의 암상의 특징, 구조적 안정 유지 방법 및 풍화작용의 진행을 느리게 하거나 예방할 수 있는 방법 등이 포함되어야 한다고 생각된다.

ABSTRACT There are about 1470 stone-cultural properties in Korea which have been registered and protected by the government. Representative of them are pagoda, stupa, stone-buddha, stele support of banner pole and stone-lanterns. Most of them have been exposed to and weathered by natural environments. Stone-cultural properties are destroyed and/or destructed mostly by weathering and its related features of rocks. Therefore, it is necessary to conduct geological studies on the weathering phenomena and related features as well as characteristics of the rock itself must be done for the conservation. Thus geological investigation should include

detail measurements, rock varieties and phases, structural lineaments of the rock, cause and degree of weathering, degree and patterns of crack development structural stability, identification of reusable parts for restoration, geomorphological characteristics of the site, and etc. The interaction among these factors must be investigated and analyzed, which must be used as basic data to establish the guideline of conservation and to plan for repair and/or restoration. The conservation plan should involve parts to be repaired, method of repair, type of cementing material, the characteristics of rock phases to be supplemented, method for maintaining structural stability, and method to delay or to prevent the rock weathering.

1. 서론

선조들의 얼이 담겨 있는 문화재는 최선을 다 하여 보전하여 후손들에게 물려주어야 한다고 생각된다. 오랜 시간이 흘러도 선조들의 얼은 변하지 않고 더욱 새로움을 느끼게 하여 주나 특히 물질로 이루어진 유형문화재는 세월과 함께 그 모습이나 형태 등이 변할 수 밖에 없다. 물질이 시간과 함께 변하는 것은 자연의 이치라고 하지만 이러한 변화가 최소화 될 수 있도록, 그리고 가능하면 더 이상 변하지 않도록 하는 것이 보전의 목적이라고 생각한다.

이 논문에서는 이러한 유형문화재중 암석으로 이루어진 문화재의 보전을 위한 방법을 수립하고 시행하는데 있어 반드시 고려되어야 할 사항들에 대하여 지적학적인 관점에서 논하고자 한다.

일반적으로 암석은 시간의 흐름에 따라 큰 변화를 하지 않으며, 변화를 하여도 문화재 자체의 외형 등에 대한 이차적인 영향은 크지 않을 것으로 생각하는 경향이 있다. 그러나 실제로 암석은 주위 환경의 변화에 따라 풍화와 침식 등의 과정을 거쳐 크게 변화하며 환경의 조건에 따라 그 정도와 속도에 있어서도 큰 차이가 있다. 암석을 이루는 광물들은 여러 가지 화학원소로 이루어져 있어 이들은 환경의 변화에 따라 때로는 매우 예민하게 반응하며 경우에 따라서는 급격하게 반응하여 변화하게 된다. 이러한 주위 환경에 대한 적응의 속도는 물론 생물체보다는 느리지만 그 변화의 양상은 유기체와 조금도 다를 바가 없다는 것을 인식해야 할 것으로 생각된다.

특히 유기체와 다른 점은 암석은 환경의 복원에 따라 원래의 모습으로 되돌아 갈 수 없는 비가역적 변화를 하여 복원이 불가능하다는 것이다. 또한 변화의 진행중 한계를 초과한 후에는 환경의 변화의 정도에 관계없이 급격한 변화를 계속하는 것은 또 다른 특징이라 할 수 있다.

석조문화재를 이루는 암석의 변화는 주로 풍화작용과 이에 수반된 침식작용에 의하여 일어나는 것으로 이는 주로 습도와 대기 오염과 같은 대기 환경의 변화와 시간에 의해 조절되어진다. 따라서 암석의 풍화에 영향을 주는 요소들과 풍화에 의해 나타날 수 있는 여러 현상들을 살펴보고 이를 바탕으로 보전에 필요한 여러 사항들을 고찰하는 것이 이 논문의 목적이다.

2. 국내 석조문화재의 종류별 현황

우리나라에는 전국에 걸쳐 여러 종류의 석조문화재가 많이 분포하고 있다. 석조문화재는 주로 탐과 부도, 석불, 자연석을 그대로 이용한 마애불, 비석, 당간지주, 그리고 석등 등이 대표적이며 그 외 석장승, 석인상, 수조, 다리, 그리고 산성 등이 있으며 이들의 축조시기는 삼국시대에서부터 조선 말기에 이르기까지 다양하다. 또한 선사시대의 유물과 고인돌과 선돌이 곳곳에 산재해 있다. 이러한 석조문화재는 국보를 비롯하여 문화재자료에 이르기까지 다양하게 지정되어 보존되고 있다. 1997년도 문화재 관리국의 통계 자료에 따르면 국가 및 시·도 지정문화재의 종류별 수는 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 지정되어 있는 석

Table 1. Statistics of various stone-cultural properties in Korea¹

	National Treasure	Treasure	Important Cultural Properties	State-designated Materials	City-and Province-designated Materials	Total
Pagoda, Stupa	42	192	174	1	128	537
Stone-Buddha, Rock-carved Buddha	8	124	174	19	63	388
Stele	11	57	148	8	77	301
Support of Banner Pole	.	25	13	1	4	43
Stone Lantern	5	21	13	1	9	52
Others	12	31	38	15	53	149
Total	78	450	563	45	334	1470

*기타 : 수조, 다리, 석인상 등 <1997, 1, 1 현재>

석조문화재는 약 1470기에 이르며 이중 부도를 포함한 석탑(36.5%), 마애불을 포함한 석불(26.4%), 그리고 비석(22.5%)으로 대표되어짐을 알 수 있다. 석탑은 국보 중 약 53.8%, 그리고 보물 중 약 42.7%를 점유하며, 중요 문화재로도 석탑과 석불(30.9%)이 비슷하게 가장 많이 지정되어 있다. 이러한 현상은 우리나라 전역에 걸쳐 재질로 사용되어질 수 있는 암석들이 풍부하게 분포되어 있음에 기인하는 것으로 생각된다. 물론 선조들의 돌을 다듬는 탁월한 기술이 바탕되어 있음은 말할 필요도 없다.

석조문화재에 가장 많이 사용되어진 화강암류는 우리나라 곳곳에 넓게 분포하고 있어 매우 쉽게 구할 수 있었던 것도 중요한 요인 중의 하나라고 생각된다. 화강암류는 동일한 암체내에서는 대체로 비슷한 암상을 띠고 있을 뿐만 아니라 전체가 괴상을 띄는 경우가 많아 채석과정에 있어 큰 덩어리로 채취할 수 있기 때문에 석조문화재의 재료로 가장 적합하다고 판단되어졌을 것으로 생각된다. 또한 암석내에 특별한 어떤 방향성이 없어 나타내고자 하는 모양을 그대로 조각할 수 있는 암석의 특징도 중요한 요인이었

다고 판단된다. 실제로 비석의 경우에 많은 글자를 새겨야 하는 비신(대체로 석회암이나 대리암)을 제외하고 이수와 귀부 등은 거의 화강암류로 되어 있음은 이를 잘 반영하고 있다. 실제로 퇴적암, 화성암 및 변성암류 등 여러 종류의 암석이 분포되어 있는 강원도 지역에 있어서도 조사된 자료^{2,3}에 따르면 거의 대부분이 화강암류로 이루어져 있어 가능하면 화강암류를 석재로 사용하였음을 알 수 있다. 이러한 현상은 경기도의 일부지역에서도 동일하다.^{4,5} 석회암이나 대리암은 암색이나 대상구조와 같은 암상에 관계없이 연한 성질 때문에 표면을 매우 매끄럽게 연마할 수 있을 뿐만 아니라 많은 글자를 정교하게 새길 수 있기 때문에 비신에 많이 사용되어진 것으로 생각된다. 이는 주위에 분포되어 있는 암석의 종류에 관계없이 먼 곳에서도 구하여 사용하였다. 이는 이미 선조들이 이러한 암석의 성질을 잘 알고 있었음을 시사한다.

그러나 이러한 현상이 모든 지역에서 동일하게 적용되어진 것은 아니다. 지역에 따라서는 문화재의 종류에 관계없이 그리고 암상의 어떠한 특징도 고려하지 않고 주위에 분포하고 있으며

쉽게 구할 수 있는 암석을 그대로 사용한 경우도 적지 않다. 예를 들면 나주의 운주사와 장흥군의 보림사의 경우 모든 석탑, 부도, 석불 및 석등 등이 주위에 분포되어 있는 역질암을 그대로 사용하고 있다.⁶ 이러한 역질암은 정교한 조각이나 표면을 매우 매끄럽게 다듬기 어려운 암상의 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 경우 이런 종류의 암석을 사용한 데에는 다른 이유가 있었을 것으로 추정된다.

3. 암석의 풍화에 영향을 미치는 요소

암석은 일반적으로 단단하게 고결된 상태의 광물의 집합체를 말한다. 광물은 각각 고유한 일정한 화학조성을 갖고 있을 뿐만 아니라 구성화합원소들의 규칙적인 배열 상태가 서로 다름으로 각 광물이 안정할 수 있는 압력과 온도의 범위가 다르다. 이는 주위 환경의 압력, 온도 또는 화학적 조건이 변함에 따라 불안정해짐을 의미한다. 불안정해진 광물은 새로운 환경과의 평형을 유지하기 위하여 물리적 및 화학적으로 붕괴하여 용해되거나 새로운 환경에 안정한 새로운 광물로 변하기도 한다. 이러한 변화양상을 풍화작용이라 한다. 즉 광물은 최초 생성된 환경과 다른 새로운 환경하에 놓이게 되면 기계적 및 화학적 풍화과정을 거쳐 새로운 물질로 변화해 된다. 이는 암석의 풍화작용은 고유한 물리적 및 화학적 특성을 갖고 있는 구성광물과 주위 환경과의 반응에 의해 진행되어짐을 알 수 있다. 이러한 반응은 크게 기계적 변화와 화학적 반응으로 구분되어지며 이들은 독립적으로 뿐만 아니라 병행하여 서로 영향을 주며 진행된다. 전자는 기계적, 그리고 후자는 화학적 풍화라고 한다.

기계적 풍화는 광물 입자들이 물리적으로 분리되어 떨어져 나오는 현상을 말하며 이는 온도와 압력의 변화에 따라 광물의 부피가 변화하여 광물 입자들 사이의 결합력이 약해지는데 기인한다. 각 광물들은 온도와 압력의 변화에 따라 수축과 팽창의 정도가 다름으로 이러한 과정이 계속 반복되면 광물 입자들은 기계적으로 붕괴

되거나 입자들 사이에 간격이 형성되게 되는 것이다. 이러한 부피의 변화는 광물입자들의 표면적의 증가를 가져오게 되어 대기나 물과의 접촉면적이 넓어져 이들과 반응할 수 있는 가능성을 증가시키게 되어 화학적 풍화를 촉진시키는 결과를 가져오게 된다. 또한 암석내에 발달해 있는 빈 공간을 채우고 있는 물이 얼음으로 변할 때 또는 새로운 광물이 결정화 될 때 생기는 압력의 영향도 중요한 역할을 한다. 예를 들면 탄산염암의 경우 풍화작용에 의해서 용해된 Ca^{++} 성분이 대기중의 SO_2 와 반응하여 공극속에 석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)가 형성되는데 이 때의 석고 결정이 성장하면서 주위에 큰 압력을 미치기도 한다.^{7,8}

화학적 풍화는 광물이 용매와의 반응에 의해 용해되거나 다른 광물로 변화하는 작용을 말한다. 이러한 용매 중 가장 중요한 것이 물이다. 석조문화재의 암석에 직접 영향을 미치는 물은 빗물, 안개, 그리고 눈이다. 대기 속의 여러 성분 특히 CO_2 나 SO_2 또는 다른 오염 성분들이 이들 속에 용해되어 있어 전체적으로 산성을 띠게 한다. 일반적으로 암석을 이루는 주구성광물인 장석류와 운모류 등은 이러한 산성을 띠는 물과 잘 반응하는 성질을 갖고 있다. 장석류에는 K, Na 그리고 Ca 등과 같은 성분이 있어 산성 용액에 잘 용해되는, 그리고 운모류는 Fe 성분이 있어 산소 및 물과 반응하여 잘 용해되어져 나와 원래의 광물을 화학적으로 붕괴시키기 때문이다. 대기속의 CO_2 의 물과의 반응을 예로 들면 $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$ 와 같이 되어 물은 약한 산성을 띠게 된다. 또한 대기 오염의 주성분 중 하나인 SO_2 등은 물과 반응하여 H_2SO_4 등과 같은 물질을 생성하여 물을 매우 강한 산성을 띠게 한다. 이 외에 지표상에서 암석에 영향을 미칠 수 있는 산성용액을 만드는 것에는 이끼나 식물의 뿌리에서 분비되는 물질 등도 있다. 이러한 광물과 산성용액 사이에 반응이 일어나면 산성용액의 산성도가 변하게 되어 동일한 용액과는 지속적인 반응이 일어나지 않을 경우도 있다. 이는 최초 반응시의 산성도(pH)가 반응이 진행됨에 따라 반응물질이 생성되어 pH가 변화하기 때

문이다. 따라서 이러한 화학적 풍화의 정도는 이들의 접촉시간과 용매의 반복적인 공급의 정도에 의해 영향을 받게 된다.⁹

상기한 바와 같이 암석의 풍화는 여러 요인들에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며 이는 석조문화재의 보전을 위한 방안을 수립하는데 고려해야 할 사항들임을 의미한다. 이러한 암석의 풍화와 직접적인 관계를 갖는 내용들을 보전을 위한 계획수립을 위해 공통적으로 조사되고 분석되어야 할 사항들을 나누어 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 첫째, 암석 자체에 대해서는
- 1) 구성광물의 종류와 상대적인 함량(암석의 종류)-특히 장석류와 Fe-Mg를 함유한 광물
- 2) 주구성 광물의 입자의 크기-용액과 반응할 수 있는 표면적
- 3) 광물의 형태-표면의 위치에 따른 반응의 가능성의 차이 (corner > edge > face)
- 4) 암석에 발달되어 있는 구조선-층리면, 절리, 변성구조, 깨어진 균열 등
- 5) 세맥의 발달 양상
- 6) 암석의 공극률과 투수율
- 둘째, 주위 환경에 대해서는
- 7) 물의 염도와 용해된 물질의 종류-대기오염과 연관
- 8) 물의 pH-최초 pH와 반응후의 pH의 변화양상, 반응 생성물의 종류
- 9) 물과의 접촉시간-반응시간 (습기의 지속성), 물의 유동 정도
- 10) 기후의 변화-건기 및 우기, 기온의 변화 (물의 결빙, 상대습도)
- 11) 대기와 암석표면 사이의 온도의 차이-이슬 맺힘 (특히 밀폐된 공간)
- 12) 생물-이끼, 곰팡이, 식물의 뿌리 (습기의 지속성과 연관)
- 13) 사람(관람객)-낙서
- 셋째, 풍화의 결과 나타난 현상 중
- 14) 암석표면의 요철정도-식박되거나 떨어져

간간 정도

- 15) 암석 구조선의 2차적인 발달 정도
- 16) 깨어진 틈 등의 발달정도와 풍화정도

4. 풍화작용의 결과

상기한 바와 같이 여러 요인들에 의해 풍화작용이 진행되어 암석을 이루는 광물이 용해되거나 새로운 광물로 변하며 동시에 광물입자들이 분리되어 떨어지는 등 여러 가지 암석의 성질에 변화가 일어나게 된다. 화학적 풍화에 의해 광물의 구성성분중 부분적으로 용해되어져 나가고 남은 부분은 새로운 환경에 안정된 새로운 광물이 생성되어 잔류되기도 한다. 광물의 용해작용이 우세하게 일어나는 경우 암석표면은 마치 표백된 것과 같은 현상을 보이기도 하며 이러한 용해작용이 부분적으로 일어 나는 경우 아래로 흘러내리는 용해물진에 의해 이차적으로 영향을 받기도 한다. 때로는 이러한 화학적 풍화작용에 의해 생성된 용액으로부터 새로운 광물이 이차적으로 생성되기도 한다. 이러한 경우는 주로 석회암이나 대리암과 같은 경우에 잘 일어나며 이는 구조물의 부위에 따른 pH 나 Eh 등과 같은 물리·화학적 조건의 차이에 의한 것이다. 이러한 예는 원각사 10층 석탑 (Fig. 1)에서 잘 관찰할 수 있다. 또한 광물의 화학적 붕괴와 습기는



Fig. 1. Bleaching phenomena by weathering of carbonate rocks and dissolved material flowing downward effected on rock (Wongag-sa 10-story pagoda, Seoul)

이거나 곱팡이류의 번식을 용이하게 하여 화학적 풍화작용이 더욱 촉진되는 결과를 가져오게 되며 이에 의해 암색의 변화가 일어나게 된다.

석조문화재에 가장 많이 사용된 화강암과 비신의 재료로 많이 이용된 석회암과 대리암의 화학적 풍화결과를 예를 들어 요약하면 다음 Table 2와 같다.

부분적으로 번식하는 이끼나 곱팡이의 종류나 번식의 정도가 다름에 따라 암색 표면에 얼룩이진 것 같은 양상을 보이기도 한다(Fig. 2).

광물입자들 사이의 결합력이 약해지며 부분적으로 용해되어 성분의 유출과 이에 따른 새로운 잔류광물의 형성과 같은 풍화작용에 의해 암색의 압축강도나 탄성계수 등과 같은 암색의 물성이 변화하게 되어 이차적으로 여러 현상들이 나타

나게 되는 결과를 가져오게 된다. 예를 들면 화강암류에 잘 발달하는 화성선리나 양파껍질 구조 같은 일차적인 구조가 이러한 물성의 약화에 따라 뚜렷이 나타나게 된다. 이러한 구조선은 구성광물들의 종류나 배열상태의 차이 등에 의해 이루어 지는 것으로 구조선의 나타남은 차별 풍화작용을 야기시키고 시간이 지남에 따라 이러한 구조선을 따라 풍화작용이 더욱 촉진되는 결과를 가져온다. 이런 현상은 양파껍질 구조를 따라 박리되거나(Fig. 3) 화성선리를 따라 큰 균열이 발달되거나(Fig. 4) 화성선리를 따라 얇게 떨어져 나가는 양상(Fig. 5)으로 나타난다. 이러한 현상은 감은사 동탑¹¹에서 잘 관찰된다. 뿐만 아

Table 2. Results of weathering of granite and carbonate rocks (limestone, marble)¹⁰

	Original Material	Dissolved Ions	Kesidual Material
Granite	장석류 운모류 Fe-Mg 광물	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ K ⁺ , Fe ⁺⁺ Fe ⁺⁺	고령토 고령토 고령토, 적철석, 갈철석
Carbonate Rocks	방해석	Ca ⁺⁺	불순물 (고령토, 석영 등)



Fig. 2. Bleaching due the dissolution and exfoliation along onion structure by chemical weathering of granite (Gameunsa three-story pagoda, East one, Kyongju)



Fig. 3. Mottled color by pervasive moss of different kinds and trace of a moth cocoon (Hwanjeogdang Stupa, Chunchon, Kyongju)



Fig. 4. Exfoliation along onion structure by weathering developed in granite (Gameun-sa three-story pagoda, East one, Kyongju)

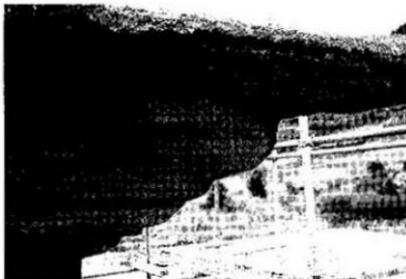


Fig. 5. Disparition along igneous lineation developed in granite (Gameun-sa 3-story pagoda, East one, Kyongju)



Fig. 6. Structural instability due to both depression in places by differential loading and soil creep rightward in the basement(Jungwon Mireugri-saji stone-chamber protecting stone-buddha, Jungwon-gun)

나라 암석 물성의 약화에 따라 구조물 전체의 하중에 편중이 야기되어 구조적 불안정이 생기게 되며 이는 또 다시 하중의 편중을 심화시키는 결과를 가져오게 된다. 따라서 편중된 하중에 의하여 암석에 이차적인 균열이 발달하게 되며 이를 따라 풍화작용이 더 심하게 진행되어 균열은 더욱 커지게 된다. 이러한 과정이 반복되고 심화되면 결국 전체적인 구조적 불안정이 야기되어 크게 깨어져 나갈 수도 있다. 이러한 현상은 증원 미륵리 사지 입상석불 보호석실 (Fig. 6)에서 잘 관찰할 수 있다.

상기한 바를 간단히 요약하면 풍화가 진행됨

에 따라 1) 암색의 변화, 2) 표면의 불규칙한 요철의 발달, 3) 미세구조의 나타남, 4) 표백현상, 5) 양파껍질 구조 등의 나타남, 6) 화성선리와 같은 암석의 일차적 구조선의 나타남과 이 구조선을 따라 균열의 폭이 더 커짐, 7) 바리 현상의 발달, 8) 암석의 물성의 약화에 따른 이차적인 균열의 발달, 그리고 9) 구조적 불안정성의 증가 현상 등이 나타나게 된다.

5. 보존 처리시 고려사항

위에서 설명한 바와 같은 암석의 풍화에 의해 석조문화재에 나타나는 현상은 크게 암색의 변화, 표면의 요철과 양파껍질과 같은 바리현상, 여러 원인에 의한 균열의 발달, 그리고 전체적인 구조적 불안정이 야기되는 것으로 요약되어질 수 있다. 이들은 석조문화재의 일반적인 관리단계에서부터 일차적으로 조사되고 위에서 설명한 바와 같은 원인들이 분석되어야 하며 이를 바탕으로 보수나 보전계획을 수립하고 적절한 대책을 강구하여야 할 것으로 생각된다. 이는 대부분의 석조문화재가 옥외에 위치해 있어 자연적인 풍화작용이 지속적으로 진행되기 때문에 적절한 처리를 하여 이러한 풍화작용이 더이상 촉진되지 않도록 하여 현재의 상태가 가능한 오래 유지되도록 하여야 하기 때문이다. 예를 들면 암석 표면이 번성하고 있는 이끼나 곰팡이류의 제거는 종류와 번식의 정도 등을 고려하여야 한다. 일반적으로 심하게 번성하고 있는 이끼나 곰팡이의 화학적 방법을 이용한 제거는 암석에 대한 새로운 풍화작용을 촉진시키는 결과를 가져오기 때문에 제거하는 방법과 정도 등이 세밀하게 분석되어야 한다.

풍화에 의해 표면이 요철되어지고 팽물입자들이 떨어져 나가는 것을 방지하기 위한 표면의 경화처리의 필요성은 암석의 특성과 그 원인에 따라, 특히 양파껍질 모양으로 바리된 부분에 대한 처리는 그 정도와 양상에 따라 신중하게 고려되어야 한다. 이는 바리된 현상과 깊이, 그리고 암석의 특징에 따라 경화처리 후 지속되는

풍화작용이 경화처리한 면보다 더 깊은 면을 따라 일어나 보존이 불가능할 정도로 파괴되어질 수도 있기 때문이다.

우선 암석의 색을 크게 변화시키며 풍화를 더욱 촉진시키고 있는 균열은 여러 원인에 의해 형성되고, 또 발달 정도와 형태 등이 다양하기 때문에 이러한 점을 모두 분석하여 접착 여부 등을 판단해야 할 것으로 생각된다. 이는 균열의 형성원인과 암석의 특성에 따라 접착 후 지속되는 풍화작용에 의해 새로운 양상으로 발전할 수 있기 때문이다. 따라서 접착이 필요한 경우 이러한 원인들과 접착 후 일어날 수 있는 여러 사항들이 고려되어야 한다. 접착제의 선정에 있어 암석의 색(풍화면의 색 포함)과 균열의 발달 정도 등을 파악하여 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다고 생각된다. 즉 접착제의 1) 색과 광택, 2) 온도의 변화에 따른 수축 및 팽창율, 그리고 접착제의 색의 변화, 3) 안정 온도의 범위, 4) 내구성, 5) 암석 속으로의 침투율, 그리고 6) 접착 강도의 정도 등이다.

가장 적절한 방법은 석조문화재에 사용된 암석과 유사한 암상의 암석을 이용하여 실험을 통하여 선정하는 것이 가장 바람직하다고 생각된다. 이 때 신선한 암석을 또는 풍화면의 색이 유사한 풍화된 암석을 사용할 것인지가 먼저 결정되어야 한다.

6. 해체 복원

구조물을 해체할 경우 복원시 재사용이 가능한 부재들을 우선 파악하여야 한다. 이는 미세구조나 틈 등이 발달하고 풍화에 의해 이미 암석의 공극률의 증가, 압축 강도가 저하되어 있어 복원시 재사용이 어려운 경우가 있기 때문이다. 특히 부재의 모서리 부분에 대한 조사가 세밀히 이루어져야 한다. 따라서 필요한 경우 풍화 정도나 균열 등의 발달이 유사한 암석을 대상으로 물성변화의 정도를 실험을 통하여 파악할 필요가 있다고 생각된다.

석탑과 같은 구조물의 안정성은 풍화작용이나

인위적인 영향 외에도 구조물의 위치에 대한 지형적인 면이 고려되어야 한다. 흙으로 이루어진 경사가 진 언덕과 같은 곳에서는 오랜 세월에 걸친 기온의 변화 등에 의하여 토양이 매우 느리게 아래로 이동하는 포행현상이 일어날 수 있으므로 지반과 지형적 특징도 아울러 조사되어야 한다. 특히 문화재 자체가 포행이 일어날 수 있는 곳에 위치해 있는 경우 이에 대한 조치가 반드시 선행되어야 한다. 구조물의 안정성은 지반의 부등침하 등에 의해서도 큰 영향을 받기 때문이다. 예로, 중원의 미륵지 사지의 입상 석불 보호시설의 경우 지반의 부분적인 침하와 포행에 의해 전체적으로 구조적 불안정이 야기되어 힘의 편중이 생겨 보호시설을 이루고 있는 암석들이 많이 깨어져 구조적 불안정이 더욱 촉진된 것을 들 수 있다(Fig. 6).

상기한 바를 부분별로 나누어 보면 1) 구조선, 박리현상 그리고 깨어진 틈 등의 접착여부 등 처리방법, 2) 요철된 풍화면의 경화처리 여부 등의 처리방법, 3) 복원시 재사용 가능 부재의 파악, 4) 파손된 부분의 처리방법, 5) 훼손된 부분의 보완 및 보충 방법, 6) 보충할 암석의 색이나 암상 등 특징에 대한 문제, 7) 보충하는 부분의 세공처리 방법, 8) 구조적 안정을 유지시키기 위한 방법, 그리고 9) 지반 및 지형적 안정성 등과 같이 요약할 수 있다. 이러한 내용들은 해체 복원할 문화재의 선정 단계에서부터 조사되고 검토되어져 이를 바탕으로 전체적인 계획이 수립되어져야 한다고 판단된다.

따라서 석탑, 부도, 석등 또는 비석과 같은 여러 부재로 구성되어 있는 구조물은 부분적인 보수가 아닌 해체복원을 할 경우 위에서 언급한 사항들뿐만 아니라 이들과 연관성을 갖고 있는 다른 사항들에 대해서도 철저히 조사되고 분석되어야 한다고 판단된다.

7. 결론

대부분의 자연 환경에 노출되어 있는 석조문화재는 오랜 시간에 걸쳐 여러 요인들에 의하여

풍화작용을 받아 파손되고 심지어 훼손되기도 한다. 비록 변화의 속도는 느리나 일정한 한계를 지나면 복원이 불가능한 비가역적인 진행과정이기 때문에 앞으로의 보존을 위해서는 이러한 요인들이 분석되고 예방할 수 있는 방법을 찾아 적절한 조치를 취해야 한다고 생각한다. 따라서 석조문화재의 보존을 위해서는 여러 사항들이 단계별로 그리고 체계적인 과정에 의해 조사되고 검토되어야 한다고 판단된다. 즉 1) 기본적인 조사, 2) 원인 분석, 3) 보수할 부분과 방법의 선정, 4) 계획서 작성, 5) 보수 기간과 예산의 산정 등의 과정을 밟고 각 단계별로 필요한 내용들이 조사되어야 한다. 기본적인 조사단계에서는 정밀실측, 암석의 종류 및 암석의 특성, 암석의 물성, 풍화현상과 진행 양상, 구조선과 균열들의 발달양상, 파손 및 훼손의 정도, 구조적 안정성, 해체복원시 재사용 가능 부재 및 주위 지형적 특징 등이 세밀하게 조사되어야 한다. 이러한 사항들은 평소 관리과정 중에도 조사되고 기록되어 현상들의 진행상태를 파악할 수 있도록 하는 것이 더욱 바람직하다.

다음 단계에서는 이러한 자료들을 바탕으로 각각의 원인을 분석하여 보수할 부분 및 방법 등을 결정하는 기본자료로 이용하여야 한다. 이는 기본적인 보수 및 보존 원칙은 이러한 조사·분석된 자료를 바탕으로 이루어져야 함을 의미한다. 즉 부분적인 보수 또는 해체 복원, 또한 훼손되거나 파손된 부분에 대한 보수방법, 예를 들면 집착제의 사용 가능 범위 및 종류, 보충할 부분과 암석에 대한 조건, 보충할 부분의 암석의 세공 처리법, 구조적 안정 유지 방법, 또는 보호각의 필요성 여부 등이 검토되고 결정되어야 한다. 이러한 원칙에 따라 전체적 및 부분적인 보수 계획서가 작성되고 이를 바탕으로 계절 등 기후환경의 변화 등을 고려하여 보수기간과 예산이 산정되어야 할 것으로 판단된다.

석조문화재는 그 변화가 대단히 느리게 진행되나 모든 작용이 상호 영향을 주며 또한 비가역적인 진행과정이기 때문에 파손되거나 훼손되었던 경우 원래의 모습대로 복원할 수 없는 특

징을 갖고 있다. 따라서 여러 지질학적 요인들에 대한 조사와 분석이 지속적으로 이루어져 적절한 보수처리를 통하여 그 정도의 한계가 넘지 않도록 하는 것이 대단히 중요하다고 생각된다.

지금 까지 석조문화재의 보존을 위하여 문화재 관계기관에 의해 주로 물리·화학적 또는 생물학적 방법을 이용하여 처리하고 지속적으로 더 나은 방법을 개발하고 있는 것은 대단히 바람직하다고 생각된다. 그러나 여기에 위에서 언급한 제반 지질학적 조사를 통한 결과를 함께 기본자료로 이용한다면 더 훌륭한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 암석도 마치 생명체와 같이 주위 환경의 변화에 따라 같이 변화하고 있음을 깊이 인식해야 할 것으로 생각된다.

8. 참고문헌

1. 문화재관리국, *지정문화재 목록*, 1997.
2. 이상헌, 박경림, "석조문화재의 특징과 암석에 대한 지질학적 연구(I)-강원도 원주시, 원주군, 횡성군 및 홍천군 지역," *보존과학회지*, 1(1), 40(1992).
3. 이상헌, 박경림, "석조 문화재의 보존에 관한 지질학적 연구-강릉시, 속초시, 명주군, 양양군을 중심으로," *보존과학회지*, 2(2), 31(1993).
4. 이상헌, 박경림, "석조문화재의 특징과 암석에 대한 지질학적 연구(III)-경기도 하남시, 양평군 및 여주군을 중심으로," *보존과학회지*, 4(1), 11(1995).
5. 박경림, 이상헌, 신종원, "보존을 위한 석조문화재의 특징과 암석에 대한 연구 (I)," *보존과학회지*, 5(1), 41(1996).
6. 이상헌, 신철균, 최기주, "보존을 위한 석조문화재의 특징과 암석의 풍화현상에 대한 연구(II)-전라남도 나주시, 화순군, 장흥군 일부 지역," *보존과학회지*, 6(1), 31(1997).
7. R. Lofvendahl, "Weathering of Stone Materials," in *Degradation of Materials and the Swedish Heritage 1992-1995*, E. Osterlund, Ed., Ljungbergs tryckeri, 1996, pp12-17.
8. A. G. Nord and K. Tronner, "Stone Damage and Chemical Analysis," in *Degradation of Materials*

- and the Swedish Heritage 1992-1995*, E. Osterlund, Ed., Ljungbergs tryckeri, 1996, pp103-113.
9. S. J. Lee, "Mineral-water reaction in the weathering of granite at Namsan, Seoul, Korea," Ph.D. Thesis, Seoul National University, (1996).
10. W. K. Hamblin, *The Earth's Dynamic System*, 4th ed., Burgess, 1985; pp141-156.
11. 이상현, "감은사지 3층 석탑(동탑)과 나원리 5층 석탑의 암석과 풍화현상의 특징에 대한 연구," *보존과학회지*, 5(1), 20 (1996).