경복궁 석조조형물의 재질 및 손상특성 분석

김지영¹ | 조영훈 | 이찬희
공주대학교 문화재보존과학과

Material and Deterioration Characteristic Analysis for Stone Sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace, Seoul

Jiyoung Kim¹ | Young Hoon Jo | Chan Hee Lee

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

¹Corresponding Author: jiyoung@kongju.ac.kr, +82-41-850-8540

초 록 경복궁 석조조형물은 주로 화강암(884점, 96.7%)과 대리암(25점, 2.7%)으로 구성되었으며, 다양한 산지의 석재가 혼용되어 조성되었다. 이 석조조형물에서 나타나는 주요 손상은 균열(24%), 탈락(21%), 박리박락(36%), 입상 분해(9%) 및 흑색변색(20%)으로써, 균열과 탈락은 높은 물리적 손상도에, 흑색변색은 높은 변색 손상도에 주로 기여하는 손상유형이다. 구역별로는 경회루(3등급 55%), 근정전(3등급 29%) 및 품계석(3등급 11%) 구역의 석조조형물에서 상대적으로 손상도가 높아 이들을 우선관리대상으로 설정하여 집중적으로 관리하고 정기모니터링 하는 것이 필요하다. 특히 품계석은 대리암으로 구성되어 외부환경에 노출될 시 풍화민감도가 크므로 강우와 일사를 제어할 수 있는 보호시설이 요구된다.

중심어: 경복궁, 석조조형물, 손상도, 박리박락, 흑색변색, 보존관리

ABSTRACT The stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace are mainly composed of granite (884 sculptures, 96.7%) and marble (25 sculptures, 2.7%) that originated in several different quarries. Main deterioration forms are crack (24%), break-out (21%), exfoliation (36%), granular disintegration (9%) and blackening (20%). Crack and break-out are dominant contributors to high physical deterioration degree, and blackening is major weathering form of intensive discoloration. The Gyeonghoeru, Geunjeongjeon and Pumgyeseok areas require urgent and high conservation maintenance with short-term periodic monitoring since proportions of 3-grade deterioration were calculated higher than others as 55% for Gyeonghoeru, 29% for Geunjeongjeon, 11% for Pumgyeseok area. The Pumgyeseok (officials' rank stone), especially, needs intervention for protective facility due to its material vulnerability to weathering in outdoor environment.

Key Words: Gyeongbokgung Royal Palace, Stone sculpture, Deterioration grade, Exfoliation, Blackening, Conservation management

1. 서 론

조선시대의 법궁인 경복궁에는 조선의 석조미술을 대

표하는 다양한 석조각물이 존재한다. 이들은 주로 사신상이나 십이지신상과 같은 석수(石獸)를 비롯하여 월대 난간의 동자석(童子石), 품계석(品階石), 경회루의 장초석, 정

원의 석지(石池), 석각(石刻) 등이며 총 888기에 달한다. 경복궁은 태조 4년(1395)에 창건되어 세종대에 법궁의 격을 갖추기 위해 여러 건물군이 추가되었다. 그러나 명종 8년(1553) 9월 14일에 일어난 대화재로 인해 근정전을 제외한 대부분의 전각이 불에 타버렸다. 명종 10년(1555)에 다시 재건되었으나 반세기도 지나지 않아 임진왜란으로 전부 소실되었다(Korea Institute of Cultural Heritage Conservation, 2012).

경복궁 석조조형물에 대한 연구는 주로 미술사 및 건축사적 관점에서 이루어져 왔으며, 석물의 배치원리, 상징성 및 조성시기에 대한 내용이 주를 이루었다(Cho, 1997; So, 2000; Lee, 2006; Bae, 2007; Lee, 2011). 인문학적 선행연구에 따르면 석조조형물은 대부분 고종대(1863~1907)에 경복궁 재건 시 제작된 것으로 추정되며, 일부 부재는 기존의 석물을 재사용하여 조성되었을 가능성도 제시되고 있다(Lee, 2011). 석조조형물은 임진왜란, 한국전쟁과 같은 전란의 피해와 자연적인 풍화 및 관람객에 의한 인위적인 훼손 요인에 의해 점차 손상되어 왔으나, 최근까지 재질분석과 손상상태에 대한 과학적인 조사가 수행되지 못했다. 이는 석조조형물이 넓은 구역에 광범위하게 산재하고 전체 수량이 방대하여 체계적인 조사 및 보존관리에 어려움이 있었기 때문이다.

석조문화유산의 보존과학적인 연구는 지난 십 수 년간 국내외의 많은 연구자에 의해 활발히 수행되어 손상기록화를 통한 자료축적 뿐만 아니라 과학적이고 객관적인 연구방법론이 점차 확립되는 등 상당한 학문적 성과를 이루었다(Fitzner and Heinrichs, 2004; Lee *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013). 이 연구들은 대부분 개별 석조문화유산에 대한 상세한 측정, 진단, 분석을 통한 손상요인 규명과 정량적인 손상도 평가에 초점이 맞추어져 있었다.

그러나 이러한 정밀진단법은 경복궁 석조조형물과 같이 부재의 수량이 매우 많은 석조문화재에 적용하기에 시간과 인력의 소모가 많아 연속적인 정기모니터링을 효과적으로 수행하는데 현실적인 한계가 있다. 따라서 이 연구에서는 조형물의 손상도와 손상유형을 단순화된 기준에 따라 간략하게 기재하고 결과를 종합적으로 분석하여 손상특성을 고찰하였다. 이 결과는 경복궁 석조문화유산의 육안적 손상 기록화뿐만 아니라 과학적 보존관리에 응용할 수 있으며, 장기적이고 효율적인 보존관리체계를 구축하는데 이용될 수 있을 것이다.

2. 연구방법

연구대상이 된 석조조형물은 888기이며, 여러 개의 석재로 이루어진 조형물의 부재수를 개별 합산하면 총 915점에 달한다. 이들을 체계적으로 조사하기 위해 조형물이 속한 전각 영역에 따라 총 18구역으로 구획한 뒤 구역별로 조형물의 재질 및 손상특성을 조사하였다. 우선 석조조형물의 재질특성을 파악하기 위해 육안관찰, 전암대자율 측정 및 광물학적 분석을 실시하였다. 육안조사에서는 도면, 필기도구, 자, 루페, 물, 붓, 디지털카메라를 이용하여 색상, 입자의 크기, 광물조성 등의 특징을 상세하게 기록하였고, 암석의 성인적 동질성 비교를 위해 전암대자율을 측정하였다. 측정에 사용된 대자율기는 10^{-5} SI 단위의 측정한계를 가진 ZH Instruments사의 SM30 모델이며 대자율의 세기는 10^{-3} SI 단위로 표기하였다.

풍화로 인해 자연적으로 탈락된 암편 시료를 주변에서 수습하여 광물학적 정밀분석을 실시하였다. 구성석재의 반경량적인 광물조성, 상대적 함량 등을 규명하기 위해 박편을 제작하여 편광현미경(Nikon, Eclipse E600W) 관찰을 수행하였고, 광물의 상대적 빈도분포, 결정구조, 조압광물과 변질 및 이차생성광물의 정밀동정을 위해 X-선 회절분석(Rigaku, D/Max-II B)을 실시하였다. 타겟으로 사용된 X-선은 CuK α , 양극의 가속전압 및 필라멘트의 전류는 각각 40kV, 100mA이다.

모든 석조조형물에 대해 손상특성을 간편하고 신속하게 기록하기 위해 손상기록표를 작성하였다. 기록표는 석조문화재의 일반적인 훼손진단기록표 작성법을 참고하여 기초조사항목을 정하고(The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage, 2001), 주된 손상유형을 우선 전체적으로 파악하여 손상유형 체크항목을 설정하였다.

조형물의 물리적인 손상유형은 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해, 구조불안정 5가지 유형으로 세분하고, 변색 및 생물학적 손상유형은 흑색변색, 황갈색변색, 생물에 의한 변색, 기타(염, 조류분비물, 보수물질)로 세분하였다. 손상유형의 판단은 기본적으로 정밀육안감식을 통해 하되, 변색 및 생물학적 손상에서 육안판단이 어려운 경우 디지털 휴대용현미경(VMS-001, VEHO)을 이용하여 표면 촬영을 실시함으로써 보다 명확한 변색유형을 동정하였다.

손상유형 조사와 더불어 손상정도의 판단을 위해 물리 손상등급과 변색손상등급을 1등급, 2등급, 3등급으로 세분하여 함께 기록하였다. 석조문화재의 풍화 및 손상등급은

Table 1. Criteria of deterioration degree for stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace.

Grade		Criteria
Physical deterioration	1	None or slight deterioration. Single physical deterioration form observed. Conservation intervention is not urgently considered.
	2	Moderate deterioration. Multiple deterioration interacted, for example, a set of crack and break-out or crack and exfoliation. Conservation intervention is not urgent, but short-term monitoring is needed.
	3	Intensive deterioration. Multiple deterioration observed that is leading break down of the material in short period. Conservation intervention is urgently needed.
Discoloration and biodeterioration	1	None or slight discoloration due to organic and inorganic contaminants. Surface coverage of contaminants under 20%. Conservation intervention is not urgently needed.
	2	Moderate discoloration due to organic and inorganic contaminants. Surface coverage of contaminants between 20~50%. Conservation intervention may be considered but not urgent.
	3	Intensive discoloration due to organic and inorganic contaminants. Surface coverage over 50%. Conservation intervention is necessary.

5등급의 급간을 두어 세분하는 것이 일반적이나(The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage, 2001), 이 연구에서는 손상등급을 보다 빠르게 쉽게 판단하기 위해 3급간으로 단순화하였다(Table 1). 이 등급은 육안감식에 따른 상대적 풍화와 손상정도를 의미하는 것으로써 보존처리 여부의 결정에는 정밀진단이 수반되어야 할 것이다.

3. 현황 및 환경

경복궁은 행정구역상 서울시 종로구 사직로에 소재하고, 한양 도성의 북쪽에 위치한다. 조선의 정궁으로서 동쪽에 낙산, 창덕궁, 종묘, 서쪽에 인왕산, 남쪽에 남산, 북쪽에 북악산이 자리한다. 이 지역은 궁궐을 중심으로 일찍이 시가지가 형성되어 서울의 심장부로서 역할을 하였고 일제강점기 이후 주변지역에 많은 자연 및 인문지리적 환경 변화가 발생하였음에도 불구하고 오늘날 여전히 정부중앙청사와 대사관 등 주요관공서가 자리하여 수도의 중심을 이루고 있다.

석조조형물은 광화문, 영제교, 근정문, 근정전, 품계석, 경회루, 수정전, 아미산, 자경전, 풍기대, 향원정, 집옥재, 영추문, 신무문, 건춘문, 동십자각, 석현판 및 궁성 등 총 18영역에 걸쳐 산재한다. 구역별로 광화문 13점, 영제교 36점, 근정문 6점, 품계석 48점, 근정전 432점, 수정전 1점, 경회루 296점, 아미산 11점, 자경전 1점, 풍기대 2점, 향원정 6점, 집옥재 9점, 영추문 4점, 신무문 27점, 건춘문 7점, 동십자각 9점, 석현판 2점, 궁성 5점이 분포한다(Figure

1A). 이들은 주로 동물을 표현한 석수상(石獸像)(Figure 1B, 1C), 동자주(童子柱)(Figure 1D), 품계석(Figure 1E), 장초석(Figure 1F), 석지(石池)(Figure 1G) 등의 형상으로 이루어져 있고, 이 밖에도 석각(石刻), 노둣돌, 우물, 풍기대 등 조형 형태가 다양하다. 이 중 석수상과 동자주가 전체의 약 90%를 차지하여 수량적으로 가장 많다.

경복궁은 도심 한가운데에 위치하고 있고 주변에 높은 교통량에 의해 자동차 배기가스 등으로 인한 대기오염에 항상 노출되어 있다. 모든 조형물은 보호시설이 없어 외부 환경변화뿐만 아니라 관람객의 접근으로 인한 인위적인 훼손 요인에 그대로 노출되어 있다. 경복궁 구역에서 가장 중심이 되는 근정전과 품계석 구역은 가장 많은 관람객이 찾는 곳이며, 경회루와 향원정 구역은 주변에 연지가 둘러져 있어 수분의 영향을 많이 받는 구역이다. 또한 향원정과 아미산은 정원 구역으로서 인위적인 수목환경이 조성되어 있다.

4. 구성재질의 특징

4.1. 암석광물학적 특징

정밀육안감식을 통해 석조조형물의 색상, 조직, 광물조성 및 대자율 분석을 실시하여 구성암종을 동정하였다. 이 결과, 석조조형물은 크게 대리암과 화강암으로 구성되어 있으며, 대리암은 색상, 광물조성, 조직적 특징에 따라 백운암질대리암 1점과 회색대리암 24점으로 세분되었고 전체 조형물의 2.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 백운암질

대리암은 정일품 품계석 1점에서 확인되며, 전체적으로 담황색을 띠고 세립질 입자와 부분적인 변질조직이 관찰된다(Figure 2A).

자연적으로 탈락된 미세시편으로 박편을 제작하여 관찰해보면 세립질 방해석과 백운석이 주로 나타나고 변질작용에 의한 활석이 공반된다(Figure 2B). 회색대리암은 품계석 23점과 석현판 1점을 구성하며 담회색 내지 회색을 띠고 입상조직이 매우 잘 발달하였다. 또한 우흑대와 우백대의 뚜렷한 층리가 특징적이다(Figure 2C). 이들은 편광현미경 하에서 평행쌍정이 발달한 등립질 방해석으로 구성되어 있고, 미립의 석영과 백운모 입자가 함께 관찰된다(Figure 2D).

화강암은 품계석 받침석과 그 외 모든 조형물을 구성하는 주요 암종으로서, 색상과 광물조성에 따라 담홍색화강암, 진홍색화강암, 흑운모화강암 등으로 세분되며, 각각 87.4%, 1.5%, 7.8%의 점유율을 보인다. 담홍색화강암은 홍색 장식으로 인해 전체적으로 미약한 홍색을 띠며 중조립질 조직을 갖는다(Figure 2E, 2F). 이 암석은 현미경 하

에서 퍼사이트 조직이 뚜렷한 알칼리장석과 석영 및 운모가 주요 구성광물을 이루고 있고, 풍화와 변질을 많이 받았다(Figure 2G). 진홍색화강암은 알칼리장석의 색상이 다소 짙어 암색이 진홍색을 띠는 것이 특징이다(Figure 2H).

흑운모화강암은 색상, 조직 및 광물학적 특징에 따라 담회색흑운모화강암, 반상흑운모화강암, 각섬석흑운모화강암으로 세분된다. 담회색흑운모화강암은 입상 완정질조직을 보이며 입도는 전체적으로 중립질을 띤다. 조암광물은 석영, 알칼리장석, 사장석 및 흑운모로 구성되고, 불투명광물이 부구성광물로 나타난다(Figure 2I, 2J). 반상흑운모화강암은 조립의 석영 및 장석 반정이 관찰되고(Figure 2K), 각섬석흑운모화강암은 중립의 각섬석 결정이 선명하게 나타난다(Figure 2L). 나머지 0.6%의 석조조형물은 접근이 불가능하여 암종조사가 이루어지지 못하였다.

4.2. 전암대자울

전암대자울은 암석 내 자철석과 같은 강자성광물의 자

Figure 1. Plan and various representative types of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. (A) Plan and location of individual areas, (B) Various types of stone sculptures in Geunjeongjeon area, (C) Stone animal (Seoksu) in Geunjeongjeon area, (D) Stone column (Dongjaseok) in Geunjeongjeon area, (E) Officials' rank stone (Pumgyeseok), (F) Pillars in Gyeongheoru area, (G) Stone base in Amisan area.

화도를 정의하는 상수로서 암석학적 특성을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 재질의 동질성을 판별하는데 매우 유용하여 다양한 석조유산에 활용되어 왔다(Uchida *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2013). 경복궁 석조조형물에 대해 대자율을 측정한 결과, 담홍색화강암, 진홍색화강암, 담회색흑운모화강암, 반상흑운모화강암, 각섬석흑운모화

강암, 회백색흑운모화강암은 각각 평균 $3.07(\times 10^{-3}$ SI unit), $3.72(\times 10^{-3}$ SI unit), $0.85(\times 10^{-3}$ SI unit), $0.34(\times 10^{-3}$ SI unit), $0.10(\times 10^{-3}$ SI unit), $8.87(\times 10^{-3}$ SI unit)의 값을 가져 암종마다 고유한 대자율 특성을 보임을 알 수 있었다. 대리암계 석조조형물은 모두 $0.00(\times 10^{-3}$ SI unit) 전후의 낮은 자화강도를 보였다(Table 2).

Table 2. Average, minimum and maximum values of magnetic susceptibility (MS) of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace ($\times 10^{-3}$ SI unit).

Rock type		Average	Minimum	Maximum
Pink-feldspar granite	light pink	3.07	0.18	9.22
	deep pink	3.72	1.18	6.66
Biotite granite	gray biotite granite	0.85	0.01	3.79
	porphyritic granite	0.34	0.03	2.16
	hornblende granite	0.10	0.02	0.26
	light gray biotite granite	8.87	5.42	12.7
Marble	dolomitic marble	0.01	0.01	0.02
	gray marble	0.00	0.00	0.03

Figure 2. Petrographic and mineralogical characteristics of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. (A) Yellowish dolomitic marble of the Pumgyeseok (1st Jeong Rank Stone), (B) Polarized microscopic image of dolomitic marble showing fine-grained calcite and dolomite, (C) Gray marble of the Pumgyeseok (2nd Jeong Rank Stone), (D) Polarized microscopic image showing medium to coarse-grained calcite with minor muscovite, (E) Light pink-feldspar granite of stone sculpture in Geunjeongjeon, (F) Detailed image of light pinkish granite, (G) Polarized microscopic image of pink-feldspar granite showing medium-grained quartz and alkali feldspar, (H) Detail image of deep pink-feldspar granite, (I) Biotite granite of Dapdo in Geunjeongjeon, (J) Polarized microscopic image of biotite granite showing medium-grained quartz, feldspar and biotite, (K) Detail image of porphyritic granite, (L) Detail image of hornblende granite.

담홍색화강암과 진홍색화강암은 대자율 값의 평균과 분포범위가 유사하여 같은 유형의 홍색장석화강암 그룹으로 묶고, 흑운모화강암은 암상적 특징에 따라 회색계열의 흑운모화강암, 반상흑운모화강암 및 각섬석화강암 그룹으로 구분하여 이들의 대자율 빈도분포도를 작성하였다. 이 결과, 수량적으로 가장 높은 점유율을 차지하는 담홍색화강암은 거의 모든 구역에서 나타나며 평균 대자율 값은 $0 \sim 9(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 범위로 넓게 확인된다(Figure 3). 영계교, 근정문, 근정전, 경회루 영역의 담홍색화강암은 유사한 최빈값과 빈도분포를 보여 암상학적 유사성을 보였다.

반면 품계석 받침석에 사용된 담홍색화강암과 4대 궁문(광화문, 신무문, 건춘문 및 영추문)에 사용된 담홍색화강암은 일반적인 담홍색화강암 조형물과 구별되는 대자율 빈도분포를 보였다. 이는 같은 종류의 담홍색화강암일지라도 석재의 채석위치가 달랐을 가능성을 말해준다(Figure 3).

또한 흑운모화강암 석조조형물의 대자율 분포는 모든 영역에서 대체로 1미만의 낮은 값을 보였으나 영계교 및 광화문 구역에 분포하는 일부 흑운모화강암제 석조조형물은 뚜렷이 높은 값을 나타내 최소한 두 곳 이상의 채석산지에서 가져온 흑운모화강암이 혼용되었을 가능성이 있다.

Figure 3. Magnetic susceptibility of granite stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. Abbreviations are the same as those of Figure 1.

이렇듯 다양한 산지에서 조달된 석재의 사용에 대한 내용과 이들의 원산지 해석은 차후 연구에서 별도로 다루어질 예정이다.

5. 풍화 및 손상특성

5.1. 손상유형과 특징

경복궁 석조조형물에 발생한 다양한 풍화 및 손상특성을 살펴본 결과, 물리적 손상은 균열, 탈락, 박리, 입상분해 및 구조불안정이 주로 관찰되었다. 근정전에 위치한 조형물에서는 한국전쟁 당시 포탄의 충격에 의해 발생한 것으로 추정되는 대규모 탈락과 방사상 균열을 많이 볼 수 있었다(Figure 4A). 또한 원인을 알 수 없는 수평 또는 수직의 구조상 균열이 일부 부재에서 나타나고(Figure 4B), 균열과 탈락은 한 부재 내에서 복합적으로 발생한 경우가 많았다(Figure 4C).

품계석 구역에서 모든 품계석은 수직균열이 여러 조로 발달하였고, 이로 인해 층상박리가 상당히 진행되었다(Figure 4D). 경회루와 근정전에 위치한 다수의 동자주 표면에서도 층상박리와 박락이 많이 관찰되는데(Figure 4E), 대부분 조각면과 평행한 방향으로 확장되어 내부에 공간을 형성한 경우가 많았다(Figure 4F). 입상분해는 석수, 동자주 및 품계석 등 거의 모든 형태의 석조조형물에서 관찰되었으며, 특히 품계석에서 심하였다. 입상분해로 인해 만들어진 미세한 입간 공극은 미소생물의 천이를 용이하게 하여 복합적인 손상양상을 보이는 경우가 많다(Figure 4G, 4H).

경복궁 석조조형물의 표면변색 조사 결과, 흑색과 갈색 변색이 대표적인 손상유형으로 확인되었다. 갈색 변색은 조형물 표면에 얇은 변색층을 형성하고 있었고, 휴대용현미경 관찰 결과 대부분 흑운모나 각섬석 주변으로부터 변색이 일어나고 있어 철을 함유한 유색광물의 산화가 변색에 중요하게 영향을 끼쳤을 것으로 판단된다(Figure 4I, 4J). 반면 흑색변색은 매우 짙은 색조를 띠고 조형물 전면에 걸쳐 광역적인 피도를 보이며, 박리나 입상분해와 같은 물리적인 풍화와 복합적으로 나타나는 특징이 있다(Figure 4E).

생물에 의한 피복은 석조조형물의 입지와 방향에 따라 매우 민감하게 나타나는 경향이 있다. 아미산 구역은 정원 영역이기 때문에 다른 구역의 석조조형물에 비해 생물피도와 천이 단계가 대체로 높았다(Figure 4K). 또한 수목환경과 다소 격리되어 있는 조형물의 경우에는 북측면에서 녹조류에 의한 피복이 주로 관찰되었다(Figure 4L).

5.2. 구역별 손상특성

다양한 손상유형 중 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해, 구조불안정, 흑색변색, 갈색변색, 생물피복, 염, 보수물질, 조류분비물이 나타나는 석조조형물의 개수를 파악하여 손상 발생율을 산출하였다. 손상을 산출 시, 품계석과 같이 한 기의 조형물이 두 매 이상의 석재로 이루어져 있을 경우 각각을 개별적인 부재로 간주하여 총 915점의 조형물을 대상으로 산출하였다. 이 결과, 균열은 전체 부재 중 24%, 탈락은 21%, 박리박락은 36%, 입상분해는 9%, 구조불안정은 1%, 흑색변색은 20%, 갈색변색은 10%, 생물에 의한 변색은 14%에서 발생한 것으로 확인되었다(Table 3, Figure 5).

광화문 구역에서는 균열, 탈락, 박리, 흑색변색, 갈색변색 및 생물피복이 20%가 넘는 부재에서 발생하였고, 영제교 구역에서는 균열과 흑색변색의 발생율이 각각 22%, 25%로 나타났다. 근정문 석조조형물은 탈락, 흑색변색 및 갈색변색이 가장 높은 발생율을 보였다(Table 3). 품계석 석조조형물은 균열과 박리박락 발생율이 각각 60% 및

58%를 차지하여 절반 이상의 부재에서 손상이 진행되었음을 알 수 있다. 또한 탈락과 입상분해의 발생율도 30%를 초과하여 손상유형이 주로 물리적인 손상에 집중되어 있었다.

석조조형물의 수량이 가장 많은 근정전 영역의 경우 균열, 탈락, 박리박락, 흑색변색 및 생물 발생율은 각각 24%, 15%, 25%, 13%, 11%로 확인되었다. 다음으로 부재수가 많은 경회루 구역은 균열 20%, 탈락 28%, 박리 50%, 입상분해 9%, 흑색변색 20%, 갈색변색 11%의 발생율을 보여 전반적으로 높은 손상율을 보였다. 또한 16%의 부재에서 보수물질이 관찰되어 향후 지속적인 관찰과 관리가 요구된다. 아미산의 석조조형물은 흑색변색과 생물피복이 각각 73%로 나타났고, 균열과 탈락의 발생비율도 50%에 근접하여 물리 및 변색이 모두 높은 손상율을 보였다.

또 다른 정원구역인 향원정에서도 67%의 조형물에서 흑색변색과 모든 조형물에서 생물피복이 관찰되어 아미산 구역과 유사한 손상경향을 보였다. 신무문 구역의 석조조형물은 박리박락과 흑색변색이 각각 59%의 부재에서 진

Figure 4. Deterioration status of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. (A) Large loss of Dongjaseok in Geunjeongjeon area due to bombardment during Korean War, (B) Horizontal crack of column in Geunjeongjeon area, (C) Intensive crack and loss of rank stone basement in Pumgyeseok area, (D) A vertical crack set and exfoliation of rank stone in Pumgyeseok area, (E) Exfoliation, flaking and blackening of Dongjaseok in Gyeongheoru area, (F) Infrared thermography of yellow box area in (E), (G) Granular disintegration and biology of rank stone in Pumgyeseok area, (H) Magnified granular disintegration and biology of (G), (I) Brown discoloration of Dongjaseok in Gyeongheoru area, (J) Magnified image of brown discoloration of (I), (K) Moss on stone base in Amisan area, (L) Green microbiology of stone chicken in Geunjeongjeon area.

Table 3. Number and percentage of deterioration for stone sculptures in each area, rock and sculpture type by deterioration forms.

Division	Number	Cr	Bo	Ex	Gr	St	Gd	Bd	Bi	Sa/Ma/Bdr
GHM	13	3(23)	2(15)	3(23)	0(0)	0(0)	3(23)	3(23)	5(36)	2(15)
YJG	36	8(22)	2(6)	5(14)	1(3)	0(0)	9(25)	5(14)	7(19)	2(6)
GJM	6	2(33)	5(83)	2(33)	0(0)	0(0)	6(100)	5(83)	0(0)	0(0)
PGS	48	29(60)	19(40)	28(58)	16(33)	0(0)	10(21)	12(25)	8(17)	8(17)
GJJ	432	102(24)	65(15)	107(25)	24(6)	5(1)	57(13)	18(4)	46(11)	7(2)
GHR	296	58(20)	84(28)	148(50)	26(9)	6(2)	58(20)	32(11)	27(9)	46(16)
SJJ	1	1(100)	1(100)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
AMS	11	6(55)	5(46)	4(36)	3(27)	0(0)	8(73)	3(27)	8(73)	0(0)
JGJ	1	0(0)	0(0)	0(0)	1(100)	0(0)	0(0)	0(0)	1(100)	0(0)
PGD	2	0(0)	2(100)	0(0)	0(0)	0(0)	1(50)	0(0)	0(0)	0(0)
HWJ	6	2(33)	2(33)	1(17)	0(0)	0(0)	4(67)	2(33)	6(100)	1(17)
JOJ	9	2(22)	0(0)	3(33)	0(0)	0(0)	3(33)	0(0)	3(33)	1(11)
YCM	4	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
GCM	7	0(0)	1(14)	0(0)	2(29)	0(0)	2(29)	1(14)	2(29)	0(0)
SMM	27	1(4)	3(11)	16(59)	5(19)	0(0)	16(59)	11(41)	10(37)	2(7)
DSJ	9	4(44)	3(33)	3(33)	3(33)	0(0)	4(44)	0(0)	3(33)	1(11)
SHP	2	1(50)	1(50)	1(50)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(50)
GS	5	1(20)	0(0)	4(80)	1(20)	0(0)	0(0)	1(20)	0(0)	0(0)
Total	915	220(24)	195(21)	325(36)	82(9)	11(2)	181(20)	93(10)	126(14)	71(8)
Rock type	Number	Cr	Bo	Ex	Gr	St	Gd	Bd	Bi	Sa/Ma/Bdr
Pink-feldspar Gr.	833	185(22)	169(20)	295(35)	64(8)	11(1)	151(18)	70(8)	103(12)	59(7)
Biotite Gr.	51	15(29)	13(26)	16(31)	2(4)	0(0)	20(39)	14(28)	15(29)	5(10)
Marble	25	20(80)	13(52)	14(56)	16(64)	0(0)	10(40)	9(36)	7(28)	7(28)
Unidentified	6	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
Total	915	220(24)	195(21)	325(36)	82(9)	11(1)	181(20)	93(10)	125(14)	71(8)
Sculpture	Number	Cr	Bo	Ex	Gr	St	Gd	Bd	Bi	Sa/Ma/Bdr
Dongjaseok	627	131(21)	70(11)	212(34)	41(7)	9(1)	94(15)	19(3)	40(6)	2(0)
Pillar	48	7(15)	42(88)	19(40)	2(4)	0(0)	0(0)	17(35)	0(0)	42(88)
Pumgyeseok	48	29(60)	19(40)	28(58)	16(33)	0(0)	10(21)	12(25)	8(17)	8(17)
Animal	192	53(28)	64(33)	66(34)	23(12)	2(1)	77(40)	45(23)	77(40)	19(10)
Total	915	220(24)	195(21)	325(36)	82(9)	11(1)	181(20)	93(10)	125(14)	71(8)

The numbers in parentheses refer to proportion in percentage (%). GHM; Gwanghwamun, YJG; Yeongjegyo, PGS; Pumgyeseok, GJJ; Geunjeongjeon, GHR; Gyeonghoeru, AMS; Amisan, HWJ; Hyangwonjeong, JOJ; Jibokjae, GCM; Geonchunmun, SMM; Shinmun, DSJ; Dongsipjagak. Cr; crack, Bo; break-out, Ex; exfoliation, Gr; granular disintegration, St; structural instability, Gd; dark-gray discoloration, Bd; brown discoloration, Bi; biological colonization, Sa; salt, Ma; conservation material, Bdr; bird drop.

행되었고, 동십자각은 모든 물리적 손상과 변색 유형이 30 ~ 40%대의 유사한 손상율을 나타냈다.

각 손상유형을 구역별로 비교할 때 균열은 품계석, 탈락은 아미산과 품계석, 박리박락은 품계석과 신무문, 입상분해는 품계석, 흑색변색은 아미산, 갈색변색은 신무문, 생물

에 의한 변색은 향원정, 기타 염, 보수물질 및 조류분비물은 품계석에서 가장 높은 손상비율을 보였다(Figure 5). 이처럼 구역별로 특징적인 손상유형이 나타남에 따라 보존관리 시 구역별 관리의 필요성이 제기된다.

물리적인 손상과 변색 및 생물에 의한 손상의 손상정도

를 평가하여 구역별 등급분포를 살펴보았다. 보존관리의 시급성이 상대적으로 높은 손상도 3등급에 해당하는 석조조형물은 경회루와 근정전 구역에 가장 많았고, 다음으로 품계석에서 높은 점유율을 보였다. 이 세 구역에서 물리 3등급 석조조형물의 누적점유율은 95% 이상, 변색 3등급의 누적점유율은 85%로 경회루, 근정전 및 품계석 구역의 석조조형물의 손상도가 가장 높은 것으로 확인되었다(Table 4, Figure 6).

5.3. 재질별 손상특성

다양한 손상유형의 발생비율을 석조조형물의 재질에 따라 살펴보았다. 가장 많은 수량을 차지하는 담홍색화강암계 석조조형물에서는 균열 22%, 탈락 20%, 박리 35%, 입상분해 8%, 구조적 불안정 1%, 흑색변색 18%, 갈색변색 8%, 생물피복 12%의 비율로 손상이 발생하였다(Table 3). 흑운모화강암계 석조조형물은 균열 29%, 탈락 26%, 박리박락 31%, 입상분해 4%, 흑색변색 39%, 황색변색 28%, 생물피복 30%의 발생비율을 보였다.

흑운모화강암계 조형물은 담홍색화강암계와 비교하여 물리적인 손상은 유사한 비율로 나타났으나 모든 유형의 변색 발생율에서 높은 값을 보여 암석의 재질에 따라 변색이 다르게 나타남을 보여준다. 대리암 석조조형물은 균열,

탈락, 박리박락 및 입상분해가 각각 80%, 52%, 56%, 64%로써 물리적인 손상이 화강암계 조형물에 비해 현저히 높다. 반면 흑색변색, 갈색변색 및 생물에 의한 변색율은 모두 화강암계보다 낮다. 이는 유사한 환경에서 풍화과정을 겪을지라도 암질이 다르면 손상특성이 달라진다는 것을 보여주는 중요한 자료이다(Figure 7A).

5.4. 조형유형별 손상특성

경복궁 석조조형물의 손상이 조형물의 형태나 용도에 따라 영향을 받는지 살펴보기 위해 동자석, 품계석, 초석 및 석수상으로 구분하였다. 동자석은 주로 월대나 석교의 난간석을 지지하는 용도로 제작되었으며 석재 표면에 낮은 부조로 섬세한 모양의 하엽이 조각되어 있다. 품계석은 직사각형의 비석 형태를 지니며 한 면에 품계를 나타내는 글자가 조각되어 있다. 한편 초석은 경회루에서만 볼 수 있는 조형물로서, 높이가 4~5m에 달하고 누각을 지지하고 있어 하중을 받는 구조재이다. 또한 주변에 연지가 둘러져 있어 항상 수분의 영향을 받는 환경을 갖고 있다. 석수상은 대부분 높은 부조로 양각되어 있고, 문양이 복잡하며 표면 굴곡이 심하다.

분석 결과를 살펴보면 동자석은 전체 조형물 중 균열 21%, 탈락 11%, 박리 34%, 입상분해 7%, 구조불안정 1%

Figure 5. Deterioration rate (%) by areas of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. (A) Crack, (B) Break-out, (C) Exfoliation, (D) Granular disintegration, (E) Dark gray discoloration, (F) Brown discoloration, (G) Biological coverage, (H) Salt, bird drop and conservation materials. A dot line is deterioration rate of total stone sculptures. Abbreviations are the same as those of Table 3.

의 비율로 발생하였으며, 흑색변색 15%, 갈색변색 3%, 생물피복이 6%로 확인되었다. 탈락, 입상분해 및 변색 유형은 모든 조형물의 전체 손상율보다 낮게 산출된 반면 다른 손상유형은 전체 손상율과 유사하게 나타났다(Table 3).

Table 4. Number of stone sculptures according to deterioration degree by area. The numbers in parentheses refer to proportion in percentage (%).

Area	Total	Physical deterioration grade			Discoloration and biodeterioration grade		
		1	2	3	1	2	3
GHM	7*	4(1)	2(1)	1(1)	2(0)	2(1)	3(4)
YJG	36	28(5)	6(3)	2(1)	31(5)	4(2)	1(1)
GJM	6	2(0)	4(2)	0(0)	1(0)	5(2)	0(0)
PGS	48	17(3)	15(7)	16(11)	26(4)	19(9)	3(4)
GJJ	432	299(56)	91(40)	42(29)	345(57)	54(24)	33(43)
GHR	296	129(24)	88(39)	79(55)	178(29)	90(41)	28(37)
SJJ	1	0(0)	1(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(0)
AMS	11	5(1)	3(1)	3(2)	2(0)	8(4)	1(1)
JGJ	1	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(0)
PGD	2	2(0)	0(0)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)
HWJ	6	6(1)	0(0)	0(0)	2(0)	4(2)	0(0)
JOJ	9	7(1)	2(1)	0(0)	6(1)	3(1)	0(0)
YCM	4	0(0)	4(2)	0(0)	0(0)	4(2)	0(0)
GCM	7	3(1)	4(2)	0(0)	0(0)	7(3)	0(0)
SMM	27	26(5)	1(0)	0(0)	9(2)	14(6)	4(5)
DSJ	9	3(1)	3(2)	3(1)	3(1)	4(2)	2(3)
SHP	2	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	2(1)	0(0)
GS	5	1(0)	3(1)	1(1)	3(1)	1(0)	1(1)
Total	909	533(100)	229(100)	147(100)	610(100)	223(100)	76(100)

*A number of uninvestigated sculptures is excluded. Abbreviations are the same as those of Table 3.

Figure 6. Deterioration grade proportion by area of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. Abbreviations are the same as those of Table 3. Grade 1; Fresh to slight deterioration, Grade 2; Moderated deterioration, Grade 3; Intensive deterioration.

경희루에 위치한 초석의 경우 탈락이 88%로 매우 높은 발생비율을 보였으며, 갈색변색과 보수물질이 각각 35% 및 88%로 다른 유형의 석조조형물보다 월등히 높은 수치를 나타냈다.

품계석은 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해 모든 물리적 유형에서 매우 높은 손상비율을 보였다. 이는 품계석이 물리적인 풍화와 손상에 매우 취약한 조건을 갖고 있음을 간접적으로 지시한다. 석수는 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해 및 구조불안정 모두 전체 조형물의 평균적인 손상율과 유사한 비율을 보였으며, 흑색변색과 갈색변색 및 생물피복은 평균보다 높은 값을 가졌다(Figure 7B).

6. 보존과학적 고찰

6.1. 손상도와 손상유형의 관계

경복궁 석조조형물에 대해 손상기록화를 실시한 후 자료를 종합하여 물리적 손상과 변색 손상의 관계와 손상등

급과 손상유형의 상관관계를 해석하여 석조물 손상도 평가 결과에 대한 원인 및 기여도를 분석하였다. 915점의 부재 중 광화문 구역의 미조사 석조조형물 6기를 제외하고 모든 석조조형물의 물리적인 손상등급과 변색 및 생물 손상등급의 관계를 분석한 결과, 물리적인 손상도가 높아질수록 변색 손상도 역시 증가하는 것을 알 수 있었다.

물리적 손상도가 1등급(미약한 손상)일 경우 80% 이상의 부재에서 변색 손상도가 1등급으로 나타났고, 물리적 손상도가 2등급, 3등급으로 변화할수록 변색 손상도 1등급의 비율은 현저히 감소하는 반면 2등급과 3등급의 비율은 눈에 띄게 증가하였다. 이를 통해 물리적인 손상과 변색 및 생물학적 손상은 비례적으로 변화한다는 것을 알 수 있다(Figure 8A).

각 등급별 물리적 손상도가 변화할 때 손상유형의 변화를 살펴보면 물리 1등급인 석조조형물은 모든 종류의 손상 유형이 낮은 빈도점유율로 나타난다. 그러나 2등급인 경우 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해는 급격한 점유율 증가를 보였다. 변색 손상유형은 오직 흑색변색만 증가할 뿐 나머

Figure 7. Deterioration rate (%) by rock materials (A) and sculpture forms (B) of stone sculptures in Gyeongbokgung Royal Palace. Abbreviations are the same as those of Table 3.

지 손상유형은 큰 증감을 보이지 않는다. 손상유형 중 박리 박락과 균열의 증가가 가장 현저함에 따라 두 손상유형이 물리적인 손상도 증가의 주된 요인임을 알 수 있다. 3등급 석조조형물은 2등급에서와 마찬가지로 흑색변색, 탈락, 박리박락, 입상분해가 모두 유사한 비율로 증가하였다.

이처럼 물리적 손상 등급이 올라갈수록 대부분의 손상 유형의 출현빈도가 증가하고 손상유형의 종류가 더욱 다양화되는 것으로 해석된다. 박리박락의 경우 2등급과 3등급 간의 차이가 미약한 것을 볼 수 있는데, 이는 박리박락에 의한 석조조형물의 물리적 손상도가 최대 2등급의 중간 풍화 단계까지 지배적이다가 3등급부터는 지속적인 증가를 보인 균열, 탈락 및 입상분해가 주로 높은 손상도에 기여한다는 것을 지시한다(Figure 8B).

변색 및 생물 손상도가 변화할 때 각 손상유형의 변화를 살펴보면 손상도가 1등급에서 2등급으로 증가할 때 모든 손상유형의 출현빈도가 증가한다. 반면 3등급에서는 흑색변색을 제외한 대부분의 손상유형이 감소하는 변화를 보인다. 이는 3등급에 해당하는 변색 손상도를 가진 석조조

형물에 가장 크게 기여한 손상유형은 바로 흑색변색임을 지시하는 결과이다(Figure 8C). 흑색변색 점유율의 상대적 비율은 변색 손상등급이 1에서 3등급으로 올라갈수록 꾸준히 증가하는 것을 확인할 수 있다(Figure 8D).

따라서 경복궁 석조조형물의 손상은 물리적인 손상과 변색 및 생물에 의한 손상이 복합적으로 나타난 결과이며, 박리박락은 물리적 손상도 2등급의 석조조형물에 주요 손상원인인 반면, 3등급의 심각한 손상은 균열, 탈락 및 입상분해가 주로 기여하는 것으로 해석된다. 한편 흑색변색은 심한 변색손상의 주된 요인일 뿐만 아니라 물리적인 손상도 증가와 정의 상관관계를 가져 전체적인 손상도 증가의 주요 지시자로 판단된다.

6.2. 손상특성에 따른 보존관리체계

경복궁 내에는 넓은 구역에 걸쳐 조선을 대표하는 888기(915점)의 석조조형물이 남아있으며, 조형적으로 뛰어난 가치를 지니지 않더라도 궁궐의 구성요소로서 중요한 역사적 의미를 지니는 석조문화유산의 수는 수만점에 이

Figure 8. Contribution and relation of individual deterioration grade and form. (A) Relation between physical deterioration grades and discoloration grades, (B) Contribution rate of deterioration forms to physical deterioration degree, (C) Contribution rate of deterioration forms to discoloration degree, (D) Proportion rate of discoloration forms by discoloration grade. Abbreviation is the same as those of Table 3.

른다. 이처럼 수량과 관리영역이 방대한 밀집형 석조문화유산은 개별적인 단위 문화재에 대한 정밀한 진단과 관리가 현실적으로 어렵기 때문에 우선관리대상과 중점보존지침을 수립하여 관리의 효율성을 증대하는 방법이 고안되어야 한다.

경복궁 석조조형물의 보존관리체계에 활용하기 위한 목적으로 이들의 손상특성을 구역, 암종, 조형, 손상유형 및 손상등급에 따라 간편화된 손상도 평가방법을 적용하여 분석하고, 이들의 전체적인 경향을 해석하였다. 석조조형물 중 대리암으로 이루어진 품계석은 모든 물리적인 손상유형과 손상도가 화강암제보다 현저히 진행된 상태를 보였다.

대리암의 심각한 물리화학적 풍화와 손상은 재질 자체의 풍화취약성에 의해 야기된 것으로 해석할 수 있다. 대리암의 주요 조암광물인 방해석은 산성비와 접촉하면 용식이 일어나 빠른 속도로 화학적 풍화가 진행된다(Feddema and Meierding, 1987; Baedeker *et al.*, 1992). 또한 품계석 주변은 광장으로 이루어져 있어 일사환경이 매우 좋다. 방해석으로 이루어진 암석은 열팽창에 의한 입간 계면분리가 매우 잘 일어나기 때문에 품계석의 입상분해는 이러한 환경적 요인에 의해 발생한 것으로 해석된다(Malage-Starzec *et al.*, 2006; Eppes and Griffing, 2010). 따라서 품계석의 손상을 지연시키기 위해서는 강우와 일사를 차단할 수 있는 보호시설의 설치가 매우 필요하다.

경회루의 장초석은 다른 종류의 조형물에 비해 현저히 높은 탈락율을 보였고 부재의 특성상 조형적 목적보다 구조적 기능을 하는 석조물이므로 물성약화와 구조적 안정성 변화에 초점을 맞추어 모니터링 항목과 주기를 설정하는 것이 중요하다. 또한 석수상 및 기타 조형물에서는 흑색 변색과 생물피복이 다른 조형물에 비해 높은 비율을 보였기 때문에 계절과 대기환경 변화주기로 관리 및 모니터링하는 것이 필요하다.

18개 구역 중 가장 시급하게 보존관리계획이 수립되어야 할 대상은 경회루, 근정전 및 품계석 구역으로 판단된다. 경회루와 근정전 구역은 각 구역 내 3등급 손상도를 보이는 조형물의 점유율은 낮으나 절대수량은 다른 구역에 비해 압도적으로 많다. 반대로 품계석 구역은 석조조형물의 수량은 적음에도 불구하고 높은 손상도를 갖는 조형물의 비율이 높다. 보존관리 구역의 우선순위를 정할 시에는 고손상도 조형물의 절대수량과 구역 내 상대적 점유율을 모두 고려하는 것이 바람직하다.

근정전과 품계석 구역은 석조조형물의 밀집도가 최대일 뿐만 아니라 경복궁 내에서 가장 중요한 위치를 차지하는 곳이며, 방문객의 수도 가장 많다. 따라서 관람객에 의한 이차적인 손상의 가능성을 염두에 두어 관람에 방해되지 않는 범위 내에서 관리와 통제 방안이 마련되어야 한다. 또한 경회루의 석조조형물은 다른 구역에 비해 박락과 흑색변색의 비율이 현저히 높아 손상의 원인이 수분환경과 관련 있을 가능성이 있으므로 이러한 점을 고려하여 세부적인 보존관리 지침이 수립되어야 할 것으로 판단된다. 향후 조형물의 복원계획이 마련될 때에는 동질의 암석이라 할지라도 다양한 산지에서 수급되었을 가능성이 있으므로 구성암석의 산지해석 연구를 수행하여 복원용 석재의 수급안을 확보하는 것이 필요하다.

7. 결 론

경복궁에는 조선시대의 석조미술을 대표하는 다양한 석조조형물이 전해진다. 이들은 담홍색화강암(87.4%), 진홍색화강암(1.5%), 흑운모화강암(7.8%) 및 대리암(2.7%)으로 이루어져 있으며, 담홍색화강암과 흑운모화강암의 전암대자율은 조형물의 위치에 따라 빈도분포의 분화가 확인되어 동종 암석일지라도 다양한 산지에서 수급된 석재가 혼용되었을 것으로 판단된다.

석조조형물의 손상도 평가 결과, 물리적인 손상도가 가장 높은 구역은 근정전, 품계석 및 경회루 구역이며, 변색 및 생물에 의한 손상도가 가장 높은 구역은 광화문, 경회루, 아미산 및 향원정 구역으로 분석되었다. 암종별로는 대리암제 석조조형물이 화강암제보다 현저히 높은 손상율을 보였으며, 화강암 내에서는 흑운모화강암이 담홍색화강암보다 높은 변색율을 보였다.

물리적인 손상은 균열, 탈락, 박리박락, 입상분해가 주요 손상원인으로 판단되며 손상도 2등급에서는 박리박락이, 3등급에서는 균열 및 탈락이 높은 손상도의 주요 요인이 확인되었다. 변색은 손상등급이 높을수록 흑색변색만이 유일하게 일정한 증가를 보여 높은 변색손상도에 흑색변색의 기여도가 가장 큰 것으로 해석된다. 또한 흑색변색은 물리적 손상도 증가와 함께 비례적으로 증가하는 경향이 확인되어 경복궁 석조조형물 손상의 주된 지시자이다.

손상등급과 손상유형의 상대적인 점유율과 밀집도를 고려할 때 경복궁에서 우선적인 보존조치가 시급하고 단주기의 정기모니터링에 의한 집중관리가 필요한 곳은 품계석, 근정전 및 경회루 구역이다. 이 구역은 방문객의 수

가 가장 많아 관리와 통제가 중요하고, 특히 경회루 구역은 수분에 항상 노출되어 있는 환경적 특성을 고려하여 보존 지침을 수립하여야 한다. 품계석은 재질의 취약성과 열악한 보존관리 환경으로 인해 가장 높은 손상도를 보였다. 따라서 강우와 일사를 제어할 수 있는 적극적인 보호시설의 설치가 필요한 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 문화재청 국립문화재연구소 국가연구개발사업(R&D)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bae, M.G., 2007, A study on the symbolism of stone sculptures of animal of the Royal Palace. Master thesis, Dongguk University, 1-83. (in Korean with English abstract)
- Baedecker, P.A., Reddy, M.M., Reimann, K.J. and Sciammarella, C.A., 1992, Effects of acidic deposition on the erosion of carbonate stone - experimental results from the U.S. National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP). *Atmospheric Environment Part B Urban Atmosphere*, 26, 147-158.
- Cho, E.J., 1997, A study on the imperial sculptures in the 19th to 20th century. *Journal of Korean modern art studies*, 5, 178-237. (in Korean)
- Eppes, M.C. and Griffing, D., 2010, Granular disintegration of marble in nature: A thermal-mechanical origin for a grus and corestone landscape. *Geomorphology*, 117, 170-180.
- Feddema, J.J. and Meierding, T.C., 1987, Marble weathering and air pollution in Philadelphia. *Atmospheric Environment*, 21, 143-157.
- Fitzner, B. and Heinrichs, K., 2004, The Bangudae petroglyph in Ulsan, Korea: studies on weathering damage and risk prognosis. *Environmental Geology*, 46, 504-526.
- Kim, J., Lee, C.H., Kim, R.H. and Shin, E.J., 2013, Characterization of White and Black Deposits on the Surface of Korean Stone Cultural Heritages. *Microscopy and Microanalysis*, 19, 167-171.
- Kim, J., Lee, M.S. and Lee, C.H., 2013, Petrological Characteristics and Provenance Interpretation of Daejiguksatapbi (State Preceptor Daeji's Memorial Stele) in Samcheonsaji Temples Site, Seoul. *Economic and Environmental Geology*, 46, 93-104. (in Korean with English abstract)
- Korea Institute of Cultural Heritage Conservation, 2012, A Development Study on the Academic Research of Gyeongbokgung Stone Arts. National Research Institute of Cultural Heritage, 16-18. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jo, Y.H. and Kim, J., 2011, Damage evaluation and conservation treatment of the tenth century Korean rock-carved Buddha Statues. *Environmental Earth Science*, 64, 1-14.
- Lee, C.H., Kim, J. and Lee, M.S., 2010, Petrography and provenance interpretation of the stone moulds for bronze daggers from the Galdong prehistoric site, Republic of Korea. *Archaeometry*, 52, 31-44.
- Lee, C.H., Lee, M.S., Kim, Y.T. and Kim, J.Y., 2006, Deterioration assessment and conservation of a heavily degraded Korean stone Buddha from the 9th Century. *Studies in Conservation*, 51, 305-316.
- Lee, K.G., 2006, Gyeongbokgung Royal Palace. Deawonsa Publishing, 4-143. (in Korean)
- Lee, S.J., 2011, A Study on the Stone Step Parapet Sculptures of the Geunjeonjeon Hall of the Gyeongbok Palace. *Korean Journal of Art History*, 272, 237-260. (in Korean)
- Malaga-Starzec, K., Akesson, U., Lindqvist, J.E. and Schouenborg, B., 2006, Microscopic and macroscopic characterization of the porosity of marble as a function of temperature and impregnation. *Construction and Building Materials*, 20, 939-947.
- So, J.G., 2000, Stone sculptures in stone basement terrace. Survey report on Geunjeongjeon, Cultural Heritage Administration, 1-389. (in Korean)
- The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage, 2001, Research on Conservation and Management of Stone Cultural Heritage. Cultural Heritage Administration, 1-1068. (in Korean)
- Uchida, E., Cunin, O., Suda, C., Ueno, A. and Nakagawa, T., 2007, Consideration on the construction process and the sandstone quarries during the Angkor period based on the magnetic susceptibility. *Journal of Archaeological Science*, 34, 924-935.