보은 법주사 사천왕석등의 비파괴 훼손도 평가 및 구조보강

최명주 | 이명성¹ | 전유근 | 이미혜 | 김유리 | 하준경*
국립문화재연구소 보존과학연구실, *(주)송백보존테크

Deterioration Assessment and Structural-Reinforcement of Stone Lantern of the Four Guardian Kings in Beopjusa Temple, Boeun

Myoungju Choie | Myeong Seong Lee¹ | Yu Gun Jun | Mi Hye Lee | Yuri Kim | Jun Kyeong Ha*
Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea
*Song Baek Conservation Tech, Gyeongju, 38160, Korea

¹Corresponding Author: mslee75@korea.kr, +82-42-860-9261

초록 보은 법주사 사천왕석등의 주부재는 K-장석이 반상조각을 보이는 티탄철석계열의 흑운모 화강섬록암 석재이며, 땅 속에 묻혀있던 알칼리 화강암 재질의 하대하석 및 지대석이 복원되며 본래의 모습을 되찾았다. 석등에는 균열 및 탈락에 의한 손상이 두드러지게 발생하였으며 이외에도 변색, 염 침착 및 생물 착생 등이 관찰된다. 특히 화사석의 전면과 후면을 관통하는 균열과 수평 불균형으로 인해 물리 및 구조적 안정성이 취약한 상태이다. 이에 따라 티타늄 보강재의 위치, 규격 및 정착 길이를 산정하여 구조적 보강을 실시하였다. 화학 및 생물학적 오염물은 석재에 손상을 주지 않는 한도 내에서 세정하고 산화된 철편을 티타늄제로 교체하였다. 또한 에틸 실리케이트계 강화제를 도포하여 암석의 강화와 원활한 수분 배출을 유도하였다.

중심어: 사천왕석등, 훼손도 평가, 구조적 보강, 금속 보강재

ABSTRACT The stone lantern of the four guardian kings in the Beopjusa temple at Boeun was mainly made of biotite granodiorite consisting of porphyritic-textured potassium feldspar and included in ilmenite series. A base stone made of alkali granite was buried, after founded its place during an earlier restoration process. Cracking and break out are noticeable on this object. In addition, discoloration, salt crusting, and epiphytes were observed. The lantern was vulnerable in terms of physical and structural stability caused by cracking in the front and back of the light chamber and in the non-horizontal direction. According to the conservational condition of the stone lantern, structural reinforcement was carried out based on calculations, including those on the position, size, and anchor length of the titanium stiffener. Chemical and biological pollutants were washed off without damage to the surface of the stone material. Oxygenated iron pieces were replaced with titanium. Ethyl silicate was applied to the surface of the lantern for consolidation and smooth drainage.

Key Words: Stone lantern of the four guardian kings, Deterioration assessment, Structural reinforcement, Metal stiffener

1. 서론

보은 법주사 사천왕석등(보물 제15호)은 충북 보은군 속리산 내에 위치한 법주사 대웅전의 전면에 조성된 통일신라시대의 석등이다(Figure 1A). 이 석등은 당대의 기본 양식인 8각형을 이루고, 화사석에 4구의 화창을 두며 나머지 4면에는 사천왕상을 조각한 것이 특징이다. 대체로 각 부의 양식이 균정하고 조각기법이 우수하여 신라 불교미술의 정화기인 8세기 중엽 이후에 조성된 것으로 추정되며, 시대를 대표하는 작품으로 평가받고 있다(The Aegis of Ministry of Culture and Information, 1977).

석등은 부처에게 불을 공양하는 연등을 상징화한 신앙물이자 어둠을 밝히는 기능적 측면을 겸비한 석조문화재이다. 또한 각 구성요소는 석재의 조립을 최소화하여 조형하되 화려한 조각을 통해 간결한 아름다움이 돋보이게 하며, 부재를 수직으로 엮어 축조한다. 그러나 석재가 노후됨에 따라 수직으로 전달되는 하중이 취약부에 단열을 형성하거나, 안정성이 낮은 구조로 인해 강한 외부충격을 받을 경우 붕괴 및 부재 유실이 발생할 가능성이 있다.

현재까지 석조문화재의 보존처리는 문화재 표면에 발생하는 오염물의 제거, 구조적 안정성 확보를 위한 보수 작업을 위주로 시행되어왔다(Lee *et al.*, 2004; 2006; 2008; 2012; Kim *et al.*, 2009). 그리고 최근에는 석재의 재사용을 위해 금속보강재를 활용한 보강법이 제시되고 있다(Kim *et al.*, 2012; Lee and Kim, 2015).

이 연구에서는 보은 법주사 사천왕석등을 대상으로 구

성암석의 재질특성을 밝히고 다양한 훼손도 평가기법을 이용하여 풍화상태를 진단하였다. 특히 양분된 화사석 부재에 대해서는 물리적 상태를 파악하여 보존 대상에 적합한 보강법을 적용하였으며, 더불어 표면세정 등의 보존처리를 실시하였다. 이 결과는 구조보강이 필요한 석조문화재의 과학적 보존처리 수립을 위한 참고 자료로 활용될 것이다.

2. 현황 및 연구방법

2.1. 위치 및 현황

보은 법주사는 속리산 정상부에서 서쪽으로 약 3.3 km 거리에 위치하며, 산지의 계곡선 상에 남북으로 길게 배치되어 있다. 이 지역의 지질은 크게 시대미상의 옥천대 변성 퇴적암류와 이를 관입한 백악기 화성암류로 이루어져 있으며, 법주사가 위치하는 속리산 일대는 알칼리화강암 및 화강반암이 분포한다. 또한 보은 화강암은 속리산 일대 화강암과 동일 저반의 암체로 간주되며, 다양한 산상이 관찰되는 흑운모 각섬석 화강암으로 기재된다(Figure 1B).

사천왕석등은 현재 상태에 이르기까지 다양한 위치 및 보존환경의 변화를 겪었다(Figure 2A). 1916년 조선고적도보에서 석등은 능인전 전면 방향에 위치하며 보주, 하대 하석 및 지대석이 유실되어 있고 화사석에 균열이 형성된 상태로 기록되었다. 이후 지면이 삭박되며 석등 하부에서 하대하석과 지대석이 발견되는 것으로 보아 일제 강점기

Figure 1. Current position of study object in the Beopjusa temple, site map and geological map. (A) Stone lantern of the four guardian kings in front of Daeungbojeon hall of Beopjusa temple, (B) Location and geological map of study area(Yoo and Hong, 1973; Lee *et al.*, 1980).

까지 원위치에 존재했던 것으로 추정된다(1929).

석등에는 1970년대까지 순차적으로 석등의 정비작업, 보주의 복원 및 보호각 설치가 이루어졌고, 1990년에 법주사 미륵대불을 청동대불로 조성하면서 보호각을 없애고 석등을 대웅전 전면으로 이전하여 현재까지 보존되고 있다. 2003년 국립문화재연구소 보존실태조사에서 박리·박락 및 화사석의 균열이 주 풍화현상으로 지적되었으며, 보

존대책으로 화사석 균열의 접착 처리가 제시된 바 있다.

석등은 이번 보존처리 시행 이전까지 균열, 탈락과 같은 물리적 풍화와 구조 보강물(철편), 변색, 오염물 침착 및 지의류 착생의 상태로 옥외에 노출되어 있었다. 특히 화사석은 균열이 화창의 전면 및 후면 상·하부를 관통하여 물리 및 구조적 안정성이 취약한 상태였다(Figure 2B, 2C).

Figure 2. Conservation history and current condition of stone lantern of the four guardian kings. (A) Photo-recording of the study object, (B) Current state of the study object in 4 directions, (C) Various and complex deterioration states of the study object.

2.2. 연구방법

석등의 재질특성을 파악하기 위하여 수습한 미량시료를 대상으로 편광현미경 관찰 및 X-선 회절분석을 통해 광물학적 특성을 파악하고, 석재 표면의 전암대자율을 측정하였다. 육안으로 관찰되는 풍화양상은 훼손지도를 작성하여 전반적인 상태를 파악하고자 하였다. 그 중 화사부에서 발견된 흑색 침착물은 효과적인 제거를 위하여 SEM-EDS로 성분을 분석하였다.

석재의 전반적인 물리적 상태 및 화사석 균열부의 강도 특성을 파악하고 보강방안을 수립하기 위하여 비파괴 물성진단법인 초음파 탐사를 실시하였다. 그리고 이 결과를 일축압축강도로 변환하고 석조문화재 구조보강 특허법을 적용하여 보강 및 강화처리를 실시하였다.

재질분석에는 Leica사 DM2700 P 모델의 편광현미경, Mac Science사의 X-ray Diffraction System(M18XAHF22)

X-선회절분석기, ZH Instruments사 CZ/SM-30모델의 전암대자율측정기를 사용하였다. 흑색 오염물을 대상으로 한 SEM-EDS 분석은 벌크 시료를 금으로 코팅하고 JEOL사의 JSM-IT300LV 기기를 이용하였다.

물성평가 및 구조보강안 수립을 위해서 Proceq사의 PUNDITlab 초음파탐상기로 조사하고 일반적인 화강암의 보정계수 1.5를 적용하여 초음파속도 산출하였다(Lee *et al.*, 2009). 그리고 초음파 속도를 이용한 일축압축강도 평가법(Baek *et al.*, 2006) 및 국립문화재연구소에서 출원한 석조문화재 구조보강 관련 특허 2건(Bae *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2014)을 적용하여 보강안을 수립하였다.

3. 재질특성

사천왕석등의 부재는 주구성부재인 흑운모 화강섬록암과 하대하석 및 지대석을 구성하는 알칼리 화강암으로 구

Figure 3. Geological analysis for understanding material property. (A) Petrological character of building materials. There are biotite granodiorite with dike, feldspar phenocrysts with grain size of 2 to 40 mm and alkali granite with pores, (B) Histogram for magnetic susceptibilities of stone lantern, (C) Mineralogical character of stone lantern's granodiorite under the polarizing microscope, (D) X-ray diffraction patterns for granodiorite member of stone lantern. B; biotite, P; plagioclase, Q; quartz, Mc; Microcline.

분할 수 있다. 흑운모 화강섬록암 부재는 중립 내지 중세립 질이며 반상조직과 페그마타이트 세맥이 발달하였다. 작고 불규칙한 공동이 관찰되는 유백색의 알칼리 화강암 부재는 주구성광물이 석영, 장석류 및 흑운모이다(Figure 3A).

두 종류로 분류되는 석재의 자화특성을 파악하기 위하여 전암대자율 측정을 실시하였다. 그 결과, 흑운모 화강섬록암은 $0.02 \sim 0.19$ (평균 0.13×10^{-3} SI unit)의 비교적 낮은 값의 분포를 보이는 티탄석계열이었으며, 알칼리 화강암은 $2.41 \sim 5.33$ (평균 3.35×10^{-3} SI unit)의 범위를 보여 자철석계열의 석재로 동정되었다(Figure 3B).

1910년대부터 기록된 사진자료를 통해 원부재로 확인되는 흑운모 화강섬록암 석재의 광물학적 재질규명 및 풍화상태 파악을 위해 탈락된 미세시료를 수습하여 편광현미경 및 X-선 회절 분석을 실시하여 교차동정하였다(Figure 3C, 3D). 이 결과, 화강섬록암 부재의 주구성광물은 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 세립의 흑운모이며 드물게 자형의 각섬석이 동정되었다. 정장석은 자형 내지 반자형의 반정상으로 정출되며 포이킬리틱 조직을 보이는 것이 특징이다. 또한 사장석의 견운모화작용과 흑운모의 녹니석화작용 등 광물 풍화가 확인되었다.

4. 훼손도 진단 및 구조보강안

4.1. 훼손도 평가

연구대상의 풍화상태를 파악하기 위하여 훼손지도를 작성하고 훼손율을 산출하여 유형별 분포 및 점유 현황을 종합적으로 파악하였다(Figure 4A). 석등에서 발견된 물리적 풍화양상으로는 균열(평균 7.5 ea), 박리·박락(0.3%) 및 탈락(4.4%)이 있으며, 특히 화사석과 중대석에서 균열이, 하대하석에서 탈락이 두드러지게 발생했다.

구조적 풍화양상으로는 부재들 사이에 수평을 잡기 위해 사용했던 철판(평균 1.8 ea)이 산화된 상태로 관찰되며 우면에서 상대적으로 많은 수량이 발견되었다. 화학적 풍화로는 흑색 침착물(3.2%)과 갈색 변색(8.8%)이 있으며 주로 화사부에 흑색 침착물이, 중대석, 상대석 및 화사석에 갈색 변색이 분포하고 있다. 또한 생물(14.7%)은 주로 옥개석에 착생하는 경향을 보인다.

석등의 물리적 강도분포를 파악하고 구조보강안을 마련하기 위해 비파괴적으로 암석의 강도 산정 및 결함 탐지가 가능한 초음파 탐사법을 이용하여 총 346지점에서 측정

Figure 4. Two evaluation methods for deterioration rate of stone lantern of the four guardian kings. (A) The analysis result of deterioration analysis for stone lantern, (B) Ultrasonic measured value and 2 dimensional modeling results.

한 속도를 2D모델로 작성하였다. 흑운모 화강섬록암으로 이루어진 석등의 주부재는 균열부의 속도를 포함하여 584~4,797 m/s의 넓은 속도 영역을 보였으며, 정동구조가 특징인 기단부의 알칼리 화강암 석재는 510~2,526 m/s의 비교적 낮은 속도대가 형성되었다. 저속도대의 분포는 물리적 풍화가 두드러지는 화사석 및 중대석의 균열부와 하대하석의 후좌면에서 확인되었다(Figure 4B).

주요 풍화현상으로 지적되었던 균열에 대한 평가 결과를 보면, 중대석의 균열은 소규모 내지 박리상으로 발생하여 석재의 강도를 크게 저하시키거나 구조적 안정성에 영향을 미치지 않았다. 그러나 화사석의 전면 및 후면에 발달한 균열은 석재를 관통하여 양분하는 상태이므로 강도 및 안정성 저하가 두드러져 적극적인 보강 대책이 필요한 상태였다.

4.2. 풍화특성 및 보존처리 방안

훼손도 평가과정에서 인지된 화사석 양분현상의 원인은 화창 및 내부 공간을 제작하면서 물리적으로 취약해진 부재의 노후화와 상부 하중의 전달로 인해 균열이 형성된 것으로 추측된다. 또한 철판의 삽입 정도 및 방향을 근거로 석등의 부재 간 수평 불균형의 문제도 제기되었다. 석등의 물리 및 구조적 상태를 종합적으로 파악한 결과, 외부충격이 가해질 경우 붕괴사고 및 2차 훼손 가능성이 있어 안정성을 확보하는 보존처리 방안이 필요하였다.

양분된 화사석에 적합한 구조보강안을 마련하기 위하여 석등의 전면 및 후면의 초음파속도를 일축압축강도로 환산한 결과 균열부에서 저강도 특성을 보였다(Figure 5). 이에 따라 특허 ‘금속보강재를 이용한 석조문화재의 구조보강처리방법(Bae *et al.*, 2013)’과 ‘풍화도에 따른 석조문

화재의 금속보강방법(Choi *et al.*, 2014)’을 적용하여 석등의 물성을 고려한 구조보강안을 수립하였다(Figure 6A).

사천왕 석등 화사석의 전면 및 후면에 발생한 단열면의 최소 단면적은 47,500 mm²로 도면의 수치를 면적으로 환산한 결과이며(National Research Institute of Cultural Heritage, 1999), 이를 Baek *et al.*(2006)가 제안한 일축압축강도와 P파속도 관계식을 이용하여 평가하였다. 또한 금속 보강재비와 석재의 형태 및 풍화도를 고려하여 보강재의 규격 및 위치를 결정하였다(Figure 6B).

보강재비의 산정 결과, 구조보강은 화사석 단열면의 중앙에 수평으로 각 1개씩 총 4개의 환봉형 금속보강재를 규격 ϕ 5 mm, 최소 정착길이는 43.309 mm로 삽입하는 것이 적합하였다. 그리고 기상의 영향을 많이 받는 석등의 조성 환경을 고려하여 티타늄 재질의 보강재를 사용하도록 제안하였다.

또한 석재의 수평 맞춤을 위해 삽입했던 철판은 산화되어 파손에 의한 불균형 및 변색 유발의 가능성이 있으므로 티타늄 재질로 교체하되, 이격이 발생하지 않을 정도만 삽입하여 안정성을 높이도록 하였다. 화사부를 포함하여 석등에 전체적으로 발생하는 균열부와 초음파 속도 측정을 통해 탐지된 저속도대의 분포 양상을 고려하여 물리적 풍화를 제어할 수 있도록 강화처리가 권장되었다.

한편, 석등의 옥개석 처마는 갈색 및 흑색 오염물이 복합적으로 분포하는 영역으로, 이 중 석등의 표면에 고착된 흑색 오염물을 수습하여 SEM-EDS 분석을 실시하였다. 그 결과 침상 내지 판상의 결정체는 C(11.58 wt%), O(57.08 wt%), S(14.71 wt%), Ca(16.26 wt%)의 화학조성을, 그 상부에 흡착된 거정상의 결정체는 C(75.72 wt%), O(18.48 wt%)의 화학조성을 가지는 것으로 나타났다. 이 오염물은 오랜 풍화로 인해 생성된 탄산염의 일종인 석고

Figure 5. Measuring points and the result to conversion(Baek *et al.*, 2006). Blue: Fresh, Red: Cracked measuring point.

Figure 6. Characterized weathering and structural-reinforcement plan about stone lantern. (A) Ultrasonic velocity and calculated uniaxial compressive strength for the front and back, (B) Structural-reinforcement plans for light chamber, (C) The scanning electron microphotographs of black crust on roofstone. There are planner or needle-shaped gypsum under the bigger carbon.

에 탄소분진이 밀착되어 원부재와 강한 결합력을 가지게 된 것으로 판단된다(Figure 6C).

흑색 오염물을 포함한 무기 및 생물 오염물은 대부분 고착상태에 있으므로 적절한 강도의 세정작업을 실시하는 것이 좋다. 특히 화사부의 흑색 오염물은 제거 시 부재 삭박과 사천왕 문양의 손실이 우려되므로 건식 및 습식 세척을 병행하되 과도한 세척은 지양되었다.

5. 보존처리

사천왕 석등을 대상으로 화사석의 구조보강, 금속편 구조 보강물 교체, 표면오염물 제거, 고색 및 강화처리 등의 보존처리 작업을 실시하였다. 우선 구조보강을 위해 석등의 화사부를 보양 및 해체하여 분리면을 세척하고 티타늄 환봉을 에폭시 수지로 접합하였다. 그리고 화사석 단열부의 결합력 향상 및 뒤틀림 방지를 위해 일정시간 동안 고정시켜 보강작업을 완료하였다. 부재 접합면 및 균열부에는 에폭시수지와 석분을 혼합하여 기존 부재의 표면보다 얇

게 충전하고 고색처리하였다. 재조립 단계에서는 부재 간 이격이 생기지 않는 한도 내에서 수평맞춤을 하고 팔각면이 일치하게 배치하였다(Figure 7A).

석등의 구조적 안정성 확보 및 산화물의 이염 방지를 위해 간주석과 상대석 사이의 철편을 제거하고 티타늄판을 삽입하여 수평을 조절하였다. 풍화된 석재에 대하여 결속력을 강화시켜주고 수분배출이 원활케 하는 액상의 에틸 실리케이트계 강화제를 도포하여 물리적 풍화를 제어하도록 조치하였다(Figure 7B).

석등의 물리적 상태 및 오염물의 유형에 따라 임상실험을 선행하여 처리 도구 및 강도를 결정하고 석재에 손상을 주지 않도록 세정하였다. 건식 세정 시 대나무 헤라 및 부드러운 붓을 사용하고, 부유물에 의한 2차 오염이 발생하지 않도록 저압와류 세척법을 적용하였다. 이후 제거되지 않은 오염물은 스프레이, 온수 공급장치, 뒷개용 면으로 수분을 충분히 공급하고 부드러운 브러쉬로 제거하는 습식 세정을 실시하였다(Figure 7C).

Figure 7. The conservation process for stone lantern of the four guardian kings. (A) Structural strengthening work by prosthetic treatment, (B) Replacement work iron pieces to titanium and treatment consolidation, (C) Dry and wet cleaning.

6. 고찰 및 결론

법주사 사천왕석등은 과거에 보주, 하대하석 및 지대석의 유실과 복원, 보호각 설치 및 해체와 더불어 자리 이전까지 다양한 보존과학적 과정을 거쳐왔다. 특히 화사석의 균열은 사진 상의 최고기록인 1910년대부터 지속적으로 관찰되며 주요 풍화현상으로 인지되었으나 적절한 보존처리가 이루어지지 않았고, 현 상태를 유지할 경우 외부충격에 의한 붕괴 및 훼손의 우려가 있었다.

효과적인 보존 대책 마련을 위해 선행한 재질분석의 결과, 석등은 원부재이자 주구성부재를 이루는 흑운모 화강섬록암과 하대하석 및 지대석의 알칼리 화강암으로 구분된다. 흑운모 화강섬록암 부재는 주구성광물이 석영, 칼리장석, 사장석, 정장석, 각섬석 및 흑운모이고, 전암대자율이 평균 0.2×10^{-3} SI unit 이하의 값을 보이는 티탄철석 계열이다. 또한, 보은 일대에 다양한 산상이 점이적으로 변화하는 화강암류 저반이 분포하므로 석등을 조성하는 주구성부재의 원산지가 인접할 것으로 추정된다. 한편 알칼리 화강암은 법주사의 기반암과 동종의 암석이다.

훼손상태를 종합적으로 분석한 결과, 석등의 가장 두드러지는 훼손양상은 물리적 훼손으로 모든 부재에서 균열 및 탈락이 확인되었다. 특히 화사석의 모든 화창면에 균열

이 발달하였고, 이 중 전면 및 후면의 균열은 화창 상하부에서 모두 발생하여 부재를 양분하므로 구조보강을 통해 장기적 안정성을 확보할 필요성이 있었다. 무기물 및 생물에 의한 훼손은 심각하지 않았으나 흑색 오염물의 경우 강한 밀착력을 가지므로 세정작업에 주의가 요구되었다.

석등의 보존처리는 티타늄 환봉 삽입을 통한 구조보강 및 방향 일치, 안정성 확보 및 오염물 제거를 위한 금속편의 교체, 임상실험을 선행하여 부재의 삭박을 최소화한 세정, 고색 및 강화처리 등이 시행되었다. 그러나 부재 가공면의 불균질 및 수평 불균형에 따른 불안정성이 완전히 해소되지 않았으므로 이에 대하여 구조적 안정성 재검토와 틸트미터를 이용한 거동계측을 통해 지속적인 모니터링이 필요하다고 판단된다.

석조문화재의 복원과 관련된 부재에 대한 선행연구는 주로 산지해석과 같은 신부재 교체 및 확보에 초점을 맞추어 시행되었다. 그러나 최근에는 익산 미륵사지 석탑의 복원을 위한 구부재의 적극적인 활용 방안이 논의되고 있다. 이에 따라 구부재의 재활용을 위해 개발된 금속 보강재를 이용한 보강안은 예폭시를 이용한 절단면 접촉처리보다 강한 결속력을 가지므로 안정성이 향상되는 기대효과를 가질 수 있다.

또한 부재의 노후, 하중 및 외부충격에 따른 취성 파괴

가 발생했을 때 접합면에서 재발생 하도록 유도하여 추가적인 물리 손상을 최소화하도록 설계되어 있다는 장점이 있다. 그러나 부재 내 보강재의 삽입은 부재의 천공이 수반되는 과정이므로 부재의 훼손 가능성이 있어 석재의 모양, 크기 측정 및 물리적 상태 진단을 반드시 선행해야 한다.

이와 관련하여, 사천왕 석등의 경우 해당 문화재의 대표성을 띄는 부재인 화사석의 분리가 야기하는 불안정의 해결이 주요 과제였으며, 금속 보강재를 이용한 보강법을 통해 석등의 고유성과 안정성을 동시에 확보할 수 있었다.

사 사

이 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 조사연구(R&D)와 보은 법주사 사천왕 석등 보존처리사업의 지원을 받아 이루어졌으며, 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

REFERENCES

- Bae, B.S., Kim, H.Y., Kim, S.D., Lee, D.S. and Hong, S.G., 2013, Restoration of stone cultural heritage using metal reinforcement armature. 10-2012-0127209, Republic of Korea. (in Korean)
- Baek, S.C., Kim, Y.T., Kim, H.T., Yoon, J.S. and Lee, Y.C., 2006, Evaluation of rock uniaxial compressive strength using ultrasonic velocity. Journal of Korean Geo-environmental Society, 7, 33-42. (in Korean with English abstract)
- Choi, B.S., Kim, Y.C., Kim, H.Y., Kim, S.D. and Lee, D.S., 2014, Metal reinforcement method of stone cultural heritage. 10-2014-0013801, Republic of Korea. (in Korean)
- Kim, S.D., Lee, M.S., Han, B.I., Lee, J.J. and Song, C.Y., 2009, Deterioration diagnosis and conservation treatment of the Jincheon Sagongnimaeyeoraepsang (Stone relief of standing buddha in Sagok-ri), Korea. Journal of Conservation Science, 25(3), 323-333. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.D., Lee, D.S. and Kim, H.Y., 2012, A study on the anchorage length of metal stiffeners for the structural reinforcement of stone cultural heritages. Journal of Conservation Science, 28(2), 141-151. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jo, Y.H. and Chun, Y.G., 2009, Establishment of ultrasonic measurement and correlations of direct-indirect method for weathering evaluation of stone cultural heritage. Journal of Conservation Science, 25(3), 233-244. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jo, Y.H. and Kim, S.D., 2012, Three-dimensional image analysis, deterioration evaluation and scientific conservation treatment of the Daechiri dinosaur trackways in Haman Country, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 48, 179-191. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, S.D., Han, B.I., Kim, Y.T. and Lee, M.S., 2004, Conservational treatment and deterioration assessment of the sculptured standing buddha named Teahwa 4 year in the Jincheon, Korea. Journal of Conservation Science, 16, 39-51. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Lee, J.E., Shin, E.J. and Kim, S.D., 2008, Deterioration degree and petrological characteristics of the 10th-storied stone pagoda in Gyeongcheonsa temple, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 44, 765-779. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Lee, M.S. and Park, B.S., 1980, Geological map of Miweon sheet(1:50000). Geological and Mineral Institute of Korea, 1-29. (in Korean and English)
- Lee, D.S. and Kim, H.Y., 2015, A study on structural reinforcement suitable for the weathering properties of stone cultural heritage. Journal of Conservation Science, 31(4), 477-488. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.S., Jeong, M.H., Jeong, Y.D. and Lee, C.H., 2006, Deterioration and conservation treatment of the three storied stone pagoda in Seoak-ri, Gyeongju. Journal of Conservation Science, 18, 63-74. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 1999, The survey report of stone lantern I. National Research Institute of Cultural Heritage, Korea, 90. (in Korean)
- The Aegis of Ministry of Culture and Information, 1977, A comprehensive survey of cultural relics. 1, 510. (in Korean)
- Yoo, E.K. and Hong, S.H., 1973, Geological map of Young Yu Ri sheet(1:50000). Geological and Mineral Institute of Korea, 1-21. (in Korean and English)