3차원 영상분석을 활용한 석탑의 해체와 재조립 : 심곡사칠층석탑 사례 연구

최희수 | 이찬희¹ | 한성희* | 이성민**

공주대학교 문화재보존과학과, *한림보존테크, **(재)한국건설품질연구원

Disassembly and Reconstruction of Stone Pagoda Using 3-Dimensional Image Analysis : Case Study in Simgoksa Seven-storied Stone Pagoda

Hee Soo Choi | Chan Hee Lee¹ | Seong Hee Han* | Seong Min Lee**

Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Gongju, 32588, Korea

*Hanrim Conservation & Technology, Jeonju, 54956, Korea

**Korea Construction Quality Research Center, Seoul, 06052, Korea

¹Corresponding Author: chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

초록 이 연구는 심곡사칠층석탑의 해체와 재조립에 3차원 영상분석 기법을 적용하여 원형에 가깝게 보수한 기술적 사례로써 의미가 있다. 석탑의 해체와 재조립 과정에서 전체적인 변형상태와 변위를 분석하였으며 구조적 안정성 검토를 통하여 재조립에 따른 변형을 최소화하였다. 또한 석탑의 원위치도 재검토하여 보수에 적용하였다. 재조립에 앞서 오염된 석재의 표면은 과학적 표면세정을 통해 이끼류와 지의류 등을 제거하였고, 석탑의 지반은 강회를 이용한 판축과 유사한 형식으로 다짐하여 보강하였다. 이 결과는 석탑의 해체와 재조립 과정에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

중심어: 3D 영상분석, 해체, 재조립, 보존처리, 유사판축

ABSTRACT This research was a technical case study for the authentic restoration of the seven-storied Simgoksa stone pagoda after disassembly and reconstruction using three-dimensional image analysis. During disassembly and reconstruction, the pagoda's properties were analyzed in terms of the overall modification and displacement of the pagoda. Distortion was minimized by ensuring structural stability during the reconstruction process. Also, the original site of the pagoda was examined in order to utilize it fully during rebuilding. Before reconstruction of the pagoda, moss and lichen on the stone surfaces were removed by scientific surface cleaning. The foundation of the pagoda was reinforced with rammed earth than was similar to the original foundation using a mixture of soil and quicklime. The results are expected to provide valuable data for the reconstruction of other stone pagodas.

Key Words: Three-dimensional image analysis, Disassembly, Reconstruction, Conservation treatment, Similar rammed earths

1. 서 언

3차원 영상분석기술은 주로 토목공학 분야에서 이용되어 왔으나, 2000년 이후 문화유산의 조사와 보존관리에 도입되면서 영상뿐만 아니라 정밀도면 및 디지털 기록화에 이르기까지 활용도가 나날이 발전하고 있다(Fontana *et al.*, 2000; Pieraccini *et al.*, 2001). 그러나 3D스캐닝 기법을 선도해온 기술자는 대부분 소프트웨어 또는 관련 공학의 전공자로서 문화유산의 가치에 대한 이해도가 상충하여 문화유산 분야의 활용에 어려움을 겪어온 면이 있다.

최근의 3차원 영상은 석탑 및 목조건축물 등 대형 건축문화재 뿐만 아니라 불상, 도자기, 금속류 및 초소형 유물에 이르기까지 다양하게 이용되고 있다. 특히 건축문화재에 대한 3차원 영상기술은 문화재에 내재되어 있는 현황 파악과 구조적 해석 및 정밀진단 등 매우 유용한 디지털 자료를 제공하면서 진일보하고 있다(Jun *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2012).

이 연구에서는 익산 심곡사칠층석탑의 보수과정에 3차

원 영상기술을 적극 활용하여 해체와 재조립의 기초로 삼았다. 이 석탑은 전북 유형문화재 제192호로 기단부에 7층의 탑신을 쌓은 탑으로 유래가 드문 조선시대 초기의 양식으로 알려져 있다. 석탑의 기단은 지대석, 지복석, 하대석, 중대석, 상대석 등이 단일 석재로 구성되었다. 탑신은 각 층별 탑신석과 옥개석이 일체화를 이루는 구조이며, 1층부터 7층까지 동일한 형태이다. 상륜부는 7층 옥개석 상부에 연꽃 봉우리 모양의 보주석으로 찰주공을 덮고 있으며, 전체적으로 높고 날씬한 느낌이다.

이 석탑은 정면에서 볼 때 우측으로 기울어져 구조적으로 불안정한 형태를 보이고 있었다(Figure 1A). 탑이 기울어진 원인은 지반침하 때문으로 추정해 왔으며, 이외에도 부재탈락 및 표면마모와 같은 손상이 진행된 상태였다. 이와 같은 원인들을 과학적으로 규명하기 위해 석탑의 재질, 지반상태, 기울기, 구조적 문제 등 보존과학적 및 건축학적 기법을 활용하여 명확히 진단하고 이에 따른 보존방안을 수립하여 해체와 재조립의 근거자료로 구축하였다.

특히 이 석탑은 기울어짐이 심해 구조적인 문제점이 지

Figure 1. General views of the Simgoksa stone pagoda. (A) Photograph before the disassembly process, (B) 3D scanning before the disassembly in May 10th, 2012, (C) Photograph of after reconstruction process, (D) 3D scanning after reconstruction process in October 1st, 2012.

적되어 해체와 재조립에 대한 논의가 있어 왔다. 따라서 이 연구에서는 3차원 영상획득과 분석을 통해 해체 전의 기록을 확보하고, 이를 근거로 지반침하의 원인을 개선하기 위해 강회를 이용한 판축다짐 형태로 보강하고 구조적 변형이 최소화될 수 있도록 재조립하였다(Figure 1B~1D). 이후 다시 영상자료를 구축하고 분석하여 해체 전후의 구조적 안정성을 고찰하였다.

2. 연구방법

심곡사칠층석탑은 전북 익산시 낭산면 낭산리 심곡사 경내의 대웅전 앞에 있다. 이 연구를 위해 우선 석탑의 3D 스캔을 통해 현황과 구조적 변형을 분석하였다. 또한 석탑의 해체와 재조립 후에 다시 3D 스캔하여 해체 전과 재조립 후의 안정성을 검토하였다(Figure 1). 3D 스캐닝은

Leica사의 HDS 3000을 이용하여 석탑을 중심으로 8곳에서 영상이미지를 획득하였다. 자료의 전산처리는 실내에서 병합(merge) → 여과(filter) → 점군자료(point data) → 다변형자료(polygon data)의 순서를 거쳐 3차원 영상과 이미지로 도출하였다(Figure 2).

석탑의 3차원 영상데이터는 변위분석에 필요한 부분만 필터링하여 점군데이터를 직접 연구에 활용하였다. 자료처리에서 획득한 수많은 점들은 석탑의 규모와 정밀도에 따라 용량이 커진다. 따라서 석탑의 3차원 영상데이터 취득은 현장에서 얼마나 많은 위치에서 촘촘하게 수평 및 수직간격으로 촬영하는가에 따라 데이터의 정밀도를 높일 수 있다.

석탑의 해체 전에 변위 및 변형분석은 Cyclone 프로그램을 이용하여 석탑의 종단면과 횡단면의 수직변위와 지대석을 기준으로 상대적, 4층 탑신석, 7층 옥개석의 수평변

Figure 2. Photographs and images of 3D scanning processes. (A) Merging data of 3D image, (B) Filtering data image, (C) Point data image, (D) Polygon data image.

Figure 3. Photographs and 3D scanning images. (A) Photograph before the disassembly process, (B) Frontal view of 3D scanning image, (C) Photograph of ground plan before the disassembly process, (D) Ground plan of 3D scanning image.

위를 검토하였다. 분석은 Jun *et al.*(2008) 및 Jun and Lee(2015)가 적용한 방법과 같이 입면과 평면의 3차원 점군데이터를 디지털화 하여 정면도, 측면도, 평면도에서 수직, 수평 범위 및 중심점간의 차이를 분석하였다. 또한 석탑의 전체 높이와 기단부, 탑신부, 상륜부의 제원을 계산하고 석탑의 높이와 범위량을 비교하여 기울기를 측정하였다.

3. 해체와 재조립

3.1. 해체 전 3차원 영상분석

석탑의 변위를 파악하기 위해서는 분석대상의 구조, 형식 및 축조방법 등에 대하여 정확하게 이해하고 수행해야 한다. 석탑 고유의 특성과 구조를 판단하는데 오류를 범할 수 있기 때문이다. 석탑의 변위와 변형분석은 육안관찰, 직

상부 사진, 3차원 영상데이터, 기록화 도면 등을 병합하여 분석하였다. 석탑 직상부의 사진은 고소장비를 이용하여 촬영하였다.

이 석탑은 Figure 3A에서 보는 바와 같이, 기울어진 형태를 육안으로도 확인할 수 있다. 이를 3차원 영상자료로 확인한 결과, 지대석을 중심으로 볼 때 7층 옥개석에서 우측으로 기울어진 모습을 확인할 수 있다(Figure 3B). 또한 석탑의 직상부에서 촬영한 평면사진과 3차원 영상자료로부터 전체적인 중심축의 변형을 살펴보면 우측으로 기울어짐은 물론 7층 옥개석의 뒤틀림현상도 명확하게 나타난다(Figure 3C, 3D).

한편 이 석탑의 지대석에서 상륜부까지 3차원 이미지를 통해 동서남북 방향에서 조영해 보면, 주로 방형의 옥개석 및 탑신석이 중복되면서 상부가 뒤틀려 있는 것을 확인할 수 있다(Figure 4). 특히 상부로 올라갈수록 형태가 일정하

Figure 4. Images by 3D scanning of the pagoda before disassembly process. Views of south (A), west (B), north (C), and east (D), respectively.

Table 1. Displacement and declinations of the pagoda before disassembly.

Centering position	Displacement (mm)	Height (m)	Declination of center point	Direction
Ground stone ~ Upper basement stone	35	1.123	1 / 32	Front+Right (Northeast side)
Ground stone ~ 5th floor body stone	69	2.415	1 / 35	Front+Right (Northeast side)
Ground stone ~ 7th floor roof stone	124	3.437	1 / 28	Front+Right (Northeast side)

지 않고 뒤틀려 있으며, 하부에서 틀어진 변형을 직상부에서 맞춰가는 방식으로 축조하여 전체적은 균형은 유지할 수 있었을 것으로 보이나, 최상부의 변형은 피할 수 없었을

Figure 5. Height estimation (A) and displacement analysis under the ground plan (B) of the pagoda before disassembly process.

것으로 판단된다(Figure 4).

석탑의 해체 전 중심점 분석을 위해 3D 스캐너에서 취득한 데이터를 활용하여 지표면의 지대석을 기준으로 기단부의 상대석, 탑신부의 4층탑신석, 7층 옥개석에 중심점을 설정하였다(Figure 5). 석탑의 지대석과 상대석 중심점의 차이는 35 mm, 기울기는 1/32이고, 지대석과 4층 탑신석 중심점의 차이는 69 mm, 기울기는 1/35이다. 지대석과 7층 옥개석 중심점의 차이는 124 mm, 기울기는 1/28로 모두 정면과 우측(북동) 방향으로 변위차를 보였다. 이는 지대석부터 상대석, 4층 탑신석, 7층 옥개석까지 북동방향으로 일정하게 기울어진 것을 지시하는 것이다(Table 1).

3.2. 해체과정

이 석탑의 안정성 확보를 위해 해체가 결정되었으며 가

Figure 6. Disassembly process of the pagoda. (A) Marking of directions, (B) Hanji recreation, (C) Wide-cotton cloth recreation and rubber banding, (D) Completion of recreation, (E) Direction markings for each floor, (F) Disassembly works, (G) Cleaning the contaminated surface, (H) Storage after disassembly, (I) Installing fencing around the pagoda.

설비계를 쌍줄로 설치하여 진행하였다. 해체과정에서는 재조립에 따른 부재의 위치 및 방향이 바뀌지 않도록 각 부재별로 층과 방향을 기록한 인식표를 부착하였다. 보주의 동쪽방향은 ‘보주-E’로 표기하고, 7층 탑신의 동쪽방향은 ‘7층-E’로 표기하는 방법으로 기록하였다(Figure 6A).

또한 석재의 안전한 해체를 위해 1차 보양은 한지를 이용하여 5겹 이상 감싸고, 석탑의 모서리와 돌출된 옥개석 부분을 신중하게 보양하였다. 2차 보양은 광목천을 이용하여 부재 전체를 감싼 후 고무 바와 로프를 이용하여 처리하였다(Figure 6B~6F). 부재별 보양을 완료하고 재조립 시 순서와 방향이 바뀌지 않도록 부재별로 방향을 표기하였다. 해체 중에 드러나는 부분의 오염물은 양모 붓을 이용하여 세척하였다(Figure 6G).

석탑의 해체는 중장비를 이용하였으며, 해체는 상륜부의 보주석부터 7층, 6층, 5층, 4층, 3층, 2층, 1층 옥신석, 상대석, 중대석, 하대석, 지복석, 지대석, 배례석으로 모두 14기의 탑부재를 순서대로 해체하여 석탑과 명부전 사이에 보관하였다(Figure 6H). 보관창고는 가설비계를 이용하여 주변에 울타리와 펜스를 조성하였다. 또한 심곡사 대웅전과 명부전의 CCTV를 활용하여 석탑부재를 24시간 관찰하면서 도난방지에 만전을 기하였다. 우기를 대비하여 주변에 배수로를 조성하고 비가림 시설을 설치하여 석재의 손상을 방지하였다(Figure 6I).

3.3. 오염물 세정

석탑의 보존과 재조립을 위해 오염된 부분에 대한 긴급 세정이 필요함에 따라 표면에 나타난 암석의 훼손상태, 표면오염물의 분포와 종류를 기록하고 훼손지도를 작성하였다. 이를 기초로 보존처리를 진행하였으며 세척은 건식과 습식의 2단계로 나누어 수행하였다. 이를 과정별로 제시하면 Figure 7과 같다.

석탑의 표면에 자생하는 지의류 등은 부드러운 솔과 대나무 해라를 이용하여 제거하였고, 지의류의 뿌리와 화학적으로 변색된 부분은 증류수 및 고압의 수증기를 적용하였다. 석탑의 표면 상태를 고려하여 오염물을 효과적으로 제거하기 위해 단계적인 테스트를 기준으로 세척의 강도를 조정하였다. 특히 제거되지 않은 지의류의 뿌리 부분과 화학적 변색부분을 세정하기 위해 표면에 증류수를 충분히 도포한 다음 광목천, 폴리에틸렌비닐로 부재를 포장하여 습윤상태를 장시간 유지시켰다. 충분한 이완이 발생한 후에 부드러운 솔을 이용하여 제거하였으며, 변색부분은 스팀을 이용하여 표면이 손상되지 않도록 최소한으로 처리하였다.

3.4. 재조립과정

석탑의 재조립에 앞서 원위치의 정방위를 정확히 찾기

Figure 7. Processes of conservation treatments for stone surface of the pagoda properties. (A) Dry cleaning using wool brushes, (B) Dry cleaning using bamboo knife, (C) Dry cleaning using props, (D) Wet cleaning using distilled water, (E) Maintain a moist state using cotton broad cloth, (F) Steam cleaning of discolored parts.

위해 대웅전 계단과 문화재안내판 2개소를 기준으로 정하고, 석탑의 지대석 중심과 2개소의 기준점을 통해서 석탑의 원래 위치를 확인하였다(Figure 8). 이와 같이 해체 전에 3D스캔을 통해 취득한 3차원 영상데이터를 활용한 재

Figure 8. Designing of reconstruction site using 3D image data around the pagoda.

조립의 위치설정은 앞으로 더욱 연구되어야 할 과제이다.

또한 석탑의 구조적 문제가 지반의 침하에서 발생했다는 의견을 종합하여 지반을 보강하기로 결정하였다. 지반 보강은 강회와 잡석 및 흙을 교호하여 다져가는 유사판촉 과정을 통해 지내력이 확보되도록 보강하였다. 이 석탑의 부재는 단일 석재로 구성되어 비교적 수월하게 조립할 수 있었다. 각 층마다 부재의 수평 및 안정 상태를 충분히 확인한 후 다음 단계를 조립하였다.

지대석은 석탑의 중심역할을 하므로 종방향과 횡방향의 수평이 잘 유지하도록 조정하였다(Figure 9A). 기단부는 지대석 위에 지복석, 하대석, 중대석, 상대석을 올렸다. 이들은 가공면이 정교하여 수평이 잘 유지되었다. 탑신부는 탑신석과 옥개석이 하나로 된 석재로 탑신별로 수평을 유지시키며 조립하였다. 상부 부재가 하부 부재와 밀착되지 않거나 부재면이 맞지 않을 경우 스테인레스 스틸 편(평균 $4 \times 4 \times 0.2 \sim 0.5$ cm)으로 수평과 높이를 조정하였다(Figure 9B).

탑신부는 1층부터 4층까지 하면의 탑신석 중심과 상면의 옥개석 중심이 비교적 일치하였다. 그러나 5층부터 7층까지는 하면과 상면의 중심점에 차이가 있고, 옥개석 상면

Figure 9. Reconstruction processes of the pagoda. (A) Installation of the basement stone, (B) Reconstruction and insert process of stainless steel for balance, (C, D) Frontal and left side views after reconstruction process of the pagoda.

에는 탑신받침을 위해 파놓은 홈이 풍화 및 마모에 의하여 중심에 맞지 않았다. 따라서 지대석부터 4층까지는 비교적 부재의 접촉면이 고르고 수평이 잘 유지되었고, 5층 이상의 부재는 표면의 풍화 및 마모와 부재 상하면의 중심점 차이로 인하여 고임 편으로 수평을 유지하였다. 이는 층별 수평이 유지되었음에도 불구하고, 석탑의 중심점간에 차이가 있어 지대석의 중심과 상륜부 보주석의 중심점에도 차이가 나는 것으로 판단된다(Figure 9C, 9D).

4. 안정성 고찰

재조립 후 석탑의 안정성을 해석하기 위해 해체 전 조사와 동일한 위치에서 3차원 영상을 획득하였다. 이 결과, 재조립 후의 중심축과 부재간의 왜곡은 상당히 개선되었으나, 석탑의 입면도에서 나타나는 지대석 중심과 7층 옥개석 중심을 비교하면 좌측과 우측은 중심에 맞지만 정면과 후면은 중심선과 다소 차이를 보인다(Figure 10). 이런 현상은 석탑의 재조립 과정에서 층별로 수평을 유지하였지

만, 탑신석을 고정하기 위해서 옥개석 상면에 홈을 파내는 등 가공면이 서로 상이하여 탑신석과 옥개석의 중심점에 차이가 발생한 것으로 판단된다.

여기서 석탑의 변위상태를 분석할 경우, 재조립 당시 각 층별로 수평을 맞추면서 조립하였기 때문에 하부와 상부의 중심점만 비교하여 석탑의 기울기를 판단하는 것은 어렵다. 따라서 석탑의 변위는 중심점과 함께 각 층별 수평상태를 파악하여 전체적인 경향성을 분석하고, 변형상태는 석탑의 평면 상태에서 부재별로 뒤틀림 및 불균형 발생 여부를 파악해야 한다.

이 결과, 재조립 후 지대석과 상대석의 중심점은 배면과 우측면(북서) 방향으로 40 mm이며 기울기는 1/111였다. 지대석과 4층 탑신석의 중심점은 배면(북)으로 23 mm이며 기울기는 1/113이다. 지대석과 7층 옥개석의 중심점은 정면과 우측면(북동) 방향으로 40 mm이면 기울기는 1/91이다(Table 2, Figure 11). 이는 지대석부터 상대석은 북서쪽, 지대석부터 4층 탑신석은 북쪽, 7층 옥개석은 북동쪽으로 방향성이 다르게 나타난다. 이는 석탑의 재조립이 각 층

Figure 10. Images by 3D scanning of the pagoda after reconstruction process. Views of south (A), west (B), north (C), and east (D), respectively.

Table 2. Displacement and declinations of the pagoda after reconstruction process.

Centering position	Displacement (mm)	Height (m)	Declination of center point	Direction
Ground stone ~ Upper basement stone	12	1.317	1 / 111	Back+Right (Northwest side)
Ground stone ~ 5th floor body stone	23	2.604	1 / 113	Back (North side)
Ground stone ~ 7th floor roof stone	40	3.682	1 / 91	Front+Right (Northeast side)

Figure 11. Height estimation (A) and displacement analysis under the ground plan (B) of the pagoda after reconstruction process.

별로 수평을 유지하면서 조립하였기 때문에 특정 방향으로 기울어졌다기보다는 중심점의 차이인 것으로 판단된다. 또한 보수과정에서 부분적으로 매몰되어 있던 지대석이 드러나며 기단부의 높이가 다소 높아지게 되었다.

3차원 영상자료를 활용하여 심곡사칠층석탑의 지대석과 7층 옥개석을 중심으로 해체 전과 재조립 후의 안정성을 검토하였다. 이 결과, 해체 전 석탑은 정면과 우측면에서 북동방향으로 중심점이 124 mm 이격된 상태였고, 7층 옥개석은 뒤틀어져 변형된 상태를 보였다. 그러나 재조립 후 석탑은 정면과 우측면인 북동방향으로 40 mm 정도 이격된 상태를 보였고, 7층 옥개석은 지대석보다 등간격으로 좁아지는 안정적인 형태를 나타냈다(Figure 12). 결과적으로 석탑의 중심은 지대석부터 7층 옥개석까지 해체 전에 1/28에서 재조립 후 1/91로 중심점의 차이가 개선되었다.

이 연구는 3D 스캐닝에서 획득한 디지털 기록과 도면화를 통해 단순한 기하학적 고찰만으로도 구조적 문제가 있는 조적식 석탑의 변위를 분석하여 재조립에 적용할 수 있음을 제시한 사례로 의미가 있다. 이 결과는 Jo and Lee (2009) 및 Jun and Lee(2015)의 보고와 같이 문화유산의 변형과 변위해석을 통한 구조적 안정성 평가와 해체 및 재조립의 근거로 활용할 수 있는 기술이 될 것으로 기대하며, Kim *et al.*(2015)의 제안과 같이 종합적 보존관리시스템 구축에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 언

1. 3차원 영상분석기술을 활용해 심곡사칠층석탑의 해체와 재조립에 구조적 안정성의 근거로 삼았다. 3차원 영상자료를 분석하여 석탑의 원위치를 해석하였고, 재조립 전후의 기하학적 분석을 통해 변형과 변위를 산출하여 안

Figure 12. Central points analysis using 3D images before disassembly (A to C) and after reconstruction process (B to D) of the pagoda.

정성을 검토하였다. 또한 석탑의 재조립에 앞서 지반의 안정화를 위해 강회를 사용하여 유사판축으로 다짐하였고, 오염된 표면은 과학적 보존처리를 수행하였다.

2. 해체 전 석탑은 지대석을 기준으로 상대석, 4층 탑신석, 7층 옥개석의 중심점이 북동으로 일정하게 방향성을 보이고 있었다. 재조립 후 석탑의 상태는 지대석부터 상대석이 북서쪽, 지대석부터 4층 탑신석이 북쪽, 7층 옥개석은 북동쪽으로 방향성이 바뀌었다. 이는 석탑의 재조립 과정에서 각 층별로 수평을 유지하였기 때문에 석탑이 특정 방향으로 기울어진 것이 아니라 석탑의 층별 중심점의 차이인 것으로 해석된다.

3. 해체 전 석탑은 정면과 우측면에서 북동방향으로 중심점이 124 mm 이격되었고, 7층 옥개석이 뒤틀어져 변형된 상태였다. 또한 재조립 후 정면과 우측면은 북동방향으로 40 mm 이격된 상태지만, 7층 옥개석이 지대석보다 등간격으로 좁아지는 안정적인 형태를 보였다. 따라서 석탑의 중심점은 하부 지대석부터 7층 옥개석까지 해체 전 1/28에서 재조립 후 1/91로 차이가 완화된 것으로 나타났다. 이는 석탑의 보존 및 안정적 재조립에 중요한 자료가 될 것이다.

REFERENCES

- Fontana, R., Greco, M., Materazzi, M., Pampaloni, E., Pezzati, L., Rocchini, C. and Scopigno, R., 2000, Three-

- dimensional modeling of statues: the Minerva of Arezzo. *Journal of Cultural Heritage*, 1, 301-313.
- Jo, Y.H. and Lee C.H., 2009, 3D image analysis for digital restoration and structural stability evaluation of stone cultural heritage: Five-storied Magoksa temple stone pagoda. *Journal of Conservation Science*, 25(2), 115-130. (in Korean with English abstract)
- Jun, B.K., Lee, C.H. and Suh, M.C., 2008, Stability evaluation of multi-storied stone pagoda in the Daewonsa temple using three-dimensional image analysis. *Journal of Conservation Science*, 22, 31-42. (in Korean with English abstract)
- Jun, B.K. and Lee, C.H., 2015, Displacement analysis of Mulgeolri, a Three-story stone pagoda in Hongcheon using 3D documentation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(79), 717-721.
- Kim, Y.T., Lee, C.H. and Park, K.S., 2015, Establishment of conservation management system and application of cultural contents for stone sculptures in Gyeongbokgung Palace, Korea. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(25), 1-7.
- 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 Hanam, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48(2), 179-191. (in Korean with English abstract)
- Pieraccini, M., Guide, G. and An Atzeni, C., 2001, 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2, 63-70.
-