비부착, 비접촉 방식의 계측기를 이용한 반구대암각화 암반 절리면의 계측

Measurement of Bangudae Rock Joint Using Non-adhesive, Non-contact Inclinometer Slope Laser Measuring System

김재현^{1,*}, 이상옥², 정광용², 한민수³

¹시설물안전연구원(주) 부설연구소, ²한국전통문화대학교 보존과학연구소,

³한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

Jae Hyun Kim^{1,*}, Sang Ok Lee², Kwang Yong Chung², Min Su Han³

¹Infrastructures Safety Research Institute, Seongnam 13357, Korea

²Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

³Department of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

Received August 16, 2021

Revised October 6, 2021

Accepted October 21, 2021

*Corresponding author

E-mail: augustine100@hanmail.net

Phone: +82-10-5471-4925

Journal of Conservation Science
2021;37(6):617-625

<https://doi.org/10.12654/JCS.2021.37.6.01>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of
Conservation Science for Cultural
Heritage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초 록 울주군 대곡리 일대의 대곡천은 가지산 도립공원에서 양산단층을 가로질러 태화강 합류지점에 이르는 계곡과 암반이 발달된 지역이다. 계측할 반구대 암각화 암반은 광물학적 풍화, 절리, 하부의 세굴이나 공동이 확인되었다. 본 계측은 반구대 암각화가 세겨진 암반의 절리면을 대상으로 단기간 계측을 수행하였다. 기존 광섬유를 이용한 계측값(Ch4 150 μ m)과 비교하여 비부착, 비접촉식 계측기는 300 μ m의 변위값이 계측되었다. 향후, 시간대별 조도값에 적합한 HSV값의 적용과 다양한 계측경험이 누적될 경우, 본 계측기는 다양한 문화재에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

중심어 비접촉 계측, 절리면 분석, 계측기, 반구대암각화

ABSTRACT Daegokcheon Stream in Daegok-ri, Ulju-gun, is an area with a developed valley and bedrock from Gajisan Provincial Park to the confluence of the Taehwa River across the Yangsan Fault. To measure the rock of Bangudae petroglyphs, the mineralogical weathering, joints, and scours or cavities at the bottom were confirmed. The measurement was carried out for a short period of time on the joint of the bedrock on which the Bangudae petroglyphs were engraved. Compared to the measured value obtained using existing optical fiber (Ch4 150 μ m), a displacement value of 300 μ m was obtained using the non-attached, non-contact type of measuring instrument. In the future, it is inferred that this instrument could be used for various cultural properties if the HSV-value suitable for illuminance and various measurement experiences are stored.

Key Words Non-contact measuring instrument, Joint analysis, Measuring instrument, Bangudae petroglyphs

1. 서 론

울산광역시 울주군 대곡리 일대에 대해 각종 연구자료를 참고한 결과, 생태·환경적인 보존가치와 함께 고고분야와 미술분야의 학문적 가치가 매우 중요한 지역으로 여겨지고 있다. 특히, 금회 계측대상 암반은 반구대암각화가 발견되어 국보로 지정되어 관리되고 있으며, 대곡천

인근에는 공룡발자국이 다수 발견되는 등 보존을 위한 유지관리가 필요한 주요 지역으로 관리된다. 본 연구는 계측할 대상암반의 특성과 절리면에 대한 자료와 문헌을 파악하고 문화재의 가치를 고려하여 일반적인 부착식 계측기를 배제한 비접촉, 비부착의 계측기를 이용한 계측을 수행하며, 향후 적용 가능한 계측방안도 함께 연구하였다.

2. 계측대상의 기존 연구

2.1. 지질학적 특징

계측기가 설치된 지역은 한국지질자원연구원(2019년) Figure 1 지질도의 구분으로 보아 중생대의 경상분지 하양층군에 포함되며 백악기의 지층으로 분류된다. 기반암은 백악기 경상누층군의 소위 대구층(Daegu formation)으로 명명된 퇴적암이며, 주변에는 이를 관입한 화성암류가 분포한다. 또한 상세 지질도에서는 서측에 양산단층이 발달하였으며 단층 구조선을 경계로 왼쪽에는 신라층군의 주산안산암질암(Chusan Andesite Rock)과 불국사 조산운동에 속하는 연양화강암(Eonyang Granite)이 자리하고, 단층 오른쪽에는 대구층이 넓게 분포하는 것으로 기록되었다 (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1972).

상세 암종분류에 따라서는 사람과 실트스톤과 사질 셰일 등과 같이 퇴적암으로 구성되었고, 다수의 연구논문 등의 선행연구에서는 암의 풍화도 및 사면 안정성 등이 분석되는 등 다양한 해석을 통한 정밀한 분석이 이루어진 상태이다(Lee *et al.*, 2012). 특히, 반구대암각화 보존방안 연구에서는 석재의 성분분석에서 구조적 안정성까지 검토되어 절리군에 따라 암괴의 평면파괴, 전도파괴, 썩기 파괴 등의 위험성을 확인한 후 보강안의 필요성을 제안하였다. 또한 선행연구의 보완으로 울산 반구대암각화의 손상도 및 사면안정성 평가의 연구에서 암석의 주종인 암갈색 셰일의 풍화, 2003년과 비교하여 초음파속도값의 저하, 사면안정성 분석을 통한 위험성의 존재 등을 확인하였다(Lee *et al.*, 2012). 유사한 시기에 지질학적, 구조적 접근과 함께 대곡천의 수문학적 분석(Cho and Moon, 2010)까지 진행되는 등 다양한 연구가 수십 년 동안 진행되었다.

2.2. 유지관리 및 보존

계측대상 반구대암각화의 암반은 1965년 사연댐이 건설된 후 매년 절반 이상(약 8개월)을 침수상태에 놓이며, 침수와 건조를 반복하는 가혹한 보존환경상태를 맞이하였다. 여러 연구를 통해 암석에 대한 풍화방지안, 문화재 보존을 위한 유지관리안 등이 다양하게 제시되고 있으며, 기본적인 보존대책의 연구는 여러 분야에서 연구가 수행되었다(Choi, 2002; Ulsan Metropolitan City, 2003; Lee and Kim, 2004 ; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2006; 2008; Lee *et al.*, 2012). 또한 학술연구 외에 울산광역시와 여러 단체에서 공청회나 의견청취, 학술대회 등을 통해 유지관리와 보존안에 대한 노력이 계속되었다.

대표적으로 2014년에는 반구대암각화에 대한 암면세척 및 3D실측 후 모니터링방안과 3D실측 조사 지침이 제안되었고(Cultural Heritage Administration, 2014), 2016년에는 제방을 이용한 보존방안 연구 등 수리모형실험을 통한 다양한 유지관리 방안이 연구되었다(Lee *et al.*, 2016). 2018년에는 반구대 대곡리 암각화의 보존 문제와 그 대책 방안에서는 암면에 물이 없는 원상태의 환원을 촉구하였다(Moon, 2018).

2.3. 계측 및 모니터링

기존 연구논문 및 관련자료에서는 다양한 현황조사 및 안정성 검토, 다양한 보존방안이 제시되었고, 그중 장단기모니터링안의 제시에서는 장기적으로 모든 분석의 재시행, 단기적으로 훼손과 보존확인을 위해 스캐닝, 사진자료 등을 분석하여 풍화와 손상진행을 파악하는 안을 제시하였다. 또한 현장에는 변위계, 온도도계 등 기초적인 계측기가 주요 절리면 또는 압괴 파괴면 주변에 부착되어 있으며 2012년 변위 6개소, 2015년 이후 11개소에 대해

Figure 1. Geology map(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2019).

Table 1. Evaluation of the instrument

Division	Technicians on-site	Wireless communication	Instruments used for this measurement
Point	<ul style="list-style-type: none"> • Direct measurement • Visual inspection 	<ul style="list-style-type: none"> • High precision • Continuity measurement 	<ul style="list-style-type: none"> • Widely apply on-site • Non-contact, non-adhesive
Characteristic	<ul style="list-style-type: none"> • Over manpower • Measurement error 	<ul style="list-style-type: none"> • Attached instrument • Limited applicability 	<ul style="list-style-type: none"> • Increased precision • Post-process program

지속적으로 계측·관리가 이루어지고 있다. 현장의 계측기는 지속적인 침수피해로 인하여 계측장비에 대한 유지보수가 주기적으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 반구대암각화 보존을 위한 자연암반 절리면의 거동파악과 적용성 평가를 위해 1개월간 주암면 근처에 비접촉식으로 계측기를 설치하였다. 대상 암반면은 균열이나 절리가 확인되었으나 안정성 해석이나 육안 관찰을 통해 붕괴나 손상의 증가를 정확히 예측하기는 불가능하므로 금번 설치한 비부착, 비접촉 계측기를 이용하여 절리면의 상태와 거동을 파악하고 향후 절리상태의 예측 및 모니터링이 가능한지에 대한 적용성을 평가하였다.

3. 비부착, 비접촉 계측기

3.1. 최근 계측시스템의 변화

현장에 적용된 계측기는 본 연구자를 비롯해 계측 실무자들의 Table 1과 같은 다양한 특징과 이에 따른 필요에 의해 제작되었다.

변위계측은 현재까지 기술자가 직접 현장에서 다양한 계측기기를 이용하여 직접 계측하는 수동 계측방식이 있으며, 발전된 계측센서와 IT기술을 이용한 자동화 계측방식으로 구분된다. 그러나 Table 1과 같이 자동화 계측이 정밀도가 높고, 상시 데이터 수집이 가능하며, 통신기술에 의한 실내에서의 수집, 분석이 편리한 장점에 비해, 현장의 다양한 여건(미관 저하, 고온 표면, 이동부재)에 의해 접촉이 불가능하거나, 설치를 불편해하는 사례(문화재, 조형물 등)가 발생하고 있다. 계측의 범위에서 유사한 측정장치인 레이저-3D 스캐너는 타겟(Target)이나 마킹(Marking) 없는 비접촉방식으로 고려할 수 있으나, 1초에 10,000개 이상 지점을 측정하고 수 mm 이하의 정밀도를 확보할 수 있는 장점에 비해 계측장비로서는 고비용, 고사양으로 상시계측에 비효율적이고, 데이터의 크기도 수십 Gigabyte의 용량으로 분·시간단위 상시계측의 적용에 한계가 따른다.

반구대암각화 암반의 절리면에 대한 계측에서는 최근의 자동화계측 추세 연구 및 3D 스캐너의 특징 파악, 화상

(영상)분석기술의 다양한 연구활동에 대한 분석을 통하여 비접촉, 비부착의 방식의 계측시스템을 선택하여 적용하는 것이 현장여건에 적절할 것으로 판단된다.

3.2. 비부착 계측기의 이해

본 계측은 측정장치(레이저, 카메라, 컴퓨터)를 설치한 후 레이저를 투사할 구조체의 표면을 선정하고 계측기 거치대를 이동 및 조절하며 제 위치에 거치시킨 후 촬영을 시작한다. 촬영은 프로그램밍된 간격(기본적으로 24회/day, 20촬영/회, 총 480회/day)으로 레이저투사 후 촬영을 수행한다. 후처리 단계인 1차변환, 2차변환을 거친 화상을 이용하여 변위량을 측정한 후 연산단계에서 수치를 도출한다. 도출된 값은 선택된 데이터 전송방식(Wifi, 4G-LTE 등)을 이용하여 컴퓨터 서버(server)에 전송되는 과정을 거친다.

계측이론은 Figure 2의 ⊕형 레이저를 계측대상 표면에 투사해 Figure 3의 흐름에 따라 좌우변형·상하변형을 측정하도록 프로그래밍되어 있으며 좌우방향은 1, 2차의 변환 단계를 거친 화상 데이터를 Figure 4 좌우변형의 레이저 측정 방식과 같이 증감된 레이저 길이(ΔX)만큼 산정하여 변위량을 계산하고 길이(H)의 비로서 경사($\theta = \tan^{-1}(\frac{\Delta X}{H})$)를 산정한다. 또한 상하변위는 동일한 화상 변환 후 Figure 5 상하변형의 레이저 측정방식을 이용하여 상하방

Figure 2. Instrument measurement description.

Table 2. Specifications of measurement device

Division	Computer	Camera + Zoom	Laser
Model	Raspberry Pi 4	Sony IMX477 sensor	DelosLaser Cross Line
Explanation	Broadcom BCM2711 Quad-Core Cortex-A72 64bit SoC @ 1.5GHz 4GB SDRAM	12.3 Megapixel + 10.0 Megapixel	< 40mW DC12V 520nm
Shape

Figure 3. Flow chart.

향의 기울기($\theta = \tan^{-1}(\frac{2H(b-a)}{L(a+b)})$)를 산정한다. 단, 본 계측은 상하좌우 변위를 Horizontal 자료의 측정이론과 동일하게 계산하였다.

계측은 Table 2의 주요 세부자재를 이용하여 제작하였으며, 추가로 계측기기에 내에 통신모듈(LTE Egg), 각속도(자이로)센서, 전면 사물인식 센서 등이 추가로 장착되어 운용되었다.

Figure 4. Measurement theory(Horizontal).

3.3. 계측기의 성능

설치된 계측기는 다용도의 목적으로 비부착, 비접촉을 목표로 2축의 변위와 경사를 측정하도록 고안되었으며, 정밀도는 카메라의 성능(pixel)에 비례하여 증가하도록 설계되었다. 일반적인 자동화 계측기는 컴퓨터를 이용하지 않고 데이터 로거를 이용할 경우, 일방향의 데이터 수집

Figure 5. Measurement theory (Vertical).

후 전송이 진행되므로 데이터의 수집간격 및 측정횟수, 시스템 초기화, 보정 등에 대한 실내(연구소)에서의 제어가 어려운 단점을 해결하기 위해 마이크로 컴퓨터인 라즈베리 파이를 현장 설치하여 프로그램을 운용하고 계측을 제어하도록 구성하였다. 계측기의 개발 후 IMX477 카메라 Sensor와 렌즈를 이용하여 취득한 데이터값에 대해 계산상의 정밀도를 평가하기 위해 공인시험기관인 한국산업기술

시험원에서 Figure 6과 같이 신뢰도 검증을 수행하였다.

본 계측에 사용된 계측장치는 1 m 떨어진 측정점에서 Figure 7, 1 mm 9point 이동, Figure 8, 0.5 mm 5point 이동의 2개 Case에 대해 측정하였으며, Figure 9, 9point 이동 시 누적되는 값을 기준으로 산정 시 오차는 최초 1회 1 mm (1.02 mm) 이동 시 6.47% 이후 계속 감소하여 9 mm 이동 시 누적 오차값 0.33%(9.01 mm-8.98 mm)로 측정되었다.

Figure 6. Testing laboratory.

Figure 7. 1 mm, 9 point test.

Figure 8. 0.5 mm, 5 point test.

Figure 9. Reliability of Data.

한국산업기술시험원에서의 측정값으로 1m 거리에서 약 0.10 mm/pixel 수준의 측정이 가능하여 비부착방식으로 절리면이나 암반의 이격에 대한 계측 적합성을 확인하였다.

4. 계 측

계측은 Figure 10(Hwang *et al.*, 2010.)의 서측 절리면을 2021년 4월 20일부터 2021년 5월 14일까지 4주간 Figure 11과 같이 주야간 진행하였다. 계측기간은 현장에서 현장 조사를 목적으로 암반 절리면까지 가설 Bridge가 설치된 기간으로 6월 장마기간 전까지 계측을 수행하였다(측정 간격: 1회/30분, 분해능: 0.1 mm/1 m).

4.1. 현장 계측기 설치

계측기의 설치는 사면안정성 분석 결과(Lee *et al.*, 2012)에서 가장 많은 절리면이 분포되어 있는 Section1 Area에서 켜기파괴 우려가 있는 3곳의 절리군 중 3+5번 절리군으로 특정지어 암괴탈락의 구조적 문제를 언급한 지점으로 선정하였다. 또한 같은 연구범위인 공동부위 모델의 검토에서도 암반면 서측 하부에 대해 균열 확장과

많은 암편의 탈락으로 구조적 보강을 제안하는 등 가장 취약한 지점으로 본 계측면을 판단하였다.

4.2. 기존 설치된 계측기의 수집 데이터 분석

본 계측기 설치 위치는 계측 대상 암반의 절리는 이미 자동화 계측이 진행되는 장소로서 기존 데이터 분석 장치(변위센서 Ch4)의 계측값과 비교를 위해 위치를 선택하였다(Figure 12).

계측값은 대곡천 암각화군 종합조사연구보고서(National Research Institute of Cultural Heritage, 2019)의 값은 한 달 단위 변위 평균데이터를 2018년 7월에서 2019년 8월까지 비교한 결과 값으로 절리면의 균열폭의 증감을 계측하였고, 암석의 열수축팽창의 결과로 절리간격의 변화가 발생된 것으로 추정하였다. Ch4 2018.07.~ 2019.08. 기간의 계측값은 월평균 최소 -61.17 mm~최대 34.29 μ m의 평균 변위값이 기록되었고, 비접촉 계측기와 계절적 동일시기인 2019년 4~5 월에는 150 μ m에서 100 μ m로 50 μ m의 차이가 계측되었다.

Figure 10. Non-contact instrument installation location.

Installation view

Day view (AM 12:00)

Night view

Figure 11. Non-contact installation situation.

Table 3. Displacement Data (Ch4. 2018.07.05.~2019.08.12.)

Date	'18 07	'18 08	'18 09	'18 10	'19 02	'19 03	'19 04	'19 05	'19 06	'19 07	'19 08
Average	-40.02 μm	-61.17 μm	-9.74 μm	0.13 μm	17.60 μm	33.57 μm	34.29 μm	-6.25 μm	-8.02 μm	-8.92 μm	-11.00 μm

Figure 12. Displacement gauge change graph for daily precipitation: Ch_4

4.3. 비부착 비접촉 계측기의 결과 값 분석

화상분석 방식의 계측기는 촬영기간 동안 일정한 조도가 유지되는 실내환경과는 달리 조도의 변화가 큰 일출·일몰 시와 일부 태양고도에 의해 빛이 촬영에 영향을 줄 경우에 프로그램에서 일몰, 일출 시의 값 일부를 Error 처리하였다. 분석 데이터는 이 부분을 고려하여 분석에 활용하였다.

4.3.1. 전체 측정 계측값

X, Y 2축의 계측값은 경향상 급격한 변화는 확인되지 않으나, Figure 13의 계측기간동안 하향의 추세(반구대암각화의 암반면에서 멀어지는 경향)를 보이고 있으며 일평

균 데이터값으로 보아 계측하는 기간 동안 0.3 mm(300 μm) 수준으로 판단된다.

Figure 14의 X방향(횡방향) 변위값과 일평균기온, 강수량 등과 비교한 결과, 횡방향의 변위는 일평균 기준 0.2~0.3 mm의 변화(계측 암반이 하류방향으로 이동)를 확인 하였으며, 일평균 기온이 상승 추세를 보이고, 강수량은 5월 1일 8.7 mm, 5월 4일 15.2 mm, 5월 5일 3.5 mm로 계측하는 기간 동안 30 mm 미만이 관측되었다.

계측된 횡방향의 변위값은 계측면의 석재 모서리에서의 국부적인 변위이거나, 4~5월의 기온 상승에 따른 반구대암각화 팽창에 따른 암반의 변위로 추정된다.

Figure 13. Displacement data (non-contact instrument).

Figure 14. X-dir displacement data(non-contact instrument).

Figure 15. Y-dir displacement data(non-contact instrument).

Figure 15의 Y방향(종방향) 변위값과 일평균기온, 강수량 등과 비교한 결과, 종방향의 변위는 횡방향과 유사하게 일평균 기온 0.2~0.3 mm의 변화를 확인하였으며, 기온의 상승영향으로 추정된다.

4.3.2. 계측값 분석

계측된 횡방향과 종방향의 변위값은 계측면의 석재 모서리에서의 국부적인 변위이거나, 4~5월의 기온 상승에 따른 주요 암반의 팽창에 의한 변위로 추정할 수 있다. 그러나, 현재 계측기간이 한 달 이내의 단기간으로 명확한 변위의 경향성을 판단하기는 어려운 상태이고, 계측 암면이 일반적인 구조물의 표면과는 달리 태양빛과 야간

의 레이저 빛을 일부 반사하거나 빛 번짐을 발생시키므로 계측값 일부는 과다하거나 과소하여 Error값으로 분류되는 경우가 있어 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 계측은 “반구대암각화 보존환경 모니터링 스마트 관리체계 개발 사업”진행 중 절리면에 대한 단기의 계측을 요청하여 수행하였으며, 현장의 조사여건에 따라 서측 수직절리면 하단에 설치하여 4주간 계측을 진행한 결과는 다음과 같다.

첫째, 비부착 계측기에 의한 모니터링 결과, ± 0.2 mm 수준에서 일반복하는 것으로 계측되었다. 이는 4주간의 일평균기온의 변화가 크지 않고, 동절기에서 봄까지 건조상태의 암반 전리면 함수율의 변화도 없는 상태이므로 일일 낮밤의 온도변화에 따른 변위값으로 판단된다.

둘째, Table 3. Displacement data에서 2012년부터 계측한 광섬유 센서(Ch4)를 이용한 계측값을 분석한 결과, 약 150 μ m (Table 3.0, 15 mm: 2019년 3~8월)의 변위를 확인할 수 있었으며, 본 레이저를 이용한 비부착 비접촉 계측기와 계절적 동일 기간 변위는 약 50 μ m (Table 3)로 확인되었다. 절리면의 우측 암반 모서리의 변위를 계측한 본 연구와 비교하여 좌우측 암반 간 절리간격(이격폭)을 계측한 기존 광섬유 계측값은 서로의 계측대상 및 방법이 상이하여 절대적 비교는 어려운 것이 현실이나 기존 설치된 계측기의 우수한 분해능과 현장 적용성 등의 장점은 본 계측기의 향후 발전적 개선을 위한 목표임이 확인되었다.

셋째, 주간과 야간에 계측값은 수집한 데이터에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 일출과 일몰시의 계측에서는 데이터의 변화량이 큰 것을 확인되었으며, 오후 3시 이후 태양빛의 영향도 일부 확인하였다. 향후 유사 암면의 장기 계측에서는 변위값의 추출을 위한 프로그래밍 과정에서 계측기간 내의 각 시간대별 조도량의 차이를 고려한 HSV 값을 추출하여 다양한 변화에 대해 정확한 길이변화량을 산정하는 과정이 요구된다.

넷째, 향후 반구대암각화 주변의 계측은 자연환경에 따른 암반, 절리면의 거동특성을 파악하며, 유지관리를 위한 상시 자료의 수집이라는 목표를 위해서는 비부착 비접촉의 다양한 계측기기를 활용하며, 장기적인 계측자료를 축적하는 등의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Cultural Heritage Administration, 2014, Bangudae petroglyphs surface cleaning and 3D survey, ENGUAED
- Choi, B.R., 2002, Study of rock slope stability in Bangudae area. Bulletin of Science Education, 18, 57-62.
- Cho, H.J. and Moon, J.K., 2010, An engineering survey and proposal on preservation of petroglyphs at Daegok Brook. Journal of Korean Society for Rock Mechanics, Tunnel & Underground Space, 20(3), 194-206.
- Hwang, S.I., Park, K.G. and Yoon, S.O., 2010, Periodic immersion of the Bangudae Petroglyphs and rock weathering characteristics. Journal of the Korean Geographical Society, 45(3), 342-359.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1972, EonYang geological map, 1:50000.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM, big data open platform, Geologic Map of Korea 2019, 1:1,000,000.
- Lee, C.H., Chun, Y.G., Jo, Y.H. and Suh, M.C., 2012, Evaluation of slope stability and deterioration degree for Bangudae Petroglyphs in Ulsan, Korea. Journal of Conservation Science, 28(2), 153-164.
- Lee, S.H. and Kim, S.J., 2004, Weathering characteristics of sedimentary rocks affected by periodical submerging, Korea. J Miner. Soc, 23-35(March, 2004).
- Lee, S.O., Chegal, S.D. and Cho, H.J., 2016, Availability test of eco-levee construction for preservation of Bangudae petroglyphs, Journal of Korea Water Resources Association, 931-939.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2006, Report of Daegok River maintenance basic plan.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2008, Study for operation of the water level of Sayeon Dam.
- Moon, M.D., 2018, A study on conservation issues and countermeasures of the Pangudae Daegok-ri Petroglyphs. Silcheon Munhak, Seoul, 231-243.
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2019, Daegokcheon Stream Petroglyphs Comprehensive Research Report, 238-250.
- Ulsan Metropolitan City, 2003, Study of conservation measures in Bangudae area.