

# 무등산응회암과 입석대 주상절리대의 공학적 특성

노정두<sup>1</sup> · 장희원<sup>2</sup> · 임채훈<sup>2</sup> · 황남현<sup>2</sup> · 강성승<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 에너지자원공학과 박사과정, <sup>2</sup>조선대학교 에너지자원공학과 학부생,  
<sup>3</sup>조선대학교 에너지자원공학과 교수

## Engineering Characteristics of Mudeungsan Tuff and Ipseok-dae Columnar Joints

Jeongdu Noh<sup>1</sup> · Heewon Jang<sup>2</sup> · Chaehun Lim<sup>2</sup> · Namhyun Hwang<sup>2</sup> · Seong-Seung Kang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Energy and Resources Engineering, Chosun University  
<sup>2</sup>Undergraduate Student, Department of Energy and Resources Engineering, Chosun University  
<sup>3</sup>Professor, Department of Energy and Resources Engineering, Chosun University

### Abstract

This study is to examine the engineering characteristics of columnar joints in Mudeungsan National Park, a global geopark. For these purposes, physical and mechanical properties of Mudeungsan Tuff, evaluation for the weathering degree of columnar joints, and crack behavior monitoring in columnar joints were conducted. The physical properties of Mudeungsan tuff were 1.02% for the average porosity, 0.38% for the average absorption, 2.69 g/cm<sup>3</sup> for the average specific gravity, and 4,948 m/s for the average elastic wave velocity. Its mechanical properties were 337 MPa for the average uniaxial compressive strength, 68 GPa for the average elastic modulus, 0.29 for the average Poisson's ratio, 41.3 MPa for the average cohesion strength, and 62.8° for the average friction angle. the average rebound Q-value of the silver Schmidt hammer for the three columnar joint blocks at the Ipseok-dae was shown as 49.3. when this value is converted into uniaxial compressive strength, it becomes 70.5 MPa, which is about 21% of the uniaxial compression strength of Mudeungsan tuff. In addition, according to the results of crack monitoring measurements for the three columnar joint blocks at the Ipseok-dae, the crack behavior is less than 1 mm, so it is believed that its behavior in Ipseok-dae columnar joints has hardly occurred to date.

**Keywords:** Mudeungsan national park, global geopark, engineering characteristics, Mudeungsan tuff, Ipseok-dae columnar joints

### OPEN ACCESS

\*Corresponding author: Seong-Seung Kang  
E-mail: kangss@chosun.ac.kr

Received: 26 May, 2020  
Accepted: 9 June, 2020

© 2020 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 초 록

본 연구는 세계지질공원인 무등산국립공원 내 주상절리대의 공학적 특성을 살펴보고 위한 것으로서, 대상 암석인 무등산응회암의 물리·역학적 성질 파악, 주상절리 풍화정도 산정, 그리고 주상절리 내 균열 거동 모니터링 등을 실시하였다. 무등산응회암의 물리적 성질은 평균 공극률의 경우 1.02%, 평균 흡수율은 0.38%, 평균 비중은 2.69 g/cm<sup>3</sup>, 그리고 평균 종파속도는 4,948 m/s로 나타났다. 역학적 성질의 경우 평균 일축압축강도는 337 MPa, 평균 탄성계수는 68 GPa, 평균 포아송비는 0.29, 평균 점착력은 41.3 MPa, 평균 마찰각은 62.8°로 나타났다. 실버슈미트해머 평균 반발경도 Q값은 49.3이며, 이를 일축압축강도로 환산하면 70.5 MPa로 신선한 일축압축강도의 약 21%에 해당되었다. 그리고 입석대 주상절리 3개 블록에 대한 균열 모니터링 측정 결과, 균열 거동은 블록 모두에서 1 mm 이하로 나타나 주상절리 내 균열 거동은 현재까지 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다.

**주요어:** 무등산국립공원, 세계지질공원, 공학적 특성, 무등산응회암, 입석대 주상절리

## 서론

무등산 국립공원은 2012년 도립공원에서 대한민국 21번째 국립공원으로 지정된 이후, 2018년 유네스코에서 지정하는 세계지질공원에 최종 인증되었다. 유네스코가 인증하는 세계지질공원은 세계유산 및 생물권보전지역과 함께 유네스코 3대 보호 제도에 해당한다. 그러나 세계지질공원의 핵심은 이들 2대 보호제도와 달리 행위 제한이 적고 보호뿐만 아니라 관광 자원으로서의 활용을 통해 지역경제 활성화에 이바지하는 것이다. 지질공원 프로그램은 1990년대 중반 유럽에서 중요한 지질학적 가치를 지닌 지역을 보존하기 위해 도입되었고, 2004년 세계지질공원네트워크(Global Geoparks Network)가 출범되면서 알려지기 시작했다. 2015년에 세계지질공원이 유네스코 정식 프로그램으로 채택된 이후, 유네스코는 세계지질공원이 특별한 과학적 중요성, 희귀성 또는 아름다움을 지닌 지질현장으로서 지질학적 중요성뿐만 아니라 생태적, 고고학적, 역사적, 문화적 가치도 함께 지녀야 함을 제안하였다. 세계지질공원으로 인증되면 세계지질공원망(Global Geoparks Network, GGN) 회원으로 등록되고 4년마다 심사를 받게 된다. 따라서 세계지질공원 등재 후에는 여러 분야에 대해 보다 체계적이고 지속적인 운영과 관리가 요구된다. 국내 세계지질공원에는 무등산을 포함하여 제주도, 청송 등 3개의 세계지질공원이 인증되었으며, 현재 지질공원으로서의 가치를 높이기 위해 다양한 연구와 함께 문화, 역사, 교육 및 관광 자원으로 개발하기 위한 방법들을 제시하고 있다(Lim et al., 2015; Ju and Woo, 2016; Cho and Woo, 2018; Park, 2018; Lee et al., 2019; UNESCO, 2020).

현재 무등산세계지질공원은 3개 지역인 광주광역시, 담양군, 화순군 일부를 포함한 1,051.36 km<sup>2</sup>의 면적에 해당하고, 지질명소는 무등산 정상 3봉인 천왕봉, 지왕봉, 인왕봉, 그리고 주상절리대인 입석대, 서석대, 광석대 등이 있다(Gwangju City, 2013). 현재까지 무등산 국립공원의 주상절리대에 대한 연구는 주로 암석학적 및 지질학적 측면에서 이뤄졌지만, 양적 성과는 많지 않은 실정이다(Ahn, 2010, 2014; Ahn et al., 2014). 대표적인 연구 성과를 예로 들면, Ahn(2010)은 무등산의 지형과 지질, 주상절리대와 너덜, 그리고 자연경관 등에 관하여 보고하였다. Ahn et al.(2014)은 무등산과 그 주변 지질과 자연경관의 형성과정을 자세하게 보고하였다. 또한 Ahn(2014)은 무등산 주상절리의 형태학적 및 암석학적 특징에 대해 보고한바 있다. 이와는 다르게 무등산국립공원에 분포하고 있는 다양한 암종과 지질학적으로 문화적 가치를 가진 주상절리의 장기적 보존을 위해 필요한 공학적 특성에 관한 연구는 매우 미미한 실정이다. Ko et al.(2016)은 국내에서 처음으로 무등산국립공원 입석대 주상절리대에 대한 물리·역학적 특성에 관한 연구를 수행하여 그 결과를 보고하였다.

기존의 연구는 주로 주상절리대에 대한 암석학적, 지질학적, 문화적 측면에 중점을 두었으나, 해마다 증가 추세에 있는 방문객의 안전을 포함한 주상절리대의 장기적 안정성 확보와 유지관리를 위한 대응방안을 수립하기 위해서는 이들에 대한 공학적 특성 파악도 해결해야할 과제가 틀림없다. 이를 위해 본 연구에서는 첫째, 무등산국립공원 주상절리대의 구성 암석인 무등산응회암을 대상으로 암석의 공학적 특성을 파악하고자 한다. 둘째, 주상절리대의 강도와 풍화정도를 산정하고, 셋째, 주상절리대 중 입석대 주상절리 내에 발달하고 있는 균열의 거동상태를 주기적으로 모니터링하여 균열 변화를 살펴보고자 한다.

## 연구지역

무등산국립공원은 지질학적으로 옥천습곡대 서남부에 위치하며, 북동-남서 방향 구조선인 호남전단대가 발달해있다. 중생대 백악기 초에서 신생대 제3기초까지 있었던 화산활동에 의해 직경 약 40 km 크기의 원형함몰체인 능지분지가 형성되었으며, 이 분지 동쪽으로는 안산암과 유문암으로 구성된 무등산화산암체, 남부-남서부에는 유문암류로 구성된 능주화산암체가 분포하는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2002)(Fig. 1). 무등산국립공원 내 주상절리대를 구성하는 암체는 용암

류에 의해 형성된 석영안산암이라 해석(Ahn, 2010, 2014; Ahn et al., 2014)하였지만, 현재는 최근 연구 결과에 따라 무등산응회암으로 명명되어 사용되고 있다(Gwangju City, 2013). 주 조사 지점인 입석대 주상절리대는 해발 1,017 m 위치에 약 5~18 m 정도 높이의 주상절리 30여개가 동서로 120 m에 걸쳐 뻗뻗하게 분포하고 있다. 입석대 주상절리대의 모양은 한 면이 1~2 m 정도 되는 대부분 5~6각형 기둥으로 관찰된다. Fig. 2는 무인항공기 드론으로 촬영한 영상을 3차원으로 편집한 것으로서 입석대 주상절리 분포 상태를 상세하게 잘 보여준다.

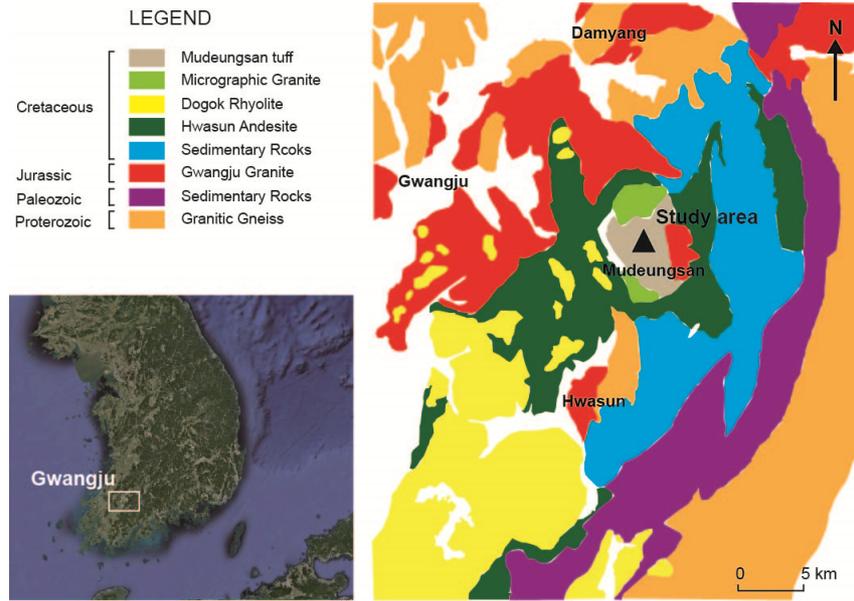


Fig. 1. Geological map of study area.



Fig. 2. Distribution of the Ipseok-dae columnar joints.

## 무등산응회암의 공학적 특성

### 시험편 제작

무등산국립공원에 분포하고 있는 무등산응회암에 대한 공학적 특성을 살펴보기 위해 입석대, 서석대, 중봉 근처에서 무등산응회암 암괴 시료를 채취하였다(Fig. 3). 시험편은 직경 38 mm/길이 76 mm와 직경 43 mm/길이 87 mm인 2가지

형태의 원통형으로 총 28개 제작하였다. 이들 중 암석의 물리적 및 역학적 시험을 위해 일축압축시험용 11개, 삼축압축시험용 6개, 그리고 압열인장시험용 6개의 시험편을 사용하였다(Fig. 4).

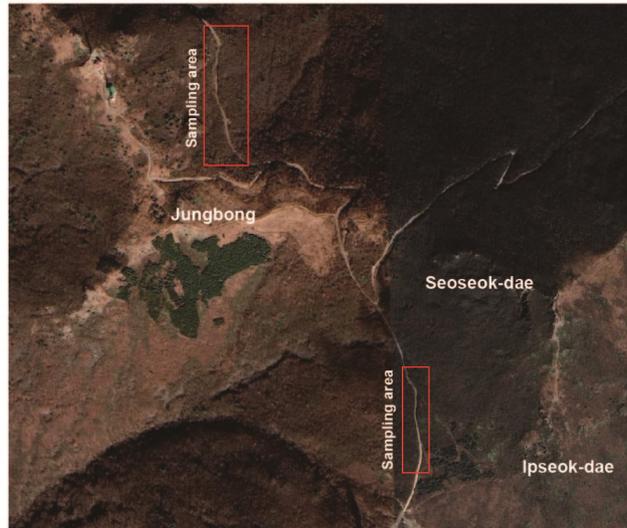


Fig. 3. Location map of sampling areas.

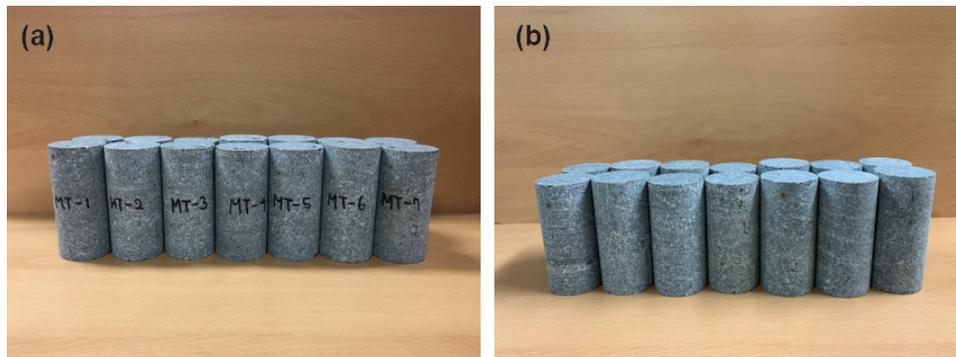


Fig. 4. Mudeungsan tuff specimens for (a) uniaxial and (b) triaxial compression tests.

### 무등산응회암의 물리적 성질

무등산응회암의 물리적 성질을 파악하기 위해 공극률(porosity), 흡수율(absorption), 비중(specific gravity), 탄성파속도(elastic velocity)를 각각 측정하였다. 공극률, 흡수율, 비중 값을 산정하기 위하여 각 시료에 대한 초기, 수중, 건조, 포화 상태 무게를 Precisa Gravimentrics AG사의 Precisa Balances 320 CT를 이용하여 측정하였다. 탄성파속도는 Pundit사의 Pundit Plus를 이용하여 측정하였다. 각 시험 항목에 따른 측정과 산정 방법은 국제암반공학회(The International Society for Rock Mechanics, ISRM)와 한국암반공학회(The Korean Society for Rock Mechanics, KSRM)에서 제안하고 있는 암석표준시험법에 근거하여 실시하였다(ISRM, 1979; KSRM, 2010). Fig. 5는 각 시험 장치를 보여주며, 측정된 결과를 정리하면 Table 1과 같다. 그 결과를 살펴보면, 공극률은 0.79~1.27% 범위로 평균 1.02%, 흡수율은 0.29~0.47% 범위로 평균 0.38%, 비중은 2.68~2.70 g/cm<sup>3</sup>으로 평균 2.69 g/cm<sup>3</sup>, 그리고 탄성파속도는 4,584~5,261 m/s 범위로 평균 4,948 m/s로 나타났다.

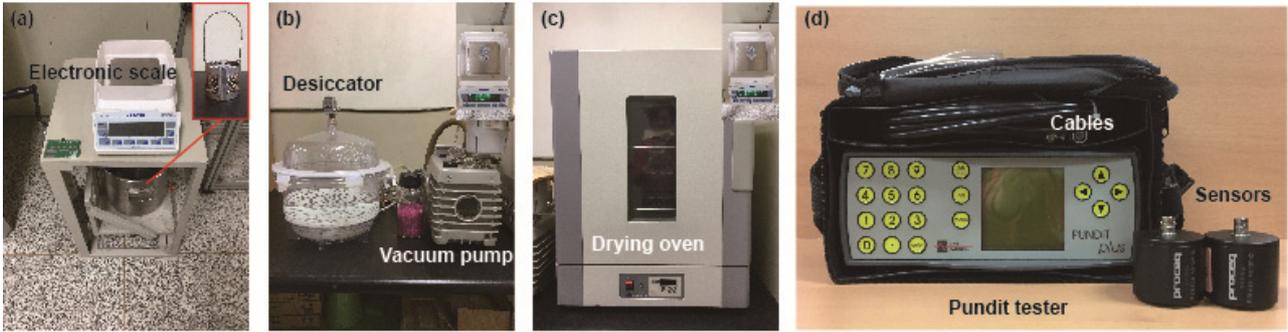


Fig. 5. Apparatus for measurement of initial, (a) submerged, (b) saturated and (c) dry weight, and (d) elastic wave velocity.

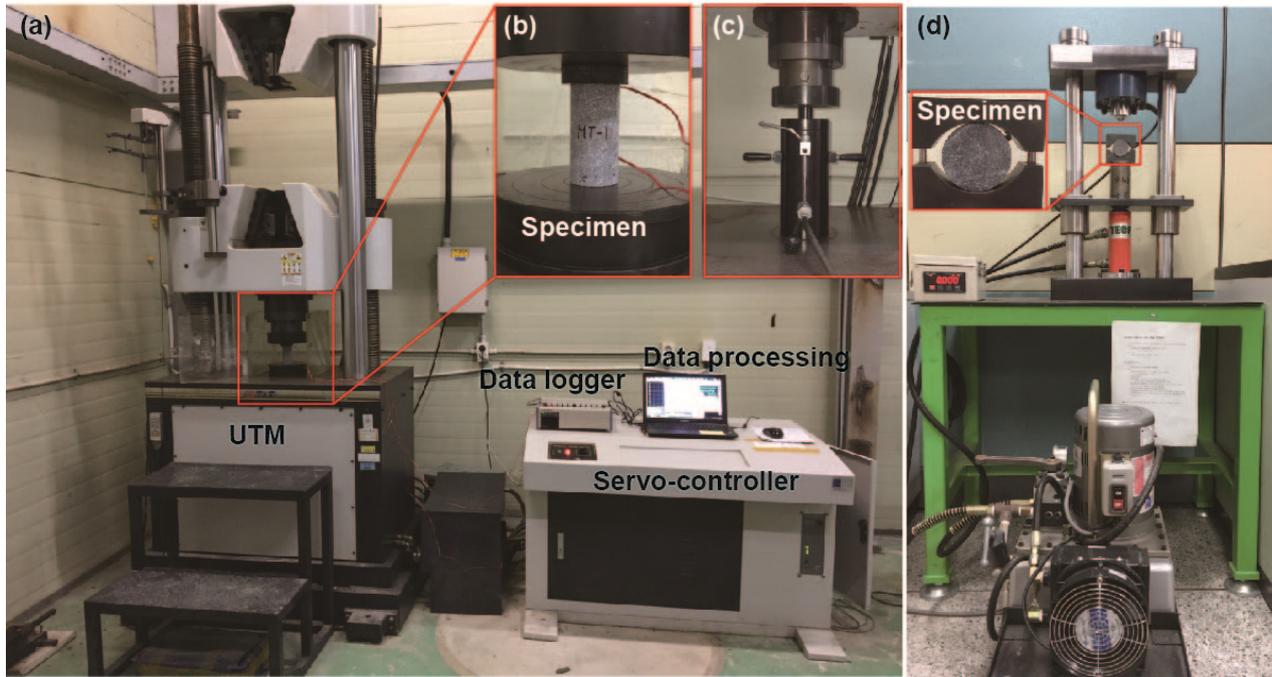
Table 1. Physical properties of Mudeungsan tuff

Specimen No.	Diameter (mm)	Length (mm)	Porosity (%)	Absorption (%)	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Elastic wave velocity (m/s)
MT-1	38	79.4	0.90	0.33	2.70	4,996
MT-2	38	78.8	0.93	0.35	2.70	4,896
MT-3	38	78.9	0.93	0.34	2.70	4,838
MT-4	38	78.6	1.10	0.41	2.68	5,005
MT-5	38	78.8	1.06	0.39	2.70	4,986
MT-6	43	87.0	1.27	0.47	2.68	4,807
MT-7	43	87.3	0.79	0.29	2.70	5,261
MT-8	43	87.0	1.17	0.43	2.69	4,808
MT-9	43	87.2	1.12	0.42	2.69	5,042
MT-10	43	87.9	0.93	0.34	2.69	5,204
MT-11	43	88.0	1.07	0.40	2.69	4,584
Average			1.02	0.38	2.69	4,948

### 무등산응회암의 역학적 성질

무등산응회암의 역학적 성질을 파악하기 위해 일축압축시험(uniaxial compression test), 삼축압축시험(triaxial compression test), 압열인장시험(Brazilian test)을 실시하였다. 일축 및 삼축압축시험은 하중 및 변위에 대한 서보제어가 가능한 DAEKYOUNG TECK & TESTER MGT사의 DTU-900HC 모델, 압열인장시험은 ACE ONE사의 PLT-100E 모델을 사용하였다. 또한 하중에 따라 발생하는 축방향 및 횡방향 변형률 데이터는 KYOWA사의 UCAM-B 모델을 이용하여 획득했다. 물리적 시험과 같이 역학적 시험도 국제암반공학회와 한국암반공학회에서 제한하고 있는 암석표준시험법에 근거하여 실시하였다. Fig. 6은 일축 및 삼축압축시험, 그리고 압열인장시험 과정을 보여준다. 일축압축시험 결과는 Table 2에 정리하였으며, 이를 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같다. 일축압축강도는 262~362 MPa 범위로 평균 약 337 MPa, 탄성계수는 54~74 GPa 범위로 평균 약 62 GPa, 포아송비는 0.21~0.37 범위로 평균 0.29로 나타났다. 삼축압축시험은 Hoek cell을 이용하여 2 MPa와 4 MPa의 구속압을 각 3회씩 총 6회 가하였다. 삼축압축시험과 압열인장시험 결과를 정리하면 Table 3과 같으며, 이를 그래프로 나타내면 Fig. 8과 같다. 압열인장시험 결과에 의하면 압열인장강도는 18.3~21.4 MPa 범위로 평균 약 19.1 MPa를 보였다. 삼축압축강도는 구속압이 2 MPa일 때 382~398 MPa 범위로 평균 390 MPa, 4 MPa

일 때 437~447 MPa 범위로 평균 443 MPa 범위로 나타났다. 일축 및 삼축압축강도와 압열인장강도 자료를 이용하여 모어-쿨롱(Mohr-Coulomb) 이론에 근거하여 점착력과 내부마찰각을 구한 결과 점착력은 약 41.3 MPa, 내부마찰각은 약 62.8°로 나타났다.



**Fig. 6.** Photographs of (a) universal test machine (UTM), (b) uniaxial compression test, (c) triaxial compression test, and (d) Brazilian test.

**Table 2.** Results of the uniaxial compression test of Mudeugnsan tuff

Specimen No.	UCS (MPa)	Youngs modulus (GPa)	Poisson's ratio
MT-1	362	69	0.27
MT-2	353	68	0.27
MT-3	359	72	0.35
MT-4	263	54	0.24
MT-5	352	74	0.34
MT-6	362	64	0.31
MT-7	348	60	0.37
MT-8	357	57	0.26
MT-9	262	58	0.32
MT-10	352	56	0.21
MT-11	341	55	0.25
Average	337	62	0.29

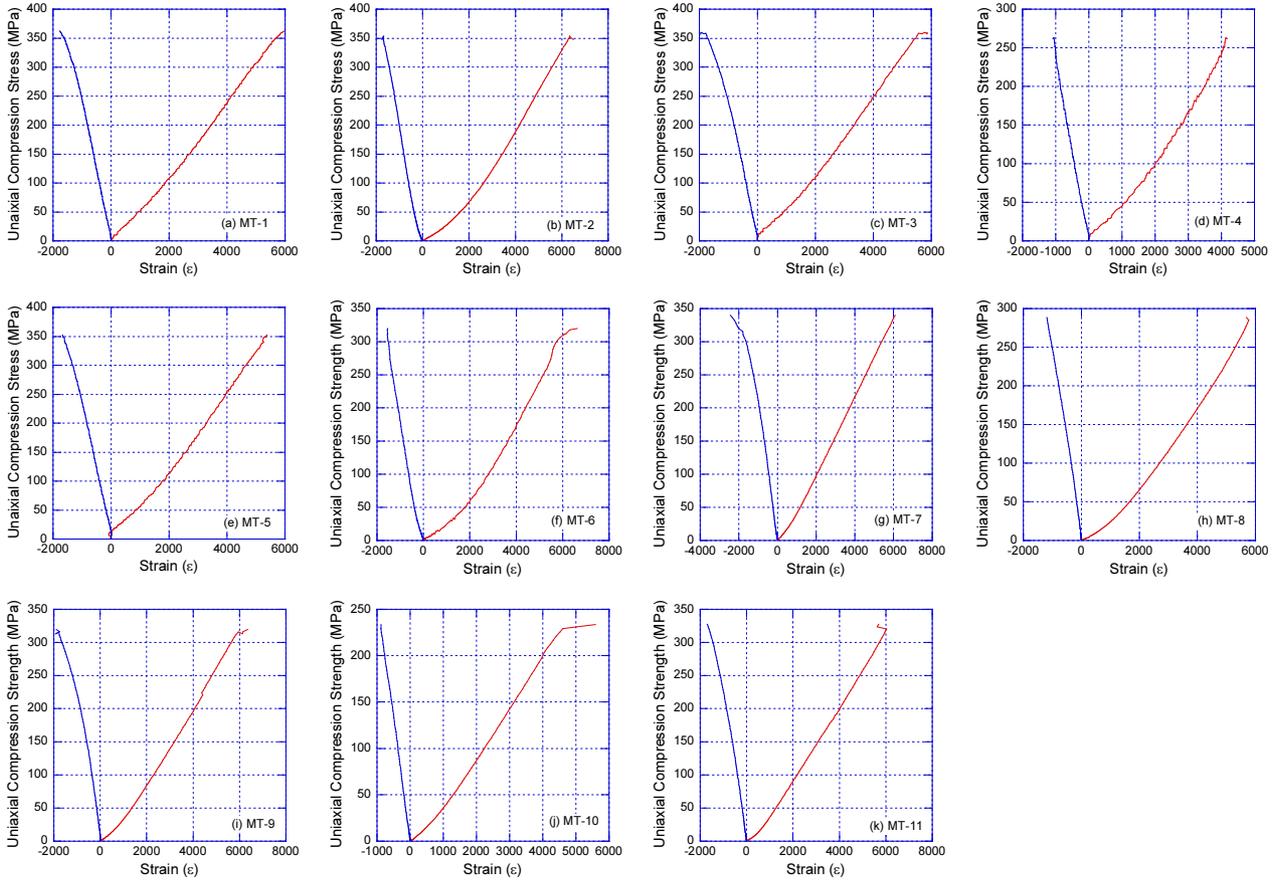


Fig. 7. Results of uniaxial compression test for the Mudeungsan tuff.

Table 3. Results of the triaxial compression test and Brazilian test of Mudeungsan tuff

No.	Triaxial compression test		Brazilian test (MPa)	Cohesion (MPa)	Friction angle (°)
	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_3$ (MPa)			
1	382	2	19.3	41.1	60.1
	437	4	18.3		
2	390	2	18.1	41.3	64.1
	444	4	21.4		
3	398	2	18.2	41.5	64.2
	447	4	19.4		
Average			19.1	41.3	62.8

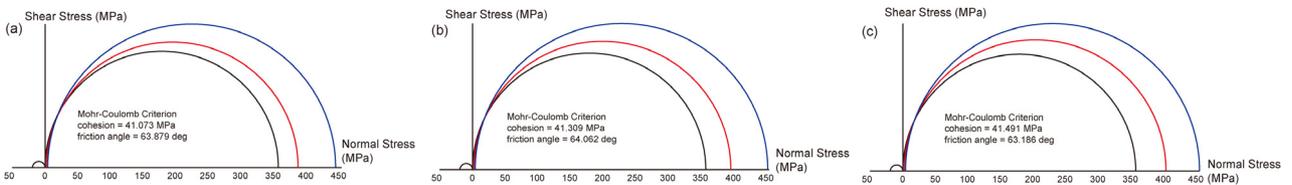


Fig. 8. Mohr-Coulomb criterion obtained from Brazilian, uniaxial and triaxial compression tests, (a) No. 1, (b) No. 2, (c) No. 3.

## 무등산 국립공원 현장조사

### 입석대 주상절리대 경도 측정

무등산 국립공원 입석대 주상절리대의 강도와 풍화정도를 산정하기 위해 비파괴 강도시험을 실시하였다. 시험장비는 Proceq사의 L-type 실버슈미트해머를 사용하였다. 이 장비는 자체 입력된 에너지와 출력되는 에너지의 비율을 자체 계산하여 반발 Q값을 산출하는 방식으로 타격 방향에 따라 값을 보정해 주어야 하는 기존의 슈미트해머와 다르게 보정이 필요하지 않은 장점을 가지고 있다. 실버슈미트해머에 의한 Q값으로부터 일축압축강도를 추정하는 식은 아래와 같다.

$$UCS = 0.081527 + 0.51667Q + 0.018534Q^2 \tag{1}$$

실버슈미트해머시험은 입석대 주상절리대 후면에 분포하는 3개(P-1, P-2, P-3)의 주상절리 블록에 대해 각각 20회 타격 시험을 실시 한 후(Fig. 9), 상위 10개 값을 선정하여 Q값을 산출하였다. 그 결과를 정리하면 Table 4와 같으며, 이들 데이터를 Fig. 10 그래프로 나타내었다. P-1, P-2, P-3 블록의 Q값은 각각 50.1, 48.4, 49.3으로 거의 비슷하게 나타났다. 이들 Q값을 일축압축강도로 환산하면 72.5 MPa, 68.5 MPa, 70.5 MPa로 나타났다. Q값으로부터 환산된 일축압축강도는 일축압축시험으로부터 얻은 값과 비교할 때 약 21% 수준에 해당됨을 알 수 있다. 이러한 두 시험에서 얻어진 일축압축강도값의 차이가 크게 나타난 원인으로는 주상절리대가 오랜 기간 동안 대기상태에 노출됨으로써 주상절리 표면의 풍화 정도가 심하게 진행되었기 때문으로 판단된다.



Fig. 9. Silver Schmidt hammer test at the Ipseok-dae, (a) aerial photograph, (b) measuring place, (c) field measurements.

Table 4. Reound Q-values measured by Silver Schmidt hammer at the Ipseok-dae

	P-1	P-2	P-3
1	49.0	45.0	55.0
2	52.5	40.0	43.5
3	55.5	59.0	48.0
4	45.0	48.5	48.0
5	45.5	49.5	56.5
6	55.5	56.5	57.0
7	49.5	43.0	46.5
8	45.5	45.0	45.5
9	60.0	46.5	45.5
10	43.0	51.0	47.0
Average	50.1	48.4	49.3
UCS	72.5 MPa	68.5 MPa	70.5 MPa

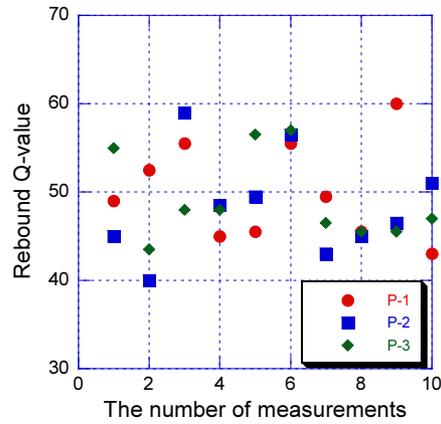


Fig. 10. Results of rebound Q-values by silver Schmidt hammer.

### 입석대 주상절리대 균열 모니터링

입석대 주상절리대는 주상절리 형성 메커니즘에 의해 수직 및 수평 방향의 크고 작은 균열들이 다량 발달해 있다. 또한 입석대 주상절리대는 해발 1,017 m의 고도에 위치하기 때문에 온도와 습도는 물론 풍향과 풍속 등 날씨 변화에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다. 이러한 영향은 주상절리 표면의 박리 현상을 일으켜 풍화 현상을 가속시키기도 하며, 기존의 균열을 확대시키거나 전파시킬 수 있기 때문에 장기적 관점에서 볼 때 주상절리 안정성에 위협의 요인이 될 수 있다. 이러한 점을 고려하여 주상절리 내 존재하는 균열 상태를 파악하여 주상절리 안정성을 평가하기 위해 균열의 거동 모니터링을 실시하였다.

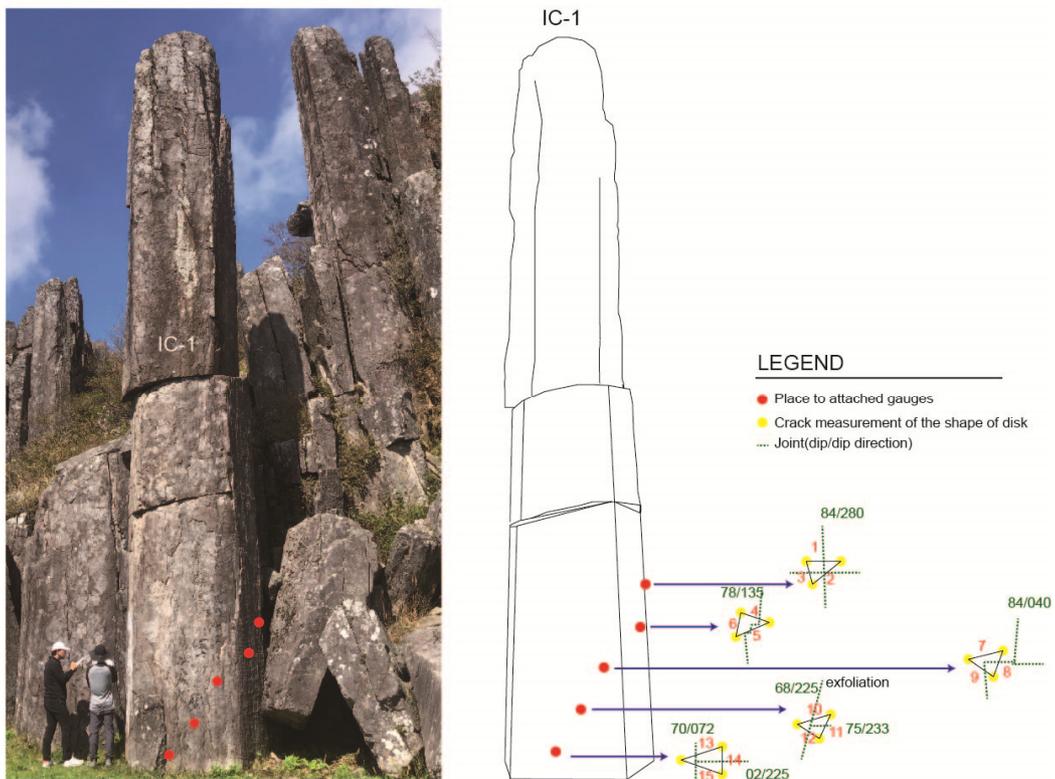


Fig. 11. Photograph and sketch of the location of the crack pointers adhered on Ipseak-dae columnar joint, IC-1.

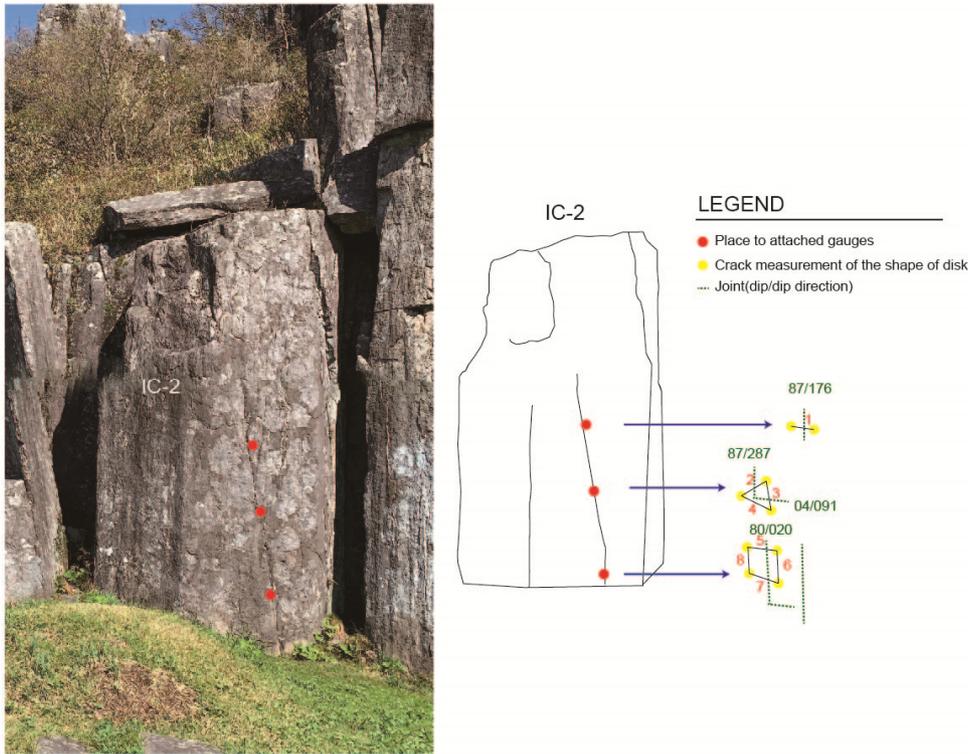


Fig. 12. Photograph and sketch of the location of the crack pointers adhered on Ipseak-dae columnar joint, IC-2.

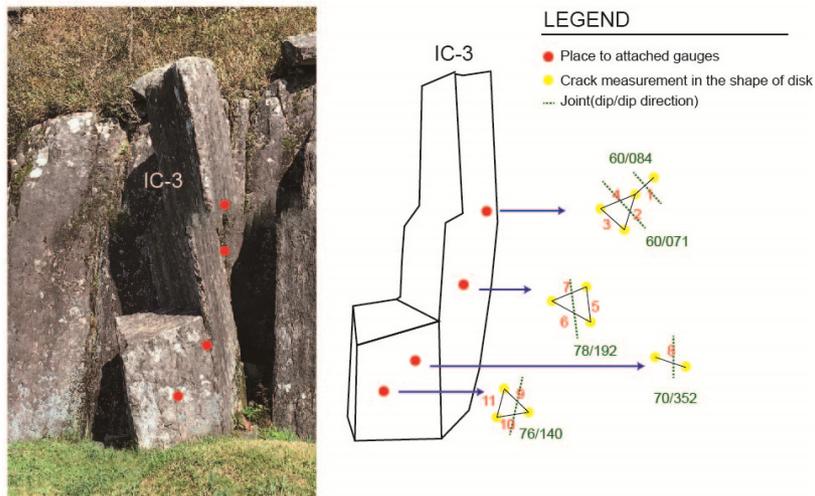
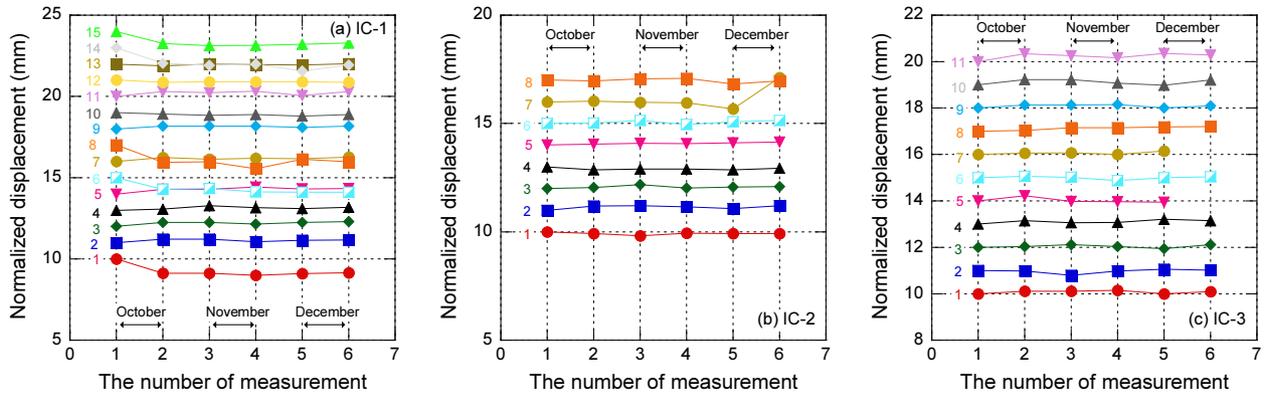


Fig. 13. Photograph and sketch of the location of the crack pointers adhered on Ipseak-dae columnar joint, IC-3.

균열 거동 모니터링은 입석대 주상절리 중 3개 주상절리 블록(IC-1, IC-2, IC-3)을 선정한 후, 12지점에 균열포인트(crack pointer)를 부착(Figs. 11~13)한 다음, 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 측정 시기는 2019년 9월~12월까지 총 6회 측정하였다. 균열 측정 결과를 정리하면 Table 5와 같으며, 이들 데이터를 Fig. 14 그래프로 나타내었다. 균열 측정 결과에 따르면, 주상절리 블록 IC-1, IC-2, IC-3 모두에서 초기값으로부터 약 1 mm 이하의 변위 차가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 변위 차는 균열의 변화에 기인하였다기 보다 측정할 때 발생한 오차라고 판단된다. 즉, 6회에 걸쳐 측정된 데이터만을 고려할 때, 주상절리 내 균열의 거동은 발생하지 않음을 의미한다.

**Table 5.** Results of crack pointer monitoring measured at Ipseok-dae columnar joints, IC-1, IC-2, and IC-3

Columnar joints	IC-1						IC-2						IC-3					
Number of measurement	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Number of crack pointer	Normalized displacement (mm)																	
1	10.0	9.1	9.1	9.0	9.1	9.2	10.0	9.9	9.8	10.0	9.9	9.9	10.0	10.1	10.1	10.2	10.0	10.1
2	11.0	11.2	11.2	11.1	11.1	11.2	11.0	11.2	11.2	11.2	11.1	11.2	11.0	11.0	10.8	11.0	11.1	11.0
3	12.0	12.2	12.3	12.1	12.3	12.3	12.0	12.1	12.2	12.0	12.1	12.1	12.0	12.0	12.1	12.0	12.0	12.1
4	13.0	13.1	13.3	13.1	13.1	13.2	13.0	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	13.0	13.2	13.1	13.1	13.2	13.2
5	14.0	14.3	14.3	14.4	14.3	14.3	14.0	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.0	14.2	14.0	14.0	13.9	-
6	15.0	14.3	14.3	14.1	14.1	14.1	15.0	15.0	15.2	15.0	15.1	15.2	15.0	15.1	15.0	14.9	15.0	15.0
7	16.0	16.2	16.1	16.2	16.2	16.3	16.0	16.0	16.0	16.0	15.7	16.1	16.0	16.1	16.1	16.0	16.2	-
8	17.0	16.0	16.0	15.6	16.1	16.0	17.0	17.0	17.1	17.1	16.8	17.0	17.0	17.0	17.2	17.2	17.2	17.2
9	18.0	18.2	18.2	18.2	18.1	18.2							18.0	18.1	18.1	18.2	18.0	18.1
10	19.0	18.9	18.9	18.9	18.8	18.9							19.0	19.2	19.2	19.1	19.0	19.2
11	20.0	20.3	20.2	20.3	20.1	20.3							20.0	20.3	20.3	20.2	20.4	20.3
12	21.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9												
13	22.0	21.9	22.0	22.0	21.9	22.0												
14	23.0	22.0	21.9	22.0	21.6	21.9												
15	24.0	23.3	23.1	23.1	23.2	23.3												



**Fig. 14.** Results of crack pointer monitoring measured at Ipseok-dae columnar joints, (a) IC-1, (b) IC-2, (c) IC-3.

**결론**

세계지질공원인 무등산국립공원 내 주상절리대의 공학적 특성을 살펴보기 위하여 주상절리 구성 암석인 무등산응회암에 대한 물리·역학적 성질 파악, 주상절리 강도와 풍화정도 산정, 그리고 주상절리 내 발달하고 있는 균열의 거동 상태를 모니터링하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. 무등산응회암의 물리적 성질 결과에 의하면, 평균 공극률은 1.02%, 평균 흡수율은 0.38%, 평균 비중은 2.69 g/cm<sup>3</sup>, 그리고 평균 탄성파속도는 약 4,948 m/s로 나타났다. 역학적 성질의 경우 평균 일축압축강도는 약 337 MPa, 평균 탄성계수는 약 62 GPa, 평균 포아송비는 0.29로 나타났다. 평균 압열인장강도는 19.1 MPa를 보였으며, 삼축압축강도는 구속압 2 MPa일 때 390 MPa, 4 MPa 구속압 상태에서 평균 443 MPa를 나타냈다.

일축 및 삼축압축강도와 압열인장강도 자료를 Mohr-Coulomb 기준에 도시하여 점착력과 내부마찰각을 구한 결과 평균 점착력은 41.3 MPa, 평균 내부마찰각은 62.8°로 나타났다. 입석대 주상절리대의 강도와 풍화정도를 산정하기 위해 비파괴 강도시험인 실버슈미트해머시험을 실시한 결과, 평균 반발경도 Q값은 49.3으로, 이를 일축압축강도로 환산하면 70.5 MPa로 나타났다. 이 값은 신선한 무등산응회암의 일축압축강도의 약 21%에 해당한다. 주상절리 내 존재하는 균열 상태를 파악하여 주상절리 안정성을 평가하기 위해 입석대 주상절리 3블록에 대해 균열포인터로 균열의 거동 모니터링을 실시한 결과, 변위차가 3블록 모두에서 1 mm 이하 발생한 것으로 나타났다. 이러한 사실은 현재까지 주상절리 내 균열의 거동은 거의 발생하지 않음을 의미한다. 결과적으로 현재 무등산국립공원 입석대 주상절리대의 균열 거동은 매우 미미하게 나타나 안정성에 있어 큰 문제는 없는 것으로 판단된다. 하지만 실버슈미트해머시험 결과에서 알 수 있듯이 무등산은 특유의 온혈현상과 기후 조건에 의해 주상절리 표면의 풍화가 많이 진행된 상태이기 때문에 장기적인 관점에서 풍화 모니터링이 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 사사

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2019R1F1A1048854).

## References

- Ahn, K.S., 2010, Geology and landscape of Mt. Mudeung province park, Korea, The Journal of the Petrological Society of Korea, 19(2), 109-121 (in Korean with English abstract).
- Ahn, K.S., 2014, Distribution and petrology of the columnar joint in South Korea, The Journal of the Petrological Society of Korea, 23(2), 45-59 (in Korean with English abstract).
- Ahn, K.S., Hun, M., Son, J.M., 2014, Geological history and landscape of Mudeungsan National Park, Journal of the Geological Society of Korea, 50(1), 91-105 (in Korean with English abstract).
- Cho, J., Woo, J.S., 2018, Proposal for legal protection of the geosites in national geoparks in Korea, Journal of the Geological Society of Korea, 54(6), 237-256 (in Korean with English abstract).
- Gwangju City, 2013, Report for academic research and listed world heritage on columnar joints around Mt. Mudeung, 1-335.
- ISRM, 1979, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16(2), 135-140.
- Ju, S.O., Woo, K.S., 2016, National geoparks in Korea: current status and their implementation, Journal of Geological Society of Korea, 52(5), 587-607 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.J., Oh, M.S., Park, B.K., 2002, Petrochemistry on igneous rocks in the Mt. Mudeung area, The Journal of the Petrological Society of Korea, 11(34), 214-233 (in Korean with English abstract).
- Ko, C.S., Kim, M., Noh, J., Kang, S.S., 2016, Physical and mechanical properties on Ipseok-dae columnar joints of Mt. Mudeung National Park, The Journal of Engineering Geology, 26(3), 383-392 (in Korean with English abstract).
- KSRM, 2010, Rock standard test method, Korea Society for Rock Mechanics, 1-123.
- Lee, J.K., Woo, K.S., Lee, H.K., 2019, Present status and future improvement directions of educational signboards at geoheritage sites in protected areas of Korea, Journal of the Geological Society of Korea, 55(1), 37-57 (in Korean with English abstract).

Lim, C., Huh, M., Yi, K., Lee, C., 2015, Genesis of the columnar joints from welded tuff in Mount Mudeung national geopark, Republic of Korea, *Earth, Planets and Space*, 152, 15.

Park, M.Y, 2018, A study on improvement of management system of Cheongsong UNESCO global geopark, *The Geographical Journal of Korea*, 52(3), 319-328 (in Korean with English abstract).

UNESCO, 2020, <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>.