

국내 고속도로현장의 스웰링에 의한 풍화민감도 분석

Analysis of Weathering Sensitivity by Swelling of Domestic Highway Sites

장석명¹⁾ · 한희수[†]

Seokmyung Jang · Heuisoo Han

Received: January 6th, 2022; Revised: January 20th, 2022; Accepted: February 7th, 2022

ABSTRACT : This study aims to observe the swelling representative rocks in Korea and to suggest improvements in the use of test methods and prior analysis in relation to the weathering of rocks. The swelling test and analysis were performed on the drilling cores obtained for the ground investigation at the domestic highway construction site. For the method of determining the absorption expansion index of rocks, the method proposed in “Standard Methods for Sample Collection and Specimen Preparation” of ISRM and Korean Rock Engineers Standard Rock Test Method was used. The specimen for the measurement of the expansion displacement was cylindrical with a height of 10 cm and a diameter of 5 cm. The existing swelling analysis method evaluates the sensitivity to weathering by using the maximum expansion displacement, but since the classification by bedrock grade is unclear, it is reasonable to use the rate of change of the expansion displacement according to the immersion time. It is necessary to conduct an experiment to distinguish between weathering and fault deterioration. In addition, long-term weathering prediction technology for each cancer type is needed through the expansion displacement analysis of the chemical weathering stage.

Keywords : Weathering, Swelling, Highway, Slope, Experiment method

요지 : 본 연구는 국내 대표 암석의 팽윤성을 관찰하고 암석의 풍화와 관련하여 시험법의 활용과 선행 분석의 개선점을 제시하고자 한다. 국내 고속도로 시공현장에서 지반조사를 위해 획득한 시추코어를 대상으로 스웰링시험 및 분석하였다. 연구 시험용 암종의 선정은 암석의 분류기준과 분포면적을 고려하였으며, 화성암은 화강암을 선정하였고 퇴적암은 사암과 이암을 선정하였다. 변성암은 편암과 편마암을 선정하였다. 암석의 흡수팽창지수를 결정하는 방법은 ISRM과 한국암반공학회 표준암석시험법(2005) 중 “암석의 시료채취와 시험편 제작 표준법”에 제안된 방법을 이용하였다. 팽창변위의 측정을 위한 시편은 높이 10cm, 지름 5cm의 원주형이었다. 이에 수직되는 단면에 대해 흡수팽창변형률을 측정하였으며 단면 방향의 변형률은 팽창 방향의 길이를 보정하였다. 본 연구의 스웰링에 의한 풍화민감도 분석 시험 결과, 최대팽창변위보다 변화율이 암석의 팽윤성 판단에 효과적임을 알 수 있었다. 기존 스웰링분석법은 팽창변위의 최고점(최대팽창변위)을 이용하여 풍화민감도를 평가하고 있으나 암반등급별 구분이 불명확하므로 침수시간에 따른 팽창변위의 변화율(기울기)을 이용하는 것이 타당하다. 암반등급의 암석의 등방성과 이방성의 구분, 암종별 장축과 단축의 팽창변위(차이)를 활용한 풍화 특성의 판별이 필요하다. 풍화변질과 단층변질을 구분한 실험이 필요하며 이를 위해 선행적으로 구성 광물의 정량 분석이 필요하다. 또한, 화학적 풍화 단계의 팽창변위 분석을 통한 암종별 장기풍화 예측기술이 필요하다.

주요어 : 풍화, 스웰링, 고속도로, 사면, 시험방법

1. 서론

비탈면의 붕괴는 암종, 지질공학적 특성인 암반의 불연속면, 충전물질, 마찰각, 풍화상태 등의 내적요인과 강우, 굴착, 진동 등의 외적요인에 영향을 받는다. 비탈면의 설계와 시공과정에서는 지반의 내적 요인과 외적 요인에 기초한 한계평형이나 수치해석 등의 설계이론을 반영하여 합리적인 시공과 보강 방안을 적용한다. 그러나 지반은 불균질성이 큰 매질로 되어 있고, 설계와 시공에 선행한 지반조사에서는

지반의 불균질성을 적절한 수준으로 판단할 수 없다는 문제가 있다. 그러므로 시공 전에 수행되어야 하는 비탈면의 설계에서는 비탈면의 상태에 대한 추측이 지나치게 단순화된 조사과정의 도출 결과를 적용함으로써 실제의 상태변화와 예측결과와의 사이에서 차이가 발생하며 때로는 붕괴사고라는 자연재해를 가져오기도 한다(National Disaster Management Research Institute, 2010; You et al., 2009).

국내에서 발생한 비탈면 붕괴사고의 빈도는 암석의 분포면적과 유의적인 상관성을 보인다. 그런데 이방성이 큰 이암,

1) The Director of the headquarters, Chungbuk headquarters, Korea Expressway Corporation

† Professor, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology (Corresponding Author : hanhs@kumoh.ac.kr)

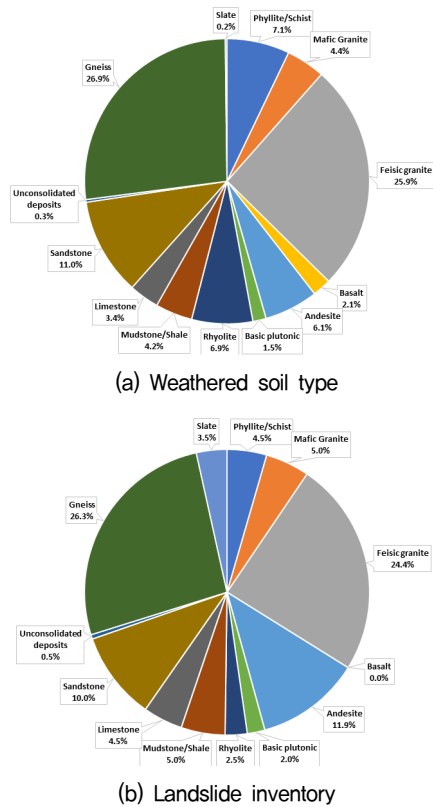


Fig. 1. Distribution of domestic rock type and frequency of slope collapse (You et al., 2009)

점판암 등은 암석이 점유하는 면적에 비해 붕괴 빈도가 높게 나타난다(Fig. 1). 따라서 지반의 조건에 적합한 풍화도의 예측과 지반정수 저감 특성을 정량화 한 설계 및 시공, 유지관리의 방안이 필요하다(Kim et al., 2013).

짜기비탈면이나 자연비탈면과 같이 노출된 암석은 수분과의 접촉이 용이하며 습윤과 건조과정의 반복으로 변형이 발생한다. 특히 강우 시 지표수의 영향을 받는 암석은 수분의 흡수에 따른 팽창변위가 발생한다. 암석의 풍화민감도 분석법 중 물리적 시험법으로 팽창변위를 활용하여 현재상태의 진단과 장기풍화의 예측법으로 사용하고 있으나 시험의 종류, 횟수 등 명확한 기준이 없어 현장에서는 시험결과의 활용에 어려움이 있다(Choi, 2011; Jang, 2003; Um, 2012). 본 연구는 국내 대표 암석의 팽윤성을 관찰하고 암석의 풍화와 관련하여 시험법의 활용과 선행 분석의 개선점을 제시하고자 한다.

2. 대표 암종 선정

풍화민감도 시험 연구의 대상 암종은 성인(成因)에 따라 화성암 1종, 변성암 2종, 퇴적암 2종으로 제안되어 있다. 연구를 위해 분석할 암종을 선정하고 시료를 채취하기 위해서는

Table 1. Distribution area ratio and distribution ranking by cancer type in the Geotechnical Chart

Classification	Rock type	Distributed area ratio	Ranking
Igneous rock	Granite	Bulguksa granite	4.4%
		Daebo Granite	25.8%
	Hypabyssal rock, plutonic rocks	1.5%	10
	Basalt	2.1%	9
	Andesite	6.1%	6
Metamorphic rock	Rhyolite	6.9%	5
	Slate	0.2%	12
	Phyllite/Schist	7.1%	4
	Gneiss	26.8%	2
Sedimentary rock	Coal measure	0.2%	13
	Sandstone	11.0%	3
	Mudstone/Shale	4.2%	7
	Limestone	3.4%	8
	3rd generation unconsolidated layer	0.3%	11

국립재난안전연구원(2010)의 지질공학도를 이용하였다. 이는 전국의 암석을 공학적 특성에 따라 함탄층을 제외하고 13개 암종으로 단순화하여 정리한 것이다(National Disaster Management Research Institute, 2010).

연구 시험용 암종의 선정은 암석의 분류기준과 분포면적을 고려하였는데, 암종별 국내 분포 면적비는 Table 1과 같다. 화성암 중에는 면적비가 가장 넓은 화강암을 선정하였고 퇴적암은 입자의 크기와 면적비를 고려하여 사암과 이암을 선정하였으며 변성암은 변성 정도를 반영하여 편암과 편마암을 선정하였다.

이번 연구에서는 동일한 풍화조건의 시료를 분석하기 위해 고속도로 시공현장에서 지반조사를 위해 획득한 시추코어를 대상으로 하였다.

물리적·화학적 풍화민감도 시험을 위해서는 암종별로 경암, 연암, 풍화암의 시료를 채취하였다. 이 중 일부 시료는 연속된 암반등급을 이루지는 못하였다.

연구대상 현장의 목록은 Table 2와 같다.

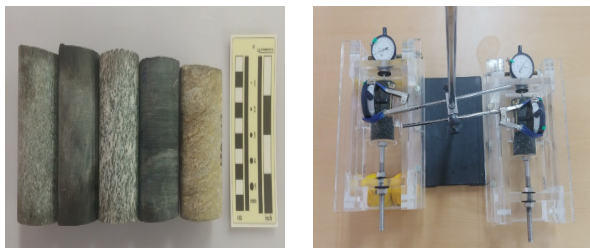
3. 스웰링 시험

3.1 스웰링 시험 방법

암석의 흡수팽창지수를 결정하는 방법은 ISRM과 한국암반공학회 표준암석시험법(2015) 중 “암석의 시료채취와 시험편 제작 표준법(Korean Society for Rock Mechanics, 2005)”

Table 2. Research target highway route

Number	Section name		Length (km)	Period
1	Hwado-YangPyeong	Joan-myeon, Namyangju-si, Gyeonggi-do, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do (1-3area)	17.6	2014-2020
2	Yongin-Guri	Guri-si, Hanam-si, Gwangju-si, Yongin-si, and Gangdong-gu, Seoul, Gyeonggi-do (7-14 area)	38.1	2016-2022
3	Anseong-Yongin	Anseong-si and Yongin-si, Gyeonggi-do (1-6 area)	34.1	2017-2022
4	Pohang-Yeongdeok	Pohang-si and Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do (1-5 area)	30.9	2016-2023
5	Daegu Beltway	Daegu Metropolitan City, Chilgok-gun, Gyeongsangbuk-do (1-7 area)	32.5	2014-2020
6	Gwangju Beltway	Gwangju Metropolitan City, Jeollanam-do Jangseong-gun (1-2 area)	9.7	2015-2022
7	Gangjin-Gwangju	Jeollanam-do Gangjin-gun, Yeongam-gun, Naju-si, Gwangju Metropolitan City (1-7 area)	51.1	2017-2024
8	Asan-Cheonan	Asan-si, Cheonan-si, Chungcheongnam-do (1-5 area)	20.9	2015-2022
9	Paju-Yangju	Gyeonggi-do Paju-si, Yangju-si (1-4 area)	24.8	2017-2023
10	Saemangeum-Jeonju	Jeonbuk Gimje-si, Wanju-gun, Jeonju-si (1-8 area)	55.1	2018-2023
11	Miryang-Ulsan	Gyeongnam Miryang-si, Yangsan-si, Ulsan Metropolitan city (1-10 area)	45.2	2014-2020
12	Changnyeong-Miryang	Gyeongsangnam-do Changnyeong-gun, Miryang-si (1-6 area)	28.5	2016-2023
13	Hapcheon-Changnyeong	Gyeongnam Hapcheon-gun, Uiryeong-gun, Changnyeong-gun (7-12 area)	36.8	2017-2024
14	Hamyang-Hapcheon	Gyeongnam Hamyang-gun, Geochang-gun, Hapcheon-gun (1-6 area)	34.1	2017-2024



(a) Sample preparation (b) Swelling test

Fig. 2. Swelling test

에 제안된 방법이다. 이를 이용하여 팽윤성 분석을 수행하였다(Fig. 2).

팽창변위의 측정을 위한 시편은 높이 10cm, 지름 5cm의 원주형이다. 이에 수직되는 단면에 대해 흡수팽창변형률을 측정하였으며, 단면 방향의 변형률은 팽창 방향의 길이를 보정하였다. 팽창변위의 측정은 정밀 변위계(Micrometer dial gauge, Japan)를 사용하였으며 시편 축과 일치하도록 표시 측정점 사이의 거리는 방향별로 1.0mm 이상의 정밀도로 측정하였다. 원주형 시편의 상부까지 물을 채운 후, 횡방향의 구속 상태에서 시간 경과에 따른 흡수팽창변위를 측정하였다. 이때, 흡수팽창변위는 24시간 동안 연속으로 측정하였다. 팽창에 의한 변형률은 Eq. (1)과 같이 계산된다. 이때, d 는 시험 중 측정된 최대 흡수팽창 변위이며, L 은 시편의 초기 두께이다.

$$\text{흡수팽창변형률(Swelling strain index)} = \frac{d}{L} \times 100\% \quad (1)$$

팽창변위의 측정은 완전구속 및 횡방향 구속상태의 흡수 팽창압 측정과 구속이 없는 상태에서의 흡수팽창을 측정으로 구분되며 전자는 코어 형태의 원주형 시편에 주로 이용되며 후자는 정육면체 시편에 이용된다. 본 연구에서는 원주형 코어시료를 사용하였고 횡방향 구속상태에서 변위를 측정하였다.

원주형 시편의 상부까지 물을 채운 후, 시편에 일정한 압력(3kPa)을 가한 후 시간 경과에 따른 흡수팽창변위를 측정하였다. 흡수팽창변위는 24시간 동안 연속 측정하였다. 팽창에 따른 흡수팽창변형률의 측정방법은 Eq. (1)로 제시하였다.

팽창변위의 측정을 위한 시편은 높이 10cm, 지름 5cm의 원주형 시편을 사용하였으며, 장축 방향과 장축과 수직되는 단면에 대한 흡수팽창변형률을 측정하였는데 단면 방향 변형률은 Eq. (1)에서 팽창 방향의 길이를 보정하였다. 시험은 화성암(1종, 화강암), 퇴적암(2종, 사암 및 셰일), 변성암(2종, 편암 및 편마암)의 연암과 경암에 대해 시추에서 획득한 원상태의 팽창변위를 측정하였으며, 퇴적암 중 셰일은 4회의 산침수·동결융해를 수행한 후 변형률을 측정하여 원상태와 비교하였다(Table 3).

팽창변위의 측정은 정밀변위계(Micrometer dial gauge,

Table 3. Swellability test samples for each type of rock

Classification	Granite	Sandstone	Shale	Schist	Gneiss	Sum
Hard rock	2	2	2	2	2	10
Soft rock	2	2	3	3	2	12
Sum	4	4	5	5	4	22

Japan)를 사용하였으며, 시험편 측과 일치하도록 표시측정 점 사이의 거리는 방향별로 1.0mm 이상의 정밀도로 측정하였다.

3.2 팽윤성 시험 결과

팽윤변위의 측정을 위해 준비된 원주형 시편을 24시간 풍건조하여 구속압 상태의 용기에 설치한 후 용기를 물로 포화시킨 후 일정 시간 간격으로 변위를 측정하였다. 압중과 암반등급에 관계없이 시험 초기에는 팽창변위가 크게 관찰되는데 이는 풍건조 이후 수분이 흡수되는 과정의 팽창변위로 판단된다. 압중과 암반등급(연암, 경암)의 스웰링(팽창변위) 시험은 각 2개를 대상으로 수행하였고(Fig. 3) 압중별로 구분하여 결과를 설명하였다.

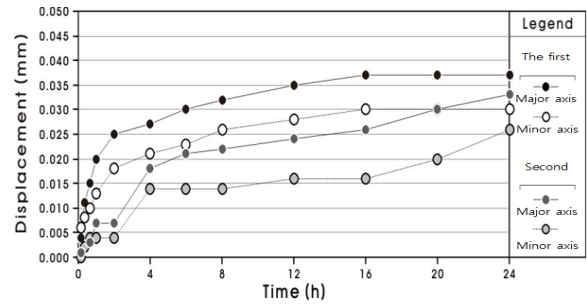


Fig. 3. Swelling sample preparation

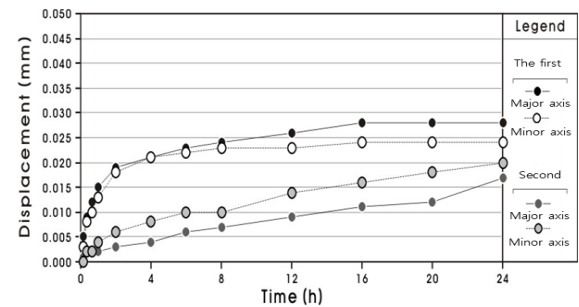
3.2.1 화성암 : 화강암

화강암은 균질 등방성의 암석으로 장축 방향의 팽창과 단면(단축) 방향의 팽창 정도가 유사하게 관찰되며, 경암과 연암에서 뚜렷한 구분은 관찰되지 않는다. 화강암 경암의 최대팽창변위는 28μm이며, 연암은 37μm로 약간의 차이가 나타나지만 뚜렷한 경향이 나타나지 않는다. 또한 화강암 연암의 2회차의 최대팽창변위는 경암의 1회차 최대 팽창변위보다 크게 나타나고 있어 암반등급에 따른 팽창변위를 특정하기 어렵다. 반면 시간에 따른 팽창변위의 증가율은 화강암 경암에서 12시간 이후 증가율이 급격하게 감소하며 연암은 지속적으로 증가하는 추세를 보여준다. 즉 화강암에서 경암과 연암의 차이는 최대팽창변위 1회차보다 시간에 따른 팽창율이 암반등급을 구분하는데 효과적이다(Fig. 4). 실험에서 경암의 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 0.0030%이며, 연암은 0.037%로 계산된다(Table 4).

스웰링 시험에서 시험초기 팽창변위가 크게 나타나며 실험 조건(회차)에 따라 상이하다. 이러한 문제는 실험 직전 시료의 전처리와 관련한 문제인데 결과의 재현성을 확보하기에 필수적인 동일조건도의 시료 상태를 유지하기가 매우 어렵고 풍화가 암석의 장기적인 변화를 예측하는 과정이므로 스웰링 시험의 초기변화는 해석에서 제외하는 것이 합리적



(a) Granite (Hard rock)



(b) Granite (Soft rock)

Fig. 4. Changes in expansion displacement of granite

Table 4. Absorption expansion strain of granite

Rock type	Classification	Hard rock		Soft rock	
		Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
Granite	The first	0.030	0.024	0.037	0.030
	Second	0.016	0.020	0.031	0.026

이다. 이렇게 할 경우 스웰링 시험의 초기팽창변위는 최대 팽창변위량의 절편이 되고 절편값을 보정한 후 팽창변위를 평가하는 것이 타당하다.

즉, 기존 스웰링 분석법은 팽창변위의 최고점(최대 팽창변위)을 이용하여 풍화민감도를 평가하고 있으나 암반등급별 구분이 불명확하므로 침수시간에 따른 팽창변위의 변화율(기울기)을 이용하는 것으로 개선하는 것이 타당하다.

3.2.2 퇴적암 : 사암

사암은 장축 방향과 단면(단축) 방향의 팽창보다는 층리와 예각으로 사교하는 단축 방향의 팽창이 크게 관찰된다. 경암의 장축 방향 최대 팽창변위는 26μm이며, 연암은 49μm 이상으로 연암에서 증가한다. 그러나 화강암과 마찬가지로 연암 2회차의 최대 팽창변위가 경암과 구분되지 않는다.

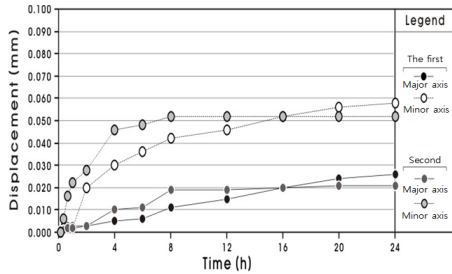
시간에 따른 팽창변위의 증가율은 화강암 경암에서 수침 8시간 이후 증가율이 일정한 반면 연암은 점이적으로 증가한다(Table 5). 실험에서 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 시편의 전체 길이에 비해 경암은 0.026%, 연암은 0.046%

Table 5. Absorption expansion strain of granite

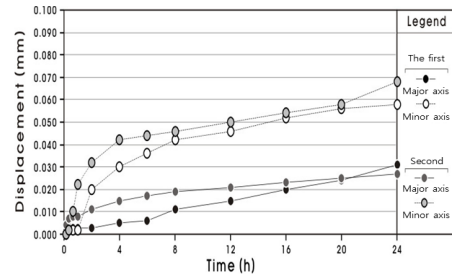
Rock type	Classification	Hard rock		Soft rock	
		Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
Sand stone	The first	0.026	0.058	0.046	0.052
	Second	0.020	0.052	0.029	0.068

Table 6. Absorption expansion strain of Shale

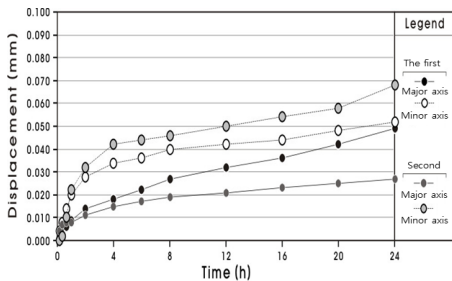
Rock type	Classification	Hard rock		Soft rock	
		Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
Shale	The first	0.032	0.058	0.174	0.340
	Second	0.028	0.068	0.085	0.300



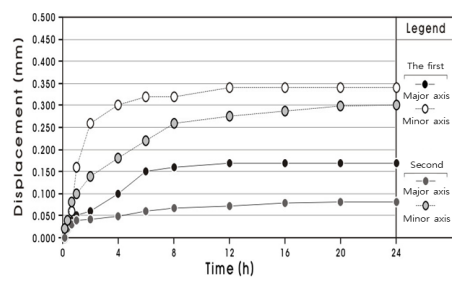
(a) Sandstone (Hard rock)



(a) Shale (Hard rock)



(b) Sandstone (Soft rock)



(b) Shale (Soft rock)

Fig. 5. Changes in expansion displacement of Sandstone

Fig. 6. Changes in expansion displacement of Shale

이며, 단축 방향으로 경암 0.058%, 연암 0.068%로 이 둘 사이의 차이가 거의 나타나지 않는다(Fig. 5).

사암의 경우도 스웰링 시험에서 시험초기 팽창변위가 크게 나타나고 실험 조건(회차)에 따라 상이하므로 실험의 재현성 확보와 풍화의 장기적인 변화를 예측하기 위해 스웰링 과정의 초기변화는 해석에서 제외하는 것이 바람직하다.

3.2.3 퇴적암 : 셰일

셰일은 층리를 가지므로 이방성이 큰 암석에 해당하며 스웰링 시험에서 장축에 비해 단축 방향의 팽창변위가 2배 정도 크게 관찰된다. 실험에 사용한 원주형 시편은 층리가 10~30° 경사각을 가지고 있어 습윤 시 층리의 이완으로 층리에 수직한 팽창이 우세할 것으로 예상했으나 시험 결과는 층리 방향 팽창이 우세하였다.

물리적·화학적 풍화에서는 층리 방향으로의 쪼개짐이 발달한다. 변형이 수반되는 풍화에서는 층리에 수직되는 방향으로 발생한다. 이에 반해 일정한 구속압이 작용하는 스웰링 시험에서의 팽창변위는 층리 방향이 우세하다. 셰일 경암의 장축 방향 최대 팽창변위는 31 μ m이며, 연암은 170 μ m 정도로 사암이나 화강암과 유사하다. 단축 방향의 팽창변위는

경암 68 μ m, 연암 340 μ m로 더 커지는데 특히 연암에서 더 큰 폭으로 증가했다.

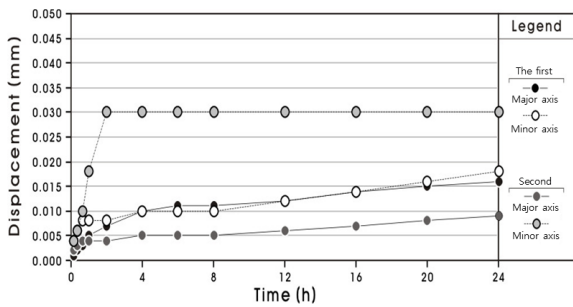
시간에 따른 팽창변위의 증가는 화강암 경암의 경우 수침 8시간 이후에 일정한 반면 연암은 점이적으로 증가한다(Fig. 6). 실험에서 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 시편 길이에 비해 경암 0.032%, 연암은 0.174%이며, 단축 방향으로서는 경암 0.068%, 연암 0.300%의 값을 보여준다(Table 6).

셰일의 팽창변위는 사암이나 화강암과는 달리 수침 후 8시간까지 지속적으로 증가하며 이후에는 증가량의 변화가 관찰되지 않는 것이 특징적이다. 즉 셰일은 스웰링 과정에서 층리 방향의 변위 증가가 우세하며 팽창변위의 대부분이 수침 초기에 발생한다는 것을 알 수 있다. 시료의 전처리 과정을 동일하게 했는데도 전체적인 팽창은 화강암에 비해 증가하였고 장축 방향 팽창은 오히려 작은 값을 보였다. 이는 셰일이 가지고 있는 이방성이 원인인 것으로 판단된다. 셰일도 다른 암석과 마찬가지로 회차별로 변위량의 차이가 나타난다. 이는 선행된 여러 조사에서도 나타나는 공통적인 특징으로 풍화민감도 분석이 암석의 장기적인 변화를 예측하는 것인 만큼 스웰링 시험의 해석법에 대한 재평가가 필요하다.

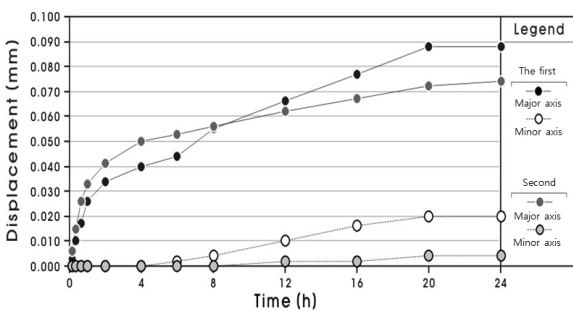
3.2.4 변성암 : 편암

편암은 엽리가 발달한 변성암이므로 이에 따른 이방성이 있다. 실험의 결과는 선택적인 이방성이었다. 즉, 1회차 실험에서는 장축과 단축 방향의 팽창 정도가 거의 같았던 반면 2회차 실험에서는 단축 방향의 팽창변위가 더 크게 관찰된다. 실험에 사용한 원주형 시편의 엽리는 20~50° 경사각을 가지고 있어 특정할 수 없으나 엽리면이 이완되지 못한 상태에서 불연속면 방향으로 팽창이 활발해진 것으로 추정된다(Fig. 7).

편암의 장축 방향 최대 팽창변위는 경암의 경우 16μm이며, 연암은 88μm로서 연암에서 팽창변위가 증가하였다. 특히 장축 방향의 증가가 두드러진다. 이는 풍화로 인해 엽리가 이완되어 침수 시 수분이 효과적으로 침투한 결과로 해석된다. 반면 단축 방향의 팽창변위는 경암에서 크게 관찰되어 풍화 정도와의 상관성을 확인할 수 없었다. 실험에서 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 시편길이 대비 경암, 0.016%, 연암은 0.097%이며, 단축 방향으로서는 경암 0.030%, 연암 0.020%의 팽창률을 보여준다(Table 7).



(a) Schist (Hard rock)



(b) Schist (Soft rock)

Fig. 7. Changes in expansion displacement of Schist

Table 7. Absorption expansion strain of Schist

Rock type	Classification	Hard rock		Soft rock	
		Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
Schist	The first	0.016	0.018	0.097	0.020
	Second	0.009	0.030	0.081	0.004

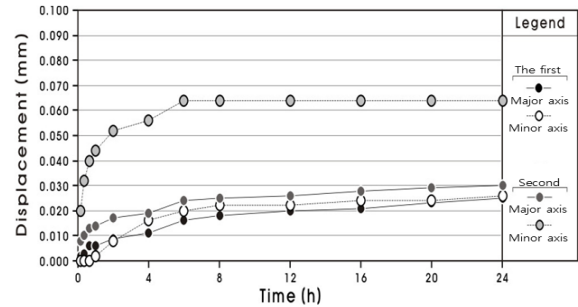
3.2.5 변성암 : 편마암

편마암은 편리와 엽리가 발달한 고변성암으로 편암보다 변성도가 높아 치밀 견고한 조직을 가진다. 스웰링 시험에서 장축과 단축의 팽창 정도가 거의 유사한 등방성을 보여주었다. 그러나 한편으로 편암과 유사한 선택적 이방성이 관찰되는데 1회차 실험에서 장축과 단축 방향의 팽창 정도가 거의 같았던 반면, 2회차 실험에서 장축에 비해 단축 방향의 팽창변위가 더 크게 관찰되었다(Fig. 8).

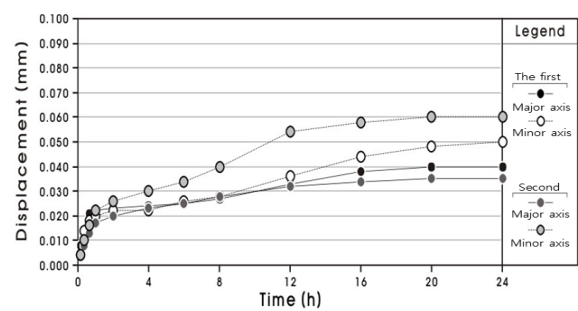
실험에서 관찰된 편마암 경암의 장축 방향 최대 팽창변위는 30μm이고, 연암의 경우는 40μm이었다. 연암에서 팽창변위가 다소 증가했는데 장축과 단축의 변위는 유사했다. 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 경암 0.030%, 연암은 0.039%로서 경암에 비해 연암에서 30% 정도 팽창변위가 증가했다(Table 8).

3.3 강제풍화에 의한 팽창율 : 편암, 셰일

산침수·동결융해 4회차 암종(편암, 셰일)과 암반등급(연암)에 대해 스웰링(팽창변위) 시험을 수행하였다.



(a) Gneiss (Hard rock)



(b) Gneiss (Soft rock)

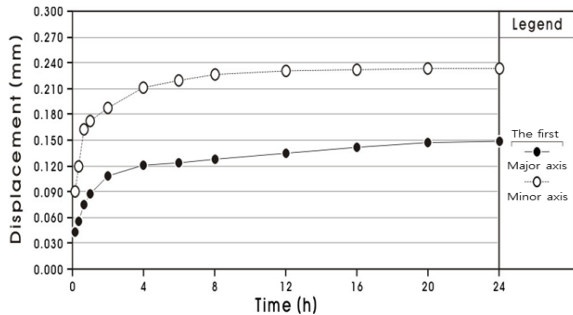
Fig. 8. Changes in expansion displacement of Gneiss

Table 8. Absorption expansion strain of Gneiss

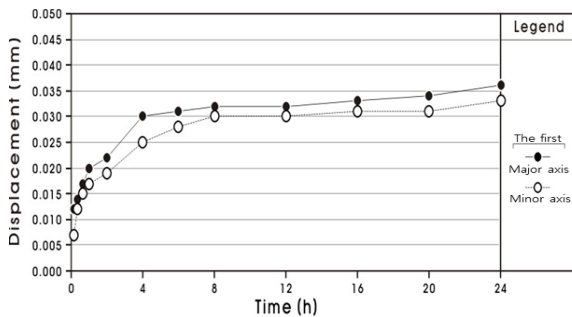
Rock type	Classification	Hard rock		Soft rock	
		Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
Gneiss	The first	0.028	0.026	0.039	0.050
	Second	0.030	0.064	0.034	0.060

Table 9. Absorption expansion strain of acid immersion/freeze-thaw samples

Classification	Shale (Soft rock)		Schist (Soft rock)	
	Major axis (%)	Minor axis (%)	Major axis (%)	Minor axis (%)
The first	0.146	0.234	0.036	0.033



(a) Shale (Soft rock)



(b) Schist (Soft rock)

Fig. 9. Changes in expansion displacement of acid immersion/freeze-thaw samples

세일은 스웰링 시험에서 장축에 비해 단축 방향의 팽창변위가 크게 관찰되었는데 장축 방향의 최대팽창 변위는 148 μ m, 단축 방향의 최대팽창 변위는 234 μ m이었다. 실험에서 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 0.146%, 단축 방향으로서는 0.234%였다(Fig. 9, Table 9).

편암은 장축 방향의 최대팽창 변위는 36 μ m, 단축 방향의 최대팽창 변위는 33 μ m로 팽창 정도가 거의 유사한 것으로 나타났다. 실험에서 장축 방향 최대 흡수팽창변형률은 0.036%, 단축 방향으로 0.033%의 팽창률을 보여준다(Fig. 9, Table 9).

3.4 암종별 스웰링 시험의 문제점 및 개선점

암종별 스웰링 시험에서 화강암과 편마암은 원주형 시편의 장축과 단축 방향의 팽창변위가 거의 값은 균질등방성을 보였고 세일과 편암은 장축과 단축의 최대 팽창변위가 서로 다른 이방성이 뚜렷하다.

스웰링 시험 과정에서 수침 초기 팽창변위가 크고 또 경암과 연암의 팽창변위에서 차별성이 불분명한 점은 기존에

이용되는 최대 팽창변위 해석법이 부적절함을 지시한다. 실험을 통한 분석법은 재현성이 중요하며 풍화민감도는 암석의 장기적 변화를 예측하는 방법이므로 스웰링 시험의 초기 변화는 해석에서 제외하는 것이 합리적이다. 초기변화를 제외하면 화성암, 퇴적암, 변성암 경암은 수침 시 시간에 따른 팽창변위의 변화가 거의 없는 반면 연암은 지속적으로 팽창변위가 증가한다. 이러한 결과는 최대 팽창변위보다 변화율이 암석의 팽윤성 판단에 효과적임을 보여준다.

세일과 편암은 특징적으로 층리 혹은 엽리를 가진 암석으로서 이방성이 크다. 그 결과 스웰링 시험에서 장축과 단축 방향의 팽창변위의 차이가 뚜렷하게 나타난다. 편암의 경암은 이방성이 선택적으로 나타나며, 연암과 세일은 불연속면과 평행한 단축 방향으로 이방성이 뚜렷하다. 이러한 특성은 풍화를 예측하는 정성적 기준으로 활용할 수 있다.

암석의 팽윤성은 풍화와는 별개로 단층 등의 영향으로 형성된 이차적인 변질점토의 영향이 반영되어 나올 수 있다. 따라서 시료의 선정과 해석상의 주의가 필요하다. 그러나 다른 한편으로는 변질점토의 영향을 판별하는 방법으로 활용될 수 있다.

기존의 풍화민감도 시험법 중 물리적 시험법은 암반등급에 기초한 방법으로 암종별 특성을 반영하지 못한 단점이 있다. 그러나 본 연구에서 적용한 물리적 시험법은 암석의 현재 상태 진단에 활용될 수 있을 것이다. 이를 위해 암석의 특성을 반영한 분석이 필요하다.

4. 결 론

국내 고속도로 시공현장에서 지반조사를 위해 획득한 시추코어를 대상으로 스웰링 시험 및 분석을 진행하였다. 연구 시험용 암종의 선정은 암석의 분류기준과 분포면적을 고려하였으며, 화성암은 화강암을 선정하였고 퇴적암은 사암과 이암을 선정하였으며 변성암은 편암과 편마암을 선정하였다. 암석의 흡수팽창지수를 결정하는 방법은 ISRM과 한국암반공학회 표준암석시험법 중 “암석의 시료채취와 시험편 제작 표준법(Korean Society for Rock Mechanics, 2005)”에 제안된 방법을 이용하였다. 이에 따른 스웰링 분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존 스웰링 분석법은 팽창변위의 최고점(최대 팽창변위)을 이용하여 풍화민감도를 평가하고 있으나 암반등급별 구분이 불명확하므로 침수시간에 따른 팽창변위의 변화율(기울기)을 이용하는 것이 타당하다.

- (2) 암반등급 외 암석의 등방성과 이방성의 구분, 암종별 장축과 단축의 팽창변위(차이)를 활용한 풍화 특성의 판별이 필요하다.
- (3) 풍화변질과 단층변질을 구분한 실험이 필요하며 이를 위해 선행적으로 구성 광물의 정량 분석이 필요하다.
- (4) 화학적 풍화 단계의 팽창변위 분석을 통한 암종별 장기 풍화 예측기술이 필요하다.

References

1. Choi, E. K. (2011), A study on the chemical index of alteration (CIA) and geotechnical properties of igneous rocks by weathering, Ph. D dissertation, Busan University Graduate School, pp. 199 (in Korean).
2. Jang, S. M. (2003), Evaluation of Weathering Intensity and Strength Parameter for Weathered Granite Masses, Ph.D dissertation, Dankook University Graduate School, pp. 179 (in Korean).
3. Kim, S. U., Jung, S. j., Choi, E. K., Kim, S. H., Lee, G. H. and Park, D. G. (2013), An analysis of the current status of disasters occurring on the steep slopes in Korea, Journal of Environmental Science International, Vol. 22, No. 11, pp. 1529~1538 (in Korean).
4. Korean Society for Rock Mechanics (2005), Standard method for sampling and preparation of rock test specimen, Tunnel and underground space, Vol. 15, No. 2, pp. 81~84 (in Korean).
5. National Disaster Management Research Institute (2010), Improvement of Disaster Warning System for Steep Slope, Report, NexGeo Inc, Korea, pp. 304 (in Korean).
6. Um, J. G. (2012), A study of weathering characteristics of cretaceous granite in Kimhae area due to artificial weathering processes, Tunnel and underground space, Vol. 22, No. 1, pp. 32~42 (in Korean).
7. You, B. O., Jeon, G. S., Shim, J. W. and Jang, I. H. (2009), Application on environment-friendly vegetation countermeasures in expressway, Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, pp. 58~69 (in Korean).