

# 스마트 물리탐사 기법을 이용한 토량환산계수 산정

## Estimation of Soil Volume Conversion Factor using Smart Geophysical Exploration Method

류희환\*·진규남\*\*·박성욱\*\*\*·조계춘\*\*\*\*

Ryu, Hee-Hwan · Jin, Kyu-Nam · Park, Sung-Wook · Cho, Gye-Chun

### 요약

국내 풍화지반의 토량환산계수를 정확하고 합리적으로 추정하는 것은 공사의 성패에 있어 매우 중요한 사항이다. 하지만 현업에서는 풍화지반의 풍화도를 정량화하는 것이 어렵고, 토량환산계수를 적용 시 외국의 기준을 사용하는 경우가 빈번하다. 뿐만 아니라, 국내 풍화지반의 토량환산계수에 관한 연구는 아직 미비하여, 끊임없이 토량환산계수의 정확성 및 사용성에 대해 문제 제기가 있어 왔다. 이에 본 연구에서는 TEPS (Tunnel Electrical resistivity Prospecting System)를 이용하여 화강암의 풍화 정도와 전기비저항의 상관관계를 도출하고 풍화지반 내 흙이 차지하는 비율(S/W 비)을 전기비저항과 개괄적으로 상관관계를 맺어 전기비저항을 이용하여 토량환산계수를 산정하는 방법을 제안하였다. 현장 관리자가 풍화지반에서 쉽게 토량환산계수 및 토공량에 관한 정보를 획득할 수 있도록 풍화지반 토공관리프로그램(WEMP)을 개발하고 토량환산계수 측정시스템을 설계하였다.

**keywords** : 풍화지반, 토량환산계수, TEPS, 토공관리프로그램

### 1. 서론

국토 면적의 2/3는 화강암을 기반암으로 하며 많은 공사가 화강토, 화강암 지반에서 수행되고 있다. 풍화가 진행됨에 따라 화강토, 화강암 지반은 모암을 구성하는 광물의 성분비가 달라지며, 이로 인해 공학적 특성의 변화가 다른 지반보다 심한 편이다(Fookes et al., 1988). 이러한 풍화된 화강암 지반의 공학적 특성은 종종 지반 구조물의 안정에 큰 영향을 주게 된다. 암반의 풍화는 풍화가 된 정도에 따라서 Fresh(F), Slightly weathered(SW), Moderately weathered(MW), Highly weathered(HW), Completely weathered(CW), Residual soil(RS), 6단계의 풍화 분류체계를 가진다(Dearman et al., 1978). 풍화 분류체계를 암반의 물성치, 즉 밀도, 비중, 공극률, 공극비, 포화함수비 등과 연관을 맺기 위해서 많은 연구자들이 연구를 수행하고 있다 (Baynes et al., 1978; Lumb, 1983).

\* KAIST 건설 및 환경공학과 박사후 연구원 fbgml@kaist.ac.kr

\*\* 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원 geojin@lh.or.kr

\*\*\* (주)넥스지오 선임연구원 wook@nexgeo.com

\*\*\*\* 교신저자, KAIST 건설 및 환경공학과 부교수 gyechun@kaist.ac.kr

풍화에 의한 공학적 특성의 변화는 토공량을 산정하는데 필요한 토량환산계수에 영향을 준다. 하지만 우리나라 표준 품셈은 주로 외국의 자료를 적용하고 있으며 풍화지반의 경우 토량환산계수 기준이 없어 주로 토사에 준용하여 사용한다. 현행처럼 일률적으로 풍화지반을 풍화암, 토사로 판단하는 것은 경제적으로 큰 손해를 가져올 수 있기 때문에, 본 연구에서는 물의 흐름과 관련성이 높은 전기비저항을 이용하여 화강암의 풍화등급을 산정할 수 있는 방법을 개발하고 토량환산계수를 산정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 현장 관리자가 풍화지반에서 쉽게 토량환산계수 및 토공량에 관한 정보를 획득할 수 있도록 토량환산계수 측정시스템을 설계하였다.

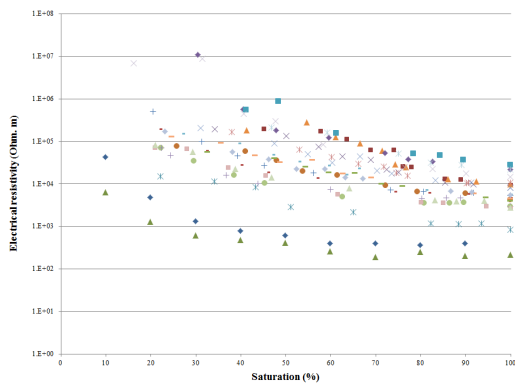
## 2. 풍화도와 전기비저항

풍화도와 전기비저항과의 관계를 규명하기 위해서 행복복합도시 부지 조성공사 현장 1-2 공구 현장에서 시료를 채취하였다. 시료의 풍화도를 획득하기 위해 XRD 실험(화학적 풍화지수) 및 흡수율 시험(물리적 풍화지수)을 수행하였으며(표 1), TEPS (Tunnel Electrical resistivity Prospecting System) 장비를 이용하여 풍화등급이 산정된 각 시료의 전기비저항값을 획득하였다(Ryu, 2010). 각 시료의 풍화도별 측정된 전기비저항값은 그림 1(a)와 같으며, 이를 풍화등급별로 정리하면 그림 1(b)와 같다. 각 풍화등급별 추세선은 다음과 같이 표현된다.

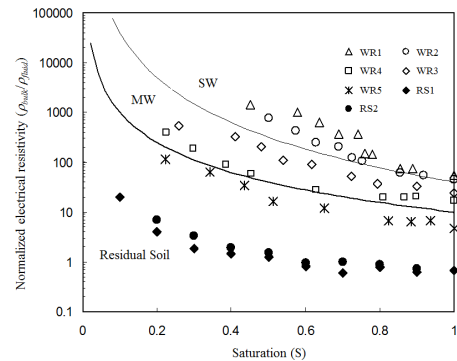
$$\begin{aligned} \text{Boundary line of SW} \quad \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{fluid}} &= 40 \cdot S(\text{saturation})^{-3} \\ \text{Boundary line of MW} \quad \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{fluid}} &= 10 \cdot S(\text{saturation})^{-2} \end{aligned} \quad (1)$$

표 1. 시료별 풍화지수와 풍화등급

시료	흡수율 실험		화학적 풍화지수	
	값	풍화등급	값	풍화등급
WR1	0.3	Slightly	73.269	Highly
WR2	0.48	Slightly	75.523	Highly
WR3	1.24	Moderately	72.123	Highly
WR4	1.9	Moderately	76.830	Highly
WR5	2.86	Highly	79.556	Highly
RS1	-	Soil	82.536	Soil
RS2	-	Soil	86.389	Soil



(a)



(b)

그림 1. 풍화등급과 전기비저항

### 3. 토량환산계수와 전기비저항

풍화지반에 암반과 흙이 병렬로 구성되어 있다고 가정하면(전기비저항이 큰 암반에 영향을 많이 받기 때문), 흙이 풍화지반에 차지하는 구성 비율(S/W비)에 따라 계산되는 전기비저항은 그림 2와 같다. 그림 2를 바탕으로 풍화지반 분류 및 토량환산계수를 획득할 수 있는 방법을 표 2와 같이 제안하였다.

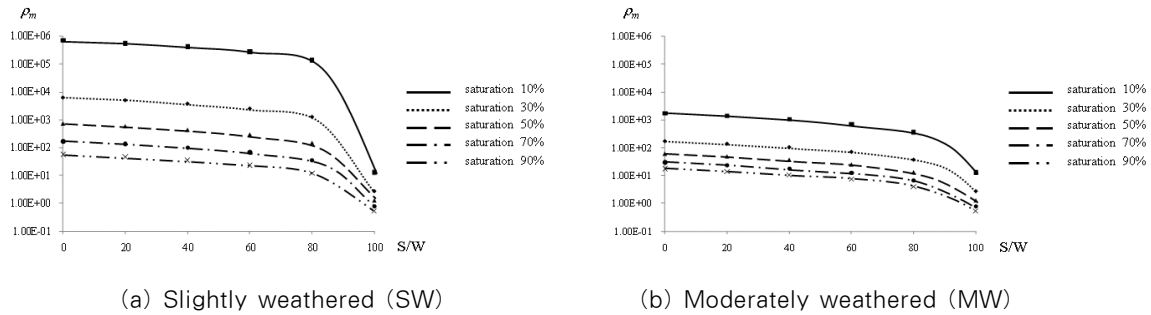


그림 2. 풍화등급별 전기비저항과 S/W비 관계

표 2. 풍화지반 분류방법 및 토량환산계수 제시안

구분	$\gamma$ ( $t/m^3$ )	L (=호트리진 상태의 토량( $m^3$ )/자연 상태의 토량( $m^3$ ))값	C (=다져진 상태의 토량( $m^3$ )/자연 상태의 토량( $m^3$ ))값
점토	1.6	1.20~1.45	0.85~0.95
모래	1.6	1.10~1.20	0.85~0.95
자갈	1.7	1.10~1.20	1.05~1.10
*풍화지반	-	표* 참조	표* 참조
연암	2.3	1.30~1.50	1.00~1.30
보통암	2.4	1.55~1.70	1.20~1.40
경암	2.6	1.70~2.00	1.30~1.50

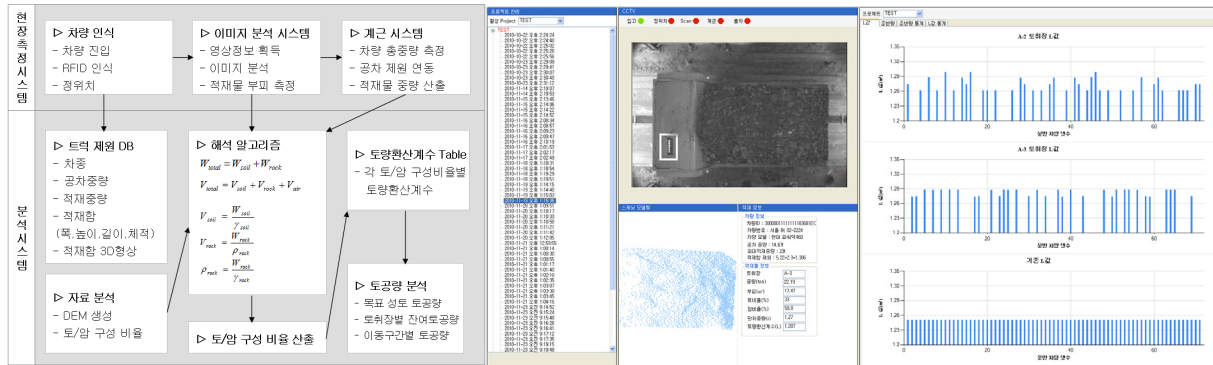
\*풍화지반: 풍화토와 풍화암이 섞여 있는 지반으로 풍화등급 뿐만 아니라, 풍화지반 내 풍화토가 차지하는 비율(S/W비)에 따라서 적용되는 C, L값은 달라진다. 이에 대해서는 표\*를 참조하며 S/W비 산정은 TEPS를 이용한 전기비저항탐사 방법을 사용하도록 권장한다.

표\* 풍화지반의 토량환산계수

구분	S/W비 (%)	C값	L값
풍화토(토사)	80 ~ 100	0.875	1.250
풍 A	60 ~ 80	0.931	1.263
풍 B	40 ~ 60	0.988	1.275
풍 C	20 ~ 40	1.044	1.288
풍화암	0 ~ 20	1.100	1.300

### 4. 토량환산계수 측정 시스템 구축

토량환산계수 측정시스템 개발을 위해 작업공정을 분석하였다. 토취장에서 토와 암이 혼합된 적재물을 실은 덤프트럭이 측정시설에 도착하여, 최종 토량환산계수가 분석되어 지는 과정은 그림 3(a)와 같다. 현장 측정시스템은 무인운용이 가능하도록 차량 진출입을 자동으로 인식하게 설계하였으며, 능동형 RFID를 이용하여 적재함 재원을 자동인식하게 설계함으로써, 작업시간이 최소화 되도록 하였다. 이미지 분석기법을 통해 적재물의 부피를 산출하고 계근을 통해 적재물의 중량을 측정하면 혼합비율 산정식에 의해 토/암 비율 및 공극율이 산출될 수 있도록 풍화지반 토공관리프로그램(WEMP)를 개발하였다. 이와 같이 산출된 토/암 비율을 통해 개선된 토량환산계수값이 산출됨으로써 정량적인 질/성토 토량 예측이 가능해진다.



(a) 토양환산계수 측정시스템 설계안

(b) 풍화지반 토공관리프로그램(WEMP)

그림 3. 토양환산계수 측정시스템

## 5. 결론

본 연구에서는 물의 흐름과 관련성이 높은 전기비저항이 풍화지수, 풍화 정도 등에 밀접한 관련성이 있으며 이들을 결정하는데 유용할 것으로 판단되어, 전기비저항을 이용하여 풍화등급을 산정하고 토양환산계수를 추정하여 토양환산계수 측정 시스템을 개발하고자 하였다. 현장에서 측정된 전기비저항을 이용하여 토양환산계수를 획득할 수 있는 방법이 다음과 같이 제안되었다.

- ㉠ 현장의 암반을 채취하여 성형한 후 포화도를 측정한다.
- ㉡ TEPS를 이용하여 전기비저항을 측정한 후 풍화등급을 산정한다 (그림 1).
- ㉢ 포화도와 전기비저항값을 이용하여 S/W비를 산출 후 토양환산계수 C, L값을 산정한다 (표 2, 그림 2).

또한, 현장 관리자가 풍화지반에서 쉽게 토양환산계수 및 토공량에 관한 정보를 획득할 수 있도록 토양환산계수 측정시스템을 설계하였다. 이는 풍화지반 현장에 구체적이고 세분화된 토양환산계수를 적용함에 따라 현장에 필요한 토공량을 정밀하게 예측할 수 있어 과학적인 토공 품질관리에 기여할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 토지주택연구원, (주)포스코 건설, 그리고 한국과학재단에서 위탁 시행한 스마트 사회기반시설 연구센터(SISTeC)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Baynes, F. J., Dearman, W. R., and Irfan, T. Y. (1978), Practical assessment of grade in a weathered granite, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 18, 101-109.
- Dearman, W. R., Baynes, F. J., and Irfan, T. Y. (1978), Engineering grading of weathered granite, Engineering Geology, 12, 345-374.
- Fookes, P. G., Gourley, C. S., and Ohikere, C. (1988), Rock weathering in engineering time, Quarterly Journal of Engineering Geology, 21(1), 33-57.
- Lumb, P. (1983), Engineering properties of fresh and decomposed igneous rocks from Hong Kong, Engineering Geology, 19(2), 81-94.
- Ryu, H. H. (2010), Development of a tunnel electrical resistivity prospecting system and its application, Doctor thesis, KAIST, Daejeon, Korea.