저변성퇴적암 사면에서 지질특성이 차별풍화에 미치는 영향

정해근¹ · 서용석^{2*} · 임명혁³

¹비회원, 한국수자원공사 K-water 연구원, 연구원

²정회원, 충북대학교 지구환경과학과, 교수

³비회원, 대전대학교 지반방재공학과, 교수

Effect of geological characteristics on differential weathering of low-graded metasedimentary rock slopes

Hae-Geun Jeong¹, Yong-Seok Seo^{2*}, Myung-Hyeok Ihm³

¹K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Researcher

²Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Professor

³Department of Geotechnical Engineering for Disaster Prevention, Daejeon University, Professor

ABSTRACT: This study evaluates correlation between petrographic characteristics and weathering grade of low-graded metasedimentary rocks mainly consisting of phyllite. Weathering grade of rock material was determined based on the results of geological survey. The Schmidt hammer test was carried out to obtain estimates of strength of rock materials. Point counting and microscopic observation were also conducted to analyze mineral composition and to measure spacing of foliation for 9 rock specimens. As a result of microscopic analysis, as the weathering grade was lower, the quartz was found more in quantity, consequently making rock stronger against weathering process. On the other side, lower weathering grade of rock resulted in less content of mica which is weak against weathering process. In addition, the rock materials with closer foliation spacing are found to be weaker in strength and have higher weathering grade.

Keywords: Low-graded metasedimentary rocks, Weathering grade, Mineral composition, Spacing of foliation, Schmidt hammer test

초 록: 본 논문에서는 천매암을 중심으로 저변성퇴적암류에 속하는 암석을 대상으로 암석학적 특징과 풍화도의 상관성에 대하여 분석하였다. 현장 지질조사를 통하여 암석의 풍화도를 결정하였고, 구성암석의 강도 값을 추정하기 위하여 슈미트해머 테스트를 실시하였다. 9개 시료의 현미경 박편 관찰을 통하여 주구성광물의 부피비와 엽리의 간격을 측정하였다. 암석시료의 현미경 분석 결과에 의하면 풍화도가 낮을수록 풍화에 강한 석영성분이 많고, 풍화도가 높을수록 풍화에 약한 운모성분이 많은 것으로 나타났다. 또한 엽리 간격이 좁을수록 강도는 낮고 풍화도는 높은 것으로 나타났다.

주요어: 저변성퇴적암, 풍화도, 광물조성, 엽리간격, 슈미트해머 테스트

1. 서 론

우리나라의 북동부에서 남동부를 가로지르면서 분포하는 옥천대 지역에는 지질학적으로 저변성퇴적암류에 속하는 점판암, 천매암, 편암 등과 석회암 또는

석회규산염암 등 다양한 암석이 분포한다. 이들 지층은 과거 수차례에 걸친 변성작용으로 습곡 및 단층 등이 발달하고 있어 공학적으로 매우 불안정한 지반에 속한다.

저변성퇴적암류는 모암과 변성 및 변형작용의 차이에 의하여 엽리, 벽개면, 습곡 및 단층 등의 발달정도가 차이를 보이며, 이러한 차이는 지반 내에서 차별풍화의 원인이 되며, 암석의 강도 및 내구성저하, 풍화토층의 발달 등으로 이어져 사면이나 터널 시공 시 붕괴의

*Corresponding author: Yong-Seok Seo
E-mail: ysseo@cbu.ac.kr

Received May 6, 2013; Revised May 15, 2013;
Accepted May 21, 2013

원인이 된다.

Santi (2006)는 현장에서 저변성퇴적암 등 연약암의 특성을 기재하여 분류할 수 있는 기준과 적절한 시험방법을 제시하였으며, 미국 내에서 연약암이 분포하는 지도, 암석종류 및 공학적 특성을 정리하여 발표하였다. Lee et al. (2007)은 천매암에 발달하는 단층물질을 암석·광물학적으로 분류하고, 이들의 역학적 특성을 연구하여 사면 및 터널 등의 역학적 해석에 이용할 수 있도록 정량적인 역학정수를 제시한 바 있다. 우리나라에서 저변성퇴적암류에 대한 공학적 연구는 도로건설과 관련하여 경부고속도로, 청원상주간 고속도로, 옥천대를 통과하는 국도 등에서 사면 및 터널의 안정성 분석 분야의 연구가 다수 이루어지고 있다(Shin et al., 2003; Koo et al., 2008; Um, 2008; Cho et al., 2010). 외국에서도 천매암 분포지역의 사면붕괴에 대한 사례가 다수 보고되고 있다(Tinoco and Salcedo, 1981; Park et al, 2011; Tanyas and Resat, 2013). Koçkar and Akgün (2003)은 저변성퇴적암 분포지역에서 엽리발달과 풍화로 인해 연약화된 지반에 건설되는 터널의 갱구부 보강과 관련된 사례를 발표한 바 있다.

저변성퇴적암의 풍화를 지배하는 주요인으로는 변성작용동안 생성되는 풍화에 취약한 구성광물과 연약면을 형성하는 엽리가 있다. 본 논문은 천매암이 잘 발달하는 저변성퇴적암지역의 사면에서 현장조사와 현미경 관찰을 통하여 광물조성 및 엽리간격이 차별 풍화에 미치는 영향을 분석하는데 그 목적이 있다. 현장에서 ISRM (1978)에서 제시한 풍화도를 이용하여 암반의 풍화정도를 조사하고 슈미트해머를 이용하여 강도를 측정하며, 서로 다른 암종을 선택하여 총 9개의 암석시료를 채취하여 실내에서 박편을 제작한 후, 편광현미경 관찰을 실시하여 광물조성 및 엽리 발달 상태를 정량적으로 분석함으로써 저변성퇴적암류의 암석학적 특징과 풍화도와의 상관성을 검토하고자 한다.

2. 지 질

본 연구 지역에는 천매암, 운모편암, 석영편암, 결정질 백운암, 규암 등이 분포하고 있으며, 이들은 청주도폭(Kwon and Jin, 1974)에서는 시대미상의 흑운모편암으로, 유성도폭(Park et al., 1977)에서는 고생대

Fig. 1. Regional geologic map of the study area (from Lee et al., 1997)

캠브로-오르도비스기의 향산리층군에 속하는 흑운모 백운모 녹리석편암으로 조사되고 있다(Fig. 1). 이 지층들은 대체로 북동($60^{\circ} \sim 65^{\circ}$)주향과 남동($40^{\circ} \sim 45^{\circ}$)경사를 가지며 지역적으로 습곡구조를 보인다.

충주지역을 중심으로 분포하는 향산리층과 대향산 규암층은 본 연구지역까지 북동-남서방향의 띠를 형성하면서 분포하고 있다. 또한 향산리층과 동시대로 대비되는 대향산규암층은 유백색을 띠며 대부분 재결정된 석영으로 구성되어있고, 향산리돌로마이트층과 인접하며, 습곡구조가 발달하기도 한다(Kim and Cho, 1993). 이러한 지질학적 특징은 본 연구대상지역과 매우 유사하다.

본 연구대상 지역의 주변부에는 중생대 상부 주라

기(153 Ma~163 Ma)에 생성된 청주화강암체가 관입하고 있다. 이들은 반상화강암, 흑운모화강암, 백운모화강암들의 복합화성암체에 속하고, 중립 내지 세립질의 반상조직을 보이며, 주성분광물은 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석 등이다(Lee and Kim, 1997).

3. 현장조사

연구지역은 도로건설로 인하여 굴착된 사면이며, 총연장은 330 m, 사면 높이는 최대 50 m, 사면 경사는 약 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 로서 지질학적으로 동일한 변성 및 변형 작용이 있었던 영역으로 판단되는 지역이다. 대상지역 종류와 암상, 풍화정도 및 불연속면의 상태 등과

Fig. 2. Panoramic view and the results of face mapping of the study area. The numbers indicate sampling locations for microscopic observation

Table 1. Rock name, weathering grade and average rebound number of Schmidt hammer determined in the field survey

Observation no.	Rock name	Weathering Grade (ISRM, 1978)	Ave. rebound number of Schmidt hammer
1	Phyllite	HW	10>
2	Phyllite	HW	10>
3	M-schist	MW-HW	28
4	Phyllite	HW	10>
5	Q-schist	MW	40
6	Phyllite	HW	10>
7	Dacite	MW-HW	31
8	Quartzite	SW	56
9	Dolomite	MW-HW	26

같은 공학적 특성을 파악하기 위하여 사면을 대상으로 정밀 지표지질조사 및 face mapping을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 대상구간의 지질은 천매암과 편암, 규암, 돌로마이트, 석영안산암 등 변성암이 주를 이루며, 엽리가 잘 발달하고, 단층, 습곡 등 현저한 불연속면들이 다수 분포하고 있다. 현장에서 암반의 풍화도는 ISRM (1978)에서 제시한 기준을 준용하여 결정되었으며, 암반강도는 슈미트해머를 이용하여 측정되었다. 풍화정도는 전반적으로 약간풍화에서 강풍화까지 암석 종류에 따라 다양한 풍화정도를 보이고 있다.

4. 박편 관찰

Santi (2006)는 미국 내에 분포하는 연약암을 분류하면서 변성작용에 의해 쉽게 풍화되는 광물과 편리, 벽개 등의 면구조가 발달하는 변성암을 포함시키고 있다. 대부분의 엽리들은 제한된 체적을 가지는 엽층이나 렌즈상의 domain 구조를 가지고 있으며 일정한 간격을 가지면서 잘 쪼개어지는 면구조인 벽개가 발달하고 있기 때문에 터널 및 사면붕괴의 주요한 원인이 되고 있다.

본 사면에 분포하는 천매암을 중심으로 한 저변성 퇴적암류는 엽리가 잘 발달하고 있으며, 엽리와 아평행하게 서로 다른 풍화정도의 영역이 대상으로 분포하고 있다. 이들의 구성광물 및 엽리 발달정도가 풍화도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 현장에서 총 9종의 암석시료를 채취하여 박편을 제작하고 편광현미경 관찰을 실시하였다.

4.1 박편 시료 및 관찰방법

암석시료의 광물조성비와 엽리발달 정도를 분석하기 위하여 암석 박편을 제작하여 현미경 관찰을 실시하였다. 현미경은 Nikon Labophot-2 Pol 모델을 이용하였으며, 대물렌즈 배율은 10배율을 이용하였다. 박

편은 엽리에 평행한 방향과 수직된 방향으로 제작하였으며, 박편의 5개 영역을 선정하여 등간격 포인트카운팅을 실시하여 광물체적비를 구하였다. 또한 엽리 발달 정도는 엽리면에 수직한 방향에서 벽개를 확인하면서 측정되었다.

4.2 박편 관찰 결과

1번 시료(Fig. 3(a))는 자형의 흰색, 회색 또는 흑색의 간섭색을 보이는 석영입자 알갱이가 주를 이루며, 석영입자간의 경계가 명확하지 않고 불합선구조(suture structure)가 발견되지 않는다. 암석시료에서 반짝거리는 흑운모들이 주를 이루며, 전체적인 색깔도 암녹색이나 녹색색 계열로 어두운 것으로 보아 세립질인 천매암으로 판단된다. 석영 입자의 모양은 짧은 타원형이며, 변성작용이 심하게 진행되지 않은 것으로 판단된다. 또한 판상의 백운모와 흑운모가 일정한 방향성을 띠며 관찰되는 것을 알 수 있다. 편광 현미경하에서 비교적 잘 발달한 점판벽개(slaty cleavage)와 더불어 미세한 파랑벽개(crenulation cleavage)가 보이는 것으로 보아 최소한 2회 이상의 변형작용을 받았음을 알 수 있고, 따라서 현재 지표의 상온, 상압 조건과 다른 환경에서 발달한 엽리조직과 구성광물의 형성으로 풍화작용에 취약한 것으로 판단된다. 편광현미경하에서 cleavage domain (C)과 microlithon (M)을 구분하여 엽리(slaty cleavage)의 간격을 측정해보면 평균 0.07 mm로서 매우 조밀함을 알 수 있다.

2번 시료(Fig. 3(b))는 박편 제작 과정 중에 시료자체의 파괴가 심하여 에폭시수지로 모양을 고정시켜 시료를 형성해주는 과정을 거쳐서 모양이 실제 암석과 차이가 있다. 박편에서는 일정한 방향성을 형성하는 갈색입자의 흑운모와 일부 백운모 입자들이 관찰되며, 석영이 미량 발견된다. 전반적으로 박편연마 중 손실된 부분이 상당 부분 차지하고 있어서 close polarizer에서 검은색으로 나타나고 있다. 암석명은 천매암으로 풍화에 매우 취약한 모습을 보여주고 있

Fig. 3. Photomicrographs of rock sample showing mineral composition and foliation (C) spacing

으며, 편광 현미경하에서 cleavage domain (C)과 microlithon (M)을 구분하여 엽리(slaty cleavage)의 간격을 측정해보면 평균 0.05 mm로서 매우 조밀함을 알 수 있다.

3번 시료(Fig. 3(c))는 중간정도의 원마도와 분급을 갖는 흰색, 회색, 흑색의 석영입자와 부분적으로 소량 포함되어 있는 갈색의 흑운모, 녹색계열의 간섭색을 띄는 백운모입자들로 구성되어 있는 운모 편암으로 판단된다. 하지만, 운모보다는 석영에 의한 선택배향(preferred orientation)이 우세하게 관찰된다. 편광 현미경하에서는 cleavage domain (C)과 microlithon (M)의 구분이 뚜렷하지 않지만 microlithon 중 석영입자의 장축배열이 우세한 선택배향으로 엽리를 인지할 수 있으며, 엽리의 간격을 측정하면 평균 0.24 mm이다.

4번 암석시료(Fig. 3(d))는 1번 암석시료와 같이 석영이 주를 이루는 천매암이고, 석영입자의 분급은 1번 암석시료에 비해 양호한 편이며, 원마도 또한 양호한 편이다. 흑운모와 백운모가 동시에 존재하며 변형작용을 받아 운모입자들의 방향성이 형성된 것으로 보인다. 편광 현미경하에서 cleavage domain (C)과 microlithon (M)을 구분하여 엽리(slaty cleavage)의 간격을 측정해보면 평균 0.12 mm로서 매우 조밀함을 알 수 있다.

5번 암석시료(Fig. 3(e))는 석영입자들이 다소 경계가 불분명하지만 전반적으로 봉합선 형태를 이루고

분포하며, 백운모가 약간 존재하는 석영편암이다. 결정편암이나 접촉변성작용을 받은 점판암에서 주로 관찰되는 불투명광물인 andalusite도 관찰된다. 조립질 연속엽리의 간격을 측정해 보면 0.85 mm이다.

6번 암석시료(Fig. 3(f))는 심한 풍화를 받은 천매암이다. 석영입자를 자세히 관찰하면 자형의 형태를 가지고 있지만, 그 내부형태는 전반적으로 심하게 파쇄되어 있는 형상을 관찰할 수 있는데, 이는 심한 풍화의 증거로 볼 수 있다. 전체적으로 흑운모와 백운모가 관찰되고 일부 소수의 견운모도 관찰되며, 엽리의 간격은 평균 0.08 mm이다.

7번 암석시료(Fig. 3(g))는 마그마의 관입에 의해 형성된 암맥으로서 암석의 색은 연녹색에서 암녹색을 띄고 있으며, 표면에 다수의 기공이 존재한다. 이 기공은 풍화작용에 의해 장식들이 빠져나간 공간으로 추정된다. 석영과 장석 및 휘석이 주를 이루고 일부 흑운모가 있는 이 암석시료는 석영안산암(dacite)이다. 석영안산암은 상대적으로 천매암보다 풍화와 침식에 강한 성질을 보여주고 있다. 편광 현미경하에서는 약하게 엽리가 발달하는 것처럼 보이나 실제 암편에서는 타원형의 기공이 배열하는 양상을 잘 보이고 있다. cleavage domain (C)과 microlithon (M)을 뚜렷하게 구분할 만큼 엽리의 발달이 현저하지는 않으나 평균 0.45 mm로서 매우 엉성하다.

8번 암석시료(Fig. 3(h))는 전형적인 규암으로서 석영입자들이 조립질을 보이며, 봉합선형태도 미약하

Table 2. Mineral volumetric percentage (%) of each rock sample

Mineral \ Sample no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quartz	47.3	7.7	64.4	38.3	71.8	43.2	35.9	95.1	36.7
Biotite	37.3	71.0	15.9	48.6	-	36.5	-	-	-
Muscovite	15.4	21.3	19.7	13.1	15.6	20.3	29.0	-	-
Calcite	-	-	-	-	-	-	-	-	55.1
Olivine	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2
Pyroxene	-	-	-	-	-	-	9.5	-	-
Feldspar	-	-	-	-	-	-	25.5	-	-
Etc.	-	-	-	-	12.6	-	-	4.9	-

Table 3. Average spacing and morphological classification of foliation

Specimen no.	Average spacing of foliation (mm)	Morphological classification of foliation (after powell, 1979)
1	0.07	Disjunctive, rough-moderately rough
2	0.05	Disjunctive, rough-moderately rough
3	0.24	Continuous, coarse
4	0.12	Disjunctive, rough-moderately rough
5	0.85	Continuous, coarse
6	0.08	Disjunctive, rough-moderately rough
7	0.45	Continuous, coarse
8	1.31	Continuous, coarse
9	0.50	Continuous, coarse

지만 잘 나타나고 있다. 하지만 석영입자들에 파동소 광이 거의 발생하지 않는 것으로 보아, 석영이 정출된 후에 외부로부터 응력을 많이 받지 않았거나, 고온에서 저온으로 변할 때 결정구조에 변이가 생기지 않았음을 추정할 수 있다. 이는 규암이 압력에 의해 생성되기 보다는 석영 암맥이나 열수 석영 맥에 의해서 생성된 것으로 보이며, 일반적인 규암에 비하면 강도가 약할 것으로 판단된다. 엽리의 평균 간격은 1.31 mm로 측정되었다.

9번 암석시료(Fig. 3(i))는 심도가 낮은 곳에서 형성된 돌로마이트가 열변성을 받고 SiO_2 가 침투하여 생성된 석회규산염암(limesilicate)이다. 전반적으로 분홍빛의 방해석이 주로 분포하고 있으며, 일부 석영입자들이 발견된다. 또한 감람석도 발견되는 것을 알 수 있다. 엽리의 간격은 0.50 mm로 측정되었다. Table 2는 현미경 관찰에서 측정된 시료별 광물부피비를 정리한 표이며, Table 3은 엽리의 간격과 형태학적 분류를 나타낸 표이다.

5. 저변성퇴적암의 풍화도

암석의 풍화는 암석의 성인과 지질시대 동안 겪은 지구조운동의 결과로 결정되는 구성광물과 단열의 발달정도에 의해 크게 영향을 받는다. 그 이유는 암석을 구성하는 개별 광물들의 화학적 반응경로 및 물리

적 풍화속도에 차이가 있으며, 암반 내에서 단열은 불균질하게 분포하고 투수성도 서로 다르기 때문이다. 따라서 암반의 풍화도는 암종과 산출지점에 따라 변화가 심하기 때문에 설계 및 시공 시에는 대상 암반의 풍화특성을 충분히 이해할 필요가 있다.

5.1 광물조성과 풍화도의 상관성

광물은 종류에 따라 모스상대경도가 다르기 때문에 풍화에 대해서도 그 반응이 다르게 나타난다. Gupta and Rao (2001)는 규암, 화강암 및 현무암을 대상으로 신선한 광물과 풍화에 의해 변질된 광물의 비인 화학적 풍화지수를 계산하여 석영의 함유량이 암석의 풍화도에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 암석의 현미경 관찰에서 얻은 구성광물별 부피비(Table 2)와 풍화의 관계를 알아보기 위하여 풍화에 강한 석영과 운모류에 대하여 상관성을 분석하였다. 풍화도가 가장 심하게 조사된 천매암 중 2번 시료는 7.7%의 석영함량으로 매우 낮은 값을 보이고, 운모류가 92.3%의 매우 높은 값을 차지하고 있는데, 앞 절의 박편분석에서도 기술했듯이 풍화가 심하여 박편연마 중 손실된 부분이 많아 광물동정이 이루어 지지 않았기 때문으로 추정된다.

전반적으로 강도가 높고 풍화정도가 낮을수록 풍화에 강한 석영성분이 많은 것으로 나타났으며(Fig.

Fig. 4. Relationship between average rebound number of Schmidt hammer and volumetric percentage of quarts and mica

4(a)), 강도가 낮고 풍화정도가 높을수록 풍화에 의한 운모류 성분이 많은 것으로 나타났다(Fig. 4(b)).

5.2 엽리간격과 풍화도의 상관성

박편 관찰결과에 의하면 본 연구지역에 분포하는 거의 모든 암석시료에서 엽리가 발달하고 있는 것을 알 수 있으며, 발달한 엽리의 방향성은 연구지역의

전반적인 엽리의 방향성과 비교적 잘 일치하고 있다. 이는 연구지역내에 일정한 방향으로 응력이 작용하였음을 보여준다. 하지만 암종별로 엽리의 간격과 형태학적 특성은 차이를 보인다. 암석의 풍화도 및 강도와 엽리간격과의 상관성을 살펴보면 풍화도가 높고 강도가 낮을수록 엽리의 간격이 조밀하게 나타났으며(Fig. 5), 결정계수 R^2 도 0.92로 높은 것을 알 수 있다. 이는 본 연구지역내에는 기원암의 차이가 뚜렷한 암석 그

Fig. 5. Relationship between average rebound number of Schmidt hammer and spacing of foliation

Fig. 6. Relationship between spacing of foliation and volumetric percentage of quartz and mica

립이 존재하며 이들은 서로 다른 엽리간격을 보이기 때문에 해석된다. 풍화등급에 대한 시료의 엽리간격을 살펴보면 HW의 경우는 0.05~0.12 mm, HW-MW의 경우는 0.24~0.50 mm, MW는 0.85, SW는 1.31 mm로 나타난다. 일반적으로 터널이나 사면 건설은 본 연구지역과 같이 한정된 지역에서 이루어지기 때문에 동일한 지구조운동을 받은 경우가 많다. 따라서 대상지역에 분포하는 암종을 정확히 구분하면 구성광물과 엽리간격 특성을 이용하여 풍화도를 결정하는데 크게 도움이 된다.

5.3 광물조성과 엽리간격의 상관성

광물조성과 단열 발달정도가 풍화도에 영향을 미치는 중요한 요소이지만 이들 간의 상관성은 암종마다 차이가 있을 수 있다. 하지만 본 연구의 대상인 좁은 영역에 분포하는 저변성퇴적암과 같이 동일한 지구조운동을 받은 암반의 경우 엽리의 발달정도와 구성광물과의 상관성이 높게 나타난다. 엽리의 간격은 운모의 함량에 반비례하고, 석영의 함량과는 잘 비례하고 있다(Fig. 6).

6. 결론

본 논문에서는 좁은 영역에서 동일한 지구조운동을 받은 것으로 인정되는 저변성퇴적암을 대상으로 암반의 풍화상태에 대한 현장조사와 현미경 관찰을 통하여 광물조성 및 엽리간격이 차별풍화에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 연구대상지역의 폭 300여 m 절취사면 내에는 주분포 암석인 천매암과 운모편암, 석영편암, 결정질 백운암, 규암, 그리고 관입암인 석영안산암 등 6종의 암석이 분포하고 있으며, 암종에 따라 풍화도와 강도가 다르게 나타난다.
2. 박편 관찰 결과에 의하면 암종에 따라 석영과 운모류의 분포에서 차이를 뚜렷이 보이고 있다. 천매암의 경우 모암의 종류에 기인하여 석영과 운모의 체적비가 달리 나타나는데, 풍화에 의하여 박편상 미확인 광물이 많았던 2번 경우를 제외하면 대체로 다른 암석의 경우와 동일하게 석영 함량이 높을수록 강도는 높고 풍화도는 낮게 나타나며, 운모류의 함량이 높을수록 강도는 낮고 풍화도는 높게 나타난다.

3. 엽리의 간격은 풍화도가 높고 강도가 낮을수록 조밀하게 분포하고 있으며 상관성도 매우 높게 나타난다. 그 이유는 연구대상암석이 동일 지구조 운동 하에서 기원암의 차이가 뚜렷함에 기인하는 것으로 판단된다.
4. 따라서 본 연구대상 암석은 석영의 함량이 높을수록 엽리간격이 넓고 운모의 함량이 높을수록 좁은 엽리간격을 보인다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 ‘공공복지안전기술개발사업(2012 M3A2A1050985)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Cho, Y.H., Lim, D.S., Chun, B.S. (2010), “A case study on the slope collapse and reinforcement method of the phyllite slope”, Journal of Korea Geo-Environmental Society, Vol. 11, No. 8, pp. 83-93.
2. Gupta, A.S., Rao K.S. (2001), “Weathering indices and their applicability for crystalline rocks”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 6, No. 3, pp. 201-221.
3. ISRM (1978), “Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 15, pp. 319-368.
4. Kim, H.S., Cho, D.S. (1993), “Genesis of talc deposits in the Chungju area, Korea”, Journal of Petrological Society of Korea, Vol. 2, No. 2, pp. 95-103.
5. Koçkar, M.K., Akgün, H. (2003), “Methodology for tunnel and portal support design in mixed limestone, schist and phyllite conditions: a case study in Turkey”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 40, pp. 173-196.
6. Koo, H.B., Kim, S.H., Kim, S.H., Lee, J.Y. (2008), “A study on jointed rock mass properties and analysis model of numerical simulation on collapsed slope”, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 24, No. 5, pp. 65-78.
7. Kwon, Y.I., Jin, M.S. (1974), “Explanatory text of the geological map of Cheong Ju sheet (1:50,000)”, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
8. Lee, B.J., Kim, D.H., Choi, H.I., Kee, W.S., Park, K.H. (1996), “Explanatory text of the geological map of Daejeon sheet(1:250,000)”, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
9. Lee, S.H., Kim, M.K. (1997), “Lithogeochemical characteristics of the granitic rocks in Chungju-Chongju area”, Journal of Industrial Science, Chongju University, Vol. 15, pp. 109-116.
10. Lee, S.K., Son, W.H., Jeong, S.H. (2007), “A study on over-break characteristics of tunnel in phyllite rock masses”, Journal of Geological Society of Korea, Vol. 2007, No. 2007, pp. 169.
11. Park, B.S., Cho, H., Youn, S.P., Lee, S.H. (2011), “Case study on stability analysis of phyllite rock slopes in national road construction”, International Journal of Geo-Engineering, Vol. 3, No. 3, pp. 41-52.
12. Park, H.I., Lee, J.D., Jeong, J.G. (1977), “Geological map of Korea : Yuseong sheet(1:50,000)”, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
13. Powell, C.McA. (1979), “A morphological classification of rock cleavage”, Tectonophysics, Vol. 58, No. 1-2, pp. 21-34.
14. Santi, P.M. (2006), “Field methods for characterizing weak rock for engineering”, Journal of Environmental and Engineering Geoscience, Vol. 6, No. 1, pp. 1-11.
15. Shin, K.J., Kim, S.K., Kim, J.H. (2003), “A case study of failure behavior in phyllite slope of developed rock cleavages”, Korean Society for Rock Mechanics Conference, pp. 121-134.

16. Tanyas, H., Ulusay, R. (2013), "Assessment of structurally-controlled slope failure mechanisms and remedial design considerations at a feldspar open pit mine, western turkey", *Engineering Geology*, Vol. 155, pp. 54-68.
17. Tinoco, F.H., Salcedo, D.A. (1981), "Analysis of slope failures in weathered phyllite", *ISRM International Symposium, Japan*, pp. 8.
18. Um, J.K. (2008), "A reinforcement case of slope failure by fractured zone of schist and gneiss", *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 24, No. 8, pp. 34-41.