

풍화에 의한 국내 편마암류의 지질공학적 특성의 변화

곽진철 · 백환조 (강원대학교 공과대학 지구시스템공학과)

요약 : 편마암의 풍화현상에 관한 연구를 위하여, 강원지역에 분포하는 편마암을 대상으로 풍화등급별로 채취한 시료들에 대하여 광물암석학적 및 공학적인 특성의 변화를 조사하였다. 편마암은 심도에 따른 풍화등급의 변화가 분명하지 않으며, 편마구조와 관련된 취약면의 분포에 영향을 받는다. 풍화가 진행될수록 흡수율이나 공극율, 탄성파속도가 감소하고 장석류의 변질에 의한 점토광물의 생성이 관찰되었다. 풍화등급이 높을수록 Fe_2O_3 의 함량과 L.O.I는 증가하고 FeO , K_2O 의 함량은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히 산침수의 영향에 의한 물성의 변화를 보여주며, 동결융해나 염에 의한 풍화에는 비교적 저항성이 큰 것으로 보인다. 화학적 풍화지수 중, WPI와 WP, 그리고 I_{mob} 는 양호한 상관관계를 나타내며, 편마암의 풍화와 밀접하게 관련된다.

실험결과 및 고찰

1. 풍화등급과 광물암석학적 특성

화학분석에서는 풍화등급에 따른 주구성광물들의 화학원소에 관해 변화를 이해하기 위해, XRF 분석을 실시하였다(Table 1). 풍화가 진행됨에 따라 SiO_2 , TiO_2 및 MnO 가 약간 증가하는 경향을 보여준다. Fe 의 전체 함량에는 큰 변화가 없으나, FeO 의 감소와 Fe_2O_3 의 증가가 분명하게 나타나고, 풍화진행에 따른 유기물함량의 증가를 관찰할 수 있다. K_2O 는 뚜렷하게 감소하는 경향을 보이지만, CaO , MgO , P_2O_5 , Al_2O_3 , Na_2O 등의 함량은 풍화등급에 따른 변화로 규정하기는 어렵다. 풍화에 의한 점토광물의 생성을 파악하기 위하여 XRD 분석을 실시하였으며, Grade V의 경우, 정장석 및 백운모의 풍화에 의한 kaolinite나, illite를 관찰할 수 있다(Fig. 1).

2. 산침수

산침수에 의한 암석의 반응을 관찰하기 위하여 암편들을 황산용액에 넣은 후, 일정한 간격으로 용액에 대한 화학분석을 실시하였다. 풍화등급 별로 볼 때 산침수 기간이 길어짐에 따라 용출되는 화학성분의 함량도 점차 증가하는 경향을 보이며 (Fig. 2), 이러한 반응은 특히 산침수 직후에 집중적으로 일어남을 관찰할 수 있다. Na와 K는 원소의 이동도가 높으므로, Na의 경우 풍화가 진행됨에 따라 그리고 주기가 증가함에 따라 용해가 증가하는 경향이 나타난다. 산침수 이전의 초기치를 기준으로 백분율로 표시한 공극율과 흡수율은 산침수 기간이 길수록 증가하는 경향을 보이며, 반대로 압열인장강도는 감소하는 경향을 보여준다 (Fig. 3).

3. 염결정화작용

Grade I의 시험편들은 $NaCl$ 이나 $CaCl_2$ 의 결정화작용에 의하여 공극율이 점차 증가한 것으로 나타나 있다. Grade III의 시험편들은 $NaCl$ 을 사용했을 때는 공극율이 증가하고 $CaCl_2$ 에 의해서 공극율이 오히려 감소하였다 (Fig. 4). 현재로는 이러한 분석을 보완할 수 있는 자료가 부족하므로 염의 종류나 암석의 풍화등급보다는 시험편들 사이의 불균질성이나 측정과정의 오류에 더욱 영향을 받았을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서, 포화용액의 농도변화나 공극 내에서의 염결정의 생성 등에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

4. 동결·융해

Fig. 5에 나타난 바와 같이, 동결-융해에 의한 흡수율, 탄성파속도 등의 물성의 변화는 산침수나 염결정화 실험의 결과와 비슷한 양상을 보여준다. 본 실험에서는 동결융해의 뚜렷한 영향이 관찰되지 않았으며, 시험편의 불균질성이 전반적인 물성실험 자료에 영향을 미친 것으로 판단된다.

풍화지수

화학적변질지수(CIA)는 풍화등급에 따라 증가하는 경향을 보여준다. 화학적풍화지수(CIW or ACN)나 AKN, 장석류를 포함하는 암석의 화학적풍화 정도를 나타내는 유동지수(I_{mob}) 등은 증가함을 보여준다. 반면에, SiO_2 과 유동성 원소의 감소나 수분의 증가를 나타내는 풍화잠재지수(WPI)와 풍화산물지수(WP or PI)는 풍화의 진행에 따라 점차 감소하는 경향을 보인다 (Table 2). WPI와 WP(PI)는 풍화진행에 따라 음의 상관관계를 보이며, I_{mob} 와 WP(PI)도 서로 높은 관련성을 나타낸다 (Fig. 6).

결 론

1. 편마암의 풍화는 전반적으로 화강암의 풍화와 매우 유사한 형태를 보여주고, X-선 회절분석을 통하여 풍화의 진행에 의한 kaolinite나 illite의 존재가 확인되었다. 점진적인 풍화대의 형성보다는 편마구조와 관련된 취약대를 따라 풍화가 집중적으로 이루어짐을 관찰할 수 있다.
2. 풍화등급에 따른 시료들에 대한 화학분석 결과, 주성분원소의 함량변화에 의해 산출되는 풍화지수들 중 WPI, WP(PI), 그리고 I_{mob} 등은 편마암의 풍화연구에 좋은 지수로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
3. Grade I 및 Grade III의 시료들에 대한 인공풍화 실험 결과, 물성의 변화를 관찰할 수 있으나, 현 단계에서는 이를 보완할 수 있는 자료의 축적이 부족하다.

참고문헌

1. Dearman, W.R., Baynes, F.J., and Irfan, T.Y., 1978, "Engineering grading of weathered granite," *Engineering Geology*, Vol. 12, pp. 354-378.
2. Irfan, T.Y. and Dearman, W.R., 1978, "Engineering classification and index properties of a weathered granite," *Bulletin, IAEG*, Vol. 17, pp. 79-90.
3. Barroso, E.V. 등, 1993, "Basic properties of weathered gneissic rocks in Rio de Janeiro, Brazil," *Geotechnical Engineering of Hard Soils-Soft Rocks*, pp. 29-35.
4. Irfan, T.Y., 1999, "Characterization of weathered volcanic rocks in Hong Kong," *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 32, pp. 317-348.

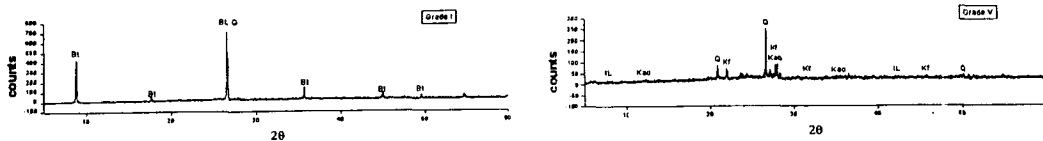


Fig 1. XRD data for of gneiss of weathering grade I and V.

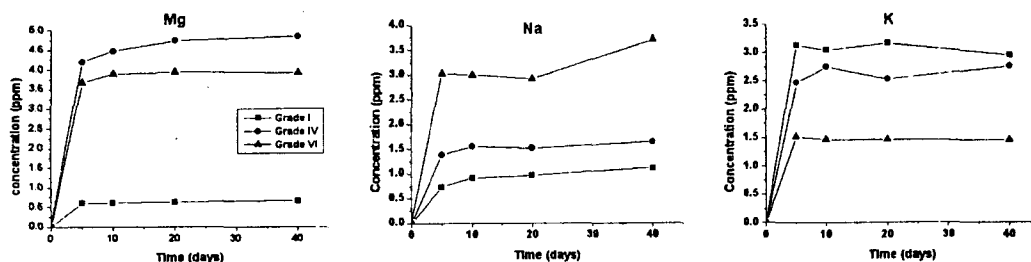


Fig 2. Results of chemical analysis for measuring the rock-acid interaction.

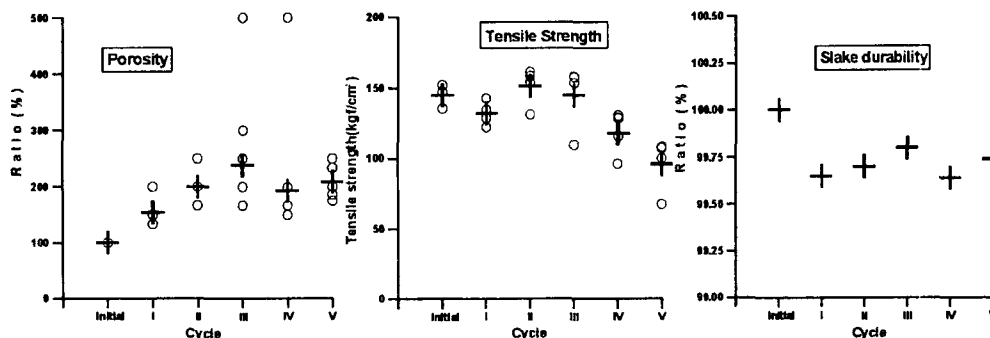


Fig 3. Change of porosity, tensile strength and slake durability after acid immersion.

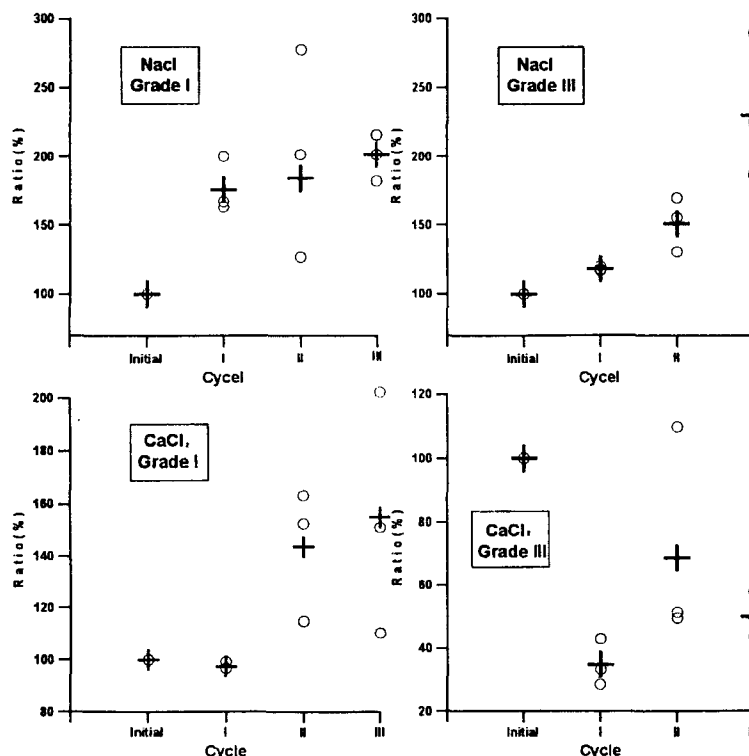


Fig 4. Porosity changes of grades I and III specimens due to salt crystallization.

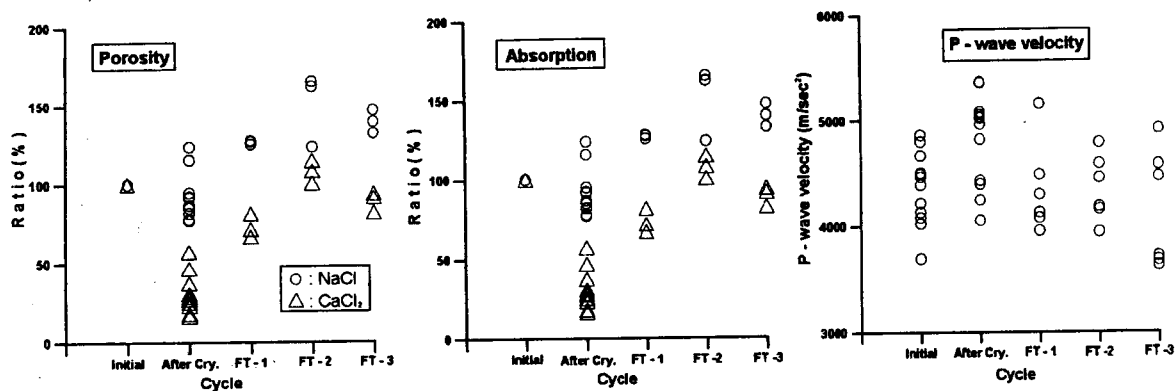


Fig 5. Changes in physical due to repeated freezing and thawing.

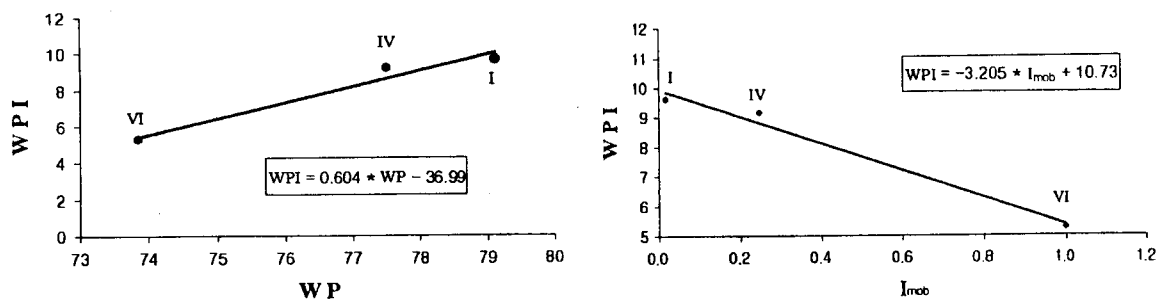


Fig 6. Weathering potential index versus mobile index.

Table 1. Result of chemical analysis on major elements (wt%)

	I	IV	VI
SiO ₂	65.30	65.40	65.50
Al ₂ O ₃	15.10	15.30	15.20
Fe ₂ O ₃	1.32	2.92	7.06
FeO	5.48	3.56	0.74
TiO ₂	0.82	0.75	0.93
MnO	0.07	0.06	0.08
CaO	2.32	1.92	2.11
MgO	1.03	1.08	1.01
K ₂ O	5.01	4.70	3.02
Na ₂ O	2.49	3.03	2.12
P ₂ O ₅	0.27	0.21	0.22
L.O.I	0.85	0.96	2.15
Total	100.06	99.89	2.15

Table 2. Chemical weathering indices adopted for gneissic rock

	I	IV	VI
WPI	10.52	10.15	7.48
WP or PI	79.11	77.52	73.85
CIA	0.61	0.61	0.68
CIW or ACN	0.76	0.76	0.78
AKN	2.01	1.98	2.96
SA	4.33	4.28	4.31
I _{mob}	0.02	0.25	1.00