

국내에 분포하는 화강암 및 화강편마암의 풍화 지수

우 익¹⁾, Jean-Alain Fleurisson²⁾, 박 연준³⁾, 송 원경⁴⁾, 박 혁진¹⁾, 유 광호³⁾

¹⁾세종대학교, ²⁾Ecole des Mines de Paris, ³⁾수원대학교, ⁴⁾한국지질자원연구원

1. 서론

우리나라의 분포 암석은 주로 화성암류가 우세하게 분포한다. 그 중에서 화강암 및 화강 편마암이 대부분을 차지하며, 이러한 화강암류들은 중·노년기 지층의 우리나라에서 중요한 기복을 지닌 지형을 형성하게 된다. 이로 인하여, 고속도로 혹은 철도 건설시 대단위 절개 사면이나 터널 등 암반 구조물 굴착이 불가피하다. 또한 여름의 고온 다습한 열대성 기후, 그리고 겨울의 건조하고 추운 대륙성 기후를 가진 우리나라의 기후 조건을 고려하면, 풍화가 이들 암반 구조물에 미치는 영향은 간과할 수 없다. 본 연구에서는 암석의 풍화 등급을 결정하는 기준을 재 고찰하고, 이들 정성적인 분류를 현장에서 수행할 수 있는 간단한 실험을 통하여 얻은 풍화 지수를 사용하여 정량적으로 구분하였다.

2. 암반 풍화 등급 분류

암반은 풍화에 따른 변색 정도, 구성 광물의 풍화 정도, 절리면의 발달 정도, 그리고 암석의 상대적인 강도에 따라 결정되며, 특히 토목 공사 시에는 공사 진행 특성상 더욱 간략히 구분이 되곤 한다.

2.1 암반 풍화 분류 기준

암반은 풍화 정도에 따라 대체적으로 6 등급으로 구분이 된다. 즉, 아주 신선한 암반 F, 약간 풍화된 상태 SW, 보통 풍화된 상태 MW, 심하게 풍화된 상태 HW, 완전 풍화 상태 CW 그리고 잔류 풍화토 RS로 나눌 수 있다. 사용자에 따라서는 이 풍화 등급이 더욱 세분될 수도 있다. 일반적으로 암반의 풍화 등급 분류 기준은 암반의 변색 정도, 구성 광물, 특히 장석 및 운모류의 풍화 상태, 절리면의 발달 상태, 지질 해머의 반발 정도 그리고 손으로 느낄 수 있는 정성적인 강도 등이 있다. 또한 그림 1에 나타난 것처럼 균일한 암반 - 즉, 절리를 포함하지 않는 암석 - 과 절리를 포함한 여러 풍화 등급으로 구성된 비균질 암반에서 풍화 등급을 결정 할 수 있다(그림 1).

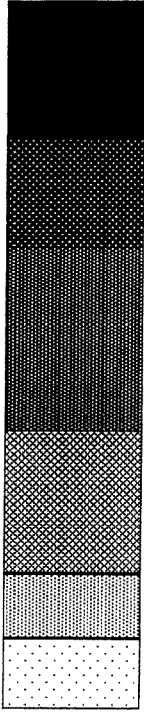

Weathering Profil of homogeneous rock matrice				Weathering profil of heterogeneous rock mass		
Weathering degree		Characteristic Description	Proportion of homogeneous matrices	Zone		
	IV	R.S.	Soil resulted from the rock matrices weathering None of conservation of the initial structure of rock	100% IV-VI	6	
	V	C.W.	Considerably weakened, Easy disintegration in the water, Garde la structure initiale de la roche	<30% I-III + 70~100% IV-VI	5	
	IV	H.W.	Big pieces breakable with the hand, Dry rock samples not disintegrated by the immersion in water	50~90% I-III + 10~50% IV-VI	4	
	III	M.W.	Weakened more and more, More marked discoloration Big pieces are not dissociated by the hand	50~90% I + 10~50% IV-VI	3	
	II	S.W.	Slightly weakened discolored	>90% I-III + <10% IV-VI	2	
	I	F	Few trace of weathering	100% I-III	1	

그림 1. 균일한 암반 및 비균질 암반의 풍화 등급 및 기준(after GSEG 1995)

2.2 토목 공사에서 쓰이는 암반 분류법

토목 공사 시 우리나라에서 쓰이는 암반 분류는 주로 정성적 혹은 정량적인 분류에 의존하는데, 풍화 정도에 따라 세 가지 종류의 암반 - 풍화암, 연암, 경암 - 으로 분류되는 것이 일반적이다. 즉, 암반을 육안 관찰에 의한 풍화 상태와 시추 시에 사용된 시추 비트 종류 및 시추 굴진 속도, 그리고 시추 코어의 상태 및 상대 강도 등에 의해서 구분한다. 각 공사 발주 기관에 따라 각기의 암반 풍화 기준이 마련되어 있으며, 이는 건설교통부에서 제시한 암석 물성에 의한 암반의 풍화 분류에 그 기반을 두고 있다(표 1).

표 1. 암반 강도 및 물성에 의한 풍화 등급 분류(건설교통부)

분 류		UCS (MPa)	PLS (MPa)	SHL	Q _A (%)	지질 해머 타격시 반발 정도
국제 분류법	건설교통부					
F	극경암	>180	>8.8	> 60	< 0.24	해머 타격 시 반발력 좋음, 파괴에 어려움
SW	경암	130 - 180	5.6 - 8.8	51 - 60	0.47 - 0.24	힘껏 내려쳤을 때 모서리면 파괴
MW	보통암	100-130	3.7 - 5.6	44 -51	0.08 - 0.47	힘껏 내려 쳤을 경우 절리면을 따른 파괴 발생
	연암	70 - 100	1.8 - 3.7	34 - 44	1.65 - 0.80	보통 타격시 어느 정도 깨지기 쉬움
HW	풍화암	30 - 70	0 - 1.0	10 - 34	9.25 - 1.65	보통 타격으로도 아주 쉽게 깨어지며, 손으로도 종종 부숴짐

3. 연구 지역 지질 현황

본 연구는 옥천지향사지대에 속하는 3개의 지역 - 제천, 김천, 그리고 금산 지역 -에 대하여 수행되었다. 본 연구 지역들은 화강암 및 화강편마암, 그리고 편마암이 주로 분포하는 지역으로 그 지질 구조가 복잡하다. 주 연구 대상은 고속도로 혹은 고속철도선로 건설 중 굴착된 사면으로, 특히 화강암 및 화강편마암이 관찰되는 사면에 국한하여 연구를 수행하였다.

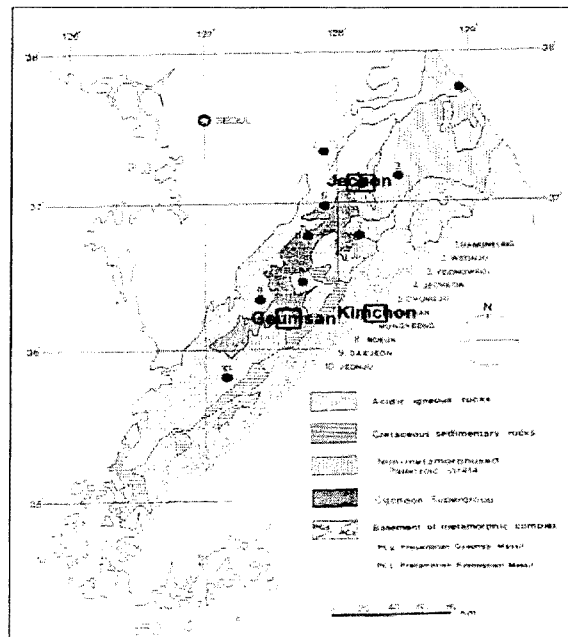


그림 2. 연구 지역 분포 위치

특히, 제천 지역의 화강암은 큰 결정의 장석을 함유한 거정질 흑운모 반상화강암이 그 주를 이루고 있고, 금산 지역은 중립질 흑운모 화강암, 그리고 김천 지역에서는 세립질 혹은 중립질 흑운모 화강암과 화강섬록암, 호상 흑운모 화강편마암 등이 주를 이루면서 분포하고 있다. 이들 암석에 대하여 암석 풍화 등급에 따라 시료를 채취하여, 실험실 및 야외 실험을 통하여 각기의 물성을 측정하였다.

4. 풍화별 암석 물성 측정 결과

각 지역에서 채취한 시료는 토양 상태의 완전 풍화 및 잔류 토양을 제외한 4 단계의 풍화 등급 - 즉 신선한 암석인 F, 약간 풍화 상태 SW, 보통 풍화 MW, 그리고 심한 풍화 HW - 으로 기존의 방법에 의하여 구분하였다. 각 시료에 대하여 탄성과 속도 측정 및 흡수율 측정 그리고 일축압축시험을 실시하여 풍화에 따른 암석의 물성 변화를 관찰하였다. 풍화 등급은 현장에서 주로 대상 암반에 대하여 육안과 현장에서 할 수 있는 간단한 상대적 강도 실험을 통하여 결정되었기 때문에, 시료 성형 과정과 육안 관찰에 의한 오차로 인하여 동일한 풍화 등급의 암석의 물성에서도 그 편차가 크다. 특히 그 편차는 풍화 등급이 올라갈수록 더욱 심하여 지고 있음을 그림 2에서 볼 수 있다. 특히 심한 풍화 HW와 보통 풍화 MW의 경계가 확연하지 않은 관계로 인하여, 서로간의 물성 변화 구간 중 반복되는 구간이 많이 발생한다.

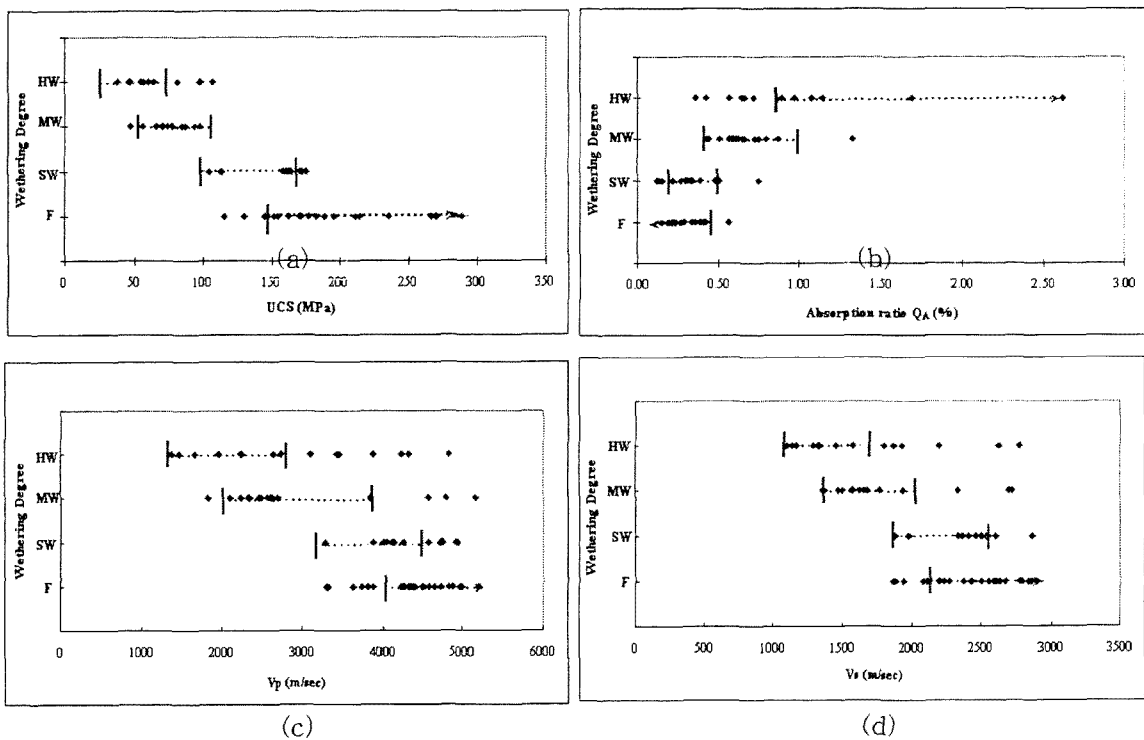


그림 2. 풍화 등급에 따른 화강암 및 화강편마암의 암석 물성 실험 결과

점이적인 암석 물성의 변화를 고려하면, 서로 인접한 풍화 등급의 암석 사이에선 암석 물성 값이 서로 중복 되는 구간을 가질 수 있다. 따라서, 육안이나 정성적인 암석 풍화 등급 분류의 오차를 고려할 때, 각 풍화 등급에서 오차에 속하는 물성 값을 배제할 수 있다. 각 풍화 등급에서 보여 질 수 있는 물성 범위는 그림 2에서 직선 혹은 화살표로 표시 되었으며, 각 풍화 등급에 따른 암석 물성치의 변화는 표 2에 다시 기재되어 있다.

표 2. 연구 지역 화강암류의 풍화 등급에 따른 암반 물성치 범위

Weathering degree	UCS (MPa)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	흡수율 (%)
F	150 ~ 300	4000 ~ 5200	2200 ~ 3000	0,12 ~ 0,41
SW	100 ~ 170	3200 ~ 4500	1800 ~ 2500	0,22 ~ 0,49
MW	60 ~ 110	2000 ~ 3900	1400 ~ 2000	0,36 ~ 1,0
HW	30 ~ 65	1200 ~ 2700	1100 ~ 1700	> 1,0

5. 풍화 지수 결정

풍화 지수란 암석의 풍화 정도를 정량화한 것으로, 흔히 신선한 암석과 풍화를 받은 암석의 물성을 서로 비교하면서 얻어진다. 여러 연구자들이 암석의 물성 혹은 물리적인 측면에 근거하여 풍화 지수들을 제시하였다. 그 중 Fookes et al.(1988) 이 여러 암석 물성 값을 조합한 RDI(Rock Durability Index) 를 제시하였고, 암석의 강도에 따른 이 값의 범위를 구하였다 (표 3). 특히, RDI를 여러 조건 - 운동학적, 암석의 종류 등- 에 따라서 달리 구하였는데, 본 연구에서는 정적 상태(static condition)에서 값을 채택하여 사용하였다. 또한, 간략한 실험을 통하여 신속하게 구할 수 있는 RDI_{sq}를 암종에 따라 제시하였다. 다음의 식은 Fookes et al.(1988)이 많은 실험을 통하여 화강암에 대한 일반적인 RDI_{sq}를 구하는 식으로 Is(50)은 표준점하중강도, Q_A는 흡수율, SG_{ssd}는 겉표면을 건조한 포화 암석 시료의 비중을 뜻한다.

$$RDI_{sq} = \frac{Is_{(50)} - 0.1 [10.23Q_A - 0.7]}{SG_{ssd}}$$

본 연구 지역에서 채취한 화강암 및 화강편마암들의 측정 암성 물성에 근거하여, 본 연구에서는 다음과 같은 풍화 지수 I_a 를 제시하였다.

$$I_a = \frac{Strength_{weathered}}{Strength_{fresh}} \times \frac{DrySpecificGravity (g/cm^3)}{Q_A (\%)}$$

이 공식에서 첫 번째 항은 암석 강도의 상대적인 값으로 신선한 암석 (풍화 등급 F) 의 강도 -

일축압축강도, 점하중강도, 슈미터해머강도 등 - 와 풍화를 받은 암석의 강도의 비로 나타낸다. 두 번째 항은 흡수율에 대한 건조 암석 비중의 비이다. 즉, 풍화 지수 Ia 는 현장에서 간단한 실험을 통하여 얻을 수 있다. 각 풍화 등급별 암석의 물성을 대입한 결과 표 3에서 보는 바와 같은 풍화 지수 값의 변위를 보여준다.

표 3. 풍화 등급에 따른 풍화 지수 Ia 와 RDIsq 의 범위

Weathering degree	Ia	Potential Durability	RDIsq
F	> 7	Excellent	> 2,5
SW	3,5 ~ 10	Good	2,5 ~ -1
MW	1,0 ~ 6,0	Fair	1 ~ -3
HW	< 2,5	Poor	< -3

6. 결론

본 연구에서는 화강암 및 화강편마암에 대한 암석 풍화 등급의 분류 기준과 분류 방법에 대하여 살펴보았다. 실내 실험 및 야외 실험을 통하여 암석의 풍화 등급에 따른 물성 범위를 구하였으며, 이를 바탕으로 풍화 지수 Ia를 제시하고 그 값의 범위 또한 암석 풍화 등급에 따라 정하였다. 그러나, 제시된 풍화 지수 Ia 값의 범위는 연구 지역에 분포하는 화강암 및 화강편마암들에 대한 값으로 다른 암석에 대하여서는 또 다른 시료 채취 및 여러 시험을 통하여 구하여야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단과 주한 프랑스 대사관 및 프랑스 ARIEL 간의 국제 공동 연구 사업(과제 번호 20015-312-01-2)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. FOOKES P. G., GOURLEY C. S., OHIKEREC., 1988, Rock weathering in engineering time, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 21 No. 1, 33-58.
2. G.S.E.G., 1995, Geological Society Engineering Group Working Party Report, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 28 No. 3, 207-242.
3. Ik WOO, 2003, Alterability of granites and gneisses in South Korea. Consequences on the long-term stability of excavated rock slopes, Thesis in Paris School of Mines, 205.