

地質工學的으로 岩石과 岩盤의 風化程度를 分類하는 方法

이 수 곤
한국동력자원연구소
응용지질실(이학박사)

요 지

본고는 현존하는 암석과 암반의 풍화분류방법에 대한 고찰 및 이러한 방법들을 실제로 우리나라의 토목현장에 적용할 경우 발생하는 여러가지 문제점을 서술하고, 이에 따른 문제점 극복을 위해 우리나라의 여건에 맞도록 암석 및 암반의 풍화상태를 조사 기술하되로서 각종 토목공사에서 보다 유용하게 사용할 수 있는 풍화분류방법을 제시한다. <大林技術情報轉載>

I. 머 리 말

우리나라에도 널리 소개된 터널서공을 위한 암반분류방법(Bieniawski에 의한 CSIR 지질공학분류법; Barton의 NGI('Q' System)공학분류법)에서도 암석의 풍화정도를 중요한 요소로 고려하고 있다. 뿐만 아니라 각종 토목공사에서도 암석의 풍화에 따르는 문제점이 야기되고 있다.

그럼에도 불구하고 일반 지질 기술자와 토목기술자 간에 서로 사용용어의 불일치와 자료에 대한 이해부족으로 서로간에 괴리가 있는 실정이다.

이 연구보고서는 일상적으로 외국에서 널리 사용되는 공학적인 풍화분류법들을 우리나라에 적용, 그 방법들의 문제점을 파악하였고, 이로서 보다 우리나라의 조건에 맞는 타당성있는 기본방법을 제시하고자 하는데 그 목적이 있다. 대상 암석은 우리나라에 가장 많이 분포하고 있고(약35%), 주요 대도시를 이루고 있어서 많은 토목공사가 수행되고 있는 화강암(Granite)으로 하였다. 한국 화강암의 주구성광물은 석영 30~35%, 장석 60~65%, 운모 0.5~3%비율로 되어 있다.

암석의 물리적, 공학적인 성질은 풍화됨에 따라 급격하게 변화하므로(그림-1), 암석의 풍화정도를 정확하게 인지하는 것이 매우 중요하다. 이렇게

풍화정도를 인지함으로써, 암석은 일반적으로 비슷한 특질을 지니고 있는 몇 가지의 풍화등급으로 나누어질 수 있다. 즉,

- (1) Fresh(F)
- (2) Slightly Weathered(SW)
- (3) Moderately Weathered(MW)
- (4) Highly Weathered(HW)
- (5) Completely Weathered(CW)
- (6) Residual Soil(RS)

등으로 우리나라에서 보통 암석구분으로 사용하는 용어와 대비하면,

- (1) F : 극경암
- (1) SW : 경암
- (1) MW : 보통암
- (1) HW : 연암
- (1) CW와 RS : 풍화토(마사토)로 된다.

이 용어를 사용하는데 따르는 문제점은 차후에 설명된다.

일반적으로 외국에서 많이 사용되는 풍화분류방법과 그에 사용되는 분류인자들은 표-1에서 소개된다. 이 분류인자들은 암석(작은 시료를 대상)과 암반(큰 암괴를 대상)을 조사하는 두가지 방법으로 대별된다. 또 암석의 풍화정도를 조사하

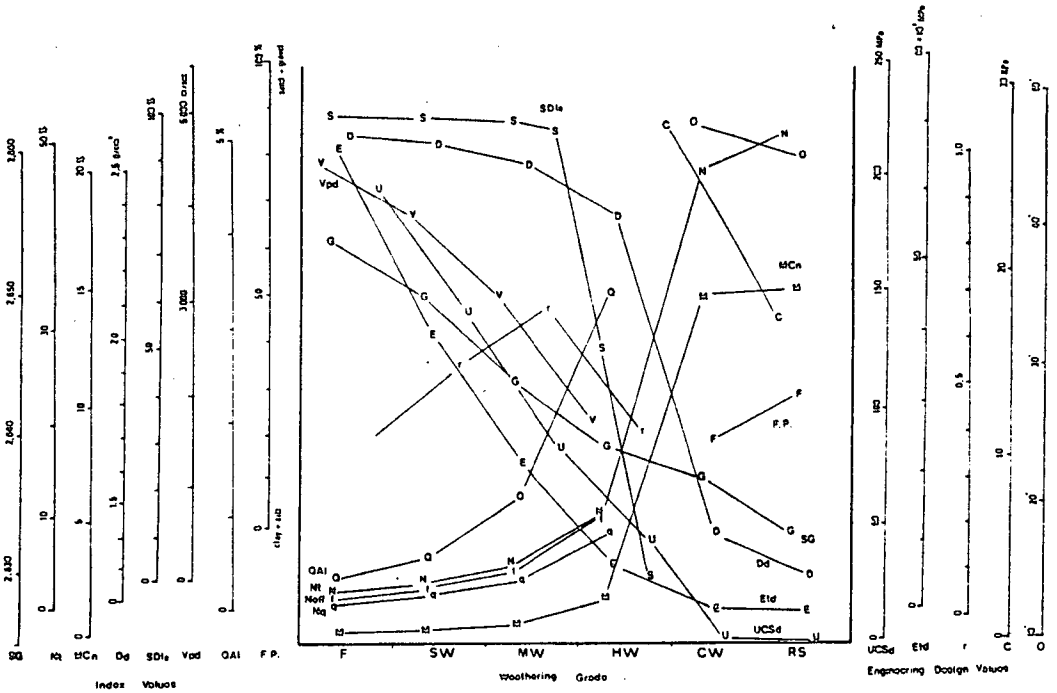


그림-1. Summary of the variations in index and engineering design values with weathering

는데 사용되는 인자들은 다음의 세종류로 나누어진다.

- (1) 풍화될 때 변화하는 암석구성광물의 변화를 육안으로 추정하는 지질학적인 조사법
- (2) 단순히 암석의 역학적 특성을 추정(때로는 Index실험 사용)하는 공학적인 조사법
- (3) 상기 두 방법을 혼합하여 사용하는 지질학적이고 공학적인 조사법

암반의 풍화분류는 풍화된 암석이 암반 내에 공간적으로 분포하는 양상에 따른다. 표-2는 암석과 암반의 풍화상태를 조사하는 방법, 사용되는 인자, 인자가 적용되는 풍화등급범위를 정리한 것이고, 이들을 한국 화강암에 실제로 적용할 때 발생하는 문제점에 대해서는 다음에서 설명된다.

II. 현존하는 암석 풍화 분류방법

1. 육안으로 암석의 풍화정도를 조사하는 인자
가. 암석 색깔의 변화상태(Degree of Discolouration)

가장 많이 사용되는 인자인데, 한국 화강암에서는 풍화됨에 따라서 암석의 색깔이 전체적으로 뚜렷하게 변화하지 않는 경우가 많으므로 이 인자 사용은 부적합하다.

간혹 국부적으로 흑운모(Biotite)부근이 붉게 변하곤 하나 미약한 인자이다.

나. 화학적 변질상태(Degree of Chemical Decomposition)

많이 사용되는 인자인데, “광물이 [특히 장석(Feldspar)] 약간 변질되었다”는 불충분한 용어를 사용하므로, “장석이 변질되어서 뿌옇게 사질화(gritty)되었거나 점토화(clayey)되었다”고 좀더 적절한 용어를 한국화강암의 풍화정도를 서술하는데 사용하여야 한다.

다. 물리적 파쇄상태(Degree of Physical Disintegration)

대부분의 풍화분류법이 암석의 화학적 변질상태만 고려하고 있으나, 풍화된 한국화강암은 육안으로 많은 미세절리가 발달하고 암석조성입자간의 벌어짐 등이 인지되므로, 이러한 물리적 파

< 丑 - 1 > A comparison of weathering description and classifications

Reference ¹	Rock type	Climate	Location	Purpose	Number of grades	Recognition factors ^{2,3}		
Rock material Moyle (1955)	Granite	Humid-tropical	South Eastern Australia	Engineering requirement for hydro-electric scheme	6	AB	D	III KL 79
Newbery (1971)	Granite	Tropical	Western Malaysia	Engineering requirement for hydro-electric scheme	6	AB	D	I K M
GSL (1970)	General	General	General	Core logging	6	B	D	J
Dearman (1976) (succeeded by ISRM (1978); IAEG (1981); BSI (1981); Dearman (1984))	General	General	General	General usage	4 (implied)	AB	D	J
Irfan & Dearman (1978)	Granite	Temperate	Cornwall, UK	General usage	6	ABCD		I O
Hencher & Martin (1982)	Granite and volcanic rocks	Sub-tropical	Hong Kong	General usage	6	D		FG IJKLMNO
GCO (1984)	Granite and volcanic rocks	Sub-tropical	Hong Kong	Slope stability	6	A	D	FG IJKLMNO
Rock mass Ruston & Berry (1957)	Granite	Sub-tropical	Hong Kong	Weathering profile classification	4			12356
Knill & Jones (1965)	Gneiss and granite	Humid-tropical	Roscires, Sudan	Dam foundation	4	AB	D	IIIJ 79
Little (1989)	Mainly igneous rocks	Humid-tropical	General	Weathering profile classification	6	AB	DE	H KL 79
Fookes & Horswill (1969) (succeeded by Fookes et al. (1971); GSL (1972))	General	General	General	Logging and geotechnical mapping	6	A	D	L
Deere & Patton (1971)	Igneous and metamorphic rocks	Humid-temperate and tropical	General	Slope stability	6	B	E	L 789
Dearman, 1976 (succeeded by GSL (1977); Irfan & Dearman (1978); Dearman (1984); ISRM (1978, 1981); BSI (1981); IAEG (1981))	General	General	General	Weathering profile classification	6	A	D	125
Martin & Hencher (1984)	Granite and volcanic rocks	Sub-tropical	Hong Kong	Weathering profile classification	6			1235
GCO (1984)	Granite and volcanic rocks	Sub-tropical	Hong Kong	Slope stability	4			12356

¹ Abbreviations used in references:
 GSL Geology Society, London,
 ISRM International Society of Rock Mechanics,
 IAEG International Association of Engineering Geology,
 BSI British Standards Institution,
 GCO Geotechnical Control Office, Hong Kong.

² Rock material recognition factors:
 A-E: Visual characteristics:
 A. Degree of discolouration of rock material.
 B. Degree of chemical decomposition of biotite and feldspar.
 C. Degree of physical disintegration.
 D. Presence of original texture.
 E. Presence of humus and roots.
 F-O: Mechanical characteristics:
 F. Degree of plucking of individual grains.
 G. Degree of penetration of geological pick or knife.
 H. Method of hand excavation.
 I. Disintegration of material in water (slabability).
 J. Friability.
 K. Breachability of NX core in the hand.
 L. Relative rock material strength.
 M. Relative hardness by hammer blow.
 N. Hand penetrometer value.
 O. Schmidt hammer value.

³ Rock mass recognition factors:
 1-6: Visual characteristics:
 1. Presence of original structure.
 2. Degree of discolouration along joint plane.
 3. Degree of weathering along joint plane.
 4. Opening of joint.
 5. Rock to soil ratio.
 6. Angularity of core stone.
 7-9: Engineering characteristics:
 7. NX core recovery.
 8. RQD.
 9. Relative rock mass permeability.

쇄상태도 자세히 조사하여야 한다.

라. 원래 암석구조의 존재(Presence of Original Texture)

이 인자는 종종 CW와 RS토양을 분류하는데 유용하게 사용된다. CW와 RS물질은 흔히 우리나라에서 "마사토"로 불리우는데, CW는 풍화가

비교적 적게된 토양으로 원래 화강암구조를 지니고 있는데 반하여, 풍화가 많이된 RS는 구조를 잃어버린 상태이다.

마. 부식토와 식물 뿌리의 존재(Presence of Humus and Roots)

토양 내에 부식토와 식물 뿌리가 있으면 RS등

< 丑-2 > Diagnostic characters frequently used to define the various grades of granite. The figures in brackets indicate the number of classifications listed in Table 1 which utilise the diagnostic character, and the length of the line drawn above the name of each character describes the range of grades over which it may be effectively used.

Weathering Grade/zone		F	SW	MW	HW	CW	RS
Rock material	Visual recognition	Presence of original texture (11)					
		Degree of discolouration of rock material (9)					
		Degree of chemical decomposition of biotite and feldspar (8)					
		Presence of humus and roots (2)					
		Degree of physical disintegration (1)					
	Mechanical recognition	Disintegration of material in water (slakability) (6)					
		Relative rock material strength (6)					
		Breakability of NX core in the hand (5)					
		Friability (5)					
		Relative hardness by hammer blow (3)					
Rock mass	Visual recognition	Schmidt hammer value (3)					
		Method of hand excavation (3)					
		Degree of plucking of individual grains (2)					
		Degree of penetration of geological pick or knife (2)					
		Hand penetrometer value (2)					
	Engineering recognition	Degree of discolouration along joint plane (10)					
		Presence of original structure (7)					
		Rock to soil ratio (6)					
		Degree of weathering along joint plane (5)					
		Angularity of corestone (3)					
	Engineering recognition	Opening of joint (2)					
		NX core recovery (4)					
		Relative rock mass permeability (4)					
		RQD (1)					

급, 없으면 CW 등급으로 구분하는데 간혹 사용되나, 한국 화강암에서는 이 인자를 사용하는 것이 불충분한 방법으로 조사된다.

2. 암석의 역학특성으로 풍화정도를 추정하는 방법

가. 물속에서 흐트러지는 정도(Slakability)

Slaking Test는 HW와 CW 경계를 구분하는데 사용하며, 물속에 시료를 넣었을 때 흐트러지면 CW나 RS등급이고, 흐트러지지 않으면 HW 이상의 덜 풍화된 암석이다.

나. 강도(Strength)

풍화가 진전됨에 따라서 변화하는 일축강도는 암석풍화분류법에서 가장 많이 사용하는 역학적 성질이다. 일축강도는 상대적, 정성적, 정량적인 방법으로 추정된다.

(1) 상대적

“신선암과 비슷한 강도다”, “신선암보다도 약하다”는 용어를 암석풍화 분류법에서 많이 사용하는데, 상대적인 강도를 어떻게 인지하여야 하는가를 설명하지 않고 있어서 암석의 풍화정도를 추정하는 것이 불충분하므로 강도를 추정하는 간단한 방법이 필요하다.

(2) 정성적

풍화암/토양의 강도는 종종 다음과 같은 연경도를 측정함으로써 정성적으로 간단히 추정된다. 암석에 망치로 타격한 후의 느낌, 칼로 긁어서 암석조성광물 입자를 떨어뜨리는 난이도, 토양에 칼이나 손톱을 삽입시키는 난이도.

상기와 같은 방법을 사용하여 추정된 정성적인 강도의 수치를 외국의 문헌들이(International So-

society for Rock Mechanics, 1978) 제시하고 있으나 그들 수치를 한국 화강암에 적용하기에는 부적당한 것으로 본인 연구에서 입증되었으므로 이에 상응하는 도표를 표-3에서 제시한다.

또 NX Core(54mm 직경의 시추코어) 크기의 시료를 손힘으로 부러뜨릴 수 있으면 HW암석이고, 없으면 MW이상의 암석이라는 인지방법도 한국 화강암에 적용하는데 적합하다. 손힘으로 눌러서 암석표면이 견고한가를 측정하는 으깨짐(Friability) 실험은 그 용어의 애매함 때문에 사용이 부적합하다.

상기와 같은 정성적인 방법들은 수행하는 사람의 경험이나 주관적인 판단에 따르므로 이로 인한 결과는 실제로 공학적인 목적에서는 불충분하다. 그러므로 객관적인 자료를 얻기 위해서는 정량적인 방법이 필요하다.

(3) 정량적

콘크리트 타설 후 콘크리트의 굳은 정도를 측정하기 위해서 해머 타격시의 반발정도를 측정하는 Schmidt Hammer(소위 콘크리트해머)로 암석의 강도를 추정할 수 있다. 이의 사용은 F, SW, MW 및 풍화정도가 적은 HW등급의 암석에 제한된다.

토양은 Hand Penetrometer를 사용하는데, 이는 원래 점성토에 사용하도록 강도 추정도표가 제시되어 있으므로, 화강 풍화토인 실트사질토에는 새로운 강도추정도표를 사용하여야 한다. 이 장비는 주로 RS 풍화토, 풍화가 많이된 CW 풍화토에 적용되나 풍화가 적은 CW 풍화토에는 이 장비의 사용으로 6mm 깊이까지 침투하여 수치를 얻기에는 강도가 너무 높아서 이 장비의 사용이 제한된다.

III. 현존하는 암반풍화 분류방법

1. 육안으로 조사하는 인자들은 표-1에 나타나 있으며 중요한 순서대로 서술하면 다음과 같다.

가. 원래 암반구조의 존재여부(Presence of Original Structure)

암반의 원래구조(예, 절리)가 보이면 CW이상이고, 안보일 정도로 풍화가 많이 되었으면 RS 토양으로 분류할 수 있는데, 이 방법은 한국 화

강암에 잘 적용된다.

나. 절리 부근에서 암석 색깔의 변화상태(Degree of Discoloration along Joints)

암반 풍화 분류법에서 많이 사용하는 용어로서 앞서 「암석 색깔변화」에서 언급한 바와 같이, 한국 화강암은 풍화될 때 암석색깔의 변화가 뚜렷하지 않은 것이 보편적이므로 이 인지방법은 도움이 별로 되지 않는다. 이 보다 화학적 풍화에 따른 암석조성광물(주로 장석)의 변화정도나 물리적 풍화에 따른 미세절리의 발달정도를 측정하는 것이 더 중요하다.

다. 절리 부근에서 암석의 풍화상태(Degree of Weathering along Joints)

암반의 풍화는 우선 절리 부근에서부터 풍화되기 시작하므로 절리 부근과 암피 내부의 풍화상태가 어떻게 다른가를 조사하는 것이 필요하다. 그러나 여러 암반 풍화 분류법들이 「절리표면에서 암체 내부로 풍화가 진행된 정도」를 조사한다고 언급하고 있으나 명확한 서술방법을 제시하지 않고 있다.

자세한 서술방법으로서 우선 풍화된 깊이를 절리표면으로부터 조사하여야 한다. 그러나 이 서술방법도 암석역학적인 관점에서 부적합하다. 예를 들면 절리표면으로부터 5cm 풍화되었다고 하면, 절리의 간격이 10cm로 좁을 때는 전 암체가 모두 풍화된 것을 의미하나, 절리의 간격이 1m로 넓으면 절리 부근만 약간 풍화되어 있고 암체 내부는 거의 신선하다는 것을 의미한다. 그러므로 이 표현상의 크기효과(Scale Effect)를 극복하기 위해서, 절리 부근 암석과 암체 내부 암석의 풍화정도를 조사하는 것은 물론이고 그들의 입체적인 분포 비율도 함께 서술하여야 한다.

라. 암석과 토양의 비율(Rock to Soil Ratio)

암석과 토양의 비율은 기존 암반 풍화분류방법에서 사용되는 가장 기본이 되는 인자인데, 이는 보통 암반 내에 있는 핵석(Corestone)의 비율을 의미한다.

이 방법은 화강암이 풍화되면 지표면에서 하부로 갈수록 풍화정도가 적어지고 종종 풍화토양 내에 비교적 신선한 암석이 구상으로(핵석 형태) 존재한다는데 근거하고 있으며(그림-2b), 이것은 Ruxton & Berry(1957)가 Hong Kong에서 조사한

자료에 따르고 있고, 현존하는 암반 풍화 분류방법의 기본이다.

그러나 본인이 조사한 바에 따르면 한국 화강암은 풍화될 때 보통 핵석을 형성하지 않고, 지표면에서 하부로 갈수록 점이적으로 풍화정도가 감소하는데, 토양과 암석으로의 전환이 급격이 일어난다(그림-2a). 대체로 암괴 내부물질이 거의 암반을 이루고 있고, 절리면 부근의 풍화물질은 10% 이내의 작은 구성 체적분포 비율을 지닌다.

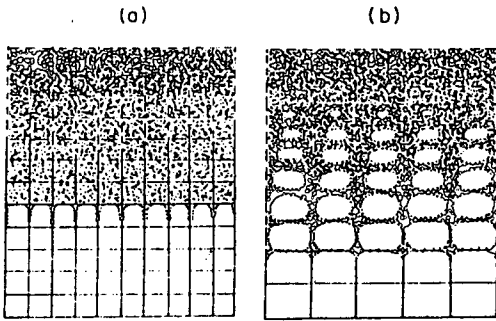


그림-2. Typical examples of the gradational (a) and corestone weathering (b) profiles.

최근에는 화강암의 풍화양태가 핵석을 형성하기 보다는 보다더 점이적이라는 사실이 외국 여러 문헌들에 보고되어 있다. 현존 암반 풍화 분류방법은 점이적인 풍화 형태에는 부적합한데 아직까지 점이적인 풍화 형태에 대하여 적절한 암반풍화 분류방법이 제시되지 않고 있는 실정이다.

강도나 변형율과 같은 암반의 특성은 절리 부근의 물질과 암괴 내부의 물질 양쪽에 의해서 영향받으므로, 점이적인 풍화 형태에서는 절리 부근에서의 풍화정도를 구성체적분포비율(%)로 표시하여야 하는데, 그때 암석의 강도를 정량적으로 표시하는 자료가 보완되어야 한다.

핵석을 형성하는 풍화 형태에서도, 기존 풍화 분류방법에서 사용하는 「암반과 토양의 비율」이라는 용어는 그 자체가 자세하지 않은 서술방법이므로 암반의 공학적인 거동을 나타내는데 부적절하다. 왜냐하면 핵석도 F, SW, MW 등 여러 풍화등급으로 되어 있고, 토층도 CW, RS로 되어 있으므로 이들을 구별하여서 자세히 서술하여야 하기 때문이다.

마. 핵석의 등근정도(Angularity of Corestone)

핵석의 등근 정도가 암반의 풍화정도를 나타내기 위하여 여러사람들에 의해서 제안되었으나, 이는 절리에 따라서 풍화되는 정도에 비례하므로 앞서 언급한 「절리를 따라서 풍화가 되는 정도」를 조사하는 것에 포함되므로 재차 언급함은 불필요하다.

암반의 물리적 성질의 변화를 조사하는 요소들은 표-1에 있다. 이들은 시추할 때의 NX Core 회수율, RQD(Rock Quality Designation), 암반의 투수율 등을 고려하는데, 이 요소들은 풍화정도보다도 암반의 절리 발달상태에 더 관련이 있으므로 암반의 풍화 분류방법에서 중요한 요소로서는 조사하지 않는 것이 타당하다.

IV. 한국 화강암에 적합한 풍화정도를 조사기술하고 분류하는 방법

여기에서 제시되는 방법은 지질공학적인 견지에서 풍화정도를 조사기술하고 분류하는 방법으로서 지질학적인 인지방법과 공학적인 인지방법 양쪽 모두의 중요성을 강조하고 있다.(암석은 표-3, 암반은 표-6).

1. 암석의 풍화정도를 조사하고 분류하는 접근 방법

지질학적 조사자료만으로는 토목기술자들이 직접 필요한 공학적 자료를 제시할 수 없다.

또 공학자료 만으로도 풍화정도를 적절히 조사하는데 필수적인 지질학적인 자료가 부족하므로 역시 부적합하다. 예를들면 같은 Schmidt Hammer 수치를 지니는 암석이라도 서로 다른 화학적이고 물리적인 풍화정도를 지니므로 그 지질학적인 특성에 따라서 서로 매우 다른 그밖의 공학적 성질(예, 변형율, 풍화내경도 등)을 지닐 수 있다.

뿐만 아니라 공학적인 자료 자체도 다음과 같은 문제점들이 있다.

(1) Index Test(Schmidt Hammer, Point Load Strength, Hand Penentrometer Test) 자료에 의해서 풍화 등급들이 뚜렷하게 나뉘어지는게 아니고 인근 풍화등급 사이에 서로 중첩되는 Index 수치의 범위를 지닌다.

(2) 오직 한 가지의 공학적인 특성(예, 강도)에 근거한 분류법도 문제인데, 우리나라에서는 경암,

〈 丑 - 3 〉 Proposed weathering scheme for granitic material

1. Classification		2. Description				3.		4. Likely uniaxial compressive strength for Korean granite ²		Ref. ³	
Grade	Term	Abbreviation	Type of material	Degree of chemical decomposition	Visual description Log. symbol	Degree of physical disintegration	Log. symbol	Mechanical recognition ¹	Air-dry	Saturated	
I	Fresh	F	Rock	All mineral constituents are sound.	CF	No evident microfracturing (using $\times 10$ magnification at most).	PF	Feldspars cannot be scratched with knife. Sample requires many blows of geological hammer to fracture it. (PLS is 9-13 MPa, SHV is 59-62 for moisture content range 0.06-0.30%).	125-260 MPa (High to very high strength) (High to very high strength) (Very to extremely strong)	80-240 MPa (Medium to very high strength) (Strong to high strength) (Strong to extremely strong)	(1) (2) (3)
II	Slightly weathered	SW	Rock	Plagioclases are occasionally slightly decomposed (gritty). Biotites are slightly decomposed and beginning to stain some of the surrounding minerals.	CS	Slightly microfractured (over $\times 10$ magnification). All microfractures and grain boundaries are light.	PS	Feldspars cannot be scratched with knife. Sample requires more than one blow of geological hammer to fracture it. Slightly weaker than the fresh rock. (PLS is 5-12.5 MPa, SHV is 51-56 for moisture content range 0.15-0.29%).	100-170 MPa (High strength) (High strength) (Very strong)	55-135 MPa (Medium to high strength) (Strong to high strength) (Strong to very strong)	(1) (2) (3)
III	Medium to highly weathered	MW	Rock	Most of plagioclases and some potash feldspars are moderately decomposed (gritty). Biotites are moderately decomposed staining many of the surrounding minerals.	CM	Moderately microfractured (5-10 mm spacing). Most microfractures and grain boundaries are light, but some of them may be slightly open.	PM	Feldspars can be noticeably scratched with a knife, cannot be peeled by a knife. Sample can be fractured with single firm blow of geological hammer. NX cores cannot be broken by hand. Cannot be excavated with a spade. Considerably weaker than the fresh rock. (PLS is 2-6 MPa, SHV is 37-48 for moisture content range 0.25-0.45%).	60-120 MPa (Medium strength) (Strong to high strength) (Strong to very strong)	35-65 MPa (Low to medium strength) (Medium strong) (Moderately strong to strong)	(1) (2) (3)
IV	Highly weathered	HW	Rock/ Soil	All plagioclases and some potash feldspars are highly decomposed (gritty to clayey) and most potash feldspars are moderately decomposed (gritty). Biotites are highly decomposed staining most rock minerals.	CH	Highly microfractured (2-5 mm spacing). Microfractures which are mainly grain boundaries tend to be slightly open.	PH	Feldspars can be peeled by a knife with difficulty. Sample cannot be indented by a geological pick or knife, can be crumbled under firm blows with geological hammer. NX cores may be broken by hand with difficulty, can be excavated with a spade with great effort, cannot be disintegrated by agitation in water. Significantly weaker than the fresh rock. (PLS is 0.3-0.9 MPa, SHV is 12-21. SL grade is 1 for moisture content range 0.37-3.8%).	35-55 MPa (Low strength) (Medium strong) (Moderately strong to strong)	10-15 MPa (Very low strength) (Weak) (Moderately weak to moderately strong)	(1) (2) (3)
V	Completely weathered	CW	Soil	All plagioclases and most potash feldspars and biotites are completely decomposed (clayey), some potash feldspars are highly decomposed (gritty to clayey). Original texture is present.	CC	All microfractures and grain boundaries tend to be open. Original texture is present.	PC	Feldspars can be readily peeled by a knife. Sample can be readily indented by a geological pick or knife, cannot be indented by thumb, can be excavated by hand with difficulty, can be disintegrated by agitation in water. Loses most of strength of fresh rock. (PLS & SHV are not available, HPV is sometimes achieved ranging over 0.38 MPa; SL grade is 2 or 3 for moisture content range 7.84-21.00%).			
VI	Residual soil	RS	Soil	All feldspars, biotites are completely decomposed (clayey). Original texture is absent.	CR	The existence of microfractures and grain boundaries are hardly distinguishable due to the absence of original texture	PR	Feldspars can be readily peeled by a knife. Sample can be indented by thumb with moderate effort, can be excavated by hand, can be disintegrated by agitation in water. Loses most of strength of fresh rock. (PLS & SHV are not available, HPV is generally achieved ranging 0.24-0.35 MPa, SL grade is 4 for moisture content range 12.24-22.10%).			

Uniaxial compressive strength (MPa)



¹ Note: not describing fracture and cleavage of minerals.
² Key for index tests: PLS, Point Load Strength; SHV, Schmidt Hammer Value; HPV, Hand Penetrometer Value; SL, Slaking. Note: the values shown here were obtained from samples of Korean granite measured at field moisture content. Other values may be more typical for granite elsewhere.
³ (1) Doerr & Miller (1966); (2) ISRM (1978); (3) BS 5930 (1981).

연암 등의 구분으로 종종 이 방법을 사용한다. 풍화되면 강도, 변형율, 투수율 등의 여러 공학적 성질들이 서로 다른 정도로 영향을 받는데 비해서, 오직 한가지 공학적인 특성에 근거한 분류방법은 그의 사용이 한 가지 공학적 특성만으로 암석을 구분하므로 그것만으로는 다른 공학적 성질의 추정엔 난점이 있어서, 일반적인 목적에서의 이 분류방법 사용은 재고되어야 한다. 강도에 따른 분류방법의 또하나의 문제점은 암석의 종류에 따라서 강도의 차이가 다르고, 더우기 같은 풍화정도를 지니는 암석 종류라도 입자 크기 등에 따라서 강도의 차이가 크게 난다. 예를들면 한국 화강암 중에서 중립질인 불국사 화강암은 조립적인 대보 화강암보다도 1.7배 정도 일축강도가 크다.

(3) 또 하나의 중요한 문제점은 모든 풍화등급에서 정량적인 Index수치를 얻을 수 없다는 것으로 이는 풍화가 심한 HW 화강암과 풍화가 적은 CW 화강암처럼 시료채취와 실험을 하는 동안에 시료가 쉽게 교란되므로 그의 강도 수치를 얻기 어려운 풍화 화강암이 있기 때문이다.

상기와 같은 여러 이유들로 인하여 강도지수(Strength Index)의 수치는 단지 풍화등급을 분류하는 하나의 보조수단으로서 사용되어야지 풍화정도를 분류하는 독단적인 수단으로 사용되어서는 안된다.

2. 적합한 암석 풍화 분류방법(표-3)

여기서 제시되는 암석 풍화정도를 조사서술하고 분류하는 방법은 조그만 시료에서 육안으로 관찰된 화학적 변질 정도, 물리적 파쇄 정도에 대한 정성적인 지질학적 자료 및 손으로 하는 간단한 실험에 의한 정성적이거나 장비 또는 지수실험에 의한 정량적인 역학적 자료에 근거한다.

가. 풍화등급, 용어 및 약어(Grades, Terms and Abbreviations : 표-3 Column 1.)

많이 사용되는 6단계의 풍화분류방법, 용어 및 약어를 채택하였다.

나. 물질의 종류(Type of Material : 표-3 Column 1.)

토목공사에서 시공대상이 「암석」인가 또는 「토질」인가가 중요한 문제이므로 이 용어의 사용상 혼돈을 방지하기 위해서 재정립하여 보면, 토목

기술자에게 「암석과 토양의 정의」는 분류목적에 따라 다르다.

(1) 일반분류목적에서 「암석은 강한 점착력으로 연결된 광물의 덩어리이고, 「토양」은 물속에 넣었을 때 흐트러질 정도로 광물들의 결합력이 약한 것이다(Terzaghi & Peck, 1967).

이 정의는 암석 풍화 분류시 HW와 CW등급을 구분하는데 여러 사람들에 의해 사용되며 이 구분에 따르면 F, SW, MW, HW 물질은 암석이고 CW, RS 물질은 토양으로 분류된다.

(2) 강도분류 목적에서는 일축강도가 2.5kg/cm²~15kg/cm²보다 크면 「암석」이고 작은면 「토양」이다. F, SW, MW, HW 물질은 암석이고 CW, RS는 토양으로 분류된다.

(3) 굴착목적에서는 암석은 발파에 의해서만 굴착되는 물질이고, 토양은 다른 간단한 장비로 굴착될 수 있는 물질이다. F, SW, MW 물질은 암석이고 HW, CW, RS는 토양으로 분류된다.

(4) 풍화인내목적에서는 암석이란 처음 굴착하였을 때도 견고하고, 풍화가 급진전되어 쉽게 약해지거나 파쇄되지 않으며, 침수되었을 때에 팽창하거나 건조되면 수축하지 않는 물질이다. F, SW, MW는 암석이고 HW, CW, RS는 토양으로 분류된다.

이와 같이 모든 목적의 공학적인 암석 분류방법에서 F, SW, MW 물질은 「암석」이고, CW, RS물질은 「토양」으로 구별하고 있다. 그러나 HW 물질은 토목공사의 목적에 따라서 「암석」이나 「토양」으로 나뉘어지므로 용어상의 혼돈을 야기시킨다. 더우기 일축강도, 변형율, 풍화내내정도 같은 대부분의 공학적인 특성들은 F, SW, MW 물질에서 나타난 수치에 비해서 HW물질에서 급격히 변한다(그림-1)

그러므로 일반적인 목적의 풍화분류방법에서는 HW 물질은 암석과 토양의 경계물질로 간주하는 것이 타당하다. 그리고 차후에 이 정의는 토목공사의 종류에 따라서 암석 혹은 토양으로 불리울 수 있다.

이 HW 물질은 우리나라의 여러 공사현장에서도 많은 문제를 야기시키고 있다. 특히 HW 물질은 대규모 굴착시에는 발파를 많이하나 얼마간 대기 에 노출되어 물과의 접촉으로 그 물성이 급격히

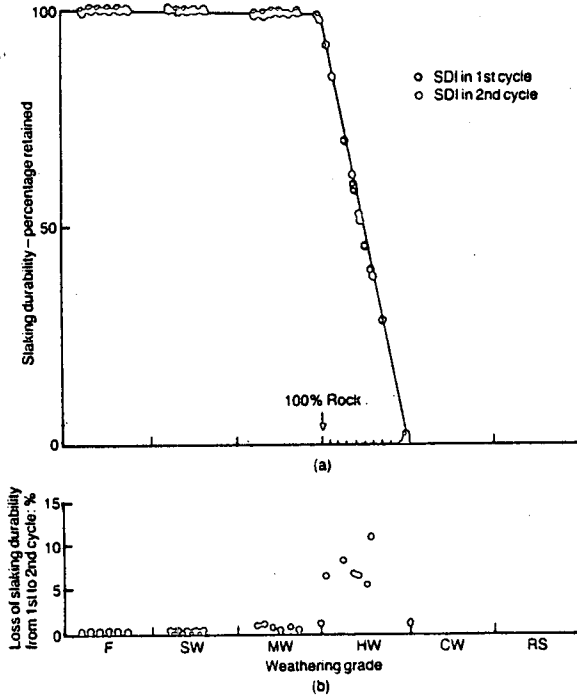


그림 3 Slaking durability index calculated from the results of the first and second cycles of testing (25 tests): (a) values obtained for F, SW, MW, HW samples and samples on the MW-HW and HW-CW boundaries. The position of points on the abscissa in the F, SW, and MW grades reflects the proximity to the limits of the grade as gauged by the usual qualitative definitions. The position of points in the HW grade also reflects the proximity to the limits of the grade as gauged using these methods, but are defined by the percentage of rock remaining after slaking; (b) difference in slaking durability index value between the first and second cycles

변하여 토양같이 쉽게 절개표면으로 흘러내린다. 이 물질은 시료채취와 실험하는 동안에 교란이 쉽게 되므로 강도수치를 얻기 어렵다. 그러나 본인이 제안한 풍화인내 실험으로써 HW의 공학적 특성을 제시하여 주는 암석과 토양의 비율을 정량적으로 측정할 수 있다(그림-3, Lee & de Freitas, 1988).

다. 육안조사(Visual Description : 표-3 Column 2.)

화학적 변질과 물리적 파쇄상태는 육안이나 때로는 10배율의 손렌즈로 인지하여 한국 화강암에 적합하다고 조사된 다음과 같은 서술용어로서 각각 표현하여야 한다. 화학적 변질상태는 흑운모(Biotite)와 장석(Feldspar)의 변질 및 토양에서 원래구조의 존재 여부를 조사하고, 물리적 파쇄상태는 미세한 절리의 발달, 암석구성입자간의 경계가 벌어진 정도 및 토양에서 원래구조의 존재 여부를 조사한다.

라. 간단한 역학적인 야외조사(Simple Mecha-

nical Field Recognition : 표-3 Column 3.)

암석의 풍화정도는 간단한 역학적인 실험에 의해서 추정되어질 수 있는데 앞서 언급한 바와 같이 한국 화강암에 적합한 방법들은 다음과 같다.

- (1) 지질망치로 타격하여서 깨지는 정도
- (2) 칼로 긁히는 정도
- (3) 물에 시료를 넣었을 때 흐트러지는 정도
- (4) 손이나 삽으로 굴착되는 정도
- (5) NX Core 크기의 시료가 손힘으로 깨지는 정도

마. 지수실험(Index Test : 표-3 Column 3.)

풍화정도를 정량적으로나 반정량적으로 측정하기 위해서는 한국 화강암에 적합하고 야외에서 쉽게 수행할 수 있는 지수실험(Index Tests)들이 필요한데, 본 연구보고서에서 추천하는 다음과 같은 지수실험들은 토목공사에 사용되는 주요한 역학적 성질들에 관한 정량적인 수치를 제공하려는데 목적이 있다.

- (1) 암석의 강도 측정은 Schmidt Hammer 및

Point Load Strength Test

- (2) 토양강도 측정은 Hand Penetrometer Test
- (3) 반정량적인 풍화인내정도는 Simple Slaking Test
- (4) 반정량적인 투수정도는 Simple Permeability Test

HW 암석 중에서 풍화가 심한 물질에 대해서는 야외에서 수행할 적절한 정량적인 역학실험방법이 제시되지 않고 있으나 풍화인내 실험을 실내에서 수행하므로써 이 물질의 풍화정도가 정량화될 수 있다(그림-3, Lee & de Freitas, 1988).

암석강도실험은 Schmidt Hammer뿐만 아니라 널리 알려진 Point Load Strength Test도 수행하였다. 이 실험으로 측정할 수 있는 암석은 Point Load Strength 수치가 3~130kg/cm²을 지니는 암석이다. (본인 연구에 의하면 한국 화강암은 Point Load Strength 수치에 16을 곱하므로써 90%의 편차를 지니는 일축강도 수치를 얻는다).

Hand Penetrometer는 CW중에서 풍화가 많이된 토양과 RS토양의 강도를 추정하는데 다음 공식을

이용해서 사용된다.

$$UCS = -0.05034 + 0.31441 \times HPV : r=0.92$$

한국 화강암에 적합한 반정량적인 간단한 풍화인내 실험이 제시된다(표-4).

- (1) 1등급 : 물속에서 시료가 파쇄되지 않는 F, SW, MW, HW 시료
- (2) 2, 3등급 : 물속에서 부분적으로 파쇄되는 CW 시료
- (3) 4등급 : 물속에서 거의다 파쇄되는 RS 시료

F부터 RS 시료까지의 반정량적인 투수율은 다음과 같이 간단한 투수실험으로 측정된다(표-5).

- (1) F, SW시료는 거의 불투수성(1등급)
- (2) MW시료는 약간 투수성(2등급)
- (3) HW시료는 보통 또는 심한 투수성(3과 4등급)
- (4) CW시료는 심한 투수성(4등급)
- (5) RS시료는 약간이거나 보통 투수성(3과 2등급)

< 표 - 4 > Procedure for and interpretation of the simple slaking test

Samples weighing approximately 0.4 N-0.5 N (ie. 40g to 50g) are immersed in water for 5 minutes, and if the samples have not disintegrated completely then they are slightly agitated a few times. The materials are classified as follows.

- Class 1. Most of the specimen has not disintegrated even after it has been agitated a few times.
- Class 2. Less than 50% of the specimen has disintegrated into soil after soaking for 5 minutes, after it has been agitated a few times the specimen is broken into debris.
- Class 3. Over 50% of the specimen has disintegrated into soil after soaking for 5 minutes, after it has been agitated a few times the specimen has almost entirely disintegrated into soil and debris.
- Class 4. Completely disintegrated into soil within 5 minutes of soaking.

< 표 - 5 > Procedure for and interpretation of the simple permeability test

Permeability (K) is simply and qualitatively assessed by observing the penetration of a few drops of water from a dropper or squeeze bottle on a hand specimen, over the period of about one minute.

- Class 1. The specimen is almost impermeable—most of the water remains on the surface ($K \sim 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ or less).
- Class 2. The specimen is slightly permeable—some water is absorbed but more than half the water remains ($K \sim 10^{-7}$ to 10^{-9} m s^{-1}).
- Class 3. The specimen is moderately permeable—more than half the water is absorbed ($K \sim 10^{-5}$ to 10^{-7} m s^{-1}).
- Class 4. The specimen is highly permeable—most of the water is absorbed ($K \sim 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ or better).

바. 각 풍화등급에 따르는 일축강도의 추정치 (Likely Uniaxial Compressive Strength : 표-3 Column 4.)

각 풍화단계를 대표하는 전형적인 한국 화강암의 시료에서 수행한 실내 실험결과는 표-3에 기술되어 있는데, 이는 F, SW, MW 각 등급에 따르는 한국 화강암의 일축강도범위를 나타낸다.

이 수치는 중립질과 조립질 화강암 전체를 포함하고, 건조와 침수상태의 시료에 대한 실험치이다. 강도등급을 나타내는 서술은 Deere & Miller, International Society for Rock Mechanics, British Standard Institution 등이 제안한 방법에 따랐다.

사. 사용하는 범례(Example)

모든 물질의 풍화도에는 화학적 풍화와 물리적 풍화정도 모두를 각각 서술하여야 한다. 이 두가지 중에서 풍화도가 더 심한 등급을 암석의 대표적인 등급으로 나타내고, 거기에 연이어서 화학적 풍화등급과 물리적 풍화등급을 기술한다. 여기에 보조적으로 강도지수가 조사될 수 있으면 이 수치는 육안으로 조사한 자료 하단에 기술한다. 예를들면 「Moderately Weathered Granite(MW) With Moderate Chemical Decomposition(CM) and Slight Physical Disintegration(PS) and With a Schmidt Hammer Value(SH) of 40」은 다음과 같이 간략히 기술된다.

MW^{CM}_{PS}
(SH40)

인접한 두 풍화등급의 경계에 위치하는 물질은 하이폰(연자부호)으로 두 풍화등급을 연결해서 기술한다. 예를들면

S-MW^{CS-M}_{PS}
(SH45)

3. 적합한 암반 풍화분류방법(표-6)

본인이 제시하는 암반의 풍화조사와 분류방법은, 암괴(절리로 둘러싸인 Block)의 가장자리인 절리표면에서 암괴의 중앙(심부)까지 분포하는 암석의 풍화정도를 조사하고, 그들이 한 암괴에서 구성하고 있는 체적분포 비율을 동시에 적어준다. 표-6의 Column 1.에는 수직 풍화단면이 나타나

< 표 - 6 > Proposed weathering scheme for granitic masses

1. Typical weathering profile of Korean granites	2. Classification			3. Description	
	Zone	Term	Abbreviation	Distribution of rock material within joint-bounded block and its grade	Simplified expression ¹
	VI	Residual soil	RS	Most material is RS grade	RS ^{CS} _{PS} (HP 0.3) (SL 4)
	V	Completely Weathered	CW	Most material is CW grade	CW ^{CS} _{PS} (SL 2)
	IV	Highly Weathered	HW	Inner material is HW grade; outer material is HW or CW grade, occasionally RS grade	HW ^{CS} _{PS} HW ^{CS} _{PS} CW ^{CS} _{PS} (Sh 18) (SL 1)
	III	Moderately Weathered	MW	Inner material is MW grade; outer material is MW or HW grade, occasionally CW grade	MW ^{CS} _{PS} HW ^{CS} _{PS} (SH 42) (SH 22)
	II	Slightly Weathered	SW	Inner material is SW grade; outer material is SW or MW grade.	SW ^{CS} _{PS} MW ^{CS} _{PS} (SH 55) (SH 45)
	I	Fresh	F	Inner material is F grade; outer material is F or SW grade.	F ^{CS} _{PS} SW ^{CS} _{PS} (SH 60)(SH 57)

Legend

RS granite
 CW granite
 HW granite
 MW granite
 SW granite
 F granite

Note, the description shown in column 3 relates to the vertical profile shown in column 1 and the simplified expression of the description shown in column 3 also relates to the vertical profile shown in column 1. Column 3 is only a description of column 1 and does not specify the criteria for defining the zones I to VI.

¹ SH: Schmidt hammer rebound value; SL: Slaking class; HP: Hand penetrometer value (MPa).

있는데, 이는 풍화가 지표면에서 하부로 갈수록 RS부터 F등급까지 변하는 것과 또 풍화가 우선적으로 절리를 따라서 심하게 되고 있는 것을 보여준다.

가. 풍화구역, 용어 및 약어(Zones, Terms and Abbreviations : 표-6 Column 2.)

암석 풍화 분류를 위하여 사용하는 「등급(Grade)」 용어 대신에 사용상 혼돈을 방지하기 위하여 암반 풍화분류에서는 「구역(Zone)」을 사용하나, 그밖에 6가지로 구분하는 방법, 부호, 용어 및 약어의 사용은 암석에서와 같이 암반에서도 그대로 사용한다.

나. 암석의 풍화분포에 기준한 암반 풍화 분류 방법(Rock Mass Description based on Distribution of Materials : 표-6 Colum 3.)

핵석이 발달하지 않고 점이적으로 풍화되는 한국 화강암의 전형적인 풍화단면에 적합한 암반 풍화 분류방법은, 우선 암괴의 가장자리인 절리면

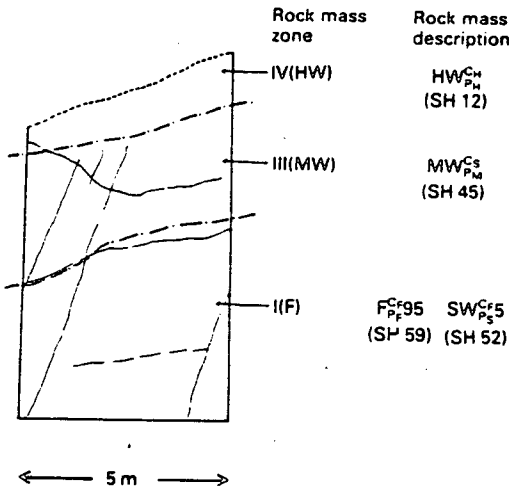


그림-4 (For details of symbols see 표-3, 범례1 : shallow weathering in massive granites with a sharp weathering front. ····, rock mass zone; —, joint; —, fault.

Zone IV. 100% highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically highly disintegrated (P_H): Schmidt hammer value (SH) = 12.

Zone III. 100% moderately weathered (MW) material: chemically only slightly decomposed (C_S) but moderately disintegrated physically (P_M): Schmidt hammer value (SH) = 45.

Zone I. 95% fresh (F) material: no evident chemical alteration, i.e. chemically fresh (C_F) and no evident physical disintegration, i.e. physically fresh (P_F): Schmidt hammer value (SH) = 59.

5% slightly weathered (SW) material: no evident chemical alteration, i.e. chemically fresh (C_F) but slight physical alteration (P_S): Schmidt hammer value (SH) = 52.

으로부터 암괴의 중심으로 갈수록 암석의 풍화 정도가 변화하는 양상을 조사하고, 그다음에 그들의 구성체적분포를 %로 나타내는 것이다.

절리로 둘러싸인 암괴에서 암석은 일반적으로 최소한 두 종류로 나뉠 수 있다. 즉 절리부근의 좀 더 풍화된 물질과 암괴내부의 풍화가 덜된 물질인데 이 두 물질의 구성체적분포비율은 5%의 단위까지 각각 추정하고, 이때 보다 많은 체적비율을 차지하는 암석의 풍화등급(Grade)을 암반의 풍화구역(Zone) 대표등급으로 한다.

예를 들면 표-6의 MW Zone III는 절리부근에 약간의(10%) HW 암석이 있으나 나머지 대부분은 (90%) MW 암석으로 이루어진 상태를 나타낸다.

다. 간략한 표현법(Simplified Expression : 표-6 Column 3.)

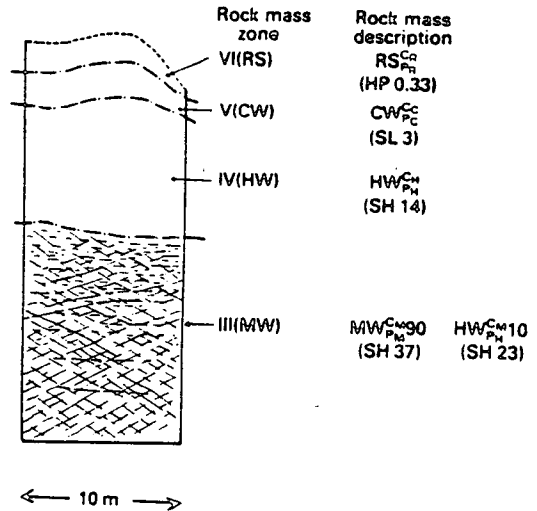


그림-5 (For details of symbols see 표-3, 범례2 : deep weathering in highly fractured granites with a sharp weathering front. ····, rock mass zone; —, joint; —, fault.

Zone VI. 100% residual soil' (RS) material: chemically decomposed to residuum (C_R) and physically disintegrated to a residuum (P_R): hand penetrometer value (HP) = 0.33.

Zone V. 100% completely weathered (CW) material: chemically completely decomposed (C_C) and physically completely disintegrated (P_C): slaking class (SL) = 3 (see Table 4).

Zone IV. 100% highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically highly disintegrated (P_H): Schmidt hammer value (SH) = 14.

Zone III. 90% moderately weathered (MW) material: chemically moderately decomposed (C_M) and physically moderately disintegrated (P_M): Schmidt hammer value (SH) = 37.

10% highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically highly disintegrated (P_H): Schmidt hammer value (SH) = 23.

암반의 풍화정도를 서술하고 분류하는 간단한 표현법은 다음과 같다.

우선 절리로 둘러싸인 암체에서 많은 구성체적 분포율을 지니는 암석의 화학적, 물리적 풍화등급, 그의 구성체적분포율 및 공학적인 Index Value를 적고, 그 다음에 작은 구성체적 분포율의 암석의 특성을 적는다(여기서 주의하여야 할 것은 이 표현법은 작은 구성체적 분포율의 암석이 암반의 공학적 성질에 미치는 영향이 적다는 의미가 아니라 다만 편의상 암반풍화분류를 간단하고 자세하게 야외에서 조사기술하기 위한 방법일 뿐이다). 예를 들면 표-6 Column 1.에서 보여지는 MW Zone III인

「MW^{CM}_{PS} 90 HW^{CH}_{PM} 10」로 표시한다.
(SH40) (SH22)

이 새로운 방법은 점이적 풍화단면이나 핵석풍화단면 모두에게 잘 적용되는데 이를 전형적인 한국 화강암 4지역에서 다음과 같이 수행하였다.

라. 실제로 4지역에서 적용한 범례(Four Site Examples)

점이적인 풍화와 핵석풍화를 보이는 한국 화강암 지역에서 본 연구자가 제시한 암반 풍화 분류 방법을 적용한 4지역의 실례가 그림-4~7에 나타나 있다. 이 단면들은 한국 화강암의 전형적인 절리의 발달상태와 풍화상태를 보여준다.

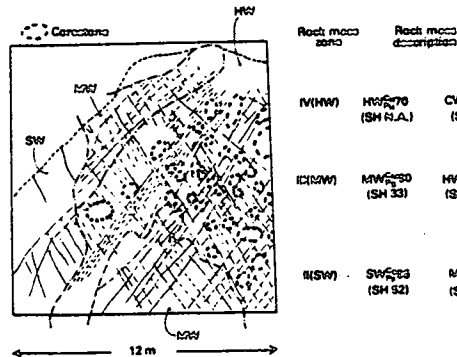


그림-4. (For details of symbols see 표-3, 범례4) : corestone development in locally highly-fractured and hydrothermally affected parts of a massive granite., rock mass zone; ---, joint; ---, fault.
Zone IV. 70% Highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically highly disintegrated (P_H); Schmidt hammer value (SH) not applicable.
and 30% completely weathered (CW) material: chemically completely decomposed (C_C) and physically completely disintegrated (P_C); slaking class (SL) = 3 (see Table 4).
Zone III. 80% Moderately weathered (MW) material: chemically moderately decomposed (C_M) and physically slightly disintegrated (P_S); Schmidt hammer value (SH) = 33.
and 10% Highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically moderately disintegrated (P_M); Schmidt hammer value (SH) = 22.
Zone II. 95% Slightly weathered (SW) material: chemically slightly decomposed (C_S) but no evident physical disintegration, i.e. physically fresh (P_F); Schmidt hammer value = 52.
and 5% Moderately weathered (MW) material: chemically moderately decomposed (C_M) and physically slightly disintegrated (P_S); Schmidt hammer value (SH) = 45.

(1) 전형적인 점이적으로 풍화되는 단면
범례1 : 그림-4는 절리가 별로 없는 화강암에서 얇은 풍화단면을 보여준다(서울 홍제동의 대보 화강암지역)

범례2 : 그림-5는 절리가 많이 발달한 화강암에서 심층 풍화단면을 보여준다(대구 팔공산의 불국사 화강암지역)

(2) 예외적으로 핵석을 보이는 풍화단면

범례3 : 그림-6은 한국 화강암에서 간혹 보여지는 핵석이 형성되어 있는 풍화단면으로서 전체적으로는 절리발달이 적은데, 국부적으로 절리가 많이 발달하고 열수변질이 많은 곳에 나타난다(대구 팔공산의 불국사 화강암지역).

범례4 : 그림-7은 매우 절리가 많이 발달한 단면으로서 특정한 수직절리를 따라서 암석이 유난히 변질이 많이 되어 있어 주변과 대비가 뚜렷하고 작은 핵석 형태를 보이는데, 이는 열수변질작용이 원인이다(대구 팔공산의 불국사 화강암지역).

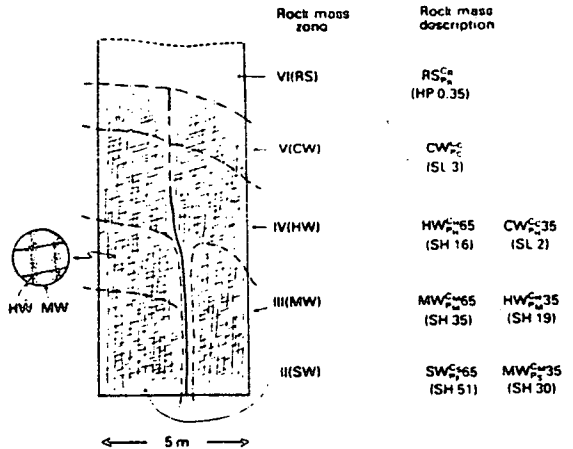


그림-7. (For details of symbols see 표-3, 범례4) : local corestone development due to the intense hydrothermal activity along steeply dipping joint sets., rock mass zone; ---, joint; ---, fault.

Zone VI. 100% Residual Soil (RS) material: chemically decomposed to residuum (C_r) and physically disintegrated to a residuum (P_r); Hand penetrometer value (HP) = 0.35.

Zone V. 100% Completely weathered (CW) material: chemically completely decomposed (C_C) and physically completely disintegrated (P_C); slaking class (SL) = 3 (see Table 4).

Zone IV. 65% Highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically highly disintegrated (P_H); Schmidt hammer value (SH) = 16.
35% Completely weathered (CW) material: chemically completely decomposed (C_C) and physically highly disintegrated (P_H); slaking class (SL) = 2 (see Table 4).

Zone III. 65% Moderately weathered (MW) material: chemically moderately decomposed (C_M) and physically moderately disintegrated (P_M); Schmidt hammer value (SH) = 35.

35% Highly weathered (HW) material: chemically highly decomposed (C_H) and physically moderately disintegrated (P_M); Schmidt hammer value (SH) = 19.

Zone II. 65% Slightly weathered (SW) material: chemically slightly decomposed (C_S) but no evident physical disintegration, i.e. physically fresh (P_F); Schmidt hammer value (SH) = 51.

35% Moderately weathered (MW) material: chemically moderately decomposed (C_M) and only slight physical disintegration (P_S); Schmidt hammer value (SH) = 30.

V. 결 론

(1) 외국에서 많이 사용되는 풍화분류 방법들은 자체가 많은 문제점이 있어서 비실제적일 뿐만 아니라, 핵석을 보이지 않고 일반적으로 점이적으로 풍화되는 우리나라 화강암의 풍화단면에는 적용할 수 없다. 그리고 우리나라에서 많이 사용되는 암석의 정도에 근거한 분류법도, 정성적이고 주관적이어서 공학적으로 불충분할 뿐만 아니라 부적절한 분류방법이므로 이의 사용은 지양되어야 한다.

(2) 현존하는 많은 풍화분류방법들은 부정확하고 부적절한 용어를 사용하고, 또 암석과 암반에 관하여 구별없이 무분별한 용어를 사용하므로써 기존 방법들을 실제로 토목현장에서 사용하기에는 많은 어려움이 있다. 그러므로 본 연구에서 제시한 바와 같이 분명하고 혼돈시키지 않는 적절한 용어를 암석과 암반에 구분하여서 사용하여야 한다.

(3) 암석의 풍화도를 조사할 때, 지질학적인 서술과 역학적 성질의 평가를 병행하므로써 이들 지질공학적인 자료 모두가 여러 종류의 토목공사에 유용하게 사용될 수 있다.

(4) 암반의 풍화정도를 조사할 때, 절리를 기준으로 하여서 암괴내에서의 암석들의 풍화정도 변화 뿐만 아니라, 그들의 구성체적분포비율도 동시에 기술하는 것이 필요하다. 그러므로써 기존 암반 풍화분류법을 사용하여 암반 풍화정도를 서술할 때 야기되는 크기 효과(Scale Effect)를 극복할 수 있다.

더우기 본인이 제시한 암반풍화분류법은 풍화가 암반의 역학적인 거동에 미치는 효과를 가장 적절히 서술하는' 장점도 있다.

(5) 한국 화강암석과 암반의 풍화정도를 자세히 조사하는데 필요한 서술방법은 각각 표-3과 표-6에서 설명된다.

數量, 單位, 換算數

길 이

mm	} 1m=100cm	1inch=25.4mm
cm		1yard=0.9144m
m		1foot=0.3048m
km	1km=1,000m	1km=0.6214 statute miles (1 statute mile=1.609km)

重 량

g	} 1kg=1,000g	1ounce=28.35grams
kg		1pound=0.4536kg
metricton(t)		(1kg=2.205pounds)
1t=1,000kg		1short ton=0.9072t
		1long ton=1.016t
		1.102 short tons (1t=0.9842 long tons)

速 度

mm/sec	1ft/sec=0.3048m/sec
m/sec	(1m/sec=3.281ft/sec)

壓 力

kp/cm ²	1p. s. i. (lb/sqin)=0.07301kp/cm ²
≈kg/cm ²	(1kp/cm ² /14.22p. s. i)

體 積

m ³	1cuyd=0.7646m ³
	1cuft=0.02832m ³
	(1m ³ =1.308cuyd=35.31cuft)

面 積

cm ²	1m ² =10,000cm ²	1square inch=6.452cm ²
1m ² =10,000cm ²		1square foot=929.0cm ²
		1square yard=0.836m ²
		(1m ² =1.196sqyd)

體積當量換

1lb/cuyd=0.593kg/m ³
(1kg/m ³ =1.685lb/cuyd)