

1.2

풍화조사

이수곤

1.2

풍화조사

이수곤

목 차

- 1.2.1 서언1
- 1.2.2 암석과 암반의 풍화1
- 1.2.3 암석의 풍화지수2
 - 1. 풍화지수의 개요2
 - 2. 화학적 풍화지수2
 - 3. 암석학적 풍화지수3
 - 4. 공학적 풍화지수4
- 1.2.4 풍화도13
 - 1. 풍화도의 개요13
 - 2. 풍화도의 구분방법13
 - 3. 암종별 풍화도와 풍화지수 비교 (문헌정리)18
- 1.2.5 암반의 풍화특성24
 - 1. 개요24
 - 2. 급속한 풍화 전이면이 없는 경우24
 - 3. 얇은 토층과 급속한 풍화 전이면이 있는 경우25
 - 4. 핵석풍화형태26
- 1.2.6 암종별 암반의 풍화특성 및 지질공학적 특성28
 - 1. 개요28
 - 2. 화성암28
 - 3. 퇴적암30
 - 4. 변성암34
- 1.2.7 이해하기 쉬운 특이한 풍화지반에서의 시추주상도 비교36

1. 핵석지반	36
2. 불규칙한 풍화특성을 보이는 변성암지반	39
3. 사암과 셰일의 호층대와 같은 차별풍화가 심한 지반	45
【참고문헌】	48

1.2

풍화조사

1.2.1 서언

암석의 풍화과정은 화학적인 변질, 물리적인 분해 및 생물학적인 작용으로 나뉘어진다. 풍화에 영향을 주는 요소는 기후, 조성광물의 종류 및 구조, 절리와 단층, 열수변질작용과 광화작용, 염기성 및 산성암맥과 지형 등이다. 또한 암석의 풍화는 성인에 따라 다양한 양상으로 진행되는데 이는 암석을 이루고 있는 각각 광물들이 열역학적인 반응경로가 서로 다르고, 이에 수반되는 물리적인 풍화진행속도가 차이가 있으며, 암석의 균질성, 투수성 등이 암종별로 다양하기 때문이다. 현장에서 암석의 풍화정도는 조성광물의 변질과 분해정도를 육안 등으로 정성적으로 판단하고 분류하는 것이 일반적이다. 따라서 공학적인 목적에서 풍화암반을 서술하기 위해서는 암반의 풍화특성과 절리 주위에 분포하는 암석의 풍화정도가 가장 중요하다. 풍화작용은 암석의 공학적 특성을 다양하게 변화시키므로 토목건설공사시 이러한 풍화특성을 무시한 채 설계 및 시공시 붕괴사고를 발생하곤 한다. 따라서 본 메뉴얼에서는 성인별 암석의 풍화특성, 풍화지수, 풍화등급, 그리고 지질공학적 특성을 기술하고 또한 우리나라에서 흔히 나타나는 암반의 풍화양상과 공학적 특성에 따르는 조사, 설계 그리고 시공시에 주의하여야 할 것을 기술하였다.

1.2.2 암석과 암반의 풍화

풍화는 암석의 풍화와 암반의 풍화로 분리하여 설명할 수 있다. 암석의 풍화는 암반내의 무결암의 풍화를 뜻하는 것이고 암반의 풍화는 이러한 암석의 풍화 뿐만 아니라 암반내 절리분포나 절리면의 풍화까지를 모두 함축하는 의미로 사용되고 있다(그림 1.2-1). 따라서 실제 토목구조물을 시공하고자할 때는 해당지역의 암석의 풍화보다는 암반의 풍화를 고려하는 것이 타당하다.

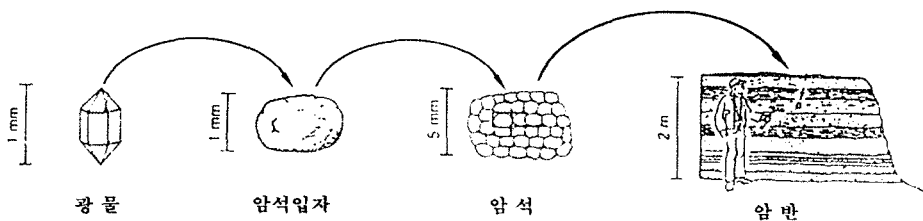


그림 1.2-1. 암석과 암반의 구별 : 암석의 경우 절리가 고려대상에서 제외되지만 암반의 경우 절리의 분포 및 풍화상태까지 고려하여야 함

1.2.3 암석의 풍화지수 (Weathering index)

1. 풍화지수의 개요

설계 또는 시공시 풍화를 고려하기 위해서는 보다 정량적인 지표가 있어야 한다. 이러한 정량적인 지표는 현재까지도 많은 연구자들에 의해 제안되어지고 있다. 이 풍화지수는 크게 화학적 풍화지수 (Chemical weathering index), 암석학적 풍화지수 (Petrographical weathering index), 공학적 풍화지수 (Engineering weathering index) 로 나눌 수 있다.

2. 화학적 풍화지수 (Chemical weathering index)

화학적 풍화지수 (Chemical weathering index)는 토목공사에 종사하는 사람들이 이해하기도 어렵고, 토목구조물의 설계나 시공시에 직접적으로 적용되기 어려운 것이 사실이다. 그럼에도 불구하고 많은 연구가 이루어진 것은 다른 풍화지수 (암석학적 풍화지수, 공학적 풍화지수)보다 대상물질의 풍화에 대해서 보다 근본적인 이해를 구할 수 있기 때문이다. 보통 풍화를 화학적 풍화와 기계적 풍화로 분류하는 것이 일반적이지만 실제에서 기계적 풍화는 화학적 풍화가 선행된 후 그 범주 내에서 이루어지거나, 화학적 풍화와 복합적으로 발달하는 것이 대부분이다.

따라서 XRF등의 화학분석을 통해 화학적 풍화에 대한 정량적인 지표를 밝힘으로써 대상물질의 풍화에 대한 근본적인 이해를 구할 수 있다.

가. Weathering potential index (WPI)

Reiche (1943) 에 의해 제안된 Weathering potential index (WPI) 는 최초의 풍화지수이면서, 현재까지도 매우 유용하게 쓰이는 풍화지수이다. 이 풍화지수는 신선한 암석이 풍화를 받아 변질광물이 생겨나게 되면 양이온의 함유량은 줄어들게 되는 반면, 수산화물의 함유량은 증가하는 것에 착안되어 만들어졌다. Weathering potential index (WPI) 값을 구하는 공식은 (식 1)과 같으며, 풍화가 심화될수록 값이 작아진다.

$$WPI = \frac{[K_2O + Na_2O + CaO + MgO - H_2O] \times 100}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O} \quad (\text{식 1})$$

나. Parker index (Wp)

Paker (1970)는 주요한 알칼리 금속 원소와 그들의 부착강도비를 기본으로 하는 Paker index (Wp)를 제안하였다(식 2). Paker index (Wp)는 가수분해가 규산염광물의 풍화의 가장 주된 요인이 되는 경우에 적합하고, 풍화민감도를 파악하는데 보다 유용하다. 풍화가 심화될수록 Parker index (Wp) 값은 감소한다.

$$W_p = \frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.7} \quad (\text{식 2})$$

다. Miura index (MI)

암석이나 암반이 물과 공기에 접촉하여 산화환경에 놓이게 되면 풍화가 진행된다. 암석 내에 유동성이 좋은 FeO가 산화환경으로 바뀌면 Fe₂O₃로 전이된다. 이것에 착안하여 Miura (1973)은 Miura index (MI)를 제안하였다(식 3). 풍화가 심화될수록 Miura index (MI) 값은 감소한다.

$$MI = \frac{MnO + FeO + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{Fe_2O_3 + Al_2O_3 + 3H_2O} \quad (\text{식 3})$$

라. Silica - Alumina Ratio index (SAR)

Ruxton(1968)은 풍화의 정도가 실리카 (Silica) 와 알루미나 (Alumina)의 비로 표현될 수 있다고 주장하여 Silica - Alumina Ratio index (SAR)를 제안하였다.

$$Silica - Alumina Ratio (SAR) = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad (\text{식 4})$$

이 SAR 지수는 자유배수, 산화환경, 다습한 기후, 특히 산성암 (화강암, 석영반암 등) 의 경우에 매우 합리적인 화학적 풍화지수로 알려져 있지만 반면에 풍화과정동안 스멕타이트 또는 버미클라이트와 같은 점토광물이 이차광물로 산출되는 염기성 또는 초염기성암에서는 적합하지 않은 것으로 밝혀졌다 (Irfan 1996).

3. 암석학적 풍화지수(Petrographical weathering index)

암석학적 풍화지수는 뒹장에서 언급되는 풍화등급을 산정하는데 직접적으로 적용이 가능하고 비교적 쉽기 때문에 현재의 토목조사나 설계시에도 많이 사용된다. 암석학적 풍화지수는 육안관찰 또는 현미경관찰을 통해서 미세균열의 크기나 변질된 광물의 비율, 광물입자 사이의 경계틈 등 풍화의 심화정도에 따른 암석학적인 변화를 정량적으로 계산하는 방법이다.

가. Micropetrographic index (Ip)

Irfan and Dearman (1978) 은 영국의 화강암을 대상으로 신선한 광물과 변질된 광물간의 비로 매우 간단한 암석학적인 풍화지수인 micropetrographic index (Ip)를 제시했다.

$$\text{Micropetrographic index } (I_p) = \frac{SC}{UC} \times 100(\%) \quad (\text{식 5})$$

여기서 SC 는 신선한 성분(Sound constituents)이고, UC 는 변질된 성분(Unsound constituents)이다. Micropetrographic index (Ip)는 매우 간단하고 풍화심화정도를 매우 잘 반영해주는 풍화지표이지만 모암 자체의 암석학적 특징 때문에 서로 다른 암종 간에 Micropetrographic index (Ip)를 비교하는 것은 무리가 있으므로 유의하여야 한다.

나. Density of microcracks index (ρcr)

Dixson (1969)은 풍화가 진행됨에 따라 증가하는 미세균열의 수와 미세균열의 틈의 확장을 정량적으로 표현하기 위하여 현미경하에서 점계수법(Point counting Method)을 통하여 구한 총 균열의 두께와 측정된 총 연장의 비로 Density of microcracks index (ρcr)를 제시하였다(식 6).

$$\text{Density of microcracks index } (\rho_{cr}) = \frac{\text{균열두께의 총길이}}{\text{측정된 총 연장}} \times 100(\%) \quad (\text{식 } 6)$$

다. Microfracture index (If)

Ifan and Dearman (1978) 은 Density of microcracks index (ρcr) 과 매우 유사하지만 보다 정량적인 Microfracture index (If)를 제안하였다. 이 풍화지수 역시 현미경 하에서 수행하여야 하는데, 70mm의 트레버스(traverse)내에서 측정된 균열의 수와 총 측정수의 비로 표현된다(식 7).

$$\text{Microfracture index } (I_f) = \frac{70mm \text{ 트레버스내에서 측정된 균열의 합}}{70mm \text{ 트레버스내에서 측정된 총 합}} \times 100(\%) \quad (\text{식 } 7)$$

그러나 Density of microcracks index (ρcr), Microfracture index (If)는 모두 균열의 양만 계산될 뿐 균열이 깨끗한지, 착색되어 있는지 충전물 여부 등에 대한 정보를 얻을 수 없는 한계가 있다.

4. 공학적 풍화지수 (Engineering weathering index)

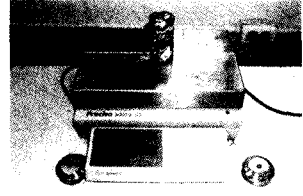
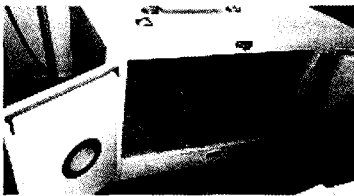
공학적 풍화지수는 앞에서 언급된 화학적 풍화지수, 암석학적 풍화지수와 비교하여 풍화도의 설정과 설계 또는 시공시에 적극 반영되어지는 풍화지수이다. 특히 공학적 풍화지수(Engineering weathering index)는 그 값과 일축압축강도와 같은 암석의 강도특성과도 서로 상관관계가 뚜렷하고 위의 다른 풍화지수보다 간편하기 때문에 조사자나 설계자가 쉽게 수행 할 수 있는 장점이 있다.

가. 급속 흡수 지수 : Quick absorption index (QAI) or void index

Hamrol(1961)이 제안한 Quick absorption index (QAI) (Void index 라고 함)는 암석의 흡수율을 통해서 풍화진행시 공극율의 증가를 간접적으로 확인하는 방법이다.

① 급속흡수 시험방법 (ISRM)

- (a) 시료로써 무게가 50g 이상이고 암석표본의 최고입자보다 적어도 10배 이상 큰 임의의 형상 덩어리를 10개이상 선정한다.
- (b) 자연 건조된 시료를 용기에 넣고 각각의 시료덩어리들을 서로 떨어뜨려 놓는다. 그리고 실리카 겔을 각 시료덩어리 주변에 뿌려주고, 그러한 상태로 24시간 방치한다.
- (c) 용기를 비우고 시료덩어리에 있는 실리카 겔을 붓으로 깨끗이 없애고 각각 덩어리의 무게를 잰다 (mass A).
- (d) 용기에 물을 가득 담은 후 시료덩어리를 수침시키고 용기를 흔들어 물속의 기포를 제거한다. 그리고 한 시간 동안 방치한다.
- (e) 수침용기로부터 시료를 꺼내어 습기 찬 형질으로 시료의 표면에 묻어있는 물만을 닦아내고(이 때 암편을 분실하지 않도록 주의한다.) 시료의 무게를 잰다 (mass B).



(a) 건조 오븐 또는 실리카 겔에서 탈수시킴

(b) 물속에서 1시간 흡수시킴

(c) 흡수 무게를 측정

그림 1.2-2. 급속 흡수 시험 전경

② 급속흡수지수 (QAI) 적용공식

$$\text{급속흡수지수 (QAI)} = \frac{B-A}{A} \times 100 (\%) \quad (\text{식 } 8)$$

여기서 A는 건조상태의 무게, B는 습윤상태의 무게이다.

나. 실내 탄성파속도에 의한 풍화상수 : Coefficient of weathering (K)

Iliev(1966)는 풍화정도에 의한 암석의 균열의 확장과 같은 결함을 파악하는데 탄성파속도를 이용한 풍화상수 (K)를 제안하였다.

① 실내 탄성파속도 시험방법 (ISRM)

(a) 시료 공시체 준비

측정에는 원주 또는 직방체로 성형된 공시체를 사용한다. 원주 공시체 경우에는 통상 직경이 2~6cm, 높이는 직경의 1~2.5배가 많다. 직방체 경우 1변 길이는 2~5cm, 높이는 1변 길이의 1~2배로 하는 것이 보통이다.

측정시의 함수상태는 자연상태를 원칙으로 한다. 건조시 및 습윤시 속도를 대비적으로 알고 싶

을 때에는 건조로에 의한 강제적인 건조(일반적으로는 80~110℃로 24시간) 및 수침이나 수증탈기에 의한 강제적인 습윤화(통상 72시간 이상)를 실시한다.

(b) 측정 장치

pulse 발진부, 발진·수진자, 증폭·제어부 및 기록부로부터 되는 투과식 초음파속도 측정 장치가 사용된다. 이것의 블록 다이어그램을 그림 1.2-3에, 장치 예를 그림 1.2-4에 제시하였다. 이 장치는 초음파 pulse의 반복신호를 발진자를 개재하여 암석 공시체에 주고, 이 초음파가 수진자에 도달하는 시간을 측정하는 것이다. 시간 측정의 최소눈금은 0.1μs 정도는 필요하다.

P파 및 S파 속도 측정에는 각각 전용진동자를 사용해서 한다. 진동자에는 티탄산염 압전소자가 자주 사용되고 있으며 P파 경우는 종진동을, S파 경우에는 횡진동 또는 뒤틀림 진동을 주도록 배치되고 있다. 공진주파수는 20kHz~2Mhz가 많다.

(c) 측정 순서 및 결과정리

측정의 일반적인 순서는 다음과 같다.

- ㉠ Vernier calipers 등을 사용하여 암석 공시체 길이를 0.1mm 이하까지 계측한다.
- ㉡ 발진자와 수진자를 직접 접촉시켜 제로위치를 읽는다.
- ㉢ 발진자와 수진자 사이에 암석 공시체를 끼운다. P파 측정에서는 진동자와 공시체가 잘 밀착하도록 소량의 그리스나 와셀린 등을 도포한다. 투과시간은 적어도 0.1μs까지는 읽는다.
- ㉣ 진동자와 공시체와의 접촉압은 0.5kgf/cm² 이하로 한다.
- ㉤ 측정에 있어서는 동일 공시체에 대하여 발진과 수진 위치를 정역 2가지 방향으로 하여 양자의 측정치가 5% 이상 상이할 경우에는 재측정을 한다.
- ㉥ 정밀도 높기 측정하기 위하여서는 초동의 일어남을 날카롭게 해야 한다. 따라서 진동자와 공시체와의 접촉을 잘할 것, pulse 출력을 올리고 날카롭고 강력한 것으로 할 것, 증폭기 증폭도를 올릴 것 등이 필요하다.

얻어진 공시체 길이 l (cm)와 투과시간 t (μs)로부터 다음 식에 의하여 P파 및 S파속도 V_P , V_S (cm/s)를 유효숫자 3자리까지 구한다.

$$P\text{파 및 } S\text{파속도} : V_P, V_S = \frac{l}{t} \times 10^6$$

② 풍화상수 (K) 적용공식

$$\text{풍화상수 (K)} = \frac{V_0 - V_w}{V_0} \tag{식 9}$$

여기서 V_0 는 풍화가 전혀 진행되지 않은 신선한 암석(I)에서의 굴절파속도(V_p)이고, V_w 는 풍화된 암석에서의 굴절파속도(V_p)이다.

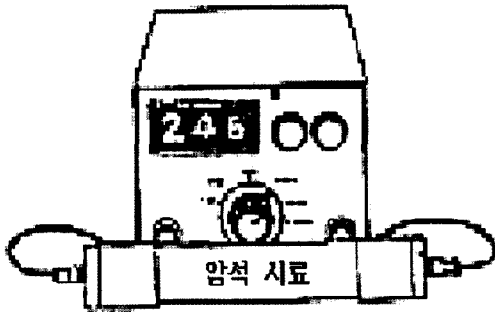


그림 1.2-3. 투과식 초음파속도 측정시스템

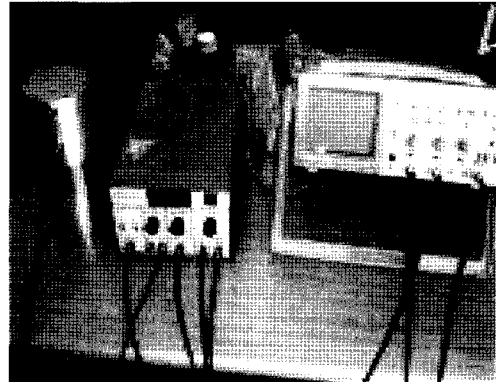


그림 1.2-4. 초음파속도 측정장치 예

다. 풍화인내도 지수 : Slake durability index (Sd)

Franklin & Chandra(1972)에 의해서 제안된 Slake durability index (Sd)는 건조와 습윤을 반복함으로서 고결력을 잃어 조직을 파괴되는 현상에 착안하여 고안되었다.

풍화인내도 지수 (Sd)는 그 시험방법의 특성상 반복된 건조와 습윤에 매우 민감한 점토광물이 많이 포함되어 있는 암석(셰일, 이암등)에서 유용하다.

① 풍화인내도 시험방법 (ISRM)

- (a) 중량을 정확히 측정한 40~60g의 대표적인 암괴 10개를 그림 1.2-6에서 제시된 시험장치의 드럼(2.00mm 표준 철망으로 된 길이 100mm, 직경 140mm의 원통관)에 넣고 105℃의 온도로 2~6시간 건조한다.
- (b) 이 드럼을 그림 1.2-6에서와 같이 수조에 장착하고 회전축 아래 20mm까지 물을 넣는다.
- (c) 이 드럼을 200rpm으로 10분간 회전시킨다.
- (d) 그 후 드럼을 꺼내고 105℃의 온도로 다시 건조시킨다.
- (e) 냉각후 중량을 측정한다. 이 조작을 적어도 2번 실시한다.

② 풍화인내도 지수 의 적용공식 (이때 건습을 두 번 반복한 값을 쓴다.)

$$\text{풍화인내도 지수 (Sd)} = \frac{C-D}{A-D} \times 100 \quad (\text{식 10})$$

이때 A는 초기의 시료와 드럼을 합한 중량, C는 최종의 시료와 드럼을 합한 중량, D는 드럼의 중량이다.

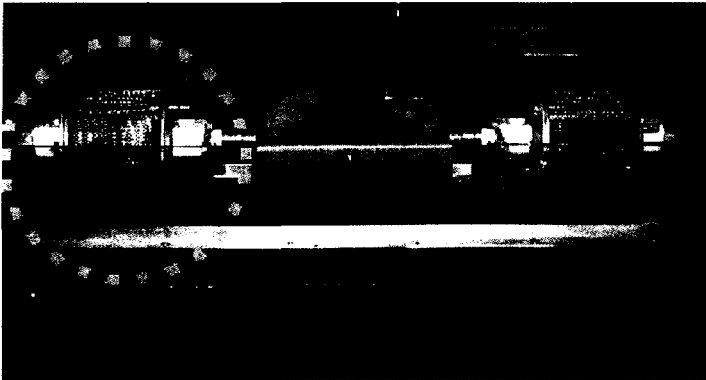


그림 2.1-5. 실제 Slake durability 시험 전경

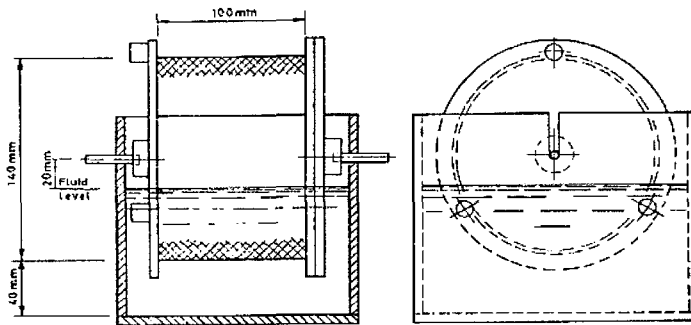


그림 2.1-6. Slake durability 드럼통의 규격

라. 강도 지수 : Strength index

암석의 강도는 포함된 광물의 조성에 영향을 받지만 암석의 풍화 상태에 따라 더 큰 영향을 받는다. 이러한 풍화는 포함 광물의 풍화와 미세균열의 발달, 확장 등에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 암석의 풍화정도를 정량적으로 구별하는데 있어서 가장 효율적이고 정확한 방법으로 평가되는 것이 암석의 강도를 이용하는 것이다. 또한 다른 풍화 지수와 상호 비교하여 암석의 풍화정도를 결정하는데 있어서 좋은 지표가 된다. 이러한 암석의 강도를 측정하는데에는 여러 가지 방법이 있으나 현장에서 손쉽게 사용할 수 있는 점하중 강도 시험과 슈미트 헤머 시험이 주로 사용되고 있다. 그러나 강도시험시 주의해야 할 점은 암석 자체의 풍화정도에 의하여 강도가 영향을 받는 것 외에 암석이 가지고 있는 이방성 등의 영향도 크게 받기 때문에 시험 결과에 반드시 이방성에 대한 특징을 포함시켜야 한다는 것이다.

i) 점하중 강도 지수 : Point load strength index

점재하시험은 현장에서 할 수 있는 가장 간단한 역학시험이다. 암석시료로서 비정형 암괴라도 할 수가 있으며, 시험법은 간단하고 짧은 시간에 결과를 얻을 수가 있기 때문에 많은 시료에 대하여 실시할 수가 있다. 이 시험은 2점으로 암석시료를 끼우고 재하하므로써 시료를 파단시켜 최대

하중으로부터 점재하강도를 산출하는 것이다. 파괴 양상은 재하점 사이를 연결하는 직선을 포함한 면에서 깨지는 것이 보통이며, 명백히 인장응력에 의한 파괴이며 압열시험의 연장선 위에 있다고 할 수가 있다.

① 점하중 강도 시험 방법

- (a) 시료의 면적을 구하기 위하여 횡측과 높이를 측정한다. 양 재하점을 포함하는 시료 단면 중에서 면적이 최소로 되는 면의 면적이며 $A = W \cdot D$ 로 된다. W는 그림 1.2-9와 같이 횡측을 나타내는 값이다.
- (b) 시료의 중앙 부위에 재하점을 위치시키고 유압펌프를 작동한다. 일반적으로 수동 펌프를 주로 사용하므로 가능한 일정한 속도로 유압을 작용시킬 수 있도록 주의한다.
- (c) 시료파괴 시의 압력을 기록한다.
- (d) 다음 단계의 시험을 위하여 파괴된 시료 중에서 적당한 것을 골라 다시 면적을 측정한다.
- (e) 상기와 같은 단계를 같은 시료를 사용하여 4~5회 반복한다.

② 해석 방법

시험하고자 하는 시료에 대한 시험결과로부터 무수정 점재하강도 I_s 를 구한다.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

여기에서 P는 최대하중, D_e 는 등가 core 직경
직경방향시험의 경우 :

$$D_e^2 = D^2$$

축방향, 블록, 불규칙 압괴시험의 경우 :

$$D_e^2 = 4A/\pi$$

㉔ 공식 이용

(b) $D = 50\text{mm}$ 의 core를 사용하고 직경방향시험을 했을 때의 점재하강도를 기준으로 환산하기 위하여 F(형상계수)를 구한다.

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45}$$

(C) 수정점재하강도 $I_s(50)$ 으로 하여 점재하시험을 표준화한다. 단, $I_s(50)$ 에의 환산은 다음과 같이 한다.

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s$$

㉔ Log-Log 그래프 사용

하중강도의 해석방법중 일반적인 공식인 $I_s = P/D^2$ (kg/cm²)을 사용하지 않고 시료의 크기에 따른 점하중 강도변화를 제거할 수 있는 log-log scale graph에 크기가 다양한 시료의 점하중강도수치와 그에 상응하는 최소단면적들을 Plot하여 I_s 와 De^2 의 log-log graph상에서 최적직선을 그린 후 표준 시료인 $De^2 = 50 \times 50$ mm인 면적에 상응하는 점하중 수치를 찾아내는 방법이다(그림 1.2-7). 그림 1.2-7의 그래프는 한 시료내에서 크기를 달리하여 수차례 반복한 결과로 이 log-log 그래프를 통하여 점하중지수 $I_s(50)$ 를 구할 수 있다.

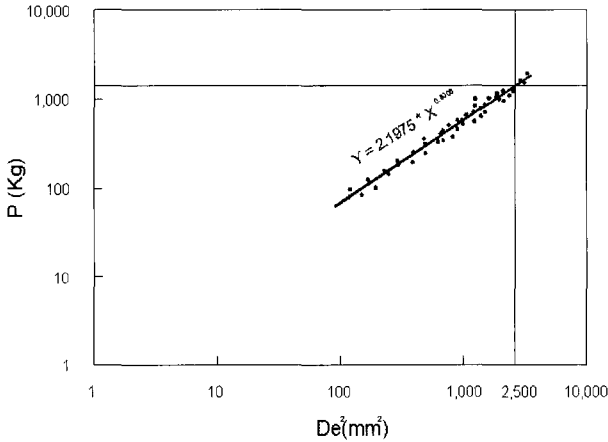


그림 1.2-7. log-log 그래프를 이용한 점하중 강도지수 $I_s(50)$ 산정

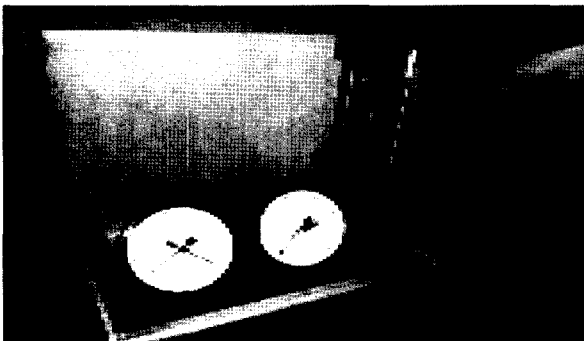


그림 1.2-8. 점재하시험 전경

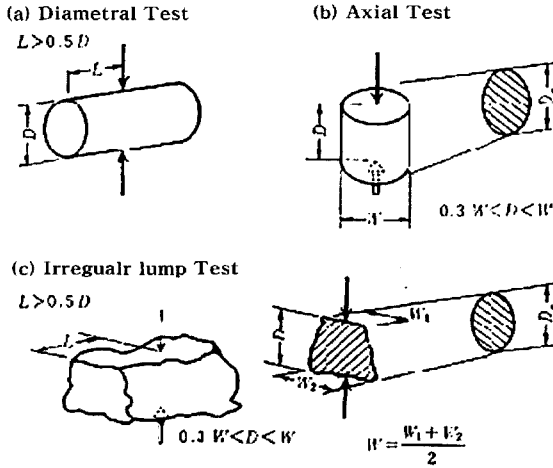


그림 1.2-9. 점재하시험과 시료형상

ii) 슈미트 헤머 지수 : Schmidt hammer index

암석의 강도를 현장이나 실내에서 손쉽게 측정하기 위하여 슈미트 헤머를 빈번하게 사용한다. 슈미트 헤머는 타격시 발생하는 반발력을 정량적으로 표시하는 방법인데, 이러한 반발력 자체를 사용하여 상호 비교하거나 암석의 일축강도로 변환시켜 추정하는 방법이 있다. 슈미트 헤머 타격시 발생하는 반발력을 이용하여 일축압축강도를 추정하는 방법은 타격방향과 암석의 밀도, 반발력의 관계 그래프 (그림 1.2-11)를 보고 유추 할 수 있다.



그림 1.2-10. 슈미트 헤머 타격 전경

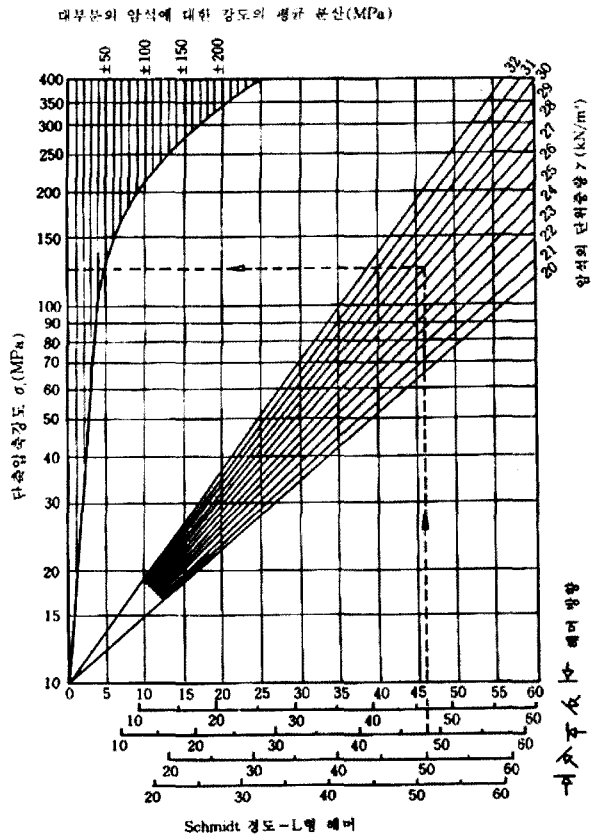


그림 1.2-11. 슈미트 헤머 타격 반발력을 이용한 일축압축 강도 추정 그래프

1.2.4 풍화도(Weathering grade)

1. 풍화도의 개요

풍화를 설계나 시공에 반영하려면 위에서 언급한 풍화지수와 육안 또는 현미경 등의 관찰을 통해 설명될 수 있는 풍화의 심화정도에 기초하여 정량적인 풍화도의 설정이 필요하다. 이 풍화등급(Weathering grade)은 표 1.2-1과 같이 그 풍화의 심화정도에 따라서 ① 신선(F), ② 약간 풍화(SW), ③ 보통 풍화(MW), ④ 심한 풍화(HW), ⑤ 완전 풍화(CW), ⑥ 잔류토(RS) 등으로 6가지로 분류하는데 신선(F) ~ 보통풍화(MW)는 암반에 적용되고 완전풍화(CW) ~ 잔류토(RS)는 토사층에 적용될 수 있다 (Moye, 1955; Geological Society of London, 1970; Newbery, 1971; Irfan and Dearman, 1978a; Hencher and Martin, 1982; Geotechnical Control Office, 1984; Lee, 1987, 1992; Lee and Freitas, 1988, 1989, 1990). 또한 심한풍화(HW)는 암석 또는 암반에서 흙으로 전이되어 가는 과정에 속하는 것으로 심한 풍화(HW)의 지반에서는 암석과 토층이 혼재되어 있는 양상으로 관찰되며, 설계나 시공에서 있어서 경도가 비슷한 암석의 경우 같은 풍화등급을 보이는 암석은 비슷한 공학적 특성(강도, 변형을 등)을 보인다. 같은 화강암반이라도 지질특성이 점이적 풍화형태인지, 핵석 풍화 상태인지에 따라 분류 방법이 달라질 수 있다. 풍화암반이 점이적인 풍화인 경우에는 암석의 풍화등급에 따라서 암반의 풍화도를 결정할 수 있으나, 핵석지반에서는 핵석의 함유량에 따라서 암반의 풍화도를 결정한다. 따라서 실제 공학적인 목적으로 풍화도를 분류할 경우에는 지질 특성을 정확하게 파악한 후에 그에 맞는 풍화도 분류를 수행하여야 정확한 암반의 풍화도 분류가 된다.

2. 풍화도의 구분방법

6단계의 풍화도를 구분하기 위해서는 육안적관찰과 역학적 특성을 고려하는 방법이 있다. 육안적 관찰은 ① 화학적 변질정도, ② 물리적 분해정도로 나뉘어 지는데, 화학적 변질정도는 암석의 주 구성광물(석영, 장석, 흑운모 등)의 화학적 변질정도를 파악하는 것으로 특히 흑운모의 변질과 이에 따른 주위 광물의 착색정도 그리고 장석이 변질된 상태 등으로 판단할 수 있다. 물리적 분해정도는 암석 내에 미세한 균열의 발달과 암석입자간 경계부 상태를 육안으로 관찰하는 것이다. 또한 역학적 특성은 암석입자가 칼에 긁혀지는지, 또는 지질해머 타격시 관찰되는 암석의 파괴정도로 암석의 풍화상태를 정성적으로 파악할 수 있으며, 슈미트해머값이나 점하중시험값, 급속흡수지수(QAI) 값 등을 종합하여 정량적으로 암석의 풍화도를 판단할 수 있다.

각각의 풍화도에 따른 자세한 분류기준은 다음 표 1.2-1과 같다.

표 1.2-1. 풍화도 설명

용 어(Term)	부 호 (Symbol)	풍화특징(Diagnostic feature)
잔류토 (Residual soil)	W VI or RS	- 암석이 완전히 토양화 - 원래의 암석조직이 완전히 파괴됨 - 부피가 증가됨
완전 풍화 (Completely weathered)	W V or CW	- 암석이 변하고 토양화됨 - 암석조직은 남아있음 - 흔히 작은 핵석이 발견됨
심한 풍화 (Highly weathered)	W IV or HW	- 암석이 변함 - 단열면은 벌어져있음 - 단열면이 깊이 탈색/변질되어 있음 - 핵석이 흔히 발달
보통 풍화 (Moderately weathered)	W III or MW	- 암석이 변함 - 단열면은 벌어져있음 - 단열면은 탈색되고 변질이 시작단계임
약간 풍화 (Slightly weathered)	W II or SW	- 암색은 약간 변함 - 단열면은 약간 벌어짐 - 무결암(intact rock)의 강도는 신선한 암에 비하여 크게 약하지는 않음
신선 (Fresh)	W I or F	- 암색이 변하지 않음 - 강도의 손실을 야기하는 풍화영향 없음

풍화도		조립질 화강암
신선 (F)	I	<p>Fresh (F)</p>
약간 풍화 (SW)	II	<p>Slightly weathered (SW)</p>
보통 풍화 (MW)	III	<p>Moderately weathered (MW)</p>
심한 풍화 (HW)	IV	<p>Highly weathered (HW)</p>
완전 풍화 (CW)	V	<p>Completely weathered (CW)</p>
잔류토 (RS)	VI	<p>Residual soil (RS)</p>

그림 1.2-12. 암석시료에 대하여 육안으로 관찰된 6단계의 풍화등급에서 화학적 풍화에 의한 광물의 변질과 물리적 풍화에 의한 미세균열의 발달진행 상태


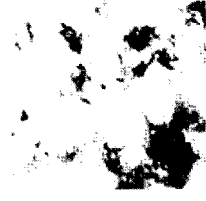


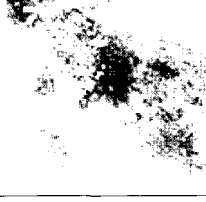
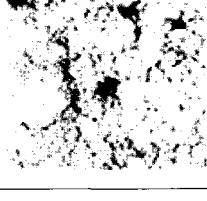
풍화도		조립질 화강암
신선 (F)	I	
약간 풍화 (SW)	II	
보통 풍화 (MW)	III	
심한 풍화 (HW)	IV	
완전 풍화 (CW)	V	
잔류토 (RS)	VI	

그림 1.2-13. 육안적 관찰에 의한 작은 암석시료의 6단계 풍화특성 (사진)




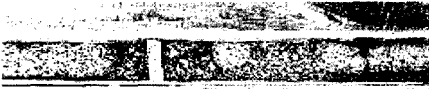

풍화도		조립질 화강암
신선 (F)	I	
약간 풍화 (SW)	II	
보통 풍화 (MW)	III	
심한 풍화 (HW)	IV	
완전 풍화 (CW)	V	
잔류토 (RS)	VI	

그림 1.2-14. 육안적 관찰에 의한 시추코어 시료의 6단계 풍화특성

3. 암종별 풍화도와 풍화지수 비교 (문헌정리)

위의 그림 1.2-12와 같은 풍화등급에 따른 암석학적, 공학적 특징에 대한 기술은 대부분 화강암과 같은 결정질암에서 연구되어 왔다. 그러므로 다른 암종에서도 일률적으로 적용한다는 것은 무리가 있다. 그러나 우리나라 뿐 만 아니라 세계적으로도 모든 암종을 포함하는 종합적인 풍화등급에 따른 암석학적, 공학적 특징 기술이 미흡한 것이 사실이다. 따라서 이번 장에서는 기존 연구자들이 풍화도와 풍화지수와 관계, 강도정수와 풍화지수와의 관계에 대해서 연구한 자료들을 수집 정리하여 조사자나 설계자가 실무에 풍화등급을 적용할 시에 참고하도록 하였다.

가. 풍화등급과 화학적 풍화지수와의 관계

Gupta & Rao (2001)는 규암(Quartzite)과 화강암(Granite) 그리고 현무암(Basalt)을 대상으로 풍화등급별 화학적 풍화지수를 나타내었는데, 각 암종별로 풍화지수가 다양한 것은 초기 신선한 모암에서의 SiO₂ 함유량 차이에 기인한다.

표 1.2-2. 풍화등급에 따른 화학적 풍화지수 (Gupta & Rao, 2001)

풍화등급	WPI	PI	Wp	MI	SAR
F (규암)	0.51	97.1	5.39	0.62	90.6
SW (규암)	0.31	96.3	5.56	0.44	45.3
MW (규암)	0.21	95.8	4.97	0.44	43.0
HW (규암)	0.15	94.5	5.51	0.38	27.8
CW (규암)	0.07	91.8	6.79	0.52	23.4
RS (규암)	-0.29	92.2	6.90	0.28	16.3
F (화강암)	12.43	75.6	81.6	0.59	4.24
SW (화강암)	11.93	75.8	80.7	0.58	4.24
MW (화강암)	11.38	75.4	76.2	0.57	4.20
CW (화강암)	9.41	73.4	69.6	0.49	3.76
RS (화강암)	8.56	73.0	67.9	0.45	3.64
F (현무암)	18.89	61.5	71.0	0.44	3.61
SW (현무암)	17.13	61.1	66.8	0.46	3.61
HW (현무암)	16.24	60.7	63.5	0.41	3.42
CW (현무암)	7.24	57.4	48.5	0.47	3.23
RS (현무암)	3.76	57.0	41.4	0.4	3.03

나. 풍화등급과 암석학적 풍화지수와의 관계

표 1.2-1에서 제시된 풍화등급의 설정에서 보면 광물이 변질되어 있는 정도에 따라서 풍화등급을 설정하는데 육안적 관찰에서의 주요한 지표가 된다. 그러나 아래 표 1.2-3에서 제시된 바에 따르면 규암(Quartzite)의 경우 다른 암종에 비해 같은 풍화등급에서 훨씬 높은 Micropetrographic index (I_p) ($= \frac{\text{신선한광물}\%}{\text{변질된광물}\%}$) 값을 가진다. 이는 모암자체의 특성을 이해하지 않고 적용하였을 때 큰 문제가 있을 수 있음을 보여주는 예라고 할 수 있다. 반면에 Crack Density (ρ_{cr})와 Microfracture index (I_f) 값은 미세균열틈의 확장과 균열빈도의 증가를 정량적으로 나타내주는 지수로서 암종에 상관없이 비교적 유사한 값을 가지므로 풍화등급 설정시 중요한 자료가 될 수 있다.

표 1.2-3(a) 풍화등급에 따른 화학적 풍화지수 - 규암 (Gupta & Rao, 2001)

암석학적 풍화지수	F	SW	MW	HW	CW	RS
Micropetrographic index (I_p)	155.3	86.7	18.5	9.4	2.9	-
Crack Density (ρ_{cr})	0.64	1.4	4.6	8.7	16.5	-
Microfracture index (I_f) (no./cm)	6.2	6.9	9.8	15.4	19.4	-

표 1.2-3(b) 풍화등급에 따른 화학적 풍화지수 - 화강암 (Gupta & Rao, 2001)

암석학적 풍화지수	F	SW	MW	HW	CW	RS
Micropetrographic index (I_p)	8.3	4.9	2.9	-	0.8	-
Crack Density (ρ_{cr})	0.4	1.8	5.0	-	9.3	-
Microfracture index (I_f) (no./cm)	3.7	8.1	12.0	-	14.8	-

표 1.2-3(c) 풍화등급에 따른 화학적 풍화지수 - 현무암 (Gupta & Rao, 2001)

암석학적 풍화지수	F	SW	MW	HW	CW	RS
Micropetrographic index (I_p)	28.0	4.8	-	2.4	0.7	-
Crack Density (ρ_{cr})	0.4	2.9	-	8.4	18.6	-
Microfracture index (I_f) (no./cm)	3.5	8.5	-	21.4	11.3	-

그림 1.2-15은 규암, 화강암, 현무암에서 연구된 Microfracture index (I_f) 와 일축압축강도의 상관관계를 나타내는 표이다. 비교적 유사한 패턴을 보이고 있으나 신선하거나 완전풍화인 경우에는 값이 차이가 넓어지는 것으로 나타난다.

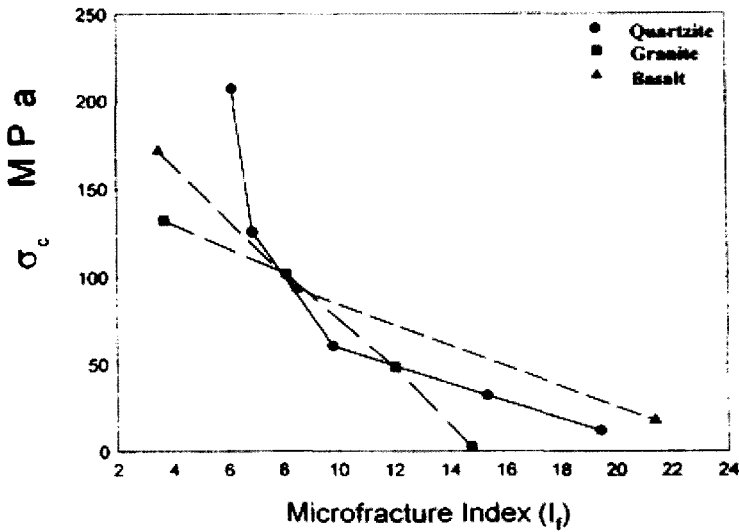


그림 1.2-15. Microfracture index (I_f)와 일축압축강도의 관계
(Gupta & Rao, 2001)

다. 풍화등급과 암석학적 풍화지수와의 관계

① 급속흡수지수 (QAI)

Hamrol (1961)에 의해서 제안된 급속흡수지수 (QAI)는 시험방법이 매우 간단하고, 표 1.2-4에서 보는 바와 같이 암중에 상관없이 풍화가 심화될수록 급격히 증가하는 경향이 뚜렷하므로 공학적 풍화지수 중에서도 매우 유용하고 간편한 방법으로 인식되고 있다. 특히 QAI는 암석의 공극률 (Porosity)과 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 QAI와 일축압축강도간의 관계는 그림 1.2-16에서와 같이 공극률과 일축압축강도의 관계와 유사한 형태로 나타난다.

그러나 같은 암종, 같은 풍화등급에서도 QAI 값의 범위가 상당히 넓다는 것으로 항상 인식하고 다른 풍화지수들과 비교하는 것이 필수적이다.

표 1.2-4. 풍화등급에 따른 급속흡수지수 (QAI) 값

암 종	자료제공	풍화등급				
		F	SW	MW	HW	CW
안산암	Pasamehmetoglu et al. (1981)	1.92	3.29	4.30	-	8.42
화강암	Irfan and Dearman (1978a)	0.13	0.24	1.24	3.37	11.80
화강암 (1)	Dearman and Irfan (1978)	0.17	0.20	0.26	0.65	1.35
화강암 (2)	Dearman and Irfan (1978)	0.46	0.65	0.40	1.01	8.40
화강암	Gupta & Rao (2001)	0.14	0.51	1.16	-	9.03
현무암	Gupta & Rao (2001)	0.09	0.72	-	2.57	13.82
규 암	Gupta & Rao (2001)	0.12	0.20	1.32	1.71	4.40

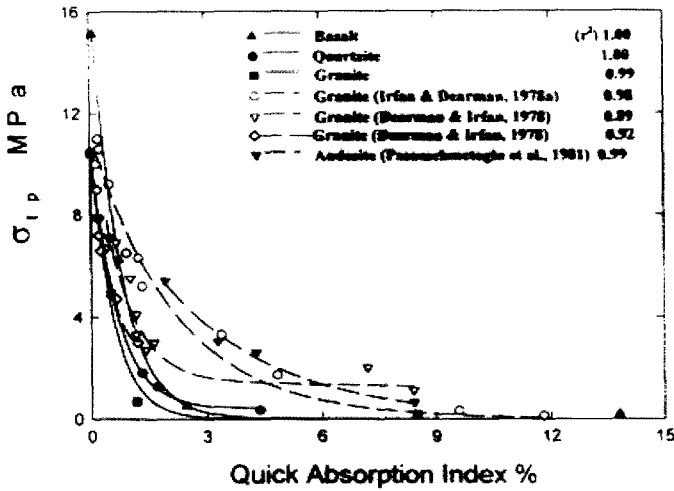


그림 1.2-16. QAI와 일축압축강도와의 상관관계
(σ_{1p} 는 점하중시험을 통해 얻어진 일축강도 값임)

② 풍화상수 (K)

Iliev(1966)에 의해서 제안된 풍화상수 (K)는 탄성파속도에 영향을 미치는 밀도, 공극률, 미세균열의 확장, 구성물질, 입자의 크기, 고결정도 등 풍화의 심화에 따라 민감하게 변하는 인자들의 영향을 종합적으로 내포하고 있으므로 비교적 간단한 방법임에도 불구하고 그 적용성은 대단히 크다. 표 1.2-5에서 제시된 바와 같이 풍화가 심화될수록 K 값은 일정하게 증가하는 양상을 보이고 있다. 암종에 따른 크기의 차이 역시 급속흡수지수 보다는 폭이 적지만 무시할 만큼은 아니기 때문에 반드시 다른 풍화지수와 비교하는 것이 필요하다. 또한 밀도, 공극률, 미세균열의 확장, 구성물질, 입자의 크기, 고결정도 등은 일축압축강도에 상당한 영향을 미치는 인자들이므로 그림 1.2-17과 같이 일축압축강도와 뚜렷한 직선식의 상관관계를 나타내고 있다.

표 1.2-5. 풍화등급에 따른 Coefficient of weathering (K) 값

암 종	자료제공	풍화등급				
		F	SW	MW	HW	CW
안산암	Pasamehmetoglu et al. (1981)	0.0	0.21	0.31	0.55	-
본조니암	Iliev (1966)	0.0	0.19	0.41	0.53	0.72
화강암	Duncan and Dunne (1967)	0.0	0.58	0.74	0.78	-
화강암	Kossev (1970)	0.0	0.04	-	0.18	0.61
화강암	Gupta & Rao (2001)	0.0	0.38	0.69	-	0.97
현무암	Gupta & Rao (2001)	0.0	0.24	-	0.79	-
규 암	Gupta & Rao (2001)	0.0	0.07	0.69	0.77	0.83

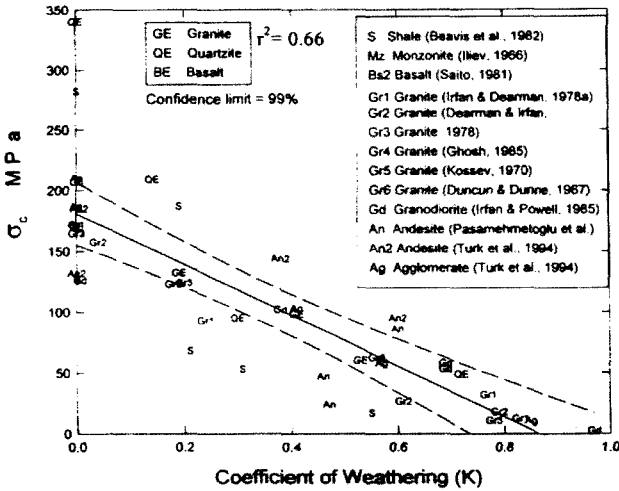


그림 1.2-17. Coefficient of weathering(K)과 일축압축 강도의 상관관계

③ 풍화인내도지수 (Sd)

Franklin & Chandra(1972)에 의해서 제안된 풍화인내도지수 (Sd)는 다른 어떤 풍화지수보다 가장 정확한 풍화지수로 인정받아왔다. 표 1.2-6의 문헌 값에도 보듯이 다른 풍화지수보다 훨씬 많은 연구자들에 의해 연구되어졌고 그 결과에서도 풍화등급에 따른 풍화인내도지수의 값이 매우 규칙적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 그러나 조사자나 설계자가 쉽게 간과하는 것은 풍화인내도지수는 점토광물이 많은 암석에서와 점토광물이 많지 않거나 없는 암석에서의 값이 큰 차이를 보인다는 것이다. 아래 표 1.2-6 문헌 값을 예로 들면 점토광물이 많은 셰일이나 이암에서는 신선~보통에서는 Sd값이 84~75까지 비교적 낮은 값을 보였지만 화강암의 경우는 신선~보통에서 셰일이나 이암의 1등급보다 높은 90이상의 값을 보이고 있다. 반면에 IV등급 이후에서야 급격한 감소를 보이는데 이는 이암이나 셰일은 풍화되기 이전부터 점토광물의 함유량이 꽤 많았기 때문이고 반면에 신선한 화강암에서는 점토광물이 거의 없고, 자연풍화시 점토광물이 2차 풍화광물로 형성되기 때문이다.

Slaking 현상에 대한 메커니즘은 여러 가지 설명이 시도되고 있다. 건조한 간극중에 침투한 수분이 간극내에 공기를 압축시켜 암괴에 인장력이 발생하는것, 또는 재흡수에 의한 침투압이 작용하는것, 흡수에 의해 입자간격이 퍼지고 입자사이의 결합력이 저하하는것, 입자표면에 염류가 정출함으로써 결합력이 저하되는 것 등의 이유에 의하여 붕괴한다고 일컬어지고 있지만 아직 충분한 해명은 되고 있지 않다(일본토질공학회, 1991).

표 1.2-6. 풍화등급에 따른 풍화인내도지수 값

암 종	자료제공	풍화등급				
		F	SW	MW	HW	CW
화강암 (1)	Lee and de Freitas (1988)	99.0	98.0	97.0	44.0	-
화강암 (2)	Lee and de Freitas (1988)	99.5	99.0	98.0	50.0	1.0
화강암	Gupta & Rao (2001)	99.2	98.8	90.1	-	39.4
현무암	Gupta & Rao (2001)	99.6	99.0	-	56.3	28.3
규 암	Gupta & Rao (2001)	99.5	98.9	81.9	75.5	48.9
셰 일 (cal.)	Beavis et al. (1982)	95.7	92.6	91.6	88.5	-
셰 일 (dol.)	Beavis et al. (1982)	84.0	86.0	88.0	71.0	71.0
사 암 (1)	Beavis (1985)	83.0	-	71.0	68.0	-
사 암 (2)	Beavis (1985)	98.0	96.0	83.0	61.0	-
사 암 (3)	Beavis (1985)	95.0	94.0	90.0	87.0	-
사 암 (4)	Leung and Radhakrishnan (1990)	94.0	89.0	75.0	63.0	52.0
실트스톤	-	95.0	92.0	90.0	40.0	15.0
이 암	Beavis (1985)	97.0	-	75.0	-	-
천매암 (dol.)	Beavis (1985)	84.0	86.0	88.0	71.0	71.0

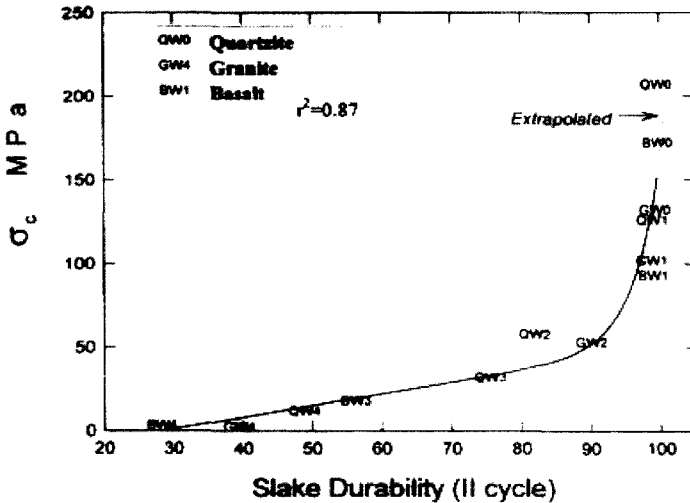


그림 1.2-18. Slake durability index (Sd2)와 일축압축강도의 상관관계

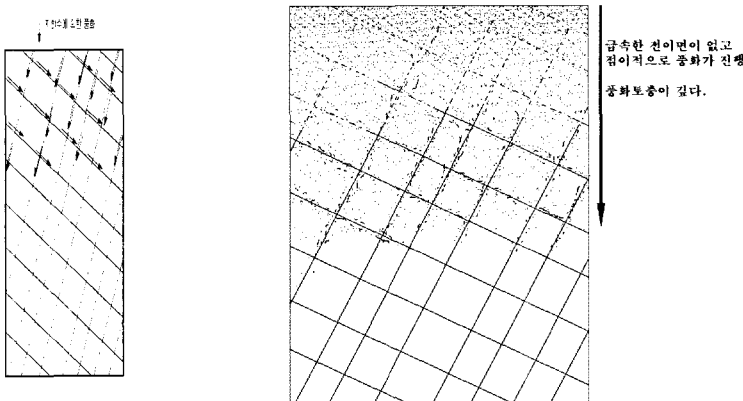
1.2.5 암반의 풍화특성

1. 개요

보편적인 암반의 절취단면 풍화형태를 살펴보면 일반적으로 풍화의 정도는 보통 지표면에서 하부로 깊어갈수록 적어진다. 이는 빗물이 지표면에서부터 암반의 불연속면(단층 및 절리)틈으로 침투하여 불연속면 부근부터 암석들이 풍화(암석이 썩는 것)되기 시작하여 흠으로 변화하기 때문인데, 지표면부근에 흠이 많이 분포하고 하부의 깊은 곳에는 비교적 신선한 암석들이 분포한다. 이 풍화단면의 형태는 지형과 기후 특성에 따라 고도(elevation)가 높거나, 주위 인접지역이 평평하며, 습한 지역에서 발달하는 점이적인 풍화형태 (Gradational weathering profile)와, 계곡하부, 절취사면, 산능성이 또는 터널벽 등의 지역에서 발달하는 얇은 두께에서 경계면이 뚜렷하게 발달하는 풍화, 열수변질에 의해 발달되는 핵석의 풍화형태 등 크게 3가지의 풍화형태를 보인다.

2. 급속한 풍화 전이면이 없는 경우 (Gradational weathering profile)

점이적인 풍화형태는 평지나 산정상부 등 (그림 1.2-18)과 같이 물과 공기의 흐름이 절리를 따라 같은 방향인 경우에 발달하는 풍화형태로, 지표면에서 지하부로 산화대, 용해대, 암반의 순서로 나타나는데 흠과 암반의 경계는 비교적 점이적으로 나타난다. 점이적인 풍화형태는 국내에서는 빈번히 관찰되며, 과거 대부분의 설계시에 조사되었던 시추추상도를 보면 거의가 이 풍화형태이다. 그러나 이는 시추를 경사진 곳에서 하지 않고 대부분 평지에서 수행하였기 때문이므로 이러한 지형적 특성을 정확히 예측하고 있어야만 설계 및 시공시 풍화에 따른 문제를 미연에 방지할 수 있다.

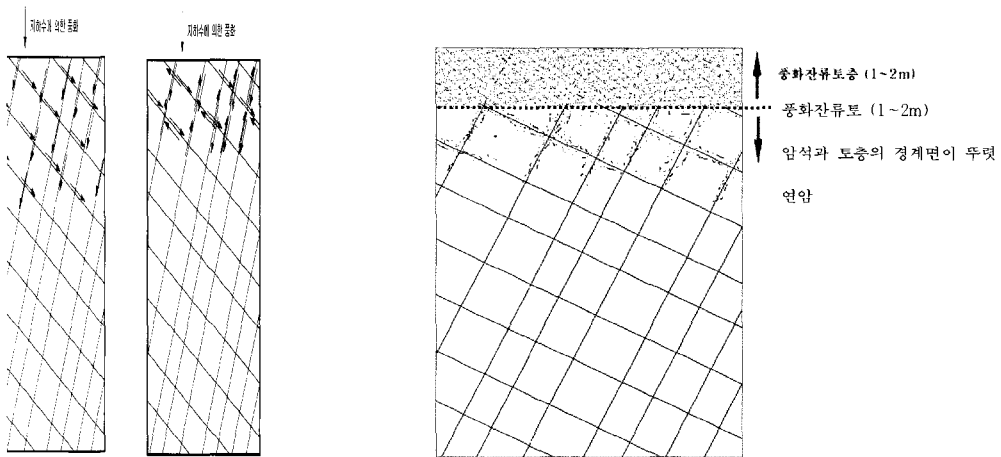


(a) 지하수에 의한 풍화진행방향 (b) 지하수에 의한 풍화양상

그림 1.2-18. 점이적인 풍화인 경우 : 점이적인 풍화의 경우 지하수가 상부지표면에서 절리를 따라 침투하므로 점진적으로 암석이 풍화되어 비교적 깊고점이적인 풍화대를 형성

3. 얇은 토층과 급속한 풍화 전이면이 있는 경우

토층이 얇고 토층과 암반의 경계가 뚜렷한 풍화형태는 그림 1.2-19와 같이 계곡의 하부나 산 능성의 절취사면 터널의 벽면과 같이 지하수가 낮은 복잡한 지반에서 암중에 상관없이 대부분의 지질에서 토층의 두께가 1~2m 내외로 얇게 분포하고 점진적인 풍화형태보다 훨씬 더 뚜렷한 암반의 경계부 (Weathering front)를 나타내며 이 경계면이 약선대로 작용하여 지반공학적으로 매우 취약한 지역이 된다. 집중호우시 발생하는 산사태의 대부분은 이러한 풍화형태에서의 암반의 경계면에서 발생하고 있다. 또한 시공전 지반의 풍화형태가 점진적인 풍화형태였다 할지라도 시공후에 절취사면이나 터널등과 같이 지형, 수계가 바뀌었을 경우 점진적인 풍화에서 얇은 토층과 암경계면이 뚜렷한 풍화형태로 변화하게 되므로 이러한 풍화형태의 변화를 예측하는 것이 터널이나 절취사면, 산사태의 안전성을 검토하는데 큰 도움이 될 수 있다.



(a) 지하수에 의한 풍화진행방향 (b) 지하수에 의한 풍화양상

그림 1.2-19. 얇은 토층과 토층과 암반의 경계가 뚜렷한 경우 : 산의 계곡부나 능성이, 절취사면, 터널의 벽면등과 같이 지하수의 이동방향이 다양한 지역에서는 얇은 토층과 암 경계면이 뚜렷한 풍화양상을 이룬다.

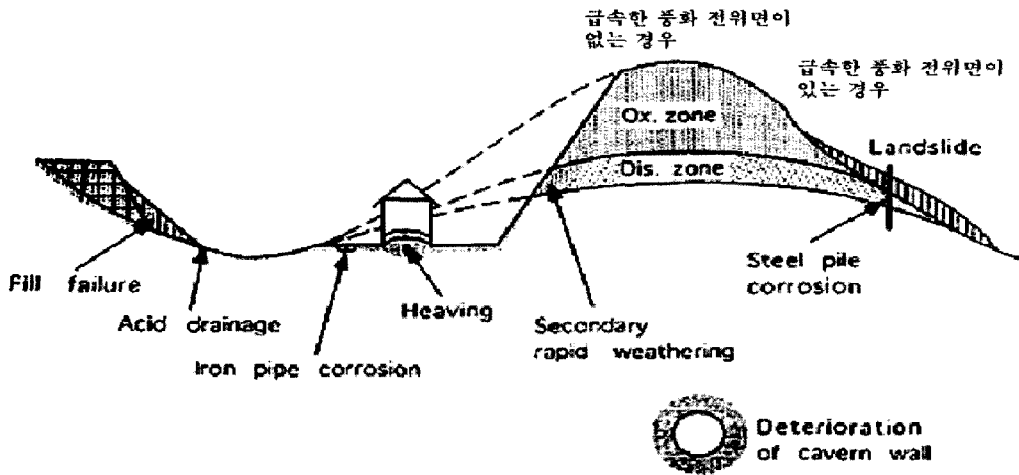
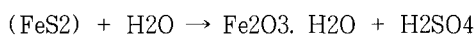


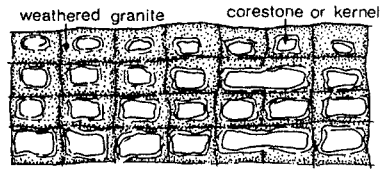
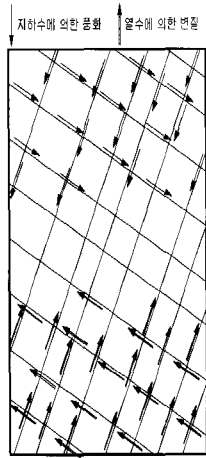
그림 1.2-20. 지형에 따른 풍화형태 및 붕괴양상 (M.Chigira & T. Oyama, 2000)

그림 1.2-20은 급속한 풍화전이면이 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 풍화양상과 시공시 발생되는 파괴양상을 나타낸 것이다.

4. 핵석 풍화형태 (Corestone weathering profile)

지표면에서 지하부로 갈수록 풍화의 정도는 점차로 감소하는데, 토층속에 비교적 신선한 연암이나 경암의 암석이 핵석(Corestone)으로 존재하는 상태가 있다. 이 핵석풍화 형태는 엄밀하게는 풍화(weathering)의 범주에 들어가지 않고 변질(alteration)의 범주에 해당하지만, 지질공학적 관점에서 이해되는 풍화와 유사한 지반공학적 특성을 보이므로 풍화의 한 형태로 인식되고 있다. 핵석의 풍화형태는 암반에 단순한 지하수의 풍화에 의한 작용이 아니라, 불연속면을 따라서 지하심부의 마그마(Magma)용액의 열수변질 작용(Hydrothermal alteration)과 열수광화작용 (Hydrotherma Mineralization)으로 인하여 강열하게 뜨거운 마그마용액으로 암석이 변질되어서 형성되었으므로, 단순한 지표수와 지하수의 풍화에 의한 풍화 형태와는 뚜렷이 구별된다 (그림 1.2-21). 이 핵석풍화 형태는 국내에는 비교적 드물게 관찰되는데(약 10%) 외국, 특히 홍콩에서는 이 풍화형태가 빈번하여 갑작스러운 사면 붕괴뿐만 아니라, 높은 건물 기초의 파일 설치 때나 암반사면안정을 위한 rock bolt를 시공할 때 문제를 야기시키는 것으로 종종 보고되고 있다. 우리나라의 경우 실내시험을 통한 연구결과를 살펴보면 핵석의 함유량이 20% 이하일때는 전단강도가 matrix인 토층만의 강도보다 낮게 나타나고 핵석의 함유량이 20% 이상인 경우에는 핵석간 맞물림현상(interlocking)에 의하여 전단강도가 토층만 있는 경우에 비해서 높게 나타나는 것으로 알려져 있다.





(b) 열수변질로 핵석풍화대 형성

(a) 지하수와 열수의 진행방향

그림 1.2-21. 핵석지반의 경우 : 지표에서 절리를 따라 유입된 지하수가 풍화를 촉진시키고, 지하심부에서 절리를 따라 올라오는 열수에 의해 열수변질되어 핵석지반을 형성

1.2.6 암종별 암반의 풍화특성 및 지질공학적 특성

1. 개요

암반의 풍화특성과 지질공학적 특성은 다양하기 때문에 각종 토목건설공사에 미치는 영향 또한 다양하다. 각 암석의 성인에 따라서 이 특성들이 큰 차이가 있으므로 암석의 특징을 잘 파악하여야 한다. 우리나라에는 화성암이 35%, 퇴적암이 23.7%, 변성암이 42% 분포하고 있다.

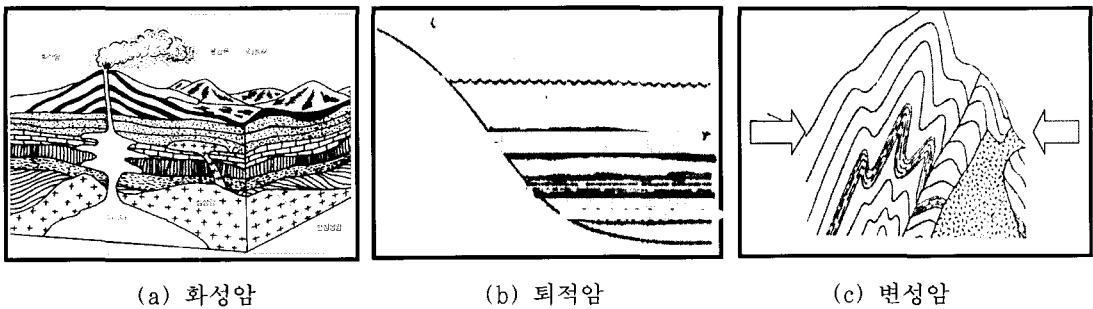
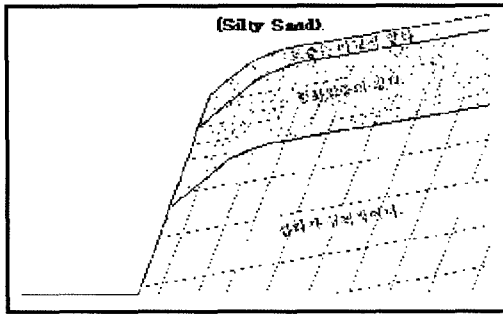


그림 1.2-22. 화성암, 퇴적암, 변성암의 생성 기원

2. 화성암

가. 특징

심성암 (화강암, 섬록암, 섬장암, 반력암 등)의 잔류토는 일반적으로 사질토이고(그림 1.2-23b) 풍화암의 두께가 큰 것이 특징이다(그림 1.2-23a). 규칙적인 절리에 의한 암반붕괴가 가능하고, 수직절리는 연장성이 긴 편이나 판상절리는 연장성이 짧은 경우와 긴 경우로 다양하다. 또한 수직절리는 전도파괴가 가능하고 암괴가 직육면체의 괴상이므로 입상형태 또는 판상형태에 따라서 전도파괴나 활동파괴의 가능성이 있다. 반면에 화산암 (응회암, 유문암, 안산암, 현무암)은 토층의 두께가 비교적 작고 흙은 대체로 실트 이하의 세립질로 구성되어 있는 것이 일반적이다(그림 1.2-24b). 화산활동은 조산운동과 동반되어 발생하므로 화산암에는 비교적 단층이 잘 발달되는 것이 관찰되며(그림 1.2-24a), 특히 현무암 지대의 경우 용암동굴 등이 관찰되는 경우가 있으므로 설계 또는 시공시 항상 주의할 필요가 있다. 불규칙하고 짧은 절리에 의해서는 극부적인 낙반 가능성만 있으므로 대체적으로 절리는 사면안정 분석시 중요도가 적다.(단 현무암의 주상절리로 인한 전도파괴 가능성에 주의) 또한 단층이 관찰되는 경우(특히 암석종류가 변하는 경계를 주의)에 이 단층에 의한 위험성을 고려할 필요가 있으며 토층과 암반의 경계가 뚜렷하다.

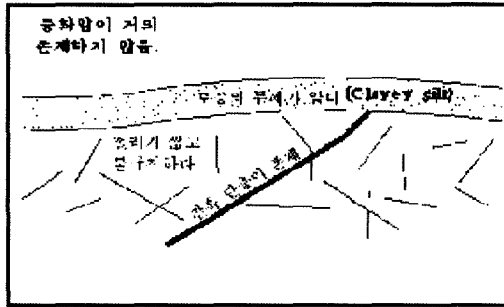


(a)

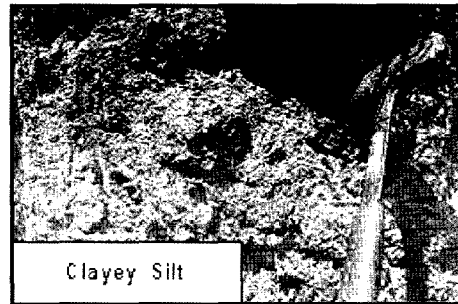


(b)

그림 1.2-23. 심성암의 풍화 및 절리특성



(a)



(b)

그림 1.2-24. 화산암의 풍화 및 절리특성

나. 시추 조사시 주의점

화성암 중에서 심성암반과 반심성암반은 일반적으로 암반내에서 암석의 변화가 적고 절리가 규칙적인 편이나 분출암반의 경우 지표면에서 서로 다른 시기에 여러번 흘러 쌓였기 때문에 다양한 암반의 특성을 보인다. 특히 간혹 연약한 지반위에 용암이 흘러 쌓인 경우(그림 1.2-25a)에는 연경암 하부에 불규칙한 하부 풍화상태를 보이거나 용암 터널(그림 1.2-25b)이 생성될 가능성이 크기 때문에 기초 설계시에는 기초의 응력 영향권 까지, 사면에서는 계획고하 1~2m 까지, 터널에서는 가능한 터널의 응력 영향권까지나 터널 하부까지 시추를 수행하여야 화성암 중에서 분출암반의 불규칙한 풍화 상태를 고려할 수 있다.

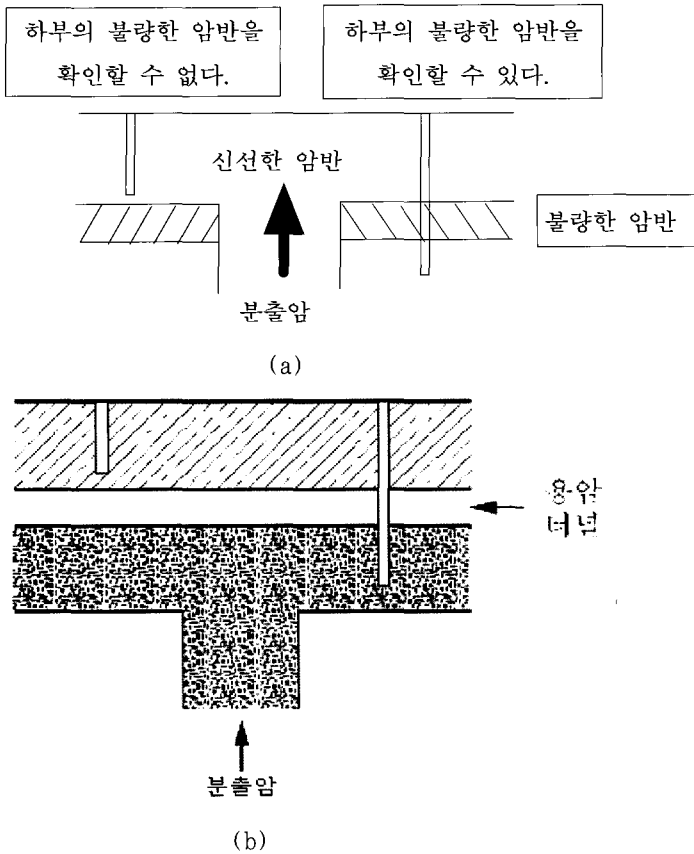
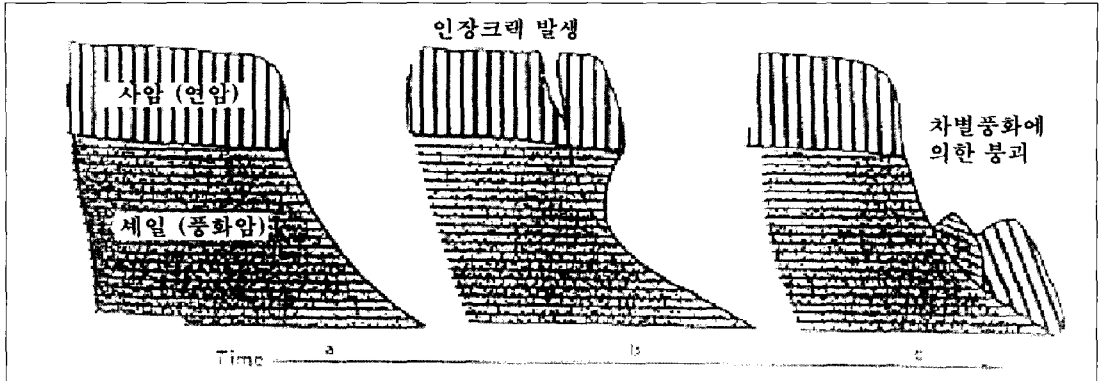


그림 1.2-25. 화성암 지반에서 시추조사시 주의점

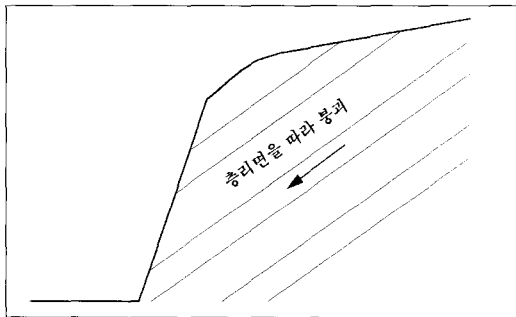
3. 퇴적암

가. 특 징

사암 또는 이암등 쇄설성 퇴적암에서는 모암의 입도에 따라서 토층의 입도가 결정된다. 만약 역암이나 사암지반에서의 잔류토는 역질 또는 사질토이고 세일이나 이암인 경우의 지반에서는 실트 이하의 세립질이 토층을 이루게 된다. 또한 사암과 혈암, 또는 혈암과 실트스톤의 호층대에서 차별 풍화가 발생하여 약선대로 나타나므로 조사자 및 설계자가 가장 유의하여야 한다(그림 1.2-26a). 또한 층리가 사면의 경사와 같을 경우 붕괴의 가장 큰 요인으로 사면의 안정성에 크게 영향을 미친다(그림 1.2-26b). 불연속면의 발달은 암석의 종류에 따라서 큰 차이를 보인다. 사암은 층리면이 달혀 있는 경우가 많으나 이암과 혈암은 층리면이 떨어져 있거나 쪼개짐(fissility)이 많다. 특히 우리나라 퇴적암의 대부분을 차지하는 경상계 퇴적암류는 양호한 암석과 취약한 암석이 교호하는 호층대가 많이 산출되므로 이러한 경우에는 취약한 암석의 특성에 주의하고 취약한 암석은 슛크리트 등으로 피복이 필요하며 층리면을 따라서 단층이 발달하는 경우가 간혹 발견되므로 정밀조사가 요망된다.



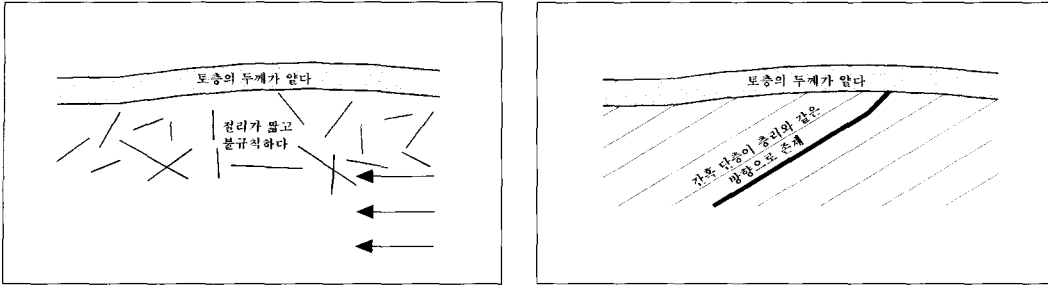
(a) 연암과 풍화암이 교호하는 지역에서의 차별풍화에 의한 붕괴



(b) 층리가 뚜렷하게 발달

그림 1.2-26. 쇄설성 퇴적암의 풍화 및 불연속면 발달 특성

석회암과 같은 비쇄설성 퇴적암은 대체로 토층이 점토질 실트 이루어져 있으며 절리는 짧고 불규칙한 양상으로 관찰된다(그림 1.2-27a). 우리나라 대부분의 비쇄설성 퇴적암은 대부분 고생대에 생성된 것으로 대체로 백악기에 생성된 경상계 퇴적암지대에 비해서는 단층의 빈도가 높은 특징이 있으며 이들은 층리방향과 비슷하게 관찰되고 있다(그림 1.2-27b). 또한 석회암에서는 지하수에 의한 차별침식으로 인하여 석회동굴이 생기는 경우가 흔하다(그림 1.2-28). 따라서 절리에 의한 대규모 낙반 위험은 적으며 지하동공이 위험하다고 판단되면 동공을 주입재로 채운다.



(a) 불규칙한 불연속면이 발달하는 경우 (b) 층리에 평행한 불연속면이 발달하는 경우
 그림 1.2-27. 비쇄설성 퇴적암(석회암)의 풍화 및 불연속면 발달특성

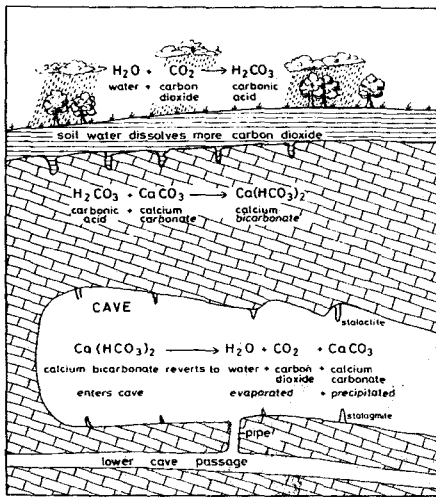


그림 1.2-28. 화학적 침식에 의한 석회암의 동공발달 특성

나. 시추 조사시 주의점

쇄설성 퇴적암 (사암, 이암, 셰일이 교호함) 지반에서 시추 조사시 가장 주의 해야 할 점은 호층으로 인한 지반선의 변화이다. 퇴적암 지반은 퇴적 기원에 따라 양호한 암반 하부에 불량한 암반이 존재할 가능성이 크다. 각종 구조물 조사시 계획심도까지 시추를 하면서 퇴적암 지반의 호층에 의한 풍화의 영향을 면밀히 관찰한다.

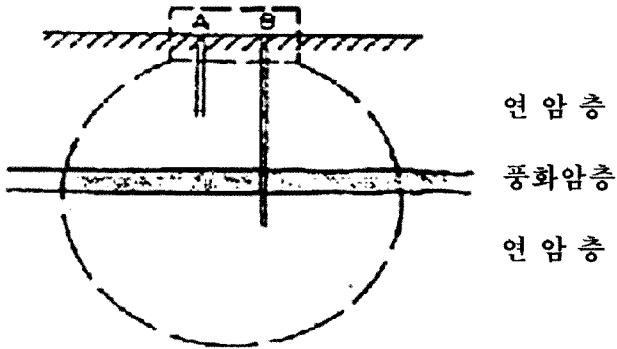


그림 1.2-29. 퇴적암 지반에서의 기초 시추시 주의점

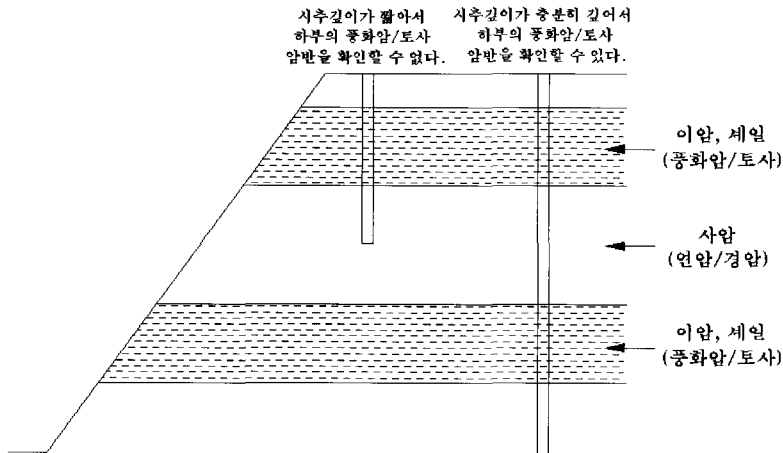


그림 1.2-30. 퇴적암 지반에서의 사면 시추시 주의점

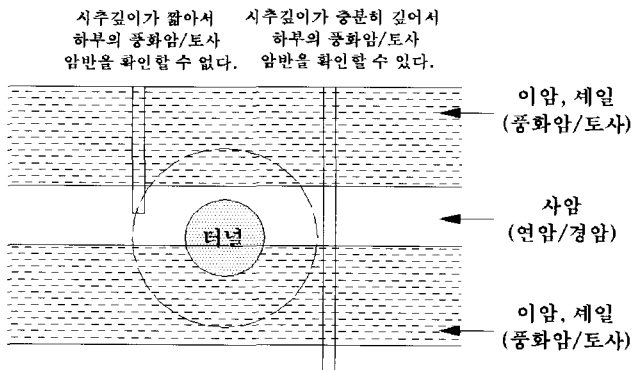


그림 1.2-31. 퇴적암 지반에서 터널 시추시 주의점

4. 변성암

가. 특징

편암 또는 편마암처럼 엮리구조를 가지는 변성암의 경우 단층과 같은 취약대에서는 풍화대의 두께가 크고 다른 암종에 비해서 전체적으로 불규칙한 풍화양상이 관찰된다(그림 1.2-32a). 편마암에서는 절리가 불규칙적이고 연장성이 짧아서 암편이 서로 끼고 있는 형태이므로 절리는 큰 위험요소가 아니다. 그러나 변성암은 대체로 고기에 형성되어 후의 여러 조산운동 등에 의하여 단층과쇄대가 흔하다. 위험단층이 없으면 기존 표준구배로 설계하여도 무방하나 편암내의 편리에서 발달하는 평행하고 연장성이 긴 절리가 암사면에 미치는 위험요인을 신중히 검토할 필요가 있으며 점토층진 단층에 의해서 대규모 붕괴가 자주 발생하므로 절취면 상에서의 단층의 위치, 특성을 판단하여 사면 또는 터널과 같은 지반구조물의 안정성에 위험가능성을 검토해야 한다. 따라서 이러한 지질특성을 보이는 지역은 반드시 탄성과 탐사가 필요하다. 규암과 같이 엮리구조를 보이지 않는 변성암의 경우에는 토층의 두께가 크지 않고 일반적으로 절리의 간격이 넓고 연장성이 매우 긴 편이다(그림 1.2-32b). 풍화를 잘 받지 않고 강한 암석이며, 시추시 굴진속도가 매우 느리다. 특이하게도 규암에는 규칙적이고 연장성이 긴 판상형태의 절리가 뚜렷하게 발달하므로 사면안정성 분석시에 고려해야 한다. 이 밖에 동력변성암에서는 암석이 재결정된 상태에 따라서 암석강도가 약한 것부터 강한 것까지 다양하며 불규칙한 절리가 불규칙적으로 극심하게 발달하고 대소규모의 단층이 많아 대규모의 붕괴가 우려된다.

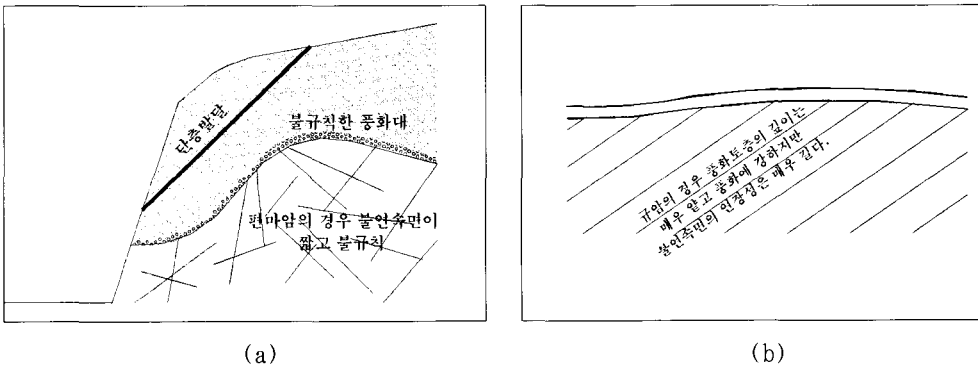


그림 1.2-32. 변성암의 풍화 및 불연속면의 발달 특성

나. 시추 조사시 주의점

변성암 지반에서 시추 조사시 가장 주의해야 할 점은 불규칙한 풍화작용에 기인한 지반선의 변화와 대규모 단층의 발달이다. 변성암 지반 역시 기초 설계시에는 기초의 응력 영향권까지, 사면에서는 계획고하 1~2m 까지, 터널에서는 가능한 터널의 응력 영향권까지 또는 터널 하부까지 시추를 수행하여야 변성암 지반의 불규칙한 풍화작용에 기인한 지반선의 변화와 대규모 단층 발달에 의한 영향을 고려할 수 있다.

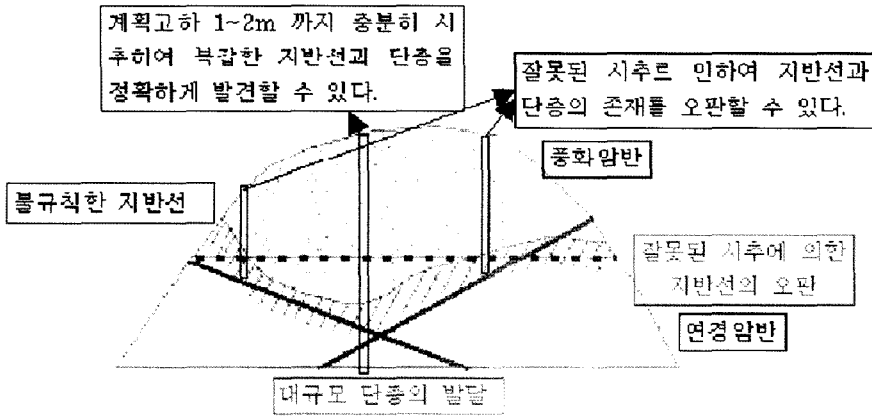


그림 1.2-33. 변성암 지반에서 절취사면 시추시 주의점 (정면도)

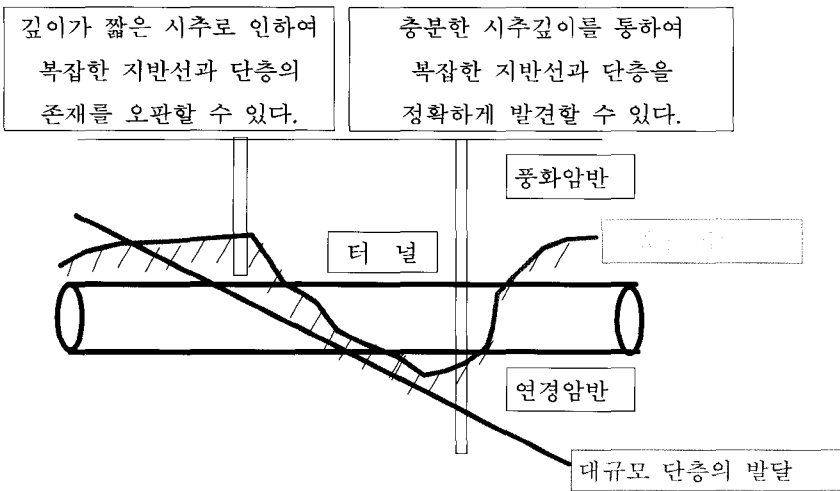


그림 1.2-34. 변성암 지반에서 터널 시추시 주의점 (단면도)

1.2.7 오해하기 쉬운 특이한 풍화지반에서의 시추주상도 비교

1. 핵석지반

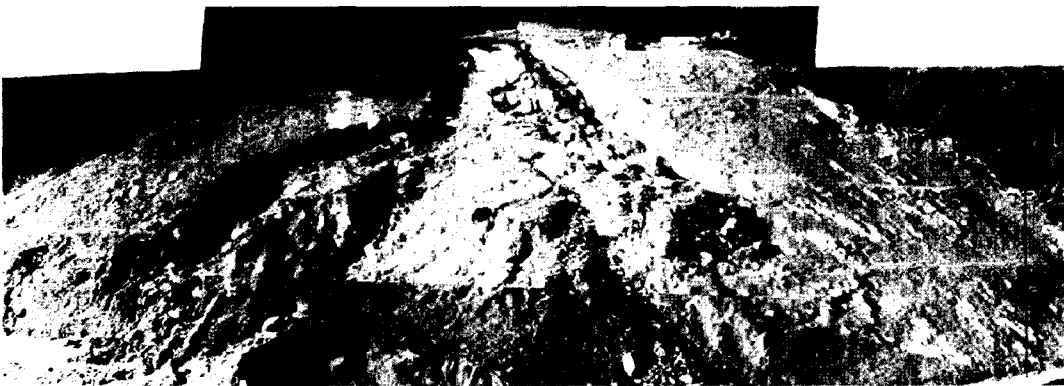
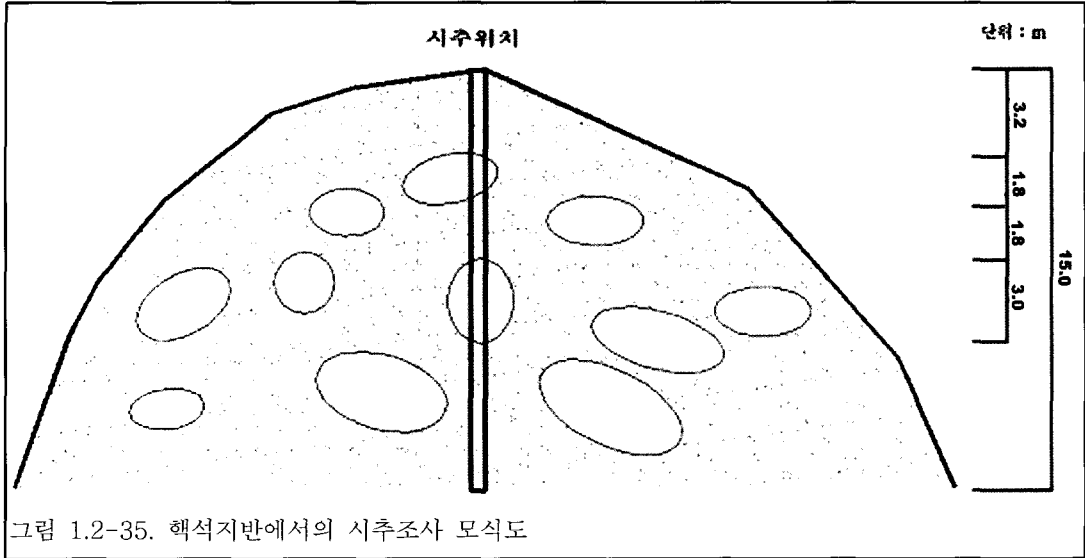
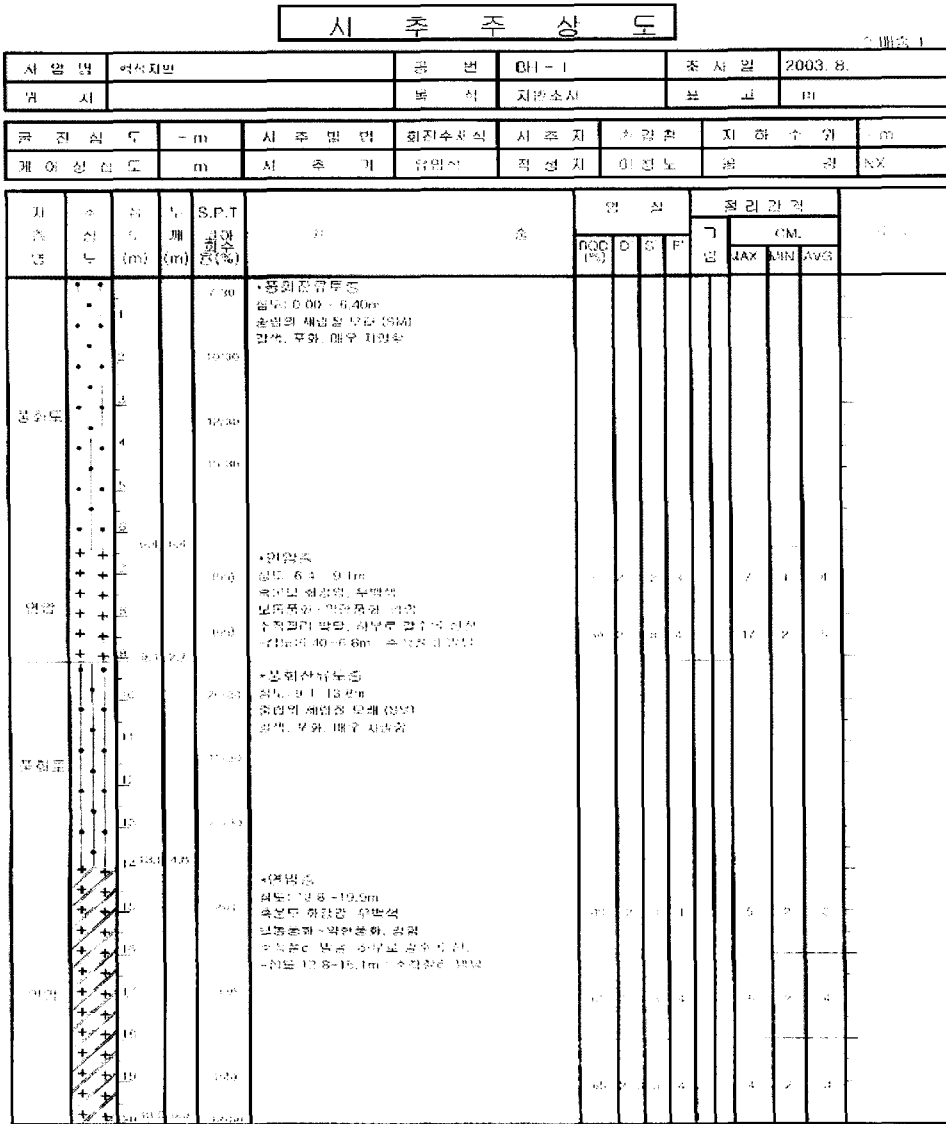


그림 1.2-36. 핵석지반에서의 절취사면 붕괴 전경

핵석지반의 경우 시추자 또는 조사자가 연암 2m 까지 굴착하기로 되어 있는 설계기준에 따라서 시추를 하게 되면 현지반의 상태를 왜곡하게 될 수 있다. 위의 그림 1.2-35은 일반적인 핵석지반을 모식화한 것이다. 이 그림에서 시추자 또는 감독자는 6.4m를 굴착하였을 경우 연암 이상의 강도를 가지는 암반이 나오는 것으로 착각하게 되고 설계기준에 따라 연암 2m만을 더 굴진하고 종료하게 되면 이 지반은 표고 6.4m 이하는 상당한 깊이까지 연암이 분포되는 암반인 것처럼 오해된다. 따라서 모든 지역에는 설계계획고하까지 시추하는 것이 바람직하며 위의 그림 1.2-36에서

시추하였을 때 나타날 수 있는 시추주상도는 다음 그림 1.2-37에서처럼 토층과 연암이 교대로 분포하는 양상으로 해석된다.



(a)

시 추 주 상 도

2 배준 2

사 업 명	핵석지반	공 번	BH-1	조 사 일	2003. 8.
위 시	-	물 정	지반조사	보 고	- m

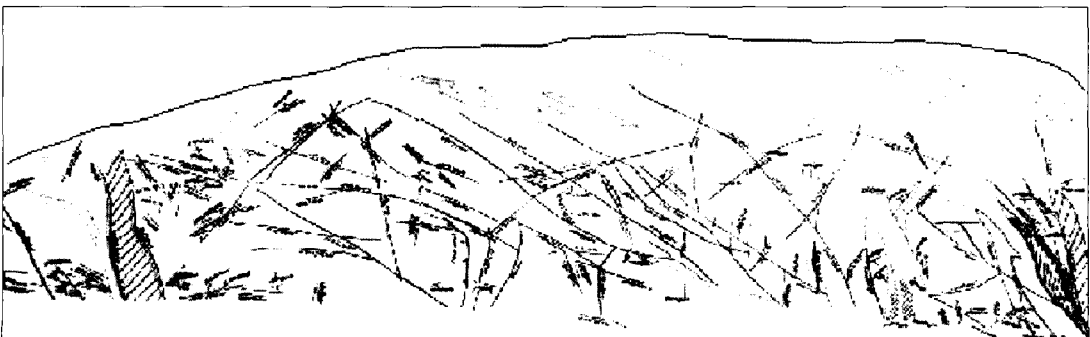
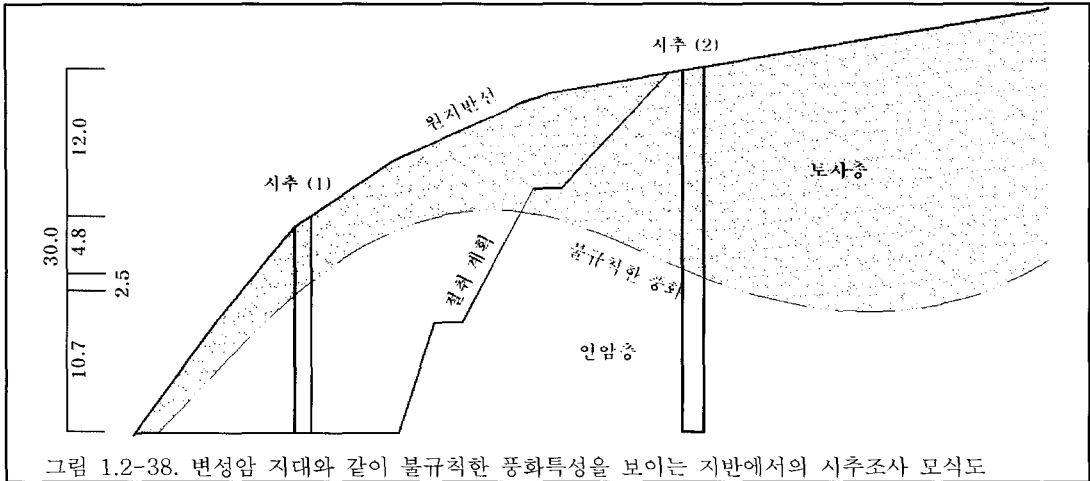
공 진 심 도	- m	시 추 방 법	회전수체식	시 추 자	스컬링	지 하 수 유	- m
케 이 심 심 도	- m	시 추 기	유압식	직 성 지	아 창 노	공	NX

지 층 명	주 상 도 (M)	심 도 (m)	S.P.T 값(공) N(%)	기	망 직				질 리 간 격			비 고	
					ROD (%)	D	S	F	CM.				
									MAX	MIN	AVG		
중량트	21		15/30	*중량진류토층 심도: 19.9~30.0m 중립의 세립질 모래 (SM) 갈색, 포화, 매우 치밀함									
	22												
	23		15/30										
	24		15/30										
	25												
	26		26/30										
	27												
	28		24/30										
	29		25/30										
	30	30.0	10.1										
	31			* 심도 30.00m 에서 시추조사 종료									
	32												
	33												
	34												
	35												
	36												
	37												
	38												
	39												
	40												

(b)

그림 1.2-37 핵석지반에서의 시추주상도 (그림 1.2-35과 같은 핵석지반)

2. 불규칙한 풍화특성을 보이는 변성암지반



일반적으로 절토부나 터널부의 시·중점부등이 계획된 구간에서도 도로의 중심선에 시추조사를 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 그림 1.2-38와 같이 불규칙한 풍화로 인하여 암반선이 불규칙한 경우에 일반적인 시추위치인 '시추 (1)'에서의 시추조사만으로는 이러한 지역의 풍화에 의한 암반선을 정확하게 파악한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 '시추 (2)'와 같은 지역에 시추를 추가함으로써 불규칙한 풍화양상을 보이는 지역에 대한 정확한 풍화양상을 파악할 수 있다. 위에서의 시추 (1) 과 시추 (2)에서 작성될 수 있는 시추주상도는 다음 그림 1.2-41, 1.2-42와 같다.

표 1.2-7. 암반의 풍화 분류(점이적 풍화지반인 경우)

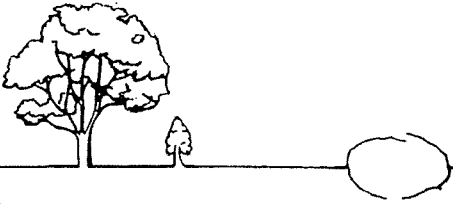

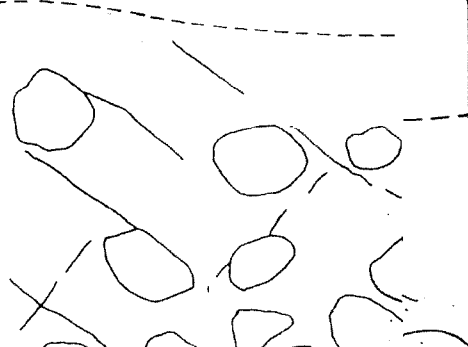
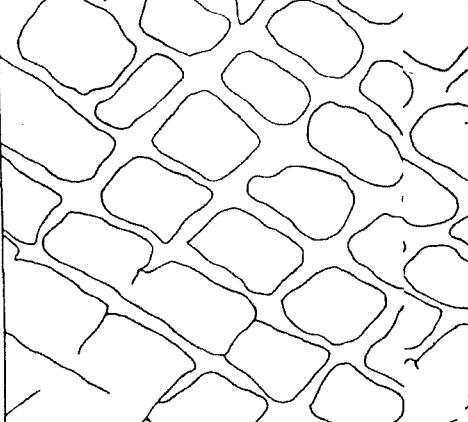

Table 3. Weathering description and classification for granitic rock masses (after Lee & de Freitas, 1989a)

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
	VI	Residual soil	RS	Most material is RS grade	RS_{FR}^{CR} (HP 0.3) (SL 4)
	II	Completely Weathered	CW	Most material is CW grade	CW_{FR}^{CC} (SL 2)
	IV	Highly Weathered	HW	Inner material is HW grade; outer material is HW or CW grade, occasionally RS grade	$HW_{FR}^{CS}90$ $CW_{FR}^{CC}10$ (SH 18) (SL 1)
	III	Moderately Weathered	MW	Inner material is MW grade; outer material is MW or HW grade, occasionally CW grade	$MW_{FR}^{CM}90$ $HW_{FR}^{CS}10$ (SH 42) (SH 22)
	II	Slightly Weathered	SW	Inner material is SW grade; outer material is SW or MW grade, occasionally RS grade	$SW_{FR}^{CS}90$ $MW_{FR}^{CM}5$ (SH 55) (SL 45)
	I	Fresh	F	Inner material is F grade; outer material is F or SW grade.	$F_{FR}^{CF}95$ $HW_{FR}^{CS}5$ (SH 60) (SH 57)

Legend	Remarks
	SH: Schmidt hammer rebound value
	SL: Slaking class
	HP: Hand penetrometer value (MPa)

*Note, the description shown in column 5 relates to the vertical profile shown in column 1 and the simplified expression of the description shown in column 6 also relates to the vertical profile shown in column 1. Column 5 and 6 are only descriptions of column 1 and are not the criteria for defining the zones I to VI.

표 1.2-8. 일반적인 암반의 풍화 분류 (핵석풍화 지반인 경우)

<p>Zones of Weathering (based on Ruxton & Berry, 1957)</p>	
<p>RS- Structureless sand, silt and clay. May have boulder concentration at the surface rw</p>	
<p>HW- Residual material with corestones. Rock percentage is less than 50%, and corestones are rounded and not interlocked MW</p>	
<p>MW-S Corestones with residual material. Rock percentage is 50 to 90% and corestones are rectangular and interlocked. w</p>	
<p>SW-F More than 90% rock. Minor residual material along major structural discontinuities which may be considerably iron stained</p>	

시 추 주 상 도

1 배중 1

사업명	불규칙한 풍화특성을 보이는 변형암지반			공번	타-1 (시추1)	조사일	2003. 8.		
위치				목적	지반조사	표고	- m		
굴진심도	- m	시추방법	회진수세식	시추자	순경원	지하수위	- m		
케이싱심도	- m	시추기	유입식	작성자	이광노	공경	NX		

지층명	추상도 (m)	두께 (m)	S.P.T 값 (kgf/cm ²)	기	암질				정리간격			비고		
					RQD (%)	D ⁺	S ⁺	F ⁺	그 림	CM.				
										MAX.	MIN		AVG	
풍화암	1		7.30	*풍화강류토층 심도 0.00 - 2.2m 중립의 세립질 모래 (SM) 갈색, 포화, 매우 치밀함										
	2	2.2	5.30											
풍화암	3		50/10	*풍화암층 심도: 2.2 - 4.8m 타격시 심트적인 세립-중립의 모래로 인해 원인 불유 말갈색, 습함, 매우 조밀함										
	4	4.8	2.6											
안암	5		(45)	*안암층 심도: 4.8 - 19.0m 북쪽면 회갈암, 우백색 모호중회·약한중회, 실암 수평질리 발달, 하부면 갈수층 신진 -심도 6.7-8.3m -상쇄내 발달	30	3	3	3		7	2	5		
	6		(52)		55	3	3	4		15	5	7		
	7		(48)		46	2	3	3		5	1	3		
	8		(60)		60	2	2	1		4	1	3		
	9		(70)		60	2	2	2		4	1	2		
	10		(95)		77	2	2	2		3	1	2		
	11		(96)		80	2	2	2		3	2	3		
	12													
	13													
	14													
15														
16														
17														
18	19.00	13.20												
19														
20														

그림 1.2-41. 불규칙한 풍화특성을 보이는 지반에서의 시추주상도 (시추1)

시 추 주 상 도

2. 00. 1

사 업 명	불규칙한 풍화특성을 보이는 변상암지반	공 번	BH - 2 (시추2)	조 사 일	2003. 8.
위 치	-	위 격	지반조사	표 고	m

굴 진 심 도	- m	시 추 방 법	회전수채식	시 추 자	손 경 형	지 하 수 위	- m
캐 이 심 신 도	- m	시 추 기	유압식	작 성 자	이 장 노	공 경	NX

지 층 명	수 심 노 (m)	성 도 (m)	두께 (m)	S.P.T 강도 (%)	기 상	양 질				포 리 린 려			비 고
						n ₆₀ (%)	D	S	F	CM			
										MAX	MIN	AVG	
분쇄도	1			7/30	*풍화잔류토층 상도: 0.00 - 4.7m 중량의 세립질 모래 (SM) 갈색, 무취, 매우 지입함								
	2			6/30									
	3			10/30									
	4			4.7									
	5	4.7	4.7	10/50		*풍화암층 상도: 4.7 - 19.3m 단적서 실트성인 세립-중립의 모래로 조립 암편 함유 갈색, 습함, 매우 조입함							
6			5/50										
7			3/50										
8			2/50										
9			2/50										
10			2/50										
11			2/50										
12			2/50										
13			2/50										
14			2/50										
분쇄안	15			2/50									
	16			2/50									
	17			2/50									
	18			2/50									
	19			2/50									
	20	19.3	19.3	2/50									
	20			3/50	*외양층								

(a) 불규칙한 풍화특성을 보이는 지반에서의 시추주상도 1 (시추2)

시 추 주 상 도

2 매층 2

사 업 명	불규칙한 풍화특성을 보이는 반성암지반	공 번	BH - 2 (시추2)	조 사 일	2003. 8.
위 치	-	목 적	지반조사	표 고	- m

굴 진 심 도	- m	시 추 방 법	회전수세식	시 추 자	손경원	지 하 수 위	- m
케 이 상 심 도	- m	시 추 기	유압식	작 성 자	이창노	굴 진 결	NX

지 층 명	주 상 도 (M)	상 도 (m)	두께 (m)	S.P.T 공회수 (%)	기	술	암 질				결 리 간 격			비 고		
							RQD (%)	D	S'	F'	그 램	C.M.				
												MAX	MIN		AVG	
연암	21	21			심도: 19.3~30.0m 층으로 회강암, 우회색 모래중회~약한중회, 강함 수평결리 발달, 하부로 갈수록 산선 -심도 20.5~22.4m : 파쇄대 발달											
	22	22	(52)			55	3	3	4		15	5	7			
	23	23														
	24	24	(65)			49	2	3	4		5	1	3			
	25	25														
	26	26	(69)			69	2	2	3		4	1	3			
	27	27														
	28	28	(78)			68	2	2	2		3	1	2			
	29	29														
	30	30	30.0	10.7		(95)	77	2	2	2		3	1	2		
					* 심도 30.00m 에서 시추조사 종료											
	31															
	32															
	33															
	34															
	35															
	36															
	37															
	38															
	39															
	40															

(b) 불규칙한 풍화특성을 보이는 지반에서의 시추주상도 2 (시추2)

그림 1.2-42. 불규칙한 풍화특성을 보이는 지반에서의 시추주상도 (시추2)

3. 사암과 세일의 호층대와 같은 차별풍화가 심한 지반

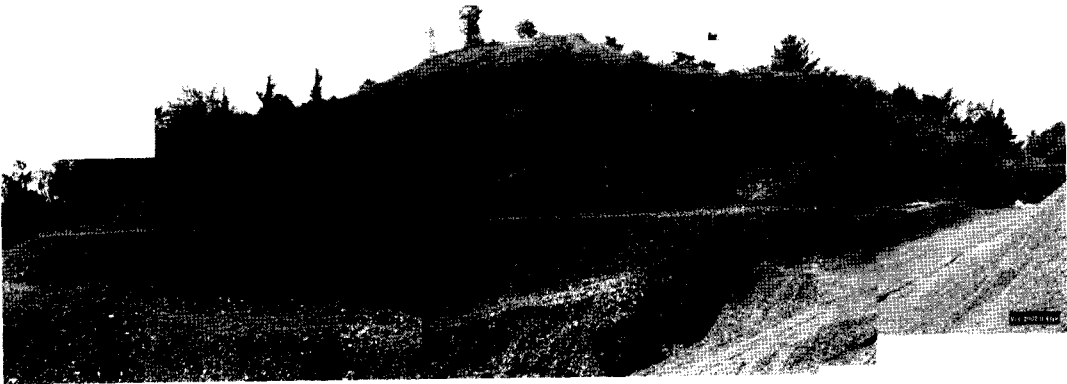


그림 1.2-43. 사암과 세일의 호층대에서의 절취사면 전경

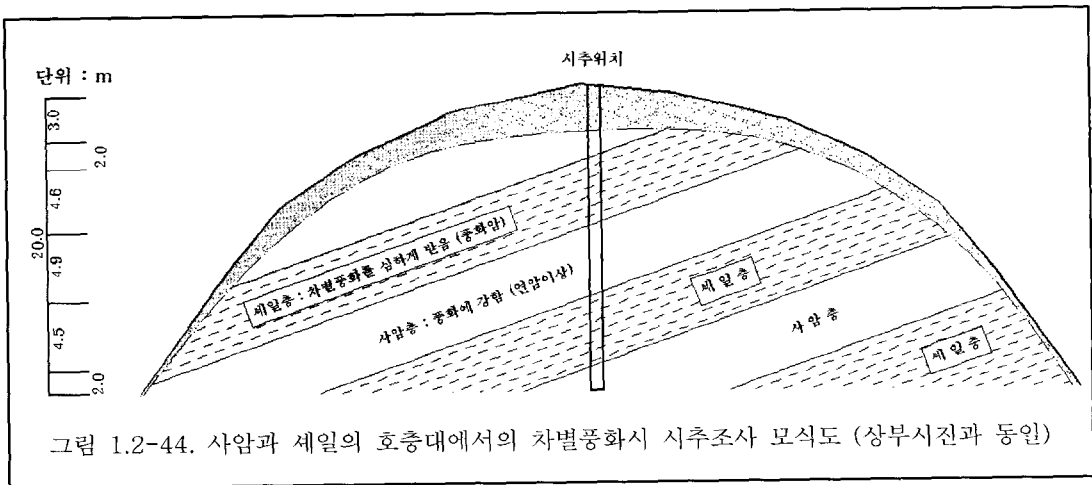


그림 1.2-44. 사암과 세일의 호층대에서의 차별풍화시 시추조사 모식도 (상부시진과 동일)

우리나라의 퇴적암의 상당부분을 차지하는 경상계 퇴적암은 주로 세일과 이암이 가장 많은 분포를 차지하고 그 다음으로 많이 차지하는 지반이 바로 사암과 세일의 호층대이다. 세일이나 이암만 존재하는 구간에서의 지반은 비록 지반공학적으로 취약하다 할지라도 시추자나 조사자들이 쉽게 인지할 수 있다. 반면에 사암과 세일의 호층대의 경우 세일층의 차별풍화와 이에 따른 지하수유입의 집중 등으로 오히려 세일만 있는 지반보다 지반공학적으로 취약할 수 있음에도 불구하고 조사자나 설계자들이 쉽게 인지하지 못하는 경우가 많다. 위의 그림 1.2-44에서 보는바와 같이 이러한 호층대 지역 역시 핵석지반과 같이 연암 2m 까지 시추하도록 되어있는 설계기준을 따르게 된다면 토층 3m 후 바로 연암구간으로 설정하는 오류를 범하게 된다. 이러한 구간 역시 계획하고자 시추를 하여야 정확한 지반특성을 파악할 수 있으며 이러한 구간에서의 시추주상도는 다음 그림 1.2-45와 같이 풍화암과 연암 교호하는 형태로 나타난다.

시 추 주 상 도

2 매 중 1

사업명	시공과 세원의 효용대와 같은 지보중화기 신	관반 번	BH-1	조사일	2003. 8.
위치	-	목적	지반조사	프고	- m

굴진심도	- m	시추방법	회전수세식	시추자	손경철	지하수위	- m
케이싱심도	- m	시추기	유압식	작성자	이창노	공경	NX

지층명	추상도 (m)	심도 (m)	두께 (m)	S.P.T 값(%)	기 상	암질				홀리간격			비고	
						ROD (%)	D'	S'	F'	그 합	CM.			
											MAX	MIN		AVG
풍화암	1	3.0	3.0	10/30	*풍화간극토층 심도: 0.00 ~ 3.00m 중량의 세립질 모래 (SM) 갈색, 모화, 매우 조밀함									
	2			25/30										
	3													
연암	4	5.0	2.0	(36)	*연암층 심도: 3.00 ~ 5.00m 세립질 사암, 우백색 보통풍화~약한풍화, 갈황 수평층리 발달	35	3	3	3		7	2	5	
	5													
	6													
풍화암	7	9.6	4.6	10/50	*풍화암층 심도: 5.0 ~ 9.6m 타격시 실트세인 세립~중립의 모래로 분해됨 암면 함유 암갈색, 습함, 매우 조밀함									
	8			7/50										
	9			5/50										
연암	10	14.5	4.9	(65)	*연암층 심도: 9.6 ~ 14.5m 세립질 사암, 우백색 보통풍화~약한풍화, 갈황 수평층리 발달	58	2	3	2		8	2	4	
	11													
	12			(82)		60	2	2	2		5	2	11	
풍화암	13	19.1	4.5	10/50	*풍화암층 심도: 14.5 ~ 19.0m 타격시 실트세인 세립~중립의 모래로 분해됨 암면 함유 암갈색, 습함, 매우 조밀함									
	14			5/50										
	15													
연암	16	20.0	1.0	(75)	*연암층 심도: 19.0 ~ 20.0m	60	2	2	2		5	2	4	
	17													

(a)

시 추 주 상 도													
2.매중 2													
사 업 명		사암과 셰일의 호층대와 같은 지반종화가 심한 광반 변				BH - 1		조 사 일		2003. 8.			
위 치		-				목 적		지반조사		표 고			
굴 진 심 도		- m		사 추 방 법		회전수세식		시 추 자		조경철			
캐 이 상 심 도		- m		시 추 기		유압식		작 성 자		이철노			
지 층 명		주 상 도 (M)		심 도 (m)		S.P.T 강도 (%)		기 술				비 고	
								RQD (%) D' S' F' 그 링 CM. MAX MIN AVG					
		21						세립질 사암, 우측벽 보통풍화~약한풍화, 강합 수렴층리 발달 * 심도 20.00m 에서 시추조사 종료					
		22											
		23											
		24											
		25											
		26											
		27											
		28											
		29											
		30											
		31											
		32											
		33											
		34											
		35											
		36											
		37											
		38											
		39											
		40											

(b)

그림 1.2-45. 사암과 셰일의 호층대 지반에서의 시추주상도 (그림 1.2-45의 시추주상도 사례)

【참고문헌】

- 이정인, 1995, 암반사면공학, 엔지니어즈.
- 이정인, 1997, 암석역학을 이용한 터널설계, 구미서관.
- 정창의, 1986 지질학개론, 박영사.
- 한국지반공학회, 2000 지반공학시리즈 II '토목기술자를 위한 암반공학', 구미서관.
- Anand S. Gupta and K. Seshagiri Rao (2001) Weathering indices and their applicability for crystalline rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*
- Baynes FJ, Dearman WR, Irfan TY (1978) Practical assessment of grade in weathered granite. *Bull Int Assoc Eng Geol* 18: 101-109
- Beavis FC (1985) Rock weathering. In: Beavis FC (ed) *Engineering geology*. Blackwell, Melbourne, pp 52-90
- Beavis FC, Roberts I, Minskaya L (1982) Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone. *Q J Eng Geol* 15:29-45
- M. Chigira, T. Oyama (2000) Mechanism and effect of chemical weathering of sedimentary rocks. *Engineering Geological Advances in Japan for New Millennium*. Elsevier, pp 267-278
- Dearman WR, Irfan TY (1978) Classification and index properties of weathered coarse grained granites from SW England. In: *Proc 3rd IntCongr IAEG, Madrid, Publ 2*, pp 119-130
- Deere DU, Miller RP (1966) Engineering classification and index properties for intact rock. *Tech Rep AFNL-TR-65-116*. Air Force Weapon Laboratory, New Mexico
- Iliev IG (1966) An attempt to estimate the degree of weathering of their physico-mechanical properties. In: *Proc 1st ISRM Congr, Lisbon, Publ 2, no 3*, pp 109-114
- Irfan TY (1996) Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. *Q J Eng Geol* 29:5-35
- Irfan TY, Dearman WR (1978a) Engineering classification and index properties of a Weathered granite. *Bull Int Eng Geol* 29:5-35
- Irfan TY, Dearman WR (1978b) The engineering petrography of weathered granite in Cornwall, England. *Q J Eng Geol* 11:233-244
- Irfan TY, Dearman WR (1978c) Micropetrographic and engineering characterization of a Weathered granite. *Ann Soc Geol Belg* 101:71-77
- Irfan TY, Powell GE (1985) Engineering geological investigations for pile foundation on a deeply weathered granitic rock in Hong Kong. *Bull Int Assoc Eng Geol* 32:67-80
- IS: 13030 (1991) Method of test for laboratory determination of water content, porosity, density and related properties. Bureau of Indian Standards, New Delhi
- ISRM (1981a) Basic geotechnical description of rock masses. *Int J Rock Mech Min SciGeomechAbstr* 18:85-110

-
- ISRM (1981b) Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown ET (ed) Suggested methods. Pergamon Press, Oxford
- Lee SG, de Freitas MH (1988) A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granites in Korea. *Q J Eng Geol* 22:31-48
- Turk N, Koca MY, Yuzer E, Qztaş T, Erdogan M (1994) Engineering geological problems of the first phase of the Izmir Metro. In: *Proc 7th Int IAEG Congr, Lisbon*, pp 4259-4264
- Pasamehmetoglu AG, Karpuz C, Irfan TY (1981) The weathering classification of Ankaraandesites from rock mechanics point of view. In: *Proc IntSymp Weak Rocks, Tokyo, Publ 1*, pp 185-190
- Saito T (1981) Variation of physical properties of igneous rocks in weathering. In: *Proc IntSymp on Weak Rocks, Tokyo, vol 1*. AA Balkema, Amsterdam, pp 191-196