

# 서울地下鐵工事와 岩盤構造

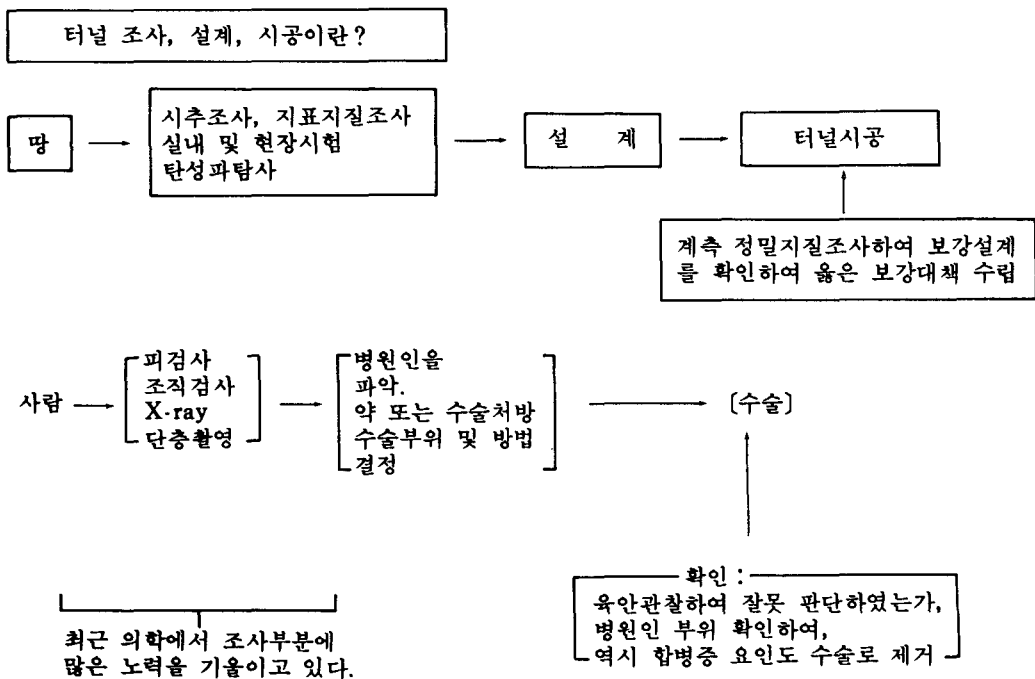
Geological Structure Related to Seoul Sub-way Construction.

李 壽 坤\*

On the Sub-way Construction It is important to Survey in advance the Geological Structure and also to make the Engineering Geological map this paper describes the feature of Geological structure of Seoul Area and analyses the recently occurred Rock falling accidents.

NATM Tunnelling always must be done with careful observation and measurement of the geological condition.

## 1. 터널의 조사, 설계, 시공간의 상호개념



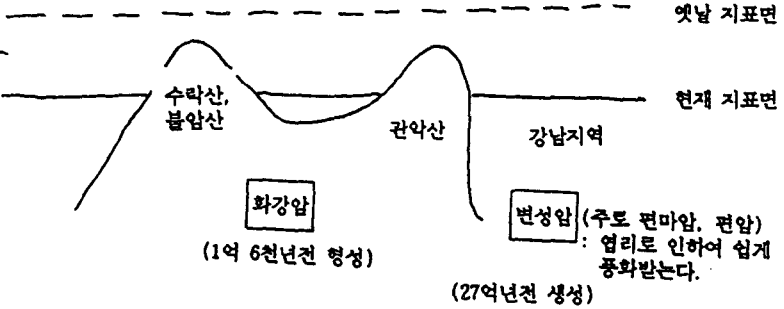
\*韓國資源研究所 責任研究委員, 理學博士

## 2. 서울의 지반특성과 지하철 공사중 붕괴특성

### 서울의 지반특성

① 형성 :

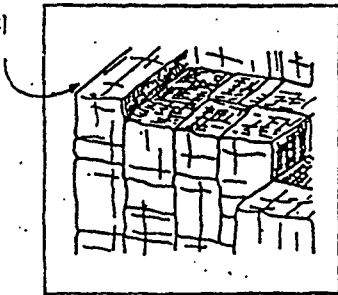
풍화와 침식으로  
없어진다.



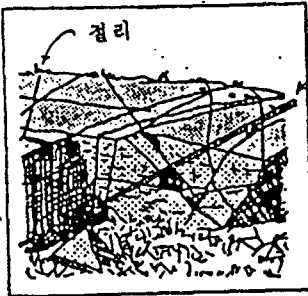
② 특성

암반내의 불연속면의 발달

절리



(a) 규칙적 (예 : 화강암)  
: 소규모 압축붕괴



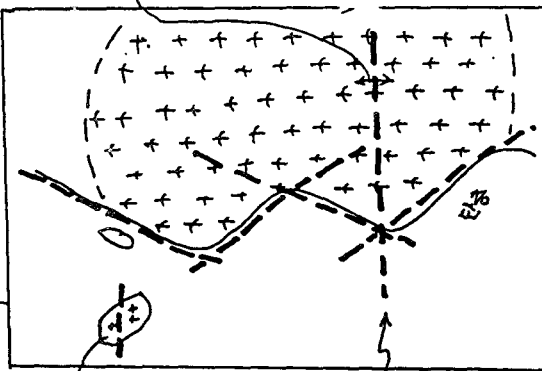
(b) 불규칙적 (예 : 편마암)  
: 소규모 + 대규모 압축붕괴

항공사진, 위성사진에서  
대규모 단층, 중규모 단층을  
파악하여 터널공사시에  
중요한 참고자료.

<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암질이 비교적 균등</li> <li>· 풍화심도가 얇다 : 토층 수 m 두께</li> <li>· (토층은 화강풍화토로 silty sand)</li> <li>· 절리가 규칙적이고 절리는 직선적이다. 연장성이 보통이다.</li> <li>· 단층의 발달은 적은 편이다.</li> <li>· 절리고 인한 부분적인 붕괴</li> <li>· RMR이 높아서(파쇄가 적다) TBM 터널공사 용이. 터널 굴착수월.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암질이 매우 불규칙하다. (철저한 지질공사 요망)</li> <li>· 풍화심도가 약간 깊다. (clayly sandy silt). 핵석발달.</li> <li>· 절리가 불규칙하고 절리는 연장성이 짧고 간혹된다.</li> <li>· 절리 및 단층의 발달이 심하다.</li> <li>· 단층으로 인한 대규모 붕괴</li> <li>· RMR이 낮아서(파쇄가 심해서) 발파로 터널공사. 터널 굴착 난공사.</li> </ul>
---	--

탄성과 탄사자료(PhD)

[평면 지질도]



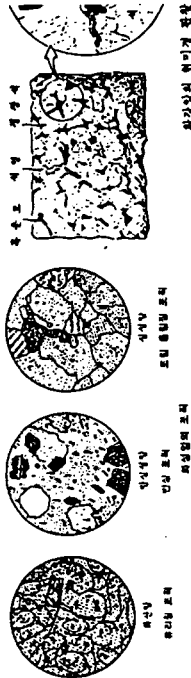
열수변질이 심하여  
지하에서 소규모 단층 많음.

대규모 추가명 Fault(중랑천 Fault)  
지하철 7호선이 따라간다.  
Tunnel alignment 선정시  
되도록이면 대단층은 피할것.  
터널안전. 공사지연. 보강과다가능성  
(부분단면시공)

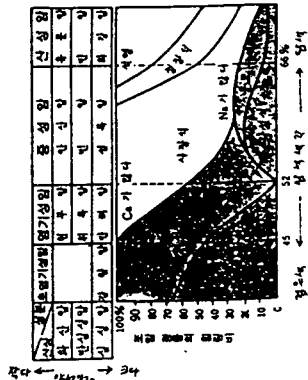
(1) 화성암

- (가) 성인 및 형성
- 지어의 magma가 지표부분으로 분출하여서 고결된 것
  - 암석이 결정적이고 동상성인 특성
  - 관입형태에 따른 분류
  - 관입암 -- magma가 지하 깊은 곳에서 서서히 고결된 것으로, 입자가 크다.
  - 관입암 -- magma가 지하 깊은 곳에서 서서히 고결된 것으로, 입자가 크다.
  - 관입암 -- magma가 지하 깊은 곳에서 서서히 고결된 것으로, 입자가 크다.

- (나) 분류
- 암석의 분류기준은 ① 광물성분과 ② 구조이다.
  - ① 광물성분(Mineral Content) -- 석영, 장석, 유색광물 등으로 이루어져 있으며, 함량에 따라서 암석의 세질을 좌우함.
  - ② 구조(Texture) -- Coarse, medium, fine-grained 등으로 분류되며, 이 크기는 암석이 고결된 위치에 의하여 결정됨.



분류 기준으로서 크기가 5mm 이상이면 조립질, 1-5mm이면 중립질, 1mm 이하이면 세립질이라 한다.

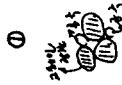
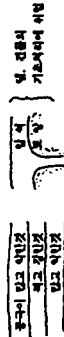


(다) 화성암의 공학적인 특성

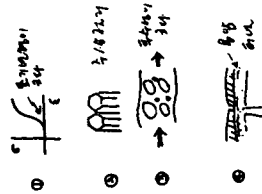
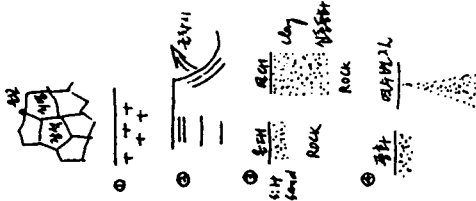
- 1) 관입암
- 암석 -- 구성광물 입자들이 서로 엮물리고 있는 (interlocking) 구조이므로 암석의 강도는 크고, 또 입자간에 공간(pore)이 비교적 적어서 하중이 가해지면 암석은 탄성변형(Elastic deformation) 한다.
  - 암반 -- ① 암반내에서 암석의 변화가 적으므로 공학적인 성질이 본층암에 비해서 균일하다.
  - ② 깊은곳에서 식어서 생성되므로 높은 residual stress(잔장응력)이 존재 → stress relic joint 발생
  - ③ 지표면에 노출되어 있으므로 풍화를 받는다 → 각 지역의 기후 조건에 따라서 풍화심도의 풍화물질이 다르다.
  - ④ 열수변질(hydrothermal alteration) 받는다.

2) 분출암

- ① 지표면에서 서로 다분시기에 여러번 흘러 쌓여서 형성된 것이다. 그러므로 공극이 많은 밀도가 낮은 것(강도 매우 약함)과 공극이 적은 밀도가 큰 것(강도 강함)이 혼합되어서 암석도 다양하게 변하며, 공학적인 성질도 다양하므로 관입암 지역보다도 정밀한 지질조사가 요망된다.
- (참고) 공극이 적은 암석은 하중시 공극이 압축되므로 초기변형이 크다.
- ② 현무암(basalt)에서 특이한 cooling(tension) fracture 발생 (= column joint : 주상절리).
- ③ 역암(aggglomerate)에서의 부수성이 큰 성질.
- ④ 간혹 용암터널(lava tunnel) 발생하여 큰 공간 존재.

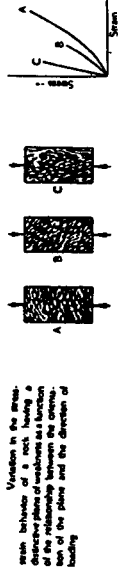


3. 암석의 대표 및 공학적인 특성



(2) 변성암의 공학적인 특성.

· 압력 : 암석이 열리를 지니므로 이방성적인 공학적 특성을 지닌다.  
 열리와 평행한 방향으로 하중 가하면 강도는 떨어지거나 변형이 작고,  
 열리와 수직인 방향으로 하중 가하면 강도는 높아지거나 변형이 많이  
 진다.



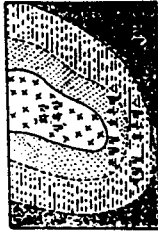
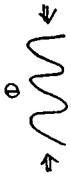
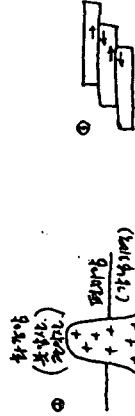
Variation in the stress-strain behavior of a rock, having a relationship between the direction of the plane and the direction of loading

· 입면 : ① 광역적인 변성을 받아서 지질구조가 복잡 : ① Fault와 Fold가 많고(단층대로 변형률수 있다), ②부분적으로 여러종류의 변성암이 나온다(입면의 이방성 관계).



② 암석내의 열리를 구성하고 있는 mafic mineral(철분이 많다)들은 풍화되기 쉬운 광물이므로, 암석자체도 풍화를 쉽게 받는다.

③ 암석내의 열리를 구성하는 것들은 mica(운모) 광물같이 판상구조를 이루고 있으므로, 정착 긴시간 동안에 변형이 일어나는 creep이 문제된다.



입면과 부근에서의 연속 변성암의 대신 분포(2009년)

(3) 변성암

(71) 생성요인

① 동력변성작용(광역변성작용)  
 -- 원래의 화성암, 퇴적암, 변성암들이 지구에 지구내의 광역적인 변동에 의한 거대한 shearing stresses 발생시 높은 온도의 압력에 의해서, 암석이 깨지고 휘어져서 또다른 종류의 암석으로 변형된다.

② 연속변성작용  
 뜨거운 magma의 접촉하는 부분에 극부적으로 암석이 변질됨

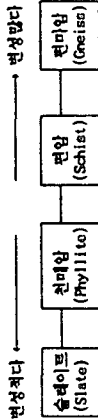
(나) 특징  
 변성암내에 일정한 방향으로 광물이 배열된 열리(foliation)가 있다(열리의 대부분은 mica등의 판상구조의 광물입자로 이루어져있다).

(예외 : 규암(Quartzite)은 열리없음)

(다) 분류기준

· 입면의 ①정질과 이에 적용된 ②변성정도에 따라 분류.

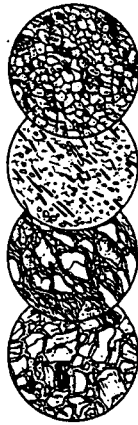
(예) 변성정도가 많아짐에 따라서



· 편마암 : 입도가 굵고, 대부분 잠적으로 이루어져있다.

· 편암 : 열리구조가 뚜렷하며, 열리면으로 잘 깨진다. 입자가 좀 작다.  
 · 편마암, 슬레이트 : 속인으로 입자를 구별할 정도로 작다.

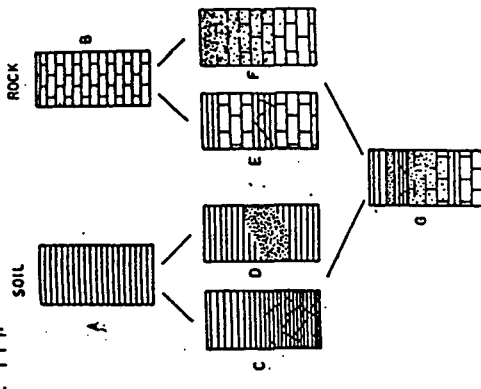
· 호른펠스 --(주로 세암암석이 접촉변성 받아서 검은색의 치밀한 암석으로 변한것(1mm 이하의 입자) : SiO<sub>2</sub>)



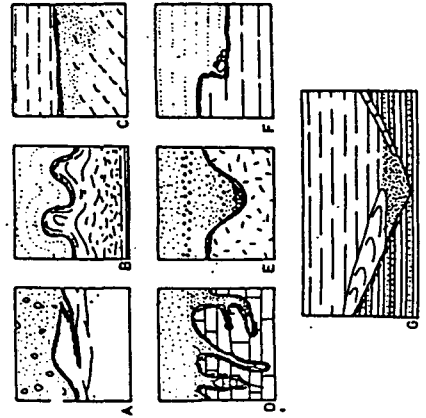
변성 정도에 따른 편암암의 조직 변화(화이강으로 단위)

원래의 암석	변성암의 종류(→ 표본 번호가 같한 경우)	변성 정도
사암, 석회암	호른펠스	중세암 → 편마암 → 편암 → 석마암
기암, 석회암	편암	편암 → 석마암(대리암)
기암, 석회암	편마암	편암 → 석마암(대리암)
기암, 석회암	석마암	편암 → 석마암(대리암)
기암, 석회암	석마암	편암 → 석마암(대리암)

흙이 수평인것만은 아니다.



Diagrammatic representation of the geological factors in soils and rocks which influence their foundation behaviour. A and B are idealized representations; C, D, E and F introduce the geological realities of variability; G combines soil as overburden in contact with rockhead with underlying bedrock.



암반의 풍화

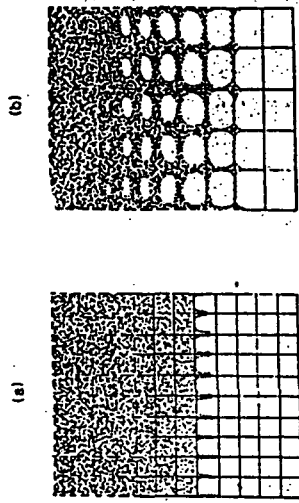
풍화단면의 특성 (한국화강암)

(1) 풍화 잔류토층이 5-10m 이내에 분포하는데 비교적 적은 편이다. 이는 토층의 침식율이 극심하기 때문이다. (예: 경사 25° 사면에서 2.3cm/년). 일반적으로 토층은 CW 풍화암을 silty sand 이다.

(2) 지표면 상부에서 하부로 갈수록 풍화정도가 감소하면서 Weathering Front는 공학적으로 매우 중요한 특성을 지닌다. Front는 암반의 급격한 투수계수의 차이 때문이다.

- ① 암석과 토질 경계선(암반선)을 아는 것이 토목공사시, 특히 기초설계 시 pile을 설치할 경우 매우 중요하다. 암반선은 일반적으로 수평적분을 발달하나 간혹 불규칙하게 발달하는 경우도 많다.
- ② 화강암 지역에서 Corestone (핵석)이 풍화대에 드물게 관찰되어 Gradual Weathering Profile이 많다. Corestone이 발달하는 지역에서 토목공사시 Pile 등의 기초를 위한 Boring (시추) 조사서에 토질과 암반층을 구별하는데 신중을 기하여야 한다.

4. 토질, 암석, 암반이란 (풍화와 관련되어서)?



Typical examples of the (a) gradual and (b) corestone weathering profiles.

가. 기본

입석의 변형 (불연속면의 발달)

불연속면 (discontinuity=fracture)

: 입단면에 있는 계진 것으로 절리, 단층이 있다.

(1) 절리 (Joint)

note: 1) 입석종류마다 절리발달의 특징이 있다.  
2) 입석역에서도 절리의 발달이 급격히 변한다.

(가) 절리의 특징 : 입단면에 규칙적으로 개재하는 것으로 절리면을 따라서 현저하게 움직인 층기가 없다. 단층은 수 cm에서 수십m이다.

(나) 절리의 종류

- Shear Joint (견단절리) : 압축에 의한 견단으로 생성
- Tension Joint (인장절리) : 압축에 의해서 아가된 인장력으로 생성
- sheeting Joint (판상절리) : 지표면 상부의 물결이 침식됨에 따라서 상부하중의 감소로 인하여 지표면에 광범하게 발달

(다) 입석의 종류에 따른 절리의 발달

- 회성암 : ㉠ 관입암 : magma가 심부에서 식을 때 수축되어서 생기는 절리로, 규칙적으로 발달한다.
- 화산암 : 지표면에서 lava가 식어서 수축될때 종종 6면체 의 절리발달 (예 : 현무암)

- 퇴적암 : 절리의 발달이 많거나 적은경우 등 다양하고, 절리가 층리를 따라서 발달하는 경우가 많다.
- 변성암 : 지질적으로 변형을 많이 받은 암석이라도 절리의 발달이 많고, 불규칙한 방향으로 발달한다.



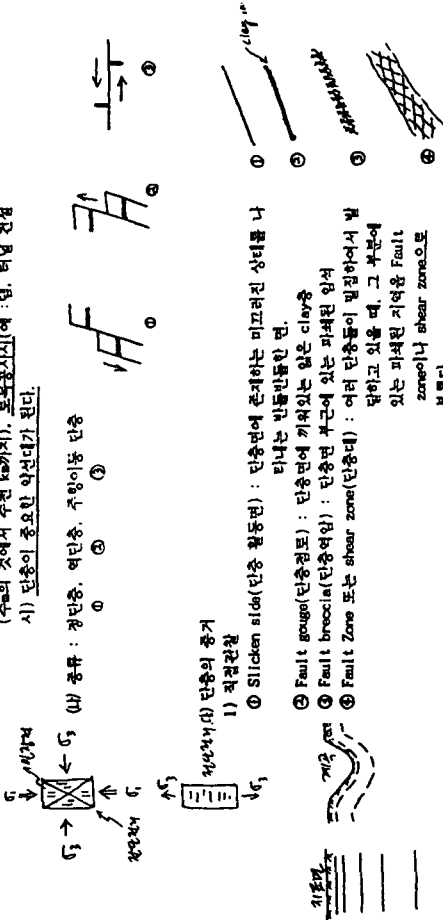
(라) 절리를 야외에서 조사하여 기재하는 방법  
· 주향(strike)과 경사(dip) : 주향은 절리면상에 존재하는 수평선의 방향 : 경사는 절리면의 최대 경사각

\* 다음 Page 참조.

(2) 단층 (Fault)

(가) 성인 : 불연속면을 따라서 현저하게 움직여 움직인 변형이 있는 불연속면을 단층으로 불린다. 일반적으로 절리에 비해서 연속성이 커서 (수m의 것에서 수km에까지), 포복운동시(예 : 땀, 턱걸 운동 시) 단층이 중요한 입단대가 된다.

(나) 종류 : 정단층, 역단층, 주향이동 단층



1) 직결관찰

㉠ slicken side(단층 활동면) : 단층면에 존재하는 미끄러진 상태를 나타내는 빈들만들인 면.

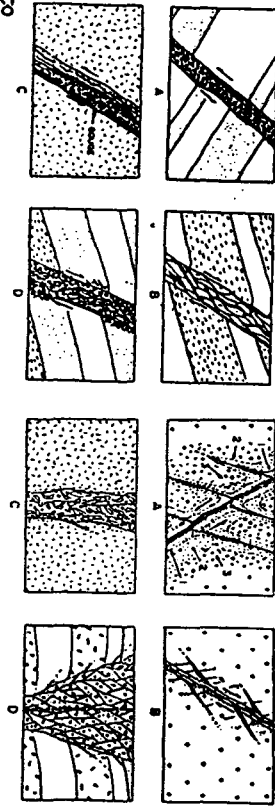
㉡ Fault gouge(단층점토) : 단층면에 개재있는 얇은 clay층

㉢ Fault breccia(단층여암) : 단층면 부근에 있는 파쇄된 입석

㉣ Fault Zone 또는 shear zone(단층대) : 여러 단층들이 밀집하여서 발달하고 있을 때, 그 부분에 있는 파쇄된 지역을 Fault zone이나 shear zone으로 부른다.

2) 간접추측

- 광역적인 지형의 연속적인 선구조의 방향성
- 지형상의 불규칙한 특성 (예: 불규칙한 단애의 발달, 산능선이 불규칙하게 끊긴다. 물이 흐르는 계곡의 방향이 갑자기 휘어지거나 차단된다.
- 지진이 자주 발생하는 곳



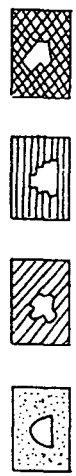
**불연속면의 입안공학적인 영향**

(1-1) 질리(층리표형) : 도로나 담, 터널공시 입석의 낙반을 야기시키는 주요인이며, 사전 공사계획 단계나 시공과정에서 질리의 입안공학적인 특성이 고려되어야 한다.

① 사면불안정



③ 터널시공시 overbreak(괴도인 입석의 파괴)의 발생과 규모를 결정하며, 보수비용의 과다결정

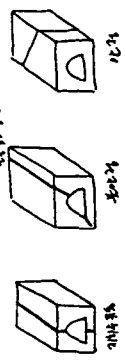


(2-1) 단층 : 단층상이 큰 불연속면이라도 여러 포묵공시시 대규모의 불안정 요소로서 작용한다.

① 사면불안정



② 터널의 불안정



③ 터널을 굴착할 경우에 단층을 만나게 될 경우 지하수압의 차이가 급격히 커져서 지하수가 터널 내로 깊지기 유입되어서 인명, 재산 피해 크다.

※ 이러한 실태가 서울 지하철에서 관찰된 것이 다음 page에 수록되어 있다.



**\* 서울지하철에서 단층대로 지하수 심한 사례**

단층이 막강 하단부에서 나타나기 시작



지하수가 막강 하단부에서 유출시작

중 앙



막강중앙에서 유출.

상단부



막강상부에서 유출.

터널 상부



지하수 유입이 많았다.

④ 터널굴착시 단층의 쪽에 있는 점토질인 Fault gouge가 걸리도 못게 없어져서 지하수의 유동공로가 커져서 터널굴착을 야기시킨다.

⑤ 건물의 기초저리를 단층위에 할경우 단층과우로 부동할아 할 수 있다.

⑥ 단층대(Fault zone)에 기초저리를 할 경우 지지력이 매우 약하다. 터널굴착시 암석이 암석이 피쇄되 있고, 지하수 유입이 심하여 터널 지지 보강을 많이 하여야 되어 소요비용이 크다.



## 6. 터널설계, 시공의 국내 현실과 개선방안

### (터널 설계)

#### 가. 시추 지질조사

##### ① 시추 비용의 현실화

- 『토목구조물』 건설이 제일 비싸게 고려하고 지질조사 비용은 공연한 낭비로 생각하는 경향
- 발주단가도 비현실적으로 적는데 외주관리로 인하여 실제 현장 시추단가는 매우 열악하다.
- 적정규모의 시추장비 및 부대장비 확보 필수화
- 시추기사의 지질지식 유무에 따라 조사결과에 지대한 영향
- NX, BX 시추코아 크기의 차이에 따른 암반추정의 차이를 감안  
않아도 시추 주상도의 결과를 동일하게 해석하는 경향도 있다. (BX가 NX 시추보다도 RQD%적다)

(가능하면 NX로 규격 통일이 바람직)

극단적인 경우에 기본설계 시추자료와 실시설계 시추자료가 수m 정도의 암선 차이가 아니라 암등급 차이가 크게 다른 경우가 있다. (지보, 굴착조건이 지질시추조사 결과에 따라 설계되는 데도 불구하고...)

- ② 지질조사 품셈 적용의 현실화가 안되는데도 원인 : 풍화도, 풍화암에 대한 점토품 적용 → 사질(화강 풍화토)도 적용이 합리적 토공에서는 풍화도, 풍화암에 대한 품셈 명문화 되어 있으나 시추조사에는 구분이 점토로 되어있는 모순제거 → 『낮은 시추단가』 때문에 암반선이 지표로 올라가서, 위험 터널설계가 될수도 있다. 지하토목공사시 취약부로 인식되는 풍화암의 시료채취에 대한 적절한 품셈적용과 시료 채취 의무화.

##### ③ 암판정 개념의 혼돈 (지질, 토질, 구조 기술자간에)

- 건설부 표준품셈의 모순과 용어의 불확실성 제거  
(예 : 시추기술자 : 연암 → 『연암석』 의미로 해석  
구조설계기술자 : 『연암』 → 『연암반』 의미로 해석우려)
- 암판정의 정량화
- 암반역학 개념 부족

##### ④ 시방의 현실화

시추심도의 부족 : 터널 구간의 경암 1m, 또는 Invert level 하의 2m까지 → 터널의 응력영향권까지는 시추 바람직하다. → 해석, 단층파쇄대, 열수변질대를 파악할 수 없다.

㉠ 열수변질대에서는 특히 주의

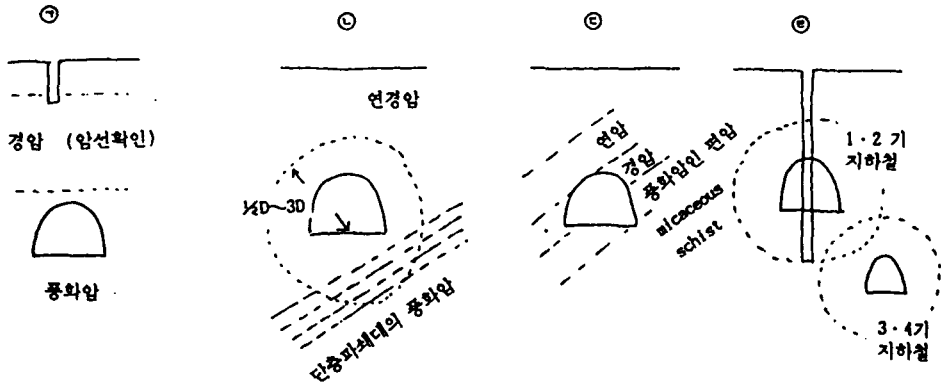
㉡ 단층 파쇄대

㉢ 복잡한 변성암 지역

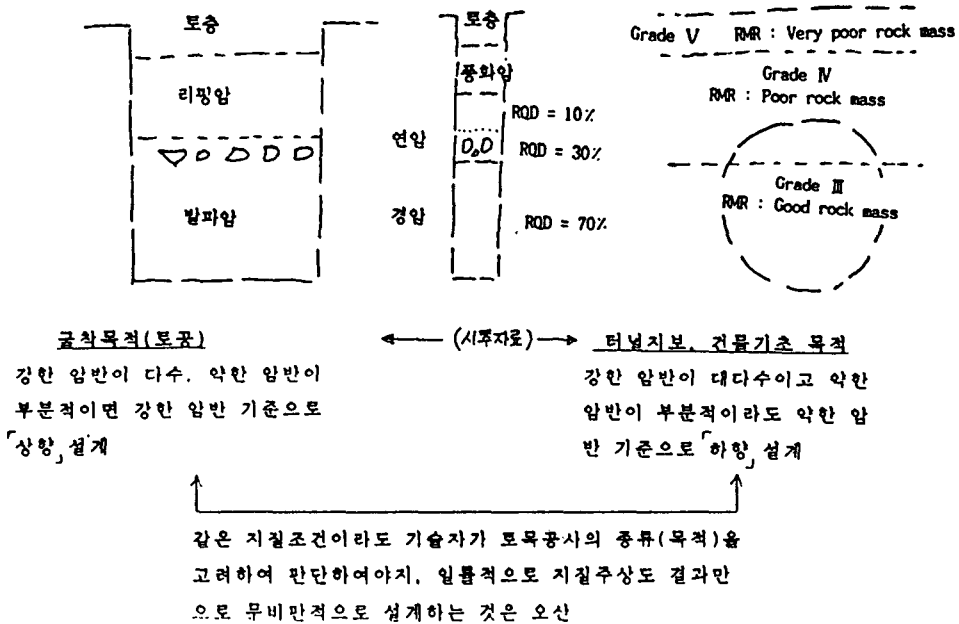
Invert 에서 Steel rib의 지지력 확보의 문제점

㉣ 차후의 신설 지하철 시공, 설계계획에 큰 도움이 됨 기존 및 신설 지하철이 중첩되는 경우의 안정성을 고려하는 대책수립한다. (신설 노선선정의 변경).



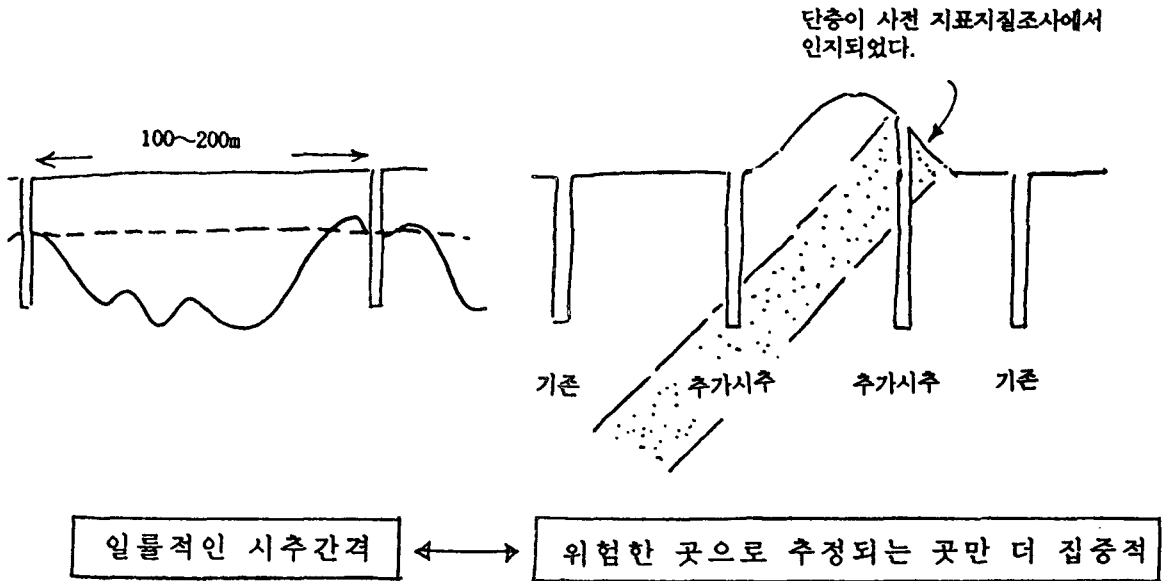


⑤ 경험이 부족한 설계자의 일반역학적 Engineering 개념이 부족



⑥ 시추조사의 체계적 계획 수립 부족

시추간격은 예비설계시 200m 간격, 실시설계시 100m 간격으로 수행하는 데 간격은 합리적이라 판단된다. 그러나 일률적인 시추간격은 시정요망, 인공위성, 항공사진이나 지질도, 지형도, 주변의 기존 시추자료, 지표의 함선노두로서 거시적으로 지질구조를 판단한 후에 나쁜 위험한 곳으로 추정되는 곳만 더 집중적으로 (시추 간격 좁게) 시추하고 다른곳은 현행대로 수행, 탄성과 탐사 가능하면 병행하면 유익, 또한 차후에 수직구나 정거장등의 개착구간에서 3차원적인 지질자료나 나오므로 보완하면 현행 200~100m 시추간격은 조금만 계획성 있게 시추하면 대체적으로 큰 무리가 없는 듯 하다.



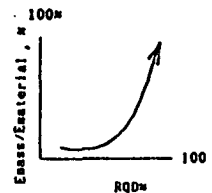
**나. NATM 설계 입력자료의 허실을 이해하여야 한다.**

거의 모든 불성치가 추정치이므로 (불확실성을 내포) 시공설계가 아닌 예비설계(가설계) 개념으로 FEM에 의한 실시설계를 이해하여야 한다. 입력자료중 E(탄성계수, 변형계수)가 제일 예민한데, 조사지역의 지질특성에 부합되는 완벽한 E추정은 불가능하다. (E자료의 한계)

**Emass 추정방법**

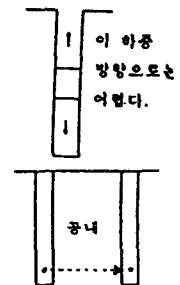
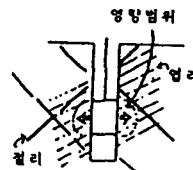
① 암석시험 자료 (Ematerial)로서 경험치 자료로서 추정

- ㉠ 실내시험수치의 정확도 (예 : 함수비, stress level 등에서 실내시험과 현장 조건의 상이함) : 측정한 실내시험 조사 서술 꼭 하도록 이방성인 암석은 편리(층리)와 하중방향과의 관계언급
- ㉡ 경험치가 국내 지질특성에 부합되는가 (Emass /Ematerial과 RQDX의 관계식 -)
- ㉢ 같은 연암이라도 화강암, 편마암의 변형수치가 크게 다른 것 고려



② 공내 재하시험 : 원지반 특성파악이 목적

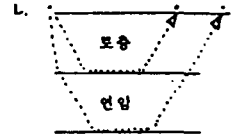
- ㉣ 좁은 부분만 시험    ㉤ 이방성 영향 파악 어려움 (시험 영향범위가 적다) (화강암은 O.K. 편마암은 이방성)



- ③ 탄성과탐사 : 전반적인 광역적인 경향만 보여 주는 것이지 국부적인 변화는 (예 : 단층등의 존재) 탄성과 탐사의 특성상 파악이 곤란한 경우가 많은 것이 한계→

또한 Edynamic modulus > Estatic modulus 신선암에서는 차이가 비교적 적으나 풍화되면 그 차이가 크다.

- ㉠ 공내 탄성파탐사: 보다 정확한 수치, 좁은 지역에서
- ㉡ 지표탄성과 탐사: 개략적인 수치, 넓은 지역에서 ... 그러나 암층을 구분하는 점이 장점.

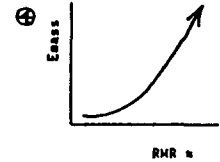


④ 암반옥안 분류 (RMR, Q) 로서 기존 경험치로서 추정, 역시 기존 경험치가 국내 지질특성에 얼마나 부합되는가의 의문

\* 결론 : ㉠ 어떤 방법이든 변화가 심한 암반의 전반적인 또한 부분적인 (국부적인)

“E” 파악은 불가능하다.

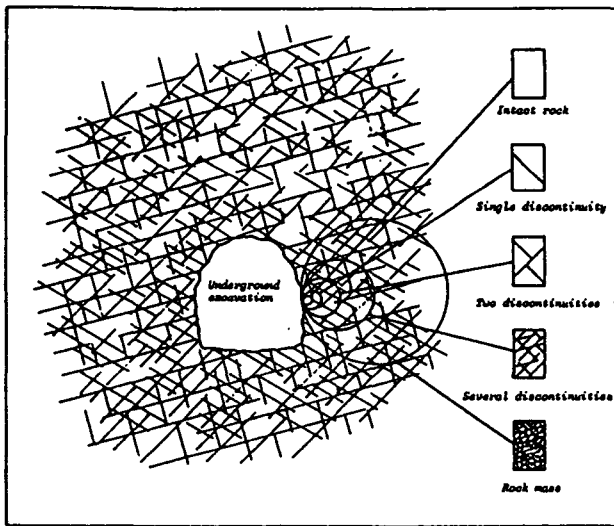
이런 약점 때문에 현장 계측, Face mapping 의 필요성이 증대된다.



- ㉢ 상기와 같이 E mass 추정방법의 장·단점을 이해하고 설계필요 『암반 (절리개념포함)』에 대한 지식없이 “E mass” 수치를 잘못 판단시 오류의 우려

## 실내 시험

### 암석과 암반에서의 실험의 의미 (Scale 고려)



Idealized diagram showing the transition from intact rock to a heavily jointed rock mass with increasing sample size.

### 「RMR」 수치에 근거하여 추정된 암반의 강도지수 ( $\phi$ )

#### CSIR geomechanics classification of jointed rock masses

##### A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

PARAMETER		RANGES OF VALUES				
1	Strength of intact rock material	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For the low range - nominal values may be specified
	Rating	10	9	7	4	
2	Drill core quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Rating	20	17	13	8	

3	Spacing of joints	33m	1-3m	0.3-1m	30-300mm	< 90mm
	Rating	30	23	20	10	5
4	Condition of joints	Very rough surface No separation No exposed oil Hard joint wall rock	Slightly rough surface Separation <1mm Hard joint wall rock	Slightly rough surface Separation <1mm Soft joint wall rock	Disintegrated surface Gaps <3mm thick Joints open 1-3mm Continuous joints	Soft gaps 15mm thick or Joints open 3-5mm Continuous joints
	Rating	25	20	12	6	0
5	Water per 10m tunnel length	None	<25 litres/min	25-125 litres/min	>125 litres/min	
	Rating	OR	OR	OR	OR	
	Moisture conditions	Completely dry	Moist only (above 80% water)	Wet or under moderate pressure	Severe water problems	
	Rating	10	7	4	0	

B. RATING ADJUSTMENT FOR JOINT ORIENTATIONS

Strike and dip orientations of joints	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
Foundations	0	-2	-7	-15	-25
Steps	0	-3	-25	-30	-60

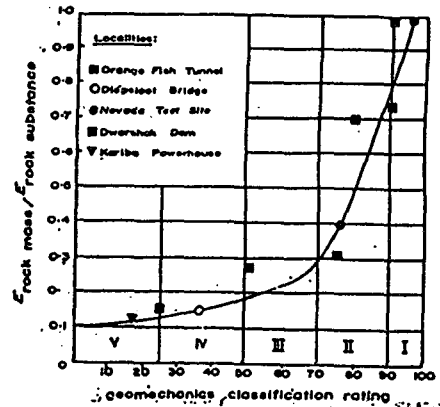
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	00-11	10-11	10-11	10-11	< 10
Class No.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES

Class No.	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	10 years for 3m span	6 months for 4m span	1 week for 3m span	2 hours for 1.5m span	10 min for 0.5m span
Cohesion of the rock mass	1300 lPa	200-300 lPa	100-200 lPa	100-100 lPa	< 100 lPa
Friction angle of the rock mass	143°	40°-42°	30°-40°	30°-32°	130°

CLASSIFICATION OF ROCK



Correlation between geomechanics classification rating and modulus reduction factor (after Budnawski, 1975).

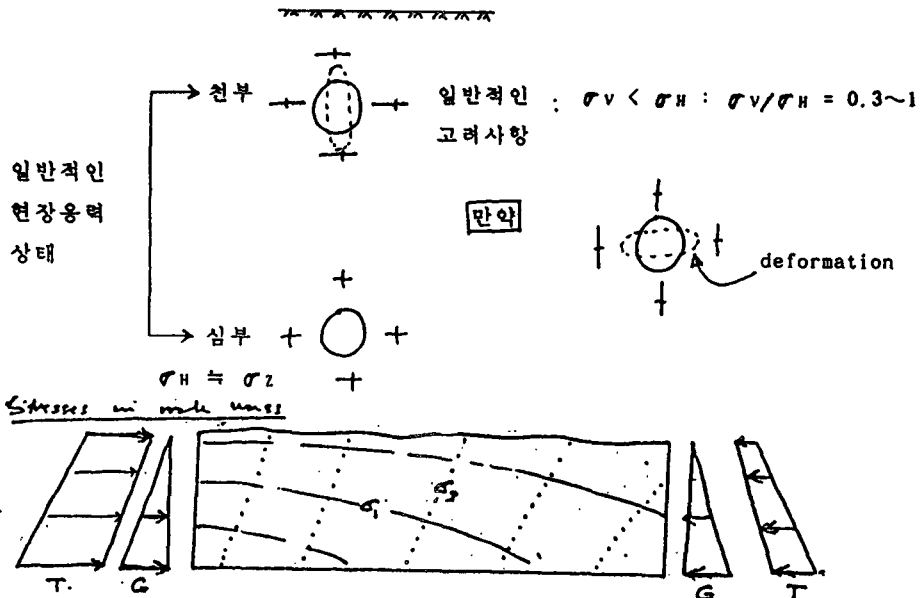
다. FEM 해석에서 암반내의 현장응력 분포 상태가 중요하나 역시 추정치이다.

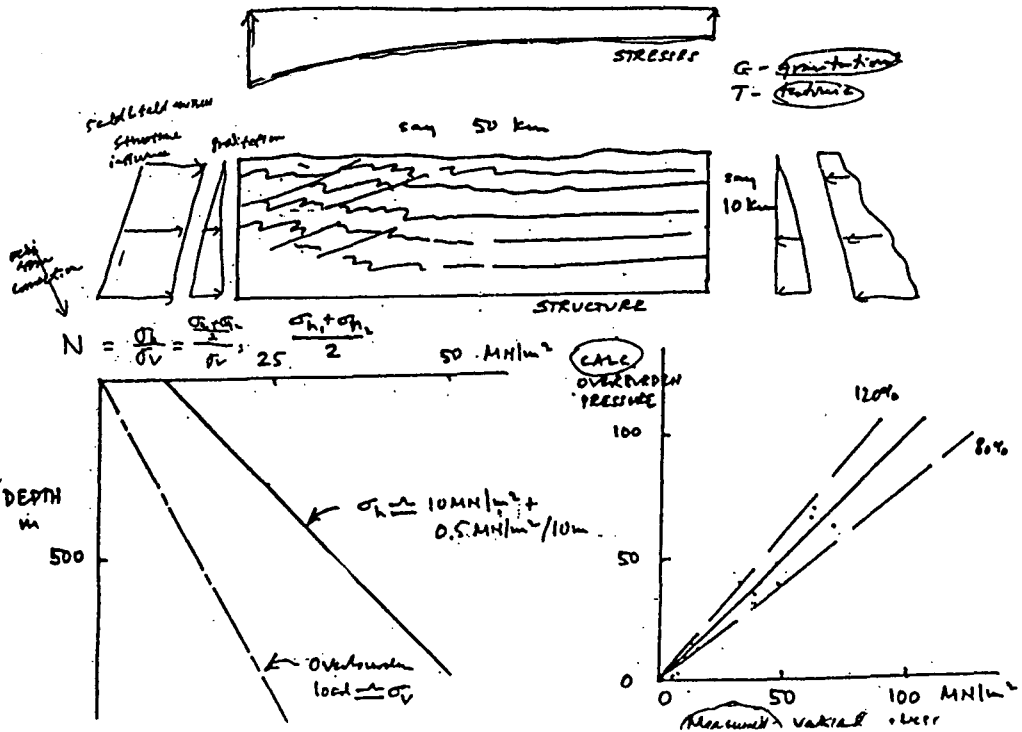
현장응력은 ① Gravitational stress :  $[\mu/1 - \mu] \times \text{depth} \times \text{density}$ .

만약  $\mu$  : 포이슨비가 0.25이면  $[\ ] = 0.3$

② Tectonic(geological)history에 의한 stress : 현장 시험없이 추정은 곤란

\* 초기 지압은 geological history (지질적인 광역적 stress)에 의해서 생성된 것이다. 암반에는 일반적으로 많이 작용 : 현장 실험 방법은 복잡(Hydro fracturing, over-coring)





## 터널시공

### 라. NATM 시공현실

Original NATM 개념의 5~60% 정도 이해되고 있는 게 현실

이유: ① 시공정도 (Workability)의 부족: 터널하도급

굴착: NATM식의 보강순서에 입각한 작업 순서의 이해 부족

(예) 어떤때는 막장 굴착후 steel rib 대고, 그후에 shot crete 치므로 터널 상부암반의 이면이 많이 되어 지보가 많아지게 된다.

라이닝

\*Feed back 부족

② Face mapping (또는 현장시험)에서의 평가에 의한 보강보완이 즉시로 안된다.

③ 계측: ㉠ 설치시기 놓치고 (자연)

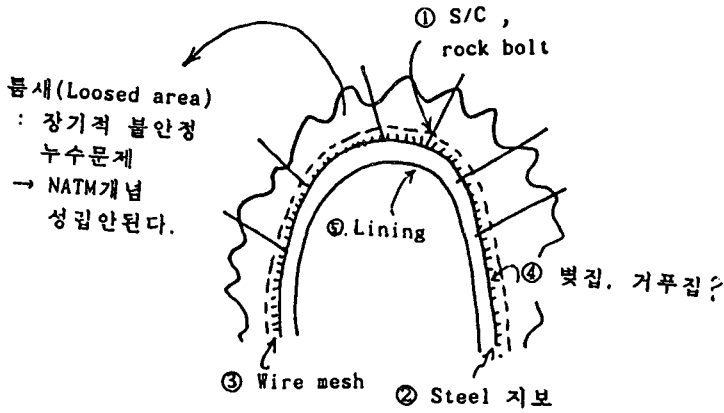
㉡ 시공 나쁜 상태에서 계측시 설치의 무의미

㉢ 올바른 설치위치 안되는 경우 있다.

㉣ 계측의 중요도 인식부족

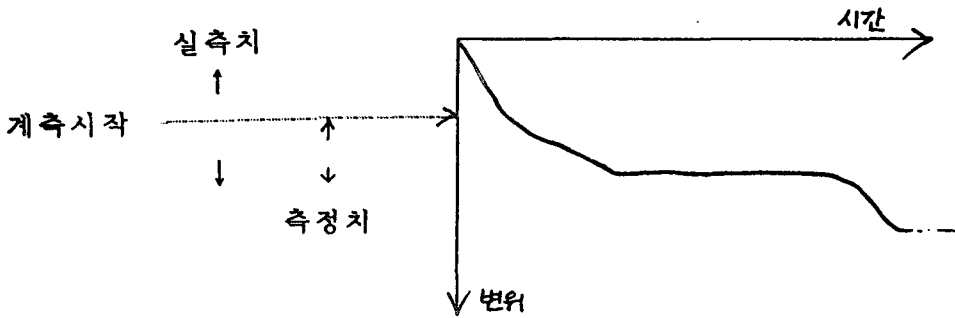
system rock bolt

Random rock bolt



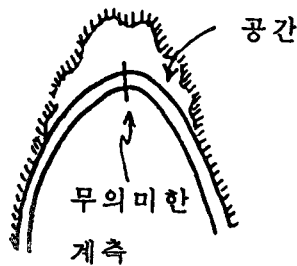
### 마. 계측자료의 신뢰도

(1) 실지 계측기 설치의 지연



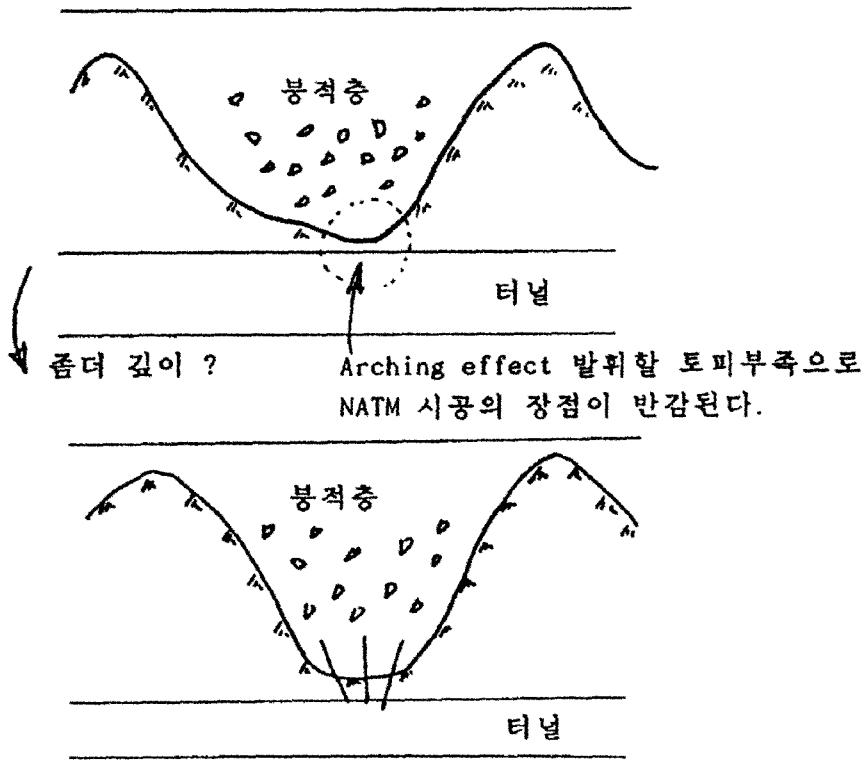
(2) 시공의 문제

- ① 시공문제
- ② 후속공정시 손상 및 계측차질



### 바. 설계상태

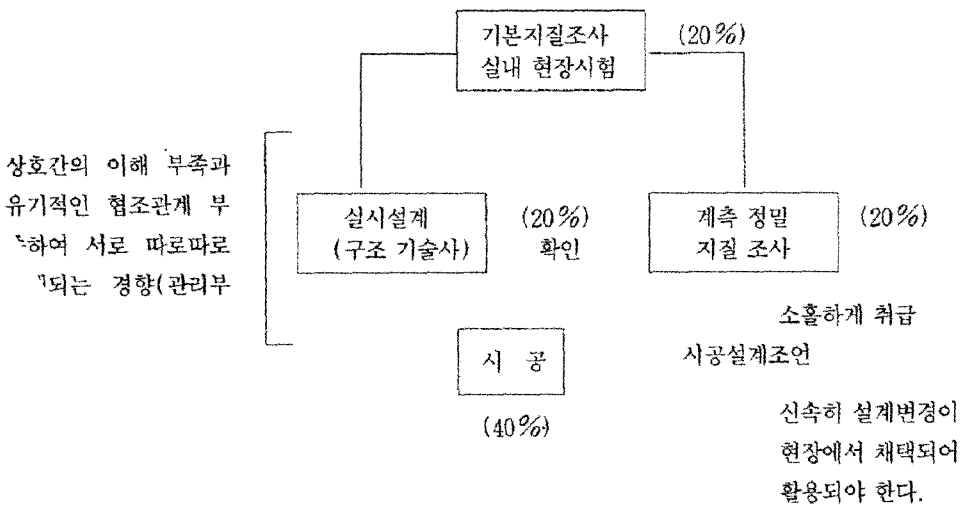
- 종단을 검토하여
- Arching effect 효과를 기대할 수 있는 토피확보
- 일부 구간은 충격토를 지나고 있는 데 Grouting 공법등의 보조공법만으로 터널안정성 보장 가능 여부 검토
- 설계시 충분한 보강(R/B) 여유폭을 확보여부 확인 필요



- 주변지질 상태를 충분히 파악 못하고 설계시 설계의 rock bolt 길이대로 시공하면 붕적층 통해서 물 길을 내주는 격이 된다.

### 사. 유기적인 관계부족

조사, 설계, 시공간의 유기적인 관계가 NATM의 효율적임.



## 마. 조직의 문제

- 현장의 감독자, 시공자, 감리자의 설계변경에 대한 과대한 책임 부여로 신속성과 융통성이 효율적으로 현장 대처 부족
- 감리단 조직 : 토목기술자(토질, 안전, 구조)  
터널시공에 중요한 역할을 하는 『지질』 기술자가 제도적으로 참여 하기 어려워 공사현장의 지질 문제점 사전 파악 부족케 된다.  
석유개발공사의 석유비축 터널, 수자원공사에는 시공 및 감리에 참여토록 조치되고 있다. 홍콩의 종합건설본부에는 지질기술자가 법적으로 대형토목공사의 감리에 참여. 서울시에는 지질전문조직이 전무한 상태 제도적인 명문화없이 시공, 감리시에 관련 기술 및 지식을 요구하면 불합리하고 적기에 문제해결하거나 시공품질관리가 어렵다.
- 현재 감리는 시공감리제이므로 장기적으로 『책임감리제』로서 감리의 권리, 의무를 확대시키는 것 고려
- 감독, 감리, 공사과장들에게 우선적으로 터널공사에 미치는 지질구조의 영향 및 분석능력을 재교육 필요

## 자. Face Mapping의 활용

- 외국에서는 Face Mapping 과 계측결과에 근거하여 미리 비상대기 체제 상태인 장비, 인력, 자재를 신속히 대처
- 국내는 Face Mapping 의 인식부족과 계측에 따른 해석부족으로 사고 요인이 발생 크다. 또한 비상대기상태의 『경비』가 소요되므로 현실적 어려움이 따르고 현재와 같이 사고 예상되면 수배 체제로서는 적기에 보강대처가 늦다.  
그러므로 Face Mapping 철저 및 계측관리로 사고가능환 줄이고, 비상대기 체제의 필요성을 반감시켜서 『경비』가 절약된다.

## 차. 기준설정 필요

- (1) 터널공사를 위한 암반분류기준으로서 국내 지질특성에 부합되는 적용기준을 작성해야 한다. (현재는 외국 적용 기준사용 : 일본기준 RMR, Q)
  - (2) 현장계측 : 실험 많이고 기존 자료 분석하여 국내 지질특성에 부합되는 자료 확보 시급 → 수치해석 및 RMR 에 의한 설계가 보다 국내 지질특성에 부합되도록 노력
  - (3) 시추주상도, 암판정, 탄성과탐사 등등의 서울 지질특성에 맞는 기준 설정이 필요
- (예) 이암 (mudstone) 의 연암 →  $TCR/RQD=100/100$   
경암 판단 오류 (?)  
황강암, 편마암의 경암 →  $TCR/RQD=50/30$   
연암 판단 오류 (?)
- ※ 일축 압축강도를 정량적으로 간략하고 신속하게 그리고 신빙성있게 현장에서 추정하는 암판정 강도실험이나 슈미트헤머 반발도 실험. 급속흡수를 측정법.



**Face mapping**

: 막장에서 지점지점조사

- ① 목적 : 터널에서의 이상변화는 지점구조가 큰 원인이므로 터널보강, 굴착시공에 대한 지점구조 중요성의 강조 : Crown, Wall, Face에서의 안정성 확인
- ② 장점 : 막장에서(현장)의 지점조사도 터널 안정성에 대한 전반적인 (전체 보강 pattern), 또한 부분적인 (sliding) 판단을 신속히 할 수 있다.-->

③ 전체적인 현상상태로서 실시 설계 표준단면과 만족하는가  
부족한가 확인하여 보강 pattern 변경, 부분굴착.

④ 민중예상 (전체적인 위험구역) --> 전체 특별 보강  
Fore poling, 여타 보강대책 강구

[절리는 법과도 이원이 크다.

단층사이의 점보층은 순식간에 계속으로 기다릴 시간경에 붕괴가 발생하는 경우가 있으니 F. M으로 파악하여 신속히 대응

⑤ 부분적인 낙반 예상 --> 부분 보강--> 보강 실시 --> 변화역계 --> 계속으로 추후에 확인

⑥ 지적 : Face mapping을 포괄외계 시공에 몰라도 반영하려면 「지질 상태」를 몰라도 조사하여 지점구조가 미치는 터널의 안정성 여부 조사, 판단할 수 있는 능력이 있을때만 가능 --> 응용 지점 기술자 역할

⑦ 한계 : 육안으로 판정하므로 어두운 터널안에서 또 간혹 shotcrete 때문에 또한 낙반으로 위험해서 절리나 단층파악이 어렵다. 그러므로 응용지점 전문가라도 대표적인 절리, 단층만 대략 보게 되므로 간혹 위험 지점구조도 간과하는 경우가 있으므로 100% 확인을 불가능한 경우가 있다. 그러므로 불확실한 위험 부분은 계속으로 보완필요, 계속과 상호 조화롭게 사용 요망.

⑧ 현장계속과의 상호관계 :

· 계속의 빈도수를 늘리면 Face mapping의 빈도수를 줄여도 되지만 「경비, 때문에 주로 대표단면에서만 하게된다 --> 그러므로 보완방법으로서 때 막장마다 Face mapping을 이용하여 계속을 최소화한 범위에서 운용토록 할 것

· 계속의 중요도는 인식되지만 현실적용은 상당한 제약이 있고, 계속 절리에 대한 해석 능력부족으로 중요도가 반감되고 있다.

· 계속은 Feed-back 시간이 지연되므로 현장의 신속한 보강대책 수립에는 한계

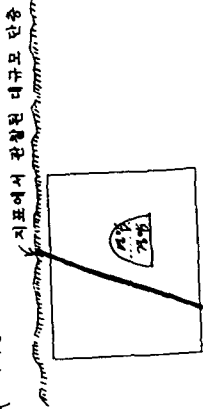
· 계속기 설치 위치도 응용지점학적으로 위험이 예상되는 지점을 선 택하여 (지형, 지질도, Face mapping 자료활용) 설치되어야 한다.

⑧ 사용시 주의사항

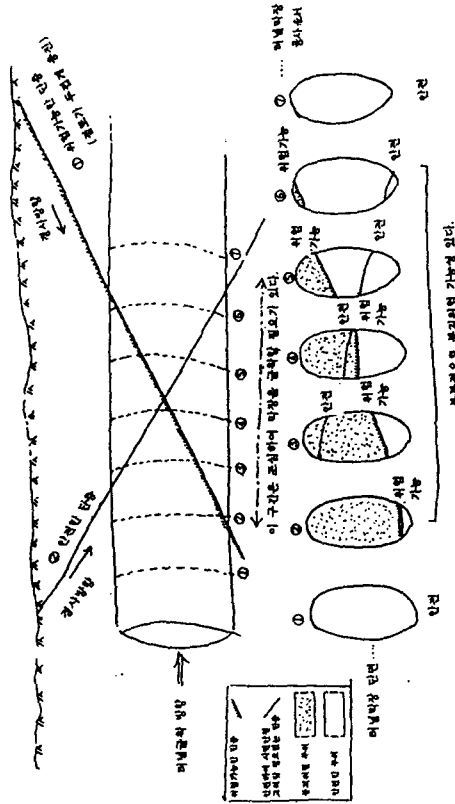
Face mapping의 자료를 Face 면에서만 보지 말고 위쪽 및 전반적인

주변 지질상태의 연결시켜서 해석하여야 옳은 방법

\* (사용시 주의사항)



† 터널 막장에서 Face Mapping으로 위험 단층을 파악하는 모식도.

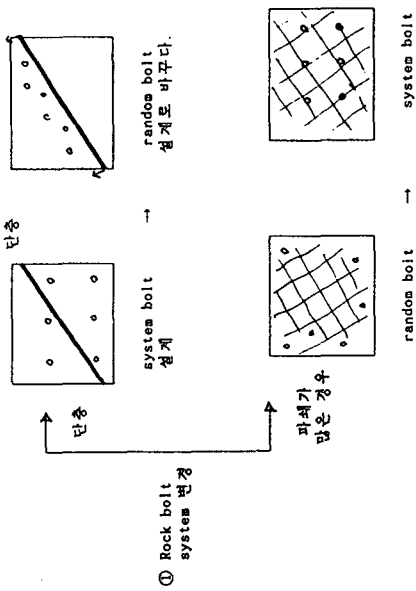


‡ 터널 막장에서의 두 단층의 변칙점에 주의할 것

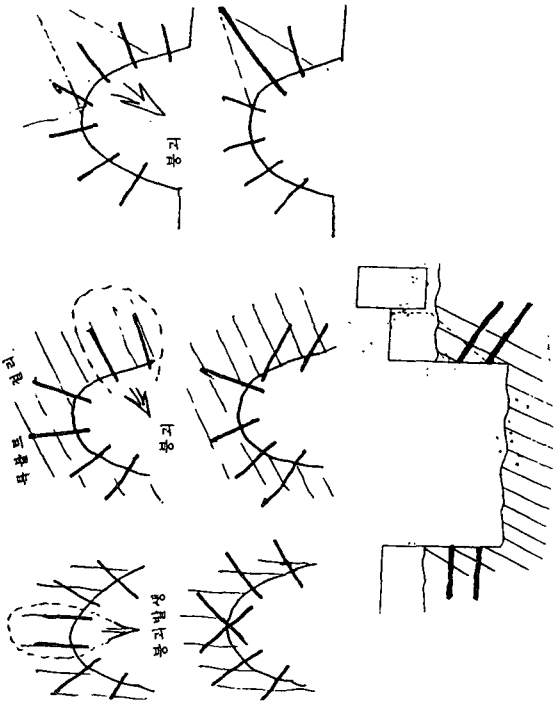
: 같은 단층이라도 터널과 방향이 같아져 경사진 단층(특히, 절도 종진단층)은 붕괴 위험하다. 터널과 방향이 같아져 경사진 단층은 붕괴될 위험이 없다. 그러므로 단층들이 터널 막장에서 나타나는가(같은 미의 터널 일쪽을 수평시추 또는 Fore Poling하여 단층의 존재 및 방향을 파악하는 것이 좋은 방법이지만), 단층이 터널의 막장과 수직이 되도록 조사하여 단층의 방향(주향, 경사)과 단층 종류의 종진동(절도)의 특성과 두께등을 파악한다. 이들은 터널 막장, 일찍, 하지만에서 연속적으로 Face Mapping하면서 입체적으로 사면에 판단하는 것이 중요하다.

(장점) Face mapping의 적용 :

0.5 ~ 1.5m 간격의 매핑마다 조사



② Random bolt의 효율적인 시공에 기여



③ 연약층(종파) / 연. 경층이 교차하는 경우

부분포착을 수행한다.

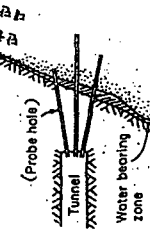


지보설계시는 중화암 포착단면으로 고려한다.

④ 단층 (부적응 점포층 포함안...)

→ ss 신속한 붕괴를 야기시킨다.

10~20m 길이의 수평포착



층은 서수장비의 부족기가 사용되어 초과된다.

[MX크기로, Impregnated diamond bit 사용.]

또는

터널진행 측면도



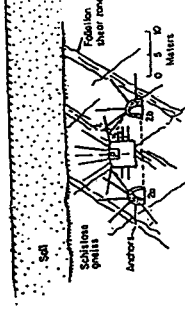
정면도

⑤ 연약층 : 공사비용과 공기문제 고려하여 여러방안 강구 대책

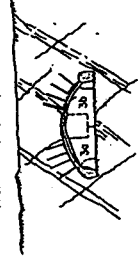
- 저보강재 용이교
- Shield 공법
- Steel rib 보강
- 선진 포팅 : grouting이나 pipe로

core-bench cut

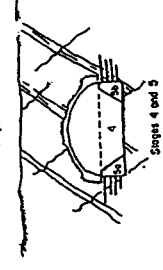
Full Grouting은 최선의 경우



Pilot tunnel (P1) Slope 1 and 2



Slope 3



Multistage method of tunnelling showing excavation and support sequences, Dupont Circle Station, Washington, D.C. [From Deere et al. (1974)]