

# 제 108회 토질 및 기초 기술사 기출문제 해설

## 1교시

### 문제 1. 현장타설 말뚝의 주변저항계수(Shaft resistance coefficient)

#### 1. 개요

- ① 기초의 설계방법으로는 허용응력 설계법, 한계상태설계법, 관측설계법을 적용할수 있으며 발주자 또는 설계자가 해당기초의 설계방법을 정한다.
- ② 여기서, 현장타설 말뚝의 주변저항계수는 한계상태 설계법을 적용하기 위한 변수로써 한계상태별로 정해진 하중계수와 목표신뢰도지수(Bt), 강도 및 지지력에 대한 기존 통계자료등을 고려하여 결정한다.

#### 2. 한계상태 설계법

- ① 한계상태 설계란 응력과 변위가 일정한 한계상태(구조물의 기능이 종료되는 상태)에 도달되는지 여부를 확률론적으로 고려한 신뢰성 개념의 설계법임.
- ② 확률론은 신뢰성개념으로 응력의 변동요인과 조사 . 설계의 불확실 요소를 고려한 설계법으로
- ③ 국제기준(ISO)에서 제시한 설계법으로 *Eurd code* 와 *LRFD* (하중저항 계수법 : *Load and Resistance Factor Design* ) 라고도 함.  
즉, 허용응력설계법이 불확실요소(변동요인)를 안전율로 고려하였다면 한계상태 설계법은 강도와 응력의 적용에 있어 경험적 요인을 고려한 설계임.

#### 3. 현장타설말뚝에 있어서 주변 저항계수(Shaft resistance coefficient)

##### ① 개념

$$\phi \cdot R_n \geq \sum r_i \cdot Q$$

↓                      ↓  
지반저항    ≥    설계하중

$\phi$  : 주변 저항계수 또는 강도감소계수(<1) / SPT → 0.45  
 $R_n$  : 공칭강도  
 $r_i$  : 하중증가계수(>1)/ Pile → 1.25  
 $Q$  : 하중

##### ② 축중을 받는 현장타설 콘크리트 말뚝의 저항계수(AASHTO, 2007)

구 분		저항계수
무리말뚝의 인발저항력	점성토 및 사질토 지반	0.45
말뚝의 횡방향 지지력	모든 토사 및 암반	1.0
축방향 압축정재하시험	모든 토사 및 암반	0.7이하
축방향 인발정재하시험	모든 토사 및 암반	0.6

#### 4. 평가

- ① 한계상태 설계법은 지반강도(지지력)에 시험여건과 지지조건등을 고려 1보다 작은 주변저항계수(강도감소계수  $\phi$ )를 적용하여 사용하고 하중에는 외력(지진등)에 대한 변동요인을 고려하여 1보다 큰 하중증가계수  $r_i$ 를 곱하여 허용지지력  $Q$ 를 구하는 설계이다.
- ② 주변저항계수를 비롯한 각 계수에 대하여 더욱 많은 연구자료를 통해 정량적 평가에 의한 적용이 되도록 향후 발전이 되어야 할 부분으로 사료됨.

## 문제 2. 토목섬유보강재의 장기설계인장강도

### 1. 개요

- ① 토목섬유는 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 섬유, 고분자 재료로서 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 제품이며 직포, 부직포, 매트 등과 같은 직물형태와 플라스틱, 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함된다.
- ② 토목섬유보강재의 장기설계인장강도를 결정하는 기존의 방법은 인장시험을 통해 얻어진 최대인장강도에 대해 다양한 감소요인을 고려하여 설계연한동안에 토목섬유 보강재에 잔류되는 인장강도를 허용강도로 결정하여 보강토구구조물의 설계에 반영하였다.
- ④ 여기서는 기존의 방법을 기술하고자 하며 향후 이러한 방법에 더하여 보강토 구조물의 설계연한이나 중요도, 허용변위등을 고려한 토목섬유 보강재의 장기설계인장강도를 결정하기 위한 다양한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

### 2. 허용인장강도와 흙과 보강재의 마찰각 결정

#### ① 허용인장강도

##### ① 감소계수 고려 결정

토목섬유의 허용인장강도는 토목섬유자체의 인장강도 뿐만 아니라 포설되는 흙의 상태 및 시공 중 파손정도등 다양한 조건을 고려하여 결정한다.

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF} \times 100$$

여기서,  $T_a$ : 허용인장강도(kN/m)       $T_{ult}$ : 극한인장강도(kN/m)

$$RF = RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_{CD} \times RF_{BD} \times RF_{JNT}$$

$RF_{CR}$ : 크리프에 대한 감소계수

$RF_{ID}$ : 설치시 손상에 대한 감소계수

$RF_{CD}$ : 화학적 손상에 대한 감소계수

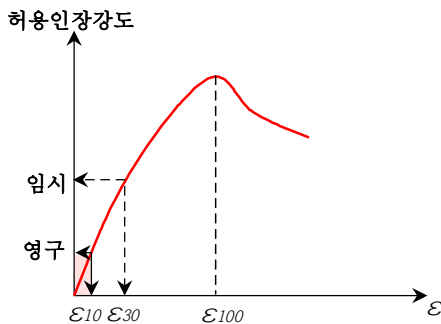
$RF_{BD}$ : 생물적 손상에 대한 감소계수

$RF_{JNT}$ : 봉합부 및 접합부에 대한 감소계수

##### ② 변형율 적용

㉠ 임시 : 10~30%

㉡ 영구 : 10%이하



#### ② 흙과 보강재의 마찰각 결정

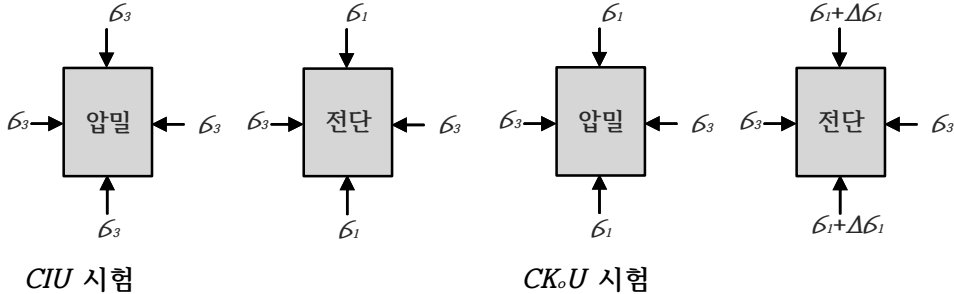
- ① 인발시험      ② 직접 전단시험      ③ 경사판 시험      ④ 경험적 도표

### 문제 3. 정규압밀점토의 압밀-비배수(CU)전단강도 특성

#### 1. 시험적용 조건

① 시공중에 과잉간극수압의 소산이 발생하는 경우 재현

- ① 축하중을 가했을 때 전단되면서 유효응력이 변화 ( $\sigma_3 \rightarrow \sigma_3 + \Delta\sigma - \Delta u$ )
- ② 구속압력이 등방압밀 비등방전단 이므로 현장응력체계 고려한  $CK_0U$  시험이 타당함.



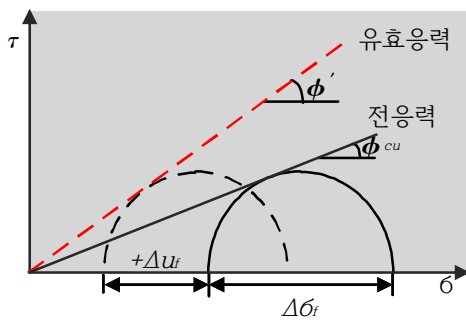
② 압밀과정에서 유효응력증가를 고려하는 조건임

: 압밀시  $\sigma_3$ 는 유효하중( $\sigma' \cdot z$ ) 사용

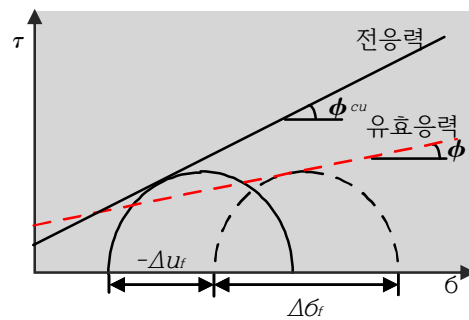
#### 2. 시험결과 정리

① 흙의 종류별 시험결과

- ① 정규 압밀 점토 : 파괴 포락선이 원점을 통과, 점착력 없음에 유의
- ② 과 압밀 점토 : 파괴 포락선이 세로 축과 교차하고 점착력이 존재함.

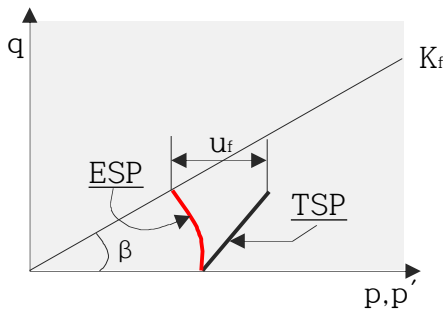


정규압밀 점토

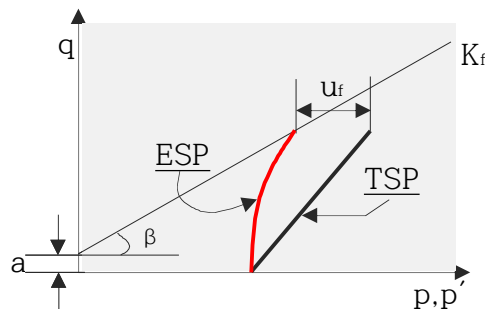


과압밀 점토

② 응력 경로(P - q 경로)



정규압밀점토의 CU시험결과



과압밀 점토의 CU시험결과

### 3. 전단특성

구분	모래(Dense & Loose 특성)	점토(NC & OC 특성)
수직응력 - 간극비	<p>LS : 응력에 따라 감소 DS : 응력에 따라 점차증가</p>	<p>NC : 응력에 따라 감소 OC : <math>P_c</math>이전까지 <math>e</math>값 작음</p>
수직응력 - (비배수) 전단강도	<p>Dense <math>\phi^d</math> Loose <math>\phi^L</math></p>	<p>OC : NC보다 <math>P_c</math>이전 큼 NC : 원점통과</p>
수직응력 - 간극수압 계수	<p><math>A = 0</math></p>	<p>NC OC - NC : <math>A_f \approx 1.0</math> - OC : <math>A_f = -0.5 \sim -1.0</math></p>
변형률 - 전단강도	<p>D L</p> <p><math>\phi^D</math> <math>\phi^L</math></p>	<p>OC NC</p> <p><math>\phi^{OC}</math> <math>\phi^{NC}</math></p> <p><math>c</math></p>
변형률 - 체적변화	<p>Dense D : 압축후 팽창 L : 압축 Loose</p>	<p>OC OC : 압축후 팽창 NC : 압축</p>
변형률 - 간극수압 계수  간극수압 계수	<p><math>A = 0</math> <math>\Delta u = 0</math></p>	<p>NC OC</p> <p>CU시험 CD시험(A=0)</p>

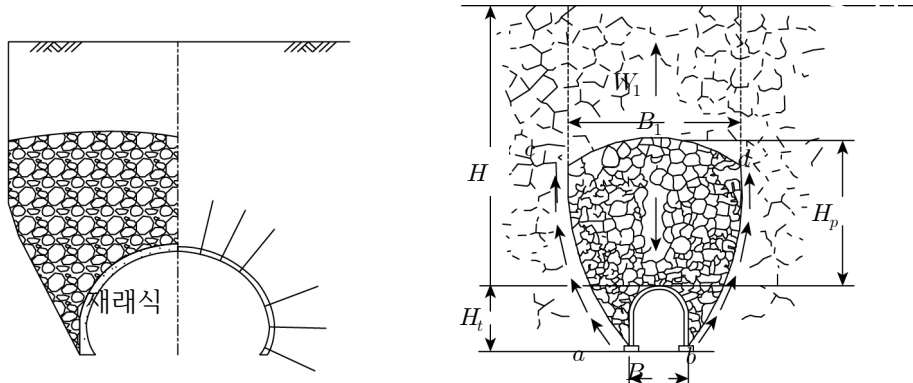
## 문제 4. 터널굴착에 따른 Terzaghi이완압력

### 1. 개요

- ① 주로 전통적인 재래식 터널의 설계에서 적용된 하중으로 터널을 굴착하면 지반조건에 따라 터널천정(Crown)위에 존재하는 지반이 이완되어 터널구조물에 하중으로 작용되는 경우에 적용되는 터널에 작용하는 하중으로 이를 붕괴하중(Collapse load) 또는 이완압력(하중)이라 한다.
- ② 이완하중을 견디기 위해 재래식 터널에서는 본격적인 지보재(Heavy support)를 설치하여야만 하였다(예를들어 H형 강지보재 600mm×600mm)
- ③ 근래에 들어서는 터널굴착 즉시 슛크리트를 타설함으로써 소성평형상태에서 잔류강도를 유지시켜 줌으로써 소성평형상태를 유지하도록 하는 NATM공법을 채택하고 있다.

### 2. 터널굴착에 따른 Terzaghi이완압력

- ① 지반하중 개념 : ASSM (American Steel Support Method)  
 토압론에 의거, 터널굴착에 따른 이완압력의 전부를 지보재가 부담하는 개념으로 Terzaghi에 의해 발전, 지보재에 의한 전체하중 지지개념



- ② 이완압력의 적용  
 암반상태와 B와 Ht에 따라 이완하중을 달리한다.  
 예를들어 암반상태가 보통정도의 블록상 층상이면 암반하중  $H_p = 0.25B \sim 0.35((B+H_t))$

### 3. Terzaghi이완압력과 NATM비교

구 분	지반하중 개념	지반 - 구조물 상호거동 개념 (NATM)
개 념	굴착 후 이완된 지반 하중 보강재가 전부 부담 (터널 갱구부, 개착 터널 등에 이용)	변위에 따른 응력 재평형 고려
보조지보재	-	강지보, RockBolt, Shotcrete
지 보 재	강지보, Lining	암반자체

※터널 및 지하공간의 해석 및 설계법

해석법		설계법	
		이론	경험
지반하중개념(붕괴, 이완하중)			Terzaghi의 이완하중에 의한 설계법
평형이론에 근거한 터널해석	불연속면 역학 (지질구조지배)	① 평사투영법 ② 백터해법 ③ 블록이론	
	연속체 역학(응력지배) ① 탄성평형법 ② 탄소성평형 ③ 점탄성평형	NATM 지반반응곡선의 원리에 의한 지보재 설계	① RMR에 근거한 지보설계 ② Q분류에 의한 설계 ③ NMT(Norweigan Method Of Tunneling)

1.

## 문제 5. 암반의 초기응력(Ko)

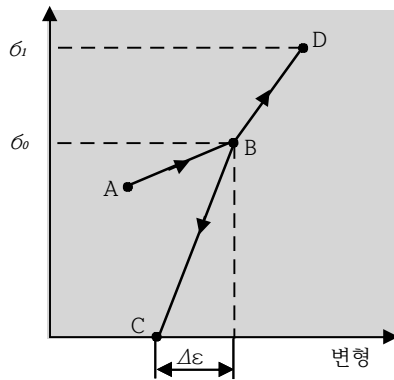
### 1. 암반의 초기지반응력의 개념

① 이론적 초기지압 : 암반이 균질하며 등방의 탄성체로 가정

$$\sigma_v = \rho g z = \gamma z \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_v = Kz$$

여기서,  $\rho$  : 암반의 단위밀도  $g$  : 중력가속도  
 $z$  : 지표로부터 임의깊이  $\nu$  : Poisson비  
 $K$  : 수평응력대 연직응력의 비

### 2. 초기지압 측정원리



A → B : 시험을 위한 천공  
 A → B → C : 응력해방법  
 A → B → D : 수압파쇄시험

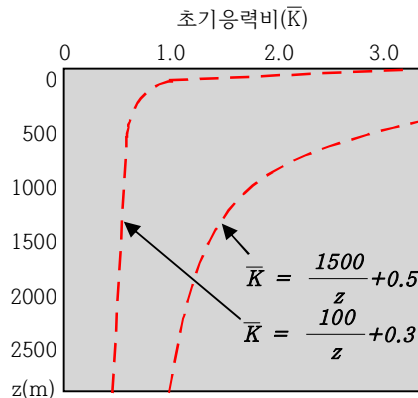
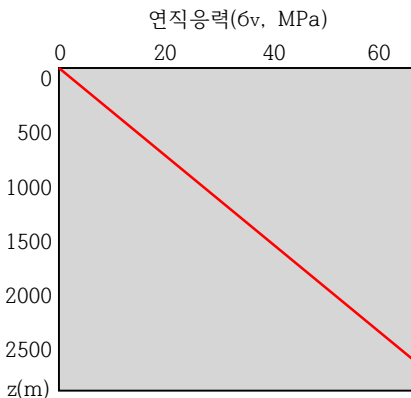
① 응력 해방법(Stress Relief Method)

천공 → 변형률계 부착 → Overcoring →  $\Delta\epsilon$  측정 → 천공시 Core로부터 탄성계수(그림에서 BC 기울기), 포야송비산출 → 탄성이론의 해석적 방법에 의한 초기지압 산출

### 3. 암반의 초기응력 측정방법

- ① 응력 해방법(Stress Relief Method)
- ② 응력 보상법
- ③ 수압파쇄법
- ④ AE법

### 4. 암반의 초기응력 분포



## 문제 6. 터널 내공변위-제어법의 지반반응곡선(Groundn reaction curve)

※ 고려대학교 이인모 터널의 지반공학적 원리 p14 참조 도서출판 씨아이알)

### 1. 터널막장의 굴진에 따른 지보재에 작용되는 압력의 변화양상

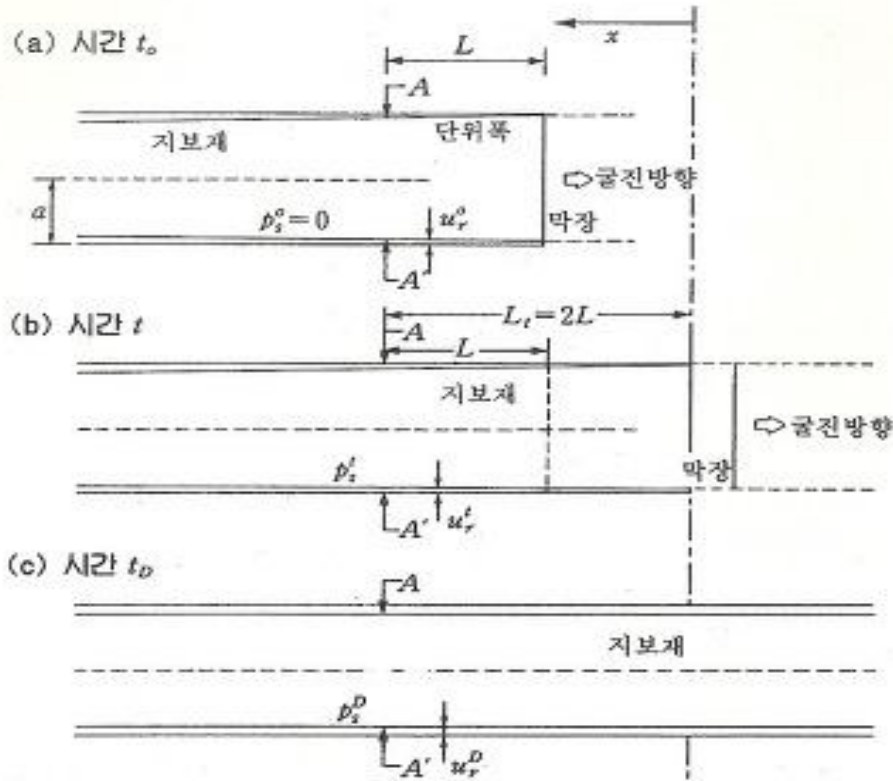


그림 2.3 터널막장의 굴진에 따른 지보재에 작용되는 압력의 변화양상

#### ① 단계1 $t=t_0$ (터널굴착 직후)

지보재는  $L$ 후방의 A-A'단면까지 설치됨

터널굴착으로 인하여  $U_{r0}$ 의 초기 내공변위 발생

굴착후 굴착된 단면에 지보재를 설치하므로 A-A' 지보재에 작용되는 지보압  $P_s=0$

#### ② 단계2 $t = t$ (굴착된 $L$ 구간에 추가로 지보재를 설치하고, 한 막장을 더 굴착한 경우, 즉 $L_t = 2L$ )

막장을 추가로 굴착하면 막장전방으로 전이되었던 지압이 어느 정도까지는 A-A'단면으로 되돌아 오면서, A-A'단면에 작용되게 되며 되돌아온 지압이 재분배 되면서 추가로 변위가 발생하게 됨

(즉, 변위는  $U_{rt}$ 로 증가됨) 이때, 추가로 발생된 변위는  $(U_{rt}-U_{r0})$ 가 되며, 이 변위로 인하여 지보재에는 압력이 작용됨 한편, 지보재에 작용되는 지보압 =  $P_{st}$ 임

#### ③ 단계3 $t = t_D$ (터널굴착이 몇 막장 더 이루어진 경우) 전이되었던 지압은 전부 되돌아 오게 되어

A-A' 단면에서의 변위와 지보압

① 변위는  $U_{rD}$ 로 수렴

② 굴착직후로 부터의 추가변위는  $(U_{rD}-U_{r0})$

③ 지보재에 작용되는 지보압은  $P_{sD}$

④ 이 지보압을 지보재가 견딜수 있어야 함



## 2. 내공변위 제어법의 3대 요소(동영상강의 참고)

- ① 종단변형곡선(Longitudinal deformation profile, LDP)
- ② 지반반응곡선 (ground reaction curve, GRC)
- ③ 지보재 특성곡선 (support characteristic curve, SCC)

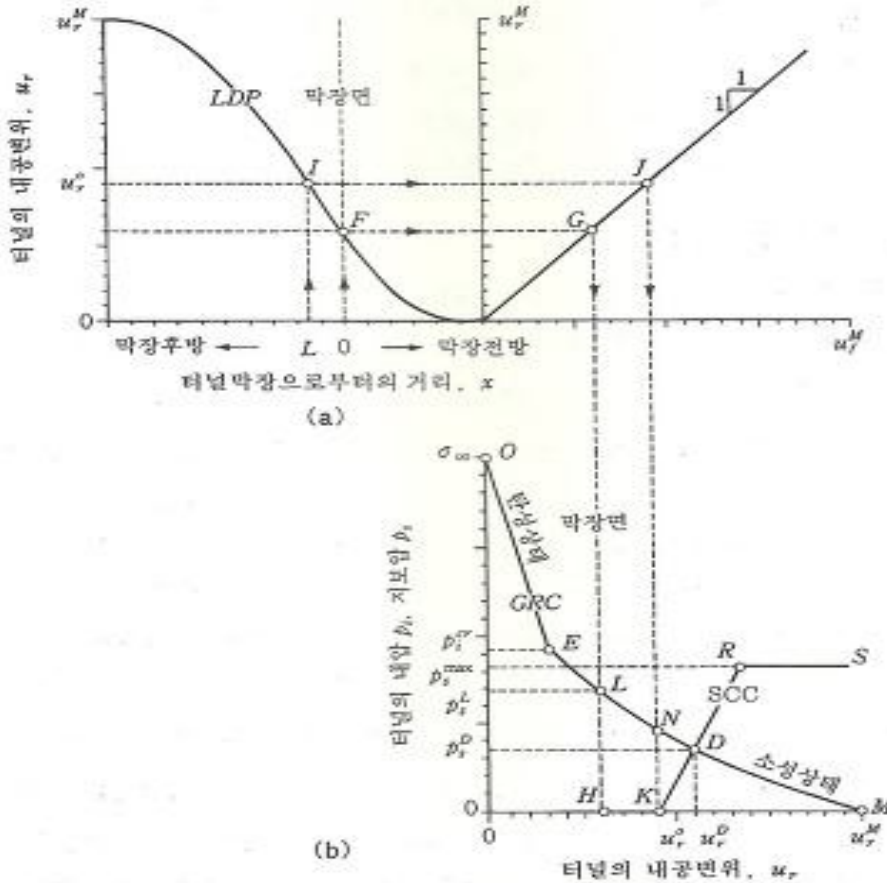
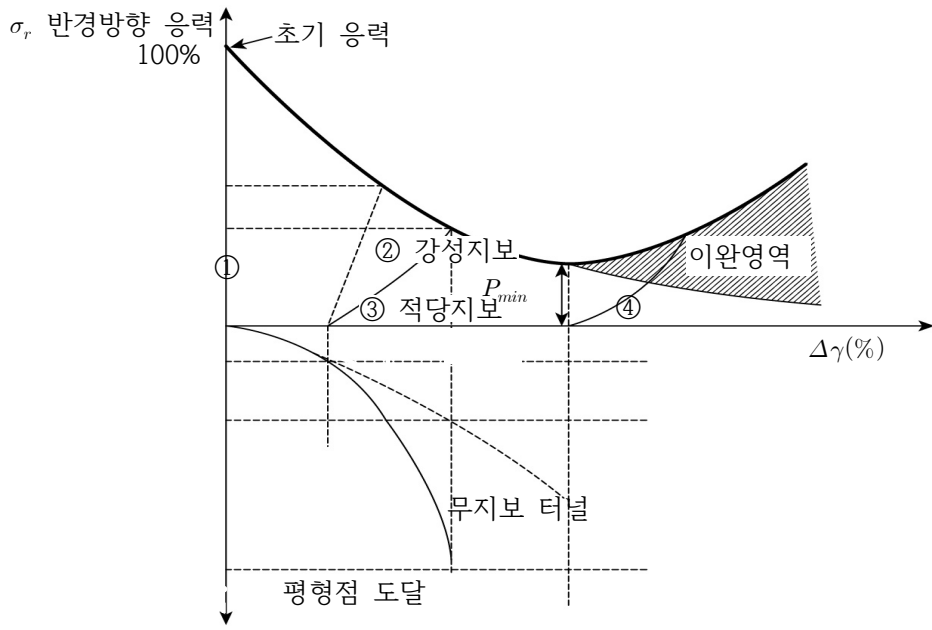


그림 2.4 내공변위-제어법의 개요

## 3. 지반반응곡선(GRC)의 활용



- ① 변위를 억제하면 큰 강성의 지보재가 필요하며 비 경제적 설계 및 시공이 된다.
- ② 너무약한 지보재를 설치하며 변위가 허용되어 지보압이 증가함.
- ③ 즉, 변위를 구속하는 고강성 지보재 개념이 아닌 변위를 허용하는 지보재와 원지반의 강도를 이용

## 문제 7. 앵커의 군효과(Group effect)

### 1. 정의

① Anchor체를 지중에 매설하게 될 경우 Anchor체 간격에 따라 지중응력이 중첩되게 되면 Anchor체 1개의 극한 인발저항력이 감소하게 되는데 이러한 현상을 Group Anchor Effect라고 함.

② 다음의 식으로 표현된다.

$$T' = \alpha \cdot T$$

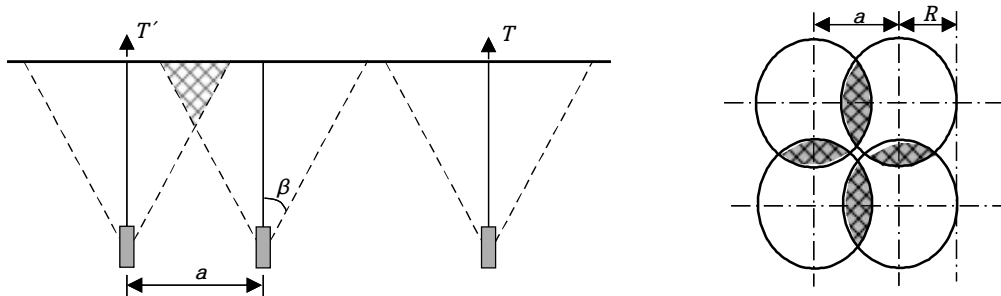
$T'$  : Group Anchor의 극한 인발력

$\alpha$  : 저감률

$T$  : Single Anchor의 극한 인발력

### 2. Group Effect

① 개념



《Group Anchor》 《Single Anchor》 《Group Anchor 지중응력 평면》

「 앵커간격 小 → 지중응력 중복 → 앵커체 극한 인발력 감소」

② 영향 요소

① 토질조건 :  $\beta$ 값 ( 岩 →  $45^\circ$ , 토사 →  $2/3 \phi$  )

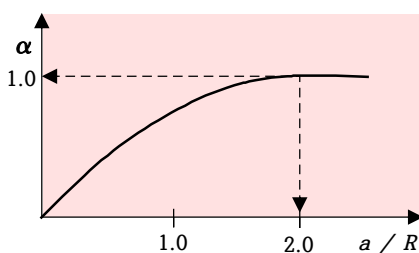
암과 같이 굳은 층일수록 지중응력 중첩범위가 커짐

② 앵커체 간격                      ③ 앵커깊이

④ 앵커체 직경

### 3. 설계 적용

① Group Anchor Effect에 따른 저감률 적용



Single Anchor 극한 앵커력 산정

→ Group Anchor 저감률 적용

→ 군 앵커 극한 앵커력 산정

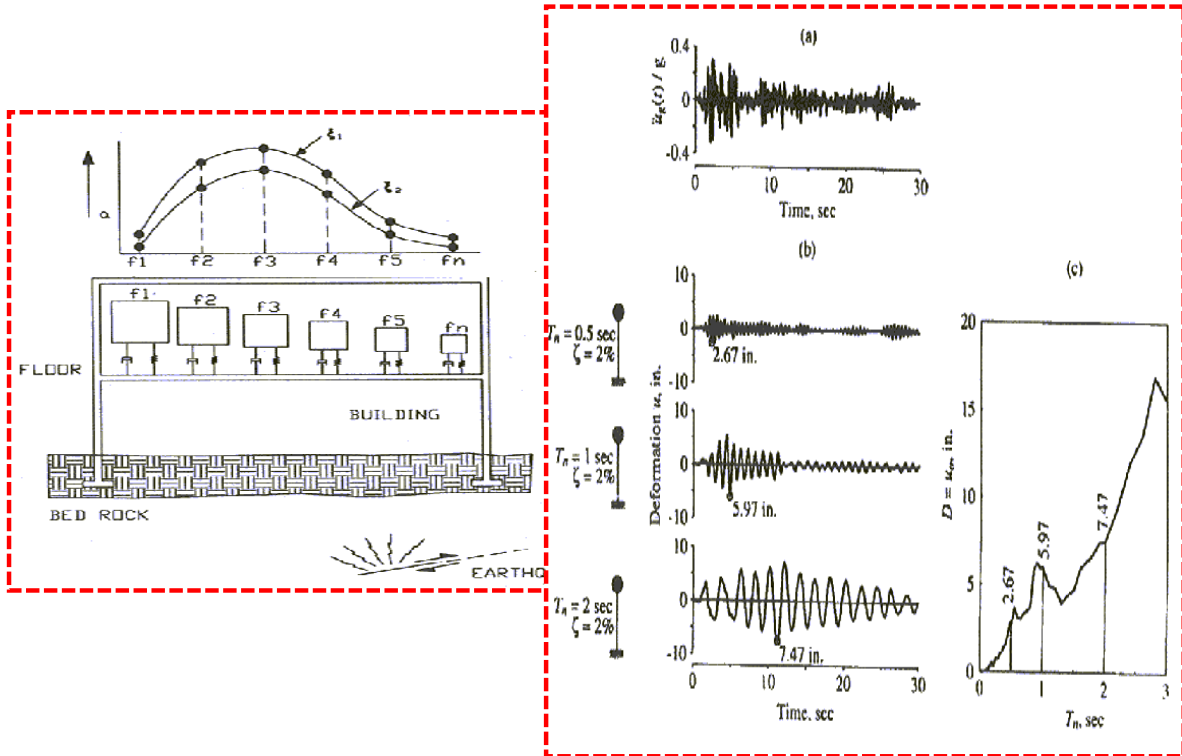
$$(T' = \alpha \cdot T)$$

② 앵커체 간격 설계시 Group Anchor Effect에 따른 저감률 적용을 무시하기 위해서는 지중응력 영향반경의 2배 이상 일 때 가능하다.

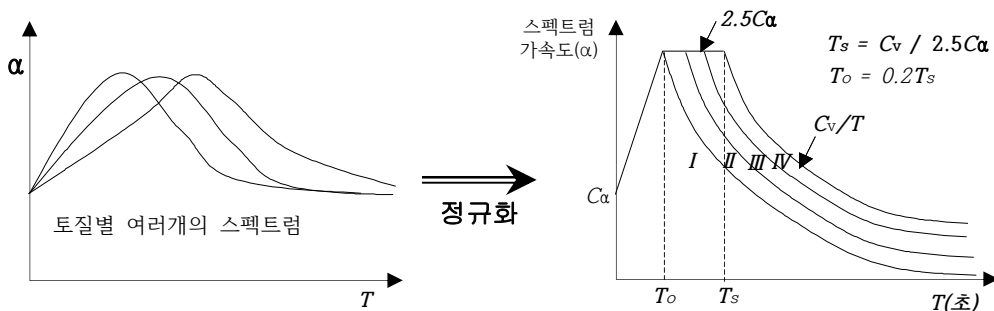
## 문제 8. 응답스펙트럼과 표준설계응답스펙트럼

### 1. 응답스펙트럼의 개념

- ① 동일한 지진(input motion)에 대하여
- ② 지반-구조물 SDOF 시스템의 구조물 고유주기에서
- ③ 최대 가속도 값을 주기에 따라 나타낸 그래프
- ④ 일반적으로 설계지반운동의 특성을 표현



### 2. 설계응답 스펙트럼



I : 양반, II : 굳은지반, III : 모래지반, IV : 연약지반

※  $C_\alpha$ ,  $C_v$  : 스펙트럼 결정하기 위해 요구되는 지진계수로서 지반의 종류와 지진 구역에 의해 결정된다.

구분		지반종류				
		I	II	III	IV	V
$C_\alpha$	I 구역	0.09	0.11	0.13	0.16	0.22
	II 구역	0.05	0.07	0.08	0.11	0.17
$C_v$	I 구역	0.09	0.11	0.18	0.23	0.37
	II 구역	0.05	0.07	0.11	0.16	0.23

### 3. 설계응답 스펙트럼 사용목적

- ① 다양한 지반조건별 특성 고려
- ② 신뢰성 있는 내진설계
- ③ 특정지진 사용으로 인한 위험성 배제

### 4. 평 가

- ① 현 단계에서는 자료의 부족과 연구결과에 대한 검토가 충분하지 못하여 1997년 *UBC* 에 제시되어 있는 스펙트럼을 표준 설계응답 스펙트럼(5% 감쇠비 고려)으로 채택하고 있다.
- ② 국내 지반의 경우 암반의 깊이가 30m이내로서 장주기 영역보다 단주기 영역에서 스펙트럼이 크게 증폭되는 경향이 있으므로 국내 지반에 적합한 설계응답 스펙트럼을 개발하여 적용함이 타당함.

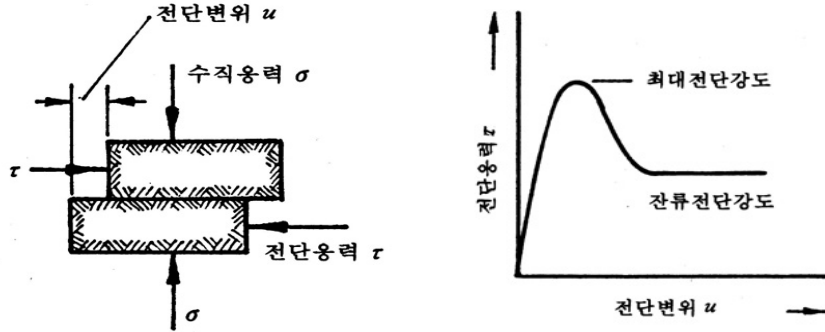
## 문제 9. 암반의 절리면 전단강도

### 1. 개요

불연속면이란 “0” 또는 아주작은 인장강도를 갖는 모든 역학적인 불연속면을 일컬으며 불연속면의 전단강도란 불연속면을 가로질러 가해지는 수직응력에 대한 전단변위를 일으키기 위해 필요한 응력을 말한다.

### 2. 불연속면에 대한 시험

- ① 절리 압축시험
- ② 직접 전단시험



- ③ 틸트시험
- ④ 삼축압축시험

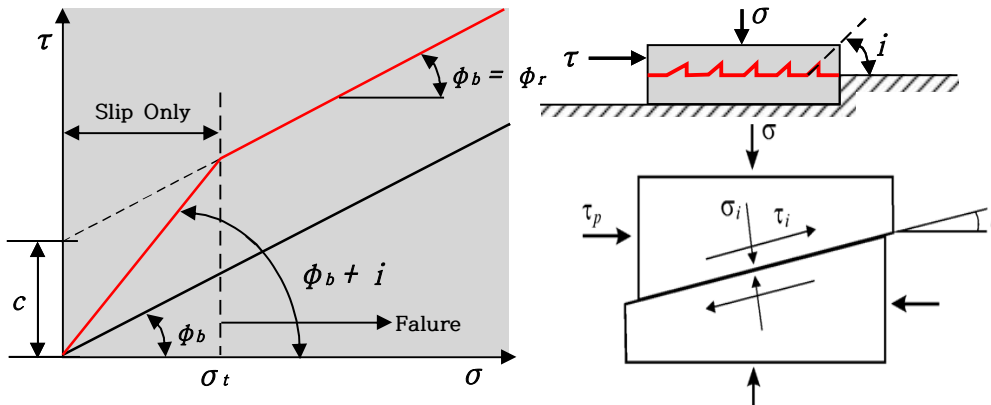
### 3. 불연속면의 전단강도 식

- ① Patton의 이중선형 강도식
- ② Barton의 전단강도식
- ③ Mohr-Coulomb 식
- ④ Jaeger 모델/ Ladanyi and Archambault 모델

### 5. 불연속면의 전단강도

#### ① Patton 식(1966)

Patton은 규칙적인 톱니형태의 돌출부를 가지는 인공시편을 직접전단시험을 통해 이중선형 파괴 포락선을 나타내는 전단모형을 제시함.



Patton의 이중선형 모델

#### ③ Barton 식(1973)

Patton(1966)의 모델은 실제 발생하는 불연속면간의 전단파괴 거동은 비선형 거동이므로 실제와 차이가 있으므로 실제에 부합된 비선형 거동에 유사한 경험식 제안(인공적으로 만든 불연속면(톱니모양)에 대한 직접전단시험)

$$\tau = \sigma_n \tan \left[ \phi_b + JRC \log \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

여기서,  $\tau$  : 전단강도  $\sigma_n$  : 유효수직응력

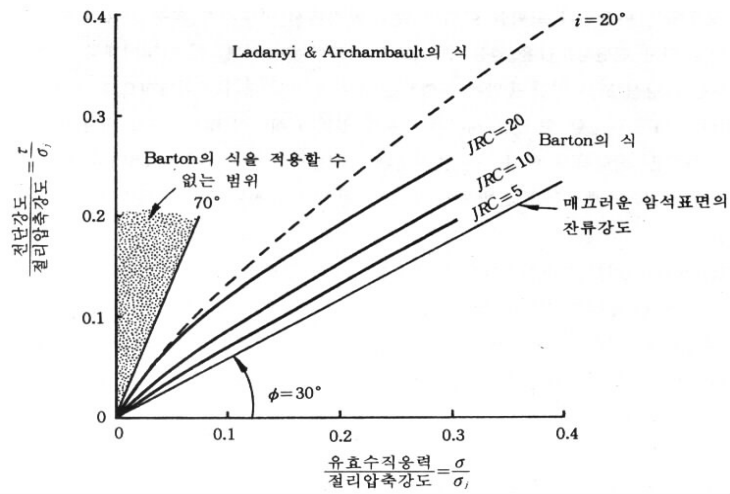
$\phi_b$  : 기본 마찰각(Basic Friction Angle)

톱(다이아몬드 절삭기)으로 자른 매끈한 평면에 대한 전단저항각으로 경사 시험을 통해 미끄러 질때의 각이 기본 마찰각이다.

$JRC$  : 불연속면의 거칠기 계수, 10등급으로 구분  
(Joint Wall Roughness Coefficient)

$JCS$  : 불연속면의 압축강도(Joint Compression Strength)

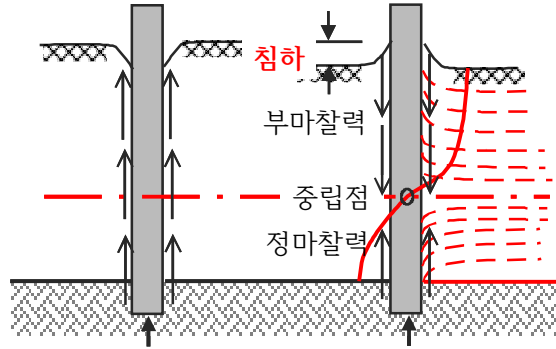
원칙적으로 코어를 채취하여 시험하여야 하나 실무적으로 어려우므로 접합 중시험, 슈미트해머 시험을 통하여 구함.



## 문제 10. 말뚝의 부마찰력과 중립면

### 1. 부마찰력의 발생원인

- ① 압축성 토층위의 성토 재하중
- ② 지하수위 하강
- ③ 압밀침하
- ④ 횡타 → 과잉간극수압 상승 → 교란 → 과잉간극수압 소산, 텍스트로피 → 압밀



### 2. 허용지지력 평가

- ① 구조물 기초 설계기준(한국지반공학회)에 따른 부마찰력을 고려한 허용지지력 산정

$$Q_a = \frac{Q_p + Q_{ps}}{F_s} - Q_{ns} \quad ①$$

$$Q_a = \frac{Q_p + Q_{ps} - Q_{ns}}{F_s} \quad ②$$

- ① 식 ①은 암반에 근입된 대구경 강성말뚝에서 침하가 작은 경우 적용
- ② 식 ②는 침하가 어느 정도 예상되는 경우에 적용
- ③ 그러나 이와 같은 각각의 설계 방법 중 어느방법이 규정되어 있다기보다 먼저 말뚝의 침하량 해석을 수행하여 상황에 따라 결정하는 것이 지배적이다.

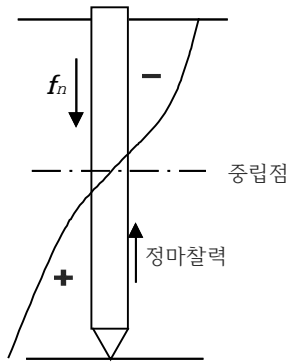
### 3. 부 주변 마찰력의 산정

- ① 외 말뚝

$$Q_{ns} = f_n \cdot A_s = \sigma'_h \cdot \tan\delta \cdot A_s = \sigma'_v \cdot K \cdot \tan\delta \cdot A_s = \sigma'_v \cdot \beta \cdot A_s$$

- 여기서,
- $Q_{ns}$  : 부주면 마찰력(ton)
  - $f_n$  : 주면 마찰력(tonf/m<sup>2</sup>)
  - $A_s$  : 말뚝 주면적(m<sup>2</sup>)
  - $\sigma'_h$  : 말뚝에 작용하는 평균유효수평응력 (tonf/m<sup>2</sup>)
  - $\delta$  : 흙과 말뚝의 마찰각
  - $K$  : 횡방향 토압계수
  - $\sigma'_v$  : 말뚝에 작용하는 평균유효연직응력(tonf/m<sup>2</sup>)





토질에 따른  $\beta$ 값의 대표치

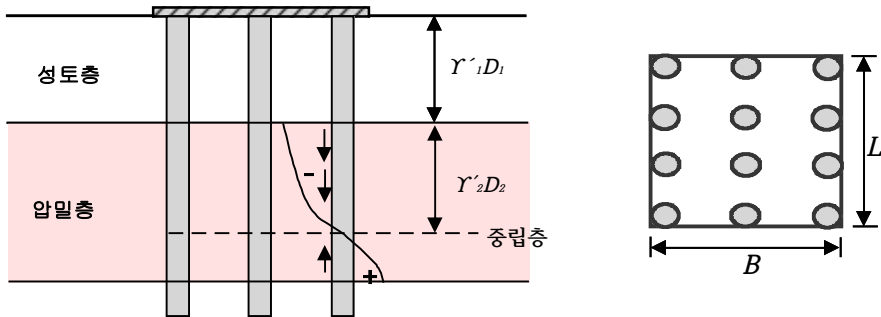
토 질	$\beta$
점 토	0.2~0.25
실 트	0.25~0.35
모 래	0.35~0.50

※  $\delta = \phi(3/4)$        $K = 1 - \text{Sin } \phi$

## ② 무 리 말 푯

$$Q_{ng(max)} = B L ( \gamma'_1 D_1 + \gamma'_2 D_2 )$$

- 여기서,  $B$  : 무리말뚝의 폭  
 $L$  : 무리말뚝의 길이  
 $\gamma'_1$  : 성토된 흙의 유효단위중량  
 $D_1$  : 성토층의 두께  
 $\gamma'_2$  : 압밀토층의 유효단위중량  
 $D_2$  : 중립점 위의 압밀토층 두께  
 $Q_{ng(max)}$  : 무리말뚝의 부주면 마찰력의 상한치



## ③ 적 용

둘중 작은값  $\left\{ \begin{array}{l} Q_{us} \times \text{본수} \\ Q_{ng(max)} \end{array} \right.$

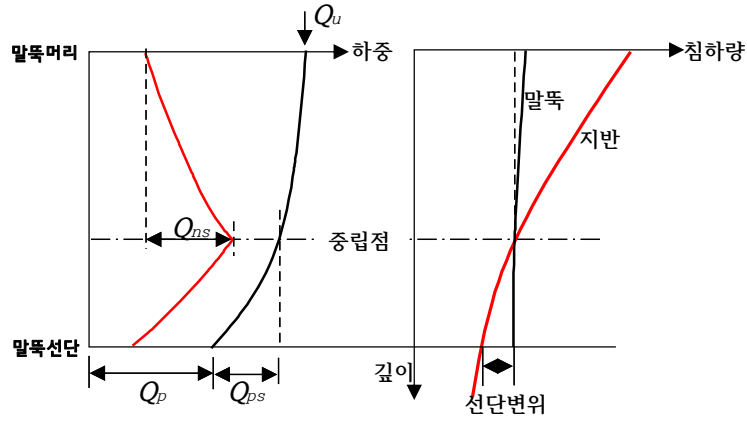
## 4. 중 립 면

### ① 정 의

- ① 정 마찰력과 부 마찰력의 경계
- ② 상대적 변위가 "0"인 점

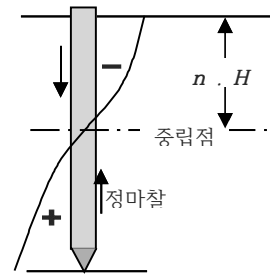
## ② 중립면의 깊이 산정방법

- ① 말뚝근입길이에 대한 말뚝의 침하량과 주변지반 침하량 계측
- ② 부주면 마찰력에 의한 말뚝두부로부터의 축하중 곡선과 정 주면 마찰력을 고려 한 지지력 곡선의 조합



## ③ 경험식의 적용

- ㉠ 마찰말뚝이나 불완전 지지말뚝의 경우 :  $0.8H$
- ㉡ 모래, 자갈층에 지지된 경우 :  $0.9H$
- ㉢ 암반이나 굳은지층에 완전 지지된 경우 :  $1.0H$



## 문제 11. $\pi$ -평면에 투영된 Mohr-Coulomb의 파괴포락선과 흙의 거동

### 1. 정팔면체 평면(또는 $\pi$ 평면)의 정의

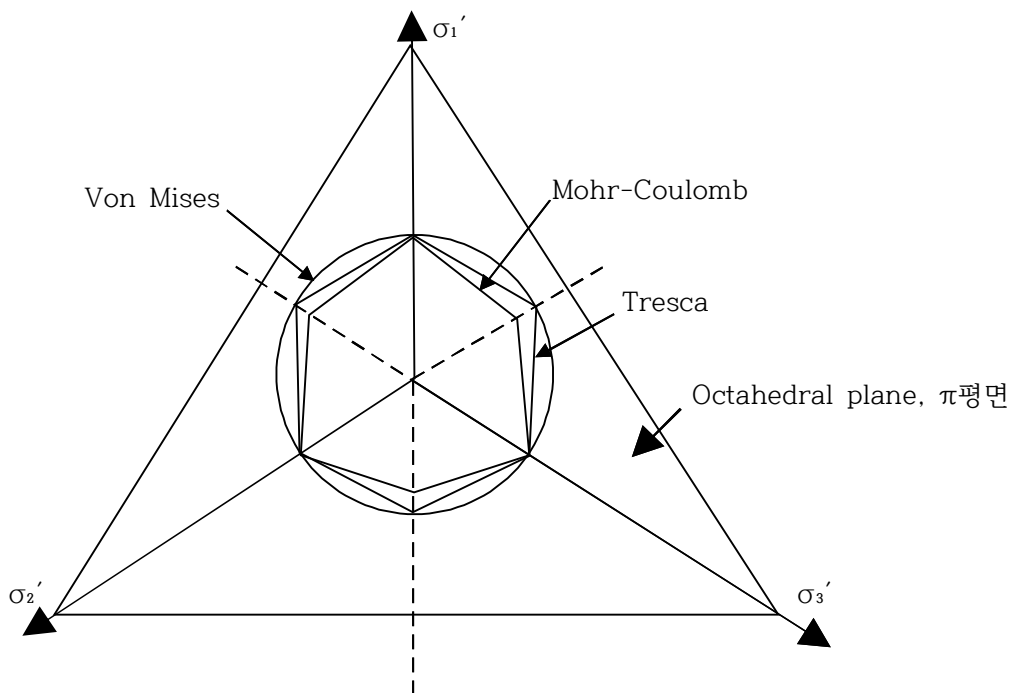
Mohr-coulomb기준은 중간 주응력의 영향을 무시하고 있는데 중간 주응력을 고려하여 팔면체 전단응력  $\tau_{oct}$ 가 평균 수직응력의 함수로 됨.

즉,  $\tau_{oct}=f(\sigma_m)$ ,  $\sigma_m= (\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)$

이 식을 3가지 주응력축 좌표로 하는 3차원 공간에 표시하면 정수압축(Hydrostatic Axis,  $\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3$ )이 있고, 이 직선과 직교하는 평면을 정팔면체평면(Octahedral plane,  $\pi$ 평면)이라 함.

### 2. Mohr-Coulomb 파괴포락선과 흙의 거동

① Von Mises, Tresca, Mohr-Coulomb 파괴기준을  $\pi$ 평면에 표시하면 다음과 같음.

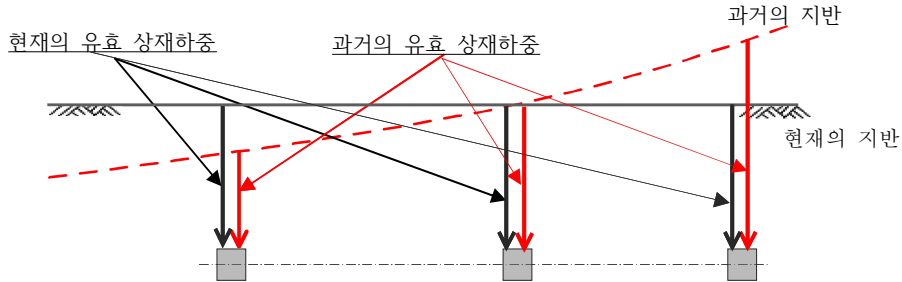


② 시험결과에 의하면 Mohr-Coulomb기준이 Von Mises, Tresca 기준보다 흙에 대해서는 잘 부합된다고 함.

# 문제 12. 미압밀 점성토(Underconsolidated clay)의 발생원인과 대책

## 1. 미압밀 점성토의 개념

최근에 성토되어 과잉간극수압이 소산중인 즉, 압밀이 진행중인 점토로서 아래 그림과 같이  $P_o > P_c$  이며  $OCR < 1$ 인 상태의 점토이다.

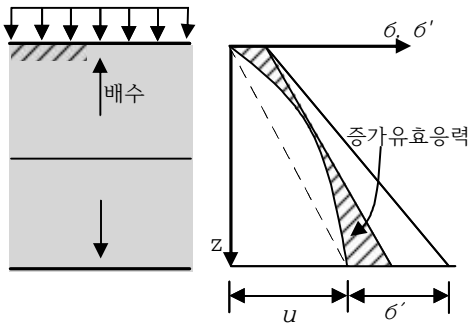


압밀진행중 (과소압밀점토)	압밀완료 (정규압밀점토)	과압밀 점토(안정)
$P_o > P_c \Rightarrow OCR < 1$	$P_o = P_c \Rightarrow OCR = 1$	$P_o < P_c \Rightarrow OCR > 1$

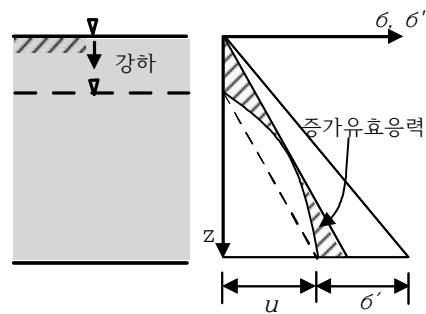
※ 과소압밀점토 : 추가하중 없이도 압밀이 발생할 수 있다.

## 2. 발생원인

- ① 최근에 성토 또는 매립되어 압밀이 진행중인 상태로 유효연직응력에 도달되지 않은 경우
- ② 지하수위가 저하되어 유효연직응력이 커지는 경우



최근 성토

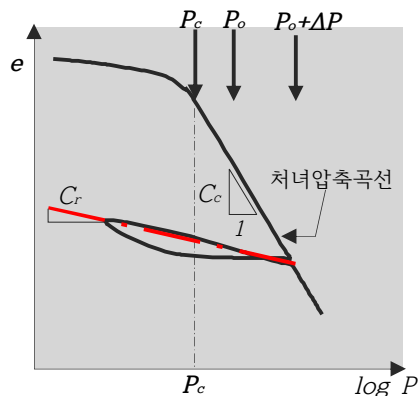


지하수위 저하

## 3. 침하량 산정

- ①  $P_o + \Delta p > P_c$

$$S = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c}$$



## 4. 대 책

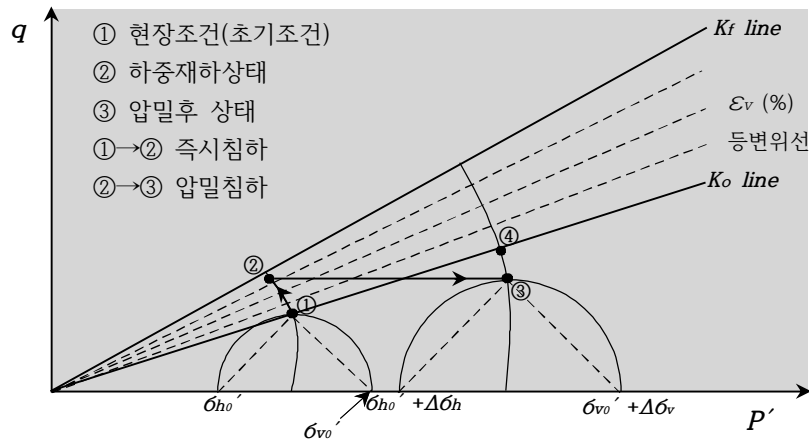
- ① 최근 매립된 지반에 성토시 미압밀의 침하량 고려 필요
- ② 정규압밀토로 계산한 침하량 보다 큰 침하가 발생하기 때문에 계산착오시 예기치 못한 침하로 인한 피해가 발생 할 수 있음.
- ③ OCR에 의해 압밀상태를 파악하고 과소압밀여부를 판정하여 침하량 계산에 반영하여야 한다.

## 문제 13. 응력경로법(Stress path method)으로 침하량을 산정하는 방법

### 1. Lamb의 응력경로

현장응력체계를 재현한 3축압축시험에서 단위두께당 연직변위( $\epsilon_v$ )를 구한 후 실제 현장의 압밀층 두께에 곱하여 침하량을 산정한 방법으로 3차원 압밀침하량을 구할 수 있다.

### 2. 침하량 산정 방법



침하량 산정을 위한 응력경로(Lambe, 1964)

$$\frac{\Delta \epsilon_v}{\Delta \epsilon_{vol}} = \frac{1 + K_o - 2K_o \Delta K'}{(1 - K_o)(1 + 2 \Delta K')}$$

여기서,  $K_o$ : 정지토압계수       $\Delta K'$ : 유효응력 증가비

등방탄성이론에 의하면  $\Delta K' = K_o$  이면

$$\Delta \epsilon_v = \frac{1}{3} \Delta \epsilon_{vol}$$

전체압밀침하량  $S_c$  는 연직변형을  $\Delta \epsilon_v$  에 점토층의 전체두께,  $H$  를 곱하여 산정된다.

$$S_c = \Delta \epsilon_v H$$

전체침하량

$$S = (\Delta \epsilon_e + \Delta \epsilon_v) H$$

### 3. 평 가

① 이론적으로 타당성이 있으나 시험을 위한 시간과 비용이 많이 소요된다.

② 삼축압축시험에 사용한 시료가 압밀층 전 두께를 대표할 수 있느냐에 대한 신뢰성 문제가 있음

## 2교시

문제 1. 선행재하공법은 재하방법에 따라 성토하중공법, 지하수위저하공법, 진공압밀공법등이 있다 각 공법의 깊이에 따른 유효응력증가량 관계의 차이점을 설명하시오

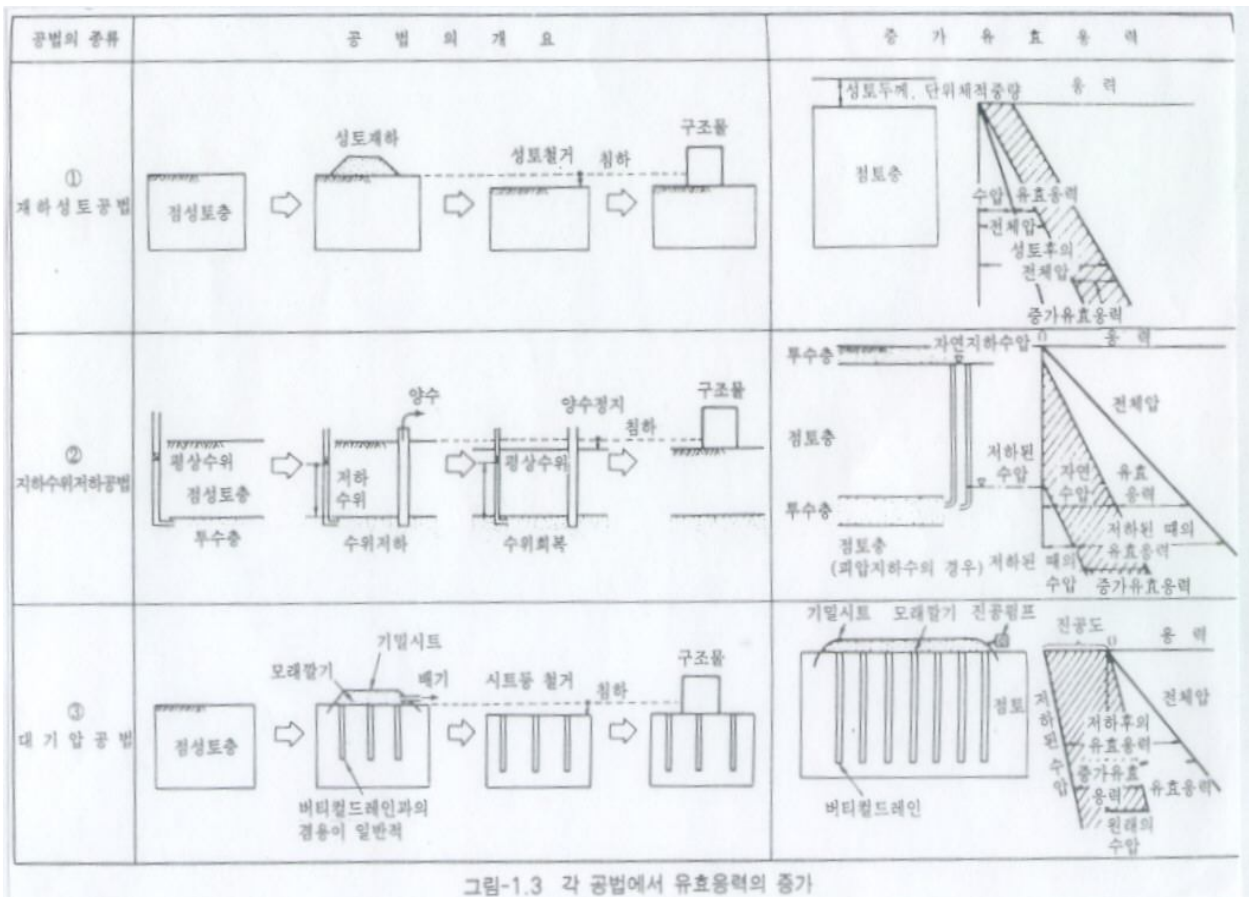
### 1. 개요

- ① 선행재하공법은 구조물 축조전 계획하중보다 큰 하중을 미리 재하하여 계획하중에 의한 최종침하를 조기에 달성하여 지반강도를 증진시키는 공법임.
- ② 선행재하공법은 재하방법에 따라 성토하중, 지하수수위 저하, 진공압밀공법등이 있으며 여기서는 각 공법의 깊이에 따른 유효응력증가량과의 차이점을 기술하고자 한다.

### 2. 점토층의 압밀침하 촉진 방법

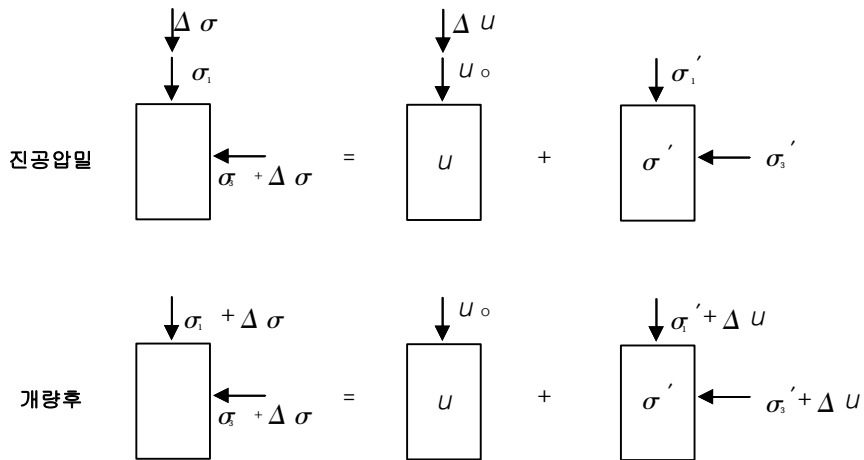
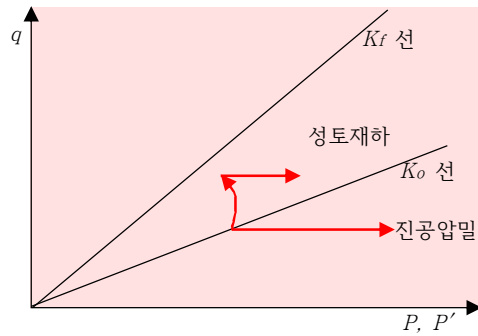
- ① 점토층의 압밀침하를 촉진시키기 위해서는 유효응력의 증가가 불가결하다.
- ② 유효응력을 증가시키는 방법
  - ① 전응력을 증가시키는 방법
  - ② 간극수압을 저하시키는 방법
- ③ 재하수단에 의한 압밀침하촉진공법
  - ① 재하성토공법
  - ② 지하수위저하공법
  - ③ 대기압공법

### 3. 각 공법별 점토층의 깊이에 따른 유효응력의 차이



#### 4. 진공재하시 지반의 거동(성토재하와 비교)

##### ① 전단특성



##### ② 압밀특성

- ① 성토재하 :  $K_o$  압밀
- ② 진공압밀 : 등방압밀

#### 5. 진공압밀 공법의 적용성

- ① 재하중을 제거해야 하는 성토재하 공법에 비해 경제적이 될 수 있다.
  - ② 점성토로 준설매립된 초연약지반상 성토재하로 인한 사면활동과 지반의 파괴가 예상 될 경우 유효한 공법임.
  - ③ 이론적으로 10tonf/m<sup>2</sup>의 재하중을 얻을수 있으나 5~6tonf/m<sup>2</sup>의 하중이 유효하므로 이 이상의 하중이 필요한 경우에는 성토를 병행하여야 하며 이때 사면안정이 유지되도록 단계성토, 압성토, 토목섬유 등을 별도로 검토하여야 한다.
- ※ 진공압 10tonf/m<sup>2</sup> : 4.5m 성토효과

#### 6. 진공압밀 공법 시공시 유의사항

- ① 주상도상에 Sand Seme이 있다면 진공압이 새어나가므로 공법의 적용이 불가함.  
: 지반조사가 매우 중요함.
- ② 드레인 보드 한개당 진공효과 영향범위를 파악해야하며 드레인 보드의 효율적인 배치가 중요함.
- ③ 기밀성 유지를 위해 트렌치 부분에 Sealing 을 철저히 시공하여야 함.
- ④ 시공후 침하의 발생으로 변형될 경우 지중 배수 기능의 저하로 압밀효과가 낮다.
- ⑤ 계측관리 도입이 필수적이며, 압밀 재하 후 개량효과가 기대치 이하 일 경우 대책공법을 강구하여야 한다.



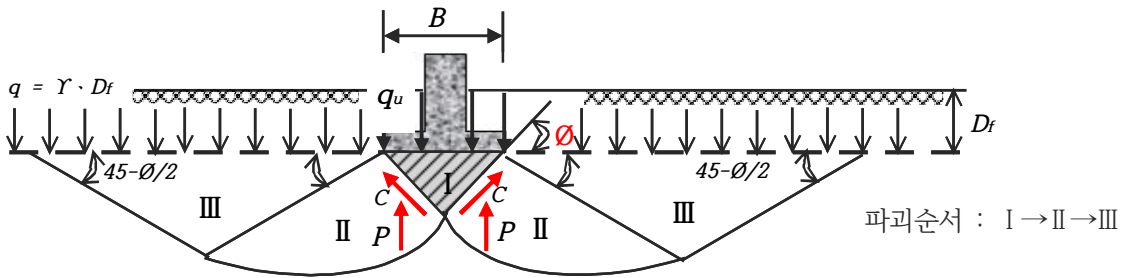
문제 2. 지표면이 수평이고 균질한 지반에 얇은기초를 설계하고자 한다. 기반암층이 무한히 깊게 위치한 지반과 가반암층이 기초폭이내에 위치한 지반에 하중이 재하될 경우 기초하부 지반의 파괴형상을 그림으로 표현하고, 두지반의 극한지지력 평가방법의 차이점을 설명하시오.

### 1. 개 요

- ① 지지력이란 지반이 전단파괴에 이르기까지 가한 하중을 의미한다.
- ② 지반의 지지력은 지반조건, 기초의 활동파괴면의 가정, 파괴모드, 하중조건, 형상조건, 근입깊이, 지하수 영향등을 고려하여 산정하며,
- ③ 지반조건에 따른 극한 지지력의 평가방법면에 있어서의 차이점을 기술하고자 한다.

### 2. 기반암층이 무한히 깊은 경우 이론적 제안식

- ① Terzaghi 방법 ( 점토와 사질토 적용)
- ② Terzaghi 의 지반파괴 거동과 가정



구 분	I 영역	II 영역	III 영역
흙의 상태	• 흙 썰기로서 탄성상태	• 방사전단영역 (원호전단영역)	• 수동영역
거 동	• 기초면이 거칠고 마찰 저항이나 점착력에 의해 전단변형이 억제되므로 주동상태가 되지 않고 기초의 일부로서 동일 거동	• 대수나선, 원호활동	• 직선활동
가 정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흙 썰기의 각도는 흙의 내부 마찰각 <math>\phi</math>와 같다.</li> <li>• 수동영역 III의 파괴각은 수평면과 <math>45 - \phi/2</math> 와 같다.</li> <li>• 기초위의 근입깊이에 대한 흙 무게는 상재하중 즉, <math>q = \gamma \cdot D_f</math> 이며 여기서의 전단저항은 없는 것으로 가정</li> </ul>		

#### ② 극한 지지력 개념

: 위 기초의 파괴거동과 가정을 토대로 흙 썰기의 평형을 고려 산정

$$q_u \cdot B = 2P + 2C \cdot \sin\theta - W$$

여기서,  $W$  : 흙 썰기의 무게

※ 이 식을  $q_u$ 에 대해 풀고 정리하게 되면 *Terzaghi*의 극한 지지력 공식이 된다.

### ③ *Terzaghi*의 극한 지지력 공식

일반식

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

점성토

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q \quad \Rightarrow N_r = 0$$

사질토

$$q_u = \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q \quad \Rightarrow c = 0$$

여기서,  $N_c, N_r, N_q$  : 지지력 계수(내부 마찰각에 따른 계수)

$\alpha, \beta$  : 기초모양에 따른 형상계수(*Shape factor*)

$c$  : 기초바닥 아래 흙의 점착력( $t/m^2$ )

$\gamma_1$  : 기초바닥 아래 흙의 단위중량( $t/m$ )

$B$  : 기초의 최소폭( $m$ )  $\gamma_2$  : 근입깊이에 있는 흙의 단위중량( $t/m^3$ )

$D_f$  : 기초의 근입깊이( $m$ )

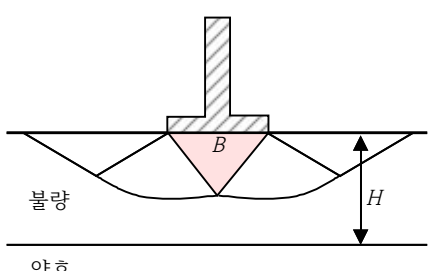
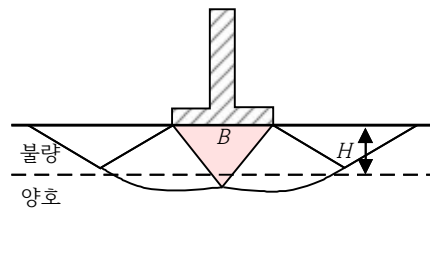
### ④ 형상계수 (*Shape factor*)

구분	원형기초	정사각형	연속기초	직사각형 기초
$\alpha$	1.3	1.3	1.0	$1 + 0.3(B/L)$
$\beta$	0.3	0.4	0.5	$0.5 - 0.1(B/L)$

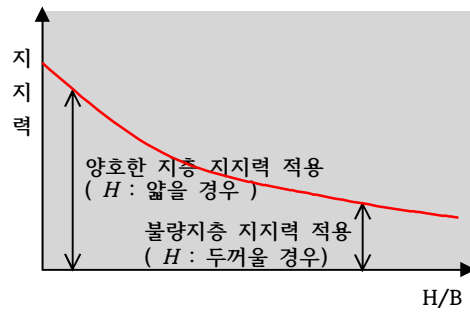
여기서,  $B$  : 기초폭 중 짧은 변의 길이,  $L$  : 기초폭 중 긴 변의 길이

## 3. 다층지반의 지지력

### ① 파괴형태와 지지력

구분	상부 불량층이 두꺼운 경우	상부 불량층이 얇은 경우
파괴형태		
조건	불량한 지층으로 파괴면 발생	양호한 지층까지 활동면 연장
지지력 적용	불량지반 지지력	불량지반이 매우 얇을 경우 양호지반 지지력 적용

② 상부불량층(H)과 기초폭(B) 관계에서의 지지력 변화 추이



#### 4. 평 가

- ① 일반적인 지지력 공식은 기초를 지지하는 흙이 균질하고 상당한 깊이까지 분포해 있는 경우에 적용된다.
- ② 그러나 실제 지반은 층을 이루고 있는 경우가 많은데 이럴 경우 극한 하중에 의한 파괴면은 2~3개 층을 통해 나타날 수 있다.
- ③ 따라서 다층지반의 극한 지지력의 결정은 지반공학자의 공학적 판단에 의해 선별되어 사용되어야 한다.

문제 3. Rankine토압, Coulomb토압의 기본가정 및 문제점과 Coulomb토압에서 벽면마찰각을 고려하는 이유에 대해 설명하시오

1. 개요

Rankine 토압론은 Mohr의 응력원으로부터 횡 방향으로 팽창 또는 압축되어 파괴포락선에 접하는 경우에 대한 토압계수를 도출하여 토압을 산출하였으나 응력배면의 흙과의 벽 마찰각을 고려하지 않아 실제보다 수동토압의 안전율이 과소평가되며 Coulomb토압은 벽 마찰각은 고려되었지만 수동토압이 과다하게 평가되는 단점이 있으며 적정 수동토압을 적정하게 평가하기 위한 기하학적 방법으로 이를 수정하여 사용하고 있다.

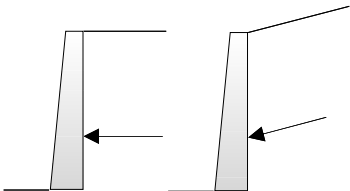
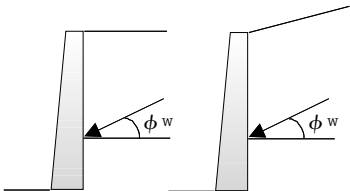
2. 이론적 근거

Rankine 土壓	Coulomb 土壓
벽체변위에 따라 파괴면내의 흙요소는 소성파괴	벽체변위에 따라 파괴면내의 흙 요소는 파괴되지 않고 활동면만 한계상태에 도달 → 흙 썩기로 작용 → 토압산정시 벽 마찰각 적용 ※ 강체론, 흙 썩기론으로 칭함.

3. 기본가정 및 문제점

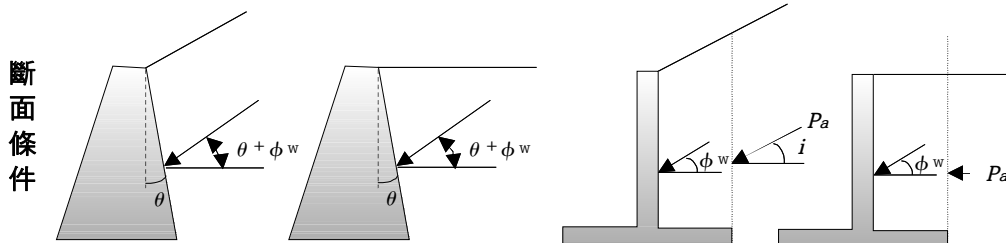
기본가정	문제점(실제와 상이)
① 흙은 비압축성 = 균질 = 등방	비 균질, 비 등방
② 파괴면은 2차원적인 평면임(평면변형조건)	3차원(중간주응력 존재)
③ 직선적 파괴형태로 가정	대수나선 ( 특히 수동측에서 심함)
④ 지표면(배면)은 무한히 넓게 존재한다.	좁은경우도 있음(근접시공, Silo 土壓)
⑤ 3각형의 토압	변위허용(토류벽)시 포물선, 사각형, 사다리꼴

4. Coulomb토압에서 벽마찰각을 고려하는 이유

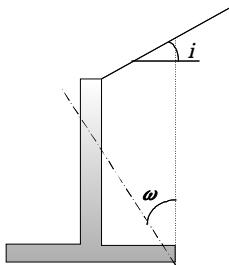
구분	Rankine 土壓	Coulomb 土壓
벽마찰각	무시	고려
파괴	파괴면내 흙 전체 고려	파괴면만 고려
작용방향	배면토 경사와 동일 	벽마찰각만큼 작용 
주동토압	과다	적정
수동토압	과소	과대

## 5. 설계적용상 차이점

구 분	重 力 式	역 T 형식 (긴 뒷굽)
외적안정	<i>Coulomb</i> 土壓	<i>Rankine</i> 土壓
내적안정	<i>Coulomb</i> 土壓	<i>Coulomb</i> 土壓



※ 뒷굽이 짧은 경우 → 중력식 옹벽으로 취급



$$\sin \omega = \frac{\sin i}{\sin \phi}$$

$$\omega = \sin^{-1} \left( \frac{\sin i}{\sin \phi} \right)$$

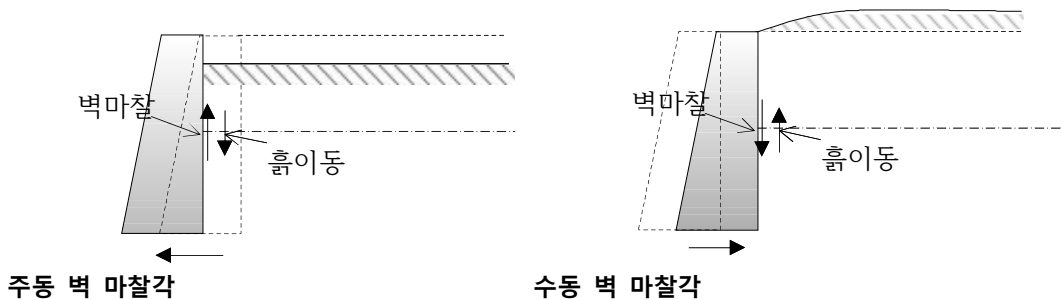
즉,  $\omega$ 가 옹벽을 가로지르면 중력식 옹벽으로 취급

## 6. Coulomb토압에서 벽 마찰각

### ① 정 의

벽체의 변위(팽창, 압축)시 활동 파괴면내의 흙이 강체거동하므로 벽체와 흙 사이에 발생하는 마찰력을 일컫음.

### ② 주동 및 수동상태에서의 벽 마찰각 방향



### ③ 벽 마찰각의 크기

- ① 흙의 종류                      ② 다짐상태

- ③ 벽체거칠기에 따라 다름

Ex) Loose sand :  $\phi_w \approx \phi$ , Dense sand :  $\phi_w \approx (\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4})\phi$

### ④ 적 용

- ① 중력식 : 내적, 외적 안정  
 ② 역 T형 옹벽 : 내적(부재설계)에 이용

## 문제 4. 도심지 지반굴착에 의한 근접시공이 인접구조물에 미치는 영향과 대책에 대하여 설명하시오

### 1. 개요

굴착공사시 피해로는 도로균열, 파손, 단차와 이로 인한 교통사고를 유발시키며 상하수도 배관, 가스관 등이 파손되며 인접구조물의 균열과 경사, 부등침하가 발생하는등 피해가 발생되며 침하를 완전히 방지하는 것은 현실적으로 불가능하나 피해를 최소화 하기 위한 원인별 대책을 강구하여야 한다.

## 2. 도심지 지반굴착시 근접시공시 인접구조물에 미치는 피해의 원인과 영향

### ① 설계 문제

#### ① 지반조사 미흡

지반조사시 지층판단, 지반정수, 지반반력계수등의 부적절한 평가, 지하수위, 지반경사가 고려되지 못한 상태로 설계시행

#### ② 설계 부적절

침하발생량에 따른 적정공법 선정 미흡, 지하수 고려한 차수대책 부적절, 근입깊이 부적절, 지반개량 관련 설계 부적절

### ② 시공상 원인

#### ① 과도한 굴착 : 편토압 발생 → 토류벽에 과대한 휨모멘트 유발

#### ② 배면공극 발생 및 이음부 벌어짐

배면토의 이동, 지하수와 함께 배면토 유출등으로 인한 토류벽 붕괴 유발

#### ③ Heaving, Boiling 발생

근입깊이를 적게 시공한 경우 점성토는 Heaving, 사질토는 Boiling 발생

#### ④ 흙막이 벽 누수 : 지하수 저하로 인한 유효응력증대로 침하발생

( 침하량 : 사질토 < 점성토 )

#### ⑤ 토류벽 인발 : 인발후 남은 구멍으로 토류이동 지반침하 발생

#### ⑥ 토류벽 시공시 진동 : 사질토는 침하, 점성토는 전단강도 감소

#### ⑦ 기타 : 지하 매설물에 의한 토류벽 시공 생략으로 인한 지반변형으로 침하, 상수도관, 하수도관의 누수로 인한 침하 등

## 3. 인접구조물 피해방지를 위한 종합 대책

### ① 설계시 대책

#### ① 지반조사 철저

#### ② 벽체변위, 유동압저항을 위해 강성이 큰 토류벽 사용

#### ③ 굴착단계별 탄소성 해석

#### ④ 근입부 안정 및 굴착배면, 굴착저면에 대한 지반개량 검토

### ② 시공시 대책

#### ① 과도한 굴착 금지 : 설계도서에 명시된 굴착순서 준수

#### ② 배면공극 채움 : 깬자갈이나 모래, 혼합석, 콘크리트 채움

#### ③ Heaving, Boiling 발생 방지

근입장 깊이 준수, 굴착저면 개량(심층혼합처리 공법, 고압분사공법)

#### ④ 흙막이 벽체의 누수방지 : 토류벽 배면 그라우팅, 지중연속벽으로 설계변경

- ⑤ Sheet pile, H-Pile 인발후 모래나 몰탈채움
- ⑥ 기타 Under pinning, 연결부 정밀시공 등

#### 4. 근접시공시 고려사항

- ① 시설구조물의 하중으로 인한 지중응력상태를 고려한 토압 산출값 적용
- ② 굴착에 따른 주변지반의 침하예측

예 측 법	해 석 개 념	예 측 법	해 석 개 념
Peck 곡선	계측	Rosco & Wroth	소성론
Caspe 방법	이론적 계산	Tom linson	FEM
Clough 방법	계측 + FEM	Fry 방법	이론식

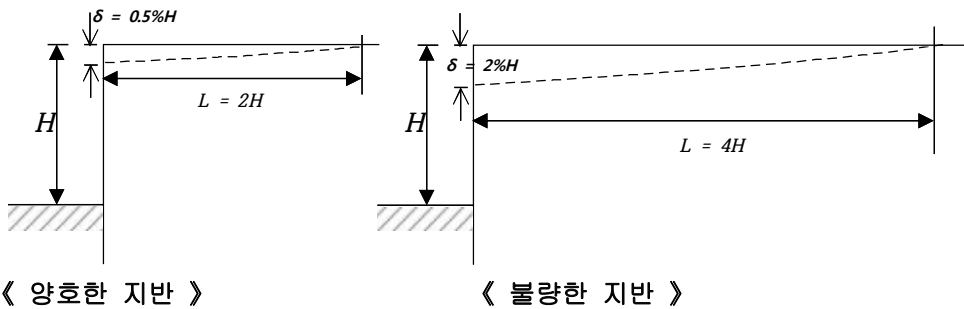
- ③ 인접시설구조물의 침하, 경사발생시 허용치 평가
- ④ 장비나 발파에 의한 진동, 소음 허용치 평가

#### ※ 국토해양부 고시 발파진동 허용기준

대 상	문화재, 유적, 컴퓨터시설물	주택, 아파트	상가	철근콘크리트 건물 및 공장
허용진동속도 (cm/sec)	0.2	0.2~0.5	1.0	1.0~5.0

#### ⑤ 개략적인 침하영향거리, 침하량

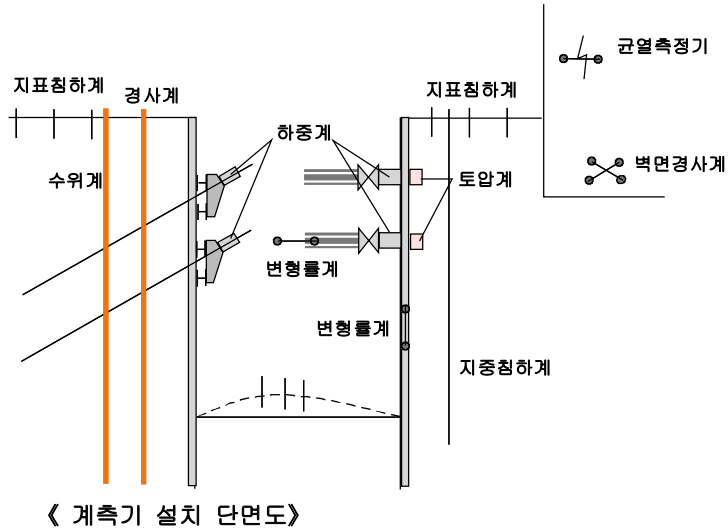
- ① 침하영향거리
  - 양호한 지반 :  $L \approx 2H$
  - 불량지반 :  $L \approx 4H$
- ② 발생 침하량
  - 양호한 지반 :  $0.5H/100$
  - 불량지반 :  $2H/100$



#### ⑥ 토압계수 적용

- ① 변위를 약간 허용 :  $K = K_a$
- ② 구조물 인접거리 > 굴착깊이의 1/2 :  $K = 0.5(K_o + K_a)$
- ③ 구조물 인접거리 < 굴착깊이의 1/2 :  $K = K_o$
- ④ 인접 구조물 기초깊이  $\geq$  굴착깊이 :  $K = K_a$

7 계측계획 수립 및 관찰



※ 평면상 모서리와 T형 도로의 경우 상하수도관등의 연결부 파손이 빈번하므로 계측기를 집중배치하여 관리함.

5. 평 가

- ① 지반 굴착에 대한 설계나 시공을 할 때는 굴착에만 집착하지 말고 굴착으로 인한 주변지반과 구조물에 미치는 영향을 반드시 고려하여야 한다.
- ② 주변침하량의 예측은 여러가지 상황을 종합하여 평가하며 평가된 값은 거리별 침하량, 주변 구조물의 경사정도에 대한 허용치를 규정해 두어야 하며 특히 구조물의 노후, 재질 등을 고려한 합리적인 허용 침하량이 되도록 정해야 한다.
- ③ 시공시 계측을 시행하고 설계예측치와 비교하여 불의의 사고로 이어지지 않도록 신속한 대처가 가능하도록 계측관리에 만전을 기하여야 한다.



문제 5. 광범위한 지역(2.5km×2.0km)에 걸쳐 다양한 두께의 연약점성토지반이 분포할것으로 예상되는 지역에 제철공장을 신축하려고 한다. 제철공장과 관련된 각종 구조물과 부대시설 건설을 위해 타당성검토(Feaibility study)를 수행한 목적으로 연약점성토 지반의 공학적 특성을 파악하고자 한다. 다음사항에 대하여 설명하시오

1. 지반조건이 공장시설에 미칠것으로 예상되는 문제점
2. 지역별 깊이별로 각 연약점토층을 대표하는 흐트러지지 않은 시료 (Undisturbed sample)채취계획 수립
3. 실내시험으로 흐트러지지 않은 시료의 질(quality)를 파악하는 방법과 그렇게 하는 이유

### 1. 지반조건이 공장시설에 미칠것으로 예상되는 문제점

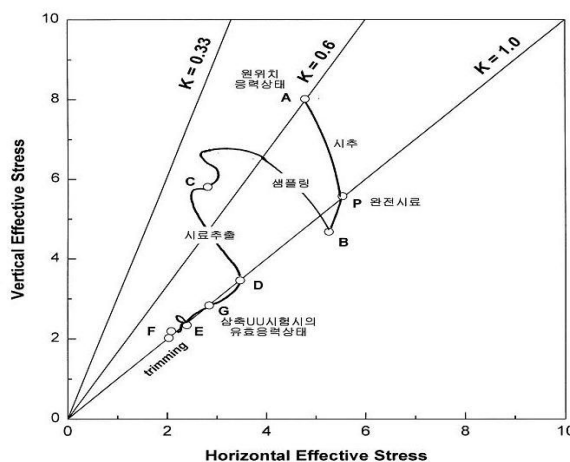
#### ① 공학적 측면

- ① 응력면 : 지지력 부족, 사면활동
- ② 변위 면 : 침하, 수평이동(측방유동), 용기, 부등침하, 단차
- ② 공기 측면 : 압밀침하시간지연으로 인한 계획공기에 차질
- ③ 시공 측면 : Trafficability미확보로 인한 공법변경 예상
- ④ 원가 측면 : 지반개량에 과다한 예산투입으로 인한 초기투자비 과다
- ⑤ 환경 측면 : 성토재료등 적치과정중 Heaving발생으로 주변지반 변위발생
- ⑥ 민원 발생 : 해안가 입지조건상 준설을 위한 하저토사 채취고 어민피해 발생

### 2. 불교란시료(Undisturbed sample)채취계획 수립

#### ① 시료교란의 원인

- ① 샘플링에 의한 시료주변의 구속압 해방 : 불가피한 교란
- ② 샘플링시 기계적인 교란



- ▶ A : 원위치 응력상태
- ※ 이상시료 (ideal sample)
- ▶ P : 전혀 교란되지 않았으나 시료채취에 의하여 현장 응력 이완 상태
- ※ 완전시료(perfect sample)
- ▶ F : 전단직전상태
- ※ 실제시료(actual sample)
- ▶ P점~F점 : 샘플링, 시료추출, 운반, 시료성형단계

시료채취시와 채취후의 응력변화(Ladd & Lambe, 1963)

② 시료교란 최소화를 위한 조사시 대책

- ① Thin Wall Sampler 또는 Foil Sampler 이용
- ② N=15 점성토, 심층 N=10 점성토는 Denison Type Sampler, N = 10이하의 느슨한 모래는 샌드샘플러(Sand Sampler)로 채취한다.
- ③ 고정피스톤형인 Shrew Sampler는 더치콘을 이용
- ④ 기타 대구경 샘플러, 블럭 샘플링, NX Size 반영



3. 실내시험으로 흐트러지지 않은 시료의 질(quality)를 파악하는 방법과 그렇게 하는 이유

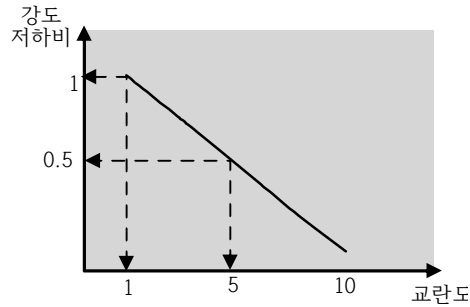
① 실내시험으로 교란여부 파악하는 방법

- ① 일축압축강도에 의한 방법(Skempton)
  - $\alpha = E_{50}/(qu/2) = 1/\epsilon_{50}$ 의 값이 크거나  $E_{50}$ 이 클수록 교란정도가 낮은 것으로 평가
- ② 유효잔류응력에 의한 교란도 평가

$$\text{교란도} = \frac{\text{이론치 } U_o}{\text{실측치 } U_r}$$

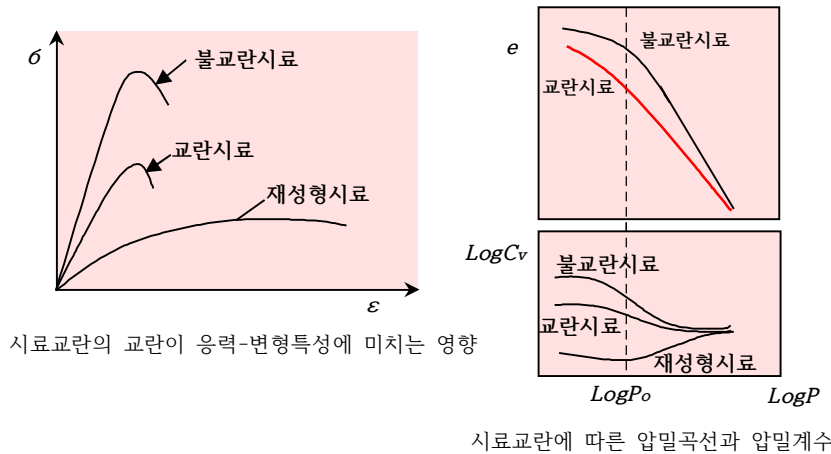
→ 교란도에 따른 강도저하비 결정

$$\text{교란보정강도} = \frac{\text{시험강도}}{\text{강도저하비}}$$



② 시료의 질을 평가하는 이유

- ① 교란으로 인한 역학적 문제점



시료교란의 교란이 응력-변형특성에 미치는 영향

시료교란에 따른 압밀곡선과 압밀계수

분 류	영 향
강도특성	㉠ 배수 및 비배수 상태에서 압축강도의 감소 ㉡ 변형계수의 감소 ㉢ 극한강도일때 변형율 증가

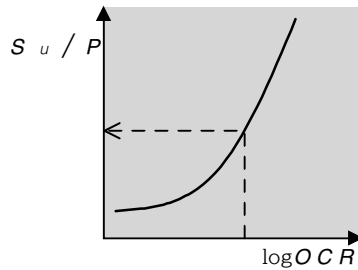
분 류	영 향
압밀특성	㉠ 압축지수 - $C_r$ 증가 : 과압밀 영역에서 침하량 크게 평가 - $C_c$ 감소 : 정규압밀 영역에서 침하량 작게 평가 ㉡ 압밀곡선이 완만하게 되어 선행압밀응력을 구하기 힘들거나 작아지는 경우가 많다. ㉢ 원위치 유효응력에 해당하는 응력까지 압밀시켰을때의 체적변형률이 커진다. ㉣ 선행압밀응력 이전의 불교란시료에 비해 압밀계수의 값이 불교란 시료에 비해 작게 구해진다.

### ③ 교란된 시료에 대한 대책

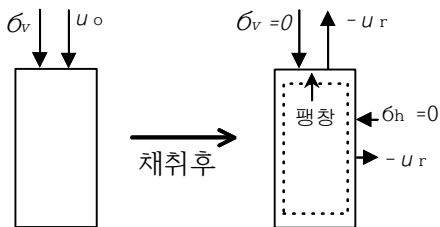
#### ① 압밀곡선의 수정

#### ② SHANSEP

점토시료의 교란영향은 현위치 응력보다 더 큰 응력하에서 소멸되고 점토의 강도는 압밀압력에 대해 정규화거동을 나타낸다는 결과를 바탕으로 교란영향을 배제한 비배수 전단강도를 구하는 방법이다.



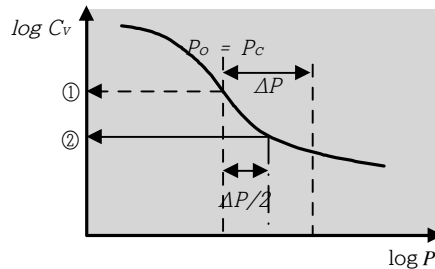
#### ③ Back pressure



- $S < 100\%$
- 불포화토 거동
- 배압이 필요함
- $B=1$ 이면  $S=100\%$
- $B = \Delta u / \Delta \sigma_3 = 1$

#### ④ 압밀계수 수정

- 지반공학회 추천
- $P_c$  값 이상 하중에서의  $C_v$  값 사용
- $P_0 + \Delta P / 2$  의  $C_v$  값 사용

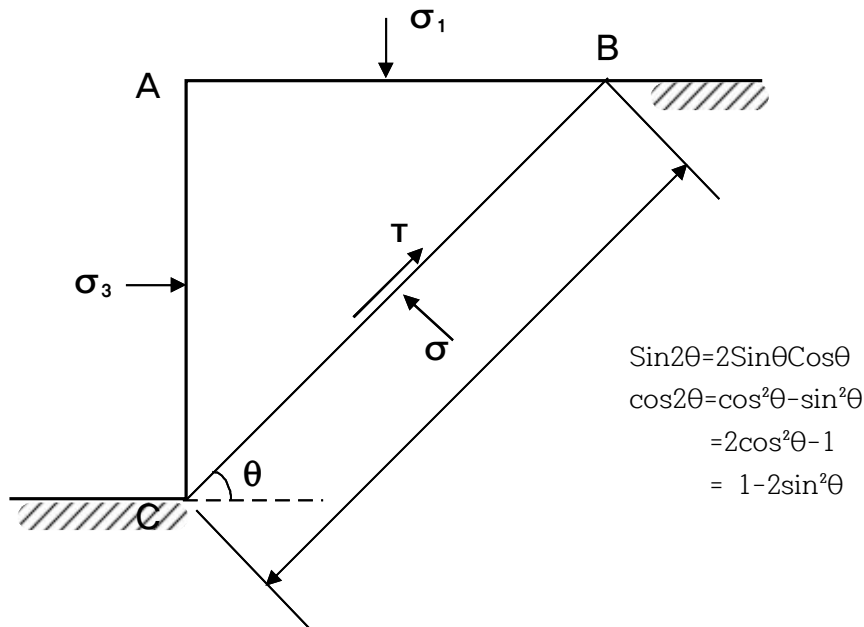


⑤ 전단 및 압밀시 현장응력조건과 같은 비등방 압밀, 현장수직응력의 60% 정도로 등방압밀 후 시험

#### ⑥ 교란도에 의한 방법

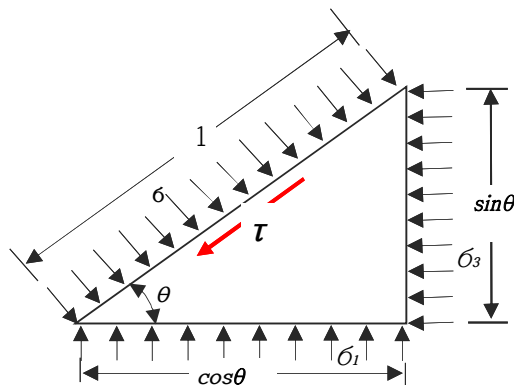
문제 6. 토사지반을 아래의 그림과 같이 연직방향으로 AC깊이까지 굴착하고 역 L형 옹벽으로 수평토압을 지지하였을 경우 다음사항에 대하여 설명하시오  
 (단, 토체 ABC는 강체운동(Rigid body motion)을 하며  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ 는 주응력면 이고 전단면 BC는 직선이며 이 면 위에 작용하는 전단응력과 연직응력은  $\tau$ 와  $\sigma$ 이다. 중간 주응력은 영향이 없는 것으로 가정하시오)

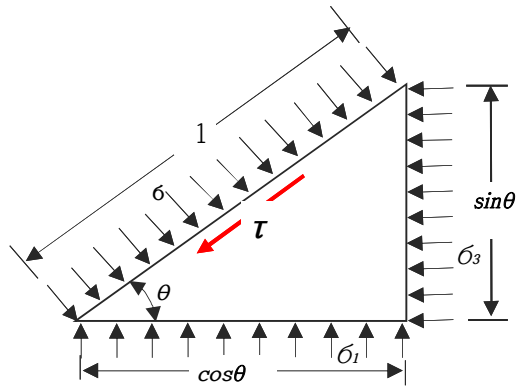
- 1) 내부 마찰각이 0인 경우( $\phi=0$ )주응력면과 전단파괴면이 이루는 각도  $\theta$ (즉, 전단응력  $\tau$ 가 최대가 되는 각도  $\theta$ )를 힘의 평형방정식을 이용하여 구하시오
- 2) 상기 1)에서 구한 전단파괴면을 Mohr 응력원에 표시하고 이 Mohr응력원에 내부마찰각이 0이 아닌 경우( $\phi \neq 0$ )에 대한 전단파괴면이 최대주응력면과 이루는 각도를 표시하고, 수동토압이 주동토압보다 크게 되는 이유를 설명하시오



1. 내부 마찰각이 0인 경우( $\phi=0$ )주응력면과 전단파괴면이 이루는 각도  $\theta$ (즉, 전단응력  $\tau$ 가 최대가 되는 각도  $\theta$ )를 힘의 평형방정식을 이용하여 구하시오

① 요소에 작용하는 응력에 대한 Vector에 대한 평형 방정식 활용





① 수직응력의 합 = 0

$$\sigma - \sigma_1 \cdot \cos^2\theta - \sigma_3 \cdot \sin^2\theta = 0 \rightarrow \sigma = \sigma_1 \cdot \cos^2\theta + \sigma_3 \cdot \sin^2\theta$$

정리하면

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$

② 전단응력의 합 = 0

$$\tau - \sigma_1 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta + \sigma_3 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta = 0 \rightarrow \tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \cos\theta \cdot \sin\theta$$

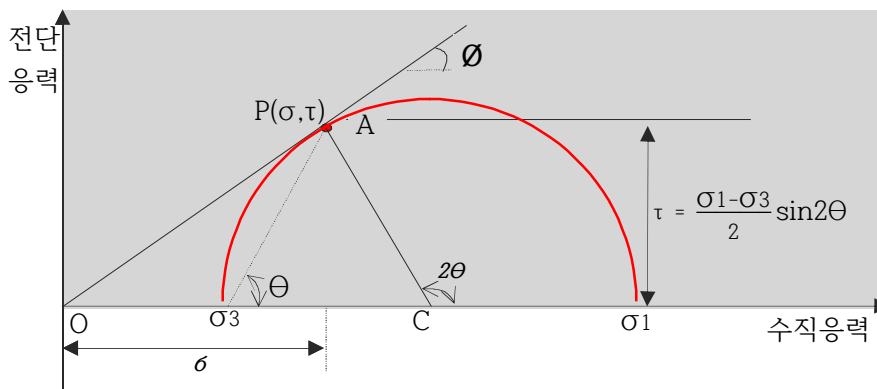
정리하면

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$

∴ 주응력면과 전단파괴면이 이루는 각도  $\theta$ 는  $45^\circ$ 일때 전단응력  $\tau$ 가 최대가 된다.

2. 상기 1)에서 구한 전단파괴면을 Mohr 응력원에 표시하고 이 Mohr응력원에 내부마찰각이 0이 아닌 경우( $\phi \neq 0$ )에 대한 전단파괴면이 최대주응력면과 이루는 각도를 표시

① Mohr의 응력원

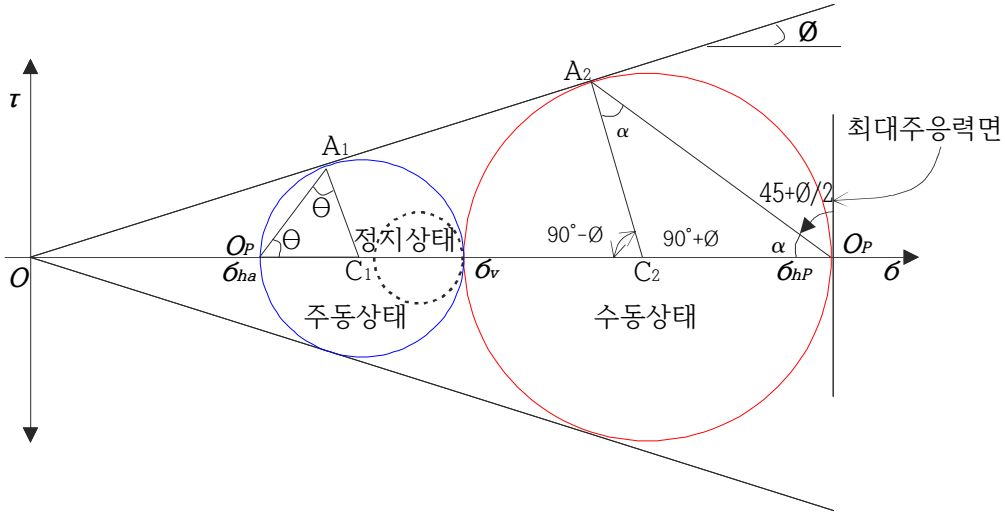


② 위 그림에서 점선은 파괴면을 의미하며  $\theta$ 는 최대 주응력면 으로부터 시계반대 방향으로 이루는 파괴 각을 의미한다.

③ 여기서, 최대주응력면은 수직응력 $\sigma_1$ 이 작용하는 수평면이므로 가로축으로 부터  $\theta$ 의 각도로 이루어 져 있으며 파괴각은

- $\angle OCA = 180^\circ - 90^\circ - \emptyset$ ,  $\triangle A C \sigma_3$  는 이등변 삼각형이므로  $2\theta = 180^\circ - \angle OCA$
- 따라서  $2\theta = 90^\circ + \emptyset \quad \therefore \theta = 45^\circ + \emptyset/2$

### 3. 수동토압이 주동토압보다 크게 되는 이유를 설명하시오



#### ① 주동/수동 상태

주동상태는 정지상태로 부터 응벽이 앞으로 넘어지면 수직응력은 일정하나 수평응력은 감소 즉, 팽창되어 *Mohr-coulomb*의 파괴포락선에 접하게 된다. 수동상태는 정지상태로 부터 수직응력은 일정하나 수평응력이 증가 즉, 압축되어 *Mohr-coulomb*의 파괴포락선에 접하게 된다.

#### ② 수동상태가 주동상태보다 토압이 큰 이유 : 토압계수(Coefficient of active earth pressure)비교

주동 토압계수  
(Coefficient of active earth pressure)

$$\textcircled{1} \sin \emptyset = \frac{C_1 A_1}{O C_1} = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_v - \sigma_{ha})}{\frac{1}{2} (\sigma_v + \sigma_{ha})}$$

Ⓞ  $\sigma_v$ 로 나누어 주면

$$\textcircled{2} 1 - \sin \emptyset = K_a (1 + \sin \emptyset)$$

$$\therefore K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = \tan^2(45^\circ - \emptyset/2)$$

수동 토압계수  
(Coefficient of Passive earth pressure)

$$\textcircled{1} \sin \emptyset = \frac{C_2 A_2}{O C_2} = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_{hp} - \sigma_v)}{\frac{1}{2} (\sigma_v + \sigma_{hp})}$$

Ⓞ  $\sigma_v$ 로 나누어 주면

$$\textcircled{2} 1 + \sin \emptyset = K_p (1 - \sin \emptyset)$$

$$\therefore K_p = \frac{1 + \sin \emptyset}{1 - \sin \emptyset} = \tan^2(45^\circ + \emptyset/2)$$

### 3교시

문제 1. 터널설계기준(건설교통부 2007년) 제 8장 배수 및 방수 8.1.1항에는 “터널은 지하수의 처리방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분할 수 있다”라고 규정하고 있다 다음사항을 설명하시오

- 1) 상기항의 기준을 설계기준으로서의 명확성을 제고하기 위한 측면에서 수정이 필요하다면 귀하의 의견을 제시하시오
- 2) 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식에 대하여 각각의 특징 및 설계자가 시공자에게 부여하여야 할 내용을 제시하시오
- 3) 국내의 NATM터널에서 비배수형 방수형식이 성공적으로 적용되지 않는 이유를 지적하고, 비배수형 방수형식을 성공적으로 시공하기 위한 설계와 시공대안을 제시하시오.

#### 1. 터널설계기준(건설교통부 2007년)의 명확성 제고를 위한 의견

① 명확한 판단이 쉽지 않다

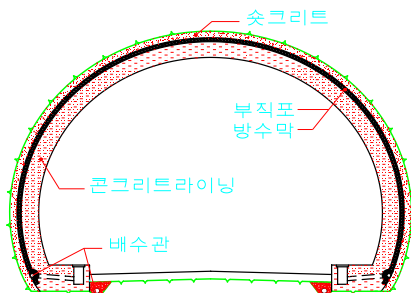
왜냐하면, 비배수터널로 설계, 시공후 누수가 발생한 경우 설계시 목적대로 터널의 유지관리가 이루어지지 못할 뿐만 아니라 근본적으로 방수가 매우 곤란하므로 터널저부에 설치된 유공관으로 배수 즉, 외부 배수형으로 변경된 경우가 대부분이므로 여러가지 고려요소와 각 공법별 장단점을 확인 후 적절히 판단하여야 할 사항임.

② 선진국에서는 터널배수개념이 과거에는 배수형식을 채택하였으나 환경보존이 중요성을 고려한 비배수터널의 설계로 전환되고 있음

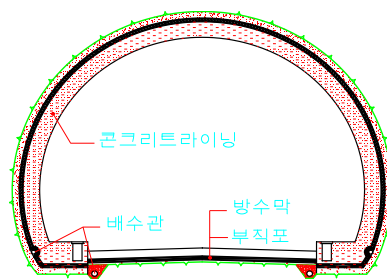
③ 그러나 국내의 시공기술은 아직도 방수기술 측면에서 미흡한 실정이므로 이에 대한 개선대책이 요구된다.

#### 2. 배수터널과 비배수 터널의 특징

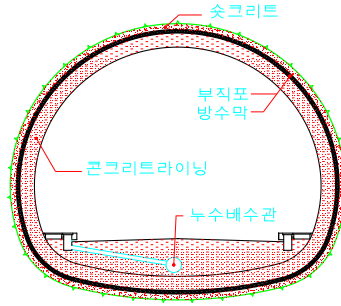
구 분	배수 터널	비배수 터널
지하수 처리	집수정 → 유도배수	방수처리(HDPE, ECB 방수)
보수(시공성)	용이	불량
복공	무근, 얇음	철근, 두꺼움
공사비	小	大
주변영향	大	小
유지관리비	大	小
적용성	K값 적은 지반, 지하수위 낮은 경우 인접건물 없을 때	투수계수가 큰 경우 지하수위 높은 경우(30~40M) 대도시(예, 석촌호수 썩크홀)



내부 배수형 터널의 개념도



외부 배수형 터널의 개념도



비배수 터널 단면 개념도

### 3. 지하수처리를 위한 터널설계시 설계자가 시공자에게 부여하여야 할 사항

- ① 유입수를 충분히 통수시키기 위한 부직포성능제시 : 통수능 시험(구멍막힘 시험), 인장강도등
- ② 배수계통도 제공(유지관리 용이고려), 터널과 연직갱, 개착부, 연결부, 단면확폭부등과의 접합 및 방수상세
- ③ 시공중 유입수 배수를 위한 배수시설
- ④ 갱구부 동결고려 동결방지 대책
- ⑤ 콘크리트 라이닝과의 시공이음부, 수축 및 팽창 이음부에는 지수판상세도

### 4. 국내의 NATM터널에서 비배수형 방수형식이 성공적으로 적용되지 않는 이유와 성공적으로 시공하기 위한 설계와 시공대안

- ① 국내 비배수 터널 실패 이유
  - ① 방수막 봉합불량 : 수평, 수직 접합부는 3겹 봉합으로 특히 불량
  - ② 방수막의 파손 : 철근조립시 특히 파손
  - ③ 배수재의 통수능 저하
  - ④ 배수재와 방수재의 과소, 과다 이격
    - 과소이격시 콘크리트 타설로 인한 방수막 파손
    - 과다이격시에는 방수막 배면에 공극 발생
  - ⑤ 분기부 및 접속구조물과의 방수막 접합
    - 방수막을 재단하여 덧 붙이기 봉합시 봉합상태가 불량
    - 터널과 접속구조물 방수막의 재질이 상이 → 대부분 불량, 누수
    - 개착구조물의 침하, 콘크리트 수축등 변형발생시 방수막 파손
  - ⑥ 콘크리트 라이닝과 개착구조물의 구조물 이음
    - 콘크리트 라이닝과 개착구조물은 분리구조로 되어 있음.
    - 콘크리트 라이닝 하부(인버트부위)와의 이음부에서 개착구조물의 콘크리트 채움 불량으로 공극발생 → 방수막 파손 → 집중누수발생(보수보강 불가능)
- ② 설계와 시공대안
  - ① 비배수형 터널은 라이닝이 수압을 받는 구조로 설계되나 일반적으로 지하수압은  $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 한계로 적용하며 그 이상의 수압을 라이닝이 견디도록 설계하는 것은 무리이므로 배수터널로 설계한다.
  - ② 모든 터널을 완전건조상태로 유지해야할 필요가 없으므로 터널의 등급에 따라 허용누수량을 인정하자  
 예, 방수 1등급(완전건조, 터널연장 100M당 누수량 0.01ℓ/day)  
 방수 5등급 (물방울이 자주 떨어짐, 터널연장 100m당 누수량 0.5ℓ/day)
  - ③ 라이닝콘크리트 및 방수막  
 기본적으로 수밀 콘크리트를 사용하고 이에 추가하여 2중 방수막의 채택
  - ④ 콘크리트 이음부 반드시 지수판 사용 : 팽창, 수축이 우려되는 곳은 팽창조인트 설치



문제 2. 지표면이 수평이고 두께가 50m 이상되는 연약지반을 연직으로 굴착하고 굴착부에 폭 10m, 높이 5m의 내부공간을 갖는 박스형 구조물을 시공한 후 퇴메움(토피 5m확보)에 따른 다음사항을 설명하시오

- 1) 흙막이 가시설 적정 근입장 산정방법의 기본원리와 본 지역에 강널말뚝(steel sheet pile)을 설치할 경우 구비하여야 할 사항을 제시하시오
- 2) 말뚝을 사용하지 않는 박스형 구조물의 기초형식을 제시하시오

### 1. 흙막이 근입장 산정방법의 기본원리

① Cantilever

Moment 평형으로 계산하여 수동토압이 발생하도록 20% 정도 할증을 준다.

② Anchor 지지방식

① 자유단 지지법

- ㉠ 하단을 구속하기에 불충분하다고 보고 벽체가 하단 근처에서 회전이 자유롭다고 가정한다.
- ㉡ 수동토압에 안전율은 2.0보다 큰 안전율을 준다.

③ 고정단 지지법

- ㉠ 하부지반에 sheet pile을 구속하여 자유로운 회전을 막을 수 있다고 가정하여 Moment 균형에 의해 결정하고, 근입장을 20% 할증하여 구한다.
- ㉡ 수동토압에 대한 안전율을 고려하지 않는다.

③ Moment 감소법

- ㉠ 자유단지지 방식에서 널말뚝의 유연성 때문에 휘게 되므로 횡방향 토압이 재분포되어 최대 힘 Moment 감소시켜 적용한다.
- ㉡ 사질지반에서는 널말뚝 상대 유연성 고려하고 점토지반에서는 안정수 고려하여 도표에 의해 결정한다.

### 2. 강널말뚝을 설치할 경우 구비하여야 할 사항

- ① 비교적 수밀성이 우수하므로 흙막이 시공중 지하수위의 저하가 예상되는 지반조건에 적용
- ② 강성이 작아서 변형이 크므로 인접지반의 침하피해가 적은곳 적용
- ③ 타입식의 경우 소음과 진동에 대한 대책 강구
- ④ 시공이음에 의한 정밀도가 낮으므로 10m이상의 깊은 굴착은 피한다.
- ⑤ Heaving 현상(연약점토지반) : 근입깊이 부적정

$$F_s = \frac{M_r}{M_d} = \frac{\pi D \cdot D \cdot C}{(\gamma H + q) D \times \frac{D}{2}}$$

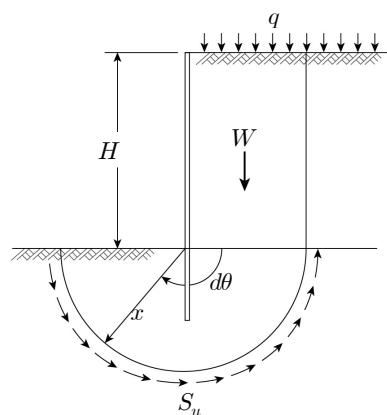
단,  $W = (\gamma_1 \cdot H + q)x$

$M_r$  : 저항모멘트( $t \cdot m/m$ )

$M_d$  : 회전모멘트( $t \cdot m/m$ )

굴착저면 밑에 상당한 깊이 까지 지층이 고르다고 생각 되는 경우

$$\frac{M_r}{M_d} = \frac{2\pi S_u}{\gamma_t \cdot H + q} \geq 1.2$$



- ⑥ 앵커 설치시 인장재 파단 방지 : 발생 토압 및 장래 발생 상재하중 고려
- ⑦ 휨 모멘트에 의한 널말뚝 파손 방지 : 발생 휨 모멘트 비교 단면계수 부적정
- ⑧ 전체 사면활동 파괴 고려 : 적정 강도정수 적용 및 사면안정 검토

### 3. 말뚝을 사용하지 않을 경우 BOX구조물의 기초형식

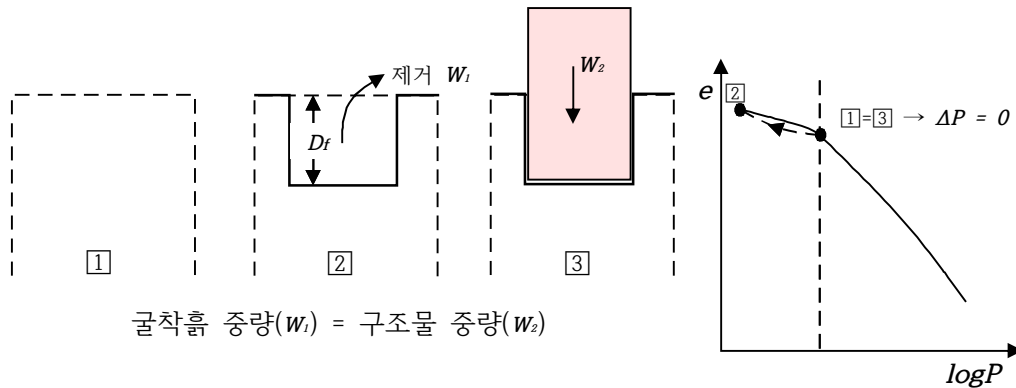
#### ① 전면 기초(Mat기초) 채택

기초 바닥면적이 전체 구조물의 면적의 2/3이상을 차지하는 것으로 연약점토지반으로 기초 지반의 지지력이 작은 경우에 해당된다 할 것이므로 개개의 푸팅을 하나의 큰 Slab로 연결하여 **지반에 작용하는 접지압을 감소시켜 상부구조물을 단일 Mat로 지지함이 바람직 할 것으로 판단됨.**

#### ② 강성 또는 연성기초의 채택

구 분	전면 기초	
	강성기초(Rigid Foundation)	연성기초(Flexible Foundation)
기초강성	지반강성 < 기초강성	지반강성 > 기초강성
침하조건	일정 변형율	자유 변형율
장 점	① 접지압계산 용이 ② 강성기초의 경우 실제와 유사	① 지반과 구조물 상호작용 고려 ② 합리적인 접지압 분포 산출
단 점	① 지반 - 구조물 상호작용 무시 ② 침하검토 추가 필요	① 지반반력 계수 필요 ② 스프링을 독립적으로 취급
적 용	① 독립기초 ② 단경간 BOX ③ 용벽기초	① 지중구조물 ② 전면기초 ③ 다경간 BOX

#### ③ 위 조건 충족시 부력기초를 고려한 지지력 및 침하량 산정



굴착흙 중량( $w_1$ ) = 구조물 중량( $w_2$ )

$$\Delta H = S = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad \text{에서 } \Delta P = 0 \quad \text{므로 } S = 0$$

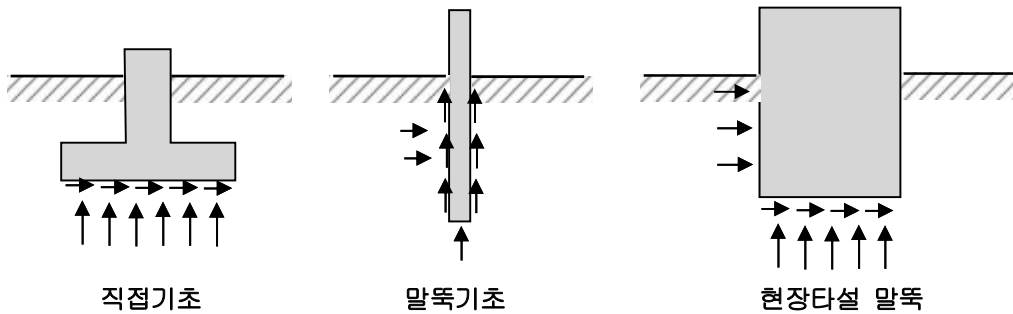
### 문제 3. 현장타설말뚝에 대하여 다음사항을 설명하시오

- 1) 암반에 지지된 경우의 연직하중 지지개념
- 2) 풍화암 및 암반에서의 지지력 산정방법
- 3) 시공시 예상되는 문제점과 대책방안

#### 1. 현장타설 말뚝의 암반지지 연직하중 지지개념

- ① 지지층 심도가 깊고 상부하중이 큰 경우 기초의 강성(EI)이 크게 요구되므로 현장 타설말뚝이 필요함.
- ② 저소음, 저진동 공법으로 도심지에서 적용시 유리함.
- ③ 암반지지 연직하중 지지개념

타입기성말뚝은 지반 내부에 타입하여 주변지반을 다지면서 설치되는 현장타설 콘크리트 말뚝 기초는 지반에 구멍을 파거나 뚫어 그 속을 콘크리트로 채워 설치되므로 선단지반이나 그 주위의 지반을 다지는 것이 아니라 오히려 팽창시켜서 느슨하게 만들어 그 지지력의 값을 감소시키는 경향이 있다.



구 분	직접기초	말뚝기초	현장타설 말뚝
수평지지	×	○	○
마찰지지	×	○	×
전단지지	○	×	○
연직지지	○	○	○

- 측면마찰 고려 기초 : 타입식 말뚝      - 측면마찰 무시 기초 : 직접기초, 케이슨 기초, 현장타설 말뚝

#### 2. 풍화암 및 암반에서의 지지력 산정방법

##### ① 총 괄

추정에 의한 방법	현장시험에 의한 방법	재하시험에 의한 방법
① 선단 지지력에 의한 방법	공내 재하 시험	정 재하, 동 재하시험
② 암과 콘크리트의 부착에 의한 방법		

##### ② 선단 지지력에 의한 방법

###### ① 일축압축 강도 고려

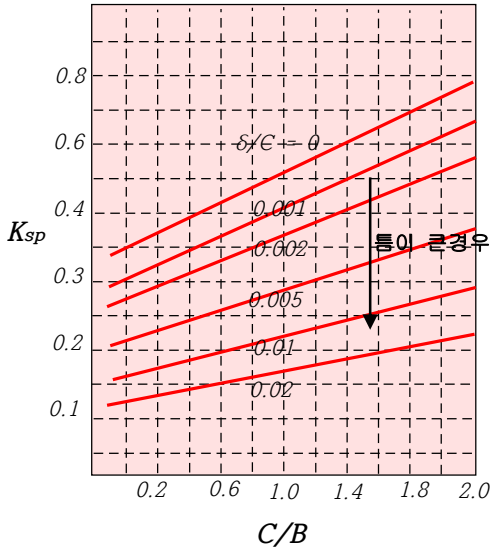
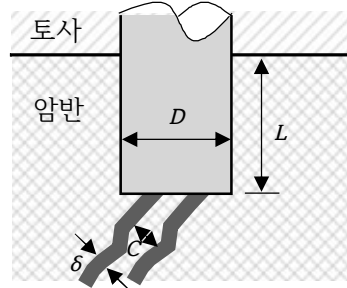
$$q_a = \left( \frac{1}{5} \sim \frac{1}{8} \right) q_u$$

여기서,  $q_a$ : 허용 지지력(t/m<sup>2</sup>)       $q_u$ : 일축 압축 강도(t/m<sup>2</sup>)

② 일축 압축 강도, 불연속면 간격과 틈 고려

$$q_a = K_{sp} \cdot q_u \cdot d \text{ (t/m}^2\text{)}$$

여기서,  $K_{sp}$ : 암반 상태에 따른 계수  
 $d$ : 근입깊이 계수 ( $0.8+0.2L/D \leq 2$ )  
 ( $L$ :  $q_u$ 가 적용된 암반속 말뚝 길이)



$0.05 < C/B < 2.0$   
 $0 < \delta/C < 0.02$  에서 유효함

$$K_{sp} = \frac{3 + C/B}{10 \sqrt{1 + 300 \frac{\delta}{C}}}$$

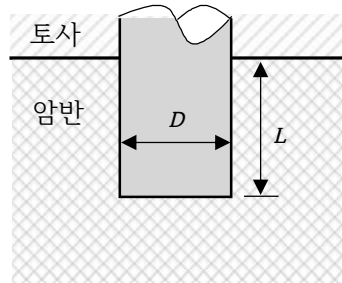
$C$ : 불연속면의 간격  
 $\delta$ : 불연속면의 틈새  
 $B$ : 푸팅 폭

※  $K_{sp}$ 는 후팅크기와 불연속면의 특성을 감안하여 결정되는 값으로 안전율 3을 포함한 값이다.

③ 암과 콘크리트의 부착에 의한 방법

$$q_a = \pi \cdot D \cdot L \cdot f_a \text{ (ton)}$$

여기서,  $L$ : 암속의 말뚝 길이  
 $f_a$ : 허용 부착 강도 (콘크리트 강도의 약 3%)

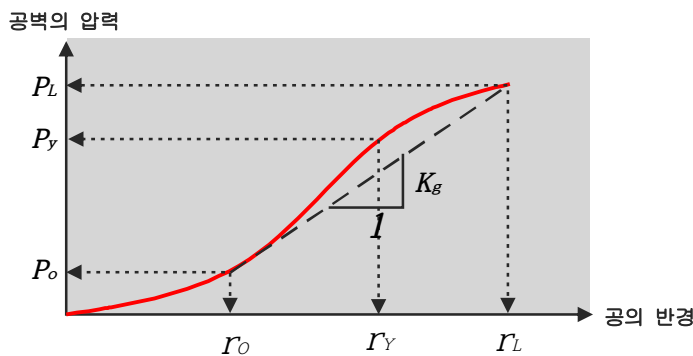


④ 공내 재하시험

① 선 단 :  $q_u = P_o + K_g(P_L - P_o)$

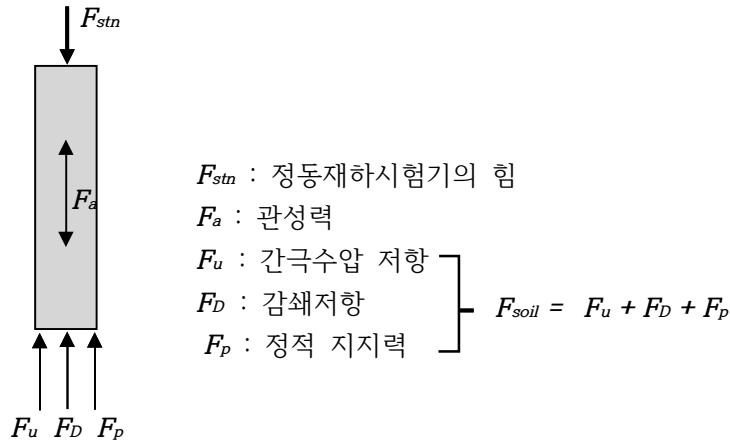
② 주 면 : 한계압에서 추정( $P_L$ )

※ 현장타설 말뚝 :  $q_u = q_p \cdot A_p + q_s \cdot A_s = [P_o + K_g(P_L - P_o)] A_p + P_L \times A_s$



5 기타시험 : 정 · 동재하 시험, Osterberg 재하시험

① 정 · 동재하시험의 Modeling



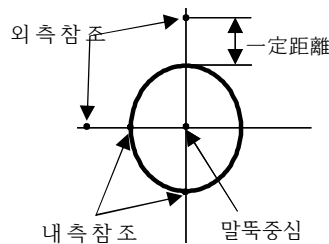
※ 평형 방정식 → 등가 정재하시험 곡선 (equivalent static curve 또는 derived static curve)

$$F_{stn} = F_{soil} + F_a = F_u + F_d + F_p + F_a$$

3. 시공시 예상되는 문제점 및 대책

1 말뚝의 간격과 배열 : 장비이동 및 설치방법

- ① 작업장은 균일하게 정지해 놓는다.
- ② 지중 매설물에 대해서는 이설 또는 방호 조치
- ③ 기계를 수평으로 하여 말뚝중심에 설치한다.
- ④ 작업중 기계가 기울어져 말뚝이 경사지거나 편심을 받을 우려가 있거나 CASING TUBE 인발시 인발 반력에 따른 설치지반의 지내력이 부족할 경우에는 복공판 등으로 보강한다.
- ⑤ 정확한 말뚝중심과 굴착 중심을 일치시키기 위하여 미리 지상에 중심점을 기준으로 CASING TUBE와 외주를 그려놓고 그림과 같은 참조말뚝을 설치하여 굴착 작업시 편심의 유무를 확인한다.



참조말뚝의 배치

2 굴착시 주의사항

- ① 지하수위 이하의 사층 또는 자갈층을 굴착할 경우에는 공내수위를 유지하여야 한다.
- ② 구조물에 근접해서 시공할 경우에는 PILE 주변 지반이 연약해지는 것을 방지하기 위해 굴착기가 CASING TUBE 선단보다 앞서는 것을 가능한 피해야 한다.
- ③ 굴착중 지중으로 부터 천연가스 분출에 충분히 주의해야 한다.
- ④ 말뚝 선단지반의 연약화(굴착에 의한 지반응력의 해방과 굴착기의 충격 보링현상)  
굴착중 공내수위 유지와 단단한 지층을 굴착할 경우 HAMMER GAB 및 CHISEL의 낙하고를 줄여 시공하고 필요시에는 BASE GROUTING을 실시하여 말뚝선단 지반을 보강할 수 있다.
- ⑤ 말뚝주변지반의 연약화
  - ㉠ 주원인 : CASHING SHOE의 외경과 CASHING TUBE외경과의 차이에 의한 공극과 CASHING 압입 보다는 굴착이 선행 → 공벽붕괴에 따른 공극, 굴착기 충격 및 진동, 느슨한 모래 지반에서 굴착시 간극 수압의 상승에 의한 유효응력 감소

㉞ 대책

: CASHING을 굴착보다 선행시키며 굴착 중 충격 및 진동을 최소화하는 방법 외는 없다.

⑥ 지지층의 확인 및 근입

㉟ 굴착기로부터 배출되는 토사를 확인

㊱ 굴착깊이 및 굴착속도를 참고하여 굴착토사와 지반조사자료를 비교

㊲ 관입깊이는 가능한 1.0m 이상 견고한 지반속에 관입시켜야 한다.

③ SLIME 제거

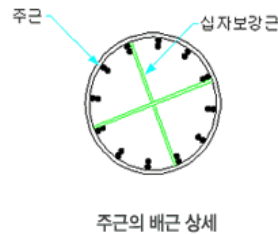
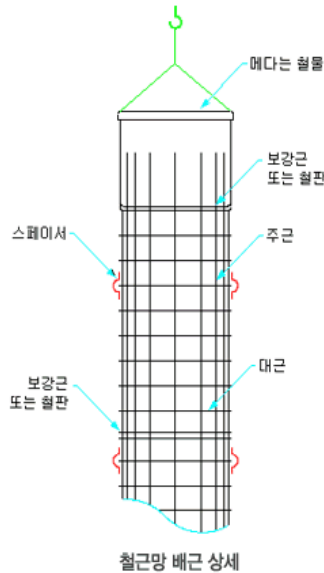
① 침전물은 상부구조물의 치명적인 침하가 발생하므로 어떤 방법으로든지 SLIME은 제거되어야 함.

② SLIME을 미제거후 콘크리트를 타설하게 되면, 말뚝의 지지력이 떨어지고 때로는 철근망을 밀어올리는 등의 피해가 발생하게 된다.

③ SLIME 처리방법은 굴착완료후 철망을 삽입하기 전에 처리하는 1차 처리와 콘크리트 타설직전에 하는 2차처리로 구분된다.

④ 철근망 공상방지 : Benoto 공법에 한함.

: 철근망 하부에 보강근 또는 철판을 부착하여 철근망이 뜨는 것을 방지한다.



⑤ 콘크리트 타설

① 트레미관에 의한 수중 콘크리트 타설

② 배합설계에 따른 품질 확보 (재료분리 방지와 유동성을 고려 필요시 혼화재 첨가)

③ 콘크리트 타설은 완료시까지 연속타설 되어 하며 트레미관이 콘크리트 속에 2.0m이상 묻혀 있도록 해야 한다.

④ 계산상 콘크리트 타설량과 실제 콘크리트 타설량을 비교하여 변화가 없는지 체크하여야 한다.

4. 평 가

① 암반에 대한 지지력을 산출하기 위해서는 NX 시추공에서의 Double core barrel로 시료 채취가 양호해야 됨.(불연속면 파악, RQD 에 의한 지지력 표 이용가능)

② 공내 재하 시험 실시 요망됨.

③ 일축압축강도 시험 실시하며 시료 성형이 어려운 경우 점하중 시험 실시함.

④ 근입깊이는 최소1m로 하며 1D 가 바람직함.

㉔ 연암은  $300\text{t}/\text{m}^2$  , 경암  $700\text{t}/\text{m}^2$  정도의 허용 지지력으로 판단됨

㉕ 현장타설 말뚝 자체의 강도가 가장 중요함.

문제 4. 축조한지 10년이 경과된 댐의 집수정에서 탁수발생과 누수량이 증가되고 있다 이러한 문제가 발생한 원인에 대하여 설계 및 시공측면에서 설명하고 대책을 기술하시오

## 1. 댐의 누수에 따른 제체의 안정성 평가

### ① 평가 항목

누수위치 → 누수량 → 파이핑 진행여부 → 간극수압 → 전단강도

### ② 조사

#### ① 기존자료 수집과 조사

설계보고서, 구조계산서, 지반조사 보고서, 설계도서, 시공시 변경사항, 관리시험 자료와 공시일지 검토 후 현장조사 시행

#### ② 누수와 관련한 현장조사

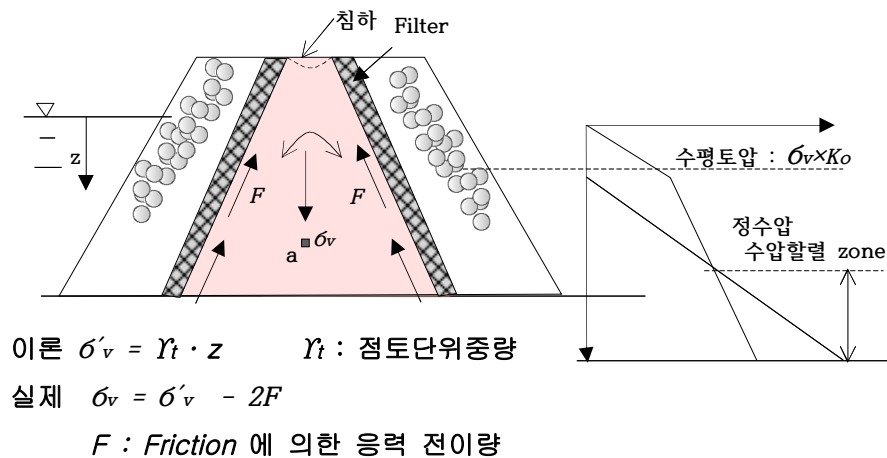
- ㉠ 제체에 대한 원인 조사
- ㉡ 기초지반에 대한 원인조사
- ㉢ 누수위치, 누수량, 간극수압의 이상유무와 날짜별 간극수압과 토압의 변화
- ㉣ 누수위치는 색소를 이용(Tracer)하거나 구멍이나 균열이 있는지 육안으로 상세 조사

#### ③ 사면안정과 관련한 현장조사

- ㉠ 사용재료에 대한 단위중량과 암석의 종류
- ㉡ 암석의 풍화상태, 변질도 조사
- ㉢ 토압계, 간극수압계등 계측자료 분석, 육안에 의한 붕괴흔적, 사면경사, 활동흔적등 조사

## 2. 댐의 누수원인 : 설계측면

### ① 지반조사 불량 → 기초지반 부등침하 → 수압파쇄 현상



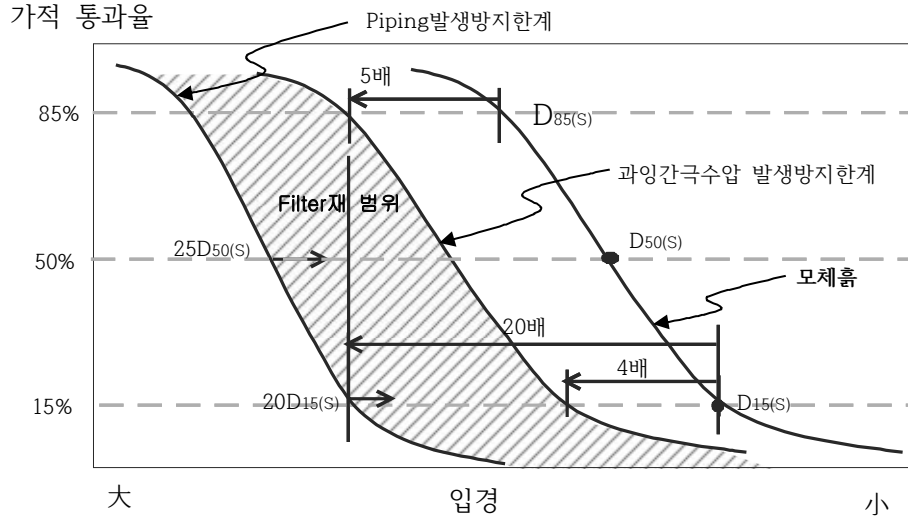
② 적정 댐 폭 부족

③ Filter 설계 부족





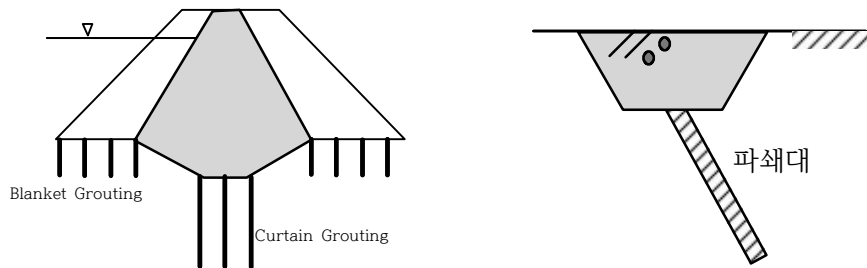
② 적정 필터 조건



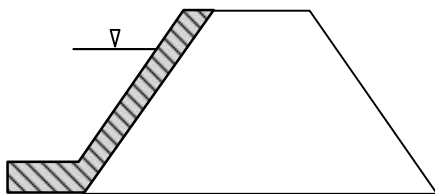
④ 적정 재료 → 다짐시공 : 심벽의 경우 OMC우측 습윤층 다짐 → 투수계수 저감

구 분	Core 재료	Filter
소성지수	PI > 10	NP
투수계수	$10^{-7}$ cm/sec	$10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec
입 경 통과율 (0.074mm체 통과율)	12%이상	5%이하
분 류	GM, GC, SM, SC	GW, GP, SW, SP
다 짐	OMC 습윤층	OMC

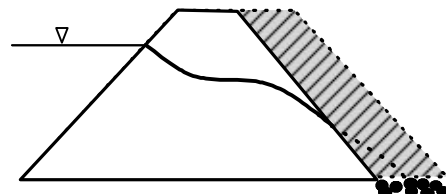
⑤ 제체와 기초처리 불량 : Curtain Grouting 및 파쇄대 처리



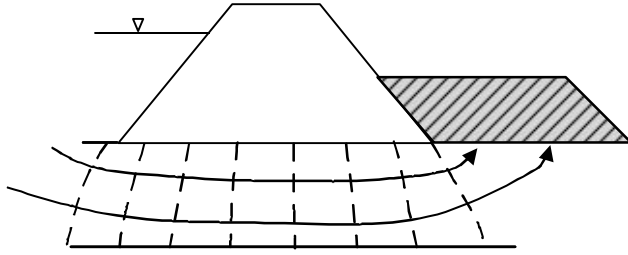
⑥ Blanket 설치



⑦ 제방쪽 증대 및 배수시설 설치



⑧ 압성토



⑨ 그라우팅 관리 철저 : 주입공 배치, 주입압, 주입량, 주입재료 등

5. 간극수압 측정의 중요성

① 시공중 : 간극수압이 발생하지 않도록 성토속도 조정

② 운영중

① Piping 안정성 평가

: 유선이 집중되면 간극수압이 높게 측정됨

② 상류사면 안정성 : 수위 급강하시

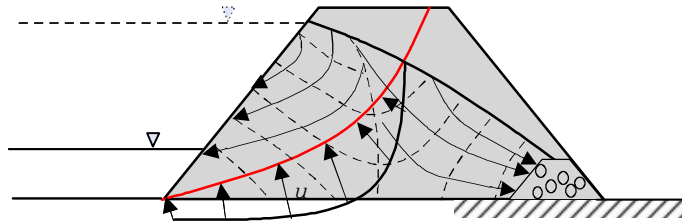
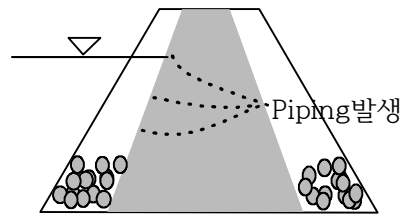
㉠ 수위 강하속도 > 심벽 배수속도가  
되므로

㉡ 심벽에 잔류수압이 존재하고 사면의  
파괴면내 중량이 무거워 지므로 사면안전율은 저하됨

㉢ 잔류간극수압은 간극수압계를 이용하여 구하며

㉣ 이론적으로 유선망으로 결정하거나 간극수압비( $B$ )로 개략적으로 결정할 수도 있다.

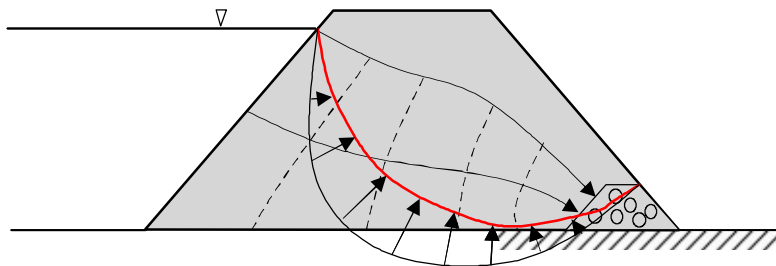
㉤ 제체의 안정성 평가는 유효응력 해석이나 간극수압은 고려하지 않고 압밀 비배수 시험으로 정한  $C_{cu}$ ,  $\phi_{cu}$  값을 적용하여 해석한다.



③ 정상침투시의 간극수압 결정

㉠ 정상침투시 간극수압의 분포는 그림과 같으며  $c'$  값이 습윤시 보다 50%정도 저하 된다.

㉡ 사면안정해석 : 유효응력 해석

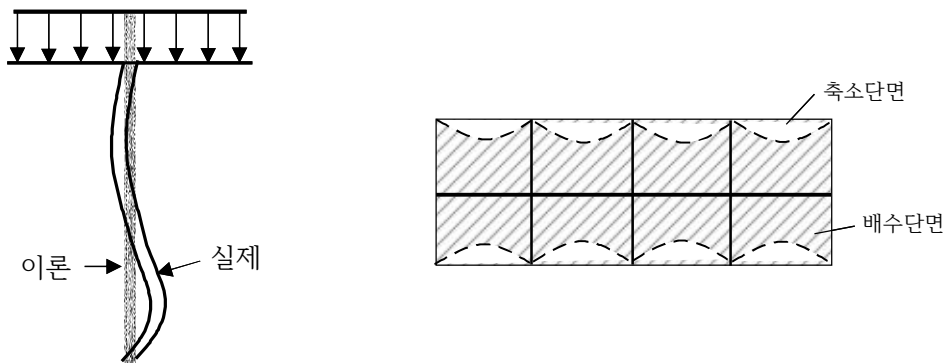


문제 5. 웰 저항(Well resistance)은 플라스틱보드드레인(PBD)공법의 배수성  
 등에 매우 중요한 영향을 미치는 요인이다. 다음사항에 대하여 설명하시오

- 1) 웰 저항 영향 요인
- 2) 웰 저항에 따른 압밀지연 특성
- 3) 웰 저항의 영향 산정방법

### 1. 웰저항 영향요인

- ① 웰 저항이란 연직배수재의 방사선 방향 즉, 수평방향만의 투수를 고려하고 연직방향의 투수계수는 압밀과정에서 일정하다고 가정하나
- ② 실제로는 다음과 같은 이유로 연직방향 투수계수 저하로 압밀이 지연되는 현상을 말한다.
  - ① 측압
  - ② 절곡
  - ③ Clogging(작은 입자에 의해 막힘)



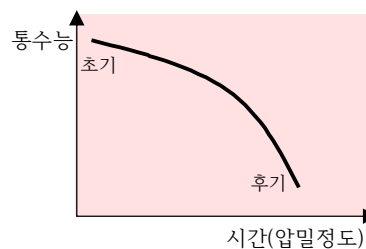
### ③ 웰저항의 영향요인

- ① 배수재의 투수계수, 단면, 길이에 따라 영향을 받음
- ② 원지반의 수평방향 투수계수에 따라 영향을 받음
- ③ 배수재의 투수계수가 원지반의 투수계수보다 1000배 이하이면 *Well resistance*을 고려하여야 한다.

### 2. 웰저항에 따른 압밀지연 특성 = 통수능에 영향요인

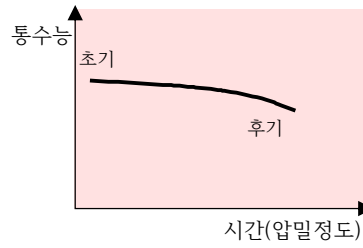
#### ① 기포에 의한 영향

- ① 초기 : 과잉간극수압보다 상대적으로 공기량이 적어 영향 적음.
- ② 후기 : 잔류 과잉간극수압보다 상대적으로 공기량이 많으므로 영향이 큼



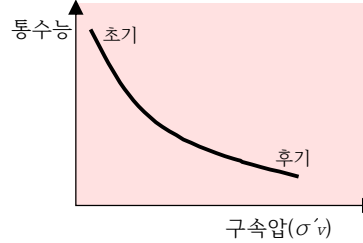
② 경과시간에 의한 영향

- ① 시간경과에 따라 일부 감소  
: Clogging 때문
- ② 시간영향 : 10~20%/월



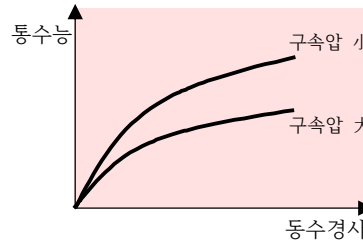
③ 구속압 영향

- ① 구속압 증가에 따라 급속히 감소함
- ② 따라서 심도 20m이하의 연직배수재에 대한 통수능영향 요인 적용필요



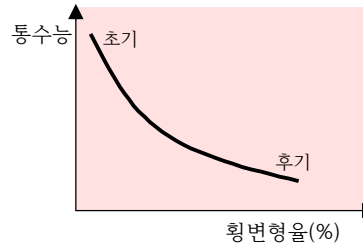
④ 동수경사에 의한 영향

- ① 동수경사가 크면 : 통수능 커짐
- ② 구속압이 커지면 통수능은 작아짐



⑤ 횡방향 변형에 의한 영향

- ① 만곡형 비교 국부적 꺾임영향이 통수능 저하에 영향이 큼



3. 웰저항 영향 산정방법

① 제안자에 따른 Well 저항 및 Smear Effect 고려여부

영 향 요 인	제안자			
	Barron (1948)	Hansbo (1981)	Yoshikuni (1979)	Onoue (1988)
Smear Effect	미고려	고려	미고려	고려
Well Resistance	미고려	고려	고려	고려

② Hansbo 의 식

- ① Well 저항 및 Smear Effect 를 모두 고려한 압밀도 사용

$$U_h = 1 - \exp(-8T_h / \mu_{sw})$$

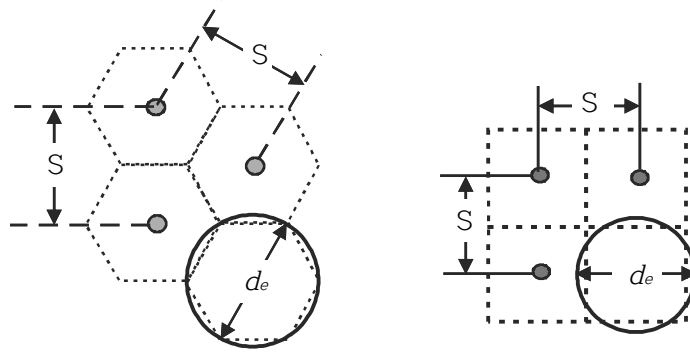
여기서,  $U_h$  : 수평방향 평균 압밀도  
 $\mu_{sw}$  : 타설간격, Well 저항 및 Smear Effect 을 고려한 계수

$\mu_{sw}$  = 타설간격 영향 + *Smear Effect* + *Well* 저항 영향

$$\mu_{sw} = \left( \ln \frac{d_e}{d_w} - 0.75 \right) + \left( \frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln \frac{d_s}{d_w} + \left( \pi Z(L - Z) \frac{K_h}{q_w} \right)$$

여기서,  $d_e$  : 영향원 직경(등가유효직경)

- 정 삼각형 배열 :  $1.05S$     - 정 사각형 배열 :  $1.13S$



$d_w$  : 배수재의 직경

$K_h$  : 연약층의 수평방향 투수계수

$K_s$  : *Smear Zone* 의 투수계수

$d_s$  : *Smear Zone* 의 직경 두께

$Z$  : 드레인의 배수거리

$L$  : 드레인의 길이

$q_w$  : 배수재의 통수능력

② 시간계수(Time factor)

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{d_e^2}$$

여기서,  $C_h$  : 압밀계수     $t$  : 침하소요 시간     $d_e$  : 배수거리

③ 연직방향과 수평방향의 배수효과를 고려한 평균 압밀도

$$U_{ave} = 1 - (1-U_v)(1-U_h)$$

④  $K_s$  와  $d_s$  의 결정

㉠ 현장시험을 통한 결정

- 교란범위 : *Cone* 관입시의 유효응력과 과잉간극수압을 이용하여 가정.

- 투수계수 : 실내모형시험후 수평으로 채취된 시료에 대하여 수평투수시험 또는 수평으로 채취된 시료로 압밀시험을 실시하여 투수계수 산정

㉡ 개략적인 범위

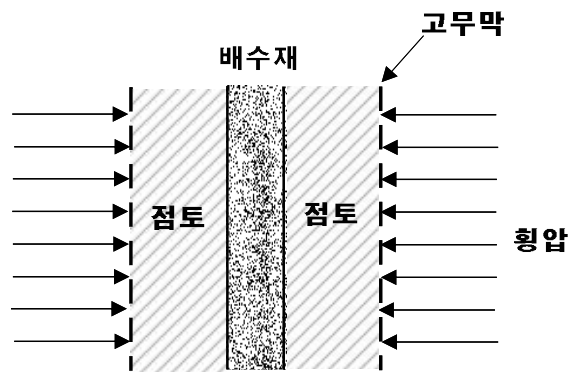
- 교란범위 : 맨드릴 직경의 3~4배

- 투수계수( $K_s$ ) : (1/3~1/5) 불교란 시료의 투수계수

⑤ 배수재의 통수능력(*Delft* 시험기준) :  $q_w$

- 배수재 주위를 고무 멤브레인으로 설치

- 멤브레인과 배수재사이를 점토로 채움
- 타설심도 측압의 2배를 가함
- 시험조건 : 직립조건, 20% 자유변형조건



#### 4. 평 가

① *Well resistance* 고려

: 배수재의 투수계수가 원지반의 투수계수보다 1000배 이하인 경우

② *Well resistance* 이 *Smear Effect* 영향보다 큼에 유의

- ① 압밀과정 : 찢김, 절곡, 측압에 의한 통수단면 축소, 시간경과시 *Clogging*
- ② 심도가 증가할수록 *Well resistance* 증가

③ 교란의 최소화 대책

- ① 단면이 작은 것 사용 : *Sand drain* → *Pack drain*
- ② 타입장비 : 교란이 최소화 되는 장비선정

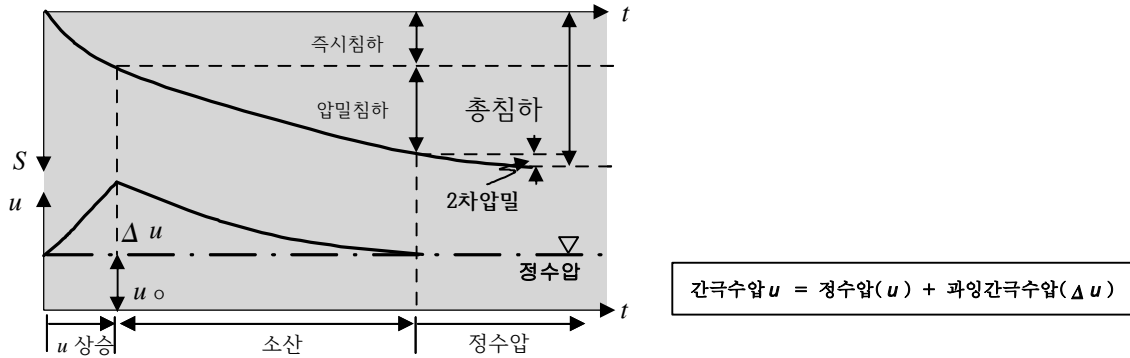
④ 통수능시험 실시 (*Well resistance* 고려) → 적정  $q_w$  적용

⑤ *Sand Mat* 재료 : 적정 투수계수 확보

문제 6. 압밀침하현상에 대하여 1차압밀이 종료된 후 2차압밀이 발생한다는 가정 A(Hypothesis A)와 2차 압밀은 1차압밀과 관계없이 압밀전체의 과정동안 발생한다는 가정 B(Hypothesis B)가 있다. 두 가정에 대하여 설명하시오

### 1. 2차 압밀이란

과잉간극수압 소산 후 점토 Creep에 의한 입자 재배열로 인한 침하

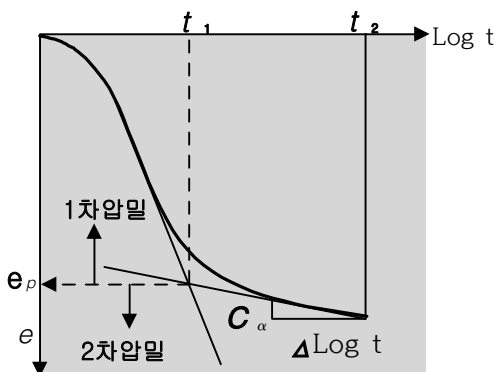


### 2. 2차 압밀에 대한 가정

구 분	가정 A	가정 B
크리크 변형 유발시점	1차압밀 종료후	압밀전체과정(1차압밀중 유발)
응력-변형률 관계	EOP(End of primary consolidation)에서 유효응력-변형률곡선은 일정함.	압밀시간에 의존 시료두께에 의존
시료두께의 영향	없음	시료두께가 커지면 침하량 커짐
침하량 계산	전체침하량 = 1차압밀침하량+2차압밀침하량	수치계산 필요

### 3. 2차압밀 침하량

① 침 하 량



2차 압밀침하량 관계식

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1+e_p} \times H \times \text{Log} \frac{t_2}{t_1}$$

여기서

$$C_\alpha = \frac{e_p - e}{\Delta \text{Log} t}$$



## ② 침 하 특 성

- ① 연약한 점토층일수록 크다
- ② 소성( $Pt$ )이 클수록 크다
- ③ 점토층 두께가 두꺼울 수록 크다
- ④ 유기질( $Pt$ )이 많을수록 크다

## 4. 평 가

- ① 보통점토의 경우에 압밀시험에서 24시간을 재하하면 2차압밀침하까지 침하되므로
- ② 별도로 2차압밀침하를 고려할 필요는 없으나
- ③ 소성이 매우 큰 점토(CH),유기질토 등은 반드시 고려하여 침하량을 산정해야 한다.
- ④ 설계예측 침하량과 시공계측침하량의 차이는 주로 시료의 교란으로 인한 압축지수의 과소평가등 물성치의 부정확성에 의해 기인되나 또다른 원인으로 2차 압밀침하에 대한 해석방법에 기인하기도 한다.
- ⑤ 국제 지반공학회에서 논리적으로 틀렸다고 인정되는 아래 A가정이 현재까지 대부분의 설계회사에서 사용하고 있는 실정에서 연약지반의 압밀침하거동을 간편하게 예측할 수 있는 시스템 개발이 절실히 필요한 실정이다.

## 4교시

문제 1. 포화된 점성토지반의 시공현장에서 발생할 수 있는 모든 외력조건에 따른 삼축압축시험결과의 활용방법에 대하여 설명하시오

### 1. 개요

- ① 삼축압축 시험은 현장의 응력상태와 배수조건을 최대한 재현한 시험으로 전단강도를 얻기 위한 시험중 가장 신뢰성이 확보되는 시험이다.
- ② 임의지점 시료를 채취하여 시험기에 넣고 구속압력( $\sigma_3$ )을 일정하게 가한다음 축차응력을 추가하여 시료를 파괴시키며 이때의 응력상태를 Mohr원에 대입하여 강도정수를 구하는 시험이다.

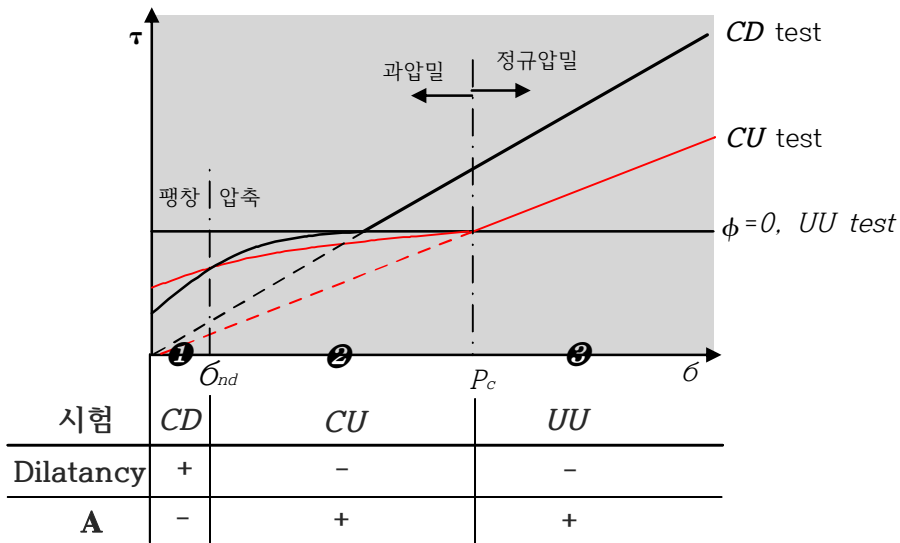
### 2. 포화된 점성토 지반의 외력조건별 삼축압축시험의 종류

#### ① 구속압력 선정방법에 따른 구분

- ① 전응력 시험 : 전응력으로 토피하중을 가감 (UU, CU)
- ② 유효응력 시험 : CU시험, CAU시험, CD시험

#### ② 선행압밀하중 크기에 따른 시험의 적용

##### ① 시험의 적용



##### ② 강도정수와 해석법 적용

구분	① : $0 \sim \sigma_{nd}$	② : $\sigma_{nd} \sim P_c$	③ : $P_c$ 이상
시험법	CD	CU	UU
강도정수	$C_d, \phi_d$	$C_{cu}, \phi_{cu}$	$\phi = 0, \tau = S_u$
해석법	유효응력	유효응력	전응력 해석
Dilatancy	+	-	-
간극수압 계수	-	+	+

③ 배수조건에 따른 구분

구분	압밀단계	전단시	적용
비 압밀 비 배수시험 : UU test (Unconsolidation Undrain test)	비 배수	비 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>점토지반에 급속성토 (성토직후 사면안정)</li> <li>절토중 사면안정</li> <li>단계성토 직후</li> <li>UU조건 기초 지지력(점토지반)</li> </ul>
압밀 비 배수시험 : CU test, $\overline{CU}$ test (consolidation Undrain test) - 등방 : CIU, $\overline{CIU}$ - 비등방 : CAU, $\overline{CAU}$	배수	비 배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>압밀된 지반에 단계성토 직후</li> <li>수위 급강하</li> <li>자연사면 위 성토</li> </ul>
압밀 배수시험 : CD test (consolidation drain test)	배수	배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>완속 성토</li> <li>장기 사면해석</li> <li>과 압밀 점토지반 사면해석</li> <li>정상 침투</li> <li>모래지반 안정해석</li> </ul>

3. 시험 결과의 활용

① C와  $\phi$ 를 이용  $\rightarrow$  토압, 기초의 지지력, 사면안정해석 적용

② 강도 증가율 추정 :  $\alpha = C_u / P'$   $\rightarrow \Delta C = \alpha \cdot \Delta P \cdot U$

① CU시험에 의한 경우(Leonards)

$$\frac{C_u}{P'} = \frac{\sin \phi' [K_o + A(1-K_o)]}{1 + (2A_r - 1)\sin \phi'} \quad A_r = 1 \text{이면} \quad \alpha = \frac{\sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$$

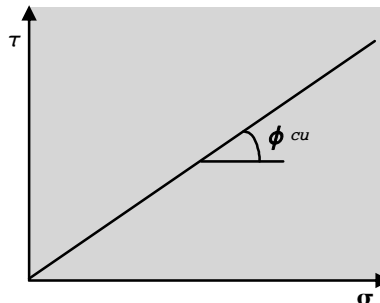
여기서,  $K_o$  : 정지토압계수

$\phi'$  : 압밀비배수시험에 의한 유효응력으로 표시한 전단저항각

$A_r$  : Skempton의 파괴시의 간극수압계수

② CU 시험에 의한 경우

$$\alpha = \frac{C_u}{P'} = \tan \phi_{cu}$$



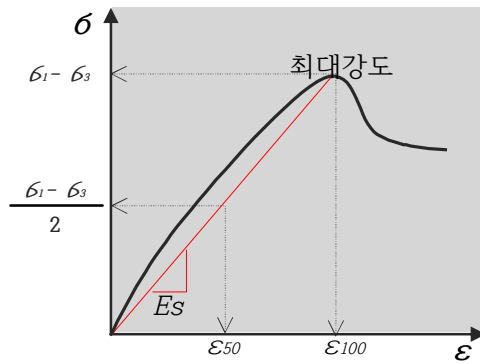
③ 간극수압계수 : 간극수압 계산에 사용

$$\Delta U = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

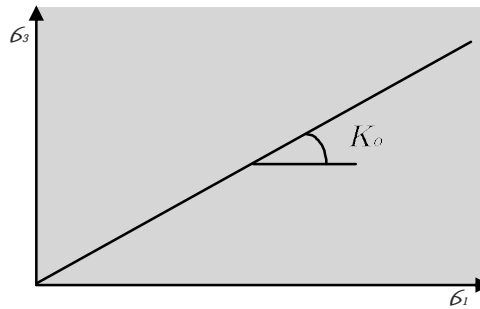
④ 변형계수를 추정 : 최대압축응력의 1/2되는 곳의 응력과 변형율의 비, 즉 기울기임

$$E_s = \frac{q_u}{\epsilon_{50}} = \frac{q_u}{2\epsilon_{50}}$$

단위 : kg/cm<sup>2</sup>



⑤ 정지토압 계수 산정 ( $K_o = \sigma_3/\sigma_1$ )



⑥ 정규압밀과 과압밀 상태 구분

구 분		정규압밀 점토	과압밀 점토	비 고
물리적 특 성	액성지수	LI ≒ 1.0	LI ≒ 0	
	간극수압계수	$A_v \approx 1.0$	1.0이하	$\overline{CU}$ 시험
	정지토압계수	$K_o = 0.4 \sim 0.6$	$K_o = 0.5 \sim 1.0$	
	체적변화	압축	팽창	CD시험
	간극수압변화	증가	감소	$\overline{CU}$ 시험
공학적 특 성	전단강도	작다	크다	
	투수성	작다	작다	
	압축성	크다	작다	
	밀 도	작다	크다	
	변 형	크다	작다	

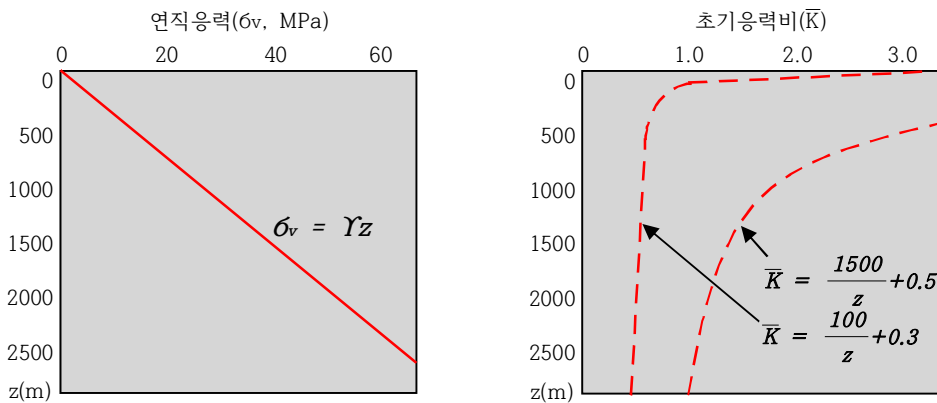
**문제 2. 균질하고 등방인 암반에 원형단면의 터널을 굴착하였을 경우 굴착면 주변에 발생하는 응력에 대하여 탄성 및 탄소성상태로 구분하여 설명하시오**

**1. 개요**

- ① 터널굴착시에 굴착부 주위의 변위는 초기지압에 의해 변형이 발생한다.
- ② 터널의 굴착중 변위는 초기지압과 관계하며 초기지압과 지반강도정수, 대칭여부, 터널의 크기, 형상 등에 따라 달라진다.
- ③ 그러므로 안정성이 확보된 터널을 설계하기 위해서는 초기지압에 따른 2차응력을 적절히 분석하여야 하며 터널굴착에 따른 응력재분배를 고려하여야 한다.

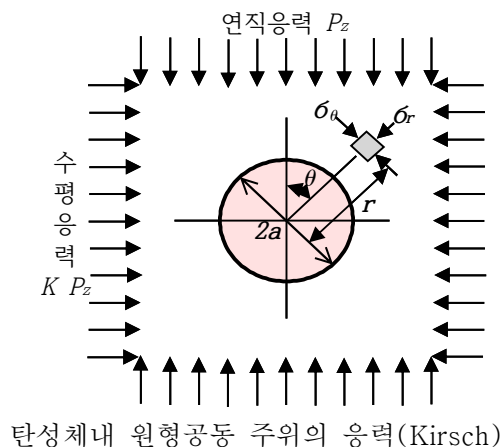
**2. 굴착전 초기지압(1차응력) : 수평지층 조건**

- ① 연직응력 : 암반의 단위중량에 해당깊이를 곱한 값과 일치
- ② 수평응력 : 수평응력은 연직응력보다 훨씬크거나 더 작은 경우도 있으며 심도가 낮은 위치에서 그 경향은 심함.



**3. 굴착후 터널 주변 응력 : 2차 응력(유도응력)**

- ① 등방조건 2차원 완전 탄성체로 가정한 경우 본원형공동 주위의 응력



- ① 반경방향 응력

$$\sigma_r = \frac{1}{2} P_z \left[ (1+K) \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + (1-K) \left(1 - 4 \frac{a^2}{r^2} + 3 \frac{a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right]$$

② 접선방향 응력

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} P_z \left[ (1+K) \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) + (1-K) \left(1 + 3 \frac{a^4}{r^4}\right) \cos 2\theta \right]$$

③ 위의 식에서 공동경계 즉,  $r = a$  일 때 접선방향 응력은 다음과 같다.

$$\sigma_\theta = \sigma_v \left[ (1+K) - 2(1-K) \cos 2\theta \right]$$

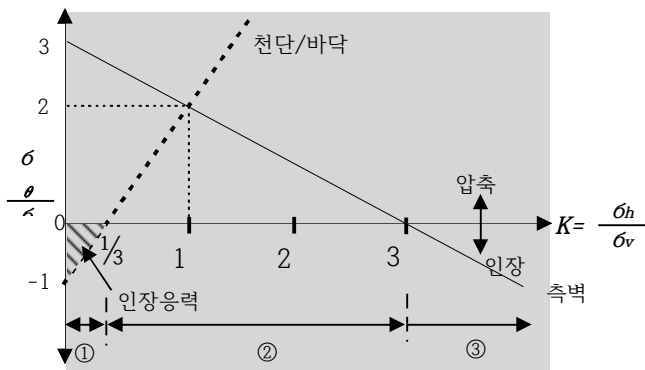
④ 공동위치별 접선방향 응력

㉠ 공동천단 및 바닥 :  $\theta = 0^\circ$  및  $180^\circ$

$$\sigma_\theta = \sigma_v (3K - 1)$$

㉡ 공동측벽 :  $\theta = 90^\circ$  및  $270^\circ$

$$\sigma_\theta = \sigma_v (3 - K)$$



①		$K < 1/3$
②		$1/3 < K < 3$
③		$K > 3$

⑤  $K < 1/3$

㉠ 측벽 : 압축응력 발생, 소성영역 발생 ㉡ 천장, 바닥 : 인장응력 발생으로 주보강 대상

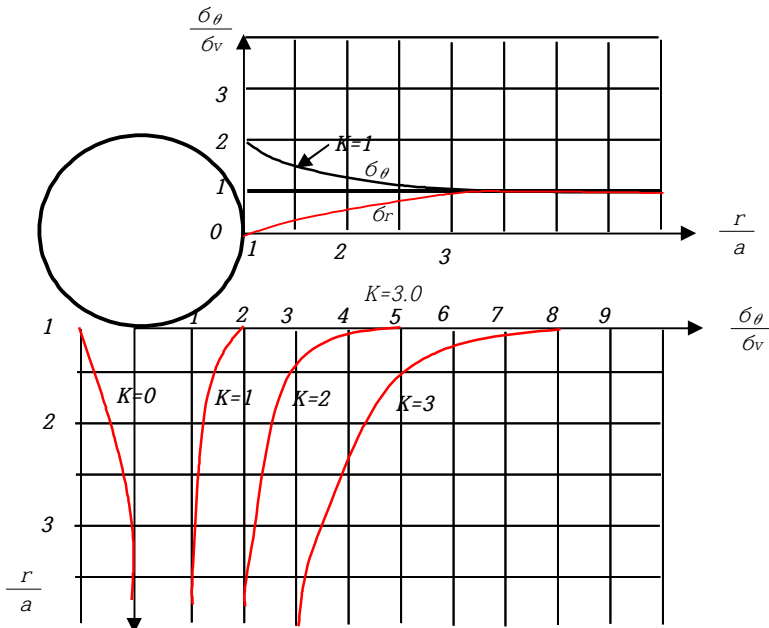
⑥  $1/3 < K < 3$

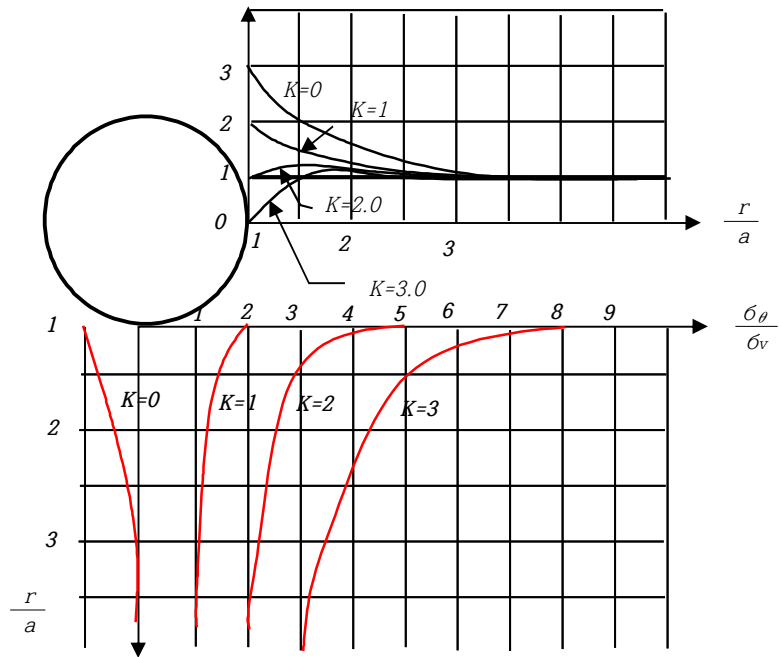
㉠ 측벽 : 압축응력 발생, 소성영역 최소 발생 ㉡ 천장, 바닥 : 압축응력 발생, 소성영역 최소 발생

⑦  $K > 3$

㉠ 측벽 : 인장응력 발생가능, 주보강 대상 ㉡ 천장, 바닥 : 압축응력 발생, 소성영역 발생

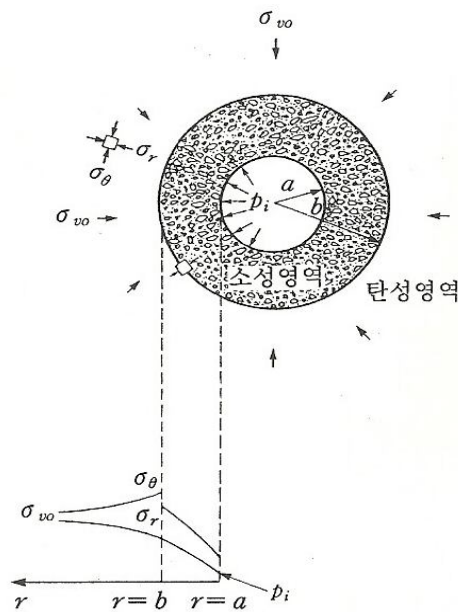
⑧ 공동벽체 이격거리에 따른 응력거동





탄성지반에서 원형공동주변의 응력도(Brady, Brown)

② 탄소성상태의 터널 주변응력 해석

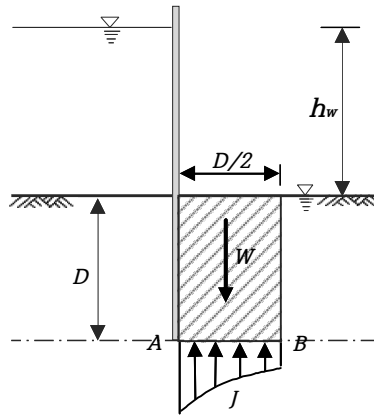


① 굴차면 주변의 응력상태

- ㉠ 반경방향응력은 0이거나 지보재를 설치할 경우  $P_i$ 와 같다
- ㉡ 접선응력은 초기응력보다 작게된다
- ㉢ 반경방향 응력과 접선방향 응력은 터널반경의 약 4.5배가 되면 평형을 이룸
- ㉣  $r = b$ 에서 접선방향의 응력은 최대가 된다.
- ㉤ 반경방향의 응력  $P_i$ 를 가하지 않는다면 터널직경의 2.5D에서 최대응력이 발생하며 이후 영역은 탄성영역이 된다.



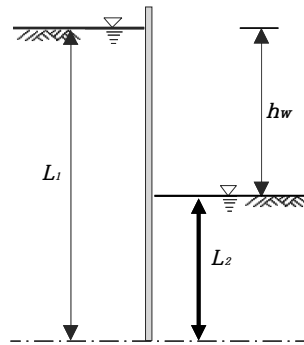




② 한계동수경사에 의한 방법

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{\frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w}}{\frac{h_w}{\sum L}} = \frac{\frac{G_s - 1}{1+e}}{\frac{h_w}{(L_1 + L_2)}}$$

※ 물이 흐른 거리를 최단거리로 놓고 계산함



③ 한계유속에 의한 방법

동수경사가 커지면 유속이 빨라지는데 파이핑이 발생하는 경계의 유속을 한계유속이라 한다

① 한계유속

㉠  $V_c = 5 \times 10^{-2} \times k^{\frac{1}{3}} \text{ (m/sec)}$

㉡ 입자의 지름과 한계유속 : 도표를 이용(Justin 방법)

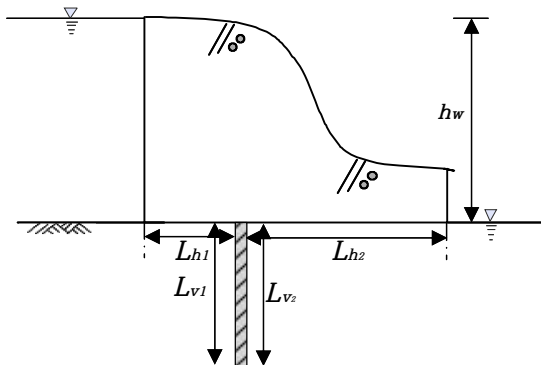
입자의 지름(mm)	한계유속(cm/sec)
5.0	22.86
1.0	10.22
0.01	1.02

② 현재의 유속 : 동수경사를 구한다 → 유출속도 → 간극률을 고려한 침투속도

③ 판정 : 현재의 유속과 한계유속을 비교하여 파이핑 판단

※ 실무에서는 유선망, 침투해석 프로그램을 이용하여 유속을 구함

④ Creep 比法



$$C_c = \frac{\frac{\sum L_{h1}}{3} + \sum L_{v1}}{h_w}$$

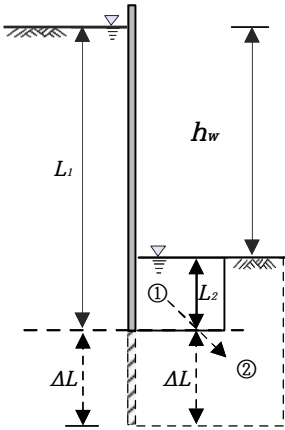
※  $C_r$  값이 클수록 안전함

윗식에서 가장 짧은 유선이 45°보다 가파르다면 연직으로 간주하고 45°보다 완만하다면 수평거리로 간주하여 유선의 최소거리로 계산한다.

### 3. Piping 발생 방지대책

#### 1 토 류 벽

##### 1 근입깊이 연장



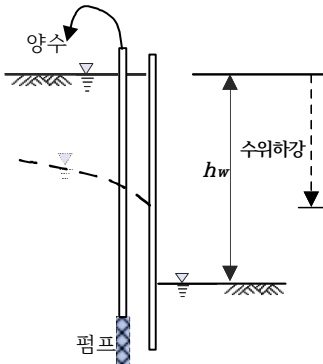
㉠ 저항영역 증대 : 1 ⇒ 2

㉡ 공식에서 안전율은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{\gamma_{sub}}{\frac{\gamma_w}{\Sigma L}} = \frac{G_s - 1}{\frac{1+e}{h_w} (L_1 + L_2)}$$

※ 그러므로  $\Sigma L$ 을 증가시키면 안전율은 커진다 .

##### 2 배수공법 : Well Point공법, Deep Well 공법

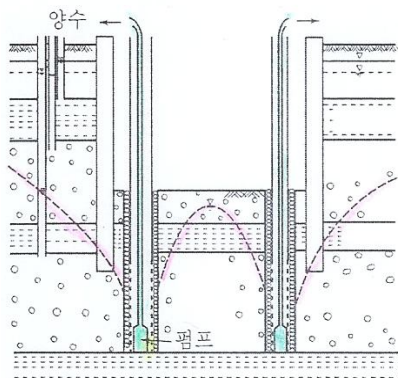


㉠ 배수공법으로 지하수위를 감소시키면

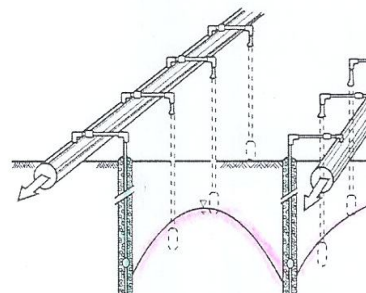
㉡ 공식에서 안전율은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{\gamma_{sub}}{\frac{\gamma_w}{\Sigma L}} = \frac{G_s - 1}{\frac{1+e}{h_w} (L_1 + L_2)}$$

※ 그러므로  $h_w$ 을 감소시키면 안전율은 커진다.

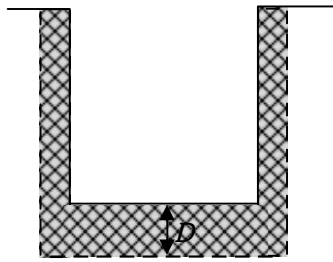


Deep Well 공법



Well Point 공법

③ 저면 및 배면 Grouting (지수공법) : SGR, LW, JSP



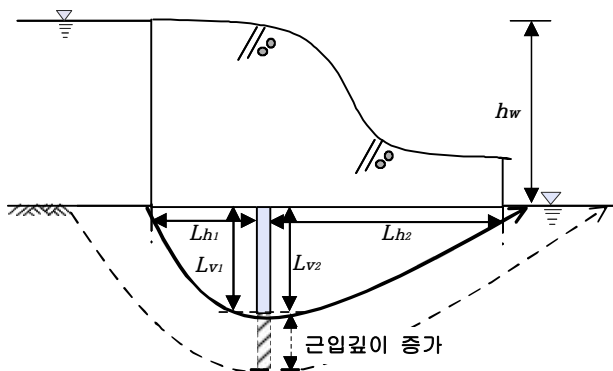
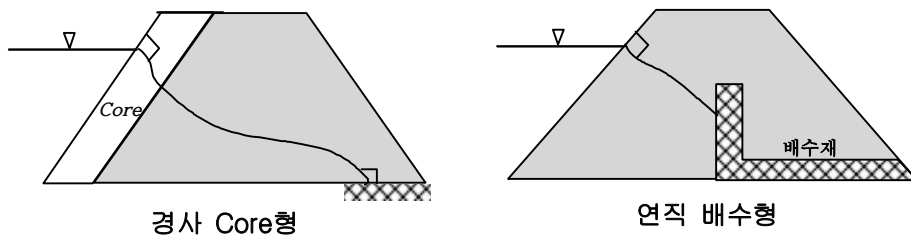
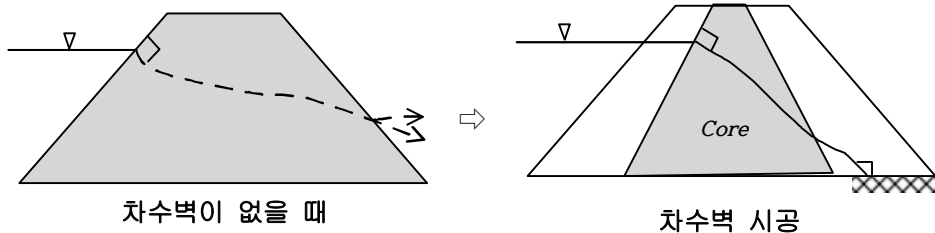
㉠ 테르자기 파이핑 안전율 공식

$$F_s = \frac{W}{J} = \frac{\frac{1}{2} \gamma_{sub} D^2}{\frac{1}{2} \gamma_{ic} D H_{ave}} = \frac{\gamma_{sub} D}{\gamma_{ic} H_{ave}}$$

※ 주입공법으로 지반의 단위중량을 증대시킴 :  $\gamma_{sub}$ 를 증가시킴  $\Rightarrow F_s$  커짐

㉡ Dam 및 제방

㉠ 배수시설 및 차수벽 설치



$$C_r = \frac{\frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v}{h_w}$$

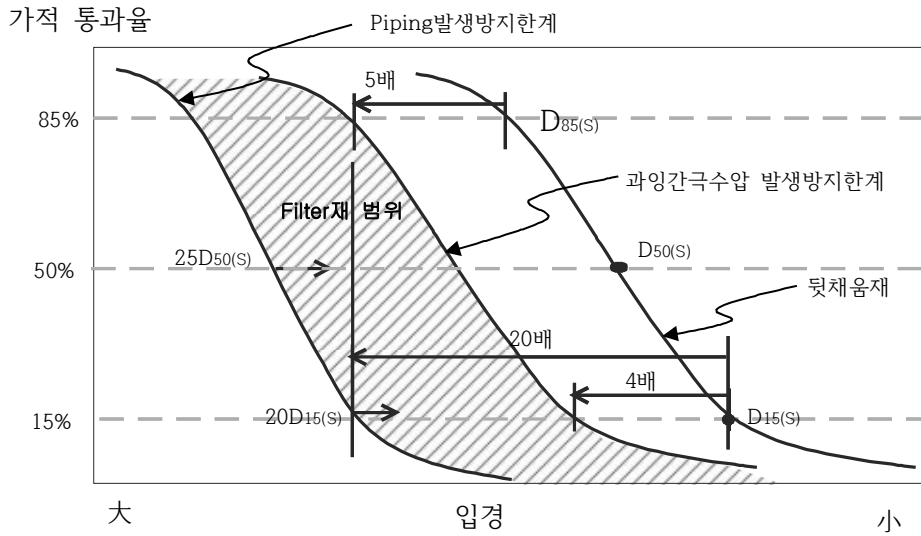
에서  $\sum L_v$  증가로 크리프비 증가

② 필터의 설계

- ㉠ 투수계수 :  $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec
- ㉡ 적합토질 : *GW, GP, SW, SP*
- ㉢ 적정 입도 : 0.074mm체 통과율 5% 이내
- ㉣ 입도설계

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{85})_s} < 5 \quad 4 < \frac{(D_{15})_f}{(D_{15})_s} < 20 \quad \frac{(D_{50})_f}{(D_{50})_s} < 25$$

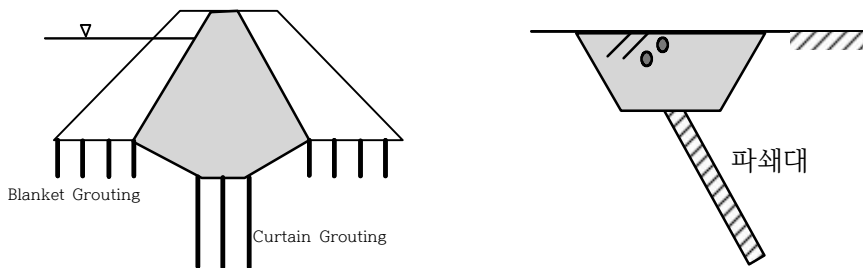
여기서,  $D_{15}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{85}$  : 입도곡선에서 가적통과율 15%, 50%, 85%에 해당입경  
 첨자 : f(필터), s(필터에 인접해 있는 흙)



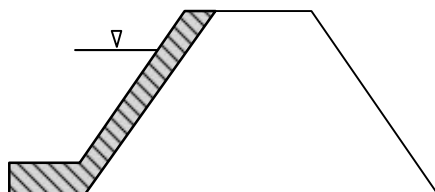
③ Core 재료

- ㉠ 투수계수 :  $10^{-5}$ cm/sec 이하
- ㉡ 소성지수 : 15% 이상인 점성토
- ㉢ 입도 : 적정입도 사용
- ㉣ 적합토질 : *SC, SM, GC, GM, CL*
- ㉤ 다짐 : 습윤축 다짐

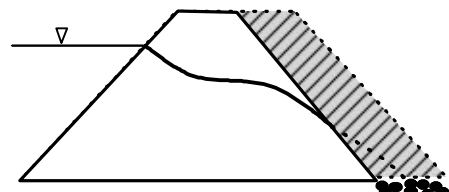
④ Curtain Grouting 및 파쇄대 처리



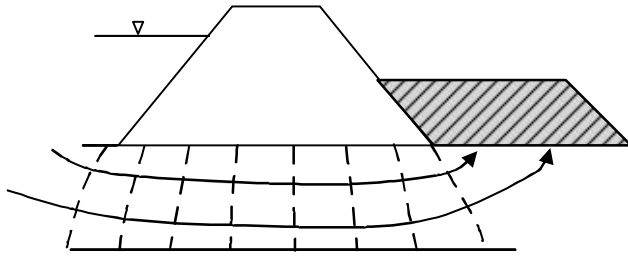
⑤ Blanket 설치



⑥ 제방쪽 증대 및 배수시설 설치



⑦ 압성토



## 4. 평 가

① 동수경사를 작게 하기 위한 대책

- ① 투수거리를 길게 한다.
- ② 널말뚝을 깊게 박는다.
- ③ 제방의 경우 제방 단면을 넓게 축조하거나 제체 내부에 Core를 설치한다.

② 근본적으로 물의 이동을 막음

- ① 차수벽을 시공 (슬러리 월, SCW, LW)

③ 제방의 경우 필터는 간극수압상승과 흙 유실을 방지하기 위한 목적이므로 이를 제대로 시공해야 파이핑으로 인하여 유로가 짧아지지 않기 때문에 파이핑현상을 방지할 수 있다.

## 문제 4. 다짐시공에 의해 점성토체가 조성되는 경우 다짐조건이 조성된 점성토체의 공학적 특성에 미치는 영향을 설명하시오

### 1. 개요

다짐이란 흙의 함수비를 변화 시키지 않고 흙에 인위적인 압력을 가하여 간극속에 있는 공기만을 배출함으로써 입자간 결합을 치밀하게 하고 단위중량을 증가시키는 과정이다.

구 분	다 짐	압 밀
과잉간극수압/함수비	- 변화 없음.	- 변화됨
시 간	- 단기	- 장기
목 적	- 전단강도 증가 - 압축성 감소 - 투수성 감소	- 침하촉진 - 기타 다짐과 유사

### 2. 다짐에너지에 따른 공학적 특성

#### ① 다짐 에너지를 다르게 하여 다지는 경우(동일한 흙)

다짐 에너지를 크게 할수록 최적함수비는 감소하고 최대 건조단위중량은 증가한다.

※ 다짐곡선이 왼쪽으로 그려진다.

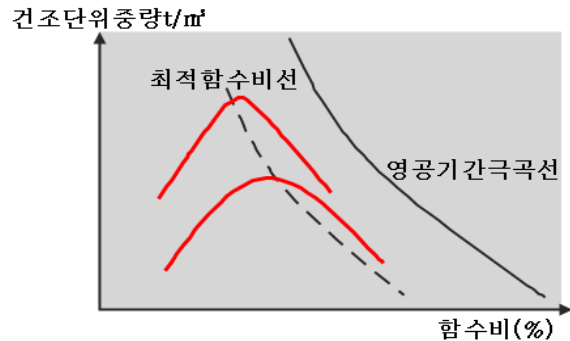


그림. 동일한 흙에 에너지를 달리하는 경우

#### ② 흙의 특성별(동일한 에너지)

구 분		최 적 함수비	최 대 건조밀도
흙 종류	조립토	작 다	크 다
	세립토	크 다	작 다
입 도 분 포	양 호	작 다	크 다
	불 량	크 다	작 다
점 성도	소성이 큰 경우	크 다	작 다
	다 짐 효 과	다짐곡선이 평탄하고 최적함수비가 높아서 다짐 효과가 작다	

※ 다짐곡선은 최적함수비가 작고 최대건조밀도가 큰 흙일수록 날카로우며 반대인 경우는 다짐곡선이 완만함

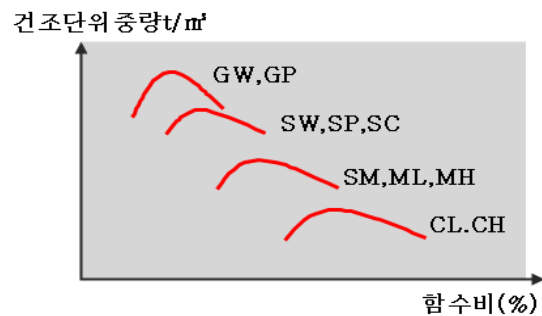


그림. 표준 다짐시험에서의 여러 흙의 다짐곡선

### 3. 다진 점성토의 공학적 특성에 미치는 영향

#### ① 흙의 구조변화와 팽창성

- ① 함수비에 따라 건조측에서 다지는 경우는 면모구조를 습윤측에서 다지는 경우는 이산구조를 가지며
- ② 이러한 경향은 다짐 에너지가 클 수록 더욱 명확하게 구별된다.
- ③ 건조측에서 다지면 팽창성이 크고 최적함수비 부근에서 다지면 팽창이 최소가 됨

## ② 전단강도

- ① 동일한 흙에 다짐 에너지를 C→B→A 순으로 크게하여 비 배수 전단강도를 측정 한 결과 우측 그림과 같은 결과를 보임.
- ② 이는 건조측인 경우 확연히 다짐 에너지가 클수록 전단강도는 증가하나 습윤측인 경우에 있어서 전단강도는 거의 변화가 없거나 오히려 강도의 저하현상을 나타냄
- ③ 따라서 다짐의 목적이 전단강도의 확보에 있다면 건조측으로 다지는 것이 유리함에 유의하여 시공계획을 작성해야 함

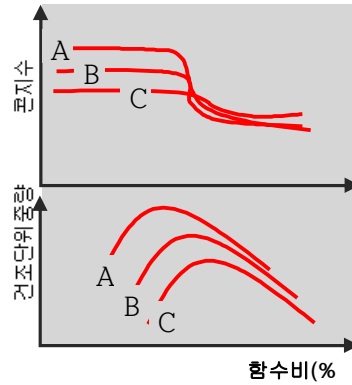


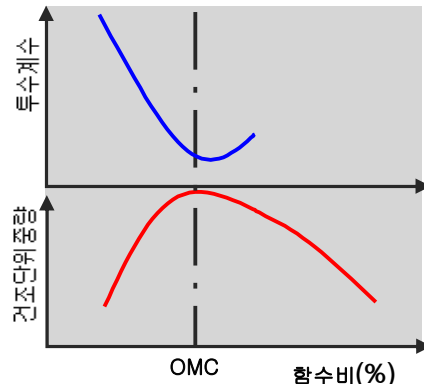
그림. 다짐에너지와 함수비 변화에 따른 전단강도와와의 관계

## ③ 압 축 성

- ① 낮은 압력에서는 건조측에서 다진 흙이 압축성이 낮고 높은 압력에서는 입자가 재 배열되므로 오히려 건조측에서 다진 흙의 압축성이 커진다.
- ② 압력이 매우 크다면 결국 건조측과 습윤측 모두 간극비가 비슷해진다.

## ④ 투 수 성

- ① 건조측에서 함수비를 계속 증가시키면 투수계수는 저하되며 최적함수비보다 약간 습윤측에서 최저 투수계수를 나타낸다.
- ② 그러나 함수비를 추가로 더하여 다진다면 투수계수는 다시 증가하게 된다.
- ③ 이는 흙의 구조가 면모구조에서 이산구조로 전환됨에 기인된 것이고 투수계수가 다시 증가하는 이유는 포화도가 상승됨으로 인하여 기포의 영향이 배제된 상태로 변화 되기 때문이다.



## 4. 흙의 종류별 적정 다짐공법

구 분 (원리)	다 짐 방 법	다 짐 기 계
점 성 토 (점성입자의 교란방지)	정적다짐	① 불 도저 ② 로드롤러 ③ 탬핑롤러 ④ 타이어롤러
사 질 토 (상대밀도증진)	동적다짐	① 진동롤러 ② 진동 콤팩터 ③ 진동타이어 롤러
구조물 전도, 교대등 측방유동 방지	충격식	① 램머 ② 탬퍼



탬핑롤러



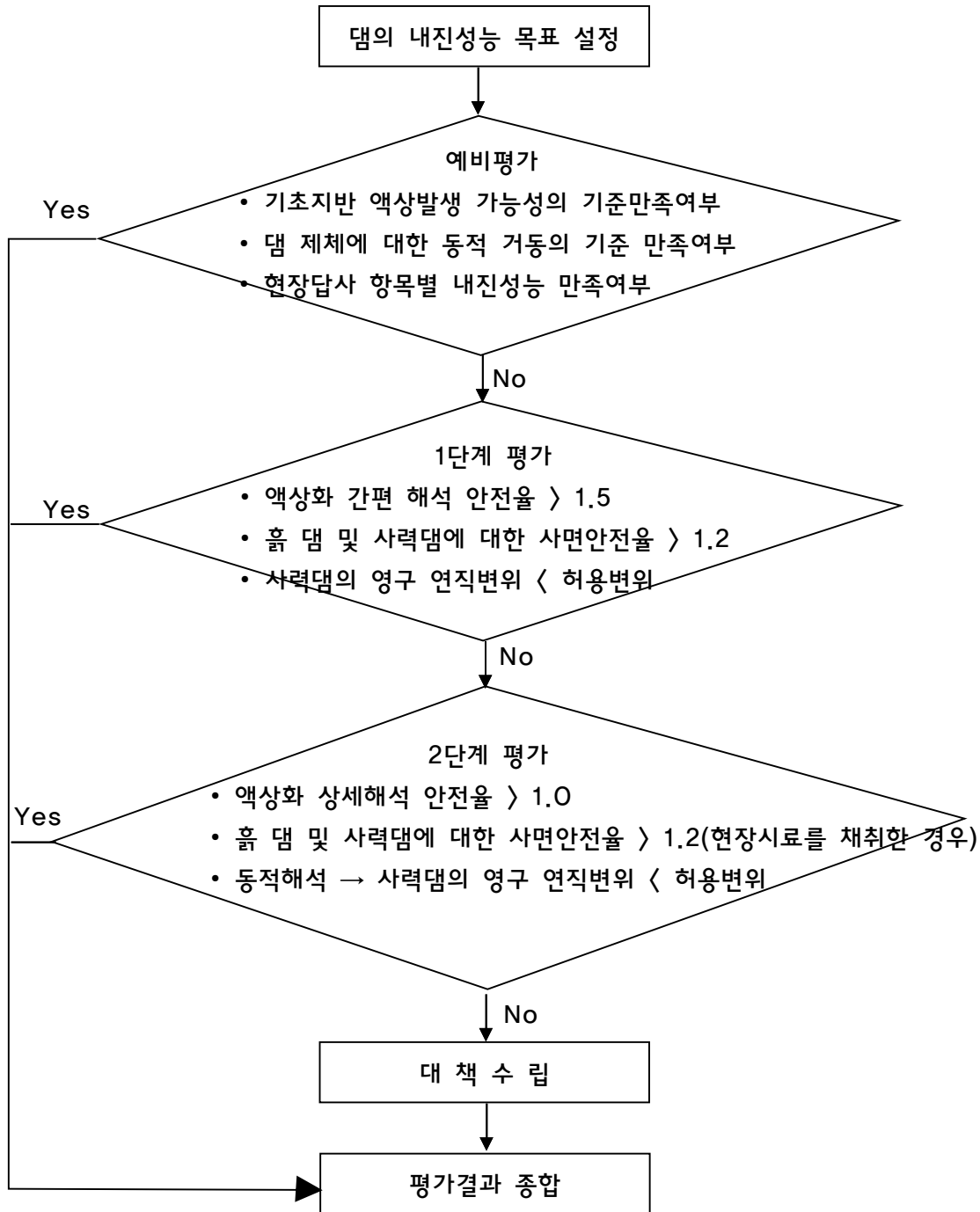
진동롤러

### ※ 니딩 다짐(Kneading compaction)

연약한 점토에 마치 반죽을 하는 것과 같이 다짐하는 것으로 주로 연약지반에 적용한다.

문제 5. 사력댐(Rockfill dam) 내진성능평가지 수행절차 및 세부내용을 설명하시오

1. 사력댐(Rockfill dam) 내진성능평가지 수행절차





## 2. 내진성능평가 세부내용(사력댐의 동적 안정성 검토)

### ① 내진성능 목표 설정

재현주기	성능수준	
	기능수행 수준	붕괴방지 수준
50년	II등급	
100년	I등급	
200년	특등급	
500년		II등급
1000년		I등급
2400년		특등급

### ② 사력댐의 해석을 위한 대표단면 결정

### ③ 동적 물성치를 얻기 위한 시험 시행 : Ed Gd vd Damping 계수

- ① 실내시험 : 초음파시험, 공진주시험, 반복삼축압축시험, 반복단순전단시험, 반복비틀림 전단시험
- ② 현장시험 : Up hole test, Down hole test, Cross hole test, SASW

### ④ 설계지반운동 결정

#### ① 내진설계기준

##### ㉠ 지역계수(구역계수) 결정

예측기준 : 재현주기 500년, 보통암

구분	I 구역	II 구역
계수	0.11	0.07
지역	I 구역외 지역(광역시 포함)	강원도 북부, 전남 남서부, 제주도

※ 0.11의 의미 : W에 11%의 수평하중을 추가하여 지반설계를 하라는 의미임

#### ㉡ 위험도 계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
보정계수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

ex) 내진 1등급 교량 : 1000년 빈도, 내진 2등급교량 : 500년 빈도

#### ㉢ 지반의 분류

지반 분류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도(m/sec)	표준관입시험	비배수 전단강도(tf/m <sup>2</sup> )
I	경암, 보통암지반	760이상	-	-
II	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360~760	>50	>10
III	단단한 토사지반	180~360	15~50	5.0~10
IV	연약한 토사지반	180미만	<15	<5.0
V	부지고유의 특성평가가 요구되는 지반			

㉔ 지반분류별 지반계수

지반분류	I	II	III	IV	비 고
지반계수	1.0	1.2	1.5	2.0	V : 지진응답해석으로 설계지진계수 산정

㉕ 계산 예시

조 건 : I 구역, 1000년 빈도, 지반분류 IV → 설계지진 계수 =  $0.11 \times 1.4 \times 2.0 = 0.308$

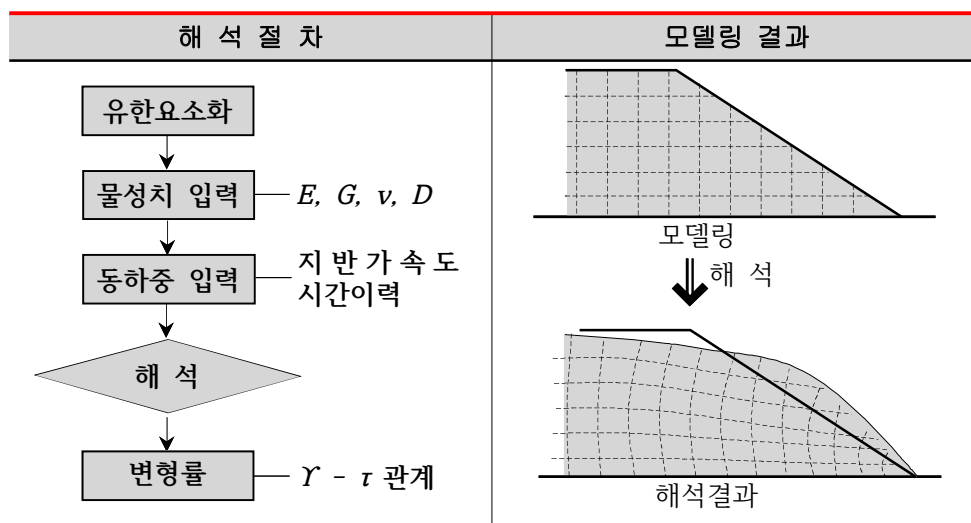
㉖ 지진응답해석

㉗ 실내 및 현장시험을 통한 동적 물성치 결정

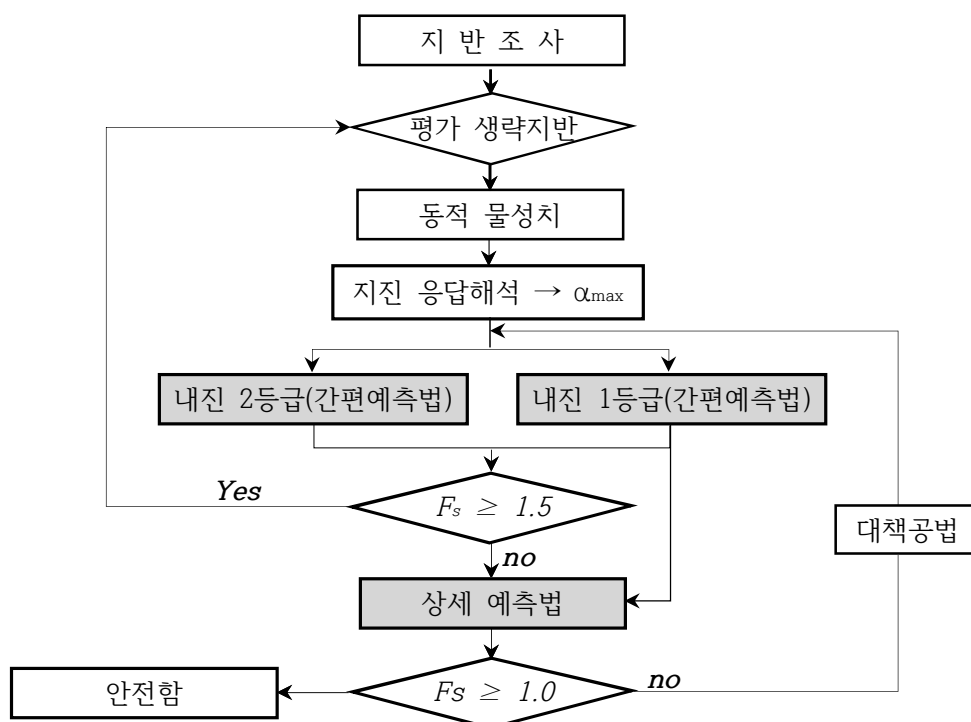
㉘ 지진파 입력 → 설계 지진 가속도 산정

: 지진응답스펙트럼 → 표준설계응답스펙트럼

㉙ 해석



3. 내진성능평가 세부내용(사력댐의 기초지반 액상화 평가)



## 4. 평 가

지진에 대한 댐 사면의 안정성 표현방법은 유사정적해석법(진도법)과 동적해석법(지진응답해석)으로 크게 구분될 수 있다. 유사정적 해석법은 기존 사면의 정적 초기 응력상태에 추가로 작용하는 동하중을 유사정적하중으로 대체하는 정역학적 방법으로 간편하고 보수적인 해석결과를 얻을 수 있는 반면, 구조물의 동적 특성과 지반-구조물 상호작용을 규명할 수 없는 한계성을 내포하고 있다. 동적해석법은 지진으로 인해 유발되는 지반의 관성력을 시간이력으로 고려함으로써 각 시간에 따라 발생하는 응력과 변형에 대한 변화를 해석할 수 있다.

「댐설계기준(건설교통부, 2003)」에서는 국내의 빈약한 지진 해석자료와 연구 미흡으로 동적해석법을 댐의 내진기준으로 규정하기에는 무리가 있다고 보고 종래의 보수적으로 채택되어온 진도법을 내진설계의 기본으로 정하고 있다. 반면에 최근 외국에서는 지진파에 의한 댐의 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있는 실정이므로 우리나라도 지진응답해석을 통한 정밀한 동적해석을 시행할 수 있도록 기술의 개발이 요구된다 할 것이다.

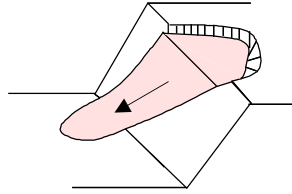
**문제 6. 평사투영법에 의한 암반비탈면의 안정해석방법을 설명하고, 절리면이 각기 비탈면에 노출된 급경사 암반비탈면의 안정화 공법을 제시하시오**

**1. 암반 비탈면의 파괴형태**

**① 파괴형태**

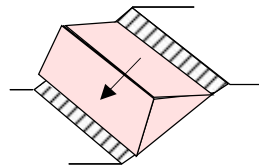
**① 원형파괴**

- ㉠ 풍화가 심해 강도가 매우 약한 암반인 경우
- ㉡ 불연속면이 불규칙적으로 매우 발달된 경우
- ㉢ 마찰원법이나 절편법에 의한 사면안정해석 시행



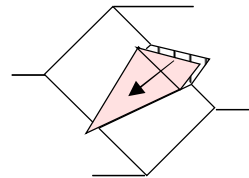
**② 평면파괴**

- ㉠ 절취면과 불연속면의 경사방향이 같음
- ㉡ 불연속면이 한방향으로 발달된 경우
- ㉢ 불연속면과 절취면의 주향차가  $\pm 30^\circ$ 이내인 경우
- ㉣ 절취경사 > 불연속면 경사 > 전단저항각



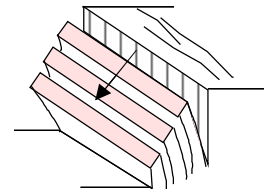
**③ 썩기파괴**

- ㉠ 불연속면이 교차하여 발달된 경우
- ㉡ 교선이 daylight할때
- ㉢ 절취경사 > 교선경사 > 전단저항각



**④ 전도파괴**

- ㉠ 절취면 경사와 불연속면 경사방향이 반대
- ㉢ 불연속면과 절취면의 주향차가  $\pm 30^\circ$ 이내인 경우



**2. 암반 비탈면의 안정해석 수행절차**

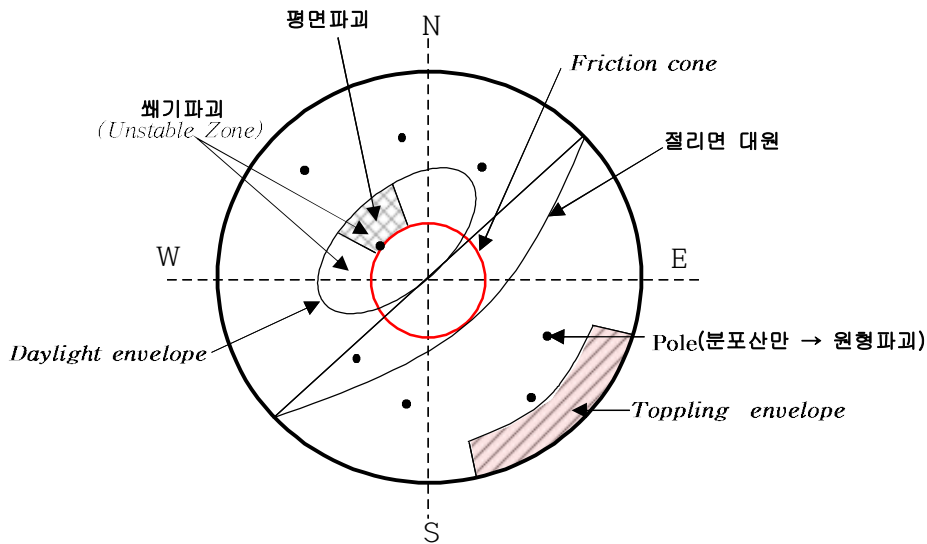
- ① 예비평가 : 평사투영법, SMR
- ② 정량적 평가 : 예비평가결과 불안정할 경우 한계평형해석 수행

**3. 평사투영법에 의한 안정해석 방법**

**① 해석 방법**

**① 평사투영법 (DIPS)**

- ㉠ 평사투영해석법은 암반사면의 경우 암석자체의 전단강도 특성보다는 암반내에 분포하는 불연속면의 주향과 경사, 절리면의 마찰각 및 절취사면의 방향과 경사를 고려하여 사면을 개략적으로 판정
- ㉡ 사용프로그램 : DIPS

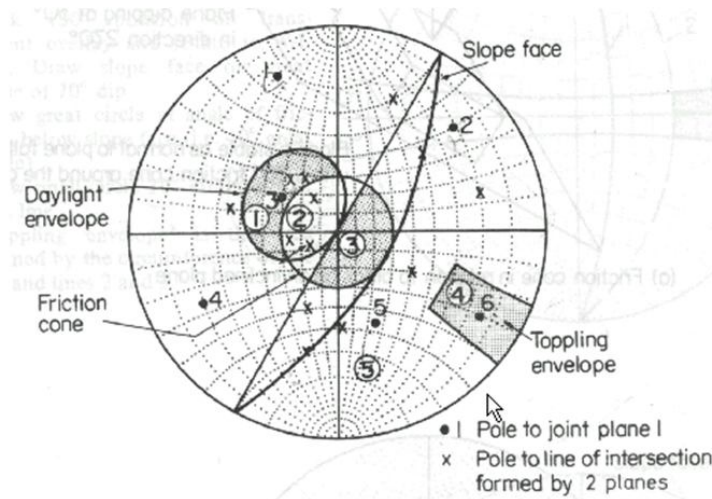


평사투영망(Stereonet)에 의한 예시도

㊤ 평사투영법 작도방법

- 불연속면의 Pole을 Net에 투영
- 절취면의 주향과 경사를 나타내는 대원을 작도 및 Daylight envelope 작도
- 암반의 내부마찰각을 반경으로 하여 Friction Cone을 작도
- 사면의 경사각에서 내부마찰각을 뺀 값을 경사각으로 하는 대원을 작도하여 Toppling Envelope 작도
- Pole의 위치에 따라 안정성을 검토

㊤ 평사투영해석에서의 안정성 평가



- ①지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 큰 daylight 로써 불안정한 지역임.
- ②지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작은 daylight 로써 안정한 지역임
- ③지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작으며, daylight 아닌 안정한 지역임
- ④지역 : 전도파괴의 가능성이 있는 불안정한 지역임
- ⑤지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 크더라도 daylight나 toppling envelope가 아니므로 안정한 지역임

② 가정과 적용한계

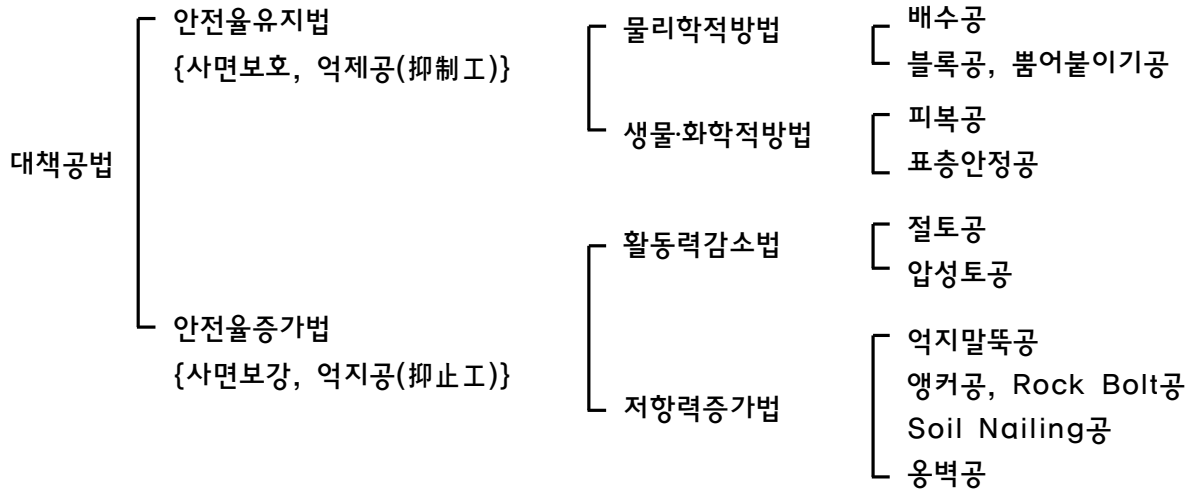
- ① 비탈면의 주향, 경사 불연속면의 주향, 경사에 큰비중을 두고 안정성평가
- ② 불연속면의 전단저항각을 제외한 점착력, 틈새크기, 충전물등 미고려
- ③ 지하수 또는 수압의 고려가 없음.
- ④ 절리의 방향성 위주의 평가로서 암괴의 크기, 형태, 절리연속성 미고려

③ 적용시 유의사항

- ① 특정 불연속면 고려      ② 현장상황을 고려하여 지역구분 필요

### 4. 절리면이 깎기 비탈면에 노출된 급경사 암반비탈면의 안정화 공법

① 암반비탈면 안정공법



② 낙석 대책 : 위험암괴 제거, 낙석방지책, 낙석방지망

③ 암반비탈면 안정공법의 유효성이 없는 경우 : 경제성 고려 피암터널 계획

④ 공사용 가도 및 가설 방호벽, 계측계획 반영