

시설물의 재료특성 (토질 및 기초)

이민근





이력사항

이민근



주요이력

- (주)태근엔지니어링 대표이사
- 충남대학교 토목공학과 외래교수
- 공학박사, 토질 및 기초 기술사

주요논문

- 지반굴착시 인접구조물의 손상영향 평가에 대한 수치해석
- 향상된 설계응답스펙트럼 상응 지진파 시간이력 생성기법 개발
- 위상 변동성이 고려된 설계응답스펙트럼과 포항 M5.4 지진에 상응하는 지진파 그룹 생성
- 공간 변동성을 고려한 암성토 전단파속도 · 변동계수 주상도 모델 및 성능평가기준 제안

연락처

- HP : 010-3234-2323
- Email : UPLMG@naver.com

1.
CHAPTER

개요

2.
CHAPTER

지반의
구성

3.
CHAPTER

흙의
기본적 성질

4.
CHAPTER

흙의 분류

5.
CHAPTER

구조물 기초

A silhouette of a construction site with several cranes and building structures, rendered in a light green color against a blue background.

개요

CHAPTER

1

1. 역학&공학의 정의

→ 토질 역학

- 흙을 기본재료로 흙의 물리적 성질&하중 받았을 때 흙 거동에 관한 학문

→ 암석 역학

- 단위 암석의 역학적 특성을 다루는 학문

→ 암반 역학

- 암석의 역학적 특성을 이용하여 암반의 거동 특성을 규명하는 학문

→ 암반 공학

- 암반 역학을 공학적으로 응용한 분야(지하발전소, 저장시설, 터널)

→ 지반 공학

- 흙&암반에 관한 공학적 문제를 역학적&수리적인 법칙을 적용하여 이론적 해명을 하는 응용역학의 한 분야
- 흙&암반의 이론적 해석과 이론 등을 포함하는 역학(토질, 암반), 수리학, 지질공학 등을 기초로 한 응용 분야(기초, 지하구조물, 환경, 진동)

2. 지반(흙&암반) 성질과 코이 법칙



2. 지반(흙&암반) 성질과 코이 법칙



대상 지반이 어디인가?

2. 지반(흙&암반) 성질과 코이 법칙



3. 지반공학적 특성

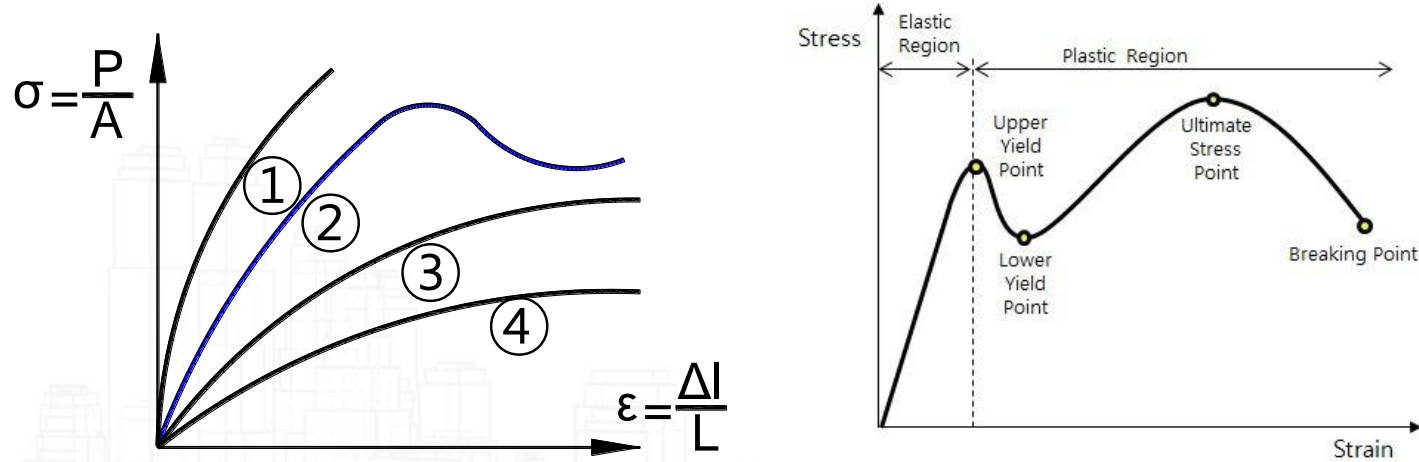
- 흙이 다른 건설자재(강철, 콘크리트)와 근본적으로 구별되는 것은 **불연속체(discrete material)**임
- 토질역학은 **처음부터 존재**하는 흙으로 이루어진 지반을 대상으로 한다는 **In-Situ Mechanism**에 바탕
- 재료자체는 강구조, 콘크리트, 유체와 같은 단일재료가 아니라

[흙입자+공기+물]로 이루어진 3상 재료라는 점이 큰 특징

- 흙 입자 자체는 고체지만 강철과 같은 결정체와 달리 이들이 강하게 **부착되어 있지 않음**
- 따라서 **흙 입자는 쉽게 분리 될 수 있으며, 외력을 받았을 때 입자 상호간 변위가 쉽게 일어남**

3. 지반공학적 특성

→ 흙의 응력 - 변형 거동은 탄성을 보이지 않음



→ 흙의 성질 : 본질적으로 비균질, 비등방성임

- 균 질 : 서로 다른 위치에서 상호의 공학적 성질이 동일
- 등방성 : 한 위치에서 사방으로 공학적 성질이 동일

→ 흙의 거동은 응력에 의존할 뿐만 아니라 시간과 환경에도 의존

→ 지반의 구성과 공학적 성질은 시추를 통해서 자세히 판명됨

A silhouette of a construction site with several cranes and building structures, rendered in a light green color against a blue background.

지반의 구성

CHAPTER

2

1. 지반의 분류

→ 흙

- 암석이 풍화되어 직경 10cm 미만의 크기로 부서져 모여 있는 상태
- 매우 약하게 결합된 집합체

→ 암석

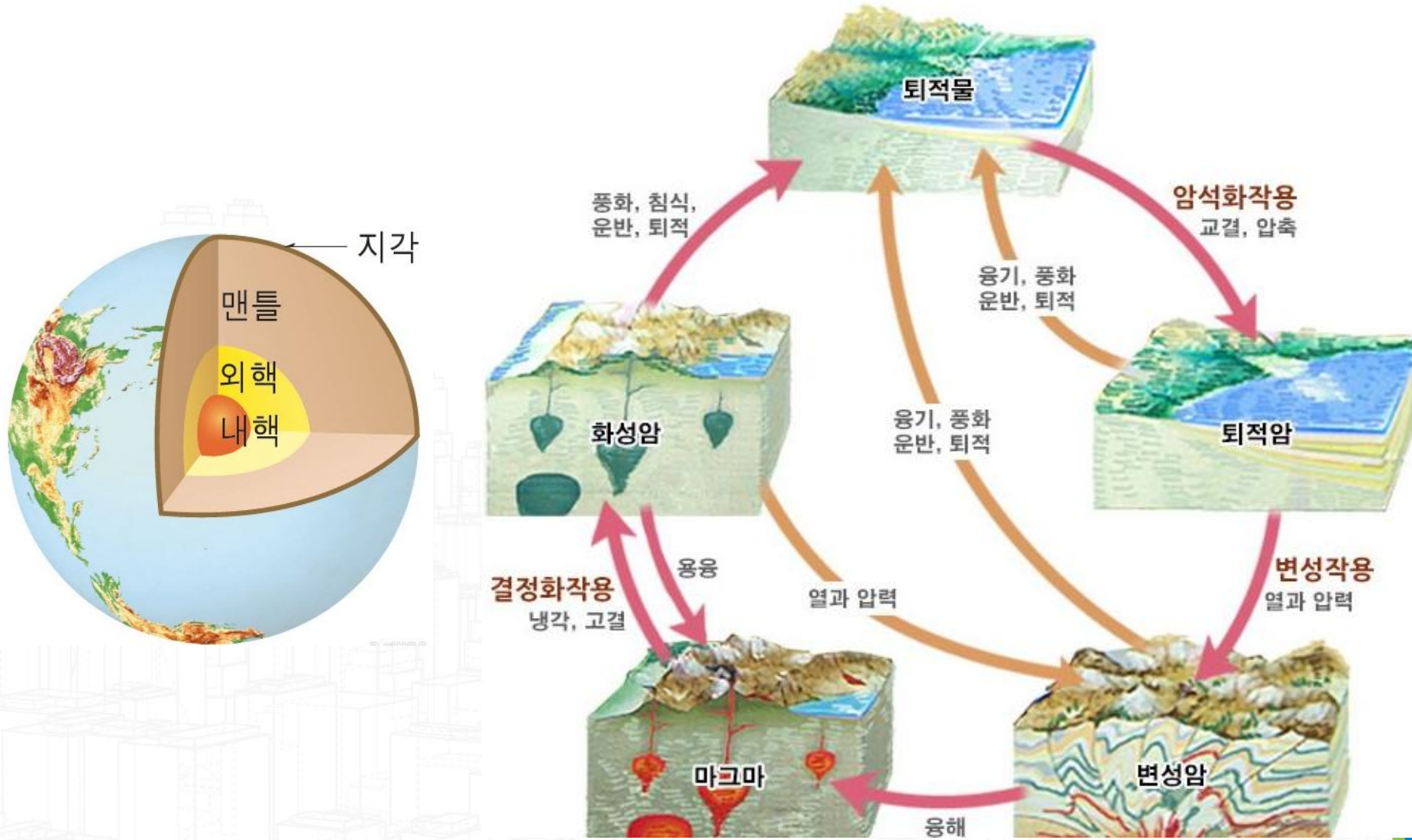
- 한가지 또는 그 이상의 광물이 견고하게 결합되어 있는 지각물질
- 흙과의 구분 기준은 일축압축강도가 10kg/cm²(1MPa)이상

→ 암반

- 건설공사 대상이 되는 구조적으로 **불연속면(절리)**을 갖는 암체(Rock Substance)

지질학적 분류	토공 분류	비고
토 사	토사	N > 50회 10cm
풍화암	리핑	N ≤ 50회 10cm
연 암	발파	일축압축강도, 점하중강도 탄성파속도 풍화변질, 균열상태, 코어상태, 함마타격 등
보통암		
경 암		
극경암		

2. 암석 순환(Rock Cycle)



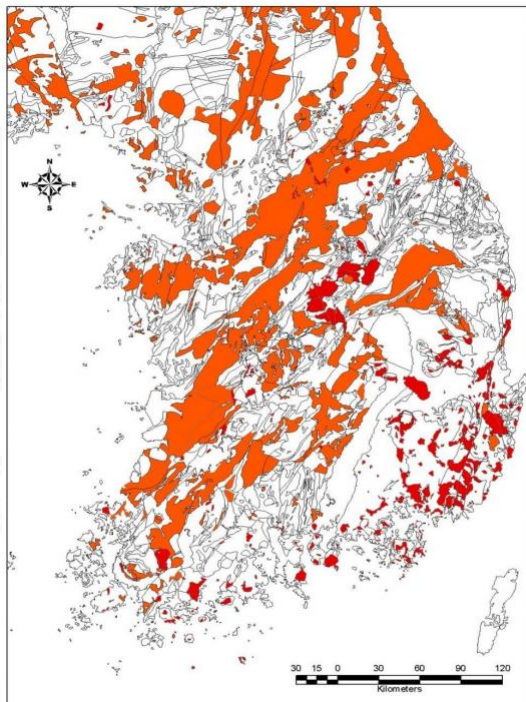
3. 화성암

→ 화산암

마그마가 지표면에 분출된 형태인 용암이 냉각되어 결정화되어 형성

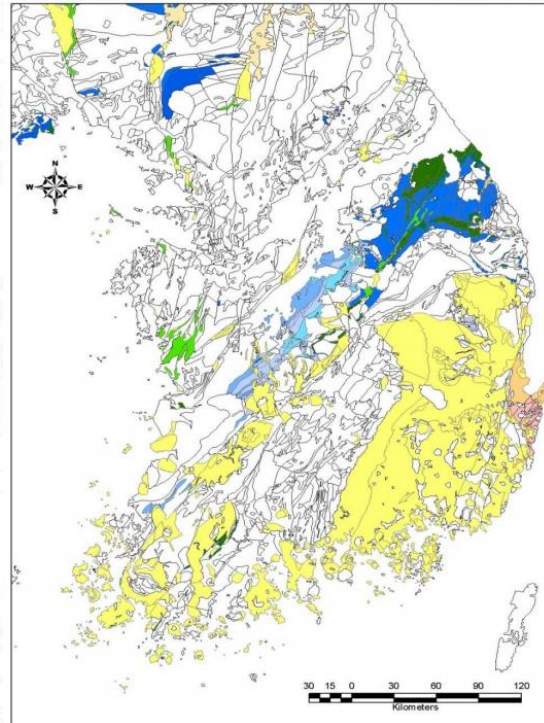
→ 심성암

마그마가 지표 아래 지각 내부에서 냉각 및 결정화되어 형성

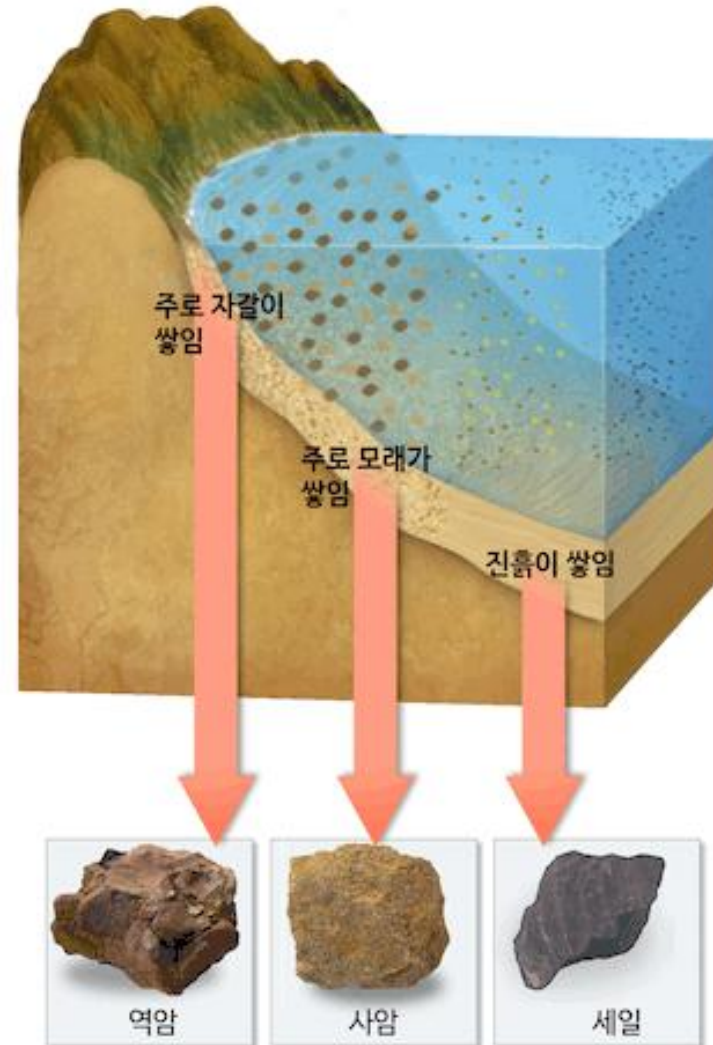


4. 퇴적암

- **쇄설성 퇴적암**
 - 강, 바다에서 퇴적되어 형성
 - 역암, 사암, 이암, 세일
- **화학적 퇴적암**
 - 화학적 풍화로 물에 용해된 물질 침전
 - 석회암, 암염
- **유기적 퇴적암**
 - 생물 유기체의 퇴적
 - 석탄



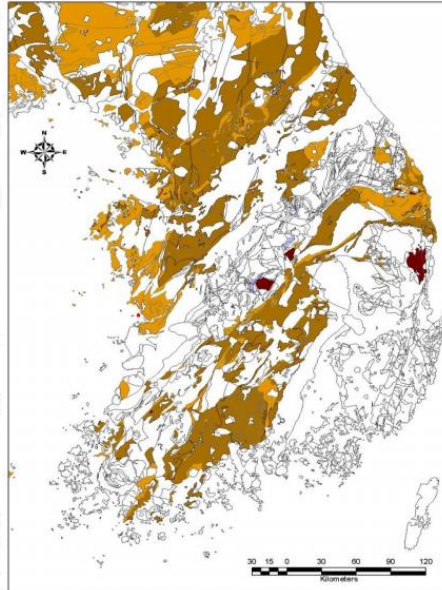
퇴적암



5. 변성암

- ➔ **접촉 변성**
 - 마그마 관입시 열에 의해 변성
 - 주로 마그마의 접촉부에서 형성

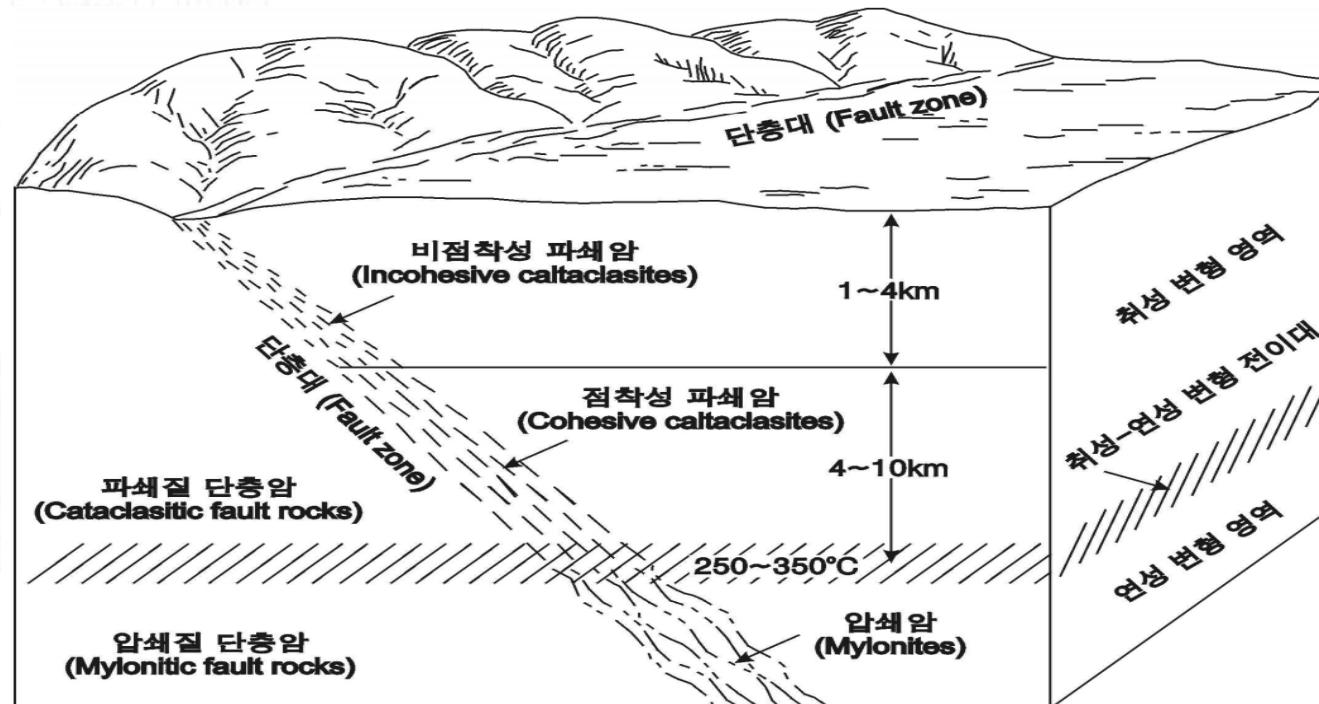
- ➔ **광역 변성**
 - 열과 압력에 의해 변성
 - 지역에 따라 변성정도가 다름
 - 점판암->천매암->편암->편마암



6. 암석의 변형

- ➔ 취성 변형(Brittle Deformation)
 - 파괴가 탄성영역 내에서 일어나는 경우 단층(fault), 절리(joint)

- ➔ 연성 변형(Ductility Deformation)
 - 재료의 파손 없이 형태의 큰 변화가 일어나는 경우 **습곡(flod)**, 연성전단대



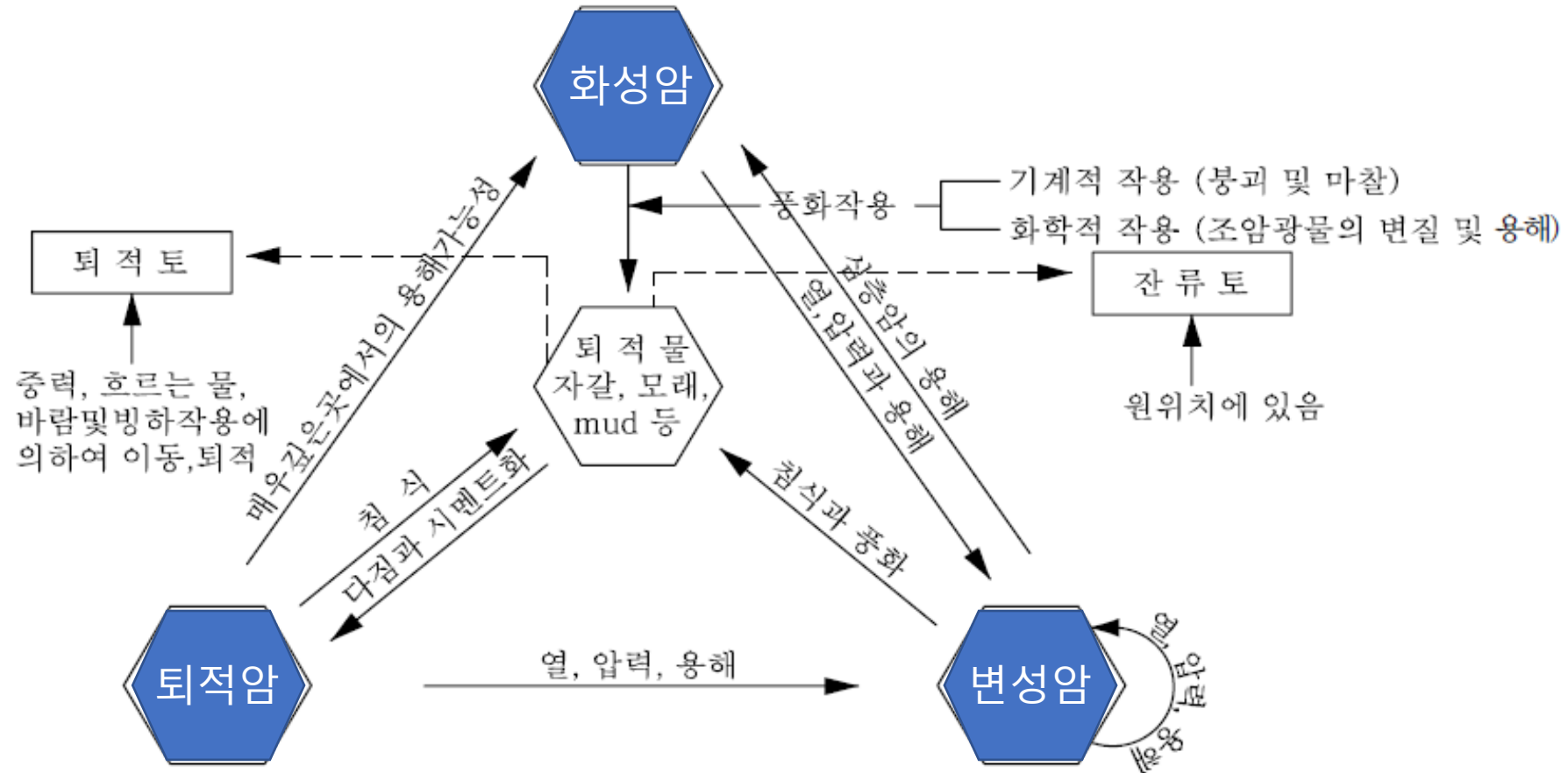
A silhouette of a construction site with several cranes and building structures, rendered in a light green color against a blue background.

흙의 기본적 성질

CHAPTER

3

1. 흙의 생성



2. 흙의 구성

$$1. V_s = 1, \quad e = \frac{V_v}{V_s}, \quad V_v = e$$

$$2. W_s = (G_s \cdot \gamma_w) \cdot V_s = G_s \cdot \gamma_w$$

$$3. W_w = \omega \cdot W_s = \omega \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

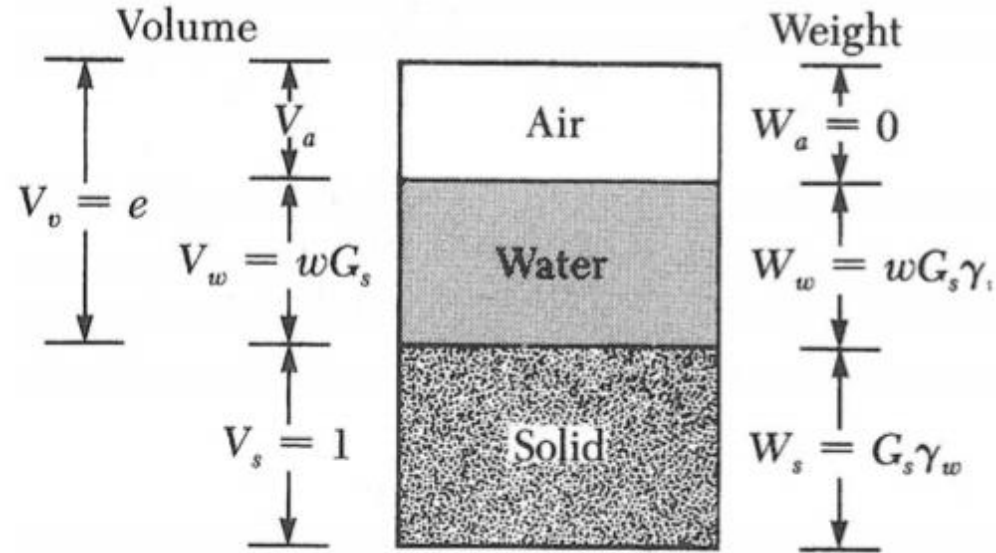
$$4. V_w = \omega \cdot G_s = \frac{V_w}{V_v} \cdot V_v = S \cdot e$$

$$5. \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e}$$

$$6. \gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + \omega \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1+e} = \frac{(1+\omega) \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1+e} = \frac{(G_s + S \cdot e) \gamma_w}{1+e}$$

$$7. \gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + e \cdot \gamma_w}{1+e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1+e}$$

$$8. \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1+e} - \gamma_w = \frac{(G_s + e - (1+e)) \cdot \gamma_w}{1+e} = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1+e}$$



3. 흙의 기본적 성질 : 사질토/점성토



3. 흙의 기본적 성질 : 사질토/점성토



4. 흙의 기본적 성질(사질토)

1. 상대밀도는 사질토(조립토)의 조밀하거나 느슨한 상태를 나타냄

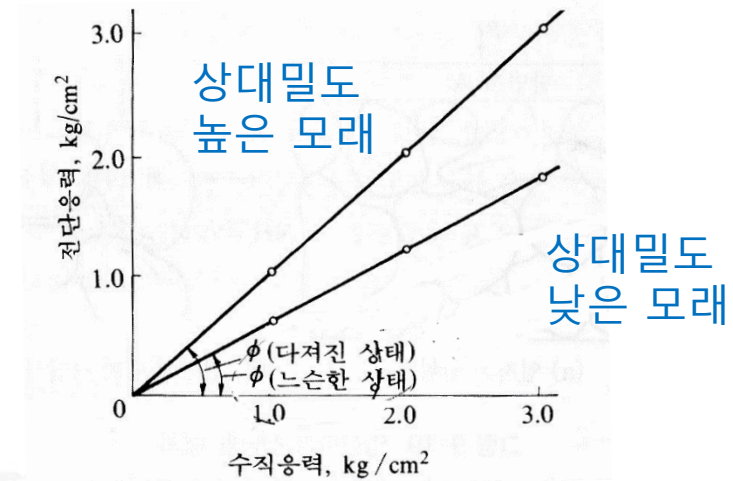
$$2. D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \cdot \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d}$$

$$3. \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e}$$

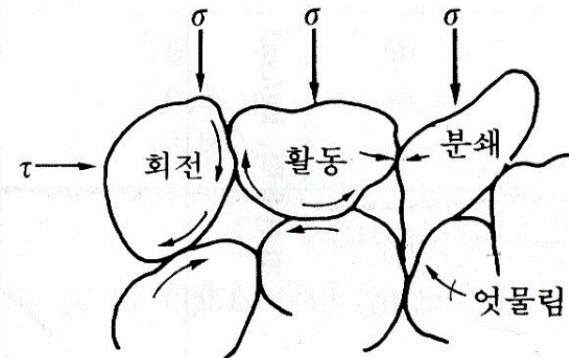
$$4. e = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_d} - 1, \quad e_{max} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_{dmin}} - 1, \quad e_{min} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_{dmax}} - 1$$

5. 상대밀도가 증가하면

흙의 밀도, 전단강도, 변형계수 증가,
정지마찰계수($K_0=1-\sin\phi$) 감소



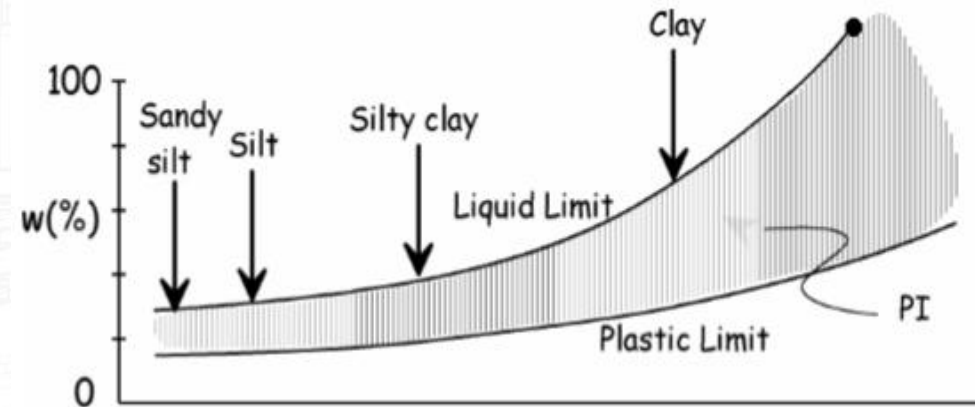
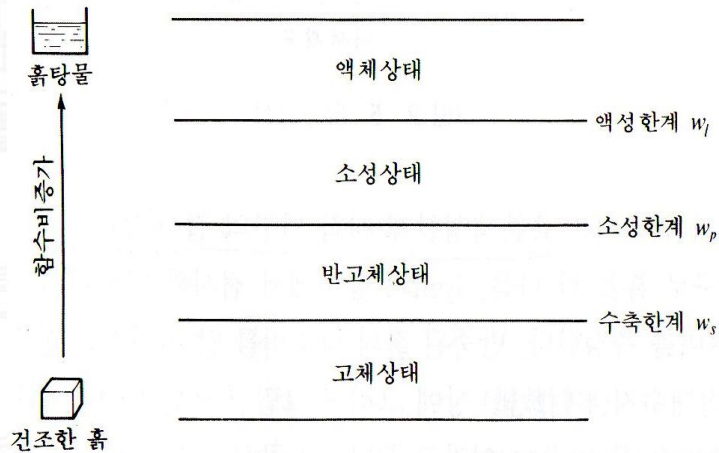
마찰저항(알갱이의 활동과 회전)+구조적 저항(엇물림)



5. 흙의 기본적 성질(점성토) : Atterberg Limits

- 점착성이 있는 흙은 함수량에 따라 성질을 달리함
- 흙이 함수량에 의해 나타나는 성질을 흙의 **연경도(consistency)**라 함
- 함수량의 변화에 따라 체적도 변화함

상태	변형 발생시	예
액체(Liquid)	형상 없음	스프
소성체(Plastic)	모양이 변함(찰흙)	찰흙(버터)
반고체(Semi-solid)	균열	치즈
고체(Solid)	깨짐	비스킷



5. 흙의 기본적 성질(점성토) : 연경도에서 얻어지는 지수

1. 액성지수 (LI, Liquidity index) = $(w-PL) / (LL-PL)$

2. 소성지수 (PI, Plasticity index) = $LL-PL$

3. 수축지수 (SI, Shrinkage index) = $PL-SL$

4. 연경지수(Consistency index, CI) = $\frac{LL-\omega}{LL-PL} = \frac{LL-\omega}{PI}$

(1) 1에 가까울수록 안정(단 단함) → 소성한계 상태로 접근

(2) 0에 가까울수록 예민(연약함) → 액성한계 상태로 접근

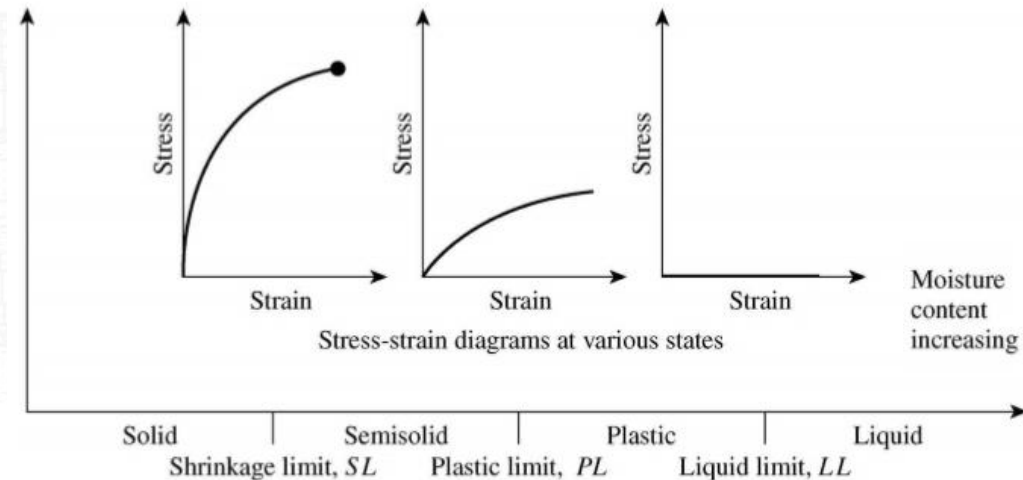
5. 함수비 증가에 따른 현상

(1) 연경지수 감소

(2) 강도정수(C, ϕ) 감소

(3) 압축성 증가

(4) 정지토압계수 증가



6. 지반관련 붕괴



A silhouette of a construction site with several cranes and building structures, rendered in a light green color against a blue background.

흑의 분류

CHAPTER

4

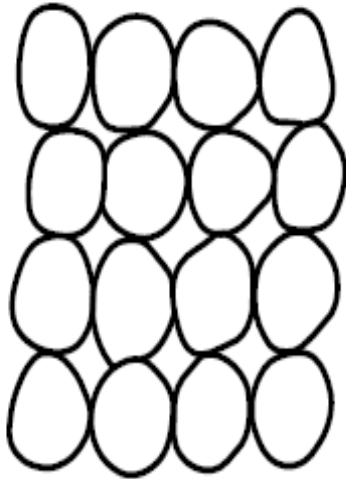
1. 흙 구조

→ 흙 입자의 배열된 상태

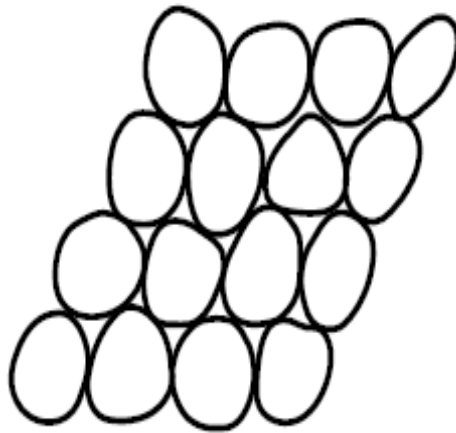
- 비점성토 : 구나 입방체와 같이 사방으로 비슷한 지름을 가지는 모양을 가지며

단립구조 및 봉소구조를 이룸

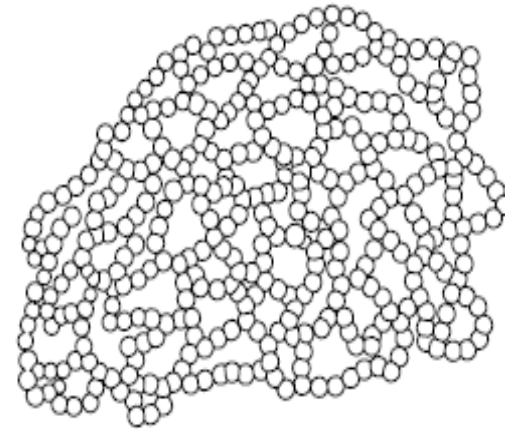
- 사질토 : 흙입자 크기와 모양이 구조를 지배



단립구조(느슨한 상태)



단립구조(조밀한 상태)



봉소구조

1. 흙 구조

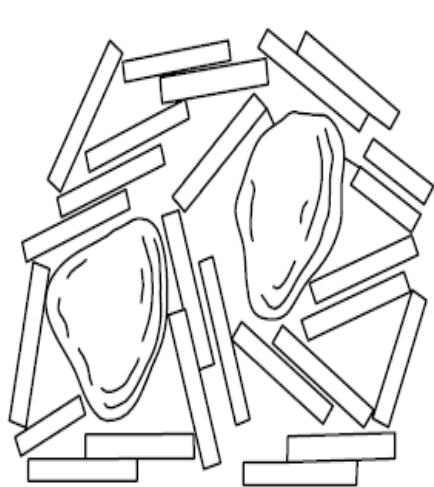
→ 흙 입자의 배열된 상태

- 점성토(점토광물) : 흙입자의 크기, 모양 보다는

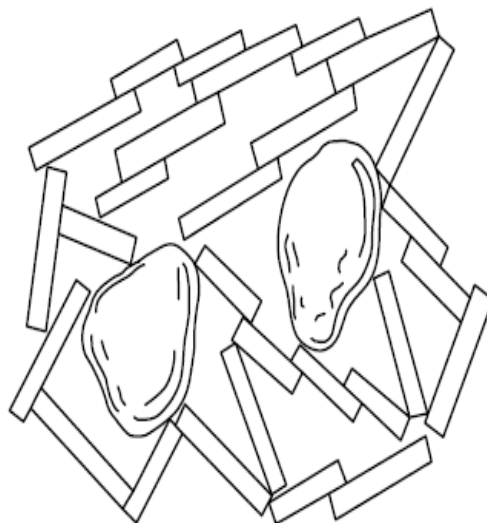
점토광물 특성과 점토주위 이중층수(double layer water)의 특성에 따라 좌우됨

→ 면모구조 : 이중층의 두께가 얇아 입자간 인력이 우세

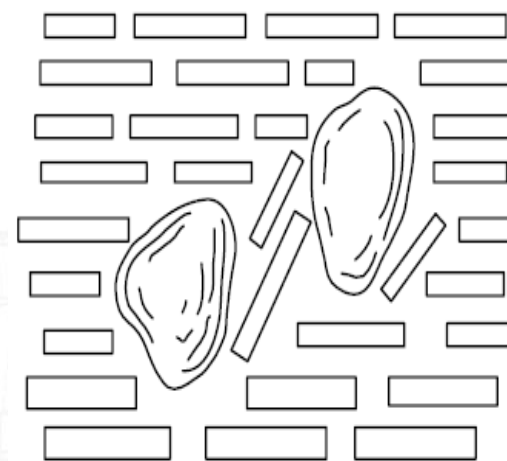
→ 이산구조 : 이중층의 두께가 두꺼워 입자간 반발력 우세



면모구조(담수)



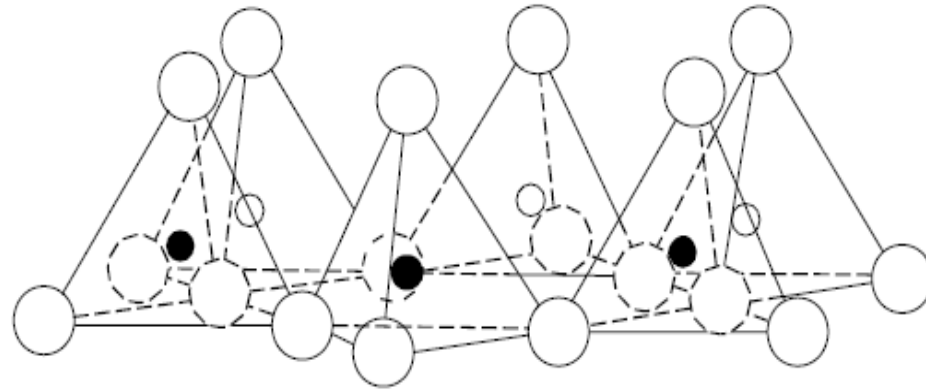
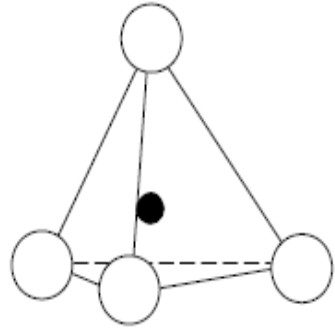
면모구조(해수)



이산구조

2. 점토광물

→ Tetrahedron 구조



○ 와 ○ 산소

○와 ● 규소 (si)

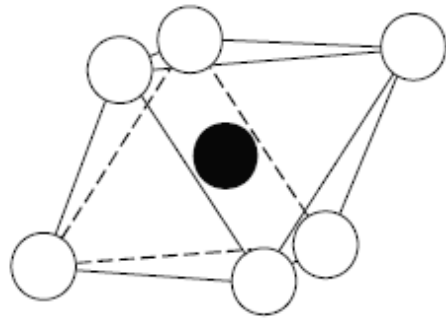
정4면체 구조

실리카 시트

S

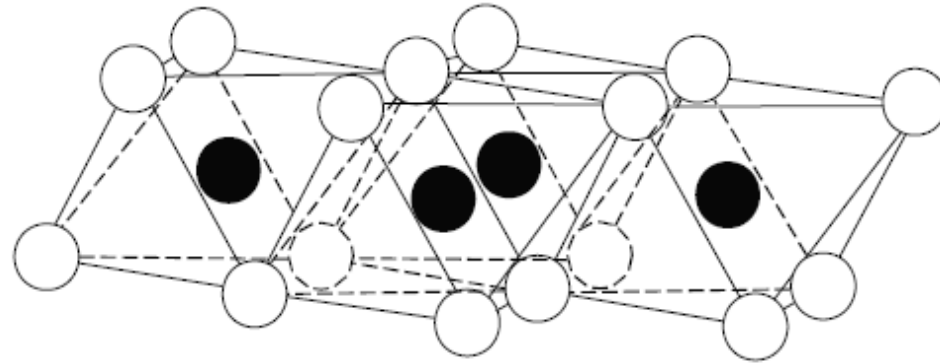
2. 점토광물

➔ Octahedron 구조



○ 와 ○ 수산기

정8면체 구조



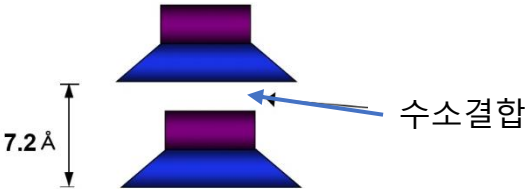
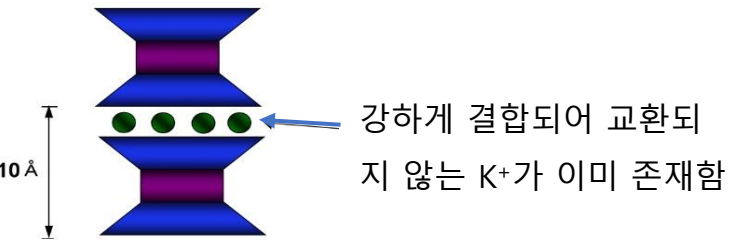
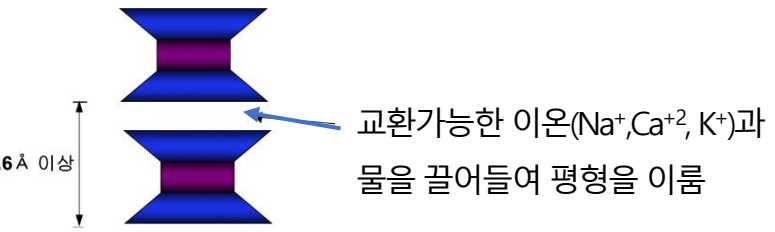
● 알루미늄, 마그네슘 등 (Al, Mg)

정8면체 시트

G

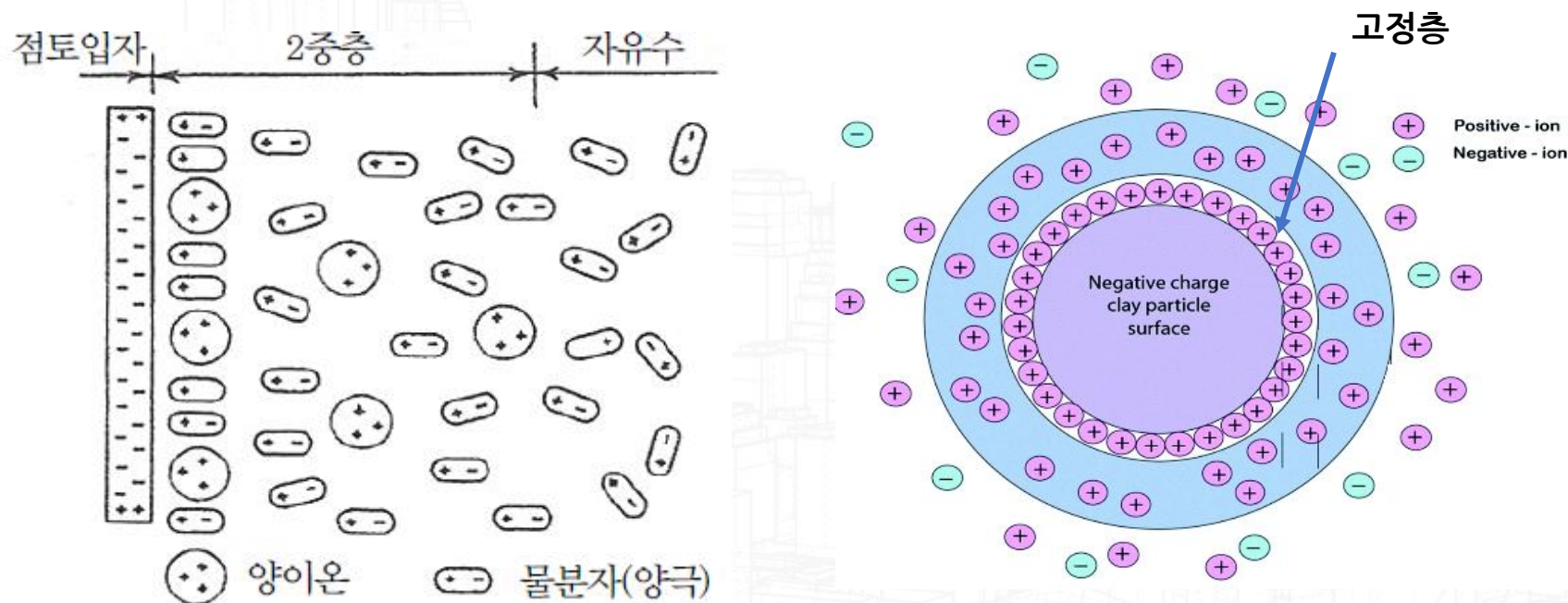
B

2. 점토광물

점토 광물	특징
<p>Kaolinite(카오리나이트)</p>  <p>7.2 Å</p> <p>수소결합</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 우리나라 대표적 점토 광물 2) 1:1 기본 구조(2층 구조) 3) Specific surface=15m²/g 4) 알루미늄을 함유한 규산염 광물
<p>Illite(일라이트)</p>  <p>10 Å</p> <p>강하게 결합되어 교환되지 않는 K+가 이미 존재함</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 2:1 구조(3층 구조) 2) Specific surface=80m²/g 3) Si⁴⁺ → (Al³⁺, Mg²⁺)로 교환될 수 있음(동형치환) 4) 운모(판모양의 단단한 광물)
<p>Montmorillonite(몬모릴로나이트)</p>  <p>9.6 Å 이상</p> <p>교환가능한 이온(Na⁺, Ca²⁺, K⁺)과 물을 끌어들여 팽창을 이룸</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 2:1 구조(3층 구조) 2) Specific surface=800m²/g 3) Al³⁺ → Mg²⁺로 교환됨(동형치환) 4) 물을 흡수하면 팽창(불안정함) 5) 장식, 응회석

2. 점토광물

- 점토광물의 표면은 동형치환으로 인해 음(-)으로 대전되어 있음
- 물분자의 양극은 점토입자 표면과 결합하려 하고 음극은 K^+ , Na^+ , Al^{+3} 같은 이온과 부착하려 함
- 이중층 : 교환할 수 있는 이온과 물이 점토 입자에 끌려서 평형을 이루고 있는 두께
- 흡착수(Absorbed water) : 점토 입자 표면에 부착된 교환할 수 있는 이온을 함유한 물분자, 이중층 밖의 자유수(free water)와 구별됨



2. 점토광물



소금물과 담수에서 점토의 거동



1978년 노르웨이 리사지역에서 지반 침하

3. 흙 분류

- 흙의 분류 목적은 성질이 다른 여러가지 흙을 간단한 시험을 근거로 하여 몇가지 무리로 나누어 미리 그 흙의 공학적 성질을 알아두고자 하기 위함

→ 통일 분류법(unified soil classification system)

제1문자	토 질		제2문자	토 질	
G	자갈	조립흙	W	입도분포가 좋음(75 μ m체 통과율 5%이하)	
S	모래		P	입도분포가 나쁨(75 μ m체 통과율 5%이하)	
M	실트	세립흙	M	세립분 12% 이상, A선 아래 $I_p < 4$	
C	점토		C	세립분 12% 이상, A선 위, $I_p > 7$	
O	유기질의 점토		L	소성이 작음($w_L < 50%$), 압축성이 낮음	
Pt	유기질 흙		H	소성이 큼($w_L > 50%$), 압축성 높음	

3. 흙 분류

→ AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)

일반적분류	조립토(No. 200체 통과율 35%이하)							세립토(No. 200체 통과율 35%초과)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
분류기호	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
체분석, 통과백분율 No. 10체 No. 40체 No. 200체	50이하 30이하 15이하	50이하 25이하	51이상 100이하	35이하	35이하	35이하	35이하	36이상	36이상	36이상	36이상
No. 40체 통과분의 성질 액성한계 소성지수	6이하		N. P	40이하 100이하	41이상 100이하	40이하 11이상	41이상 11이상	40이하 10이하	41이상 10이하	40이하 11이상	41이상 11이상
군 지 수	0		0	0		4이하		8이하	12이하	16이하	20이하
주요구성재료	석편, 자갈, 모래		세사	실트질 또는 점토질 자갈 모래				실트질 흙		점토질 흙	
노상토로서의 일반적 등급	아주 우수 또는 우수							중간 또는 나쁨			

3. 흙 분류

→ 입경에 따른 분류

입경(mm)	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	
분류기관								
AASHTO (1982)	76.2	자갈	2	모래	0.075	실트	0.002	점토
ASTM (1986)	75	자갈	4.75	모래	0.075	세립분(실트와 점토)		
B S (1990)	60	자갈	2	모래	0.06	0.002	점토	
K S (2002)	75	자갈	2	모래	0.075	실트	0.005	점토

- ASTM : American Society for Testing and Materials
- BS : British Standard
- KS : Korea Standard

3. 흙 분류

➔ 육안분류법

구분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤 상태에서 손가락으로 끈 모양으로 꿀 때
		건조 상태	습윤 상태	
모래 (Sand)	<ul style="list-style-type: none"> 개별입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 건조 상태에서 흘러내림 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리로 되지 않고 흐트러짐 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐 	<ul style="list-style-type: none"> 끈 모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모래 (Silty Sand)	<ul style="list-style-type: none"> 입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 모래질의 특성 우세함 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 조심스럽게 다루면 부서지지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 끈 모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	<ul style="list-style-type: none"> 적당량 세립토와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자가 50% 이상 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 만져도 부서지지 않음 부서지면 밀가루와 같은 감촉 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 물을 부으면 서로 엉킴 	<ul style="list-style-type: none"> 끈 모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
실트 (Silt)	<ul style="list-style-type: none"> 세립토와 점토함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80%이상 건조되면 덩어리거나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 자유롭게 만져도 부서지지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉킴 	<ul style="list-style-type: none"> 완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점토 (Clay)	<ul style="list-style-type: none"> 건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태가 됨 건조 상태에서 잘 부서지지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 자유롭게 만져도 부서지지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 덩어리거나 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨 	<ul style="list-style-type: none"> 길고 얇게 꼬아지며, 점성이 큼

4. 조립토와 세립토의 공학적 특징

항목	조립토	세립토
정의	자갈이나 모래로 이루어진 흙	실트나 점토로 이루어진 흙
통일분류법	#200체(0.075mm) 통과량이 50% 이하 (통일분류법)	#200체(0.075mm) 통과량이 50% 이상 (통일분류법)
전단강도	$\tau = \sigma \cdot \tan\phi$	$\tau = C_u$
투수	10^{-3}cm/sec 이상으로 배수 용이, 보일링 및 파이핑 발생 가능	10^{-5}cm/sec 이하로 배수 불량, 차수층으로 활용
진동	느슨한 모래에서 액상화	-
압밀	침하가 적고 단기간에 발생	침하가 크고 장기간에 걸쳐 발생
지반 개량	동적 개량 (동다짐, SCP, Vibroflotation)	정적 개량 (프리로딩, 연직배수공법)

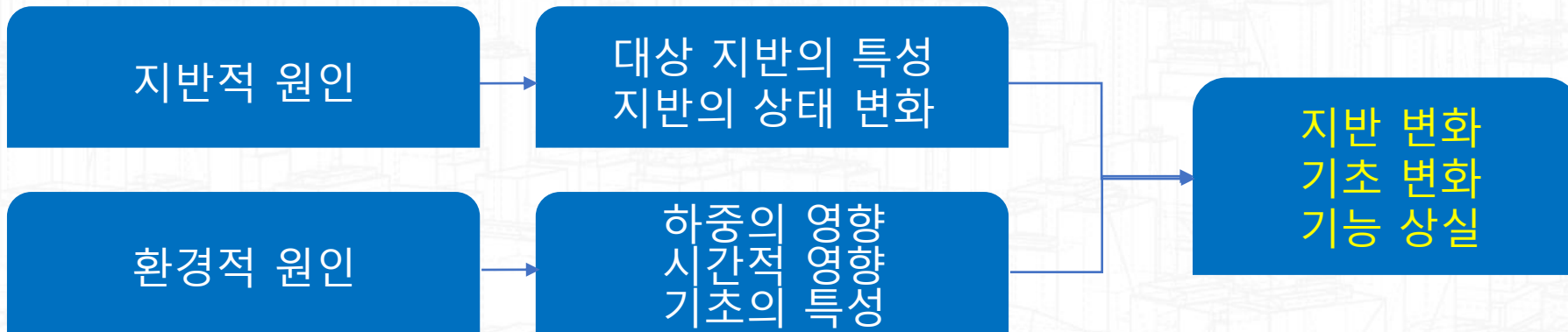
5. 지반관련 붕괴



5. 지반관련 붕괴



5. 지반관련 붕괴



A silhouette of a construction site with several cranes and building structures, rendered in a light green color against a blue background.

구조물 기초

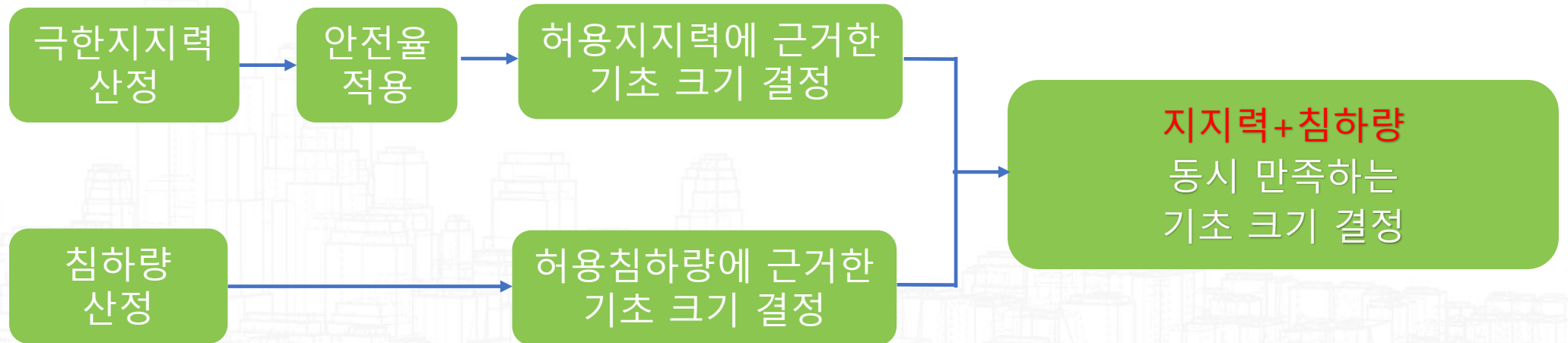
CHAPTER

5

1. 기초 결정 순서

→ 구조물 기초 지반의 조건

- 상부 하중을 충분히 지지 할 수 있는 능력
- 상부 하중으로 인한 기초 침하가 과도하지 않게



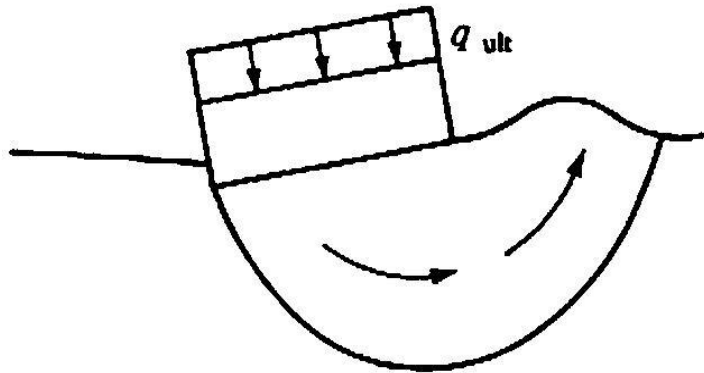
2. 지반특성에 따른 기초 파괴 유형

→ 원형 회전 파괴

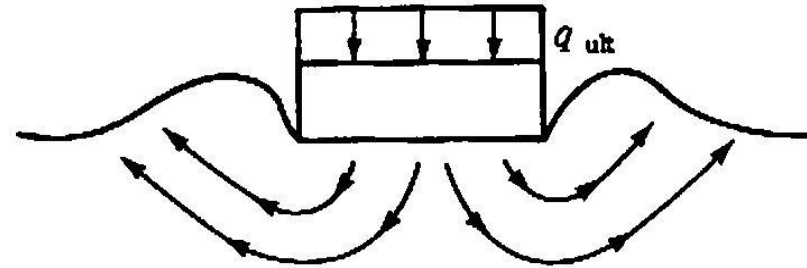
- 지반이 강체(Rigid body) 거동, 점토 지반에서 발생

→ 흠쇄기 파괴

- 상부하중 증가에 의해 극한지지력에 도달시 기초하부 지반은 가라앉고,
- 주위 흙은 옆으로 밀려나고 기초 옆 부분이 부풀어 오름, 사질토 지반에서 발생

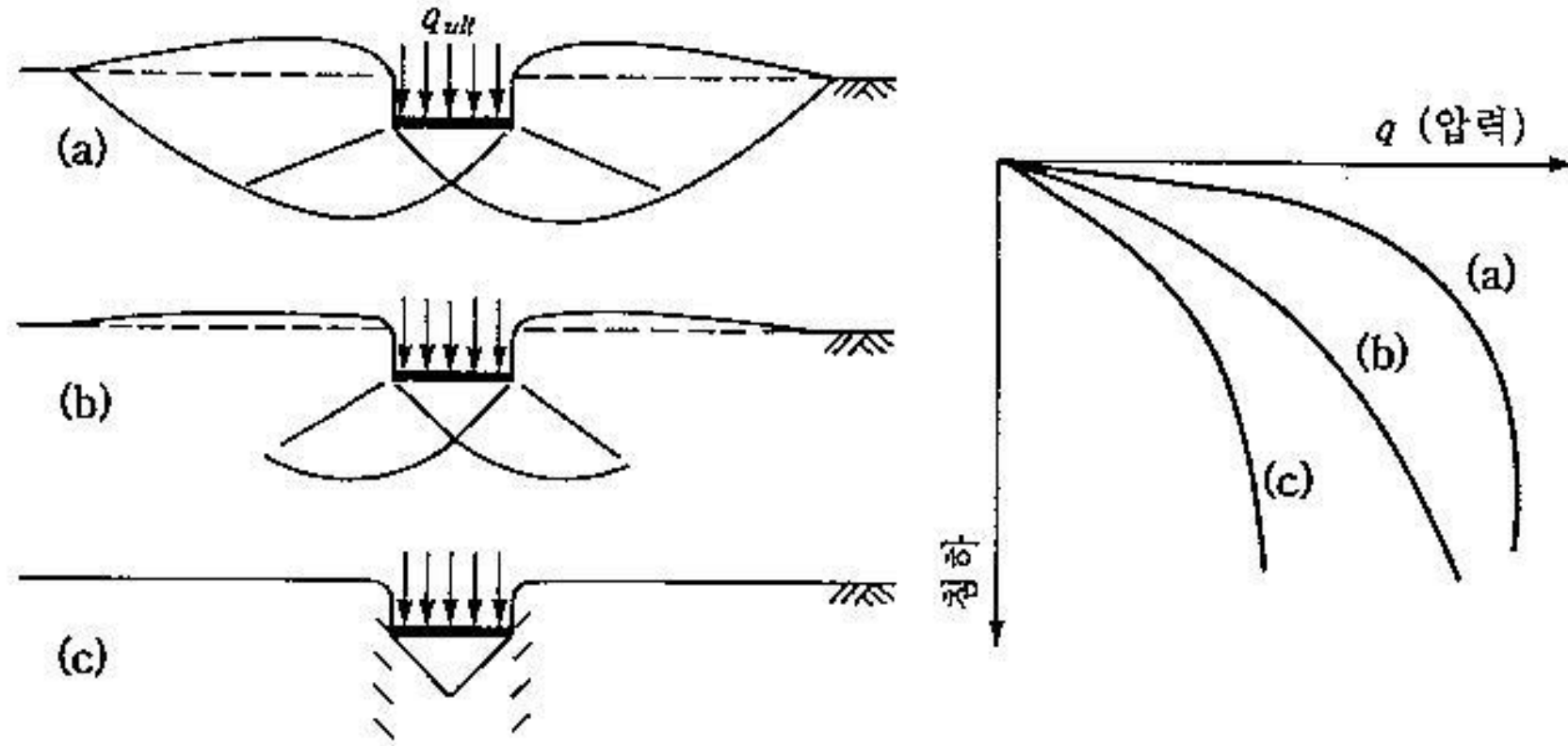


원형 회전 파괴



흠쇄기 파괴

3. 압력(침하량 곡선과 파괴형태)



- **전반 전단파괴** : 지반이 비교적 단단, 압력이 증가하다 파괴 후 감소
- **국부 전단파괴** : 일반적 지반에서 발생
- **관입 전단파괴** : 지반이 대단히 느슨한 경우 기초가 지반속으로 들어감

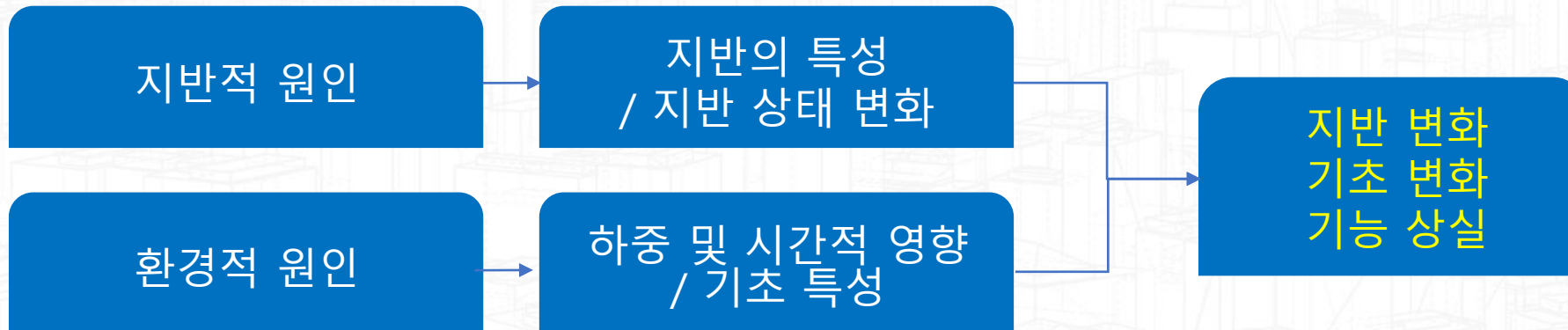
4. 지반관련 피해



4. 지반관련 피해



4. 지반관련 피해



4. 지반관련 피해



시설물의 재료특성 (토질 및 기초) 감사합니다.

