

제 2 장 조사내용 및 방법

- 2.1 조사기준
- 2.2 조사위치
- 2.3 기본계획 및 인근지역 사례분석
- 2.4 물리탐사 및 검층
- 2.5 현장조사
- 2.6 현장시험
- 2.7 실내토질시험
- 2.8 실내암석시험
- 2.9 폐공처리

제2장 조사내용 및 방법

2.1 조사기준

(1) 기본방향

- 본 과업의 구조물별 조사항목, 조사빈도 및 조사심도의 기준은 「철도설계기준, 노반편 (2013.12)」 및 국가건설기준, 과업지시서에 의거 시행

(2) 시추조사 기준

구 분		철도설계기준, 과업지시서		국가건설기준	
		조사빈도	심도	조사빈도	심도
땅 짚 기 구 간	기 본	•20m 이상 대절토부 개소당 1공 이상	•계획고하 2m	•개소당 1공 이상 (연장 200m 이상시 1공 추가)	•계획고하 2m
	실 시	•개소당 1공 이상	•계획고하 2m	•짚기높이 20m 이상 시 2공 이상	
흙 쌓 기 구 간	기 본		•지층의 종류를 판단 할 수 있는 깊이까지 (N=50/30 이상 3회 확인)	•500m 간격	•풍화도 N=30 이상 3회 연속 또는 풍화암 확인
	실 시	•500m 간격			
연 약 지 반	기 본	•100m 간격	•연약지반 심도를 결정 할 수 있을 정도	•100~200m 간격	•연약지반 통과 후 건고한 지층 3~5m 확인
	실 시	•0~100m 간격		•50~100m 간격	
교 량 구 간	기 본	•100m 이상: 3공 이상	•연암 2m, 경암 1m	•100m 이상: 3공 이상	•기반암 3m 이상
	실 시	•100m 이하: 최소 교대	•풍화암 10m	•100m 이하: 최소 교대	
B O X 구 간	기 본		•풍화대 50/30 이상 3회 확인	•개소당 1공	•풍화대 50/30 이하 3회연속 확인
	실 시	•개소당 1공			
터 널 구 간	산 약 (NATM TBM)	기 본	•3공 이상 (터널 입출구부 포함)	•FL 하 D/2 (D:터널최대직경) •50~200m 간격 (터널 입출구부 포함) 계곡부/저토피 1공 이상	•FL 하 0.5~1D, 기반암 미출현시 1~2D
		실 시	•50~100m 간격 (터널 입출구부 포함)		
	도심지 (개착)	기 본	•구조물 계획심도 120% •기반암 확인시 연암 2m, 경암 1m	•200~500m 간격, 주요 구조물은 개소당 1공	•계획고하 3m 이상 (기반암 확인 안된 경우 계획고 하 0.5B, B : 굴착계획폭) 주요구조물 기반암 3m 이상
		실 시		•100m 간격, 주요 구조물은 개소당 1공	
		기 본	•구조물 계획심도 120% •기반암 확인시 연암 2m, 경암 1m	-	-
		실 시			
정 거 장 구 간		•개소당 3공	•구조물 계획심도 120% •기반암 확인시 연암 2m, 경암 1m	-	-

(3) 지반분류 기준

구 분	TCR(%)			RQD(%)			일축압축강도 (MPa)			탄성파속도 (km/sec)		
	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암
건 설 표 준 품 쉼	20~40	40~70	70<	<25	25~50	50<	70~100	100~130	130<	1.2~1.9	1.9~2.9	2.9<
서울지하철공사	30~60	60~80	80<	10~25	25~50	50<	10~25	25~50	50<	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5<
고속철도공단	<40	40~70	70~90	<10	10~70	70<	5~25	25~50	50<	1.2~2.5	2.5~3.5	3.5<
검단선설계기준	30~60	60~80	80≤	10~25	25~50	50≤	10~50	50~100	100≤	2.0~3.0	3.0~4.2	4.0~5.0

(4) 과업적용

구 분	시 추 간 격	시 추 심 도
터 널 구 간	•100m 간격	•계획고(레일고)하 6m
정 거 장 구 간	•개소당 3공	•계획고(레일고)하 9m

구 분	TCR(%)			RQD(%)			일축압축강도 (MPa)			탄성파속도 (km/sec)		
	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암	연암	보통암	경암
과 업 적 용	30~60	60~80	80<	10~25	25~50	50<	10~40	40~70	70<	2.0~3.0	3.0~4.2	4.0~5.0

2.2 조사위치



(2) 시추조사 위치

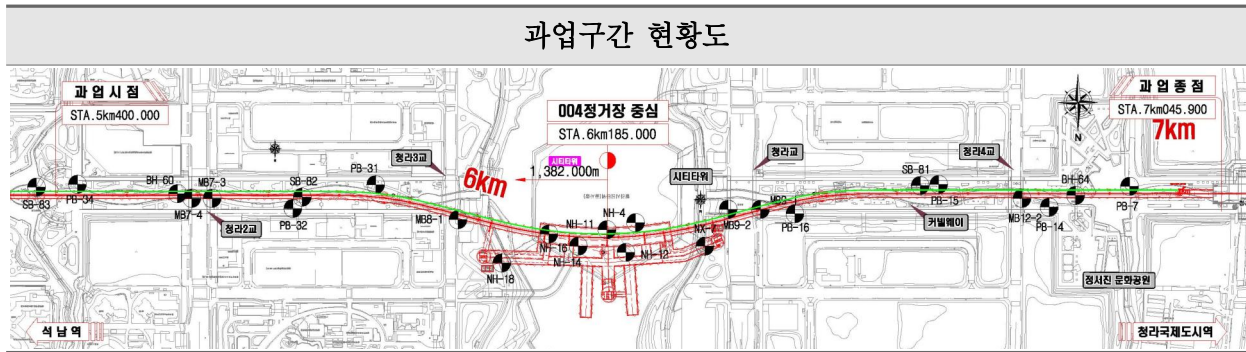
구 분		STA.	좌표		지반고 (EL.m)	비 고
			X	Y		
본 선 터 널	2NBH-20	STA. 5km499.0	548,240.60	168,336.50	100.80	
	2NBH-21	STA. 5km582.1	548,210.60	168,253.40	101.40	
	2NBH-22	STA. 5km699.0	548,224.20	168,136.50	101.40	
	2NBH-23	STA. 5km799.0	548,224.70	168,036.50	101.50	
	2NBH-24	STA. 5km894.1	548,224.50	167,940.30	101.40	
	2NBH-25	STA. 5km987.7	548,241.30	167,847.60	103.50	
	2NBH-26	STA. 6km019.5	548,309.80	167,831.30	108.20	
0 0 4 정거장	2NBH-27	STA. 6km100.3	548,299.10	167,661.30	98.20	
	2NBH-28	STA. 6km191.7	548,282.20	167,649.70	94.80	
	2NBH-29	STA. 6km260.5	548,264.20	167,582.90	97.20	
본 선 터 널	2NBH-30	STA. 6km398.6	548,246.00	167,446.60	101.30	
	2NBH-31	STA. 6km503.8	548,209.30	167,345.70	101.30	
	2NBH-32	STA. 6km595.6	548,239.70	167,248.70	101.40	
	2NBH-33	STA. 6km704.6	548,209.20	167,143.30	101.30	
	2NBH-34	STA. 6km798.7	548,211.60	167,049.00	101.40	
	2NBH-35	STA. 6km940.0	548,208.10	166,907.80	101.40	
	2NBH-36	STA. 6km329.1	548,303.10	167,503.90	105.60	
정거장	3NBH-1	STA. 7km038.7	548,209.33	166,811.28	101.37	

2.3 기본계획 및 인근지역 사례분석

(1) 기본방향

- 기본계획 및 인근지역에 대한 자료분석으로 지층분포 및 지층별 물리·역학적 특성에 대한 참고자료로 활용

(2) 인근지역 조사현황



－ 지층분석 활용사례

구 분	사 업 명	구 분	사 업 명
①	● 중봉1~3교	③	● 청라개발사업2
②	● 청라교, 청라1~3교	④	● 시티타워
⑤	● 인천 청라지구 주운시설 건설공사		

－ 설계지반정수 분석 활용사례

구 분	사 업 명
①	●청라국제도시 시티타워 건설공사 지반조사
②	●인천청라지구 주운시설 건설공사 실시설계
③	●인천청라지구 특수구조물 건설공사(2공구) 지반조사
④	●서울도시철도7호선 석남연장 건설공사 2공구 실시설계
⑤	●제2외곽순환(인천~김포) 고속도로 민간투자사업(1~4공구)
⑥	●고속국도400호선 제2외곽순환(인천~김포) 고속도로 민간투자사업 제3-1공구[남청라JCT]
⑦	●고속국도400호선 제2외곽순환(인천~김포) 고속도로 민간투자사업 제3-1공구[청라국제지하차도]
⑧	●고속국도400호선 제2외곽순환(인천~김포) 고속도로 민간투자사업 제3-2공구:경서~검단(아라뱃길)
⑨	●고속국도400호선 제2외곽순환(인천~김포) 고속도로 민간투자사업 제3-2공구:경서~검단(청라국제도시)
⑩	●서울도시철도 7호선 청라국제도시 연장사업 타당성 평가 및 기본계획

2.4 물리탐사 및 검증

2.4.1 전기비저항탐사

(1) 기본방향

- 수평 및 수직방향의 지층분포 및 저비저항 지질이상대(단층, 파쇄대, 지하수, 공동 등) 파악
- 지표지질, 굴절법탄성파탐사 및 시추조사 등과 비교·검토하여 미시추구간의 지층구조 추정

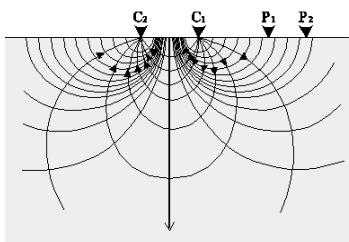
(2) 탐사수량 및 모식도

구 분	연장(m)	수진간격(m)	장비사진	쌍극자배열법의 탐사모식도
L-1	3,200	15.0		
소 계	3,200			

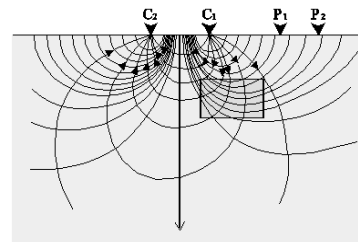
(3) 원리 및 시험방법

- 전기비저항탐사는 지하 매질에 존재하는 전기비저항 이상대에 의한 이상 전위차를 측정, 해석하여 지질구조, 단층파쇄대, 지하수 등의 지하구조를 규명하는 물리탐사 기법
- 본 조사에서 전극의 배열은 수평 및 수직탐사를 동시에 수행하는 쌍극자 배열법을 이용, 탐사방법은 수평적인 전기비저항치는 물론 수직적인 변화를 알수 있는 방법으로 전류전극(C1,C2)과 전위전극(P1,P2) 사이의 거리를 길이 a 로 하여 탐사목적, 정밀도 등을 고려하여 결정하고 $a, 2a, 3a, \dots, na$ 간격으로 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겉보기 비저항치를 계산

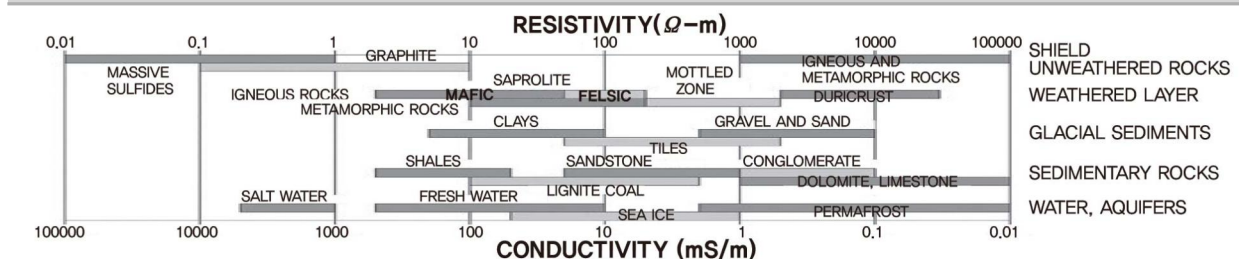
균질한 매질에서의 등전위도



불균질한 매질에서의 등전위도



암석의 전기비저항 분포(Palacky, 1987)



2.4.2 S-PS 검층

(1) 기본방향

- 지층별 탄성파(P파, S파)속도를 측정하여 전단파속도(V_s) 파악
- 동적특성(동전단계수, 동탄성계수, 동체적계수, 동포아송비)을 산출하여 구조물 내진설계시 필요한 동적 지반정보 제공

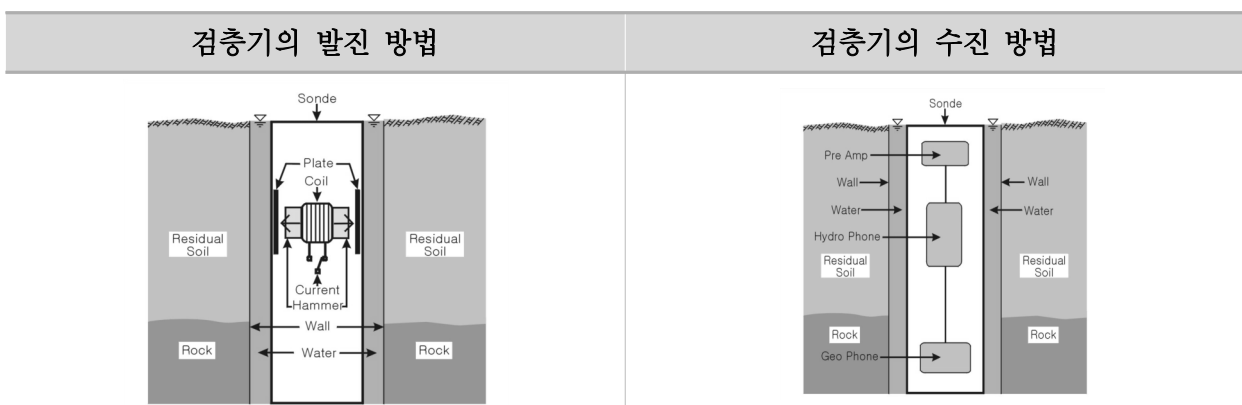
(2) 시험방법

- 표준형 발진기와 수신기를 포함하는 Probe를 공내 탐사 심도에 위치시키고, 두 수신기 사이 (1m)의 도착시간 차이를 측정하는 방식이며, 발진기로 철심이 수평으로 움직이는 Solenoid 코일을 사용하고, 압착이 필요없는 수신기를 이용하여 P파와 S파의 움직임을 측정
 - 발진방법은 일반적인 스피커와 같은 원리로서 Sonde에 내장된 코일을 감은 원통형 철심에 전류를 흘려보내면 전자해머가 진동하여 공내수에 압력을 가하는 방식으로 지반변형을 일으켜 P파와 S파를 발생
 - 진원에서 발생한 파는 지반을 통해 상부에 있는 2개의 수신부에 도달하게 되며 두 수신부에 도달하는 파의 시간차이를 측정함으로써 파가 전파하는 구간의 P파 및 S파의 속도를 구함
- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 동포아송비 $v = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$ • 동탄성계수 $E = 2G(1+v)$ | <ul style="list-style-type: none"> • 동전단탄성계수 $G = \rho(V_s)^2$ • 동체적탄성계수 $K = E/3(1-2v)$ | <ul style="list-style-type: none"> V_p : P파 속도 V_s : S파 속도 ρ : 밀도값 |
|---|--|---|

(3) 시험모식도 및 전경



(4) 시험모식도 및 전경



2.4.3 시추공 영상촬영(BIPS)

(1) 기본방향

- 암반의 절리 등 지반특성을 파악
- 시추공내의 암상, 불연속면, 파쇄대 등 방향성 있는 구조들을 측정

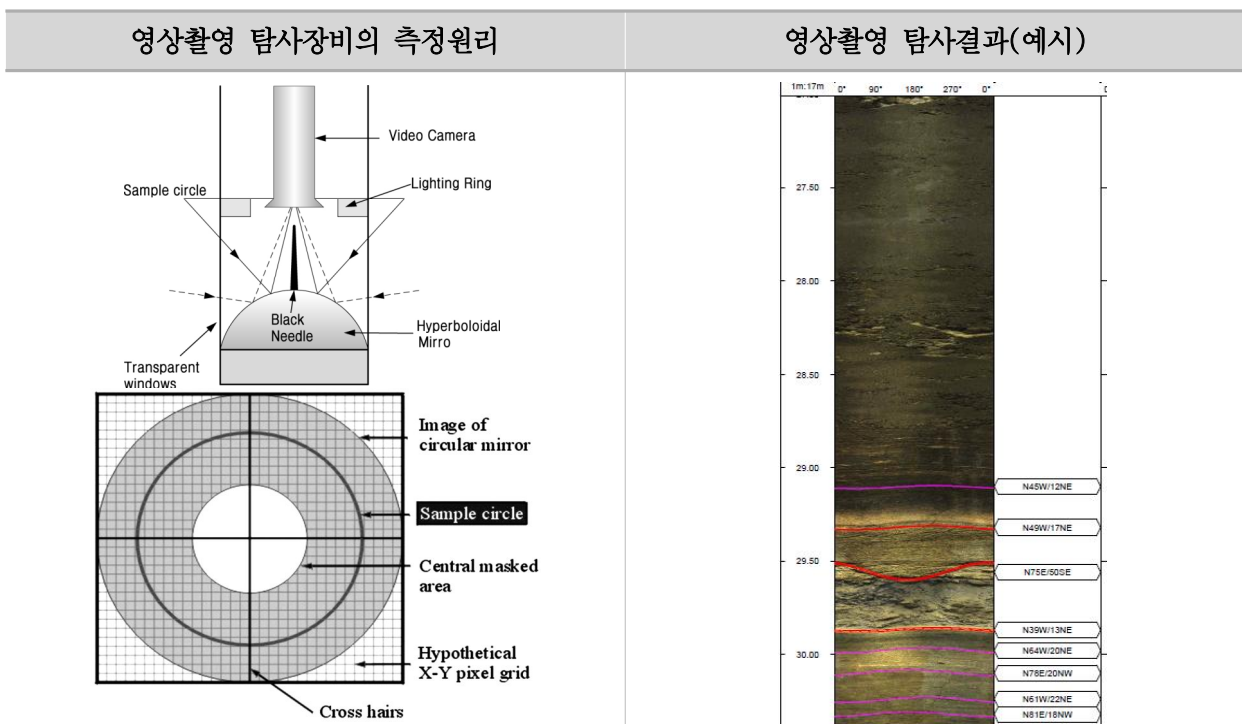
(2) 시험방법

- 광학적 촬영방법으로서 광원과 Camera가 부착된 Probe를 시추공 내에 삽입한 후 Cone Mirror를 이용하여 공벽을 360° 촬영하며, 이때 자기센서가 내장되어 촬영 중 북쪽을 기준으로 촬영되며 심도 기록장치에 의해 촬영심도 기록
- 촬영된 기록은 Image Processing을 통해 처리하면 시추공벽에 나타난 지층면이나 절리면의 주향, 경사 및 균열의 간격 등 불연속면에 대한 정보를 입체적으로 파악

(3) 시험모식도 및 전경



(4) 시험 원리



2.5 현장조사

2.5.1 시추조사

(1) 기본방향

- 지층의 성상과 각 지층의 지반공학적 특성, 기반암의 분포상태 및 풍화도 등 파악
- 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 실시하여 성과분석에 필요한 지반자료를 제공

(2) 조사방법 및 전경

- 회전수세식형(Rotary wash type) 시추기를 사용
- 공벽붕괴 방지를 위해 풍화암까지 Casing 삽입, 1.0m 간격으로 표준관입시험 실시
- 토사 시료채취는 Split spoon sampler, 암반 시료 채취는 D-3 core barrel 및 Diamond bit 사용
- 채취된 암석코아는 육안관찰에 의해 암석 내에 분포된 불연속면 (Discontinuities)과 충전물 등을 파악하고 TCR, RQD 등의 암반 특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재
- 채취된 토질 및 암석시료는 시료상자에 공번, 심도, 지층명 및 색상을 기록하여 정리 보관
- 굴진 및 공내시험이 완료된 시추공은 지하수위 측정 후 오염방지를 위해 폐공 실시



(3) 시추조사 규격에 따른 특성 비교

규격	BX (Single core barrel)	NX (Double core barrel)	NX (D-3 core barrel)
시추공의 직경	63.5 mm	76.2 mm	좌 동
코아샘플의 직경	41.3 mm	54.0 mm	좌 동
시추공을 이용한 현장시험 항목	<ul style="list-style-type: none"> • 표준관입시험 • 현장투수시험 • 베인전단시험 	<ul style="list-style-type: none"> • BX항목 전부 • 암반수압시험 • 공내채하시험 • 각종 공내검층 	좌 동
조 사 목 적	<ul style="list-style-type: none"> • 토사층을 대상으로 지층의 구성상태, 두께, 층서 등 파악 • 기반암의 분포위치를 확인하여 지지력 및 기초형식을 추정하기위해 얕은심도(15.0m미만)에서 시행 	<ul style="list-style-type: none"> • 대상지반이 장심도(20.0m 이상) • 기반암층이 굴착지반에 해당 될 경우 확실한 암석코아시료 채취하여 해당 지반의 안정성 분석, 역학적 특성 분석을 통해 정밀하고 정확한 지반 공학적 특성 규명 	좌 동
적 용 범 위	<ul style="list-style-type: none"> • 지하2층 미만 일반 건축공사 • 소규모 교량공사 • 지층확인 목적 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하3층 이상 건축공사 • 연약지반 공사 • 터널 또는 절토부 공사 • 지하구조물, 장대교량 공사 	좌 동
장 단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 암석코아 채취율이 다소 불량하며, 코아의 비틀림력 때문에 조각 코아 상태로 회수됨 • 암질지수(RQD) 평가불가 • 코아시편에 따른 암질의 연구 및 평가가 불가능 • 조사비용 상대적으로 저렴 • 공기가 비교적 짧다 	<ul style="list-style-type: none"> • 암석코아채취가 비교적 양호, 코아 상태로 회수 • 코아시편을 통한 암석평가 및 연구가 우수함 • 현장지반조사에서의 우수성과 정확성이 인정됨 • 시추공에서 다양한 현장시험이 가능하여 원지반 특성 규명이 용이 • 조사비용이 비교적 높다 	<ul style="list-style-type: none"> • 코아시편을 통한 암석평가 및 연구가 뛰어난 • 내부 tube가 분리되어 채취된 코아의 원래 형태가 보존되어 자연상태 절리면 관찰이 가능 • 풍화 및 파쇄정리가 심한 지층에 유리함 • 조사비용이 높다.
적 용			○

2.5.2 공내지하수위 측정

(1) 기본방향

- 지하수위 변화에 따른 수압 및 유효 상재하중을 고려한 설계를 위하여 각 시추공에 분포하고 있는 지하수위 분포현황 파악

(2) 조사방법 및 전경

- 지하수위 측정은 지하수체(Ground water body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면(Piezometric surface)의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면부터의 심도를 측정함
- 측정된 지하수위는 24~72시간 측정을 기준으로 하여 시추주상도에 수록
- 공내지하수위는 측정시기, 계절 및 기상현상에 따라 변동의 소지가 있음을 고려하여 수위변화에 대한 분석과 이에 관련된 대책 필요



2.5.3 자연시료 채취

(1) 기본방향

- 과업구간 내 점성토(연약지반)에 대한 강도특성 등을 규명하기 위하여 U.D Sampling에 의해 시료를 채취하고 기본물성, 직접전단, 일축 및 삼축압축시험(UU), 압밀시험을 실시

(2) 조사방법 및 전경

- 토질물성 및 역학시험을 실시하기 위해 피스톤 시료채취기를 이용하여 자연시료를 채취
- 채취한 시료는 함수비의 변화가 없도록 상부와 하부를 밀봉하고, 교란이 최소화되도록 유의하여 보관
- 압밀시험, 일축압축강도 등 불교란시료의 실내시험에 활용



2.6 현장시험

2.6.1 표준관입시험

(1) 기본방향

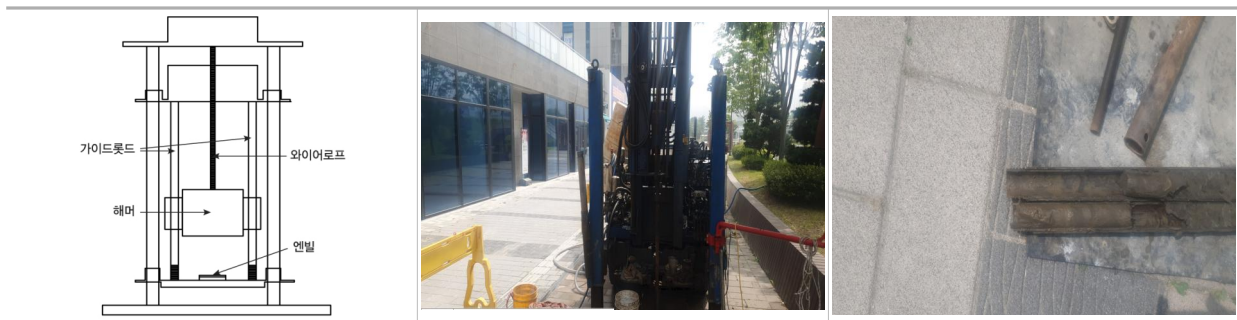
- 심도에 따른 지층의 상대밀도 및 연경도와 구성성분 파악
- 교란시료 채취를 통한 시료 육안판별 및 실내토질시험 시료 확보
- 시추주상도에 유효상재압 및 룯드길이 보정 후 적용



(2) 시험방법

- 시험장비 : Drive hammer($63.5 \pm 0.5\text{kg}$), Split barrel sampler
- 시험심도 확인 후 해머 무게 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$, 낙하고 $76 \pm 1.0\text{cm}$ 에서 자유낙하 예비박기(15cm 관입) 실시 후 본박기 관입량 30cm를 전후 각 15cm씩 나누어 타격수(N치) 기록
- 본박기 관입량 30cm 미만에서 타격수 50회 이상일 때 타격중단 후 50/관입량(cm) 기록
- 심도 1.0m마다 또는 지층이 변할 때마다 실시, 풍화도와 풍화암의 구분 : $N = 50/10$ 적용
- Split barrel을 분리시켜 교란시료 채취 - 채취된 시료는 육안에 의한 토질분류

(3) 시험모식도 및 시험전경



(4) N치로부터 추정 또는 산정되는 사항

구 분	판 별 · 추 정 되 는 사 항		
지 반 으 로 서 종합 판 정 사 항	지반구성과 강도의 분포, 지지층의 위치, 말뚝이나 널말뚝관입의 가능성, 연약층의 위치, 투수층의 유무, 지반개량의 방법과 효과의 판정, 활동 파괴면의 유무, 굴착방법의 선정		
N 치 에 서 직 접 추 정 되 는 사 항	모래지반	상대밀도, 내부마찰각, 액상화, 지지력계수, 침하에 대한 지지력, 간극비	말뚝의 연직지지력, 말뚝의 수평변위,
	점토지반	컨시스턴시, 일축압축강도(점착력), 파괴에 대한 지지력	지반 반력계수, 변형계수

(5) N치에 의한 세립토(점토, 실트)의 Consistency와 압축강도와의 관계

N 치	컨 시 스텐 시 (Consistency)	일축압축강도 (kgf/cm^2)
$N < 2$	매 우 연 약 (Very soft)	< 0.25
$2 \sim 4$	연 약 (Soft)	$0.25 \sim 0.5$
$4 \sim 8$	보 통 (Medium)	$0.5 \sim 1.0$
$8 \sim 15$	견 고 (Stiff)	$1.0 \sim 2.0$
$15 \sim 30$	매 우 견 고 (Very stiff)	$2.0 \sim 4.0$
$N > 30$	고 결 (Hard)	> 4.0

(6) N치에 의한 조립토(모래, 자갈)의 상대밀도 및 내부마찰각과의 관계

N 치	상대밀도 $Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$	내부마찰각 (deg)	
		Peck	Meyerhof
N < 4	매 우 느슨 (Very loose)	0.0~0.2	< 28.5
4 ~ 10	느슨 (Loose)	0.2~0.4	28.5~30.0
10 ~ 30	보통 (Medium)	0.4~0.6	30.0~36.0
30 ~ 50	조밀 (Dense)	0.6~0.8	36.0~41.0
N > 50	매 우 조밀 (Very dense)	0.8 >	41.0 <

2.6.2 현장투수시험

(1) 기본방향

- 조사구간에 분포하고 있는 토층의 투수계수 산정
- 수위하강법(Falling head method)을 이용한 투수성 파악

(2) 시험방법 및 모식도

•시추공내 수위 하강법(Falling head method) 적용

•시험구간이 지하수위 하부에 위치할 경우 :

$$k = \frac{r^2}{2(L_1 - L_2)(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{L_1 - L_2}{r}\right) \ln\left(\frac{(H_c + D_c) - H_1}{(H_c + D_c) - H_2}\right)$$

•시험구간이 지하수위 상부에 위치할 경우 :

$$k = \frac{r^2}{2(L_1 - L_2)(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{L_1 - L_2}{r}\right) \ln\left(\frac{H_1 + H_G}{H_2 + H_G}\right)$$

여기서, K : 투수계수 (cm/sec), t_1 , t_2 : 경과시간 (sec)

L_1 : 케이싱 상단에서 굴착깊이까지 거리 (cm)

H_c : 지상에 노출된 케이싱 길이 (cm)

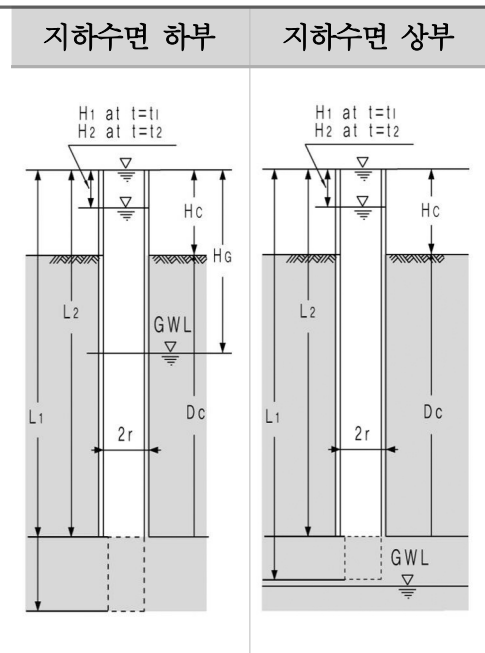
H_G : 케이싱 상단에서 지하수위까지 거리 (cm)

r : 케이싱 반경 (cm)

D_c : 지중에 삽입된 케이싱 길이 (cm)

L_2 : 케이싱 상단에서 케이싱 하단까지 거리 (cm)

H_1 , H_2 : 경과시간에 따른 수위저하 거리 (cm)



(3) 투수계수의 설명적 표현

등급	투수계수 (k, cm/sec)	표현	등급	투수계수 (k, cm/sec)	표현
1	1 이상	Very highly permeable	4	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	Slightly permeable
2	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	Highly permeable	5	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	Very slightly permeable
3	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	Moderately permeable	6	10^{-7} 이하	Practically permeable

2.6.3 현장수압시험

(1) 기본방향

- 조사구간에 분포하고 있는 암반층의 투수계수 산정
- 주입압력-주입량 곡선을 작성, 투수패턴에 따라 Lugeon값을 산정하여 투수성 평가

(2) 시험방법 및 모식도

- Packer를 하향식으로 하고 압력의 증감은 5~9단계로 실시
- 각 단계에서 주입압력별로 약 10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 주입수량을 측정
- 투수계수 산출 공식

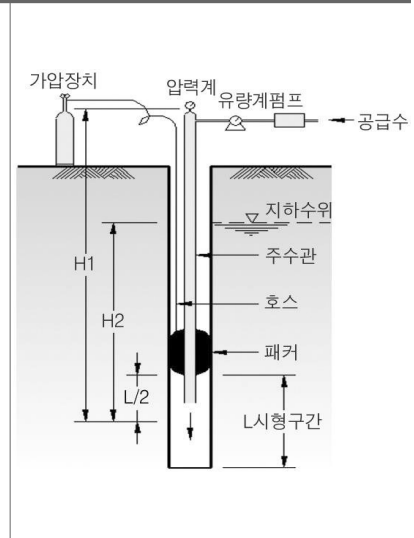
$$K = \frac{2.3Q}{2\pi HL} \cdot \ln \frac{L}{R}$$

여기서, K : 투수계수(cm/sec) L : 시험구간(cm)
H : 총수두(cm) R : 공반경(cm) Q : 주입유량(m³/sec)

- 각 압력 단계별 Lugeon 값을 계산하여 Pattern에 따라 값을 정함
- Lugeon 값 산출 공식

$$Lu = \frac{10 \cdot Q}{P \cdot L}$$

여기서 Lu : Lugeon치 L : 시험구간(m)
Q : 주입유량(ℓ/min) P : 주입압력(kg/cm²)



(3) P-Q 곡선에 의한 아만의 투수성 평가(Houlsby)

구 분	압력-주입량 관계도	압력에 따른 Lugeon치	구 분	압력-주입량 관계도	압력에 따른 Lugeon치
A Type Laminar flow (층류)			D Type Wash-out (유실)		
B Type Dilation (팽창)			E type Void filling (공극충진)		
C Type Turbulent flow (난류)			특 징	A-Type	•Lugeon치 평균적용, Grout효과 가장양호
				B-Type	•Lugeon치 최소적용, Grout효과 양호
				C-Type	•Lugeon치 최대적용, Grout효과 양호
				D-Type	•Lugeon치 최대적용, Grout효과 매우불량
				E-Type	•Lugeon치 최후단계적용, Grout효과 불량

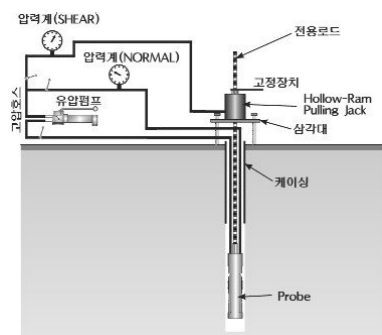
2.6.4 공내전단시험(BST)

(1) 기본방향

- 조사구간에 분포하고 있는 토사 및 풍화암층의 강도정수(점착력, 내부마찰각) 산정
- 시추공내에서 직접 전단시험을 실시하여 신뢰성 높은 강도정수를 산출

(2) 시험방법 및 모식도

- 시추공내에서 시험심도 구간 선정후 Probe를 시험 구간에 삽입, 펌프를 이용하여 시추공 내 전단기(Shear head)에 수평압력(Normal stress)을 가한 후 충분히 압밀이 되도록 기다림
- Probe와 연결된 Rod에 유압잭으로 전단압력을 가하여 전단압력이 최대가 될 때의 수평압력과 전단압력을 측정
- 수평압력을 단계적으로 3~5회 증가시키며 각 단계별 수평압력(Normal stress)과 전단압력(Shear stress)을 측정하고 선형회귀분석(Linear regression)을 이용하여 점착력 및 내부마찰각을 산정



2.6.5 공내재하시험

(1) 기본방향

- 조사구간내 토사층, 풍화암 및 기반암의 변형특성(변형계수, 탄성계수) 산정

(2) 시험방법 및 전경

- LLT : 시추공내에 고무튜브의 측정관을 삽입하고 가압액(물, 기름)이나 공기를 보내는 것에 의해 공벽에 분포하중을 주는 방식으로 공벽면에 가압력을 일정시간마다 단계적으로 증가시키고 그 때의 공벽면 변위량의 변화를 측정하여가압력과 공벽면 변위량과의 관계를 구함. 점성토층이나 느슨한 사질토층에 주로 사용 가능

LLT



- PMT : Sonde 및 Probe를 삽입 후 가압장치로 고무튜브 및 재하판을 팽창시키고, 이때 발생된 공벽의 변위를 측정하여 변위-응력 곡선으로부터 변형계수 산출, 작성된 압력-변위량 곡선을 검토하여 이 중 초기하중 곡선의 직선구간에서 탄성계수를 산출하는 방법으로 처리. 지층이 풍화암~연암층일 경우주로 사용하나, Soft Packer 이용시 토사층 사용 가능

PMT



- GMJ : 직사각형의 강제 재하판을 장착한 Probe를 시험공내에 삽입, 강제 재하판으로 공벽에 하중을 작용시키는 방법으로 등압분포재하법에 비해 큰 하중을 작용시킬 수 있는 장점이 있으나, 불균질 지반이나 이방성 지반의 경우에는 재하방법에 따라 시험치가 다르게 될 경우도 있기 때문에 재하방향을 명확히 할 필요가 있음. 지층이 보통암~경암층일 경우에 주로 사용 가능

GMJ



2.6.6 양수 및 충격시험

(1) 기본방향

- 과업지역의 수리지질학적 특성을 파악하고 터널 및 굴착지역에서 발생할 수 있는 지하수 유동 변화 및 유입량 예측을 위한 수리모델링의 기초자료로 이용

-
- 설계목적에 맞게 시험공을 굴착한 후 지하수위가 안정화 된 후 시험을 개시
 - 수중모터펌프를 시험정에 설치하고 적산유량계와 같은 유량측정 장치를 설치
 - 적정양수량으로 양수율을 유지하면서 안정수위 도달시까지 장기 양수시험을 시행하며, 지하수 위의 변화는 자동 수위관측 장비를 이용하여 측정
 - 본 시험에서는 자동 수위관측 장비인 DIVER DATA LOGGER를 이용하여 지하수위의 변화를 측정
 - 장기양수시험 종료와 동시에 수위회복시험을 연속적으로 시행하며, 수위 회복은 초기 자연수위의 약 80%까지의 회복을 원칙으로 함
 - 수리상수는 지역 및 심도에 따라 변화하며, 특히 화강암이나 기타 기반암 등에서는 변화가 심하기 때문에 여러 곳에서의 상수를 구하여 전체를 평가
 - 수리상수의 산출은 채수상시험을 통하여 이루어지는데 양수공에서 장기간에 걸쳐 양수를 계속하였을 때 일정한 거리에 있는 가상의 관측공에서의 시간에 대한 수위강하를 측정
 - 이때 양수량은 일정하게 유지시키고 양수할 때 관측공의 수위강하는 처음에는 그 폭이 시간이 지남에 따라 점점 작아지고, 또한 양수량이 많으면 수위강하 폭도 커짐
 - 채수상시험을 통한 투수계수와 투수량계수의 계산공식은 평형공식과 비평형공식의 두가지가 있는데 일반적으로 평형공식을 이용
-

(2) 분석방법

-
- HydroSOLVE, Inc.에서 개발한 전산 code인 AQTESOLV 프로그램을 이용하여 분석
 - 대수층은 자유면대수층으로 분석하고, 분석방법은 Theis식, Copper & Jacob식, Theis Recovery 식을 이용하여 해석
- 단공시험시 저류계수는 과대 산정되므로 유효우물반경(최병수, 한국지하수토양학회지 Vol. 13, 2008)을 산정하여 보정
- Theis Method

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \quad u = \frac{r^2 S}{4 T t}, \quad S = \frac{4 T t u}{r^2}, \quad W(u) = \int_u^\infty \left(\frac{e^{-u}}{u} \right) du$$

- Cooper&Jacob Method

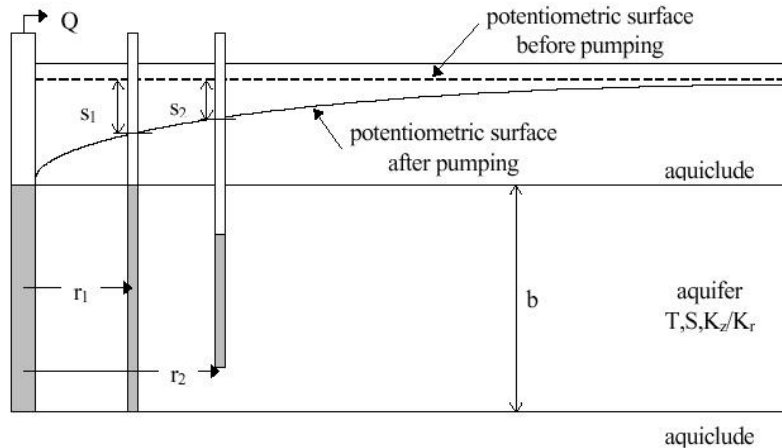
$$S = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log_{10} \frac{2.25 T t}{S r^2}$$

- Theis recovery

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln\left(\frac{t}{t'}\right) - \ln(S) \right], \quad S' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'}$$

s : 수위강하량(m)	S : 저류계수	Q : 일정 양수량(m ³ /일)
t : 양수 경과시간 (min)	T : 투수량계수(cm ² /sec)	Sy : 비산출율(specific yield)
b : 대수층두께(m)	Kh : 수평 수리전도도	W(u) : Theis Well Function
Kv : 수직 수리전도도	r : 양수정과 관측공들 사이의 거리(m)	b : 최초 포화대두께

(3) 자유면 대수층에서 양수시험에 의한 지하수면의 변화



2.6.7 지하수유향 · 유속시험

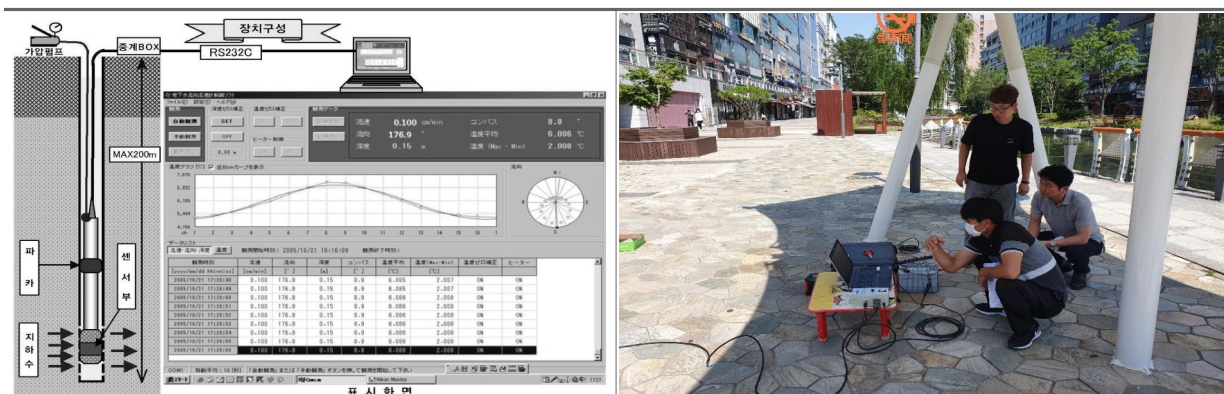
(1) 기본방향

- 공내 지하수 유향 · 유속조사를 실시하여 지표 하에서 발생하는 지하수의 흐름을 예측하여 수리분석에 필요한 정확한 현장자료를 제공

(2) 원리 및 시험방법

- 시험공 내에서 지하수의 유향·유속 측정은 GFD-3A(JFE Advantech Co., Ltd, 일본)의 Heat pulse 방식의 장비를 이용
- 시험공 내 삽입된 Submersible probe(Φ44mm)의 중앙에 열원이 있고, 주위에 온도 감지센서 16쌍이 각 방향으로 설치되어 있고, 이들의 상대적인 열적 팽창차이를 측정하여 전산분석 프로그램을 이용하여 계산

(2) 시험모식도 및 전경



2.7 실내토질시험

2.7.1 기본물성시험

(1) 기본방향

- 각 토층의 물리적 특성 파악과 흙의 분류(통일분류법)를 위해 실시
- 시험방법은 한국산업규격(KS F 규정)에 의거하여 시행

(2) 시험항목, 장비 및 규정

시험 명칭	한국산업규격	시험결과 활용
함 수 비	KS F 2306	• 흙의 함수상태 측정
비 중 시 험	KS F 2308	• 흙의 단위중량 측정
액 성 한 계	KS F 2303	• 흙의 분류와 공학적 성질 파악
소 성 한 계	KS F 2304	
체 분 석	KS F 2309	• 흙의 입도분포 파악
입 도 시 험	KS F 2302	

체분석	비중시험	액성한계	입도시험
			

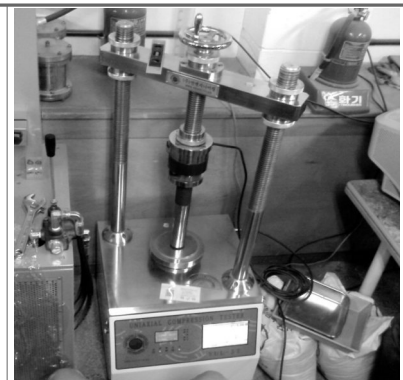
2.7.2 일축압축시험

(1) 기본방향

- 점착력이 있는 흙의 전단강도 파악
- 시험방법은 한국산업규격(KS F 규정)에 의거하여 시행

(2) 시험방법 및 전경

- 점착력이 있는 시료를 원추형 공시체로 만들어 측압을 받지 않는 상태에서 축하중을 가하여 전단파괴시켜서 시료의 전단강도를 결정하는 방법
- 한국산업규격 KS F2314에 규정
- 공시체가 전단 파괴될 때에는 파괴면은 주응력면과 $45^\circ + \phi/2$ 각도를 이루므로 일축압축시험을 하여 주응력면과 파괴면의 각도를 측정하여 전단저항각을 결정함
- 전단강도는 사면이나 시공직후의 하부구조물의 안정계산이나 비배수 조건으로 기초의 지지력을 계산하는 경우에 사용



2.7.3 삼축압축시험(UU)

(1) 기본방향

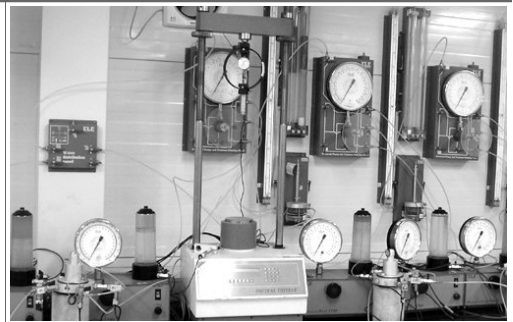
- 현장지반상태의 응력조건을 고려하여 흙의 전단강도정수인 점착력(c)와 전단저항각(ϕ)을 산정
- 시공 중의 기 안정성 검토에 이용되며, 한국산업규격(KS F 2346 규정)에 의거하여 시행

(2) 시험종류 및 규정

시험 명칭	표준방법	결과 활용
UU (비압밀-비배수)	KS F 2346	•점성토 지반의 기초, 사면굴착 등의 안정계산, 단기안정성 검토

(3) 시험방법 및 전경

- 현장에서의 지반응력조건과 동일하게 연직 및 수평방향 구속응력을 가하여 압밀
- 비압밀-비배수 전단시험을 수행하여 실제 현장조건과 흡사한 응력-변형거동 파악
- 시험 결과는 축차응력($\sigma_1 - \sigma_3$)과 변형률 관계곡선 및 축차응력과 간극수압 관계 곡선 등으로 표현



2.7.4 표준압밀시험

(1) 기본방향

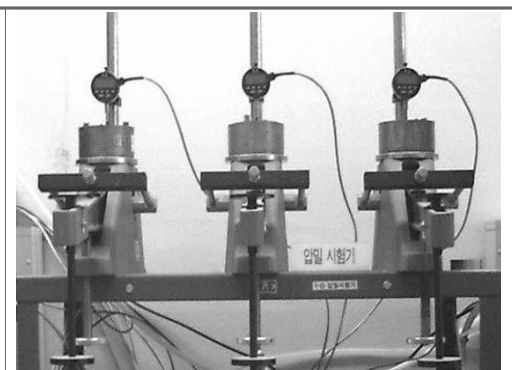
- 토질의 압축성을 나타내는 압축지수, 팽창지수, 선형압밀응력, 압밀계수 등을 산정
- 시간에 따른 침하량을 측정하여 하중-침하량 관계의 압밀곡선과 시간-침하량 관계곡선을 도출

(2) 시험종류 및 규정

시험 명칭	표준방법	결과 활용
표준압밀시험	KS F 2316	•압밀정수(압축지수, 선형압밀하중, 체적압축계수, 압밀계수 등)를 이용하여 침하특성 검토

(3) 시험방법 및 전경

- 흙 속으로부터 물이 빠져나가면서 지반이 압축되는 현상을 압밀이라고 함
- 압밀현상을 실내에서 실험적으로 구하는 시험을 압밀시험이라 하며 Terzaghi의 1차 압밀이론에 근거를 둠
- 압밀정수를 이용하여 점성토지반이 하중을 받아서 지반 전체가 1차원적으로 압축되는 경우에 발생하는 침하특성(침하량, 침하속도) 산정





2.7.5 직접전단시험

(1) 기본방향

- 시료의 변형에 따른 저항력을 측정하여 파괴강도, 잔류강도, 한계간극비 등을 구함
- Mohr-Coulomb의 파괴기준에 의해 강도정수 산정

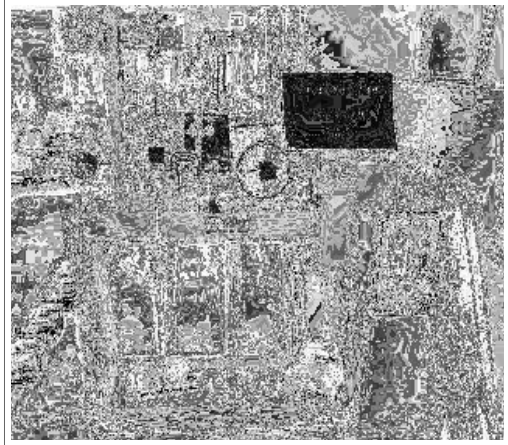
(2) 시험종류 및 규정

시험 명칭	표준방법	결과 활용
직접전단시험	KS F 2343	•점착력, 내부마찰각 등을 산정하여 구조물 기초, 사면, 굴착면 등이 안정성 계산에 활용

(3) 시험방법 및 전경

- 전단상자 속 시료에 연직 하중을 가한 후 흙이 갈라진 수평면을 따라 전단되도록 함
- 가해진 연직하중 P는 시료의 단면적 A로 나누어 연직응력 σ 를 구함
- 전단력 S는 단면적 A로 나누어 전단응력 τ 를 구함
- 이와 같은 방법으로 연직응력을 3, 4회 바꾸어 각 연직응력에 대한 최대전단응력의 값을 구하고, 이 점들을 이용하여 Mohr-Coulomb의 파괴포락선을 작도하여 점착력과 내부마찰각을 구함

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \tau = \frac{S}{A}$$



2.8 실내암석시험

2.8.1 기본물성 및 일축압축강도시험



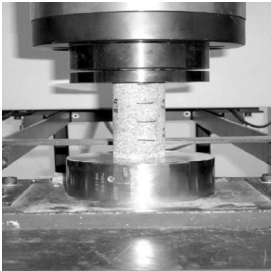
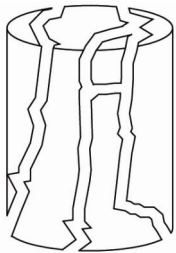
(1) 기본방향

- 시추조사 시료 중 대표적인 시료를 선별하여 암석의 물리적·역학적 특성을 파악

(2) 시험항목 및 규정

시험명칭	시험결과의 활용	표 준 방 법		
		KS	ISRM	ASTM
비중시험	• 암석의 물성특성 파악	F 2518	○	C 97
포아송비시험	• 암석의 탄성계수 파악, 암반 변형특성 파악	—	○	D 3148
탄성계수시험	• 암석의 탄성계수 파악, 암반 변형특성 파악	—	○	D 3148
일축압축강도시험	• 암석의 역학적 특성, 지반분류	F 2519	○	D 7012

(3) 시험전경

비중 및 흡수율		일축압축강도	
			

2.8.2 삼축압축강도시험

(1) 기본방향

- 암반의 실제 응력상태와 가장 유사한 결과를 도출하여 각종 시험결과와 상관관계 및 강도 정수 산정시 보정치로 활용

(2) 시험방법 및 전경

- 실제 응력상태와 가장 유사한 결과를 산출
- 삼축압축 및 삼축인장 조건하에서 변형거동은 구속압, 하중 강도, 온도, 함수상태, 시험편크기 등에 좌우됨
- 시험편을 삼축압축챔버에 넣고 일정한 측압을 가한 후 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻음
- 삼축시험결과와 일축시험, 인장시험 결과를 바탕으로 Mohr파괴포락선으로부터 점착력과 내부마찰각을 도출



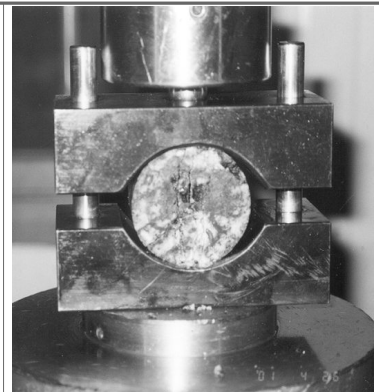
2.8.3 인장강도시험

(1) 기본방향

- 현지 암석의 인장파괴 특성을 파악

(2) 시험방법 및 전경

- 직접인장시험은 공시체의 성형이 상당히 어렵기 때문에 주로 간접인장시험(Brazilian Test)을 활용
- 시험용 시편은 Core를 (직경 : 높이 = 1:0.5~0.8) 디스크형이 되도록 절단한 후 압축시험용 시편과 같은 방법으로 성형
- 디스크 절단면에 평행한 방향으로 코아의 원주곡면부에 가압하여, 파괴 시 하중과 시험편 규격으로부터 인장강도를 구함
- $S = 2P / (\pi \cdot D \cdot L)$
 P (kgf) : 파괴하중 S (kgf/cm²) : 인장강도
 D (cm) : 직경 L (cm) : 길이



2.8.4 암 유용성 시험

(1) 기본방향

- 터널 굴착 시 발생하는 유용암의 현장 유용성 여부 판단

(2) 시험항목 및 규정

시험명칭	시험결과의 활용	표 준 방 법
		KS F
비중 및 흡수율	비중 및 흡수율	KS F 2503
마모시험	마모율	KS F 2508
안정성 시험	안정성	KS F 2507
알칼리골재반응 시험	알칼리 골재 반응	KS F 2545

2.9 폐공처리

(1) 기본방향

- 각종 조사시 소기의 목적을 달성한 후 남게 되는 시추공을 폐공이라 함

(2) 시추공 폐공처리 법규 및 목적

폐공처리 관련법규	폐공처리 목적	주 안 점
<ul style="list-style-type: none"> •지하수법 제15조 제1항 •인·허가 및 취소, 이용기간 만료시 •수량 미확보 및 수질불량 지하수 •기타 원상복구가 필요한 경우 	<ul style="list-style-type: none"> •폐공처리에 의거 지하수 오염 방지 •폐공내 유입되는 지표오염원 차단 •오염원 수직적 이동통로 차단 •오염유발시설(케이싱, PVC등) 제거 	<ul style="list-style-type: none"> •관련법규에 의거 시추공처리 필요 → 시추공은 반드시 지하수법 등 관련규정을 준수하여 폐공 실시

(3) 유형별 폐공방법


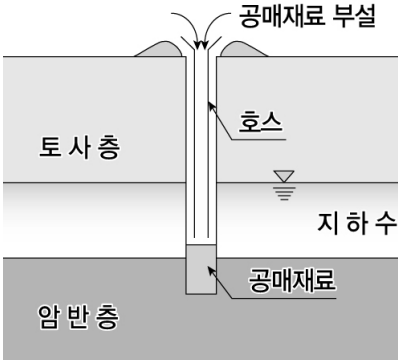
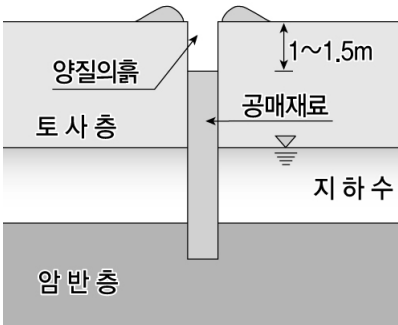
구 분	소 형 (구경 100m/m 이하)		대 형 (구경 100m/m 이상)		재 래 식
층 적 층	유형-1		유형-2		유형-3
암 반 층	케이싱인발 가능	유형-4	전구간 되메움	유형-6	—
	케이싱인발 불가	유형-5	부분 되메움	유형-7	—

○ 유형1

- 암반층 상부에 위치한 모래, 자갈, 실트 등 충적층 구간까지 또는 풍화대구간까지만 굴착한 우물로서 구경이 100mm(4") 이하인 공(시추조사공 포함)이 해당

○ 유형4

- 충적층 및 암반층 심부까지 굴착하여 암반대수층의 지하수를 주 대상으로 개발한 우물로서 구경이 100mm(4") 이하인 공(시추조사공 포함), 케이싱 인발이 가능한 경우가 해당

1단계 : 공내현황조사	2단계 : 공내재료부설	3단계 : 주변정리
		
<ul style="list-style-type: none"> • 시추공 제원 파악(심도, 수위) • 공매재(시멘트)양 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 불투수성 재료 되메움 • 호스사용 시멘트 밀크주입 	<ul style="list-style-type: none"> • 양질 흙으로 되메움, 상부식생 보존, 주변정리

