

제2장 조사 및 시험방법

- 2.1 조사위치 선정
- 2.2 시추조사
- 2.3 표준관입시험
- 2.4 지하수위 측정
- 2.5 현장투수시험
- 2.6 실내토질시험
- 2.7 조사공의 폐공처리

제 2 장 조사 및 시험방법

2.1 조사위치 선정

- 금회 시추조사 및 현장조사를 위한 위치 선정은 금회 실시한 지형측량 현황도(축척 1:5,000)상의 계획구간을 대상으로 조사항목, 방법, 횟수 등을 합리적으로 계획하고 발주처 협의와 현장답사를 거쳐 최종적인 조사위치를 선정하였으며, 이에 따른 조사위치는 다음과 같다.

▶ 지반조사위치도



▶ 시추조사 현황

공 번	X 좌표	Y 좌표	지반고(EL.m)	비 고
BH-1	571088.57	156364.32	4.23	NX
BH-2	570800.20	156311.66	4.25	NX
BH-3	570613.30	156282.96	4.16	NX
BH-4	570450.15	156257.79	7.80	NX
BH-5	570402.50	156251.96	7.75	NX

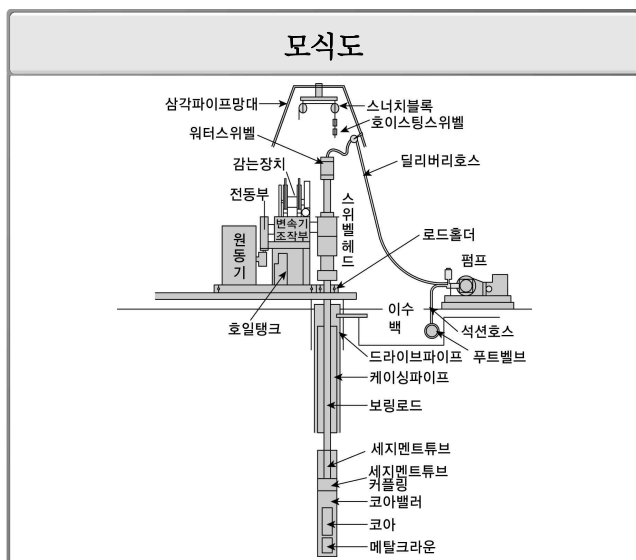
2.2 시추조사

- 지층의 성층상태 및 제반 지반공학적 특성을 파악하고 시료의 채취 및 각종 원위치 시험을 실시하여 설계에 필요한 각종 자료를 획득, 지층의 수직적 분포상태 및 기반암, 지지층 확인하여 토사 및 암반의 분류, 구조물 기초, 토공계획, 설계에 활용하기 위해 시추조사를 실시하였다.
- 시추조사시 교란시료는 토질의 물리적 특성 및 역학적 특성을 측정하기 위해 채취하며, 암질상태, 불연속면, 균열상태, 파쇄구간의 분포, 암석의 강도정수를 파악하기 위해 암석시험시료를 채취한다.

▶ 조사방법

- 시추조사는 회전수세식(Rotary-Wash Type) 시추기를 이용하여 표준관입시험과 병행하는 방법으로 실시하였으며, 시추 시 형성된 시추공을 이용하여 각종 원위치 시험을 실시하였다.
- 굴진은 NX($\phi 76\text{mm}$) 구경으로 실시하였으며 공벽 붕괴가 없는 견고한 지층까지 Casing을 삽입하는 Casing방식으로 실시하였다.
- 토사 및 풍화암층에서 1.0m 간격으로 표준관입시험(S.P.T) 실시하였다.
- 토사시료 채취는 Split Barrel Sampler, 암반 시료 채취는 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit를 사용하였으며, 채취된 토사시료는 육안관찰에 의하여 토질, 색조, 입도, 연경도, 상대밀도, 습윤도 등을 지층별로 기록하여 주상도에 기재하였다.
- 채취된 암석코어는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 불연속면과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, 코어회수율 (T.C.R, Total Core Recovery), 암질지수 (R.Q.D, Rock Quality Designation), 균열정도, 풍화정도, 강도 등의 암반 특성을 평가할 수 있는 자료를 주상도에 기재하였다.
- 시추결과를 토대로 지층단면을 작성하여 인접한 지역이나 구조물 하부구간의 지층 상하대비를 통해 수평적, 수직적 지층 연속성을 추정하였다.

▶ 모식도 및 시추전경



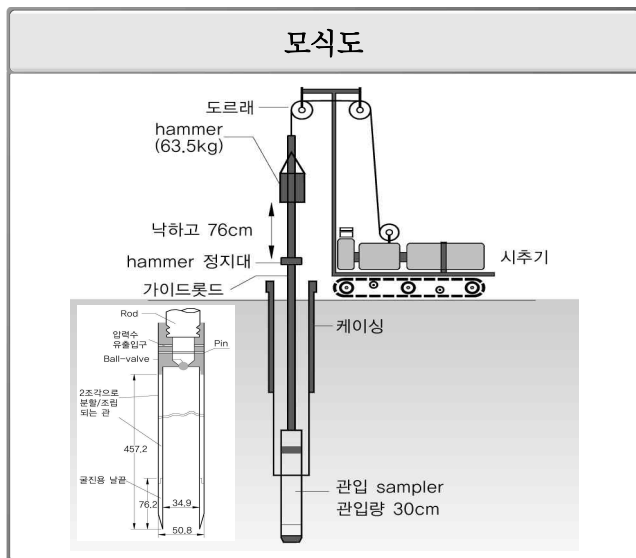
2.3 표준관입시험

- 심도에 따른 지층의 상대밀도 및 연경도와 구성성분을 파악하고 교란시료 채취를 통한 시료 육안판별 및 실내토질시험 시료를 확보하기 위하여 표준관입시험을 실시하였다.

▶ 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 예비타격(15cm 관입) 실시 후 본타격, 관입량 30cm를 전후 각 15cm씩 나누어 타격수(N값) 기록하였다.
- 본타격 관입량 30cm 미만에서 타격수 50회 이상일 때 타격중단 후 50/관입량(cm) 기록하였다.
- 심도 1.0m마다 또는 지층이 변할 때마다 실시하였다.
- Split Barrel을 분리시켜 교란시료 채취 - 채취된 시료는 육안에 의한 토질분류를 수행한다.
- 풍화토와 풍화암의 구분 : $N = 50/10$ 적용
- 표준관입시험 시료는 함수비의 변화가 없도록 시료병에 넣어 필요한 사항(조사명, 조사일자, 공번, 시료채취심도, N치, 토질명 등)을 기재하여 시료 표본 상자에 정리 보관하였다.

▶ 모식도 및 시험전경



▶ N값으로부터 추정 또는 산정되는 사항

구 분		판정 및 추정사항
조사결과로 파악할 수 있는 사항		<ul style="list-style-type: none"> • 지반내 토층분포 및 토질의 종류(풍화토 및 풍화암의 구분) • 지지층 분포심도 • 연약층의 유무(압밀침하층의 두께)
N값으로 추정할 수 있는 사항	사 질 토	<ul style="list-style-type: none"> • 상대밀도(D_r), 내부마찰각(ϕ) • 기초지반의 허용지지력 • 기초지반의 탄성침하 • 액상화 가능성 파악
	점 성 토	<ul style="list-style-type: none"> • 일축압축강도(q_u), 비배수점착력(C_u) • 기초지반의 허용지지력 • 연·경 정도
결과활용		<ul style="list-style-type: none"> • 기초지반 구조물 안정성 검토시 기초자료(지지력, 전단강도 추정) • 사질지반의 액상화 가능성 평가자료

▶ N값에 의한 세립토(점토, 실트)의 Consistency 판정

N 치	N < 2	2 ~ 4	4 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 30	N > 30
컨시스턴시 (Consistency)	매우 연약 (Very soft)	연약 (Soft)	보통 (Medium)	견고 (Stiff)	매우 견고 (Very stiff)	고결 (Hard)

▶ N값에 의한 조립토(모래, 자갈)의 상대밀도 산정

N값	상대밀도 $Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 (\%)$	
N < 4	매우 느슨 (Very loose)	0% ~ 20%
4 ~ 10	느슨 (Loose)	20% ~ 40%
10 ~ 30	보통 (Medium)	40% ~ 60%
30 ~ 50	조밀 (Dense)	60% ~ 80%
N > 50	매우 조밀 (Very dense)	> 80%

2.4 지하수위 측정

- 본 조사지역내 안정된 지하수위를 파악하고자 조사시추공에서 부저형 지하수위계를 이용하여 실시
- 지하수위는 계절 및 수원에 따라 갈수기나 홍수기에 따라 달라지며 부근지역의 지하수 이용여부, 토공사로 인한 지하수위 유출 등에 따라 변화 될 수 있음을 고려해야 한다.

▶ 측정방법

- 지하수위 측정은 지하수체(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면(Piezometric Surface)의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면부터의 심도를 측정하였다.
- 측정된 지하수위는 24~72시간 측정을 기준으로 하여 시추주상도에 수록하였다.

▶ 측정장비 및 활용방안

공내지하수위 측정 모식도	활용방안
	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수위 분포 양상 파악하여 유효 상재 하중 산정에 활용 • 기초구조물 안정성 계산시 활용 • 시공(터파기 및 가설공사)시 배수계획에 활용 • 구조물 안정성(침투류) 해석에 활용

2.5 현장투수시험

- 과업지역에 분포하고 있는 토사층 및 풍화대 지반의 투수성을 파악하고 투수계수를 결정하기 위해 시추공 내에서 변수위법을 적용하여 현장투수시험을 실시하였다.

▶ 시험방법

- 시험구간까지 굴착 후 시험구간을 제외한 상부구간까지 Casing을 설치하되 지표면으로까지 설치
- 이때 공의 바닥에 토사 등의 이물질이 남아 있지 않도록 맑은 물로서 공내를 세척
- Casing내의 상단부까지 청수를 투입하여 수위 저하율을 측정
- 수위측정은 Casing 상단부로부터 시작 후 10초, 30초, 60초, 90초, 120초, 180초, 240, 360초 등의 시간 간격으로 수위변화 측정
- 측정된 수위를 이용하여 다음의 식으로 현장 투수계수를 산정

- 시험구간이 지하수면 상부에 위치하는 경우

■ CASE 1 : $T_u \geq 3L$

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{Q}{2\pi L^2} \left[2.3 \log_{10} \left\{ \frac{L}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{r} \right)^2} \right\} - 1 \right]$$

■ CASE 2 : $T_u < L$

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{2.3Q \log_{10}(L/r)}{\pi T_u (2L - T_u)}$$

■ CASE 3 : $L \leq T_u < 3L$

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{6.9Q \log_{10}(L/r)}{\pi L (L + 2T_u)}$$

- 시험구간이 지하수면 하부에 위치하는 경우

■ CASE 4

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{5.29r^2}{2L(t_2 - t_1)} \log_{10} \left(\frac{L}{r} \right) \log_{10} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)$$

여기서,

k : 투수계수(cm/sec)

T_u : 시험구간에서 지하수위까지 거리(cm)

L : 시험구간(cm)

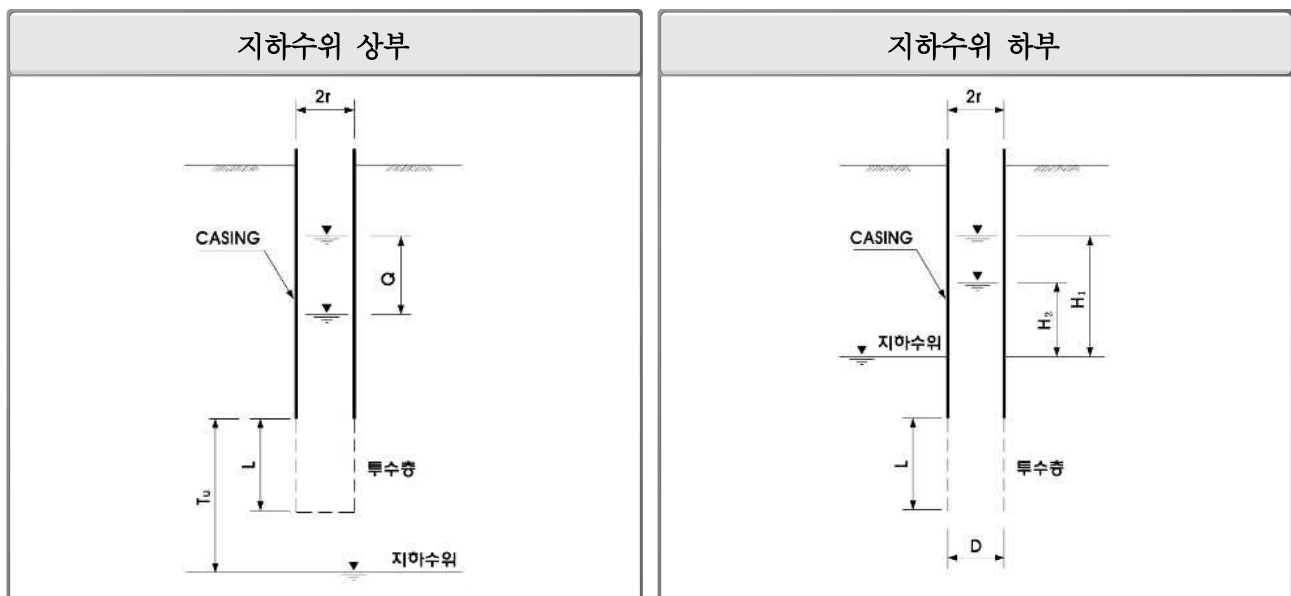
r : CASING 반경(cm)

Q : 주입유량(cm³/sec)

t_1, t_2 : 경과시간(sec)

H_1, H_2 : 수두차(cm)

▶ 모식도



2.6 실내토질시험

▶ 토질 물성시험

- 표준관입시험으로 얻어진 시료중 대표적인 시료를 선별하여 흙의 물리적 특성을 파악한다.
- 흙의 물리적 특성을 규명하기 위하여 한국산업표준(KS F)에 의하여 시험을 시행하였다.

구 분	표 준 방 법	시 험 내 용
비 중	KS F 2308	• 흙이나 모래처럼 작은 알갱이로 구성된 입자들의 순 비중 산출
함 수 비	KS F 2306	• 습윤토를 건조시켜 증발 전 . 후의 흙 무게 차이를 측정해서 흙에 함유된 건조토와 수분의 무게 비를 정량적으로 산출
액 성 한 계	KS F 2303	• 자연건조된 흙을 물로 반죽해서 액체상태나 유동 상태로 변하는 함수비 측정, 점성을 띠기 시작한 상태, 즉 소성의 최대 또는 액체 상태의 최소 함수비, 점성류의 하한계 파악
소 성 한 계	KS F 2303	• 물에 반죽된 시료를 물을 점차 제거하여 소성상태에서 반고체 상태로 변하는 한계의 함수비 측정
입 도 분 석	KS F 2302 (체분석)	• 흙 시료를 표준체로 쳐서 누가 잔유율과 누가 통과율을 계산한 결과로 입도분포곡선 작성, 유효입경, 균등계수로부터 분포의 균등 여부 판단
	KS F 2302 (비중계 분석)	• 세립토로 만든 흙탕물의 비중을 측정, 토립자가 침강하는 속도차를 이용하여 입경별 함유율을 산출하여 입도분포곡선 작성

구 분	결 과 활 용
비 중	• 흙덩이 중의 고체부분의 무게(W_s), 부피(V_s), 간극비(e) 등의 산출에 이용
함 수 비	• 흙속의 물(자유수, 모관수, 흡착수, 화학수)과 흙과의 비율 파악 • 간극비, 포화도, 건조밀도 산출
액 성 한 계	• 역학적 성질의 평가 : 성토재료로서의 적부판단, 압축지수, 비배수강도, 정지토압계수 • 기타 정수 : 컨시스턴시 지수, 액성지수, 활성도, 소성비
소 성 한 계	• 비소성 상태에 도달한 순간, 즉 소성상태의 하한계(최소) 함수비 파악
입 도 분 석	• 흙의 분류 및 공학적인 성질의 기초적인 판단자료 • 자갈(G), 모래(S), 실트(M), 점토(C)의 함유율 산정 • 균등계수(C_u) 및 곡률계수(C_g)로 입도 분포 판단



▶ 토질 역학시험

- 자연시료를 대상으로 일축압축강도, 삼축압축강도 및 표준압밀시험을 시행하였다.
- 흙의 역학적 특성을 규명하기 위하여 한국산업표준(KS F)에 의하여 시험을 시행하였다.

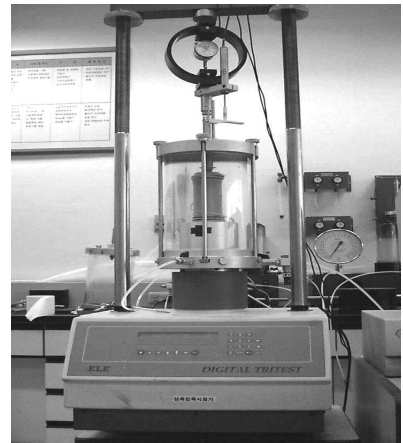
시험 항목	시험 규격	시험결과 값	시험결과와 활용
일축압축시험	KS F 2314	일축압축강도, 예민비	• 연약점성토의 강도특성 파악 및 비배수강도 평가
삼축압축시험(UU)	KS F 2346	비배수전단강도	• 연약점성토의 비압밀비배수/압밀비배수 강도 평가
표준압밀시험	KS F 2316	압축지수, 팽창지수, 선행압밀하중, 압밀계수	• 연약점성토 압밀특성 파악

■ 일축압축시험

- 일축압축시험은 한국산업규격 KS F 2314 방법에 따라 실내시험을 수행한다.
- 매분 공시체 높이의 0.5~2%의 압축변형이 생기도록 공시체를 압축, 압축과 동시에 시간을 측정한다.
- 압축량이 일정한 양으로 증가할 때마다 하중을 기록한다.
- 하중이 감소하거나 변형률이 15%에 도달했을 때를 공시체가 파괴되었다고 간주한다.
- 시험이 끝난 공시체의 파괴상태를 기록하고 균열의 방향이 공시체 전면과 이루는 각도를 측정한다.
- 재성형을 한 시료로 다시 재하하여 예민비를 측정한다.

■ 삼축(UU)시험

- 비압밀비배수(UU) 시험은 KS F 2346, 압밀비배수(CU) 시험은 BS 1377 test 21 방법에 따라 실내시험을 수행한다.
- 실제 응력상태와 가장 유사한 결과를 산출된다.
- 삼축압축 및 삼축신장 조건하에서 변형거동은 구속압, 하중강도, 온도, 함수상태, 시험편 크기 등에 따라 좌우된다.
- 시험편을 삼축압축챔버에 넣고 일정한 측압을 가한 후 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻는다.
- 삼축시험결과와 일축, 인장시험 결과를 바탕으로 Mohr 파괴포락선으로부터 점착력과 내부마찰각을 도출한다.



■ 표준압밀시험

- 표준압밀시험은 한국산업규격 KS F 2316 방법에 따라 실내시험을 수행한다.
- 흙 시료를 링속에 넣고 상하로 다공질판 넣고 압밀하중을 가한다.
- 처음 0.1kg/cm²을 24시간 가한후 침하량 기록한 후 2배 하중을 가하여 동일한 방법으로 6.4kg/cm² 까지 가한 후 하중을 제거한다.
- Terzaghi의 1차원 압밀이론
 - 흙이 하중을 받게 되면 체적이 감소하게 되는데, 이 때 토체를 이루고 있는 흙입자, 간극, 공기 중 에서 흙입자와 물은 비압축성이므로 공기의 압축, 용해 또는 간극수가 간극으로부터 빠져나간다.

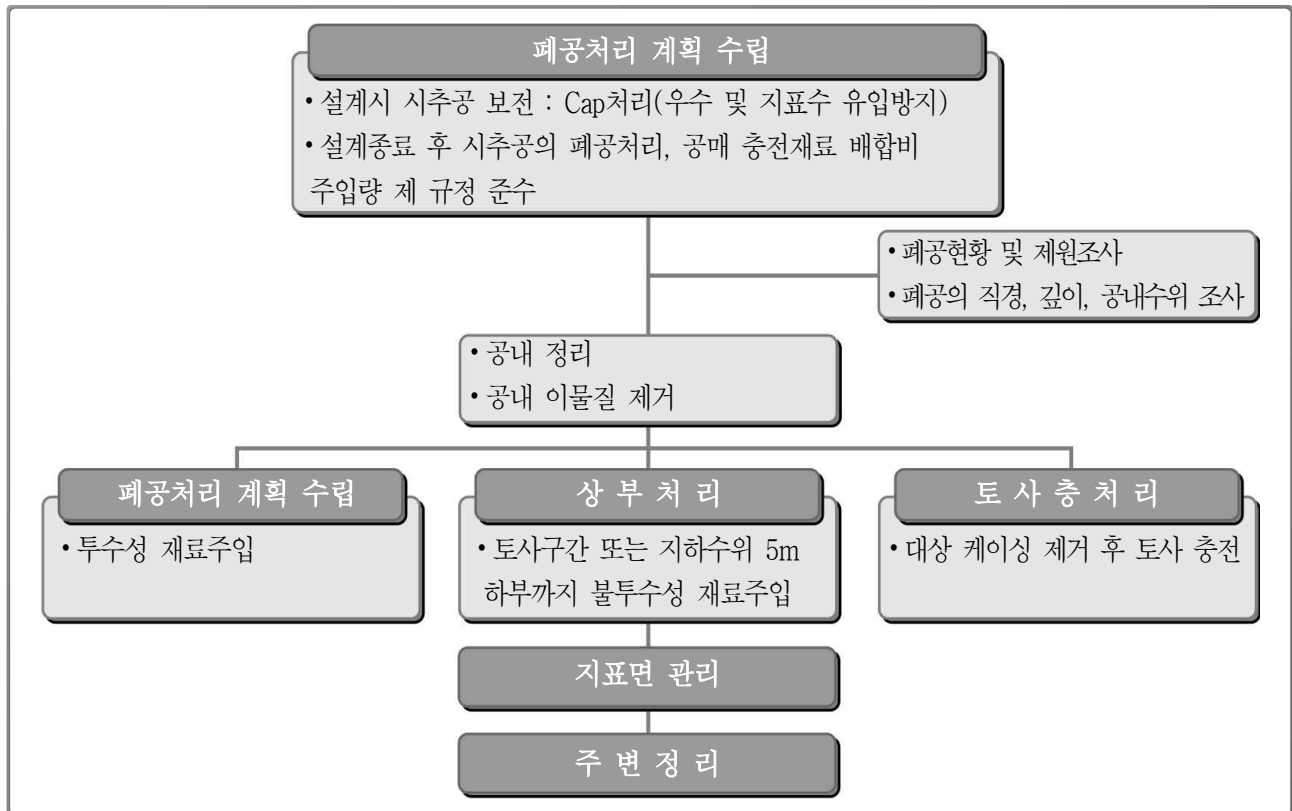
2.7 조사공의 폐공처리

- 각종 조사시 과업 목적을 달성한 후 남게 되는 시추공을 폐공이라 하는데, 최근 들어 폐공을 통한 오수의 유입으로 지하수 오염 등의 환경오염 문제가 빈번히 발생하고 있으므로 시추조사 등에 의한 시추공은 조사완료 후 폐공처리를 하여야 한다.
- 폐공처리를 통하여 ① 폐공 내로 유입되는 지표 오염원 차단, ② 오염원의 수직적 이동 통로 제거, ③ 오염유발시설(케이싱 등) 제거 등의 지하수 오염방지 효과를 얻을 수 있다.

▶ 개요

폐공처리 목적	폐공처리 주안점
<ul style="list-style-type: none"> • 지표수 및 지하수 오염방지 • 폐공내로 유입되는 지표오염원 차단 • 오염원의 수직적 이동통로 제거 • 오염 유발시설(케이싱 등) 제거로 환경보전 	<ul style="list-style-type: none"> • 관리법규(원상복구 명령, 지하수법 제15조)에 의한 시추공 폐공처리 필요 • 처리대책(지하수의 수질보전에 관한 규칙)준수 • 지하수 오염방지를 위한 폐공처리
원상복구 명령(지하수법 제15조)	처리대책
<ul style="list-style-type: none"> • 허가·인가 등이 취소된 경우, 또는 개발·이용기간이 만료된 경우 • 지하수 개발·이용을 위하여 굴착한 장소에서 지하수가 채취되지 아니한 경우 • 소요수량이 확보되지 아니하거나 수질불량으로 지하수를 개발·이용할 수 없는 경우 • 지하수의 개발·이용을 종료한 경우 • 기타 원상복구가 필요한 경우로서 대통령이 정하는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 지표하부에 그라우팅이 되어 있는 경우에는 굴착깊이까지 불투수성 재료(시멘트 슬러리 등)를 주입하여 다짐하면서 되메움(공매작업) • 지표하부에 그라우팅이 되어 있지 않고 보호벽(케이싱)이나 유공관(파이프) 등이 설치되어 있는 경우에는 가능한 이를 제거한 후 굴착깊이까지 불투수성 재료(시멘트 슬러리 등)를 다짐하면서 되메움(공매작업)

▶ 폐공처리 절차



▶ 폐공처리 방법

- 폐공이란 현재 또는 미래에 이용할 계획이 없고 오염방지를 위한 별도의 조치 없이 방치되어 있는 지층을 굴착한 모든 공(건설교통부 폐공의 정의)을 의미한다.
- 폐공처리방법은 지하수법시행령 24조에 명시된 기준을 적용하고, 폐공처리기준을 참고하여 다음과 같이 계획하여 폐공 조치한다.
- 1단계 : 공매재료의 양 결정 및 시추공 내 정리(공경, 깊이, 지하수위 파악, Casing 및 검측관 제거)
- 2단계 : 공매재료의 충전(불투수성재료를 지하수위 5m 하부지점부터 상부 일정구간 까지 주입)
- 3단계 : 상부구간 마무리(상부구간은 영농과 식생, 주변의 조화를 고려하여 양질토로 되메움)

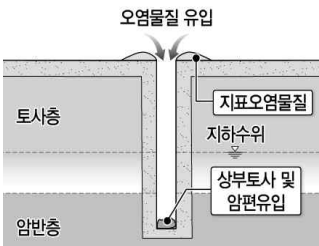
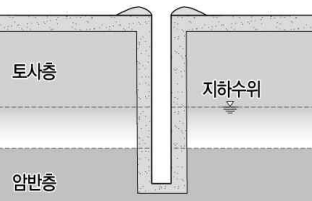
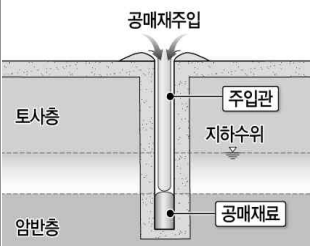
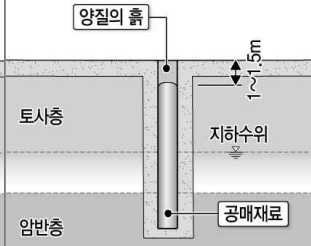
■ 토사층 시추공의 폐공

- 토사층 폐공은 암반층까지 굴착하지 아니하고 암반층 상부의 모래, 자갈, 실트 등 토사층구간까지만 굴착한 시추 조사공이다. 원상복구 방법은 케이싱을 인발하여 공 내부에 지하수위 상부까지 양질의 모래로 되메움을 실시하고 상부는 주변 토양으로 되메움을 실시한다.

■ 암반 시추공의 폐공

- 폐공 전 구간을 투수성재료 되메움 구간, 불투수성재료 되메움 구간 및 표면처리 구간으로 구분하여 각 구간별로 적합하게 되메우기를 실시한다. 현장 여건에 따라 지표부 표면처리 구간은 생략하여 되메움을 실시한다.

▶ 폐공처리 모식도

1단계	2단계	3단계	4단계
 <ul style="list-style-type: none"> • 심도, 지하수위 파악 • 공매재료의 양 결정 	 <ul style="list-style-type: none"> • 케이싱 및 PVC 제거 • 오염물질 유입 차단 	 <ul style="list-style-type: none"> • 공매재료 충전 → 고화제+물 	 <ul style="list-style-type: none"> • 양질의 흙으로 되메움 • 지표면 원상복구

▶ 폐공처리 결과

구 분	조사수량	폐공유무	폐공처리 방법
과업구간	5공	폐공완료	<ul style="list-style-type: none"> • 토사층 투수성 재료 되메움 • 암반층 시멘트 그라우팅