

남양주속 2 양정역세권 토질조사용역
남양주속 2 양정역세권 토질조사용역

지반조사보고서

2026 · 05



(주)용해엔지니어링

제 출 문

LH한국토지주택공사 貴中

귀 공사에서 의뢰하신 “남양주왕숙 공공주택지구 지구외도로 토질조사(왕숙2~양정역세권 연결로)”에 대한 용역을 성실히 수행하고 완료하였기에 그 성과를 본 보고서에 수록하여 제출합니다. 아울러 본 과업을 위해 아낌없는 협조를 해주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

2026년 05월

서울특별시 서초구 마방로 6길 32-5
(주) 용 해 엔 지 니 어 링
(TEL:02-529-1311 FAX:02-529-1312)
대 표 이 사 김 학 진 (인)

목 차

제 1 장 조사개요

| | |
|-------------------|---|
| 1.1 조사목적 | 1 |
| 1.2 조사지역 현황 | 1 |
| 1.3 조사수량 | 2 |
| 1.4 조사장비 | 3 |
| 1.5 조사수행 기간 | 3 |

제 2 장 조사내용

| | |
|------------------------------------|----|
| 2.1 토질 및 암반의 분류와 기재방법 | 5 |
| 2.1.1 토질의 분류 및 기재방법 | 5 |
| 2.1.2 토질과 암반의 구분 | 8 |
| 2.1.3 암반의 분류 및 기재방법 | 9 |
| 2.2 조사위치 선정 | 14 |
| 2.2.1 시추조사 위치 | 14 |
| 2.3 현장조사 | 15 |
| 2.3.1 시추조사 | 15 |
| 2.4 현장시험 | 16 |
| 2.4.1 표준관입시험(S.P.T) | 16 |
| 2.4.2 지하수위 측정 | 17 |
| 2.4.3 전단탄성파시험(Downhole test) | 18 |
| 2.4.4 현장투수시험 | 20 |
| 2.4.5 공내전단시험 | 21 |
| 2.4.6 공내재하시험 | 22 |
| 2.4.7 지하수 순간충격시험 | 23 |
| 2.4.8 양수시험 | 24 |
| 2.4.9 지하수 유향유속시험 | 25 |

| | |
|------------------------------|----|
| 2.5 물리탐사 | 26 |
| 2.5.1 굴절법탄성파탐사 | 26 |
| 2.6 실내시험 | 31 |
| 2.6.1 실내토질시험 | 31 |
| 2.7 시추공 폐공처리 | 32 |
| 2.7.1 폐공처리 목적 | 32 |
| 2.7.2 폐공 유형별 분류 및 처리절차 | 32 |
| 2.7.3 폐공처리 현황 | 33 |

제 3 장 조사결과

| | |
|--------------------------|----|
| 3.1 지형 및 지질 | 35 |
| 3.1.1 지형 | 35 |
| 3.1.2 지질 | 36 |
| 3.2 현장조사 결과 | 38 |
| 3.2.1 시추조사 결과 | 38 |
| 3.3 현장시험 결과 | 40 |
| 3.3.1 표준관입시험 결과 | 40 |
| 3.3.2 지하수위측정 결과 | 41 |
| 3.3.3 현장투수시험 결과 | 41 |
| 3.3.4 전단탄성파탐사시험 결과 | 41 |
| 3.3.5 공내전단시험 결과 | 44 |
| 3.3.6 공내재하시험 결과 | 44 |
| 3.3.7 유향유속시험 결과 | 44 |
| 3.3.8 양수시험 결과 | 45 |
| 3.3.9 순간충격시험 결과 | 47 |
| 3.4 물리탐사 결과 | 48 |
| 3.4.1 굴절법탄성파탐사 결과 | 48 |
| 3.5 실내시험 결과 | 50 |
| 3.5.1 실내토질시험 결과 | 50 |

제 4 장 설계지반정수 산정

| | |
|---------------------------------|----|
| 4.1 토사층의 설계지반정수 산정 | 51 |
| 4.1.1 토사층의 강도정수 | 51 |
| 4.1.2 토사층의 변형계수 및 포아송비 산정 | 56 |
| 4.2 풍화암의 설계지반정수 산정 | 59 |
| 4.2.1 풍화암의 강도정수 | 60 |
| 4.2.2 풍화암의 변형계수 및 포아송비 산정 | 61 |
| 4.3 기반암의 설계지반정수 산정 | 62 |
| 4.3.1 기반암의 강도정수 산정 | 62 |
| 4.3.2 기반암의 변형계수 및 포아송비 산정 | 64 |
| 4.4 적용 설계지반정수 | 66 |

-부 록-

1. 지반조사 위치도
2. 시추주상도
3. 전단탄성파탐사
4. 현장투수시험
5. 공내전단시험
6. 공내재하시험
7. 순간충격시험
8. 양수시험
9. 유향유속시험
10. 굴절법탄성파탐사
11. 실내시험
12. 기록사진첩

남양주왕숙 공공주택지구
지구외도로 토질조사용역
(왕숙2~양정역세권 연결로)

제1장 조사개요

- 1.1 조사목적
- 1.2 조사지역 현황
- 1.3 조사수량
- 1.4 조사장비
- 1.5 조사수행 기간

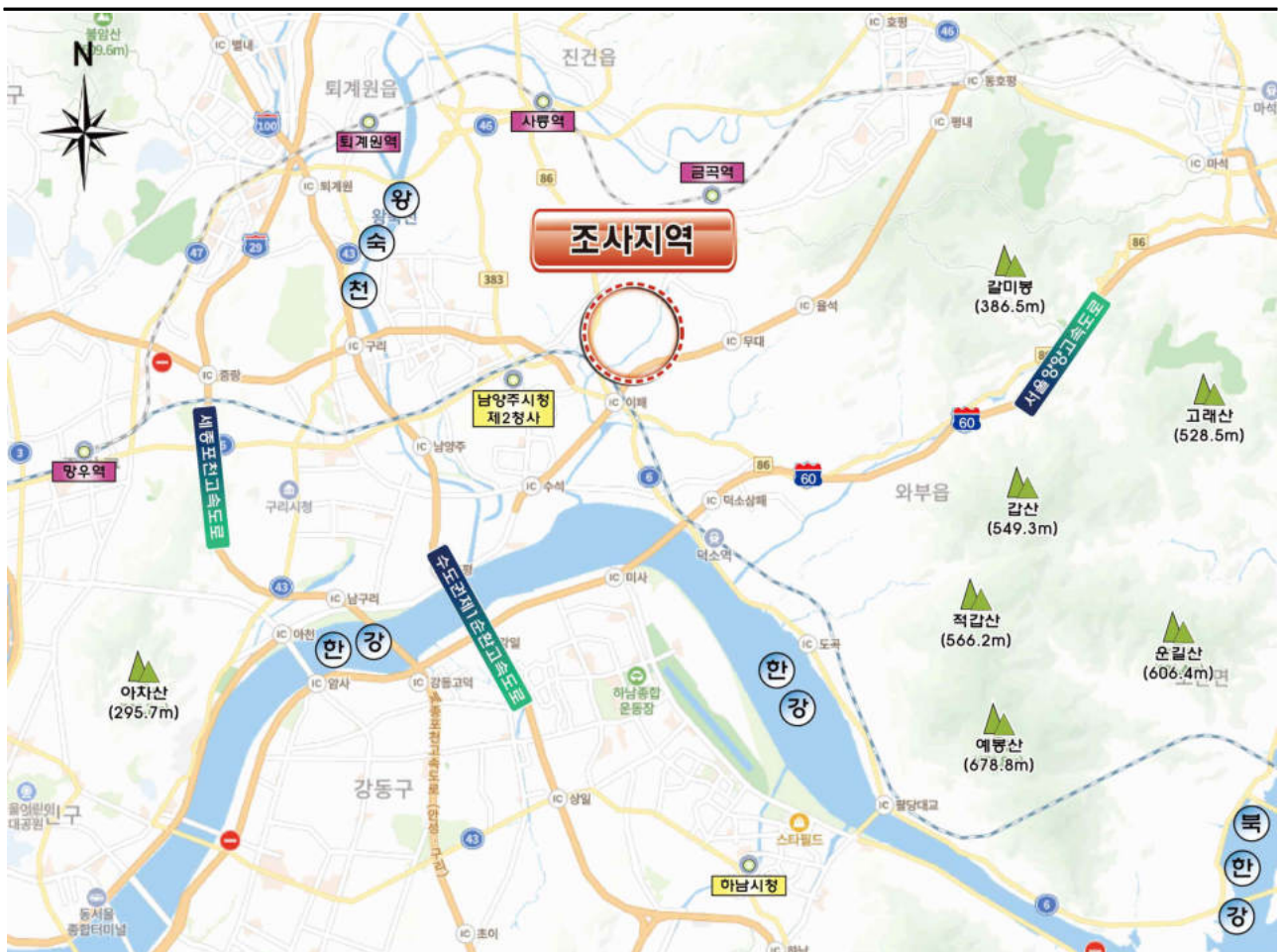
제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사목적

본 조사는 “남양주왕숙 공공주택지구 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로)” 으로 설계를 위한 지반공학적 특성을 도출하여 안정성, 경제성 친환경적인 최적의 설계 및 시공이 되도록 제반 지반공학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 조사지역에서 각종 현장조사 및 실내시험을 실시한 후 조사된 지층상태와 지반특성에 관한 자료를 종합적으로 분석하여 지층발달 상태 및 지반특성을 파악하고 그 결과를 이용하여 구조물의 기초 및 토공, 흙막이 설계에 활용하고자 한다.

1.2 조사지역 현황

조사지점 : 경기도 남양주시 이패동 일대



1.3 조사수량

설계에 필요한 토질정수를 결정하기 위하여 시추조사와 현장시험 및 실내시험을 다음과 같이 수행하였다.

■ 현장조사 및 시험수량

| 구 분 | | 단위 | 실 행 수 량 | | | | |
|--------------|-------------|------|---------|-----|------|-------|----|
| | | | 도급 | 계획 | 실시 | 잔여 | |
| 시추조사 (NX) | 성토부 | 공 | - | 1 | - | ▼1 | |
| | 절토부 | 공 | - | 1 | - | ▼1 | |
| | 구조물부 | 교량 | 공 | - | 2 | 2 | - |
| | | 지하차도 | 공 | - | 3 | 2 | ▼1 |
| | 합계 | 공 | - | 7 | 4 | ▼3 | |
| 현장시험 | 지하수위측정 | 회 | - | 7 | 4 | ▼3 | |
| | 표준관입시험 | 회 | - | 81 | 43 | ▼38 | |
| | 핸드오거보링 | 개소 | - | - | - | - | |
| | 현장투수시험 | 회 | - | - | 2 | ▲2 | |
| | 공내전단시험 | 회 | - | 2 | 2 | - | |
| | 공내재하시험 | 회 | - | 2 | 3 | ▲1 | |
| | 전단탄성파탐사 | 회 | - | - | 1 | ▲1 | |
| | 순간충격시험 | 회 | - | - | 1 | ▲1 | |
| | 양수시험 | 회 | - | - | 1 | ▲1 | |
| | 유향유속시험 | 회 | - | - | 1 | ▲1 | |
| 물리탐사 | 굴절법탄성파탐사 | km | - | 0.2 | 0.28 | ▲0.08 | |
| 시료채취 | 시험굴조사 | 개소 | - | - | - | - | |
| | 현장밀도시험 | 회 | - | - | - | - | |
| | 블록(불교란)시료채취 | 회 | - | - | - | - | |
| | 자연시료채취 | 회 | - | - | - | - | |

■ 실내시험 수량

| 구 분 | 단위 | 실 행 수 량 | | | | |
|------|----------------|---------|----|----|----|----|
| | | 도급 | 계획 | 실시 | 잔여 | |
| 토질 | 입도시험 | 회 | 7 | 6 | 2 | ▼4 |
| | 다짐시험(A다짐) | 회 | - | - | - | - |
| | 실내CBR시험(D다짐포함) | 회 | - | - | - | - |
| | 직접전단시험 | 회 | - | - | - | - |
| 암석 | 시편제작 | 회 | - | - | - | - |
| | 강도시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 비중 및 흡수율시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 마모율시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 안정성시험 | 회 | - | - | - | - |
| 자연시료 | 입도시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 일축압축시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 삼축압축시험 | 회 | - | - | - | - |
| | 압밀시험 | 회 | - | - | - | - |
| | ROWE CELL시험 | 회 | - | - | - | - |

1.4 조사장비

■ 조사장비

| 구 분 | 조 사 항 목 | 조 사 장 비 | 수 량 |
|--------|---------------------------------------|--|-----|
| 현장조사 | 시추조사 | • POWER-4500SD | 1대 |
| 현장시험 | 지하수위측정 | • 지하수위 측정기 | 1식 |
| | 표준관입시험 | • Split Spoon Sampler | 1식 |
| | | • SPT 자동기록장치 | 1식 |
| | 지하수위측정 | • 지하수위 측정기 | 1식 |
| | 현장투수시험 | • 줄자, 초시계 | 1식 |
| | 공내전단시험 | • ROD, Shear Plate, 전단장치, 압력계 등 | 1식 |
| | 공내재하시험 | • Elastmeter-200 | 1식 |
| | 전단탄성파탐사시험 | • Seismograph, Geophone & Cable 등 | 1식 |
| | 유향유속시험 | • Colloidal Borescope, 발전기, 지하수위 측정기 등 | 1식 |
| | 양수시험 | • 수증펌프 및 판넬, 자동수위측정기, 수동수위측정기 등 | 1식 |
| 순간충격시험 | • TD Diver SET, 수동수위측정기, Water Tank 등 | 1식 | |

■ 조사장비

| 구 분 | 조 사 항 목 | | 조 사 장 비 | 수 량 |
|------|--------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 물리탐사 | 굴절법 탄성파탐사 | 탐사기 | • GEA 24(PASI/ITALY) | 1식 |
| | | | • 24 bit A/D, 24채널 | 1식 |
| | | | • sampling rate : 32 μ s ~ 2ms | 1식 |
| | | | • frequency : 2Hz ~ 150 / 14,000Hz | 1식 |
| | | | • Dynamic Range : 144dB | 1식 |
| | | 발신부 | • Hammer(5kg) | 1식 |
| | | 수신부 | • Land geophone string(PASI/ITALY) | 1식 |
| | | | • Frequency Range : 14Hz | 1식 |
| | | 부대장비 | • 지오폰 케이블, Trigger, 노트북, 무전기, 줄자 | 1식 |
| | | | 해석 소프트웨어 | • Pickwin95 (OYO, Japan) |
| | | • Plotrefa (OYO, Japan) | 1식 | |
| 실내시험 | 토질 시험 | • 각종 토질시험 장비 | 1식 | |

1.5 조사수행 기간

■ 조사수행 기간

| 구 분 | 조 사 수 행 기 간 | 비 고 |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 조사계획수립, 현장답사 및 인허가 | 2025년 03월 01일 ~ 2026년 04월 26일 | |
| 현장조사 | 2026년 04월 27일 ~ 2026년 04월 29일 | |
| 물리탐사 | 굴절법탄성파탐사 | 2026년 05월 12일 ~ 2026년 05월 18일 |
| 실내시험 | 2026년 05월 26일 ~ | |
| 보고서작성 | 2026년 05월 01일 ~ | |

남양주왕숙 공공주택지구
지구외도로 토질조사용역
(왕숙2~양정역세권 연결로)

제2장 조사내용

- 2.1 토질 및 암반의 분류와 기재방법
- 2.2 조사위치 선정
- 2.3 현장조사
- 2.4 현장시험
- 2.5 물리탐사
- 2.6 실내시험
- 2.7 시추공 폐공처리

제 2 장 조 사 내 용

2.1 토질 및 암반의 분류와 기재방법

2.1.1 토질의 분류 및 기재방법

토질의 분류는 성질이 다른 여러 흙을 간단한 시험을 근거로 몇 가지 무리로 나누어 사전에 그 공학적 성질을 파악할 목적으로 시행한다.

1 개 요

| 구 분 | 설 명 |
|------|--|
| 흙의분류 | • 흙의 공학적 분류는 채취된 교란시료의 육안관찰(1차 분류) 수행 후, 기본 물성시험을 근거하여 최종적으로 통일분류법(USCS)을 기준으로 분류 |
| 기재방법 | • 시추주상도에 지층구분은 통일된 Symbol을 사용 • 표준관입시험시 관입저항치(N값)에 의해 사질토의 상대밀도 및 점성토의 연경도를 추정 |
| 기술내용 | • 점성토의 연경도 및 사질토의 상대밀도와 습윤상태, 색조, N값 등을 고려하여 기재 • 함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet) 및 포화상태(Saturated)로 구분 • 색은 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 황색 등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용 |

2 토질의 분류방법

■ 육안관찰에 의한 분류법(1차 분류)

| 구 분 | 토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태 | 손으로 쥐었다 놓음 | | 습윤상태에서 손가락으로 끈 모양으로 끌 때 |
|------------------------|--|---|---|--|
| | | 건 조 상 태 | 습 윤 상 태 | |
| 모 래 (Sand) | • 개개의 입자크기가 판별되며 입상을 보임 • 건조상태에서 흩어져 내림 | • 덩어리로 되지 않고 흐트러짐 | • 덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐 | • 끈 모양으로 꼬이지 않음 |
| 실트 섞인 모래 (Silty Sand) | • 입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성이 있음 • 모래질의 특성이 우세함 | • 덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐 | • 덩어리거나 조심스럽게 다루면 부서지지 않음 | • 끈 모양으로 꼬이지 않음 |
| 모래 섞인 실트 (Sandy Silty) | • 적당량의 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자가 50% 이상임 • 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨 | • 덩어리거나 자유롭게 만져도 부서지지 않음 • 부서지면 밀가루와 같은 감촉 | • 덩어리거나 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 • 물을 부으면 서로 엉킴 | • 끈 모양으로 꼬이지나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음 |

■ 육안관찰에 의한 분류법(1차 분류)(계 속)

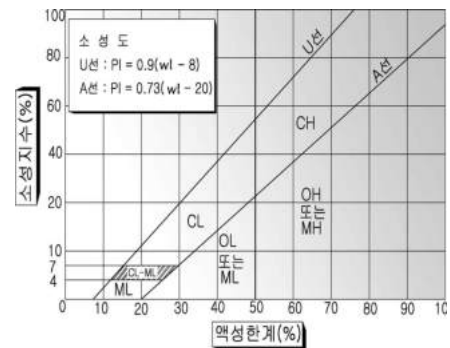
| 구 분 | 토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태 | 손으로 쥐었다 놓음 | | 습윤상태에서 손가락으로 끈 모양으로 풀때 |
|------------|---|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | 건 조 상 태 | 습 윤 상 태 | |
| 실 트 (Silt) | <ul style="list-style-type: none"> •세립사와 점토 함량이 크 소량이고 실트입자의 함량이 80% 이상 •건조되면 덩어리거나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루가 됨 | •덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 | •덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않고 물에 젖으면 서로 엉킴 | •완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움 |
| 점 토 (Clay) | <ul style="list-style-type: none"> •건조되면 아주 딱딱한 덩어리가 됨 •건조상태에서 잘 부서지지 않음 | •덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 | •덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않고 찰흙상태로 됨 | •길고 얇게 꼬아지며, 점성이 큼 |

■ 통일분류법(2차 분류)-조립토

| 주 요 구 분 | | | 기 호 | 대 표 적 인 흙 | 분 류 기 준 | | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|---|------------------------|---|--|
| 조립토 (Coarse-Grained Soils) | 자갈 | 세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈 | GW | 입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음 | 세립분의 함유율에 의한 분류 : | Cu > 4, Cu=D60/D10 < Cg < 3 Cg=(D30) ² /(D10×D60) | |
| | | | GP | 입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음 | | GW의 조건이 만족되지 않을 때 | |
| | #4체 (4mm)에 50% 이상 남음 | 세립분을 함유한 자갈 | GM | 실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토 | 200번체 통과율이 5% 이하인 경우 : | Atterberg 한계가 A선 밑 또는 소성지수가 4 이하 | 소성지수가 4~7이면서 Atterberg한계가 A선 위에 존재할 때는 2중문자 표시 |
| | | | GC | 점토질의 자갈, 자갈·모래·점토의 혼합토 | GW, GP, SW, SP | Atterberg 한계가 A선 위 또는 소성지수가 7 이상 | |
| | 모래 (Sand) | 세립분이 약간 또는 거의 없는 모래 | SW | 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음 | 12% 이상인 경우 : | Cu > 6 1 < Cg < 3 | |
| | | | SP | 입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래 | | SW의 조건이 만족되지 않을 때 | |
| | | #4체 (4mm)에 50% 이상 통과 | 세립분을 함유한 모래 | SM | 실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토 | 200번체 통과율이 5~12%인 경우 : | Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 5 이하 |
| | SC | | | 점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토 | 2중 문자로 표시 | Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 7 이상 | |

■ 통일분류법(2차 분류)-세립토

| 주요 구분 | | 기호 | 대표적인 흙 | 분류 기준 |
|--|---------------------------|----|---|---|
| 세립토 (Fine-Grained Soil) #200체 (0.075mm) 50% 이상 통과 | 액성한계 50% 이하인 실트나 점토 | ML | 무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사 | 소성도(Plasticity Chart)는 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용 소성도의 빗금친 곳은 2중 기호 표기 |
| | | CL | 소성이 중간치 이하인 유기질점토, 자갈질점토, 모래질점토, 실트질점토 | |
| | | OL | 소성이 작은 유기질 실트 및 점토 | |
| | 액성한계 50% 이상인 실트나 점토 | MH | 무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트 | 세립토 분류를 위한 소성도 |
| | | CH | 소성이 큰 무기질 점토, 탄성이 큰 점토 | |
| | | OH | 탄성이 중간치 이상인 유기질 점토 | |
| 고유기성 흙 | | Pt | 이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙 | |



3 토질의 기재사항

흙의 상태에 대한 기재내용은 토질분류, 상대밀도, 연경도, 함수상태, 색깔 등이며 다음과 같은 방법에 의하여 결과를 시추 주상도에 기록한다.

■ 통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

| 토질의 종류 | | 제1문자 | 토질의 속성 | 제2문자 | |
|--------|--------------------------------|------|---|------|-----|
| 조립토 | 자갈 (Gravel) | G | 입도분포 양호(Well-graded), 세립분 거의 없음 | W | 조립토 |
| | 모래 (Sand) | S | 입도분포 불량(Poorly-graded), 세립분 거의 없음 | P | |
| 세립토 | 실트 (SILT) | M | 세립분 12% 이상 함유, A선 아래, 소성지수 4 이하 | M | 세립토 |
| | 점토 (Clay) | C | 세립분 12% 이상 함유, A선 위, 소성지수 7 이상 | C | |
| | 유기질의 실트 및 점토 (Organic Clay) | O | 압축성 낮음 (Low compressibility), $WL \leq 50\%$ | L | |
| 유기질토 | 이탄 (Peat) | Pt | 압축성 높음 (High compressibility), $WL \geq 50\%$ | H | 세립토 |

■ 상대밀도 및 연경도

| 사질토의 상대밀도 | | 세립토의 연경도 | |
|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| 관입저항값(N값) | 상대밀도 | 관입저항값(N값) | 연경도 |
| 4 이하 | 매우느슨(Very Loose) | 2 이하 | 매우연약(Very Soft) |
| 5 ~ 10 | 느슨(Loose) | 3 ~ 4 | 연약(Soft) |
| 11 ~ 30 | 보통조밀(Medium Dense) | 5 ~ 8 | 보통견고(Medium Stiff) |
| 31 ~ 50 | 조밀(Dense) | 9 ~ 15 | 견고(Stiff) |
| 51 이상 | 매우조밀(Very Dense) | 16 ~ 30 | 매우견고(Very Stiff) |
| | | 31 이상 | 고결(Hard) |

■ 함수비에 따른 분류 상태

| 함수비 (%) | 상태 | 함수비 (%) | 상태 |
|---------|-----------|---------|---------------|
| 0 ~ 10 | 건조(Dry) | 30 ~ 70 | 젖음(Wet) |
| 10 ~ 30 | 습윤(Moist) | 70 이상 | 포화(Saturated) |

■ 색깔에 따른 분류

| 색 | 1 | 담 | | | 암 | | | | | |
|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|---|
| | 2 | 분홍 | 홍 | 황 | 갈 | 감람 | 녹 | 회 | | |
| | 3 | 분홍 | 적 | 황 | 갈 | 감람 | 녹 | 청 | 백 | 회 |

2.1.2 토질과 암반의 구분

토질과 암반의 분류기준은 표준관입시험 N값 50(회)/10cm 기준으로 하고, 시료를 관찰하여 더 단단하고 모암의 조직을 가진 풍화대층을 풍화암으로 구분한다.

■ 풍화토와 풍화암의 분류기준

| 구분 | 분류기준 | 지질특성 |
|-----|------------------------------|---|
| 풍화토 | $N < 50\text{회}/10\text{cm}$ | <ul style="list-style-type: none"> •조암광물이 대부분 풍화되어 암석으로서의 결합력을 상실한 풍화잔류토로 절리의 대부분은 풍화광물인 점토 등 2차 광물로 충전되어 흔적만 보이고 함수포화시에 전단강도가 현저히 저하되기도 하며, 손으로 쉽게 부수어지는 지반 |
| 풍화암 | $N > 50\text{회}/10\text{cm}$ | <ul style="list-style-type: none"> •심한 풍화로 암석자체의 색조가 변색되었으며 충전물이 채워지거나 열린 절리가 많고, 가벼운 망치 타격에 쉽게 부수어지며 칼로 흠집을 낼 수 있음 •절리간격은 좁음 이하이며 시추시 암편만 회수되는 지반 |

■ 토사와 암반의 분류(표준품셈)

| 구 분 | 내 용 | 지 질 특 성 |
|-----|----------------|--|
| 토 사 | 보통토사 | •보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삽이나 갱이를 사용할 정도의 토질(삽 작업을 하기 위하여 상체를 약간 구부릴 정도) |
| | 경질토사 | •견고한 모래질 흙이나 점토로서 갱이나 곡괭이를 사용할 정도의 토질 (체중을 이용하여 2~3회 동작을 요할 정도) |
| | 고사점토 및 자갈섞인 토사 | •자갈질 흙 또는 견고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡괭이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질 |
| | 호박돌 섞인 토사 | •호박돌 크기의 돌이 섞이고 굴착에 약간의 화약을 사용해야 할 정도로 단단한 토질 |
| 암 반 | 풍 화 암 | •일부는 곡괭이를 사용할 수 있으나, 암질이 부식되고 균열이 1~10cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질 |
| | 연 암 | •균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질 |
| | 보 통 암 | •풍화상태는 엿볼 수 없으나 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm 정도의 암질 |
| | 경 암 | •화강암, 안산암 등으로서 굴착 또는 절취에 화약을 사용해야 하며, 균열 상태가 1m 이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질 |
| | 극 경 암 | •암질이 아주 밀착된 단단한 암질 |

2.1.3

암반의 분류 및 기재방법

1 개요

| | |
|------|--|
| 암반분류 | <ul style="list-style-type: none"> •"한국토지공사 분류기준" 을 참고로 하여, 풍화암, 연암, 경암으로 분류 •N값 50/5부터는 시추코어를 육안관찰하여 풍화암 및 연암으로 구분 |
| 기재방법 | <ul style="list-style-type: none"> •암석의 풍화상태, 불연속면의 간격(절리나 파쇄대의 간격), 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류 •조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법 (Geological Logging and Sampling of Rock Core of Engineering Purpose)" 에 의거 시추주상도 작성 |
| 기술내용 | <ul style="list-style-type: none"> •색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등 <ul style="list-style-type: none"> - 색(Color) : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용 •강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류 |

2 암반의 분류방법

지반조사시 암석의 분류는 TCR, RQD, 굴진속도, 풍화상태, 강도 등을 관찰하여 주상도에 기재 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리핑암, 발파암으로 구분

한국토지공사의 분류기준 및 건설교통부 표준품셈에 의거하여 풍화암, 연암, 경암으로 구분

■ 토공작업 리퍼빌리티에 따른 암반의 분류(도로설계요령, 토공 및 배수, 2001. 12)

| 구 분 | | 토 공 작 업 | | |
|------------|-------|----------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | 토 사(도져) | 리 핑 암 | 발 파 암 |
| 표준관입시험(N값) | | 50 / 10 미만 | 50 / 10 이상 | - |
| 불연속면의 발달빈도 | BX 크기 | - | TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도 | TCR=5~10% 이하이고 RQD=0~5% 이상 |
| | NX 크기 | - | TCR=20% 이하이고 RQD=0% 정도 | TCR=20% 이하이고 RQD=10% 정도 |
| 탄성파속도 | A 그룹 | 700 m/sec 미만 | 700~1,200 m/sec 미만 | 1,200 m/sec 이상 |
| | B 그룹 | 1,000 m/sec 미만 | 1,000~1,800 m/sec 미만 | 1,800 m/sec 이상 |

주) A그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 안산암

B그룹 암종 : 흑색편암, 녹색편암

■ 건설교통부 표준품셈에 의한 분류

| 암 종 | 그 룹 | 자연상태의 탄성파속도 (km/s) | 암편의 탄성파속도 (km/s) | 암편내압강도 (kgf/cm ²) | 비 고 | |
|-----|-----|--------------------|------------------|-------------------------------|--|---|
| 풍화암 | A | 0.7~1.2 | 2.0~2.7 | 300~700 | * 내압강도 1. 시편 : 5cm 입방체 2. 노건조 : 24시간 3. 수중침윤 : 2일 4. 시험방법 (가압방향) - Z축 (결면에 수직) - 탄성파속도가 가장 느린 방향 | |
| | B | 1.0~1.8 | 2.5~3.0 | 100~200 | | |
| 연 암 | A | 1.2~1.9 | 2.7~3.7 | 700~1000 | | |
| | B | 1.8~2.8 | 3.0~4.3 | 200~500 | | |
| 보통암 | A | 1.9~2.9 | 3.7~4.7 | 1000~1300 | | * 암편의 탄성파속도 1. 시편 : 두께 15~20cm 상하면이 평행면 2. 측정방향 X축 - 절면에 평행 - 탄성파 속도가 가장 빠른 방향 |
| | B | 2.8~4.1 | 4.3~5.7 | 500~800 | | |
| 경 암 | A | 2.9~4.2 | 4.7~5.8 | 1300~1600 | | |
| | B | 4.1 이상 | 5.7 이상 | 800 이상 | | |
| 극경암 | A | 4.2 이상 | 5.8 이상 | 1600 이상 | | |

■ 암반의 분류기준(한국토지공사)

| 상태 암종 구분 | 굴진 상황 | Core 형태 | 풍화변질 상태 | 조 직 | 원위치시험 (표준관입시험) | 비 고 |
|----------------|---|--|---|---|--|--|
| 풍화암 | <ul style="list-style-type: none"> •Metal crown bit로 큰 저항 없이 굴진되며 암질에 따라 차이가 있으나 30cm 굴진에 대체로 1~3분 이내 소요 •하부에서는 다소의 저항이 있으며 경연(硬鉛)이 반복되는 경향이 있음 | <ul style="list-style-type: none"> •Core 회수 거의 불가 •하부에서 세편상태의 Core가 소량 산출될 경우도 있음 (특히, 퇴적암 계통) •균열이 매우 발달하여 간격이 거의 밀착된 상태 | <ul style="list-style-type: none"> •조암광물은 완전히 변질됨 | <ul style="list-style-type: none"> •기반암의 조직은 유지하고 있으나 암내부까지 풍화가 완전히 진행되어 화학적, 역학적 성질은 상실한 상태 | <ul style="list-style-type: none"> •50/15 ~ S.P.T 불가한 곳도 있음 | <ul style="list-style-type: none"> •125kg/cm²이하 (일축압축강도) |
| 연 암 | <ul style="list-style-type: none"> •Metal crown bit 굴진시 다소의 저항이 있으며 압력을 가하여 굴진 가능 | <ul style="list-style-type: none"> •세편(細片)내지 단주상으로 회수됨 (보통 3~5cm정도) •암질에 따라 틀리나 T.C.R은 10~40% 내외 •R.Q.D 측정은 거의 불가능한 상태 •균열 간격은 5cm 내외 | <ul style="list-style-type: none"> •균열부위를 따라 풍화가 상당히 진척되어 대부분의 광물이 다소 풍화된 상태로써 균열이 없는 곳은 다소 신선한 상태 | <ul style="list-style-type: none"> •기반암 조직 유지 | <ul style="list-style-type: none"> •S.P.T 불가 | <ul style="list-style-type: none"> •일부 세립질 암석이나 석영맥, 규암 등은 Core 회수가 불가한 경우가 있음 •125~400 kg/cm² (일축압축강도) |
| 보통암 | <ul style="list-style-type: none"> •Metal crown bit로 굴진 가능하나 Diamond bit 사용시 Core 회수율을 높일 수 있음 •암질에 따라 차이가 있으나 30cm 굴진에 10~30분 소요 | <ul style="list-style-type: none"> •단주상~장주상(撐狀)으로 산출 (보통 5~10cm 정도) •암질에 따라 틀리나 T.C.R은 40~60%내외이며 R.Q.D 측정 가능 •균열간격은 5~15 (평균 10cm) 내외이나 신선한 부분은 20~30cm 간격인 경우도 있음 | <ul style="list-style-type: none"> •균열부위를 따라 풍화가 상당히 진척된 곳도 있으나 대체로 암내부는 신선한 편임 | <ul style="list-style-type: none"> •기반암 조직 | <ul style="list-style-type: none"> •S.P.T 불가 | <ul style="list-style-type: none"> •400~800 kg/cm² (일축압축강도) |
| 경 암 | <ul style="list-style-type: none"> •Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반. | <ul style="list-style-type: none"> •대부분 장주상으로 산출되나 일부 파쇄대에서는 단주상으로 산출되기도 함 •암질에 따라 틀리나 T.C.R이 60% 이상 •R.Q.D는 보통 이상 (40~50%이상) •균열간격이 20~30cm 이상 | <ul style="list-style-type: none"> •신선한 상태 | <ul style="list-style-type: none"> •기반암 조직 | <ul style="list-style-type: none"> •S.P.T 불가 | <ul style="list-style-type: none"> •800~1200 kg/cm² (일축압축강도) |

※ 암을 판정분류하는 기준은 건설표준품셈을 비롯하여 그 기준이 다양하나 시공시는 주로 건설표준품셈의 강도기준에 의거 분류를 하고 있다. 지반조사시 채취되는 시편의 상태는 시공 중 채취되는 시편과 형상, 균열상태 등 여러 면에서 차이가 있으므로 조사굴진 중 관찰되는 여러 가지 현상을 종합적으로 참조하여 판단할 수 있도록 상기와 같이 기준을 수립하였음. 그러나 일부 특수한 암반에서는 상기 기준을 벗어날 수도 있음

■ 그룹에 따른 대표암석 및 판정기준

| 구 분 | A 그룹 | B 그룹 |
|-----------------------|--|--|
| 대표적인 암 명 | 편마암, 사질편암, 녹색편암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 혈암, 안산암, 현무암 | 흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 이암, 응회암, 집괴암 |
| 함유물 등에 의한 시각판정 | 사질분, 석영분을 다량 함유하고 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것 | 사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것 |
| 500~1000g 해머타격에 의한 판정 | 타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되나, 거의 암분을 남기지 않는 것 | 타격점의 암은 자신이 부서지지 않고, 분상이 되어 남으며 암편이 별로 비산되지 않는 것 |

3 암반의 기재사항

암석 코어에 대한 기술내용은 TCR, RQD, 색, 불연속면 간격, 풍화상태, 암석명, 강도 등이 있음
암석의 풍화상태, 불연속면 간격(절리나 층리면의 간격) 및 강도는 아래 기준에 따라 기술

■ 코아회수율(Total Core Recovery : TCR)

| | |
|-----|--|
| 개 요 | •코아회수율은 시추심도에 대한 회수된 코아의 백분율로서 암석의 연경도와 풍화도를 간접적으로 반영하는 값임 |
| 평 가 | • $TCR(\%) = \frac{\text{회수된 Core의 길이}}{\text{총 시추길이}} \times 100$ |
| 특 징 | •코아회수율은 시추기의 회전속도, 시추구경, 사용 비트(bit) 및 시추압력 등의 작업조건에 따라서 코아회수율이 달라짐 |

■ 암질지수(Rock Quality Designation : RQD)

| | |
|-----|---|
| 개 요 | •D. U. Deere(1964)는 다이아몬드 보링으로 채취한 보링코어의 관찰에 의해서 암질을 정량적으로 표시하는 지표로 RQD를 제안 •RQD는 코아길이 1m 중에 포함된 10cm 이상의 봉상코어의 비율로 정의되며 암반의 상대적인 절리상태와 연경도 등을 반영하는 값임 |
| 평 가 | • $RQD(\%) = \frac{\sum(10\text{cm 이상되는 채취된 암석의 시편})}{\text{총 시추길이}} \times 100$ |
| 특 징 | •RQD는 절리의 방향, 충전물(Filling material) 등 절리의 성질을 충분히 반영하지 못하는 단점을 가지고 있음 |

■ 색

| | |
|-----------|--|
| 색 (Color) | • 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 접두어를 사용 |
|-----------|--|

■ 불연속면의 간격

| 기 재 방 법 | 기 호 | Joint 간격 | 상 태 |
|---------------------------------|-----|----------|----------------------------|
| 불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값을 주상도에 수록 | F5 | 5cm | 매우심한균열(Highly Fractured) |
| | F4 | 5~10cm | 심한균열(Fractured) |
| | F3 | 10~20cm | 보통균열(Moderately Fractured) |
| | F2 | 20~100cm | 약간균열(Slightly Fractured) |
| | F1 | 100cm 이상 | 과 상(Massive) |










■ 암석의 풍화상태에 따른 분류기준

| 기 호 | 용 어 | 설 명 |
|-----|--------------------------------|--|
| D6 | 잔 적 토 (Residual Soil) | •완전풍화되고 토립자들의 재구성이 일어나 암석조직이 관찰되지 않는 흙 |
| D5 | 완전풍화 (Completely Weathered) | •암석 전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 원조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태 |
| D4 | 심한풍화 (Highly Weathered) | •암석내부까지 풍화가 진행중이며 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부술 수 있는 상태 |
| D3 | 보통풍화 (Moderately Weathered) | •전 암석 표면에서부터 풍화가 진행중이며 색조는 변하였으나 손으로 부술 수 없는 상태 |
| D2 | 약간풍화 (Slightly Weathered) | •기반암내 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태 |
| D1 | 신 선 (Fresh) | •풍화작용의 흔적이 없는 상태 |

■ 암석의 강도에 따른 분류

| 기 호 | 용 어 | 설 명 |
|-----|-----------------------------|---|
| S5 | 매우약함 (Very Weak) | •손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도 |
| S4 | 약 함 (Weak) | •해머로 눌러 으스러지는 정도 |
| S3 | 보통강함 (Moderately Strong) | •1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도 |
| S2 | 강 함 (Strong) | •1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도 |
| S1 | 매우강함 (Very Strong) | •여러번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도 |

■ 절리면 거칠기에 따른 분류

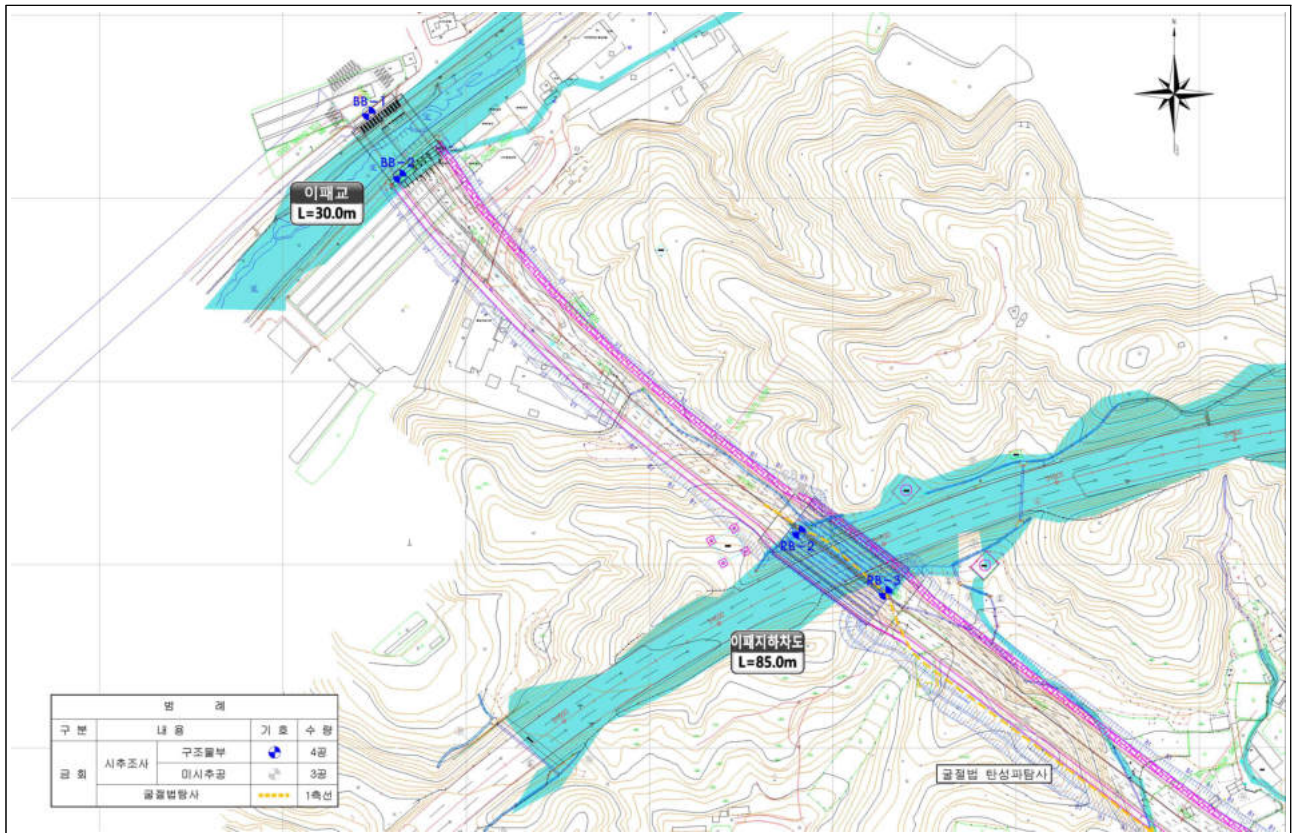
| 구 분 | 계 단 형 (Stepped) | 파 동 형 (Undulating) | 평 면 형 (Planar) |
|----------------------|---|--|---|
| 거 칠 음 (Rough) |  |  |  |
| 완 만 (Smooth) |  |  |  |
| 경 면 (Slikensided) |  |  |  |

2.2 조사위치 선정

기 작성된 지형현황도, 인근 지형을 고려하여 과업지역의 지층분포를 가장 효과적으로 파악할 수 있는 위치로 도상 계획한 후 현장을 답사하여 선정하였다.

2.2.1 시추조사 위치

■ 시추조사 및 물리탐사 위치도



■ 시추조사 위치

| 구분 | 조사번호 | 좌 표 | | 표 고 (EL, +m) | 비 고 |
|------|-------|------------|------------|-----------------|------|
| | | X | Y | | |
| 구조물부 | BB-01 | 557246.358 | 217047.029 | 22.10 | 교량 |
| | BB-02 | 557212.044 | 217063.902 | 22.15 | |
| | RB-02 | 557017.701 | 217281.674 | 43.27 | 지하차도 |
| | RB-03 | 556984.475 | 217328.884 | 46.24 | |

■ 굴절법탄성파탐사 위치

| 구분 | 축선번호 | 축선길이(m) | 비 고 |
|----------|------|---------|-----|
| 굴절법탄성파탐사 | L-1 | 280 | |

2.3 현장조사

2.3.1 시추조사

| | |
|------------|---|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> •지층의 성상과 각 지층의 지반공학적 특성, 기반암의 분포상태 및 풍화도 등 파악 •시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 실시하여 설계에 필요한 지반자료를 제공 |
|------------|---|

■ 조사방법

- 회전 수세식(Rotary Wash Type) 시추기 사용
- 시추구경은 NX(ϕ 76mm) 깎기 및 쌓기구간 규격
- 공벽붕괴 방지를 위해 풍화암까지 Casing 삽입
- 토사 시료채취는 Split Spoon Sampler, 암반 시료 채취는 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
- 채취된 암석코어는 육안관찰에 의하여 암석내에 분포된 불연속면(Discontinuities)과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추 주상도에 기재
- 채취된 토질 및 암석시료는 시료상자에 공번, 심도, 지층명, 색상 등을 기록하여 정리 보관

■ 조사전경

| 시추조사 개략도 | 시추조사 전경 | | | | | | | | |
|----------|--|-----|----------------------------|----|------|----|------|----|---------|
| | <table border="1" style="margin-top: 10px; width: 100%;"> <tr> <td>공사명</td> <td>남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권)</td> </tr> <tr> <td>공종</td> <td>BB-1</td> </tr> <tr> <td>내용</td> <td>시추전경</td> </tr> <tr> <td>일자</td> <td>2026.04</td> </tr> </table> | 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | 공종 | BB-1 | 내용 | 시추전경 | 일자 | 2026.04 |
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | | | | | | | | |
| 공종 | BB-1 | | | | | | | | |
| 내용 | 시추전경 | | | | | | | | |
| 일자 | 2026.04 | | | | | | | | |

■ 조사수량

| 구 간 | | 조사심도 기준 | 수 량 | 비 고 |
|------|------|---------------------|-----|-------------------|
| 구조물부 | 교량 | 기반암 3.0m | 2공 | •과업지시서상의 조사 기준 참조 |
| | 지하차도 | 기초계획고 하 2.0m 또는 지지층 | 2공 | |
| 합 계 | | | 4공 | |

■ 결과활용

| | |
|----------------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> •지층 분포상태 파악 및 시료채취 •시추공을 이용한 각종 현장시험 및 채취시료를 대상으로 각종 실내시험 실시 •시추주상도 및 지층단면도 작성하여 토공계획 및 구조물 기초계획 수립에 활용 |
|----------------|---|

2.4 현장시험

2.4.1 표준관입시험(S.P.T)

| | |
|-----|--|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> •지층의 상대밀도 및 연경도와 구성성분 파악 •교란시료 채취를 통한 시료 육안판별 및 실내물성시험 시료확보 •N값으로부터 지반의 강도특성 및 변형특성 파악 |
|-----|--|

■ 조사방법

- 63.5kg의 해머를 낙하고 76cm에서 자유 낙하시켜 Split Spoon Sampler를 30cm 관입시키는데 소요되는 타격 횟수를 측정
- 한국산업규격(KS F 2307)에 규정된 방법에 의거하여 실시
- 지층이 조밀 또는 견고하여 30cm 관입이 곤란할 때는 50회까지 타격하고 그때의 관입량을 표시
- 시험결과 및 육안관찰 결과는 부록의 시추주상도에 기재

■ 조사전경

| 표준관입시험 전경 | 표준관입시험 시료채취 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----|------|----|-----|----|---------|--|-----|----------------------------|----|------|----|------|----|---------|
|  <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr><td>공사명</td><td>남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권)</td></tr> <tr><td>공종</td><td>BB-2</td></tr> <tr><td>내용</td><td>SPT</td></tr> <tr><td>일자</td><td>2026.04</td></tr> </table> | 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | 공종 | BB-2 | 내용 | SPT | 일자 | 2026.04 |  <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr><td>공사명</td><td>남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권)</td></tr> <tr><td>공종</td><td>BB-2</td></tr> <tr><td>내용</td><td>시료채취</td></tr> <tr><td>일자</td><td>2026.04</td></tr> </table> | 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | 공종 | BB-2 | 내용 | 시료채취 | 일자 | 2026.04 |
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 공종 | BB-2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 내용 | SPT | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 일자 | 2026.04 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 공종 | BB-2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 내용 | 시료채취 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 일자 | 2026.04 | | | | | | | | | | | | | | | | |

■ 결과활용

| 결 과 활 용 | | | | |
|----------------|--------|---|---|---|
| 지반에 대한 종합판정 | | <ul style="list-style-type: none"> •지층판별 및 토성추정 •기초의 지지층 분포심도 •연약층 유무 판단 | <ul style="list-style-type: none"> •말뚝이나 널말뚝의 관입성 •투수층의 유무 •지반 개량방법과 효과의 판정 | |
| N값 이용 지반 특성 추정 | 사질토 지반 | <ul style="list-style-type: none"> •상대밀도(Dr) •지지력 계수 •간극비 | <ul style="list-style-type: none"> •내부마찰각(ϕ) •기초지반의 탄성침하 •기초지반의 허용지지력 •액상화 가능성 판단 | <ul style="list-style-type: none"> •말뚝의 연직지지력 •말뚝의 수평지지력 •지반반력계수 |
| | 점성토 지반 | <ul style="list-style-type: none"> •컨시스턴시 •기초지지력 | <ul style="list-style-type: none"> •일축압축강도(q_u) •비배수점착력(C_u) | <ul style="list-style-type: none"> •변형계수 •회파속도 |

2.4.2 지하수위 측정

개 요

- 지속적인 시추공내 지하수위를 측정하여 안정된 지하수위 분포현황 파악
- 기초 시공시 지하수 유입량 산정 및 배수대책 수립

■ 시험방법

• 시추작업 완료후 측정

- 1 차 : 시추 완료 1일 경과후 측정
- 2 차 : 시추 완료 7일 경과후 측정
- 3 차 : 폐공전 측정

• PVC 설치후 이물질 및 강우에 의한 지표수유입 방지

• 지표면으로부터 지하수면까지의 심도 측정

• 각 시추공별 측정된 지하수위는 조사결과 및 시추주상도에 기록



■ 측정수량

| 구 간 | 교량 | 지하차도 | 비고 |
|-----|----|------|----|
| 수량 | 2공 | 2공 | - |

결 과
활 용

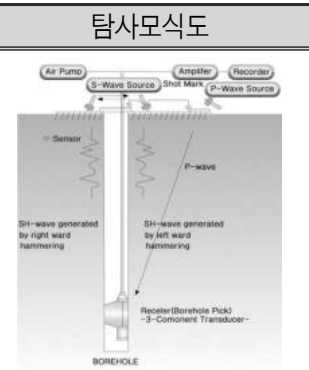
- 지하수위 변화에 따른 수압 및 유효상재하중 산정
- 기초 시공시 지하수 유입수량 계산 및 배수대책 수립에 활용
- 비탈면 안정해석시 상시 지하수위 조건 및 우기시 지하수위 상승에 따른 안정해석에 활용

2.4.3 전단탄성파시험(Downhole test)

| | |
|-----|---|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> 본 탐사는 조사지역 내 지층별 탄성파(P파, S파) 속도를 파악함으로써 대상지역의 동적특성 파악 및 동적 지반정수를 산출 |
|-----|---|

Downhole test 원리

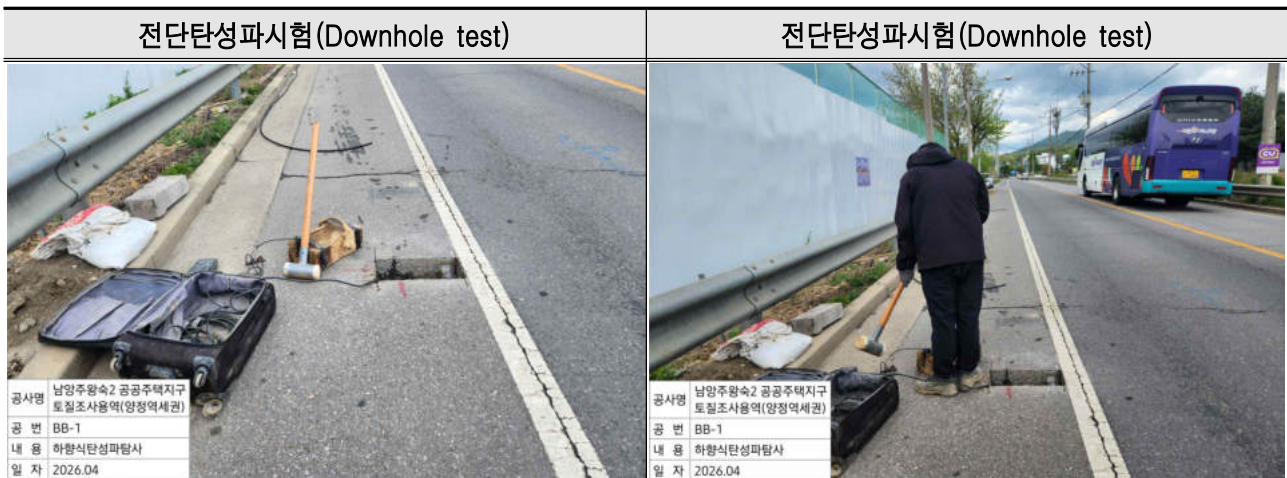
- 시추공에서 가까운 지표에서 탄성파를 발생시키고 시추공 내에 삽입 되어 있는 수신기를 통하여 지표에서 직접 전달되는 파를 기록한다. 탄성파의 발생을 위해서는 장비의 이동성이 좋고 P파 및 S파의 발생에 유리한 슬래지 햄머와 평판을 주로 사용한다. 시추공 수신기로는 횡파의 기록을 위하여 클램핑 장치가 부착된 3성분 지오폰을 주로 사용한다. 지표로부터 직접 전달되는 P파 및 S파 초동의 도달시간을 기록하고, 심도-시간 곡선으로부터 구간속도를 구하며, 이와 밀도검층(density logging)에 의한 암층별 밀도자료를 이용하여 동탄성계수 등을 구한다.



Downhole test 방법

- 시추나 기타 지반조사 자료를 참고하여 조사간격을 결정한다. 지하수위나 파쇄대의 존재, 풍화정도 등도 구간속도에 영향을 미치므로 이를 고려하여 결정하며, 대개 1~5m정도의 조사간격을 많이 사용, 시추공 붕괴의 위험이 있는 부분만 최소한의 PVC 케이싱을 설치한다.
- 성토층이나 표토층이 존재할 경우 이를 제거하고, 탄성파 발생을 위한 평판이 지반에 잘 밀착하고 타격에 의하여 움직이지 않도록 한다. 평판이 되도록 시추공 가까이에 위치시켜 에너지가 효율적으로 전달 될 수 있도록 한다.
- 평판을 수평으로 가격하여 횡파를 발생시킬 경우 반드시 양방향으로 가격하여 180°의 위상차(polarity)를 확인한다. 또한 신호가 미약할 시 여러번 가격하여 이를 중합(stack) 함으로써 S/N비를 높인다.
- 시추공 하부에서 상부로 이동하면서 조사하는 상향(uphole)탐사와 반대 방향의 하향(downhole) 탐사를 모두 이용할 수 있으나, 하향탐사로 초동의 도달시간을 추적하여 나가는 것이 유리하다.

시험전경



■ 건축구조설계기준(2016) 지반분류등급

| 지반분류 | 지반명칭 | 상부 30m 에 대한 지반특성 | | | 비 고 |
|----------------|------------------------|------------------|--------|-----------------|-----|
| | | 전단파속도 (m/s) | 표준관입시험 | 비배수전단강도 (Su) | |
| S _a | 경암지반 | 1500 초과 | - | - | |
| S _b | 보통암지반 | 760~1500 | - | - | |
| S _c | 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반 | 360~760 | >50 | >100 | |
| S _d | 단단한 토사지반 | 180~360 | 15~50 | 50~100 | |
| S _e | 연약한 토사지반 | 180 미만 | <15 | <50 | |
| S _f | 부지 고유의 특성평가 요구되는 지반 | | | | |

■ 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)을 적용한 설계지반 등급산정

| 지반분류 | 지반명칭 | 상부 30m 에 대한 지반특성 | | 비 고 |
|----------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|-----|
| | | 기반암 깊이, H(m) | 토층 평균 전단파속도(Vs,Soil(m/s)) | |
| S ₁ | 암반지반 | 3 미만 | - | |
| S ₂ | 얕고 단단한 지반 | 3~20 이하 | 260 이상 | |
| S ₃ | 얕고 연약한 지반 | 3~20 이하 | 120 초과 260 미만 | |
| S ₄ | 깊고 단단한 지반 | 20 초과 50 미만 | 180 이상 | |
| S ₅ | 깊고 연약한 지반 | 20 초과 50 미만 | 120 초과 180 미만 | |
| | 매우 연약한 지반 | 3 이상 | 120 이하 | |
| S ₆ | 부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반 | | | |

■ 시험수량

| 구 간 | 교량부 | 합계 | 비고 |
|-----|-----|----|----|
| 수량 | 1회 | 1회 | |

■ 결과활용

| | |
|------------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> 지층별 동적 특성을 결정하여 기초의 내진설계 기초자료로 활용 |
|------------|---|

2.4.4 현장투수시험

| | |
|-----|---|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> • 변수위법에 의한 토사 및 풍화대의 투수성을 평가하여 침투유량 산정 시 활용 • 토사 및 풍화대의 투수성을 파악하기 위해 시추조사와 병행하여 실시 |
|-----|---|

■ 시험방법

• 시험구간 상단까지 Casing을 삽입하고 상부에서 물을 주입하여 경과시간에 따른 수위변화를 측정하여 투수계수를 산출하는 방법

$$K = \frac{r}{4T} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

(L=0, Magg Test)

$$K = \frac{r^2}{2L(t_t - t_0)} \ln \frac{L}{r} \ln \frac{H_0}{H_t}$$

(L>0, Falling head test)

여기서, K : 투수계수(cm/sec), r : 케이싱 반경, L : 시험구간(cm), H₀ : 초기의 수두,

H_t : 시간에 따른 변수두, T : 시간

■ 현장투수시험 모식도

| 지하수위 상부 | 지하수위 하부 | 현장투수시험 전경 |
|---------|---------|-----------|
| | | |

■ 시험수량

| 구 분 | 지하차도 | 비고 |
|-----|------|----|
| 수량 | 2회 | |

■ 결과활용

| | |
|------------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> • 토사 및 풍화대 지반의 투수계수 산정 • 침투해석 및 지하수 연계 수치해석의 입력자료 및 굴착 시 침투유량 산정에 활용 |
|------------|---|

2.4.5 공내전단시험

| | |
|-----|---|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> •지층의 불교란시료 채취가 어려워 실내시험을 통한 강도정수 산정이 어려우므로 시추공 내에 원위치 전단강도시험을 실시 •신뢰성 높은 강도정수 산출 |
|-----|---|

■ 시험방법

- 공내전단시험기, 나선형 Rod, 유압호스, 유압잭, BST Probe(전단판 부착)
- 대상지반의 분포상태를 확인 후 최적의 시험위치를 결정
- 심도의 응력이완 및 지반상태를 고려 시추 직 후 신속히 시험 수행
- 시추공내 시험구간에 전단기를 삽입, 지상에서 Hand pump를 이용, 전단기를 공벽에 부착시킨 후 수평압력을 가함
- 시추공내 전단기와 연결된 Rod를 지상에서 유압으로 끌어당기는 수직력을 가하여 파괴시 전단력을 산정
- Probe의 위치를 변경한 후 동일한 방법으로 수평응력을 바꾸어 3회 이상 시험
- 측정된 각 3회 이상의 수평응력과 전단력을 근거로 선형회귀분석을 실시, 그 결과 산출된 직선적 관계로부터 점착력과 마찰각 산출

■ 공내전단시험 모식도

| 공내전단시험 모식도 | 공내전단시험 전경 |
|------------|-----------|
| | |

■ 시험수량

| 구 분 | 지하차도 | 비고 |
|-----|------|----|
| 수량 | 2회 | |

■ 결과활용

| | |
|------------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> • 토사 및 풍화대의 전단강도(점착력, 마찰각)를 결정하여 가시설 및 터파기 안정성 판단 및 분석을 위한 설계자료로 활용 |
|------------|---|

2.4.6 공내재하시험

| | |
|-----|--|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> • 시추공 공벽면을 가압하여 공벽면 변형량을 측정, 토사 및 암반의 응력-변형 관계로부터 기초지반의 변형특성 파악 및 지반의 수평방향 지지력계수 산정 • 지반의 성질, 강도, 변형 특성 등을 파악 |
|-----|--|

■ 시험방법

- 시험에 앞서 Calibration을 실시 Pressure loss 및 Volum loss에 대한 보정을 실시한 후 Pressure differential(Central cell과 Fuard cell 간의 압력차)를 보정
- Sonde를 삽입한 후 가압장치에서 Sonde 외부에 부착된 고무튜브를 팽창시킴
- 고무튜브 팽창시 발생하는 공벽의 변위를 측정하여 압력-변위곡선으로부터 변형계수 및 탄성계수 산출
- 각 압력단계 가압후 15, 30, 60초일 때 Volumeter를 측정하여 변형특성 파악

■ 시험전경

| 공내재하시험 모식도 | 공내재하시험 현장사진 |
|------------|-------------|
| | |

■ 시험수량

| 구 간 | 교량 | 지하차도 | 합계 | 비고 |
|-----|----|------|----|----|
| 수량 | 1회 | 2회 | 3회 | |

■ 결과활용

| | |
|---------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> • 암반별 변형계수를 결정하여 연속체해석 시 적용 • 말뚝기초 수평 지반반력계수 산정 시 활용 • 기초의 허용지지력 추정 및 변형특성 분석 자료로 활용 • 가시설 안정 검토 시 기초자료 활용 |
|---------|---|

2.4.7 지하수 순간충격시험

개요

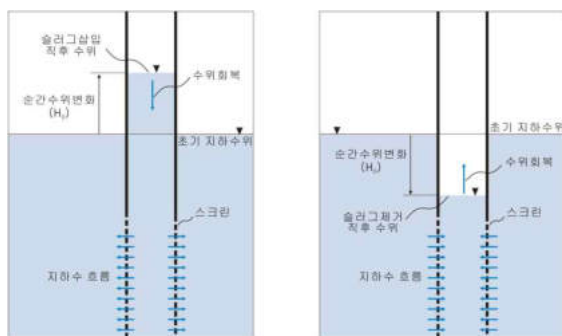
- 일정부피의 물체(파이프, 물)를 시험공에 주입 또는 제거하여 순간적인 수위 변화를 유발시킨 후 지하수위 변화를 측정함으로써 수리상수를 추정하는 현장시험법으로 순간수위변화 시험이라고도 함. 이 시험은 베일러(bailer)를 사용해 물을 덜어 내거나 물을 더해서 순간 수위변화를 일으키는 베일러(bailer) Test와 부피를 알고 있는 슬러그(Slug)를 주입 또는 제거하여 수위변화를 일으키는 Slug Test로 나뉘는데 두 경우 모두 순간충격시험이라고 함.
- 1개의 시험공을 이용하기 때문에 경제적이며, 또한 대수층이 수위변화를 일으키기 어려운 저투수성 매질로 이루어져 있을 때 적용이 가능하다는 장점이 있음. 특히, 이 시험은 오염지역에서 해당 대수층의 수리상수를 추정하고자 할 때 오염을 더욱 가속화시킬 우려가 있는 양수시험보다 선호됨. 그러나 양수시험에 비하여 좁은 범위의 대수층 수리특성만을 획득할 수밖에 없고, 저유계수를 획득할 수 없다는 단점이 있음.

■ 시험방법

- 관측정에 대한 정보(깊이, 케이싱 길이 및 내경, 스크린 구간 등)를 조사
- 순간 수위 변화 전의 초기 수위를 측정하고, 자동수위계측기를 설치
- 슬러그(Slug)나 베일러(Bailer)를 사용거나 물을 주입하여 수위변화를 유발하고, 수위변화를 지속적으로 측정
- 초기수위로 수위가 회복될 때 까지 측정을 계속하는 것이 바람직하나 시간이 충분하지 않은 경우 초기수위변화의 63% 이상 회복되면 시험을 종료할 수 있음
- 현장조건에 맞는 해석모델을 선택하여 수리상수값을 추정

■ 시험전경

순간충격시험 모식도



순간충격시험 전경



■ 시험수량

| 구 간 | 지하차도 | 합계 | 비고 |
|-----|------|----|----|
| 수량 | 1회 | 1회 | |

■ 결과활용

| | |
|------------|--|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> • 대수층의 수리상수인 수리전도도(K)와 투수량계수(T) 산정 • 지하수유동해석시 대수층 수리상수 입력인자로 활용 |
|------------|--|

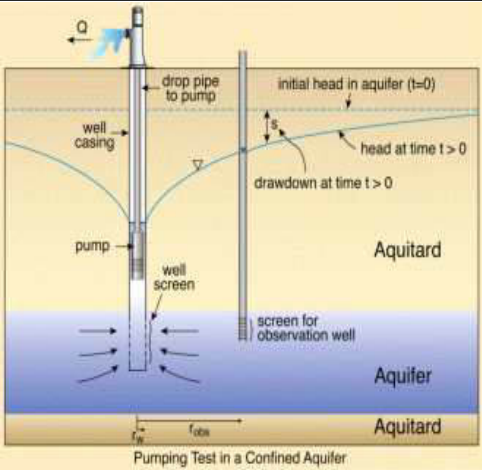

2.4.8 양수시험

| | |
|-----|--|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> 양수시험은 대수층의 수리적 특성을 규명하기 위해 실시하는 여러 가지 시험들 중 가장 많이 적용되는 방법으로, 대수층을 관통한 양수공에서 지하수를 채수하여 시간에 따른 수위변화를 측정함으로써 수리상수를 추정함. 양수시험은 시험방법에 따라 일정양수량시험, 변양수량시험, 단계양수량시험 등으로 구분되기도 하며, 양수시험 종료 후 회복수위를 측정하는 수위회복시험을 병행함. 이런 시험들은 시험의 목적과 각 대상지역의 수리지질학적 특성을 고려하여 적절히 선택되어야 함. |
|-----|--|

■ 시험방법

- 본 조사지역의 대수층 수리상수를 구하기 위하여 시험공에서 장기양수시험 후 즉시 수위회복시험을 실시하는 방법으로 수행
- 장기양수시험 시 양수량은 안정수위가 형성될 때 까지 일정하게 유지하였으며 혹시 모를 유량계의 오차를 보완하기 위하여 수량이 표기된 비커와 초시계를 활용하여 수동 측정을 병행
- 수위강하량과 수위회복량은 시험공 내에 설치한 자동수위계측기를 1초 간격으로 측정하도록 설정하여 측정하였으며, 안정수위의 확인을 위하여 수동수위계측기를 이용하여 병행 측정하여 기록함. 양수시험 후 즉시 회복시험을 실시

■ 시험전경

| 양수시험 모식도 | 양수시험 전경 |
|---|--|
|  |  |

■ 시험수량

| 구 간 | 지하차도 | 합계 | 비고 |
|-----|------|----|----|
| 수량 | 1회 | 1회 | |

■ 결과활용

| | |
|------------|--|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> 기반암의 투수계수(K), 저류계수(S), 투수량계수(T) 산정, 건설에 따른 지하수 변화에 의한 영향 검토 기초 자료로 활용 및 지하수의 유동변화 및 유입량 예측 |
|------------|--|

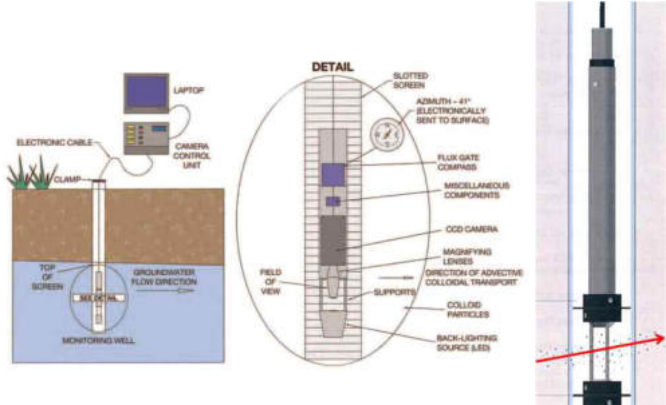

2.4.9 지하수 유향유속시험

| | |
|-----|---|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> 본 시험은 조사구역 내 시추 조사 과정에서 형성된 시추공에 대해 지하수 유향유속시험을 실시하여 지하수의 유동 방향 및 그 유동 속도를 직접 측정함으로써, 수리특성 자료로 활용 |
|-----|---|

■ 시험방법

- 기존의 지하수 시추공용 유향·유속측정기는 임펠러(Impeller) 방식 또는 열원(Heat-pulse) 등이 널리 쓰이고 있으며 이중 임펠러 방식의 유속측정기는 가장 오래된 것으로 석유개발과 관련하여 개발되었다. 대부분의 임펠러 측정기는 유속이 느린 경우 측정이 불가능하기 때문에 자연 상태에서 지하수 유속을 측정할 수 없는 제한점이 있다. 열원방식은 이러한 제한점을 극복하기 위해 개발되었으며 저속에 매우 민감하여 절리를 따라 흐르는 지하수 유동해석에 활용되었으나 열을 발생시키는 인위적인 요인이 작용한다는 단점이 있다.
- 본 과업에는 기존의 임펠러 방식 및 열원방식이 아닌 지하수에 존재하는 부유물 또는 콜로이드성 입자의 흐름을 추적하는 방식을 활용하였다. 사용 장비는 미국의 Geotech Environmental Equipment, Inc. 의 “AquaVISION Colloidal Borescope System” 을 활용하였다. 해당 장비는 고해상도의 카메라를 통해 최소 10 μ m 크기의 입자 움직임을 촬영하고 직접적으로 측정함으로써 보다 신뢰성 있는 자료의 획득이 가능하며, 방향 관측용 전자 나침반이 내장되어 있어 지하수의 방향측정이 가능하다. 또한, 측정범위가 0~30,000 μ m/sec 범위로 아주 미세한 흐름까지 측정이 가능하며 인위적 열을 발생시키지 않으므로 자연상태 그대로의 유향/유속의 측정이 가능하다.

■ 시험전경

| 유향유속시험 모식도 | 유향유속시험 전경 | | | | | | | | |
|---|---|-----|--------------------|----|-------|----|--------|----|----------|
|  |  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; font-size: small;"> <tr> <td>공사명</td> <td>남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역</td> </tr> <tr> <td>공번</td> <td>RB-03</td> </tr> <tr> <td>공종</td> <td>유향유속시험</td> </tr> <tr> <td>일자</td> <td>2026.05.</td> </tr> </table> | 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 | 공번 | RB-03 | 공종 | 유향유속시험 | 일자 | 2026.05. |
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 | | | | | | | | |
| 공번 | RB-03 | | | | | | | | |
| 공종 | 유향유속시험 | | | | | | | | |
| 일자 | 2026.05. | | | | | | | | |

■ 시험수량

| 구 간 | 지하차도 | 합계 | 비고 |
|-----|------|----|----|
| 수량 | 1회 | 1회 | |

■ 결과활용

| | |
|---------|---|
| 결 과 활 용 | <ul style="list-style-type: none"> 지하수의 유동방향과 유동속도를 파악하여 침투류 해석 및 배수계획에 활용 |
|---------|---|

2.5 물리탐사

2.5.1 굴절법탄성파탐사

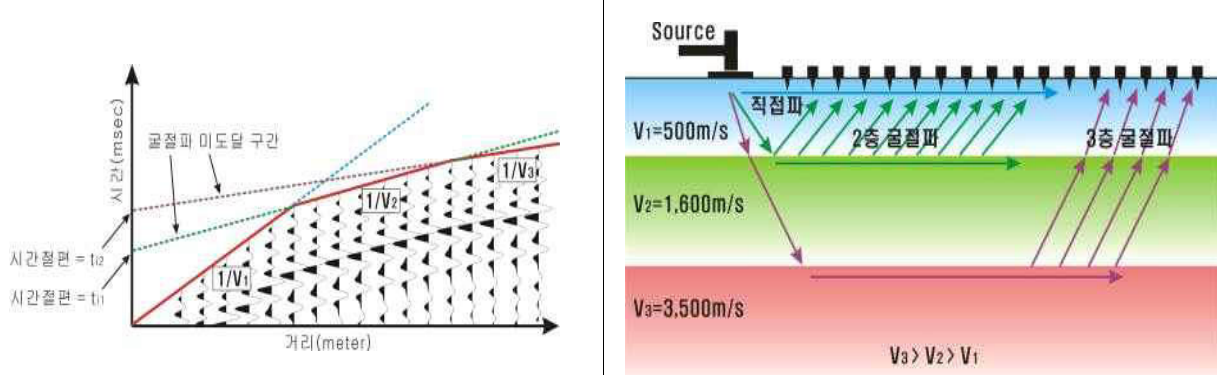
| | |
|-----|--|
| 개 요 | <ul style="list-style-type: none"> 지표에서 인위적으로 발생시킨 탄성파는 지하매질을 주행하다 속도가 다른 두 매질의 경계면에서 그 에너지의 일부는 반사되고 일부는 하부 매질로 굴절되는데, 이때 반사 또는 굴절되어 지표로 되돌아 오는 신호를 감지·분석하여 지하구조를 조사하는 것이 탄성파탐사의 기본원리이다. 이러한 반사 또는 굴절의 진행경로는 스넬의 법칙(Snell's Law)을 기초로 하고 있다. 탄성파 굴절법탐사는 지하매질의 탄성특성에 의해 전파되는 탄성파에너지 가운데 하부의 속도가 상부의 속도보다 큰 지층 경계면에서 임계 굴절되어 지표에 도달하는 굴절파와 표토층으로 전파되는 직접파를 기록하고 이를 해석함으로써 지층의 심도 및 지하의 속도구조에 대한 정보를 얻는 물리탐사 기법의 하나이다. 탄성파 굴절법탐사는 적용규모로 볼 때 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 즉, 지진파를 이용한 지구 내부 구조의 규명, 발파를 이용한 심부 지각 조사, 그리고 공학적인 적용으로서 천부 지층조사가 있다. 굴절법탐사의 장점은 굴절면의 깊이와 속도의 수평적인 변화를 비교적 쉽게 파악할 수 있는데 있다. 특히 지층의 속도는 가장 일반적으로 얻어지는 물성으로서 이 정보는 암석강도, 굴착난이도(rippability), 유체 함량과 같은 많은 지반공학적인 요소들을 평가하는 데 중요한 자료가 된다. |
|-----|--|

■ 굴절법탄성파탐사 원리

- 굴절법 탐사는 매질의 탄성특성에 의해 전파되는 탄성파 중 지표 바로 아래를 통해 도달한 직접파와 지하 매질 내 경계면으로부터 굴절되어 지표에 도달한 굴절파를 기록하고 가장 먼저 도달하는 초동(first arrival)을 발체(picking)하여 주시곡선을 작성하고, 이를 해석함으로써 지층의 심도 및 지하의 속도구조를 규명하는 탐사법
- 발파, 해머 등 여러 가지 수단을 사용하여 인공적으로 탄성파를 발생시켜 지층 경계면에서 굴절되거나 반사되는 탄성파를 기록하고 이를 분석함으로써 지하에 대한 정보를 얻음
- 지표상에 배치된 수진기(Geophone)에서 발파 등에 의해 발생한 진동을 감지하여 지층의 탄성파 속도를 규명하는 방법으로서 지표에서 발생한 탄성파가 속도가 서로 다른 지층을 통과하면서 반사되는 선두파 (Head wave)의 도달시간을 기록, 분석함으로써 지층구조를 파악

■ 굴절법탄성파탐사 모식도

굴절법탄성파탐사 모식도



■ 암석의 탄성파속도

- 암반은 암석과 균열 등의 공극을 채운 점토나 물, 공기 등으로 구성되어 있으며, 암석은 광물의 집합체이다. 암석과 지반을 구성하고 있는 대표적인 조암광물인 석영이나 장석의 탄성파속도는 5,500 ~ 6,500 m/s 정도이지만, 이들의 집합체인 암석 내에는 광물입자 사이에 존재하고 있는 미세균열이나 고결 당시 발생한 공극 등이 존재한다.
- 공기의 탄성파속도는 331.45 m/s(0°C, 1기압)이고, 물의 탄성파속도는 1,500 m/s로 어떠한 조암광물의 탄성파속도보다 느리며, 따라서 암석내에 공극이 많으면 암석의 탄성파속도는 떨어진다. 그리고 탄성파속도에 영향을 미치는 요인은 공극 이외에 암석의 풍화진행 정도, 고결도, 생성시기 등이 있으며, 암반 내 단층파쇄대 지역처럼 균열의 발달이 많아 공극률이 커져서 암반내에서 부분적으로 탄성파의 전파속도가 저하되는 경우도 있다.

■ 대표적인 물질의 탄성파속도(지반환경물리탐사, 손호웅 외, 1999)

| 미고결 물질 (m/sec) | | 고결 물질 (m/sec) | |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 풍화층 | 300 ~ 900 | 화강암 | 5,000 ~ 6,000 |
| 토양 | 250 ~ 600 | 현무암 | 5,400 ~ 6,400 |
| 충적층 | 500 ~ 2,000 | 변성암 | 3,500 ~ 7,000 |
| 점토 | 1,100 ~ 2,500 | 사암, 혈암 | 2,000 ~ 4,500 |
| 모래 | - | 석회암 | 2,000 ~ 6,000 |
| 불포화 | 200 ~ 1,000 | - | - |
| 포화 | 800 ~ 2,200 | - | - |
| 모래와 자갈 | - | - | - |
| 불포화 | 400 ~ 500 | 기 타 (m/sec) | |
| 포화 | 500 ~ 1,500 | 물 | 1,400 ~ 1,600 |
| 빙하 퇴적물 | - | 공기 | 331.5 |
| 불포화 | 400 ~ 1,000 | - | - |
| 포화 | 1,700 | - | - |
| 압축 | 1,200 ~ 2,100 | - | - |

■ 일반적인 암석의 탄성파속도(지반환경물리탐사, 손호웅 외, 1999)

| 암석 종류 | 탄성파 속도 (m/sec) | 암석 종류 | 탄성파 속도 (m/sec) | 암석 종류 | 탄성파 속도 (m/sec) |
|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|
| 세일 | 2,123 | 편암1 | 4,679 | 반려암 | 5,042 |
| 실트암 | 2,318 | 편암2 | 5,289 | 휘록암 | 6,569 |
| 석회암 1 | 3,632 | 편마암 | 3,188 | 현무암 | 5,123 |
| 석회암 2 | 2,750 | 대리석 1 | 5,587 | 안산암 | 4,776 |
| 규암 | 4,964 | 대리석 2 | 3,642 | 응회암 | 996 |
| 사암 | 2,487 | 화강암 1 | 3,967 | - | - |
| 점판암 | 4,336 | 화강암 2 | 3,692 | - | - |

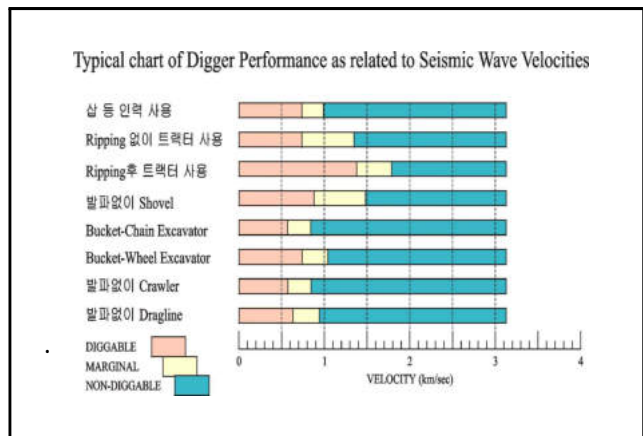
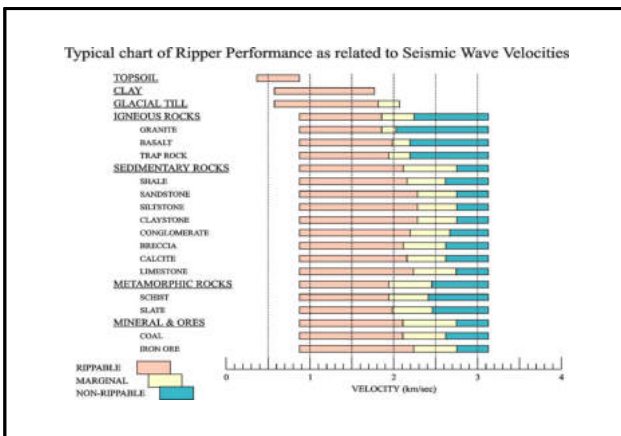
■ 탄성파속도에 의한 분류

- 토목공사를 위한 지반의 절취방법 측면에서 흙 및 암반의 구분은 도저(Dozer) 및 백호우(Backhoe) 작업에 해당하는 토사, 리퍼 작업에 해당하는 리핑암, 그리고 발파에 의해 절취되는 발파암으로 구분된다. 절취방법 조사는 시추조사, 현장조사, 기시공 된 공사기록의 조사, 현장 탄성파 탐사, 암석에 대한 일축압축강도와 탄성파 속도 시험 등을 통하여 판단한다. 그리고 암질의 종류, 층리와 절리 등의 유무, 풍화정도, 시공장비 성능, 시공방법에 따라 그 변화요인이 많으므로 일률적으로 판단한다는 것은 곤란하므로 제반사항을 고려하는 것이 바람직하다.

■ 암질, 풍화도 및 탄성파속도에 따른 Rippability 분류(Weaver, 1975)

| 암 질 | 매우양호 | 양호 | 보통 | 불량 | 매우불량 |
|-------------|---------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 풍화도 | 신선 | 다소풍화 | 보통풍화 | 많이 풍화 | 완전풍화 |
| 탄성파속도 (m/s) | > 2,150 | 1,850 ~ 2,150 | 1,500 ~ 1,850 | 1,200 ~ 1,500 | 450 ~ 1,200 |
| Rippability | 발파 | 리핑 극히 곤란, 발파 | 리핑 매우 어려움 | 리핑 어려움 | 쉽게 리핑 |

■ 탄성파속도 범위에 의한 Rippability와 Diggability(Bell, 1992)



■ 건교부 암반분류 기준표

| 토공작업 구분 | 토질 상태 | N - Value | 탄성파속도 (m/s) | 코어회수율 (NX 기준) | 작업 기준 |
|---------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| 토 사 | 표토층 및 풍화산란토층 | 50회/15cm 이하 | 1,000 이하 | - | - |
| 리핑암 | 풍화암층 | 50회/15cm 이상 | 1,000~1,800 | 15 ~ 20% | 30ton Dozer |
| 발파암 | 연암 및 경암 | - | 1,800 이상 | 15 ~ 25% 이상 | - |

■ 암종별 탄성파속도(건설표준품셈)

| 암구분 | 개 요 | 그룹 | 자연상태의 탄성파속도 (km/s) | 암편의 탄성파속도 (km/s) | 암편 내압강도 (kg/cm ²) |
|-----|---|----|--------------------|------------------|-------------------------------|
| 풍화암 | 암질이 부식되고 균열이 1~10cm 정도로 약간의 화약을 사용해야 할 암질로서, 일부는 곡괭이를 사용할 수도 있는 암질 | A | 0.7 ~ 1.2 | 2.0 ~ 2.7 | 300~700 |
| | | B | 1.0 ~ 1.8 | 2.5 ~ 3.0 | 100~200 |
| 연 암 | 혈암, 사암 등으로 균열이 10~30cm 정도로 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질 | A | 1.2 ~ 1.9 | 2.7 ~ 3.7 | 700~1,000 |
| | | B | 1.8 ~ 2.8 | 3.0 ~ 4.3 | 200~500 |
| 보통암 | 풍화상태를 벗볼 수 있으나 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며, 균열이 30~50cm 정도의 암질(석회석, 다공질 안산암 등) | A | 1.9 ~ 2.9 | 3.7 ~ 4.7 | 1,000~1,300 |
| | | B | 2.8 ~ 4.1 | 4.3 ~ 5.7 | 500~800 |
| 경 암 | 화강암, 안산암 등으로 굴착에는 화약을 사용해야 하며, 균열이 1m 이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질 | A | 2.9 ~ 4.2 | 4.7 ~ 5.8 | 1,300~1,600 |
| | | B | 4.1 이상 | 5.7 이상 | 800 이상 |
| 극경암 | 암질이 대단히 밀착된 단단한 암질(규암, 각석 등 석영질이 풍부한 경암) | A | 4.2 이상 | 5.8 이상 | 1,600 이상 |

■ 그룹별 암종 분류

| 구 분 | A 그룹 | B 그룹 |
|------------------------|--|---|
| 대표적 암명 | 편마암, 사질편암, 녹색편암, 각섬암, 석회암, 사암, 휘록암, 응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유문암, 안산암, 현무암 | 흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암 |
| 함유물 등에 의한 시각판정 | 사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것. 고결정도가 높은 것 | 사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 많은 것 판매상인 것 |
| 500~1000g 해머 타격에 의한 판정 | 타격점의 암이 작고 평평한 암편으로 되어 흐트러지거나 거의 암분을 남기지 않는 것 | 타격점의 암 자신이 부서지지 않고, 분상이 되어 남으며, 암편이 별로 흐트러지지 않는 것 |

■ 탄성파속도 및 불연속면 발달빈도에 따른 리핑암과 발파암의 분류(한국도로공사, 1996)

| 구 분 | | 토사 | 리핑암 | 발파암 |
|----------------|-------|----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 탄성파속도 (m/s) | A 그룹 | 700 이하 | 700 ~ 1,200 | 1,200 이상 |
| | B 그룹 | 1,000 이하 | 1,000 ~ 1,800 | 1,800 이상 |
| 표준관입시험값 (N) | | 50/10 미만 | 50/10 이상 | - |
| 불연속면 발달빈도 | BX 크기 | - | TCR = 5% 이하 RQD = 0% 정도 | TCR = 5~10% 이상 RQD = 0~10% |
| | NX 크기 | - | TCR = 25% 이하 RQD = 0% 정도 | TCR = 25% 이상 RQD = 0~10% 이상 |
| 강도구분 | | 표토층, 풍화잔류토층 | 풍화암 | 연암, 경암 |

■ 지반 상태별 암반분류

| 암반분류 | 시추 상황 (비트기준) | 대표적인 지층 및 암층 | 일축압축강도 (kgf/cm ²) | 암반탄성파속도 (km/s) |
|------|--|------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 풍화암 | metal crown bit로 굴삭무수가능 | 풍화진행 조직관찰 | 50 이하 | 1.2 이하 |
| 연암 | metal crown bit로 굴삭 용이 | 3기층 이암사암 | 300 이하 | 2.5 이하 |
| 중경암 | diamond bit로 굴삭 core recovery 양호 | 연질퇴적층군 화산 쇄설암 | 300~800 | 2.5~3.5 |
| 경암 | diamond bit로만 굴삭 metal crown bit 굴삭 비효율 | 고대변성암류 화성암반 | 800~1,500 | 3.5~4.8 |
| 극경암 | diamond bit의 마모율이 높은 암반 | 규질암류 hornfels-chert | 1,500~1,800 | 4.5 이상 |
| 파쇄대 | diamond bit의 파쇄마모, R.Q.D저하, 붕괴암반 | 단층파쇄대 파쇄구조대 | - | 상대적인 저속도대 |

■ 굴절법탄성파탐사 수량

| 구 분 | 측선번호 | 측선길이(m) | 비 고 |
|-----------|------|---------|-----|
| 굴절법 탄성파탐사 | L-1 | 280 | - |
| 합 계 | | 280 | - |

2.6 실내시험

2.6.1 실내토질시험

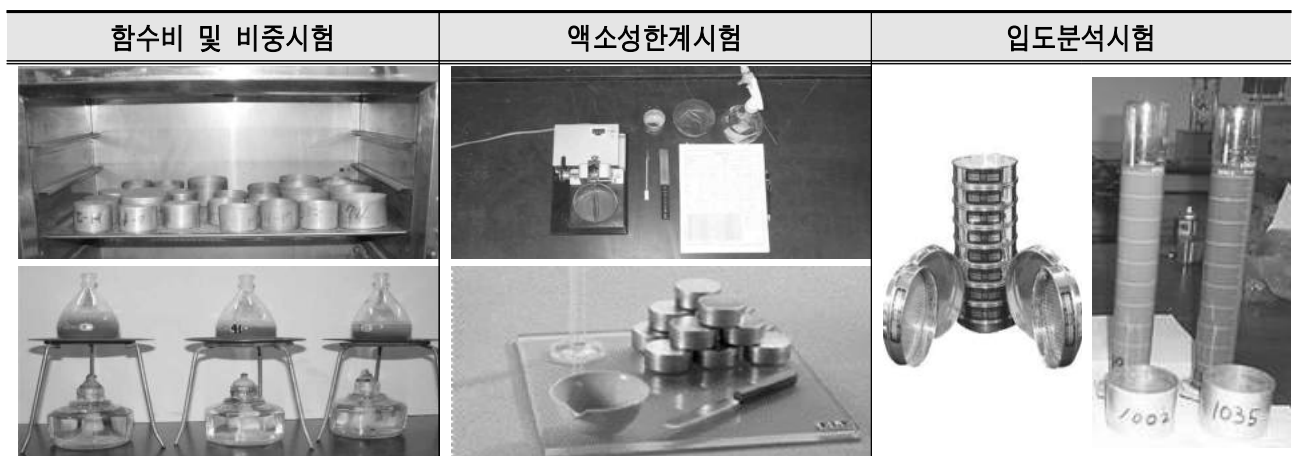
각 지층의 물리·역학적 특성을 파악하기 위하여 표준관입시험 및 시험굴조사에서 채취된 시료들에 대하여 한국산업규격(KS F)에 의거 국가공인인증시험기관에서 다음과 같이 실내시험을 실시하였다.

■ 실내시험 항목 및 기준

| 항 목 | | 기 준 | 수 량 | 비 고 | |
|------|------|--------|-----------|-----|-------|
| 토질시험 | 물리특성 | 입도시험 | KS F 2302 | 2회 | SPT시료 |
| | | 함수비시험 | KS F 2306 | 2회 | |
| | | 비중시험 | KS F 2308 | 2회 | |
| | | 액성한계시험 | KS F 2303 | 2회 | |
| | | 소성한계시험 | KS F 2303 | 2회 | |

■ 결과활용

| 시험종류 | 시험항목 | 시험결과 활용 | |
|------|------|-----------|--------------------|
| 토질시험 | 물리특성 | 함수비시험 | • 지반의 함수상태 파악 |
| | | 비중시험 | • 지반의 단위중량 추정 |
| | | 액성한계시험 | • 흙의 분류와 공학적 성질 추정 |
| | | 소성한계시험 | |
| | | 입도분석시험 | • 지반의 입도조성 파악 |
| 역학시험 | 역학특성 | 다짐시험(A,D) | • 최대건조밀도와 최적함수비 파악 |
| | | 실내CBR시험 | • 포장설계의 두께 결정 |
| | | 직접전단시험 | • 흙의 점착력과 내부마찰력 파악 |



2.7 시추공 폐공처리

2.7.1 폐공처리 목적

본 과업구간에서 실시된 모든 시추공을 대상으로 지하수 오염방지를 위해 실시

- 폐공내로 유입되는 지표오염원의 차단
- 오염원의 수직적 이동통로 제어
- 오염 유발시설(케이싱 등) 제거

2.7.2 폐공 유형별 분류 및 처리절차

“국토해양부 2003 지하수 업무수행지침”에 의거하여 폐공유형 분류 후 유형별 폐공처리 절차에 따라 시추공 폐공처리 실시

■ 우물 심도에 따른 분류

| 구 분 | 설 명 |
|--------|--|
| 총적층 우물 | • 흙의 암반층 상부에 위치한 모래, 자갈, 실트 등 총적층 구간까지 또는 풍화대 구간까지만 굴착 |
| 암반층 우물 | • 암반대수층의 지하수를 주 대상으로 하여 총적층 및 암반층 심부까지 굴착 |

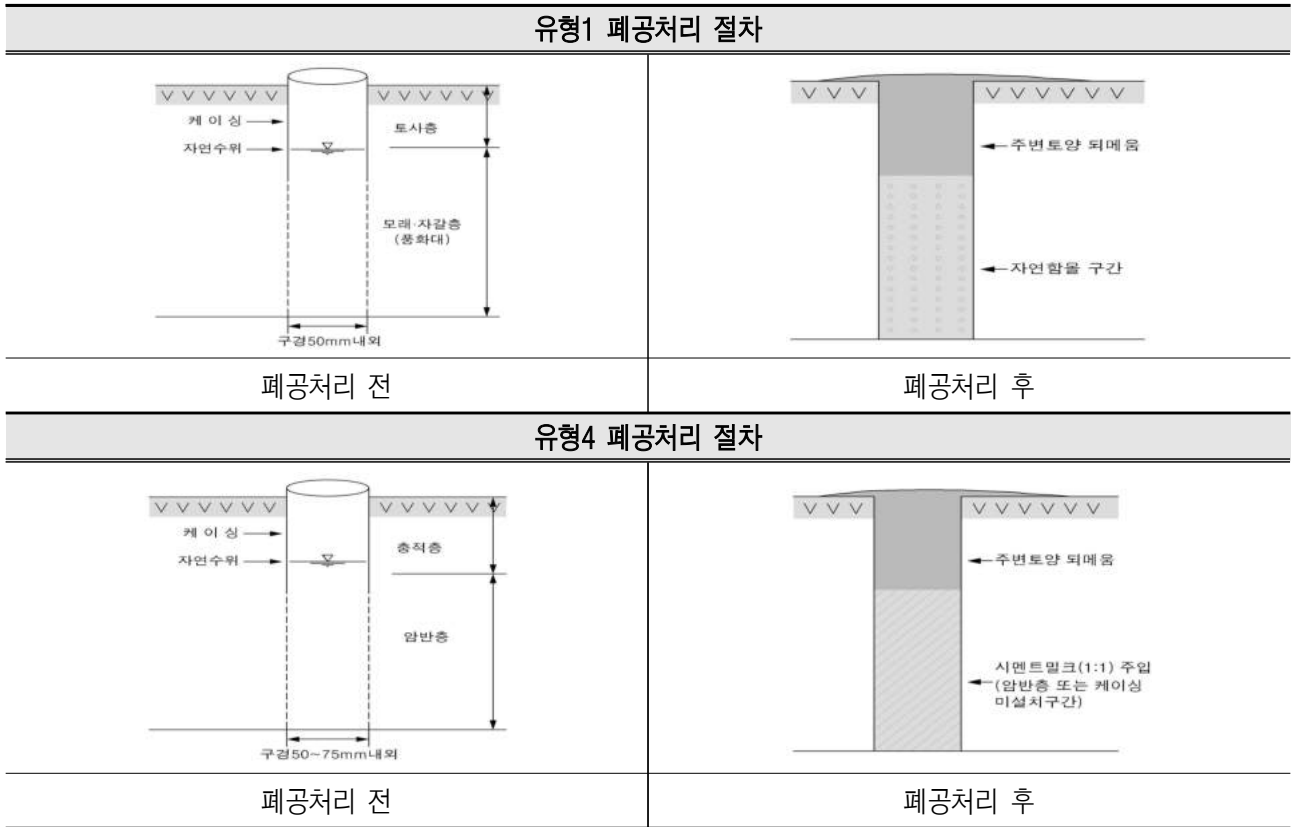
■ 우물 구경에 따른 분류

| 구 분 | 설 명 |
|--------|--|
| 소형 우물 | • 구경이 100mm(4") 이하인 공, 시추조사공 포함 |
| 대형 우물 | • 구경이 100mm(4") 초과하는 공 |
| 재래식 우물 | • 구경 1000mm 내외의 우물로서 석축우물, 콘크리트관 우물 등이 해당됨 |

■ 본 과업구간 적용 폐공유형

| 구 분 | 소 형 | | 대 형 | | 재래식 | 적 용 |
|-----|----------|-----|---------|-----|-----|---|
| 총적층 | 유형1 | | 유형2 | | 유형3 | <ul style="list-style-type: none"> • 풍화대층 굴착 : 유형1 적용 • 암반층 굴착 : 유형4 적용 |
| 암반층 | 케이싱인발 가능 | 유형4 | 전구간 되메움 | 유형6 | - | |
| | 케이싱인발 불가 | 유형5 | 부 분 되메움 | 유형7 | - | |

■ 폐공처리 절차



2.7.3 폐공처리 현황

■ 시추공 폐공처리 현황

| 구 분 | | 수 량 | 폐공처리 유무 | 비 고 |
|------|------|-----|---------------|------------------|
| 구조물부 | 교량 | 2공 | 준공검사 이후 폐공 예정 | • 유형 1적용, 유형 4적용 |
| | 지하차도 | 2공 | 준공검사 이후 폐공 예정 | • 유형 1적용 |

남양주왕숙 공공주택지구
지구외도로 토질조사용역
(왕숙2~양정역세권 연결로)

제3장 조사결과

- 3.1 지형 및 지질
- 3.2 현장조사 결과
- 3.3 현장시험 결과
- 3.4 물리탐사 결과
- 3.5 실내시험 결과

제 3 장 조 사 결 과

3.1 지형 및 지질

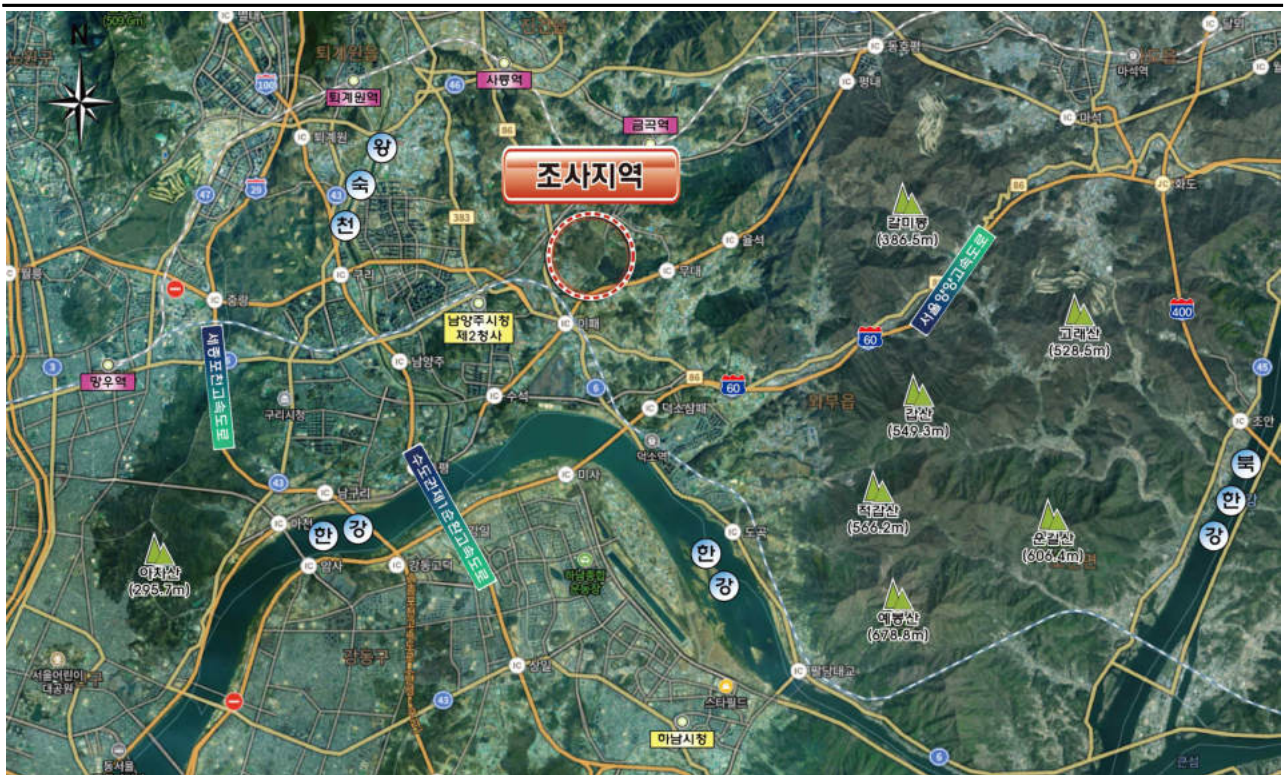
3.1.1 지 형

본 조사지역은 행정구역상 경기도 남양주시 이패동 일대에 위치하며, 조사지역 남측으로 수석-호평간도시고속화도로와 서측으로 86번 지방도, 6번 일반도등이 위치하고 있다. 수도권 전철 경의중앙선과 경춘선(ITX청춘)이 인접지역을 통과하여 양정역, 금곡역등을 통해 이용이 가능하다.

본 조사지역은 한강강변 인근에 평지에 조사지역이 위치하고 있으며, 조사지역 동측은 높은 산지로 이루어져 있으며 조사지역 서측으로 비교적 낮은 구릉성들이 위치하고 있다. 조사지역의 광역적인 산계는 남서측의 아차산(▲295.7m), 남동측의 적갑산(▲566.2m), 예봉산(▲678.8m), 운길산(▲606.4m), 갈미봉(▲386.5m)등이 위치한다.

본 조사지역의 수계는 산계에서 발원된 소규모 하천 및 지류가 왕숙천으로 유입되는 수지상 수계의 형태를 보이고 있으며, 왕숙천과 북한강, 홍릉천은 북측에서 남측으로 흐르며 한강으로 유입되어 동측에서 서측으로 흘러 서해안으로 유입된다.

■ 지형 및 산계·수계




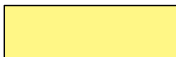


3.1.2 지 질

본 조사지역은 경기도 남양주시 삼패동 일대에 위치하며, 선캄브리아기의 편마암 및 편암류와 이를 관입한 쥬라기의 화성암류가 위치하고 있으며, 이를 제4기의 총적층, 홍적층이 피복한다.

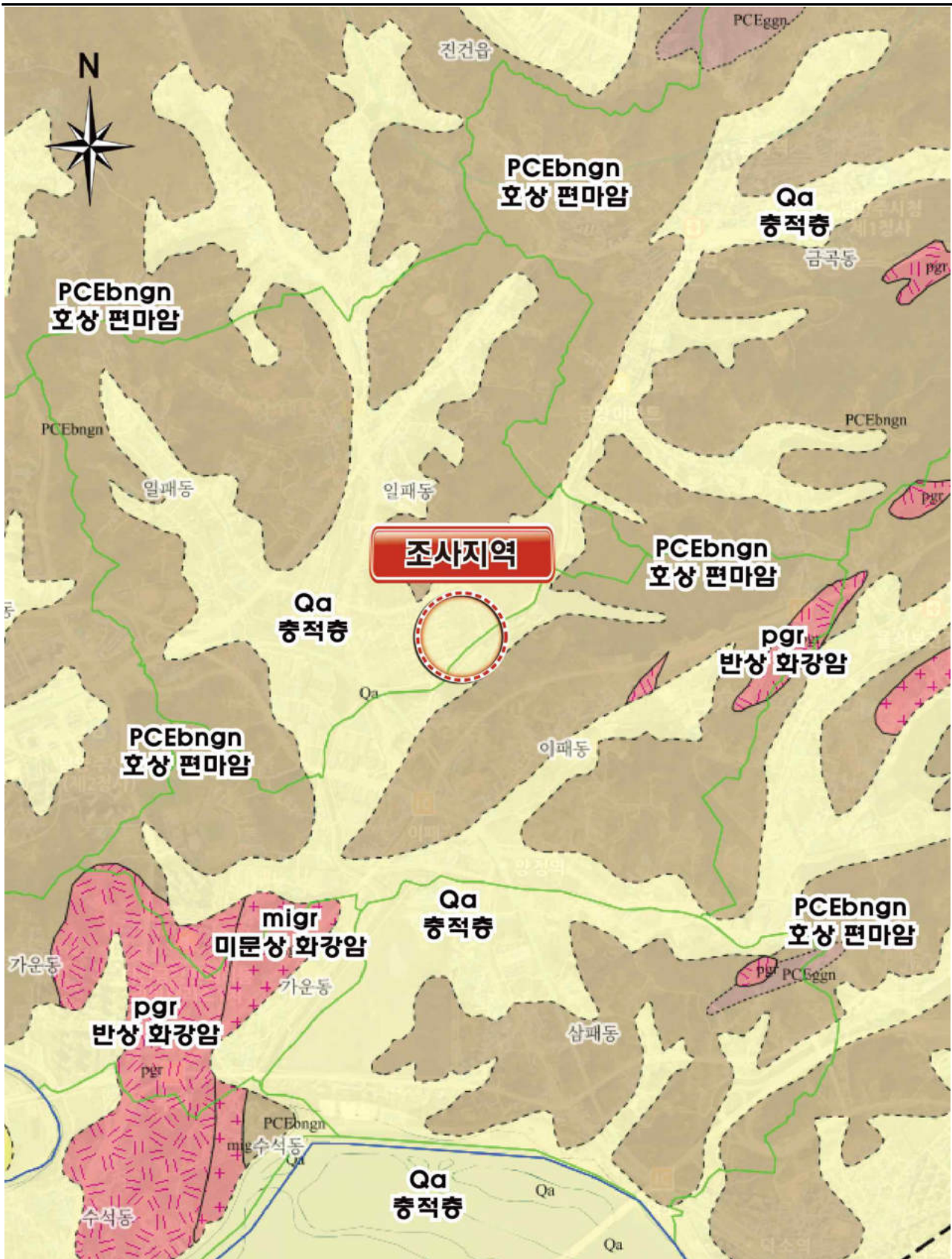
■ 지질각론

| 구 분 | 내 용 |
|-------|--|
| 호상편마암 | <ul style="list-style-type: none"> • 본 도폭에 분포하는 경기편마암복합체 중 가장 넓은 분포를 이룸 • 유색광물 부분과 우백질인 부분이 교호되는 것이 특징 • 구성광물 중 유색광물은 흑운모, 우백질 부분은 장석과 석영의 집합체로 되어 있음 |
| 반상화강암 | <ul style="list-style-type: none"> • 중립질 내지 조립질이며 미약한 엽리가 보이며 반상구조를 이루는 것이 특징 • 주 구성광물은 미사장석이며 사장석, 석영, 흑운모와 정장석으로 구성되어 있으며 부구서왕물로는 각섬석, 백운모 자철석 등임. |
| 홍적층 | <ul style="list-style-type: none"> • 왕숙천 합류부에 넓게 분포하며 하안단구층, 자연제방, 배후저습지 등의 지형적 특색을 보임 • 한강의 범람에 의해 퇴적된 것으로 모래, 자갈, 점토 등으로 구성 |
| 총적층 | <ul style="list-style-type: none"> • 한강의 유로와 왕숙천등의 곡저에 넓게 분포 • 모래, 자갈, 점토 등으로 구성 |

■ 지질계통도

| | | | | |
|--------|---|-----------|---------|---|
| 제 4기 | [| 총적층 | Qa |  |
| | | ~ 부정합 ~ | | |
| 시대미상 | [| 홍적층 | Qd |  |
| | | - 관 입 - | | |
| 선캄브리아기 | [| 반상화강암 | pgr |  |
| | | 호상 흑운모편마암 | PCEbngn |  |

■ 지질도



3.2 현장조사 결과

3.2.1 시추조사 결과

본 조사지역을 대상으로 구조물부 총 4개소(교량 2개소, 지하차도 2개소)의 시추조사를 실시한 결과, 지층구성 상태는 매립층, 퇴적/붕적층, 풍화토, 풍화암, 연암의 층서로 이루어져 있으며, 성층 상태 및 지층개요를 요약하면 다음과 같다.

가. 교량

본 조사지역은 2개소에 대하여 시추조사를 실시하였으며, 각 지층별 구성상태는 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암의 순으로 구성되어 있고, 각 층에 대한 분석내역을 기술하면 다음과 같다.

■ 교량 시추조사 결과

| 공 번 | 매립층 | 퇴적층 | 풍화토 | 풍화암 | 연암 | 계 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 모래 | 모래 | | | | |
| BB-01 | 2.5 | 0.8 | 2.7 | 7.0 | - | 13.0 |
| BB-02 | 2.6 | 2.8 | 3.6 | 4.1 | 3.0 | 16.1 |

1) 매립층

본 지층은 현재 지표면을 형성하고 있는 지층으로 전 시추공에서 2.5~2.6m의 층후로 분포되어 있다. 구성토질은 실트질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 4/30~29/30(회/cm)으로 매우느슨~보통조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 담갈색, 암갈색을 띠고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

2) 퇴적층

본 지층은 하상의 운반 퇴적작용 및 중력작용의 영향으로 형성된 지층으로 전 시추공에서 0.8~2.8m의 층후로 분포되어 있다. 구성토질은 자갈질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 5/30~28/30(회/cm)로 느슨~보통조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띠고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

3) 풍화토

본 지층은 모암인 편마암이 풍화되어 형성된 지층으로 모암의 기본조직은 그대로 남아있으나 역학적 성질을 상실하고 실트질 모래로 분해되어 원위치에 잔류되어있는 지층으로 전 시추공에서 2.7~3.6m의 층후로 분포되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 36/30~50/14(회/cm)로 조밀~매우조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띠고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

4) 풍화암

본 지층은 모암인 편마암이 풍화되어 형성된 지층으로 모암의 기본조직과 형태를 그대로 보전하고 있으나 역학적 성질은 거의 상실한 상태로 외력에 의하여 실트질 모래 및 암편으로 분해된다. 전 시추공에서 4.1~7.0m의 층후로 분포되며 표준관입시험에 의한 N값은 50/9~50/3(회/cm)으로 매우조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띄고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

5) 연암

모암 상태의 조직을 유지하는 본 암층은 BB-2번 시추공에서 나타났으며, 지표면하 13.1m에서 출현하며, 층후는 3.0m로 확인되었다. 기반암인 편마암의 연암으로서 약간풍화~신선, 강함~매우강함의 상태를 보인다. 코아회수율(TCR)은 100%, 암질지수(RQD)는 6%로 나타나며, 색조는 담회색을 띤다.

나. 지하차도

본 조사지역은 2개소에 대하여 시추조사를 실시하였으며, 각 지층별 구성상태는 매립층, 붕적층, 풍화토, 풍화암 순으로 구성되어 있고, 각 층에 대한 분석내역을 기술하면 다음과 같다.

■ 지하차도 시추조사 결과

| 공 번 | 매립층 | 붕적층 | 풍화토 | 풍화암 | 계 |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|
| | 모래 | 모래 | | | |
| RB-02 | - | 1.5 | 5.5 | 1.0 | 8.0 |
| RB-03 | 0.5 | - | 7.5 | 2.0 | 10.0 |

1) 매립층

본 지층은 현재 지표면을 형성하고 있는 지층으로 RB-03번 시추공에서 0.5m의 층후로 분포되어 있다. 구성토질은 실트질 모래로 구성되어 있다. 색조는 암갈색을 띄고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

2) 붕적층

본 지층은 산사면에서 수분과 중력에 의해 붕락 활동 등의 여러 운반작용에 의하여 형성된 지층으로 RB-02번 시추공에서 1.5m의 층후로 분포되어 있다. 구성토질은 실트질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 6/30(회/cm)으로 느슨한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띄고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

3) 풍화토

본 지층은 모암인 편마암이 풍화되어 형성된 지층으로 모암의 기본조직은 그대로 남아있으나 역학적 성질을 상실하고 실트질 모래로 분해되어 원위치에 잔류되어있는 지층으로 전 시추공에서 5.5~7.5m의 층후로 분포되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 31/30~50/12(회/cm)로 조밀~매우조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띄고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

4) 풍화암

본 지층은 모암인 편마암이 풍화되어 형성된 지층으로 모암의 기본조직과 형태를 그대로 보전하고 있으나 역학적 성질은 거의 상실한 상태로 외력에 의하여 실트질 모래 및 암편으로 분해된다. 전 시추공에서 1.0~2.0m의 층후로 표준관입시험에 의한 N값은 50/7~50/3(회/cm)로 매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 색조는 암갈색을 띄고 있으며, 습윤 상태를 보이고 있다.

3.3 현장시험 결과

3.3.1 표준관입시험 결과

원위치에 있는 흙의 연경도 및 다져진 상태를 파악하기 위하여 시추조사와 병행하여 표준관입시험을 실시하였으며, 각 공의 심도별 표준관입시험 결과는 다음 표와 같다.

■ 교량 표준관입시험 결과 - 각 공별 N값(타격횟수/관입깊이)

| 공 번 | 심 도(m) | | | | | | | | | | 수량 (회) |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----------|
| | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | |
| | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 14.0 | 15.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 19.0 | 20.0 | |
| BB-01 | - | 29/30 | 28/30 | 36/30 | 50/14 | 50/7 | 50/6 | 50/5 | 50/4 | 50/7 | 12 |
| | 50/4 | 50/4 | 50/3 | - | - | - | - | - | - | - | |
| BB-02 | 8/30 | 4/30 | 5/30 | 24/30 | 20/30 | 50/27 | 50/17 | 50/15 | 50/9 | 50/6 | 13 |
| | 50/5 | 50/5 | 50/4 | - | - | - | - | - | - | - | |

■ 지하차도 표준관입시험 결과 - 각 공별 N값(타격횟수/관입깊이)

| 공 번 | 심 도(m) | | | | | | | | | | 수량 (회) |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----------|
| | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | |
| RB-02 | 6/30 | 31/30 | 32/30 | 50/18 | 50/12 | 50/14 | 50/4 | 50/3 | - | - | 8 |
| RB-03 | 39/30 | 45/30 | 50/27 | 50/26 | 50/14 | 50/22 | 50/12 | 50/7 | 50/7 | 50/6 | 10 |

3.3.2 지하수위측정 결과

■ 지하수위측정 결과

| 구분 | 조사 번호 | 표고 (EL.m) | 지하수위 | | | | | | 비 고 |
|------|----------|--------------|---------|-------|---------|-------|------|-------|-----|
| | | | 1일 경과 후 | | 7일 경과 후 | | 폐공전 | | |
| | | | GL.m | EL.m | GL.m | EL.m | GL.m | EL.m | |
| 교량부 | BB-01 | 22.10 | 3.60 | 18.50 | 3.65 | 18.45 | 3.70 | 18.40 | |
| | BB-02 | 22.15 | 3.70 | 18.45 | 3.80 | 18.35 | 3.90 | 18.25 | |
| 지하차도 | RB-02 | 43.27 | 4.70 | 38.57 | 4.80 | 38.47 | 4.90 | 38.37 | |
| | RB-03 | 46.24 | 4.25 | 41.99 | 4.30 | 41.94 | 4.40 | 41.84 | |

3.3.3 현장투수시험 결과

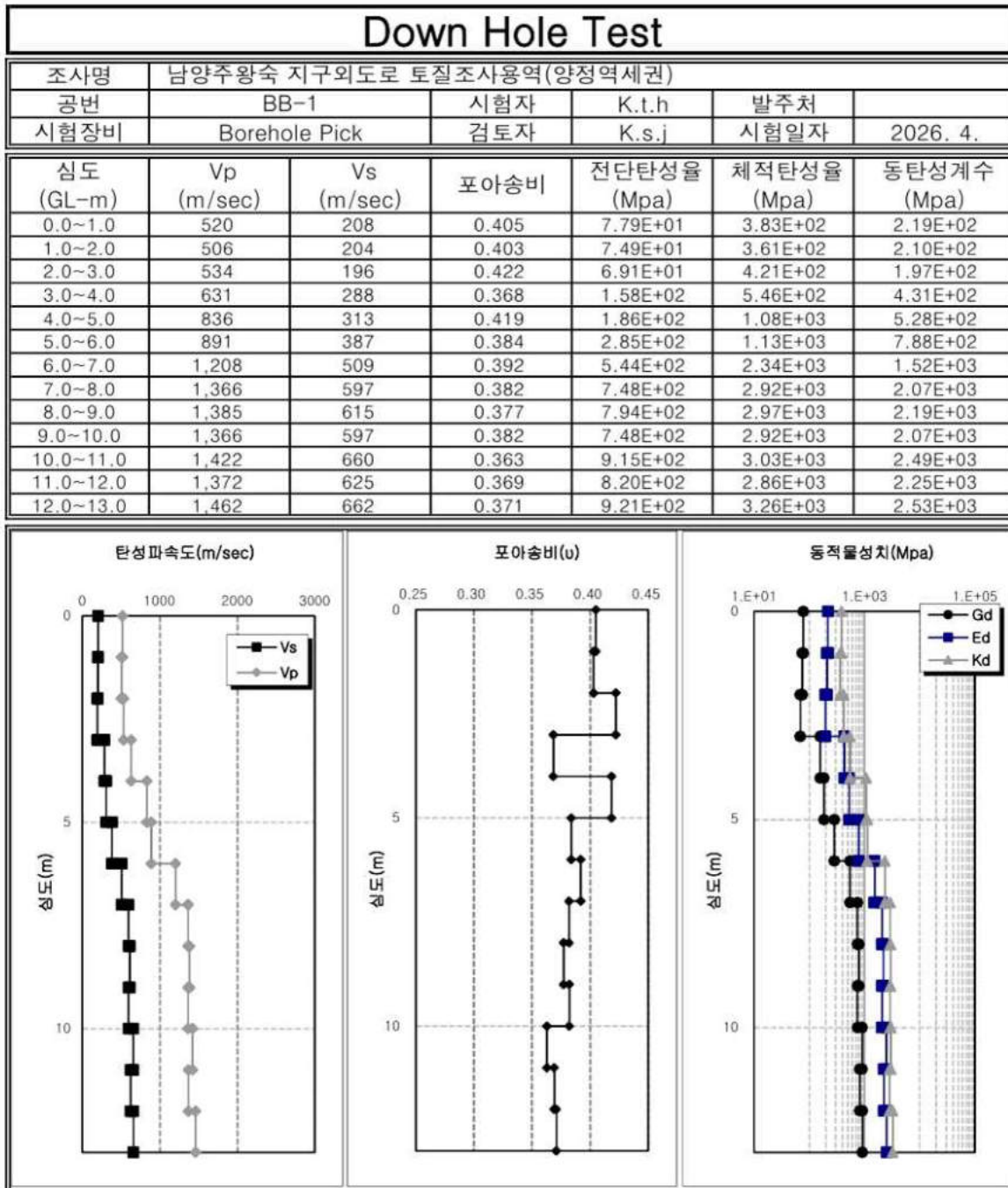
■ 현장투수시험 결과

| 구 분 | 지층명 | 토질명 | 시험구간 | 투수계수 | 지하수위 (GL. -m) |
|-------|-----|--------|----------|-----------------------|------------------|
| | | | GL. -m | cm/sec | |
| RB-03 | 풍화토 | 실트질 모래 | 3.0~4.0 | 4.54×10^{-4} | 4.30 |
| | 풍화암 | 실트질 모래 | 9.0~10.0 | 1.18×10^{-4} | |

3.3.4 전단탄성파시험 결과

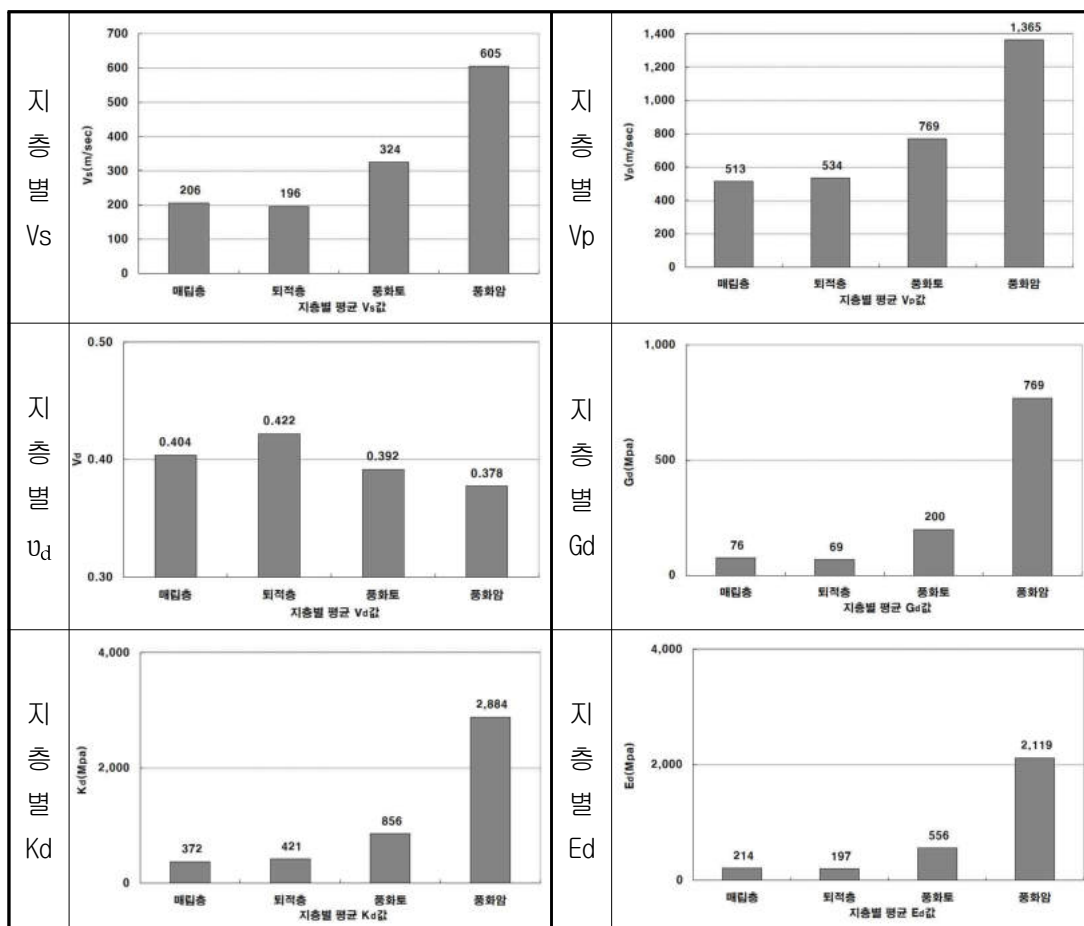
■ BB-01번 구간별 검층결과

| 지층 | 심 도 (m) | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | 동적 포아송비 | G_d (Mpa) | K_d (Mpa) | E_d (Mpa) |
|-----|------------|---------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 매립층 | 0.0~1.0 | 520 | 208 | 0.405 | 7.79E+01 | 3.83E+02 | 2.19E+02 |
| | 1.0~2.0 | 506 | 204 | 0.403 | 7.49E+01 | 3.61E+02 | 2.10E+02 |
| 퇴적층 | 2.0~3.0 | 534 | 196 | 0.422 | 6.91E+01 | 4.21E+02 | 1.97E+02 |
| 풍화토 | 3.0~4.0 | 631 | 288 | 0.368 | 1.58E+02 | 5.46E+02 | 4.31E+02 |
| | 4.0~5.0 | 836 | 313 | 0.419 | 1.86E+02 | 1.08E+03 | 5.28E+02 |
| | 5.0~6.0 | 891 | 387 | 0.384 | 2.85E+02 | 1.13E+03 | 7.88E+02 |
| 풍화암 | 6.0~7.0 | 1,208 | 509 | 0.392 | 5.44E+02 | 2.34E+03 | 1.52E+03 |
| | 7.0~8.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| | 8.0~9.0 | 1,385 | 615 | 0.377 | 7.94E+02 | 2.97E+03 | 2.19E+03 |
| | 9.0~10.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| | 10.0~11.0 | 1,422 | 660 | 0.363 | 9.15E+02 | 3.03E+03 | 2.49E+03 |
| | 11.0~12.0 | 1,372 | 625 | 0.369 | 8.20E+02 | 2.86E+03 | 2.25E+03 |
| | 12.0~13.0 | 1,462 | 662 | 0.371 | 9.21E+02 | 3.26E+03 | 2.53E+03 |



■ 지층에 따른 평균 동적 물성치

| 지층 | Vs (m/sec) | Vp (m/sec) | 동적 포아송비 | Dynamic Parameter | | |
|-----|------------|------------|---------|-------------------|-------------|-------------|
| | | | | G_d (Mpa) | K_d (Mpa) | E_d (Mpa) |
| 매립층 | 206 | 513 | 0.404 | 7.64E+01 | 3.72E+02 | 2.14E+02 |
| 퇴적층 | 196 | 534 | 0.422 | 6.91E+01 | 4.21E+02 | 1.97E+02 |
| 풍화토 | 324 | 769 | 0.392 | 2.00E+02 | 8.56E+02 | 5.56E+02 |
| 풍화암 | 605 | 1365 | 0.378 | 7.69E+02 | 2.88E+03 | 2.12E+03 |



■ 조사지역의 토층 전단파 속도 및 최종지반분류

| 공번 | 지반등급산정 전단파속도(m/sec) | 지반분류 | 지반분류의 호칭 |
|------|---------------------|------|-----------|
| BB-1 | 365 | S2 | 알고 단단한 지반 |

3.3.5 공내전단시험 결과

■ 공내전단시험 결과

| 구 분 | 시험심도(GL. -m) | 지 층 | N값 | 점착력(kPa) | 내부마찰각(deg) |
|-------|--------------|-----|-------|----------|------------|
| RB-03 | 6.0 | 풍화토 | 50/22 | 19.70 | 29.39 |
| | 8.0 | 풍화암 | 50/7 | 34.10 | 32.75 |

3.3.6 공내재하시험 결과

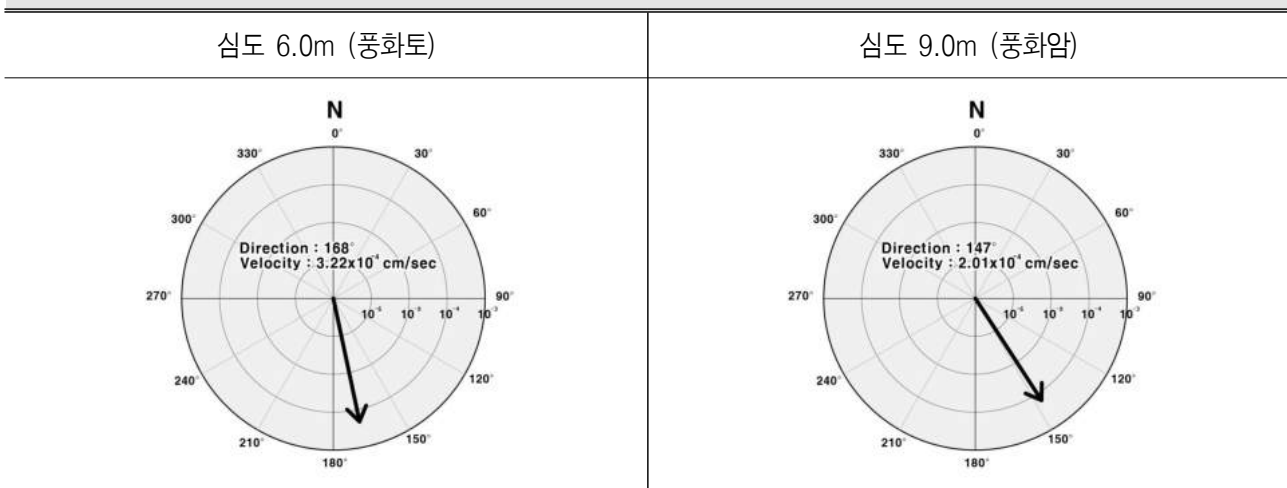
■ 공내재하시험 결과

| 공번 | 심도 (m) | N값 TCR/RQD | 탄성계수 (MPa) | 변형계수 (MPa) | 지층 | 비고 |
|-------|--------|------------|------------|------------|-----|-----|
| BB-01 | 9.0 | 50/4 | 3.05E+02 | 2.34E+02 | 풍화암 | PMT |
| RB-03 | 5.0 | 50/14 | 1.25E+02 | 7.67E+01 | 풍화토 | PMT |
| | 9.0 | 50/7 | 2.42E+02 | 1.73E+02 | 풍화암 | PMT |

3.3.7 유향유속시험 결과

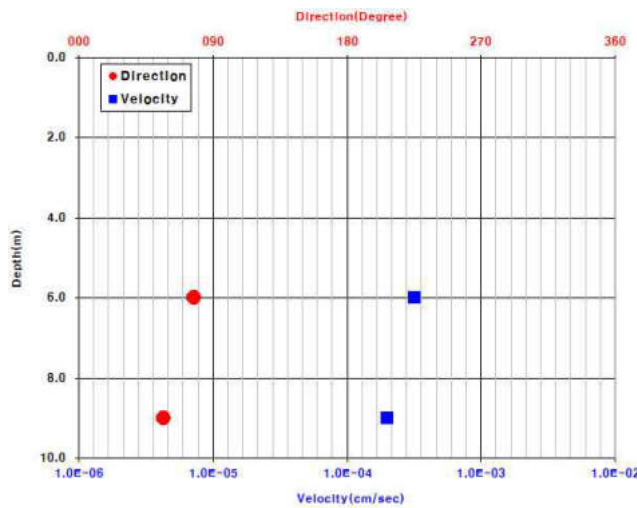
■ 유향유속시험 성과표(RB-3)

유향유속 분포도



| 공번 | 심도(m) | 지층 | Velocity (cm/sec) | Direction (°) |
|------|-------|-----|-------------------------|---------------|
| RB-3 | 6.0 | 풍화토 | 3.22 X 10 ⁻⁴ | 168 |
| | 9.0 | 풍화암 | 2.01 X 10 ⁻⁴ | 147 |

유향유속 심도별 분포현황



- 지하수의 유향은 147~168° 방향으로 남동 방향으로 유동하는 것으로 나타났다.
- 지하수의 유속은 풍화토에서 3.22×10^{-4} cm/sec, 풍화암에서 2.01×10^{-4} cm/sec로 나타났다.
- 지하수의 흐름은 등포텐셜선에 의해 유동하는 것이 일반적이고 대부분 지형의 구조방향과 거의 일치하는 경우가 많다. 또한 측정된 공내 유향.유속은 국부적인 지층구간을 통한 지하수의 흐름으로 중력배수에 의한 등포텐셜선의 직각방향으로 흐르는 광역지하수의 흐름과는 다소 차이가 발생할 수 있다.

3.3.8

양수시험 결과

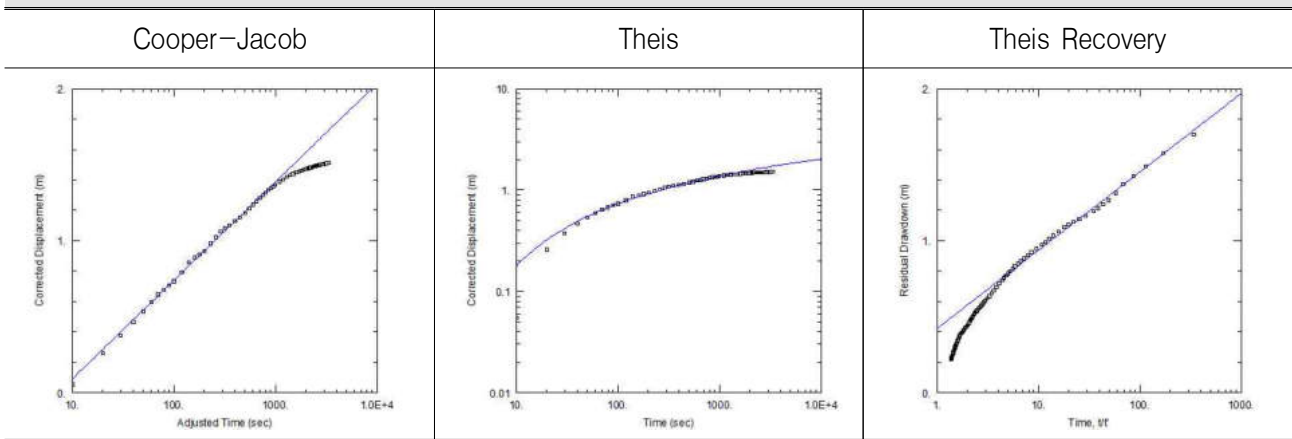
■ 시험정 개요

| 구분 | 정 호 개 요 | | | | | | 초기수위 (GL, -m) | 시험방법 |
|------|------------|-----------|-----------------|--------------|----------------|--------------|------------------|----------|
| | 구경 (mm) | 심도 (m) | Casing 심도(m) | 대수층 두께(m) | 양수량 (t/day) | 수위 강하량(m) | | |
| RB-3 | 76 | 10.0 | 0.0 | 5.7 | 5.04 | 1.7959 | 4.3 | 양수, 회복시험 |

■ 양수 및 회복시험 결과

| 공번 | 대 수 성 상 수 | | | | |
|------|-----------|----------------|--------|------------------------|-------------------------|
| | 분석 방법 | | S | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) |
| RB-3 | 양수시험 | Cooper-Jacob | 0.1857 | 2.896×10^{-4} | 0.1651 |
| | | Theis | 0.2023 | 2.865×10^{-4} | 0.1633 |
| | 회복시험 | Theis Recovery | - | 3.644×10^{-4} | 0.2077 |

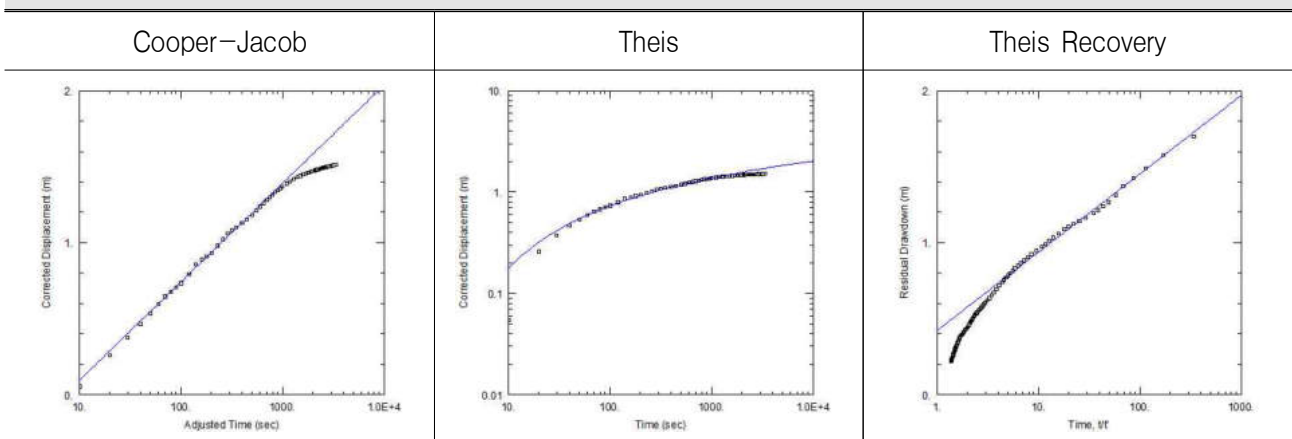
양수 및 회복시험 그래프



■ 우물유효반경을 적용한 보정결과

| 공번 | 대수성상수 | | | | | |
|------|-------|-----------------|------------|-----------|-------------------------|--------|
| | 분석 방법 | r_c 유효우물반경 | S (보정치) | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) | |
| RB-3 | 양수시험 | Cooper-Jacob | 0.229 | 0.005043 | 2.896E-04 | 0.1651 |
| | | Theis | 0.239 | 0.005168 | 2.865E-04 | 0.1633 |
| | 회복시험 | Theis Recovery | - | - | 3.644E-04 | 0.2077 |

보정결과 양수 및 회복시험 그래프



■ 1일 양수시 영향반경 산정 결과

| 공번 | Shultz 공식 영향반경(m) | Weber 공식 영향반경(m) | 1일 평균 영향반경(m) | 비고 |
|------|----------------------|---------------------|------------------|--|
| RB-3 | 23.84 | 29.20 | 26.52 | K : 0.0535m/day(기하평균값) Δh : 2.4115m, t : 1 day S : 0.005143(기하평균값) |

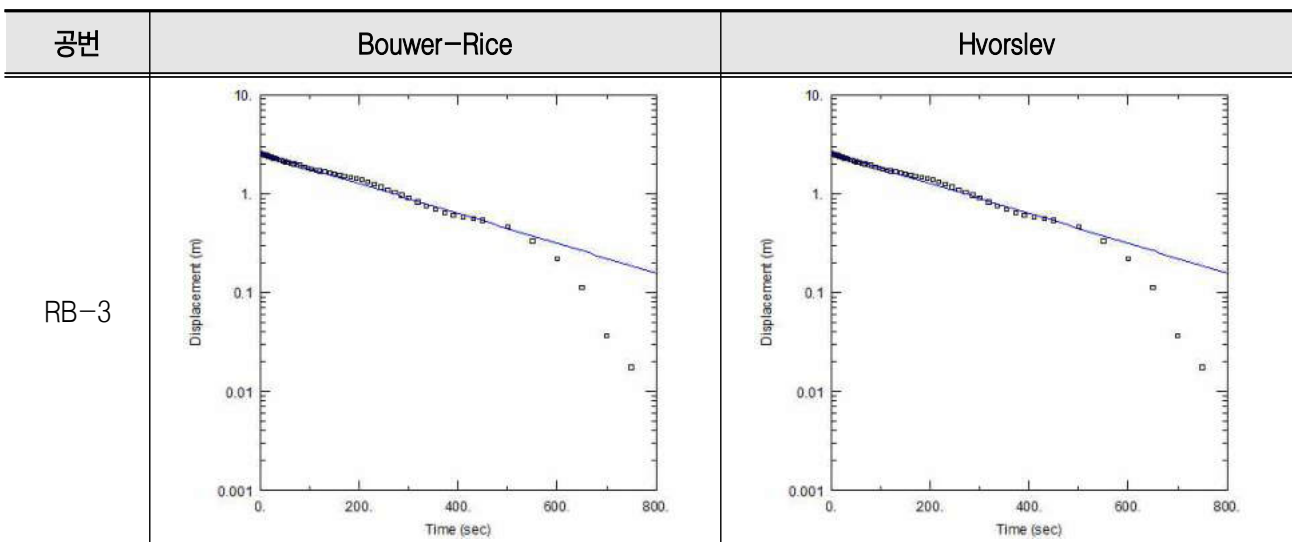
3.3.9 순간충격시험 결과

■ 시험정 개요

| 구분 | 정 호 개 요 | | | | 초기수위 (GL, -m) | 시험방법 |
|------|---------|-------|-----------------|--------------|------------------|-----------|
| | 구경(mm) | 심도(m) | Casing 심도(m) | 대수층 두께(m) | | |
| RB-3 | 76 | 58.0 | 0.0 | 43.7 | 14.3 | Slug test |

■ 순간 충격시험 결과

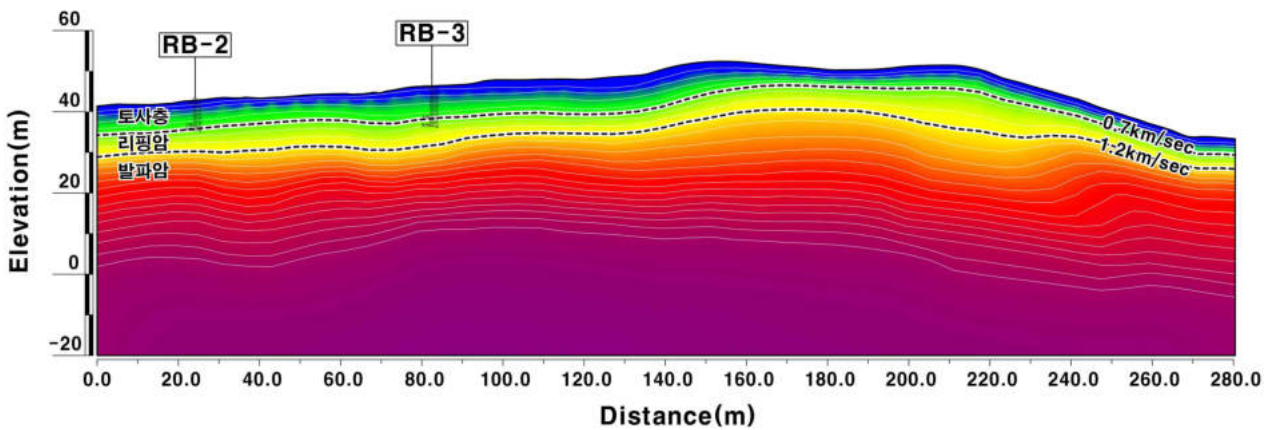
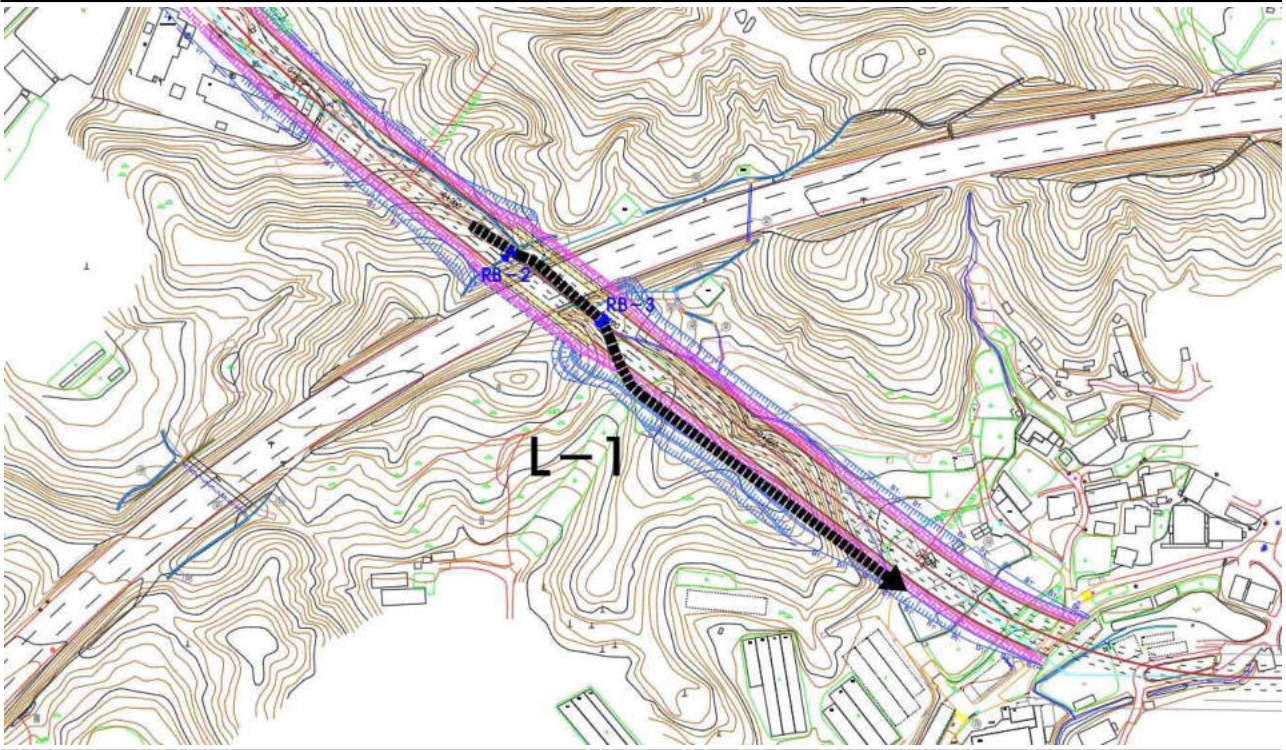
| 공번 | 대 수 성 상 수 | | | |
|------|-----------|-------------|-------------------------|--------|
| | 분석 방법 | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) | |
| RB-3 | Slug Test | Bouwer-rice | 1.710E-04 | 0.0975 |
| | | Hvorslev | 2.522E-04 | 0.1438 |



3.4 물리탐사 결과

3.4.1 굴절법탄성파탐사 결과

■ 굴절법탄성파탐사 측선도



■ 굴절법탄성파탐사 수행내용

| 측선명 | 구 간 | 연 장 (m) | 지오폰 간격(m) | 비 고 |
|-----|---------------|---------|-----------|-----|
| L-1 | 0+315 ~ 0+589 | 280 | 6 | |

■ 탐사결과

| 구 분 | 도자굴착영역 | | 리핑 영역 | | 발파 영역 | |
|------------|--------------|-----|---------------|-----|--------------|------|
| 지 층 | 토사층 | | 리핑암(풍화암) | | 발파암(연암 이상) | |
| 탄성파속도 | 0.7km/sec 이하 | | 0.7~1.2km/sec | | 1.2km/sec 이상 | |
| 층 후 (m) | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 | 출현심도 | |
| | | | | | 최소 | 최대 |
| | 3.7 | 9.1 | 3.4 | 9.8 | 7.4 | 15.6 |

- 탄성파속도(토사층 0.7km/sec 이하, 리핑암 0.7~1.2km/sec, 발파암 1.2km/sec 이상)를 토대로 구분한 결과 토사층의 평균 층후는 6.36m, 리핑암이 약 5.91m 정도로 나타나며, 발파암의 출현심도는 약 12.26m 정도로 나타났다.
- 전반적으로 지형과 유사한 형태의 탄성파 속도 분포를 보이며, 급격한 층후 변화가 없는 비교적 단순한 지층구조를 보일 것으로 판단된다.
- 토사층의 층후는 축선거리 약 0 ~ 150.0m 구간에서 8.0m 내외의 분포를 보일 것으로 추정되며, 이후 구간에서는 5.0m 내외로 소폭 얇아지는 경향을 보일 것으로 판단된다.
- 리핑암의 층후는 대체로 5.0m 내외로 일정한 층후를 보일 것으로 추정되나, 축선거리 약 200.0m ~ 230.0m 구간에서는 8.0m 내외로 소폭 두꺼워지는 경향을 보일 것으로 판단된다.
- 발파암 출현심도는 축선거리 약 230.0m 구간까지 13.0m 내외의 분포를 보일 것으로 추정되나, 이후 구간에서는 7.0m 내외로 소폭 얇아지는 경향을 보일 것으로 판단된다.

3.5 실내시험 결과

시추조사와 병행하여 실시한 SPT시료에서 채취한 시료 중 대표적인 시료를 선별하여 흙과 암반의 물리적, 역학적 특성을 파악하기 위하여 KS F 관련규정에 의거 실내시험을 실시하였으며, 시험성과는 부록 「실내시험 성과」에 정리, 수록하였다.

3.5.1 토질시험 결과

가. 토질물성시험 결과

■ 토질 물성시험 수행현황

| 구분 | 비중 | 함수비 | 액·소성한계 | 입도분석 | 비고 |
|--------|----|-----|--------|------|----|
| SPT 시료 | 2 | 2 | 2 | 2 | - |

■ 토질 물성시험 결과표

| 구분 | 공번 | 시험도 (m) | Wn (%) | 비중 (Gs) | Atterberg Limit(%) | | Grain Size Distribution %, Finer than | | | 토질 분류 |
|------|-------|------------|-----------|------------|-----------------------|----|--|-------------|-------------|----------|
| | | | | | LL | PI | mm 4.75 | mm 0.075 | mm 0.005 | |
| 지하차도 | RB-02 | | | | | | | | | |
| | RB-03 | | | | | | | | | |

남양주왕숙 공공주택지구
지구외도로 토질조사용역
(왕숙2~양정역세권 연결로)

제4장 설계지반정수 산정

- 4.1 토사층의 설계지반정수 산정
- 4.2 풍화암의 설계지반정수 산정
- 4.3 기반암의 설계지반정수 산정
- 4.4 적용 설계지반정수

제 4 장 설계지반정수 산정

4.1 토사층의 설계지반정수 산정

설계지반정수는 원칙적으로 토질시험에 의해 얻어진 수치를 사용하여야 한다. 각 층의 강도정수는 토질이나 시험방법에 따라 상당히 다르게 얻어지는 경우도 있고 계산결과와 신뢰도에 큰 영향을 주기 때문에 충분히 검토하여 결정해야 하며 토질과 암반으로 구분하여 강도정수 산정내용을 기술한다.

4.1.1 토사층의 강도정수

토사층은 매립층, 퇴적/봉적층 및 풍화토로 구성되어 있으며, 각 지층은 다양한 입도의 토질로 구성되어 있다. 금회 설계지반정수 산정시 지층 구분은 위에 언급한 생성기원별로 지층을 대분하고, 토질 구성 상태를 고려하여 각 지층을 세분하여 각각의 설계지반정수를 산정하였다.

강도정수 산정은 N값에 의한 강도정수, 문헌에서 제시하는 토질정수 값 및 기존 설계사례들을 종합적으로 비교·분석하여 가장 합리적인 강도정수 값을 산정하였다.

가. 관련문헌 검토

■ 건설공사 비탈면 설계기준(2011, 국토해양부)

| 종 류 | 재 료 의 상 태 | 단위중량 (kN/m ³) | 내부 마찰각(°) | 점 착 력 (kN/m ²) | 분류기호 (통일분류) |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------------------|----------------|
| 자 갈 | 밀실한것, 입도가 좋은것 | 20 | 40 | 0 | GW |
| | 밀실하지 않은것, 입도가 나쁜것 | 18 | 35 | 0 | GP |
| 자갈섞인 모 래 | 밀실한것 | 21 | 40 | 0 | GW |
| | 밀실하지 않은것 | 19 | 35 | 0 | GP |
| 모 래 | 밀실한것 | 20 | 35 | 0 | SW |
| | 밀실하지 않은것 | 18 | 30 | 0 | SP |
| 사 질 토 | 밀실한것 | 19 | 30 | 30 이하 | SM |
| | 밀실하지 않은것 | 17 | 25 | 0 | SC |
| 점 성 토 | 굳은 것 (손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | 18 | 25 | 50 이하 | ML CL |
| | 약간 무른 것 (손가락 중간정도의 힘으로 들어감) | 17 | 20 | 30 이하 | |
| | 무른것(손가락이 쉽게 들어감) | 17 | 20 | 15 이하 | |
| 점 토 및 실 트 | 굳은 것 (손가락으로 세게 눌러 조금 들어감) | 17 | 20 | 50 이하 | CH MH ML |
| | 약간 무른 것 (손가락 중간정도의 힘으로 들어감) | 16 | 15 | 30 이하 | |
| | 무른것(손가락이 쉽게 들어감) | 14 | 10 | 15 이하 | |

■ 점착력이 없는 흙의 일반적 물성(Hunt, 1984)

| 재 료 | | 다짐정도 | N(타격회수/30cm) | ϕ (°) |
|-----|---------------------------|------|--------------|------------|
| GW | 입도분포가 좋은 자갈 자갈-모래 혼합 | 조 밀 | 90 | 40 |
| | | 중 간 | 55 | 36 |
| | | 느 슨 | < 28 | 32 |
| GP | 입도분포가 불량한 자갈 자갈-모래 혼합 | 조 밀 | 70 | 38 |
| | | 중 간 | 50 | 35 |
| | | 느 슨 | < 20 | 32 |
| SW | 입도분포가 좋은 모래 자갈이 섞인 모래 | 조 밀 | 65 | 37 |
| | | 중 간 | 35 | 34 |
| | | 느 슨 | < 15 | 30 |
| SP | 입도분포가 불량한 모래 자갈이 섞인 모래 | 조 밀 | 50 | 36 |
| | | 중 간 | 30 | 33 |
| | | 느 슨 | < 10 | 29 |
| SM | 실트질 모래 | 조 밀 | 45 | 35 |
| | | 중 간 | 25 | 32 |
| | | 느 슨 | < 8 | 29 |
| ML | 무기질 실트 매우 고운 모래 | 조 밀 | 35 | 33 |
| | | 중 간 | 20 | 31 |
| | | 느 슨 | < 4 | 27 |

■ 흙의 단위중량-도로교설계기준 해설 하부구조편, 대한토목학회, 2001

| 지 반 | 토 질 | 느슨할 때(kN/m ³) | 촉촉할 때(kN/m ³) |
|------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| 자연지반 | 모래 및 모래자갈 | 18.0 | 20.0 |
| | 사질토 | 17.0 | 19.0 |
| | 점성토 | 14.0 | 18.0 |

■ 흙의 개략적인 간극비 및 단위중량-토질역학 김상규

| 흙의 종류 | 흙의 상태 | 함수비(%) | 간극비(e) | 단위중량(kN/m ³) | | |
|-----------------|-------|---------|-------------|--------------------------|---------|---------|
| | | | | 건 조 | 전 체 | 포 화 |
| 모래질 자갈 | 느슨 | 38 ~ 42 | 0.61 ~ 0.72 | 14 ~ 17 | 18 ~ 20 | 19 ~ 21 |
| | 촉촉 | 18 ~ 25 | 0.22 ~ 0.33 | 19 ~ 21 | 20 ~ 23 | 21 ~ 24 |
| 거친 모래, 중간 모래 | 느슨 | 40 ~ 45 | 0.67 ~ 0.82 | 13 ~ 15 | 16 ~ 19 | 18 ~ 19 |
| | 촉촉 | 25 ~ 32 | 0.33 ~ 0.47 | 17 ~ 18 | 18 ~ 21 | 20 ~ 21 |
| 균등한 가는 모래 | 느슨 | 45 ~ 48 | 0.82 ~ 0.82 | 14 ~ 15 | 15 ~ 19 | 18 ~ 19 |
| | 촉촉 | 33 ~ 36 | 0.49 ~ 0.56 | 17 ~ 18 | 18 ~ 21 | 20 ~ 21 |

■ 흙의 개략적인 간극비 및 단위중량-토질역학 김상규(계 속)

| 흙의 종류 | 흙의 상태 | 함수비(%) | 간극비(e) | 단위중량(kN/m ³) | | |
|-----------|-------|---------|-------------|--------------------------|---------|---------|
| | | | | 건 조 | 전 체 | 포 화 |
| 거친 실트 | 느슨 | 45 ~ 55 | 0.82 ~ 1.22 | 13 ~ 15 | 15 ~ 19 | 18 ~ 19 |
| | 촉촉 | 35 ~ 40 | 0.54 ~ 0.67 | 16 ~ 17 | 17 ~ 21 | 20 ~ 21 |
| 실 트 | 연약 | 45 ~ 50 | 0.82 ~ 1.00 | 13 ~ 15 | 16 ~ 20 | 18 ~ 20 |
| | 중간 | 35 ~ 40 | 0.54 ~ 0.67 | 16 ~ 17 | 17 ~ 21 | 20 ~ 21 |
| | 견고 | 30 ~ 35 | 0.43 ~ 0.49 | 18 ~ 19 | 18 ~ 19 | 18 ~ 22 |
| 소성이 작은 점토 | 연약 | 50 ~ 55 | 1.00 ~ 1.22 | 13 ~ 14 | 15 ~ 18 | 18 ~ 20 |
| | 중간 | 35 ~ 45 | 0.54 ~ 0.82 | 15 ~ 18 | 17 ~ 21 | 19 ~ 21 |
| | 견고 | 30 ~ 35 | 0.43 ~ 0.54 | 18 ~ 19 | 18 ~ 22 | 21 ~ 22 |
| 소성이 큰 점토 | 연약 | 60 ~ 70 | 1.50 ~ 2.30 | 9 ~ 15 | 12 ~ 18 | 14 ~ 18 |
| | 중간 | 40 ~ 55 | 0.67 ~ 1.22 | 15 ~ 18 | 15 ~ 20 | 17 ~ 21 |
| | 견고 | 30 ~ 40 | 0.43 ~ 0.67 | 18 ~ 20 | 17 ~ 22 | 19 ~ 23 |

■ 토질 종류별 설계정수의 범위-사질토, Ref : M. J. Tomlinson

| Soil type, compactness & consistency | γ_t (kN/m ³) | γ_{sub} (kN/m ³) | ϕ (°) |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|------------|
| 모래성분이 거의 없는 느슨한 자갈 | 16 ~ 19 | 9 | 28 ~ 30 |
| 모래성분이 거의 없는 보통 조밀한 자갈 | 18 ~ 20 | 10 | 30 ~ 36 |
| 모래성분이 거의 없는 조밀 내지 매우 조밀한 자갈 | 19 ~ 21 | 11 | 36 ~ 45 |
| 느슨하며 입도가 양호한 모래질 자갈 | 18 ~ 20 | 10 | 28 ~ 30 |
| 보통 조밀하고 입도가 양호한 모래질 자갈 | 19 ~ 21 | 11 | 30 ~ 36 |
| 조밀하고 입도가 양호한 모래질 자갈 | 20 ~ 22 | 12 | 36 ~ 45 |
| 느슨하고 점토가 함유된 모래질 자갈 | 18 ~ 20 | 10 | 28 ~ 30 |
| 보통 조밀하고 점토가 함유된 모래질 자갈 | 19 ~ 21 | 11 | 30 ~ 35 |
| 조밀 내지 매우 조밀하고 점토가 함유된 모래질 자갈 | 21 ~ 22 | 12 | 35 ~ 40 |
| 느슨한 조립 내지 세립 모래 | 17 ~ 20 | 10 | 28 ~ 30 |
| 보통 조밀한 조립 내지 세립 모래 | 20 ~ 21 | 11 | 30 ~ 38 |
| 조밀 내지 매우 조밀한 조립 내지 세립 모래 | 21 ~ 22 | 12 | 35 ~ 40 |
| 느슨하고 세립질 모래와 실트질 모래 | 15 ~ 17 | 7 | 28 ~ 30 |
| 보통 조밀한 세립질 모래와 실트질 모래 | 17 ~ 19 | 9 | 30 ~ 35 |
| 조밀 내지 매우 조밀한 세립질 모래와 실트질 모래 | 19 ~ 21 | 11 | 35 ~ 40 |

■ 토질 종류별 설계정수의 범위-점성토와 유기질토, Ref : M. J. Tomlinson

| Soil type, compactness & consistency | $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$ | $\gamma_{\text{sub}}(\text{kN/m}^3)$ | c(kPa) |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------|
| 연약한 소성 점토 | 16 ~ 19 | 6 ~ 9 | 20 ~ 40 |
| 단단한 소성 점토 | 17.5 ~ 20 | 7.5 ~ 11 | 40 ~ 75 |
| 견고한 소성 점토 | 18 ~ 21 | 8 ~ 11 | 75 ~ 150 |
| 연약하고 소성이 적은 점토 | 17 ~ 20 | 7 ~ 10 | 20 ~ 40 |
| 단단하고 소성이 적은 점토 | 18 ~ 21 | 8 ~ 11 | 40 ~ 75 |
| 견고하고 소성이 적은 점토 | 21 ~ 22 | 11 ~ 12 | 75 ~ 150 |
| 견고 또는 매우 견고한 점토 | 20 ~ 23 | 10 ~ 13 | 150 ~ 300 |
| 유기질 점토 | 14 ~ 17 | 4 ~ 7 | - |
| 이 탄 | 105 ~ 140 | 0.5 ~ 4 | - |

나. 경험식에 의한 강도정수 산정

여러 제안자 및 기준서에서 제시하고 있는 N값에 의한 강도정수 산정방법은 다음과 같다.

■ 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

| 제안자 | 점착력 (kPa) | 제안자 | 내부마찰각(°) |
|---------------|-------------------------------|----------|--------------------------|
| | $\phi = 0, c = \frac{q_u}{2}$ | Dunham | $\phi = \sqrt{12N} + 20$ |
| Dunham | $q_u = N/0.077$ | Meyerhof | $\phi = 0.25N + 32.5$ |
| Terzaghi-Peck | $q_u = N/0.082$ | Peck | $\phi = 0.3N + 27$ |
| Ohsaki | $q_u = \frac{N}{0.2} + 40$ | Ohsaki | $\phi = \sqrt{20N} + 15$ |
| | | 도로교시방서 | $\phi = \sqrt{15N} + 15$ |

■ N값에 의한 내부마찰각 $\phi(^\circ)$ 추정

| 구분 | N값 (평균) | Dunham | Meyerhof | Peck | 오자끼 | 도로교 표준시방서 | 범위 | 평균값 | |
|--------|---------|--------|----------|------|------|-----------|-----------|-----------|------|
| 매립층 | 모래 | 14 | 33.0 | 36.0 | 31.2 | 31.7 | 29.5 | 29.5~36.0 | 32.3 |
| 퇴적/붕적층 | 모래 | 17 | 34.3 | 36.8 | 32.1 | 33.4 | 31.0 | 31.0~36.8 | 33.5 |
| 풍화토 | 46 | 43.5 | 44.0 | 40.8 | 45.3 | 41.3 | 40.8~45.3 | 43.0 | |

다. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 과업명 | 지층 | | 단위중량 (kN/m ³) | 점착력 (kPa) | 내부마찰각 (°) |
|--------------------------------|-----------|----|---------------------------|-----------|-----------|
| 암사대교 연결대로 건설공사 실시설계 시공중조사 | 매립층 | 모래 | 18.0 | 0 | 29 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 0 | 29 |
| | 풍화토(N>30) | | 19.0 | 25 | 30 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 매립층 | 모래 | 18.0 | 0 | 27 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 0 | 28 |
| | 풍화토(N>30) | | 19.0 | 20 | 30 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 매립층 | 모래 | 18.0 | 5 | 27 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 0 | 25 |
| | 풍화토(N>30) | | 19.0 | 20 | 31 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 매립층 | 모래 | 18.5 | 5 | 29 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 3 | 25 |
| | 풍화토(N>30) | | 20.0 | 25 | 31 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 매립층 | 모래 | 18.0 | 5 | 28 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 5 | 27 |
| | 풍화토(N>30) | | 20.0 | 25 | 30 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 매립층 | 모래 | 18.0 | 5 | 27 |
| | 퇴적층 | 모래 | 18.0 | 5 | 28 |
| | 풍화토(N>30) | | 19.0 | 20 | 31 |

라. 현장시험 결과

■ 공내전단시험 결과

| 공번 | 심도(m) | N값 | c(Kpa) | φ(°) | 지층 |
|------|-------|-------|--------|-------|-----|
| RB-3 | 6.0 | 50/22 | 19.70 | 29.39 | 풍화토 |

마. 설계적용 강도정수

토사층의 설계적용 강도정수는 기존문헌자료, 표준관입시험에 의한 경험식을 분석하여 강도정수를 산정하였으며, 산정결과는 다음표와 같다.

■ 토사층의 설계강도정수

| 구 분 | | 단위중량(kN/m ³) | 점착력(kPa) | 내부마찰각(°) | |
|--------|----|--------------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| 매립층 | 모래 | 관련문헌 | 17.0~19.0 | 30이하 | 25~30 |
| | | 경험식 | - | - | 29.5~36.0(32.3) |
| | | 설계사례 | 18.0~18.5(18.1) | 0~5(3.5) | 27~29(27.2) |
| | | 적용값 | 18.0 | 5 | 27 |
| 퇴적/붕적층 | 모래 | 관련문헌 | 17.0~19.0 | 30이하 | 25~30 |
| | | 경험식 | - | - | 31.0~36.8(33.5) |
| | | 설계사례 | 18.0 | 0~5(3.2) | 25~29(27.7) |
| | | 적용값 | 18.0 | 5 | 28 |
| 풍화토 | | 관련문헌 | 18.0~20.0 | 0~100 | 30~35 |
| | | 경험식 | - | - | 40.8~45.3(43.0) |
| | | 설계사례 | 19.0~20.0(19.3) | 20~25(22.5) | 30~31(30.5) |
| | | 현장시험 | - | 19.70 | 29.39 |
| | | 적용값 | 19.0 | 20 | 30 |

4.1.2 토사층의 변형계수 및 포아송비 산정

문헌자료에 의한 일반적인 토사층의 변형계수 및 포아송비 범위는 다음과 같다.

가. 관련문헌 검토

■ 구조물기초 설계기준(건설교통부)

| 종 류 | 변형계수(MPa) | 포아송비 |
|----------|-----------|-------------|
| 중간 점토 | 5 ~ 10 | 0.20 ~ 0.50 |
| 실트질 모래 | 10 ~ 17 | 0.20 ~ 0.40 |
| 중간조밀한 모래 | 17 ~ 28 | 0.25 ~ 0.40 |
| 조밀한 모래 | 35 ~ 55 | 0.30 ~ 0.45 |
| 모래 및 자갈 | 69 ~ 172 | 0.15 ~ 0.35 |

■ 관련 문헌자료

| 구 분 | Braja, M. Das (Principle of Foundation Engineering) | | Joseph E. Bowels(1996) | |
|-------------|--|---------------|------------------------|---------------|
| | 변형계수(MPa) | 포아송비(ν) | 변형계수(MPa) | 포아송비(ν) |
| 느슨한 모래 | 10.4~24.2 | 0.20~0.40 | 10.0~25.0 | 0.20~0.35 |
| 보통굳기 모래 | 17.3~27.6 | 0.25~0.40 | - | - |
| 조밀한 모래 | 34.5~55.2 | 0.30~0.45 | 50.0~81.0 | 0.30~0.40 |
| 실트질 모래 | 10.4~17.3 | 0.20~0.40 | 5.0~20.0 | - |
| 연약한 점토 | 4.1~20.7 | 0.20~0.50 | 2.0~25.0 | 0.40~0.50 |
| 중간 점토 | 20.7~41.4 | | 15.0~50.0 | |
| 견고한 점토 | 41.4~96.6 | | 50.0~100.0 | |
| 느슨한 모래섞인 자갈 | 69.0~172.5 | 0.15~0.35 | 50.0~150.0 | 0.30~0.40 |
| 조밀한 모래섞인 자갈 | | | 100.0~200.0 | |

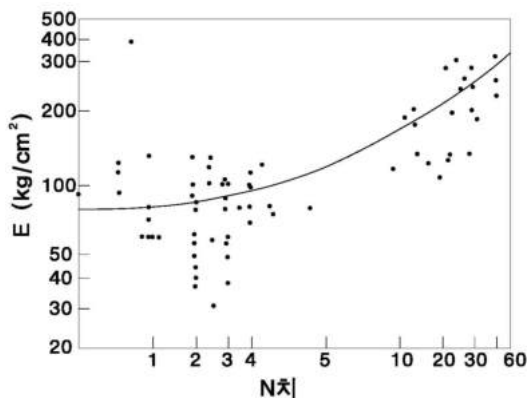
나. 경험식에 의한 산정

■ Schmertmann (1978) : $E_s = \alpha N$ (kPa)

| 구 분 | 실트 또는 모래질 실트 | 세립 또는 중립모래 | 조립질 모래 | 자갈질 모래 또는 자갈 |
|----------|--------------|------------|--------|--------------|
| α | 400 | 700 | 1,000 | 1,200~1,500 |

■ Hisatake 제안 $E_s = 500N + 7,000$ (kPa)

■ Bowles 제안(Foundation Analysis & Design)



| 흙의 종류 | E_s (kPa) |
|--------------------|----------------------|
| 모래 | $E_s = 500(N + 15)$ |
| 점토질 모래 | $E_s = 320(N + 15)$ |
| 실트, 모래질 실트, 점토질 실트 | $E_s = 300(N + 6)$ |
| 자갈질 모래 | $E_s = 1,200(N + 6)$ |

■ 구조물기초 설계기준

| 구 분 | 정규압밀 점토(kPa) | 과압밀 점토(kPa) |
|-----|------------------------|------------------------|
| 경험식 | (250~500) _c | (750~500) _c |

■ N값을 이용한 변형계수(MPa)

| 구 분 | | N 값 | Schmertmann | Hisatake | Bowles | 범 위 | 평균 |
|--------|----|-----|-------------|----------|--------|-----------|------|
| 매립층 | 모래 | 14 | 14.0 | 14.0 | 14.5 | 14.0~14.5 | 14.2 |
| 퇴적/봉적층 | 모래 | 17 | 17.0 | 15.5 | 16.0 | 15.5~17.0 | 16.2 |
| 풍화토 | | 46 | 69.0 | 30.0 | 62.4 | 30.0~69.0 | 53.8 |

다. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 과 업 명 | 지 층 | | 변형계수(Mpa) | 포아송비(ν) |
|--------------------------------|-----------|----|-----------|---------------|
| 별내선(암사~별내)복선전철 3공구(B사) | 매립층 | 모래 | 10 | 0.35 |
| | 퇴적층 | 모래 | 15 | 0.34 |
| | 풍화토(N>30) | | 50 | 0.32 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 매립층 | 모래 | 13 | 0.33 |
| | 퇴적층 | 모래 | 13 | 0.33 |
| | 풍화토(N>30) | | 50 | 0.31 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 매립층 | 모래 | 10 | 0.34 |
| | 퇴적층 | 모래 | 13 | 0.33 |
| | 풍화토(N>30) | | 50 | 0.32 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 매립층 | 모래 | 10 | 0.34 |
| | 퇴적층 | 모래 | 15 | 0.35 |
| | 풍화토(N>30) | | 60 | 0.32 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 매립층 | 모래 | 15 | 0.34 |
| | 퇴적층 | 모래 | 10 | 0.35 |
| | 풍화토(N>30) | | 60 | 0.32 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 매립층 | 모래 | 12 | 0.35 |
| | 퇴적층 | 모래 | 11 | 0.34 |
| | 풍화토(N>30) | | 60 | 0.32 |

라. 현장시험 결과

■ 공내재하시험 결과

| 공번 | 심도 (m) | N값 TCR/RQD | 탄성계수 (MPa) | 변형계수 (MPa) | 지층 | 비고 |
|-------|--------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|
| RB-03 | 5.0 | 50/14 | 1.25E+02 | 7.67E+01 | 풍화토 | PMT |

마. 토사의 변형계수 및 포아송비 산정결과

■ 토사층의 변형계수 및 포아송비

| 구 분 | | 변형계수(Mpa) | 포아송비 | |
|------------|----|------------|-----------------|-----------------|
| 매립층 | 모래 | 관련문헌 | 10~25 | 0.20~0.40 |
| | | 경험식 | 14.0~14.2(14.2) | - |
| | | 설계사례 | 10.0~15.0(11.7) | 0.33~0.35(0.34) |
| | | 적용값 | 14 | 0.34 |
| 퇴적/ 봉적층 | 모래 | 관련문헌 | 10~25 | 0.20~0.40 |
| | | 경험식 | 15.5~17.0(16.2) | - |
| | | 설계사례 | 10~15(12.8) | 0.33~0.35(0.34) |
| | | 적용값 | 15 | 0.34 |
| 풍화토 | | 관련문헌 | 34.5~81.0 | 0.30~0.45 |
| | | 경험식 | 32.0~75.0(58.1) | - |
| | | 설계사례 | 50~60(55.0) | 0.31~0.32(0.32) |
| | | 현장시험 | 76.7 | - |
| | | 적용값 | 70 | 0.32 |

4.2 풍화암의 설계지반정수 산정

기반암이 풍화되어 생성된 풍화대층은 풍화토층과 풍화암층으로 구별할 수 있으며, 풍화암층은 기반암인 모암이 매우 풍화가 진행된 상태(Completely Decomposed)로서 손으로 눌러도 깨질 정도로 풍화가 심하며, 시추조사시 해머에 의한 타격에너지에 의해 토사로 분해되거나 국부적으로 모암의 조직과 구조를 일부 보유한 불량한 암편상태로 존재하기도 한다. 풍화암은 불교란시료 채취가 현실적으로 불가능한 상태이며, 특히, 절리면을 포함하는 시추코아 채취가 불가능하므로 전단강도 특성을 파악하기 위한 시험(적접전단시험등)여건이 매우 곤란한 상태이다. 따라서 기반암의 상태, 지질특성, 시추결과에 따른 문헌자료 및 기존설계자료를 참고로 강도정수를 산정하였다.

4.2.1 풍화암의 강도정수

가. 관련문헌 검토

풍화암의 강도정수에 대한 기존자료 및 문헌자료는 다음 표와 같다.

■ 도로설계 실무편람, 한국도로공사, 1996

| 구 분 | 암반파쇄상태 | | 전단강도 | | 비 고 |
|------------------------------|--------|--------|-------|--------|----------------------|
| | TCR(%) | RQD(%) | 내부마찰각 | 점착력 | |
| 풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 기반암 경우 | 20% 이하 | 10% 이하 | 30.0° | 100kPa | 암반의 파쇄상태에 따른 전단강도 제안 |

■ 지반조사편람(서울특별시, 1996)

| 지 층 | 단위중량(kN/m ³) | 점착력 c(kPa) | 내부마찰각(°) |
|-----|--------------------------|------------|----------|
| 풍화암 | 20~22 | 100~300 | 30~35 |

■ 한국지반공학회 학술발표회 자료

| 구 분 | 단위중량(kN/m ³) | 점착력(kPa) | 내부마찰각(°) | 비 고 | |
|---------------|--------------------------|----------|----------|-----|----------|
| 사면안정 학술발표회 | 1996 | 21 | 30 | 35 | - |
| | 2001 | 20 | 30 | 35 | - |
| | 2003 | 19.5 | 20 | 36 | 사암, 세일 등 |
| | | 20 | 10 | 30 | 편암 |
| 학술발표회 | 2003 | 21 | 30 | 35 | 편마암 |
| 범 위 | 19.5~21 | 10~30 | 30~36 | - | |

나. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 과 업 명 | 단위중량 (kN/m ³) | 점착력 (kPa) | 내부마찰각 (°) |
|-----------------------------|---------------------------|-----------|-----------|
| 별내선(암사~별내)복선전철 3공구(B사) | 21.0 | 35.0 | 33.0 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 20.0 | 30.0 | 35.0 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 21.0 | 30.0 | 32.0 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 21.0 | 35.0 | 32.0 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 21.0 | 30.0 | 32.0 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 21.0 | 31.0 | 32.0 |

다. 현장시험 결과

■ 공내전단시험 결과

| 구 분 | 시험심도(GL.-m) | 지 층 | N값 | 점착력(kPa) | 내부마찰각(deg) |
|-------|-------------|-----|------|----------|------------|
| RB-03 | 8.0 | 풍화암 | 50/7 | 34.10 | 32.75 |

라. 풍화암의 강도정수 산정결과

■ 풍화암의 설계강도정수

| 구 분 | 단위중량(kN/m ³) | 점착력(kPa) | 내부마찰각(°) | |
|-----|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|
| 풍화암 | 관련문헌 | 19.5~22.0 | 10~300 | 30~36 |
| | 설계사례 | 20.0~21.0(20.8) | 30~35(31.8) | 32~35(32.7) |
| | 현장시험 | - | 34.10 | 32.75 |
| | 적 용 값 | 21.0 | 34 | 32 |

4.2.2 풍화암의 변형계수 및 포아송비 산정

변형계수(E , ν)는 수치해석 및 침하량 산정을 위한 설계정수로 풍화암층의 관련 문헌 및 기존설계 자료를 분석하여 적용하였다.

가. 관련문헌 검토

■ 관련문헌 자료

| 구 분 | 지반공학회 학술발표(1998년) | Roy E, Hunt(1984) | Braja M. Das(1995) |
|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 변형계수(E , MPa) | 200 | - | - |
| 포아송비(ν) | 0.20 | 0.30~0.40 | 0.30~0.45 |

나. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 과 업 명 | 변형계수(Mpa) | 포아송비 |
|-----------------------------|-----------|------|
| 별내선(암사~별내)복선전철 3공구(B사) | 250 | 0.30 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 200 | 0.30 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 260 | 0.30 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 250 | 0.30 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 250 | 0.30 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 250 | 0.30 |

다. 현장시험 결과

■ 공내재하시험 결과

| 공번 | 심도 (m) | N값 TCR/RQD | 탄성계수 (MPa) | 변형계수 (MPa) | 지층 | 비고 |
|-------|--------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|
| BB-01 | 9.0 | 50/4 | 3.05E+02 | 2.34E+02 | 풍화암 | PMT |
| RB-03 | 9.0 | 50/7 | 2.42E+02 | 1.73E+02 | 풍화암 | PMT |

라. 풍화암의 변형계수 및 포아송비 산정결과

■ 풍화암의 변형계수 및 포아송비 산정결과

| 구 분 | | 변형계수(Mpa) | 포아송비 |
|-----|-------|--------------|-----------|
| 풍화암 | 관련문헌 | 100.0~200.0 | 0.20~0.45 |
| | 설계사례 | 200~260(243) | 0.30 |
| | 현장시험 | 173~234(203) | - |
| | 적 용 값 | 200 | 0.30 |

4.3 기반암의 설계지반정수 산정

4.3.1 기반암의 강도정수 산정

본 구간에 분포하고 있는 기반암의 지반정수는 각종 문헌자료 등을 비교 검토하여 다음 표와 같이 적용하였다.

가. 관련문헌 검토

■ 도로설계 실무편람에 제시된 강도정수

| 암 석 종 류 (강도) | 암 반 파 쇄 상 태 (NX 규격 시추조사시) | | 암반의 전단 강도정수 | |
|--------------------------------------|------------------------------|----------|-------------|---------|
| | T.C.R(%) | R.Q.D(%) | ϕ (°) | C (kPa) |
| 풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우 | 20% 이하 | 10% 이하 | 30° | 100 |
| 강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암 | 20~30% | 10~25% | 33° | 130 |
| | 40~50% | 25~35% | 35° | 150 |
| | 70% 이상 | 40~50% | 40° | 200 |

■ 암종에 따른 단위중량, 일축압축강도(After Roy E. Hunt)

| 암 석 명 | 단위중량(kN/m ³) | 일축압축강도(kN/m ²) |
|-------|--------------------------|----------------------------|
| 화강암 | 26.9 | 70,000~175,000 |
| 편마암 | 27.0 | 70,000~140,000 |
| 규 암 | 26.6 | 105,000~245,000 |
| 사 암 | 23.5 | 28,000~84,000 |
| 세 일 | 16.0~22.0 | 700~35,000 |

■ 암종별 파쇄상태 및 RQD, 일축압축강도에 의한 지반정수(Hoek & Brown)

| 구 분 | 암 종 | | | | | 암반상태에 따른 분류 | | | | |
|------------------------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| | 화강암 | 규 암 | 사 암 | 반 암 | 세 일 | 풍화암 파쇄가 심한 연경암 | 대부분 연경암 | RQD <25% | RQD>25% | |
| | | | | | | | | | qu >300 | qu <300 |
| 단위중량 (kN/m ³) | 26.14 | 26.14 | 19.50 | 25.80 | 24.00 | - | - | - | - | - |
| 점착력 (kN/m ²) | 980~ 3,000 | - | 490~ 1,460 | 980~ 3,000 | 240~ 980 | 100 | 130~ 200 | 0~ 1,000 | 1,000~ 3,000 | 500~ 1,500 |
| 내부마찰각 (°) | 30~ 50 | 30~ 45 | 30~ 45 | 30~ 40 | 30~ 45 | 30 | 35~ 40 | 30~ 45 | 40~ 50 | 30~ 50 |

■ 지반공학시리즈 11, 토목기술자를 위한 암반공학

| 암 석 명 | 내부마찰각(°) | 암 석 명 | 내부마찰각(°) |
|----------|----------|----------|----------|
| 각 석 암 | 32 | 편마암(편암질) | 23~29 |
| 현 무 암 | 31~38 | 석 회 암 | 33~40 |
| 역 암 | 35 | 반 암 | 31 |
| 백 암 | 30 | 사 암 | 25~35 |
| 백 운 암 | 27~31 | 세 일 | 27 |
| 화강암(세립질) | 29~35 | 미 사 암 | 27~31 |
| 화강암(조립질) | 31~35 | 점 판 암 | 25~30 |

■ 서울시 기준(1996)에 의한 지반정수 산정

| 지반명 | 단위중량 γ_t (kN/m ³) | 점착력c(kPa) | 내부마찰각 ϕ (°) |
|-----|--------------------------------------|-------------|------------------|
| 연 암 | 23~25 | 300~600 | 30~40 |
| 보통암 | 24~26 | 600~1,500 | 35~40 |
| 경 암 | 25~27 | 1,500~2,000 | 35~45 |

나. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 구 분 | 연 압 | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|
| | 단위중량 (kN/m ³) | 점착력 (kPa) | 내부마찰각 (°) |
| 제2경춘(남양주~춘천)3-1공구 도로건설공사 실시설계 | 24.0 | 250 | 34 |
| 제2경춘(남양주~춘천)3-2공구 도로건설공사 실시설계 | 24.0 | 300 | 35 |
| 제2경춘(남양주~춘천) 도로건설공사(4공구) | 23.0 | 370 | 35 |
| 별내선(암사~별내)복선전철 3공구(B사) | 23.0 | 400 | 34 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 23.0 | 400 | 35 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 23.0 | 400 | 33 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 23.0 | 400 | 33 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 23.0 | 400 | 34 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 23.0 | 250 | 33 |

다. 기반암의 강도정수 산정결과

■ 기반암의 설계강도정수

| 구 분 | | 단위중량(kN/m ³) | 점착력(kPa) | 내부마찰각(°) |
|-----|-------|--------------------------|--------------|-----------|
| 연 압 | 관련문헌 | 23.0~25.0 | 130~600 | 30~40 |
| | 설계사례 | 23.0~24.0(23.2) | 250~400(322) | 33~35(34) |
| | 적 용 값 | 23.0 | 300 | 34 |

5.3.2 기반암의 변형계수 및 포아송비 산정

가. 관련문헌 검토

■ 서울시 기준(1996)에 의한 지반정수 산정

| 지반명 | 변형계수Es (MPa) | 포아송비(ν) |
|-----|--------------|---------------|
| 연 압 | 200~400 | 0.25~0.30 |
| 보통암 | 400~1,000 | 0.25 |
| 경 압 | 1,000~4,000 | 0.20 |

■ 암종에 따른 일축압축강도, 변형계수(After Roy E. Hunt)

| 암 석 명 | 일축압축강도(kN/m ²) | 변형계수(MPa) |
|-------|----------------------------|-------------|
| 화강암 | 70,000~175,000 | 2,800~4,900 |
| 편마암 | 70,000~140,000 | 2,800~5,600 |
| 규 암 | 105,000~245,000 | 4,200~5,600 |
| 사 암 | 28,000~84,000 | 700~2,100 |
| 세 일 | 700~35,000 | 300~1,400 |

나. 기존 설계사례

■ 기존 설계사례

| 구 분 | 연 압 | |
|-------------------------------|-----------|---------------|
| | 변형계수(MPa) | 포아송비(ν) |
| 제2경춘(남양주~춘천)3-1공구 도로건설공사 실시설계 | 2,000 | 0.26 |
| 제2경춘(남양주~춘천)3-2공구 도로건설공사 실시설계 | 900 | 0.26 |
| 제2경춘(남양주~춘천) 도로건설공사(4공구) | 2,300 | 0.29 |
| 별내선(암사~별내)복선전철 3공구(B사) | 2,000 | 0.27 |
| 하남선(5호선 연장) 기본 및 실시설계 | 2,000 | 0.28 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 2공구 | 2,000 | 0.27 |
| 하남선(상일~검단산)복선전철 3공구 T/K | 1,500 | 0.27 |
| 세종~포천(안성~구리)고속도로 건설공사(14공구) | 2,000 | 0.27 |
| 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역 | 1,200 | 0.28 |

다. 기반암의 변형계수 및 포아송비 산정결과

■ 기반암의 변형계수 및 포아송비 산정결과

| 구 분 | 변형계수(MPa) | 포아송비(ν) | |
|-----|-----------|------------------|-----------------|
| 연 압 | 관련문헌 | 200~2,800 | 0.25~0.30 |
| | 설계사례 | 900~2,300(1,766) | 0.26~0.29(0.27) |
| | 적 용 값 | 1,500 | 0.27 |

4.4 적용 설계지반정수

과업구간에서 대한 지반조사결과, 경험식, 현장시험 결과, 인근 지반 적용 사례, 참고 문헌 등을 근거로 대표 지반정수를 산정하였으며 선정된 지반정수는 다음과 같다.

■ 적용 설계지반정수

| 지 층 | | 단위중량 (kN/m ³) | 점 착 력 (kN/m ²) | 내부마찰각 (°) | 변형계수 (MPa) | 포아송비 |
|--------|----|------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|------|
| 매립층 | 모래 | 18.0 | 5 | 27 | 14 | 0.34 |
| 퇴적/붕적층 | 모래 | 18.0 | 5 | 28 | 15 | 0.34 |
| 풍화토 | | 19.0 | 20 | 30 | 70 | 0.32 |
| 풍화암 | | 21.0 | 34 | 32 | 200 | 0.30 |
| 연암 | | 23.0 | 300 | 34 | 1,500 | 0.27 |

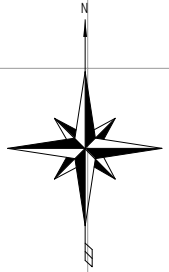
부 록

- 부록 1. 지반조사 위치도
- 부록 2. 시추주상도
- 부록 3. 전단탄성파탐사
- 부록 4. 현장투수시험
- 부록 5. 공내전단시험
- 부록 6. 공내재하시험
- 부록 7. 순간충격시험
- 부록 8. 양수시험
- 부록 9. 유향유속시험
- 부록 10. 굴절법탄성파탐사
- 부록 11. 실내시험
- 부록 12. 기록사진첩

부록 1. 지반조사 위치도

지반 조사 위치도

남양주왕숙 지구외도로(왕숙2~양정역세권 연결로)

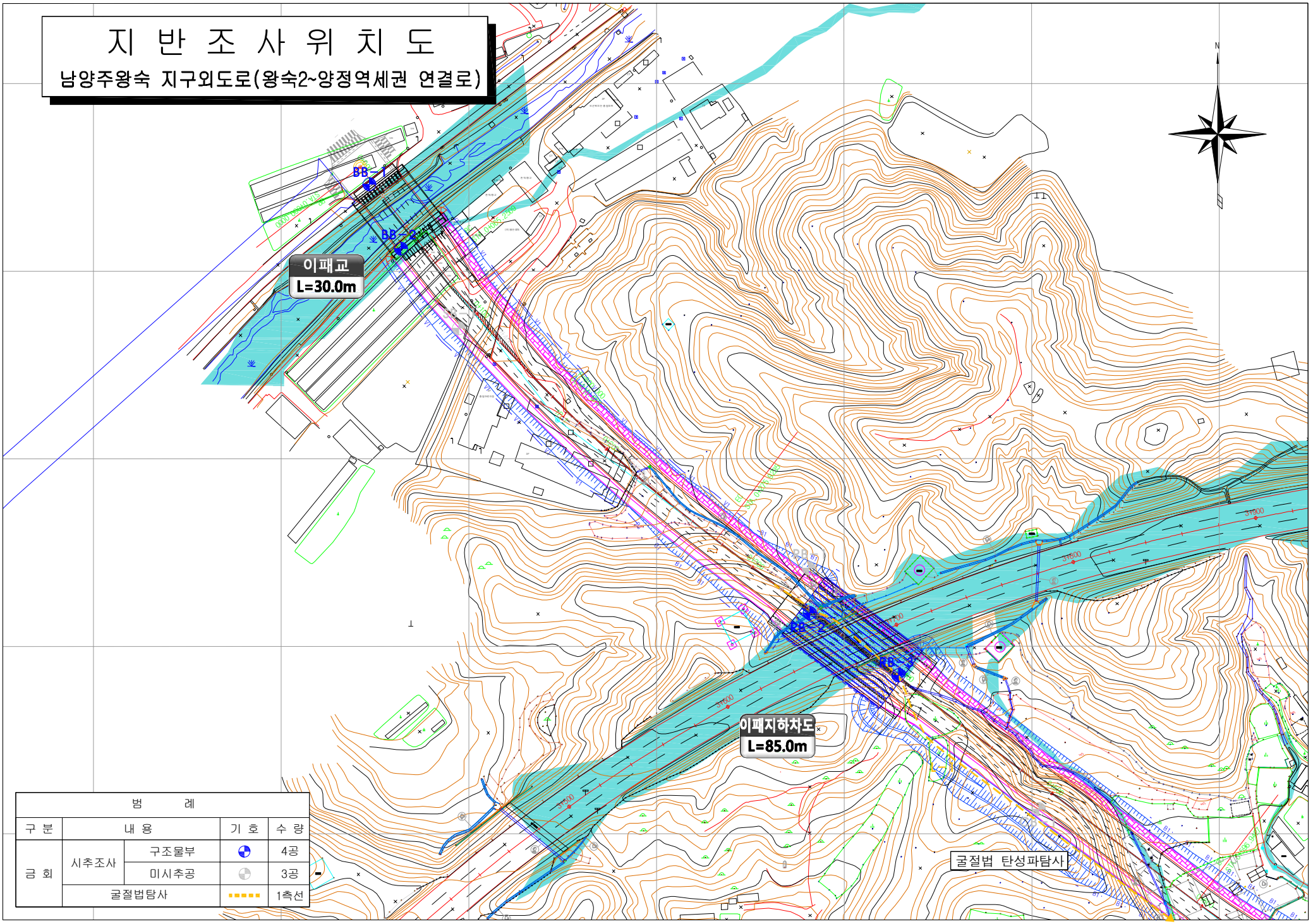


이피교
L=30.0m

이피지하차도
L=85.0m

굴절법 탄성파탐사

| 범례 | | | |
|----|-------|------|-----|
| 구분 | 내용 | 기호 | 수량 |
| 금회 | 시추조사 | 구조물부 | 4공 |
| | | 미시추공 | 3공 |
| | 굴절법탐사 | | 1축선 |



부록 2. 시추주상도

토 질 주 상 도

| | | | | | |
|-------|---------------------------------------|---------|--------------------------------|-------------|--------------------|
| 사 업 명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (왕숙2-양정역세권 연결로) | 시 추 공 번 | BB-1 | 시료채취 종 류 | ◎ SPT 시료 ● 코어시료 |
| 위 치 | 경기도 남양주시 이패동 일대 | 현장조사기간 | 2026년 4월 27일 ~ 4월 27일 | 보링규격 | NX |
| 작 성 자 | 김민중 | 지 하 수 위 | GL(-) 3.65 M | 케이싱심도 | 13.00 M |
| 시 추 자 | 임 민 | 시추공 좌표 | X: 557246.358 Y: 217047.029 | 표고(M) | 22.10 M |

| 표 척 (m) | 표 고 (m) | 심 도 (m) | 지층 후 층도 | 주 상 도 | 관 찰 | N 치 (회/ cm) | 작업상태 (분/ 30cm) | 암 질 | | | | | 질리상태 | | | 비 고 | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---|-------------------|----------------------|------------|------------|---|---|-------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--|--|
| | | | | | | | | TCR (%) | RQD (%) | D | S | 일축 강도 (MPa) | 점 착 강도 | 최 대 | 최 소 | | 평 균 | | |
| 0 | | | | | ◎ 매립층(Fills) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | 심도 : 0.00 ~ 2.50 m 자갈섞인 실트질 모래 습윤(Moist) 보통조밀(Medium dense) 암갈색 | 29/30 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 19.60 | 2.50 | 2.50 | | | 2.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 18.80 | 3.30 | 0.80 | | # 0.0~2.0m:터파기 | 28/30 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | ◎ 퇴적층(Deposits) | 36/30 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 심도 : 2.50 ~ 3.30 m 자갈질 모래 습윤(Moist) 보통조밀(Medium dense) 암갈색 | 4.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 16.10 | 6.00 | 2.70 | | ◎ 풍화토(Weathered soil) | 50/7 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | 심도 : 3.30 ~ 6.00 m 실트질 모래 습윤(Moist) 완전풍화, 모암조직 잔존 조밀(Dense)~ 매우조밀(Very dense) 암갈색 | 6.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | 50/6 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | 7.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | 50/5 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | 8.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | ◎ 풍화암(Weathered rock) | 50/4 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 9.10 | 13.00 | 7.00 | | 심도 : 6.00 ~ 13.00m 골진시 양편 및 실트질 모래로 분해 습윤(Moist) 완전풍화, 모암조직 잔존 매우조밀(Very dense) 암갈색 | 9.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | 50/7 | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | 10.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | 50/4 | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | 11.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | 50/4 | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | 12.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | * 심도 13.00 M 에서 시추종료 | 50/3 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 13.0 | | | | | | | | | | | | | |

토 질 주 상 도

| | | | | | |
|-------|--|---------|--------------------------------|-------------|--------------------|
| 사 업 명 | 남양주 왕숙 지구외도로 토질조사용역 (왕숙2-양정역세권 연결로) | 시 추 공 번 | RB-2 | 시료채취 종 류 | ◎ SPT 시료 ● 코어시료 |
| 위 치 | 경기도 남양주시 이패동 일대 | 현장조사기간 | 2026년 4월 28일 ~ 4월 28일 | 보링규격 | NX |
| 작 성 자 | 김민중 | 지 하 수 위 | GL(-) 4.80 M | 케이싱심도 | 8.00 M |
| 시 추 자 | 임 민 | 시추공 좌표 | X: 557017.701 Y: 217281.674 | 표고(M) | 43.27 M |

| 표 척 (m) | 표 고 (m) | 심 도 (m) | 지층 후 층도 | 주 상 도 | 관 찰 | N 치 (회/ cm) | 작업상태 (분/ 30cm) | 암 질 | | | | | 절리상태 | | | 비 고 | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-----------------------|-------------------|----------------------|------------|------------|---|---|-------------------|----------|----------|----------|--------|----------|--|
| | | | | | | | | TCR (%) | RQD (%) | D | S | 일축 강도 (MPa) | 절리 방향 | 절리 깊이 | 절리 개수 | | 절리 간격 | |
| 0 | | | | | ◎ 봉적층(Colluvium) | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | 심도 : 0.00 ~ 1.50 m | 6/30 | | | | | | | | | | | | |
| 1.77 | 41.77 | 1.50 | 1.50 | | 실트질 모래 | 1.0 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | 습윤(Moist) | 31/30 | | | | | | | | | | | | |
| 2.27 | | | | | 느슨(Loose) | 2.0 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | 갈색 | 32/30 | | | | | | | | | | | | |
| 3.27 | | | | | ◎ 풍화토(Weathered soil) | 3.0 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | 심도 : 1.50 ~ 7.00 m | 50/18 | | | | | | | | | | | | |
| 4.27 | | | | | 실트질 모래 | 4.0 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 습윤(Moist) | 50/12 | | | | | | | | | | | | |
| 5.27 | | | | | 완전풍화, 모암조직 잔존 | 5.0 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | 조밀(Dense)~ | 50/14 | | | | | | | | | | | | |
| 6.27 | | | | | 매우조밀(Very dense) | 6.0 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 36.27 | 7.00 | 5.50 | | 암갈색 | 50/4 | | | | | | | | | | | | |
| 7.77 | | | | | ◎ 풍화암(Weathered rock) | 7.0 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 35.27 | 8.00 | 1.00 | | 심도 : 7.00 ~ 8.00 m | 50/3 | | | | | | | | | | | | |
| 8.77 | | | | | 반진시 양면 및 실트질 모래로 | 8.0 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | 해 | | | | | | | | | | | | | |
| 9.27 | | | | | 습윤(Moist) | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | 완전풍화, 모암조직 잔존 | | | | | | | | | | | | | |
| 10.27 | | | | | 매우조밀(Very dense) | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | 암갈색 | | | | | | | | | | | | | |
| 11.27 | | | | | * 심도 8.00 M 에서 시추종료 | | | | | | | | | | | | | |

토 질 주 상 도

| | | | | | |
|-------|--|---------|--------------------------------|-------------|--------------------|
| 사 업 명 | 남양주 왕숙 지구외도로 토질조사용역 (왕숙2-양정역세권 연결로) | 시 추 공 번 | RB-3 | 시료채취 종 류 | ◎ SPT 시료 ● 코어시료 |
| 위 치 | 경기도 남양주시 이패동 일대 | 현장조사기간 | 2026년 4월 29일 ~ 4월 29일 | 보링규격 | NX |
| 작 성 자 | 김민중 | 지 하 수 위 | GL(-) 4.30 M | 케이싱심도 | 10.00 M |
| 시 추 자 | 임 민 | 시추공 좌표 | X: 556984.475 Y: 217328.884 | 표고(M) | 46.24 M |

| 표 척 (m) | 표 고 (m) | 심 도 (m) | 지층 후 층도 | 주 상 도 | 관 찰 | N 치 (회/ cm) | 작업상태 (분/ 30cm) | 암 질 | | | | | 절리상태 | | | 비 고 | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--|----------------------|----------------------|------------|------------|---|---|-------------------|----------|----------|----------|--------|----------|--|--|
| | | | | | | | | TCR (%) | RQD (%) | D | S | 일축 강도 (MPa) | 절리 방향 | 절리 깊이 | 절리 개수 | | 절리 간격 | | |
| 0 | 45.74 | 0.50 | 0.50 | | ◎ 매립층(Fills) 심도 : 0.00 ~ 0.50 m 실트질 모래 습윤(Moist) 갈색 | 39/30 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | 1.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | 45/30 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | ◎ 풍화토(Weathered soil) 심도 : 0.50 ~ 8.00 m 실트질 모래 습윤(Moist) 완전풍화, 모암조직 잔존 조밀(Dense)~ 매우조밀(Very dense) 암갈색 | 50/27 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | 3.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | 50/26 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | 4.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | 50/14 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | 5.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | 50/22 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | 6.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | 50/12 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | 7.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | 50/7 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | ◎ 풍화암(Weathered rock) 심도 : 8.00 ~ 10.00 m 진시 암편 및 실트질 모래로 편해 습윤(Moist) 완전풍화, 모암조직 잔존 매우조밀(Very dense) 암갈색 | 8.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | 50/7 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | 9.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | 50/6 | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | 10.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* 심도 10.00 M 에서 시추종료

부록 3. 전단탄성파탐사

남양주 왕숙 지구외도로 토질조사용역
[왕숙 2 ~ 양정역세권 연결로]
하향식탄성파탐사보고서

2026. 05.

목 차

| | |
|---|----|
| 제 1 장 조사개요 | 1 |
| 1.1 조사목적 | 1 |
| 1.2 조사범위 | 1 |
| 1.3 조사기간 | 1 |
| 1.4 조사장비 | 1 |
| 제 2 장 조사원리 및 방법 | 2 |
| 2.1 개요 | 2 |
| 2.2 탐사원리 및 방법 | 3 |
| 2.3 해석방법 | 3 |
| 2.4 토층에서의 탄성파속도 | 5 |
| 2.5 암반에서의 탄성파속도 | 6 |
| 2.6 S파속도의 경험적 추정방법 | 7 |
| 제 3 장 조사결과 | 9 |
| 3.1 적용단위중량 산정 | 9 |
| 3.2 시추공별 조사결과 | 9 |
| 3.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출 | 11 |
| 3.4 전단파속도에 의한 지반분류(내진설계기준 KDS 17 10 00, 2024년 제정기준) | 12 |

[부 록]

1. 하향식탄성파탐사 Sheet
2. 사진대지

1 조사 개요

1.1 조사목적

1.2 조사범위

1.3 조사기간

1.4 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조 사 목 적

- 본 조사는 “남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로)” 중 앞서 수행된 시추공을 이용, 하향식탄성파탐사(DHT)을 실시하여 지반의 탄성파속도를 파악하고, 전단파속도를 통해 지반의 동적 거동 해석에 필수적인 동적물성치를 산정하여 내진설계에 필요한 기초자료를 제공함으로써 합리적이고 경제적인 설계시공이 되도록 하는데 목적이 있다.

1.2 조 사 범 위

- 본 조사를 위하여 수행된 탐사수량은 다음과 같다.

| 구 분 | 공 번 | 시추심도(m) | 시험심도(m) | 측정간격(m) | 비 고 |
|-----|------|---------|----------|---------|-----|
| DHT | BB-1 | 13.0 | 0.0~13.0 | 1.0m | |


1.3 조 사 기 간

- 본 조사에 소요된 기간은 다음과 같다.

| 구 분 | 기 간 |
|---------------------|----------|
| 현 장 조 사 및 시 험 | 2026.04. |
| 성 과 분 석 및 보 고 서 작 성 | 2026.05. |

1.4 조 사 장 비

- 본 조사에 사용된 주요 조사장비는 다음과 같다.

| 구 분 | 규 격 | 장 비 사 진 |
|-----------------------|--|---|
| 하향식 탄성파탐사 (DHT) | <ul style="list-style-type: none"> - Smartseis, Geometrics, 미국 Sample rate : 31.25 ~ 2,000 μsec - 3성분지오폰(x, y, z방향), 일본 OYO사 - 5Kg sledge 햄머 - Trigger & Trigger Cable |  |

2 조사원리 및 방법

2.1 개 요

2.2 탐사원리 및 방법

2.3 해석방법

2.4 토층에서의 탄성파속도

2.5 암반에서의 탄성파속도

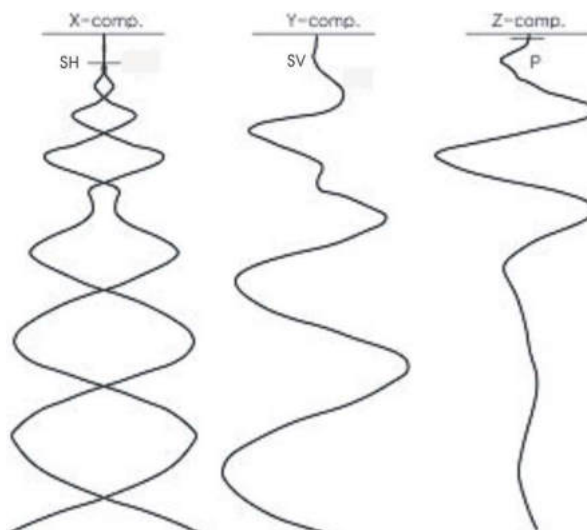
2.6 S파속도의 경험적 추정방법

제 2 장 조사원리 및 방법

2.1 개 요

지반의 동탄성계수(dynamic elastic modulus)는 원위치 시험을 통해 측정된 탄성파속도(V_p 파 및 V_S 파 속도) 및 지층의 단위중량을 통해 얻을 수 있다. 지반의 탄성파 속도를 측정하기 위하여 가장 일반적으로 이용되는 방법 가운데 하나가 시추공을 이용한 하향식 탄성파탐사법이다. 이 방법은 단일 시추공을 사용할 뿐만 아니라 탄성파 발생원이 지표에 위치함으로 인하여 그 장비 및 탐사방법이 비교적 간단하고 시추공 간 탄성파탐사에서는 필수적으로 수행해야 할 시추공의 편향도를 측정하는 공극측정(verticality test)을 필요로 하지 않는다는 장점이 있어 지반공학 분야에서 많이 사용되고 있다.

P파는 전파방향과 진동방향이 서로 평행하게 진행하며 경계면에서 반사·굴절 시 P파 및 변환된 SV파로 된다. 그리고 S파는 전파방향과 진동방향이 서로 직각으로 진행하는 데 그들의 방향이 수평방향으로 직각일 때를 SH파, 수직방향으로 직각일 때를 SV파라고 한다. 이 S파는 경계면에서 반사·굴절할 때 SV파는 SV파와 변환된 P파로 되나 SH파는 경계면에서 변환되지 않고 고유의 성질을 유지하고 있기 때문에 보통 S파 탐사라고 하면 SH파를 이용하는 것이다.



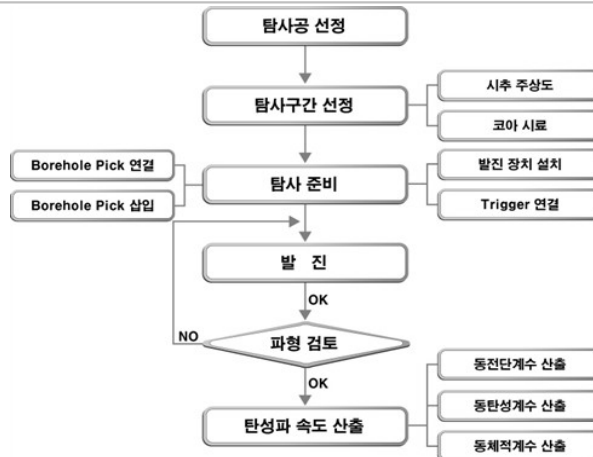
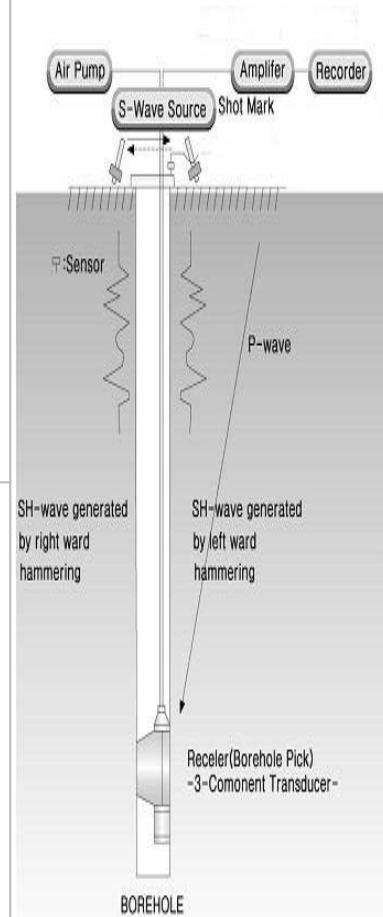
<수진성분별 초동극성변화>

탄성파 P파와 S파의 속도 검층이란 시추공 축을 따라, 탄성파 전파속도를 심도에 따라 연속적으로 측정하는 것으로 VSP(Vertical Seismic Profile)탐사라고 한다. 이를 방법에 따라 분류하면 i)시추공 수진-지표 진원(VSP), ii)시추공 진원-지표 수진(Inverse VSP), iii)시추공 진원-시추공 수진(Dipole sonic Imager)방식 등이 있다. 여기서 i)의 방식은 다운홀 검층(down-hole logging), ii)는 업홀 검층(up-hole logging)이라고도 부른다. 본 조사에서는 i)의 방식으로 시추공 내 3성분 수진기(3-component borehole geophone)를 고정시켜 측정하였다.

2.2 탐사원리 및 방법

하향식 탄성파 탐사의 가장 중요한 목적은 지반의 S파 속도를 측정하는 것이다. S파의 발생원으로 5kg의 sledge해머를 사용하였다. S파의 특성상 주로 낮은 주파수로 발생되고 음원에서 발생하는 주파수는 음원의 면적에 반비례하므로 1m×1m×25cm의 넓은 각목을 plate로 사용하여 약 30Hz의 중심주파수를 갖는 S파를 발생시켰다. 또한 지표와의 coupling을 향상시키기 위해 Plate 상부에 약 30kg의 weight를 설치하여 Plate자체의 무게를 증가시킴으로서 지표면과 Plate를 일체화시킬 수 있었다. 3성분 지오폰은 x,y,z 3방향의 진동을 동시에 측정할 수 있는 장비로 시험심도에 삽입 후 Controller를 이용하여 탄성파 진동방향과 지오폰의 x축 또는 y축 방향을 일치시키고 Air Pump를 이용하여 공벽에 밀착시켰다. 심도가 깊어질수록 지표에서 발생된 파의 감쇠가 심해지기 때문에 최소 20회 이상의 타격으로 신호를 중첩하여 신호의 세기를 강화하였다. 이렇게 좌우 타격법으로 반대의 위상을 갖는 SH파를 중첩시켜 역전되는 시점을 도달시간으로 판독하였다.

하향식탄성파탐사 모식도



<하향식탄성파 탐사 흐름도>

2.3 해석방법

P파의 속도(V_p) 및 S파의 속도(V_s)는 λ 및 G 와 다음식의 관계를 갖는다. (식 2.1, 식 2.2)

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \quad \text{식 2.1}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{식 2.2}$$

여기서 λ 및 G 는 Lamé 상수로 알려져 있으며, 특히 G 는 전단변형(shearing strain)에 저항하는 척도로서 전단계수(shear modulus)또는 강성률(modulus of rigidity)라 한다. 이러한 탄성상수들은 양의 값을 가지므로 P파의 속도는 항상 S파의 속도보다 빠르다.

또한 S파와 P파의 속도의 비는 포아송비(Poisson's ratio, ν)로 표현되는 식2.3과 같은 관계를 가지므로 포아송비가 0.5에서부터 0으로 감소함에 따라 V_s/V_p 는 0에서부터 그의 최대값 $1/\sqrt{2}$ 으로 증가하게 된다. 그러므로 S파의 속도는 항상 0에서부터 P파 속도의 70%범위 내에 놓이게 된다. 유체에서는 G 는 0이므로 S파의 속도는 0이 되고 따라서 S파는 유체에서는 전파되지 않는다.

$$V_s^2 / V_p^2 = (\frac{1}{2} - \nu) / (1 - \nu) \quad \text{식 2.3}$$

따라서 S파 도달주시의 발체 작업은 S파의 속도가 P파 속도의 70%를 넘을 수 없다는 이론적인 사실과 파의 위상변화, 진폭, 주파수성분 등을 고려하여 신중하게 이루어져야 한다.

P파 및 S파 도달시간의 판독이후의 자료처리 과정은 매우 간편하게 이루어지는 바, 각 심도에서 측정된 도달시간 및 주행거리를 이용하여, 각 측정심도간의 구간속도를 결정하게 된다. 최종적으로 동적물성치(동전단계수, 동탄성계수, 동체적계수)는 각 지층의 밀도 값과 하향식 탄성파탐사에서 측정된 P파 및 S파 속도 값들을 이용하여 다음 식들에 의해 계산하게 된다.

- 동전단계수 ; $Gd = \rho \cdot V_s^2$
- 동탄성계수 ; $Ed = 2Gd \cdot (1 + \nu)$
- 동체적계수 ; $Kd = Ed / 3(1 - 2\nu)$

여기서, $\rho = \gamma/g$, $\gamma =$ 단위중량, $g = 9.81m/sec^2$ $\nu =$ 포아송비

상기 산정식을 적용하기 위해서는 탐사 지층에 대한 P파 속도(V_p) 및 S파 속도(V_s)와 함께 기본 물성치로써 단위중량(γ)이 필요하며, 이에 대해 일반적인 토질 및 조성 상태별 단위중량(γ)이 결정되어야 한다. 다음의 표는 문헌에 제시된 암석 및 흙의 단위중량을 나타낸 것이며, 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위를 나타낸 것이다.

| 암 석 | | | |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 종 류 | 단위중량 (tf/m ³) | 종 류 | 단위중량 (tf/m ³) |
| 화강암 | 2.63-2.67 | 사 암 | 2.28-2.66 |
| 섬록암 | 3.02-3.03 | 혈 암 | 2.63-2.67 |
| 반려암 | 3.02-3.05 | 응회암 | 1.6-2.76 |
| 휘록암 | 2.99-3.04 | 석회암 | 2.48-2.71 |
| 안산암 | 2.37 | 대리석 | 2.71-2.76 |
| 현무암 | 2.82 | 백악암 | 2.83-2.87 |
| 편 암 | 2.68-2.7 | | |

Birch, 1966 미국, 캐나다

| 흙 | | | | | |
|----------|--------------------|------------------------------|---------|--------------------------------|------------------------------|
| 종 류 | 상 태 | 단위중량 (tf/m ³) | 종 류 | 상 태 | 단위중량 (tf/m ³) |
| 자갈 | 밀실한 것, 입도가 좋은것 | 2.0 | 점성토 | 굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | 1.8 |
| | 밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것 | 1.8 | | 약간 무른 것(손가락으로 중간정도 힘으로 눌러 들어감) | 1.7 |
| 모래 섞인 자갈 | 밀실한 것 | 2.1 | | 무른 것(손가락으로 눌러 쉽게 들어감) | 1.7 |
| 모래 | 밀실치 않은 것 | 1.9 | 점토 및 실트 | 굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감) | 1.7 |
| | 밀실한 것 입도가 좋은것 | 2.0 | | 약간 무른것(손가락으로 중간정도 힘으로 눌러 들어감) | 1.6 |
| | 밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것 | 1.8 | | 무른 것(손가락으로 눌러 쉽게 들어감) | 1.4 |
| 사질토 | 밀실한 것 | 1.9 | | | |
| | 밀실치 않은 것 | 1.7 | | | |

한국도로공사, 1992, “도로설계요령 제2권 토공 및 배수”

서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위(서울시, 1996)

| 지층명 | 단위중량 (tf/m ³) | 점착력(t/m ²) | 내부마찰각(°) | 변형계수 (× 103kgf/cm ²) | 포와송비 |
|-----|------------------------------|------------------------|----------|-------------------------------------|----------|
| 풍화토 | 1.7~2.0 | 0.0~10.0 | 25~30 | 0.2~0.4 | 0.5 |
| 풍화암 | 2.0~2.2 | 10.0~30.0 | 30~35 | 1.0~2.0 | 0.3~0.4 |
| 연암 | 2.3~2.5 | 30.0~60.0 | 30~40 | 2.0~4.0 | 0.25~0.3 |
| 보통암 | 2.4~2.6 | 60.0~150.0 | 35~40 | 4.0~10.0 | 0.25 |
| 경암 | 2.5~2.7 | 150.0~200.0 | 35~45 | 10.0~40.0 | 0.2 |
| 극경암 | 2.6~2.7 | 200.0~500.0 | 40~45 | 40.0~80.0 | 0.2 |

2.4 토층에서의 탄성파 속도

토층에 있어서의 P파 속도는 함수상태가 가장 큰 변화의 요인이 된다. 예를 들어 P파의 파장이 토립자와 같은 정도의 크기를 가지는 경우에는 인접하는 토립자 사이에 서로 다른 움직임을 해서 물도 그 간섭을 받아 진동하고 간극수가 토립자에 대해 상대적으로 다른 운동을 일으키는 작용을 한다. 그럴지 않은 경우는 토립자와 간극수가 동시에 운동하기 때문에 양자의 상대변위는 일어나지 않는다.

다시 말하면 비배수상태에서 변형이 일어나는 것이 되어 토립자의 변형에 큰 제약이 가해지는 것이 된다. 이것은 물의 압축성이 흙의 압축성에 비해 작으므로 일어나는 것이다. 간극이 물로 포화된 토층에서의 P파 속도는 실제의 속도보다 큰 수중속도에 근접하게 나타나게 된다. 한편 S파 속도는 함수상태에 의해 증감의 영향을 받지 않으므로 지반의 특성을 좀더 정확하게 나타낸다고 알려져 있다. 일반적으로 지반을 구성하는 입자의 크기에 따라 영향을 받으므로 자갈층이 가장 큰 값을 가지며 지반상태가 조밀할수록 큰 값을 보인다. 이처럼 P파 속도는 함수량에 지배되므로 지반의 강도를 명확히 표현하지 못하는 경우가 많으나 이에 비해 S파 속도는 지반의 강도를 잘 반영하고 있으며 표준관입시험에 의한 N치와도 어느 정도의 연관성을 보인다. 경험에 의하면 S_{ilt} 및 점토층에서의 S파 속도는 N치와 상당히 밀접한 상관관계를 보이고 있으며 모래층에서는 약간 불규칙한 분포를 보인다. N치 50 이하의 자갈층에서도 어느 정도의 상관관계를 나타낼 수 있다. 이상에서 기술한 바와 같이 토질의 성상을 정확하게 나타내기 위해서는 S파의 유용성이 주목되어지고 있다.

2.5 암반에서의 탄성파 속도

암반에서의 탄성파 속도는 암석의 동적인 성질에 관한 정보로서 매우 중요하다.

암석의 탄성파 속도에 영향을 미치는 요소로는 다음의 것들이 있다.

- 암석의 종류 : 암석의 성인
- 조직 : 구성물질, 입자크기, 고결정도
- 밀도 : 밀도가 클수록 전파속도가 증가
- 공극률 : 공극률이 크면 전파속도 저하
- 이방성 : 층상암석에서는 층에 평행한 방향의 속도는 수직방향의 속도 보다 크다
- 구속응력 : 암석에 작용하는 구속응력이 증가할수록 속도 증가
- 함수상태 : 공극률이 큰 암석에서의 P파 속도는 함수상태에 따라 변화하나, S파 속도는 거의 영향을 받지 않음
- 온도 : P파 속도는 온도상승과 함께 감소

■ 암반상태에 따른 탄성파 속도

| 연경도 | 관찰상태 | R.Q.D (%) | 탄성파속도 (km/s) | |
|------|--|-----------|--------------|---------|
| | | | V_p | V_s |
| 극경암 | 해머로 때리면 금속음 | 75~100 | 5 < | 2.9 < |
| 경암 | 해머로 때리면 경, 금속음 | 60~90 | 4.8 < | 2.6 < |
| 중경암 | 해머로서 금속음~탁음을 발생. 코어표면 매끄럽고 칼로서 흠낸 굳기 | 25~75 | 4.1~5.0 | 2.0~2.5 |
| 연~경암 | 해머로서 쉽게 파괴되고 탁음 발생. 코어표면 약간 거칠며 손톱으로 흠낸 굳기 | 0~50 | 3.0~4.2 | 1.5~2.1 |
| 연암 | 해머로 쉽게 파쇄. 코어표면 매우 거칠며 손가락으로 눌러 깨지고 찌부러진다. | 0~25 | 2.0~3.3 | 1.0~1.6 |
| 연암 | 해머로 분쇄됨 | 0~10 | 1.5~2.5 | 1.2 > |

2.6 S파 속도의 경험적 추정방법

지반의 탄성파 속도는 지층의 토질 종류 및 조성상태에 따라 다르게 나타나며, 따라서 탄성파 속도와 지반의 조성상태를 나타내는 현장 원위치 시험 결과와 상호 비교·분석하고자 하는 많은 시도가 있어 왔다. 특히 토질조사시 현장의 대표적 원위치 시험방법중 하나인 표준관입시험의 결과와 연계하여 표준관입시험치(N)와 지반의 S파 속도(Vs)와의 상관관계에 대해 많은 연구 분석이 있어 왔으며, 이를 토대로 많은 경험적 산정공식이 현재 제안되고 있다.

이러한 경험식들은 많은 현장 탐사시험 결과를 토대로 회귀 분석식을 통하여 제안된 식으로 다소의 분산은 있으나 실 측정결과를 근거로 제시된 것이라는 점에서 적용에 대한 신뢰성이 높은 것으로 볼 수 있다. 따라서 현장 여건상 탐사 수행이 불가능한 경우라도 가장 일반적으로 수행되고 있는 원위치 시험인 표준관입시험 결과만으로도 신속하게 비교적 신뢰성 있는 지반의 전단파 속도 값을 추정할 수 있을 것이다. 이러한 N치를 이용한 지반 토질별 S파 속도(Vs) 경험식을 정리하면 다음의 표와 같다.

● N치를 이용한 지반 토질별 S파 속도(Vs) 경험식

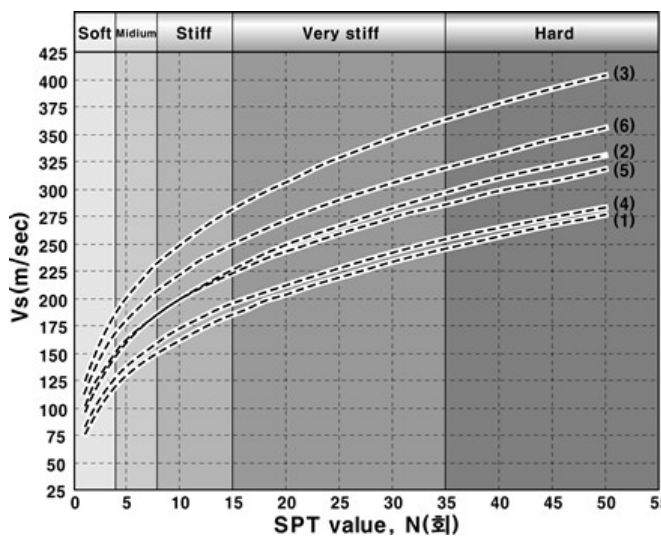
| 제안자 | 토 질 종 류 | |
|-----------------------|--|---|
| | 점성토 | 사질토 |
| Imai, Yoshimura(1970) | $\cdot V_s = 76 \cdot N^{0.33}$ | |
| Ota, Goto(1978) | $\cdot V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D^{0.2} \cdot EF$ D = 심도(m) E = 1.0(충적세) = 1.3(홍적세) F = 1.0 | $\cdot V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D \cdot EF$ D = 심도(m) E = 1.0(충적세), 1.3(홍적세) F = 1.09(세립모래층) = 1.07(중간 모래층) = 1.14(조립질모래층) = 1.15(자갈섞인 모래) = 1.4(모래자갈층) |
| Imai(1982) | $\cdot V_s = 97.0 \cdot N^{0.314}$ | |
| Okamoto(1989) | $\cdot V_s = 125 \cdot N^{0.3}$ | |
| Oba, Toriumi(1990) | $\cdot V_s = 84 \cdot N^{0.31}$ | |
| Imai(1997) | $\cdot V_s = a \cdot N^b$ a = 102, b = 0.29(충적점토) a = 114, b = 0.29(홍적점토) | $\cdot V_s = a \cdot N^b$ a = 81, b = 0.33(충적사) a = 97, b = 0.32(홍적사) |

통상의 토질 조성상태를 구분하는 표준관입시험의 최대 경계 깊이 되는 N치 50회를 기준으로 50회 이하의 토질 지반에 대한 토질 및 조성상태별 일반적인 전단파 속도(Vs) 범위를 이러한 경험적 추정식에 의해 살펴보면 다음과 같다.

점성토 지반의 전단파 속도는 연약 지층(soft, $N < 4$)의 경우 125~190m/sec, 중간 연약(medium soft, $N = 4\sim 8$) 지층의 경우 125~230m/sec, 견고(stiff, $N = 8\sim 15$)한 지층의 경우 150~280m/sec, 매우 견고(very stiff, $N = 15\sim 30$)한 지층의 경우 180~350m/sec, 단단한(hard, $N > 30$) 지층의 경우 최소한 230~350m/sec 이상의 값을 보이고 있다.

사질토 지반의 전단파 속도는 느슨한(loose, $N < 10$) 지층의 경우 160~200m/sec, 중간 조밀한(medium dense, $N = 10\sim 30$) 지층의 경우 160~290m/sec, 조밀한(dense, $N = 30\sim 50$) 지층의 경우 230~340m/sec, 매우 조밀한(very dense, $N > 50$) 조성상태를 갖는 지층의 경우는 최소한 275~340m/sec 이상의 속도 값을 갖는 것으로 나타나고 있다.

● N - Vs 관계도표 (점성토지반)



(1) Imai, Yoshimura(1970) :

$$V_s = 76 \cdot N^{0.33}$$

(2) Imai(1982) :

$$V_s = 97.0 \cdot N^{0.314}$$

(3) Okamoto(1989) :

$$V_s = 125 \cdot N^{0.3}$$

(4) Oba, Toriumi(1990) :

$$V_s = 84 \cdot N^{0.31}$$

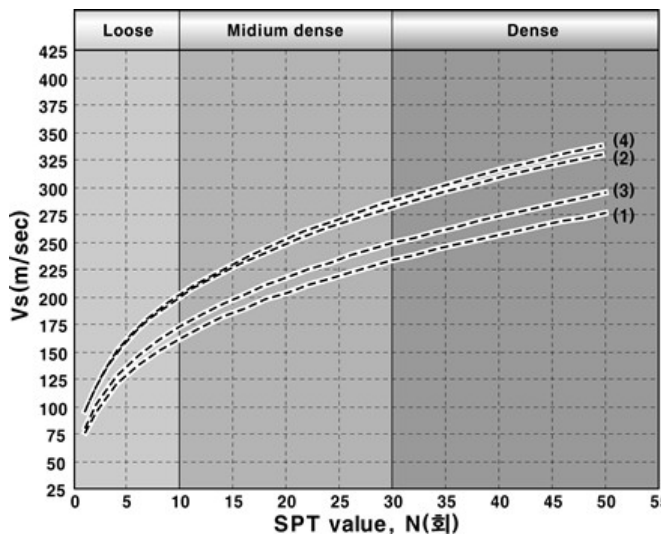
(5) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$

$$a=102, b=0.29(\text{충적점토})$$

(6) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$

$$a=114, b=0.29(\text{홍적점토})$$

● N - Vs 관계도표 (사질토지반)



(1) Imai, Yoshimura(1970) :

$$V_s = 76 \cdot N^{0.33}$$

(2) Imai(1982) :

$$V_s = 97.0 \cdot N^{0.314}$$

(3) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$

$$a= 81, b=0.33(\text{충적사})$$

(4) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$

$$a=114, b=0.29(\text{홍적사})$$

3 조사 결과

3.1 적용단위중량 산정

3.2 시추공별 조사결과

3.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출

3.4 전단파 속도에 의한 지반분류

제 3 장 조사 결과

3.1 적용단위중량 산정

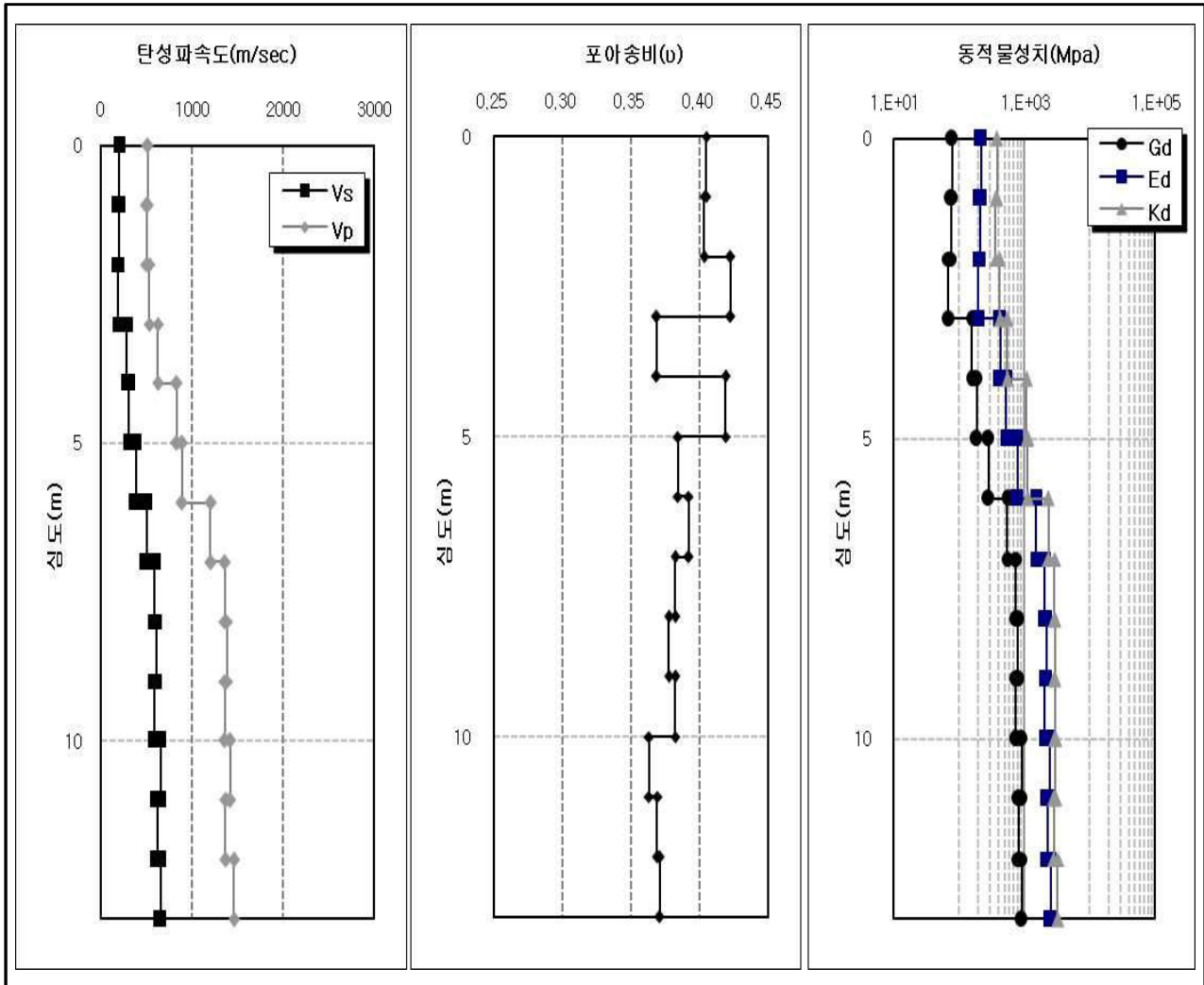
- 동적물성치 산정시 적용 단위중량은 별도의 밀도검층이 수행되지 않았으므로 주상도에 나타난 토질 종류 및 조성 상태를 토대로 문헌자료에 제시된 값을 적용하였다.

| 지 층 | 적용 단위중량 (g/cm^3) |
|-----|----------------------|
| 매립층 | 1.8 |
| 퇴적층 | 1.8 |
| 풍화토 | 1.9 |
| 풍화암 | 2.1 |

3.2 시추공별 조사결과

가. BB-1

| 지층 | 심도 (m) | V_p (m/sec) | V_s (m/sec) | 동적 포아송비 | G_d (Mpa) | K_d (Mpa) | E_d (Mpa) |
|-----|-----------|---------------|---------------|---------|-------------|-------------|-------------|
| 매립층 | 0.0~1.0 | 520 | 208 | 0.405 | 7.79E+01 | 3.83E+02 | 2.19E+02 |
| | 1.0~2.0 | 506 | 204 | 0.403 | 7.49E+01 | 3.61E+02 | 2.10E+02 |
| 퇴적층 | 2.0~3.0 | 534 | 196 | 0.422 | 6.91E+01 | 4.21E+02 | 1.97E+02 |
| 풍화토 | 3.0~4.0 | 631 | 288 | 0.368 | 1.58E+02 | 5.46E+02 | 4.31E+02 |
| | 4.0~5.0 | 836 | 313 | 0.419 | 1.86E+02 | 1.08E+03 | 5.28E+02 |
| | 5.0~6.0 | 891 | 387 | 0.384 | 2.85E+02 | 1.13E+03 | 7.88E+02 |
| 풍화암 | 6.0~7.0 | 1,208 | 509 | 0.392 | 5.44E+02 | 2.34E+03 | 1.52E+03 |
| | 7.0~8.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| | 8.0~9.0 | 1,385 | 615 | 0.377 | 7.94E+02 | 2.97E+03 | 2.19E+03 |
| | 9.0~10.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| | 10.0~11.0 | 1,422 | 660 | 0.363 | 9.15E+02 | 3.03E+03 | 2.49E+03 |
| | 11.0~12.0 | 1,372 | 625 | 0.369 | 8.20E+02 | 2.86E+03 | 2.25E+03 |
| | 12.0~13.0 | 1,462 | 662 | 0.371 | 9.21E+02 | 3.26E+03 | 2.53E+03 |



3.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출

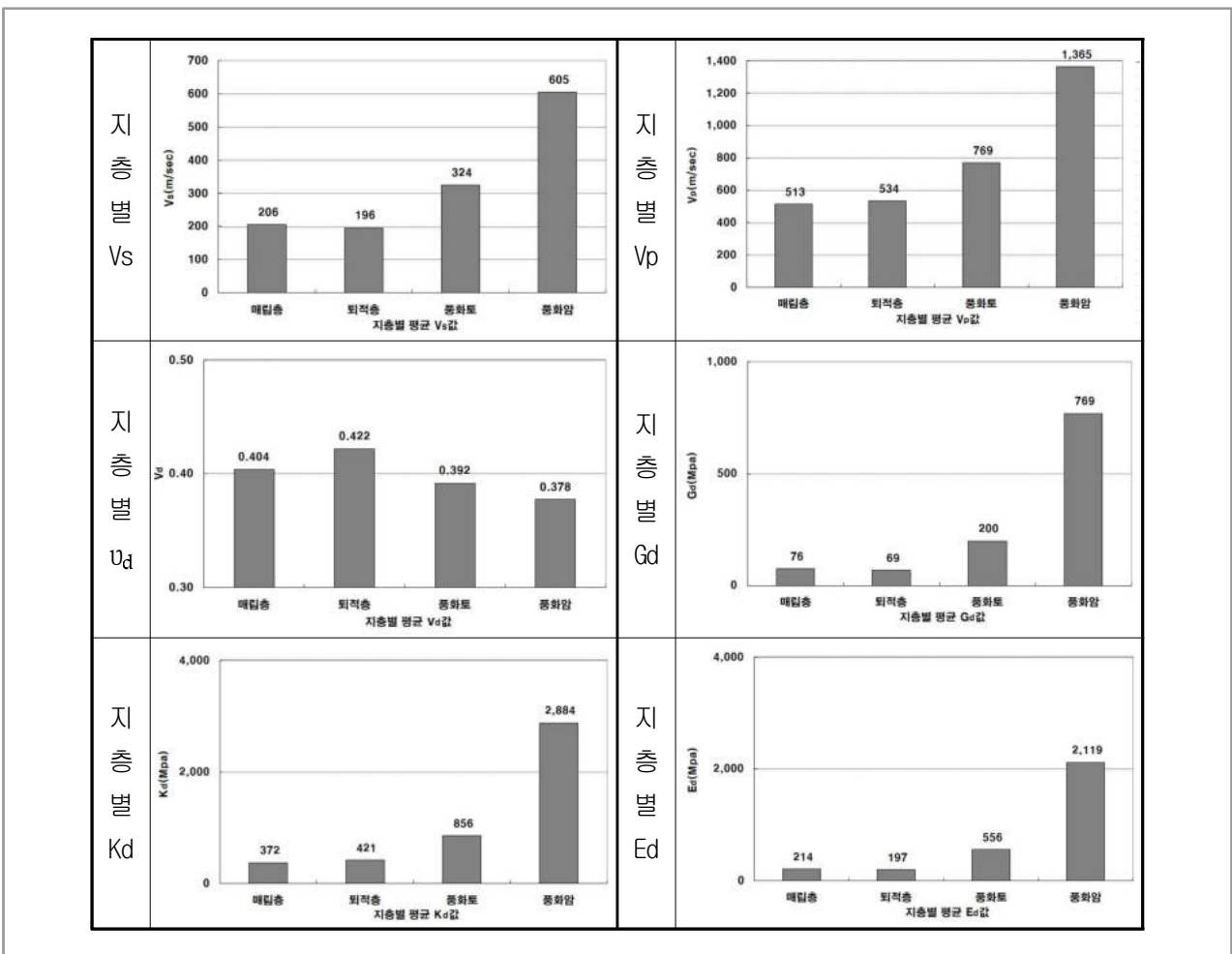
- 측정구간별로 산출된 탄성파속도 및 동적물성치는 시추주상도를 토대로 각 지층별로 구분하여 다음 식을 이용하여 각 지층별 평균 탄성파속도 및 동적물성치를 산정하였다.

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

- d_i = 토층 i 의 두께(m)
 - v_{si} = 토층 i 의 전단파속도(m/sec)

가. BB-1

| 지 층 | Vs (m/sec) | Vp (m/sec) | 동적 포아송비 | Dynamic Parameter | | |
|-----|---------------|---------------|------------|-------------------|-------------|-------------|
| | | | | G_d (Mpa) | K_d (Mpa) | E_d (Mpa) |
| 매립층 | 206 | 513 | 0.404 | 7.64E+01 | 3.72E+02 | 2.14E+02 |
| 퇴적층 | 196 | 534 | 0.422 | 6.91E+01 | 4.21E+02 | 1.97E+02 |
| 풍화토 | 324 | 769 | 0.392 | 2.00E+02 | 8.56E+02 | 5.56E+02 |
| 풍화암 | 605 | 1365 | 0.378 | 7.69E+02 | 2.88E+03 | 2.12E+03 |



3.4 전단파 속도에 의한 지반분류(내진설계기준 KDS 17 00 00. 2024년 제정기준)

지반의 분류

- 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 S1, S2, S3, S4, S5, S6의 6종류로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760m/s 이상인 지층으로 정의한다. (기반암 : 연암층, 퇴적층 또는 토층의 아래에 위치하는 전단파속도가 760m/s 이상인 단단한 암석층)
 - 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다. 이때, 탄성파시험은 시추조사를 바탕으로 가장 불리한 시추공에서 수행하는 것을 원칙으로 한다.
 - 기반암 깊이와 무관하게 토층평균전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5 지반으로 분류한다.
 - 지반종류 S6은 부지 교유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반으로 다음과 같다.
 - ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8 이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반.
 - ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m)
 - ③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수 > 75)
 - ④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)
 - ⑤ 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반
 - 단, 건축물의 특성을 반영하여 아래와 같이 수정하여 적용할 수 있다.
- (1) 기반암깊이가 3m 미만인 경우 S1지반으로 볼 수 있다.
- (2) 기반암의 위치가 기준면으로부터 30m를 초과하는 경우 상부 30m에 대한 평균 전단파속도를 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)로 볼 수 있다.
- (3) 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S5일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S4를 적용할 수 있다.

전단파속도에 의한 지반분류

| 지반 분류 | 지반종류의 호칭 | 평균 지반 특성 | |
|-------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| | | 기반암 깊이, H (m) | 토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/sec) |
| S1 | 암반 지반 | 1 미만 | - |
| S2 | 얕고 단단한 지반 | 1~20 이하 | 260 이상 |
| S3 | 얕고 연약한 지반 | | 260 미만 |
| S4 | 깊고 단단한 지반 | 20 초과 | 180 이상 |
| S5 | 깊고 연약한 지반 | | 180 미만 |
| S6 | 부지 교유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반 | | |

● 평균지반속도 및 지반분류

(1) BB-1

| 공번 | 지반등급산정 전단파속도(<i>m/sec</i>) | 지반분류 | 지반분류의 호칭 |
|------|---------------------------------|------|-----------|
| BB-1 | 365 | S2 | 얇고 단단한 지반 |

부 록

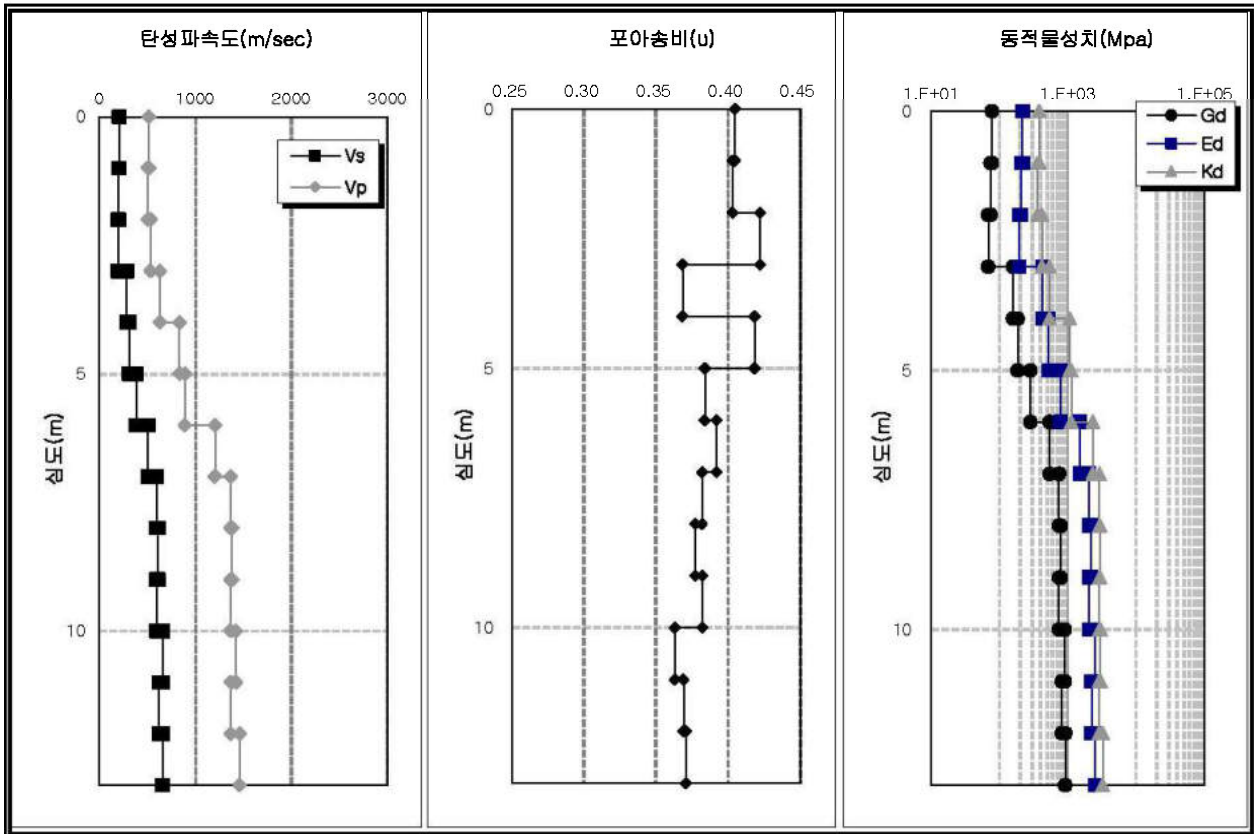
1. 하향식탄성파탐사 Sheet
2. 사진대지

1. 하향식탄성파탐사 Sheet

Down Hole Test

| | | | | | |
|------|-----------------------------------|-----|-------|------|----------|
| 조사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | | |
| 공번 | BB-1 | 시험자 | K.t.h | 발주처 | |
| 시험장비 | Borehole Pick | 검토자 | K.s.j | 시험일자 | 2026. 4. |

| 심도 (GL-m) | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) | 포아송비 | 전단탄성율 (Mpa) | 체적탄성율 (Mpa) | 동탄성계수 (Mpa) |
|--------------|---------------|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|
| 0.0~1.0 | 520 | 208 | 0.405 | 7.79E+01 | 3.83E+02 | 2.19E+02 |
| 1.0~2.0 | 506 | 204 | 0.403 | 7.49E+01 | 3.61E+02 | 2.10E+02 |
| 2.0~3.0 | 534 | 196 | 0.422 | 6.91E+01 | 4.21E+02 | 1.97E+02 |
| 3.0~4.0 | 631 | 288 | 0.368 | 1.58E+02 | 5.46E+02 | 4.31E+02 |
| 4.0~5.0 | 836 | 313 | 0.419 | 1.86E+02 | 1.08E+03 | 5.28E+02 |
| 5.0~6.0 | 891 | 387 | 0.384 | 2.85E+02 | 1.13E+03 | 7.88E+02 |
| 6.0~7.0 | 1,208 | 509 | 0.392 | 5.44E+02 | 2.34E+03 | 1.52E+03 |
| 7.0~8.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| 8.0~9.0 | 1,385 | 615 | 0.377 | 7.94E+02 | 2.97E+03 | 2.19E+03 |
| 9.0~10.0 | 1,366 | 597 | 0.382 | 7.48E+02 | 2.92E+03 | 2.07E+03 |
| 10.0~11.0 | 1,422 | 660 | 0.363 | 9.15E+02 | 3.03E+03 | 2.49E+03 |
| 11.0~12.0 | 1,372 | 625 | 0.369 | 8.20E+02 | 2.86E+03 | 2.25E+03 |
| 12.0~13.0 | 1,462 | 662 | 0.371 | 9.21E+02 | 3.26E+03 | 2.53E+03 |



2. 사진대지

사진대지



| | |
|-----|--------------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙2 공공주택지구 토질조사용역(양정역세권) |
| 공 번 | BB-1 |
| 내 용 | 하향식탄성파탐사 |
| 일 자 | 2026.04 |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 하향식탄성파탐사(BB-1) |

부록 4. 현장투수시험

FIELD PERMEABILITY TEST RESULT

| | | | | | |
|------------|----------------------------------|-----------|------------|-----------------|--------|
| PROJECT | 남양주왕숙지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | | |
| HOLE NO. | RB-3 | DEPTH(m) | 3.0 ~ 4.0m | G.W.L. | 4.3m |
| DATE | 2026. 04. | STRATUM | 풍화토 | CASING Diameter | 7.6cm |
| TESTED BY | | SOIL TYPE | 실트질 모래 | HOLE Diameter | 8.0cm |
| CHECKED BY | | N VALUE | 50/27 | Casing Height | 20.0cm |

| 경과시간 (sec) | 수위 (GL.-cm) | 시간차 (sec) | 수위차 (cm) | Q (cm ³) | H (cm) | Tu (cm) | k (cm/sec) |
|---------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|-----------|------------|---------------|
| 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 320 | 130 | |
| 10 | 13.0 | 10 | 13 | 590 | 307 | 130 | 9.77E-04 |
| 20 | 24.0 | 10 | 11 | 499 | 296 | 130 | 8.60E-04 |
| 30 | 33.0 | 10 | 9 | 408 | 287 | 130 | 7.27E-04 |
| 60 | 47.0 | 30 | 14 | 635 | 273 | 130 | 3.93E-04 |
| 120 | 56.0 | 60 | 9 | 408 | 264 | 130 | 1.32E-04 |
| 180 | 68.0 | 60 | 12 | 544 | 252 | 130 | 1.83E-04 |
| 240 | 79.0 | 60 | 11 | 499 | 241 | 130 | 1.75E-04 |
| 300 | 90.0 | 60 | 11 | 499 | 230 | 130 | 1.83E-04 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

k = 4.54E-04

적용 공식 CASE 4

[정수위 투수시험]

- CASE 1 : $Tu \geq 3L$

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

- CASE 2 : $Tu < L$

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

- CASE 3 : $L \leq Tu < 3L$

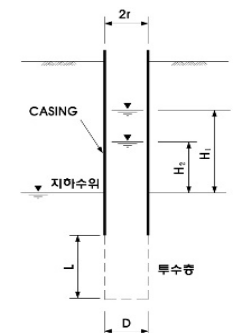
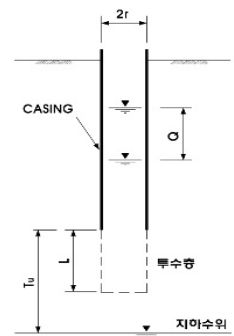
$$k(\text{cm/sec}) = \frac{6.9 Q \log_{10}(L/r)}{\pi L (L + 2Tu)}$$

[변수위 투수시험]

- CASE 4

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

| | |
|---|---|
| Tu : 시험구간에서 지하수위까지 거리(cm) | r : Casing 반경(cm) |
| L : 시험구간(cm) | Q : 주입유량(cm ³ /sec) |
| t ₁ , t ₂ : 경과시간(sec) | H ₁ , H ₂ : 수두차(cm) |



FIELD PERMEABILITY TEST RESULT

| | | | | | |
|------------|----------------------------------|-----------|-------------|-----------------|--------|
| PROJECT | 남양주왕숙지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | | |
| HOLE NO. | RB-3 | DEPTH(m) | 9.0 ~ 10.0m | G.W.L. | 4.3m |
| DATE | 2026. 04. | STRATUM | 풍화암 | CASING Diameter | 7.6cm |
| TESTED BY | | SOIL TYPE | 실트질 모래 | HOLE Diameter | 8.0cm |
| CHECKED BY | | N VALUE | 50/7 | Casing Height | 20.0cm |

| 경과시간 (sec) | 수위 (GL.-cm) | 시간차 (sec) | 수위차 (cm) | Q (cm ³) | H (cm) | Tu (cm) | k (cm/sec) |
|---------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|-----------|------------|---------------|
| 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 450 | -470 | |
| 10 | 4.0 | 10 | 4 | 181 | 446 | -470 | 2.10E-04 |
| 20 | 8.0 | 10 | 4 | 181 | 442 | -470 | 2.12E-04 |
| 30 | 13.0 | 10 | 5 | 227 | 437 | -470 | 2.68E-04 |
| 60 | 21.0 | 30 | 8 | 363 | 429 | -470 | 1.45E-04 |
| 120 | 25.0 | 60 | 4 | 181 | 425 | -470 | 3.68E-05 |
| 180 | 28.0 | 60 | 3 | 136 | 422 | -470 | 2.78E-05 |
| 240 | 31.0 | 60 | 3 | 136 | 419 | -470 | 2.80E-05 |
| 360 | 34.0 | 120 | 3 | 136 | 416 | -470 | 1.41E-05 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

k = 1.18E-04

적용 공식 CASE 4

[정수위 투수시험]

■ CASE 1 : $Tu \geq 3L$

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

■ CASE 2 : $Tu < L$

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

■ CASE 3 : $L \leq Tu < 3L$

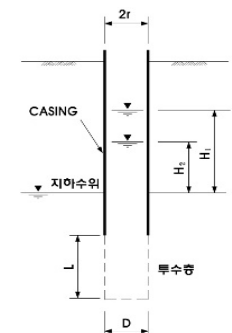
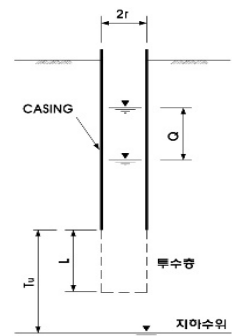
$$k(\text{cm/sec}) = \frac{6.9 Q \log_{10}(L/r)}{\pi L (L + 2Tu)}$$

[변수위 투수시험]

■ CASE 4

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

| | |
|---|---|
| Tu : 시험구간에서 지하수위까지 거리(cm) | r : Casing 반경(cm) |
| L : 시험구간(cm) | Q : 주입유량(cm ³ /sec) |
| t ₁ , t ₂ : 경과시간(sec) | H ₁ , H ₂ : 수두차(cm) |



부록 5. 공내전단시험

공내전단시험(Borehole Shear Test)

| | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------|------------|------|-----------|
| 조사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | | |
| 공번 | RB-3 | 지층(N값) | 풍화토(50/22) | 시험일자 | 2026. 04. |
| 심도 | 6.0 m | 시험자 | J.J.k | 검토자 | K.s.h |

| 수직응력(Kpa) | 전단응력(Kpa) | 보정전단응력(Kpa) |
|-----------|-----------|-------------|
| 30.0 | 40.00 | 40.00 |
| 60.0 | 51.00 | 51.00 |
| 90.0 | 68.00 | 68.00 |
| 120.0 | 86.00 | 86.00 |
| 150.0 | 107.00 | 107.00 |
| | | |
| | | |
| | | |

Initial Normal Gauge = 0

Initial Shear Gauge = 0

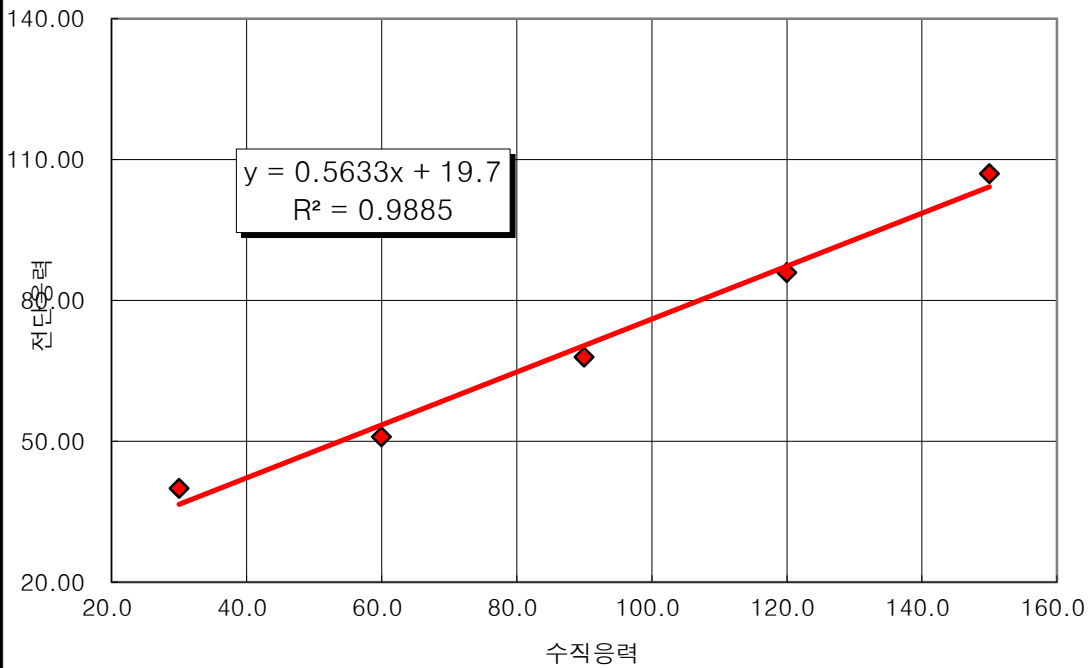
Calibration Factor = 1

[Calibration Factor Use 6.25 for high pressure plates]

Shear Plates: 5.0 in2

Method: Stage

수직-전단응력 곡선



| | | |
|----------|-------|--------|
| 내부마찰각 | 29.39 | degree |
| 점착력 | 19.70 | (Kpa) |
| R Square | 98.85 | % |

| | |
|----|--|
| 비고 | |
|----|--|

공내전단시험(Borehole Shear Test)

| | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------|-----------|------|-----------|
| 조사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | | |
| 공번 | RB-3 | 지층(N값) | 풍화암(50/7) | 시험일자 | 2026. 04. |
| 심도 | 8.0 m | 시험자 | J.J.k | 검토자 | K.s.h |

| 수직응력(Kpa) | 전단응력(Kpa) | 보정전단응력(Kpa) |
|-----------|-----------|-------------|
| 30.0 | 54.00 | 54.00 |
| 60.0 | 71.00 | 71.00 |
| 90.0 | 93.00 | 93.00 |
| 120.0 | 112.00 | 112.00 |
| 150.0 | 130.00 | 130.00 |
| | | |
| | | |
| | | |

Initial Normal Gauge = 0

Initial Shear Gauge = 0

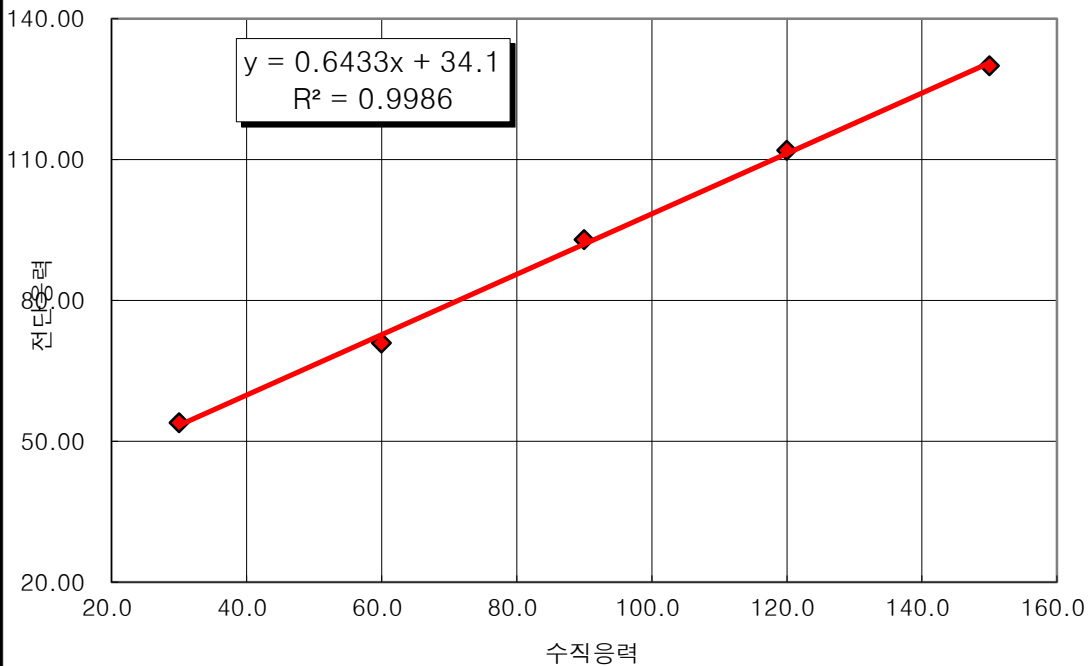
Calibration Factor = 1

[Calibration Factor Use
6.25 for high pressure
plates]

Shear Plates: 5.0 in2

Method: Stage

수직-전단응력 곡선



| | | |
|----------|-------|--------|
| 내부마찰각 | 32.75 | degree |
| 점착력 | 34.10 | (Kpa) |
| R Square | 99.86 | % |

| | |
|----|--|
| 비고 | |
|----|--|

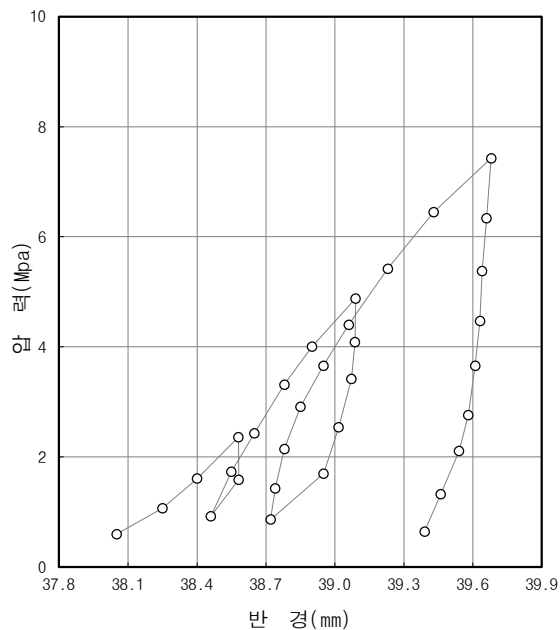
부록 6. 공내재하시험

공내재 하시험 (Pressuremeter Test)

| | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------|-----------|------|-----------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | 암종 | |
| 공 번 | BB-1 | 지층(N값) | 풍화암(50/4) | 시험일자 | 2026. 04. |
| 심 도 | 9.0m | 시험자 | Y.s.j | 검토자 | K.s.h |

| 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 0.60 | 38.05 | 5.42 | 39.23 | | |
| 1.07 | 38.25 | 6.45 | 39.43 | | |
| 1.61 | 38.40 | 7.43 | 39.68 | | |
| 2.36 | 38.58 | 6.34 | 39.66 | | |
| 1.59 | 38.58 | 5.38 | 39.64 | | |
| 0.92 | 38.46 | 4.47 | 39.63 | | |
| 1.73 | 38.55 | 3.66 | 39.61 | | |
| 2.43 | 38.65 | 2.76 | 39.58 | | |
| 3.31 | 38.78 | 2.11 | 39.54 | | |
| 4.01 | 38.90 | 1.32 | 39.46 | | |
| 4.88 | 39.09 | 0.65 | 39.39 | | |
| 4.09 | 39.09 | | | | |
| 3.42 | 39.07 | | | | |
| 2.54 | 39.02 | | | | |
| 1.70 | 38.95 | | | | |
| 0.86 | 38.72 | | | | |
| 1.43 | 38.74 | | | | |
| 2.15 | 38.78 | | | | |
| 2.91 | 38.85 | | | | |
| 3.66 | 38.95 | | | | |
| 4.40 | 39.06 | | | | |

하중강도-변위곡선



산출식 : $E=(1+u) \times R_m \times (\Delta P / \Delta r)$

u: 포와송비

ΔP : 하중강도변화량(Mpa)

R_m : 평균반경(mm)

Δr : 공경변화량(mm)

| 구 분 | 탄성계수 | 변형계수 |
|------------------|-------|-------|
| ro(mm) | 38.55 | 38.25 |
| ry(mm) | 39.09 | 39.68 |
| po(Mpa) | 1.73 | 1.07 |
| py(Mpa) | 4.88 | 7.43 |
| ΔP (Mpa) | 3.15 | 6.36 |
| Δr (mm) | 0.54 | 1.43 |
| R_m (mm) | 38.82 | 38.97 |
| u | 0.35 | 0.35 |

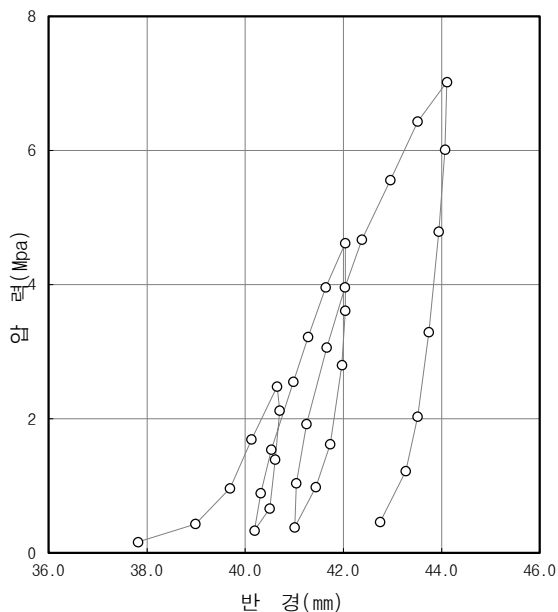
| | | |
|------|----------|-----|
| 탄성계수 | 3.05E+02 | Mpa |
| 변형계수 | 2.34E+02 | Mpa |

공내재 하시험 (Pressuremeter Test)

| | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------|------------|------|-----------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | 암종 | |
| 공 번 | RB-3 | 지층(N값) | 풍화토(50/14) | 시험일자 | 2026. 04. |
| 심 도 | 5.0m | 시험자 | Y.s.j | 검토자 | K.s.h |

| 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 0.16 | 37.82 | 1.92 | 41.25 | | |
| 0.43 | 38.99 | 3.06 | 41.66 | | |
| 0.96 | 39.69 | 3.96 | 42.03 | | |
| 1.69 | 40.13 | 4.67 | 42.38 | | |
| 2.48 | 40.65 | 5.56 | 42.96 | | |
| 2.12 | 40.70 | 6.43 | 43.51 | | |
| 1.39 | 40.61 | 7.02 | 44.11 | | |
| 0.66 | 40.50 | 6.01 | 44.07 | | |
| 0.33 | 40.19 | 4.79 | 43.94 | | |
| 0.89 | 40.32 | 3.29 | 43.74 | | |
| 1.54 | 40.53 | 2.03 | 43.51 | | |
| 2.55 | 40.98 | 1.22 | 43.27 | | |
| 3.22 | 41.28 | 0.46 | 42.75 | | |
| 3.96 | 41.64 | | | | |
| 4.62 | 42.04 | | | | |
| 3.61 | 42.04 | | | | |
| 2.80 | 41.97 | | | | |
| 1.62 | 41.73 | | | | |
| 0.98 | 41.44 | | | | |
| 0.38 | 41.01 | | | | |
| 1.04 | 41.04 | | | | |

하중강도-변위곡선



산출식 : $E=(1+u) \times R_m \times (\Delta P / \Delta r)$

u: 포와송비
 ΔP : 하중강도변화량(Mpa)
 R_m : 평균반경(mm)
 Δr : 공경변화량(mm)

| 구 분 | 탄성계수 | 변형계수 |
|------------------|-------|-------|
| ro(mm) | 41.25 | 38.99 |
| ry(mm) | 42.96 | 43.51 |
| po(Mpa) | 1.92 | 0.43 |
| py(Mpa) | 5.56 | 6.43 |
| ΔP (Mpa) | 3.64 | 6.00 |
| Δr (mm) | 1.71 | 4.52 |
| R_m (mm) | 42.11 | 41.25 |
| u | 0.40 | 0.40 |

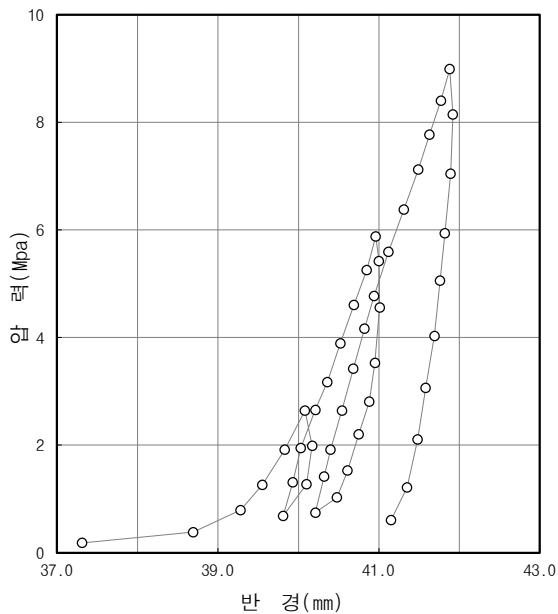
| | | |
|------|----------|-----|
| 탄성계수 | 1.25E+02 | Mpa |
| 변형계수 | 7.67E+01 | Mpa |

공내재하시험(Pressuremeter Test)

| | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------|-----------|------|-----------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) | | | 암종 | |
| 공 번 | RB-3 | 지층(N값) | 풍화암(50/7) | 시험일자 | 2026. 04. |
| 심 도 | 9.0m | 시험자 | Y.s.j | 검토자 | K.s.h |

| 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) | 압력(Mpa) | 반경(mm) |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 0.19 | 37.31 | 2.21 | 40.75 | 3.07 | 41.58 |
| 0.38 | 38.69 | 1.53 | 40.61 | 2.11 | 41.48 |
| 0.79 | 39.28 | 1.03 | 40.48 | 1.22 | 41.35 |
| 1.26 | 39.55 | 0.74 | 40.21 | 0.61 | 41.15 |
| 1.92 | 39.83 | 1.42 | 40.32 | | |
| 2.65 | 40.08 | 1.92 | 40.40 | | |
| 1.99 | 40.17 | 2.65 | 40.54 | | |
| 1.27 | 40.10 | 3.42 | 40.68 | | |
| 0.69 | 39.81 | 4.17 | 40.82 | | |
| 1.31 | 39.93 | 4.77 | 40.94 | | |
| 1.95 | 40.03 | 5.60 | 41.12 | | |
| 2.66 | 40.21 | 6.38 | 41.31 | | |
| 3.18 | 40.36 | 7.12 | 41.49 | | |
| 3.89 | 40.52 | 7.77 | 41.63 | | |
| 4.61 | 40.69 | 8.40 | 41.77 | | |
| 5.25 | 40.85 | 8.99 | 41.88 | | |
| 5.88 | 40.96 | 8.14 | 41.92 | | |
| 5.42 | 41.00 | 7.05 | 41.89 | | |
| 4.56 | 41.01 | 5.94 | 41.82 | | |
| 3.53 | 40.95 | 5.06 | 41.76 | | |
| 2.81 | 40.88 | 4.03 | 41.69 | | |

하중강도-변위곡선



산출식 : $E=(1+u) \times Rm \times (\Delta P / \Delta r)$

u: 포와송비

ΔP : 하중강도변화량(Mpa)

Rm: 평균반경(mm)

Δr : 공경변화량(mm)

| 구 분 | 탄성계수 | 변형계수 |
|------------------|-------|-------|
| ro(mm) | 39.93 | 39.28 |
| ry(mm) | 40.96 | 41.88 |
| po(Mpa) | 1.31 | 0.79 |
| py(Mpa) | 5.88 | 8.99 |
| ΔP (Mpa) | 4.57 | 8.19 |
| Δr (mm) | 1.03 | 2.60 |
| Rm(mm) | 40.45 | 40.58 |
| u | 0.35 | 0.35 |

| | | |
|------|----------|-----|
| 탄성계수 | 2.42E+02 | Mpa |
| 변형계수 | 1.73E+02 | Mpa |

부록 7. 순간충격시험

남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역
(왕 숙 2 ~ 양 정 역 세 권 연 결 로)
순간충격시험 보고서

2026. 5.

목 차

제 1 장 조사개요

| | |
|------------------|---|
| 1.1 조사 개요 | 1 |
| 1.1.1 조사목적 | 1 |
| 1.1.2 조사범위 | 1 |
| 1.1.3 조사기간 | 1 |
| 1.1.4 조사장비 | 1 |

제 2 장 조사방법

| | |
|--|---|
| 2.1 순간충격시험 | 2 |
| 2.1.4 Slug test를 위한 Bouwer-Rice 해법 | 2 |
| 2.1.5 Slug test를 위한 Hvorslev 해법 | 3 |
| 2.2 시험방법 | 3 |

제 3 장 조사결과

| | |
|----------------------|---|
| 3.1 조사결과 | 4 |
| 3.1.1 순간충격시험결과 | 4 |

부 록

사진대지

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사개요

- 1.1.1 조사목적
- 1.1.2 조사범위
- 1.1.3 조사기간
- 1.1.4 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사 목적

본 시험은 “남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로)”중 정확한 수리상수를 산출하기 위하여 현장에서 굴착된 시험정을 이용하여 순간충격시험을 실시하였다. 이 시험은 준공 및 시공 중 발생할 수 있는 지하수의 수위의 변화를 예측하는 기초 자료로 이용된다. 또한 조사지역의 각종 설계 및 시공을 보다 경제적이고, 안전하게 수행하는데 필요한 정확한 현장자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 조사 범위

본 조사에서 수행된 시험수량은 <표 1-1>과 같다.

| 구 분 | 공 번 | 시추심도(m) | 시추공경(mm) | 비 고 |
|--------|------|---------|----------|-----|
| 순간충격시험 | RB-3 | 10.0 | 76 | |

<표 1-1> 조사 범위

1.3 조사 기간

- 현장 조사 및 시험 : 2026. 5.
- 성과분석 및 보고서 작성 : 2026. 5.

1.4 조사 장비

본 조사에 사용된 주요장비는 <표 1-2>와 같다.

| 구 분 | 제조사 | 수 량 |
|------------------------------|-------------------------|-----|
| Pentium-IV Note-Book Compute | Samsung | 1 |
| Sony Digital Camera | Samsung | 1 |
| CTD-Diver(수위측정기) | Eijkelpamp, Netherlands | 1 |
| Stop-watch | - | 1 |

<표 1-2> 조사 장비

제2장 조사원리 및 방법

2.1 순간충격시험

2.1.1 Slug test를 위한 Bouwer-Rice 해법

2.1.2 Slug test를 위한 Hvorslev 해법

2.2 시험방법

제 2 장 조사원리 및 방법

본 시험분석의 자료는 Aquifer test V3.5 전산 Code를 사용하여 분석하였다. 이들 분석 방법의 이론적인 배경을 간단히 요약하면 다음과 같다.

2.1 순간충격시험(SLUG-TEST)

2.1.1 자유면대수층에서 Slug test를 위한 Bouwer-Rice 해법

Bouwer-Rice (1976)는 자유면 대수층에서 관정으로부터 일시적으로 물을 주입 또는 추출함으로 인해 생기는 수위변화를 나타내는 경험적인 관계식을 발달시켰다.

$$\ln(S_o) - \ln(S_t) = \frac{2KLt}{r_{ce}^2 \ln(r_e/r_{we})}$$

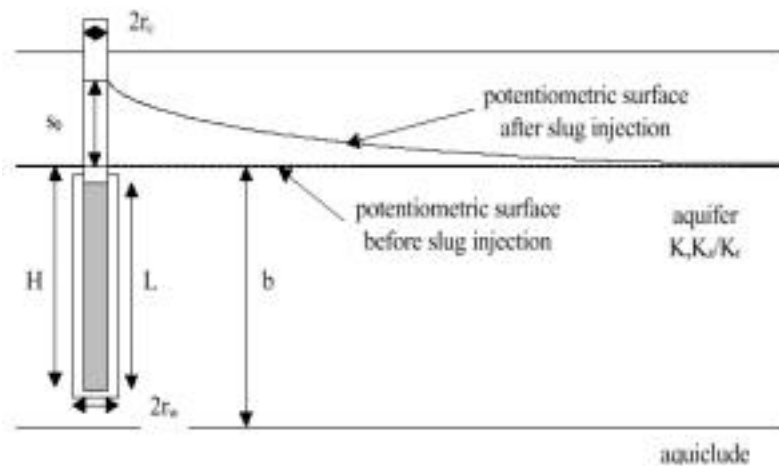
$$r_{ce} = \sqrt{r_c^2 + n(r_w^2 - r_c^2)} \quad ; \quad r_{we} = r_w \sqrt{\frac{K_z}{K_r}}$$

r_{ce} : 우물 케이싱의 반경 (m, cm)

r_{we} : 자갈로 충전된 부분의 반경 (m, cm)

r_e : 수두가 감소되는 유효반경의 거리 (m, cm)

L : 물이 들어갈 수 있는 우물의 나공 부분이나 스크린의 길이 (m, cm)



<그림 2-1> Bouwer-Rice 해법에 의한 자유면 대수층에서 Slug test 분석

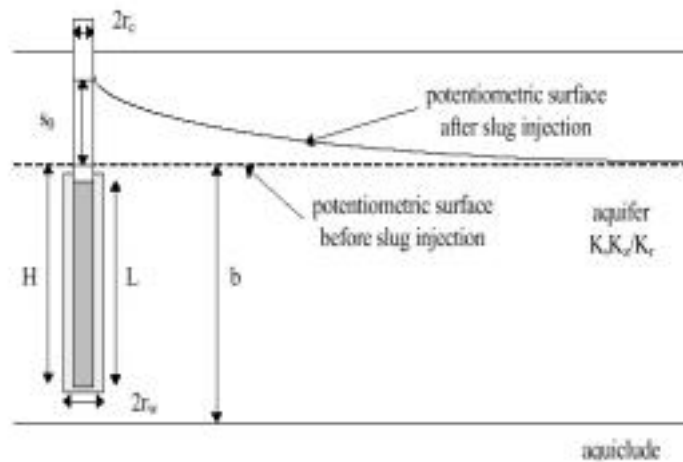
2.1.2 자유면대수층에서 Slug test를 위한 Hvorslev 해법

Hvorslev (1951)는 자유면 대수층에서 관정으로부터 일시적으로 물을 주입 또는 추출함으로 인해 생기는 수위변화를 나타내는 경험적인 관계식을 발달시켰다.

$$\ln(S_o) - \ln(S_t) = \frac{2KLt}{r_{ce}^2 \ln(L/2r_{we} + \sqrt{1 + (L/2r_{we})^2})}$$

$$r_{ce} = \sqrt{r_c^2 + n(r_w^2 - r_c^2)}$$

$$r_{we} = r_w \sqrt{\frac{K_z}{K_r}}$$



<그림 22> Hvorslev 해법에 의한 자유면 대수층에서 Slug test 분석

Hvorslev(1951)의 해법은 자유면 대수층이 수평과 수직으로 무한히 펼쳐져 있다고 가정하기 때문에 대수층의 두께를 알고 있는 경우엔 Bouwer-Rice 의 해법이 더 적당할 수 있다.

2.2 시험 방법

본 조사지역에 개발된 시험공의 대수층 수리상수를 구하기 위하여 각 시험정 별로 순간충격시험을 실시하는 방법으로 수행하였다.

순간충격시험은 순간적으로 지하수위에 변화를 일으켜 발생하는 수위의 상승이 초기 자연수위로 돌아가는 시점까지의 수위변화를 측정한다.

금회 사용된 자동 수위측정기(CTD-Diver)는 수압의 변화에 의해 수위의 변화를 측정하는 장비이다.

제3장 조사 결과

3.1 조사 결과

3.1.1 순간충격시험 결과

제 3 장 조 사 결 과

3.1 조사결과

시험장에서 순간충격시험에 의한 수위변화 자료를 이용하여 시간·수위변화량곡선을 작성하여 합성분석을 실시하였다. 분석에 사용된 공식은 Bouwer-rice법, Hvorslev법을 이용하였다. 이 결과는 <표 3-1>에 정리하였으며 <그림 3-1>에 도시하였다.

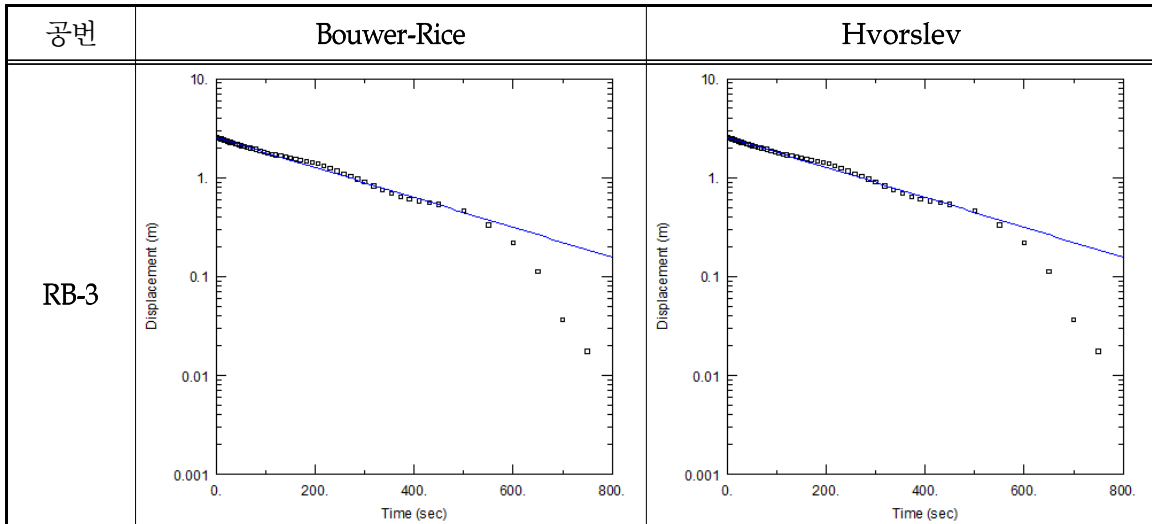
<표 3-1> 시험정 개요

| 구분 | 정 호 개 요 | | | | 초기수위 (GL,-m) | 시험방법 |
|------|---------|-------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | 구경(mm) | 심도(m) | Casing 심도(m) | 대수층 두께(m) | | |
| RB-3 | 76 | 58.0 | 0.0 | 43.7 | 14.3 | Slug test |

3.1.1 순간 충격시험 결과

<표 3-2> 순간 충격시험 결과 (RB-3)

| 공번 | 대 수 성 상 수 | | | |
|------|-----------|-------------|-------------------------|--------|
| | 분석 방법 | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) | |
| RB-3 | Slug Test | Bouwer-rice | 1.710E-04 | 0.0975 |
| | | Hvorslev | 2.522E-04 | 0.1438 |



부 록

사진대지

사 진 대 지



| | |
|-------|--------------------|
| 공 사 명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공 번 | RB-03 |
| 공 종 | 순간충격시험 |
| 일 자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 순간충격시험(RB-3) |



| | |
|-------|--------------------|
| 공 사 명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공 번 | RB-03 |
| 공 종 | 순간충격시험 |
| 일 자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 순간충격시험(RB-3) |

부록 8. 양수시험

남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역
(왕 숙 2 ~ 양 정 역 세 권 연 결 로)
양 수 시 험 보 고 서

2026. 5.

목 차

제 1 장 조사개요

| | |
|------------------|---|
| 1.1 조사 개요 | 1 |
| 1.1.1 조사목적 | 1 |
| 1.1.2 조사범위 | 1 |
| 1.1.3 조사기간 | 1 |
| 1.1.4 조사장비 | 1 |

제 2 장 조사방법

| | |
|-----------------------|---|
| 2.1 단공양수시험 | 2 |
| 2.1.1 Pump Test | 2 |
| 2.1.2 수위회복시험 | 2 |
| 2.2 시험방법 | 5 |

제 3 장 조사결과

| | |
|--|---|
| 3.1 조사결과 | 6 |
| 3.1.1 양수 및 회복시험 결과 | 6 |
| 3.1.2 우물유효반경 산정 | 7 |
| 3.1.3 우물유효반경을 적용한 보정결과 | 7 |
| 3.1.4 영향반경(Radius of Influence) 산정 | 8 |

부 록

사진대지

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사개요

- 1.1.1 조사목적
- 1.1.2 조사범위
- 1.1.3 조사기간
- 1.1.4 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사 목적

본 시험은 “남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로)” 중 정확한 수리상수를 산출하기 위하여 현장에서 굴착된 시험정을 이용하여 단공양수시험을 실시하였다. 이 시험은 준공 및 시공 중 발생할 수 있는 지하수의 수위 및 유동의 변화를 예측하는 기초 자료로 이용된다. 또한 조사지역의 각종 설계 및 시공을 보다 경제적이고, 안전하게 수행하는데 필요한 정확한 현장자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 조사 범위

본 조사에서 수행된 시험수량은 <표 1-1>과 같다.

| 구 분 | 공 번 | 시추심도(m) | 시추공경(mm) | 비 고 |
|----------|------|---------|----------|-----|
| 양수, 회복시험 | RB-3 | 10.0 | 76 | |

<표 1-1> 조사 범위

1.3 조사 기간

- 현장 조사 및 시험 : 2026. 5.
- 성과분석 및 보고서 작성 : 2026. 5.

1.4 조사 장비

본 조사에 사용된 주요장비는 <표 1-2>와 같다.

| 구 분 | 제조사 | 수 량 |
|------------------------------|----------------------|-----|
| Pentium-IV Note-Book Compute | Samsung | 1 |
| Sony Digital Camera | Samsung | 1 |
| CTD-Diver(수위측정기) | Eijkelp, Netherlands | 1 |
| 수중모터 | Grundfos 3-55 | 1 |
| 발전기(2.0KW) | Honda | 1 |

<표 1-2> 조사 장비

제2장 조사원리 및 방법

2.1 단공양수시험

2.1.1 Pump Test

2.1.2 수위회복시험

2.2 시험방법

제 2 장 단공양수시험

본 시험분석의 자료는 Aquifer test V3.5 전산 Code를 사용하여 분석하였으며, 이들 분석방법의 이론적인 배경을 간단히 요약하면 다음과 같다.

2.1 단공양수시험

2.1.1 Pumping test

지하의 물은 암석이나 토양에 발달되어 있는 공극에 포화되어 있으므로 이 공극의 성질 특히 수리적 성질에 따라 물이 이동이나 투수능력이 결정된다. 수리적 성질에는 투수량계수(T)와 저류계수(S) 등이 있으며 이들은 어떤 지층(대수층)의 상수로 거의 일정한 고유의 값이 된다. 이들 두 상수가 알려지면 지구 내에서의 지하수에 대한 양적 평가가 가능하다.

수리상수는 지역 및 심도에 따라 변화한다. 특히 화강암이나 기타 기반암 등에서는 변화가 심하기 때문에 여러 곳에서의 상수를 구하여 전체를 평가하지 않으면 안된다. 수리상수의 산출은 채수상시험을 통하여 이루어지는데 양수공에서 장기간에 걸쳐 양수를 계속하였을 때 일정한 거리에 있는 가상의 관측공에서의 시간에 대한 수위강하를 측정하여 계산하게 된다. 이때 양수량은 일정하게 유지시키고 양수할 때 관측공의 수위강하는 처음에는 그 폭이 크나 시간이 지남에 따라 점점 작아지고, 또한 양수량이 많으면 수위강하 폭도 커진다. 채수상시험을 통한 투수계수와 투수량계수의 계산공식은 평형공식과 비평형공식의 두가지가 있는데 일반적으로 평형공식을 이용한다.

Theim의 평형식은

$$K = \frac{2.3Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \log \frac{y_2}{y_1} \text{ 이다.}$$

한편 Jacob(1963)은 상기 식을 변형하여 단공양수시험시 대수층의 포화두께 감소에 따른 관측 수위강하를 보정하여 두께가 얇은 자유면 대수층의 투수량계수를 구하는 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$T = \frac{2.3Q \log \frac{y_2}{y_1}}{2\pi[(s_2 - s_2^2/2b) - (s_1 - s_1^2/2b)]}$$

상기 식에서 b 는 대수층의 두께이며, $(s_1 - s_1^2/2b)$, $(s_2 - s_2^2/2b)$ 를 박층의 자유면 대수층에 대한 관측수위강하 보정치라 한다.

Theis의 비평형식은 다음과 같다.

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{y^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 T t u}{y^2}$$

$W(u) = \int_u^\infty \left(\frac{e^{-u}}{u}\right) du$ 로서 $W(u)$ 를 well function이라고 한다.

여기서 Q : 양수량(m³/sec)

y : 양수공에서 각 관측용 우물까지의 거리(m)

S : 저류계수(자유면 지하수에서는 유효간극율과 같고 피압면 지하수에서는 압축계수와 같음)

T : 투수량계수(대수층의 두께에 투수계수를 곱한 값, m³/sec)

t : 시간, s : 각 관측공에서의 수위강하량(m)

이 식은 T 와 S 에 관하여 직접 풀 수는 없지만 Theis가 마련한 도식법으로 풀 수 있다. u 의 함수 $W(u)$ 는 우물함수라 부르며 모든 (u)에 대하여 계산되어 있다. 실제 작업은 측정된 시간 (t)과 수위강하 (s) 값을 양대수 방안지에 표시하여 표준곡선에 맞추어 계산하게 된다. 또한 Jacob의 근사식과 편대식 방안지에 s 와 t 를 표시하여 직선 식으로 상수를 구할 수 있다.

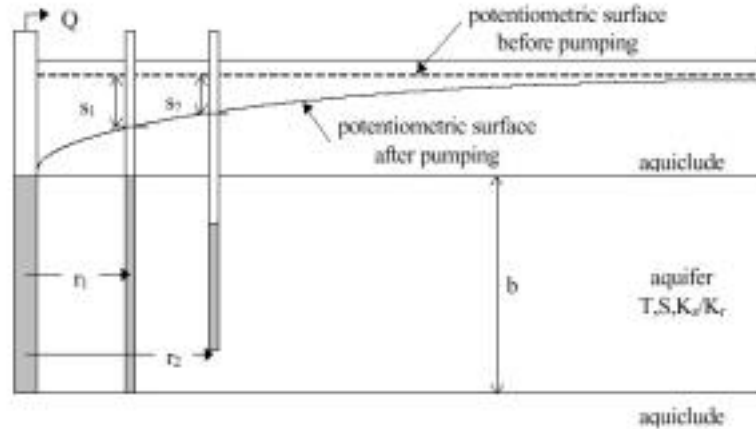
Theis식은 광의로는 평형의 상태까지를 포함하므로 오늘날 Theis의 비평형식 중에서 u 의 값이 충분히 적은 $u \leq 0.01$ 일 경우에 Theis의 무한급수에서 제2항까지만 취한 것으로

$$\begin{aligned} T &= \frac{Q}{4\pi s} (-0.577216 - \ln u) \\ &= \frac{2.3Q}{4\pi s} \left(\log \frac{2.25 T t}{y^2 S} \right) = \frac{2.3Q}{4\pi s} \left(\log \frac{2.25 T}{S} + \log \frac{t}{y^2} \right) \text{이다.} \end{aligned}$$

상기 식에서 $\log \frac{2.25 T}{S}$ 와 $\log \frac{1}{y^2}$ 은 일정한 값이 되므로

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}, \quad S = \frac{2.25 T t}{y^2} \text{이다.}$$

T 는 s (수위강하량)와 t (양수시간)의 함수가 된다. 시간별 수위강하량을 이용하여 반대수 방안에 T - D curve를 작성하여 직선해법으로 T 와 S 를 구하게 된다.



<그림 2-1> 자유면 대수층에서 양수시험에 의한 지하수면의 변화

2.1.2 수위회복시험(Recovery Test)

회복시험(Recovery test)법은 채수상시험 정지시점으로부터 양수정에서 경과시간별 회복수위를 관측한 결과를 이용하여 대수층 수리상수인 투수량계수를 산출한다.

특히, 시간-회복수위법은 채수상시험에서 취득한 결과와 비교검토하여 합성분석할 수 있으며, 또한 더욱 합리적인 투수량계수 값도 얻을 수 있다.

Theis(1935)는 회복시험에서 취득한 경과시간별 수위변화 자료들로 부터 투수량계수를 결정하는 보정법을 다음과 같이 일반화 하였다.

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

여기서 s : 잔류수위강하량(m)

Q : 채수량 ($m^3 \text{ min}^{-1}$)

T : 투수량계수 ($m^2 \text{ min}^{-1}$)

t : 양수경과후 경과시간(min)

t' : 양수종료후 경과시간(min)

S : 채수상과 회복상의 저류계수의 비

위 식으로부터 반대수방안지상에 s 값은 산술논금의 가로축에, $\frac{t}{t'}$ 값은 대수논금인 횡축에 도시하였을 때, 그 직선상에서 투수량계수가 산출된다.

2.2 시험 방법

본 조사지역에 개발된 시험공의 대수층 수리상수를 구하기 위하여 각 시험정 별로 장기 단공양수시험 후 즉시 수위회복시험을 실시하는 방법으로 수행하였다.

단공양수시험 시 양수량은 안정수위가 형성될 때까지 일정하게 유지하였으며 양수량은 초시계를 이용·측정하였고, 수위 강하량과 수위 회복량은 시험공과 관측공 내에 설치한 자동 수위계(CTD-Diver)를 사용하여 측정하였다.

단공양수시험은 시험정 양수량을 일정하게 유지하여 수위강하를 측정하였다. 일정율의 채수율을 유지하며 안정수위 도달시 까지 실시하고, 양수 중지 즉시수위회복시험을 연속적으로 실시하였다.

장기 단공양수시험시의 양수량은 개별정호에서의 단계 단공양수시험에서 산정된 적정 양수량으로 양수하는 것이 바람직하나 연속적인 작업으로 인한 적정 양수량의 미산정에 있어, 장기 단공양수시험 중에는 양수량 변화를 최소화하는 것이 원칙이므로, 단계시험으로 산정된 적정 양수량보다 장기 양수량이 많을 경우가 흔하다. 그러나 이는 지하수계에서 단기간의 양수일때이고, 장기간에 걸친 양수 시 주위에 영향을 주는 범위를 계산하는 영향분석에서는 적정 양수량을 분석에 사용하였다.

금회 사용된 자동 수위측정기(CTD-Diver)는 수압의 변화에 의해 수위의 변화를 측정하는 장비이다.

제3장 조사 결과

3.1 조사 결과

- 3.1.1 양수 및 회복시험 결과
- 3.1.2 유효우물반경 산정
- 3.1.3 우물유효반경을 적용한 보정결과
- 3.1.4 영향반경(Radius of Influence) 산정

제 3 장 조 사 결 과

3.1 조사결과

시험정에서 채수상과 회복상에 의한 수위변화 자료를 이용하여 시간·수위변화량곡선을 작성하여 합성분석을 실시하였다. 분석에 사용된 공식은 양수정의 경우 Theis법, Cooper & Jacob법을 이용하였고 회복시험의 경우 Theis recovery식을 이용하였다. 이 결과는 <표 3-1~3>에 정리하였으며 <그림 3-1~2>에 도시하였다.

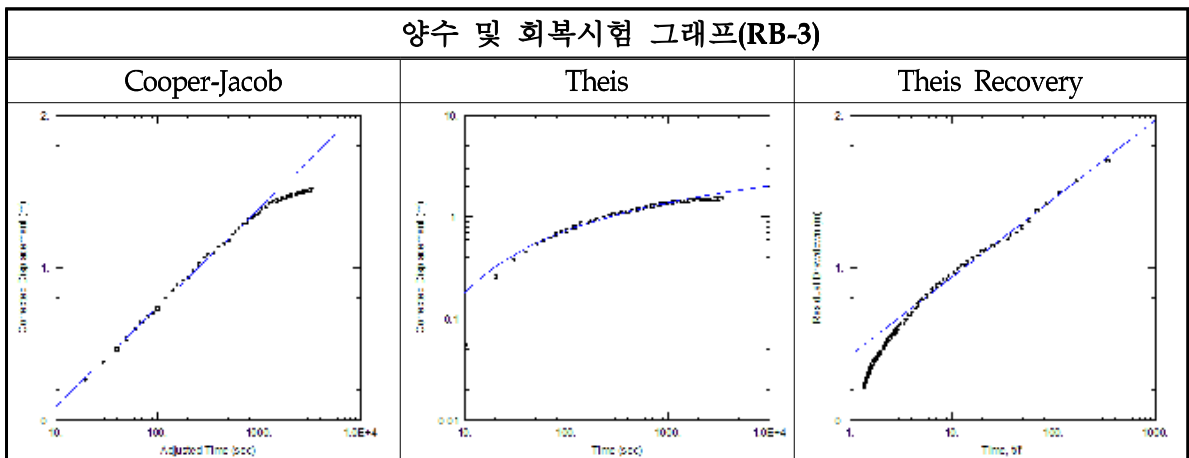
<표 3-1> 시험정 개요

| 구분 | 정 호 개 요 | | | | | | 초기수위 (GL,-m) | 시험방법 |
|------|------------|-----------|-----------------|--------------|----------------|--------------|-----------------|----------|
| | 구경 (mm) | 심도 (m) | Casing 심도(m) | 대수층 두께(m) | 양수량 (t/day) | 수위 강하량(m) | | |
| RB-3 | 76 | 10.0 | 0.0 | 5.7 | 5.04 | 1.7959 | 4.3 | 양수, 회복시험 |

3.1.1 양수 및 회복시험 결과

<표 3-2> 양수 및 회복시험 결과

| 공변 | 대 수 성 상 수 | | | | |
|------|-----------|----------------|--------|-----------|-------------------------|
| | 분석 방법 | | S | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) |
| RB-3 | 양수시험 | Cooper-Jacob | 0.1857 | 2.896E-04 | 0.1651 |
| | | Theis | 0.2023 | 2.865E-04 | 0.1633 |
| | 회복시험 | Theis Recovery | - | 3.644E-04 | 0.2077 |



3.1.2 우물유효반경 산정

양수시험시 단공양수(관측공 없음)시험을 시행하는 경우 일반적으로 저류계수가 실제보다 크게 산정된다. 실제보다 큰 저류계수를 적용하여 영향반경을 산정할 경우 영향반경은 실제보다 협소하게 계산되므로 인근의 영향분석에 중요한 오류를 가져온다.

이를 보정하려면 유효우물반경을 계산하여 이를 가상의 관측정 거리로 입력하는 방법으로 시간-수위강하량 자료를 해석하여야 한다(최병수, 한국지하수토양환경학회지 Vol. 13, 2008년).

$$\text{유효우물반경 } r_e = r_w \sqrt{S_p/S_a}$$

여기서, r_w : 우물반경

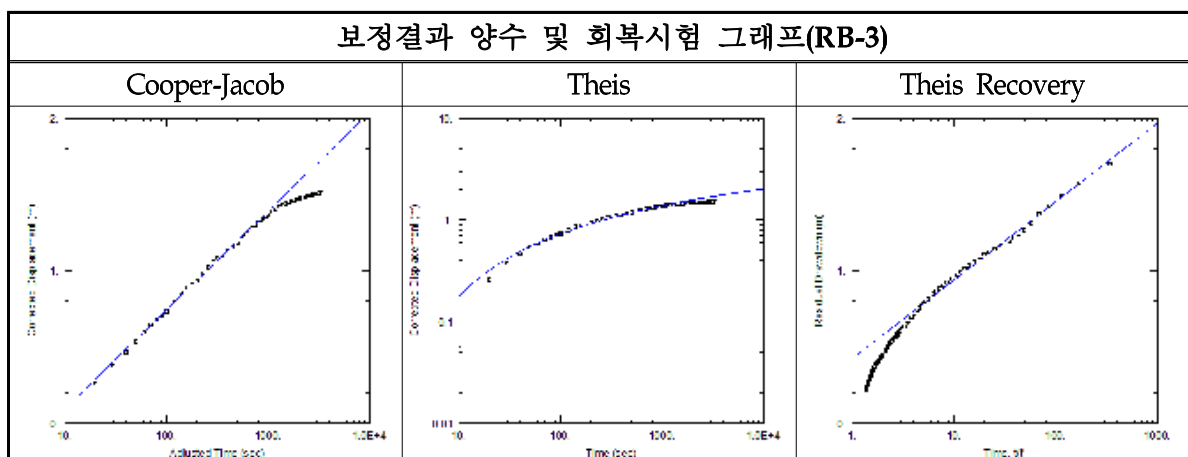
S_p : 양수시험 수위자료에 의한 저류계수

S_a : 대수층 상태별 추정저류계수(누수대수층: 0.005, 피압대수층: 0.0005)

3.1.3 우물유효반경을 적용한 보정결과

<표 3-3> 양수 및 회복시험 보정 결과

| 공번 | 대수성상수 | | | | | |
|------|-------|-----------------|------------|-----------|-------------------------|--------|
| | 분석 방법 | r_e 유효우물반경 | S (보정치) | K(cm/sec) | T(cm ² /sec) | |
| RB-3 | 양수시험 | Cooper-Jacob | 0.229 | 0.005043 | 2.896E-04 | 0.1651 |
| | | Theis | 0.239 | 0.005168 | 2.865E-04 | 0.1633 |
| | 회복시험 | Theis Recovery | - | - | 3.644E-04 | 0.2077 |



3.1.4 영향반경(Radius of Influence) 산정

영향반경(radius of influence, 이하 ROI)은 양수정에서 양수했을 때 지하수위 하강이 더 이상 발생하지 않는 지점까지 거리를 의미한다. 양수시험에서 유효우물반경을 적용하여 저류계수를 보정한 후 영향반경산정공식에 대입함으로써 적정한 영향반경을 산정하였다. 영향반경 산정공식은 Shultze, Weber 공식을 적용하여 계산하였으며, 이들 계산값을 평균하여 산정하였다.

$$\text{Shultze의 경험식} : R = \sqrt{6 \cdot \Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}}$$

여기서

R: 영향반경

K: 대수층 투수계수

Δh : 수위강하량

t: 양수경과시간

S: 대수층 저류계수로 자유면지하수의 경우는 유효공극을 적용

$$\text{Weber의 경험식} : R = \alpha \sqrt{\Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}}$$

여기서

R: 영향반경

K: 대수층 투수계수

Δh : 수위강하량

t: 양수경과시간

S: 대수층 저류계수로 자유면지하수의 경우는 유효공극을 적용

α : 상수로서 1.9~3의 범위

<표 3-4> 1일 양수시 영향반경 산정 결과

| 공변 | Shultze 공식 영향반경(m) | Weber 공식 영향반경(m) | 1일 평균 영향반경(m) | 비고 |
|------|-----------------------|---------------------|------------------|--|
| RB-3 | 23.84 | 29.20 | 26.52 | K : 0.0535m/day(기하평균값) Δh : 2.4115m, t : 1 day S : 0.005143(기하평균값) |

부 록

사진대지

사 진 대 지



| | |
|-----|--------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공번 | RB-03 |
| 공종 | 양수시험 |
| 일자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 양수 및 회복시험(RB-3) |



| | |
|-----|--------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공번 | RB-03 |
| 공종 | 양수시험 |
| 일자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 양수 및 회복시험(RB-3) |

부록 9. 유향유속시험

남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역
(왕 숙 2 ~ 양 정 역 세 권 연 결 로)
지하수유향유속 보고서

2026. 5.

목 차

제 1 장 조사개요

| | |
|------------------|---|
| 1.1 조사개요 | 1 |
| 1.1.1 조사목적 | 1 |
| 1.1.2 조사범위 | 1 |
| 1.1.3 조사기간 | 1 |
| 1.1.4 조사장비 | 1 |

제 2 장 조사방법

| | |
|-------------------------------|---|
| 2.1 지하수유향유속시험 | 2 |
| 2.1.1 지하수유동이론 | 2 |
| 2.1.2 시험원리 및 방법 | 3 |
| 2.1.3 토사 및 암반의 일반적 투수계수 | 4 |

제 3 장 조사결과

| | |
|------------------|---|
| 3.1 조사결과 | 5 |
| 3.1.1 RB-3 | 5 |

부 록

사진대지

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사개요

- 1.1.1 조사목적
- 1.1.2 조사범위
- 1.1.3 조사기간
- 1.1.4 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사 개요

1.1.1 조사 목적

본 조사는 “남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로)” 중 지하수유향 유속시험을 실시하여 지표하에서 발생하는 지하수의 흐름을 예측하여 수리분석시 필요한 현장자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.1.2 조사 범위

본 조사에서 수행된 시험수량은 <표 1-1>과 같다.

| 공 번 | 시험심도(m) | 지층 | 비 고 |
|------|---------|-----|-----|
| RB-3 | 6.0 | 풍화토 | |
| | 9.0 | 풍화암 | |


<표 1-1> 지하수유향유속시험 범위

1.1.3 조사 기간

- 현장 조사 및 시험 : 2026. 5.
- 성과분석 및 보고서 작성 : 2026. 5.

1.1.4 조사 장비

본 조사에 사용된 주요장비는 <표 1-2>와 같다.

| 구 분 | 제 원 | 장비사진 |
|---------|---|---|
| 지하수유향유속 | -장비명 : Colloidal borescope -제조사 : Geotech Environmental Equipment, Inc. -300ft Reel cable -발전기(2kW) -지하수위측정기 |  |

<표 1-2> 조사장비

제2장 조사 방법

2.1 지하수유향유속시험

2.1.1 지하수유동이론

2.1.2 시험방법

제 2 장 조 사 방 법

2.1 지하수유향유속시험

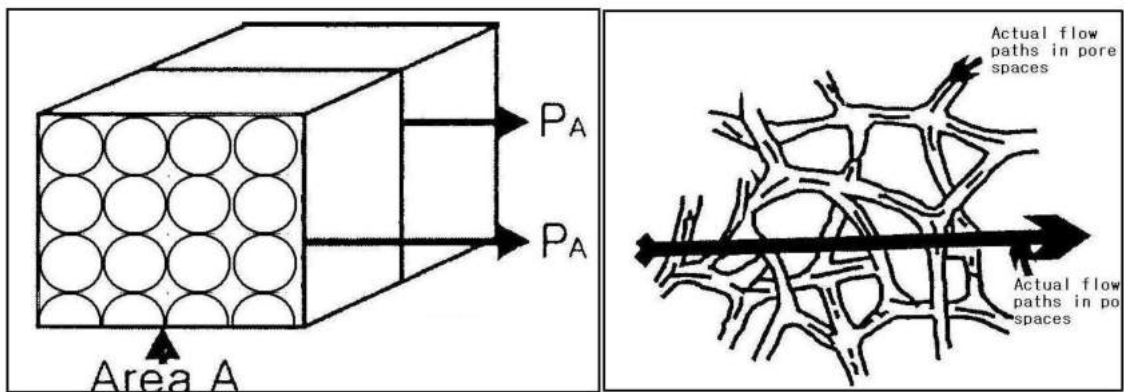
2.1.1 지하수 유동이론

지하수 유속계(Flowmeter)는 포화된 다공질 매체를 통한 속도 V 혹은 간극간 지하수 흐름의 평균 이동속도(Darcy)를 측정한다. 단면을 취하면 어떠한 다공질 매체도 전체 면적을 구성하는 간극 공간과 고체공간면적을 가지고 있다. 단면상에서 간극율은 $p_A = A_V/A_t$ 로 정의될 수 있다. 3차원 구조의 다공질 물질에서 고체는 간극공간에서 유동경로에 의해 관통된다. 현미경적 수준에서 개개의 채널을 통한 지하수 유동은 방향과 속도에 있어서 매우 다양하지만, 평균 선형 유속은 면적당 투과된 물의 체적과 같아야 한다. 간극율로 나눈 비유량은 간극율로 나눈 Q/A 와 같다.

$$v' = \frac{(Q/A)}{p} = \frac{v}{p} \quad \text{혹은} \quad v' = \frac{ki}{n}$$

여기서 v' : 선형유속, k : 투수계수, i : 동수구배, n : 공극율이다.

그러므로 유속계조정에 유용한 수학적 표현은 단면적당 체적투과율과 간극율 사이의 관계에서 유도될 수 있다.



<그림 2-1> 토양내의 공극을 통한 유속개념

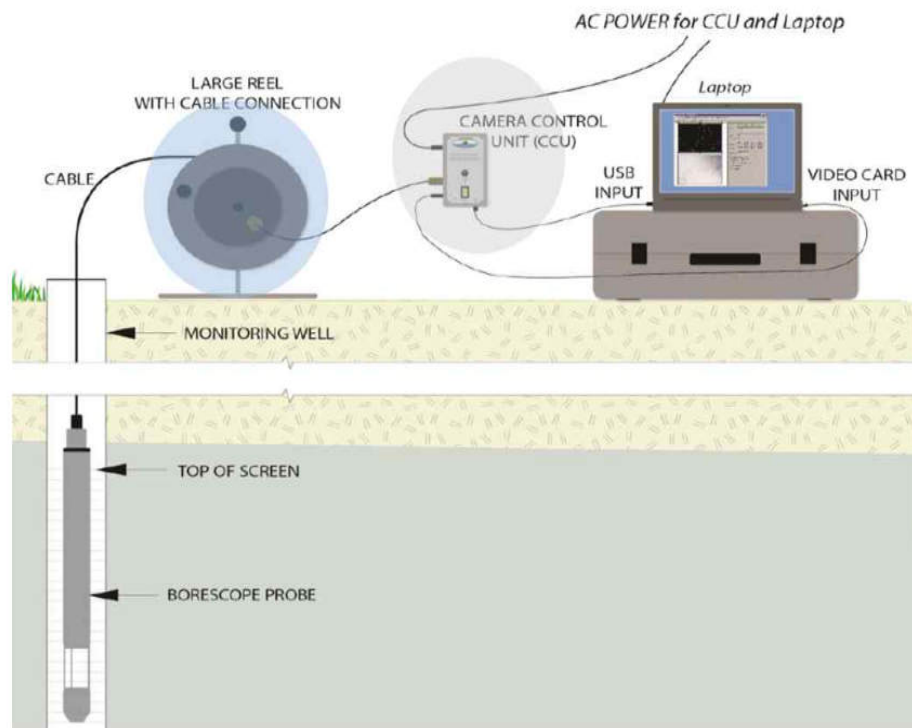
2.1.2 시험 원리 및 방법

시추공 내에 Borescope 장비를 삽입하여 심도별 또는 주요구간에 대하여 지하수의 유향과 유속 측정하여 지하수흐름 특성을 파악한다.

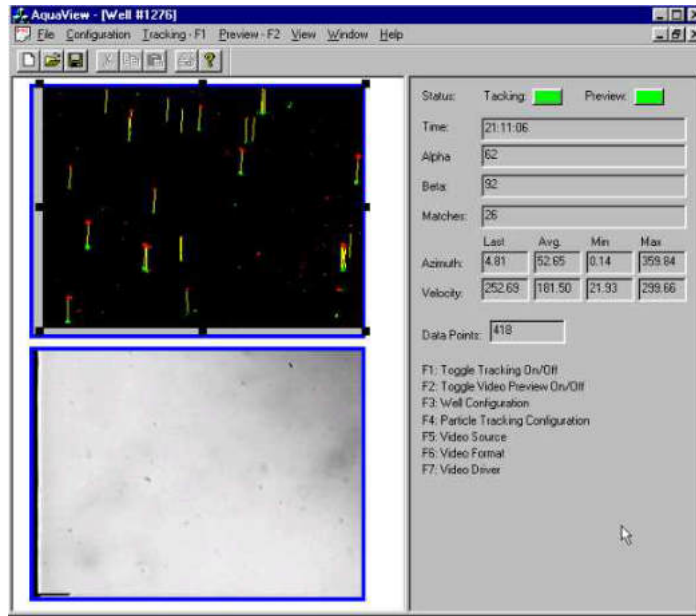
디지털 컴파스가 내장되어 있는 고해상도의 카메라 센서가 공내 수중에 부유하고 있는 콜로이드 입자의 움직임을 촬영하며, 이를 이미지 프로세싱하여 원상태의 지하수 유향, 유속을 측정한다. 측정 이미지는 케이블을 통해 지상으로 전송되어 고해상도 모니터 화면으로 출력된다.

지하수 내 콜로이드 입자들의 이동방향을 직접적으로 추적하여 지하수의 흐름방향 및 속도를 추정하므로 인위적인 열을 발생시키지 않아 원상태 그대로의 유향유속을 측정할 수 있는 장점이 있다. 측정시에는 유향, 유속 측정값이 일정하게 유지될 때까지 충분한 시간을 가지고 연속적으로 측정한다.

측정 소프트웨어는 Aquaview(v.8.0)를 통해 지하수 유향의 방위각과 유속 데이터를 획득한 후 이를 지하수 유향유속 작업시트에 기록하고 도식화하여 보고서에 명시한다.



<그림 2-2> 지하수 유향유속 측정 모식도



<그림 2-3> 측정 소프트웨어 레이아웃

2.1.3 토사 및 암반의 일반적 투수계수

| 토 질 | 깨끗한 자갈 | 깨끗한 모래, 사력 | | | 또는 매우 가는 모래, 실트, 실트 및 점토 혼합물, 층을 이룬 점토 퇴적물 등 식물 또는 풍화작용으로 생긴 불투수성 흙, 순수한 점토 | | | | | | |
|-----------------|--------|-----------------|-----------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| | | 10 ¹ | 10 ⁰ | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ |
| 투수계수 K (cm/sec) | | | | | | | | | | | |
| 배수성 | 양호 | | | | | | 약간 | | 실용적으로 불투수층 | | |
| 투수성 | High | | Medium | | Low | | Very Low | | Practically Impermeable | | |

<그림 2-3> 흙의 투수계수

| 암반 | K(cm/sec) | 암반 | K(cm/sec) |
|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| -Migmatite | 3.3E-03 | -석회암 | 1.0E-0~1.0E-04 |
| -편마암과 Shale | 0.7E-02 | -1 Lugeon단위 | 1.0E-03~2.0E-03 |
| -편마암 | 1.2E-03~1.9E-03 | -불투수성암석 사이 | 8.0E-04 |
| -Pegmatite | 0.6E-03 | 에 1m간격으로 | |
| -사암 | 1.0E-02 | 0.1mm두께의 간격 | |
| -이암 | 1.0E-04 | 을 가진 암석 | |

<그림 2-4> 암반의 투수계수

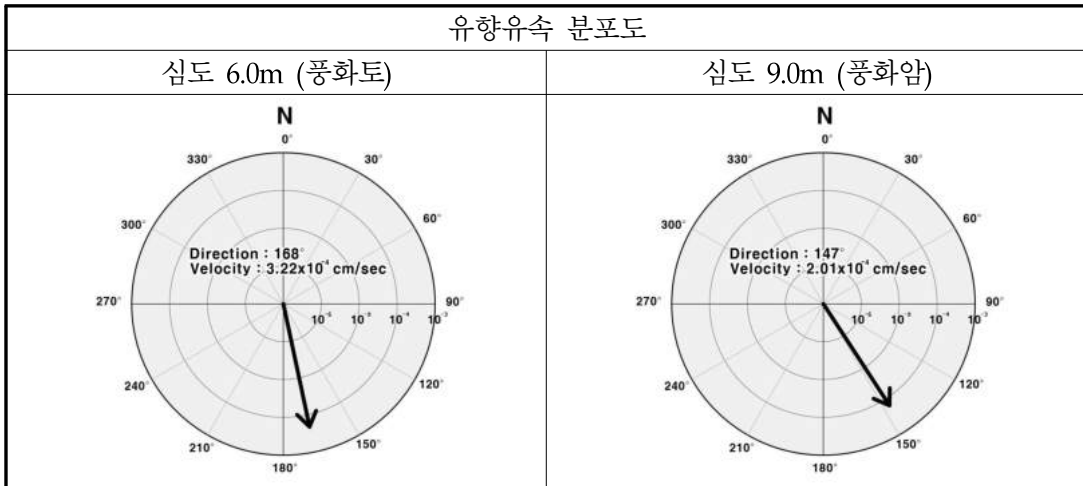
제3장 조사결과

3.1 조사결과

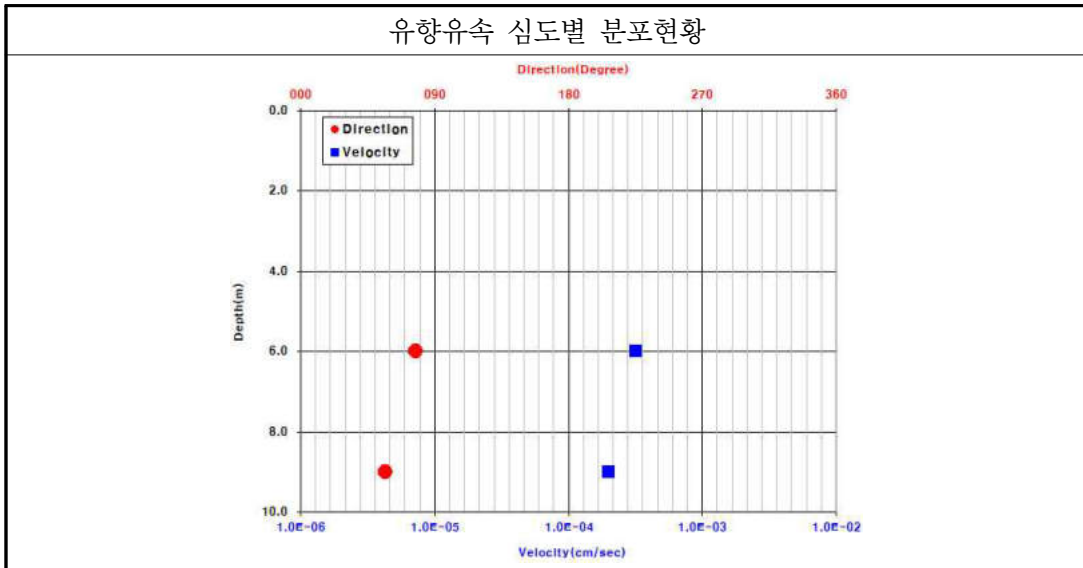
제 3 장 조 사 결 과

3.1 조사결과

3.1.1 RB-3



| 공변 | 심도(m) | 지층 | Velocity (cm/sec) | Direction (°) |
|------|-------|-----|-----------------------|---------------|
| RB-3 | 6.0 | 풍화토 | 3.22×10^{-4} | 168 |
| | 9.0 | 풍화암 | 2.01×10^{-4} | 147 |



- 지하수의 유향은 147~168° 방향으로 남동 방향으로 이동하는 것으로 나타났다.
- 지하수의 유속은 풍화토에서 3.22×10^{-4} cm/sec, 풍화암에서 2.01×10^{-4} cm/sec로 나타났다.
- 지하수의 흐름은 등포텐셜선에 의해 이동하는 것이 일반적이고 대부분 지형의 구조방향과 거의 일치하는 경우가 많다. 또한 측정된 공내 유향.유속은 국부적인 지층구간을 통한 지하수의 흐름으로 중력배수에 의한 등포텐셜선의 직각방향으로 흐르는 광역지하수의 흐름과는 다소 차이가 발생할 수 있다.

부 록

사진대지

사 진 대 지



| | |
|-----|--------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공번 | RB-03 |
| 공종 | 유향유속시험 |
| 일자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 지하수유향유속시험(RB-3) |



| | |
|-----|--------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 |
| 공번 | RB-03 |
| 공종 | 유향유속시험 |
| 일자 | 2026.05. |

| | |
|------|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2~양정역세권 연결로) |
| 용역내용 | 지하수유향유속시험(RB-3) |

부록 10. 굴절법탄성파탐사

남양주 왕숙 지구외도로 토질조사용역
(왕숙2-양정역세권 연결로)
굴절법 탄성파탐사 보고서

2026. 05.

목 차

제 1 장 조사 개요

| | |
|-------------------|---|
| 1.1 조사 개요 | 1 |
| 1.1.1 조사 목적 | 1 |
| 1.1.2 조사 위치 | 1 |
| 1.1.3 조사 기간 | 2 |
| 1.1.4 조사 장비 | 2 |

제 2 장 조사 방법

| | |
|-----------------------|---|
| 2.1 탄성파탐사 | 3 |
| 2.1.1 조사원리 및 방법 | 3 |
| 2.1.2 해석방법 | 6 |

제 3 장 조사 결과

| | |
|------------------|----|
| 3.1 탐사결과 | 10 |
| 3.1.1 탐사현황 | 10 |
| 3.1.2 탐사결과 | 11 |

부 록

사진대지

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사 개요

1.1.1 조사 목적

1.1.2 조사 위치

1.1.3 조사 기간

1.1.4 조사 장비

제 1 장 조 사 개 요

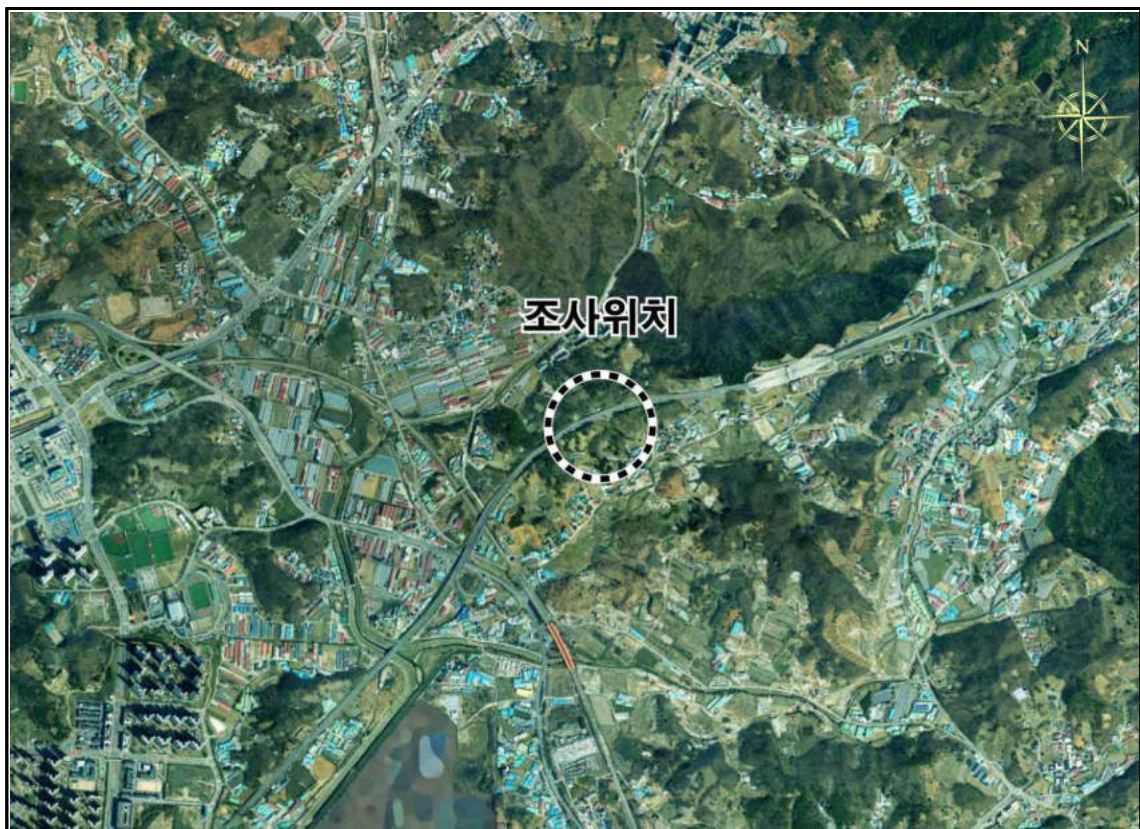
1.1 조사 개요

1.1.1 조사 목적

본 조사는 “남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로)” 중 굴절법 탄성파탐사를 실시하여 지층 및 지반상태를 파악, 제반자료를 제공함으로써 합리적이고 경제적인 설계·시공이 이루어지도록 하는데 목적이 있다.

1.1.2 조사 위치

본 조사는 남양주시 이패동 산 39 일원에 위치한 사업구간 내 이패지하도 계획구간 및 철도 계획구간에서 수행하였다.




<그림 1-1> 탄성파탐사 조사 위치

1.1.3 조사 기간

- 현장 조사 및 시험 : 2026. 05. 12
- 성과분석 및 보고서 작성 : 2026. 05. 13 ~ 05. 18

1.1.4 조사 장비

본 조사에 사용된 주요장비는 <표 1-1>과 같다.

| 구 분 | 규 격 | 장비사진 |
|-------|--|---|
| 탄성파탐사 | - Geode, Geometrics사, 미국 Sample rate : 0.02~16 msec - Geophone cable(24Channel) Geophone : $f_0 = 28\text{Hz}$ - 5Kg sledge 해머 |  |

<표 1-1> 조사장비

제2장 조사 방법

2.1 탄성파탐사

2.1.1 조사원리 및 방법

2.1.2 해석방법

제 2 장 조 사 방 법

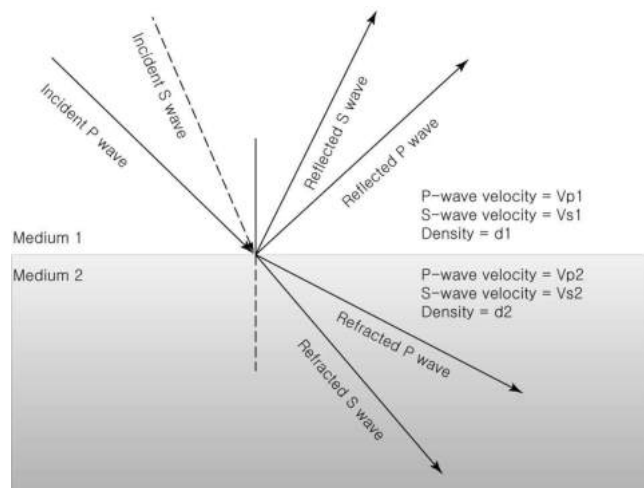
2.1 탄성파탐사

2.1.1 조사원리 및 방법

지표 또는 시추공 내에서 인위적으로 발생시킨 탄성파는 속도가 서로 다른 두 매질의 경계면에서 그 에너지의 일부는 반사되고 일부는 하부 매질로 굴절되는데, 이때 반사 또는 굴절파의 진행경로는 스넬의 법칙(Snell's law)에 의해 결정된다. <그림 2-1>은 이러한 스넬의 법칙을 파선 개념을 이용해 설명한 것으로서 탄성파가 지층 경계면에 입사될 때 경계면에서 반사 또는 굴절되는 파의 진행 경로를 설명하고 있다. 일반적으로 파가 i 의 입사각으로 경계면에 입사하면 반사파 및 굴절파의 경로는 경계면 상·하부 매질의 속도와 입사각에 따라 결정되는데, 스넬의 법칙에 의하면 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{\sin i}{V_i} = \frac{\sin \theta_{pl}}{V_{pl}} = \frac{\sin \theta_{sl}}{V_{sl}} = \frac{\sin \theta_{p2}}{V_{p2}} = \frac{\sin \theta_{s2}}{V_{s2}} = P \quad (2.1)$$

여기서, 입사파가 종파이면 $V_i = V_{p1}$ 이고 횡파이면 $V_i = V_{s1}$ 이 되고, θ_{p1} 과 θ_{s1} 은 종파와 횡파의 반사각이고, θ_{p2} 와 θ_{s2} 는 각각 종파와 횡파의 굴절각이다. 그리고 V_{p1} , V_{s1} 과 V_{p2} , V_{s2} 는 매질 1과 매질 2에서의 종파와 횡파의 속도를 나타내며 상수 p 를 파선변수라 한다. 이로부터 입사파와 반사파의 모드가 동일한 경우에는 입사각과 반사각이 서로 같고, 굴절파의 진행경로를 결정짓는 굴절각은 경계면 상·하 매질의 속도의 비에 의해 결정됨을 알 수 있다.



<그림 2-1> 스넬의 법칙

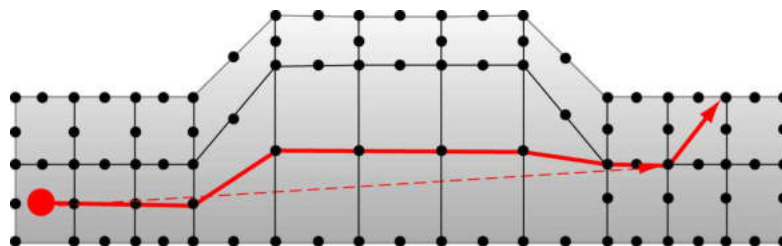
또한, 탄성파가 경계면에서 비스듬하게 입사하는 경우에 종파는 수직횡파(SV-wave)로, 또는

수직횡파가 종파로 변환되는 현상이 일어나는데 이를 모드 전환이라 한다. 이 경우에도 모드가 전환된 파의 진행경로는 상기 스넬의 법칙에 의해 결정된다. 그러나 파가 경계면에 수직으로 입사하는 경우에는 모드 전환은 일어나지 않으며, 또한 입사파가 수평횡파(SH-wave)인 경우에도 경계면에 대해 수평응력 성분만이 작용하므로 모드전환은 일어나지 않는다.

스넬의 법칙에 의하면 하부 매질에서의 탄성파 속도가 상부매질보다 클 경우에 특정한 입사각에 대해서는 굴절각이 90° 가 되어 탄성파 에너지는 지층 경계면과 나란하게 굴절된다. 이와 같은 현상을 임계굴절(critical refraction)이라 하며, 이때의 입사각을 임계각(critical angle)이라 한다. 또한 임계 굴절된 탄성파는 경계면을 따라서 하부층의 속도로 전파되다가 에너지의 일부는 다시 상부층으로 재굴절하여 지표에 도달하는데 이를 선두파(head wave)라 한다. 굴절법탐사는 지표상에서 인위적으로 탄성파를 발생시킨 다음에, 표토층을 따라 수진기로 도달하는 직접파(direct wave) 및 지층 경계면에서 임계굴절된 선두파의 도달시간(first arrival time)을 측정하여 지층 경계면의 깊이와 경계면 상·하부 지층의 탄성파 속도를 알아내는 방법이다.

상기한 스넬의 법칙에서 임계굴절이 일어나는 조건은 하부층의 속도가 상부층의 속도보다 큰 경우이므로, 굴절과 탐사는 조사대상 지역의 지질구조가 층서적이면서 하부층의 탄성파 속도가 상부층에 비해 점진적으로 증가하는 지역에서 좋은 탐사결과를 얻을 수 있다. 물론 하부층의 속도가 상부층보다 낮은 지역에서는 임계굴절과가 생기지 않기 때문에 굴절법탐사는 조사할 수 없으며, 이와 같은 지층을 속도 역전층이라 한다.

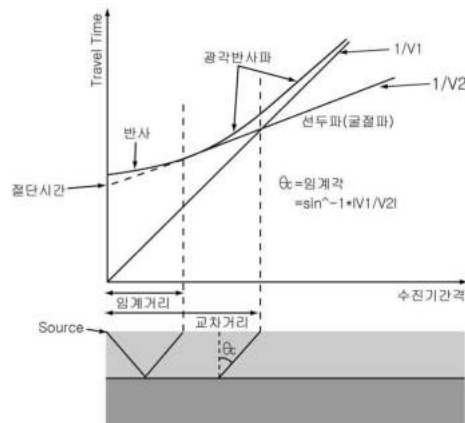
굴절법 탐사에서는 속도구조를 층 구조라고 가정하고 해석하기 때문에 심도와 더불어 속도가 커지는 경향이 있고, 동일 층에서 속도가 수평방향으로 크게 변화하는 복잡한 지반에서 정확하게 속도구조를 계산하기 어려웠다. 하지만 2D Seisimager 해석기법을 적용할 경우 속도 구조라고 가정하는 것이 아니기 때문에 이와 같이 복잡한 구조에서도 비교적 정확한 속도구조 도출이 가능하다.



<그림 2-2> 탄성과 파선의 전파경로

암석의 물성 중의 하나인 탄성과 속도 v 는 지반조사 분야에서 암층을 구분하는 매개변수로 간주되고 있다. 즉 **암반단면에 표출되는 임의의 불균질성도 역시 속도로 대변된다.** <그림 2-2>는 암반단면의 발파점에서 생성된 탄성파가 수신기(지오폰)로 전달되는 탄성과 파선의 진로를 나타내고 있다. 여기에서 탄성파가 도달되는 시간 즉, 주시(travel time)를 관찰할 수 있는데 이 주시는 각 cell간의 매질의 속도분포와 상관되어 매질의 균질성에 따라 주시가 변하게 된다.

굴절법 탐사자료의 해석은 탄성과 탐사 기록으로부터 직접파와 굴절파 및 반사파의 도달시간을 읽어 주시곡선도(Time-Distance Chart)를 작성한다. <그림 2-3>. 지표면에서 진원으로부터의 최초 굴절파가 감지되는 거리를 임계거리(Critical Distance)라고 하며, 굴절파가 직접파를 앞질러 초동으로 나타나는 지점까지의 거리를 교차거리(Cross-Over Distance)라고 한다. 또한 굴절파의 주시를 나타내는 직선을 원점거리까지 임의로 연장하였을 때 시간축과 만나는 점(시간)을 절단시간(Intercept Time)이라고 한다. 굴절법 탐사에서는 일반적으로 각 수신점에 도달하는 초동만을 읽어 주시곡선을 작성하고, 주시곡선 상에 나타나는 각 직선 등의 기울기로부터 지층에 대한 속도를 결정한 후 각층 경계면까지의 심도를 계산한다.



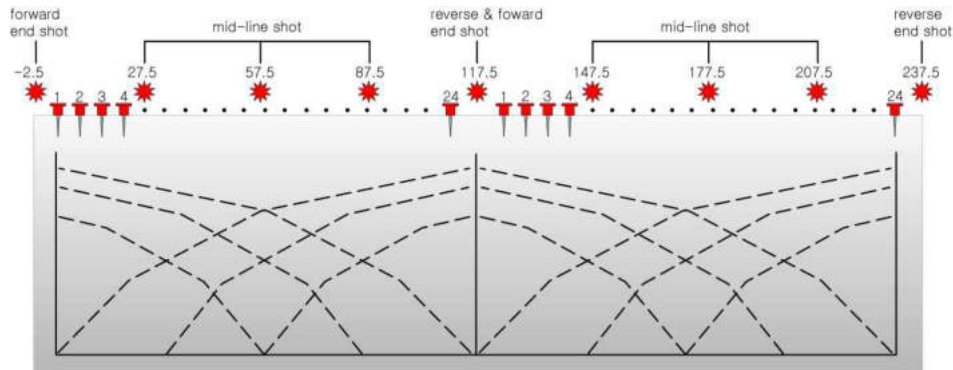
<그림 2-3> 탄성파탐사 자료의 주시곡선도

2.1.2 해석방법

굴절법 탐사에서는 통상 발진점과 수신기를 일직선상에 배열하는 인라인(in-line) 탐사법을 주로 사용한다. 수신기 전개(spread)의 길이 및 수신기 간격은 탐사심도나 원하는 해상도에

따라 결정하나, 경험상 수진기의 총 전개 길이는 조사 심도의 약 5배 이상이 되어야 하는 것으로 알려져 있다. 지반조사의 경우 수진기는 보통 5~10m 간격으로 일정하게 배열하나 꼭 일정하게 할 필요는 없으나, 일정한 간격으로 배열하는 것이 해석에 유리하다. 그러나 기반암의 예상심도가 얇은 경우에는 표토층에 대한 속도 정보를 좀 더 정확하게 얻기 위해 수진기 전개의 양단 부근에서는 조밀하게 배치하는 것이 좋다.

일반적으로 굴절법탐사는 첫 번째 수진점과 마지막 수진점 부근에서 각각 발파하여 두 개의 기록을 얻는 왕복측정 방식으로 수행한다. 지질구조가 비교적 단순한 경우에는 이렇게 측정된 자료만으로도 해석이 가능하나, 지질구조가 복잡하고 측선이 짧을 경우 즉 12channel을 기록할 경우에는 수진기 전개의 양단, 중앙점 그리고 양끝에서 같은 거리로 멀리 떨어진 지점에서 발파하여 적어도 다섯 개의 기록을 얻어야 정확한 해석 결과를 얻을 수 있다.<그림 2-4>. 그러나 본 탐사시에는 12channel 및 24channel을 기록하며 자료해석 프로그램으로 2D Seisimager를 사용하여 역산을 실시하므로 보다 정확한 자료를 얻기 위해 수진기 전개의 양단, 그리고 중앙점 3지점에서 발파하여 3개의 기록을 얻었다.



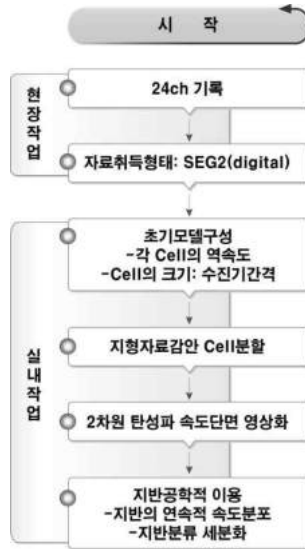
<그림 2-4> 인라인 굴절법탐사 및 수진기 전개

속도는 실험실에서 측정하거나, 시추공에서 속도검층(velocity logging) 또는 탄성파탐사에 의해서 결정되는데, 각각의 방법마다 장단점이 있다. 그러나 대부분의 탐사에서 정확한 속도 값은 탐사결과로부터 알 수 있다. <표 2-1>은 대표적인 물질에 대한 탄성파의 속도범위를 나타낸다. 같은 암석일지라도 지질학적 조건에 따라서 암석이나 퇴적물에서의 탄성파의 속도가 달라지지만 결국 탄성파 속도는 매질의 밀도에 의해 결정된다.

설계, 토목시공에의 적용은 암질의 종류, 층리와 절리 등의 유무, 풍화의 정도, 시공 장비 성능 및 시공방법 등에 따라 그 변화요인이 많으므로 일률적으로 정하기 어렵고 제반사항을

종합하여 판단하여야 한다.

<표 2-2>는 건설표준품셈에 있는 분류기준으로 암종을 2가지로 구분하고 탄성파속도와 암편의 강도를 기준으로 암반을 구분하였다.



<그림 2-5> 2D Seisimager 자료해석 방법

| 미고결 물질 | | 고결물질 | | 비 고 |
|-----------|----------|--------|---------|-----|
| 종 류 | 속 도 | 종 류 | 속 도 | |
| 풍화층 | 0.3~0.9 | 화강암 | 5.0~6.0 | |
| 토 양 | 0.25~0.6 | 현무암 | 5.4~6.4 | |
| 충적층 | 0.5~2.0 | 변성암 | 3.5~7.0 | |
| 점 토 | 1.1~2.5 | 사암, 혈암 | 2.0~4.5 | |
| 모 래 | 불포화 | 석회암 | 2.0~6.0 | |
| | 포 화 | | | |
| 모래와 자갈 | 불포화 | | | |
| | 포 화 | | | |
| 빙하 퇴적물 | 불포화 | | | |
| | 포 화 | | | |
| | 압 축 | | | |

<표 2-1> 대표적인 물질의 탄성파속도(km/sec)

| 암종그룹 | | 자연 상태의 탄성과속도 (km/sec) | 암편탄성과 속도, (km/sec) | 암편내압강도 (kg/cm ²) | 비 고 |
|------|---|-----------------------|--------------------|------------------------------|---|
| 풍화암 | A | 0.7~1.2 | 2.0~2.7 | 300~700 | 압축강도 1. 시편: 5cm 입방체 2. 노건조: 24시간 3. 수중침윤: 2일 4. 시험방향(가압방향) z축(결면에 수직) (탄성과 속도가 가장 느린 방향) 암편의 탄성과 속도 1. 시편: 두께 15~20cm 2. 측정방향 x축 (탄성과속도가 가장 빠른 방향) (결면에 평행) |
| | B | 1.0~1.8 | 2.5~3.0 | 100~200 | |
| 연암 | A | 1.2~1.9 | 2.7~3.7 | 700~1,000 | |
| | B | 1.8~2.8 | 3.0~4.3 | 200~500 | |
| 보통암 | A | 1.9~2.9 | 3.7~4.7 | 1,000~1,300 | |
| | B | 2.8~4.1 | 4.3~5.7 | 500~800 | |
| 경암 | A | 2.9~4.2 | 4.7~5.8 | 1,300~1,600 | |
| | B | 4.1이상 | 5.7이상 | 800이상 | |
| 극경암 | A | 4.2이상 | 5.8이상 | 1,600이상 | |
| | B | | | | |

| 구 분 | A | B |
|---------------------------|--|--|
| 대표적인 암종명 | 편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 회록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유교암, 셰일, 안산암, 현무암 | 흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 니암, 응회암, 집괴암 |
| 함유물 등에 의한 육안 판정 | 사질분, 석영분을 다량 함유하고 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것 | 사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것 |
| 500~1,000gr 해머의 타격에 의한 판정 | 타격점의 암석은 작고 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것 | 타격점의 암석자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남으며 암편이 별도 비산되지 않는 것 |

<표 2-2> 건설표준품셈에 분류기준(토목기술자를 위한 암반공학, p.318~319)

- (사)한국지반공학회, 2010년 개정

탄성과는 일반적으로 고결도가 높은 암석 등에서는 전달속도가 빠르지만 균열이 많은 암석이나 풍화가 진행되는 암석은 그 속도가 늦기 때문에, 탄성과 속도가 같더라도 암질적으로는 다르게 되는 경우가 있어서 탄성과 속도와 암종, 암질을 종합 검토할 필요가 있다.

암질의 종류, 층리와 절리 등의 유무, 풍화정도, 시공 장비 성능, 시공방법에 따라 그 변화요인이 많으므로 일률적으로 판단하기는 곤란하므로 제반사항을 고려하는 것이 바람직하다.

건설표준품셈의 암반 분류기준은 자연 상태 및 실내시험의 P파 탄성과 속도, 암편 내 압축강도 등을 고려한 암종이 연암을 경계로 Rippability를 판단한다. 암반을 구성하고 있는 암석이 견고하고 강도가 크더라도 균열이 많이 존재하면 암반으로서의 강도는 저하된다. 암반의 P파 속도는 암반의 강도특성을 나타내는 풍화도와 균열의 빈도(RQD)와 밀접하게 관계가 있기 때문에 P파 속도 값은 암반평가에 널리 이용되고 있다.

<표 2-3>은 탄성과 P파속도, RQD, TCR을, <표 2-4>는 탄성과 P파속도, 일축압축강도, 풍화도, 불연속면 간격과 연속성, 불연속면의 상태 및 주향과 경사 등을 고려하여 Rippability를 분류하였다.

| 구 분 | | 토공작업 | | |
|---|------|----------|------------------------------|-----------------------------|
| | | 토 층 | 리핑 암반 | 발파 암반 |
| | | | 약한 암석인 풍화암, 연암, 보통암 중에서 | 강한 암석인 보통암, 경암, 극경암 중에서 |
| 탄성과 P파 속도(km/sec) | A 그룹 | 0.7이하 | 0.7~1.2 | 1.2 이상 |
| | B 그룹 | 1.0이하 | 1.0~1.8 | 1.8 이상 |
| 표준관입시험(N치) | | 50/10 미만 | 50/10 이상 | - |
| 불연속면의 발달 빈도 | BX크기 | - - | TCR = 5% 이하 RQD = 0% 정도 | TCR = 5~10%이상 RQD = 5%이상 |
| | NX크기 | - - | TCR = 25% 이하 RQD = 10% 정도 | TCR = 25%이상 RQD = 10%이상 |
| A 그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 석회암, 사암, 역암, 화강암, 섬록암, 안산암, 현무암, 녹색편암, 감람암 등 | | | | |
| B 그룹 암종 : 흑색편암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암 등 | | | | |

<표 2-3> 불연속면 발달빈도와 탄성과속도에 따른 리핑암과 발파암의 분류(토목기술자를 위한 암반공학, p.356~357)

- (사)한국지반공학회, 2010년 개정

| 암 질 | 매우양호 | 양 호 | 보 통 | 불 량 | 매우불량 |
|---------------|-------|--------------|-----------|---------|----------|
| 풍화도 | 신선 | 다소풍화 | 보통풍화 | 많이풍화 | 완전풍화 |
| P파 속도(km/sec) | >2.15 | 1.85~2.15 | 1.5~1.85 | 1.2~1.5 | 0.45~1.2 |
| Rippability | 발파 | 리핑 극히 곤란, 발파 | 리핑 매우 어려움 | 리핑 어려움 | 쉽게 리핑 |

<표 2-4> Rippability 분류(Bell, 1992)

제3장 조사 결과

3.1 탐사결과

제 3 장 조 사 결 과

3.1 탐사결과

3.1.1 탐사현황

본 조사는 계획노선을 기준으로, 서측에 위치한 남양주시 삼패동 산 39 일원에서 총 1개의 측선을 전개하여 수행하였다.

| 측선명 | 구 간 | 연 장 (m) | 지오폰 간격(m) | 비 고 |
|-----|---------------|---------|-----------|-----|
| L-1 | 0+315 ~ 0+589 | 280 | 6 | |

<표 3-1> 탄성파탐사 현황

● 지층별 탄성파속도

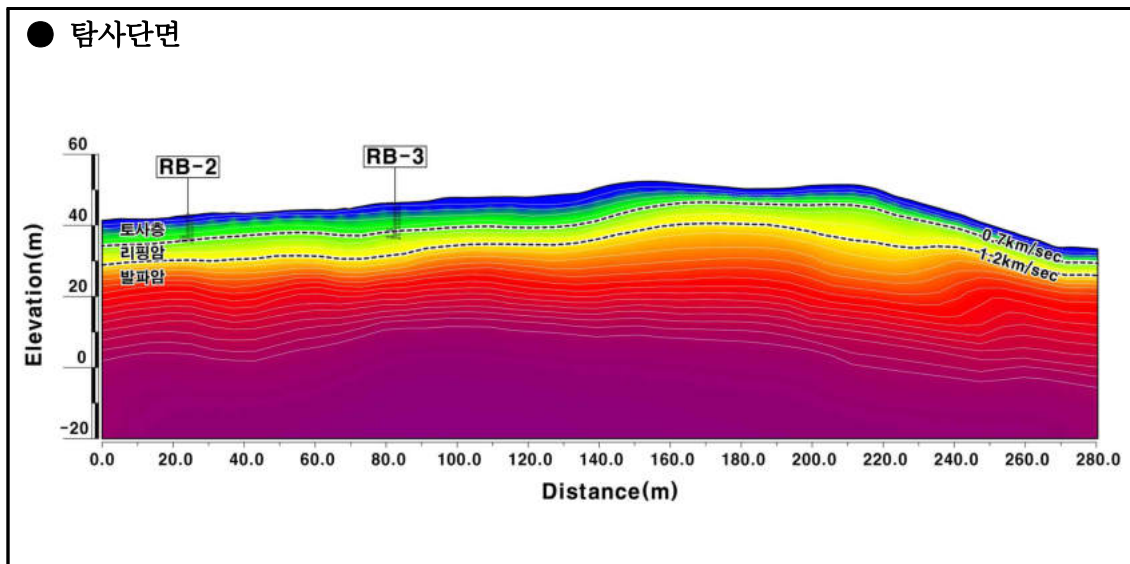
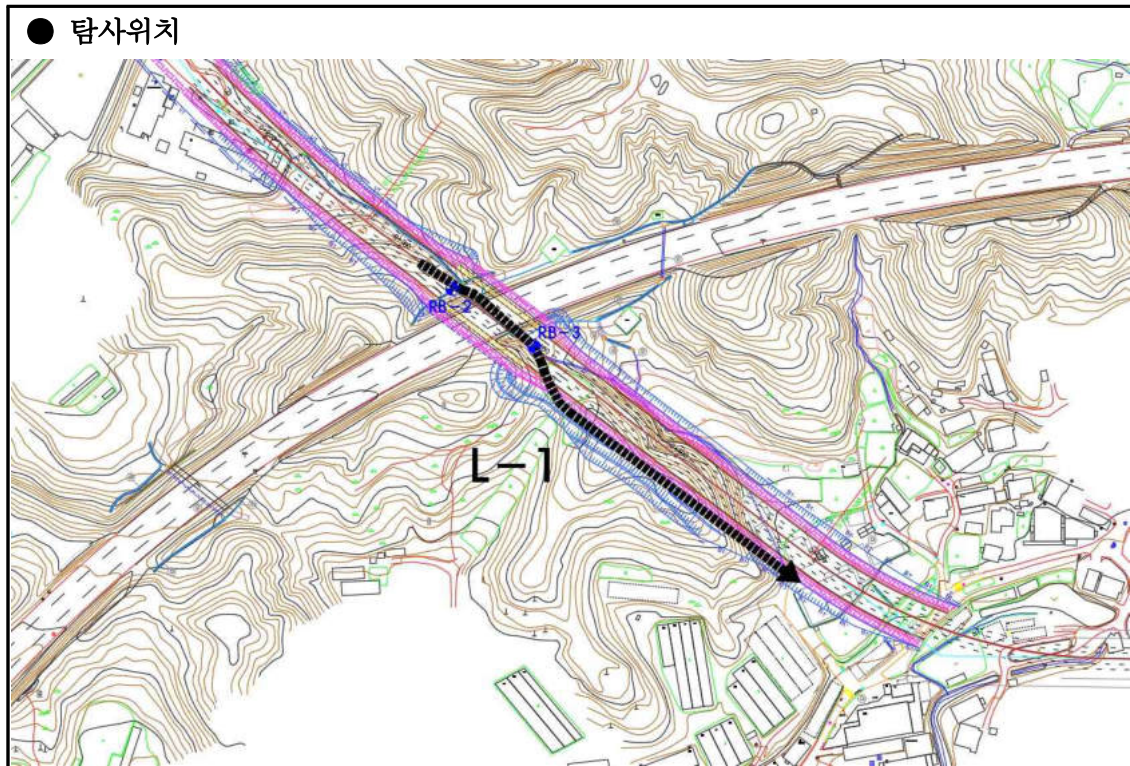
각 지층의 탄성파 속도값은 탄성파 속도 단면과 주변 지질 현황 및 시추 현황을 종합하여 분석한 결과 토사층은 0.7km/sec 이하, 리핑암(풍화암)은 0.7~1.2km/sec, 발파암(연암이상)은 1.2km/sec 이상의 값으로 나타났으며, 이를 탄성파탐사 구간 지층 구분시 적용하여 지층단면도를 작성하였다.

| 속도층 | 대비 지층 | 탄성파속도 |
|--------|-------|----------------|
| 제 1속도층 | 토사층 | 0.7 km/sec 이하 |
| 제 2속도층 | 리핑암층 | 0.7~1.2 km/sec |
| 제 3속도층 | 발파암층 | 1.2 km/sec 이상 |

<표 3-2> 지층별 탄성파 속도 구분

3.1.2 탐사결과

1) L-1



| 구 분 | 도자굴착영역 | | 리핑 영역 | | 발파 영역 | |
|------------|--------------|-----|---------------|-----|--------------|------|
| 지 층 | 토사층 | | 리핑암(풍화암) | | 발파암(연암 이상) | |
| 탄성파속도 | 0.7km/sec 이하 | | 0.7~1.2km/sec | | 1.2km/sec 이상 | |
| 층 후 (m) | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 | 출현심도 | |
| | | | | | 최소 | 최대 |
| | 3.7 | 9.1 | 3.4 | 9.8 | 7.4 | 15.6 |

- 탄성파속도(토사층 0.7km/sec 이하, 리핑암 0.7~1.2km/sec, 발파암 1.2km/sec 이상)를 토대로 구분한 결과 토사층의 평균 층후는 6.36m, 리핑암이 약 5.91m 정도로 나타나며, 발파암의 출현심도는 약 12.26m 정도로 나타났다.
- 전반적으로 지형과 유사한 형태의 탄성파 속도 분포를 보이며, 급격한 층후 변화가 없는 비교적 단순한 지층구조를 보일 것으로 판단된다.
- 토사층의 층후는 측선거리 약 0 ~ 150.0m 구간에서 8.0m 내외의 분포를 보일 것으로 추정되며, 이후 구간에서는 5.0m 내외로 소폭 낮아지는 경향을 보일 것으로 판단된다.
- 리핑암의 층후는 대체로 5.0m 내외로 일정한 층후를 보일 것으로 추정되나, 측선거리 약 200.0m ~ 230.0m 구간에서는 8.0m 내외로 소폭 두꺼워지는 경향을 보일 것으로 판단된다.
- 발파암 출현심도는 측선거리 약 230.0m 구간까지 13.0m 내외의 분포를 보일 것으로 추정되나, 이후 구간에서는 7.0m 내외로 소폭 낮아지는 경향을 보일 것으로 판단된다.

부 록

사진대지

사 진 대 지



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |

사 진 대 지



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |

사 진 대 지



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |



| | |
|-----|-----------------------------------|
| 용역명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역(왕숙2-양정역세권 연결로) |
| 공종 | 굴절법 탄성파탐사 |

부록 11. 실내시험

부록 12. 기록사진첩

시 추 조 사

시추조사 전경 (원경)



시추조사 전경 (근경)



표준관입시험 (자동기록장치)



SPT 시료채취



공내재하시험



BB - 2

시추조사 전경 (원경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | BB-2 |
| 내용 | 시추전경 |
| 일자 | 2026.04 |

시추조사 전경 (근경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | BB-2 |
| 내용 | 시추전경 |
| 일자 | 2026.04 |

표준관입시험 (자동기록장치)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | BB-2 |
| 내용 | SPT |
| 일자 | 2026.04 |

SPT 시료채취



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | BB-2 |
| 내용 | 시료채취 |
| 일자 | 2026.04 |

코어채취



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | BB-2 |
| 내용 | 코어시료 |
| 일자 | 2026.04 |



RB - 2

시추조사 전경 (원경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공 종 | RB-2 |
| 내 용 | 시추전경 |
| 일 자 | 2026.04 |

시추조사 전경 (근경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공 종 | RB-2 |
| 내 용 | 시추전경 |
| 일 자 | 2026.04 |

표준관입시험 (자동기록장치)



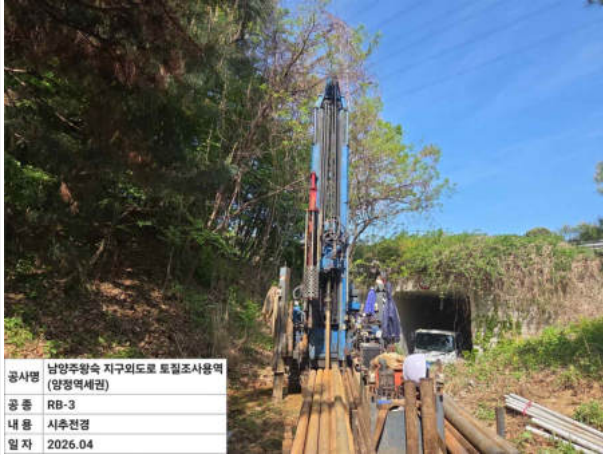
| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공 종 | RB-2 |
| 내 용 | SPT |
| 일 자 | 2026.04 |

SPT 시료채취



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공 종 | RB-2 |
| 내 용 | 시료채취 |
| 일 자 | 2026.04 |

시추조사 전경 (원경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | 시추전경 |
| 일자 | 2026.04 |

시추조사 전경 (근경)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | 시추전경 |
| 일자 | 2026.04 |

표준관입시험 (자동기록장치)



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | SPT |
| 일자 | 2026.04 |

SPT 시료채취



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | 시료채취 |
| 일자 | 2026.04 |

현장투수시험



| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | 현장투수시험 |
| 일자 | 2026.04 |

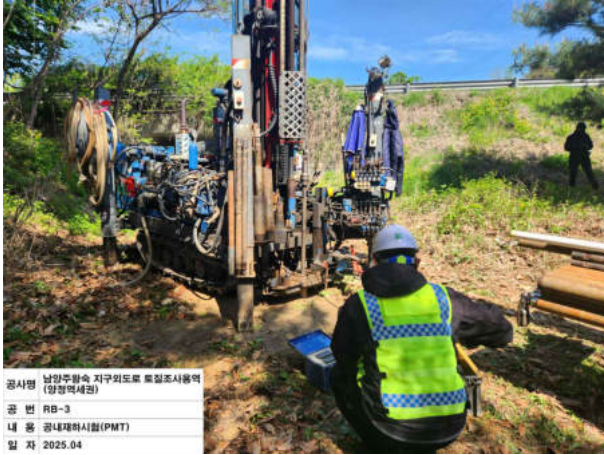
공내전단시험



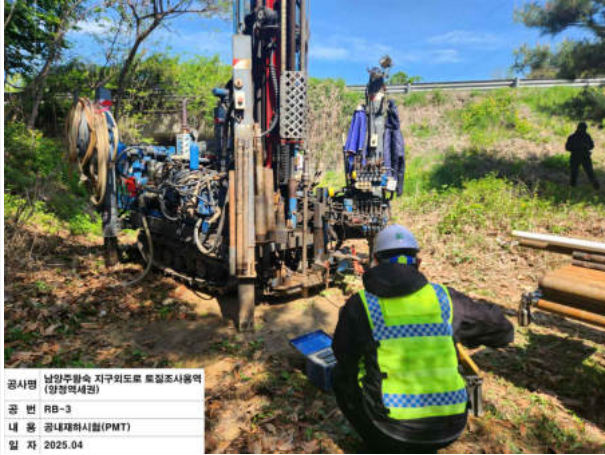
| | |
|-----|----------------------------|
| 공사명 | 남양주왕숙 지구외도로 토질조사용역 (양정역세권) |
| 공종 | RB-3 |
| 내용 | 공내전단시험 |
| 일자 | 2026.04 |

RB - 3

공내재하시험

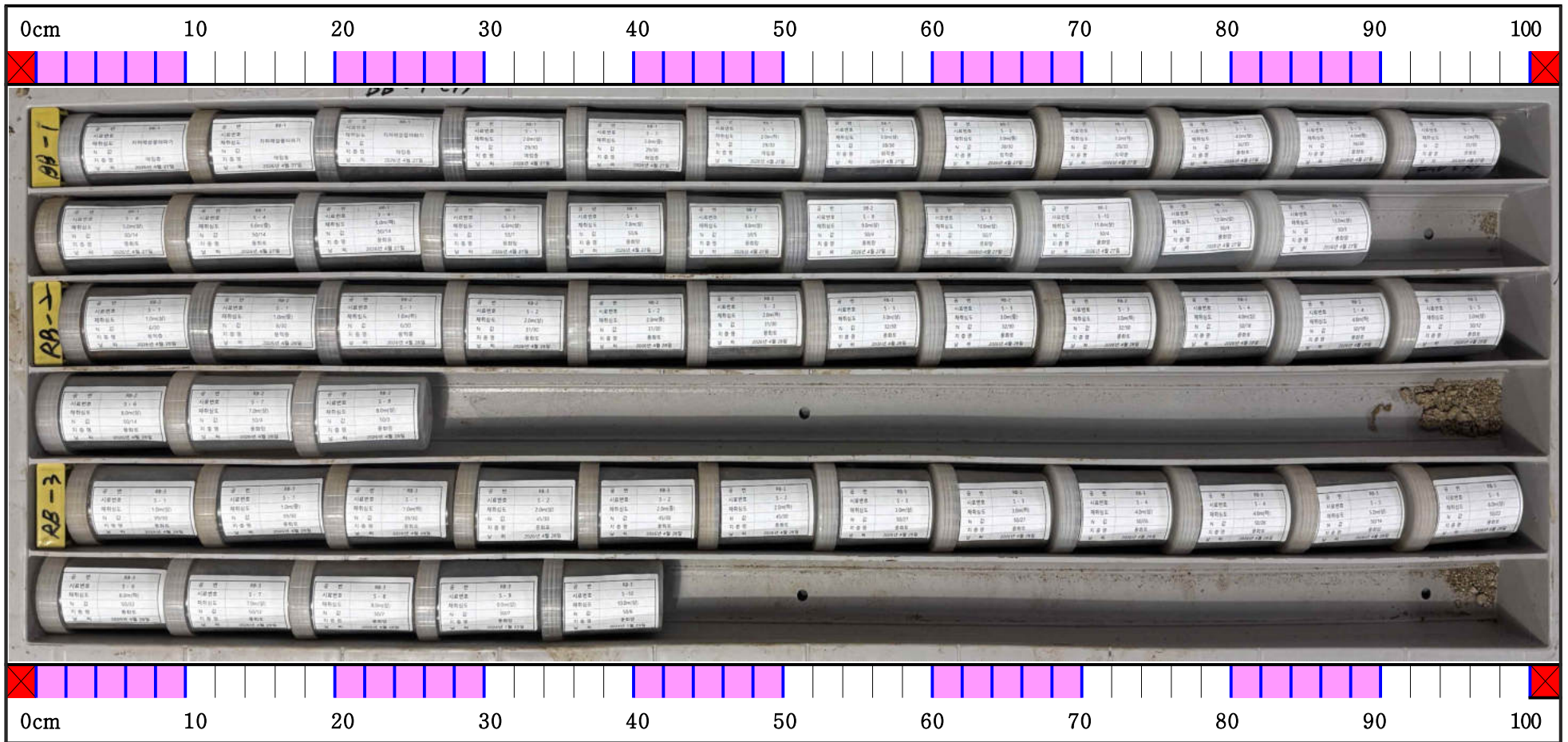


공사명 남양주왕송 지구외도로 확충조사용역
(양정역세권)
공 번 RB-3
내 용 공내재하시험(PMT)
일 자 2025.04

| | |
|--|--|
| 공내재하시험 | |
|  <p>공사명 남양주왕송 지구외도로 확충조사용역 (양정역세권) 공 번 RB-3 내 용 공내재하시험(PMT) 일 자 2025.04</p> | |
| | |
| | |
| | |
| | |

시 료 상 자

| | | | |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| Project | 남양주왕숙 지구외도로 지반조사(양정역세권) | Box No. | 1 / 1 |
| Boring No | BB-1 | Depth (m) | 0.0~13.0m |
| | RB-2 | | 0.0~8.0m |
| | RB-3 | | 0.0~10.0m |



| | | | |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| Project | 남양주왕숙 지구외도로 지반조사(양정역세권) | Box No. | 1 / 1 |
| Boring No | BB-2 | Depth (m) | 0.0~16.1m |

