

공촌~부평, 남동~수산 간 비상연계 관로공사  
기본 및 실시 설계 지하 안전 평가  
**지 반 조 사 보 고 서**

**2024. 04.**

공존~부평남동~수산간 비상연계 관로공사  
기본 및 실시설계 지하안전평가

# 지 반 조 사 보 고 서

2024. 4

크통엔지니어링(주)

# 제 출 문

## 인천광역시 상수도사업본부 귀중

"공촌~부평, 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 지하안전평가"의 지반조사에 대한 과업을 수행 완료하고, 그 성과를 본 보고서로 작성하여 제출합니다.

2024년 4월

GEUKDONG  
극동엔지니어링

극동엔지니어링 주식회사

경상북도 경산시 남매공원로 1길 1  
더 베스트 타워 304호  
대표이사 유 의 근 (인)

# 목 차

## 제1장 조 사 개 요

1.1 조사목적 .....	2
1.2 조사지역 .....	2
1.3 조사항목 .....	3
1.4 조사기간 .....	3
1.5 조사장비 .....	4

## 제2장 일 반 사 항

2.1 현장조사 .....	6
2.1.1 시추조사 .....	6
2.1.2 지하수위 측정 .....	6
2.2 현장시험 .....	7
2.2.1 표준관입시험 .....	7
2.2.2 현장투수시험 .....	8
2.2.3 현장수압시험 .....	9
2.2.4 공내전단시험 .....	10
2.2.5 공내재하시험 .....	10
2.3 실내시험 .....	11
2.3.1 토질물성시험 .....	11
2.3.2 암석시험 .....	12

## 제3장 흙 및 암반의 분류 및 기재방법

3.1 흙의 분류 및 기재방법 .....	14
3.1.1 흙의 분류방법 .....	14
3.1.2 흙의 기재방법 .....	16
3.2 암반의 분류 및 기재방법 .....	17
3.2.1 암반의 분류방법 .....	17
3.2.2 지질학적 분류 .....	17
3.2.3 지반조사시 암반분류 .....	18

## 제4장 지형 및 지질

4.1 지형 및 지질특성 분석 .....	24
4.1.1 지형특성 분석 .....	24
4.1.2 지질특성 분석 .....	25

4.2 광역 선형구조 분석 .....	26
4.2.1 위성영상 및 DEM을 이용한 선형구조 분석 ..	26
4.2.2 교차 선형구조 분석 .....	27

## 제5장 조사결과

5.1 현장조사 .....	29
5.1.1 시추조사 .....	29
5.1.2 지하수위 측정 .....	36
5.2 현장시험 .....	37
5.2.1 표준관입시험 .....	37
5.2.2 현장투수시험 .....	38
5.2.3 현장수압시험 .....	39
5.2.4 공내전단시험 .....	40
5.2.5 공내재하시험 .....	41
5.3 실내시험 .....	42
5.3.1 토질물성시험 .....	42
5.3.2 암석시험 .....	43

## 부 록

- |            |         |
|------------|---------|
| 1. 지반조사위치도 | 5. 실내시험 |
| 2. 시추주상도   | 6. 암반분류 |
| 3. 지층단면도   | 7. 사전척  |
| 4. 현장시험    |         |

# 제1장 조사개요

1.1 조사목적

1.2 조사지역

1.3 조사항목

1.4 조사기간

1.5 조사장비

# 제 1 장 조 사 개 요

## 1.1 조사목적

본 조사의 목적은 “공촌~부평, 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 지하안전 평가”의 지반조사로서 지반공학적 기초자료를 수집, 분석하여 기반자료를 제공함으로써 보다 경제적이고 합리적인 시공이 되도록 하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 조사지역

**<표 1-1> 조사지역 현황**

[illegible]

### 1.3 조사항목

과업지역을 대상으로 지반구성 및 공학적 특성을 규명하고자 지반조사를 실시하였으며, 지반 조사 내용 및 수량은 다음과 같다.

<표 1-2> 지반조사 항목 및 수량

구 분		단위	조사수량			비 고
			공촌~부평	남동~수산	계	
현장조사	시 추 조 사	공	15	2	17	· NX규격, 지층상태 파악
	지하수위 측정	개소	15	2	17	· 시추종료 후 24, 48, 72시간 측정
물리탐사	전기비저항탐사	km	-	-	0.0	· 터널구간 암반등급 평가
	GPR탐사	km	-	-	0.0	· 지하매설물 파악
현장시험	표준관입시험	회	147	21	168	· 1.0m간격 수행
	현장투수시험	회	8	5	13	· 토사층을 대상으로 지층별 수행
	현장수압시험	회	2	1	3	· 기반암을 대상으로 지층별 수행
	공내전단시험	회	8	4	12	· 토사 및 풍화암을 대상으로 수행
	공내재하시험	회	10	5	15	· 토사, 풍화대 및 기반암을 대상으로 지층별 수행
	양수시험	회	-	-	0	· 대수층구간 수리특성 파악
	순간충격시험	회	-	-	0	· 대수층구간 수리특성 파악
	지하수유향유속시험	회	-	-	0	· 지하수의 흐름방향·속도 측정
실내시험	토질물성시험	회	15	2	17	· 함수비, 비중, 액·소성시험 등
	일축압축강도시험	회	5	-	5	· 기반암의 일축압축강도시험
	점하중강도시험	회	4	-	4	· 기반암의 점하중강도시험

### 1.4 조사기간






<표 1-3> 조사기간

구 분	조사기간	비 고
조사계획 및 인허가	2024년 2월 20일 ~ 3월 11일	
현장조사 및 시험	2024년 3월 13일 ~ 3월 28일	
실내시험	2024년 3월 29일 ~ 4월 11일	
성과분석 및 보고서 작성	2024년 3월 29일 ~ 4월 15일	

## 1.5 조사장비

&lt;표 1-4&gt; 조사장비

구 분	조 사 항 목	조 사 장 비	수 량
현장조사	시 추 조 사	· 시추기(SD-4500), 디젤엔진 및 기타부속 자재 1식	2 대
	지하수위 측정	· 지하수위측정기	1 조
물리탐사	전기비저항탐사	· Super Sting R8/IP(미국, AGI사), 자동측정시스템	1 조
	3D GPR탐사	· MIRA 3D GPR, 24채널 안테나(500MHz), 3D GPR(핸드형)	1 조
현장시험	표준관입시험	· 표준관입시험기(Split Spoon Sampler, KS F 2307규격)	2 조
	현장투수시험	· 지하수위측정기, 초시계 등	1 조
	현장수압시험	· 초시계, 지하수위측정기, Single/Double Packer	1 조
	공내전단시험	· BST A103M(Handy Geotechnical Inc, 미국)	1 조
	공내재하시험	· Pressuremeter Test(Elastmeter-2), Goodman Jack	1 조
	양수시험	· Redi-Flo set, LEVEL TROLL 400, 발전기	1 조
	순간충격시험	· Redi-Flo set, LEVEL TROLL 400, 발전기	1 조
	지하수 유량유속시험	· Colloidal borescope(Geotech Inc. 미국), 발전기	1 조
실내시험	토질물성시험	· 함수비, 비중, 입도분석, 체분석, 액소성 시험기	1 조
	암석시험	· 암석 물성시험기 및 일축압축강도시험기	1 조

시추조사	현장투수시험	현장수압시험
 <p>공촌~부평 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 지하안전평가 용역명 관로공사 기본 및 실시설계 용역중 지하안전평가 지반조사 공 번 BH-15 공 종 시추시험 일 자 2024.03.14</p>	 <p>공촌~부평 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 용역중 지하안전평가 지반조사 공 번 BH-7 공 종 현장투수시험 일 자 2024.03</p>	 <p>공촌~부평 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 용역중 지하안전평가 지반조사 공 번 BH-10 공 종 수압시험 일 자 2024.03.25</p>
공내전단시험	공내재하시험	수리시험
 <p>공촌~부평 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 용역중 지하안전평가 지반조사 공 번 BH-7 공 종 공내전단시험 일 자 2024.03</p>	 <p>공촌~부평 남동~수산 간 비상연계 관로공사 기본 및 실시설계 용역중 지하안전평가 지반조사 공 번 BH-7 공 종 공내재하시험 일 자 2024.03</p>	<p>—</p>

&lt;그림 1-2&gt; 현장조사 및 시험 전경



## 제2장 일 반 사 항

2.1 현장조사

2.2 현장시험

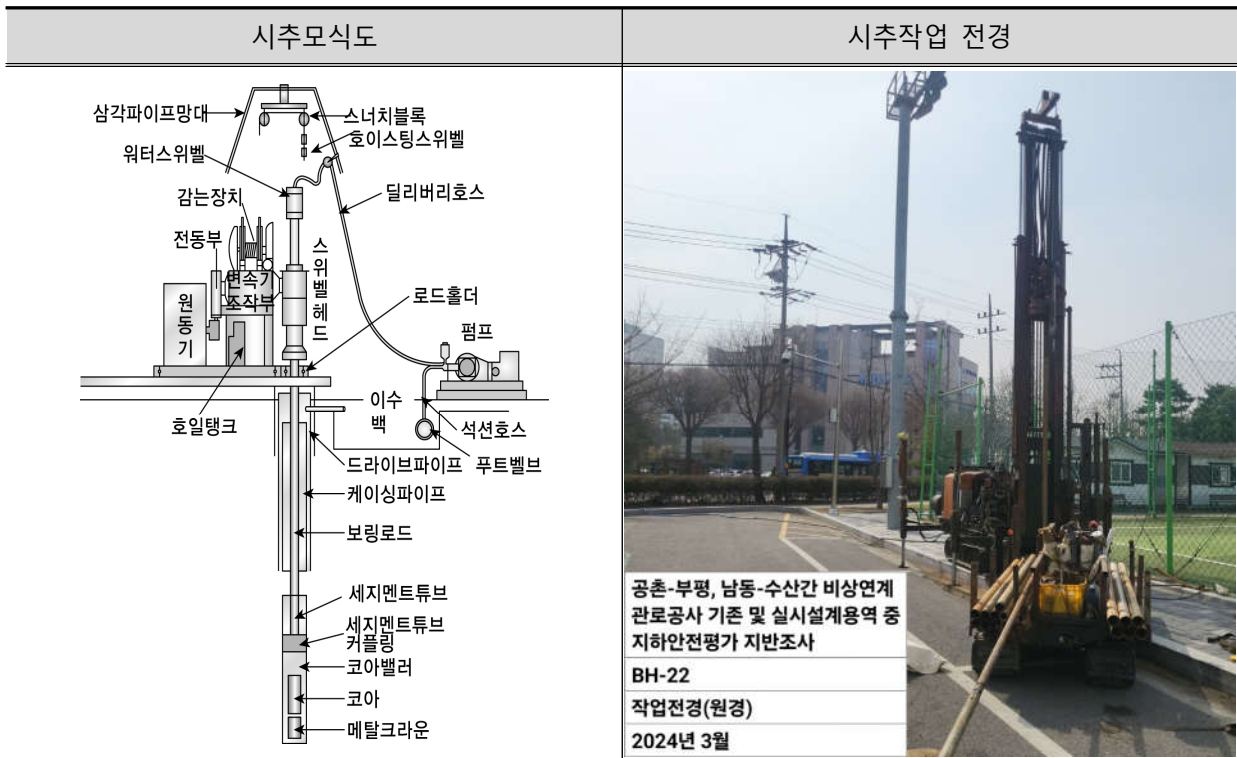
2.3 실내시험

## 제 2 장 일 반 사 항

### 2.1 현장조사

#### 2.1.1 시추조사

지반의 공학적인 특성과 기반암의 암종, 지질구조 등의 자료를 수집하여 설계에 반영하기 위하여 설계구간에 대하여 시추조사를 실시하였다. 조사를 위해 사용된 장비로는 회전수세식(Rotary Wash Type) 시추기를 이용하여 표준관입시험과 병행하여 실시하였으며, 시추구경은 NX규격으로 굴진하였으며 각 시추공에서 채취된 시료는 토질성분 및 기반암의 암질상태 등을 정확히 파악하여 설계에 반영할 수 있도록 시추주상도 작성 후 시료상자에 넣어 보관하였다.



<그림 2-1> 시추조사 모식도 및 전경

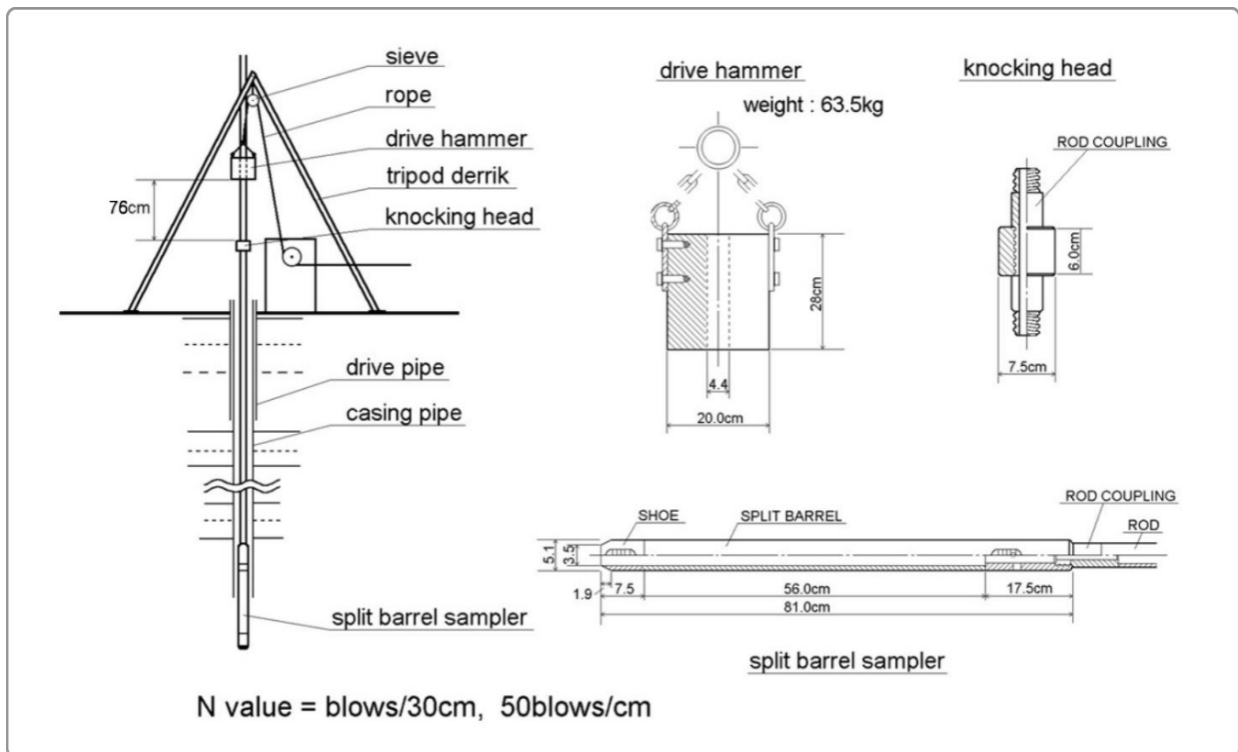
#### 2.1.2 지하수위 측정

조사지역내 지하수위 분포를 확인하기 위하여 조사 시추공에서 조사완료 후 24, 48, 72시간 후 지하수위를 측정하였다. 지하수위는 계절 및 수원의 원근에 따라 갈수기나 홍수기에 따라 달라지며 부근 지역의 지하수 이용여부, 토공사로 인한 지하수위 유출 등에 따라 변화될 수 있는 점에 유의해야 한다.

## 2.2 현장시험

### 2.2.1 표준관입시험

시추조사와 병행하여 원위치의 경연, 구성성분의 특성을 파악하기 위하여 지층이 변하거나 동일한 지층이 연속적으로 형성된 경우에 대하여 한국산업규격(KS F 2307)의 규정된 방법에 의거하여 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시하였다.



<그림 2-2> 표준관입시험 모식도

표준관입시험은 동적인 관입시험의 일종으로 사질지반의 상대밀도, 지지력계수, 허용지지력, 점착력, 탄성계수, 연경도, 내부마찰각과 점성토의 일축압축강도 등과 비교, 분석하여, 실험을 통해 현재 수많은 자료가 축적되어 설계에 이용되고 있다. 시험방법은 공저를 깨끗이 청소한 후 Rod 선단에 샘플러를 부착하고 63.5±0.5kg의 해머를 76±1cm 높이에서 자유낙하시켜 샘플러가 30cm관입하는데 소요되는 타격회수를 측정하는 것으로 매 15cm를 관입시키는데 소요되는 타격회수를 측정하여 총 45cm 관입에 요한 타격회수를 측정하였다. 이때 처음 15cm 관입시에 측정한 타격회수는 예비타로 하고 마지막 30cm 관입에 소요되는 타격회수를 관입저항치(N값)으로 하여 주상도에 기입하였다. 타격회수가 50회인 경우에도 30cm가 관입되지 않을 경우에는 타격회수 50회시의 관입량을 측정하여 시추주상도에 기록하였다. 표준관입시험시 채취된 시료는 함수량이 변하지 않도록 시료병 용기에 넣고 밀봉하여

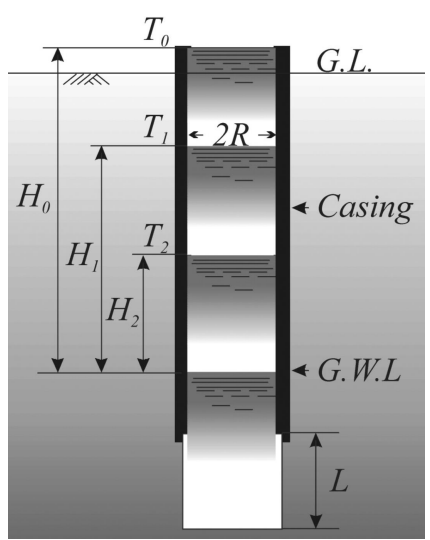
토질명, 위치 및 심도, 성과 등을 기재하여 시료 표본 상자에 보관하였으며 N값을 이용하여 파악할 수 있는 사항 및 추정사항은 다음과 같다.

<표 2-1> N값에 의한 판정 및 추정사항

구 분		판정 및 추정사항
조사결과로 파악할 수 있는 사항		.지반내 토층분포 및 토질의 종류 (풍화토 및 풍화암의 구분) .지지층 분포심도 .연약층의 유무(압밀침하층의 두께)
N값으로 추정할 수 있는 사항	사 질 토	.상대밀도(Dr), 내부마찰각( $\phi$ ) .기초지반의 탄성침하 .기초지반의 허용지지력 .액상화 가능성 파악
	점 성 토	.일축압축강도( $q_u$ ), 비배수점착력( $c_u$ ) .기초지반의 허용지지력 .연.경 정도

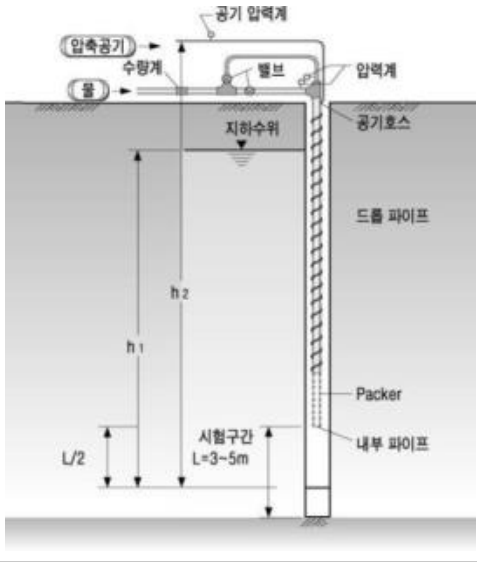
## 2.2.2 현장투수시험

현장투수시험은 토사층의 투수계수(K)를 산정하기 위하여 시추공내에 주수 후 수위변화를 측정한다.

시 험 방 법	시 험 모 식 도
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험구간까지 굴착한 후 투수시험 대상층 상부까지 Casing을 설치 후 주수하여 수위변화 측정</li> <li>· 수위측정은 Casing 상단부로부터 시작 후 10, 30초, 60초, 120초, 180초, 240초, 300초 등의 시간간격으로 수위변화량 측정</li> <li>· 측정된 수위를 이용하여 다음의 식으로 현장투수계수를 산정</li> </ul> $K = \frac{R^2}{2Lt} \cdot \text{Log}\left(\frac{L}{R}\right) \cdot \text{Log}\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$ <p>           K : 투수계수(cm/sec)            t : 수위 측정시간(sec)            R : Casing의 반경(cm)            L : Casing 하단에서 공저까지의 심도 ; 측정구간(cm)            H<sub>1</sub> : 초기시간에 대한 수위(cm)            H<sub>2</sub> : 종점시간에 대한 수위(cm)         </p>	 <p>&lt;그림 2-3&gt; 현장투수시험 모식도</p>

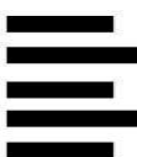
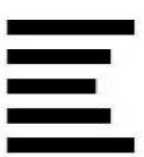
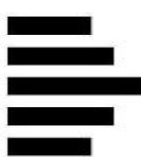

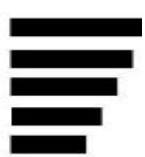
## 2.2.3 현장수압시험

기반암의 투수계수(K)를 측정하기 위하여 Packer를 이용하여 수압시험(Lugeon Test)을 수행하였다.

시 험 방 법	시험 모식도
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험방법은 Single Packer를 사용, 하향식으로 실시하는 것을 원칙으로 하며, 압력 증감은 5~9단계로 하고, 각 단계에서 주입압력별로 약 5~10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 주입수량을 측정</li> <li>· 공경 46~66mm 정도의 시추공에 압력 10kgf/cm<sup>2</sup>, 주입 길이 1m당 주입량을 리터 단위로 나타낸 것을 루전 (Lugeon) 으로 정의</li> <li>· 일반적으로 1루전은 k=10<sup>-5</sup> cm/sec로서 거의 불투수성을 나타내며, 1 Lugeon 이하이면 누수량은 0에 가까워 그라우팅 설계 시 동일한 기준으로 간주될 수 있으나, 집중누수 가능성이 있는 10~20 Lugeon 이상이면 암반의 침투류는 Darcy의 법칙을 따르지 않으므로 이러한 경우 투수계수 보다는 Lugeon값을 적용하는 것이 타당함</li> </ul>	 <p>&lt;그림 2-4&gt; 현장수압시험 모식도</p>

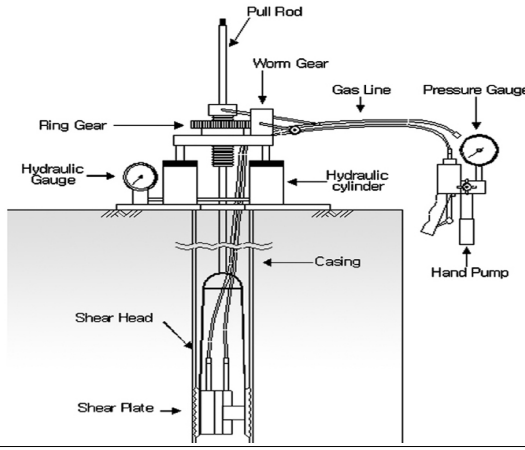
투수계수 산정	Lugeon값 산정
$k = \frac{2.3Q}{2\pi HL} \log \frac{L}{r}$ <p>여기서, k : 투수계수 (cm/s)  H : 총 수두 (cm)  Q : 주입수량 (cm<sup>3</sup>/s)  r : 시험공 반경 (cm), L : 시험구간 (cm)</p>	$Lu = \frac{10Q}{PL}$ <p>여기서, Lu : 환산 Lugeon값  Q : 주입량 (ℓ/min)  P : 주입압력 (kg/cm<sup>2</sup>)  L : 시험구간 길이 (m)</p>

<표 2-2> Lugeon특성 및 그라우팅 주입조건

층 류 (Laminar Flow)	난 류 (Turbulent Flow)	팽 창 (Dilation Flow)	유 실 (Wash-out)	공극충전 (Void Filling)
				
·압력(P)과 주입량(Q)이 비례하며, 단계별 Lugeon값이 비슷 ·루전값은 평균값 사용	·압력증가에 비해 주입량증가 비율이 작음 ·루전값은 가장 높은 주입압력값 사용	·압력증가에 비해 주입량증가 비율이 큼 ·루전값은 최소(또는 중간)값 사용	·같은 주입압에서의 승압시보다 강압시의 주입량이 많음 ·루전값은 최대값 사용	·같은 주입압에서의 승압시보다 강압시의 주입량이 작음 ·루전값은 마지막 단계 값 사용

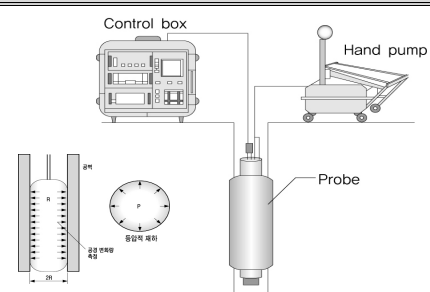
## 2.2.4 공내전단시험

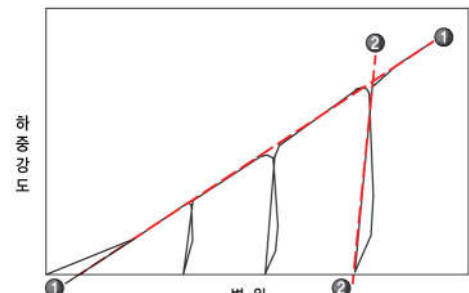
공내전단시험은 시추공 내에서 직접 전단을 일으켜 신뢰도 높은 강도정수를 제공하며, 풍화대의 점착력 및 내부마찰각 등의 전단강도 특성을 파악하였다.

시 험 방 법	시험 모식도
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대상 지반의 분포 상태를 확인 후 최적의 시험위치를 결정</li> <li>· 시추공내 시험구간에 전단기(Shear Head)를 삽입하여 지상에서 Hand Pump를 이용, 전단기를 공벽에 부착시킨 후 수평압력(Normal Stress)을 가함</li> <li>· 시추공 내 전단기와 연결된 Rod를 지상에서 공압잭(Hydraulic Jack)으로 끌어당기는 수직력(Shear Stress)을 가하여 파괴시의 전단력을 산정</li> <li>· 시험구간을 변경한 후 동일한 방법으로 수평응력을 바꾸어 3회 이상 시험하며, 모든 시험과정은 응력이완 및 지반상태를 고려하여 시추 직후 신속히 수행</li> </ul>	 <p>&lt;그림 2-5&gt; 공내전단시험 모식도</p>

## 2.2.5 공내재하시험

기반암의 변형특성(변형계수 및 탄성계수 측정)을 파악하기 위하여 공내재하시험을 수행하였다.

시 험 방 법	시험 모식도
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시추공 내에 고무튜브의 측정관을 삽입하여 그것에 가압액(물)을 주입에 의해 공벽에 등분포하중을 주는 방식</li> <li>· Sonde 내부에 수압을 가하여 반경 변화량측정(세차레 Loading-Unloading 반복 실시)</li> <li>· 압력-변형량곡선, 변위-응력곡선을 작성하여 정탄성계수 산출</li> </ul>	 <p>&lt;그림 2-6&gt; 공내재하시험 모식도</p>

해 석 방 법	공내재하시험의 하중-변위 곡선 예시
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공내재하시험으로 얻은 하중-변위곡선으로부터 변형계수와 탄성계수를 구함</li> <li>· 변형계수(Deformation Coefficient)는 각 압력단계시 공벽의 변형이 일어나는 직선부(①-①)의 기울기로부터 구함</li> <li>· 탄성계수(Elasticity Coefficient)는 반복재하부의 접선(②-②)의 기울기로부터 구함</li> </ul>	

## 2.3 실내시험

### 2.3.1 토질물성시험

시추조사시 채취된 불교란시료에 대하여 실내시험을 수행하였으며, 각 시험방법은 KS F 규격, ASTM 규정에 준하여 실시. 시험된 결과를 토대로 통일분류법(Unified Soil Classification System : U.S.C.S)에 의하여 분류하여, 그 성과를 부록편 실내시험 성적서에 수록하였으며, 조사구역에서 수행한 실내시험 종류 및 시험규격은 다음과 같다.

#### 1) 물성시험의 종류

<표 2-4> 기본물성시험 항목별 결과이용

구분	시험항목	시험방법의 종류	시험결과에서 얻는 수치	시험결과 이용
물성 시험	연경도	액성한계시험	Consistency 지수 액성한계 유동곡선(유동지수)	자연상태의 점성토의 안정성 판정 재료로서의 흙의 판정
		소성한계시험	소성한계, 소성지수	노상, 노반토의 적부 판정
	비 중	피크노메타법	흙입자의 밀도	흙의 기본적 성질의 계산
	함수비	110°C(노건조법)	함수비	흙의 기본적 성질의 계산 흙의 예민정도의 판별
	입 도	체 분 석	최대입경 입도가적곡선과 입경 균등계수 곡률계수	흙의 분류 점토의 압축성의 판별 사질토의 안정성의 판별 사질토의 액상화의 판별
		#200체 통과량	세립분 함유율	간이 입도조성 판별

#### 2) 시험방법

- 함수비시험
  - 시험방법은 KS F 2306 규정에 의함
  - 함수량은 온도 100±5°C의 건조로에 의해 젖은 흙에서 제거된 수분의 양
  - 함수비는 흙의 함수량과 건조된 흙의 무게의 비
- 비중시험
  - 시험방법은 KS F 2308 규정에 의함
  - 비중은 4°C에서의 증류수의 단위중량에 대한 흙 입자의 단위중량과의 비
- 액성한계시험
  - 시험방법은 KS F 2303 규정에 의함
  - 소성상태에서 액성상태로 변하는 순간의 함수비로 액상을 나타내는 최초의 함수비
- 소성한계시험
  - 시험방법은 KS F 2303 규정에 의함
  - 반죽한 흙을 유리판에 놓고 손바닥으로 국수모양을 밀어 직경 3mm 정도에서 부서져 더 밀 수 없을 때의 함수비
- 입도(체분석)시험
  - 시험방법은 KS F 2309 규정에 의함 · 흙의 크기에의 분포상태를 중량 백분율로 표시한 것

## 3) 시험수량 및 규정

&lt;표 2-5&gt; 기본물성시험 현황

구 분	규 정	수 량	결과이용	구 분	규 정	수 량	결과이용
함수비	KSF 2306	17회	함수상태 파악	체분석	KSF 2309	17회	입도분포 파악
비 중	KSF 2308	17회	단위중량 추정	액성한계	KSF 2303	17회	액성한계상태 측정
입도분석	KSF 2302	17회	입도조성 파악	소성한계	KSF 2303	17회	소성한계상태 측정

비중시험	액성한계시험	소성한계시험	입도분석
			

&lt;그림 2-8&gt; 기본물성시험 전경


## 2.3.2 암석시험

과업구간 내 분포하는 기반암의 공학적 특성 파악 및 얻어진 물성값을 설계에 반영하기 위해 총 4 회의 암석시험을 수행하였으며, 암석시험의 종류 및 시험규격은 다음과 같다.

&lt;표 2-6&gt; 암석시험 현황

구 분	규 정	결과이용	수 량	비 고
단위중량	KS F 2503	· 암석의 단위중량 파악	-	
탄성파속도	ASTM D 2845	· 암석의 균열도 파악, 암반분류	-	
포아송비	ASTM D 3148	· 암석의 포아송비, 암반 변형특성 파악	-	
탄성계수	ISRM	· 암석의 탄성계수 파악, 암반 변형특성 파악	-	

&lt;표 2-7&gt; 암석일축압축시험 방법

시 험 방 법	시 험 전 경
<p>· 원주의 공시체에 축방향의 압축력을 가하여 강도를 산정</p> <p>· 일축압축강도 시험은 ASTM D2938, 탄성계수와 포아송비는 ASTM D3149에 따라 160톤 용량의 MTS 315 System 을 사용하여 시험편의 축방향으로 압축을 가한 후 파괴될 때의 하중을 측정</p> $\text{일축압축강도(MPa)} = \frac{\text{파괴시의 하중(N)}}{\text{시험편의 단면적(mm}^2\text{)}}$	



## 제3장 흙 및 암반 분류 및 기재방법

### 3.1 흙의 분류 및 기재방법

### 3.2 암반의 분류 및 기재방법

## 제 3 장 흙 및 암반의 분류 및 기재방법

### 3.1 흙의 분류 및 기재방법

#### 3.1.1 흙의 분류방법

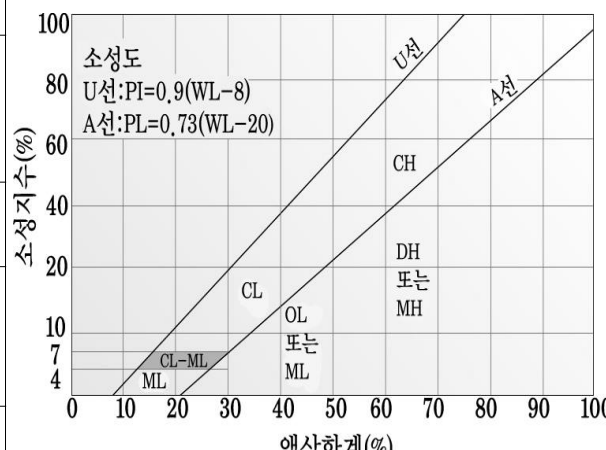
분류방법은 통일분류법(USCS분류), AASHTO분류법, FAA법과 그 외의 각국에서 기준으로 하는 분류법들이 있다. 본 조사에서는 현장에서 육안분류를 실시한 후 실내시험을 실시하여 분류를 명확히 하였으며, 육안분류방법은 다음과 같다.

<표 3-1> 토질별 분류방법

구 분	육안 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		손가락으로 끈 모양으로 꼰 때
		건 조 상 태	습 윤 상 태	
모 래 (Sand)	개개의 입자크기가 판별되며 입상을 보임 건조상태에서 흩어져 내림	덩어리지지 않고 흐트러짐	덩어리거나 가볍게 건드리면 흩어짐	끈 모양으로 꼬아지지 않음
실트질모래 (Silty Sand)	입상이나 실트나 점토가 섞여서 약간 점성이 있음. 모래질의 특성 우세함	덩어리가 지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	끈 모양으로 꼬아지지 않음
모래질실트 (Sandy Silt)	적당량의 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트입자가 반 이상임 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 부서지면 밀가루와 같은 감촉	덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 물을 부으면 서로 엉킴	끈 모양으로 꼬아지거나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음
실 트 (Silt)	세립사와 점토는 극소량을 함유하고 실트입자 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 꼬아지지 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	건조되면 아주 딱딱한 덩어리가 됨 건조상태에서 잘 부서지지 않음	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	길고 얇게 꼬아짐 점성이 큼

본 조사에서 흙의분류는 가장 널리 이용되고 있는 통일분류법에 흙을 분류하였으며, 그 방법은 다음과 같다.

<표 3-2> 통일분류법에 의한 흙의 분류

주요구분			분류기호	대표명	분류방법			
조립토 No. 200 체 통과 50% 이하	자갈 No.4체 통과분 50% 이하	깨끗한 자갈	GW	입도분포 좋은 자갈 자갈, 모래 혼합토	· 입도곡선으로 모래와 자갈의 비율을 나눈다. · 세립분(No.200체 이하)의 백분율에 따라 다음과 같이 나눈다.  - 5%이하 : GW, GP, SW, SP  - 12%이상 : GM, GC, SM, SC 5~12% : 이중기호	$C_u = D_{60}/D_{10} : 4$ 이상 $C_g = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60} : 1 \sim 3$		
			GP	입도분포 불량한자갈 자갈, 모래 혼합토		GW 분류기준에 부적합		
		세립분 함유한 자갈	GM	실트질 자갈, 자갈, 모래, 실트 혼합토		소성도 A선아래 또는 $PI < 4$	소성도에서사 선부분은 이중기호	
			GC	점토질 자갈, 자갈, 모래, 점토 혼합토		소성도에 A선 위, 또는 $PI > 7$		
	모래 No.4체 통과분 50% 이상	깨끗한 모래	SW	입도분포 좋은 모래 자갈섞인 모래		$C_u = D_{60} / D_{10} : 6$ 이상 $C_g = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60} : 1 \sim 3$	SW 분류기준에 부적합	
			SP	입도분포 불량한 모래 자갈섞인 모래		소성도 A선아래 또는 $PI < 4$	소성도에서 사선부분은 이중기호	
		세립분 함유한 모래	SM	실트질 모래		소성도 A선 위 또는 $PI > 7$		
			SC	점토질 모래				
세립토 No. 200 체 통과 50% 이상	실트 및 점토 ( $LL < 50$ )	ML	무기질 점토, 극세사, 암분, 점토질 세사		소성도 U선: $PI=0.9(WL-8)$ A선: $PI=0.73(WL-20)$	액상한계(%)	점성(%)	
		CL	저,중소성 무기질 점토, 자갈, 모래, 실트 섞인 점토. 점성이 낮은 점토					
		OL	저소성 유기질 점토 및 실트					
	실트 및 점토 ( $LL > 50$ )	MH	무기질 실트, 운모질, 규조질 세사 또는 실트, 탄성이 높은 점토					
		CH	고소성 무기질 점토, 점성이 높은 점토					
		OH	중, 고소성 유기질 토성					
		유기질토						Pt

## 3.1.2 흙의 기재방법

토질상태는 N값을 근거로하여 사질토의 경우 상대밀도(Relative Density), 점성토의 경우 연경도(Consistency)를 기재하였으며, 함수상태, 색조 등을 기재하였다. 색조는 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암에 대한 서술용어를 사용하였다. 함수상태는 실내시험을 근거로 다음을 기준으로 하여 기재하였다.

&lt;표 3-3&gt; 흙의 함수상태 기재방법

함 수 량 (%)	상 태
0 ~ 10	건 조 (Dry)
10 ~ 30	습 윤 (Moist)
30 ~ 70	젖 음 (Wet)
70 이상	포 화 (Saturated)

점성토의 연경도는 흙이 연약하거나 단단한 정도, 유동성의 정도를 의미하며, 세립토의 상태를 나타내는데 이용된다.

&lt;표 3-4&gt; 표준관입시험을 통한 흙의 연경도

N 값	연 경 도	일축압축강도(kg/㎠)
2 이하	매 우 연 약	0.25 이하
2 ~ 4	연 약	0.25 ~ 0.50
4 ~ 8	보 통 견 고	0.50 ~ 1.0
8 ~ 15	견 고	1.0 ~ 2.0
15 ~ 30	매 우 견 고	2.0 ~ 4.0
30 이상	고 결	4.0 이상

사질토의 상대밀도는 흙의 최대간극비( $e_{max}$ )와 최소간극비( $e_{min}$ )에 대한 현재지반의 간극비( $e$ )로부터 지반의 밀도를 나타내며, 표준관입시험 결과인 N값에 의해 Peck이 제안한 기준에 따라 구분하였다.

&lt;표 3-5&gt; 표준관입시험을 통한 흙의 상대밀도

N 값	상대밀도 $Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$		내부마찰각 ( $\phi$ )	
			Peck	Meyerhof
0 ~ 4	매우 느슨	0.0~0.2	28.5°이하	30° 이하
4 ~ 10	느슨	0.2~0.4	28.5° ~ 30°	30° ~ 35°
10 ~ 30	보통 조밀	0.4~0.6	30° ~ 36°	35° ~ 40°
30 ~ 50	조밀	0.6~0.8	36° ~ 41°	40° ~ 45°
50 이상	매우 조밀	0.8~1.0	41°이상	45°이상

### 3.2 암반의 분류 및 기재방법

### 3.2.1 암반의 분류방법

암반의 분류기준은 일반적으로 지질학적 분류, 품셈에 의한 분류, 한국도로 공사 분류, 공학적 분류가 있으며, 내용을 요약하면 다음 표와 같다.

**<표 3-6> 암반의 분류방법**

구 분	분 류 방 법	개 요
지질학적 분류	·성인에 따른 분류	·암석의 생성조건에 따라 분류
품셈에 의한 분류	·지반조사에 의한 분류 ·탄성과 속도에 따른 분류 ·일축압축강도에 의한 분류 ·토공 작업성에 의한 분류	·지반조사시 암반분류기준에 의거 ·해머타격 및 탄성과 속도에 의한 분류 ·암석의 강도특성에 따른 분류 ·R.Q.D, T.C.R 및 탄성과 속도에 따른 분류
공 학 적 분 류	·RQD를 이용한 분류 ·RMR을 이용한 분류	·시추조사시 회수된 Core를 이용 ·암반상태를 등급화 하여 분류

### 3.2.2 지질학적 분류

지질학적 분류는 지질연대에 의한 분류와 성인에 의한 분류로 나누어진다. 지질연대에 따른 분류는 지층의 층사와 암석의 경년을 기준으로 한 연대에 따라 대(代, Era), 기(紀, Period), 세(世, Age)로 구분하며, 암석을 생성조건에 따라 분류하는 방법은 먼저 1단계로 생성과정에 따라 화성암, 퇴적암, 변성암의 3가지로 구분한 다음 암석의 생성조건과 조암광물의 종류 및 성분, 쇄설물의 입경, 결정구조 등에 따라 세부화된다.



## 3.2.3 지반조사시 암반분류

지반조사시 암반분류기준에 의하면 통상 연암, 보통암, 경암 등 3등급으로 분류한다.

## 1) 도로설계실무편람의 암반분류기준

&lt;표 3-7&gt; 지질조사에 의한 암반분류

구 분	지질조사에 의한 분류기준	지 질 특 성
연 암	·TCR:20~40%, RQD: <25% ·Js : 6cm~20cm ·일축압축강도(건조상태) : 700~1000kg/cm <sup>2</sup>	·암의 내부를 제외하고 균열을 따라 다소 풍화가 진척되었으며, 장식 및 유색광물이 변색됨(심한풍 화~보통풍화) ·햄머로 1~2회치면 둔탁음을 내고 부서지거나 갈 라짐
보통암	·TCR : 40~70% ·RQD : 25~50% ·Js : 15cm~30cm ·일축압축강도(건조상태) : 1000~1300kg/cm <sup>2</sup>	·절리면을 따라 다소 풍화 진행, 석영을 제외한 장 석 및 유색광물 일부 변색됨(보통풍화~약간풍화) ·햄머타격시 탁음을 내고 2~3회에서 갈라지며 갈 라진 면이 날카로움
경 암	·TCR : >70%, RQD : >50% ·Js : 20cm~50cm ·일축압축강도(건조상태) : 1300~1600kg/cm <sup>2</sup>	·대체로 신선, 절리면을 따라 약간풍화, 암내부는 대체로 신선(약간풍화~신선) ·햄머타격시 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀 는 경향을 보임

자료 : 지반조사시 암반분류기준(건설부표준품셈-도로설계실무편람 토공 및 배수공)

## ● 암석그룹의 분류

&lt;표 3-8&gt; 암석그룹의 분류

구 분	A 그 룹	B 그 룹
대표적인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감 람암, 사문암, 유문암, 셰일, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	사질분, 석영분을 다량 함유, 암질이 단단, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 암석천매상의 암석
500~1,000g 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되나, 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점에 암 자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비상되지 않는 암 석

## 2) 지질조사 표준품셈에 의한 암반분류

&lt;표 3-9&gt; 지질조사 표준품셈에 의한 암반분류

암반 분류	시추굴진 상 황	암 반 의 성 질					
		풍화변질 상 태	균 열 상 태	코 아 상 태	함 마 타 격	침 수 시 험	탄성파속도 (km/sec)
풍 화 암	Metal Crown Bit로 용이하게 굴진 가능하며 때로는 무수 보링도 가능	암내부까지 풍화진행 암의 구조및 조직이 남아 있음	균열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착상태임	세편상 암편이 남아있고 손으로 부수면 가루가 되기도 함. 원형코아가 없음.	손으로도 부서짐	원형보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리됨.	< 1.2
연 암	Metal Crown Bit로 용이하게 굴진가능한 암반	암내부의 일부를 제외하고는 풍화진행, 장식, 운모등이 변색, 변질됨	균열이 많이 발달 균열 간격은 5cm이하이고 점토 협재	암편상~세편상(각력상) 원형코아가 적고 원형복구 곤란	햄머로 치면 가볍게 부서짐	세편상으로 분리되고 암괴로도 분리됨	1.2~2.5
중 경 암	Metal Crown Bit로 굴진 가능하나 Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	균열을 따라 다소 풍화진행, 장식 및 유색광물은 일부 변색됨	균열발달 일부는 점토를 협재함. 세편상태로 잘 부서짐. 균열간격 10cm내외	대암편상~단주상 10cm이하이며 특히 5cm내외의 코아가 많음. 원형복구 가능	햄머로 치면 타격을 내고 부서짐	암괴로 분리하나 입자의 분산은 거의 없고 변화하지 않음	2.5~3.5
경 암	Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	대체로 신선 균열을따라 약간 풍화변질됨. 암내부는 신선함	균열의 발달이 적으며 균열간격은 5~15cm, 대체로 밀착상태이나 일부는 Open됨	단주상~봉상 대체로 20cm이하. 1m당 5~6개 이상	햄머로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며, 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	3.5~4.5
극 경 암	Diamond bit의 마모가 특히 심한 암반	대단히 신선하고 풍화변질을 받지 않음	균열의 발달이 적으며 그 간격은 20~50cm로 밀착	봉상~장주상 완전한 형태를 보유 1m당 5~6개	햄머로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	4.5이상

자료 : 지질조사 표준품셈 P133, 한국엔지니어링 진흥협회

## 3) 토공작업성에 의한 분류기준

&lt;표 3-10&gt; 토공작업성에 의한 분류기준

구 분		토 공 작 업 리 퍼 빌 리 티		
		토 사	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험(N값)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속의 발달빈도	BX크기	-	TCR≤5%, RQD=0%	TCR≥10%, RQD=0~10%
	NX크기	-	TCR≤20%, RQD=0%	TCR≥25%, RQD≥10%
탄성파 속 도	A 그룹	700m/sec 미만	700~1,200m/sec미만	1,200m/sec 이상
	B 그룹	1,000m/sec미만	1,000~1,800m/sec 미만	1,800m/sec 이상

## 4) 일축압축강도에 의한 암반분류기준 (한국기술용역협회 지질조사표준품셈)

&lt;표 3-11&gt; 일축압축강도에 의한 암반분류기준

구 분	풍화암	연암	보통암	경암	극경암
제3기 퇴적암 화성암	각 암석의 풍화암	세일, 응회암, 사암, 이암, 각력응회암	역암, 집괴암 현무암 (다공질)	쳐트, 규질아질라이트, 유문암, 반암, 안산암, 조면암, 집괴암, 현무암	규질아질라이트, 석영, 조면암, 석영안산암
중생대 퇴적암 화성암	각 암석의 풍화암	세일, 탄질세일	사질세일, 실트스톤, 장석질사암	역암, 경사암, 규질세일, 화강암, 반암, 규장암, 화강편마암, 쳐트, 혼펠스	석영맥, 쳐트, 혼펠스
고생대 및 선캄브리아기 퇴적암, 화성암 및 변성암	각 암석의 풍화암	세일, 실트스톤, 탄질세일, 석회암, 대리석, 점판암, 천매암, 사문암	슬레이트, 백운암, 흑운모편암, 흑연편암, 녹리, 석편암, 견운모편암	사암, 역암, 규질세일, 규질석회암, 섬록암, 섬장암, 반려암, 석영반암, 화강반암, 페그마타이트반암, 화강편마암, 운모편마암, 각섬편마암, 호상편마암, 석영편암, 각섬편암, 운모편암	경사암, 규암, 석영맥
일축압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	125 이하	125~400	400~800	800~1,200	1,200이상 경우에는 1,800
적 용	상기한 암석의 일축압축강도는 암반분류의 한 요인으로서 암반을 종합 판정할 경우에는 풍화정도, 균열상태, 코아형성 등의 제성질을 참작하여 실시, Foliation 및 잠재균열이 발달한 일축압축강도는 저하함				



## 5) 한국산업규격(KS F 2530)에 의한 암반의 분류기준

&lt;표 3-12&gt; 한국산업규격에 의한 암반의 분류기준

종 류	일축압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	참 고 치	
		흡수율(%)	겉보기 비중
경 암	500 이상	5 미만	약 2.7 ~ 2.5
준경암(보통암)	500 ~ 100 이상	5 ~ 15 미만	약 2.5 ~ 2.0
연 암	100 미만	15 이상	약 2.0 미만

## 6) 건교부 표준지반분류에 의한 암반분류

&lt;표 3-13&gt; 건교부 표준지반분류에 의한 암반분류

암반분류	지질조사에 의한 분류기준	지 질 특 성
연 암	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TCR : 20~40%, RQD : &lt; 25%</li> <li>• Js : 6~20cm</li> <li>• 일축압축강도(건조상태) : 700~1,000 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암의 내부를 제외하고 균열을 따라 다소 풍화가 진척되었으며, 장식 및 유색광물이 변색됨 (심한풍화~보통풍화)</li> <li>• 해머로 1~2회 치면 둔탁음을 내고 부서지거나 갈라짐</li> </ul>
보통암	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TCR : 40~70%, RQD : 25~50%</li> <li>• Js : 15~30cm</li> <li>• 일축압축강도(건조상태) : 1,000~1,300 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절리면을 따라 다소 풍화진행, 석영을 제외한 장식 및 유색광물이 일부 변색됨 (보통풍화~약간풍화)</li> <li>• 해머 타격시 탁음을 내고 2~3회에서 갈라지며 갈라진 면이 날카로움</li> </ul>
경 암	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TCR : &gt; 70%, RQD : &gt; 50%</li> <li>• Js : 20~50cm</li> <li>• 일축압축강도(건조상태) : 1,300~1,600 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대체로 신선하며 절리면을 따라 약간풍화, 암 내부는 대체로 신선함(약간풍화~신선)</li> <li>• 해머 타격시 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튼튼 경향을 보임</li> </ul>

## 7) 공학적 분류

암반을 공학적으로 분류하는 것은 층리, 절리, 단층 파쇄대와 같은 다양한 불연속면이 있을 뿐만 아니라 풍화 및 변질작용을 받은 원지반의 암반에 대하여 공학적인 목적에 적합하게 활용할 수 있는 자료로 사용하기 위함이다.

일반적인 공학적인 분류방법은 절리간격, 강도, 탄성파속도, RQD등에 의한 분류법이 있으며, 각 구조물의 종류 및 용도에 따라 세분하여 분류하기도 한다. 본 과업에서는 TCR 및 RQD분류를 기본으로 시행하였다.

## ● RQD(Rock Quality Designation)

암질지수 즉, 암질의 상태를 나타내는 지표로서 시추공(Borehole)에서 채취된 암석코어(Core)에 대하여 다음과 같이 표시한다.

$$RQD (\%) = \frac{10\text{cm 이상 Core의 총길이}}{\text{Bore Hole 길이}} \times 100$$

&lt;표 3-14&gt; 암질지수에 의한 암반분류

구 분	I	II	III	IV	V
R Q D (%)	90 이상	75~90	50~75	25~50	25이하
암 질 상 태	Very good	good	Fair	Poor	Very Poor

## 8) 암반의 기재방법

ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격(절리나 파쇄대의 간격), 강도 및 암질등을 기재하였다.

## ● 암석의 절리간격에 따른 분류기준

절리(Joint)는 암석에 발달한 균열을 따라 변위가 일어나지 않은 형태를 말하며, 절리간격은 아래와 같이 기재하였다.

&lt;표 3-15&gt; 암석의 절리간격에 의한 분류기준

구 분	간 격	표 현
F 5	5cm 이하	매 우 심 한 균 열 (Highly Fractured)
F 4	5~10cm	심 한 균 열 (Fractured)
F 3	10~20cm	보 통 균 열 (Moderately Fractured)
F 2	20~100cm	약 간 균 열 (Slightly Fractured)
F 1	100cm 이상	괴 상 (Massive)

## ● 암석의 풍화상태에 따른 분류기준

&lt;표 3-16&gt; 풍화상태에 따른 암반분류기준

구 분	표 현	설 명
D 5	완 전 풍 화	·암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 원조직과 구조를 지니며, 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유
D 4	심 한 풍 화	·암석내부까지 풍화가 진행중이며, 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부스러뜨릴 수 있는 상태
D 3	보 통 풍 화	·전 암석표면에서부터 풍화가 진행중이며 색조는 변화하였으나 손으로 부스러뜨릴 수 없는 상태
D 2	약 간 풍 화	·기반암에 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석은 풍화작용이 일어나지 않은 상태
D 1	신 선	·풍화작용의 흔적이 없는 상태

## ● 암석의 육안판정에 따른 강도 분류기준

&lt;표 3-17&gt; 육안판정에 따른 암반의 강도 분류기준

구 분	표 현	설 명
S 5	매우약함	·손가락 또는 엄지손가락으로 눌러 으스러지는 정도
S 4	약 함	·함마로 눌러 으스러지는 정도
S 3	보통강함	·1회의 약한 함마타격에 쉽게 깨지며 모서리가 으스러짐
S 4	강 함	·1~2회의 강한 함마타격에 깨지거나 모서리가 각이짐
S 1	매우강함	·여러번 강한 타격에 패각상 조각으로 깨지며 각이 날카로움

## 제4장 지형 및 지질

4.1 지형 및 지질특성 분석

4.2 광역 선형구조 분석

## 제 4 장 지형 및 지질

### 4.1 지형 및 지질특성 분석

#### 4.1.1 지형특성 분석

본 과업지역은 행정구역상 인천시 서구 공촌동 및 남동구 수산동 일원으로 공촌~부평구간은 인천의 북측, 남동~수산구간은 인천의 남측에 위치한다.

산계는 지질분포와 관련이 있는데, 편암, 편마암 등의 풍화저항성이 낮은 변성암은 구릉지성 낮은 산지를 형성하는 반면에 풍화저항성이 강한 안산암, 응회암등의 화산암류지역은 계양산, 천마산 등 험준한 산지를 형성한다. 인천지역의 산계는 특징적으로 원형의 능선을 형성하는데, 서측지역은 계양산-철마산-원적산-만월산-관모산 등 반원형으로 이어져 분지형구조를 형성하고, 동측지역은 천왕산-원미산-춘의산으로 이어지는 북북동방향의 산계가 발달한다.

수계는 인공으로 조성된 경인아라뱃길이 계양산 북측에 동서방향으로 발달하며, 철마산, 위적산에서 발원한 심곡천과 가좌천이 서쪽으로 흘러 인천만에 유입되고, 남측의 만월산, 관모산에서 발원한 원동천, 장수천은 남쪽으로 흐른다. 동측의 천왕산, 원미산에서 발원한 역곡천은 남쪽으로 흘러 목감천에 유입되며, 대부분 도심지화로 인해 복개된 구간이 위치한다. 본 지역의 수계형태는 수지상수계를 형성하며, 검단신도시 등 도시화로 인해 소하천은 발달하지 않는다.



<그림 4-1> 조사지역 지형도

### 4.1.2 지질특성 분석

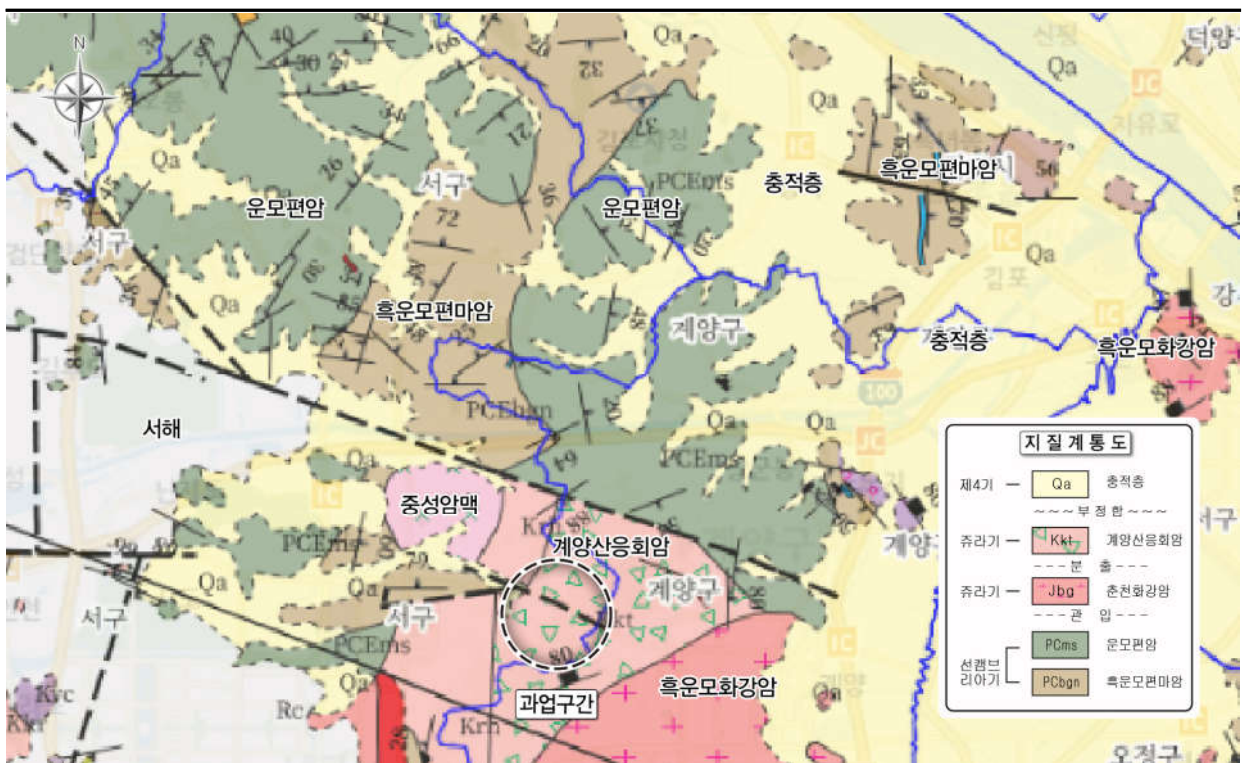
과업지역의 지질은 한국지질자원연구원에서 1995년에 발간한 김포, 인천도폭(1:50,000)을 참고하였다.

본 과업지역 지질분포는 선캠브리아기의 편암·편마암류, 쥐라기의 화강암류 및 백악기의 화산암류로 대별된다. 선캠브리아기의 암석은 편암, 편마암이 대상으로 분포하며, 추가령전단대의 남측지역으로 오랜 지질시대동안 다수의 지구조작용을 받은 지역이다.

공촌~부평구간의 지질은 계양산을 중심으로 응회암, 유문암이 분포하며, 풍화저항성이 낮아 비교적 고도가 낮은 산지를 형성한다. 또한 북북서 및 남북방향의 다수의 추정단층대가 발달하여 단층대에 인접한 영향구간은 파쇄대, 풍화변질대 등 불량한 지반을 형성할 것으로 판단된다.

남동~수산구간의 지질은 철마산응회암체를 중심으로 동측, 서측, 북측은 흑운모화강암이 관입하여 분포하고, 남측에 운모편암이 분포한다. 또한 응회암체내에 발달한 여러조의 남북방향단층이 발달하여, 과업구간의 기바암인 운모편암에도 영향을 미친 것으로 예상된다.

제4기의 충적층은 부평, 서창지역지역에 넓게 분포하여 다량의 퇴적층을 형성시켰으나, 과업구간은 산지가 우세한 지역이어서 산간계곡부에 다량의 점토와 자갈이 혼재하는 붕적층이 분포한다.



<그림 4-2> 조사지역 지질도

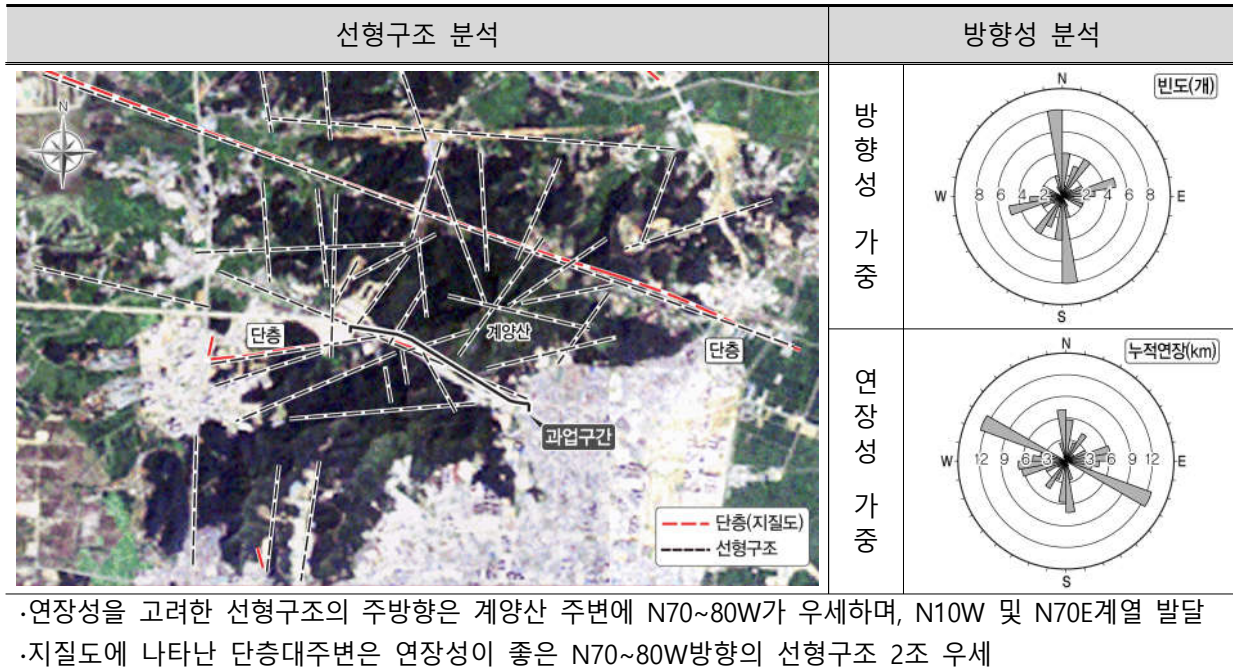


## 4.2 광역 선형구조 분석

### 4.2.1 위성영상 및 DEM을 이용한 선형구조 분석

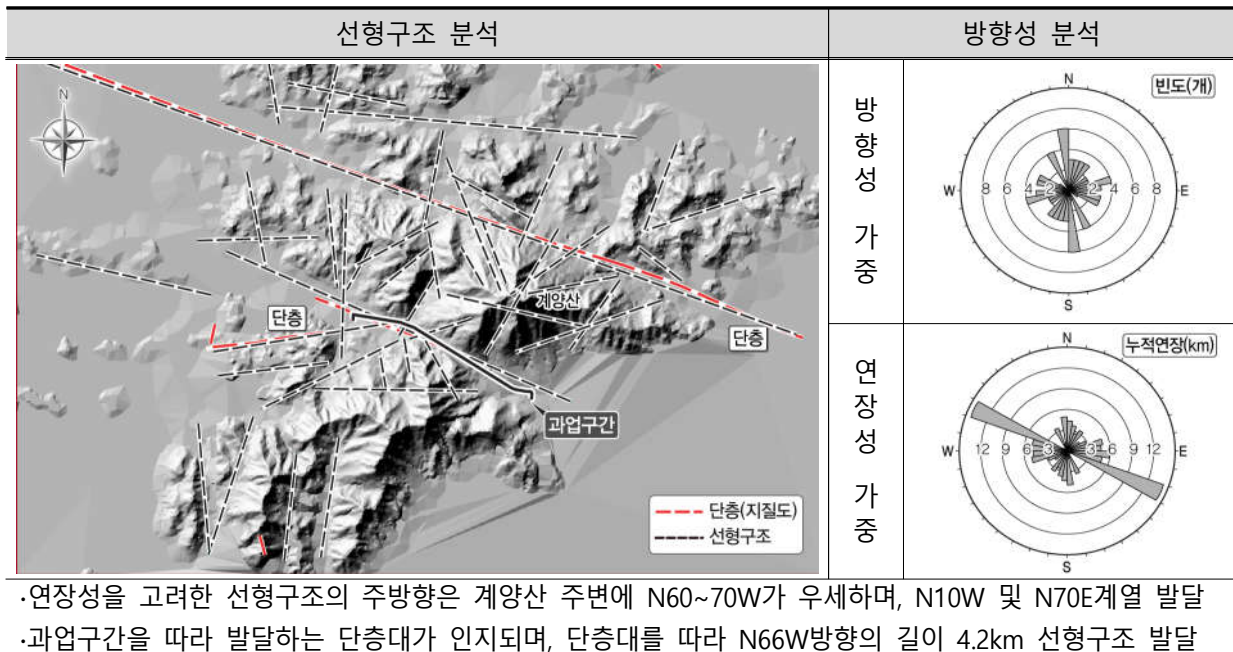
위성영상 및 수치지도를 이용한 DEM을 작성하여 지형특성, 광역 선형구조 분석을 수행하고, 과업구간 주변부에 발달하는 단층대 등의 지질이상대를 파악하는데 이용하였다.

#### 1) 위성영상을 이용한 분석



<그림 4-3> 위성영상 선형구조 분석 결과

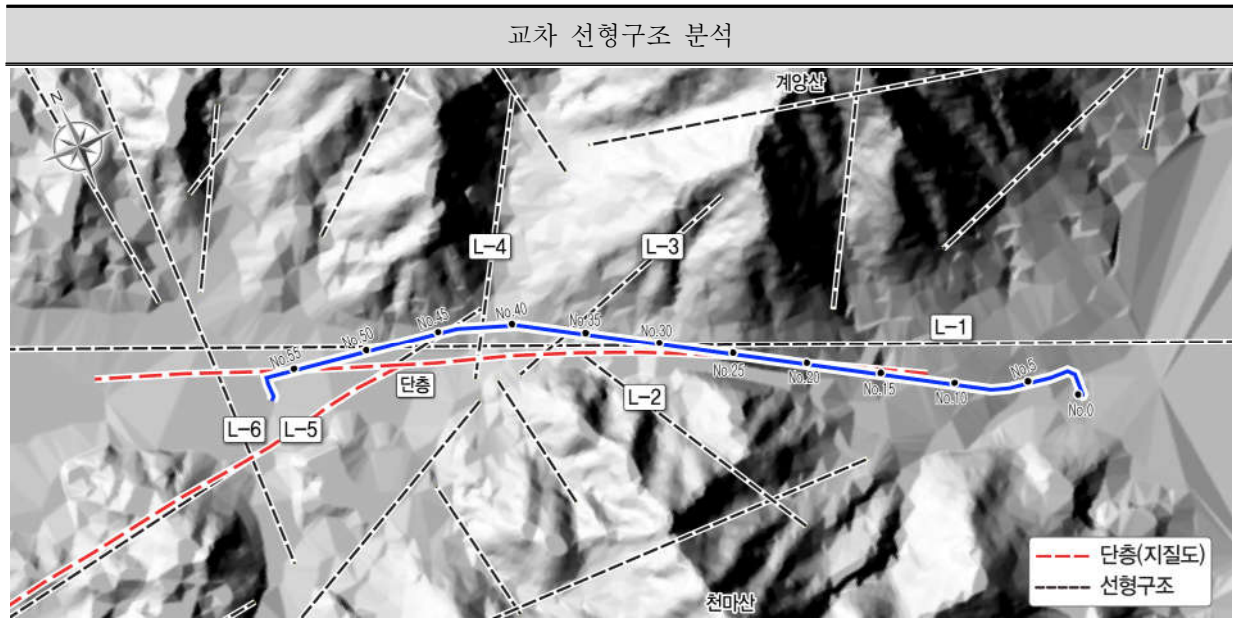
#### 2) 음영기복도(DEM)를 이용한 분석



<그림 4-4> 음영기복도(DEM) 선형구조 분석 결과

### 4.2.2 교차 선형구조 분석

시추조사, 물리탐사 등 상세조사 계획을 수립하기 위하여 과업구간과 교차되는 선형구조를 파악하였으며, 선형구조 교차가 예상되는 지점은 우선적으로 시추조사 위치선정시 고려하였다.



<그림 4-5> 노선구간 교차 선형구조 분석

과거 청라도(현재 청라지역) 동측에 임진강습곡대 영향으로 남북방향으로 발달하는 계단형 단층대가 발달하는데, 이 단층대를 따라 김포지역에 퇴적분지가 형성되었고, 계양산응회암, 천마산응회암 등의 화산암이 분출되었으며, 남북방향의 단층운동 이후 동서방향의 단층이 발달하였다. 계양산과 천마산 사이지역은 동서방향 단층이 발달하는 지역으로 주 선형구조는 이 계곡부를 따라 발달하는 것으로 나타나고, 주변의 산계에서 이와 사교하는 다수의 선형구조가 관찰된다.

과업노선은 지질도폭상 2조의 단층대가 교차하는 지역으로 선형구조는 총 6개조가 관찰되었으며, No.15~No.55구간은 단층대의 영향으로 매우 불량한 암질상태를 이룰것으로 판단된다. 전체적으로 계획 선형을 따라 종방향으로 발달하기 때문에 심한 파쇄대를 동반한 지질이상대는 노선 전구간에 걸쳐 분포할 것으로 판단되며, 주단층대(선형구조)와 사교하는 2~3차 수반단층대도 다수 분포할 것으로 예상된다.

<표 4-1> 과업노선 교차 선형구조 결과

구 분	방 향	연장(km)	교차위치(STA.)	교차각(°)	구조물	비 고
L - 1	N66W	4.2	No. 29+26.3 No. 48+27.9	08 14	터널구간 개착구간	단층대
L - 2	N29W	0.7	No. 37+22.0	29	터널구간	연장선 교차
L - 3	N72E	0.7	No. 36+08.4	49	터널구간	
L - 4	N31E	0.8	No. 42+01.8	79	터널구간	
L - 5	N81E	2.2	No. 44+20.0	19	개착구간	단층대
L - 6	N02E	1.8	No. 2+38.0	83	-	신설관로(비상시)

## 제5장 조 사 결 과

5.1 현장조사

5.2 현장시험

5.3 실내시험



## 제 5 장 조 사 결 과

### 5.1 현장조사

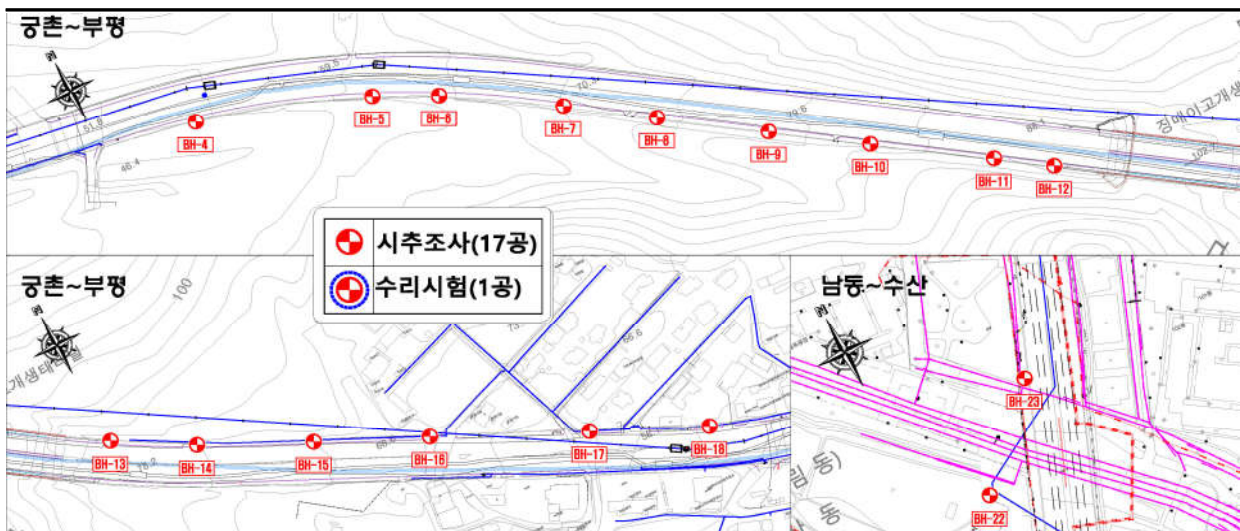
#### 5.1.1 시추조사

본 지역에 대하여 NX 규격으로 총 17공의 시추조사를 수행하였으며, 그 현황은 다음과 같다.

##### 1) 시추조사 위치 및 현황

<표 5-1> 시추조사 위치 및 현황

구 분	STA.(No+m)	좌 표( GRS80 )		표 고 (EL+m)	시추심도 (m)	비 고
		X	Y			
공 촌 ~ 부 평	BH-4	43+26.3 (좌 29.8)	550,158.404	173,467.634	55.45	11.0
	BH-5	39+35.4 (좌 27.3)	550,108.485	173,609.915	62.56	17.0
	BH-6	38+13.9 (좌 23.9)	550,082.721	173,660.034	65.46	20.2
	BH-7	35+28.3 (좌 25.9)	550,025.440	173,748.683	70.87	23.5
	BH-8	33+28.9 (좌 30.9)	549,979.382	173,813.618	74.80	28.2
	BH-9	31+14.0 (좌 36.7)	549,924.466	173,891.267	79.62	36.0
	BH-10	29+07.5 (좌 41.8)	549,874.601	173,962.050	83.96	38.5
	BH-11	26+22.4 (좌 47.4)	549,814.527	174,048.473	87.80	44.0
	BH-12	25+11.3 (좌 50.6)	549,784.941	174,090.305	88.02	44.0
	BH-13	19+31.2 (좌 25.5)	549,690.463	174,290.596	79.53	36.0
	BH-14	17+38.1 (좌 24.1)	549,653.110	174,353.523	75.87	31.0
	BH-15	15+19.9 (좌 14.7)	549,609.423	174,441.975	70.82	27.0
	BH-16	13+02.4 (좌 3.4)	549,567.723	174,530.772	67.91	19.5
	BH-17	9+28.0 (우 10.2)	549,508.578	174,652.204	60.85	17.0
	BH-18	7+03.1 (우 17.7)	549,465.326	174,743.806	54.99	15.0
남 동 ~ 수 산	BH-22	41+16.1 (좌 3.1)	538,465.870	176,274.844	11.28	11.0
	BH-23	45+04.0 (좌 14.3)	538,510.694	176,318.099	10.95	14.0



<그림 5-1> 시추조사 위치도

## 2) 시추조사 지층현황

&lt;표 5-2&gt; 시추조사 지층 두께(m)

구 분		매립층	붕적층 (자갈)	퇴적층 (자갈)	풍화토	풍화암	연 암	경암	합 계	SPT (회)
공 촌 ~ 부 평	BH-4	4.5	3.0	-	-	6.5	-	-	14.0	13
	BH-5	6.5	7.0	-	3.5	6.0	1.0	-	24.0	21
	BH-6	5.6	1.8	-	2.6	12.0	-	-	22.0	21
	BH-7	3.0	4.5	-	2.4	18.1	-	-	28.0	27
	BH-8	1.5	2.8	-	4.7	22.0	-	-	31.0	30
	BH-9	3.0	-	-	2.0	1.3	29.7	-	36.0	4
	BH-10	1.5	1.5	-	-	-	37.0	-	40.0	1
	BH-11	1.8	-	-	-	-	42.2	-	44.0	1
	BH-12	1.5	-	-	4.5	-	38.0	-	44.0	4
	BH-13	3.5	-	-	1.5	3.0	28.0	-	36.0	6
	BH-14	2.5	-	-	-	0.8	27.7	-	31.0	7
	BH-15	2.3	-	-	1.1	-	23.6	-	27.0	2
	BH-16	1.5	4.5	-	-	-	18.0	-	24.0	4
	BH-17	1.5	-	-	4.5	-	11.0	-	17.0	4
	BH-18	1.0	-	-	2.0	-	12.0	-	15.0	2
남 동 수 산	BH-22	5.0	-	2.4	1.1	1.0	1.5	-	11.0	8
	BH-23	4.0	-	3.5	6.5	-	-	-	14.0	13
합 계		50.2	25.1	5.9	36.4	70.7	269.7	0.0	458.0	168

## 3) 지층분포 특성

## 가. 공촌~부평

조사지역의 지층은 상부로부터 매립층, 붕적층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 기반암 순으로 나타나며, 시추조사 결과 나타난 지층 구성상태를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

&lt;표 5-3&gt; 지층구성 및 특성

구 분	지 층	심 도 (GL.-m)	층 후 (m)	구성성분	N값 (TCR/RQD)
BH-4	매립층	0.0~4.5	4.5	모래섞인 실트질 자갈	23/30~28/30
	붕적층	4.5~7.5	3.0	모래섞인 실트질 자갈	50/30~50/3
	풍화암	7.5~14.0	6.5	용결응회암의 풍화암	50/4~50/1
BH-5	매립층	0.0~6.5	6.5	모래섞인 실트질 자갈	25/30~50/29
	붕적층	6.5~13.5	7.0	모래섞인 실트질 자갈	28/30~50/2
	풍화토	13.5~17.0	3.5	암편섞인 실트질 모래	50/18~50/13
	풍화암	17.0~23.0	6.0	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/10~50/2
	연 암	23.0~24.0	1.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층점토 및 각력 협재	(60/0)

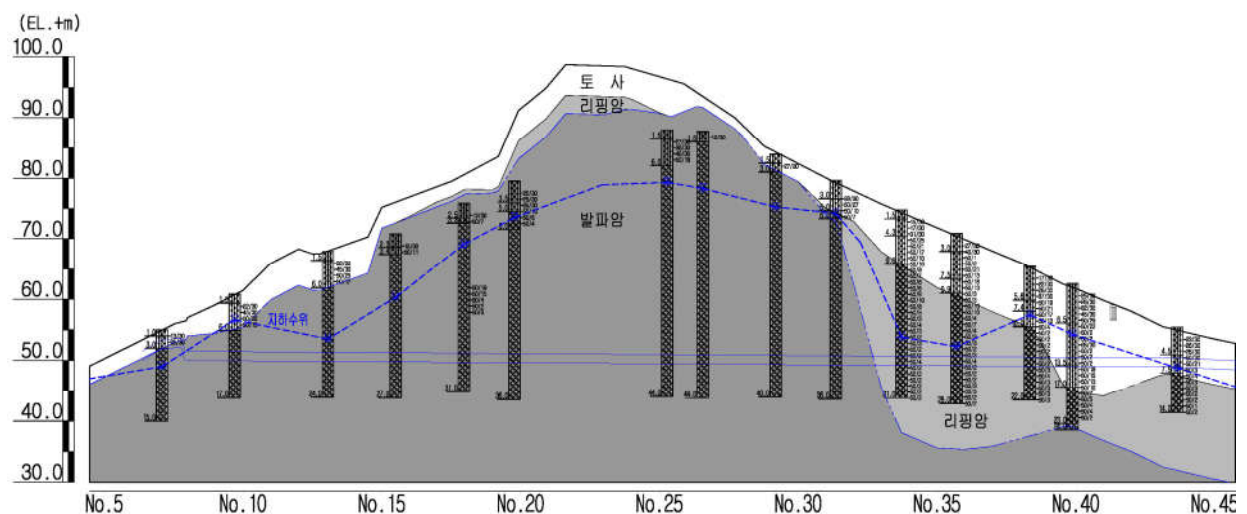
&lt;표 5-3&gt; 지층구성 및 특성(계속)

구 분	지 층	심 도 (GL.-m)	층 후 (m)	구성성분	N값 (TCR/RQD)
BH-6	매립층	0.0~5.6	5.6	모래섞인 실트질 자갈	17/30~37/30
	붕적층	5.6~7.4	1.8	모래섞인 실트질 자갈	50/21~50/19
	풍화토	7.4~10.0	2.6	암편섞인 실트질 모래	50/17~50/13
	풍화암	10.0~22.0	12.0	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/4~50/2
BH-7	매립층	0.0~3.0	3.0	모래섞인 실트질 자갈	27/30
	붕적층	3.0~7.5	4.5	모래섞인 실트질 자갈	40/30~50/1
	풍화토	7.5~9.9	2.4	암편섞인 실트질 모래	50/18~50/13
	풍화암	9.9~28.0	18.1	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/10~50/2
BH-8	매립층	0.0~1.5	1.5	모래섞인 실트질 자갈	-
	붕적층	1.5~4.3	2.8	모래섞인 실트질 자갈	15/30~31/30
	풍화토	4.3~9.0	4.7	암편섞인 실트질 모래	50/25~50/10
	풍화암	9.0~31.0	22.0	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/10~50/2
BH-9	매립층	0.0~3.0	3.0	모래섞인 실트질 자갈	-
	풍화토	3.0~5.0	2.0	암편섞인 실트질 모래	28/30~50/27
	풍화암	5.0~6.3	1.3	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/10~50/7
	연 암	6.3~36.0	29.7	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(13~57/0~24)
BH-10	매립층	0.0~1.5	1.5	모래섞인 실트질 자갈	-
	붕적층	1.5~3.0	1.5	모래섞인 실트질 자갈	27/30
	연 암	3.0~40.0	37.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(17~59/0~16)
BH-11	매립층	0.0~1.8	1.8	모래섞인 실트질 자갈	12/30
	연 암	1.8~44.0	42.2	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(10~75/0)
BH-12	매립층	0.0~1.5	1.5	모래섞인 실트질 자갈	-
	풍화토	1.5~6.0	4.5	실트질 모래	27/30~50/18
	연암층	6.0~44.0	38.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(13~60/0)
BH-13	매립층	0.0~3.5	3.5	모래섞인 실트질 자갈	20/30~25/30
	풍화토	3.5~5.0	1.5	암편섞인 실트질 모래	35/30
	풍화암	5.0~8.0	3.0	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/10~50/4
	연 암	8.0~36.0	28.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(8~90/0~15)

&lt;표 5-3&gt; 지층구성 및 특성(계속)

구 분	지 층	심 도 (GL.-m)	층 후 (m)	구성성분	N값 (TCR/RQD)
BH-14	매립층	0.0~2.5	2.5	모래섞인 실트질 자갈	13/30
	풍화암	2.5~3.3	0.8	기반암인 용결응회암의 풍화암	50/7
	연 암	3.3~31.0	27.7	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(15~87/0~5)
BH-15	매립층	0.0~2.3	2.3	모래섞인 실트질 자갈	15/30
	풍화토	2.3~3.4	1.1	암편섞인 실트질 모래	50/11
	연 암	3.4~27.0	23.6	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(8~80/0~12)
BH-16	매립층	0.0~1.5	1.5	모래섞인 실트질 자갈	-
	붕적층	1.5~6.0	4.5	모래섞인 실트질 자갈	22/30~50/17
	연 암	6.0~24.0	18.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(7~40/0)
BH-17	매립층	0.0~1.5	1.5	모래섞인 실트질 자갈	-
	풍화토	1.5~6.0	4.5	암편섞인 실트질 모래	22/30~50/15
	연 암	6.0~17.0	11.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(10~33/0)
BH-18	매립층	0.0~1.0	1.0	모래섞인 실트질 자갈	-
	풍화토	1.0~3.0	2.0	암편섞인 실트질 모래	13/30~25/30
	연 암	3.0~15.0	12.0	기반암인 용결응회암의 연암 단층영향으로 파쇄되어 암편화	(3~60/0)

지층단면도



&lt;그림 5-2&gt; 지층단면도

## ● 지층개요

### ① 매립층

본 지층은 지표면으로부터 1.0~6.5m의 층후로 분포하며, 주로 갈색~회갈색의 모래섞인 실트질 자갈로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 대부분 12/30~50/29로 보통조밀~매우조밀한 상태이며, 자갈의 함유량에 따라 N값의 범위가 넓게 나타난다. 안전한 시추작업을 위해 지표부터 약 1.0~2.5m까지 인력터파기를 실시하였으며, 이 구간은 표준관입시험을 수행하지 못하였다.

### ② 봉적층

본 지층은 도로가 개설되어 절취된 지역을 제외하고는 모든 시추공에서 확인된다. 갈색~회갈색을 띄는 모래섞인 실트질 자갈로 구성되어 있으며, 매립층 하부에 1.5~6.5m 심도부터 출현하여 1.5~7.0m의 층후로 분포한다. 표준관입시험에 의한 N값은 15/30~50/1으로 보통조밀~매우조밀한 상대밀도를 보이며, N값값의 범위가 넓게 나타난다.

### ③ 풍화토층

본 지층은 매립층 내지 봉적층 하부에 분포하며, 비교적 얇게 분포하므로 본 층없이 풍화암으로 분포하는 지역도 나타나는데, BH-4, 10, 11, 14, 16을 제외한 모든 시추공에서 확인된다. 기반암이 장기간의 풍화작용으로 역학적 성질을 완전히 상실하고, 실트질 모래로 분해되어 원위치에 잔류된 상태로 심도 1.0~13.5m부터 출현하여 1.1~4.7m 층후로 분포한다. 표준관입시험에 의한 N값은 13/30~50/10으로 보통조밀~매우조밀한 상대밀도를 나타내며, 하부로 갈수록 N값값이 증가하는 경향을 보인다.

### ④ 풍화암층

본 지층은 풍화대의 하부 지층으로 완전풍화(Completely Weathered)~심한풍화(Highly Weathered) 상태로 모암의 조직과 형태가 잔존하였으며, 암석 본래의 역학적 성질은 상실하여 굴진시 실트질 모래로 분해된다. BH-10~12, 15~18 시추공을 제외한 시추공에서 확인되며, 지표하 2.5~17.0m부터 출현하여 0.8~22.0m의 층후로 분포하며, BH-4, 6, 7, 8 시추공에서는 풍화영향으로 본층이 매우 깊어 6.5~22.0m 정도 두께를 확인한 후 시추를 종료하였다. 표준관입시험에 의한 N값은 50/10~50/1로 매우조밀한 상대밀도를 보인다.

### ⑤ 연암층

본 지층은 조사지역의 기반암인 용결응회암 지표하 1.8~23.0m 심도에서 출현하며, 계획고 하부까지 약 1.0~42.2m의 지층두께를 확인한 후 시추를 종료하였다. 암반의 풍화상태는 심한풍화~보통풍화 상태, 강도는 매우약함~보통강함 정도의 상태를 보인다. 코아회수율(TCR)은 3~90%, 암질지수(RQD)는 0~24%로 매우불량한 상태이다.

조사구간의 연암은 단층의 영향을 받아 파쇄되어 조각상 내지 단주상 코어상태로 회수되어 코어회수율이 매우 저조하다. 특히 다수의 단층활면이 관찰되는 단층파쇄대로 분포하며, 파쇄대내 토사화구간이 분포하므로 암질상태가 매우 불량하게 나타난다.

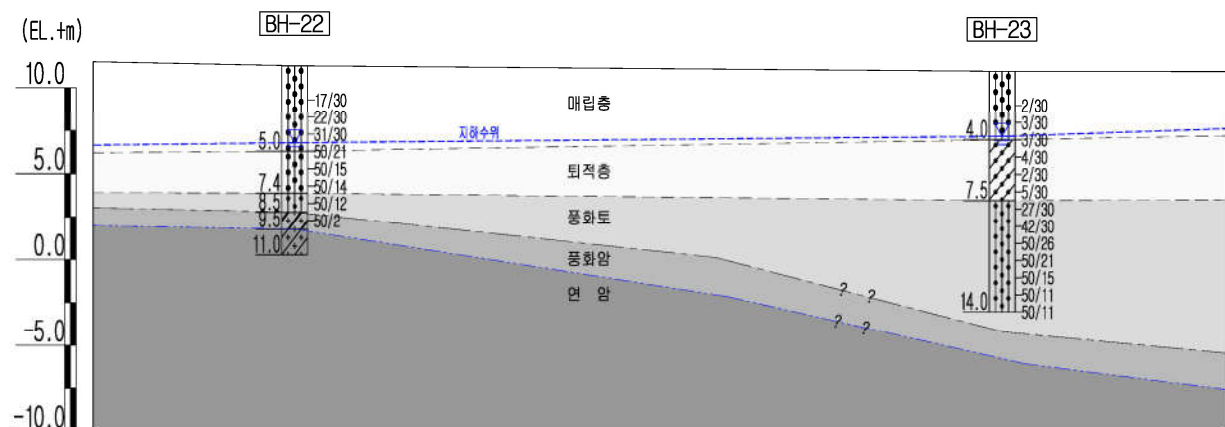
## 나. 남동~수산

조사지역의 지층은 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 기반암 순으로 나타나며, 시추조사 결과 나타난 지층 구성상태를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

&lt;표 5-4&gt; 지층구성 및 특성

구 분	지 층	심 도 (GL.-m)	층 후 (m)	구성성분	N값 (TCR/RQD)
BH-22	매립층	0.0~5.0	5.0	모래섞인 실트질 자갈	17/30~31/30
	퇴적층	5.0~7.4	2.4	모래섞인 실트질 자갈	50/21~50/14
	풍화토	7.4~8.5	1.1	실트질 모래	50/12
	풍화암	8.5~9.5	1.0	기반암인 운모편암의 풍화암	50/2
	연암층	9.5~11.0	1.5	기반암인 운모편암의 연암 심한풍화~보통풍화 보통강함~약함	(84/0)
BH-23	매립층	0.0~4.0	4.0	실트질 모래	2/30~3/30
	퇴적층	4.0~7.5	3.5	실트질 모래	2/30~5/30
	풍화토	7.5~14.0	6.5	실트질 모래	27/30~50/11

지층단면도



&lt;그림 5-3&gt; 지층단면도

## ● 지층개요

## ① 매립층

본 지층은 지표면으로부터 4.0~5.0m의 층후로 분포하며, 주로 갈색~암갈색, 회갈색의 모래섞인 실트질 자갈 내지 실트질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 2/30~31/30으로 매우느슨~조밀한 상태의 상대밀도를 보인다.

## ② 퇴적층

본 지층은 매립층 하부에 2.4~3.5m의 층후로 분포하며, 주로 갈색~회갈색 또는 암회색의 모래섞

인 실트질 자갈 내지 점토질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 자갈우세 지층은 50/21~50/14로 매우조밀한 상태이며, 점토질 모래층은 2/30~5/30으로 매우느슨~느슨한 상대밀도를 보인다.

### ③ 풍화토층

본 지층은 기반암이 장기간의 풍화작용으로 역학적인 성질을 완전히 상실하고, 실트질 모래로 분해되어 원위치에 잔류된 상태로 심도 7.4~7.5m부터 출현하여 1.1~6.5m 층후로 분포하고 있다. 표준관입시험에 의한 N값은 27/30~50/11로 보통조밀~매우조밀한 상대밀도를 보인다.

### ④ 풍화암층

본 지층은 풍화대의 하부 지층으로 완전풍화(Completely Weathered)~심한풍화(Highly Weathered) 상태로 모암의 조직과 형태가 잔존하였으며, 암석 본래의 역학적 성질은 상실하여 굴진시 실트질 모래로 분해된다. 본 층은 BH-22에서만 나타나며, 풍화토층 하부에 8.5m 심도부터 출현하여 1.0m 층후로 분포한다. 표준관입시험에 의한 N값은 50/2로 매우조밀한 상대밀도를 보인다.

### ⑤ 연암층

본 지층은 조사지역의 기반암인 운모편암으로 BH-22에서만 확인되며, 풍화암 하부에 9.5m 심도에서 출현하여 1.5m의 지층을 확인한 후 시추를 종료하였다. 암반의 풍화상태는 심한풍화~보통풍화 상태, 강도는 약함~보통강함 정도의 상태를 보인다. 코아회수율(TCR)은 84%, 암질지수(RQD)는 0%로 매우불량한 암질상태를 보인다.

조사구간의 연암은 단층의 영향을 받아 대부분 단층활면이 관찰되며, 파쇄대가 발달하여 암질상태가 매우 불량하게 나타난다.

## 5.1.2 지하수위 측정

측정된 지하수위는 공촌~부평구간은 GL-4.2~21.0m로 수위차이는 16.8m에 달하며, BH-7, 8지점과 BH-15, 16지점에서 가장 깊게 형성되어 있다. 남동~수산구간의 지하수위는 GL-3.8~4.5m로 투수성이 높은 매립층에 걸쳐 분포한다.

과업구간의 지하수위는 주변의 계양산의 지형과 관련되어 형성되어 있으나, 주변의 지하수 관정 사용여부에 따라서도 차이가 발생할 수 있으므로 시공시 면밀한 검토가 필요하다.

&lt;표 5-5&gt; 지하수위 측정결과

구 분		시추작업 완 료 일	지반고 E.L.(+)m	지하수위(GL.- m)			최종 지하수위		비 고
				24시간	48시간	72시간	EL.(+)m	GL(-)m	
공촌 ~ 부평	BH-4	2024.03.19	55.45	6.6	6.7	6.7	48.75	6.7	붕적층
	BH-5	2024.03.20	62.56	8.3	8.3	8.3	54.26	8.3	붕적층
	BH-6	2024.03.21	65.46	7.6	7.9	8.0	57.46	8.0	풍화토
	BH-7	2024.03.22	70.87	18.2	18.5	18.6	52.27	18.6	풍화암
	BH-8	2024.03.23	74.80	20.7	20.9	21.0	53.8	21.0	풍화암
	BH-9	2024.03.25	79.62	5.1	5.2	5.4	74.22	5.4	풍화암
	BH-10	2024.03.25	83.96	8.4	8.6	8.7	75.26	8.7	연 암
	BH-11	2024.03.22	87.80	9.1	9.3	9.5	78.3	9.5	연 암
	BH-12	2024.03.21	88.02	8.5	8.6	8.7	79.32	8.7	연 암
	BH-13	2024.03.14	79.53	5.5	5.8	6.0	73.53	6.0	풍화암
	BH-14	2024.03.15	75.87	6.5	6.8	6.8	69.07	6.8	연 암
	BH-15	2024.03.19	70.82	10.2	10.4	10.5	60.32	10.5	연 암
	BH-16	2024.03.15	67.91	14.2	14.3	14.4	53.51	14.4	연 암
	BH-17	2024.03.14	60.85	3.9	4.1	4.2	56.65	4.2	풍화토
	BH-18	2024.03.13	54.99	5.7	5.9	6.0	48.99	6.0	연 암
남동 ~ 수산	BH-22	2024.03.27	11.28	4.4	4.5	4.5	6.78	4.5	매립층
	BH-23	2024.03.27	10.95	3.6	3.7	3.8	7.15	3.8	매립층



## 5.2 현장시험

### 5.2.1 표준관입시험

지반특성을 파악하기 위해 1.0m마다 표준관입시험을 실시하였으며, 조사결과는 다음과 같다.

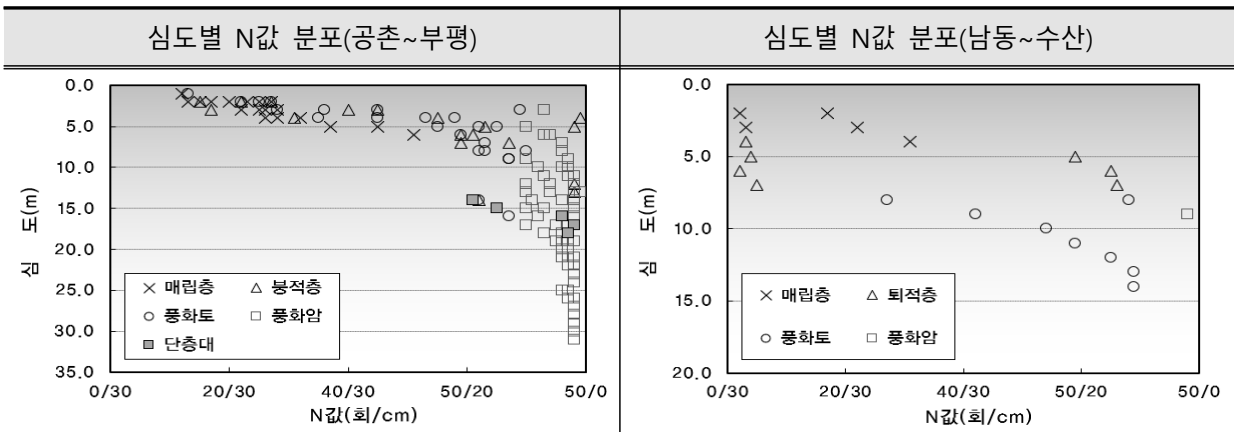
<표 5-6> 표준관입시험 결과

구 분	표준관입시험(S.P.T) 심도 (m) 및 N값(회/cm)										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	
	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0 31.0	
BH-4	터파기	23/30	26/30	28/30	50/30	50/21	50/3	50/4	50/3	50/3	13
	50/2	50/2	50/1	50/2	-	-	-	-	-	-	
BH-5	터파기	25/30	28/30	32/30	45/30	50/29	50/22	50/2	50/2	28/30	21
	50/2	50/2	50/2	50/18	50/15	50/13	50/10	50/7	50/5	50/4	
	50/4	50/2	-	-	-	-	-	-	-	-	
BH-6	터파기	17/30	22/30	26/30	37/30	50/19	50/21	50/17	50/13	50/4	21
	50/2	50/2	50/2	50/2	50/2	50/2	50/3	50/4	50/3	50/3	
	50/3	50/3	-	-	-	-	-	-	-	-	
BH-7	터파기	27/30	40/30	50/1	50/2	50/21	50/13	50/18	50/13	50/3	27
	50/3	50/10	50/10	50/4	50/7	50/4	50/3	50/3	50/2	50/3	
	50/4	50/2	50/2	50/2	50/3	50/3	50/2	50/2	-	-	
BH-8	터파기	15/30	17/30	31/30	50/25	50/21	50/17	50/10	50/10	50/8	30
	50/7	50/6	50/6	50/9	50/10	50/8	50/5	50/3	50/4	50/3	
	50/2	50/3	50/2	50/2	50/4	50/2	50/2	50/2	50/2	50/2 50/2	
BH-9	터파기	터파기	28/30	50/27	50/10	50/7	-	-	-	-	4
BH-10	터파기	27/30	-	-	-	-	-	-	-	-	1
BH-11	12/30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
BH-12	터파기	27/30	36/30	45/30	50/18	-	-	-	-	-	4
BH-13	터파기	20/30	25/30	35/30	50/10	50/6	50/4	-	-	-	6
BH-14	터파기	13/30	50/7	-	-	-	-	-	-	-	7
	-	-	-	50/19	50/15	50/4	50/2	50/3	-	-	
BH-15	터파기	15/30	50/11	-	-	-	-	-	-	-	2
BH-16	터파기	22/30	45/30	50/25	50/17	-	-	-	-	-	4
BH-17	터파기	22/30	45/30	50/22	50/15	-	-	-	-	-	4
BH-18	13/30	25/30	-	-	-	-	-	-	-	-	2
BH-22	터파기	17/30	22/30	31/30	50/21	50/15	50/14	50/12	50/2	-	8
BH-23	터파기	2/30	3/30	3/30	4/30	2/30	5/30	27/30	42/30	50/26	13
	50/21	50/15	50/11	50/11	-	-	-	-	-	-	

N값은 매립층은 2/30~50/29(평균 26/30~15/30)으로 나타나며, 붕적층은 15/30~50/1(평균 50/25), 퇴적층은 2/30~50/14(평균 29/30)으로 나타난다. 풍화토층은 13/30~50/10으로 매우 넓은범위에 걸쳐 분포하며, 심도가 깊어질수록 N값이 증가하는 경향을 보인다.

<표 5-7> 지층별 표준관입시험 결과

구 분		매립층	붕적·퇴적층	풍화토	풍화암	단층대
공촌~부평	범위	12/30~50/29	15/30~50/1	13/30~50/10	50/10~50/1	50/19~50/2
	평균	26/30	50/25	50/29	50/4	50/9
남동~수산	범위	2/30~31/30	2/30~50/14	27/30~50/11	50/2	-
	평균	15/30	29/30	23/30	50/2	-



<그림 5-4> 심도 및 지층별 N값 분포

## 5.2.2 현장투수시험

토사층의 투수계수(K)를 파악하기 위하여 시추공내에서 수위하강법을 이용하여 총 13회의 현장투수시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

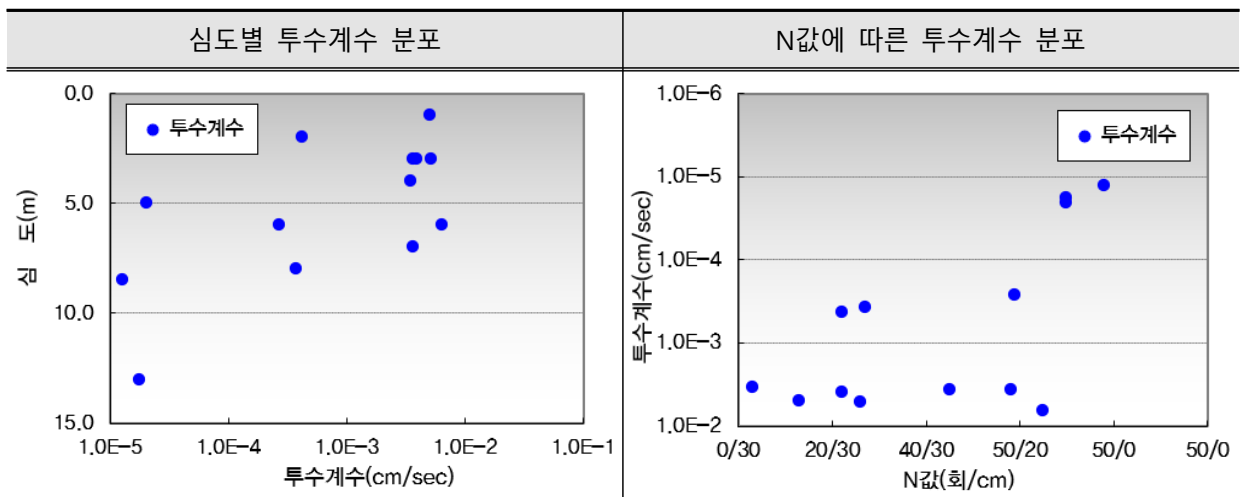
<표 5-8> 현장투수시험 결과

구 분	시험심도 (GL.-m)	지 층	구성성분	N값 (회/cm)	투수계수 (cm/sec)	비 고
BH-4	3.0~4.0	매립층	실트질 자갈	26/30	$5.16 \times 10^{-3}$	
BH-5	7.0~8.0	붕적층	실트질 자갈	50/22	$3.67 \times 10^{-3}$	
BH-7	13.0~14.0	풍화암	실트질 모래로 분해	50/10	$1.77 \times 10^{-5}$	
BH-8	6.0~7.0	풍화토	실트질 모래	50/21	$2.67 \times 10^{-4}$	
BH-9	5.0~6.0	풍화암	실트질 모래로 분해	50/10	$2.03 \times 10^{-5}$	
BH-14	1.0~2.0	매립층	실트질 자갈	13/30	$5.03 \times 10^{-3}$	
BH-16	3.0~4.0	붕적층	실트질 자갈	45/30	$3.67 \times 10^{-3}$	
BH-17	2.0~3.0	풍화토	실트질 모래	22/30	$4.22 \times 10^{-4}$	

&lt;표 5-8&gt; 현장투수시험 결과(계속)

구 분	시험심도 (GL.-m)	지 층	구성성분	N값 (회/cm)	투수계수 (cm/sec)	비 고
BH-22	3.0~4.0	매립층	실트질 자갈	22/30	$3.95 \times 10^{-3}$	
BH-22	6.0~7.0	퇴적층	실트질 자갈	50/15	$6.46 \times 10^{-3}$	
BH-22	8.5~9.5	풍화암	실트질 모래로 분해	50/2	$1.29 \times 10^{-5}$	
BH-23	4.0~5.0	퇴적층	실트질 모래	3/30	$3.45 \times 10^{-3}$	
BH-23	8.0~9.0	풍화토	실트질 모래	27/30	$3.72 \times 10^{-4}$	

현장투수시험 결과, 지층의 투수계수는 매립층  $3.95 \sim 5.16 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ , 붕적층  $3.67 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ , 퇴적층  $3.45 \sim 6.46 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ , 풍화토층은  $2.67 \sim 4.22 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ , 풍화암은  $1.29 \sim 2.03 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  정도이다. 투수계수는 N값에 따른 영향은 크지 않지만, 과업구간내 지층에서는 N값이 증가함에 따라 투수계수는 약간 감소하는 경향을 보인다.



&lt;그림 5-5&gt; 심도 및 N값별 투수계수 분포

### 5.2.3 현장수압시험

기반암의 투수계수(K)를 파악하기 위하여 시추공내에서 총 4회의 현장수압시험을 실시하였다.

&lt;표 5-9&gt; 현장수압시험 결과

구 분	시험심도 (GL.-m)	지 층	분포암종	TCR/RQD (%)	투수계수 (cm/sec)	Lugeon	Lugeon Type
BH-10	32.0~36.0	연 암	응 회 암	33~53/0~16	$4.93 \times 10^{-5}$	3.99	Laminar
BH-14	24.0~27.0	연 암	응 회 암	12~22/0~5	$1.04 \times 10^{-4}$	8.97	Wash-Out
BH-22	9.6~11.0	연 암	운모편암	84/0	$8.83 \times 10^{-5}$	9.23	Laminar

현장수압시험 결과, 투수계수는 연암층  $4.93 \sim 10.4 \times 10^{-5}$  (평균  $8.05 \times 10^{-5}$ )  $\text{cm/sec}$ 으로 나타나며, 파쇄대가 발달해 기반암내 유효공극이 큰 구간은 토사층보다도 투수계수가 크게 나타난다.

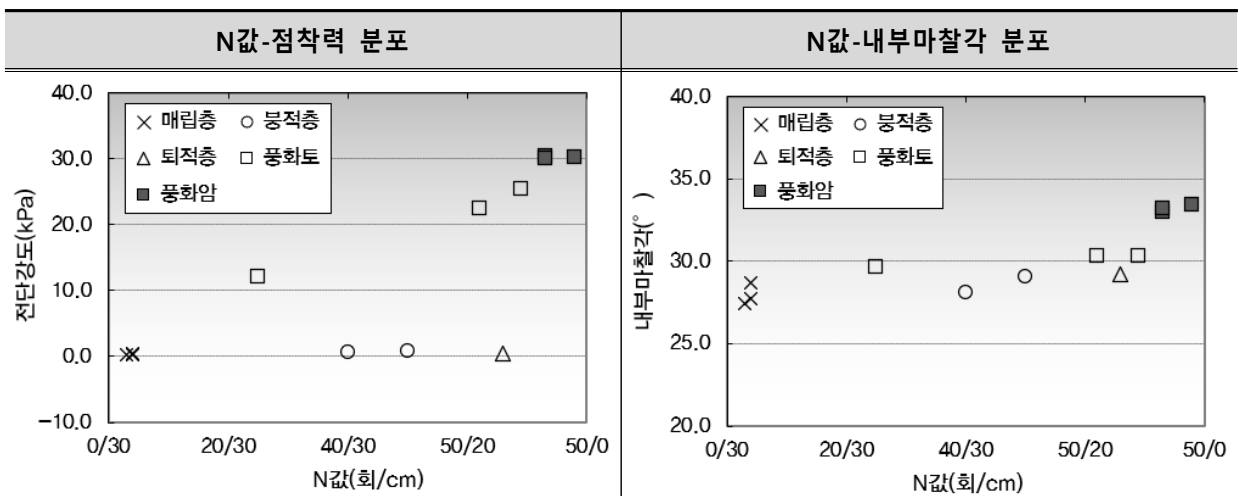
## 5.2.4 공내전단시험

토사층 및 풍화대의 강도정수( $c$ ,  $\phi$ )를 파악하기 위해 시추공내에서 공내전단시험을 12회 실시하였으며, 결과는 다음과 같다.

&lt;표 5-10&gt; 공내전단시험 결과

구 분	시험심도 (GL-m)	지 층	N 값	공내전단시험		비 고
				점착력(kPa)	내부마찰각( $^{\circ}$ )	
BH-4	4.0	매립층	28/30	0.2	28.7	
BH-4	5.0	붕적층	50/30	0.9	29.1	
BH-7	3.0	붕적층	40/30	0.6	28.1	
BH-7	8.0	풍화토	50/18	22.5	30.3	
BH-7	15.0	풍화암	50/7	30.4	33.0	
BH-13	3.0	매립층	25/30	0.2	27.5	
BH-14	3.0	풍화암	50/7	30.1	33.2	
BH-18	2.5	풍화토	25/30	12.2	29.7	
BH-22	4.0	매립층	31/30	0.4	27.8	
BH-22	7.0	퇴적층	50/14	0.4	29.2	
BH-22	8.7	풍화암	50/2	30.2	33.4	
BH-23	13.0	풍화토	50/11	25.5	30.3	

공내전단시험 결과, 점착력은 매립층 0.2~0.4(평균 0.3) kPa, 붕적층 0.6~0.9(평균 0.8) kPa, 퇴적층 0.4 kPa, 풍화토층 12.2~25.5(평균 20.1) kPa, 풍화암 30.1~30.4(평균 30.2) kPa로 나타남, 내부마찰각은 매립층 27.5~28.7( $^{\circ}$ )(평균 28.0 $^{\circ}$ ), 붕적층 28.1~29.1( $^{\circ}$ )(평균 28.6 $^{\circ}$ ), 퇴적층 29.2 $^{\circ}$ , 풍화토 29.7~30.3( $^{\circ}$ )(평균 30.1 $^{\circ}$ ), 풍화암 33.0~33.4( $^{\circ}$ )(평균 33.2 $^{\circ}$ )로 나타난다.



&lt;그림 5-6&gt; 지층 및 N값별 전단강도 분포

## 5.2.5 공내재하시험

토사층, 풍화대 및 기반암의 변형특성을 파악하기 위하여 시추공내에서 15회의 공내재하시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 사용 시험기는 지층특성에 맞는 시험기(PMT)를 사용하였으며, 시험성과표는 부록에 첨부하였다.

&lt;표 5-11&gt; 공내재하시험 결과

구 분	시험심도 (GL-m)	지 층	N값(회/cm) TCR/RQD(%)	공내재하시험		비 고
				변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	
BH-4	3.0	매립층	26/30	7.0	9.7	PMT
BH-4	6.0	붕적층	50/21	8.3	15.0	PMT
BH-4	12.0	풍화암	50/2	111.5	224.0	PMT
BH-7	6.0	붕적층	50/21	8.4	11.6	PMT
BH-7	9.0	풍화토	50/13	78.2	199.1	PMT
BH-11	8.0	연 암	33/0	960.2	2,103	PMT
BH-13	4.0	풍화토	35/3	46.8	90.1	PMT
BH-13	6.0	풍화암	50/6	104.0	248.8	PMT
BH-14	2.5	매립층	13/30	6.3	9.7	PMT
BH-18	13.0	연 암	40/0	1,073	2,545	PMT
BH-22	3.0	매립층	22/30	5.9	7.3	PMT
BH-22	6.0	퇴적층	50/15	10.8	14.4	PMT
BH-22	9.0	풍화암	50/2	122.0	466.4	PMT
BH-22	10.0	연 암	84/0	1,981	4,600	PMT
BH-23	11.0	풍화토	50/21	78.3	210.3	PMT

공내재하시험 결과, 지층의 변형계수는 매립층 5.9~7.0(평균 6.4) MPa, 붕적층 8.3~8.4(평균 8.3) MPa, 퇴적층 10.8 MPa, 풍화토 46.8~78.3(평균 67.8) MPa, 풍화암 104.0~122.0(평균 112.5) MPa로 나타나며, 연암층은 960.2~1,981(평균 1,338) MPa로 나타남

## 5.3 실내시험

### 5.3.1 토질물성시험

토사층의 물리적 특성 및 토질을 분류하기 위해 지층을 대표할 수 있는 표준관입시험 시료를 선별하여 한국산업규격 (KSF)에 의거한 토성시험을 실시하였고, 시험성과표는 부록 「실내시험 성과표」에 수록하였다.

<표 5-12> 토질물성시험 요약

구 분	심도 (m)	지 층	함수비 (%)	비중	아터버그한계(%)		Grain size distribution(%)					통 일 분 류
					LL	PI	#4	#10	#40	#200	2 $\mu$ m	
BH-4	4.0	매립층	10.0	2.65	N.P	N.P	50.9	44.2	34.1	17.6	-	GM
BH-5	14.0	풍화토	7.2	2.66	N.P	N.P	93.5	77.9	50.6	28.4	-	SM
BH-6	5.0	매립층	16.8	2.65	N.P	N.P	62.8	59.1	50.3	27.6	-	GM
BH-7	7.0	붕적층	3.8	2.65	N.P	N.P	15.3	13.5	11.4	7.3	-	GP-GM
BH-8	7.0	풍화토	14.9	2.66	N.P	N.P	95.0	77.4	44.5	24.5	-	SM
BH-9	3.0	풍화토	14.8	2.65	N.P	N.P	90.0	85.6	59.5	18.7	-	SM
BH-10	2.0	붕적층	7.8	2.65	N.P	N.P	54.9	49.1	44.2	26.4	-	GM
BH-11	1.0	매립층	20.3	2.65	N.P	N.P	52.6	46.3	34.1	8.8	-	GP-GM
BH-12	3.0	풍화토	8.2	2.65	N.P	N.P	65.1	52.3	30.5	6.0	-	SP-SM
BH-13	3.0	매립층	10.9	2.65	N.P	N.P	55.8	44.5	34.2	20.6	-	GM
BH-14	2.0	매립층	7.1	2.65	N.P	N.P	36.7	25.8	15.9	2.7	-	GP
BH-15	3.0	풍화토	5.7	2.65	N.P	N.P	64.1	43.0	24.1	12.4	-	SM
BH-16	4.0	붕적층	17.7	2.65	N.P	N.P	64.3	60.2	55.8	43.4	-	GM
BH-17	3.0	풍화토	9.8	2.65	N.P	N.P	78.5	64.7	41.3	14.5	-	SM
BH-18	2.0	풍화토	18.6	2.66	N.P	N.P	83.3	77.6	61.2	43.5	-	SM
BH-22	3.0	매립층	14.2	2.65	N.P	N.P	41.6	34.2	26.1	15.1	-	GM
BH-23	6.0	퇴적층	25.7	2.67	33.2	12.4	86.1	64.8	55.2	31.4	2.8	SC

각 지층의 함수비는 매립층 7.1~20.3%(평균 13.2%), 붕적층 3.8~17.7%(평균 9.8%), 퇴적층 25.7%, 풍화토층 5.7~18.6%(평균 11.3%) 정도로 나타난다. 통일분류는 매립층은 실트질 모래(SM) 내지 실트질 자갈(GP-GM, GM), 붕적층은 실트질 자갈(GM, GP-GM), 퇴적층은 점토질 모래(SC), 풍화토층은 실트질 모래(SM)로 분류된다.

### 5.3.2 암석시험

기반암의 물리적 특성 및 일축압축강도를 파악하기 위하여 지층을 대표할 수 있는 암석 코어시료를 선별하여 한국산업규격 (KSF)에 의거한 암시험을 실시하였고, 시험성과표는 부록 「실내시험 성과표」에 수록하였다.

<표 5-13> 암석시험 요약

일축압축강도시험				점하중강도시험				
구 분	심 도 (m)	지 층	일축압축 강도 (MPa)	구 분	심 도 (m)	지 층	점하중 강도 (MPa)	환산일축 압축강도 (MPa)
BH-9	27.5~27.7	연 암	53.93	BH-11	35.0	연 암	2.48	54.5
BH-10	35.6~35.8	연 암	44.31	BH-12	29.5	연 암	1.23	27.2
BH-13	17.1~17.3	연 암	35.68	BH-14	7.0	연 암	2.68	58.9
BH-13	26.0~26.2	연 암	32.54	BH-5	12.7	연 암	2.17	47.8
BH-15	26.0~26.1	연 암	44.46	-	-	-	-	-