

서울 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축공사

# 지 반 조 사 보 고 서

2021. 10.



(주)나은 티에스아이

# 제 출 문

귀중

“서울시 노원구 공릉동 250-5 서울 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축공사” 부지의 지반 조사를 수행하고 그 결과를 검토, 분석하여 이를 보고서로 작성·제출 합니다.

2 0 2 1. 10.

( 주 ) 나 은 티 에 스 아 이

서울특별시 서초구 효령로430,402(서초동,젤존빌딩4층)

대 표 이 사 명 정 석 (인)

TEL : (02) 814-6523~6 · FAX: (02) 814-6525

(법인사업자)

법인명(단체명) : (주) 나은티에스아이

개 영 녹 영 일 : 2002년 12월 12일      법 인 등 록 번 호 : 110111-2672362

본 점 소 재 지 : 서울특별시 서초구 효령로 430, 402(서초동, 젤존빌딩4층)

1. The first step in the process is to identify the problem or issue that needs to be addressed. This involves gathering information and understanding the context of the problem.

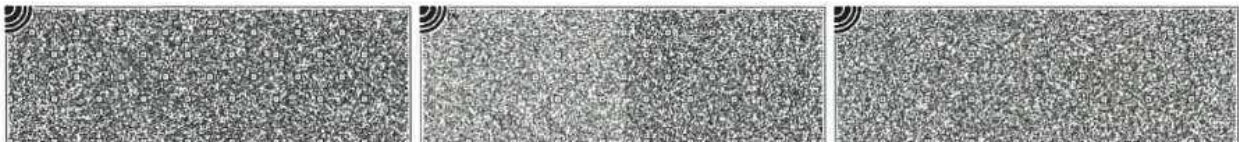
## 엔지니어링사업자 신고증

명 칭	(주)나은티에스아이		
대표자성명	명정석	생년월일	1961.07.26
소 재 지	서울특별시 서초구 효령로 430 , 402호(서초동, 젤존빌딩)	전화번호 (FAX,E-Mail)	02-814-6523 02-814-6525
엔지니어링업	신고번호	제 E - 09 - 001575 호	
	기술부문	건설 등	1 개 부문
	전문분야	토질지질 등	1 개 분야
엔지니어링 컨설팅업	신고번호		
	기술부문	등	개 부문
	전문분야	등	개 분야
신고연월일	2003-01-25		

「엔지니어링산업 진흥법」 제21조제1항 및 같은 법 시행규칙 제7조에  
따라 위와 같이 신고하였음을 증명합니다.

2021년 01월 12일

한국엔지니어링협회장



본 확인서는 한국엔지니어링협회(<http://www.etis.or.kr>)에서 발급된 증명서로 우측상단의 발급번호를 이용하여 문서의 발급여부를 확인 할 수 있으며  
진위여부는 앱스토어 MaSmartDetector(MarAny, 마크에니) 검증 어플리케이션으로 확인할 수 있습니다.

05-1-279440  
주 의 사 함

1. 국가기술자격증은 관계자의 요청이 있을 때에는 이를 제시하여야 합니다.
2. 국가기술자격취득자는 주소와 취업중인 사업체에 변동이 있을 때에는 이의 정정을 요청하여야 합니다.
3. 국가기술자격증을 타인에게 대여하면 국가기술자격법 제26조의 규정에 의하여 1년 이하의 징역 또는 500만원 이하의 벌금형을 받게 되며, 대여하거나 이중취업을 하게 되면 같은 법 제16조의 규정에 의하여 국가기술자격이 취소되거나 3년 이내의 범위에서 정지됩니다.
4. 국가기술자격이 취소·정지된 자는 지체 없이 국가기술자격증을 주무부장관에게 반납하여야 합니다.

## 국가기술자격증



자격번호 91135010057E

성명 오치성

자격종목 0290

토질및기초기술사

생년월일 1934. 02. 18

주소 경기 성남시 중원구 은행동  
1105 조광빌라 401호

발령연월일 1991 년 08 월 12 일  
교부연월일 2005 년 10 월 28 일

한국산업인력공단 이사장

소정의 직인 및 철안(천공)이 없는 것은 무효임.

原本對照畢



서울 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축공사

# 지 반 조 사 보 고 서

2021. 10.



(주)나은 티에스아이

# 목 차

<b>1. 조사개요</b>	<b>1</b>
1.1 조사목적	2
1.2 조사위치	2
1.3 조사내용	3
1.4 조사장비	3
1.5 조사기간	3
<b>2. 조사내용</b>	<b>4</b>
2.1 조사위치 선정	5
2.2 시 추 조 사	6
2.3 표준관입시험	6
2.4 지하수위측정	7
2.5 현장투수시험	7
2.6 하향식탄성파탐사	13
2.7 폐 공 처 리	20
<b>3. 토질·암석의 분류 및 기재방법</b>	<b>22</b>
3.1 토질의 분류방법	23
3.2 토질의 기재방법	27
3.3 암석의 분류 및 기재 방법	28
<b>4. 조사결과</b>	<b>38</b>
4.1 지형 및 지질	39
4.2 지층 개황	40
4.3 표준관입시험	41
4.4 공내지하수위 측정	41
4.5 현장투수시험	42
4.6 하향식탄성파탐사	42

5. 결	론 .....	46
------	---------	----

6. 부	록 .....	49
------	---------	----

6.1 시추조사위치 평면도

6.2 지층단면도

6.3 시추주상도

6.4 현장투수시험

6.5 하향식탄성파탐사

6.6 시추조사사진

#### [첨 부]

##### 1. 하향식탄성파탐사 보고서



# 1. 조 사 개 요

1.1 조 사 목 적

1.2 조 사 위 치

1.3 조 사 내 용

1.4 조 사 장 비

1.5 조 사 기 간

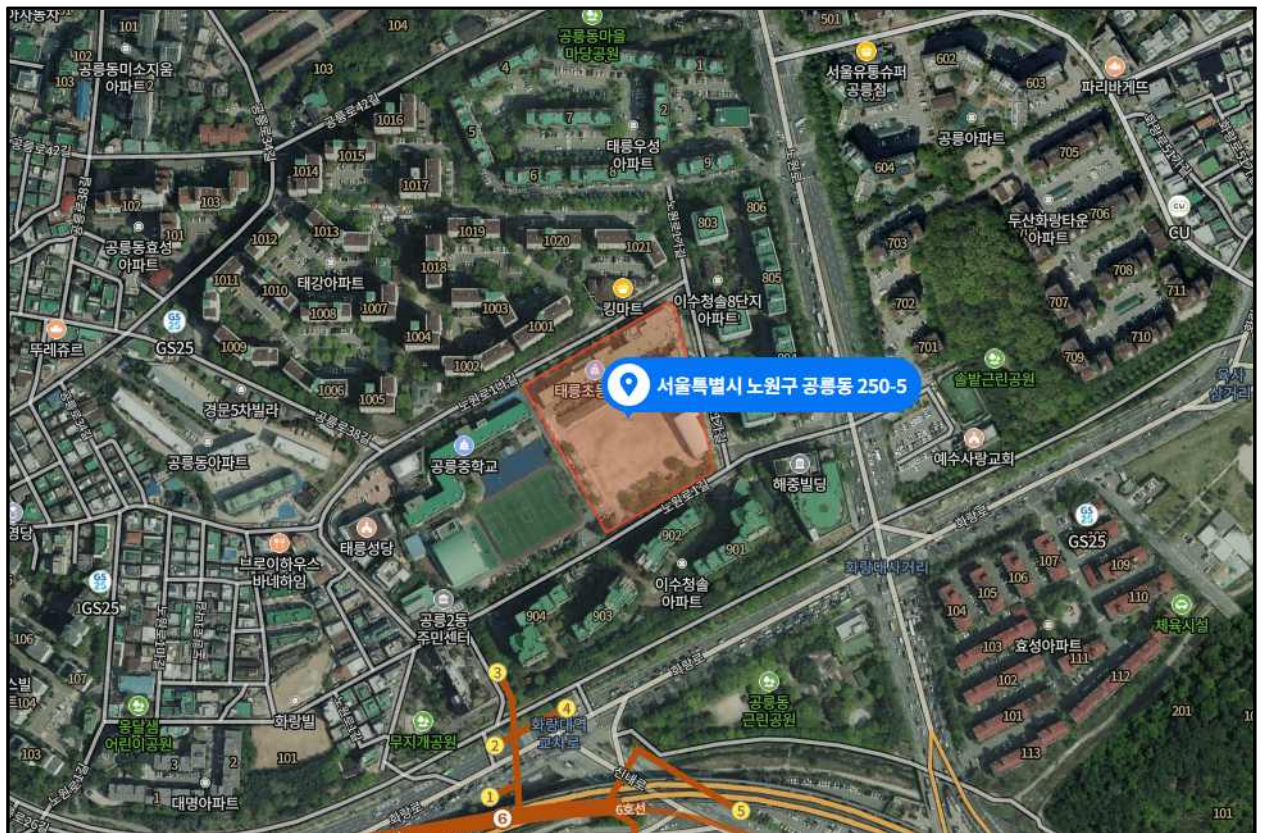
# 1. 조사개요

## 1.1 조사목적

본 시추조사는 “서울 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축공사” 부지에 시추조사, 현장 시험 및 실내 시험을 실시하여 지층분포현황 및 구성상태, 지반공학적 특성을 파악 분석하여 합리적인 설계 및 경제적인 시공이 이루어지도록 하는데 목적이 있다.

## 1.2 조사위치

- 서울시 노원구 공릉동 250-5



## 1.3 조사내용

본 부지 내에서 금회 실시한 조사내용은 다음과 같다.

항 목		조사수량
시추조사	시추조사(NX규격)	2개소
현장시험	표준관입시험	36회
	지하수위 측정	2회
	현장투수 시험	2회
	다운홀 테스트	1회

## 1.4 조사장비

• 시 추 기	: 1 대
• E N G I N E ( 10 HP )	: 1 대
• P U M P ( ϕ 80 m/m )	: 1 대
• 표준관입 시험기	: 1 조
• 지하수위 측정기	: 1 조
• 기 타 부 대 장 비	: 1 식

## 1.5 조사기간

• 현 장 조 사	: 2021년 10월 03일 ~ 2021년 10월 03일
• 성과분석 및 보고서 작성	: 2021년 10월 04일 ~ 2021년 10월 08일

## 2. 조 사 내 용

2.1 조 사 위 치 선 정

2.2 시 추 조 사

2.3 표 준 관 입 시 험

2.4 지 하 수 위 측 정

2.5 현 장 투 수 시 험

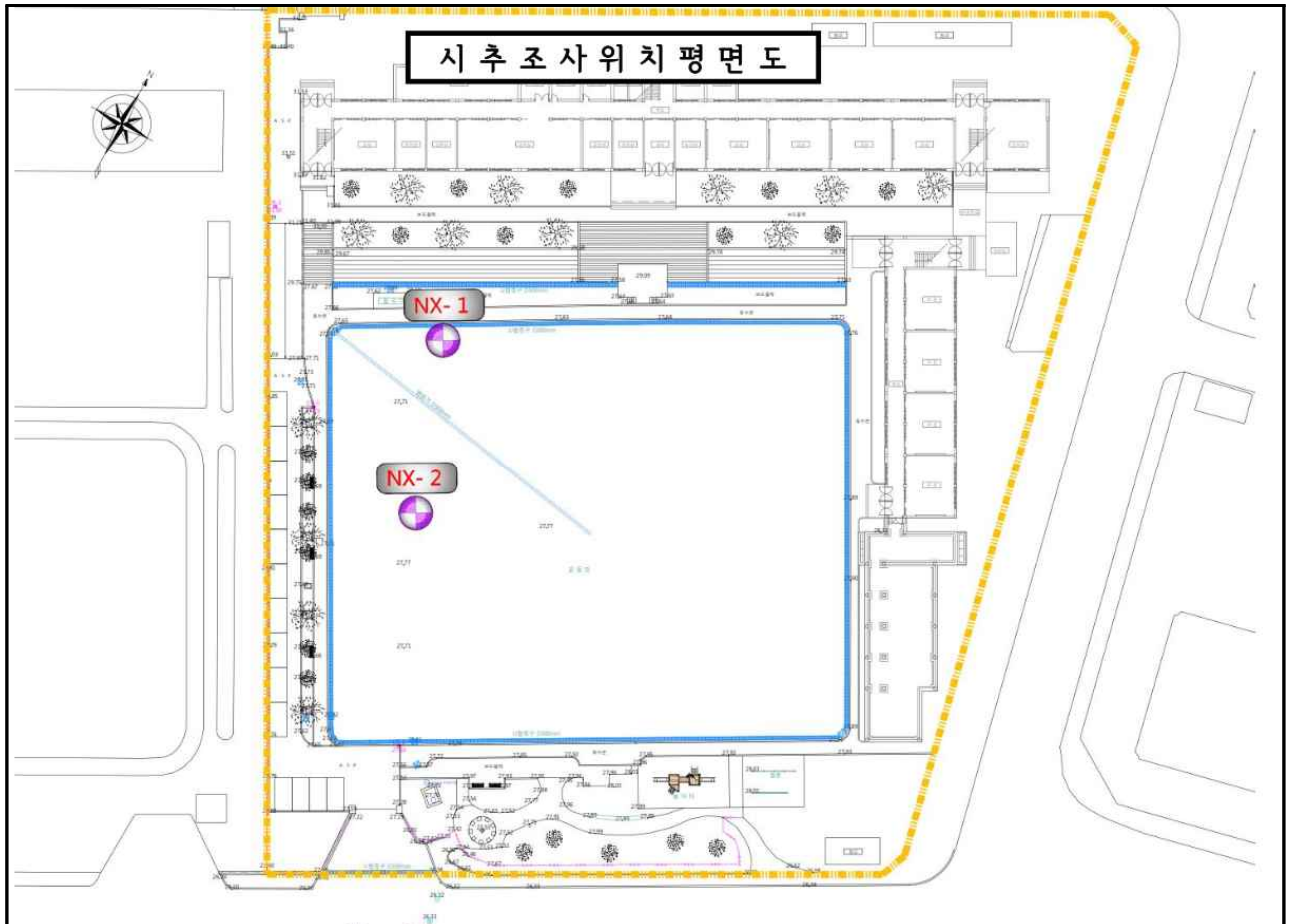
2.6 하향식탄성파탐사

2.7 폐 공 처 리

## 2. 조사내용

### 2.1 조사위치 선정

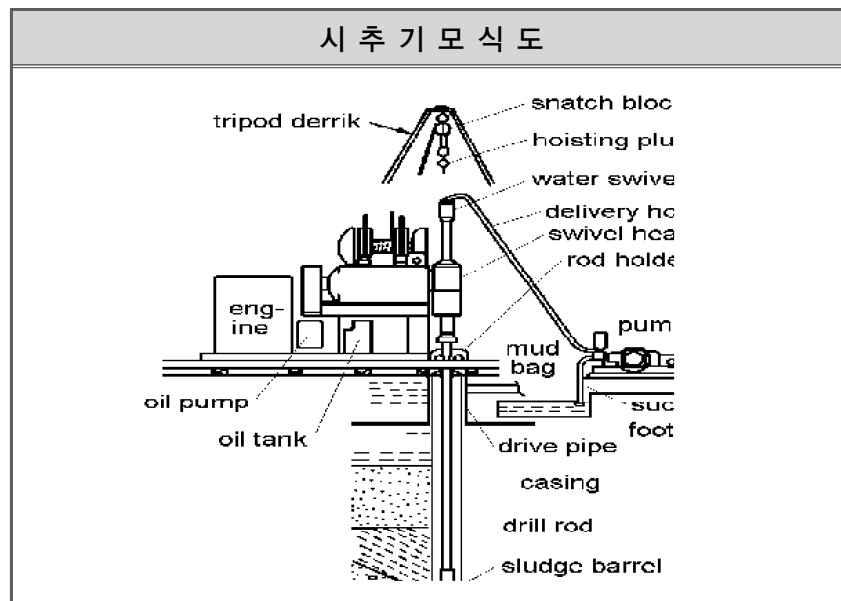
시추조사 위치는 부지내의 전체적인 지층 파악이 될 수 있도록 기 작성된 현황도 및 배치도에서 시추위치를 도상 계획한 후 현장에서 시추에 적합한 위치를 파악하여 NX SIZE 2개소의 위치를 선정하였으며 각 위치에 대하여 측량을 하여 시추공 위치와 ELEVATION을 기록하였다.



[그림 2.1] 시추조사 위치 평면도

## 2.2 시 추 조 사

시추조사는 조사지역에 대하여 지층의 분포상태와 각 지층들의 토질 및 암석의 공학적 특성을 파악하기 위하여 회전수세식(Rotary Washing Type) 시추기([그림 2.2] 참조)를 이용하여 BX규격(공경 60mm)으로 시추조사를 실시하였다. 시추 조사시 작업을 원활히 수행하고 정확한 자료를 얻기 위해 비교적 견고한 지층까지 굴진심도에 따라 Casing을 삽입하여 공벽 붕괴가 없는 케이싱공법을 채택하였다. 굴진용수는 청수 사용을 원칙으로 하였으며, 토층에서는 연경도 및 상대밀도를 파악하기 위하여 시추조사시 표준관입시험을 통한 교란시료를 채취하였다. 각 시추공에 있어서 굴진속도, Slime 상태, 순환수의 색조, 표준관입시험치(N치)등을 근거로 하여 수직 지층분포상태를 확인하였으며, 각 지층별 층서와 층후를 규명하여 부록의 시추주상도에 기재 하였다. 채취된 시료의 일부는 육안판별에 사용하였으며, 토질공학적 특성 (지층분포 및 구성상태)등을 부록의 시추주상도에 기재한 후 시추공의 각 심도별 층서에 따라 시료상자에 정리 보관하였다.



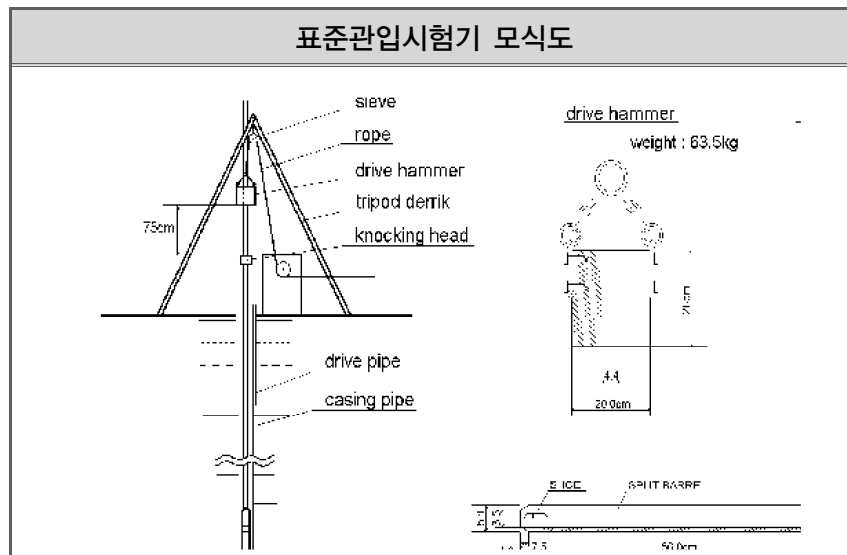
[그림 2.2] 시 추 기

## 2.3 표준관입시험

표준관입시험은 시추작업과 병행하여 실시하며 BORING HOLE을 이용하여 ROD의 끝에 직경 5.1cm, 길이 81cm의 표준관입시험 샘플러 (Split Spoon Sampler)를 부착시킨 것을 무게 63.5kg의 해머로 76cm의 높이에서 자유 낙하시켜 BORING HOLE 밑의 교란되지 않은 흙 속에 샘플러가 30cm 관입되는데 소요되는 타격회수를 측정하는 시험이며, 이때의 타격회수를 N치라 한다. 표준관입시험은 한국산업규격(KSF-2307)에 준하여 지반의 지지력과 지층의 구성재료를 파악하기 위해 토층이 변화되거나 또는 동일 지층이라도 1.5m 간격으로 매 15cm씩, 총 45cm 관입에 대한 관입 저항치를 구하고 그중 2,3번째 관입 저항치를 합하여 시추 주상도에 기록 한다.

또한 지층이 매우 조밀하여 Split Spoon Sampler에 대한 타격을 50회 이상 타격하여도 30cm 관입이 불가능 지층에서는 50회 타격에 대한 관입량을 측정 기록하였다.

표준관입시험 과정에서 채취된 교란시료는 시료상자에 넣어 보관하였으며, 표준관입시험 장비는 [그림 2.3]과 같다.



[그림 2.3] 표준관입시험기

## 2.4 지하수위 측정

조사구간에서 지하수위 분포를 파악하기 위하여 시추작업 완료후 공내에 남아있는 작업용수의 영향을 고려하여 수위가 안정되도록 시추조사 완료 후 공내 지하수위를 측정하는 것을 원칙으로 하였다.

## 2.5 현장투수시험

투수시험은 지반의 투수성을 판단하는 것으로 양수시험과 주수시험으로 나눌 수 있다.

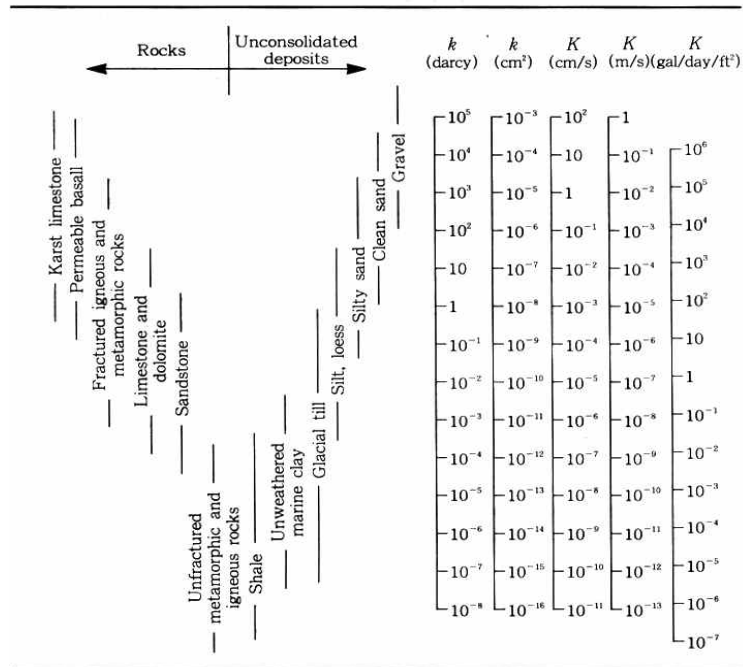
양수시험은 양수정과 양수정 주위에 적정간격으로 관측정을 굴착하고 양수정에서 대수층으로부터 지하수를 퍼올려 양수량과 주위의 관측정에서 지하수위량을 측정하고 양수종료후의 수위 회복량을 측정하여 투수성을 구하는 방법이다.

주수시험(Pour-in method)은 단관 Tube 방법으로 시행하며 Tube 법은 관측정 없이 시추공을 이용하여 짧은 시간에 적은 비용으로 시험을 행할 수 있다.

Tube 법은 Boring을 하면서 투수시험을 할 수 있고, 투수시험 간격을 좁게 할 수 있으며 각 투수시험의 대상범위의 Influence zone이 좁다 (수 feet 또는 수 inch 정도). 그러므로 Tube 법은 지반특성이 비균질, 비등방성이고 그것이 Critical Importance를 가지는 토질조사에서는 상당히 유용하다.

시험방법은 대상지층까지 굴진을 한 다음 시험구간 상단까지 케이싱을 삽입하거나 시험구간까지 케이싱을 삽입한 후 실시하며 시험대상 지반의 투수성에 따라 투수성이 나쁠 경우에는 변수위(Falling head Method)법이 사용되고 투수성이 좋을 때에는 정수위(Constant head Method)법이 사용된다.

암석과 흙의 수리전도도 및 투수계수는 <그림 2.4>와 같으며, 투수계수의 등급은 <표 2.1>과 같다. 정수위법 및 변수위법의 적용시의 시험조건에 따른 투수계수 산출식은 2.5.1 및 2.5.2와 같다.



<그림 2.4> 암석과 흙의 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

<표 2.1> 투수계수의 등급

등 급	투수계수(cm/sec)
I (Very high permeable)	$10^0$ 이상
II (Highly permeable)	$10^0 \sim 10^{-2}$
III (Moderately permeable)	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
IV (Slightly permeable)	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
V (Very Slightly permeable)	$10^{-5} \sim 10^{-7}$
VI (Practically impermeable)	$10^{-7}$ 이하



## 2.5.1 정수위법 (Constant Head Field Permeability Test)

구 분		계 산 식	비 고
시험구간이 지하수위상단	케이싱설치+ 나공굴진(시험구간)	$K = \frac{Q}{2\pi LH} \ell_n \frac{L}{y} \quad (L \geq 10y)$ $K = \frac{Q}{2\pi LH} \sin^{-1} \frac{L}{y} \quad (10y > L \geq y)$	<그림 2.5> A
	케이싱설치 및 바닥면으로만 투수	$K = \frac{Q}{5.5yH}$	<그림 2.5> A
시험구간이 지하수위하단	케이싱설치+ 나공굴진(시험구간)	$K = \frac{Q}{2\pi LH} \ell_n \frac{L}{y} \quad (L \geq 10y)$ $K = \frac{Q}{2\pi LH} \sin^{-1} \frac{L}{y} \quad (10y > L \geq y)$	<그림 2.5> B
	케이싱설치 및 바닥면으로만 투수	$K = \frac{Q}{5.5yH}$	<그림 2.5> B

여기서      K : 투수계수(cm/sec)  
               Q : 유입량(ml)  
               L : 시험구간/나공 굴진구간(cm)  
               y : 케이싱반경(cm)  
               H<sub>1</sub> : 지표로부터 케이싱 수두상단 높이(cm)

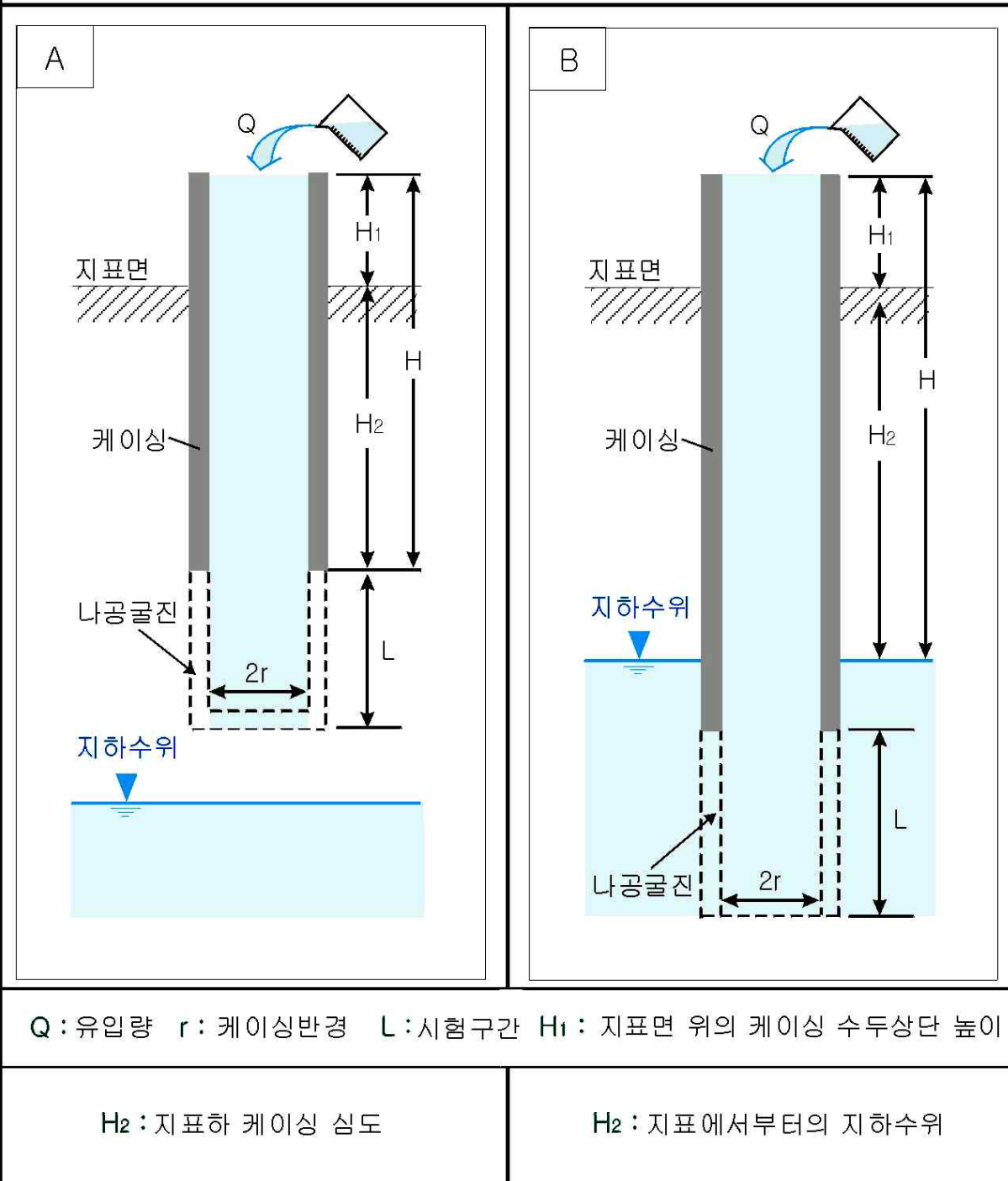
그림 A, B에서

H<sub>2</sub> : 지표하 케이싱 심도(cm)

그림 C, D에서

H<sub>2</sub> : 지표로부터의 지하수위(cm)

## Constant Head Tests (케이싱설치+나공굴진)



&lt;그림 2.5&gt; 정수위법 적용시의 시험조건

## 2.5.2 변수위법 (Falling Head Field Permeability Test)

구 분		계 산 식	비 고
시험구간이 지하수위상단	케이싱설치+ 나공굴진(시험구간)	$K = \frac{y^2}{2L(T_2 - T_1)} \ell n \frac{L}{y} \ell n \frac{H_1}{H_2}$	〈그림 2.6〉 A
	케이싱설치 및 바닥면으로만 투수	$K = \frac{2\pi r}{11(T_2 - T_1)} \ell n \frac{H_1}{H_2} \text{ or }$ $K = \frac{2.3r}{4(T_2 - T_1)} \ell og \frac{H_1}{H_2}$	〈그림 2.6〉 A
시험구간이 지하수위하단	케이싱설치+ 나공굴진(시험구간)	$K = \frac{y^2}{2L(T_2 - T_1)} \ell n \frac{L}{y} \ell n \frac{H_1}{H_2}$	〈그림 2.6〉 B
	케이싱설치 및 바닥면으로만 투수	$K = \frac{2\pi r}{11(T_2 - T_1)} \ell n \frac{H_1}{H_2} \text{ or }$ $K = \frac{2.3r}{4(T_2 - T_1)} \ell og \frac{H_1}{H_2}$	〈그림 2.6〉 B

여기서 K : 투수계수(cm/sec)  
 L : 시험구간/나공 굴진구간(cm)  
 y : 케이싱반경(cm)  
 T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub> : 경과시험/시험측정시간(sec)

그림 A, B에서

H<sub>1</sub> : T<sub>1</sub> 에서 케이싱 수두상단에서 케이싱 하단까지 거리(cm)

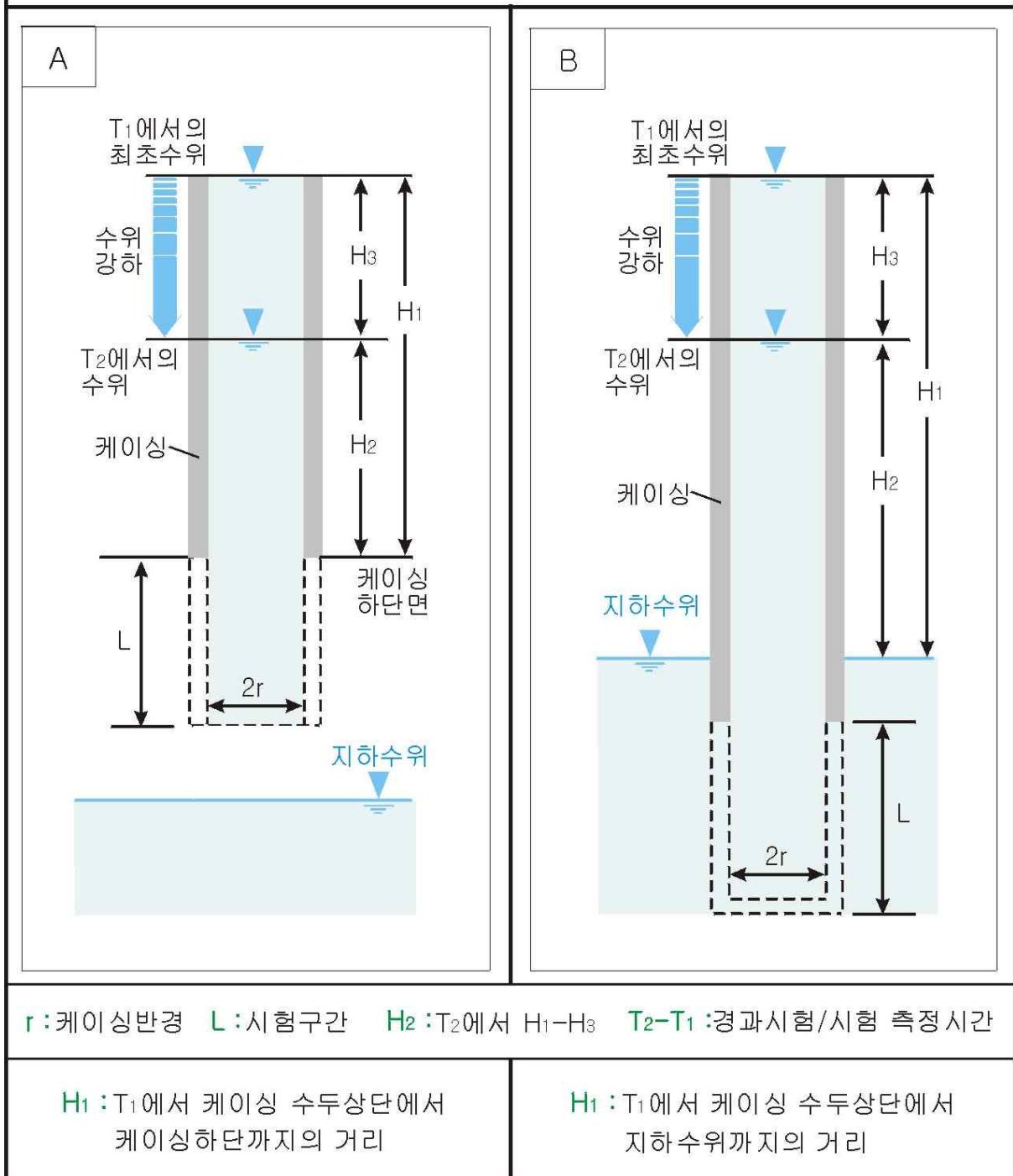
H<sub>2</sub> : T<sub>2</sub> 에서 H<sub>1</sub> -수위강하거리(cm)

그림 C, D에서

H<sub>1</sub> : T<sub>1</sub> 에서 케이싱 수두상단에서 지하수위까지 거리(cm)

H<sub>2</sub> : T<sub>2</sub> 에서 H<sub>1</sub> -수위강하거리(cm)

## Falling Head Tests (케이싱설치+나공굴진)

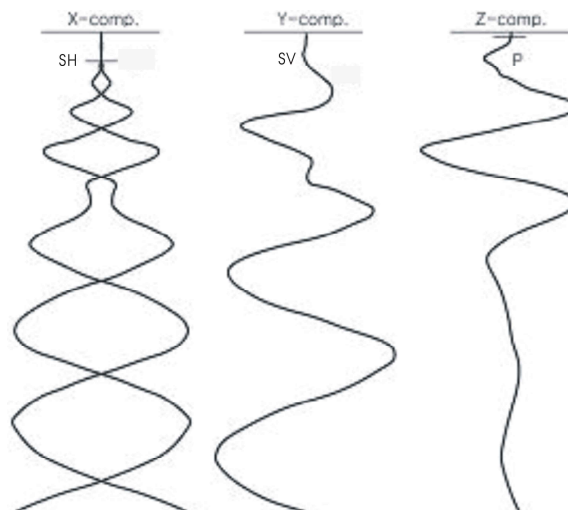


&lt;그림 2.6&gt; 변수위법 적용시의 시험조건

## 2.6 하향식탄성파탐사

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 수행해야할 시추공의 편향도를 측정하는 공곡측정(verticallity test)을 필요로 하지 않는다는 장점이 있어 지반 공학 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.




[그림 2.7] 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. 시추공을 이용한 하향식 탄성파탐사(Downhole Test)는 구조물이 설치되는 기초지반을 중심으로 지층별 탄성파(P파, S파) 속도를 측정하여 사업부지의 동역학적 특성파악 및 동적지반정수를 산출 하여 제공함으로써 구조물이 안정적이고 합리적인 내진설계가 되도록 하는데 그 목적이 있다.

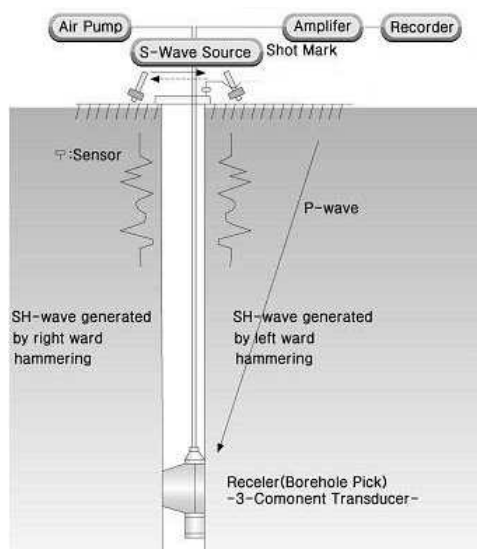
## 2.6.1 탐사장비

[표 2.2] 탐사장비

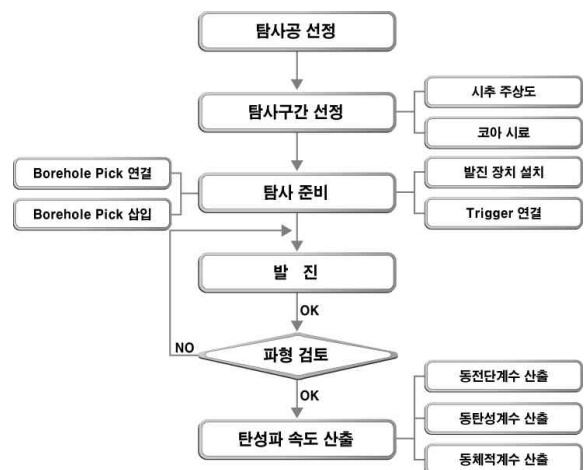
구 분	장 비 명	장 비 사 진
하향식 탄성파탐사 (DHT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smartseis, Geometrics, 미국</li> <li>Sample rate : 31.25 ~ 2,000 <math>\mu</math> sec</li> <li>- 3성분 지오폰(x, y, z방향), 일본 OYO사</li> <li>- 5Kg sledge 햄머</li> <li>- Trigger &amp; Trigger Cable</li> </ul>	

## 2.6.2 탐사방법

하향식 탄성파 탐사의 가장 중요한 목적은 지반의 S파 속도를 측정하는 것이다. S파의 발생 원으로 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 일체화 시킬 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.



[그림 2-8] 하향식탄성파 탐사 모식도



[그림 2-9] 하향식탄성파 탐사 흐름도

## 2.6.3 해석방법

P파의 속도( $V_p$ ) 및 S파의 속도( $V_s$ )는  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\rho$ 와 다음식의 관계를 갖는다. (식 2.5.1, 식 2.5.2)

$$V_p = \sqrt{\frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho}} \quad \text{식 2.5.1}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \text{식 2.5.2}$$

여기서  $\lambda$  및  $\mu$  는 Lamé'상수로 알려져 있으며, 특히  $\mu$  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,  $\nu$ )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  $\mu$  는 0이므로 S파의 속도는 0이 되고 따라서 S파는 유체에서는 전파되지 않는다.

$$\frac{V_s^2}{V_p^2} = \left(\frac{1}{2} - \nu\right) / (1 - \nu) \quad \text{식 2.5.3}$$

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 측정한 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,  $g = 9.81\text{m/sec}^2$   $\nu$  = 포아송비

상기 산정식을 적용하기 위해서는 탐사 지층에 대한 P파 속도( $V_p$ ) 및 S파 속도( $V_s$ )와 함께 기본 물성치로써 단위중량( $\gamma$ )이 필요하며, 이에 대해 일반적인 토질 및 조성 상태별 단위중량( $\gamma$ )이 결정되어야 한다. 다음 [표 2.3]와 [표 2.4]은 문헌에 제시된 암석 및 흙의 단위중량을 나타낸 것이다.

[표 2.3] 일반적인 암석 및 흙의 밀도

암 석		흙		
종 류	단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	종 류	상 태	단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )
화강암	2.63-2.67	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은것	2.0
섬록암	3.02-3.03		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	1.8
반려암	3.02-3.05	모래섞인 자 갈	밀실한 것	2.1
휘록암	2.99-3.04		밀실치 않은 것	1.9
안산암	2.37	모 래	밀실한 것 입도가 좋은것	2.0
현무암	2.82		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	1.8
편 암	2.68-2.7	사질토	밀실한 것	1.9
사 암	2.28-2.66		밀실치 않은 것	1.7
혈 암	2.63-2.67	점성토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)	1.8
응회암	1.6-2.76		약간 무른 것(손가락으로 중간정도 힘으로 눌러 들어감)	1.7
석회암	2.48-2.71		무른 것(손가락으로 눌러 쉽게 들어감)	1.7
대리석	2.71-2.76	점 토 및 실 트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)	1.7
			약간 무른것(손가락으로 중간정도 힘으로 눌러 들어감)	1.6
백악암	2.83-2.87		무른 것(손가락으로 눌러 쉽게 들어감)	1.4
Birch, 1966 미국, 캐나다		한국도로공사, 1992, “도로설계요령 제2권 토공 및 배수”		

[ 표 2.4 ] 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위(서울시, 1996)

지 층 명	단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	점착력(t/m <sup>2</sup> )	내부마찰각(° )	변형계수 (×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	포와송비
풍 화 토	1.7 ~ 2.0	0.0 ~ 10.0	25 ~ 30	0.2 ~ 0.4	0.5
풍 화 암	2.0 ~ 2.2	10.0 ~ 30.0	30 ~ 35	1.0 ~ 2.0	0.3 ~ 0.4
연 암	2.3 ~ 2.5	30.0 ~ 60.0	30 ~ 40	2.0 ~ 4.0	0.25 ~ 0.3
보 통 암	2.4 ~ 2.6	60.0 ~ 150.0	35 ~ 40	4.0 ~ 10.0	0.25
경 암	2.5 ~ 2.7	150.0 ~ 200.0	35 ~ 45	10.0 ~ 40.0	0.2
극 경 암	2.6 ~ 2.7	200.0 ~ 500.0	40 ~ 45	40.0 ~ 80.0	0.2



[ 표 2.5 ] 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위(서울시, 1996)

지 층 명	단위중량 ( $\text{tf/m}^3$ )	점착력( $\text{t/m}^2$ )	내부마찰각( $^\circ$ )	변형계수 ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	포와송비
풍 화 토	1.7 ~ 2.0	0.0 ~ 10.0	25 ~ 30	0.2 ~ 0.4	0.5
풍 화 암	2.0 ~ 2.2	10.0 ~ 30.0	30 ~ 35	1.0 ~ 2.0	0.3 ~ 0.4
연 암	2.3 ~ 2.5	30.0 ~ 60.0	30 ~ 40	2.0 ~ 4.0	0.25 ~ 0.3
보 통 암	2.4 ~ 2.6	60.0 ~ 150.0	35 ~ 40	4.0 ~ 10.0	0.25
경 암	2.5 ~ 2.7	150.0 ~ 200.0	35 ~ 45	10.0 ~ 40.0	0.2
극 경 암	2.6 ~ 2.7	200.0 ~ 500.0	40 ~ 45	40.0 ~ 80.0	0.2

#### 2.6.4 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. 그렇지 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 Silt 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.

#### 2.6.5 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

- 조 직 : 구성물질, 입자크기, 고결정도
- 밀 도 : 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
- 온 도 : P파 속도는 온도상승과 함께 감소

[ 표 2.6 ] 암반에서의 탄성파 속도

연경도	관 찰 상 태	R.Q.D (%)	탄성파속도(km/s)	
			Vp	Vs
극경암	해머로 때리면 금속음	75~100	5 <	2.9 <
경 암	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
연 암	해머로 쉽게 파쇄. 코어표면 매우 거칠며 손가락으로 눌러 깨지고 찌부러진다.	0~25	2.0~3.3	1.0~1.6
연 암	해머로 분쇄됨	0~10	1.5~2.5	1.2 >

### 2.6.6 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( $V_s$ )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( $V_s$ ) 경험식을 정리하면 다음 [표 2.7]과 같다.

[표 2.7] N치를 이용한 지반 토질별 S파 속도( $V_s$ ) 경험식

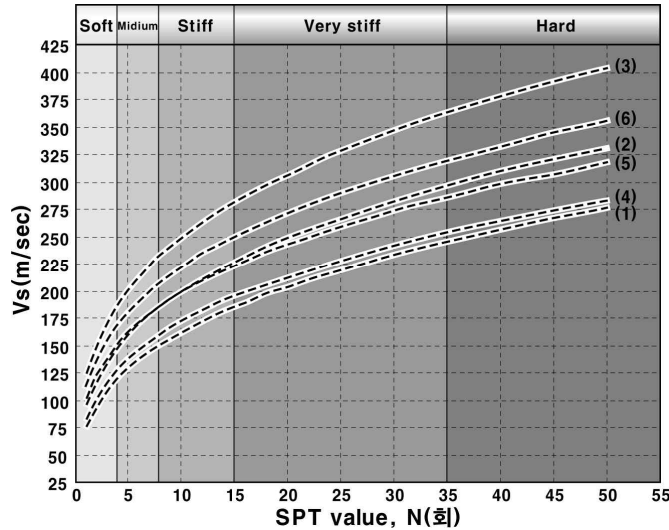
제안자	토 질 종 류	
	점성토	사질토
Imai, Yoshimura(1970)	$\bullet V_s = 76 \cdot N^{0.33}$	
Ota, Goto(1978)	$\bullet V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D^{0.2} \cdot E \cdot F$ D = 심도(m) E = 1.0(충적세) = 1.3(홍적세) F = 1.0	$\bullet V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D \cdot E \cdot F$ D = 심도(m) E = 1.0(충적세), 1.3(홍적세) F = 1.09(세립모래층)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

통상의 토질 조성상태를 구분하는 표준관입시험의 최대 경계 값이 되는 N치 50회를 기준으로 50회 이하의 토질 지반에 대한 토질 및 조성상태별 일반적인 전단파 속도( $V_s$ ) 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.

### 가. 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) :

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

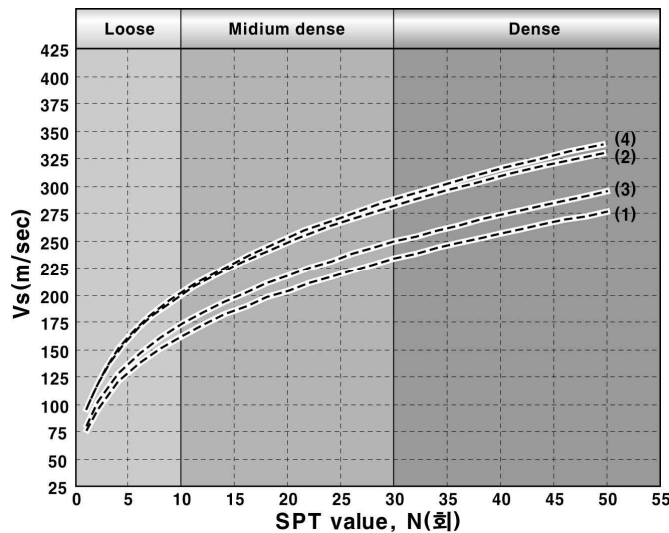
(5) Imai(1997) :  $V_s = a \cdot N^b$

$$a=102, b=0.29(\text{충적점토})$$

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

$$a=114, b=0.29(\text{홍적점토})$$

### 나. 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) :  $V_s = a \cdot N^b$

$$a=114, b=0.29(\text{홍적사})$$

## 2.7 폐공처리

각종 조사 시 소기의 목적을 달성한 후 남게 되는 시추공을 폐공이라 하며, 최근 들어 폐공을 통한 오수의 유입으로 지하수 오염 등의 환경오염 문제가 빈번히 발생하고 있으므로 시추조사 등에 의한 시추공은 조사완료 후 폐공처리를 하여야 한다.

폐공처리를 통하여 1) 폐공내로 유입되는 지표 오염원 차단, 2) 오염원의 수직적 이동 통로 제거, 3) 오염유발 시설(케이싱 등)제거 등의 지하수 오염방지 효과를 얻을 수 있다.

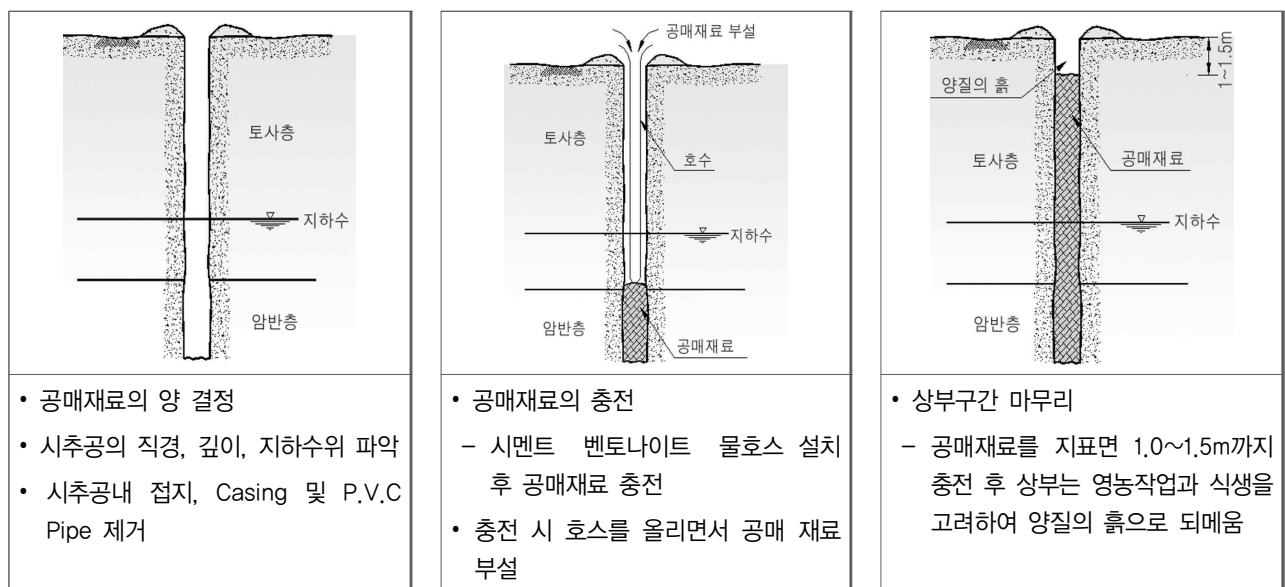
따라서, 본 과업부지의 모든 시추공에 대하여 폐공 조치를 실시하였다.

### 2.7.1 관련법규

[표 2.8] 폐공관련법규

<b>폐공의 정의</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현재 또는 미래에 이용 할 계획이 없고 오염방지를 위한 별도의 조치없이 방치되어 있는 지층을 굴착한 모든 공(건설교통부)</li> </ul>
<b>원상복구 명령</b> (지하수법 제15조) (아래의 각호에 해당되는 경우)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가인가 등이 취소된 경우, 또는 개발·이용기간이 만료된 경우</li> <li>• 지하수 개발 및 이용을 위하여 굴착한 장소에서 지하수가 채취되지 않은 경우</li> <li>• 소요수량이 확보되지 않고, 수질불량으로 지하수를 개발, 이용할 수 없는 경우</li> <li>• 지하수의 개발·이용을 종료한 경우</li> <li>• 기타 원상복구가 필요한 경우로서 대통령이 정하는 경우</li> </ul>
<b>처 리 대 책</b> (지하수의 수질보전에 관한 규칙)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지표하부에 그라우팅이 되어 있는 경우에는 토지 굴착깊이까지 불투수성 재료 (시멘트, 슬러리 등)을 주입하여 다짐하면서 되메움(공매작업)</li> <li>• 지표하부에 그라우팅이 되어 있지않고 보호벽(케이싱)이나 유공관(파이프) 등이 설치 되어 있는 경우에는 가능한 이를 제거한 후 토지굴착깊이까지 불투수성 재료(시멘트, 슬러리등)를 다짐하면서 되메움 (공매작업)</li> </ul>

### 2.7.2 폐공처리 방법



[그림 2.10] 폐공처리방법

### 2.7.3 시추공 폐공처리 현황

본 설계구간의 지반조사 시추공에 대하여 설계를 위한 각종 현장시험, 지하수위 측정 후 지하수 오염 방지를 위해 시추공을 폐공처리 하였다.

### **3. 토질·암석의 분류 및 기재방법**

3.1 토질의 분류 방법

3.2 토질의 기재 방법

3.3 암석의 분류 및 기재 방법

3. 토질·암석의 분류 및 기재방법

3.1 토질의 분류방법

구 분	분 류 기 준
흙의 분류	<ul style="list-style-type: none"><li>• 현장 시추조사 시에는 육안적 분류방법을 이용하여 Field data로 분류</li><li>• 입도분석 시험을 수행하여 결과를 이용 흙의 공학적 분류 방법(KS F 2324)인 통일분류법(U.S.C.S Unified Standard Classification System, A.Casagrande)을 기준으로 분류</li></ul>
분류 방법	<ul style="list-style-type: none"><li>• 시추주상도에 지층구분은 공중에 관계없이 통일된 Symbol을 사용함</li><li>• 표준관입시험시 관입저항치(N치)에 의해 상대밀도 및 연· 경도를 고려하고 채취된 교란시료에 대해 육안관찰 및 물성시험에 의하여 통일분류법으로 분류</li></ul>

[표 3.1] 입도에 따른 흙의 분류 (단위:mm)

입자크기 분류방법	0.001   0.002   0.006   0.02   0.06   0.2   0.6   2.0   6.0   20.0   63.0   76.2   100													
DIN 4022	점 토		실 트			모 래			자 갈			암 편		
세립			중립	조립	세립	중립	조립	세립	중립	조립				
MIT	점 토		실 트			모 래			자 갈			암 편		
AASHTO	콜로이드	점토	실 트			모 래			자 갈			암 편		
ASTM	점 성 토					모 래			자 갈			암 편		
KS F 2013	콜로이드	점 토	실 트		모 래				자 갈			암편		
비교크기														
	0.001	0.002	0.005		0.05	0.074		2.0	4.75	20.0		76.2	100	200
	좁쌀알   성냥알   완두콩   도토리   계란   (mm)													

[표 3.2] 흙의 육안적 분류

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		손가락으로 끈모양으로 꼰때
		건조상태	습윤상태	
모 래 (sand)	•개개의 입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 •건조상태에서 흩어져 내림	•덩어리지지 않고 흐트러짐	•덩어리거나 가볍게 건드리면 흩어짐	•끈 모양으로 꼬아지지 않음
실트질 모 래 (silty and)	•입상이나 실트 또는 점토가 섞여 약간 점성이 있음 •모래질의 특성이 우세	•덩어리거나 가볍게 건드리면 흩어짐.	•덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	•끈 모양으로 꼬아지지 않음
사 질 실트 (sandy silt)	•적당량의 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자가 반이상임 •건조되면 덩어리가 쉽게 부서져 가루가 됨	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 •부서지면 밀가루 감촉	•덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 •물을 부으면 서로 엉김	•끈모양으로 꼬아지나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음
실 트 (silt)	•세립사와 점토는 극소량을 함유하고 실트가 80% 이상 •건조되면 덩어리거나 쉽게 부서져 밀가루 감촉	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉김	•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 부서지지 않으며 찰흙상태로 됨	•길고 얇게 꼬아짐 •점성이 큼

[표 3.3] 흙에 대한 육안 판별(NAVFAC, 1982)

구 분	표 시(또는 기술)	판 별 기 준
입 자 크 기	호박돌(boulder)	직경 30cm 이상
	조약돌(cobble)	직경 7.5~30cm
	자갈(gravel)	조립 2~7.5cm, 세립 No.4~2cm
	모래	조립 No. 10~No. 4, 중립 No. 40~No.10, 세립 No. 200~No.40
	세립토(실트, 점토)	No. 200 체 통과 입자
조립토, 세립토의 혼성비율	조금(trace) 약간(little) ~ 섞인(some) ~ 과, 및(and)	1~10% 10~20% 20~35% 35~50%
세 립 토	호상의(alternating)	
	두꺼운(thick)	
	얇은(thin)	
	세부 표시	
	쌈(seam)	0.15~1.3cm 두께
	층(layer)	1.3~30cm 두께
	지층(또는 토층, stratum)	두께 30cm 이상
	호상 점토(varved clay)	모래, 실트와 점토의 쌈 또는 층이 교호됨
	포켓상(pocket)	보통 두께 30cm 이하의 작고 표류적 퇴적
	렌즈상(lens)	렌즈모양의 퇴적
가끔(occasional)		두께 30cm 당 1회 이하
	빈번함(frequent)	두께 30cm 당 1회 이상



### 3. 토질·암석의 분류 및 기재방법

[표 3.4] 통일분류법(Unified Standard Classification system)

주요구분			문자	대표적인 흙	분류기준				
조립토 (Coarse-Grained Soils) 200번체 (0.075mm) 에50%이상 남음	자갈 (Gravel) 4번체 (4mm)에 50%이상 남음	세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈	GW	입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음	세립분의 함 유율에 의한 분류:	Cu > 4   Cu=D60/D10 1<Cg<3   Cg=(D30)²/(D10×D60)			
			GP	입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음		GW의 조건이 만족되지 않을때			
		세립분을 含有한 자갈	GM	실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 混合土		200번체 통과 율이 5% 이하인 경우 GW,GP, SW, SP	Atterberg 한계 가 A선 밑 또는 소성지수가 4 이하	소성지수가 4-70이 면서 Atterberg한계 가 A선 위에 존재 할때는 2중문자 표 시	
			GC	점토질의 자갈, 자갈·모래·점토의 혼합토			Atterberg 한계 가 A선 위 또는 소성지수가 7 이상		
	모래 (Sand) 4번체 (4mm)에 50%이상 통과	세립분이 약간 또는 거의 없는 모래	SW	입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음	200번체 통과 율이 12% 이 상인 경우 GM,GC, SM,SC	Cu > 6 1< Cg <3			
			SP	입도분포가 나쁜 모래, 모래와 실트의 혼합토		SW의 조건이 만족되지 않을때			
		세립분을 함유한 모래	SM	실트질의 모래, 모래와 실트의 혼 합토	200번체 통과 율이5-12%인 경우 2 중 문 자 로 표시	Atterberg 한계 가 A선 밑에 있거나 소성지수 가 5 이하	소성지수가 4-70이 면서 Atterberg한계 가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시		
			SC	점토질의 모래, 모래와 점토의 혼 합토		Atterberg 한계 가 A선 밑에 있거나 소성지수 가 7 이상			
			세립토 (Fine-Grained Soil) 200번체 (0.075mm) 에 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 사용된다. 소성도의 빗금친 곳은 2중 표기해야 하는 부분이다. <div></div>
						CL		소성이 중간치 이하인 유기질점토, 자갈질점토, 모래질점토, 실트질점토	
OL	소성이 작은 유기질 실트 및 粘土								
액성한계 50%이상인 실트나 점토	MH	무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트							
	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	세립토의 분류를 위한 소성도			

## 3.1.1 상대밀도 및 연경도

토층의 경연상태는 표준관입시험에 의한 N치에 따라 점성토인 경우는 연경도(Consistency), 사질토의 경우는 상대밀도(Relative Density)로 분류하며, N치와 상대밀도 및 연경도와 관계는 [표 3.5] 및 [표 3.6]과 같다.

[표 3.5] 모래의 상대밀도와 N치와의 관계

N 치	조 밀 상 태 (Gibbs-Holtz)	상 대 밀 도		현 장 관 찰 (Bowles)
		Gibbs-Holtz	Bowles	
0 ~ 4	대단히 느슨 (Very Loose)	< 0.15	0.0 - 0.2	엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국을 낼 수 있다.
4 ~ 10	느슨 (Loose)	0.15 - 0.35	0.2 - 0.4	쉽게 삽질할 수 있다. 손가락으로 자국을 낼 수 있다.
10 ~ 30	보통 (Medium Dense)	0.35 - 0.65	0.4 - 0.7	힘을 주어서 삽질할 수 있다.
30 ~ 50	조밀 (Dense)	0.65 - 0.85	0.7 - 0.9	손으로 삽질이 가능하거나 손의 힘으로 삽을 이용하여 자국을 낼 수 있다.
> 50	대단히 조밀 (Very Dense)	0.85 - 1.00	0.9 - 1.0	발파 또는 중장비에 의해서만 자국을 낼 수 있다.

[표 3.6] 점토의 Consistency, 일축압축강도와 N치와의 관계

N 치	연 경 도 Consistency	현 장 관 찰 (Peck - Hanson)	일축압축강도, $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
< 2	대단히 연약 (Very Soft)	주먹이 쉽게 10 cm 들어간다.	< 0.25
2 ~ 4	연약 (Soft)	엄지손가락이 쉽게 수 10cm 들어간다.	0.25 - 0.50
4 ~ 8	보통 (Medium)	노력하면 엄지손가락이 수 10cm 들어간다.	0.50 - 1.00
8 ~ 15	단단 (Stiff)	엄지손가락으로 흙을 움푹 들어가게 할 수 있지만 흙속에 엄지손가락을 넣기는 힘들다.	1.00 - 2.00
15 ~ 30	대단히 단단 (Very Stiff)	손톱으로 흙에 자국을 낼 수 있다.	2.00 - 4.00
> 30	견고 (Hard)	손톱으로 자국을 내기 힘들다.	> 4.00

## 3.1.2 함수상태

흙속에 함유된 수분의 정도를 나타내는 함수비는 4가지 상태로 나누어 분류하며 그 내용은 [표 3.7]과 같다.

[표 3.7] 함수 상태

함 수 비(%)	상 태
0 ~ 10	건 조 (Dry)
10 ~ 30	습 윤 (Moist)
30 ~ 70	촉 촉 한 (Wet)
> 70	포화 (Saturated)

## 3.1.3 색 조

색조는 3단계로 나누어 분류하였다. 1단계는 담(Light)과 암(Dark)의 명암을 구분하였으며 2단계는 혼색에 대한 기술, 3단계는 기본색을 표현하였다.

[표 3.8] 색 조

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

## 3.2 토질의 기재방법

구 분	기 재 사 항
기 술 내 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>점토의 consistency와 사질토의 상대밀도와 습윤상태, 색조, N치 등을 고려하여 기재</li> <li>함수상태는 건조(dry), 습윤(Moist), 촉촉한(wet) 및 포화상태(saturated)로 구분하였으며, 색은 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 청색, 녹색 등에 담과 암의 접두어를 사용하여 기재</li> </ul>

## 3.3 암석의 분류 및 기재 방법

구 분	기 재 사 항
기 술 내 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암석 코어에 대한 기재 내용은 색, 불연속면 간격, 풍화상태, 암석명, 강도 등임</li> </ul>

구 분	분 류 기 준
암반 분류	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암반 분류에서 암석의 분류는 그 기준에 따라 상이하게 분류될 수 있으며, 분류되는 암종 또한 관계 기관별 목적에 따라 상이하어 중요한 요소가 아니지만, 암반분류시 참고 자료로 활용</li> </ul>
분류 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장 시추 결과 회수된 core 또는 노두의 육안 관찰 및 실험에 의한 역학적 특성 그리고 탄성파속도에 따른 분류</li> </ul>

## 3.3.1 국제암반역학회(ISRM)에 의한 분류

ISRM Suggested Method에 의하면 암석명, 암석의 풍화상태(변질정도), 강도, 파쇄정도, 색상, 입자의 크기, 층의 두께, 구조, 조직 등에 대한 분류 방법이 제시되어 있으며, 분류 방법은 다음과 같다.

단, 1981년도에 ISRM에서 발표된 암석 분류이나, 자세한 기술이 부족하여 다른 분류법에 의해 보충되어 사용되어 지는 경우가 많다.

## 1) 색상에 따른 분류

암석의 색은 기본색(황색, 갈색, 청색, 회색 등)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술 용어를 사용하였다.

[표 3.9] 색조에 대한 분류

단 계	색 조									
1	담(연한)					암(진한)				
2	홍	적	황	갈	감람	녹	회			
3	홍색	적색	황색	갈색	감람색	녹색	청색	백색	회색	흑색

## 2) 풍화도(Decomposition)

[표 3.10] 암석의 풍화정도(Decomposition)에 따른 분류

구 분		용 어	풍화정도	분류기호
토 사		완전풍화(Completely Weathered, CW)	암석전체가 완전히 풍화되어 흙으로 변화되었으나 모암의 원조석과 구조를 지니며, 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유하는 상태	D5
풍 화 암		심한풍화(Highly Weathered, HW)	암석 내부까지 풍화가 진행중이며, 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부스러뜨릴 수 있는 상태	D4
연 암		보통풍화(Moderately Weathered, MW)	전 암석표면에서부터 풍화가 진행중이며, 색조는 변화하였으나 손으로 부스러뜨릴 수 없는 상태	D3
경 암	보통암	약간풍화(Slightly Weathered, SW)	기반암중에 발달된 불연속면을 따라 이미 약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않은 상태	D2
	경 암	신선(Fresh, F)	풍화작용의 흔적이 없는 상태	D1

## 3) 강도(Strength)

[표 3.11] 암석의 육안강도 판정에 따른 분류기준

구 분		용 어	풍화정도	분류기호
토 사		매우약함 (Very Weak)	손가락 또는 엄지손가락의 압력으로 눌러 으스러지는 정도	S5
풍 화 암		약 함 (Weak)	함마로 눌러 으스러지는 정도	S4
연 암		보통강함 (Moderately Strong)	1회의 약한 함마 타격으로 쉽게 깨지거나 모서리의 각이 날카로운 정도	S3
경 암	보통암	강 함 (Strong)	한두번 정도의 강한 함마 타격으로 깨지며 각이 날카로운 정도	S2
	경 암	매우강함 (Very Strong)	여러번의 강한 함마 타격으로 깨지며 패각상(Conchoidal)의 조각과 각이 날카로운 정도	S1

## 4) 균열(Fracture)

[표 3.12] 암석의 절리간격에 따른 분류기준

구 분		용 어	절 리 의 간 격	분류기호
연 암		매우 좁은 간격 (Very Close spacing)	6cm 미만	F5
경 암	보 통 암	좁은 간격 (Close spacing)	6~20cm	F4
		보통 간격 (Moderate spacing)	20~60cm	F3
	경 암	넓은 간격 (Wide spacing)	60~200cm	F2
		매우 넓은 간격 (Very wide spacing)	200cm 이상	F1

## 5) 코어의 형상

[표 3.13] 코어 형상에 따른 분류

구 분	코어의 형상	코어의 길이	비 고
I	장 주 상	10cm 이상	
II	단 주 상	5~10cm	대부분 원형 코어
III	암 편 상	5cm 이하	원형이 아닌 코어가 우세함
IV	역 상		코어의 형태가 남아 있음

## 6) 암질지수(R.Q.D)와 코어회수율(T.C.R)

[표 3.14] 암질과 R.Q.D의 상관 비교

R.Q.D(%)	암 질
0 ~ 25	매우 불량 (Very soft)
25 ~ 50	불 량 (연암 SOFT)
50 ~ 75	보 통 (보통암 MEDIUM HARD)
75 ~ 90	양 호 (경암 HARD)
90 ~ 100	아주 양호 (극경암 VERY HARD)

#### ● 코아회수율 (Total Core Recovery : T.C.R)

시추심도에 대한 회수된 코아의 백분율로서 암석의 연경도와 풍화도를 간접적으로 반영하고 있으나, 시추기의 회전속도, 시추구경, 사용 비트(bit) 및 시추압력 등의 작업조건에 따라서 코아회수율이 달라진다.

$$\text{코아회수율 (TCR, \%)} = \frac{\text{회수된 코어길이}}{\text{굴착된 암석의 총길이}} \times 100$$

#### ● 암질지수(Rock Quality Designation : R.Q.D)

D.U.Deere는 1964년 다이아몬드 보링으로 채취한 보링코어의 관찰에 의해서 암반의 질을 정량적으로 표시하는 지표를 제안했다. 이는 시추심도에 대한 회수된 코어중 길이가 4" 이상인 코아의 총 길이의 시추심도에 대한 백분율로 표시되며, 암반의 상대적인 절리상태와 연경도 등을 반영하고 있다. 또한 현장에서의 암질과 RQD와의 관계를 비교하면 [표 3.15]와 같다.

$$\text{R.Q.D (\%)} = \frac{4" \text{ 이상 코아길이의 합계}}{\text{굴착된 암석의 이론적 길이}} \times 100$$

상기와 같이 암석 코어에 대한 일반적인 사항은 색, 풍화정도, 강도, 균열, 코어의 형상, T.C.R. 및 R.Q.D 등을 기술하며, 좀더 정밀한 사항이 요구될 경우 입자크기, 암석명 암석조직, 구성광물, 강도와 절리의 수, 간격, 면의 상태, 채원집 상태 등을 기재하며 참고적으로 국내 및 국외의 암석의 분류방법은 다음 표들과 같다.

[표 3.15] 절리면 거칠기(Joint Roughness)에 따른 분류기준

계단형 STEPPED	거칠음(불규칙)		<ul style="list-style-type: none"> <li>거칠기에 대한 표시방법</li> <li>1. 소척도(수 cm) <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 거침(불규칙)</li> <li>2) 완만</li> <li>3) 매끄러움 : 불연속면을 따라 이전의 전단변위에 대한 분명한 흔적이 있을 경우에 사용</li> </ul> </li> <li>2. 중간 척도 (수 m) <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 계단형</li> <li>2) 파동형</li> <li>3) 평면형</li> </ul> </li> </ul>
	완만		
	매끄러움		
파동형 UNDULATED	거칠음(불규칙)		
	완만		
	매끄러움		
평면형 PLANAR	거칠음(불규칙)		
	완만		
	매끄러움		

[표 3.16] 풍화도의 분류

풍 화 도	풍 화 상 태
잔 류 토 (Residual Soil)	암석이 변색되고 완전히 토양으로 변해 원래 암석구조가 전혀 나타나지 않는 상태
완 전 풍 화 (Completely eathered)	암석이 변색되고 토양화 되었지만 원래의 암석구조가 보존되어 있는 상태
심 한 풍 화 (Highly Weathered)	암석이 변색되고 절리나 균열(Joint or Fracture)은 벌어져 있으며 그 면은 변색되어 있음. 절리나 균열 주변의 암석구조는 내부까지 변질되어 있음.
보 통 풍 화 (Moderately Weathered)	암석이 변색되어 있음. 절리나 균열이 벌어져 있기 쉬우며 표면으로부터 내부까지 변색되어 있음. 본래 암석의 강도는 신선암에 비해 아주 약함.
약 한 풍 화 (Slightly Weathered)	암석은 약간 변색되어 있음. 특히 절리나 균열 부근은 벌어져 있을 수도 있으며 그 표면 또한 변색된 상태임. 약간 약한 강도를 나타냄.
신 선 (Fresh)	모암이 변색되었거나 약한 강도를 나타내지 않음. 절리나 균열이 밀착되어 있으며 간혹 변색됨.

[표 3.17] 강도의 분류

암 석 강 도	상 태
아주약함 (Very Weak)	코아나 암편이 손가락 힘으로도 부스러지는 상태
약 함 (Weak)	코아나 암편이 손힘에 쉽게 부스러지는 상태
보통약함 (Moderately Weak)	코아나 암편이 강한 손힘에 의하여 쪼개지는 상태
보통강함 (Moderately Strong)	코아나 암편이 약한 조사용 함마타격에 쪼개지는 상태
강 함 (Strong)	코아나 암편이 강한 조사용 함마타격에 쪼개지는 상태
아주강함 (Very Strong)	코아나 암석이 강한 조사용 함마타격에 약간 깨어지는 상태



[표 3.18] 한국엔지니어링 협회의 암반분류기준

암분류	시추굴진 상 황	암반의 성질					탄성파 속도 (Km/sec)	qu (kgf/cm <sup>2</sup> )
		풍 화 변질상태	균열상태	코아상태	항마타격	투수시험		
풍화암	Metal crown bit 로 용이하게 굴진 가능하며 때로는 무수 보링도 가능	암 내부까지도 풍화진행, 암의 구조 및 조직이 남아 있음	균열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착상태임	세편상 암편이 남아 있고 손으로 부수면 가루가 되기 포함. 단형코아가 없음	손으로 도 부서짐	원형 보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리됨	< 1.2	< 125
연 암	Metal crown bit로 용이하게 굴진가능	암내부의 일부를 제외하고는 풍화진행, 장식, 운모등이색, 변질	균열이 많이 발달, 균열 간격은 5cm이하, 점토 협재함	암편상~세편상(각책상) 원형 코아가 적고 복구 곤란	해머가 치면 가볍게 부서짐	세편상으로 분리되고 암괴로 분리	1.2~2.5	125 ~ 400
중경암	Metal crown bit로도 굴진 가능하나 Diamond bit를 사용하면 코아 회수율이 양호한 암반	균열을 따라 다소 풍화진행, 장식 및 유색 광물은 일부 변색됨	균열 발달일부는 점토가 협재함. 세편상 태로 잘 부서짐. 균열간격은 10cm 내외	대암편상~단주상 10cm이하, 특히 5cm 내외의 코아가 많음	해머로 치면 현저한 소리를 내고 부서짐	암괴로 분리하나 입자의 분산은 거의 없으며 변화하지 않음	2.5~3.5	400 ~ 800
경 암	Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	대체로 석괴, 균열을 따라 약간 풍화, 변질됨. 암 내부는 신선함	균열의 발달이 적으며 균열 간격은 5~15cm 대체로 밀착상태이나 일부는 open됨	단주상~봉상 대체로 20cm이하 1m당 5~6 개 이상	해머로 치면 금속음을 내며, 잘 부서지지 않으며 휘는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	3.5~4.5	800 ~ 1200
극경암	Diamond bit의 마모가 특히 심한 암반 및 경암의 파쇄대로 코아의 막힘이 많은 암반	대단히 신선하고 풍화 변질되지 않음	균열 발달이 적으며, 그 간격은 20~50cm로 밀착 (Mosaic상태의 균열 발달. 그 간격은 5cm이하)	봉상~장주상 완전한 형태를 보유 1m당 5~6 개 (암편상~각력상으로 원형 코아가 적음)	해머로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 휘는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	4.5이상	>1200

### 3. 토질암석의 분류 및 기재방법

[표 3.19] 생성연대별 암석 경·연 분류

시대 구분	암반분류 암종	암반분류				
		풍 화 암	연 암	중 경 암	경 암	극 경 암
제3기	퇴적암 화산암 및 변성암	명암석의 풍화암	세일, 응회암, 사암, 이암, 각력응 회암	역암, 집괴암, 현무암(다공질)	처트, 규질아질라이 트, 유문암, 반암, 안 산암, 조면암, 집괴 암, 현무암(치밀)	규질아질라이트, 석영조면암, 석영안 산암
중생대	"	"	세일, 탄질세일	사질세일, 실트스톤, 장석질사암	역암, 경사암, 각 력암, 규질세일, 화강 암, 반암, 규장암, 화강편마암, 처트, 훈펠스	석영맥, 처트, 훈펠스
고생대 및 선캄브리 아기	"	"	세일, 실트스톤, 탄 질세일, 석회암, 대 리석, 점판암, 천매 암, 사문암	슬레이트, 백운암, 흑운모편암, 흑연편 암, 녹니석편암, 건 운모편암	사암, 역암, 규질세 일, 규질석회암, 처 트, 훈펠스, 화강암, 섬록암, 섬장암, 반 려암, 석영반암, 화 강반암, 페그마타이 트, 빈암, 화강편마 암, 운모편마암, 각 섬편마암, 호상편마 암, 석영편암, 각섬편암, 운모편암	경사암, 규암, 석영맥
일축압축강도 ( kgf / cm <sup>2</sup> )		1250이하	125 ~ 400	400 ~ 800	800 ~ 1,200	1,200이상 경우에는 1,800
적 요		상술된 암석 일축압축강도는 암반분류의 한 요인으로서 암반을 종합판정할 경우에는 풍화정도, 균열상태, 코아형상 등의 제성질을 참작하여 실시한다. foliation 및 잠재균열이 발달한 일축압축강도는 저하함.				

※ 한국기술용역협회 : 지질조사품셈

[표 3.20] 건설부 표준품셈이 제시한 암반분류

암반분류	지질조사에 의한 분류 기준	지 질 특 성
연암	<ul style="list-style-type: none"> <li>TCR : 20~40%, RQD : &lt; 25%</li> <li>Js : 6m~20cm</li> <li>일축압축강도 (건조상태) : 700~1,000kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>암의 내부를 제외하고 균열을 따라 다소 풍화가 진척되었으며, 장석 및 유색광물이 변색됨(심한풍화~보통풍화)</li> <li>햄머로 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 : 15cm~30cm</li> <li>일축압축강도 (건조상태) : 1,000~1,300kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>절리면을 따라 다소 풍화 진해, 석영을 제외한 장석 및 유색광물 일부 변색됨(보통풍화~약한풍화)</li> <li>햄머타격시 탁음을 내고 2~3회에서 갈라지며 갈라진 면이 날카로움</li> </ul>
경암	<ul style="list-style-type: none"> <li>TCR : &gt;70%, RQD : &gt;50 %</li> <li>Js : 20cm ~ 50cm</li> <li>일축압축강도 (건조상태) : 1,300~1,600kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대체로 신선하며 절리면을 따라 약간풍화, 암내부는 대체로 신선함(약한풍화~신선)</li> <li>햄머타격시 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튼튼한 경향을 보임</li> </ul>

[표 3.21] 한국도로공사의 암반의 분류 기준

표준 단면	암 질	특 징	RMR	Q값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/sec)	일축압축 강 도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	코 아 회수율 (%)
I	경암	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80~100	40이상	70이상	4.5이상	10000이상	90이상
II	보통암	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 충상의 암질	70~80	10~40	40~70	4.0~4.5	800~1000	70~90
III	연암	층리, 절리 및 편리등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	50~70	4~10	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
IV	풍화암	물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙하게 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	25~50	1~4	0~20	3.5이상	600이하	40이하
V	풍화토	풍화작용이 심하고 일부가 고화된 상태이며 쉽게 뜯어낼수 있는 암질	25이하	1이하	20이하	3.0이상	250이하	-

[표 3.22] 한국도로공사가 제시한 굴착 난이도에 따른 암반분류

구 분		토 공 작 업		
		토 사(도자)	리 핑 압	발 파 압
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% 정도
	NX 크기	—	TCR = 25%이하이고 RQD = 0% 정도	TCR = 25%이하이고 RQD = 0 ~ 10% 정도
탄성파속도	A 그룹	700m/sec 미만	700~1200m/sec	1200m/sec 이상
	B 그룹	1000m/sec 미만	1000~1800m/sec	1800m/sec 이상

주) A 그룹 편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암

B 그룹 흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, Shale, Mudstone, 응회암, 집괴암

[표 3.23] 서울지하철의 암반분류

구 분	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV	비 고
암 종	경암	중경암	연암	풍화암(토)	
강 도 (탄성파속도)	4.5km/sec	4.5~4.0km/sec	4.0~3.5km/sec	3.5km/sec	
암질상태	균열 및 절리가 거의 없고 견고하며 풍화변질 및 물리적, 화학적 교대작용을 거의 받지 않는 신선한 암질체로서 대괴상의 암질	균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 약간의 파쇄대가 존재하며 다소의 소단층이 발달되어 있는 상태에서 약간의 절리도 포함하여 층상을 이루는 암석	풍화작용에 의한 암상에 교대작용을 받아 층리, 편리 및 절리가 발달되어 있는 암체로서 소교섭을 이루는 파쇄질의 암상	물리, 화학적 교대 작용에 의하여 파쇄대가 매우 발달된 상태로서 여러방향의 절리 및 다소의 단층을 포함하여 점토질이 많이 발달되어 있는 암상	절리 및 단층은 그 크기나 방향성에 따라 암종의 분류를 결정하며 특히 단층의 경우 상반과 하반의 간격으로 결정
시추코어 상태	코어 채취율은 거의 90%이상으로 주상을 이루며 암괴는 20cm 이상으로 세편이 거의 없는 상태	코어 채취율은 70~90% 완전한 주상은 되지 않고 다소의 세편이 포함되어 있으며 편이 크기는 5cm 이상의 상태	코어 채취율은 40 ~70%로서 균열이 많고 5cm 이하의 세편이 다량 포함되어 있는 상태	코어 채취율은 40% 이하로서 거의가 세편을 이루며 특히 각력암이 포함된 모래상 또는 점토의 상태	
지하수위 영향	누수량에 의한 영향은 적게받고 최대 20ℓ/sec이상의 경우 Grouting 실시	누수량의 영향을 약간 받으며 최대 15ℓ/sec 이상일 경우 Grouting 실시	누수량에 의하여 Crack 자체가 영향을 받으며 최대 10ℓ/sec 이상일 경우 Grouting 실시	누수량에 의하여 암질 자체가 상당한 영향으로 풍화되며 최대 100ℓ/sec이하일 경우에도 Grouting 실시	누수량에 의하여 암종을 구분함은 곤란하나 용수량이 많을 경우 암종을 한단계 낮추어 시공할 수 있음

[표 3.24] 고속철도 시방서의 암반분류(안)

판 정 기 준										
지반 등급	일축압축 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성파 속 도 (km/sec)	변형계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	지반 강도비	시추코어 상태					굴착후 상태
					시추검층	코아 회수율 (%)	RQD (%)	해머타격	균열 상태	
풍 화 암	< 50	< 1.2	1,000 ~ 4,000	1 이하	•세편상으로 암편이 남아 있으나 단형코 어가 없음	—	—	약한 해머타격에 부 서지고 일부 손으로 도 부서짐	—	•암내부 풍화 진행 •암의 구조 및 조직이 남아 있음
연 암	50 ~ 250	1.2 ~ 2.5	4,000 ~ 10,000	1~4	•암편상~세편상 (각력상) •원형코어가 적고 원형복구 곤란	40 이하	10 이하	해머로 치면 탁음을 내며 부서지고 균열 이 되면서 갈라짐	5cm 이하	•암내부를 제외하고 풍화진행 •점토가 절리면을 피 복, 세편상으로 나옴
보 통 암	250 ~ 500	2.5 ~ 3.5	10,000 ~ 50,000	4 이상	•대상편상~단주상 •균일간격10cm내외 •5cm 내외의 크기 가 많고 원형복구 가능	40 ~ 70	10 ~ 70	해머타격에 쉽게 갈 라지며 연속면을 따 라 비교적 작은 조각 으로 갈라짐	10cm 이하	•균열을 따라 다소 풍화진행 •장석 및 유색광물 일부변색
경 암	500 ~ 1,000	3.5 ~ 4.5	50,000 ~ 100,000	—	•단주상,봉상 •대체로 20cm 이하 코어가 1m당 5~6개 이상	70 이상	70 ~ 90	강한 해머타격에 갈 라지나 절리면을 따 라 비교적 크게 갈라 짐	5 ~ 15	•대체로 신선 •균열을 따라 약간 풍화 •암내부는 신선
극 경 암	1,000 이상	4.5이상	100,000 이상	—	•봉주상~장주상 코어가 거의 20cm 이상 •세편은 거의 포함 되지 않은 상태	90 이상	90 이상	해머타격시 튀어 오르고 여러번 타격 면이 나타남	20 이상	•대단히 신선 •변질되지 않음

[표 3.25] 서울특별시 표준지반 분류

암반구분	정 성 적 특 성 (노두나 굴착기의 노출지반조사시)	시추조사시 분류기준
퇴적토층 (DS)	원지반에서 분리,이동되어 다른곳에 퇴적된 층으로 대체로 원지반보다 연약하며 입자의 크기나 구성에 따라 세분	흙의 통일분류법으로 세분함
풍화토층 (RS)	조암광물이 대부분 완전 풍화되어 암석으로서의 결합력을 상실한 풍화잔류토로서 절리의 대부분은 풍화산물인 점토등 2차 광물로 충전되어 흔적만 보이고 포화시 전단강도가 현저히 저하되기도 하며, 손으로 쉽게 부수어지는 지반	N<50회/10cm 흙의 통일분류법으로 세분함
풍화암 (WS)	심한풍화로 암석 자체의 색조가 변색되었으며, 충전물로 채워지거나 열린 절리가 많고, 가벼운 망치 타격에 쉽게 부수어지며, 칼로 흡집을 낼수 있음. 절리간격은 좁음이하로 시추시 암편만 회수되는 지반	TCR ≥ 10% RQD < 10% N≥50회/10cm qu < 100Kgf/cm <sup>2</sup>
연 암 (SR)	절리면 주변의 조암광물은 보통풍화되어 변색되었으나 암석 내부는 부분적으로 약한 풍화가 진행중이며, 망치 타격에 둔한소리가 나면서 파괴되고 일부 열린절리가 있으며, 절리간격은 대부분이 밀착되어 있고, 절리간격이 넓은	TCR ≥ 30% RQD ≥ 10% qu ≥ 100Kgf/cm <sup>2</sup> Js ≥ 20cm
보통암 (MR)	절리면에서 약한풍화가 진행되어 일부 변색되었으나 암석은 강한 망치 타격에 다소 맑은 소리가 나면서 깨어지고, 절리면의 대부분이 밀착되어 절리간격이 넓은	TCR ≥ 60% RQD ≥ 25% qu ≥ 500Kgf/cm <sup>2</sup> Js ≥ 60cm
경 암 (HR)	조암광물의 대부분이 거의 신선하며, 암석은 강한 망치 타격에 맑은 소리를 내며 깨어지고, 절리면은 잘 밀착되어 있고, 절리간격이 매우 넓은	TCR ≥ 80% RQD ≥ 50% qu ≥ 1,000Kgf/cm <sup>2</sup> Js ≥ 200cm
극경암 (XHR)	거의 완전하게 신선한 암으로 절리면은 잘 밀착되어 있고 강한 망치 타격에 맑은 소리가 나며, 잘 깨어지지 않으며, 절리간격은 극히 넓은	TCR ≥ 80% RQD ≥ 75% qu ≥ 1,500Kgf/cm <sup>2</sup> Js ≥ 300cm

## 4. 조 사 결 과

4.1 지형 및 지질

4.2 지층 개황

4.3 표준 관입 시험

4.4 지하수위 측정

4.5 현장 투수 시험

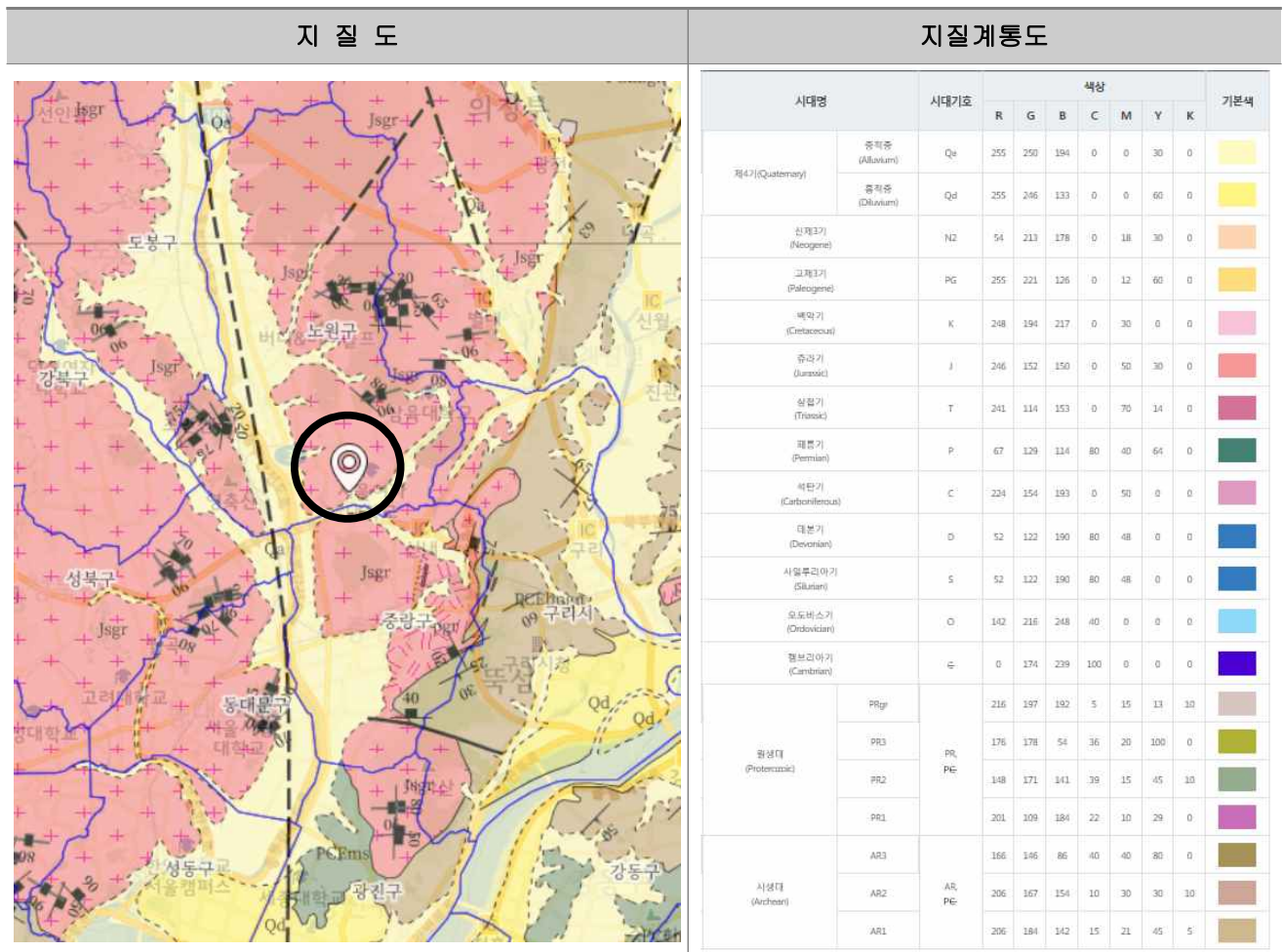
4.6 하향식탄성파탐사

## 4. 조사결과

### 4.1 지형 및 지질

#### 지형 및 지질개요

- 본 조사지역 일대는 행정구역상 서울특별시 노원구 공릉동 250-5번지에 해당한다.
- 지하철 7호선 태릉역 및 공릉역에서 동쪽으로 직선거리상 약 1km 정도 떨어져 위치해 있으며 근생 및 주거지역으로 형성되어 있다.
- 본 조사지역의 기반암의 지질은 지사상 주라기(JURASSIC)에 속하는 서울화강암(SEOUL GRANITE)을 주 기반암으로 분포하고 있다.



## 4.2 지층 개황

본 조사지역의 지반현황 파악을 위해 시추조사공 2개소에 대하여 시추조사를 한 결과 지층 분포상태는 지표로부터 매립층, 풍화토, 풍화암, 연암의 층서로 분포되어 있다. 시추조사결과는 [표 4.1] 과 같으며, 각 지층별로 요약하면 다음과 같다.

[표 4.1] 시추조사 성과

(단위 : m)

공 번	매 립 층		풍 화 토		풍 화 암		연 암		합 계	표준관입 시험(회)
	심 도	N치	심 도	N치	심 도	N치	심 도	N치		
NX-1	0.0 ~ 4.0 (4.0)	4/30 ~ 7/30	4.0 ~ 5.0 (1.0)	50/12	5.0 ~ 16.0 (11.0)	50/8 ~ 50/2			16.0	16
NX-2	0.0 ~ 0.5 (0.5)	-	0.5 ~ 5.0 (4.5)	50/27 ~ 50/12	5.0 ~ 20.2 (15.2)	50/9 ~ 50/2	20.2 ~ 30.0 (9.8)	-	30.0	20

( )안은 층후

### 4.2.1 매립층

본 지층은 조사부지의 최상부를 이루고 있는 불균질한 지층으로, 본 지층은 지표로부터 0.5m~4.0m 두께로 분포하고 있으며 세립질 모래로 구성되어 있다. N치 분포는 4/30~7/30(회/cm) 정도로 느슨 상태의 상대밀도 범위를 보이며 색조는 갈색을 띠고 있다.

### 4.2.2 풍화토층

본 지층은 기반암이 풍화되어 완전 토사화 된 지층으로서 본 지층은 시추공에서 현 지표면으로 부터 G.L (-)0.5m~(-)4.5m의 심도에서 1.0m~4.5m의 층후를 보이고 있으며 세립질 모래로 구성되어 있다. 표준관입시험 결과 N치 분포는 50/27~50/12(회/cm) 정도로 대단히 조밀 상태의 상대밀도 범위를 보이며 색조는 갈색을 띠고 있다.

### 4.2.3 풍화암층

본 지층은 기반암이 심한 풍화 내지 보통 풍화되어 형성된 암으로서 본 지층은 시추공에서 현 지표면으로 부터 G.L (-) 5.0m의 심도에서 11.0m~15.2m의 층후를 보이고 있으며 지층의 구성은 세립질 모래로 암편이 협제되어 있다. 색조는 갈색을 띠고 있으며, 표준관입시험 결과 N치 분포는 50/9~50/2(회/cm) 정도로 대단히 조밀한 상태의 상대밀도 범위를 보이고 있다.



## 4.2.4 연암층

본 지층은 기반암이 풍화를 받아 변질된 암으로 시추공에서 현 지표면으로 부터 G.L(-) 20.2m의 심도에서 나타나며 암편상~장주상 코어로 회수되었다. 상부 및 부분적으로 심한 파쇄를 보이며 절리가 심하다. 색조는 갈색, 연갈색을 띠고 있다.

22.0m~24.5m TCR 100% RQD 12% , 24.5m~27.5m TCR 100% RQD 20% ,  
27.5m~30.0m TCR 95%, RQD 20%

## 4.3 표준관입시험

본 시험은 매립토 및 풍화토층, 풍화암층을 대상으로 시료의 채취, 연약지반의 유무 및 각 지층의 상대밀도를 목적으로 시추조사와 병행하여 모든 시추공에 대하여 실시하였으며, 그 결과를 정리하면 다음 [표 4.2]와 같다.

[표 4.2]시추공별 표준관입시험 결과

(단위 : 회/cm)

공 번	심도별 N치									
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
NX-1	4/30	7/30	4/30	50/12	50/7	50/8	50/7	50/6	50/60	50/7
NX-2	50/27	50/20	50/11	50/12	50/9	50/8	50/6	50/7	50/7	50/6

공 번	심도별 N치									
	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
NX-1	50/6	50/5	50/3	50/3	50/2	50/2				
NX-2	50/6	50/3	50/3	50/3	50/2	50/2	50/2	50/2	50/2	50/2

## 4.4 공내지하수위 측정

본 조사지역에서 시추공내의 공내 지하수위 측정은 시추조사 완료 후에 공내 지하수위를 측정하였으며, 지하수위는 계절의 변화나 인근지역의 토공작업에 따른 지하수 유출 등과 같은 요인에 의하여 변화될 수 있다는 점에 유의하여야 하며, 측정된 지하수위는 다음 [표 4.3]과 같다.

[표 4.3] 시추공별 공내지하수위 측정결과

공 번	지하수위 (G.L-, m)	지 층	비 고
NX-1	2.5	매 립 층	
NX-2	2.9	풍 화 토	

### 4.5 현장투수시험

투수특성을 파악하기 위해 투수시험을 수행하였다.

구 분	측정심도 (GL.-m)	시 험 구 간	투수계수 (cm/sec)	지층명	N값	비 고
NX-1	2.0~3.0	1.0	9.54E-03	매립층	4/30~7/30	
NX-2	8.0~9.0	1.0	3.54E-04	풍화토	50/11~50/12	

### 4.6 하향식탄성파탐사(Downhole Test)

본 조사지역 시추공을 이용한 하향식 탄성파탐사(Downhole Test)는 구조물이 설치되는 기초지반을 중심으로 지층별 탄성파(P파, S파) 속도를 측정하여 사업부지의 동역학적 특성파악 및 동적지반정수를 산출하기 위하여 총 1회를 실시하였다.

[표 4.4] 탐사 내용

시추번호	시추심도(m)	탐사구간(m)	지하수위(GL.-m)	비 고
NX-2	30.0	GL.-1.0~30.0	2.9	

#### 4.6.1 적용 단위중량 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 <sup>3</sup> )
풍화토	1.9
풍화암	2.1
연 암	2.3

#### 4.6.2 시추공별 조사결과

[표 4.5] NX-2 시험공의 지층별 검층 결과

지 층	구 간 (GL.-m)	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	rt (kN/m <sup>3</sup> )	포아송비	전단탄성율 (Gd)	체적탄성율 (Kd)	동탄성계수 (Ed)
매 립 층	0.0~0.5	-	-	-	-	-	-	-
풍 화 토	0.5~5.0	331	748	19.0	0.378	2.13E+02	8.01E+02	5.86E+02
풍 화 암	5.0~20.2	610	1,267	21.0	0.349	7.98E+02	2.38E+03	2.15E+03
연 암	20.2~30.0	1,170	2,267	23.0	0.318	3.21E+03	7.78E+03	8.47E+03

심 도 (Gl.- m)	지층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	포아송비 ( $\nu$ d)	전단탄성율(Gd) (MPa)	체적탄성율(Kd) (MPa)	동탄성계수(Ed) (MPa)
1.0	풍화토	243	563	0.386	1.14E+02	4.62E+02	3.17E+02
2.0		274	630	0.383	1.46E+02	5.75E+02	4.03E+02
3.0		347	782	0.377	2.33E+02	8.74E+02	6.43E+02
4.0		376	842	0.375	2.74E+02	1.01E+03	7.54E+02
5.0		416	923	0.373	3.36E+02	1.20E+03	9.21E+02
6.0	풍화암	454	987	0.366	4.42E+02	1.50E+03	1.21E+03
7.0		468	1,011	0.364	4.69E+02	1.56E+03	1.28E+03
8.0		498	1,056	0.357	5.31E+02	1.68E+03	1.44E+03
9.0		536	1,129	0.355	6.16E+02	1.91E+03	1.67E+03
10.0		551	1,162	0.355	6.51E+02	2.03E+03	1.76E+03
11.0		564	1,184	0.353	6.82E+02	2.10E+03	1.84E+03
12.0		577	1,207	0.352	7.13E+02	2.17E+03	1.93E+03
13.0		597	1,243	0.350	7.63E+02	2.29E+03	2.06E+03
14.0		624	1,293	0.348	8.34E+02	2.47E+03	2.25E+03
15.0		648	1,341	0.348	9.00E+02	2.65E+03	2.43E+03
16.0		663	1,366	0.346	9.42E+02	2.74E+03	2.54E+03
17.0		678	1,389	0.344	9.85E+02	2.82E+03	2.65E+03
18.0		726	1,485	0.343	1.13E+03	3.22E+03	3.03E+03
19.0		764	1,545	0.338	1.25E+03	3.45E+03	3.35E+03
20.0		804	1,606	0.333	1.39E+03	3.68E+03	3.69E+03
21.0	연 암	877	1,740	0.330	1.81E+03	4.70E+03	4.80E+03
22.0		938	1,846	0.326	2.06E+03	5.24E+03	5.48E+03
23.0		1,013	1,986	0.324	2.41E+03	6.05E+03	6.38E+03
24.0		1,081	2,124	0.325	2.74E+03	6.93E+03	7.27E+03
25.0		1,132	2,208	0.322	3.01E+03	7.43E+03	7.95E+03
26.0		1,227	2,386	0.320	3.53E+03	8.65E+03	9.33E+03
27.0		1,289	2,484	0.316	3.90E+03	9.28E+03	1.03E+04
28.0		1,338	2,564	0.313	4.20E+03	9.83E+03	1.10E+04
29.0		1,378	2,626	0.310	4.46E+03	1.02E+04	1.17E+04
30.0		1,426	2,704	0.307	4.77E+03	1.08E+04	1.25E+04

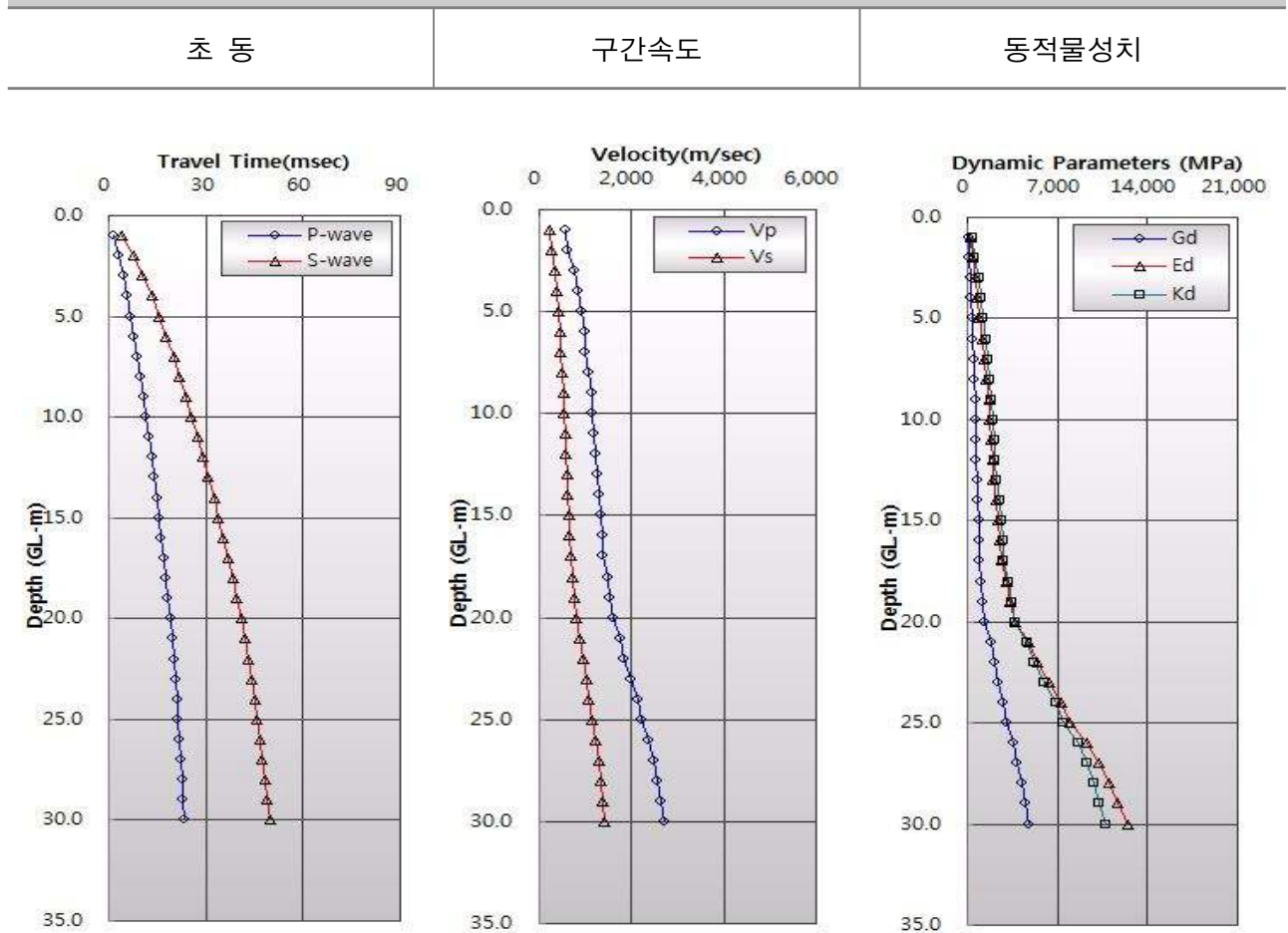
## 4.6.3 탄성파 속도 설계 적용치

획득한 자료에서 초동주시를 발췌하여 이로부터 주시곡선을 작성하여 구간속도를 산출하고 이로부터 얻어진 종파(P파) 및 횡파(S파)의 구간속도와 지반동적물성치와의 상관관계로부터 동탄성계수( $E_d$ ), 동전단계수( $G_d$ ), 동체적계수( $K_d$ ) 등을 도출하였으며, 이는 원지반 측정치로서 현지반의 물성치를 대변함.

[표 4.6] NX-2 대한 지층별 전단파속도

구 분	전단파속도		동적물성치			
	$V_P$ (m/s)	$V_S$ (m/s)	$E_d$ (MPa)	$G_d$ (MPa)	$K_d$ (MPa)	$\nu_d$
매 립 층	748	331	5.86E+02	2.13E+02	8.01E+02	0.378
풍화토층	1,267	610	2.15E+03	7.98E+02	2.38E+03	0.349
풍화암층	2,267	1,170	8.47E+03	3.21E+03	7.78E+03	0.318

Downhole test 결과그래프



## 4.6.4 전단파속도에 의한 지반분류

## 1) 지반의 분류

지진에 의한 지반운동은 지반의 특성에 따라 달라지므로 지반의 특성을 반영할 수 있도록 하기 위하여 지반을 분류하여 그에 따른 지반계수를 정의한다. 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 원칙적으로 지반을 다음의 <표 4.7>과 같이 SA, SB, SC, SD, SE의 5종으로 분류한다.

[표 4.7] 전단파속도에 의한 지반분류

지반분류	지반종류의 호칭	상부 30M에 대한 평균 지반 특성		
		전단파 속도 (m/sec)	표준관입시험 (N치)	비배수전단강도 $\overline{S_u}$ (10-3N/mm <sup>2</sup> )
SA	경암 지반	1,500 초과	—	—
SB	보통암 지반	760 ~ 1,500		
SC	매우 조밀한 토사 또는 연암 지반	360 ~ 760	> 50	> 100
SD	단단한 토사 지반	180 ~ 360	15 ~ 50	50 ~ 100
SE	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

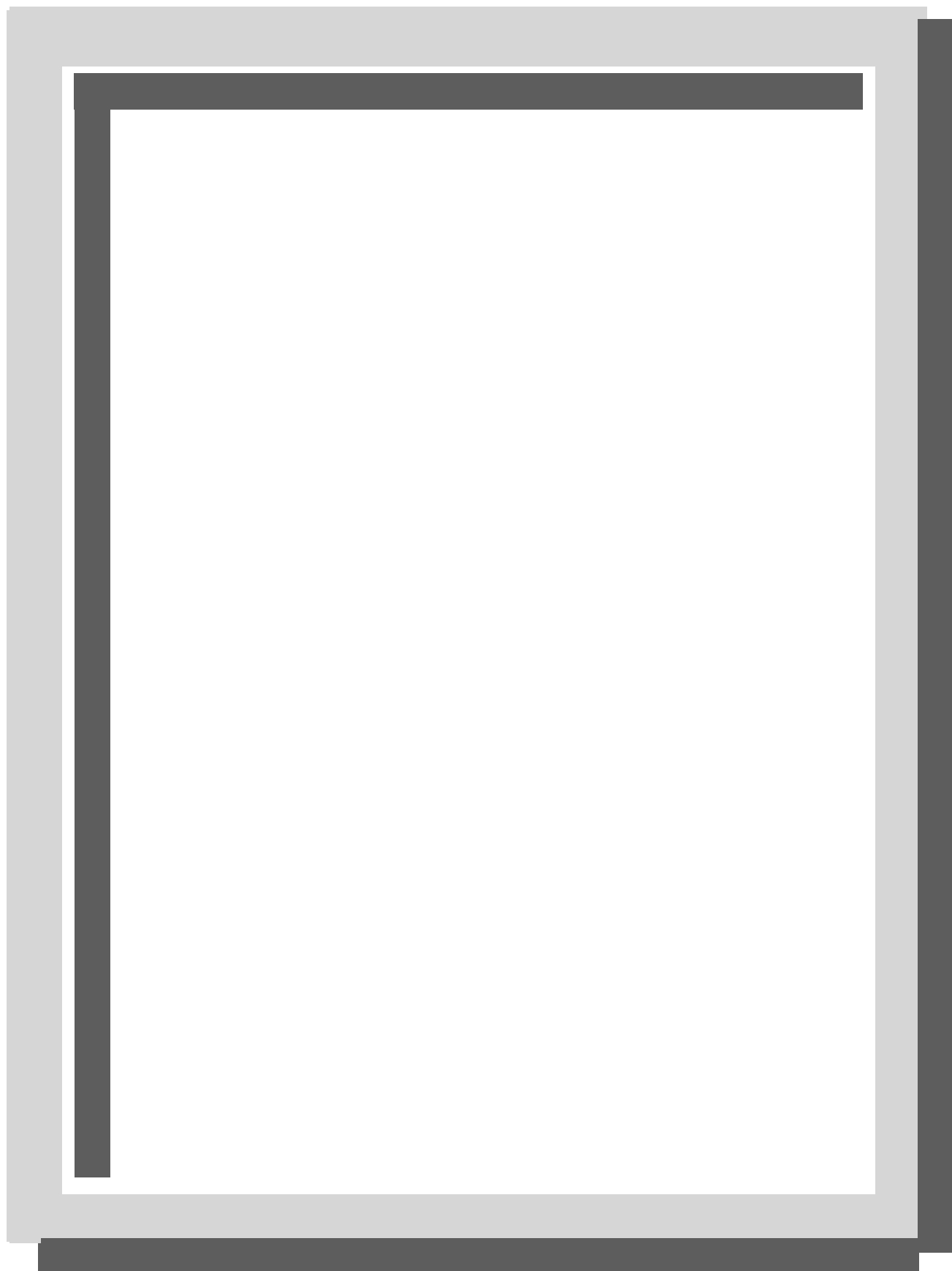
## 2) 지층별 전단파속도 및 지반분류

공 번	기반암* 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도 $V_s$ (m/s)	지반종류	지반종류의 호칭
NX-2	18.0	468.4	S <sub>2</sub>	알고 단단한 지반

\* 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S<sub>5</sub> 지반으로 분류

## 5. 결 론



## 5. 결 론

본 시추조사는 “서울 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축공사” 부지에 시추공 2개소 위치를 선정 후 시추조사 및 현장시험 수행하여 지반의 지층상태 및 구성 성분 등 제반 지반공학적 특성을 파악 하였으며, 본 조사는 시추조사공에 대한 결과이므로 설계 및 시공시 현장여건을 참고하여 적절한 보완·수정이 되어져야하며, 조사결과를 요약 기술하면 다음과 같다.

1. 본 조사 지역에 분포하는 지층은 상부로 부터 매립층, 풍화토, 풍화암, 연암의 층서로 분포하고 있으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

[표 5.1] 지층분포현황

구 분	분 포 현 황
매 립 층	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현 지표면으로부터 0.5m~4.0m의 두께로 분포</li> <li>• 세립질 모래로 구성</li> <li>• N치 분포는 4/30~7/30(회/cm)</li> <li>• 상대밀도 대단히 느슨</li> <li>• 색조는 갈색</li> </ul>
풍 화 토	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현 지표면으로부터 지표하 G.L(-) 0.5m~4.5m의 심도에서 나타남</li> <li>• 층후는 1.0~4.5m</li> <li>• 세립질 모래로 구성</li> <li>• N치 분포는 50/27~50/12(회/cm)</li> <li>• 상대밀도 대단히 조밀</li> <li>• 색조는 갈색</li> </ul>
풍 화 암	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현 지표면으로부터 지표하 G.L(-) 5.0m의 심도에서 나타남</li> <li>• 층후는 11.0~15.2m</li> <li>• 구성토질은 세립, 중립질 모래에 암편 혼재</li> <li>• N치 분포는 50/9~50/2(회/cm)</li> <li>• 상대밀도 대단히 조밀</li> <li>• 색조는 갈색</li> </ul>
연 암	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현 지표면으로부터 지표하 G.L(-) 20.2m의 심도에서 나타남</li> <li>• 암편상~장주상 코어로 회수</li> <li>• 상부 및 부분적 심한 파쇄, 절리가 심함</li> <li>• 22.0~24.5m TCR 100%, RQD 12%, 24.5~27.5m TCR 100%, RQD 20%, 27.5~30.0m TCR 95%, RQD 20%</li> <li>• 색조는 갈색, 연갈색</li> </ul>

2. 표준관입시험은 매립 및 풍화토, 풍화암 층을 대상으로 시료의 채취 연약지반의 유무 및 각 지층의 상대밀도 및 연경도의 파악을 목적으로 시추조사와 병행하여 모든 시추공에 대하여 실시하였으며, 지층별 N치 분포는 그 결과를 정리하면 다음 [표 6.2]와 같다.

[표 5.2] 시추공별 표준관입시험 결과

(단위 : 회/cm)

공 번	지층별 N 치 분포		
	매립층	풍화토	풍화암
NX-1	4/30~7/30	50/12	50/8 ~ 50/2
NX-2	-	50/27 ~ 50/12	50/9 ~ 50/2

3. 본 조사지역에서 시추공내 지하수위 측정은 시추조사 완료 후 공내 지하수위를 측정하였으며, 지하수위 분포는 GL-2.5~2.9m로 매립층 및 풍화토층에 위치하는 것으로 확인되었다. 지하수위는 계절의 변화나 인근지역의 토공작업에 따른 지하수 유출 등과 같은 요인에 의하여 변화될 수 있다는 점에 유의하여야 하며, 소규모 시추공에서 시추완료 후 짧은 기간 내에 측정된 자료임을 감안하여 시공 전 현장 터파기 등을 통하여 직접적인 지하수위를 육안 확인하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

[표 5.3] 시추공별 지하수위

공 번	지하수위 (G.L.-, m)	지 층	비 고
NX-1	2.5	매 립 층	
NX-2	2.9	풍 화 토	

4. 투수특성을 파악하기 위해 투수시험(암반층 수압시험)을 수행하였다.

[표 5.4] 투수시험

구 분	측정심도 (G.L.-m)	시 험 구 간	투수계수 (cm/sec)	지층명	N값	비 고
NX-1	2.0~3.0	1.0	9.54E-03	매립층	4/30~7/30	
NX-2	8.0~9.0	1.0	3.54E-04	풍화토	50/11~50/12	

4. 본 조사지역 시추공을 이용한 하향식 탄성파탐사(Downhole Test)는 구조물이 설치되는 기초지반을 중심으로 지층별 탄성파(P파, S파) 속도를 측정하여 사업부지의 동역학적 특성파악 및 동적지반정수를 산출하기 위하여 총 1회를 실시하였다.

[표 5.5] 하향식 탄성파탐사

지 층	구 간 (G.L.-m)	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	rt (kN/m³)	포아송비	전단탄성율 (Gd)	체적탄성율 (Kd)	동탄성계수 (Ed)
매 립 층	0.0~0.5	-	-	-	-	-	-	-
풍 화 토	0.5~5.0	331	748	19.0	0.378	2.13E+02	8.01E+02	5.86E+02
풍 화 암	5.0~20.2	610	1,267	21.0	0.349	7.98E+02	2.38E+03	2.15E+03
연 암	20.2~30.0	1,170	2,267	23.0	0.318	3.21E+03	7.78E+03	8.47E+03



## 6. 부 록

6.1 시추조사위치평면도

6.2 지 층 단 면 도

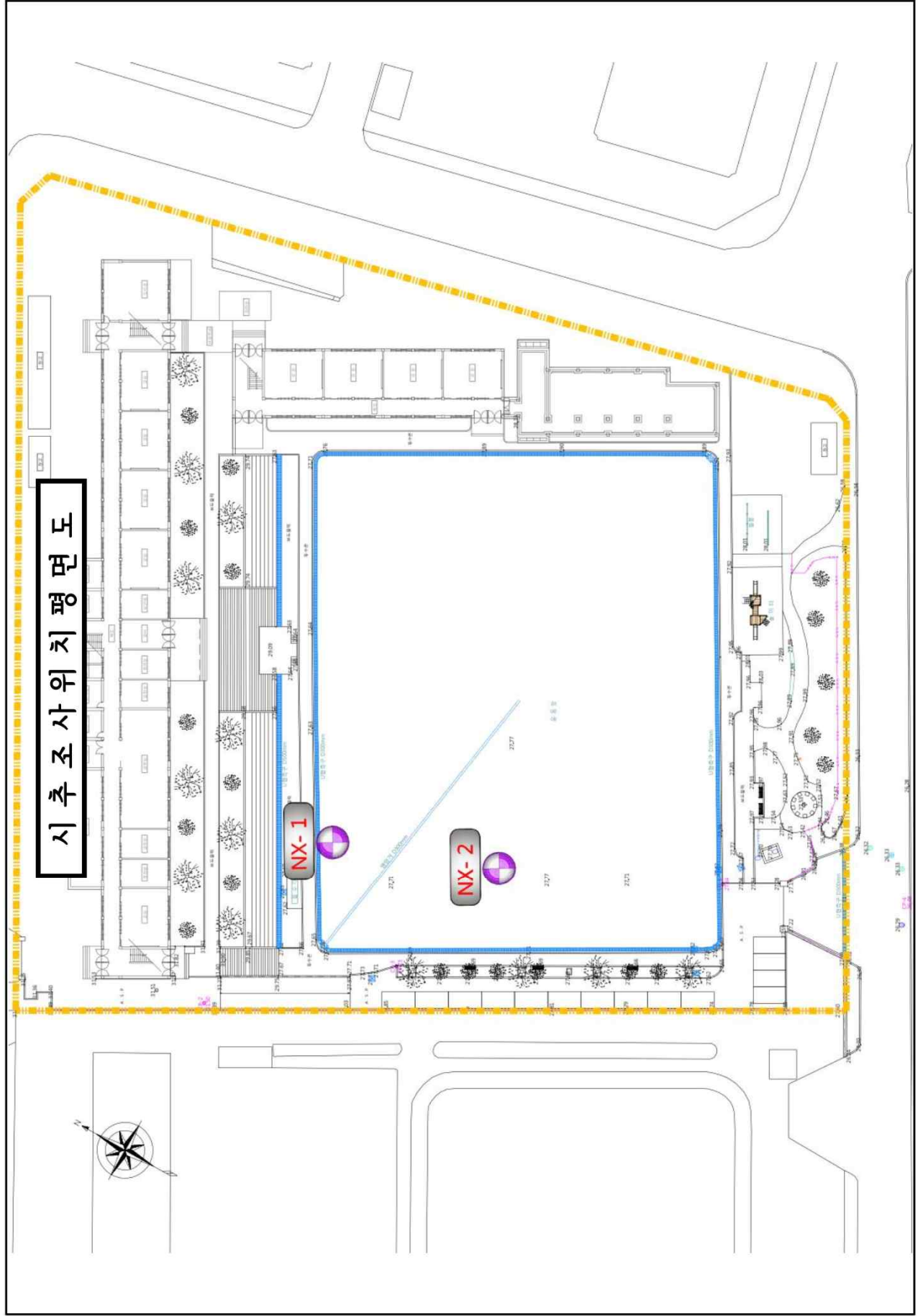
6.3 시 추 주 상 도

6.4 하향식 탄성파 탐사

6.5 시 추 조 사 사 진

## 6.1 시추조사위치 평면도

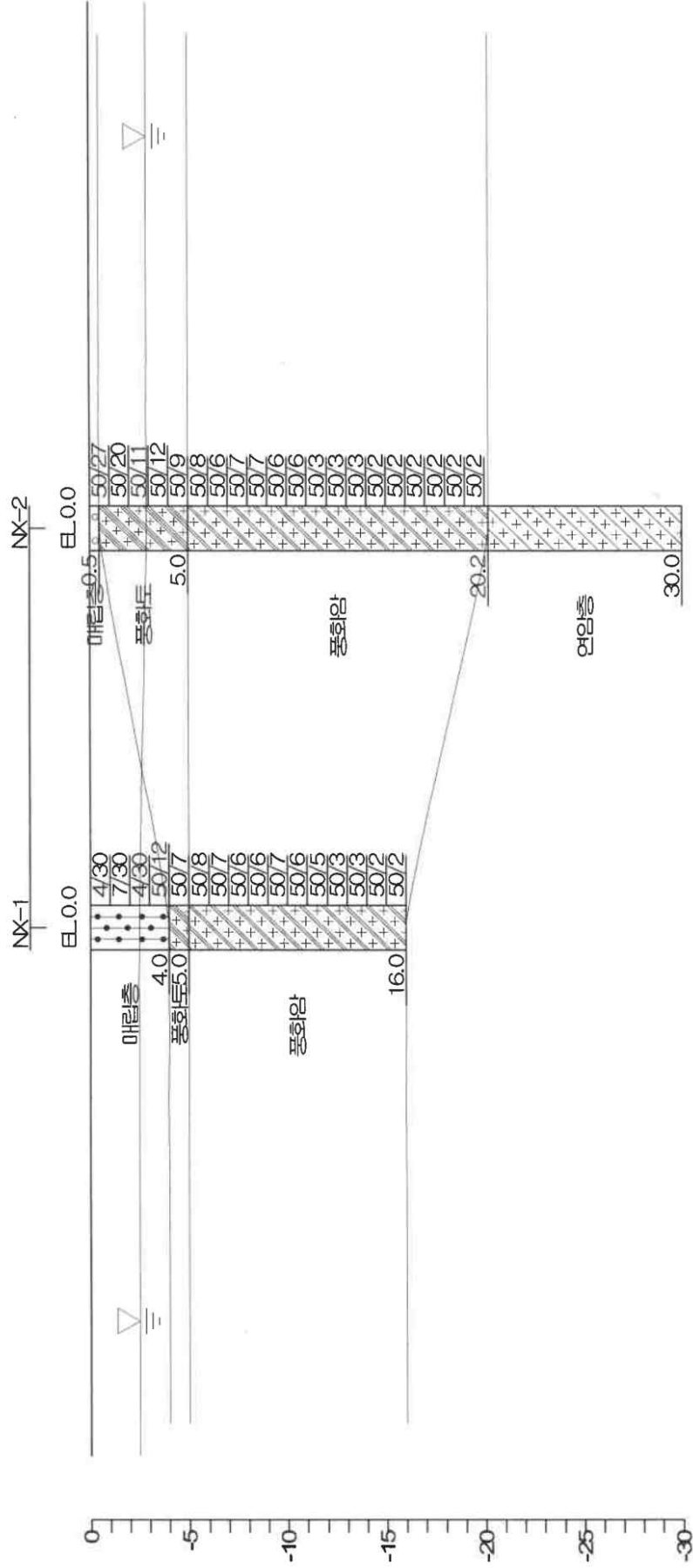
# 시추조사위치평면도



## 6.2 지 층 단 면 도

# 시추단면도(NX-1~NX-2)

FREE SCALE



법령	매립층	연암층	매립층	연암층	풍화암
	매립층	매립층	매립층	매립층	매립층

## 6.3 시 추 주 상 도

## DRILL LOG

공 사 명 PROJECT		태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사			공 번 HOLE No.		NX-1		(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS						
위 치 LOCATION		서울시 노원구 공릉동 250-5			지 반 표 고 ELEVATION		현지반고 m			자연시료 U.D. SAMPLE					
날 짜 DATE		2021년10월2일			지 하 수 위 GROUND WATER		(GL-) 2.5 m			표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE					
					감 독 자 INSPECTOR		김진영			코어시료 CORE SAMPLE					
										흔트러진 시료 DISTURBED SAMPLE					
표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층 후 Thick- ness m	주상도 Columnar Section	지 층 명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시 료 Sample			표 준 관 입 시험 Standard Penetration Test					
							시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50
-4.0		4.0	4.0	[매립층]	[매립층] 층후: 0.0~4.0m(4.0m) 구성: 세립질 모래 색조: 갈색	SM	S-1	○	1.0	4/30					
							S-2	○	2.0	7/30					
							S-3	○	3.0	4/30					
-5.0	5	5.0	1.0	[풍화토]	[풍화토] 층후: 4.0~5.0m(1.0m) 구성: 세립질 모래 매우조밀 색조: 갈색	SM	S-4	○	4.0	50/12					
							S-5	○	5.0	50/ 7					
							S-6	○	6.0	50/ 8					
					[풍화암]		S-7	○	7.0	50/ 7					
					[풍화암] 층후: 5.0~16.0m(11.0m) 구성: 세립질 모래 매우조밀 임편 협제 색조: 갈색		S-8	○	8.0	50/ 6					
							S-9	○	9.0	50/ 6					
							S-10	○	10.0	50/ 7					
							S-11	○	11.0	50/ 6					
							S-12	○	12.0	50/ 5					
							US		13.0	50/ 3					
							US		14.0	50/ 3					
							US		15.0	50/ 2					
-16.0		16.0	11.0		심도 16.0m에서 시추종료		US		16.0	50/ 2					

# 시 추 주 상 도

## DRILL LOG

공 사 명 PROJECT	태릉초등학교 다목적강당 경 채육관 증축 지반조사		공 번 HOLE No.	NX-2		(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS	
위 치 LOCATION	서울시 노원구 공릉동 250-5		지 반 표 고 ELEVATION	현지반고 m		○ 자연시료 U.D. SAMPLE	
날 짜 D A T E	2021년10월2일		지 하 수 위 GROUND WATER	(GL-) 2.9 m		○ 표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE	
			감 독 자 INSPECTOR	김진영		● 코어 시료 CORE SAMPLE	
						⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE	

표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층 후 Thick- ness m	주상도 Column- nar Section	지층명 Description	U S C S 분류	시료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test					
							시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow			
									10	20	30	40	50	
-0.5		0.5	0.5	○ ○	매립층 [매립층]	SM								
				++++	층후: 0.0~0.5m(0.5m) 구성: 세립질 모래 색조: 갈색		S-1	○	1.0	50/27				
				++++	풍화토 [풍화토]	SM	S-2	○	2.0	50/20				
				++++	층후: 0.5~5.0m(4.5m) 구성: 세립질 모래 매우조밀		S-3	○	3.0	50/11				
				++++	색조: 갈색		S-4	○	4.0	50/12				
-5.0	5	5.0	4.5	++++	[풍화암]		S-5	○	5.0	50/ 9				
				++++	층후: 5.0~20.2m(15.2m) 구성: 세립질 모래 매우조밀 암면 협제		S-6	○	6.0	50/ 8				
				++++	색조: 갈색		S-7	○	7.0	50/ 6				
				++++			S-8	○	8.0	50/ 7				
				++++			S-9	○	9.0	50/ 7				
				++++			S-10	○	10.0	50/ 6				
				++++			S-11	○	11.0	50/ 6				
				++++	풍화암	SM	US		12.0	50/ 3				
				++++			US		13.0	50/ 3				
				++++			US		14.0	50/ 3				
				++++			US		15.0	50/ 2				
				++++			US		16.0	50/ 2				
				++++			US		17.0	50/ 2				
				++++			US		18.0	50/ 2				
				++++			US		19.0	50/ 2				



## DRILL LOG

[illegible]

## 6.4 현 장 투 수 시 험



## FIELD PERMEABILITY TEST RESULT

PROJECT	태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사				
HOLE NO.	NX-2	DEPTH(m)	3.0 ~ 4.0m	G.W.L.	2.9m
DATE	2021.10.02	STRATUM	풍화토층	CASING D.	7.6cm
TESTED BY	Lee.D.W	SOIL TYPE	세립질 모래	HOLE D.	8.0cm
CHECKED BY	Park.M.S	N VALUE	50/11~50/12	REMARK	—

경과시간 (sec)	수위 (GL.-cm)	시간차 (sec)	수위차 (cm)	Q (cm3)	H (cm)	Tu (cm)	k (cm/sec)
0	0	0	0	0	290	-10	
30	12.0	30	12	544	278	-10	3.32E-04
60	25.0	30	13	590	265	-10	3.76E-04
120	48.0	60	23	1,043	242	-10	3.56E-04
180	68.0	60	20	907	222	-10	3.39E-04
240	87.0	60	19	862	203	-10	3.51E-04
360	122.0	120	35	1,588	168	-10	3.72E-04

k =	3.54E-04
-----	----------

적용 공식

CASE 4

적용 공식

CASE 4

[시험구간이 지하수위면 상부에 위치하는 경우]

■ CASE 1 :  $T_u \geq 3L$

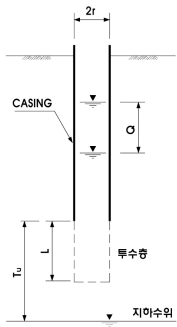
$$k(\text{cm/sec}) = \frac{Q}{2\pi L^2} \left[ 2.3 \log_{10} \left\{ \frac{L}{r} + \sqrt{1 + \left( \frac{L}{r} \right)^2} \right\} - 1 \right]$$

■ CASE 2 :  $T_u < L$ 
 ■ CASE 3 :  $L \leq T_u < 3L$

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{2.3Q \log_{10}(L/r)}{\pi T_u(2L - T_u)} \quad k(\text{cm/sec}) = \frac{6.9Q \log_{10}(L/r)}{\pi L(L + 2T_u)}$$

■ CASE 2 :  $T_u < L$ 
 ■ CASE 3 :  $L \leq T_u < 3L$

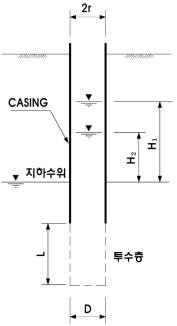
$$k(\text{cm/sec}) = \frac{2.3Q \log_{10}(L/r)}{\pi T_u(2L - T_u)} \quad k(\text{cm/sec}) = \frac{6.9Q \log_{10}(L/r)}{\pi L(L + 2T_u)}$$



**[시험구간이 지하수위면 하부에 위치하는 경우]**

■ CASE 4

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



**Tu** : 시험구간에서 지하수위까지 거리(cm)      **r** : CASING 반경(cm)

**Tu** : 시험구간에서 지하수위까지 거리(cm)      **r** : CASING 반경(cm)

**L** : 시험구간(cm)                      **Q** : 주입유량( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

**L** : 시험구간(cm)                      **Q** : 주입유량( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

$t_1, t_2$ : 경과시간(sec)	$H_1, H_2$ : 수두차(cm)
------------------------	----------------------

$t_1, t_2$ : 경과시간(sec)	$H_1, H_2$ : 수두차(cm)
------------------------	----------------------

## 6.5 하향식 탄성파 탐사

# DOWN HOLE TEST

PROJECT : 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사

Hole No. : NX-2 Depth : 30.0 m Sampling Interval : 62.5 us

Date : 2021-10-02 Ground Water : 2.9 m Record Length : 256 ms

Inspector : D.W, Lee S. offset : 1.0 m

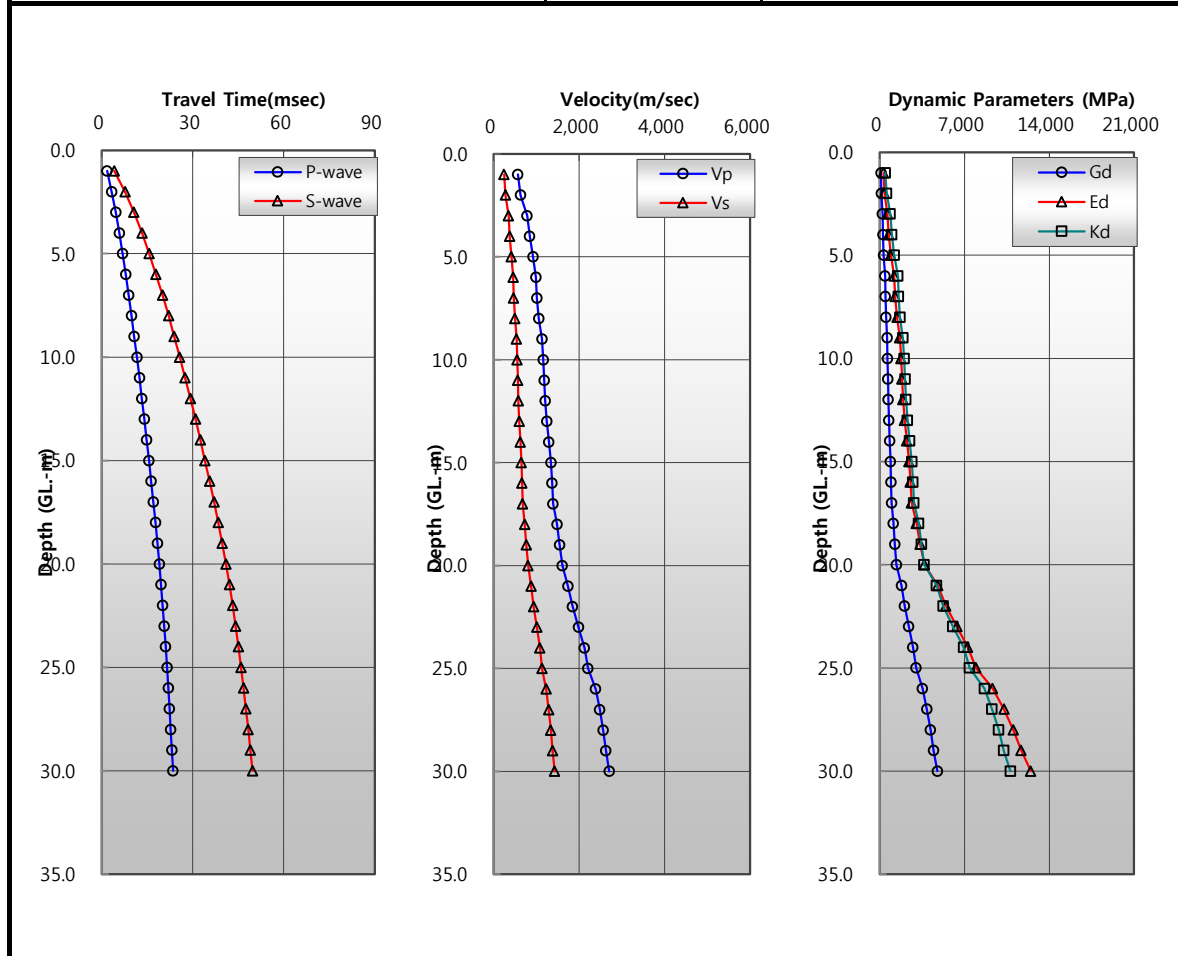
Depth GL.(-)m	Layer	Travel Time		Velocity		Dynamic Parameter			Poisson's Ratio	Density
		P wave	S wave	Vp	Vs	Gd	Ed	Kd	vd	γ
		msec	msec	m/sec	m/sec	MPa	MPa	MPa		
1.0	풍화토	1.8	4.1	563	243	#####	#####	#####	0.386	19.0
2.0		3.4	7.8	630	274	#####	#####	#####	0.383	19.0
3.0		4.6	10.6	782	347	#####	#####	#####	0.377	19.0
4.0		5.8	13.3	842	376	#####	#####	#####	0.375	19.0
5.0		6.9	15.7	923	416	#####	#####	#####	0.373	19.0
6.0	풍화암	7.9	17.9	987	454	#####	#####	#####	0.366	21.0
7.0		8.9	20.0	1,011	468	#####	#####	#####	0.364	21.0
8.0		9.9	22.1	1,056	498	#####	#####	#####	0.357	21.0
9.0		10.7	23.9	1,129	536	#####	#####	#####	0.355	21.0
10.0		11.6	25.7	1,162	551	#####	#####	#####	0.355	21.0
11.0		12.5	27.5	1,184	564	#####	#####	#####	0.353	21.0
12.0		13.3	29.2	1,207	577	#####	#####	#####	0.352	21.0
13.0		14.1	30.9	1,243	597	#####	#####	#####	0.350	21.0
14.0		14.9	32.5	1,293	624	#####	#####	#####	0.348	21.0
15.0		15.6	34.1	1,341	648	#####	#####	#####	0.348	21.0
16.0		16.3	35.6	1,366	663	#####	#####	#####	0.346	21.0
17.0		17.1	37.0	1,389	678	#####	#####	#####	0.344	21.0
18.0		17.7	38.4	1,485	726	#####	#####	#####	0.343	21.0
19.0		18.4	39.7	1,545	764	#####	#####	#####	0.338	21.0
20.0		19.0	41.0	1,606	804	#####	#####	#####	0.333	21.0
21.0	연 암	19.6	42.1	1,740	877	#####	#####	#####	0.330	23.0
22.0		20.1	43.2	1,846	938	#####	#####	#####	0.326	23.0
23.0		20.6	44.2	1,986	1,013	#####	#####	#####	0.324	23.0
24.0		21.1	45.1	2,124	1,081	#####	#####	#####	0.325	23.0
25.0		21.5	46.0	2,208	1,132	#####	#####	#####	0.322	23.0
26.0		22.0	46.8	2,386	1,227	#####	#####	#####	0.320	23.0
27.0		22.4	47.6	2,484	1,289	#####	#####	#####	0.316	23.0
28.0		22.8	48.3	2,564	1,338	#####	#####	#####	0.313	23.0
29.0		23.1	49.0	2,626	1,378	#####	#####	#####	0.310	23.0
30.0		23.5	49.7	2,704	1,426	#####	#####	#####	0.307	23.0

# DOWN HOLE TEST

PROJECT : 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사

Hole No. : NX-2


Depth	Layer	Velocity		Dynamic Parameter			Poisson's Ratio	Density	
		Vp	Vs	Gd	Ed	Kd	vd	γ	
		m/sec	m/sec	MPa	MPa	MPa		kN/m'	
GL.(-)m									
0.0 ~ 0.5	매립층	-	-	-	-	-	-	-	
0.5 ~ 5.0	풍화토	748	331	#####	#####	#####	0.378	19.0	
5.0 ~ 20.2	풍화암	1,267	610	#####	#####	#####	0.349	21.0	
20.2 ~ 30.0	연 암	2,267	1,170	#####	#####	#####	0.318	23.0	
기준면으로부터 보통암 (지층의 전단파 속도, Vs=760m/sec 이상) 까지의 지반에 대한 평균지반 특성 분류 적용				지반분류(등급)		지반호칭의 종류			
468.4				S2		알고 단단한 지반			



## 6.6 시추조사 사진



## 현 장 사 진

NH-1	시추전경(원경)	NH-1	시추전경(근경)
 <div data-bbox="242 734 446 804"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 굴진 전경</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="880 734 1085 804"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 굴진 전경</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NH-1	표준관입시험	NH-1	시료채취
 <div data-bbox="242 1218 446 1288"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 표준관입시험</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="880 1218 1085 1288"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 시료채취</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NH-1	시료박스		
			









## 현 장 사 진

NX-2	시추전경(원경)	NX-2	시추전경(근경)
 <div data-bbox="272 703 453 763"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 굴진 전경</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="911 703 1091 763"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 굴진 전경</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NX-2	표준관입시험	NX-2	시료채취
 <div data-bbox="272 1151 453 1211"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 표준관입시험</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="911 1151 1091 1211"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 시료채취</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NX-2	시료채취	NX-2	투수시험
 <div data-bbox="272 1599 453 1659"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 코어 채취</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="911 1599 1091 1659"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지일조사</p> <p>공 종 투수시험</p> <p>공번 NX-2</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NX-2	시료박스	NX-2	시료박스
			



## 폐 공 처 리

NX-1	폐공전	NX-2	폐공전
 <div data-bbox="209 786 438 869"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 폐공전</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="842 786 1189 869"> <p>건 명 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사</p> <p>공 번 BH-1</p> <p>공 종 폐공전</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NX-1	폐공중	NX-2	폐공중
 <div data-bbox="209 1330 438 1413"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 폐공중</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="842 1330 1189 1413"> <p>건 명 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사</p> <p>공 번 BH-1</p> <p>공 종 폐공중</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	
NX-1	폐공후	NX-2	폐공후
 <div data-bbox="209 1868 438 1951"> <p>공사명 태릉초등학교 체육관 증축 지질조사</p> <p>공 종 폐공후</p> <p>공번 NX-1</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>		 <div data-bbox="842 1868 1189 1951"> <p>건 명 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사</p> <p>공 번 BH-1</p> <p>공 종 폐공후</p> <p>일 자 2021.10</p> </div>	

## **첨 부**

### **1. 하향식탄성파탐사 보고서**

태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사  
**하향식 탄성파탐사 보고서**

**2021. 10**


# 제 출 문

(주)나은티에스아이 귀하

귀사에서 의뢰하신 『태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사』 하향식  
탄성파탐사에 대한 결과를 종합하여 보고서로 제출합니다.

이번 용역 수행 기간 동안 베풀어주신 관계자 여러분들의 협조에 감사를 드립니다.

2021년 10월

 주 식 회 사 대 룡 엔 지 니 어 링  
DaeRyong

경기도 안양시 동안구 관양동 949-12 2층

Tel.031-387-8326 Fax.031-387-8328

대 표 이 사 박 효 신



# 목 차

1. 시험 개요 .....	1
1.1 시험목적 .....	1
1.2 시험위치 .....	1
1.3 시험내용 .....	1
1.4 시험기간 .....	1
1.5 시험장비 .....	1
2. 시험 내용 .....	2
2.1 하향식탄성과 탐사 .....	2
2.2 전단파 속도에 의한 지반 분류 .....	3
2.3 동적물성치 산정 .....	5
3. 시험 결과 .....	7
3.1 하향식 탄성과탐사 결과 .....	7
3.2 전단파 속도에 따른 지반의 분류 .....	8
부록1. DHT 결과표	
부록2. 시험사진	

## 1. 시험 개요

### 1.1 시험목적

- 공내탄성파탐사(Downhole test)를 실시하여 지층의 진단과 속도 및 지반 동적물성치를 파악하고, 내진설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있음

### 1.2 시험위치

- 서울특별시 노원구 공릉동 250-5번지 일원

### 1.3 시험내용

공 번	시험방법	시험심도 (GL.(-) m)	측정 간격 (m)
NX-2	Downhole test	1.0~30.0	1.0

### 1.4 시험기간

구 분	시험기간	내 용
현장시험	2021. 10. 02	하향식탄성파탐사(DHT)
성과분석 및 보고서 작성	2021. 10. 05 ~ 2021. 10. 06	지층별 동적 물성치 산정

### 1.5 시험 장비

구 분	장비 제원	수 량
Seismograph	ABEM Terraloc MK6 V2	1
Geophone & Cable	New borehole pick 3040 18Hz 수신기 소자 (x, y, z) 방향고정	1
진원장치	Sludge hammer	1
기 타	Trigger cable, Steel plate 외 기타 부대장비	1

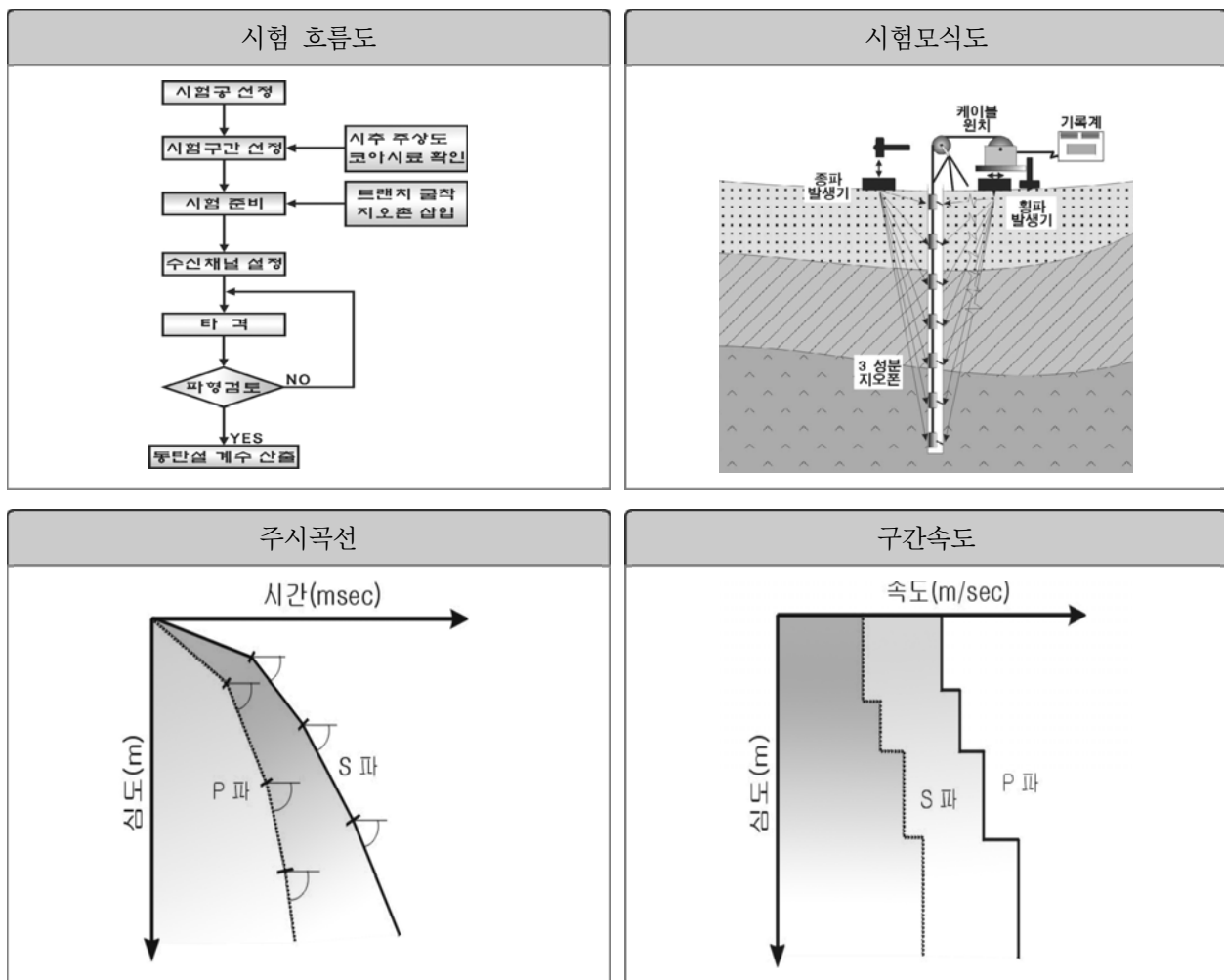


## 2. 시험 내용

### 2.1 하향식 탄성파탐사(Downhole test)

#### 2.1.1 시험방법

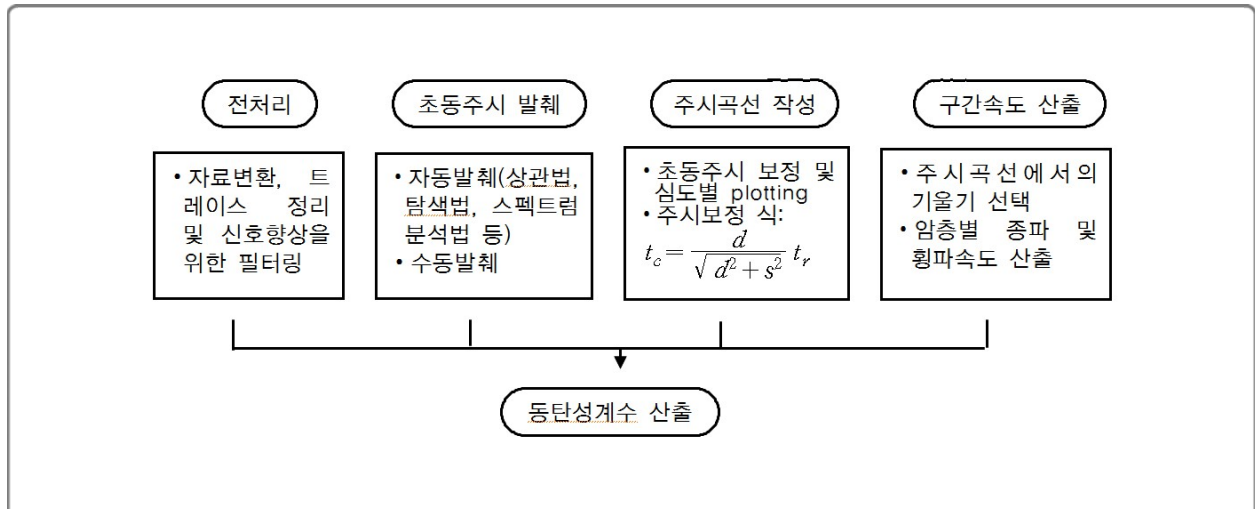
- 암반 내 각 층의 정확한 속도 측정을 위해서는 시추공 탐사법을 주로 이용하는데, 대표적인 시추공 탐사법으로는 지표면에 충격을 가하여 인공적인 파(wave)를 발생시키고, 이를 시추공에 삽입된 수신기를 통하여 측정하는 하향식 탄성파탐사법(downhole seismic survey)과 일정거리 만큼 떨어진 두 시추공에서 측정하는 시추공간 탄성파탐사법(crosshole seismic survey) 등이 있다. 하향식 탄성파탐사는 탄성파의 발생, 특히 횡파의 발생이 용이하고 비교적 측정이 간단하며 자료처리가 단순하여 지반의 탄성파 속도측정 및 이를 이용한 동탄성계수 산정에 많이 이용된다.
- 지표에서 탄성파를 발생시키고 시추공 내에 삽입된 수신기(3성분 지오폰)를 통하여 심도별로 탄성파 도달시간을 기록, 분석하여 원지반의 지층별 전단파 속도(종파 및 횡파)를 측정한다.  
탄성파의 발생: 해머를 이용하여 지표에 고정된 플레이트를 수직 혹은 수평 방향으로 가격한다. 수직 가격 시 입자의 운동이 파의 진행방향과 동일한 종파가 주로 발생하고, 수평 가격 시 입자의 운동이 파의 진행방향에 수직인 횡파가 주로 발생한다.
- 탄성파의 수신: 3성분(수직성분 1, 수평성분 2) clamping geophone을 이용하여 수신하며, 종파의 경우 주로 지오폰의 수직성분에 기록되고 횡파의 경우 수평성분에 주로 기록된다. 횡파는 가격방향에 따라 위상변화를 보이는데, 정확한 도달시간 기록을 위하여 좌우 두 방향으로 가격하여 180도의 위상차를 확인한다.



〈그림2.1〉 하향식 탄성파탐사 모식도 및 주시곡선

## 2.1.2 자료처리

- 하향식 탄성파탐사의 자료처리는 크게 자료변환 및 트레이스 정리, 주파수 분석 및 필터링, 초동발체, 구간속도 결정 및 탄성계수 산출 등으로 나눌 수 있으며 <그림 2.2>은 하향식 탄성파탐사의 자료처리 흐름도이다.



<그림 2.2> 하향식 탄성파탐사 자료처리 흐름도

## 2.2 전단파 속도에 의한 지반의 분류(건축물 내진설계기준, KDS 41 17 00 : 2019)

- 국지적인 토질조건, 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 다음 각 (1)에서부터 (3)까지를 따른다.
  - (1) 내진설계를 위한 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도( $V_{s, Soil}$ )에 근거한다.
  - (2) 지반은 표1과 같이 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>등 6종류로 분류한다.
  - (3) 토층의 평균 전단파속도( $V_{s, Soil}$ )는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.
- 기반암의 깊이가 3m 미만인 경우 S<sub>1</sub> 지반으로 볼 수 있다.
- 기반암은 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층이다. 지반의 자세한 분류 절차는 아래와 같다.

<표 2.1> 지반분류체계

지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암* 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s, Soil}$ (m/s)
S <sub>1</sub>	암반 지반	3 미만	-
S <sub>2</sub>	얕고 단단한 지반	3~20 이하	260 이상
S <sub>3</sub>	얕고 연약한 지반	3~20 이하	120 초과 260 미만
S <sub>4</sub>	깊고 단단한 지반	20 초과 50미만	180 이상
S <sub>5</sub>	깊고 연약한 지반	20 초과 50미만	120 초과 180 미만
	매우 연약한 지반	3 이상	120 이하
S <sub>6</sub>	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

\* 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S<sub>5</sub> 지반으로 분류

[붙임1] 지반분류( $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ )

□ 지반분류 절차

1. 범위

여기서는 <표2.1>에 따라서 지반을  $S_1$ 부터  $S_6$ 까지 6종으로 분류하는 절차를 기술한다.

2. 정의

지반의 종류는 다음과 같이 정의된다.

$S_1$  : 전단파속도가 760m/s이상인 기반암의 깊이(H)가 1m 미만인 지반

$S_2$  :  $H \leq 20\text{m}$ 이고,  $VS_{\text{Soil}} \geq 260\text{m/s}$ 인, 기반암 깊이가 얇고 단단한 지반

$S_3$  :  $H \leq 20\text{m}$ 이고,  $VS_{\text{Soil}} < 260\text{m/s}$ 인, 기반암 깊이가 얇고 연약한 지반

$S_4$  :  $H > 20\text{m}$ 이고,  $VS_{\text{Soil}} \geq 180\text{m/s}$ 인, 기반암 깊이가 깊고 단단한 지반

$S_5$  :  $H > 20\text{m}$ 이고,  $VS_{\text{Soil}} < 180\text{m/s}$ 인, 기반암 깊이가 깊고 연약한 지반

$S_6$  : 부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 다음 경우에 속하는 지반

- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께  $> 3\text{m}$ )
- ③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께  $> 7\text{m}$ 이고, 소성지수(PI; Plasticity Index)  $> 75$ )
- ④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께  $> 36\text{m}$ )
- ⑤ 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반

※ 예외:  $VS_{\text{Soil}}$ 이 120m/s 이하인 지반은 기반암 깊이에 관계없이  $S_5$  지반으로 분류한다.

부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반, 즉  $S_6$ 로 분류할 때는 상기  $S_6$ 에 대한 정의에서 제시한 기준이 고려되어야 한다. 만약 해당 부지가 이 기준과 일치하면 그 부지는 지반 종류  $S_6$ 으로 분류되어야 하며, 부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 이루어져야 한다.

2.1 기반암에 대한 정의

기반암은 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층이다.

2.2 토층 평균 전단파속도( $VS_{\text{Soil}}$ )

$VS_{\text{Soil}}$ 은 다음 공식에 따라 결정된다.

$$V_{S, \text{Soil}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

여기서,  $d_i$  = 기반암 깊이까지의  $i$ 번째 토층의 두께, m

$V_{si}$  = 기반암 깊이까지의  $i$ 번째 토층의 전단파속도, m/s

2.3 표준관입시험 관입저항치의 전단파속도로의 변환

표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun et al. 2013\*, 등)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 항타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이때 환산 N치의 최대값은 300이다.

\* Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281.

## 2.3 동적물성치 산정

•하향식 탄성파탐사를 통해 측정된 탄성과 속도( $V_p$ ,  $V_s$ ) 값을 이용하여 해당 지층에 대한 동포아송비( $\nu$ ), 동전단계수( $G_d$ ), 동탄성계수( $E_d$ ), 동체적계수( $K_d$ ) 등의 동적 물성치는 다음 식을 적용하여 산정할 수 있다.

•동포아송비 :  $\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$

•동전단계수 :  $G_d = \rho \cdot V_s^2$

•동탄성계수 :  $E_d = 2G_d \cdot (1 + \nu)$

•동체적계수 :  $K_d = E_d / 3(1 - 2\nu)$

여기서,  $\rho = \gamma/g$ ,  $\gamma$  = 단위중량,  $g = 9.81\text{m/sec}$

•상기 산정식을 적용하기 위해서는 탐사 지층에 대한 탄성과 속도( $V_p$ ,  $V_s$ )와 함께 기본 물성치로써 단위중량( $\gamma$ )이 필요하며, 이에 대해 일반적인 토질 및 조성 상태별 단위중량( $\gamma$ ), 포아송비( $\nu$ )의 범위를 정리하면 <표 2.2~2.3>과 같다.

<표 2.2> 토질 및 조성상태별 포아송비( $\nu$ ) 범위

Soil Type		Poisson's ratio( $\nu$ )	
		Range (1)	Range (2)
Soft clay		0.4 ~ 0.5	0.2 ~ 0.5
Medium clay			
Stiff clay			
Loose		0.1 ~ 0.3	-
Silt		0.3 ~ 0.35	-
Fine sand	Loose	-	-
	Medium dense	0.25	-
	Dense	-	-
Sand	Loose	0.2 ~ 0.35	0.2 ~ 0.4
	Medium dense	-	0.25 ~ 0.4
	Dense	0.3 ~ 0.4	0.3 ~ 0.45
Silty sand		-	0.2 ~ 0.4
Sand and gravel		-	0.15 ~ 0.35

- ※ (1) Roy E. Hunt, "Geotechnical Engineering Techniques and Practices", Mc graw Hill, P.134, 1986  
 (2) Braja M Das, "Principles of Foundation Engineering", Pws Pub. Co., 3rd Edition, P.179, 1995

〈표 2.3〉 토질 및 조성상태별 단위중량( $\gamma$ ) 범위

Cohesionless Soils		Cohesive and Organic Soils	
Soil	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Soil	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )
Loose gravel with low sand content	1.6 ~ 1.9	Soft plastic clay	1.6 ~ 1.9
Medium dense gravel with low sand content	1.8 ~ 2.0	Firm plastic clay	1.75 ~ 2.0
Dense to very dense gravel with low sand content	1.9 ~ 2.1	Stiff plastic clay	1.8 ~ 2.1
Loose well-graded sandy gravel	1.8 ~ 2.0	Soft Slightly plastic clay	1.7 ~ 2.0
Medium dense well-graded sandy gravel	1.9 ~ 2.1	Firm Slightly plastic clay	1.8 ~ 2.1
Dense well-graded sandy gravel	2.0 ~ 2.2	Stiff Slightly plastic clay	2.1 ~ 2.2
Loose clayey sandy gravel	1.8 ~ 2.0	Stiff to very stiff clay	2.0 ~ 2.3
Medium dense clayey sandy gravel	1.9 ~ 2.1	Organic clay	1.4 ~ 1.7
Dense to very dense clayey sand gravel	2.1 ~ 2.2	Peat	1.05 ~ 1.40
Loose coarse to fine sand	1.7 ~ 2.0		
Medium dense coarse to fine sand	2.0 ~ 2.1		
Dense to very dense coarse to fine sand	2.1 ~ 2.2		
Loose fine and silty sand	1.5 ~ 1.7		
Medium dense fine and silty sand	1.7 ~ 1.9		
Dense to very dense fine and silt sand	1.9 ~ 2.1		

※ M. J. Tomlison, "Pile design and construction practice", A View Point Pub., 3rd edition, p.402, 1994

### 3. 시험 결과

- 본 탐사는 시추조사 시험공에서 1.0m 간격으로 탐사시험을 실시하였으며, 탐사해석 결과와 시추주상도의 지층구분에 따라 심도별 탄성과 속도와 지층별 전단파 평균 속도를 산정하였다. 지반을 S<sub>1</sub>부터 S<sub>6</sub>까지 6종류로 분류하는 절차에 따라 분류하였음

#### 3.1 하향식 탄성파탐사 결과

##### 3.1.1 NX-2

공번	심도 (G.L., -m)	Soil/Rock Type	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Dynamic Parameter			$\nu$ d	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
					Gd (MPa)	Ed (MPa)	Kd (MPa)		
NX-2	1.0	풍화토	563	243	1.14E+02	3.17E+02	4.62E+02	0.386	19.0
	2.0		630	274	1.46E+02	4.03E+02	5.75E+02	0.383	19.0
	3.0		782	347	2.33E+02	6.43E+02	8.74E+02	0.377	19.0
	4.0		842	376	2.74E+02	7.54E+02	1.01E+03	0.375	19.0
	5.0		923	416	3.36E+02	9.21E+02	1.20E+03	0.373	19.0
	6.0	풍화암	987	454	4.42E+02	1.21E+03	1.50E+03	0.366	21.0
	7.0		1,011	468	4.69E+02	1.28E+03	1.56E+03	0.364	21.0
	8.0		1,056	498	5.31E+02	1.44E+03	1.68E+03	0.357	21.0
	9.0		1,129	536	6.16E+02	1.67E+03	1.91E+03	0.355	21.0
	10.0		1,162	551	6.51E+02	1.76E+03	2.03E+03	0.355	21.0
	11.0		1,184	564	6.82E+02	1.84E+03	2.10E+03	0.353	21.0
	12.0		1,207	577	7.13E+02	1.93E+03	2.17E+03	0.352	21.0
	13.0		1,243	597	7.63E+02	2.06E+03	2.29E+03	0.350	21.0
	14.0		1,293	624	8.34E+02	2.25E+03	2.47E+03	0.348	21.0
	15.0		1,341	648	9.00E+02	2.43E+03	2.65E+03	0.348	21.0
	16.0		1,366	663	9.42E+02	2.54E+03	2.74E+03	0.346	21.0
	17.0		1,389	678	9.85E+02	2.65E+03	2.82E+03	0.344	21.0
	18.0		1,485	726	1.13E+03	3.03E+03	3.22E+03	0.343	21.0
	19.0		1,545	764	1.25E+03	3.35E+03	3.45E+03	0.338	21.0
	20.0		1,606	804	1.39E+03	3.69E+03	3.68E+03	0.333	21.0
	21.0	연 암	1,740	877	1.81E+03	4.80E+03	4.70E+03	0.330	23.0
	22.0		1,846	938	2.06E+03	5.48E+03	5.24E+03	0.326	23.0
	23.0		1,986	1,013	2.41E+03	6.38E+03	6.05E+03	0.324	23.0
	24.0		2,124	1,081	2.74E+03	7.27E+03	6.93E+03	0.325	23.0
	25.0		2,208	1,132	3.01E+03	7.95E+03	7.43E+03	0.322	23.0
	26.0		2,386	1,227	3.53E+03	9.33E+03	8.65E+03	0.320	23.0
	27.0		2,484	1,289	3.90E+03	1.03E+04	9.28E+03	0.316	23.0
	28.0		2,564	1,338	4.20E+03	1.10E+04	9.83E+03	0.313	23.0
	29.0		2,626	1,378	4.46E+03	1.17E+04	1.02E+04	0.310	23.0
	30.0		2,704	1,426	4.77E+03	1.25E+04	1.08E+04	0.307	23.0

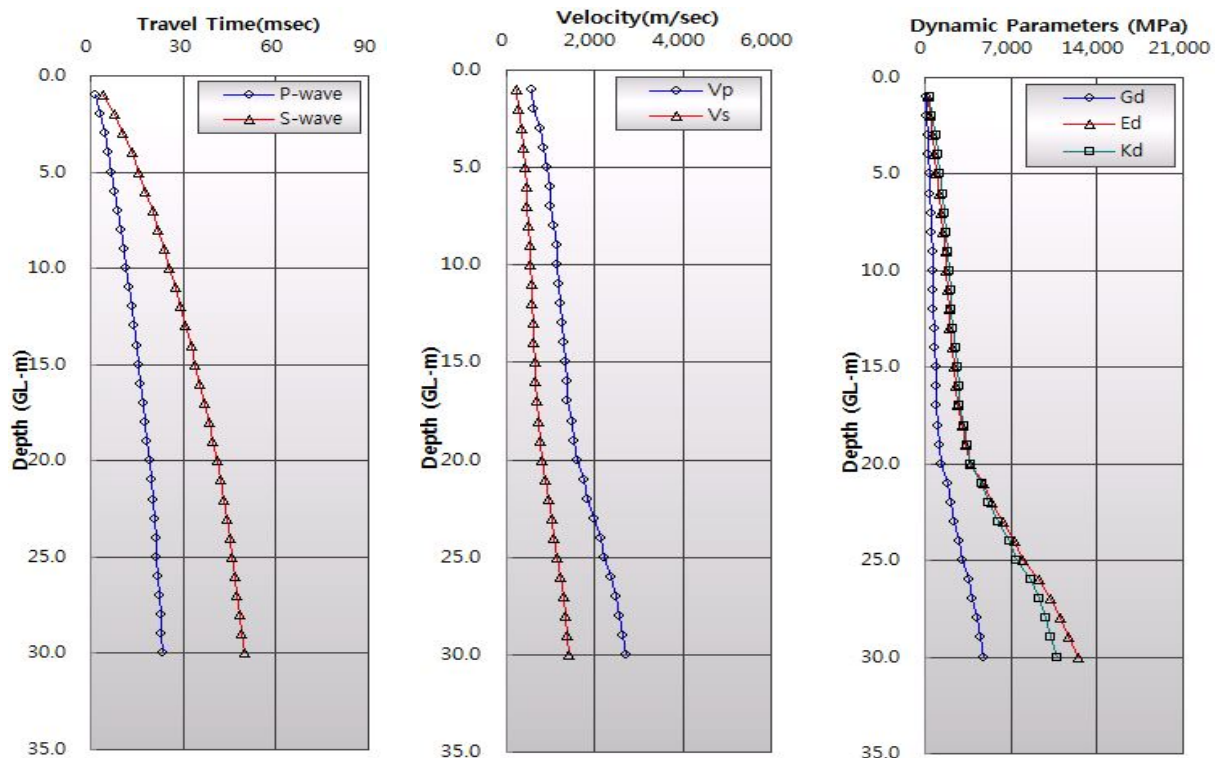
## 3.2 지층별 전단파 속도 및 지반의 분류

### 3.2.1 NX-2

심도 (G.L-m)	지층	전단파 속도(평균값)		동적물성치(평균값)			
		Vp (m/s)	Vs (m/s)	Gd (MPa)	Ed (MPa)	Kd (MPa)	$\nu_d$
0.0~0.5	매립층	-	-	-	-	-	-
0.5~5.0	풍화토	748	331	2.13E+02	5.86E+02	8.01E+02	0.378
5.0~20.2	풍화암	1,267	610	7.98E+02	2.15E+03	2.38E+03	0.349
20.2~30.0	연 암	2,267	1,170	3.21E+03	8.47E+03	7.78E+03	0.318
비 고	<ul style="list-style-type: none"> <li>•동적물성치 산정에 있어서 물리검층에 의한 정확한 밀도 값이 없는 관계로 문헌 및 지층의 일반적인 값을 사용하였음</li> <li>•연암층에서의 S파의 평균 속도는 1,170m/s의 분포를 보이며 평균 <math>\nu_d</math> 값은 0.318 의 분포를 보임</li> <li>•연암층에서의 동적물성치중 평균 Ed값은 8.47E+03 MPa, 평균 Gd값은 3.21E+03 MPa, 평균 Kd값은 7.78E+03 MPa의 분포를 보임</li> </ul>						

Downhole test 결과그래프

초 동	구간속도	동적물성치
-----	------	-------



공 번	기반암* 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도 $V_s$ (m/s)	지반종류	지반종류의 호칭
NX-2	18.0	468.4	$S_2$	얇고 단단한 지반

\* 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은  $S_5$  지반으로 분류

- 과업구간 내 NX-2번 시험공에서 Downhole test를 실시하여 전단탄성파속도( $V_s$ )를 산출하였음
- 각 층후별 전단파속도 결과와 산술적 평균은 심도별 탄성파탐사 결과에 나타내었고 지반등급의 산정은 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)에 의거하여 G.L(-)을 기준으로 심도 0.0~18.0m지점까지의 전단탄성파속도( $V_s$ ) 자료를 적용한 결과 시추공의 지반등급은 위 결과와 같이  $S_2$  (얇고 단단한 지반) 의 지반종류(등급)로 나타났음
- 상기에서 언급된 지반의 등급은 Downhole test에 의하여 산출된  $V_s$ 과 속도값을 이용하여 IBC에서 제시한 기준으로 시추종료구간까지의 자료를 토대로 지반을 분류한 것이므로 실제 설계적용 시 참고자료로서 활용하여야 할 것으로 사료됨



## 부록1. DHT 결과표

# DOWN HOLE TEST

PROJECT : 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사

Hole No. : NX-2 Depth : 30.0 m Sampling Interval : 62.5 us

Date : 2021-10-02 Ground Water : 2.9 m Record Length : 256 ms

Inspector : D.W,Lee S. offset : 1.0 m

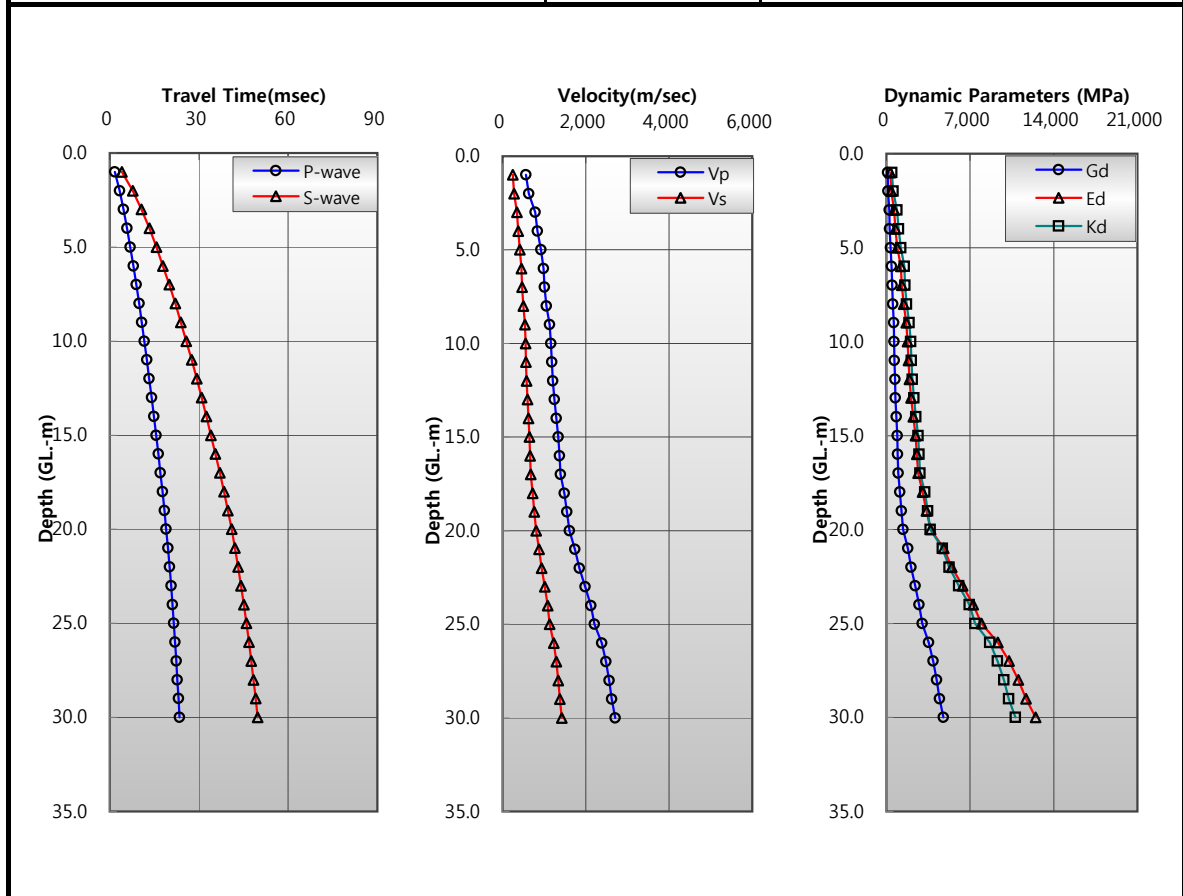
Depth GL.(-)m	Layer	Travel Time		Velocity		Dynamic Parameter			Poisson's Ratio	Density
		P wave	S wave	Vp	Vs	Gd	Ed	Kd	vd	γ
		msec	msec	m/sec	m/sec	MPa	MPa	MPa		kN/m³
1.0	풍화토	1.8	4.1	563	243	1.14E+02	3.17E+02	4.62E+02	0.386	19.0
2.0		3.4	7.8	630	274	1.46E+02	4.03E+02	5.75E+02	0.383	19.0
3.0		4.6	10.6	782	347	2.33E+02	6.43E+02	8.74E+02	0.377	19.0
4.0		5.8	13.3	842	376	2.74E+02	7.54E+02	1.01E+03	0.375	19.0
5.0		6.9	15.7	923	416	3.36E+02	9.21E+02	1.20E+03	0.373	19.0
6.0	풍화암	7.9	17.9	987	454	4.42E+02	1.21E+03	1.50E+03	0.366	21.0
7.0		8.9	20.0	1,011	468	4.69E+02	1.28E+03	1.56E+03	0.364	21.0
8.0		9.9	22.1	1,056	498	5.31E+02	1.44E+03	1.68E+03	0.357	21.0
9.0		10.7	23.9	1,129	536	6.16E+02	1.67E+03	1.91E+03	0.355	21.0
10.0		11.6	25.7	1,162	551	6.51E+02	1.76E+03	2.03E+03	0.355	21.0
11.0		12.5	27.5	1,184	564	6.82E+02	1.84E+03	2.10E+03	0.353	21.0
12.0		13.3	29.2	1,207	577	7.13E+02	1.93E+03	2.17E+03	0.352	21.0
13.0		14.1	30.9	1,243	597	7.63E+02	2.06E+03	2.29E+03	0.350	21.0
14.0		14.9	32.5	1,293	624	8.34E+02	2.25E+03	2.47E+03	0.348	21.0
15.0		15.6	34.1	1,341	648	9.00E+02	2.43E+03	2.65E+03	0.348	21.0
16.0		16.3	35.6	1,366	663	9.42E+02	2.54E+03	2.74E+03	0.346	21.0
17.0		17.1	37.0	1,389	678	9.85E+02	2.65E+03	2.82E+03	0.344	21.0
18.0		17.7	38.4	1,485	726	1.13E+03	3.03E+03	3.22E+03	0.343	21.0
19.0		18.4	39.7	1,545	764	1.25E+03	3.35E+03	3.45E+03	0.338	21.0
20.0		19.0	41.0	1,606	804	1.39E+03	3.69E+03	3.68E+03	0.333	21.0
21.0	연 암	19.6	42.1	1,740	877	1.81E+03	4.80E+03	4.70E+03	0.330	23.0
22.0		20.1	43.2	1,846	938	2.06E+03	5.48E+03	5.24E+03	0.326	23.0
23.0		20.6	44.2	1,986	1,013	2.41E+03	6.38E+03	6.05E+03	0.324	23.0
24.0		21.1	45.1	2,124	1,081	2.74E+03	7.27E+03	6.93E+03	0.325	23.0
25.0		21.5	46.0	2,208	1,132	3.01E+03	7.95E+03	7.43E+03	0.322	23.0
26.0		22.0	46.8	2,386	1,227	3.53E+03	9.33E+03	8.65E+03	0.320	23.0
27.0		22.4	47.6	2,484	1,289	3.90E+03	1.03E+04	9.28E+03	0.316	23.0
28.0		22.8	48.3	2,564	1,338	4.20E+03	1.10E+04	9.83E+03	0.313	23.0
29.0		23.1	49.0	2,626	1,378	4.46E+03	1.17E+04	1.02E+04	0.310	23.0
30.0		23.5	49.7	2,704	1,426	4.77E+03	1.25E+04	1.08E+04	0.307	23.0

# DOWN HOLE TEST

PROJECT : 태릉초등학교 다목적강당 겸 체육관 증축 지반조사

Hole No. : NX-2

Depth GL.(-)m	Layer	Velocity		Dynamic Parameter			Poisson's Ratio	Density
		Vp m/sec	Vs m/sec	Gd MPa	Ed MPa	Kd MPa	vd	γ kN/m³
0.0 ~ 0.5	매립층	-	-	-	-	-	-	-
0.5 ~ 5.0	풍화토	748	331	2.13E+02	5.86E+02	8.01E+02	0.378	19.0
5.0 ~ 20.2	풍화암	1,267	610	7.98E+02	2.15E+03	2.38E+03	0.349	21.0
20.2 ~ 30.0	연 암	2,267	1,170	3.21E+03	8.47E+03	7.78E+03	0.318	23.0
기준면으로부터 보통암 (지층의 전단파 속도, Vs=760m/sec 이상) 까지의 지반에 대한 평균지반특성 분류 적용		지반분류(등급)		지반호칭의 종류				
468.4		S2		얇고 단단한 지반				



## 부록2. 시험사진

☐ NX-2 하향식탄성파탐사



사진설명 : NX-2 하향식탄성파탐사



사진설명 : NX-2 하향식탄성파탐사



사진설명 : NX-2 하향식탄성파탐사