

대 동 세 무 고 등 학 교 내 진 성 능 평 가 서
지 반 조 사 보 고 서

2019. 12

(주)제일지오텍 엔지니어링

제 출 문

귀사에서 계약 체결하여 수행중인 “대동세무고등학교 내진성능평가” 지반조사 보고서를
과업지시에 의거하여 성실히 수행하고, 그 성과를 정리하여 제출합니다.

본 조사를 실시함에 있어 많은 협조를 하여 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

2019년 12월

경기도 고양시 덕양구 토당동 876-7
(주) 제 일 지 오 텍 엔 지 니 어 링

대 표 이 사 이 교

책 임 기 술 사 이 승
97152020026D
(토질 및 기초)



목 차

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적	4
1.2 조사위치	4
1.3 조사기간	5
1.4 조사항목	5
1.5 조사장비	5

제 2 장 조사내용

2.1 조사위치선정	7
2.2 시추조사	7
2.3 표준관입시험	8
2.4 지하수위측정	10
2.5 하향식탄성파탐사	10

제 3 장 토질 및 암반의 분류

3.1 흙의 분류	17
3.2 암반의 분류	19

제 4 장 조사결과

4.1 지반조사 위치	26
4.2 지반조사 성과	26
4.3 지하수위측정 결과	28
4.4 지반조사 결과	28
4.5 하향식탄성파탐사 결과	29

제 5 장 지반특성 분석

5.1 토질 특성	33
5.2 사질토의 강도정수	33

제 6 장 기초에 대한 검토

6.1 기초형식의 일반사항	39
----------------------	----

제 7 장 결 론

7. 결 론	53
--------------	----

[부 록]

1. 지반조사 위치도
2. 지층 단면도
3. 주상도
4. 하향식 탄성파 탐사
5. 사진첩

제 1 장 조 사 개 요

- 1.1 조사목적
- 1.2 조사위치
- 1.3 조사기간
- 1.4 조사항목
- 1.5 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

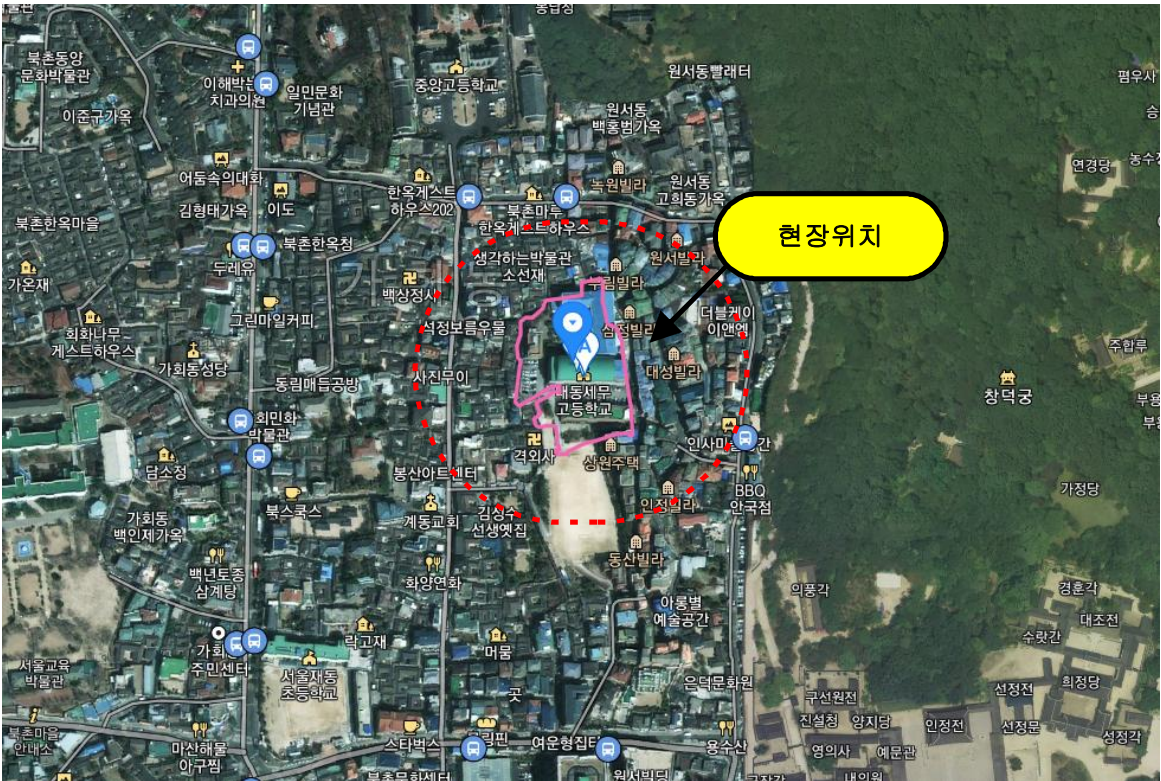
1.1 조사목적

본 조사의 목적은 “대동세무고등학교 내진성능평가” 지반조사 및 현장시험을 실시하여 지층의 분포상태 및 토성을 파악하고 설계 및 시공에 필요한 지반공학적 기초 자료를 수집, 분석하여 경제적이고 합리적인 설계가 될 수 있도록 지반공학적 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 다음 항목에 중점을 두었다.

- ☑ 기초지반의 성층상태 및 지반공학적 특성 파악
- ☑ 합리적이고 경제적인 시공을 위한 설계지반정수 선정 및 기초자료 제공
- ☑ 구조물 기초 설계에 필요한 제반 지반공학적 자료 제공

1.2 조사위치

- 서울특별시 종로구 계동 35번지 일원



1.3 조사기간

- ☑ 현장 조사 및 시험 : 2019. 11. 23. ~ 2019. 11. 29.
- ☑ 성과분석 및 보고서 작성 : 2019. 12. 2. ~ 2019. 12. 9.

1.4 조사항목

조사의 목적을 수행하기 위하여 다음과 같은 내용의 지반조사를 실시하였다.

구 분		대 상	수 량	비 고
현장 시험	지반조사	사업부지내 개소별	4 개소	NX 4공
	표준관입시험		55 회	S.P.T
	하향식 탄성파 탐사		4 회	D.H.T

1.5 조사장비

본 조사에 사용된 조사장비는 다음과 같다.

품 목	규 격	수 량	비 고
시 추 기	SUPER 4000MD	1대	
표준관입시험기	KSF 2307	1조	
엔진, 양수펌프	15HP	1조	
탄성파탐사기 McSEIS SX(0Y0)	MODEL-1125S	1식	
지하수위측정기	50m	1식	
기타부대장비	-	1식	

제2장 조사내용

- 2.1 조사위치선정
- 2.2 지반조사
- 2.3 표준관입시험
- 2.4 지하수위측정
- 2.5 하향식 탄성파 탐사

제 2 장 조 사 내 용

2.1 조사위치선정

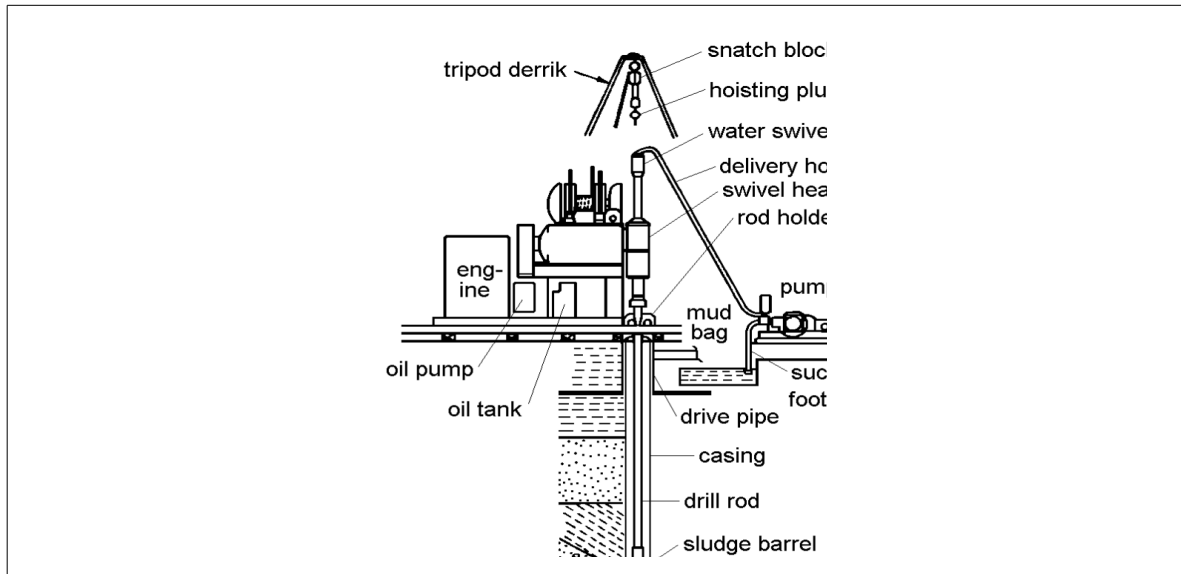
조사위치선정은 “대동세무고등학교 내진설계” 대상부지에 대하여 도상에서 구조물 및 토공계획을 고려하여 조사지점을 선정하고 현장답사 후 조사종류, 조사방법, 조사횟수 등을 합리적으로 계획하여 최종적인 조사위치 4개소(NX4공)를 선정하였다.

2.2 시추조사

본 조사는 지층의 구성상태 및 기반암의 암종, 암질변화 등을 파악하기 위하여 지반조사 위치 평면도에 표시된 4개소에 대하여 시추조사를 실시하였다. 시추조사는 회전수세식(Rotary Wash Type) SUPER 4000MD 시추기를 이용하여 표준관입시험과 병행하는 방법으로 실시하였으며, 시추 후 형성된 시추공은 각종 원위치 시험에 이용하였다. 굴진은 NX($\phi 76\text{mm}$)구경으로 실시하였으며 공벽 붕괴가 없는 견고한 지층까지 Casing을 삽입하는 Casing방식을 채택하였다.

상부구간에 대해서는 원위치에서의 흙의 경연 및 다짐 정도를 파악하는데 지표가 되는 N치를 구하기 위하여 표준관입시험을 시행하였으며 이와 병행하여 Split Spoon Sampler로 시료를 채취하였다. 본 조사에서는 채취된 시료에 대하여 흙의 상태 즉, 점성토의 경우 연경도(Consistency), 사질토의 경우 상대밀도(Relative Density)와 습윤도, 색, 토질 등을 육안 감별하여 기록하고 시료 병에 넣어 보관하였다.

기반암층 구간에서는 Core 회수시 회수율을 높이고 정확한 암질상태를 파악하기 위해 Double Core Barrel 및 Diamond Bit를 사용하여 굴진하였으며, 균열정도, 풍화정도, 강도 등을 조사하여 시추주상도에 기록한다.



< 시추조사 모식도 >

2.3 표준관입시험 (Standard Penetration Test,

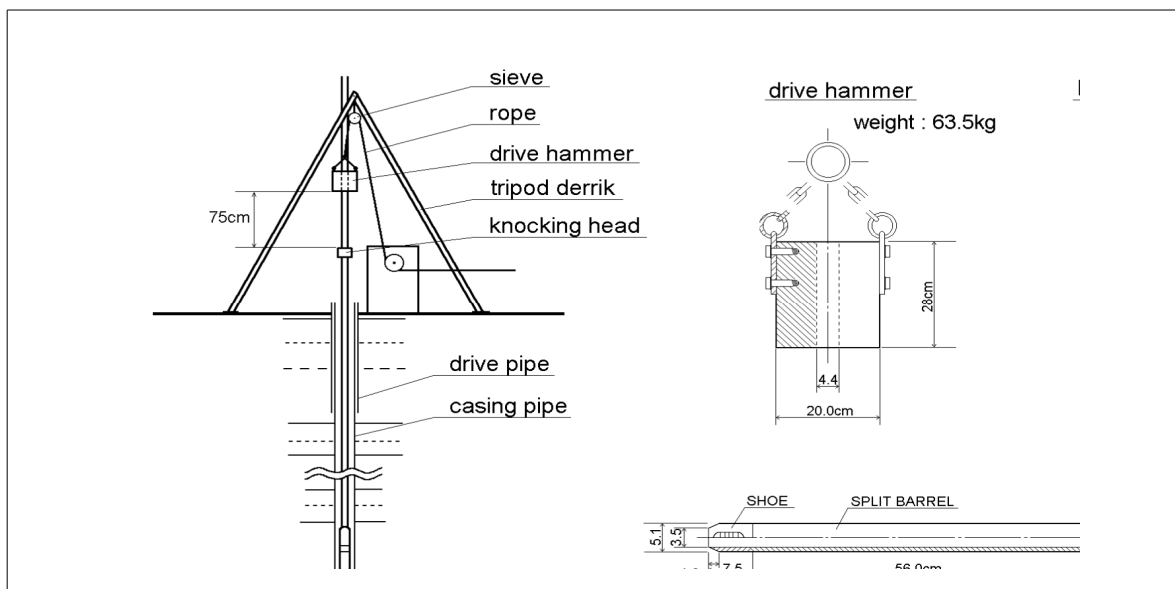
SPT) 시추조사와 병행하여 지층의 상대밀도(Relative Density), 연경도(Consistency Index)와 구성성분을 파악하기 위하여 지층이 변화하는 경우 또는 동일지층의 경우라도 1.0m 간격으로 표준관입시험(KS F 2307 기준)을 연속성 있게 실시하였으며, 이 때 구성성분을 파악하기 위해서 교란된 시료도 함께 채취하였다.

표준관입시험에 의한 N치는 중량 63.5kgf 함마를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 표준외경 50.8mm의 Split Spoon Sampler가 30cm 관입하는데 소요되는 타격횟수를 말하며 매 15cm씩, 총 45cm에 관입에 대한 관입저항치를 구하였으며, 그 중 2, 3번째 관입저항치를 합하여 기록하였다. 표준관입시험으로 확인할 수 있는 사항을 요약하면 다음 표와 같다.

< N치에 의한 판정 및 추정사항 >

구 분		판정 및 추정사항
조사결과로 파악할 수 있는 사항		·지반내 토층분포 및 토질의 종류 (풍화토 및 풍화암의 구분) ·지층 분포심도 ·연약층의 유무(압밀침하층의 두께)
N치로 추정할 수 있는 사항	사 질 토	·상대밀도(Dr), 내부마찰각(ϕ) ·기초지반의 탄성침하 ·기초지반의 허용지지력 ·액상화 가능성 파악
	점 성 토	·일축압축강도(q_u), 비배수점착력(C_u) ·기초지반의 허용지지력 ·연·경 정도

지층이 매우 조밀하여 타격을 50회 이상 타격을 가하여도 30cm 관입이 불가능한 지층에서는 50회 타격에 의한 관입량을 측정하여 주상도에 기록하였다. 표준관입시료는 Split Spoon Sampler로 채취하였으며, 함수비의 변화가 없도록 시료병에 넣어 필요한 사항(조사명, 조사일자, 공번, 시료채취심도, N치, 토질명 등)을 기재하여 시료표본 상자에 정리, 보관하였다.



< 표준관입시험 모식도 >

2.4 지하수위측정

지하수위 변화에 따른 수압 및 유효상재하중을 고려하기 위하여 각 시추공에서 지하수위를 측정, 기록하였다.

지하수위측정은 시추작업 완료 후 24, 48, 72시간 경과한 후에 측정을 실시하여 안정된 지하수위를 측정하였으나, 측정된 지하수는 계절 및 기상현상에 따라 다소 변동이 있을 것으로 추정된다.

2.5 하향식 탄성파 탐사

2.5.1. 탐 사 개 요

(1) 탐사 목적

본 시험은 과업 부지에서 기초지반의 동적하중에 대한 역학적 특성을 파악하기 위하여 시추공에 대한 탄성파(P, S파)속도의 수직적 분포의 분석을 통하여 대상지역의 역학적 특성 파악 및 적합한 지반정수를 제공함으로써 합리적인 설계 및 시공이 수행될 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

(2) 탐사 위치

본 시험은 조사 구간내 완료된 시추공 중 4개공에 대하여 다음표와 같이 측정을 실시하였다.

공 번	시추심도(m)	조사 구간(m)	비고
BH-1	30.0	0.0 ~ 30.0	
BH-2	30.0	0.0 ~ 30.0	
BH-3	30.0	0.0 ~ 30.0	
BH-4	30.0	0.0 ~ 30.0	

(3) 탐사 장비

〈하향식탄성파탐사 장비 및 제원〉

장비명	모델명/제원	장비사진
McSEIS SX(0Y0)	·MODEL-1125S(0Y0)	
Geophone	· 3-성분	
진원장치	· Sludge hammer	
기타	· Trigger cable, Steel plate 외 · 기타 부대장비	

2.5.2. 하향식탄성파탐사 원리

(1) 기초 이론

㉠ 정적 탄성상수

물체에 압축이나 인장 응력(σ)을 가하면 응력 방향으로의 변형률(ϵ_o)이 생기는데, 이 때의 비례상수를 영률(Young's modulus, E)이라 하며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_o}$$

여기서 변형률(ϵ_o)은 응력 방향으로의 길이 변화로 변형된 후의 길이 l_f 와 원래의 길이 l_o 의 차 (Δl)를 원래 길이로 나눈 것을 의미한다.

전단응력(τ)에 의하여 전단변형률(ϵ_τ)이 생기는데 이 두 값의 비를 전단계수(또는 강성을, Rigidity modulus, G)라고 한다. 이들의 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$G = \frac{\tau}{\epsilon_\tau}$$

어느 등방성 매질인 물체에 세 방향에서 압력을 가하면 체적의 변화가 나타나서 원래 체적 V_o 가 V_f 가 될 것이며, 이 때 체적의 변화율 ΔV 에 대한 압력의 변화(ΔP)를 체적탄성률

(Bulk modulus, K)이라 한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

후크의 법칙이 성립하는 물체에 단축 압축 응력을 가하면 응력을 가한 방향으로의 변형과 동시에 이에 수직한 방향으로도 변형이 일어나는데 이 두 방향의 변형을 비를 포와송비 (Poisson's ratio, ν)라고 하며 일반적으로 $\nu \leq 0.5$ 이다.

상기의 값들은 시추공에서 얻은 코아로부터 응력과 변형율의 관계에 의한 실내 시험을 통하여 구한 탄성상수들이고 원지반 상태가 아니므로 이를 정적 탄성상수라 한다.

㉠ 동적 탄성상수

반면에 원지반 상태에서 P파 및 S파의 속도 관계로부터 구한 여러 탄성상수를 동적 탄성상수라 한다. P파 및 S파의 속도를 동적 탄성상수들과의 관계로 나타내면 다음과 같다.

$$V_P = \sqrt{\frac{K_d + \frac{4}{3}G_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \frac{(1 - \nu_d)}{(1 - 2\nu_d)(1 + \nu_d)}},$$

$$V_S = \sqrt{\frac{G_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \frac{1}{2(1 + \nu_d)}}$$

동체적탄성률과 동전단계수는 항상 양의 값을 가지며, 포와송비는 0.5보다 작기 때문에 P파의 속도는 S파의 속도보다 빠르다는 것을 알 수 있다. 이 두 속도의 비를 계산하고 간단히 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{1 - \nu_d}{\frac{1}{2} - \nu_d}}, \quad \nu_d = \frac{1 - 0.5\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2}{1 - \left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2}$$

이들 동적 탄성상수 (G_d, E_d, K_d, ν_d)들은 상호 독립적이 아니며 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$G_d = \frac{E_d}{2(1 + \nu_d)}, \quad K_d = \frac{E_d}{3(1 - 2\nu_d)}$$

S-파 속도로부터 동전단계수(G_d), 동탄성계수(E_d) 및 동체적탄성률(K_d)은 각각

$$G_d = \rho V_s^2, \quad E_d = 2\rho V_s^2(1 + \nu_d), \quad K_d = \frac{2\rho V_s^2(1 + \nu_d)}{3(1 - 2\nu_d)}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, $\rho = \gamma/g$, γ =단위중량, $g = 9.8\text{m/sec}^2$ 이다.

(2) 하향식탄성파탐사 탐사 원리

P파는 파동의 진행방향에 대하여 입자가 평행하게 전후운동을 하는 것으로 종파(Longitudinal wave, Compression wave, Primary wave)라 한다. 반면 S파는 파의 진행방향에 대하여 입자의 운동이 수직이므로 횡파(Transverse wave, Cross wave, Shear wave, Secondary wave)라고 한다. P파는 Primary wave로서 속도가 가장 빠르기 때문에 탄성파 수신기에 가장 먼저 도달하며 입자운동에 의해 압축변형이 발생하고, S파는 P파 다음으로 도달하게 되므로 Secondary wave라하며 입자의 운동에 의해 전단변형을 일으킨다.

일반적으로 시험에 이용되는 장비는 크게 진동 발생장치, 수신기, 증폭 및 기록장치로 구성되어 있다. 진동 발생장치는 P파와 S파를 발생시킬 수 있어야 하며 해머와 탄성파 발생용 판(Plate), 파의 발생시점을 알려주는 Trigger로 구성된다. 수신기는 탄성파의 진행방향에 대하여 각기 다른 방향의 입자운동을 판별할 수 있어야 하며 이를 위하여 3성분 지오폰(3 components geophone)을 이용하여야 한다.

특히 S/N(신호/잡음)비를 높이기 위해서는 수평성분의 방향을 알 수 있는 방향계가 설치되어 있어야 한다. 증폭 및 기록기는 기본적으로 여러 채널의 측정이 가능하여야 하며 진원으로부터 수신기가 멀리 떨어질수록 약해지는 탄성파를 여러번 중첩시킬 수 있어야 하고 대상 지반의 잡음(Noise)을 걸러 낼 수 있어야 한다.

측정시 진원은 시추공에 근접하게 설치하여야 전파경로가 멀어짐에 따라 대상지반의 실제 탄성파 속도와의 차이 발생을 방지하여 S/N비를 높게 할 수 있다. 수신기는 대상 지반의 층 후 속도를 산출하기 위한 소정의 깊이에 설치하며 S/N비를 향상시키기 위하여 수평성분 중 1성분을 지표에 설치한 진원의 방향과 일치하게 한다. 증폭, 기록기는 측정심도 내에 수신기의 수신정도에 알맞게 Gain치를 설정하고 진원이 멀어져 파가 감쇄하여 수신신호가 미약할

경우 수회의 탄성파를 Stacking하여 S/N비를 높이며 수신된 탄성파의 해독이 쉽도록 측정시간의 Scale을 넓혀 시간의 진행에 따른 입자의 운동을 파악하기 쉽도록 한다. 필요시 각종 Filter를 사용하여 주변환경에 의한 Noise를 최소화한다. S파의 초동을 확인하기 위하여 시추공을 중심으로 서로 다른 방향에서 Plate를 타격하여 발생된 파형의 위상이 역전됨에 의해 S파의 도달을 확인한다.

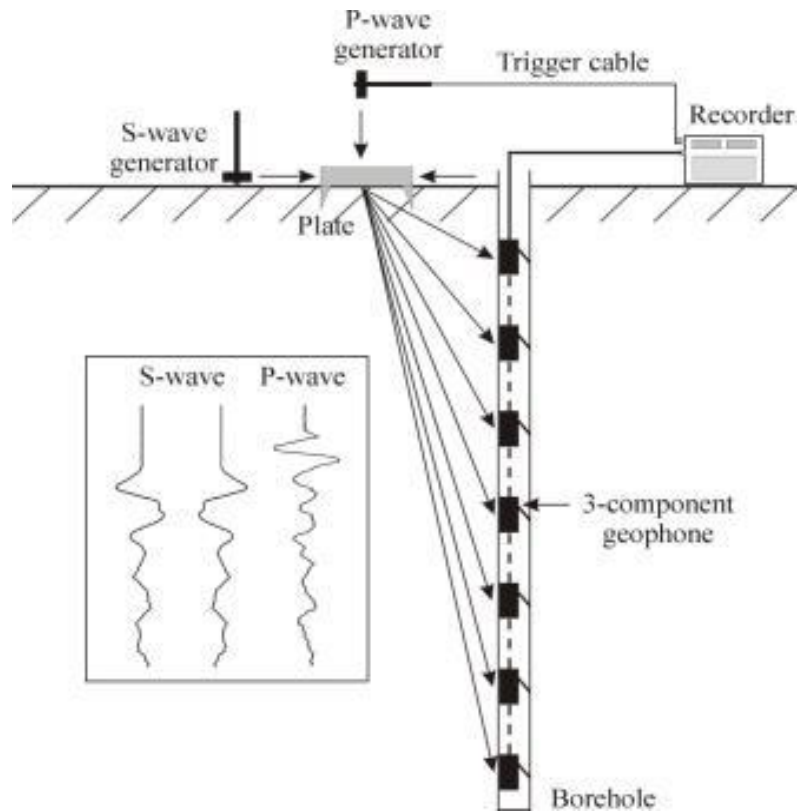
S파 관측시 진원에서 발생한 파 중 P파의 After phase에 의해 S파의 초동해석이 곤란한 경우가 생길 수 있으며 이로 인해 S/N비가 저하될 가능성이 있으므로 주의하여야 한다. P파와 S파의 파형에 대해 각 파의 초동을 분석하여 도달시간을 측정한 후 수신기의 위치와 측정하고자 하는 실제 대상구간을 이동한 시간을 산출하여 P파 속도(V_p)와 S파 속도(V_s)를 산출한다.

(3) 탐사 방법

하향식탄성파탐사의 가장 중요한 목적은 지반의 S파 속도를 정확하게 측정하는 것이다. 따라서 S파를 주로 발생시킬 수 있는 발생원이 탐사에 있어 매우 중요한 요소가 된다. S파 발생원은 보통 슬러지(Sludge)해머를 많이 이용하기 때문에 특별히 제작되어 판매되는 제품은 없으며 각종 현장실험 및 경험을 통해 탐사팀들이 자체적으로 제작한 Plate를 지표에 고정하고 해머를 사용하여 수평방향으로 타격하는 방법을 많이 사용한다.

<그림2.1>은 S파 측정을 위한 하향식 탄성파 탐사방법을 개략적으로 도시한 것으로서 S파 발생원을 지표에 위치시키고 시추공 내의 지오폰을 일정한 심도간격으로 이동시키면서 전파해 온 S파를 측정함으로써 각 심도에서의 탄성파 속도를 얻게 된다.

이때 S파 발생원에서 생성된 파는 탄성파 진행방향에 대하여 입자운동 방향이 수직인 수평 횡파(SH-wave)이기 때문에 Plate의 타격 방향을 반대로 하면 S파의 위상은 180° 의 차이를 나타내게 된다. 이와 같은 위상변화는 일반적으로 P파 다음에 뒤따라 나타나는 S파를 판독하는데 매우 중요한 정보로서 이와 같은 위상변화를 보장하기 위해서는 지오폰이 발생원의 타격방향과 평행하게 위치하는 것이 중요하다.



< 하향식탄성파탐사 모식도 >

이와 같은 이유로 공내 하향식 탄성파탐사에서는 파의 위상을 쉽게 구분할 수 있도록 반드시 3 성분 지오폰을 사용하여야만 한다. 또한 심도가 깊어질수록 지표에서 발생된 파의 감소가 심해지기 때문에 여러번 타격한 신호를 중첩하여 신호의 세기를 강화할 필요가 있다.

한편, S파 발생원은 P파도 발생시키게 되나 그 신호의 크기가 비교적 작고, 측정 심도가 깊어질수록 P파 판독이 어려워지기 때문에 정확한 P파 도달시간을 판독하기 위해서는 따로 P파 발생원을 이용한 측정이 필요하게 된다.

따라서 대부분 현장탐사에서는 슬리지해머를 수직 타격할 때 주로 발생하는 P파를 따로 기록하여 정확한 P파 속도를 측정하게 된다. 또한 현장에서 탄성파 기록의 획득은 각 탐사지역에서의 시험 측정을 통해 Gain, 샘플링 간격, 측정시간, 필터 설정 등의 여러 변수를 탐사 여건에 맞게 조절하여 수행되어야 한다.

제 3 장 토질 및 암반의 분류

3.1 흙의 분류

3.2 암반의 분류

제 3 장

토질 및 암반의 분류

3.1 흙의 분류

토질에 대한 분류기준은 통일분류법(U.S.C.S)에 따랐으며, 그 기술내용은 토질의 상태 즉, 점성 토일 경우 Consistency, 사질토의 경우 상대밀도(Relative Density)와 습윤도, 색, 토질명이다.

<표 3.1-1> 점성토의 Consistency

관입 저항치 (N치)	Consistency	점착력 C (kgf/cm ²)
2 이하	매우 연약함 (Very Soft)	0.25 이하
2 ~ 4	연 약 함 (Soft)	0.25 - 0.5
4 ~ 8	보 통 굳 음 (Medium Stiff)	0.5 - 1.0
8 ~ 5	굳 음 (Stiff)	1.0 - 2.0
15 ~ 30	매 우 굳 음 (Very Stiff)	2.0 - 4.0
30 이상	견 고 (Hard)	4.0 이상

<표 3.1-2> 사질토의 상대밀도

관입저항치 (N치)	상대밀도 (Relative Density)
4 이하	매 우 느 슨 (Very Loose)
4 ~ 10	느 슨 (Loose)
10 ~ 30	보 통 조 밀 (Medium Dense)
30 ~ 50	조 밀 (Dense)
30 이상	매 우 조 밀 (Very Dense)

<표 3.1-3> 함수상태

함 수 비 (%)	상 태
0 ~ 10	건 조 상 태
10 ~ 30	습 윤 상 태
30 ~ 70	젖 음 상 태
70 이상	포 화 상 태

습윤도는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet), 포화(Sat) 등으로 분류하였고 색은 흑색, 회색, 갈색, 황색, 적색등 기본색에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 접두어로 사용하였다.

<표 3.1-4> 흙의 통일 분류법

주요 구분		문자	대표적인 흙	분류 기준
조립토 : # 200번체에 (0.074 mm) 50 %이상 남음	자갈(Gravel) # 4 번체에 (4.76mm) 50%이상 남음	세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈	GW 입도 분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토 세립분이 약간 또는 없음	세립분의 함유율에 의한 분류 $Cu > 4 \quad Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $1 < Cc < 3 \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ GW의 조건이 만족되지 않을때 # 200 번체 통과율이 5 % 이하인 경우 GW, GP, SW, SP
		GP 입도 분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토 세립분이 약간 또는 없음	GM 실트질의 자갈 또는 자갈, 모래, 점토의 혼합토	
		GC 점토질의 자갈 또는 자갈·모래·점토의 혼합토		
	모래(Sand) # 4 번체에 (4.76mm) 50%이상 통과	세립분이 약간 또는 거의 없는 모래	SW 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래 세립분은 약간 또는 없음	# 200 번체 통과율이 12% 이상인 경우 GM, GC, SM, SC #200 번체 통과율이 5-12 % 인 경우 2 중 문자로 표시
		SP 입도분포가 나쁜 모래 또는 자갈질의 모래 세립분은 약간 또는 없음	SM 실트질의 모래 모래·점토의 혼합토	
		SC 점토질의 모래 모래·점토의 혼합토	SC 점토질의 모래 모래·점토의 혼합토	
세립토 : # 200번체에(0.074 mm) 50 %이상 통과	액성한계 50% 이하인 실트나 점토	ML 무기질의 실트 매우가는 모래, 양분, 소성 이 작은 실트질의 세사나 점토질의세사	소성도(Plasticity Chart)는 조립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용된다. 소성도의 빗금친 곳은 2 중 표기해야 하는 부분 이다.	
		CL 소성이 중간치 이하인 무기질점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토, 소성이 작은 점토		
		OL 소성이 작은 실트 및 실트질 점토		
	액성한계 50% 이상인 실트나 점토	MH 무기질의 실트, 운모질 또는 규소의 세사 및 실트질 흙, 소성이 큰 실트		
		CH 소성이 큰 무기질의 점토, 소성이 큰 점토		
		OH 소성이 중간치 이상인 유기질 점토		
고 유기성 흙	Pt 이탄 및 그밖의 유기질을 많이 함유한 흙			

* 참고문헌 : ASTM D-2487(Unified Soil Classification System)

3.2 암반의 분류

암석코아에 대한 기술내용은 색, 균열(Discontinuity)의 간격, 풍화상태, 강도, 암석명 등이다. 암석의 풍화상태, 균열의 간격(절리나 파쇄면의 간격), 강도 및 암질표시는 아래 기준에 따라 기재하였다.

3.2.1 색(Color)에 의한 분류

암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 사용하였다.

3.2.2 풍화의 정도에 의한 분류

<표 3.2-1> 풍화도에 의한 암반분류

분류기호	용 어	서 술
D - 1	Fresh (신선한 암반)	풍화된 흔적이 없으며 지질조사용 해머로 타격시 금속음을 내며 울린다.
D - 2	Slightly Weathered (약간 풍화)	갈라진 틈의 내부에 다소 풍화변색된 상태를 제외하곤 신선(F)과 비슷하다.
D - 3	Moderately Weathered (보통 풍화)	전체적으로 풍화변색되고 장석과 같이 풍화에 약한 광물은 풍화되어 있다. 신선한 암보다 약하지만 손으로 부러뜨리거나 칼로 긁을 수 없다. 암조직은 남아있다.
D - 4	Highly Weathered (많이 풍화)	대부분 광물이 풍화되어 있으며 암시료는 손으로 힘들여 부암반에 핵석(core stone)이 있을수 있다. 조직은 뚜렷치 않지만 구조는 남아 있다.
D - 5	Completely Weathered (완전 풍화)	광물은 풍화되어 흙으로 변했지만 암의 조직과 구조는 남아있다. 시료는 쉽게 부서지거나 관입된다.

3.2.3 암반의 파쇄정도(Fracturing)에 의한 분류

<표 3.2-2> 암반의 파쇄 정도에 의한 분류

분류 기 호	용 어	Joint 간격	Joint 상태
F-1	과 상 (Solid)	100 cm 이상	Very Wide
F-2	약간 균열 (Slightly Fractured)	20 ~ 100cm	Wide
F-3	보통 균열 (Moderately Fractured)	10 ~ 20cm	Moderately Close
F-4	심한 균열 (Fractured)	5 ~ 10cm	Close
F-5	매우 심한 균열 (Highly Fractured)	5 cm 이 하	Very Close

3.2.4 강도에 의한 분류

<표 3.2-3> 강도에 의한 분류

분류기호	용 어	암 반 상 태	일축압축강도 (kg/cm ²)
S-1	매우강함 Very Strong (Very Hard)	Hammer로 여러번 타격하여 부서지고 모서리가 매우 날카로우며, 조감지 모양으로 깨어져 나감	1,000~2,500
S-2	강 함 Strong (Hard)	Hammer로 한두번 정도 강하게 타격할 때 부서지며, 모서리가 날카로움.	500~1,000
S-3	보통강함 Moderately Strong (Moderately Hard)	Hammer로 한번 타격하여 쉽게 모서리가 부서짐.	250~500
S-4	연함 Weak (Soft)	Hammer로 눌러서 부서짐.	50~250
S-5	매우 약함 Very Weak (Very Soft)	손가락으로 눌러 부서짐.	10~50

3.2.5 암반(암석)의 분류

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

<표 3.2-4> 암반분류기준

구분	분류 방법	개요
지질학적 분류	·성인에 따른 분류	·암석의 생성조건에 따라 분류
품셈에 의한 분류	·지반조사에 의한 분류 ·탄성파 속도에 따른 분류 ·일축압축강도에 의한 분류 ·토공 작업성에 의한 분류	·지반조사시 암반분류기준에 의거 ·해머타격 및 탄성파 속도에 의한 분류 ·암석의 강도특성에 따른 분류 ·R.Q.D, T.C.R 및 탄성파 속도에 따른 분류
공학적 분류	·R.Q.D를 이용한 분류 ·RMR을 이용한 분류 ·Q-System에 의한 분류	·시추조사시 회수된 Core를 이용 ·암반상태를 등급화 하여 분류 ·터널공사에 영향을 미치는 특성을 등급화

(1) 지질학적 분류

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



(2) 품셈에 의한 분류

㉠ 지반조사시 암반분류

조사지역에 분포하는 기반암을 지반조사시 암반분류기준에 의거하여 연암, 보통암, 경암 등 3등급으로 분류한다.

<표 3.2-5> 국토교통부 표준품셈 - 도로설계실무편람(토공 및 배수공)

구 분	지질조사에 의한 분류기준	지 질 특 성
연 암	·TCR : 20~40% RQD : <25% ·Js : 6cm~20cm ·일축압축강도(건조상태) : 700~1,000kgf/cm ²	·암의 내부를 제외하고 균열을 따라 다소 풍화가 진척되어 있으며, 장식 및 유색광물이 변색됨(심한풍화~보통풍화) ·행머로 1~2회치면 둔탁음을 내고 부서지거나 갈라짐
보통암	·TCR : 40~70% RQD : 25~50% ·Js : 15cm~30cm ·일축압축강도(건조상태) : 1,000~1,300kgf/cm ²	·절리면을 따라 다소 풍화 진행, 석영을 제외한 장식 및 유색광물 일부 변색됨(보통풍화~약간풍화) ·행머 타격시 탁음을 내고 2~3회에서 갈라지며 갈라진 면이 날카로움
경 암	·TCR : >70% RQD : >50% ·Js : 20cm~50cm ·일축압축강도(건조상태) : 1,300~1,600kgf/cm ²	·대체로 신선, 절리면을 따라 약간풍화, 암내부는 대체로 신선(약간풍화~신선) ·행머 타격시 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임

㉡ 탄성파속도에 의한 암석의 분류

<표 3.2-6-1> 국토교통부 표준품셈(암석그룹의 분류)

구 분	A 그룹	B 그룹
대표적인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 성록암, 감람암, 사문암, 유문암, 세일, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 세일이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	사질분, 석영분을 다량 함유, 암질이 단단, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 암석 천매상의 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 비산되지 않는 암석

<표 3.2-6-2> 국토교통부 표준품셈(암석그룹의 분류)

구 분		자연상태의 탄성파속도 V(km/sec)	암편의 탄성파속도 Vc(km/sec)	암편내압강도 (kgf/cm ²)	비 고
풍화암	A	0.7~1.2	20.~2.7	300~700	내압강도 시 편 : 5cm입방체 노 건 조 : 24시간 수중침윤 : 2일 내압시험 시험방향(가압방향) : z축(결면에 수직, 탄성파속도가 느린방향) 암편 탄성파 속도 1. 시편 : 두께 15~20cm 상하면이 평행선 2. 측정방향 : x축(탄성파속도가 가장 빠른 방향), (결면에 평행)
	B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200	
연 암	A	1.2~1.9	2.7~3.9	700~1,000	
	B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500	
보통암	A	1.9~2.9	3.7~4.7	1,000~1,300	
	B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800	
경 암	A	2.9~4.2	4.7~5.8	1,300~1,600	
	B	4.1 이상	5.7 이상	800 이상	
극경암	A	4.2 이상	5.8 이상	1,600 이상	
	B				

㉔ 토공작업성에 의한 분류기준

<표 3.2-7> 토공작업성에 의한 암반분류

구 분		토공작업 리퍼빌리티		
		토 사	리핑암	발파암
표준관입시험 (N치)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면 발달빈도	BX 크기	-	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=5~10%이상이고 RQD=0~5% 이상
	NX 크기	-	TCR=25% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=25%이상이고 RQD=0~10% 이상
탄성파 속 도	A 그룹	700m/sec 미만	700~1,200m/sec 미만	1,200m/sec 이상
	B 그룹	1,000m/sec 미만	1,000~1,800m/sec 미만	1,800m/sec 이상

㉔ 암석의 일축압축강도에 따른 분류기준

<표 3.2-8> 한국기술용역협회 지질조사표준품셈

구 분	풍화암	연암	보통암	경암	극경암
제3기 퇴적암 화성암	각 암석의 풍화암	세일, 응회암사 암, 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, 정판암, 천매암, 사문암	슬레이트, 백운암, 흑운모편암, 흑연편암, 녹리석편암, 건운모편암	사암, 역암, 규질세일, 규질석회암, 성록암, 섬장암, 반려암, 석영반암 화강반암, 페그마타이트반 암, 화강편마암, 운모편마암, 각섬편마암, 호상편마암, 석영편암, 각섬편암, 운모편암	경사암, 규암, 석영맥
일축압축강도 (kgf/cm ²)	125 이하	125~400	400~800	800~1,200	1,200이상 경우에는 1,800
적 용	상기한 암석의 일축압축강도는 암반분류의 한 요인으로서 암반을 종합판정할 경우에는 풍화정도, 균열상태, 코아형성 등의 제 성질을 참작하여 실시, Foliation 및 잠재균열이 발달한 일축압축강도는 저하함				

제4장 조사 결과

- 4.1 지반조사 위치
- 4.2 지반조사 성과
- 4.3 지하수위측정 결과
- 4.4 시추조사 결과
- 4.5 하향식 탄성파 탐사 결과

제 4 장 조 사 결 과

4.1 시추조사 위치

본 조사지역은 “서울특별시 종로구 계동 35번지 일원” 에 위치하고 있다.

4.2 시추조사 성과

본 조사부지에서 실시한 4개소의 시추조사 결과를 정리하면 다음과 같다.

공 번	지 층	심 도 (m)	층 후 (m)	구성상태	N 치	비 고
BH-1	매 립 층	0.0 ~ 2.0	2.0	실트섞인 모래 자갈 함유	7/30 ~ 13/30	
	풍 화 토	2.0 ~ 3.4	1.4	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	3.4 ~ 4.2	0.8	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/5	
	연 암 층	4.2 ~ 30.0	25.8	기반암의 연암층	-	
BH-2	매 립 층	0.0 ~ 5.0	5.0	실트섞인 모래 자갈 함유	6/30 ~ 19/30	
	풍 화 토	5.0 ~ 6.8	1.8	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	6.8 ~ 11.4	4.6	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/6 ~ 50/2	
	연 암 층	11.4 ~ 30.0	18.6	기반암의 연암층	-	
BH-3	매 립 층	0.0 ~ 1.0	1.0	실트섞인 모래 자갈 함유	18/30	
	풍 화 토	1.0 ~ 2.6	1.6	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	2.6 ~ 14.8	12.2	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/4 ~ 50/2	
	연 암 층	14.8 ~ 30.0	15.2	기반암의 연암층	-	

공 번	지 층	심 도 (m)	층 후 (m)	구성상태	N 치	비 고
BH-4	매 립 층	0.0 ~ 1.4	1.4	실트섞인 모래 자갈 함유	11/30	
	풍 화 토	1.4 ~ 2.5	1.1	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	2.5 ~ 27.0	24.5	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/8 ~ 50/1	
	연 암 층	27.0 ~ 30.0	3.0	기반암의 연암층	-	

4.2.1. 지층개요

(1) 매 립 층

본 층은 최상부에 위치한 지층으로 1.0m ~ 5.0m 의 층후로 분포하고 있다. 전반적으로 실트섞인 모래로 구성되어 있고, 자갈이 함유 되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 6회/30cm ~ 19회/30cm 으로 느슨(Loose) ~ 조밀(Dense) 상대밀도를 나타내며, 함수상태는 습윤 상태로 황갈색의 색조를 보인다.

(2) 풍 화 토

본 층은 매립층 하부에 위치한 지층으로 1.1m ~ 1.8m의 층후로 분포하고 있다. 전반적으로 실트섞인 모래로 구성되어 있으며, 표준관입시험 결과 N치는 38회/30cm 으로 조밀(Dense) 상대밀도를 나타낸다. 함수상태는 습윤 상태로 황갈색의 색조를 보인다.

(3) 풍 화 암

본 층은 풍화토 하부에 위치한 지층으로 0.8m ~ 24.5m의 층후로 분포하고 있으며, 굴진시 세편상 암편으로 분해되어 채취되었다. 표준관입시험 결과 N치는 50회/8cm ~ 50회/1cm으로 매우 조밀(Very Dense) 상대밀도를 나타내고 있다. 함수상태는 습윤 상태로 황갈색의 색조를 보인다.

(4) 연 암 층

본 층은 풍화암 하부에 위치한 기반암의 연암층으로 3.0m ~ 25.8m의 층후로 분포하고 있다. 전반적으로 파쇄 및 절리발달 되어 있으며, 기반암으로 형성되어 있다. 색상은 회갈색의 색조를 보인다.

4.3 지하수위 측정결과

시추작업이 완료되고 각 시추공에 대하여 24, 48, 72시간이상 경과 후 공내 지하수위를 측정한 결과, 확인된 지하수위는 다음과 같다. 확인된 지하수위는 지층조건에 따라 또는 건, 우기 등의 계절적인 영향과 조사시 작업용수에 대한 영향 등을 고려하여야 할 것이다.

공 번	지하수위 (m)			비 고
	GL기준(24시간)	GL기준(48시간)	GL기준(72시간)	
BH-1	3.7	3.9	4.1m	
BH-2	6.7	6.8	7.0m	
BH-3	10.8	10.9	11.0m	
BH-4	10.7	11.0	11.3m	

4.4 지반조사 결과

조사부지의 지층상태 파악을 위해 실시된 4개소의 시추조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

공 번	지 층 층 후(m)				계 (m)	비 고
	매 립 층	풍 화 토	풍 화 암	연 암 층		
BH-1	2.0	1.4	0.8	25.8	30.0	
BH-2	5.0	1.8	4.6	18.6	30.0	
BH-3	1.0	1.6	12.2	15.2	30.0	
BH-4	1.4	1.1	24.5	3.0	30.0	

4.5 하향식 탄성과 탐사 결과

4.5.1 시추공별 조사결과

가. BH-1

지층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	228	590	0.412	9.34E+01	5.02E+02	2.64E+02
풍화토	341	831	0.399	2.21E+02	1.02E+03	6.18E+02
풍화암	587	1355	0.384	7.24E+02	2.89E+03	2.00E+03
연암층	918	1797	0.323	2.02E+03	5.06E+03	5.36E+03

나. BH-2

지층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	220	585	0.418	8.70E+01	5.01E+02	2.47E+02
풍화토	384	891	0.386	2.81E+02	1.14E+03	7.78E+02
풍화암	612	1326	0.365	7.87E+02	2.64E+03	2.15E+03
연암층	880	1763	0.334	1.86E+03	4.98E+03	4.96E+03

다. BH-3

지층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	271	662	0.399	1.32E+02	6.12E+02	3.70E+02
풍화토	365	859	0.390	2.53E+02	1.06E+03	7.03E+02
풍화암	598	1321	0.371	7.52E+02	2.66E+03	2.06E+03
연암층	904	1783	0.327	1.96E+03	5.01E+03	5.21E+03

라. BH4

지층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	236	596	0.407	1.00E+02	5.06E+02	2.82E+02
풍화토	354	856	0.397	2.39E+02	1.07E+03	6.66E+02
풍화암	576	1290	0.376	6.96E+02	2.56E+03	1.92E+03
연암층	773	1595	0.346	1.43E+03	4.19E+03	3.86E+03

4.5.2 전단파속도에 의한 지반분류(내진설계기준 KDS 17 10 00)

가. 지반의 분류

국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 아래 표와 같이 S1, S2, S3, S4, S5, S6의 6종류로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760m/s 이상인 지층으로 정의한다.

토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다. 이때, 탄성파시험은 시추조사를 바탕으로 가장 불리한 시추공에서 수행하는 것을 원칙으로 한다. 기반암 깊이와 무관하게 토층평균전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5 지반으로 분류한다.

지반 분류	지반종류의 호칭	평균 지반 특성	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/sec)
S ₁	암반 지반	1 미만	-
S ₂	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S ₃	얕고 연약한 지반		260 미만
S ₄	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S ₅	깊고 연약한 지반		180 미만
S ₆	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

(전단파속도에 의한 지반분류)

나. 평균지반속도 및 지반분류

공번	지반등급산정 전단파속도 (m/sec)	지반분류 (KDS 17 10 00)	지반종류의 호칭 (KDS)
BH-1	477	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-2	387	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-3	548	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-4	534	S ₄	깊고 단단한 지반

제 5 장 지 반 특 성 분 석



제 5 장 지반특성 분석

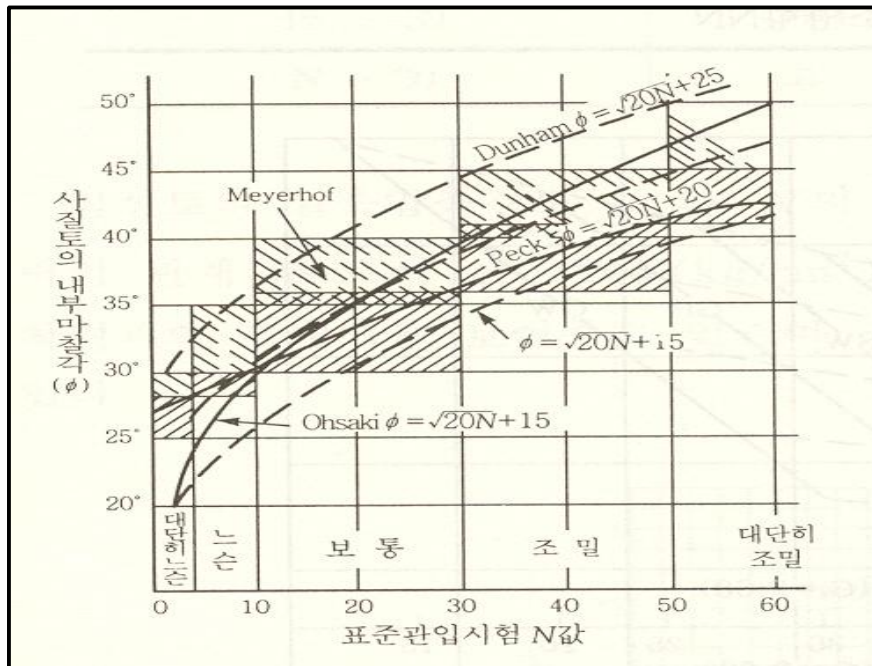
5.1 토질 특성

본 조사지역 최상부에서부터 매립층, 퇴적층(1), 퇴적층(2), 풍화토, 풍화암, 연암층 순으로 분포하고 있다.

5.2 사질토의 강도정수

흙의 강도정수(C, ϕ)는 인공사면이나 자연사면의 사면안정, 기초의 지지력 및 구조물에 작용하는 토압등의 설계에 사용되는 토질정수이다. 일반적으로 지반의 강도정수는 직접 전단시험, 일축압축시험, 삼축압축시험을 실시하여 강도정수를 구하는 것이 합리적이지만 입상재(Granular material or Cohesionless material)의 경우 원지반상태의 강도정수를 추정하기 위한 불교란시료채취 및 실내시험은 극히 어려우며 많은 비용이 소요된다. 그러므로 사질토의 전단강도정수는 표준관입시험(N)를 토대로 하여 내부마찰각(ϕ)을 결정하는 것이 일반적이다.

사질토에서 N 치와 흙의 전단저항각과의 경험적인 관계에 대한 제안은 여러 가지가 있으며 Peck나 Dunham 및 오자끼 등은 전단저항각(내부마찰각)과 N 치와의 관계를 다음 <그림 5.1> 및 <표 5.2>과 같이 직접 수식으로 제안하고 있다.



<그림 5.1> 사질토의 내부마찰각(φ)과 N치의 관계

(Terzaghi, Peck, Meyerhof, Dunham, 大崎)

<표 5.2> N치와 내부마찰각과의 관계

제안자	관계식	비고
DUNHAM	$\phi = \sqrt{12N+25}$ $\phi = \sqrt{12N+20}$ $\phi = \sqrt{12N+20}$ $\phi = \sqrt{12N+15}$	- 토립자가 모나고 입도분포가 양호 - 토립자가 모나고 입도분포가 불량 - 토립자가 둥글고 입도분포가 양호 - 토립자가 둥글고 입도분포가 불량
MEYERHOF	$\phi = 1/4N+32.5$	$10 \leq N \leq 50$
PECK	$\phi = 0.3N+27$	
대호	$\phi = \sqrt{20N+15}$	
건설성	$\phi = \sqrt{15N+15}$	일본

사질토층의 전단저항각(φ)은 토립자의 형상 및 크기, 입도분포, 간극비, 상대밀도, 중간 주 응력에 의하여 영향을 받는다.

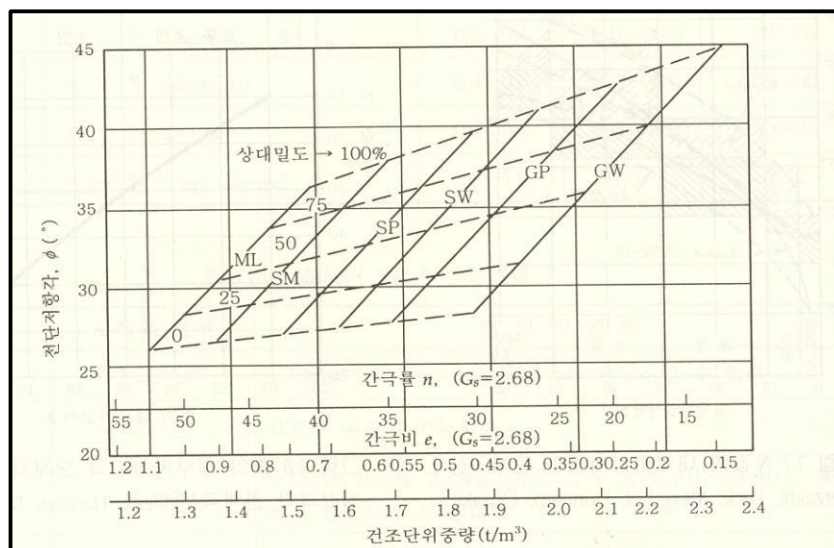
따라서 Peck, Dunham 및 오자끼 등의 제안식을 사용할 때는 상당한 주의가 필요하다.

사질토층의 전단저항각(φ)은 토립자의 형상 및 크기, 입도분포, 간극비, 상대밀도, 중간 주응력에 의하여 영향을 받는다.

따라서 Peck, Dunham 및 오자끼 등의 제안식을 사용할 때는 상당한 주의가 필요하다. 즉, 입도와 상대밀도 등이 함께 관련된 경험적인 값으로부터 사질토층의 전단강도를 추정하는 것이 가장 바람직하다. 흙의 입도분포 특성과 직접 관계된 자료는 다음 <그림 5.2>, <표 5.3>과 같다.

<표 5.3>입상토의 대략적인 내부마찰각의 크기

입자의 크기		다져진 상태	φ, 도	
			동근입자 입도분포 균등	모난 입자 입도분포 양호
중간 모래		대단히 느슨	28 ~ 30	32 ~ 34
		중간 정도 촘촘	32 ~ 34	36 ~ 40
		대단히 촘촘	35 ~ 38	44 ~ 46
모래(S) 및 자갈(G)	65%G-35%S	느슨	-	39
	65%G-35%S	중간 정도 촘촘	37	41
	80%G-20%S	촘촘	-	45
	80%G-20%S	느슨	34	-
압 편			40 ~ 55	



<그림 5.2> 사질토에 대한 건조단위중량, 간극비, 간극률과 내부마찰각과의관계

<표 5.4> COMMON PROPERTIES OF COHESIONLESS SOIL⁺⁺

Material	Compactness	D _R , %	N*	r dry, ⁺ g/cm ³	Void ratio e	Strength ⁺⁺ Φ
GW: well-graded gravels, gravel- sand mixtures	Dense	75	90	2.21	0.22	40
	Medium dense	50	50	2.08	0.28	36
	Loose	25	<28	1.97	0.36	32
GP: poorly graded gravels, gravel- sand mixtures	Dense	75	70	2.04	0.33	38
	Medium dense	50	50	1.92	0.39	35
	Loose	25	<20	1.83	0.47	32
SW: well-graded sands, gravelly sands	Dense	75	65	1.89	0.43	37
	Medium dense	50	35	1.79	0.49	34
	Loose	25	<15	1.70	0.57	30
SP: poorly graded sands, gravelly sands	Dense	75	50	1.76	0.52	36
	Medium dense	50	30	1.67	0.60	33
	Loose	25	<10	1.59	0.65	29
SM: silty sands	Dense	75	45	1.65	0.62	35
	Medium dense	50	25	1.55	0.74	32
	Loose	25	<8	1.49	0.80	29
ML: inorganic silts, very fine sands	Dense	75	35	1.49	0.80	33
	Medium dense	50	20	1.41	0.90	31
	Loose	25	<4	1.35	1.00	27

* N is blows per foot of penetration in the SPT. Adjustments for gradation are after Burmister(1982) See Table 6.4 for general relationships of D_R Vs. N.

⁺Density given is for G= 2.68(quartz grains).

⁺⁺Friction angle Φ depends on mineral type normal stress, and grain angularity as well as D_R and gradation <Hunt, Roy E. "Geotechnical engineering analysis and evaluation" 1986.>

**From Hunt(1984). Reprinted with permission of McGraw-Hill Book Company

흙의 단위체적중량은 토질시험 결과에 따라 정하는 것을 원칙으로 하나 측정된 조사 자료 없는 경우는 기존의 경우는 기존의 경험적인 자료인 다음 <표5.5>를 사용하여 설계에 이용한다.(도로설계요령 제1집 P.28)

<표 5.5>흙의 단위체적 중량

종 류		재료의 상태		단위체적 중 량 (t/m ³)	내부 마찰각 Ø(도)	점 착 력 C (t/m ²)	분류기호
흙 쌓 기	자갈 및 가갈섞인 모래	다 진 것		2.0	40	0	GW, GP
	모래	다 진 것	입도가 좋은것	2.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜것	1.9	30	0	
	사질토	다 진 것		1.9	25	3 이하	SM, SC
점성토	다 진 것		1.8	15	5 이하	ML, CL, MH, CH	
자 연 지 반	자갈	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜것		1.8	35	0	
	자갈섞인모래	밀실한것		2.1	40	0	GW, GP
		말실하지않은것		1.9	35	0	
	모래	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	35	0	SW, SP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜것		1.8	30	0	
	사질토	밀실한것		1.9	30	3 이하	SM, SC
		말실하지않은것		1.7	25	0	
	점성토	굳은것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		1.8	25	5 이하	ML, CL
		약간 무른것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		1.7	20	3 이하	
		무른것(손가락이 쉽게 들어감)		1.7	20	1.5 이하	
	점토 및 실트	굳은것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		1.7	20	5 이하	CH, MH, ML
약간 무른것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)		1.6	15	3 이하			
무른것(손가락이 쉽게 들어감)		1.4	10	1.5 이하			
비 고	1) 지하수위 이하에 있는 흙의 단위체적중량은 각각의 값에서 1.0을 뺀 값으로 한다. 2) 단위체적중량의 값을 결정하는 경우 다음 사항에 주의한다. (가)터널 버력이나 암괴등은 입경이나 간극에 따라 다르기 때문에 과거의 실적이나 현장시험에 의해 결정한다. (나)자갈혼입 사질토나 자갈혼입 점성토는 자갈 혼합비율 및 상태에 따라 적절히 정한다. 3) 내부마찰각 및 점착력의 값은 압밀 비배수 전당강도에 의한 개략적인 값이다.						

제 6 장 기초에 대한 검토



제 6 장 기초에 대한 검토

6.1 기초형식의 일반사항

구조물기초는 크게 나누어 직접기초, 케이슨기초, 말뚝기초의 세가지 형태로 대별된다. 즉 기초부분의 폭이 넓고 지지지반이 견고하고 상대적으로 얇은 경우에는 직접기초로 하고 지지지반이 깊은 경우에는 말뚝기초로 시공하는데 케이슨기초도 근입장이 크게 되면 말뚝기초로 취급된다.

얕은기초(Shallow foundation), 깊은기초(Deep foundation)라고 하는 분류는 원래 Terzaghi의 근입폭비(Depth ratio: D_f/B)가 대체적으로 1이하의 기초를 얕은기초라 하고 1보다 큰 기초를 깊은 기초로 정의하고 있다.

그러나 이 정의는 분명치 않아 근래에는 얕은 기초는 말뚝 등을 사용하지 않고 직접지반에 지지시키는 직접기초의 의미로 사용되고 있다. 그리고 영국에서는(CP2004,BSI)근입 깊이가 3m이상이면 깊은기초라 하고, DAS(1984)등의기초공학 저서에는 근입폭비(D_f/B)가 3~4인 경우에도 얕은기초로 보고 4이상을 깊은 기초로 보고 있다.

이들 기초의 선정에 있어서는 상부구조물의 종류, 규모, 용도 및 중요도등에 의하여 결정되는 하중 및 설계조건과 부지의 지반조건, 시공조건에 의하여 이루어진다.

6.1.1 얕은기초 (Shallow foundation)

얕은 기초란 상부구조물로 부터 하중을 지반에 직접 전달시키는 형식의 기초로서 적절한 토층 아래 압축성이 큰 층이 없을때 직접 설치하는 기초이며, 직접기초(Direct foundation)라고도 한다.

얕은기초는 근입깊이(D_f)와 Footing 저면의 폭(B)이 대체로 $D_f/B \leq 1 \sim 4$ 인 경우로 기초형식과 기능에 따라 푸팅기초(Footing foundation)와 전면기초(Mat 또는 Raft foundation)로 구분된다.

얕은기초는 견고한 지반에 지지시키는 것을 원칙으로 하되 특별한 경우의 연약지반에 지지시킬 경우에도 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- 직접기초를 지지하는 지반은 상부하중을 지지할 수 있는 충분한 지지력을 가져야 하며 전단파괴에 대하여 안전해야 한다.
- 상부구조물이 기울거나 균열이 생기지 않도록 기초지반의 침하량이 구조물의 허용 침하량 범위내에 있어야 한다.

1) 기초의 형식

얕은기초는 그 형식과 기능에 따라 Footing기초와 전면기초 (Mat foundation)로 구분한다. Footing기초는 상부하중을 넓게 분포시키기 위하여 밑면을 확대시킨 확대기초 (Spread foundation)의 형태로 쓰이는데 한 개의 기둥만을 지지하는 경우에 독립 Footing 기초라 하며, 2개 또는 그 이상의 기둥을 지지하는 경우에는 복합 Footing기초라 한다.

전면기초는 지지토층 위에 단일슬레브 형식의 기초로 1열 또는 수개 열의 기둥을 지지하는 형식의 기초이다.



2) 얕은기초의 허용 지지력

얕은기초의 지지력은 지반이 전단파괴를 일으키지 않고 기초가 지지할 수 있는 최대하중을 말하며, 여러 가지 방법으로 산정할 수 있다.

일반적으로 기초의 지지력을 계산하기 위해서는 지반의 특성을 정확히 파악하여야 한다.

즉, 현 지지지반의 특성과 형상을 정확히 고려하여 이론적으로, 또는 실험적으로 지반의 지지력을 산정하여 기초를 설계하는 것이 가장 경제적이라고 말할 수 있다.

얕은기초의 허용지지력은 대체로 다음과 같은 방법으로 결정을 한다.

- ① 기준지지력표 이용
- ② 표준관입시험 결과 이용
- ③ 지지력 이론에 의한 계산
- ④ 평판재하시험 등 현장시험에서 구한 시험 허용지지력

그리고, 기초의 극한지지력(Ultimate Bearing Capacity) 계산방식으로 지반을 완전소성체로 보는 것과 탄성이론적인 견해 및 원호활동면을 가정한 것 등 여러 가지 방법이 있다.

(구조물 기초 설계기준, 건설부1989.p.98참조)

이러한, 여러 가지 방법 중 어떠한 방법을 사용하여 기초의 지지력을 산정하느냐 하는 것은 대단히 어려울 뿐만 아니라, 또한 사용된 방법을 따라 그 값이 달라지므로 구조물의 안정성과 경제성이 좌우된다. 이들 식 중에서도 Terzaghi, Meyerhof 및 Honsen 식이 가장 널리 사용되는 지지력 산정식이다.

• 토사에서의 지지력

1) Terzaghi의 극한지지력 공식

$$q_{ult} = \alpha CN_c + \beta \gamma_2 BN_r + \gamma_1 D_f N_q \quad \text{<식 6.1>}$$

여기서, q_{ult} : 기초의 극한지지력 (ton/m²)

C : 기초지반의 점착력 (ton/m²)

γ_1 : 기초저면 보다 상부에 있는 지반의 단위중량(ton/m³)

γ_2 : 기초저면 보다 하부에 있는 지반의 단위중량(ton/m³)

B : 기초의 폭(m)

D_f : 기초의 근입깊이(m)

α, γ : 기초의 형상 계수

N_c, N_r, N_q : 지지력계수

$$N_c = \cot\Phi \left[\frac{e^{2(3\pi/4 - \Phi/2)\tan\Phi}}{2\cos^2(45^\circ + \Phi/2)} - 1 \right] \dots\dots\dots \text{<식 6.1a>}$$

$$N_r = 1/2 \left[\frac{Kp}{\cos^2\Phi} - 1 \right] \tan\Phi \dots\dots\dots <식 6.1b>$$

$$N_q = \frac{e^{2(3\pi/4 - \Phi/2)\tan\Phi}}{2\cos^2(\pi/4 + \Phi/2)} \dots\dots\dots <식 6.1c>$$

N_c, N_r, N_q 는 Terzaghi의 지지력 계수로서 <식 6.1a,b,c>로부터 직접 구할 수 있다.

또한 α, β 는 기초의 형상에 따라 정하여지는 값으로서 다음<표6.1>과 같다.

<표 6.1> $\alpha \cdot \beta$ 값

기초면의 형상	연 속 성	정 사 각 형	원 형	직 사 각 형
α	1.0	1.3	1.3	1.0+0.3B/L
β	0.5	0.4	0.3	0.5-0.1B/L

2) Meyerhof의 지지력 공식

Meyerhof의 지지력 공식은 연속기초에 대해 Terzaghi의 공식과 동일한 형태, 즉

$$q_{ult} = CN_c + 1/2\gamma_2BN_r + \gamma_1D_fN_q \dots\dots\dots <식 6.2>$$

로 쓸수 있다.

여기서,

$$N_q = e^{(\pi\tan\Phi)} \tan(45^\circ + \Phi/2) \dots\dots\dots <식 6.2a>$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\Phi \dots\dots\dots <식 6.2b>$$

$$N_r = (N_q - 1) \tan(1.4\Phi) \dots\dots\dots <식 6.2c>$$

위의 <식6.2>는 연속기초에 대한 것이므로 기초 형상의 원형이거나 직사각형일때는 그대로 쓸수 없으며 기초 바닥의 깊이에 대한 영향도 고려되지 않았다. 더욱이 기초에 하중이 기울어서 작용될 때 이에 대한 보정도 필요하다. Meyerhof(1963)는 이와 같은 요소를 모두 고려하여 다음과 같은 일반지지력 공식을 제안하였다.

$$q_{ult} = CN_c S_c d_c i_c + 1/2 \gamma B N_r S_r d_r i_r + q' N_q S_q d_q i_q \dots\dots\dots <식 6.2>$$

여기서, q' : 기초바닥의 유효토피하중

$S_c S_r S_q$: 형상계수

$d_c d_r d_q$: 깊이계수

$i_c i_r i_q$: 경사계수

위의 여러 계수들을 경험적인 자료들로 근거로 해서 결정되었는데 이것은 다음과 같이 구할 수 있다.

① 형상계수

$$S_c = 1 + 0.2K_p (B/L) \dots\dots\dots <식6.3a>$$

$$S_r = 1.0 \quad (\Phi = 0^\circ)$$

$$S_r = S_p = 1 + 0.1K_p (B/L) \quad (\Phi \geq 10^\circ) \dots\dots\dots <식6.3b>$$

② 깊이계수

$$d_c = 1 + 0.2K_p 1/2 (Df/B) \dots\dots\dots <식6.3c>$$

$$d_r = d_q = 1.0 \quad (\Phi = 0^\circ)$$

$$d_r = d_q = 1 + 0.1K_p 1/2 (Df/B) \quad (\Phi \geq 10^\circ) \dots\dots\dots <식6.3d>$$

③ 경사계수

$$i_c = i_q = (1 - \alpha/90^\circ)^2 \dots\dots\dots <식6.3e>$$

$$i_r = (1 - \alpha/\Phi)^2 \dots\dots\dots <식6.3f>$$

여기서, α : 작용하중의 방향이 연직면과 이루는 각도

Terzaghi 및 Meyerhof의 지지력 계수는 다음 <표6.2>와 같다.

<표 6.2> Terzaghi 와 Meyerhof의 지지력 계수

Φ	Terzaghi			Meyerhof		
	Nc	Nr	Nq	Nc	Nr	Nq
0	5.7	0	1.0	5.14	0	1.0
5	7.3	0.5	1.6	6.5	0.1	1.6
10	9.6	1.2	2.7	8.3	0.4	2.5
15	12.9	2.5	4.4	11.0	1.1	3.9
20	17.7	5.0	7.4	14.8	2.9	6.4
25	25.1	9.7	12.7	20.7	6.8	10.7
30	37.2	19.7	22.5	30.1	15.7	18.4
35	57.8	42.4	41.4	46.1	37.1	33.3
40	95.7	100.4	81.3	75.3	93.7	64.2
45	172.3	297.5	173.8	133.9	262.7	134.9
48	258.3	780.1	287.9			
50	347.5	1153.2	415.1	266.9	873.7	319.0

지반조사 결과를 토대로 기초설계를 시행할 때 N치를 근거로 미끄러다께오가 제안한 지내력은 다음 <표6.3>와 같다.

<표 6.3> N치를 근거로 한 지내력표(ton/m²)

N치	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
점토	2.7	5.4	8.1	10.8	13.5	16.2	19.0	21.6	24.3	27.0	29.7	32.5	35.2
모래 및 풍화대	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5
N치	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	
점 토	38.0	41.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
모래 및 풍화대	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	46.2	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	

<표 6.4> 확대기초의 지지력 경험치(DM7.2 1982)

지지층	현장 연경도 상태	허용지지력(ton/m ²)	
		범위	추천값
괴상의 결정질 화강암, 변성암: 화강암, 섬록암, 현무암, 완전히 고결된 역암	경질의 신선한 암	640~1070	860
엽리성 변성암 : 슬레이트, 편암	중간 경질의 신선한 암	320~430	375
퇴적암 : 시멘트화된 경질의 세일실트암, 사암, 동공이 없는 석회암	중간 경질의 신선한 암	160~270	215
풍화되거나 파쇄된 모암, 이질암(세일) 이외의 모든 암, RQD<25	연암	85~130	105
컴팩션 세일(Compaction shale)이나 신선한 이질암	연암	85~160	105
입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물 : 빙하 퇴적물, 하드팬(hardpan) 점성토 섞인 자갈(GW-GC, GC, SC)	매우조밀함	85~130	105
자갈, 자갈-모래 혼합물 호박돌-자갈 혼합물(GW, GP, SW, SP)	매우조밀함	65~105	75
	중간정도 조밀	40~75	50
	느슨함	20~65	30
입자가 굵거나 중간정도의 모래 자갈이 약간 섞인 모래(SW, SP)	매우조밀함	40~65	40
	중간정도 조밀	20~40	30
	느슨함	10~30	15
가는 모래 실트질이나 점토질 중간정도 입도나 굵은 모래 (SW, SM, SC)	매우조밀함	30~50	30
	중간정도 조밀	20~40	25
	느슨함	10~30	15
균질한 점토, 모래질이나 실트질, 점토	굳음	30~60	40
	중간정도 굳음	10~30	20
	느슨함	5~10	5
실트, 모래질실트, 점토질 실트, 교호된(Varved)실트-점토-세사층	굳음	20~40	30
	중간정도 굳음	10~30	15
	느슨함	5~10	5

유의사항 :

1. 함수비, 밀도, 성토고를 관리하여 다진 성토층의 지지력은 동일한 연경도를 갖는 자연지반의 지지력과 동등한 것으로 간주한다.
2. 압축성이 큰 세립토의 허용 접지압력은 구조물의 총침하량을 고려하여 제한다.
3. 유기질지반이나 다짐을 하지않은 성토층의 허용지지력은 각경우에 따라 별도 조사하여 결정한다.

4. <표6.4>에 추천된 암반의 허용지지력이 암시편의 일축압축강도를 초과하면, 일축압축강도를 허용지지력으로 취한다.

3) 얽은기초의 허용 침하량 및 허용 각변위

구조물의 허용침하량(Allowable settlement 또는 Permissibls settlement)은 주로 기초의 형식 크기, 위치 및 구조물의 용도 그리고 침하의 패턴, 속도, 원인 및 침하 지층 조건에 지배된다.

구조물의 침하, 경사(또는 각 변위)등에 관한 허용 값은 많은 토질공학자에 의하여 제안된 것이지만 추천할 만한 자료로 다음과 같은 경우를 제시한다.

- ① SKempoton과 Macdonald(1955)의 허용 부등침하량<표6.5>
- ② Sowers(1962)의 최대 허용침하량<표6.6>
- ③ 여러 토목학자들의 허용침하량 및 허용 각변위<표6.7>

<표 6.5> 허용 부등침하량(SKempoton등 1955)

기 준	각 변 위	최대부등침하(inch)		최대침하(inch)	
		점 토	모 래	점 토	모 래
단독기초	1/300	1⅓(1½)	1¼(1)	3(2½)	2(1½)
전면기초				3~5(2½~4)	2~3(1½~2½)

()는 추천 최대값임.

<표 6.6> 여러 가지 구조물의 최대허용 침하량(Sowers, 1962)

침하형태	구조물의 종류	최대침하량
전체침하	배수시설	15.0 ~ 30.0cm
	출입구	30.0 ~ 60.0cm
	부등침하의 가능성	
	석적 및 별돌 구조	2.5 ~ 5.0cm
	뼈대 구조	5.0 ~ 10.0cm
	굴뚝, 사이로, 매트	7.5 ~ 30.0cm
전 도	탑, 굴뚝	0.004 S
	물품적재	0.010 S
	크레인 레일	0.003 S
부등침하	빌딩의 벽돌 벽체	0.0005S ~ 0.002S
	철근 콘크리트 뼈대 구조	0.003 S
	강 뼈대 구조 (연속)	0.002 S
	강 뼈대 구조 (단순)	0.005 S

S : 기둥사이의 간격 또는 임의의 두점 사이의 거리

<표 6.7> 빌딩 구조물의 손상한계(Hunt 1984)

각 변 위 (δ/L)		1/300
최대부등침하	점 토	45 mm
	사 질 토	30 mm
총 침 하 량	점 토	80 mm
	사 질 토	40 mm

<표 6.8> 건축물의 허용침하량 및 허용각변위

저 자	구 조 형 식	허 용 침 하 량(cm)	각 변 형 (rad)
바우만(Baumann,1873)	철근콘크리트 구조	4.0	-
제 니(Jenny,1885)	철근콘크리트 구조	5.0 ~ 7.5	-
퍼 디(Purdy,1891)	-	7.5 ~ 12.5	-
심프슨(Simpson,1934)	철근콘크리트 구조	10.0~12.5	-
테르자기 (Terzaghi,1935)	철근콘크리트 구조	5.0	-
	연 와 구 조	-	1/280
테르자기 와 펙 (Terzaghi &Peck,1948)	철근콘크리트 구조	5.0	1/320
체보타리오프 (Tschebotarioff,1951)	연 와 구 조	5.0 ~ 7.5	-
워드 와 그린 (Ward & Green,1952)	연 와 구 조	-	1/480
메이어호프 (Weyerhof,1953)	철근콘크리트 구조	-	1/300
	철근콘크리트 구조	-	1/1000
	연 와 구 조	-	1/600
오자끼(大崎 ,1956)	철근콘크리트 구조 부 력 구 조	-	1/600 ~1/1000

6.1.2 깊은 기초 (Deep foundation)

깊은기초란 구조물의 무게가 무겁든가 지지층이 깊고 지표면 부근에 연약층이 있어 얇은 기초로 지지가 불가능하거나 비경제적인 경우, 상부구조물의 하중을 지지가 확실한 심층까지 전달시키는 기초형식으로 말뚝기초, 피어기초, 케이슨기초등이 있다. 말뚝기초는 케이슨기초보다 시공이 간단하고 공사비가 저렴하며 깊은기초 공법으로서는 가장 대표적인 공법이다. 대체적으로 기초의 근입깊이가 6.0m 이상 요구될 때 즉, 지지지반이 6.0m 이하의 깊이에 분포할 때는 깊은 기초인 말뚝기초 공법이 더 경제성이 있다.

1) 말뚝기초의 분류

말뚝기초의 분류로서는 지지형식에 의한 것, 재질에 의한 것, 공법에 의한 것, 형상에 의한 것 및 이용 목적에 의한 것이 고려 될 수 있으며 이중 시공법에 의한 분류, 연직력의 지지기구에 의한 분류는<그림6.1>과 같다.



(a) 시공법에 의한 분류



(b) 재질에 의한 분류

<그림6.1> 말뚝기초의 분류

2) 말뚝 공법의 선정기준

말뚝기초에는 많은 종류가 있고 각기 특징을 가졌으며 구조물의 종류에 따라 설계, 시공기준을 다르게 사용하므로, 이러한 조건 및 장소에 따른 복잡한 변화에 부응하여 부지, 지반, 지하수 등을 고려하여 실시하지 않으면 안된다. 말뚝기초의 일반적인 선정기준은<표6.9>와 같다. 또한 깊은 기초는 재료에 따라 허용응력이 다르고 단면크기에 따라 지지하중이 변한다. 똑같은 콘크리트라 하더라도 시공환경과 시공기술, 그리고 품질관리 정도에 의하여 허용응력이 같지 않기 때문에 기초의 허용지지력의 권장치도 나라마다 틀리다.

<표6.9> 기초형식의 선정기준

선정조건		기초형식	직접기초	타입말뚝			내부굴착	현장타설말뚝			
				RC말뚝	PCPHC말뚝	강관말뚝		RCD말뚝	올케이싱말뚝	어드릴말뚝	심초말뚝
지형 및 지질	굴착하는 지반의 상태	중간층이 극한 연약	△	◎	◎	◎	△	○	○	×	×
		중간층이 연약	△	◎	◎	◎	○	○	◎	△	△
		중간층에 극히 단단한 층이 있다.	○	×	△	○	○	○	○	○	○
		중간층에 큰 자갈층이 있다.	○	×	×	×	△	△	△	△	○
		중간층에 5m이상의 세사층이 있다.	○	△	○	◎	△	○	△	△	○
		상층 연약으로 하층 양호	○	◎	◎	◎	○	○	○	△	△
		5cm 이하의 자갈층이 있다.	◎	△	△	△	○	○	○	○	○
		5~10cm의 자갈층이 있다.	◎	△	△	△	○	○	○	△	○
	10~50cm의 자갈층이 있다.	○	×	×	△	△	×	△	×	○	
	조건	지하수 상태	지하수위가 지표면에 가깝다.	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	○
용수량이 극히 많다.			△	◎	◎	◎	△	◎	○	△	×
지표에서 2m이상의 피압 지하수			×	◎	◎	◎	×	×	×	×	×
지하수 유속 3m/min 이상			×	◎	◎	◎	○	×	×	×	×
구조물의 특성	규격	연직하중이 작다. (지간 20cm 이하)	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○
		연직하중이 보통. (지간 20~50cm 이하)	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○
		연직하중이 크다. (지간 50cm 이상)	◎	○	○	◎	○	◎	◎	○	○
		수평하중이 작다	◎	◎	◎	○	○	○	○	◎	○
		수평하중이 크다	◎	△	○	○	△	○	○	○	○
	지지방식	선 단 지 지	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	◎
		마 찰 지 지	×	◎	◎	◎	△	△	△	△	×
유동화 되는 지반		×	△	○	◎	○	○	○	○	○	
시공 조건	심도 (m)	2 ~ 5	◎	○	△	△	△	×	×	△	○
		5 ~ 15	○	◎	○	○	○	△	○	○	◎
		15 ~ 25	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		25 ~ 40	×	×	△	◎	△	◎	○	△	×
		40 ~ 50	×	×	×	◎	×	◎	△	×	×
		50 ~60	×	×	×	◎	×	◎	×	×	×
환경조건	지진동 저소음		◎	×	×	×	○	◎	○	◎	◎
	인접구조물에 대한 영향		○	×	×	△	○	◎	◎	○	△
	유해가스의 영향		△	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	×

◎시공실적이 많다. ○시공실적이 있다. △시공실적이 적다. ×시공실적이 거의없다.

6.1.3 기초에 대한 제언

일반적으로 구조물의 기초 형식은 지지기반의 토층 상태, 구조물의 하중조건, 기초의 형식, 기초의 근입 깊이, 현장여건, 공사비, 공기 등을 종합 검토하여 가장 합리적이며 안전하고, 경제적인 기초를 선택하는 것이 바람직하다. 또한, 기초형식은 지층의 분포상태, 지하층의 규모 및 구조물의 하중을 감안하여 신중히 결정하여야 한다.

또한, 기초 공사 시행전 깊은기초의 경우 정재하 동재하시험을 시방기준에 의거하여 시행하여야 하며, 얇은 기초형식은 평판재하시험(Plate Bearing Test)을 시방기준에 맞도록 시행한후 지지력을 검증하여 시공에 적용하여 한다.

향후 구조물 기초 설계시는 전문분야의 검토에 의거하여 지층의 구성 상태, 구조물의 하중, 제원 등을 기준하여 안정성 및 경제성을 감안한 구조물의 기초형태를 최종 선정하여야 한다.

제 7 장 결 론

제 7 장 결 론

“대동세무고등학교 내진성능평가” 를 위한 지반조사 및 현장시험을 실시, 대상부지의 지반상태를 파악하고 제반 기초공학적 자료를 수집하기 위하여 시추조사 및 표준관입시험을 실시하였으며 이들 자료를 정리하여 분석, 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 조사지역은 “서울특별시 종로구 계동 35번지 일원” 에 위치한다.
- 2) 지표에서부터 차례대로 매립층, 풍화토, 풍화암, 연암층 순으로 나타나며 시추결과를 요약하면 아래의 표와 같다.

공 번	지 층	심 도 (m)	총 후 (m)	구성상태	N 치	비 고
BH-1	매 립 층	0.0 ~ 2.0	2.0	실트섞인 모래 자갈 함유	7/30 ~ 13/30	
	풍 화 토	2.0 ~ 3.4	1.4	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	3.4 ~ 4.2	0.8	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/5	
	연 암 층	4.2 ~ 30.0	25.8	기반암의 연암층	-	
BH-2	매 립 층	0.0 ~ 5.0	5.0	실트섞인 모래 자갈 함유	6/30 ~ 19/30	
	풍 화 토	5.0 ~ 6.8	1.8	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	6.8 ~ 11.4	4.6	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/6 ~ 50/2	
	연 암 층	11.4 ~ 30.0	18.6	기반암의 연암층	-	

BH-3	매 립 층	0.0 ~ 1.0	1.0	실트섞인 모래 자갈 함유	18/30	
	풍 화 토	1.0 ~ 2.6	1.6	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	2.6 ~ 14.8	12.2	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/4 ~ 50/2	
	연 암 층	14.8 ~ 30.0	15.2	기반암의 연암층	-	
공 번	지 층	심 도 (m)	층 후 (m)	구성상태	N 치	비 고
BH-4	매 립 층	0.0 ~ 1.4	1.4	실트섞인 모래 자갈 함유	11/30	
	풍 화 토	1.4 ~ 2.5	1.1	실트섞인 모래	38/30	
	풍 화 암	2.5 ~ 27.0	24.5	굴진시 세편상 암편으로 분해	50/8 ~ 50/1	
	연 암 층	27.0 ~ 30.0	3.0	기반암의 연암층	-	

3) 시추작업이 완료되고 각 시추공에 대하여 24, 48, 72시간이상 경과 후 공내 지하수위를 측정 한 결과, 확인된 지하수위는 다음과 같다. 확인된 지하수위는 지층조건에 따라 또는 건, 우기 등의 계절적인 영향과 조사시 작업용수에 대한 영향 등을 고려하여야 할 것이다.

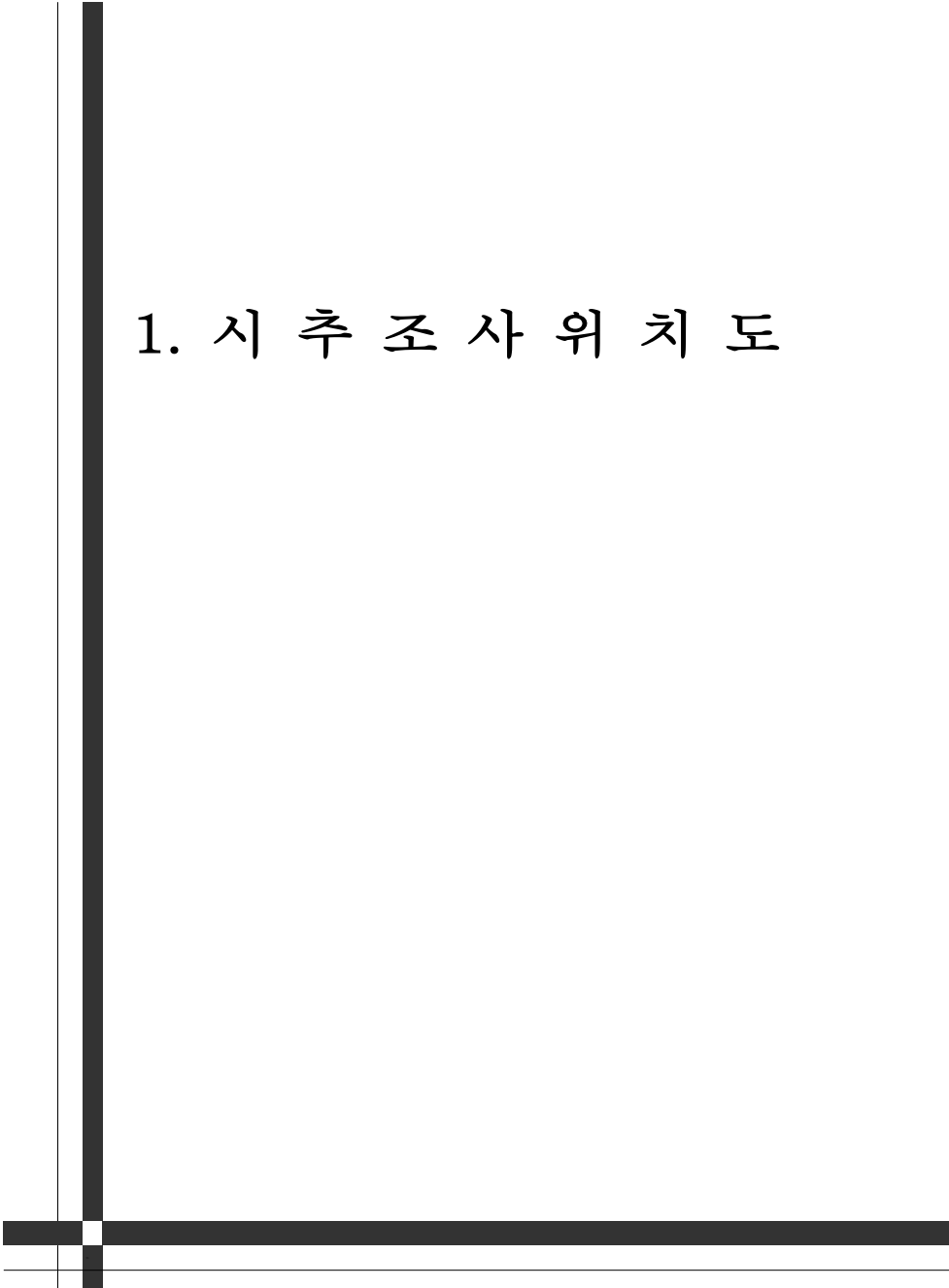
공 번	지하수위 (m)			비 고
	GL기준(24시간)	GL기준(48시간)	GL기준(72시간)	
BH-1	3.7	3.9	4.1m	
BH-2	6.7	6.8	7.0m	
BH-3	10.8	10.9	11.0m	
BH-4	10.7	11.0	11.3m	

4) 하향식 탄성파 탐사 결과

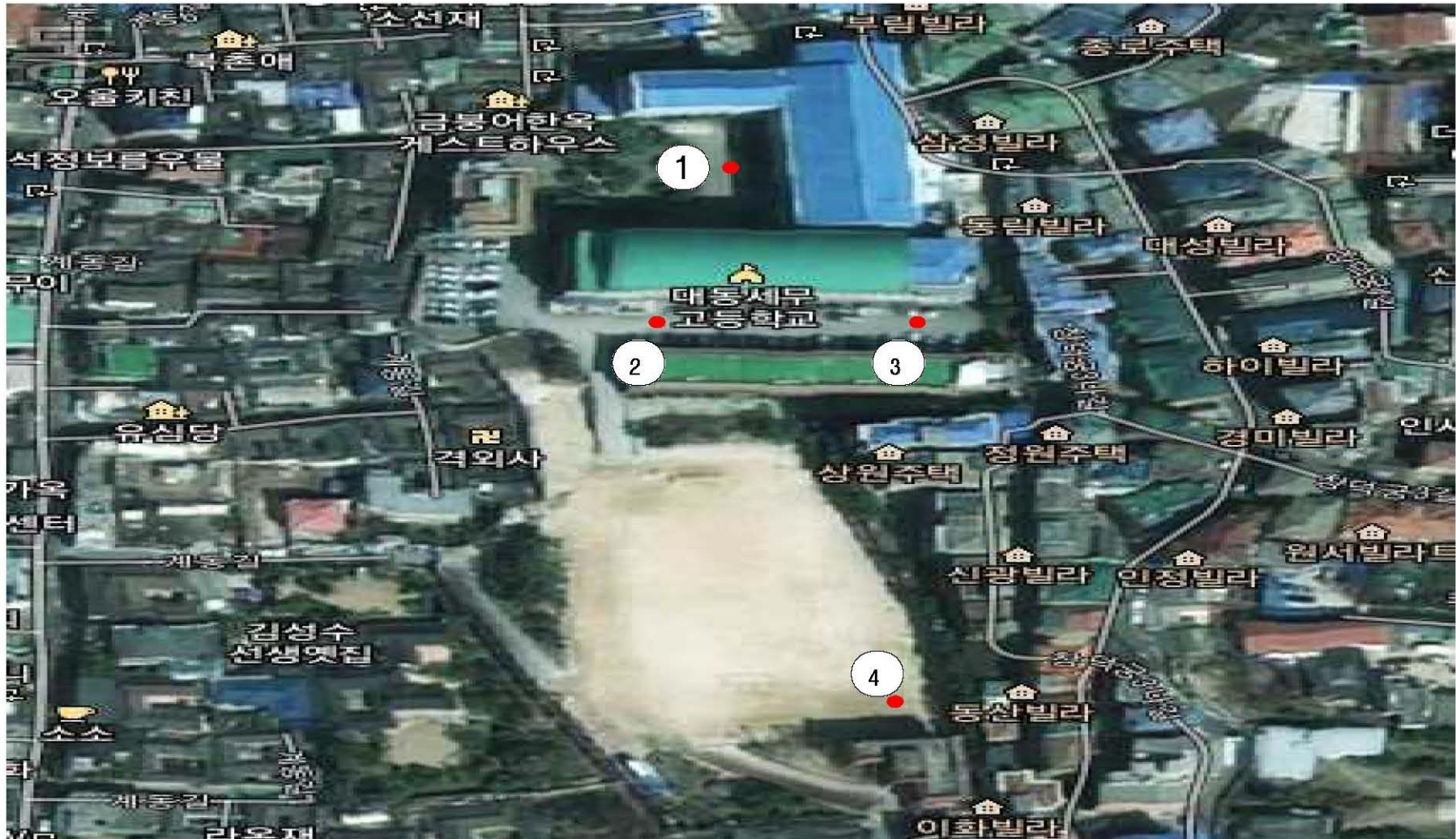
공번	지반등급산정 전단파속도 (m/sec)	지반분류 (KDS 17 10 00)	지반종류의 호칭(KDS)
BH-1	477	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-2	387	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-3	548	S ₂	얕고 단단한 지반
BH-4	534	S ₄	깊고 단단한 지반

부 록

1. 시 추 조사 위 치 도
2. 지 층 단 면 도
3. 시 추 주 상 도
4. 하향식 탄성파 탐사
5. 사진첩

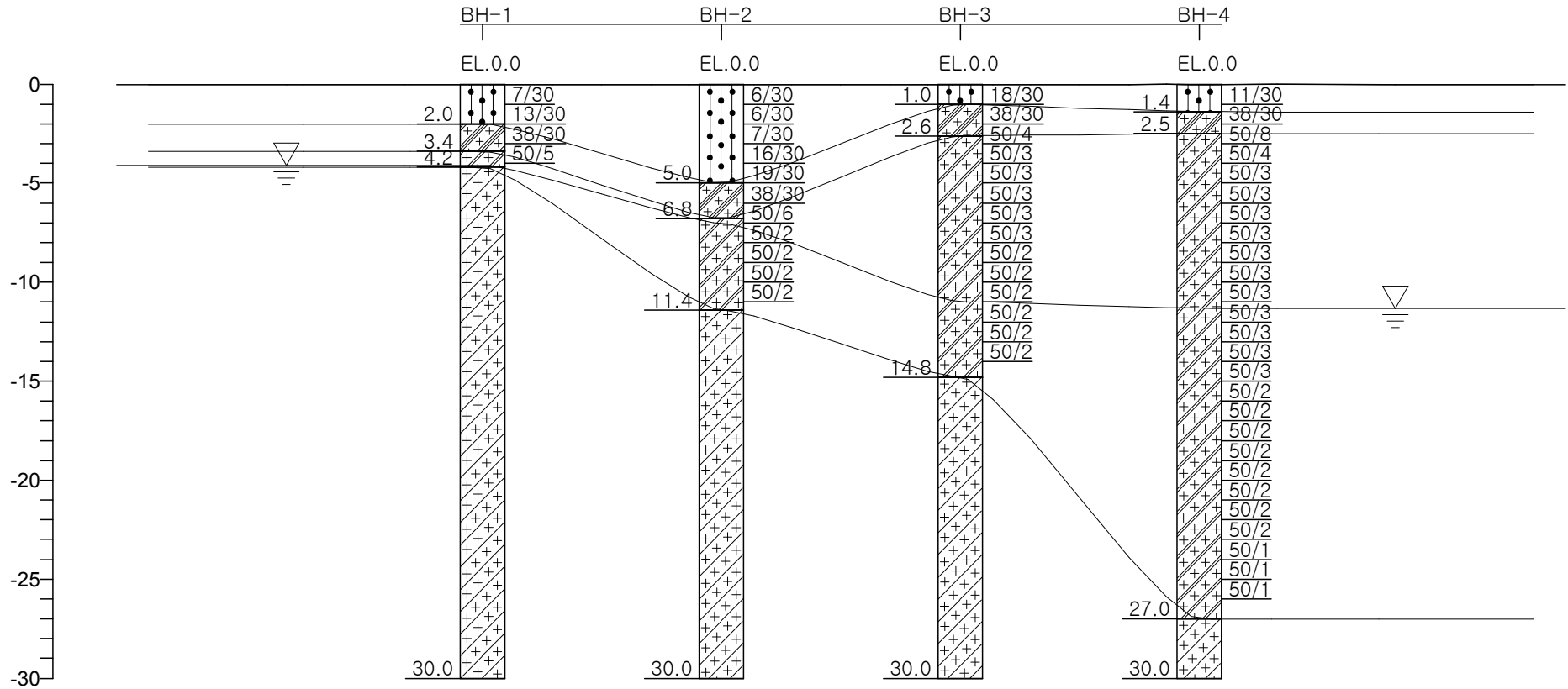


1. 시추조사위치도

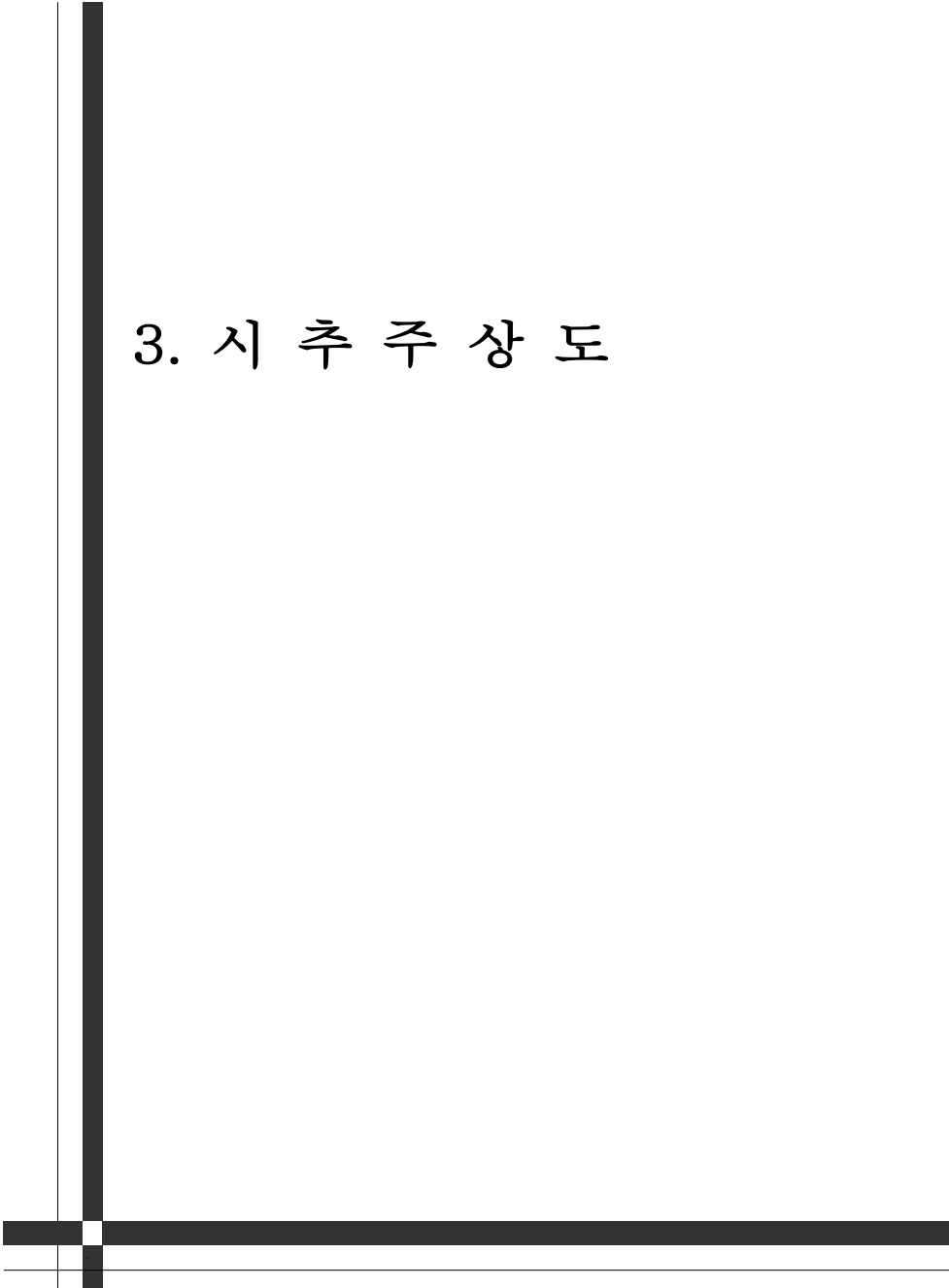


2. 지층 단면도

FREE SCALE



부 레		매립층		풍화암
		연암층		풍화토



3. 시 추 주 상 도

시 추 주 상 도

DRILL LOG

공사명 PROJECT	대동세무고등학교 내진성능평가	공 번 HOLE No.	BH-1	(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS ○ 자연시료 U.D. SAMPLE ⊙ 표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE ● 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
위치 LOCATION	서울특별시 종로구 계동 35번지 일원	지 반 표 고 ELEVATION	현지반고 m	
날 짜 DATE	2019년11월23일	지 하 수 위 GROUND WATER	(GL-) 4.1 m	
		감 독 자 INSPECTOR	C Y W	

표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층 후 Thick- ness m	주상도 Column Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 일 분 류 U S C S	시 료 Sample		표 준 관 입 시 험 Standard Penetration Test						
								시료 번호	채취 방법 채취 심도	N치 (회/cm)	N blow					
-2.0		2.0	2.0	●●●●●●●●	매립층	-매립층- 심도 : 0.0m ~ 2.0m 실트 섞인 모래 자갈 함유 느슨(Loose) ~ 보통(Medium)		S-1 ⊙	1.0	7/30	○					
-3.4		3.4	1.4	+ + + + +	풍화토	-풍화토- 상대밀도 상습윤상태 회갈색		S-2 ⊙	2.0	13/30	○					
-4.2		4.2	0.8	+ + + + +	풍화암	-풍화암- 심도 : 2.0m ~ 3.4m 실트 섞인 모래 보통(Medium) ~ 조밀(Dense)		S-3 ⊙	3.0	38/30	○					
	5			+ + + + +		상대밀도 상습윤상태 회갈색			●	5.0						
				+ + + + +		-풍화암- 심도 : 3.4m ~ 4.2m 굴진시 세편상 양편으로 분해 매우 조밀(Very Dense)			●	6.0						
				+ + + + +		상대밀도 상습윤상태 회갈색			●	7.0						
				+ + + + +		-연암-			●	8.0						
	10			+ + + + +		심도 : 4.2m ~ 30.0m 기반암의 연암층 완전풍화 ~ 보통풍화			●	9.0						
				+ + + + +		전반적으로 파쇄 및 절리 발달 회갈색			●	10.0						
				+ + + + +					●	11.0						
				+ + + + +	연암층				●	12.0						
				+ + + + +					●	13.0						
				+ + + + +					●	14.0						
				+ + + + +					●	15.0						
	15			+ + + + +					●	16.0						
				+ + + + +					●	17.0						
				+ + + + +					●	18.0						
				+ + + + +					●	19.0						
				+ + + + +					●							

시 추 주 상 도

DRILL LOG

공사명 PROJECT	대동세무고등학교 내진성능평가	공 번 HOLE No.	BH-3	(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS ○ 자연시료 U.D. SAMPLE ⊙ 표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE ● 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
위치 LOCATION	서울특별시 종로구 계동 35번 지 일원	지 반 표 고 ELEVATION	현지반고 m	
날 짜 DATE	2019년11월23일	지 하 수 위 GROUND WATER	(GL-) 11.0 m	
		감 독 자 INSPECTOR	C Y W	

표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층 후 Thick- ness m	주상도 Column Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 일 분 류 U S C S	시 료 Sample		표 준 관 입 시 험 Standard Penetration Test					
								시료 번호	채취 방법 채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
-1.0		1.0	1.0	●●●●	매립층	-매립층- 심도 : 0.0m ~ 1.0m 실트 섞인 모래 자갈 함유 (Medium)		S-1	⊙ 1.0	18/30					
-2.6		2.6	1.6	++++	풍화토	-풍화토- 심도 : 1.0m ~ 2.6m 실트 섞인 모래 모통 (Medium) ~ 조밀 (Dense) 상대밀도 상습윤상태 회갈색		S-2	⊙ 2.0	38/30					
				++++	풍화암	-풍화암- 심도 : 2.6m ~ 14.8m 굴진시 세편상 암편으로 분해 매우 조밀 (Very Dense) 상대밀도 상습윤상태 회갈색		S-3	⊙ 3.0	50/ 4					
				++++				S-4	⊙ 4.0	50/ 3					
				++++				S-5	⊙ 5.0	50/ 3					
				++++				S-6	⊙ 6.0	50/ 3					
				++++				S-7	⊙ 7.0	50/ 3					
				++++				S-8	⊙ 8.0	50/ 3					
				++++				S-9	⊙ 9.0	50/ 2					
				++++				S-10	⊙ 10.0	50/ 2					
				++++				S-11	⊙ 11.0	50/ 2					
				++++				S-12	⊙ 12.0	50/ 2					
				++++				S-13	⊙ 13.0	50/ 2					
				++++				S-14	⊙ 14.0	50/ 2					
-14.8		14.8	12.2	++++	-연암-	심도 : 14.8m ~ 30.0m 기반암의 연암층 완전풍화 ~ 보통풍화 전반적으로 파쇄 및 절리 발달 회갈색			● 15.0						
				++++					● 16.0						
				++++					● 17.0						
				++++					● 18.0						
				++++					● 19.0						

시 추 주 상 도

DRILL LOG

공사명 PROJECT	대동세무고등학교 내진성능평가	공번 HOLE No.	BH-4	(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS ○ 자연시료 U.D. SAMPLE ⊙ 표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE ● 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
위치 LOCATION	서울특별시 종로구 계동 35번지 일원	지반표고 ELEVATION	현지반고 m	
날짜 DATE	2019년11월23일	지하수위 GROUND WATER	(GL-) 11.3 m	
		감독자 INSPECTOR	C Y W	

표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층후 Thick- ness m	주상도 Column Section	지층명	지층설명 Description	통 일 분 류 U S C S	시료 Sample			표준관입시험 Standard Penetration Test					
								시료 번호	채취 방법	채취 심도 (회/cm)	N치	N blow				
											10	20	30	40	50	
-1.4		1.4	1.4	●●●●●	매립층	-매립층- 심도 : 0.0m ~ 1.4m 실트섞인 모래 자갈 함유		S-1	⊙	1.0	11/30					
-2.5		2.5	1.1	+++++	풍화토	사보 중(Medium) 상대밀도 상습윤상태 황갈색		S-2	⊙	2.0	38/30					
				+++++		-풍화토-		S-3	⊙	3.0	50/ 8					
				+++++		심도 : 1.4m ~ 2.5m 실트섞인 모래 조밀(Dense) 상대밀도 상습윤상태 황갈색		S-4	⊙	4.0	50/ 4					
				+++++		-풍화암-		S-5	⊙	5.0	50/ 3					
				+++++		심도 : 2.5m ~ 27.0m 굴진시 세편상 양편으로 분해 매우 조밀(Very Dense) 상대밀도 상습윤상태 황갈색		S-6	⊙	6.0	50/ 3					
				+++++				S-7	⊙	7.0	50/ 3					
				+++++				S-8	⊙	8.0	50/ 3					
				+++++				S-9	⊙	9.0	50/ 3					
				+++++				S-10	⊙	10.0	50/ 3					
				+++++				S-11	⊙	11.0	50/ 3					
				+++++				S-12	⊙	12.0	50/ 3					
				+++++				S-13	⊙	13.0	50/ 3					
				+++++				S-14	⊙	14.0	50/ 3					
				+++++				S-15	⊙	15.0	50/ 3					
				+++++				S-16	⊙	16.0	50/ 2					
				+++++				S-17	⊙	17.0	50/ 2					
				+++++				S-18	⊙	18.0	50/ 2					
				+++++				S-19	⊙	19.0	50/ 2					

시 추 주 상 도

DRILL LOG

공사명 PROJECT	대동세무고등학교 내진성능평가	공 번 HOLE No.	BH-4	(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS ○ 자연시료 U.D. SAMPLE ⊙ 표준관입시험에 의한시료 S.P.T. SAMPLE ● 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
위치 LOCATION	서울특별시 종로구 계동 35번지 일원	지 반 표 고 ELEVATION	현지반고 m	
날 짜 DATE	2019년11월23일	지 하 수 위 GROUND WATER	(GL-) 11.3 m	
		감 독 자 INSPECTOR	C Y W	

표고 Elev. m	Scale m	심도 Depth m	층 후 Thick- ness m	주상도 Column Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 일 분 류 U S C S	시 료 Sample			표 준 관 입 시 험 Standard Penetration Test					
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50	
-27.0	25	27.0	24.5	+++++				S-20		20.0	50/ 2					
				+++++				S-21	⊙	21.0	50/ 2					
				+++++				S-22	⊙	22.0	50/ 2					
				+++++				S-23	⊙	23.0	50/ 2					
				+++++				S-24	⊙	24.0	50/ 1					
				+++++				S-25	⊙	25.0	50/ 1					
				+++++				S-26	⊙	26.0	50/ 1					
				+++++		-연암-			●	27.0						
-30.0	30	30.0	3.0	+++++	연암층	심도 : 27.0m ~ 30.0m 기반암의 연암층 완전풍화 ~ 보통풍화 전반적으로 파쇄 및 절리 발달 회갈색			●	28.0						
				+++++					●	29.0						
				+++++		심도 30.0m에서 시추종료			●	30.0						
	35			+++++												

4. 하향식 탄성파 탐사

대 동 세 무 고 등 학 교 내 진 성 능 평 가
하향식 탄성파탐사 보고서

2019. 12.

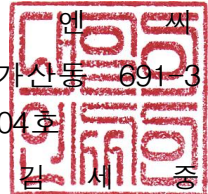
제 출 문

귀사에서 의뢰하신 “대동세무고등학교 내진성능평가” 중 하향식탄성파탐사를 성실히 수행하고 그 성과를 정리, 분석하여 본 보고서로 작성 제출합니다.

본 보고서가 귀사의 업무수행에 많은 도움이 되기를 바라며, 본 탐사작업기간 중 많은 협조를 하여주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

2019년 12월

대 일 이 인 씨
서울시 금천구 가산동 691-3
더 루벤스 벨리 504호
대 표 자 김 세 중



목 차

제 1 장 조사개요

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

제 2 장 조사방법

2.1 하향식 탄성파탐사	2
2.1.1 개요	2
2.1.2 탐사원리 및 방법	3
2.1.3 해석 방법	4
2.1.4 토층에서의 탄성파속도	6
2.1.5 암반에서의 탄성파속도	7
2.1.6 S파속도의 경험적 추정방법	7

제 3 장 조사결과

3.1 조사결과	10
3.1.1 적용단위중량 산정	10
3.1.2 시추공별 조사결과	10
3.1.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출	17
3.1.4 전단파속도에 의한 지반분류(내진설계기준 KDS 17 10 00. 2019년 제정 기준) ..	21

부 록

하향식탄성파탐사 Sheet

사진대지

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사개요

1.1.1 조사목적

1.1.2 조사범위

1.1.3 조사기간

1.1.4 조사장비

제 1 장 조 사 개 요

1.1 조사 목적

본 조사는 “대동세무고등학교 내진성능평가” 중 앞서 수행된 시추공을 이용, 하향식탄성과 탐사(DHT)을 실시하여 지반의 탄성파속도를 파악하고, 전단파속도를 통해 지반의 동적 거동 해석에 필수적인 동적물성치를 산정하여 내진설계에 필요한 기초자료를 제공함으로써 합리적이고 경제적인 설계·시공이 되도록 하는데 목적이 있다.

1.2 조사 범위

본 조사에서 수행된 탐사수량은 <표 1-1>과 같다.

구 분	공 번	시추심도(m)	시험심도(m)	측정간격(m)	비 고
DHT	BH-1	30.0m	0.0~30.0m	1.0m	
	BH-2	30.0m	0.0~30.0m	1.0m	
	BH-3	30.0m	0.0~30.0m	1.0m	
	BH-4	30.0m	0.0~30.0m	1.0m	


<표 1-1> 조사 범위

1.3 조사 기간

- 현장 조사 및 시험 : 2019. 11.
- 성과분석 및 보고서 작성 : 2019. 12.

1.4 조사 장비

본 조사에 사용된 주요장비는 <표 1-2>와 같다.

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

<표 1-2> 조사장비

제2장 조사원리 및 방법

2.1 하향식 탄성파탐사

2.1.1 개요

2.1.2 탐사원리 및 방법

2.1.3 해석방법

2.1.4 토층에서의 탄성파속도

2.1.5 암반에서의 탄성파속도

2.1.6 S파속도의 경험적 추정방법

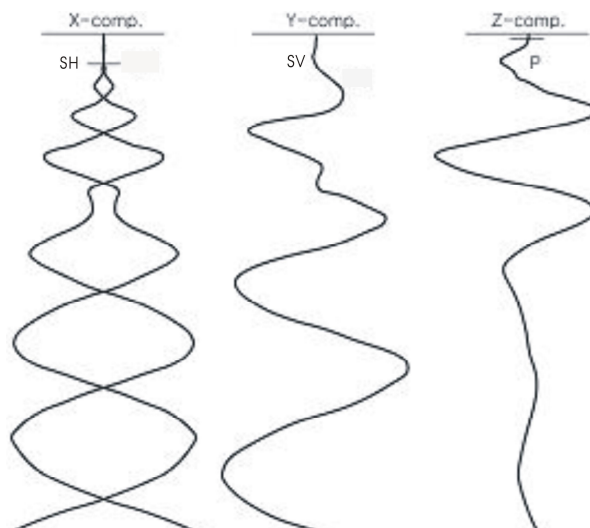
제 2 장 조사 원리 및 방법

2.1 하향식 탄성파탐사

2.1.1 개요

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

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



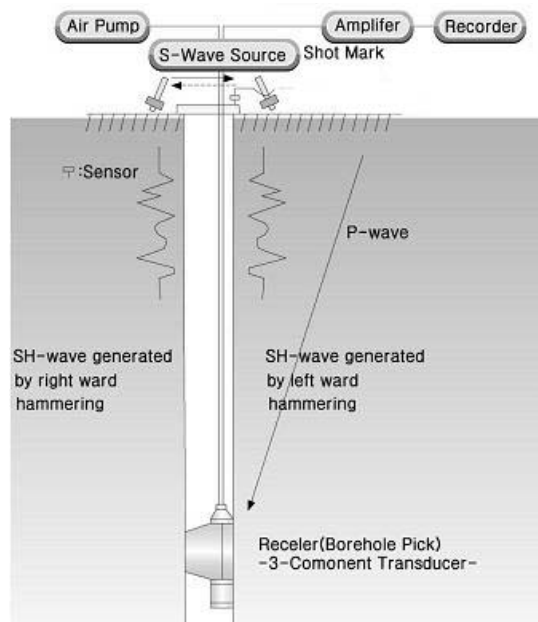
<그림 2-1> 수진성분별 초동극성변화

탄성파 P파와 S파의 속도 검층이란 시추공 축을 따라, 탄성파 전파속도를 심도에 따라 얻

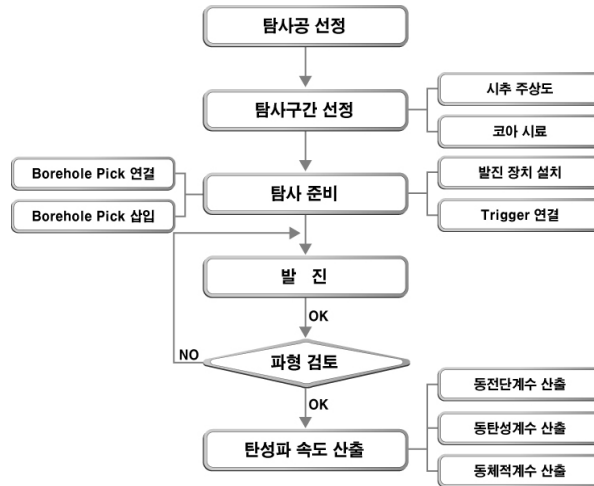
속적으로 측정하는 것으로 VSP(Vertical Seismic Profile) 탐사라고 한다. 이를 방법에 따라 분류하면 i) 시추공 수진-지표 진원(VSP), ii) 시추공 진원-지표 수진(Inverse VSP), iii) 시추공 진원-시추공 수진(Dipole sonic Imager) 방식 등이 있다. 여기서 i)의 방식은 다운홀 검층(down-hole logging), ii)는 업홀 검층(up-hole logging)이라고도 부른다. 본 조사에서는 i)의 방식으로 시추공 내 3성분 수진기(3-component borehole geophone)를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

2.1.2 탐사 원리 및 방법

하향식 탄성과 탐사의 가장 중요한 목적은 지반의 S파 속도를 측정하는 것이다. S파의 발생원으로 5kg의 sledge해머를 사용하였다. S파의 특성상 주로 낮은 주파수로 발생되고 음원에서 발생하는 주파수는 음원의 면적에 반비례하므로 1m×1m×25cm의 넓은 각목을 plate로 사용하여 약 30Hz의 중심주파수를 갖는 S파를 발생시켰다. 또한 지표와의 coupling을 향상시키기 위해 Plate 상부에 약 30kg의 weight를 설치하여 Plate 자체의 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 탄성과 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 좌·우 타격법으로 반대의 위상을 갖는 SH파를 중첩시켜 역전되는 시점을 도달시간으로 판독하였다.



<그림 2-2> 하향식탄성과 탐사 모식도



<그림 2-3> 하향식탄성파 탐사 흐름도

2.1.3 해석방법

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

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

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

여기서 λ 및 G 는 Lamé'상수로 알려져 있으며, 특히 G 는 전단변형(shearing strain)에 저항하는 척도로서 전단계수(shear modulus)또는 강성률(modulus of rigidity)라 한다. 이러한 탄성상수들은 양의 값을 가지므로 P파의 속도는 항상 S파의 속도보다 빠르다. 또한 S파와 P파의 속도의 비는 포아송비(Poisson's ratio, ν)로 표현되는 식2.3과 같은 관계를 가지므로 포아송비가 0.5에서부터 0으로 감소함에 따라 V_s/V_p 는 0에서부터 그의 최대값 $1/\sqrt{2}$ 으로 증가하게 된다. 그러므로 S파의 속도는 항상 0에서부터 P파 속도의 70%범위 내에 놓이게 된다. 유체에서는 G 는 0이므로 S파의 속도는 0이 되고 따라서 S파는 유체에서는 전파되지 않는다.

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

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

P파 및 S파 도달시간의 관독이후의 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 탄성과탐사에서 측정된 P파 및 S파 속도 값들을 이용하여 다음 식들에 의해 계산하게 된다.

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

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

상기 산정식을 적용하기 위해서는 탐사 지층에 대한 P파 속도(Vp) 및 S파 속도(Vs)와 함께 기본 물성치로써 단위중량(γ)이 필요하며, 이에 대해 일반적인 토질 및 조성 상태별 단위중량(γ)이 결정되어야 한다. 다음 <표 2-1>과 <표 2-2>는 문헌에 제시된 암석 및 흙의 단위중량을 나타낸 것이다.

암 석		흙		
종 류	단위중량 (tf/m ³)	종 류	상 태	단위중량 (tf/m ³)
화강암	2.63-2.67	자갈	밀실한 것, 입도가 좋은것	2.0
섬록암	3.02-3.03		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	1.8
반려암	3.02-3.05	모래	밀실한 것	2.1
휘록암	2.99-3.04	섞인 자갈	밀실치 않은 것	1.9
안산암	2.37	모래	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	점토 및 실트	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 2-1> 일반적인 암석 및 흙의 밀도

지층명	단위중량 (tf/m^3)	점착력(t/m^2)	내부마찰각($^\circ$)	변형계수 ($\times 10^3 \text{kgf}/\text{cm}^2$)	포와송비
풍화토	1.7~2.0	0.0~10.0	25~30	0.2~0.4	0.5
풍화암	2.0~2.2	10.0~30.0	30~35	1.0~2.0	0.3~0.4
연암	2.3~2.5	30.0~60.0	30~40	2.0~4.0	0.25~0.3
보통암	2.4~2.6	60.0~150.0	35~40	4.0~10.0	0.25
경암	2.5~2.7	150.0~200.0	35~45	10.0~40.0	0.2
극경암	2.6~2.7	200.0~500.0	40~45	40.0~80.0	0.2

< 표 2-2 > 서울지역의 지반별 지반정수의 적용범위(서울시, 1996)

2.1.4 토층에서의 탄성과 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.

2.1.5 암반에서의 탄성과 속도

해 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 2-4>과 같다.

제안자	토 질 종류	
	점성토	사질토
Imai, Yoshimura(1970)	• $V_s = 76 \cdot N^{0.33}$	
Ota, Goto(1978)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D^{0.2} \cdot E \cdot F$ D = 심도(m) E = 1.0(충적세) = 1.3(홍적세) F = 1.0 	<ul style="list-style-type: none"> • $V_s = 69 \cdot N^{0.17} \cdot D \cdot E \cdot F$ 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)	• $V_s = 97.0 \cdot N^{0.314}$	
Okamoto(1989)	• $V_s = 125 \cdot N^{0.3}$	
Oba, Toriumi(1990)	• $V_s = 84 \cdot N^{0.31}$	
Imai(1997)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_s = a \cdot N^b$ a = 102, b = 0.29(충적점토) a = 114, b = 0.29(홍적점토) 	<ul style="list-style-type: none"> • $V_s = a \cdot N^b$ a = 81, b = 0.33(충적사) a = 97, b = 0.32(홍적사)

<표 2-4> N치를 이용한 지반 토질별 S파 속도(V_s) 경험식

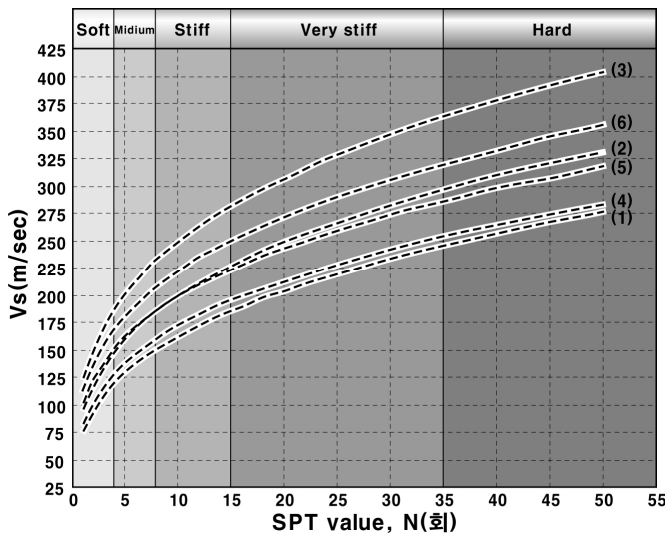
통상의 토질 조성상태를 구분하는 표준관입시험의 최대 경계 값이 되는 N치 50회를 기준으로 50회 이하의 토질 지반에 대한 토질 및 조성상태별 일반적인 전단파 속도(V_s) 범위를 이러한 경험적 추정식에 의해 살펴보면 다음과 같다.

점성토 지반의 전단파 속도는 연약 지층(soft, $N < 4$)의 경우 125~190m/sec, 중간 연약

(medium soft, N=4~8) 지층의 경우 125~230m/sec, 견고(stiff, N=8~15)한 지층의 경우 150~280m/sec, 매우 견고(very stiff, N=15~30)한 지층의 경우 180~350m/sec, 단단한(hard, N>30) 지층의 경우 최소한 230~350m/sec 이상의 값을 보이고 있다.

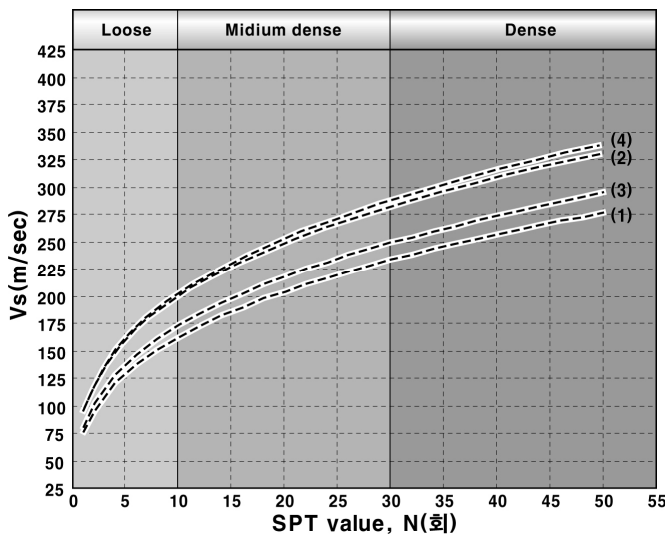
사질토 지반의 전단파 속도는 느슨한(loose, N<10) 지층의 경우 160~200m/sec, 중간 조밀한(medium dense, N=10~30) 지층의 경우 160~290m/sec, 조밀한(dense, N=30-50) 지층의 경우 230~340m/sec, 매우 조밀한(very dense, N>50) 조성상태를 갖는 지층의 경우는 최소한 275~340m/sec 이상의 속도 값을 갖는 것으로 나타나고 있다.

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(층적점토)
- (6) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$
a=114, b=0.29(층적점토)

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(층적사)
- (4) Imai(1997) : $V_s = a \cdot N^b$
a=114, b=0.29(층적사)

제3장 조사결과

3.1 조사결과

- 3.1.1 적용단위중량 산정
- 3.1.2 시추공별 조사결과
- 3.1.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출
- 3.1.4 전단파속도에 의한 지반분류

제 3 장 조 사 결 과

3.1 조사결과

3.1.1 적용 단위중량 산정

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

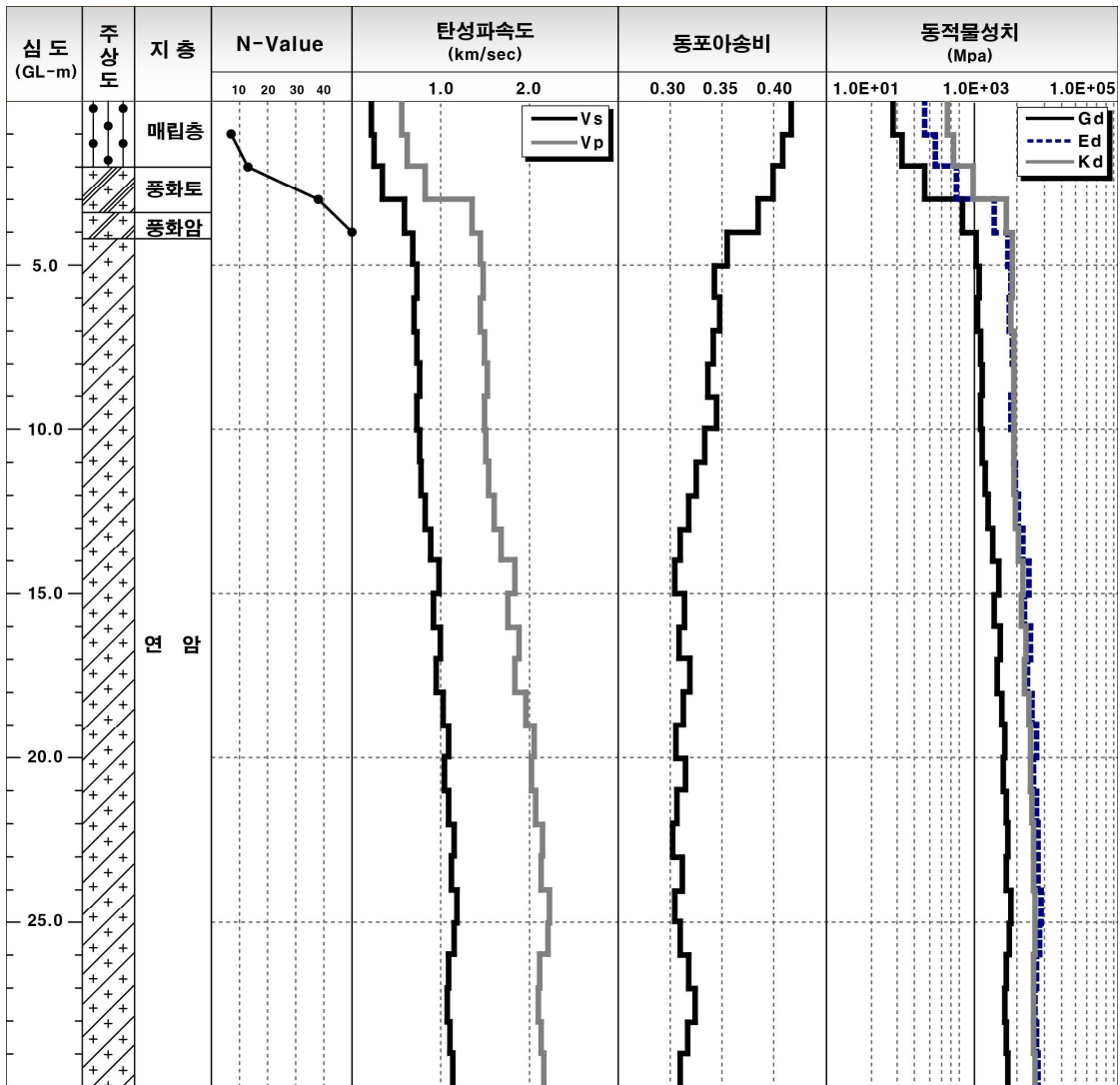
지 층	적용 단위중량 (g/cm ³)	비 고
매립층	1.8	
풍화토	1.9	
풍화암	2.1	
연암	2.4	

3.1.2 시추공별 조사결과

가. BH-1

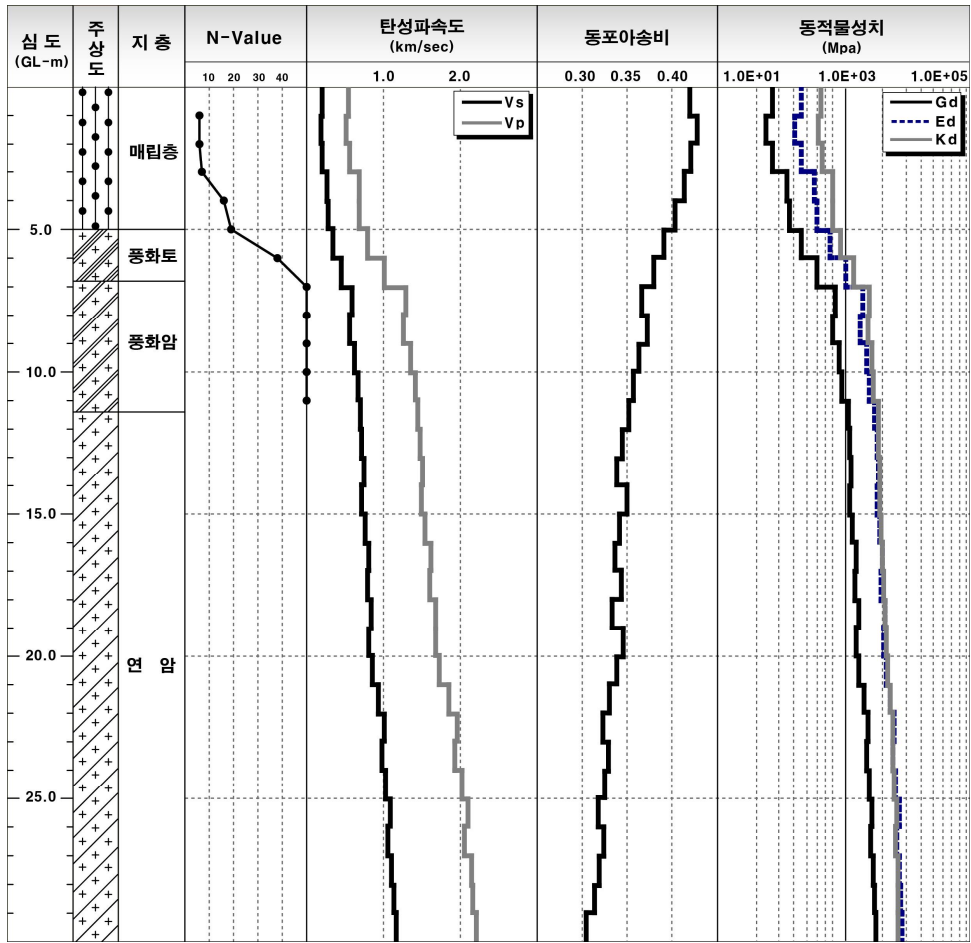
지층	심 도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	0.0~1.0	557	211	0.416	8.02E+01	4.52E+02	2.27E+02
	1.0~2.0	626	247	0.408	1.10E+02	5.59E+02	3.10E+02
풍화토	2.0~3.0	831	341	0.399	2.21E+02	1.02E+03	6.18E+02
풍화암	3.0~4.0	1,355	587	0.384	7.24E+02	2.89E+03	2.00E+03
연암	4.0~5.0	1,447	688	0.354	1.14E+03	3.51E+03	3.07E+03
	5.0~6.0	1,484	726	0.342	1.27E+03	3.60E+03	3.40E+03
	6.0~7.0	1,443	698	0.347	1.17E+03	3.44E+03	3.15E+03
	7.0~8.0	1,497	735	0.341	1.30E+03	3.65E+03	3.48E+03
	8.0~9.0	1,524	758	0.336	1.38E+03	3.74E+03	3.68E+03
	9.0~10.0	1,499	731	0.344	1.28E+03	3.68E+03	3.45E+03
	10.0~11.0	1,508	755	0.333	1.37E+03	3.63E+03	3.65E+03
	11.0~12.0	1,536	783	0.324	1.47E+03	3.70E+03	3.90E+03
	12.0~13.0	1,595	825	0.317	1.63E+03	3.93E+03	4.30E+03
	13.0~14.0	1,681	883	0.310	1.87E+03	4.29E+03	4.90E+03
	14.0~15.0	1,835	973	0.305	2.27E+03	5.05E+03	5.93E+03
15.0~16.0	1,754	915	0.313	2.01E+03	4.71E+03	5.28E+03	
16.0~17.0	1,887	993	0.308	2.37E+03	5.39E+03	6.19E+03	

지층	심도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
연암	17.0~18.0	1,835	947	0.318	2.15E+03	5.21E+03	5.68E+03
	18.0~19.0	1,965	1,026	0.313	2.52E+03	5.90E+03	6.63E+03
	19.0~20.0	2,058	1,088	0.306	2.84E+03	6.37E+03	7.42E+03
	20.0~21.0	2,016	1,048	0.315	2.64E+03	6.24E+03	6.93E+03
	21.0~22.0	2,075	1,095	0.307	2.88E+03	6.49E+03	7.53E+03
	22.0~23.0	2,146	1,143	0.302	3.13E+03	6.87E+03	8.16E+03
	23.0~24.0	2,132	1,116	0.311	2.99E+03	6.93E+03	7.84E+03
	24.0~25.0	2,217	1,175	0.305	3.31E+03	7.38E+03	8.65E+03
	25.0~26.0	2,203	1,157	0.309	3.22E+03	7.36E+03	8.42E+03
	26.0~27.0	2,119	1,094	0.318	2.87E+03	6.94E+03	7.57E+03
	27.0~28.0	2,105	1,074	0.324	2.77E+03	6.95E+03	7.33E+03
	28.0~29.0	2,132	1,105	0.316	2.93E+03	7.00E+03	7.72E+03
29.0~30.0	2,165	1,138	0.309	3.11E+03	7.10E+03	8.13E+03	



나. BH-2

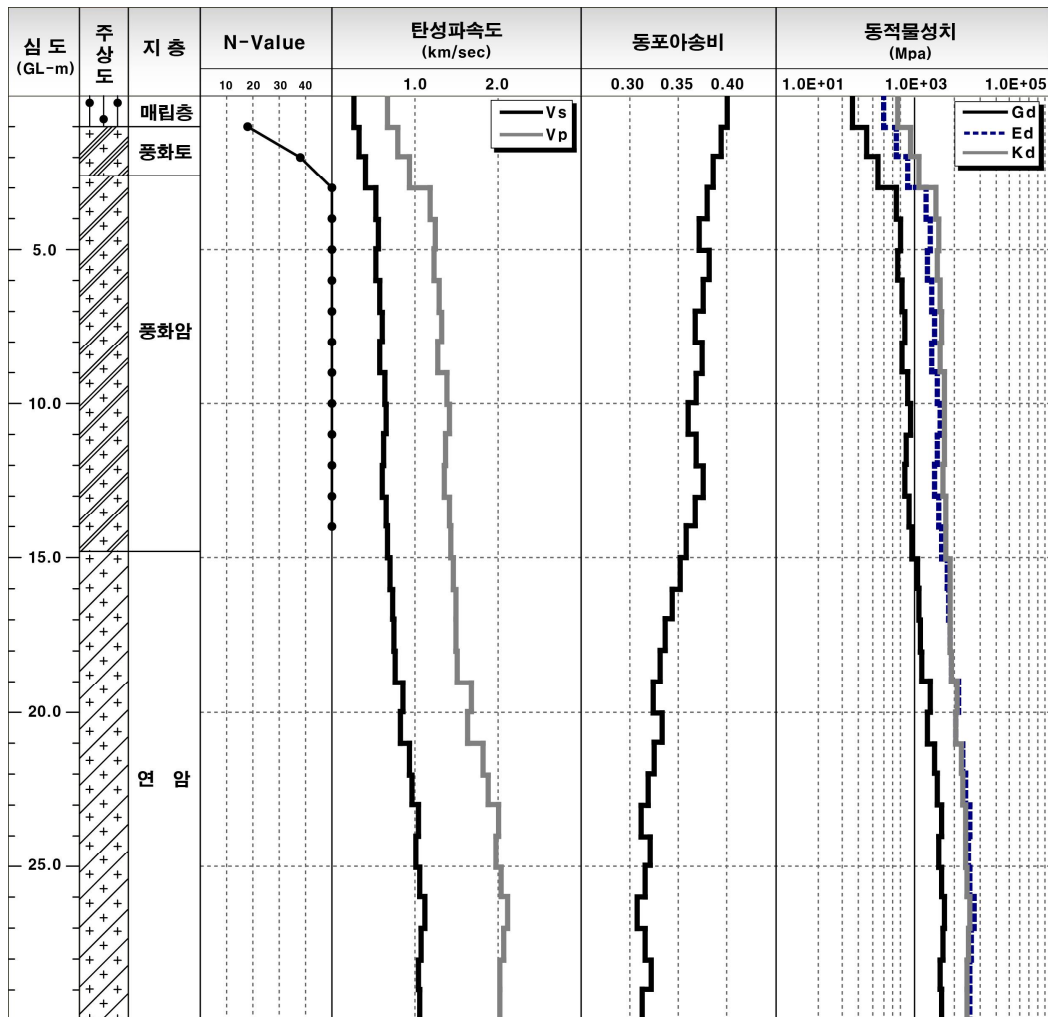
지층	심도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	0.0~1.0	546	191	0.430	6.57E+01	4.49E+02	1.88E+02
	1.0~2.0	587	214	0.423	8.22E+01	5.10E+02	2.34E+02
	2.0~3.0	550	193	0.430	6.70E+01	4.55E+02	1.92E+02
	3.0~4.0	561	205	0.423	7.58E+01	4.65E+02	2.16E+02
	4.0~5.0	580	219	0.416	8.66E+01	4.89E+02	2.45E+02
풍화토	5.0~6.0	589	233	0.407	9.81E+01	4.93E+02	2.76E+02
	6.0~7.0	607	248	0.400	1.10E+02	5.17E+02	3.09E+02
풍화암	7.0~8.0	561	220	0.409	8.73E+01	4.50E+02	2.46E+02
	8.0~9.0	606	246	0.402	1.09E+02	5.16E+02	3.05E+02
	9.0~10.0	590	233	0.407	9.80E+01	4.97E+02	2.76E+02
	10.0~11.0	565	216	0.415	8.36E+01	4.63E+02	2.37E+02
연암	11.0~12.0	577	226	0.409	9.18E+01	4.76E+02	2.59E+02
	12.0~13.0	592	243	0.399	1.06E+02	4.90E+02	2.97E+02
	13.0~14.0	642	269	0.394	1.37E+02	5.99E+02	3.83E+02
	14.0~15.0	666	286	0.387	1.55E+02	6.36E+02	4.31E+02
	15.0~16.0	737	324	0.380	1.99E+02	7.67E+02	5.50E+02
	16.0~17.0	1,087	488	0.374	4.53E+02	1.64E+03	1.24E+03
	17.0~18.0	1,147	525	0.367	5.79E+02	1.99E+03	1.58E+03
	18.0~19.0	1,229	573	0.361	6.90E+02	2.25E+03	1.88E+03
	19.0~20.0	1,209	548	0.371	6.30E+02	2.23E+03	1.73E+03
	20.0~21.0	1,185	521	0.380	5.70E+02	2.19E+03	1.57E+03
	21.0~22.0	1,285	582	0.371	7.11E+02	2.52E+03	1.95E+03
	22.0~23.0	1,368	635	0.363	8.47E+02	2.80E+03	2.31E+03
	23.0~24.0	1,355	607	0.374	7.74E+02	2.82E+03	2.13E+03
	24.0~25.0	1,377	633	0.366	8.41E+02	2.86E+03	2.30E+03
	25.0~26.0	1,412	665	0.358	9.28E+02	2.95E+03	2.52E+03
	26.0~27.0	1,511	729	0.348	1.27E+03	3.78E+03	3.44E+03
27.0~28.0	1,529	748	0.343	1.34E+03	3.82E+03	3.61E+03	
28.0~29.0	1,603	806	0.330	1.56E+03	4.08E+03	4.15E+03	
29.0~30.0	1,698	876	0.319	1.84E+03	4.46E+03	4.85E+03	



다. BH-3

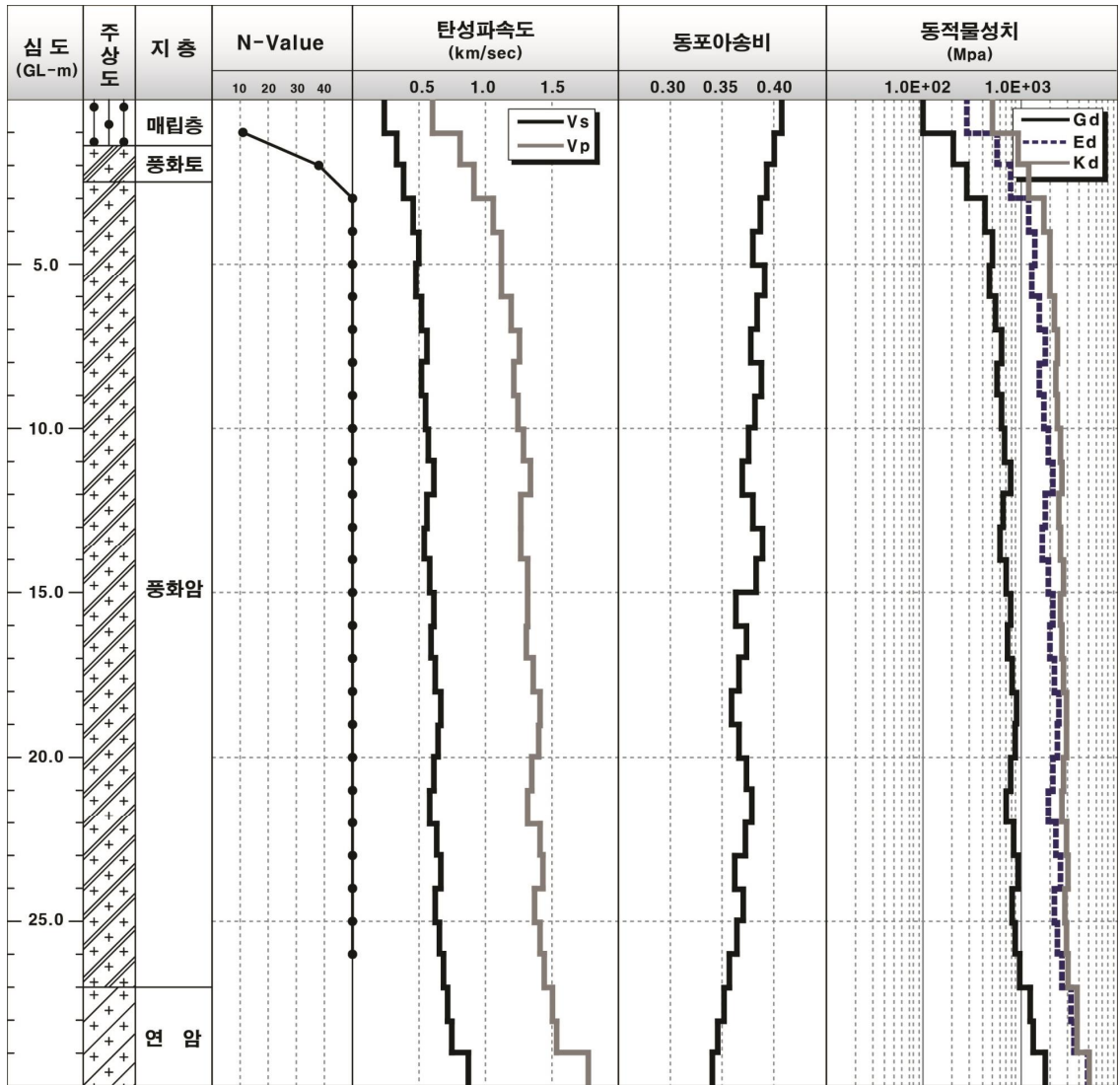
지층	심도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	0.0~1.0	662	271	0.399	1.32E+02	6.12E+02	3.70E+02
풍화토	1.0~2.0	796	334	0.393	2.12E+02	9.22E+02	5.91E+02
	2.0~3.0	932	402	0.386	3.07E+02	1.24E+03	8.51E+02
풍화암	3.0~4.0	1,188	524	0.379	5.77E+02	2.19E+03	1.59E+03
	4.0~5.0	1,245	563	0.372	6.66E+02	2.37E+03	1.83E+03
	5.0~6.0	1,221	535	0.381	6.01E+02	2.33E+03	1.66E+03
	6.0~7.0	1,294	579	0.375	7.04E+02	2.58E+03	1.94E+03
	7.0~8.0	1,316	603	0.367	7.63E+02	2.62E+03	2.09E+03
	8.0~9.0	1,274	571	0.374	6.85E+02	2.49E+03	1.88E+03
	9.0~10.0	1,385	633	0.368	8.41E+02	2.91E+03	2.30E+03
	10.0~11.0	1,408	660	0.359	9.15E+02	2.95E+03	2.49E+03
	11.0~12.0	1,374	627	0.368	8.25E+02	2.86E+03	2.26E+03
	12.0~13.0	1,351	605	0.375	7.69E+02	2.81E+03	2.11E+03
	13.0~14.0	1,414	649	0.367	8.84E+02	3.02E+03	2.42E+03
	14.0~15.0	1,433	675	0.357	9.57E+02	3.03E+03	2.60E+03

지층	심도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
연암	15.0~16.0	1,468	703	0.351	1.19E+03	3.59E+03	3.20E+03
	16.0~17.0	1,486	725	0.344	1.26E+03	3.62E+03	3.39E+03
	17.0~18.0	1,495	742	0.337	1.32E+03	3.60E+03	3.53E+03
	18.0~19.0	1,511	759	0.331	1.38E+03	3.63E+03	3.68E+03
	19.0~20.0	1,686	861	0.324	1.78E+03	4.46E+03	4.71E+03
	20.0~21.0	1,639	820	0.333	1.62E+03	4.30E+03	4.31E+03
	21.0~22.0	1,818	925	0.325	2.05E+03	5.20E+03	5.44E+03
	22.0~23.0	1,880	969	0.319	2.25E+03	5.48E+03	5.94E+03
	23.0~24.0	2,004	1,048	0.312	2.64E+03	6.12E+03	6.92E+03
	24.0~25.0	1,972	1,012	0.321	2.46E+03	6.06E+03	6.50E+03
	25.0~26.0	2,033	1,056	0.315	2.68E+03	6.35E+03	7.04E+03
	26.0~27.0	2,114	1,115	0.307	2.98E+03	6.75E+03	7.80E+03
	27.0~28.0	2,066	1,073	0.315	2.76E+03	6.56E+03	7.27E+03
	28.0~29.0	2,020	1,036	0.321	2.58E+03	6.36E+03	6.81E+03
29.0~30.0	2,028	1,058	0.313	2.69E+03	6.29E+03	7.06E+03	



라. BH-4

지층	심도 (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동적 포아송비	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	0.0~1.0	596	236	0.407	1.00E+02	5.06E+02	2.82E+02
풍화토	1.0~2.0	804	329	0.399	2.06E+02	9.54E+02	5.75E+02
	2.0~3.0	915	384	0.393	2.80E+02	1.22E+03	7.81E+02
풍화암	3.0~4.0	1,053	453	0.386	4.31E+02	1.75E+03	1.20E+03
	4.0~5.0	1,124	495	0.380	5.14E+02	1.97E+03	1.42E+03
	5.0~6.0	1,117	473	0.391	4.70E+02	2.00E+03	1.31E+03
	6.0~7.0	1,188	516	0.384	5.59E+02	2.22E+03	1.55E+03
	7.0~8.0	1,252	555	0.378	6.47E+02	2.43E+03	1.78E+03
	8.0~9.0	1,214	521	0.387	5.70E+02	2.33E+03	1.58E+03
	9.0~10.0	1,247	546	0.381	6.26E+02	2.43E+03	1.73E+03
	10.0~11.0	1,284	573	0.376	6.90E+02	2.54E+03	1.90E+03
	11.0~12.0	1,335	608	0.369	7.77E+02	2.71E+03	2.13E+03
	12.0~13.0	1,264	557	0.380	6.51E+02	2.49E+03	1.80E+03
	13.0~14.0	1,263	539	0.389	6.10E+02	2.53E+03	1.69E+03
	14.0~15.0	1,318	576	0.382	6.97E+02	2.72E+03	1.93E+03
	15.0~16.0	1,319	612	0.363	7.87E+02	2.61E+03	2.14E+03
	16.0~17.0	1,307	588	0.373	7.26E+02	2.62E+03	1.99E+03
	17.0~18.0	1,359	625	0.366	8.20E+02	2.78E+03	2.24E+03
	18.0~19.0	1,408	661	0.359	9.17E+02	2.94E+03	2.49E+03
	19.0~20.0	1,395	641	0.366	8.63E+02	2.93E+03	2.36E+03
	20.0~21.0	1,351	608	0.373	7.76E+02	2.80E+03	2.13E+03
21.0~22.0	1,316	582	0.378	7.11E+02	2.69E+03	1.96E+03	
22.0~23.0	1,404	635	0.372	8.47E+02	3.01E+03	2.32E+03	
23.0~24.0	1,429	665	0.362	9.30E+02	3.05E+03	2.53E+03	
24.0~25.0	1,368	621	0.370	8.09E+02	2.85E+03	2.22E+03	
25.0~26.0	1,404	650	0.364	8.88E+02	2.96E+03	2.42E+03	
26.0~27.0	1,437	679	0.356	9.68E+02	3.04E+03	2.63E+03	
연암	27.0~28.0	1,504	719	0.352	1.24E+03	3.77E+03	3.35E+03
	28.0~29.0	1,534	745	0.346	1.33E+03	3.87E+03	3.59E+03
	29.0~30.0	1,773	872	0.341	1.82E+03	5.11E+03	4.89E+03



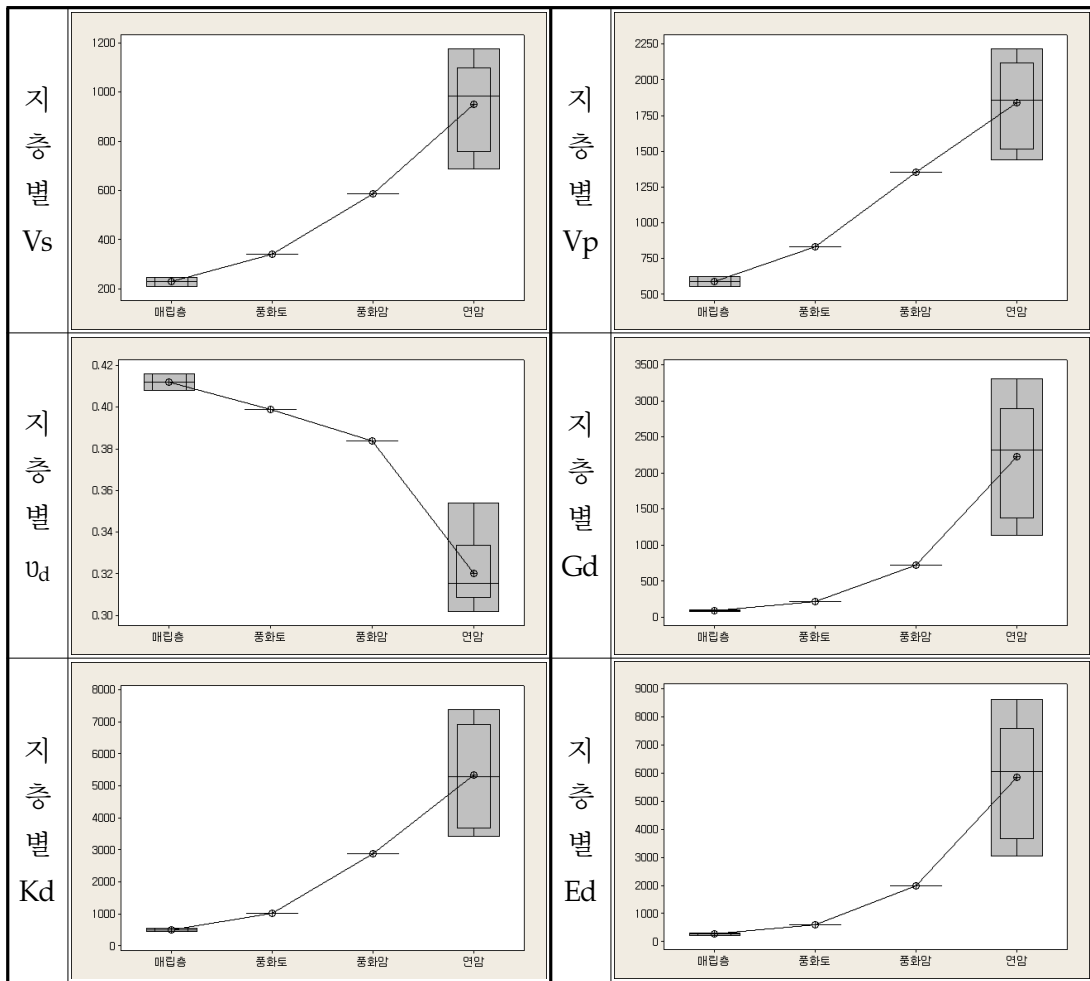
3.1.3 지층별 탄성파속도 및 동적물성치 산출

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

$$\overline{v_s} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad \begin{array}{l} - d_i = \text{토층 } i \text{의 두께(m)} \\ - v_{si} = \text{토층 } i \text{의 전단파속도(m/sec)} \end{array}$$

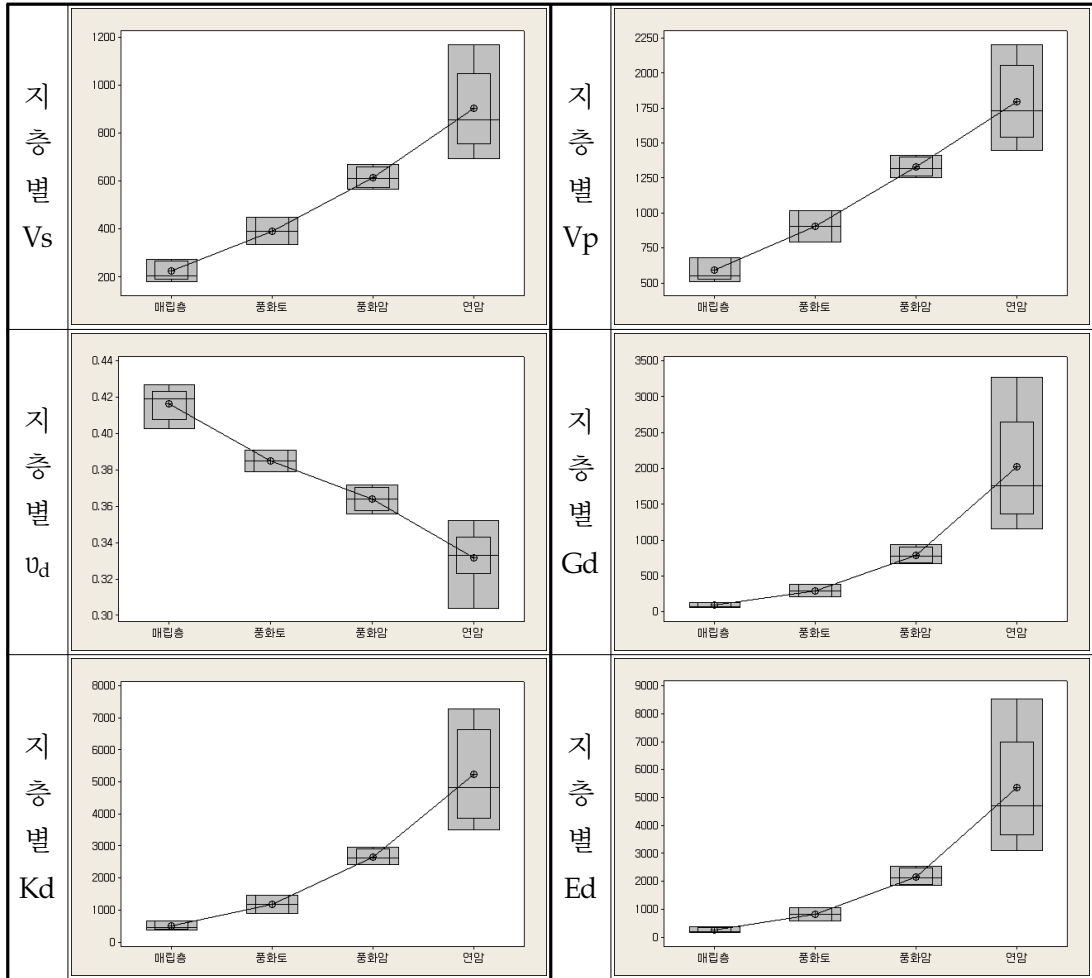
가. BH-1

지 층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Dynamic Parameter			
			v_d	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	228	590	0.412	9.34E+01	5.02E+02	2.64E+02
풍화토	341	831	0.399	2.21E+02	1.02E+03	6.18E+02
풍화암	587	1355	0.384	7.24E+02	2.89E+03	2.00E+03
연암	918	1797	0.323	2.02E+03	5.06E+03	5.36E+03



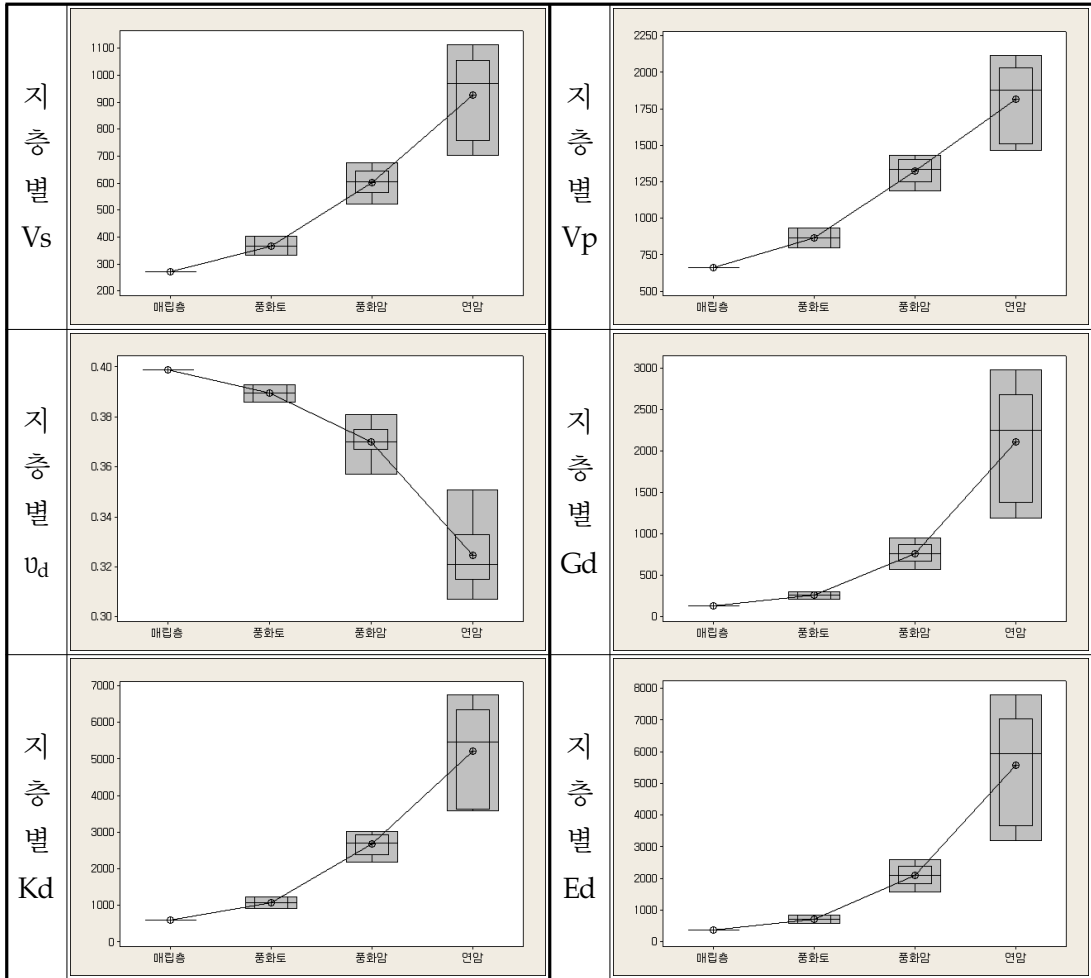
나. BH-2

지 층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Dynamic Parameter			
			v_d	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	220	585	0.418	8.70E+01	5.01E+02	2.47E+02
풍화토	384	891	0.386	2.81E+02	1.14E+03	7.78E+02
풍화암	612	1326	0.365	7.87E+02	2.64E+03	2.15E+03
연암	880	1763	0.334	1.86E+03	4.98E+03	4.96E+03



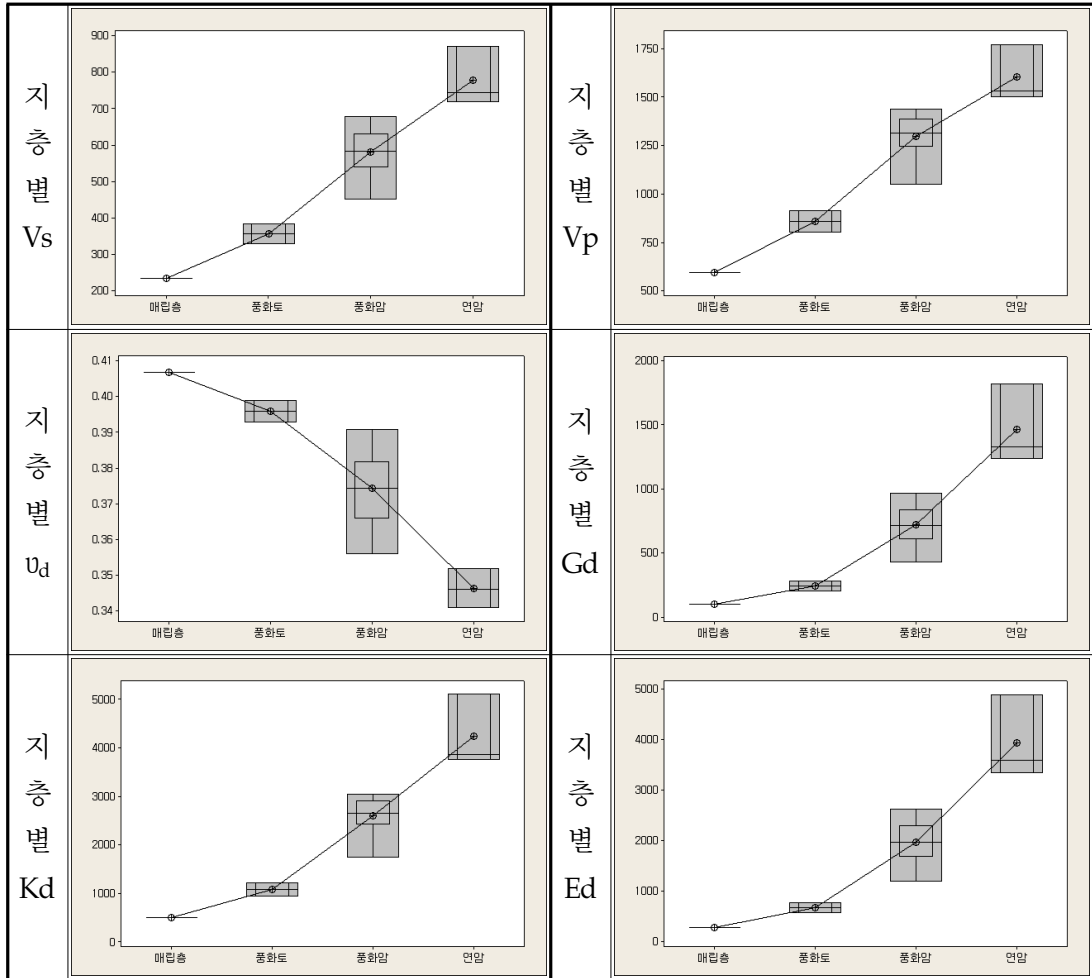
다. BH-3

지 층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Dynamic Parameter			
			v_d	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	271	662	0.399	1.32E+02	6.12E+02	3.70E+02
풍화토	365	859	0.390	2.53E+02	1.06E+03	7.03E+02
풍화암	598	1321	0.371	7.52E+02	2.66E+03	2.06E+03
연암	904	1783	0.327	1.96E+03	5.01E+03	5.21E+03



라. BH-4

지 층	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Dynamic Parameter			
			ν_d	G_d (Mpa)	K_d (Mpa)	E_d (Mpa)
매립층	236	596	0.407	1.00E+02	5.06E+02	2.82E+02
풍화토	354	856	0.397	2.39E+02	1.07E+03	6.66E+02
풍화암	576	1290	0.376	6.96E+02	2.56E+03	1.92E+03
연암	773	1595	0.346	1.43E+03	4.19E+03	3.86E+03



3.1.4 전단파속도에 의한 지반분류(내진설계기준 KDS 17 10 00. 2019년 제정 기준)

가. 지반의 분류

1) 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 다음 <표 3.1>에서와 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 의 6종류로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760m/s 이상인 지층으로 정의한다.

(기반암 : 연암층, 퇴적층 또는 토층의 아래에 위치하는 전단파속도가 760m/s 이상인 단단한 암석층)

2) 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다. 이때, 탄성파시험은 시추조사를 바탕으로 가장 불리한 시추공에서 수행하는 것을 원칙으로 한다.

3) 기반암 깊이와 무관하게 토층평균전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류한다.

4) 지반종류 S_6 은 부지 교유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반으로 다음과 같다.

- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8 이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반.
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께>3m)
- ③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께>7m이고, 소성지수>75)
- ④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께>36m)
- ⑤ 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반

5) 단, 건축물의 특성을 반영하여 아래와 같이 수정하여 적용할 수 있다.

- ① 기반암의 깊이가 3m 미만인 경우 S_1 지반으로 볼 수 있다.
- ② 기반암의 위치가 기준면(대상 건축물의 완공 후 지표면)으로부터 30m를 초과하는 경우 상부 30m에 대한 평균 전단파속도를 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)로 볼 수 있다.
- ③ 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고 지반의 종류가 S_6 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

지반 분류	지반종류의 호칭	평균 지반 특성	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/sec)
S ₁	암반 지반	1 미만	-
S ₂	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S ₃	얕고 연약한 지반		260 미만
S ₄	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S ₅	깊고 연약한 지반		180 미만
S ₆	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

<표 3-2> 전단파속도에 의한 지반분류

나. 평균지반속도 및 지반분류

1) BH-1

공번	지반등급산정 전단파속도(m/sec)	지반분류	지반분류의 호칭
BH-1	477	S ₂	얕고 단단한 지반

KDS 17 10 00 기준에 의한 지반의 분류시 기반암의 전단파속도인 $V_s = 760\text{m/s}$ 이상의 지반은 심도 11m에서 출현하므로 0~11m 구간의 토층에 대한 평균전단파속도에 의하여 지반등급을 산정하였다.

2) BH-2

공번	지반등급산정 전단파속도(m/sec)	지반분류	지반분류의 호칭
BH-2	387	S ₂	얕고 단단한 지반

KDS 17 10 00 기준에 의한 지반의 분류시 기반암의 전단파속도인 $V_s = 760\text{m/s}$ 이상의 지반은 심도 16m에서 출현하므로 0~16m 구간의 토층에 대한 평균전단파속도에 의하여 지반등급을 산정하였다.

3) BH-3

공번	지반등급산정 전단파속도(m/sec)	지반분류	지반분류의 호칭
BH-3	548	S ₂	얕고 단단한 지반

KDS 17 10 00 기준에 의한 지반의 분류시 기반암의 전단파속도인 $V_s = 760\text{m/s}$ 이상의 지반은 심도 19m에서 출현하므로 0~19m 구간의 토층에 대한 평균전단파속도에 의하여 지반등급을 산정하였다.

4) BH-4

공번	지반등급산정 전단파속도(m/sec)	지반분류	지반분류의 호칭
BH-4	534	S ₄	깊고 단단한 지반

KDS 17 10 00 기준에 의한 지반의 분류시 기반암의 전단파속도인 $V_s = 760\text{m/s}$ 이상의 지반은 심도 29m에서 출현하므로 0~29m 구간의 토층에 대한 평균전단파속도에 의하여 지반등급을 산정하였다.

부 록

하향식탄성파탐사 Sheet
사진대지

사 진 대 지



용역명 | 대동세무고등학교 내진성능평가

용역내용 | 하향식탄성파탐사(BH-1)



용역명 | 대동세무고등학교 내진성능평가

용역내용 | 하향식탄성파탐사(BH-2)

사 진 대 지



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가 지반조사
공번	BH-3
공종	하향식탄성파탐사(DHT)
일자	2019.11

용역명 대동세무고등학교 내진성능평가

용역내용 하향식탄성파탐사(BH-3)



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가 지반조사
공번	BH-4
공종	하향식탄성파탐사(DHT)
일자	2019.11

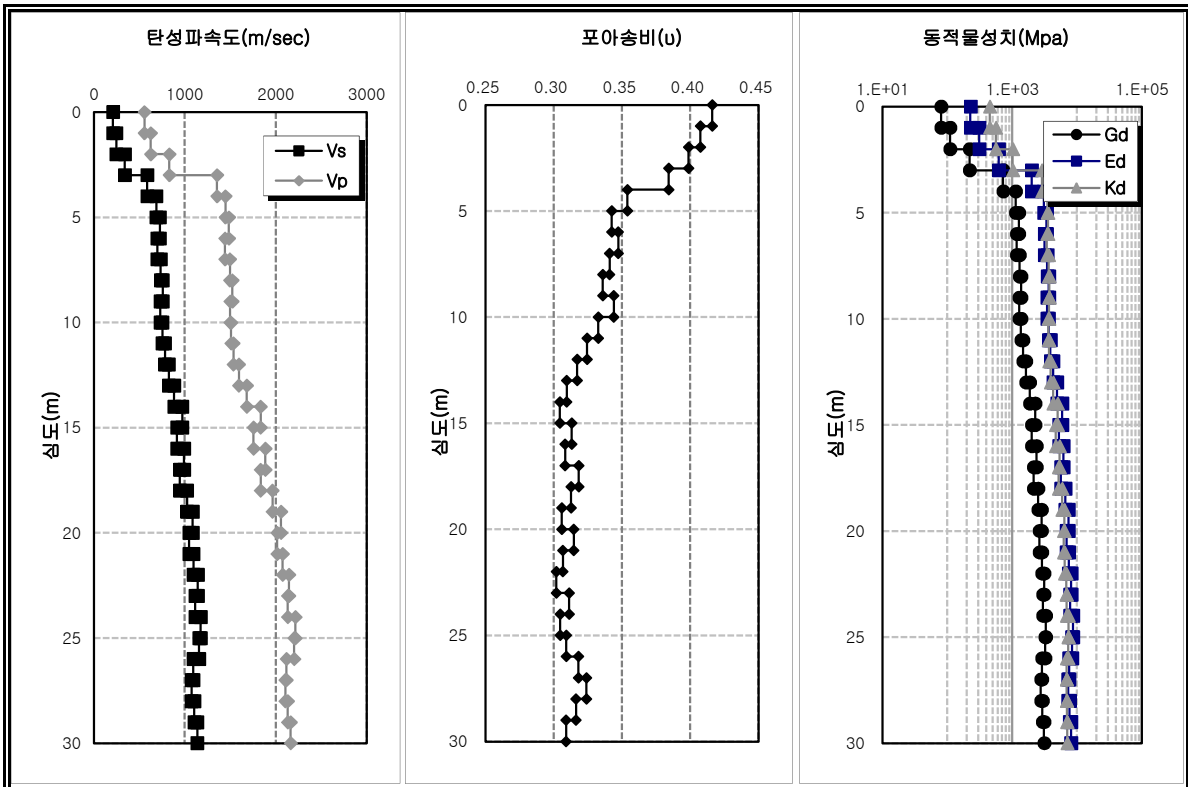
용역명 대동세무고등학교 내진성능평가

용역내용 하향식탄성파탐사(BH-4)

Down Hole Test

조사명	대동세무고등학교 내진성능평가				
공번	BH-1	시험자	O.j.h	발주처	
시험장비	Borehole Pick	검토자	K.s.j	시험일자	2019. 11.

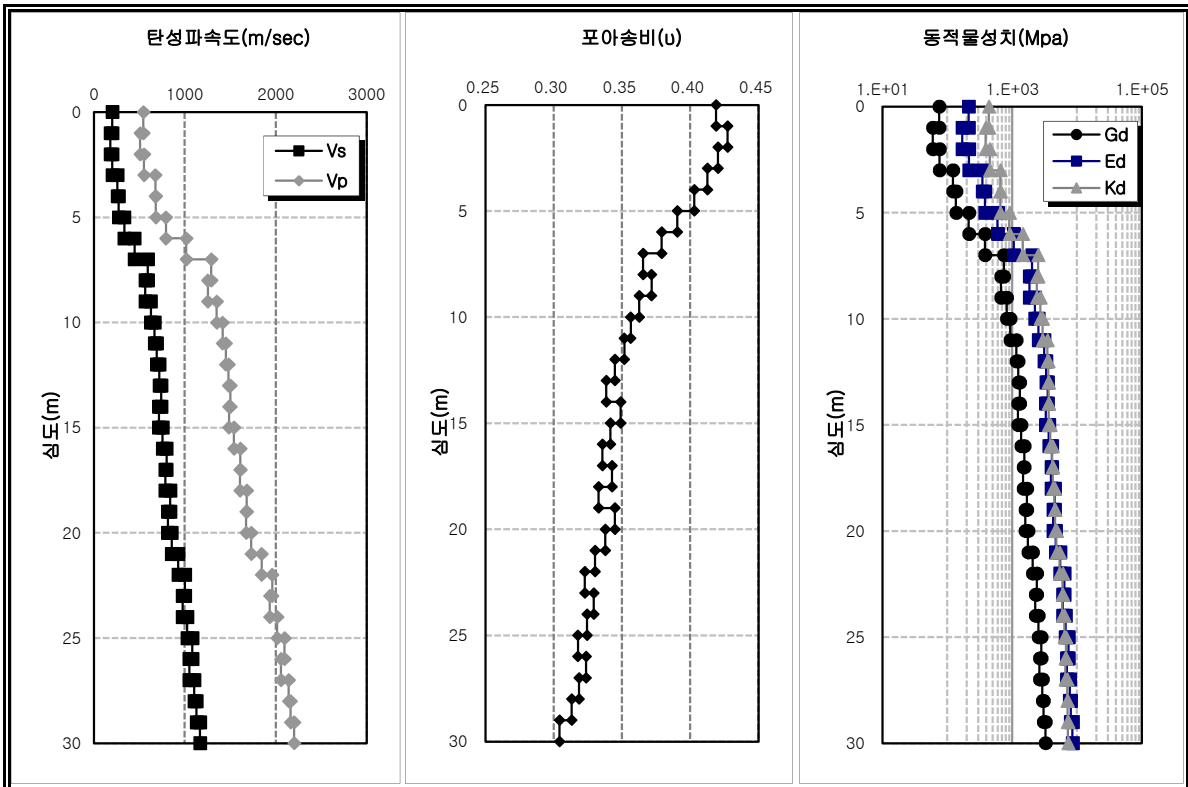
심도 (GL-m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	포아송비	전단탄성율 (Mpa)	체적탄성율 (Mpa)	동탄성계수 (Mpa)
0.0~1.0	557	211	0.416	8.02E+01	4.52E+02	2.27E+02
1.0~2.0	626	247	0.408	1.10E+02	5.59E+02	3.10E+02
2.0~3.0	831	341	0.399	2.21E+02	1.02E+03	6.18E+02
3.0~4.0	1,355	587	0.384	7.24E+02	2.89E+03	2.00E+03
4.0~5.0	1,447	688	0.354	1.14E+03	3.51E+03	3.07E+03
5.0~6.0	1,484	726	0.342	1.27E+03	3.60E+03	3.40E+03
6.0~7.0	1,443	698	0.347	1.17E+03	3.44E+03	3.15E+03
7.0~8.0	1,497	735	0.341	1.30E+03	3.65E+03	3.48E+03
8.0~9.0	1,524	758	0.336	1.38E+03	3.74E+03	3.68E+03
9.0~10.0	1,499	731	0.344	1.28E+03	3.68E+03	3.45E+03
10.0~11.0	1,508	755	0.333	1.37E+03	3.63E+03	3.65E+03
11.0~12.0	1,536	783	0.324	1.47E+03	3.70E+03	3.90E+03
12.0~13.0	1,595	825	0.317	1.63E+03	3.93E+03	4.30E+03
13.0~14.0	1,681	883	0.310	1.87E+03	4.29E+03	4.90E+03
14.0~15.0	1,835	973	0.305	2.27E+03	5.05E+03	5.93E+03
15.0~16.0	1,754	915	0.313	2.01E+03	4.71E+03	5.28E+03
16.0~17.0	1,887	993	0.308	2.37E+03	5.39E+03	6.19E+03
17.0~18.0	1,835	947	0.318	2.15E+03	5.21E+03	5.68E+03
18.0~19.0	1,965	1,026	0.313	2.52E+03	5.90E+03	6.63E+03
19.0~20.0	2,058	1,088	0.306	2.84E+03	6.37E+03	7.42E+03
20.0~21.0	2,016	1,048	0.315	2.64E+03	6.24E+03	6.93E+03
21.0~22.0	2,075	1,095	0.307	2.88E+03	6.49E+03	7.53E+03
22.0~23.0	2,146	1,143	0.302	3.13E+03	6.87E+03	8.16E+03
23.0~24.0	2,132	1,116	0.311	2.99E+03	6.93E+03	7.84E+03
24.0~25.0	2,217	1,175	0.305	3.31E+03	7.38E+03	8.65E+03
25.0~26.0	2,203	1,157	0.309	3.22E+03	7.36E+03	8.42E+03
26.0~27.0	2,119	1,094	0.318	2.87E+03	6.94E+03	7.57E+03
27.0~28.0	2,105	1,074	0.324	2.77E+03	6.95E+03	7.33E+03
28.0~29.0	2,132	1,105	0.316	2.93E+03	7.00E+03	7.72E+03
29.0~30.0	2,165	1,138	0.309	3.11E+03	7.10E+03	8.13E+03



Down Hole Test

조사명	대동세무고등학교 내진성능평가				
공번	BH-2	시험자	O.j.h	발주처	
시험장비	Borehole Pick	검토자	K.s.j	시험일자	2019. 11.

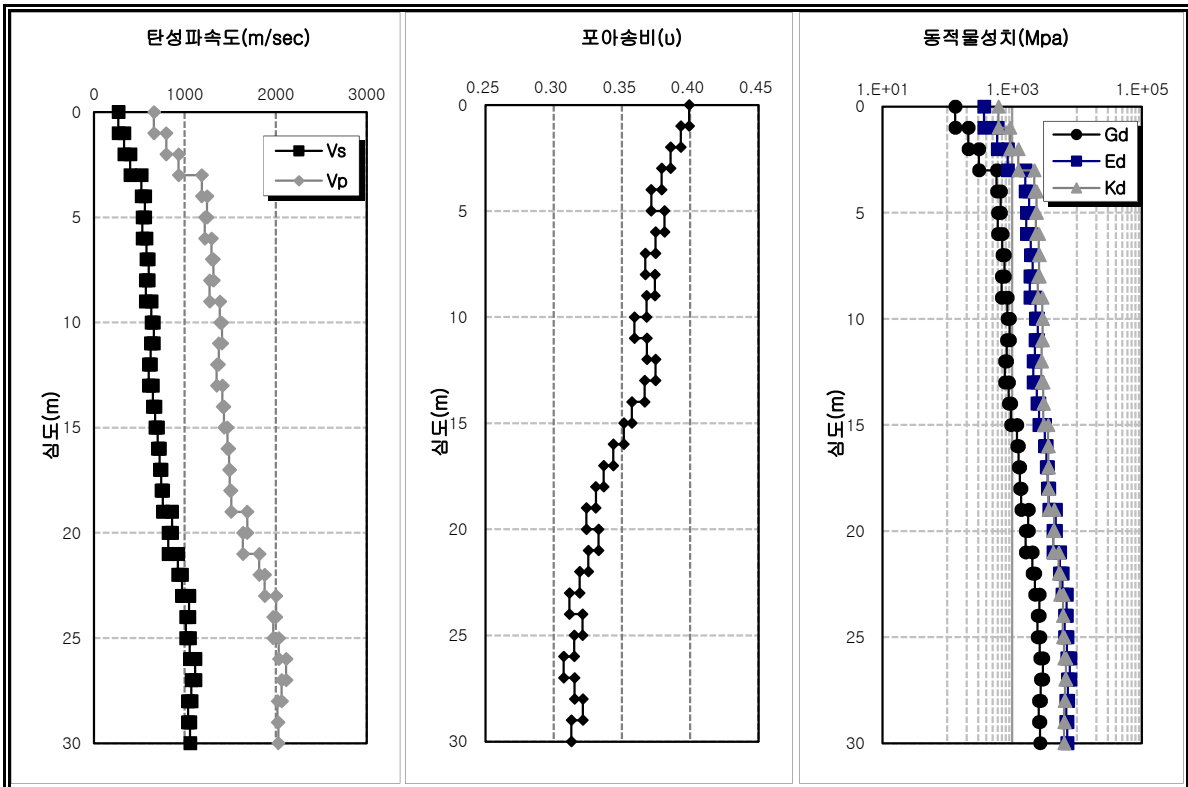
심도 (GL-m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	포아송비	전단탄성율 (Mpa)	체적탄성율 (Mpa)	동탄성계수 (Mpa)
0.0~1.0	546	204	0.419	7.49E+01	4.37E+02	2.13E+02
1.0~2.0	511	182	0.427	5.96E+01	3.90E+02	1.70E+02
2.0~3.0	553	205	0.420	7.56E+01	4.50E+02	2.15E+02
3.0~4.0	677	261	0.413	1.23E+02	6.60E+02	3.46E+02
4.0~5.0	682	275	0.403	1.36E+02	6.56E+02	3.82E+02
5.0~6.0	793	336	0.391	2.15E+02	9.09E+02	5.97E+02
6.0~7.0	1,017	449	0.379	3.83E+02	1.46E+03	1.06E+03
7.0~8.0	1,292	595	0.365	7.43E+02	2.51E+03	2.03E+03
8.0~9.0	1,255	567	0.372	6.75E+02	2.41E+03	1.85E+03
9.0~10.0	1,351	627	0.363	8.26E+02	2.73E+03	2.25E+03
10.0~11.0	1,416	669	0.356	9.40E+02	2.96E+03	2.55E+03
11.0~12.0	1,451	694	0.352	1.16E+03	3.51E+03	3.12E+03
12.0~13.0	1,481	721	0.345	1.25E+03	3.60E+03	3.36E+03
13.0~14.0	1,502	742	0.339	1.32E+03	3.65E+03	3.54E+03
14.0~15.0	1,486	715	0.349	1.23E+03	3.66E+03	3.31E+03
15.0~16.0	1,541	756	0.342	1.37E+03	3.87E+03	3.68E+03
16.0~17.0	1,610	801	0.336	1.54E+03	4.17E+03	4.11E+03
17.0~18.0	1,608	786	0.343	1.48E+03	4.23E+03	3.98E+03
18.0~19.0	1,681	841	0.333	1.70E+03	4.52E+03	4.53E+03
19.0~20.0	1,675	815	0.345	1.59E+03	4.61E+03	4.29E+03
20.0~21.0	1,730	856	0.338	1.76E+03	4.84E+03	4.71E+03
21.0~22.0	1,845	929	0.330	2.07E+03	5.41E+03	5.51E+03
22.0~23.0	1,961	1,003	0.323	2.41E+03	6.01E+03	6.39E+03
23.0~24.0	1,934	976	0.329	2.28E+03	5.93E+03	6.07E+03
24.0~25.0	2,016	1,028	0.324	2.54E+03	6.38E+03	6.72E+03
25.0~26.0	2,096	1,083	0.318	2.82E+03	6.79E+03	7.42E+03
26.0~27.0	2,058	1,050	0.324	2.65E+03	6.63E+03	7.01E+03
27.0~28.0	2,141	1,105	0.319	2.93E+03	7.10E+03	7.73E+03
28.0~29.0	2,165	1,129	0.313	3.06E+03	7.17E+03	8.03E+03
29.0~30.0	2,203	1,168	0.304	3.28E+03	7.28E+03	8.54E+03



Down Hole Test

조사명	대동세무고등학교 내진성능평가				
공번	BH-3	시험자	O.j.h	발주처	
시험장비	Borehole Pick	검토자	K.s.j	시험일자	2019. 11.

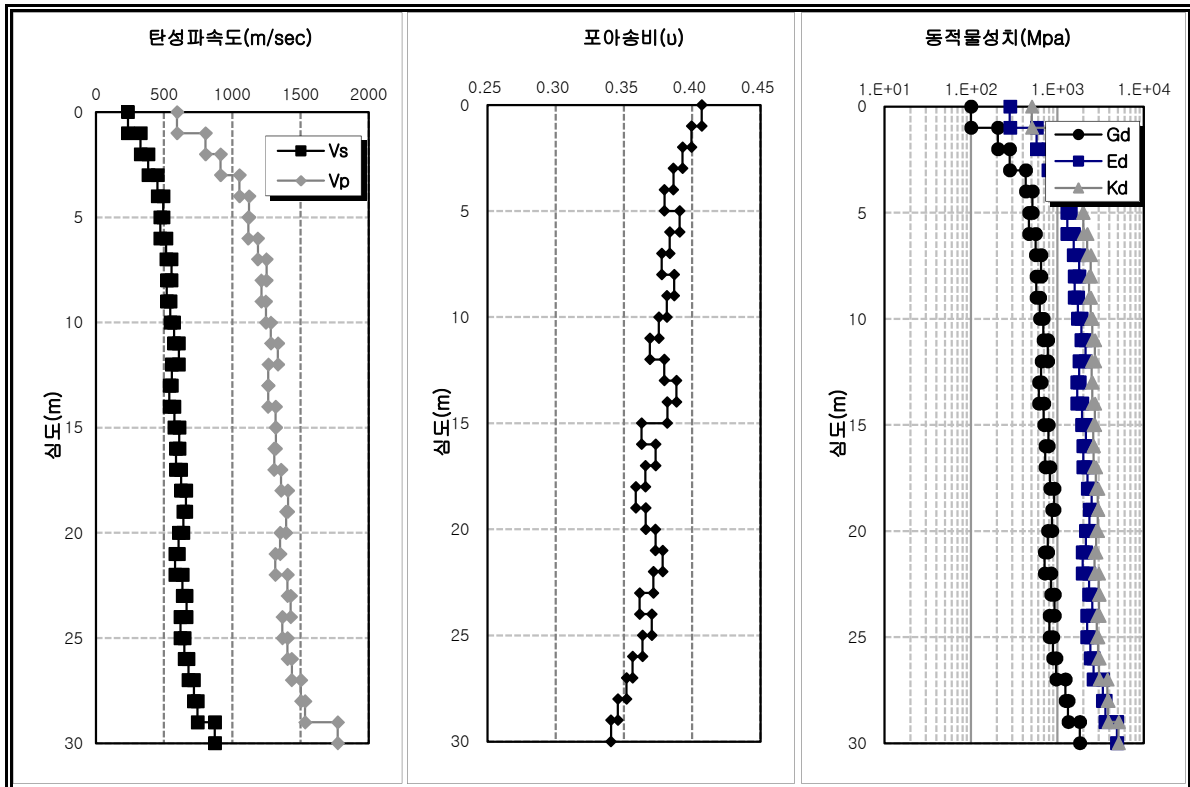
심도 (GL-m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	포아송비	전단탄성율 (Mpa)	체적탄성율 (Mpa)	동탄성계수 (Mpa)
0.0~1.0	662	271	0.399	1.32E+02	6.12E+02	3.70E+02
1.0~2.0	796	334	0.393	2.12E+02	9.22E+02	5.91E+02
2.0~3.0	932	402	0.386	3.07E+02	1.24E+03	8.51E+02
3.0~4.0	1,188	524	0.379	5.77E+02	2.19E+03	1.59E+03
4.0~5.0	1,245	563	0.372	6.66E+02	2.37E+03	1.83E+03
5.0~6.0	1,221	535	0.381	6.01E+02	2.33E+03	1.66E+03
6.0~7.0	1,294	579	0.375	7.04E+02	2.58E+03	1.94E+03
7.0~8.0	1,316	603	0.367	7.63E+02	2.62E+03	2.09E+03
8.0~9.0	1,274	571	0.374	6.85E+02	2.49E+03	1.88E+03
9.0~10.0	1,385	633	0.368	8.41E+02	2.91E+03	2.30E+03
10.0~11.0	1,408	660	0.359	9.15E+02	2.95E+03	2.49E+03
11.0~12.0	1,374	627	0.368	8.25E+02	2.86E+03	2.26E+03
12.0~13.0	1,351	605	0.375	7.69E+02	2.81E+03	2.11E+03
13.0~14.0	1,414	649	0.367	8.84E+02	3.02E+03	2.42E+03
14.0~15.0	1,433	675	0.357	9.57E+02	3.03E+03	2.60E+03
15.0~16.0	1,468	703	0.351	1.19E+03	3.59E+03	3.20E+03
16.0~17.0	1,486	725	0.344	1.26E+03	3.62E+03	3.39E+03
17.0~18.0	1,495	742	0.337	1.32E+03	3.60E+03	3.53E+03
18.0~19.0	1,511	759	0.331	1.38E+03	3.63E+03	3.68E+03
19.0~20.0	1,686	861	0.324	1.78E+03	4.46E+03	4.71E+03
20.0~21.0	1,639	820	0.333	1.62E+03	4.30E+03	4.31E+03
21.0~22.0	1,818	925	0.325	2.05E+03	5.20E+03	5.44E+03
22.0~23.0	1,880	969	0.319	2.25E+03	5.48E+03	5.94E+03
23.0~24.0	2,004	1,048	0.312	2.64E+03	6.12E+03	6.92E+03
24.0~25.0	1,972	1,012	0.321	2.46E+03	6.06E+03	6.50E+03
25.0~26.0	2,033	1,056	0.315	2.68E+03	6.35E+03	7.04E+03
26.0~27.0	2,114	1,115	0.307	2.98E+03	6.75E+03	7.80E+03
27.0~28.0	2,066	1,073	0.315	2.76E+03	6.56E+03	7.27E+03
28.0~29.0	2,020	1,036	0.321	2.58E+03	6.36E+03	6.81E+03
29.0~30.0	2,028	1,058	0.313	2.69E+03	6.29E+03	7.06E+03



Down Hole Test

조사명	대동세무고등학교 내진성능평가				
공번	BH-4	시험자	O.j.h	발주처	
시험장비	Borehole Pick	검토자	K.s.j	시험일자	2019. 11.

심도 (GL-m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	포아송비	전단탄성율 (Mpa)	체적탄성율 (Mpa)	동탄성계수 (Mpa)
0.0~1.0	596	236	0.407	1.00E+02	5.06E+02	2.82E+02
1.0~2.0	804	329	0.399	2.06E+02	9.54E+02	5.75E+02
2.0~3.0	915	384	0.393	2.80E+02	1.22E+03	7.81E+02
3.0~4.0	1,053	453	0.386	4.31E+02	1.75E+03	1.20E+03
4.0~5.0	1,124	495	0.380	5.14E+02	1.97E+03	1.42E+03
5.0~6.0	1,117	473	0.391	4.70E+02	2.00E+03	1.31E+03
6.0~7.0	1,188	516	0.384	5.59E+02	2.22E+03	1.55E+03
7.0~8.0	1,252	555	0.378	6.47E+02	2.43E+03	1.78E+03
8.0~9.0	1,214	521	0.387	5.70E+02	2.33E+03	1.58E+03
9.0~10.0	1,247	546	0.381	6.26E+02	2.43E+03	1.73E+03
10.0~11.0	1,284	573	0.376	6.90E+02	2.54E+03	1.90E+03
11.0~12.0	1,335	608	0.369	7.77E+02	2.71E+03	2.13E+03
12.0~13.0	1,264	557	0.380	6.51E+02	2.49E+03	1.80E+03
13.0~14.0	1,263	539	0.389	6.10E+02	2.53E+03	1.69E+03
14.0~15.0	1,318	576	0.382	6.97E+02	2.72E+03	1.93E+03
15.0~16.0	1,319	612	0.363	7.87E+02	2.61E+03	2.14E+03
16.0~17.0	1,307	588	0.373	7.26E+02	2.62E+03	1.99E+03
17.0~18.0	1,359	625	0.366	8.20E+02	2.78E+03	2.24E+03
18.0~19.0	1,408	661	0.359	9.17E+02	2.94E+03	2.49E+03
19.0~20.0	1,395	641	0.366	8.63E+02	2.93E+03	2.36E+03
20.0~21.0	1,351	608	0.373	7.76E+02	2.80E+03	2.13E+03
21.0~22.0	1,316	582	0.378	7.11E+02	2.69E+03	1.96E+03
22.0~23.0	1,404	635	0.372	8.47E+02	3.01E+03	2.32E+03
23.0~24.0	1,429	665	0.362	9.30E+02	3.05E+03	2.53E+03
24.0~25.0	1,368	621	0.370	8.09E+02	2.85E+03	2.22E+03
25.0~26.0	1,404	650	0.364	8.88E+02	2.96E+03	2.42E+03
26.0~27.0	1,437	679	0.356	9.68E+02	3.04E+03	2.63E+03
27.0~28.0	1,504	719	0.352	1.24E+03	3.77E+03	3.35E+03
28.0~29.0	1,534	745	0.346	1.33E+03	3.87E+03	3.59E+03
29.0~30.0	1,773	872	0.341	1.82E+03	5.11E+03	4.89E+03





5. 사진첩

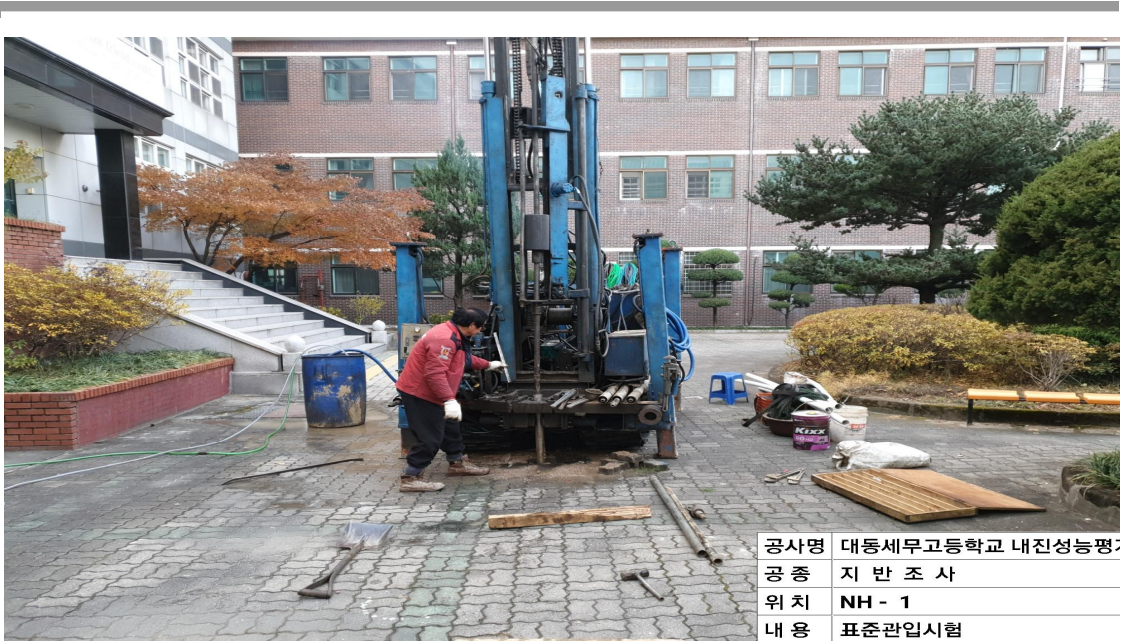
시 추 공 사 진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 1
내용	굴진광경

BH-1 시추 전경



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 1
내용	표준관입시험

BH-1 표준관입시험

시 추 공 사 진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 1
내용	채취된시료

BH-1 시료

시추공사진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 2
내용	굴진광경

BH-2 시추 전경



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 2
내용	표준관입시험

BH-2 표준관입시험

시 추 공 사 진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지 반 조 사
위치	NH - 2
내용	채취된시료

BH-2 시료

시추공사진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 3
내용	굴진광경

BH-3 시추 전경



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 3
내용	표준관입시험

BH-3 표준관입시험

시 추 공 사 진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 3
내용	채취된시료

BH-3 시료

시추공사진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 4
내용	굴진광경

BH-4 시추 전경



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지반조사
위치	NH - 4
내용	표준관입시험

BH-4 표준관입시험

시 추 공 사 진

대동세무고등학교 내진성능평가



공사명	대동세무고등학교 내진성능평가
공종	지 반 조 사
위치	NH - 4
내용	채취된시료

BH-4 시료