

관리번호

사본번호

송도국제도시 수소충전소 건설공사 지 반 조 사 보 고 서

2021. 11.



(주) 조은이엔지

엔지니어링신고번호(E-09-003659)



제 출 문

본 조사 보고서는 『송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사』로 과업지시서에 의거 수행 완료하였기에 그 성과를 본 보고서로 제출합니다. 본 과업 기간 중 조사 및 작업의 원활한 수행을 위해 협조해 주신 관계 제위께 감사드립니다.

2021 년 11 월

대전광역시 중구 계룡로 845-1, 2층(용두동)
TEL) 042-622-2185(代), FAX) 042-634-8283

(주) 조 은 이 엔
대 표 이 사 노 승
토질 및 기초기술사 채 영



목 차

- i -

제4장 조사결과	27
4.1 지형 및 지질	27
4.1.1 지형	27
4.1.2 지질	27
4.2 현장조사 및 시험 결과	28
4.2.1 시추조사	28
4.2.2 지하수위 측정 결과	31
4.2.3 표준관입시험	31
4.2.4 하향식 탄성파탐사 측정 결과	35
4.3 기초의 지지력 산정	38
4.3.1 직접기초의 지지력	38
4.3.2 말뚝기초의 지지력	43
4.4 지반반력계수(Ks) 추정	46
4.5 검토 결과	49

부 록

1. 조사위치 평면도
2. 지층단면도
3. 시추주상도
4. 하향식 탄성파탐사
5. 사진대지

제1장 조사개요

1.1 조사목적

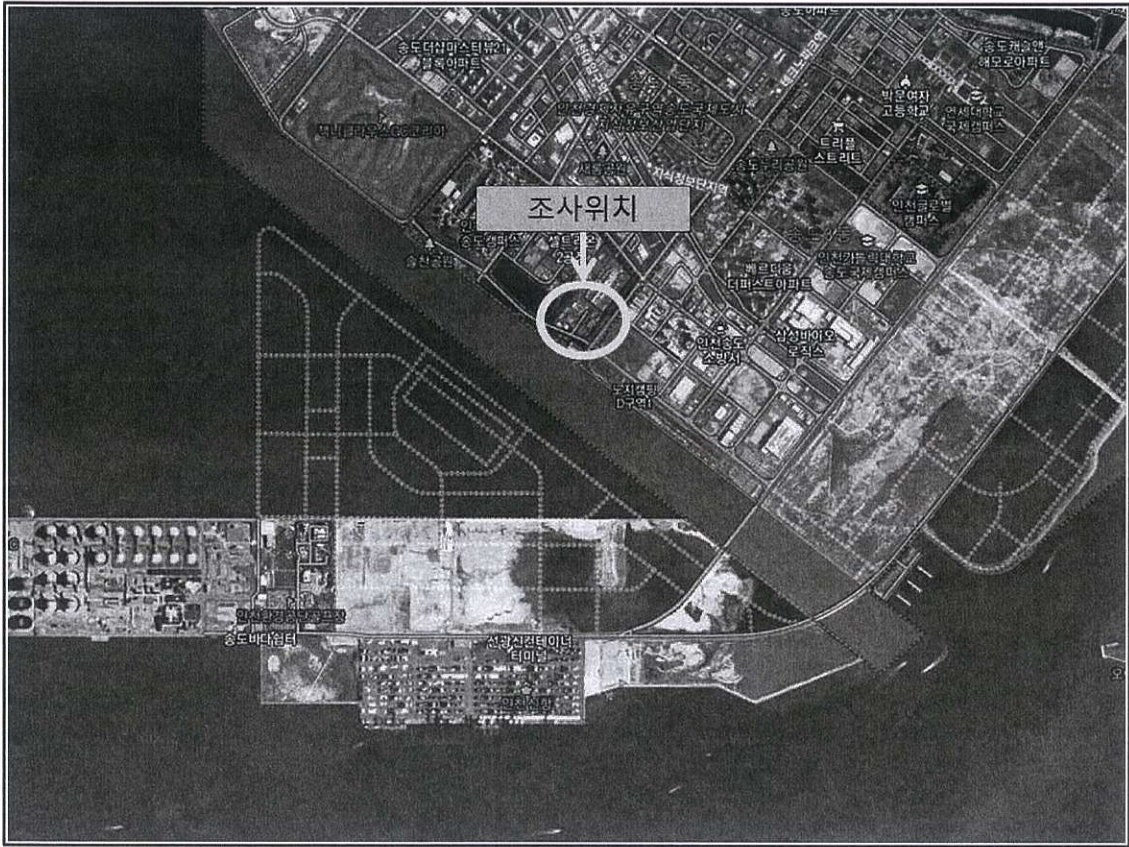
본 조사는 『송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사』로서 과업구간을 대상으로 현장조사 및 현장시험을 실시하여 과업구간 지층의 구성 상태와 성분, 지하수위 분포, 물리적 특성을 파악하여 지반 공학적 자료를 제공하는데 목적이 있다.

1.2 조사지역

본 조사목적에 위한 조사지역은 인천광역시에 속한다.

구 분	조 사 위 치
행정구역	인천광역시 연수구 송도동 13-8번지

조사지역 위치도



1.3 조사항목 및 수량

본 과업의 목적을 달성하기 위하여 수행한 현장조사, 원위치시험 및 현장시험의 조사항목 및 수량은 다음과 같다.

구 분		규 격	수량	단위	비 고
현장조사 및 현장시험	시추조사		3	개소	
	표준관입시험		122	회	KS F 2307
	지하수위측정		3	개소	
	하향식탄성파탐사		1	회	
성과분석 및 보고서 작성			1	식	

1.4 조사기간

구 분	조 사 내 용	조 사 기 간
현장조사(1차)	시추조사 및 표준관입시험	2021년 08월 22일
현장조사(2차)		2021년 11월 11일
보고서작성(1차)	조사결과 종합분석 및 검토	2021년 08월 23일 ~ 08월 27일
보고서작성(2차)		2021년 11월 11일 ~ 11월 17일

1.5 조사장비

조 사 항 목	수 량	조 사 장 비
시추조사	1 조	유압식 시추기(Power-4000D), 부속장비
표준관입시험	1 조	Hammer, Split Spoon Barrel
지하수위 측정	1 조	지하수위측정기
하향식탄성파탐사	1 조	OYO McSEIS-PS

제2장 조사내용 및 방법

2.1 조사위치 선정

지반조사 위치는 주변의 지반상태를 잘 대표할 수 있는 곳이어야 하며, 조사간격은 지층상태, 구조물의 형태와 기능에 따라서 정하며 조사과정에서 지반조건 변화에 따라 조사 위치를 조정하는 것이 바람직하다. 본 조사 위치는 『송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사』에 대하여 조사계획을 수립하여 현황도상에서 시추 및 현장시험 위치를 계획한 후 현장답사를 실시하여, 지형특성 및 주변현황, 구조물 배치 계획 등을 고려, 최종 위치를 선정하였다. 조사 위치는 『부록 : 조사위치 평면도』상에 수록하였으며 시추위치의 표고와 시추심도는 다음 표와 같다.

표2.1 시추위치의 표고 및 시추심도

공번	표 고 (GL, m)	시추심도 (현지반고, m)	지하수위 (GL, m)	비 고
NH - 01	현지반고	-43.9	-7.5	
NH - 02	현지반고	-44.2	-7.6	
NH - 03	현지반고	-41.0	-8.0	

2.2 현장조사 및 시험방법

2.2.1 시추조사

각 시추공은 조사의 정확성을 위해 지표면으로부터 공벽 붕괴가 예상되는 원지반 풍화대층까지 Casing을 삽입하고 천공하였다. 또한, 시추 조사 시 풍화대층을 포함한 토사층은 표준관입시험의 시료 채취기에 의하여 시료를 채취하였으며, 토질특성을 평가할 수 있는 자료를 상세히 관찰하여 부록의 『시추주상도』에 기록하였다.

시추작업 과정에서 굴진속도, Slime의 상태, 순환수의 색조, 표준관입시험에 의해 채취된 시료 및 N-치를 근거로 지층의 분포 상태 등을 확인하였다.

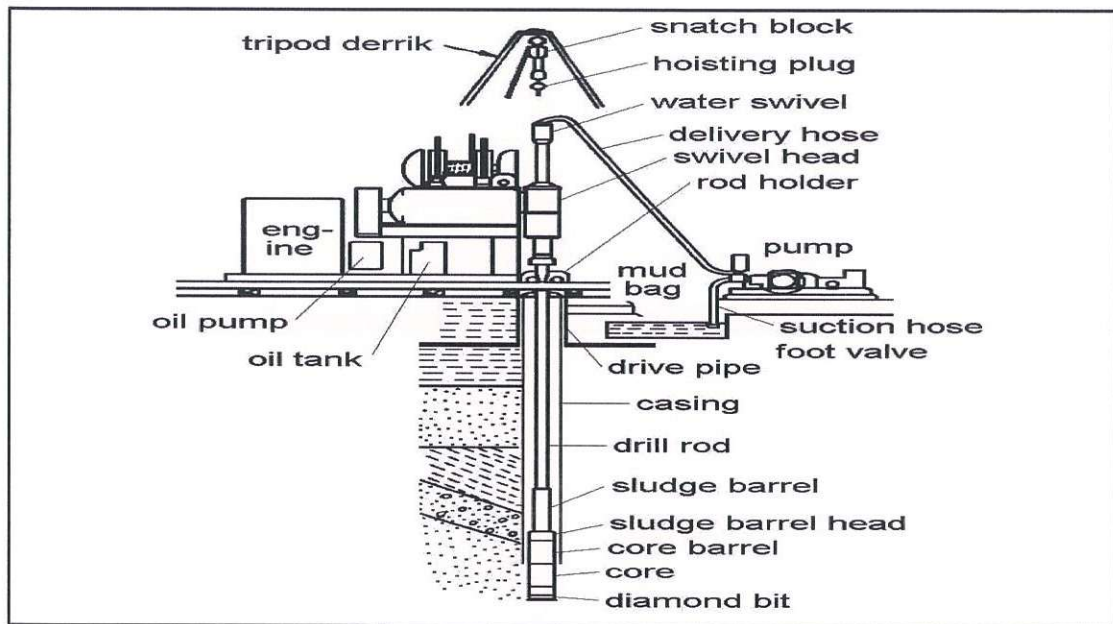


그림 2.1 시추조사 모식도

2.2.2 표준관입시험

시추조사와 병행하여 지반의 저항치인 N치를 측정하고 동시에 토질분류를 위한 대표적 시료를 채취하기 위하여 표준관입시험을 한국산업규격(KS F - 2307)에 의거하여 지층이 변하거나 또는 동일 지층의 경우는 심도 1.0m 마다 연속성 있게 실시하였다.

본 시험은 시험위치를 대상으로 Slime을 제거한 후 Rod 선단에 Split Spoon Sampler를 부착하여 64kg의 해머를 76cm 높이에서 자유낙하 시켜 Sampler가 30cm 관입하는데 소요되는 타격횟수를 측정하는 현장 원위치시험으로 측정방법은 Sampler가 15cm씩 45cm 관입하는데 소요되는 타격횟수를 측정하여 처음 15cm를 관입시키는데 소요되는 타격횟수는 예비타로 간주하고, 2번째와 3번째 30cm 관입에 소요되는 타격횟수를 측정하여 관입저항치(N치)로 하였다. 또한 지층이 매우 조밀하여 50회 이상을 타격하여도 Sampler가 30cm 이하로 관입될 경우에는 타격횟수와 관입깊이를 명시하였다.

표준관입시험에서 얻어진 관입저항치(N치)로 각 지층의 상대밀도 및 연경도를 판정하였으며, 채취된 시료의 일부는 현장에서 육안에 의한 흙의 분류와 실내토질시험에 이용하고 나머지는 함수량이 변하지 않도록 시료병에 넣고 밀봉하여 조사명, 공번, 채취심도, 저항치(N치), 지층명 등을 표기하여 시료 상자에 보관하였다.

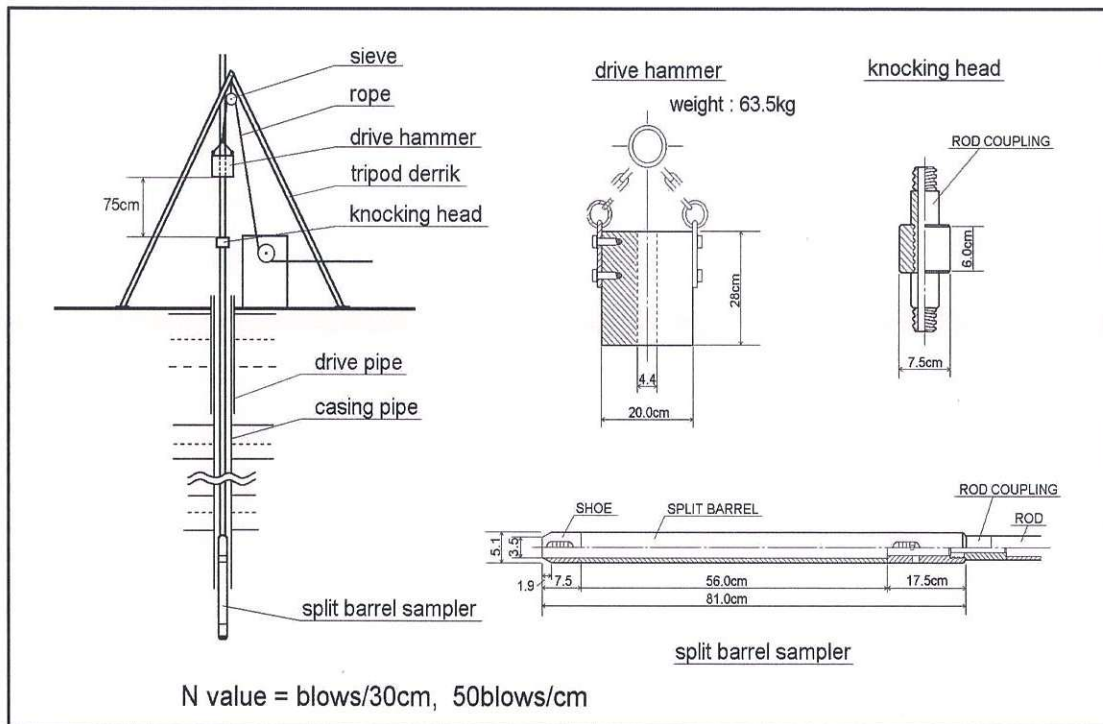


그림2.2 표준관입시험 모식도

표준관입시험을 실시할 경우, 시추공의 상태나 작업자의 자세, 기계 상의 특성 등으로 인하여 N치가 실제와 상이하게 측정되는 경우가 있다. 따라서 다음과 같은 사항에 유의하여 시험을 실시하였다.

- 표준관입시험의 실용 심도는 40m 정도로 그 이상에서 실시할 경우는 타격에너지가 손실되어 N치가 과다하게 나타날 수 있음.
- 토사의 입경이 1cm 이상이거나 N치가 50이상일 경우는 타격에 의하여 Sampler의 손상을 가져올 수 있으므로 정확한 강도추정이 어려움.
- 지하수위 이하의 점성이 없는 느슨한 사질토의 경우는 시료채취에 다소 어려운 점이 있으므로 시료채취에 특히 유의함.
- 시험을 실시하기 이전에 Slime을 충분히 제거함.
- 느슨한 사질토에 국부적으로 자갈이 혼재되어 있을 경우는 N치가 과다하게 측정되어 지반전체의 강도를 오인할 수 있음.
- 시추 공경이 10cm 이상으로 커질 때 또는 과도한 시추공 세척으로 인해 시험 부분의 N치가 감소할 수 있음.

표준관입시험에 의하여 측정된 N치 특성자료를 이용하여 다음과 같은 여러 가지 사항을 추정 또는 산정할 수 있다.

표2.2 N치로부터 추정 또는 산정되는 사항

구 분	내 용		
N치로 파악할 수 있는 사항	- 지반구성과 강도 - 말뚝이나 널말뚝 관입의 가능성 - 투수층의 유무 - 지반개량의 방법과 효과의 판정 - 지지층의 위치 - 연암 출현심도 - 활동파괴면의 유무 - 굴착방법의 선정		
N치로 추정할 수 있는 사항	모래 지반	- 상대밀도 - 내부마찰각 - 지지력계수 - 침하에 대한 지지력 - 액상화 - 간극비	- 말뚝의 연직지지력 - 말뚝의 수평변위 - 지반 반력계수 - 변형계수
	점토 지반	- 연경도 - 일축압축강도(점착력) - 비배수 전단강도 - 파괴에 대한 지지력 - 압밀침하량	

2.2.3 지하수위 측정

조사지역 내 시추공 및 주변 우물에 대한 지하수위를 측정하여 조사지역의 안정된 지하수위 분포현황을 파악하기 위해 시추조사를 완료하고 지하수위계를 이용하여 시추공에서 지하수위를 측정하였다. 지하수위 측정은 지하수체(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공이 나타나는 정수면(Piezometric Surface)의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면부터의 심도를 측정하였다. 시추 후 공 내 보링수를 완전히 제거한 다음 자연수위까지 회복된 안정된 지하수위를 측정하였다.

2.2.4 하향식 탄성파탐사

본 조사는 계획 구간 내 하향식 탄성파 검층을 실시하여 지층별 탄성파속도(P파 및 S파)를 파악함으로써 과업지역의 동역학적 특성파악 및 동적지반정수를 산출하여 구조물의 합리적인 설계를 위한 동적지반정보를 제공함에 그 목적이 있다.

1) 탐사원리

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

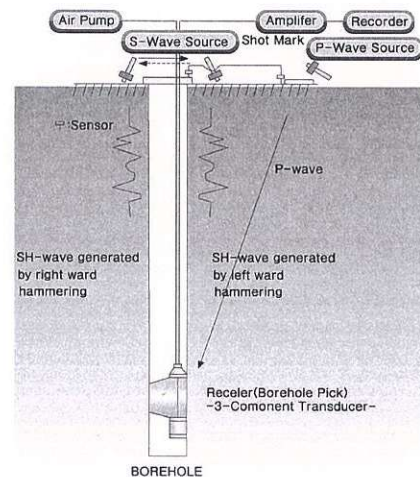


그림 2.3 탐사모식도

2) 탐사방법

양질의 자료로부터 좋은 탐사결과를 얻을 수 있으므로 현장자료 획득은 매우 중요하다. 현장에서의 자료획득을 위하여 고려해야할 주요 사항은 다음과 같다.

- 1) 시추나 기타 지반조사 자료를 참고하여 조사간격을 결정한다. 지하수위나 파쇄대의 존재, 풍화정도 등도 구간속도에 영향을 미치므로 이를 고려하여 결정한다. 대개 1~5m 정도의 조사간격을 많이 사용한다.
- 2) 시추공 케이싱이 되어있을 경우 이를 따라 파가 전파되므로 시추공 붕괴의 위험이 있는 부분만 최소한의 PVC 케이싱을 설치한다.
- 3) 발생한 탄성파 에너지의 흡수를 막기 위하여 성토층이나 표토층이 존재할 경우 되도록 이를 제거하고, 탄성파 발생을 위한 평판이 지반에 잘 밀착이 되도록 하고 타격에 의하여 움직이지 않도록 한다. 평판의 되도록 시추공 가까이에 위치시켜 에너지가 효율적으로 전달 될 수 있도록 한다.

- 4) 평판을 수평으로 가격하여 횡파를 발생시킬 경우 반드시 양방향으로 가격하여 180°의 위상차(polarity)를 확인한다. 또한 신호가 미약할 시 여러 번 가격하여 이를 중합(stacking) 함으로써 S/N비를 높인다.
- 5) 자료획득은 시추공 하부에서 상부로 이동하면서 조사하는 상향(uphole)탐사와 반대 방향의 하향(downhole)탐사를 모두 이용할 수 있으나, 하향탐사로 초동의 도달시간을 추적하여 나가는 것이 유리하다.
- 6) 3 성분 지오폰을 이용한 횡파 측정 시 될 수 있으면 수평성분 측정방향을 해머 가격방향과 일치하도록 조정하여 최대한의 S/N비를 얻도록 한다.

3) 암반의 탄성파속도

암반의 탄성파 속도는 암종, 암석의 강도, 불연속면(절리)의 발달정도, 풍화정도, 투수(지하수) 특성 등 여러 요인에 좌우된다.

다음 표 2.3은 토사층, 암석 및 기타 물질에서의 탄성파 P파 및 S파 속도, 푸와송비(Poisson's Ratio), 밀도 등을 보여주고 있다. 토사층 혹은 암반의 경우 풍화정도, 균열의 발달 정도 등 여러 가지 요인에 의해 속도변화가 크므로 일반적 기준으로만 사용하여야 할 것이다.

표 2.3 Seismic velocities of soil, rock and common materials

매 질 종 류		P파속도 (m/sec)	S파속도 (m/sec)	포와송비	밀도 (g/cm3)
충적층	점성토 사질토 사 력	250~700 (1500-포화토의 경우)	80~160 60~200 250~350	0.35~0.50	1.3~1.7 1.6~2.0 1.8~2.1
	점성토 사질토 사 력	1000~2000 (1500-포화토의 경우)	160~250 200~350 300~600		1.4~1.8 1.7~2.1 1.8~2.2
암 석	이 암 사 암	2000~3000 2000~3500	600~1000 700~2000	0.30~0.40	2.2~2.6 2.5~2.7
	화강암 현무암	4000~5700 4400~6700	2100~3300 2500~3800	0.25~0.35	2.6~2.8 2.8~3.0
상 부 맨 틀		7500~8000	4300~4600	≅0.25	≅3.3
공기(건조, 0℃, 1기압)		331	-	-	0
물(증류수, 23~27℃)		1500	-	-	1.0
얼 음		3230	1600	0.338	0.338
콘 크 리 트		3100	1960	0.167	2.3
철		5950	3240	0.289	7.86

4) 암반의 탄성계수

암반의 탄성계수는 지반 지내력 평가, 침하량 혹은 변형률 계산, 안정성 검토, 내진 설계 등 설계의 기초자료로 사용된다. 암반의 탄성계수는 암편을 채취하여 실내에서 시험하는 방법과 현장시험을 하는 방법이 있다. 또한 주로 재하시험(loading test)에 의해 응력-변형률 관계로부터 구하는 정탄성계수(E_s ; static elastic module)와 탄성파를 이용하여 측정하는 동탄성계수(E_d ; dynamic elastic module)가 있는데, 정탄성계수는 하중에 의한 암반변형을 평가를 위하여 주로 사용되며, 동탄성계수는 내진설계 등 암반의 동적분석을 위하여 주로 사용된다. 표 2.4는 탄성계수 산출 공식 및 각종 탄성계수 사이의 관계를 나타낸 것이다.

표 2.4 Formulae for static and dynamic elastic module

구 분	정탄성계수	동탄성계수	비고
영률	$E = \sigma / \varepsilon$	$E_d = 2G(1 + \mu) = \rho \frac{3V_p^2 / 4V_s^2}{V_p^2 / V_s^2 - 1}$	
전단계수	$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$	$G_d = \rho V_s^2 = \frac{E_d}{2(1 + \mu)}$	
체적계수	$B = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}$	$K = \rho \left(V_p^2 - \frac{4V_s^2}{3} \right) = \frac{E_d}{3(1 + 2\mu)}$	
구속계수	$D = \frac{E(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$		
포와송비	$\mu = \varepsilon_l / \varepsilon$	$\mu = \frac{V_p^2 / 2V_s^2 - 1}{V_p^2 / V_s^2 - 1}$	
P파속도		$V_p = [(K + 4G/3) / \rho]^{1/2}$	
S파속도		$V_s = (G / \rho)^{1/2}$	
밀도		$\rho = \gamma / g$	

암반이 신선하고 단단할수록 정탄성계수와 동탄성계수는 거의 차이를 보이지 않는다. 그러나 탄성파가 지속되는 시간이 아주 짧으며 응력의 크기가 미약하기 때문에 일반적으로 동탄성계수가 정탄성계수보다 높게 측정된다. 다음 표 2.5는 암종에 따른 정적 및 동적 탄성계수(영률)와 그 비율을 보여주고 있다. 설계에 입력 자료로 사용할 동탄성계수를 결정하기 위해서는 현장시험으로 구한 동탄성계수를 다른 현장시험이나 실내시험을 실시하여 구한 동탄성계수와 대비하여 평가한다.

표 2.5 Static and dynamic Young's modulus of some rocks

암종	정탄성계수(MPa)	동탄성계수(MPa)	Ed/Es
역암	3,670~4,390	32,030	7~9
혈암-사암의 호층	420~580	6,670	12~16
사암	500~1,650	13,000~16,000	8~10
세립화강암	300~1,000	9,300~17,400	9~17
		10,900~20,400	10~20
이암-사암의 호층	830~855	4,920	5.8~6
	1,300~1,750	6,130	3.5~4.7
	1,240~1,990	7,140	3.6~5.8
반려암	1,100	-	-
휘록암	1,990	56,000	28
세립석영섬록암	1,800	43,400	24
응회암	10,000~16,000	43,000	2.7~4.3
	10,000	44,500	4.5
	3,000~3,500	41,500	12~14
	18,000~24,000	30,500	1.3~1.7
점판암	15,000~25,000	38,500	1.5~2.5
	9,000	44,500	5
세립석영섬록암	1,840	-	-
	1,280	-	-

5) 국토교통부 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)을 적용한 설계지반 등급산정

- (1) 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 표 2.6에서와 같이 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 의 6종으로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층으로 정의한다.

표 2.6 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층평균전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
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 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

- (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 120 m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류한다.

- (4) 지반종류 S_6 은 부지 고유의 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 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3 m)
- ③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7 m이고, 소성지수 > 75)
- ④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36 m)
- ⑤ 기반암이 깊이 50 m를 초과하여 존재하는 지반

- (5) 건축물의 특성을 반영하여 아래와 같이 수정하여 적용할 수 있다.

- ① 기반암깊이가 3m 미만인 경우 S_1 지반으로 볼 수 있다.
- ② 기반암의 위치가 기준면으로부터 30m를 초과하는 경우 상부 30m에 대한 평균 전단파속도를 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)로 볼 수 있다.
- ③ 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

2.2.5 폐공처리 현황

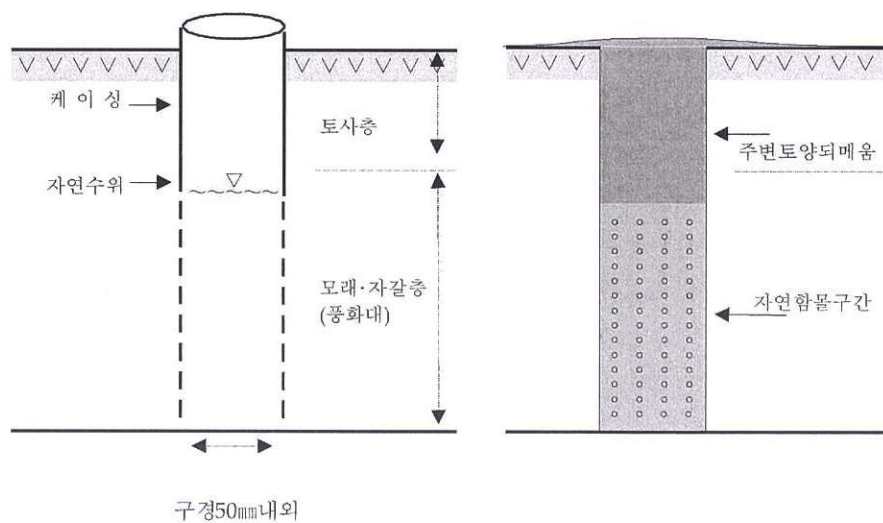
1) 폐공처리 목적

- 지표오염원의 공 내 유입 방지
- 오염원의 수직적 이동통로 차단
- 오염 유발시설(케이싱 등) 제거

2) 충적층 우물의 되메움

- 충적층 소형우물(유형1)

– 충적층 소형우물의 일반적 되메움 순서는 다음과 같다.



【원상복구 전】

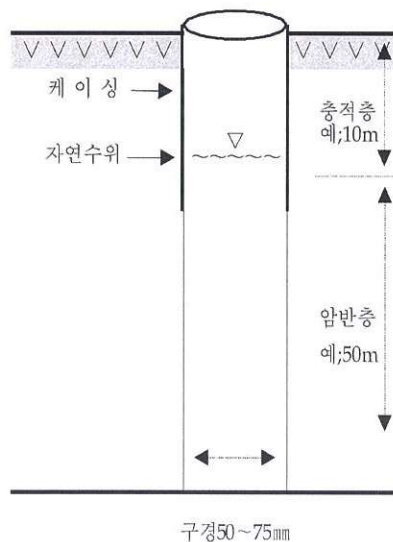
【원상복구 후】

3) 암반층 우물의 되메움

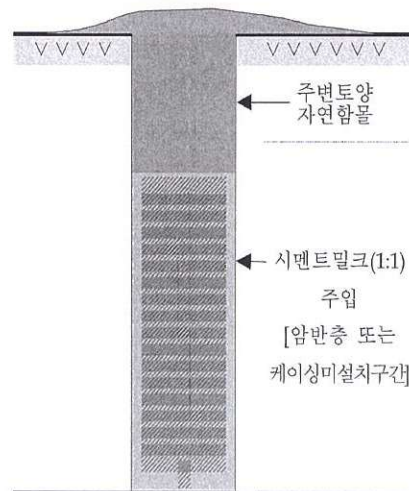
• 암반층 소형우물

- 케이싱 인발 제거 시 되메움 순서(유형4)

주변 환경 검토	• 주변 환경 등 작업여건과 오염물질 유입 여부 점검
불용공 제원조사	• 우물의 심도, 지하수위, 케이싱의 구경, 재질 등을 조사
불용공 내 이물질 제거	• 수중펌프 등 공 내에 이물질이 있는 경우 완전히 제거
불투수성재료 주입	• 암반 대수층구간(또는 케이싱 미설치 하부구간)에 불투수성 재료주입(시멘트, 몰탈, 벤토나이트 등)
케이싱 제거	• 유압재키 등 장비를 이용하여 케이싱 인발
지표부 표면처리	• 충적층의 공 내부가 자연 함몰되게 하거나 주변 흙으로 되메움
주변정리	• 주변 환경에 어울리게 주변정리 • 작업 중 발생한 케이싱, 우물자재 등 폐자재는 운반하여 폐기 처분



【원상복구 전】



【원상복구 후】

제3장 지반의 분류 및 기재방법

3.1 흙의 분류 및 기재방법

3.1.1 개요

흙이라 함은 일반적으로 토양을 의미하며, 암석이 기계적 및 화학적인 풍화작용과 생물의 작용을 충분히 받아 작은 알갱이들로 변하여 대체로 그 자리나 가까운 곳에 남아있는 것으로 지표의 굳지 않은 암석의 크고 작은 부스러기를 일컫는다. 암석은 1종 또는 그 이상의 광물이나 유기물이 자연의 작용으로 모여서 어떤 덩어리 또는 집합체를 만든 것을 말한다. 본 과업에서는 흙과 암석의 분류에 있어서 층의 조직상태 및 풍화암의 기본적인 물리적 성질, 표준 관입 시험 결과 등을 고려하였으며, 풍화암에 대한 표준 관입 시험치 기준은 50/10(회/cm) 이상으로 규정하였다.

3.1.2 흙의 분류 목적 및 적용

1) 분류 목적

- 흙에 대한 정보를 객관적 근거에 의해 이해할 수 있고, 정보의 전달 및 교환을 서로 이해
- 조사 및 설계에 있어서 흙의 공학적 성질이나 일반적 특성을 개략적으로 파악
- 미리 준비한 분류표에 의해 조사 및 설계 시에 필요한 정수를 개략적으로 산정
- 조사보고, 시공관리 및 공사의 보고, 기록 등에 객관성을 부여함

2) 분류의 적용

- 지질 및 토질 조사결과의 표시(시추 주상도의 작성)
- 재료의 적부 판단(노상 및 뒤펀의 선정, 안정처리의 여부, 사토의 판정)
- 쌓기나 구조물의 기초지반으로서의 적부 판정
- 시공 방법과 건설기계의 선정(굴착방식의 선정 및 계획)
- 토량변화율의 산정
- 건설기계의 작업능력 산정(굴착, 운반, 다짐 등의 난이도 정도)
- 흙깎기 및 흙쌓기 비탈면 경사의 계획
- 비탈면보호공, 옹벽, 기초공 및 터널 등의 계획(공종의 선정, 토압 등의 계산)

3.1.3 흙의 분류 기준

흙의 분류 목적은 성질이 다른 여러 가지 흙을 간단한 시험 자료를 이용하여 몇 가지 무리로 나누어 이것을 토대로 공학적 성질을 판단하며, 이를 기초로 토공의 설계 및 시공에 이용하고자 실시하였다.

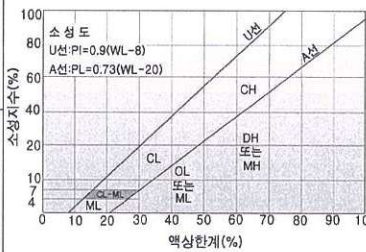
- 시험 결과를 설계에 이용하는 경우에 기술자간의 언어(Vocabulary)로서의 기능
- 시험을 통해 공학적으로 유사한 특성을 가진 흙을 Group화 시켜 축적된 경험을 활용
- 복잡한 공학적 문제에 대한 개요를 파악할 수 있도록 하기 위해 분류

1) 육안에 의한 흙의 분류방법(KS F 2430)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 꼰때
		건 조 상 태	습 윤 상 태	
모 래 (Sand)	·개개입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 ·건조상태에서 흘러내림	·덩어리로 되지않고 흐트러짐	·덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐	·끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모 래 (Silty Sand)	·입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 ·모래질의 특성 우세함	·덩어리거나 가볍게 건드리면 흐트러짐	·덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	·끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실 트 (Sandy Silt)	·적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트입자 50% 이상 ·건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	·덩어리지며 만져도 부서지지 않음 ·부서지면 밀가루와 같은 감촉	·덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 ·물을 부으면 서로 엉킴	·끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지고 부드럽고 약간의 점성 있음
실 트 (Silt)	·세립사와 점토 함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80% 이상 ·건조되면 덩어리거나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨	·덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	·덩어리지며 자유롭게 만져도 부서 지지 않으며 물에 젖으면 엉킴	·완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아 지고 부드러움
점 토 (Clay)	·건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태로 됨 ·건조상태에서 잘 부서지지 않음	·덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	·덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	·길고 얇게 꼬아지며, 점성 큼

2) 통일분류법(USCS)에 의한 흙의 분류방법

통일분류법

구 분		분 류 방 법		기 호
조립토 $F_1^{(2)} < 50\%$	자갈질 흙 $F_1^{(2)} < \frac{100-f}{2}$	NO.200체 통과량 < 5%	$Cu \geq 4$ 이고 $1 < C_g < 3$	GW
		NO.200체 통과량 < 5%	GW 조건을 만족 못함	GP
		NO.200체 통과량 > 12%	$PI < 4$ 또는 소성도의 A-선 아래	GM
		NO.200체 통과량 > 12%	$PI > 7$ 이고 소성도의 A-선 위	GC
		NO.200체 통과량 > 12%	소성도의 "CL-ML"부분	GC-GM
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	GW와 GM 조건을 만족함	GW-GM
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	GW와 GC 조건을 만족함	GW-GC
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	GP와 GM 조건을 만족함	GP-GM
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	GP와 GC 조건을 만족함	GP-GC
	모래질 흙 $F_1^{(2)} \geq \frac{100-f}{2}$	NO.200체 통과량 < 5%	$Cu \geq 6$ 이고 $1 < C_g < 3$	SW
		NO.200체 통과량 < 5%	SW 조건을 만족 못함	SP
		NO.200체 통과량 > 12%	$PI < 4$ 또는 소성도의 A-선 아래	SM
		NO.200체 통과량 > 12%	$PI > 7$ 이고 소성도의 A-선 위	SC
		NO.200체 통과량 > 12%	소성도의 "CL-ML"부분	SC-SM
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	SW와 SM 조건을 만족함	SW-SM
		소성도의 A-선 아래		
		$5 \leq 200$ 체 통과량 $\leq 12\%$	SW와 SC조건을 만족함	SW-SC
무기질 세립토 $F_1^{(1)} \geq 50\%$	$LL < 50\%$	$PI < 4$ 또는 소성도의 A-선 아래 $PI > 7$ 이고 소성도의 A-선 위 $4 \leq PI < 7$, 소성도의 "CL-ML"부분		ML CL CL-ML
	$LL \geq 50\%$	소성도의 A-선 아래 소성도의 A-선 위		MH CH
	$LL < 50\%$	노건조시료 액성한계 공기건조시료 액성한계 < 0.75		OL
	$LL \geq 50\%$			OH

주) 1. F : No. 200체 통과량(%)

2. F1 : No. 4체를 통과하고 No. 200체에 남은 흙의 양(%)

통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

토질의 종류		제1문자	토질의 속성	제2문자	
조립토	자갈 (GRAVEL)	G	입도 분포 양호 세립분 거의 없음	W	조립토
	모래 (SAND)	S	입도 분포 불량 세립분 거의 없음	P	
세립토	실트 (SILT)	M	세립분의12%이상 함유, A선 아래, 소성지수 4이하	M	세립토
	점토 (CLAY)	C	세립분12%이상 함유, A선 위, 소성지수 7이상	C	
	유기질의 실트 및 점토	O	압축성 낮음(Low Compressibility) $WL \leq 50$	L	세립토
유기질토	이 탄	Pt	압축성 높음(High Compressibility) $WL \geq 50$	H	

입도에 따른 분류

명칭		자갈/모래/실트/점토/콜로이드 등의 입경 범위(mm)					
규정							
통일분류법 (USCS)	Gravel		Sand			Silt	clay
			coarse		fine		
	4.75		0.425		0.075	0.002	
KS F 2302	자 갈 (G)			모 래 (S)		실트(M)	점토(C)
	굵은	중간	작은	굵은	가는		
	1.9		4.75	2.0	0.425		0.075

3) 시료의 함수상태

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

4) 시료의 색상

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

5) 상대밀도와 연경도

흙의 상대밀도와 연경도는 일반적으로 N치를 기준으로 파악하며, 상대밀도와 연경도를 통하여 개략적인 토사층의 성질을 추정할 수 있기 때문에 주상도에 다음 분류 기준에 의하여 기재하였다.

모래의 상대밀도(Dr,%)와 N치와의 관계

N 치	조밀정도 (Gibbs-Holtz)	상대밀도 (Relative Density)		현장 관찰
		Gibbs-Holtz	Bowles	
0~4	매우 느슨 (Very Loose)	< 0.15	0.0~0.2	엄지손가락 또는 주먹으로 쉽게 자국
5~10	느슨 (Loose)	0.15~0.35	0.2~0.4	쉽게 삽질. 손가락으로 자국 가능
11~30	보통 조밀 (Medium Dense)	0.35~0.65	0.4~0.7	힘을 주면 삽질 가능
31~50	조밀 (Dense)	0.65~0.85	0.7~0.9	인력 삽질 가능 또는 손힘으로 삽을 이용하여 자국 낼 수 있음
51이상	매우 조밀 (Very Dense)	0.85~1.00	0.9~1.0	발파 또는 중장비에 의해서만 자국 가능

점토의 Consistency, 일축 압축 강도와 N치와의 관계

N치	점토의 Consistency	현장관찰 (Peck-Hanson-Thornbron)	qu(kg/cm ²) (Terzaghi & Peck)
< 2	매우 연약 (Very Soft)	주먹이 쉽게 10cm 들어감	< 0.25
3~4	연약(Soft)	엄지손가락으로 쉽게 10 수cm 들어감	0.25~0.50
5~8	보통 견고 (Medium Stiff)	노력하면 엄지손가락이 10 수cm 들어감	0.50~1.00
9~15	견고(Stiff)	엄지손가락으로 흙을 움푹 들어가게 할 수 있지만 흙 속에 엄지손가락을 넣기는 힘들	1.00~2.00
16~30	매우 견고 (Very Stiff)	손톱으로 흙에 자국을 낼 수 있다.	2.00~4.00
31이상	고결(Hard)	손톱으로 자국을 내기 힘들다.	> 4.00

3.1.4 흙의 기재방법

흙의 분류방법에 따라 1차적으로 육안관찰에 의해서 흙을 분류한 후 실내토질시험을 통하여 2차적으로 통일분류법에 의해 흙을 분류하였다. 또한 상대밀도와 연경도, 함수비 상태, 색상, 입도 등을 고려하여 다음과 같은 방법으로 시추주상도에 기록하였다.

- 경연상태는 SPT-N값에 따라 점성토는 연경도(Consistency), 사질토는 상대밀도(Relative Density)에 의해 기재
- 함수비 상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet), 포화(Saturated)로 구분하여 기재
- 색상은 기본색 언급 외에 필요에 따라 연한(담), 진한(암)으로 서술용어 사용
- 입도는 조립, 중립, 세립으로 구분하여 기재하고 필요시 점두사 사용

3.2 암반의 분류 및 기재방법

3.2.1 개략적인 분류방법

암반 코어(core)에 대한 서술 내용은 색, 불연속면의 간격, 풍화상태, 강도 및 암석명 등이다. 암석의 색, 풍화상태, 강도, 불연속면의 간격(절리나 파쇄면의 간격)은 아래의 기준에 따라 기술, 지질학적인 암석 명 및 암석 주상도를 별도로 작성하여 대비가 되도록 하였다.

- 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격(절리나 파쇄대 간격), 강도 및 암질 표기
- 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안 관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 “공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법”에 의거 시추주상도 작성
- 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등
- 색은 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연함), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용
- 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류
- 지반조사 시 암반의 분류는 TCR, RQD, 시추굴진상태 및 시추굴진속도, 풍화상태를 관찰하여 시추주상도에 기재하고, 여러 가지의 암반분류 기준을 참고로 하여 풍화암, 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리핑암, 발파암으로 구분

3.2.2 암반의 분류방법

국내에서 적용되는 암반분류는 토목공사의 절토 및 성토, 기초굴착, 터널공사 등에 이용되고 있는데 일반적으로 발주처에서 설계, 시공의 품셈 적용 시에 이용된다.

분 류 명	분류목적	분 류 요 소	검 토 내 용	비 고
건설공사 표준품셈	토 공	· 탄성파속도 · 내압강도 · 암석종류	· 토공작업방법 결정을 위한 기준 · 암면 일축압축강도 기준 너무 높음	국토교통부
지반조사 표준품셈	시추조사 시 암석분류	· 탄성파속도 · 일축압축강도	· 시추주상도의 암분류 시 이용	한국엔지니어링협회
서울시 표준 지반 분류	토목공사	· SPT, TCR, RQD · 일축압축강도 · 절리간격	· 지반의 정성적 분류 기준임	서울시
한국도로공사 분 류 기 준	터 널	· TCR, RQD, RMR · Q-System · 탄성파 속도 · 일축압축강도	· RMR, Q-System이 주로 활용 · 개별요소에 의한 분류보다는 종합적인 판단	한국도로공사

1) 건설공사 표준품셈의 분류 기준(국토교통부)

가. 적용기준 : 토질과 암의 분류

구 분		내 용
토사	보 통 토 사	보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삼이나 갱이를 사용할 정도의 토질(삽 작업을 하기 위하여 상체를 약간 구부릴 정도)
	경 질 토 사	견고한 모래질 흙이나 점토로서 갱이나 곡괭이를 사용할 정도의 토질(채종을 이용하여 2~3회 동작이 필요한 정도)
	고사점토 및 자갈 섞인 토사	자갈질흙 또는 견고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡괭이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질
	호박돌 섞인 토사	호박돌 크기의 돌이 섞이고, 굴착에 약간의 화약을 사용해야 할 정도로 단단한 토질
암	풍 화 암	일부는 곡괭이를 사용할 수 있으나 암질(岩質)이 부식되고 균열이 1~10cm로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질
	연 암	혈암, 사암 등으로서 균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질
	보 통 암	풍화상태는 엿볼 수 없으나 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm정도의 암질
	경 암	화강암, 안산암 등으로서 굴착 또는 절취에 화약을 사용해야 하며 균열상태가 1m이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질
	극 경 암	암질이 아주 밀착된 단단한 암질

나. 암분류 기준 : A, B 그룹의 비교

구 분	A 그룹	B 그룹
대표적인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 세일, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록 응회암, 세일, 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분 및 응회분이 거의 없는 암석, 천매상의 암석
500~1,000g 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암으로 되어 비산하나, 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점에 암 자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비산 되지 않는 암석

다. 암종별 탄성파속도 및 내압강도

암종그룹		자연상태의 탄성파속도 Vp(km/s)	암편의 탄성파속도 Vp(km/s)	암편내압강도 (kgf/cm ²)	비 고
풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700	< 내 압 강 도 > 1. 시편 : 5cm 입방체 2. 노건조 : 24시간 3. 수중침윤 : 2일 4. 시험방향(가압방향) : Z축 (결면에 수직), 탄성파속도가 가장 느린 방향 < 암편의 탄성파속도 > 1. 시편 : 두께 15~20cm, 상하면이 평행면 2. 측정방향 : X축(결면에 평행), 탄성파속도가 가장 빠른 방향
	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				

라. 정량적인 현장 암 판정 기준

암 분 류	극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암
일축압축강도 (MPa)	160 <	130 ~ 160	100 ~ 130	70 ~ 100	30 ~ 70
점하중강도 (MPa)	88 <	56 ~ 88	37 ~ 56	18 ~ 37	0 ~ 18
Schmidt Hammer	60 <	51 ~ 60	44 ~ 51	34 ~ 44	10 ~ 34
해 머 에 의 한 타 격	큰해머로 타격시 튀기며 용이하게 깨지지 않음	큰해머로 타격시 약간 깨짐	큰해머로 타격시 균열을 따라 크게 떨어짐	보통해머로 타격시 비교적 용이하게 깨짐	보통해머로 타격시 용이하게 소편으로 깨지며 때로는 손으로도 쪼개짐

2) 한국엔지니어링협회 분류 기준

암분류		풍 화 암	연 암	보 통 암	경 암	극 경 암
시 추 굴 진 상 황		Metal crown bit로 용이하게 굴진 가능하며 때로는 무수보링도 가능.	Metal crown bit로 용이하게 굴진 가능한 지반.	Metal crown bit로 굴진 가능하나 Diamond bit를 사용하면 코어회수율이 양호한 지반.	Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 지반.	Diamond bit의 마모가 특히 심한 암반 및 경암의 파쇄대로서 코어의 막힘이 많음
암 반 의 성 질	풍 화 변 질 상 태	암 내부까지도 풍화진행, 암의 구조 및 조직이 남아있음.	암 내부의 일부를 제외하고는 풍화진행, 장식, 운모 등이 색 변질.	균열에 따라 다소 풍화 진행, 장식 및 유색광물은 일부 변색됨.	대체로 석괴, 균열을 따라 약간 풍화 및 변질. 암 내부는 신선함.	대단히 신선하고 풍화, 변질을 받지 않음.
	균 열 상 태	균열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착 상태임.	균열이 많이 발달. 균열간격은 5cm 이하이고 점토 협제.	균열발달 일부는 점토를 협제함. 세편 상태로 잘 부서짐. 균열간격은 10cm 내외.	균열의 발달이 적으며 균열 간격은 5~15cm 대체로 밀착 상태이나 일부는 open 됨.	균열의 발달이 적으며, 그 간격은 20~50cm로 밀착 (mosaic 상태의 균열이 발달, 간격은 5cm 이하)
	코 아 상 태	세편상 암편이 남아 있고 손으로 부수면 가루가 되기도 함. 단형코어가 없음.	암편상 - 세편상 (각력상) 원형코어가 적고 복구가 곤란.	대암편상-단주상 10cm 이하이며, 특히 5cm 내외의 코어가 많음. 원형복구가 가능.	단주상-봉상대체로 20cm 이하 1m 당 5~6개 이상.	봉상-장주상 완전한 형태를 보유. 1m 당 5~6개(암편상-각력상으로 원형코어가 적음) 이상.
	해 머 타 격	손으로도 부서짐.	해머로 치면 가볍게 부서짐.	해머로 치면 현저한 소리를 내고 부서짐.	해머로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 휘는 경향을 보임.	해머로 치면 금속음을 내며 잘 부서지지 않고 튼튼한 경향을 보임.
	용 수 시 형	원형보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리됨.	세편상으로 분리 되고 암괴로도 분리.	암괴로 분리되나 입자의 분산은 거의 없고 변화하지 않음.	거의 변화하지 않음.	거의 변화하지 않음.
탄성파 속 도 (km/s)		< 1.2	1.2 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	4.5 이상
일축압축 강도 (kg/cm ²)		< 125	125 ~ 400	400 ~ 800	800 ~ 1,200	> 1,200

3) 서울시 표준 지반분류 기준

서울시에서는 토목공사와 관련하여 지반분류는 상기의 서울시 표준 지반분류 기준에 의하여 수행하는 것을 원칙으로 하고 있다. 본 분류는 강도 외에 시추 시 코어시료의 상태와 절리의 간격 등에 근거한 분류방법이다.

지반 분류	정성적 특징(노두조사 및 막장조사 시)	시추조사 시 분류기준	개략현장 탄성파속도 Vp(km/sec)
퇴적토층 (DS)	원지반에서 분리, 이동되어 다른곳에 퇴적된 층으로 대체로 원지반 보다 연약하며 입자의 크기나 구성에 따라 세분. 흙의 통일분류법으로 세분	흙의통일분류법 으로 세분됨	-
풍화토층 (RS)	조암광물이 대부분 완전 풍화되어 암석으로서의 결합력을 상실한 풍화잔류토로서 절리의 대부분은 풍화산물인 점토 등 2차 광물로 충전되어 흔적만 보이고 함수 포화시에 전단강도가 현저히 저하되기도 하며, 손으로 쉽게 부수어지는 지반	$N < 50$ 회/10cm 흙의통일분류법 으로 세분함	< 1.2
풍화암층 (WR)	심한 풍화로 암석자체의 색조가 변색되었으며 충전물이 채워지거나 열리, 절리가 많고, 가벼운 해머타격에 쉽게 부수어지며 칼로 흠집을 낼 수 있음. 절리간격은 좁음 이하이며 시추 시 암편만 회수되는 지반	$TCR \geq 10\%$ $N \geq 50$ 회/10cm $qu < 100\text{kg/cm}^2$	1.0~2.5
연암층 (SR)	절리면 주변은 조암광물은 중간 풍화되어 변색되었으나 암석내부는 부분적으로 약한 풍화가 진행 중이며 해머타격 시 둔탁한 소리를 내면서 파괴되고, 일부 열린 절리가 있으며 절리간격은 중간 정도인 지반	$TCR \geq 30\%$ $RQD \geq 10\%$ $qu \geq 100\text{kg/cm}^2$ $Js \geq 20\text{cm}$	2.5~3.2
보통암층 (MR)	절리면에서 약한 풍화가 진행되어 일부 변색되었으나 암석은 강한 해머타격에 다소 맑은 소리를 내면서 깨어지고, 절리면의 대부분은 밀착되어 있고 절리간격이 넓음	$TCR \geq 60\%$ $RQD \geq 25\%$ $qu \geq 250\text{kg/cm}^2$ $Js \geq 60\text{cm}$	3.0~4.2
경암층 (HR)	조암광물의 대부분이 거의 신선하며 암석은 강한 해머타격에 맑은 소리를 내며 깨어지고, 절리면은 잘 밀착되어 있고 절리간격이 매우 넓음	$TCR \geq 80\%$ $RQD \geq 50\%$ $qu \geq 500\text{kg/cm}^2$ $Js \geq 200\text{cm}$	4.0~5.0
극경암층 (XHR)	거의 완전하게 신선한 암으로서 절리면은 잘 밀착되어 있고 강한 망치타격에 맑은 소리를 내며 잘 깨어지지 않으며 절리간격이 극히 넓음	$TCR \geq 90\%$ $RQD \geq 75\%$ $qu \geq 1000\text{kg/cm}^2$ $Js \geq 300\text{cm}$	> 4.8

주) N : 표준관입시험, TCR : 코어회수율, RQD : 암질지수, qu : 코어시료의 일축압축강도,

Js : 절리면 간격으로 TCR 및 RQD는 NX공경 다이아몬드 비트와 이중 코어배럴을 사용한 시추시의 측정치임

4) 한국도로공사 지반분류 기준

한국도로공사 분류기준은 RQD, 탄성파속도, 일축압축강도, 코어회수율을 적용하며, 경암~풍화암(토)까지 5등급으로 분류하고 각 암질에 대응하는 터널표준 단면을 제시하고 있다. 아래 표의 내용은 호남고속도로 확장공사 실시설계에 적용한 분류기준이다.

표준 단면	암질	특 징	RMR	Q값	RQD (%)	탄성파 속도 (km/s)	일축압 축도 (kgf/cm ²)	코어 회수율 (%)
I	경암	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80 ~100	40 이상	70 이상	4.5 이상	1,000 이상	90 이상
II	보통암	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	70 ~80	10 ~40	40 ~70	4.0 ~4.5	800 ~1,000	70 ~90
III	연암	층리, 절리 및 편리 등이 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 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	25 ~50	1~4	20 ~40	3.5 이하	250 ~600	40 이하
V	풍화토	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	25 이하	1이하	20 이하	3.0 이하	250 이하	-

5) 탄성파 속도에 의한 분류

실내 및 현장 탄성파속도를 이용한 분류로 각종 암반분류 등급의 한 요소로 적용하며, 실내 측정은 매우 간단한 방법으로 암반특성 판단 용이하나, 풍화, 지하수, 절리가 많은 구간은 시험값과 현장값의 차이로 하나의 분류방법으로는 적용하기 어려운 단점이 있다.

건설공사표준품셈		한국도로공사		한국철도시설공단		서울시 표준 지반분류	
구 분	탄성파속도	구 분	탄성파속도	구 분	탄성파속도	구 분	탄성파속도
극경암	> 4,200	경 암	> 4,500	극경암	> 4,500	극경암층	> 4,800
경 암	4,100~4,200	보통암	4,000~4,500	경 암	3,500~4,500	경 암 층	4,000~5,000
보통암	2,800~4,100	연 암	3,500~4,000	보통암	2,500~3,500	보통암층	3,000~4,200
연 암	1,800~2,800	풍화암	< 3,500	연 암	1,200~2,500	연 암 층	2,000~3,200
풍화암	< 1,800	풍화토	< 3,000	풍화암	< 1,200	풍화암층	1,000~2,500

6) 토공작업의 리퍼빌리티에 의한 분류

구 분		토 공 작 업		
		토 사	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험 (N치)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면의 발달빈도	BX 크기	-	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=5~10% 이상이고 RQD=0~5% 이상
	NX 크기	-	TCR=20%이하이고 RQD=0% 정도	TCR=20% 이상이고 RQD=10%이상
탄성파속도	A 그룹	70 m/sec 미만	700~1,200 m/sec 미만	1,200 m/sec 이상
	B 그룹	1,000 m/sec 미만	1,000~1,800 m/sec 미만	1,800 m/sec 이상

3.2.3 암반의 기재방법

암석 코어에 대한 기술내용은 색, 불연속면 간격, 풍화상태, 암석명, 강도 등이다. 암석의 풍화상태, 불연속면 간격(절리나 층리면의 간격) 및 강도는 아래 기준에 따라 분류하여 시추주상도에 기재하였다.

1) 풍화상태에 의한 분류

기 호	용 어	풍 화 상 태
D6	잔 적 토 (Residual Soil)	완전 풍화되고 토립자들의 재구성이 일어나 암석조직이 관찰되지 않는 흙
D5	완 전 풍 화 (Completely Weathered)	암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 원조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태
D4	심 한 풍 화 (Highly Weathered)	암석내부까지 풍화가 진행 중이며 점토물질이 협제되어있어 부분적으로 쉽게 부술 수 있는 상태
D3	보 통 풍 화 (Moderately Weathered)	전 암석 표면에서부터 풍화가 진행 중이며 색조는 변화하였으나 손으로 부술 수 없는 상태
D2	약 간 풍 화 (Slightly Weathered)	기반암내 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태
D1	신 선 (Fresh)	풍화작용의 흔적이 없는 상태

2) 강도에 의한 분류

기 호	용 어	강 도 상 태
S5	매 우 약 함 (Very Weak)	손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도
S4	약 함 (Weak)	해머로 눌러 으스러지는 정도
S3	보 통 강 함 (Moderately Strong)	1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S2	강 함 (Strong)	1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이지는 정도
S1	매 우 강 함 (Very Strong)	여러번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도

3) 불연속면의 간격에 의한 분류

기 재 방 법	기 호	Joint 간격	균 열 상 태
불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값 을 주상도에 수록	F5	5 cm 이하	매우 심한균열 (Highly Fractured)
	F4	5~10 cm	심 한 균 열 (Fractured)
	F3	10~20 cm	보 통 균 열 (Moderately Fractured)
	F2	20~100 cm	약 간 균 열 (Slightly Fractured)
	F1	100 cm 이상	과 상 (Massive)

4) 절리면 거칠기의 분류

구 분	계단형(Stepped)	파동형(Undulating)	평면형(Planar)
거 칠 음 (Rough)			
완 만 (Smooth)			
매끄러움 (Slickensided)			

제4장 조사결과

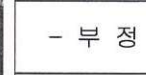
4.1 지형 및 지질

4.1.1 지형

본 조사지역은 행정구역상 인천광역시 연수구 송도동 13-8번지에 위치하고 있으며, 주요 교통시설은 과업지역 북측에 제2경인고속도로가 있다. 본 조사지역의 산계는 남서측에 황금산(▲143.2m)등이 산맥을 이루고 있으며, 수계는 서해가 인접해있다.

4.1.2 지질

본 조사지역의 지질은 한국지질자원연구원에서 발간한 인천도폭(1:50,000)에 의하면 하부로부터 선캄브리아기의 운모편암을 관입한 중생대 쥐라기의 흑운모화강암이 위치하며, 이들을 부정합으로 덮는 신생대 제4기 충적층이 분포되어 있다.

인천도폭(1:50,000)	범례
	 층적층
- 부정합(Unconformity) -	 흑운모화강암
- 관입(Intrusion) -	 운모편암

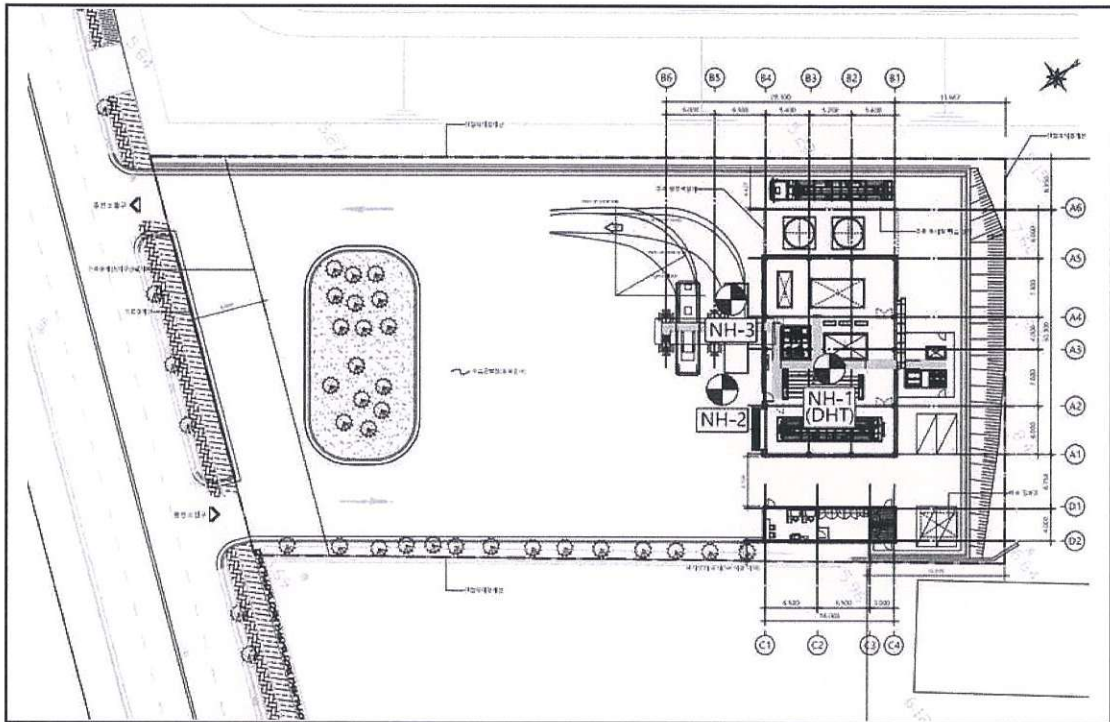
4.2 현장조사 및 시험 결과

4.2.1 시추조사

시추조사는 지표로부터 지하 깊은 곳을 직접 눈으로 볼 수 없으므로 시험공을 굴진하여 지반의 성상 및 각 지층의 지반 공학적 특성, 기반암의 분포상태, 풍화도를 조사하고, 시료의 채취를 시행하여 설계에 필요한 제반 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 본 조사에서는 아래 시추조사위치도에 표시한 바와 같이 3개소의 지점에서 회전수세식 (Rotary Washing Type) 시추기를 사용하였으며, 조사방법은 굴진심도에 따라 케이싱 (Casing)을 삽입하는 케이싱 공법을 채택하였다. 시추심도는 지층의 상태와 조사목적에 감안하여 현 지표로부터 -41.0m~-44.2m까지 굴진하여 풍화암, 기반암까지 시추하였다.

1) 시추조사 위치도

시추조사 위치도



공번	표 고 (GL, m)	시추심도 (현지반고, m)	지하수위 (GL, m)	비 고
NH - 01	현지반고	-43.9	-7.5	
NH - 02	현지반고	-44.2	-7.6	
NH - 03	현지반고	-41.0	-8.0	

2) 시추조사 결과

본 과업은 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사로 3개소에서 시추조사를 수행하였다. 지층의 구성은 성토매립층 > 퇴적층 > 풍화암 > 기반암 순으로 구성되었으며, 상세한 지층 구성 상태는 아래와 같다.

가. 지층개황

공 번	지 층	심도(m)	층후(m)	구성성분	표준관입시험 (TCR/RQD)
NH-01	성 토 매 립 층	0.0~8.7	8.7	모래, 실트, 자갈 등	5/30~29/30
	점 토 질 실트 층	8.7~31.5	22.8	실트, 점토 등	2/30~20/30
	실 트 질 모 래 층	31.5~38.7	7.2	모래, 실트 등	11/30~29/30
	풍 화 암	38.7~40.9	2.2	모래, 실트	50/5~50/3
	경 암	40.9~43.9	3.0	현지반의 기반암	86.7%/65.0%
NH-02	성 토 매 립 층	0.0~8.8	8.8	모래, 실트, 자갈 등	11/30~24/30
	점 토 질 실트 층	8.8~22.0	13.2	실트, 점토 등	3/30~21/30
	실 트 질 모 래 층	22.0~39.0	17.0	모래, 실트 등	4/30~32/30
	풍 화 암	39.0~41.2	2.2	모래, 실트	50/8~50/4
	보 통 암	41.2~44.2	3.0	기반암의 절리대	69.3%/42.3%
NH-03	성 토 매 립 층	0.0~8.5	8.5	모래, 실트, 자갈 등	14/30~47/30
	점 토 질 실트 층	8.5~27.0	18.5	실트, 점토 등	5/30~20/30
	실 트 질 모 래 층	27.0~38.4	11.4	모래, 실트 등	10/30~30/30
	풍 화 암	38.4~41.0	2.6	모래, 실트	50/7~50/3

① 성토매립층

습윤, 회색~갈색. 모래, 실트, 자갈 등으로 구성되어있다. 표준관입시험에 의한 N치는 5/30~47/30(회/cm)로 느슨~조밀한 상대밀도를 나타내고 있으며, 층후는 8.5m~8.8m이다.

② 점토질실트층

습윤, 회색, 실트, 점토 등으로 구성되어있다. 표준관입시험에 의한 N치는 2/30~21/30(회/cm)로 매우 연약~매우 견고한 연경도를 나타내고 있으며, 층후는 13.2m~22.8m이다.

③ 실트질모래층

습윤, 갈색~회색, 모래, 실트 등으로 구성되어있다. 표준관입시험에 의한 N치는 4/30~32/30(회/cm)로 매우 느슨~조밀한 상대밀도를 나타내고 있으며, 층후는 7.2m~17.0m이다.

④ 풍화암

습윤, 갈색. 기반암의 풍화작용에 의해 변질되어 형성된 지층으로 모암의 조직·형태는 그대로 보존하고 있으나 토사로 변해가는 과정이며, 암질이 풍화된 상태로 풍화토와 구분하기 어려워 표준관입시험 결과 50/10 이상의 원지반 풍화대층을 풍화암으로 분류하였다. 표준관입시험 시 채취된 시료는 실트질모래 입도로 풍화 정도는 대체로 완전 풍화(CW)이며, 표준관입시험 결과 N치가 50/8~50/3(회/cm)로 매우 조밀한 상대밀도를 나타내고 있으며, 층후는 2.2m~2.6m이다.

⑤ 보통암(NH-02)

갈색. 기반암의 절리대로 시추 시 단주상, 장주상으로 채취되었다. 풍화정도는 보통 풍화(MW)~약간풍화(SW)이고, 채취된 코어의 TCR/RQD는 69.3%/42.3%이며, 층후는 3.0m이다.

⑥ 경암(NH-01)

회색. 현지반의 기반암으로 시추 시 단주상, 장주상으로 채취되었다. 풍화정도는 약간풍화(SW)~신선(F)이고, 채취된 코어의 TCR/RQD는 86.7%/65.0%이며, 층후는 3.0m이다.

4.2.2 지하수위 측정 결과

본 조사지역의 지하수위를 파악하기 위하여 시추공에서 지하수위를 측정, 기록하였으며, 지하수위 측정은 시추종료 후 에어써징한 이후에 측정하여 안정된 지하수위를 얻을 수 있도록 하였다. 그러나 심도별 지하수위는 계절의 변화, 건기나 우기 및 토공작업에 따른 지하수위유출 등과 같은 요인에 의해 변화될 수 있는 점에 유의하여야 한다. 시추공의 지하수위는 현 지표로부터 다음과 같이 측정되었다.

조 사 위 치	NH - 01	NH - 02	NH - 03
지하수위(GL, m)	-7.5	-7.6	-8.0
지 층 분 포	성토매립층	성토매립층	성토매립층

4.2.3 표준관입시험

표준관입시험 결과는 각 지층의 상대밀도 및 연경도를 판정하는데 활용하였으며, 채취된 시료를 통하여 육안관찰에 의한 흙의 분류에 이용하였다. 또한 관입저항치(N치)로부터 지반의 강도특성 및 변형특성을 파악하였다.

1) 표준관입시험 결과

심 도 (GL-m)	NH-01		NH-02	
	지층	N값	지층	N값
1.0	성 토 매 립 층	19/30	성 토 매 립 층	23/30
2.0	"	19/30	"	14/30
3.0	"	29/30	"	24/30
4.0	"	25/30	"	20/30
5.0	"	19/30	"	17/30
6.0	"	15/30	"	15/30
7.0	"	13/30	"	15/30
8.0	"	5/30	"	11/30
9.0	점 토 질 실 트 층	2/30	점 토 질 실 트 층	3/30
10.0	"	12/30	"	9/30
11.0	"	9/30	"	12/30
12.0	"	7/30	"	8/30

주) 위 심도 : 조사 지점의 현 지표로부터 지하 심도

주) 성토매립층의 경우 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음

심도 (GL-m)	NH-01		NH-02	
	지층	N값	지층	N값
13.0	"	12/30	"	10/30
14.0	"	20/30	"	16/30
15.0	"	19/30	"	21/30
16.0	"	4/30	"	8/30
17.0	"	5/30	"	5/30
18.0	"	5/30	"	6/30
19.0	"	6/30	"	7/30
20.0	"	4/30	"	7/30
21.0	"	4/30	"	4/30
22.0	"	8/30	실트질모래층	8/30
23.0	"	10/30	"	12/30
24.0	"	16/30	"	15/30
25.0	"	19/30	"	18/30
26.0	"	19/30	"	20/30
27.0	"	18/30	"	21/30
28.0	"	11/30	"	15/30
29.0	"	8/30	"	10/30
30.0	"	9/30	"	10/30
31.0	"	13/30	"	12/30
32.0	실트질모래층	18/30	"	17/30
33.0	"	26/30	"	32/30
34.0	"	26/30	"	29/30
35.0	"	29/30	"	4/30
36.0	"	11/30	"	7/30
37.0	"	13/30	"	15/30
38.0	"	20/30	"	20/30
39.0	풍화암	50/5	풍화암	50/8
40.0	"	50/3	"	50/6
41.0	-	-	"	50/4

주) 위 심도 : 조사 지점의 현 지표로부터 지하 심도

주) 성토매립층의 경우 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음

심도 (GL-m)	NH-03		-	
	지층	N값	-	-
1.0	성 토 매 립 층	20/30	-	-
2.0	"	17/30	-	-
3.0	"	47/30	-	-
4.0	"	35/30	-	-
5.0	"	20/30	-	-
6.0	"	17/30	-	-
7.0	"	14/30	-	-
8.0	"	15/30	-	-
9.0	점 토 질 실 트 층	5/30	-	-
10.0	"	8/30	-	-
11.0	"	10/30	-	-
12.0	"	9/30	-	-
13.0	"	11/30	-	-
14.0	"	14/30	-	-
15.0	"	20/30	-	-
16.0	"	13/30	-	-
17.0	"	14/30	-	-
18.0	"	9/30	-	-
19.0	"	10/30	-	-
20.0	"	8/30	-	-
21.0	"	7/30	-	-
22.0	"	10/30	-	-
23.0	"	15/30	-	-
24.0	"	14/30	-	-
25.0	"	20/30	-	-
26.0	"	18/30	-	-
27.0	실 트 질 모 래 층	20/30	-	-
28.0	"	22/30	-	-
29.0	"	10/30	-	-

주) 위 심도 : 조사 지점의 현 지표로부터 지하 심도

주) 성토매립층의 경우 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음

심 도 (GL-m)	NH-03		-	
	지층	N값	-	-
30.0	"	11/30	-	-
31.0	"	14/30	-	-
32.0	"	17/30	-	-
33.0	"	25/30	-	-
34.0	"	30/30	-	-
35.0	"	28/30	-	-
36.0	"	14/30	-	-
37.0	"	16/30	-	-
38.0	"	24/30	-	-
39.0	풍 화 암	50/7	-	-
40.0	"	50/4	-	-
41.0	"	50/3	-	-

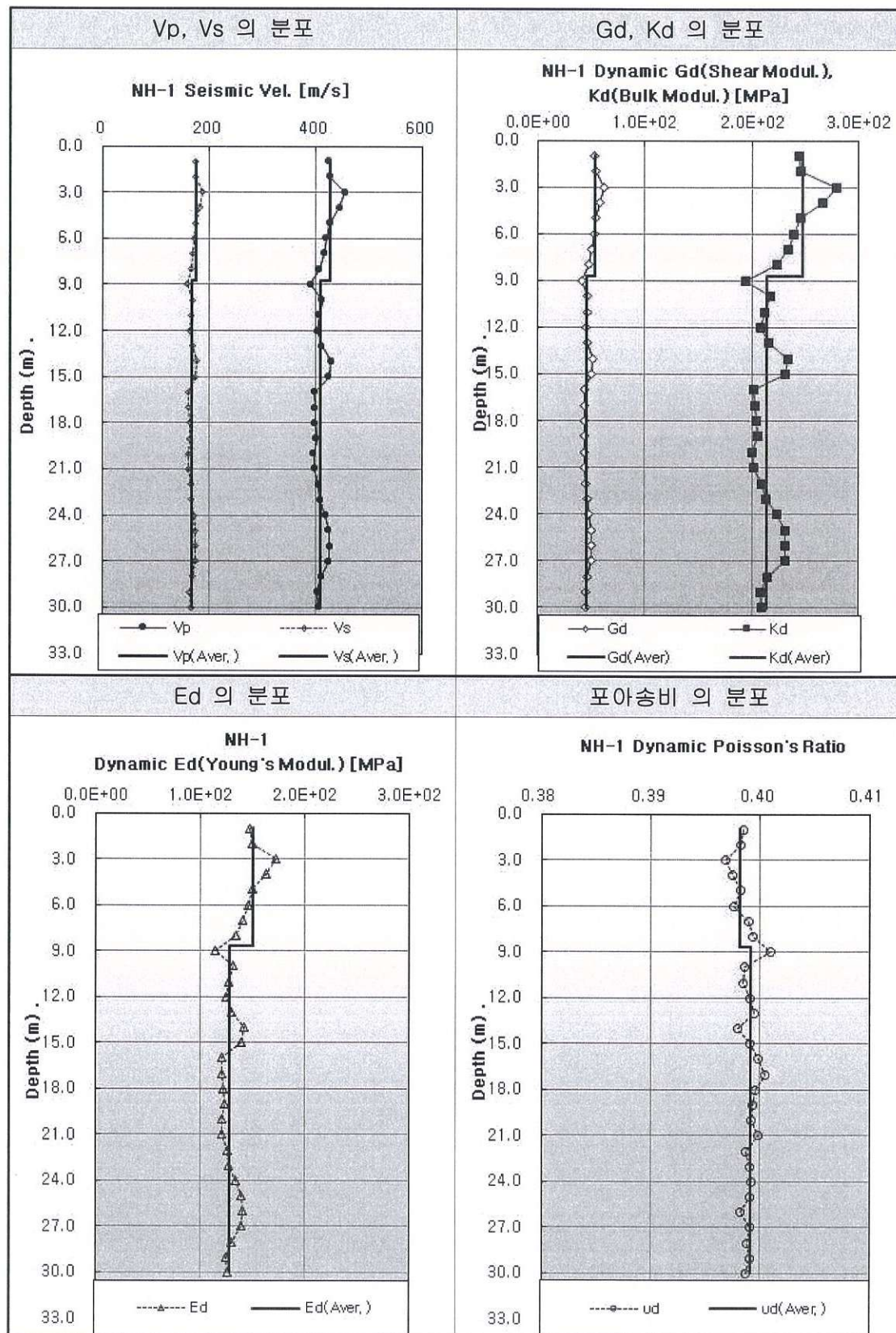
주) 위 심도 : 조사 지점의 현 지표로부터 지하 심도

주) 성토매립층의 경우 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음

4.2.4 하향식 탄성파탐사 측정 결과

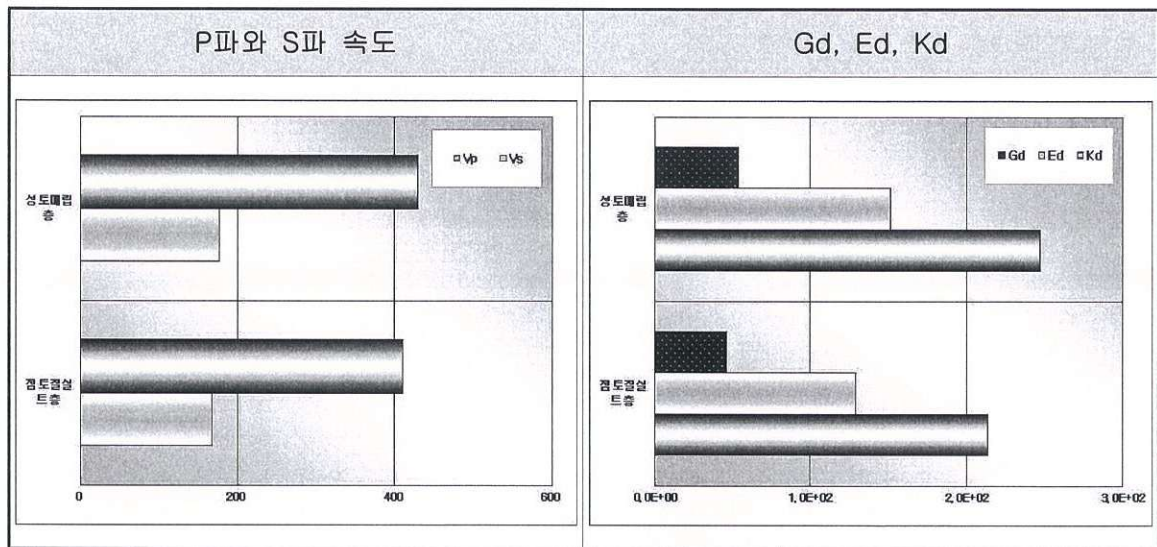
NH-1 시험공의 구간별 검층 결과

NH-1								
심도 (m)	지층 내역	속도(m/s)		단위중량 (kN/m ³)	동전단계수 (MPa)	동탄성계수 (MPa)	동체적계수 (MPa)	동적 포아송비
		P파	S파					
1	성토매립층	426	175	17.0	53	149	244	0.398
2	성토매립층	428	176	17.0	54	150	246	0.398
3	성토매립층	457	189	17.0	62	173	280	0.397
4	성토매립층	446	184	17.0	59	164	267	0.397
5	성토매립층	428	176	17.0	54	150	246	0.398
6	성토매립층	422	174	17.0	53	147	239	0.398
7	성토매립층	417	171	17.0	51	142	234	0.399
8	성토매립층	408	167	17.0	48	135	224	0.399
9	점토질실트층	391	159	16.0	41	116	195	0.401
10	점토질실트층	414	170	16.0	47	132	217	0.399
11	점토질실트층	409	168	16.0	46	129	212	0.399
12	점토질실트층	405	166	16.0	45	126	208	0.399
13	점토질실트층	413	169	16.0	47	131	216	0.399
14	점토질실트층	430	177	16.0	51	143	234	0.398
15	점토질실트층	427	175	16.0	50	140	231	0.399
16	점토질실트층	399	163	16.0	43	121	202	0.400
17	점토질실트층	400	163	16.0	43	121	203	0.400
18	점토질실트층	401	164	16.0	44	123	204	0.400
19	점토질실트층	403	165	16.0	44	124	206	0.399
20	점토질실트층	398	163	16.0	43	121	201	0.399
21	점토질실트층	399	163	16.0	43	121	202	0.400
22	점토질실트층	407	167	16.0	46	127	210	0.399
23	점토질실트층	410	168	16.0	46	129	213	0.399
24	점토질실트층	420	172	16.0	48	135	224	0.399
25	점토질실트층	427	175	16.0	50	140	231	0.399
26	점토질실트층	428	176	16.0	51	141	232	0.398
27	점토질실트층	427	175	16.0	50	140	231	0.399
28	점토질실트층	412	169	16.0	47	130	215	0.399
29	점토질실트층	405	166	16.0	45	126	208	0.399
30	점토질실트층	407	167	16.0	46	127	210	0.399



NH-1 계수별 시험결과 그래프

NH-1 지층별 시험결과 그래프



NH-1 시험공의 지층별 검증 결과

NH-1								
심도 (m)	지층	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	동전단 계수 (MPa)	동탄성 계수 (MPa)	동체적 계수 (MPa)	동적 포아송비	지반 등급
1.0~8.7	성토매립층	429	177	54	151	247	0.398	
8.7~30.0	점토질실트층	411	168	46	129	214	0.399	
1.0~30.0	1.0m~30.0m 평균		170	국토교통부 건축물 내진설계기준 (KDS 41 17 00 : 2019)에 의함				S5

※국토교통부 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)을 적용한 설계지반 등급산정(참고 p11)

4.3 기초의 지지력 산정

4.3.1 직접기초의 지지력

일반적인 지반의 지지력산정은 Terzaghi, Meyerhof, Hansen 등의 여러 학자와 기술자 등에 의해 제안되어 왔다. 그러나 지반의 비균질성, 토성상태, 지하수위 등의 여러 인자들에 의해 각 제안식에 따라 상당한 차이가 나타나는 관계로 지내력 검토 시 각별한 주의가 요구된다. 대표적인 지지력 산정식은 다음과 같다.

□ N치에 의한 지지력

1) Terzaghi의 허용지지력공식 (구조물기초 설계기준 해설, 2003)

$$q_a = \frac{1}{3}(\alpha \cdot C \cdot N_c + \beta r_1 \cdot B \cdot N_r + r_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

여기서, q_a : 허용지지력(t/m^2), C : 기초하중면 아래에 있는 지반의 점착력(t/m^2)

B : 기초의 최소 폭(원형기초에서는 직경 m), D_f : 기초의 근입 깊이(m)

r_1 : 기초저면하부지반의 흙의 단위중량(t/m^3), r_2 : 기초저면상부지반의 흙의 단위중량(t/m^3)

α, β : Terzaghi의 기초 형상계수, N_c, N_r, N_q : Terzaghi의 수정지지력계수

표4.1 Terzaghi의 기초형상계수

기초면의 형상	연속형	정사각형	원형	직사각형
α	1.0	1.3	1.3	$1+0.3B/L$
β	0.5	0.4	0.3	$0.5-0.1B/L$

표4.2 Terzaghi의 지지력계수(전반전단파괴/국부전단파괴)

Φ	N_c / N_c'	N_r / N_r'	N_q / N_q'	Φ	N_c / N_c'	N_r / N_r'	N_q / N_q'
0°	5.7 / 5.7	0.0 / 0.0	1.0 / 1.0	30°	37.2 / 19.0	19.7 / 5.7	22.5 / 8.3
5°	7.3 / 6.7	0.5 / 0.2	1.6 / 1.4	35°	57.8 / 25.2	42.5 / 10.1	41.4 / 12.6
10°	9.6 / 8.0	1.2 / 0.5	2.7 / 1.9	40°	95.7 / 34.9	100.4 / 18.8	81.3 / 20.5
15°	12.9 / 9.7	2.5 / 0.9	4.5 / 2.7	45°	172.3 / 51.2	297.5 / 37.7	173.3 / 35.1
20°	17.7 / 11.8	4.0 / 1.7	7.4 / 3.9	48°	258.3 / 66.8	780.1 / 60.4	287.9 / 50.5
25°	25.1 / 14.8	9.7 / 3.2	12.7 / 5.6	50°	347.5 / 81.3	1153.2 / 87.1	415.1 / 65.6

2) 수정Meyerhof 허용지지력공식 (구조물기초 설계기준 해설,2009,P225)

Meyerhof(1965)는 현장에서 시행된 표준관입시험 N값으로부터 최대침하량 25mm를 전제로 한 허용지지력을 추정하는 공식을 제안하였다.

$$q_{all}(kPa) = 19NK_d, \quad (\text{단, } B < 1.2\text{m})$$

$$q_{all} = 12NK_d \left(\frac{B+0.3}{B} \right)^2, \quad (\text{단, } B \geq 1.2\text{m})$$

여기서, q_a : 25mm침하에 대한 허용지지력(kPa), K_d : 깊이계수(단, $D_f \leq B: 1 + \frac{D_f}{3B}$, $D_f > B: 1.3$)

N : 기초저면상부 0.5B에서 기초저면아래 2B사이의 평균 N치

3) Hansen에 의한 허용지지력공식(구조물기초 설계기준 해설,2009,P195)

$$q_u = cN_c s_c d_c g_c b_c + qN_q s_q d_q g_q b_q + \frac{1}{2} r_1 B' N_r s_r d_r i_r g_r b_r$$

여기서, N_c, N_q, N_r : 지지력계수, S_c, S_q, S_r : 기초의 형상계수

d_c, d_q, d_r : 기초의 근입깊이계수, i_c, i_q, i_r : 하중의 경사계수

g_c, g_q, g_r : 지반계수, b_c, b_q, b_r : 기초저면 경사계수

□ 암반의 지지력

암반상 기초의 지지력을 산정하는 방법은 크게 이론적 방법, 경험적 방법, 현장 시험값을 이용한 방법으로 종합적인 검토로 지지력을 산정할 수 있다.

1) Bell의 지지력 공식(Foundation on Rock, Duncan C. Wyllie)

$$q_a = \frac{1}{F_s} (C_{f1} C N_c + C_{f2} r_1 \frac{B}{2} N_r + r_2 D_f N_q)$$

· 기초형상계수(C_{f1}, C_{f2})

q_a : 허용지지력(kN/m²), F_s : 안전율(평상시: 3)

C : 기초의 점착력(kN/m²), D_f : 기초의 근입깊이(m)

r_1, r_2 : 흙의 단위중량(kN/m³), C_{f1}, C_{f2} : 기초형상계수

N_c, N_r, N_q : Terzaghi의 수정지지력계수

형상 계수	연속 기초	정방형 기초		장방형 기초	원형 기초
		L/B = 2	L/B = 5		
Cf1	1.0	1.12	1.05	1.25	1.2
Cf2	1.0	0.90	0.95	0.85	0.7

2) Hoek & Brown의 지지력 공식(Foundation on Rock, Duncan C. Wyllie)

$$q_a = \frac{1}{F_s} (C_{f1} S^{1/2} q_u [1 + (ms^{-1/2} + 1)^{1/2}])$$

q_a : 허용지지력(kN/m²), F_s : 안전율(평상시: 3), q_u : Intact Rock의 일축압축강도(kN/m²)

m : 암질에 따른 상수, s : 암석에 따른 상수, C_{f1} : 기초형상계수

표4.3 상수 m, s의 결정

구 분	암반상태	RMR	Q-값	S-Value	m-value as Function of Rock Type				
					A	B	C	D	E
Intact Rock	>3m Intact	100	500	1	7	10	15	17	25
Very Good	1~3m Interlocking	85	100	0.082	2.4	3.43	5.14	5.82	8.56
Good	1~3m Slightly Weathered	65	10	0.00293	0.575	0.821	1.231	1.395	2.052
Fair	0.3~1m Moderately Weathered	44	1	9.0E-05	0.128	0.183	0.275	0.311	0.458
Poor	30~500mm Weathered with Gouge	23	0.1	3.0E-06	0.029	0.041	0.061	0.069	0.102
Very Poor	<50mm Heavily Weathered	3	0.01	1.0E-07	0.007	0.01	0.015	0.017	0.025
Rock Type	A : 잘 발달된 결정성 벽개를 가진 탄산염 암석(백운석, 석회암, 대리석) B : 암석화된 점토질 암석 (이암, 미사암, 셰일, 점판암) C : 강한 결정을 가지고 있으며, 결정성 벽개는 잘 발달되지 않은 사질 암석(사암, 규암) D : 다중 광물조성의 세립결정질 화성암 (안산암, 조립현무암, 휘록암, 유문암) E : 다중 광물조성의 조립결정질 화성암 및 변성암(각섬암, 반려암, 화강암, 석영섬록암)								

3) 암석 일축압축강도를 이용한 방법① (구조물기초 설계기준 해설, 2009, P233)

$$q_{all} = K_{sp} \times q_{u-core}$$

q_{all} : 허용지지력, q_{ult} : 극한지지력,

q_{u-core} : 코어의 평균일축압축강도

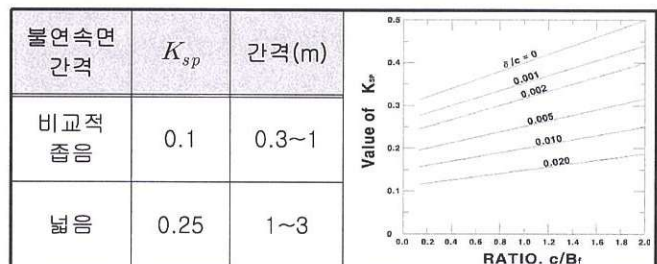
K_{sp} : 안전율 3을 포함한 경험적 계수

$$K_{sp} = \frac{3+c/B}{10\sqrt{1+300(\delta/c)}} \quad (0.05 < c/B < 2.0)$$

C : 불연속면 간격, δ : 불연속면 틈새

$0 < \delta/c < 0.002$ 범위에서 유효

· 안전율 3을 포함한 경험적 계수 K_{sp}



4) 암석 일축압축강도를 이용한 방법② (도로교 설계기준, AASHTO)

$$q_{ult} = K_{ms} \times q_{u-core}$$

q_{ult} : 극한지지력

N_{ms} : 암질과 암중에 따른 지지력계수

q_{u-core} : 코어의 일축압축강도

(기초폭2배이내에서 채취)

· Broken or Jointed Rock : 암의 절리면의 풍화 정도, 상태 및 형상 그 밖의 지질요소를 고려하여 지지력 산정

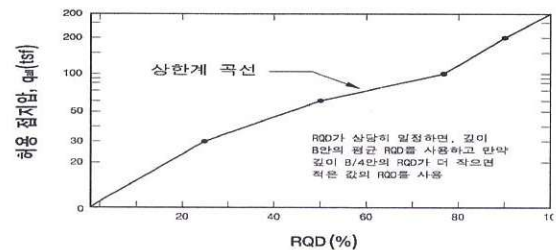


표4.4 파쇄나 절리가 발달한 암반에 놓인 기초의 극한지지력 산정을 위한 N_{ms} 계수

암질 양호도	절리간격 (m)	내용	RMR Rating	NGI ⁽¹⁾ Rating	RQD (%)	N_{ms}				
						A	B	C	D	E
우수	3.0 이상	신선한 암	100	500	95~100	3.8	4.3	0.5	5.2	6.1
매우양호	0.9~3.0	부분풍화된 불교란 암	85	100	90~95	1.4	1.6	1.9	2.0	2.3
양호	0.9~3.0	신선~약간 풍화된 암	65	10	75~90	0.28	0.32	0.38	0.4	0.46
보통	0.3~0.9	중간정도 풍화된 암	44	1	50~75	0.049	0.056	0.066	0.069	0.081
불량	0.03~0.06	많이 풍화된 암	23	0.1	25~50	0.015	0.016	0.019	0.020	0.024
매우불량	0.06 이하	매우 많이 풍화된 암	3	0.01	< 25	상응하는 사질토의 극한지지력을 사용				

주) NGI : Norwegian Geotechnical Institute Rock Mass Classification System(Barton et al.,1974)

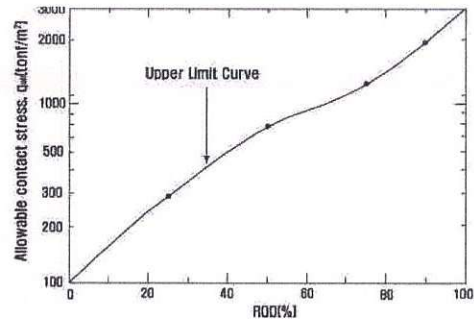
표4.5 암석의 종류에 따른 일축압축강도의 대표적인 범위

암석 분류	일반사항	암석명	일축압축강도(MPa)
A	잘 발달된 결정질 벽개를 가진 탄산염암	돌로마이트	33.6~315
		석회암	24.5~294
		대리석	38.5~245
B	점토질암	규질점토암	29.4~147
		점토암	1.4~8.4
		이회암	53.2~196
		천매암	24.5~245
		미사암	9.8~119
		셰일	7.0~35.7
		점판암	147~210
C	강한 결정과 약한 벽개를 가진 사질 암석	역암	33.6~224
		사암	67.9~175
		규암	63~385
D	세립질의 화성암 결정질 암석	안산암	98~182
		휘록암	21.7~581
E	조립질의 화성암과 변성암의 결정질 암석	각섬암	119~280
		반려암	126~315
		편마암	24.5~315
		화강암	14.7~343
		석영섬록암	9.8~98
		편암	9.8~147
		섬장암	182~434

5) RQD에 의한 반경험적 방법 (Peck)

Peck은 기초 아래의 허용 접지압력(Allowable Contact Pressure)은 강도에 지배받는 것이 아니라, 암반 내의 결함에 관련된 침하에 지배를 받는다고 제안한 바 있으며, 절리가 발달한 암에 대하여 기초의 허용 접지압력을 다음의 표와 같이 RQD의 함수로 나타내었다.

암질	RQD(%)	허용지지력 (kN/m ²)
매우 양호	90~100	20,000~30,000
양 호	75~90	12,000~20,000
보 통	50~75	6,500~12,000
불 량	25~50	3,000~6,500
매우 불량	0~25	1,000~3,000



□ 경험적 방법에 의한 지지력

표4.6 미끼다끼오에 의한 지반의 지내력표 (t/m²)

N치	2/30	4/30	6/30	8/30	10/30	12/30	14/30	16/30	18/30	20/30	22/30	24/30	26/30
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
사질토	1.2	2.5	3.7	6.5	9.8	10.9	11.2	13.0	13.9	14.8	16.0	17.0	18.0
N치	28/30	30/30	32/30	34/30	36/30	38/30	40/30	42/30	44/30	46/30	48/30	50/30	
점토	38.0	41.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
사질토	19.0	20.0	21.5	23.0	27.0	30.0	30.0	32.0	34.0	38.0	38.0	40.0	

표4.7 확대기초의 지지력 경험치(US. Dept. of the Navy, 1982)

지지층	현장 연경도 상태	허용 지지력(tf/m ²)	
		범위	추천값
괴상의 결정질 화강암, 변성암 : 화강암, 섬록암, 현무암, 완전히 고결된 역암	경질의 신선한 암	650~1070	860
염리성의 변성암 : 슬레이트, 편암	중간 경질의 신선한 암	320~430	375
퇴적암 : 시멘트화된 경질의 셰일, 실트암, 사암, 공동이 없는 석회암	중간 경질의 신선한 암	160~370	215
풍화되거나 파쇄된 모암, 이질암(셰일)이외의 모든 암, RQD<25 연암	연암	85~130	105
컴팩션 셰일(Compaction shale)이나 신선한 이질암	연암	85~160	105
입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물 : 빙하 퇴적물, 하드판(hardpan), 점성토 섞인 자갈(GW-GC, GC, SC)	매우 조밀함	85~130	105
자갈, 자갈-모래 혼합물, 호박돌-자갈 혼합물(GW, GP, SW, SP)	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	65~105 40~75 20~65	75 50 30
입자가 굵거나 중간정도의 모래, 자갈이 약간 섞인 모래(SW, SP) 중간정도 조밀	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	40~65 20~40 10~30	40 30 15
가는 모래, 실트질이나 점토질 중간정도 입도나 굵은 모래(SW, SM, SC)	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	30~50 20~40 10~30	30 25 15
균질한 점토, 모래질이나 실트질 점토	균음 중간정도 균음 느슨함	30~60 10~30 5~10	40 20 5
실트, 모래질실트, 점토질실트, 교호된 실트-점토-세사층	균음 중간정도 균음 연암	20~40 10~30 5~10	30 15 5

- 주) 1. 연한 암반이나 사질토 지반에서 기초는 인접 최저 지표고로부터 최소 0.5m는 근입되어야 한다.
 2. 1번에서 규정한 최소 근입 깊이(0.5m)로부터 근입 깊이가 0.3m증가할 때마다 공칭 경험 값의 5%를증가하여 사용한다.
 3. 경질 또는 중간 정도 경질인 암에서는 기초가 암 표면에 놓일 경우 상기 표 경험 값을 사용하고, 근입 깊이가 암 표면으로부터 0.3m 증가할 때마다 공칭경험 값의 10%를 할증한다.
 4. 푸팅 최소 폭이 1m이하인 경우, 허용지지력은 공칭경험 값의 100분의1에 예의 최소 폭을 곱한 값이 된다.

4.3.2 말뚝기초의 지지력

깊은 기초 중에서 말뚝기초는 일반적으로 시공이 간편하고 공사비가 저렴하다. 말뚝기초에는 재질에 따라 RC파일, PC파일, PHC파일 및 Steel파일 등의 기성말뚝과 현장타설 말뚝 등이 있다. 말뚝기초의 선정은 상부에서 말뚝으로 전달되는 하중이나 지반상태 그리고 관입에 따른 시공성, 공사비 등 여러 가지 요인에 의해 경제적이고 합리적으로 결정되어야 한다.

1) 타입말뚝의 허용지지력

유압, 디젤해머를 이용한 직항타시 허용지지력을 산출하는 식은 아래의 공식을 적용할 수 있다.

$$R_a = \frac{1}{3}(30 \cdot N \cdot A_p + \frac{1}{5} \cdot N_s \cdot A_s + \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot A_c)$$

여기서, R_a : 말뚝의 허용지지력(ton/본)

N : 설계 N 치(말뚝선단위치에서 아래로 1D와 위로 4D범위의 평균 N 치)

N_s : 모래층의 평균 N 치($N_s \leq 50$ 적용), N_c : 점토층의 평균 N 치

q_u : 점토층의 평균 일축압축강도($q_u = 1.25 \times N_c \leq 20$)

A_p : 말뚝의 선단면적(m^2), $A_s : U \cdot L_s(m^2)$, $A_c : U \cdot L_c(m^2)$

U : 말뚝의 주변장(m), L_s : 모래층 내의 말뚝길이(m), L_c : 점토층 내의 말뚝길이(m)

2) 매입말뚝의 허용지지력

Auger 등에 의해 지반을 선굴착한 후 말뚝을 매입하는 방법으로 매입 후 시멘트 밀크를 주입하여 말뚝 주변을 채우는 경우에는 아래의 허용지지력공식을 적용할 수 있다.

$$R_a = \frac{1}{3}(20 \cdot N \cdot A_p + \frac{1}{5} \cdot N_s \cdot A_s + \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot A_c)$$

여기서, R_a : 말뚝의 허용지지력(ton/본)

N : 설계 N 치(말뚝선단위치에서 아래로 1D와 위로 4D범위의 평균 N 치)

N_s : 모래층의 평균 N 치($N_s \leq 50$ 적용), N_c : 점토층의 평균 N 치

q_u : 점토층의 평균 일축압축강도($q_u = 1.25 \times N_c \leq 20$)

A_p : 말뚝의 선단면적(m^2), $A_s : U \cdot L_s(m^2)$, $A_c : U \cdot L_c(m^2)$

U : 말뚝의 주변장(m), L_s : 모래층 내의 말뚝길이(m), L_c : 점토층 내의 말뚝길이(m)

표4.8 각종 말뚝에 지지력 산정방법

제정기관	시공 방법	선단지지력(t)		선단지지력 최대치(t)	주면마찰력(t/m ²)		비고
		사질토	점성토		사질토	점성토	
일본도로협회	타입항	$q_d A_p$		30N(N≤40)	0.2N(≤10)	C, N(≤15)	N≤2일 때 주면마찰 저항각을 무시
	내부 굴삭항			선단처리방법에 따라 다르다	0.1N(≤5)	0.5C, 0.5N(≤10)	
일본건축학회	타입항	$30NA_p$	별도검토 후 결정	1800(사력) 2000(연암)	N/5(N≤50)	$q_u/2(q_u \leq 20)$ ($q_u = 2+0.4z$)	
건설성 고시	매입항	$20NA_p$		20N(N≤60)	N/5(N≤25)	$q_u/2$ ($q_u \leq 10$)	
일본국유철도	타입항	$30NA_p$	강도, 풍화, 귀열 등을 고려	1000(사) 1500(사력)	$rl_s K_a \tan \delta$	$q_u/3(\leq 5)$	
	꽃임항					$q_u/4(\leq 3)$	
일본항만협회	타입항	$40NA_p$	$8CA_p$		N/5	점착력과 부착력의 관계표에 의한다.	

표4.9 국내 매입말뚝의 축방향 압축지지력 산정방법(매입말뚝공법, 이엔지북)

설계기준 지지력성분	구조물기초설계기준 (선굴착공법)	도로교표준시방서/ 도로교설계기준(속파기공법)	비고
선단지지력 (Q_b ,ton)	$Q_b = q_b A_b$ $q_b = (30N_b) \times (1/3 \sim 1/2)$ = 타입말뚝 $\times(1/3\sim1/2)$	$Q_b = q_b A_b$ · 최종타격방식 $q_b = 30N_b, N \leq 40$ · 시멘트풀 주입 교반방식 $q_b = 15N_b (\leq 750t/m^2)$ 모래층 $q_b = 20N_b (\leq 1000t/m^2)$ 모래자갈층 · 콘크리트(또는 몰탈) 치기 방식 $q_b = 300t/m^2$ 모래자갈및모래층($N \geq 30$) $q_b = 3q_u$ 단단한 점성토층	허용지지력 산정을 위한 안전율 · 구조물기초설계기준 or 도로교 설계기준 · 극한지지력에 3.0 · 극한지지력에 2.0 · 전문가의 판단으로 3.0이하 가능
주면마찰력 (Q_b ,ton)	$Q_s = f_s A_s$ $f_s = (0.2N_s A_s) \times 1/2$ = 타입말뚝 $\times 1/2$	$Q_s = f_s A_s$ 사질토 : $f_s = 0.1N_s (\leq 5)$ 점성토 : $f_s = 0.5c$ 또는 $0.5N_s (\leq 10)$	
기호설명	N_b : 말뚝선단부근의 평균 N치, A_b : 말뚝의 선단폐쇄면적(m^2) A_s : 말뚝의 주면적(m^2), N_s : 말뚝의 접하는 사질토 지반의 평균 N치 q_b : 단위면적당 극한선단지지력(t/m^2), f_s : 단위면적당 극한주면마찰력(t/m^2) q_u : 점성토의 일축압축강도(t/m^2), c : 점성토의 점착력(t/m^2)		

3) Hiley 동역학적 공식에 의한 지지력

Pile의 최종관입량은 Hiley의 동역학적 공식을 이용하여 구할 수 있다.

$$R_u = \frac{e_h \cdot W_r \cdot H}{S + (C_e + C_p + C_q)/2} \cdot \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$$

여기서, R_u : 극한지지력(ton), S : 타격당 관입량(cm)

H : 해머의 낙하고(m), W_r : 램중량(ton)

e_h : 해머효율-동재하 시험시 EMX(gauge위치에서의 최대항타에너지)

W_p : 말뚝중량+말뚝머리부착물 중량(ton), C_e : 말뚝머리 부착물의 탄성변형량(cm)

C_p : 말뚝재료의 탄성변형량(cm), C_q : 지반의 탄성변형량(cm)

n : 해머와 말뚝머리의 반발계수(보통나무+캡 사용시-콘크리트:0.25, 강관:0.3)

Hiley의 공식의 약식은

$$R_u = \frac{e_h \cdot W_r \cdot H}{S + R/2} = \frac{EMX \cdot H}{S + R/2} \quad (S : \text{Set value}, R : \text{Rebound})$$

항타시공 관리방안

- ① 항타공식 계산시 타격에너지 값을 항타분석기(PDA)를 사용하여 실측된 에너지값 (EMX)을 적용하면 Hiley 및 Danish공식에서 양호한 신뢰도값 산정
- ② 항타공식의 안전율 = 항타공식에 의한 극한지지력/동재하시험에 의한 허용지지력
- ③ 시간경과 효과(time effect)를 고려

4.4 지반반력계수(k_s) 추정

지반반력계수는 하중-침하량($P-\delta$)관계에서 어느 침하량에 대응하는 하중강도를 말한다. 즉 지반의 탄성적인 거동을 보여주는 범위 내에 흙막이공이나 기초 등의 변위량이나 지반 반력을 구하기 위한 기본 상수이며, 지반과 구조물 상호작용을 나타내는 수치로 지반의 고유 성질을 나타내는 것이 아니고 구조물의 형상이나 치수, 강성에 따라 변화한다. 흙막이공의 설계에 사용되는 수평 지반반력계수를 구하는 여러 가지 방법이 있지만 여기서는 N치를 이용한 Hukuoka(福岡)방법과 내부마찰각, 점착력을 이용하여 Soletanche Practice 방법을 이용하여 수평 지반반력계수를 추정하였다.

구분	HUKUOKA				
N	Kh(KN/M ³)	N	Kh(KN/M ³)	N	Kh(KN/M ³)
1	6,910	21	23,780	41	31,210
2	9,160	22	24,240	42	31,510
3	10,760	23	24,680	43	31,820
4	12,130	24	25,110	44	32,120
5	13,280	25	25,530	45	32,410
6	14,300	26	25,940	46	32,700
7	15,230	27	26,340	47	32,990
8	16,070	28	26,730	48	33,270
9	16,860	29	27,120	49	33,550
10	17,600	30	27,490	50	33,830
11	18,290	31	27,860		
12	18,950	32	28,220		
13	19,580	33	28,580		
14	20,170	34	28,920		
15	20,750	35	29,270		
16	21,300	36	29,600		
17	21,830	37	29,930		
18	22,340	38	30,260		
19	22,840	39	30,580		
20	23,320	40	30,900		

표4.10 Hukuoka 법 (한국지반공학회, P65)

제안자	경험식	비고
Hukuoka	$K_h = 0.691 N^{0.406} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$N = \text{표준관입시험치}$

표4.11 N값으로 추정하는방법 (한국지반공학회, P65)

경험식	비고
$K_h = \frac{N}{5} \text{ (kg/cm}^2\text{)}, K_h = 1.5 q_u \text{ (kg/cm}^2\text{)},$	$q_u = \text{일축압축강도}$

그림4.1은 지표면 변위가 1cm일 때의 값을 사용하여 정리한 결과로 k_h 와 N 값은 다음과 같은 관계로 제시되었다.

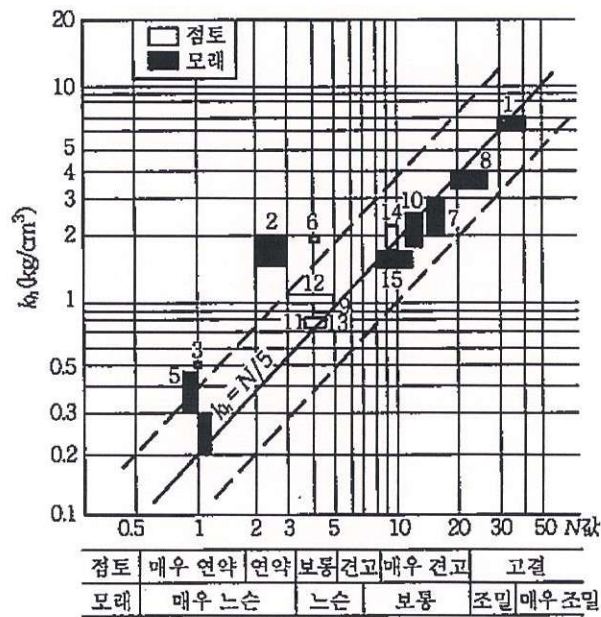


그림4.1 수평지반반력계수와 N값과의 관계

표4.12 흙의 종류별 경험적 방법 (한국지반공학회, P66)

흙의 종류	Kh (kg/cm ²),
대단히 유연한 실트 혹은 점토	0.3 ~ 1.5
유연한 실트 혹은 점토	1.5 ~ 3.0
보통의 점토	3.0 ~ 15.0
단단한 점토	15 이상
점착력이 없는 모래	3.0 ~ 8.0

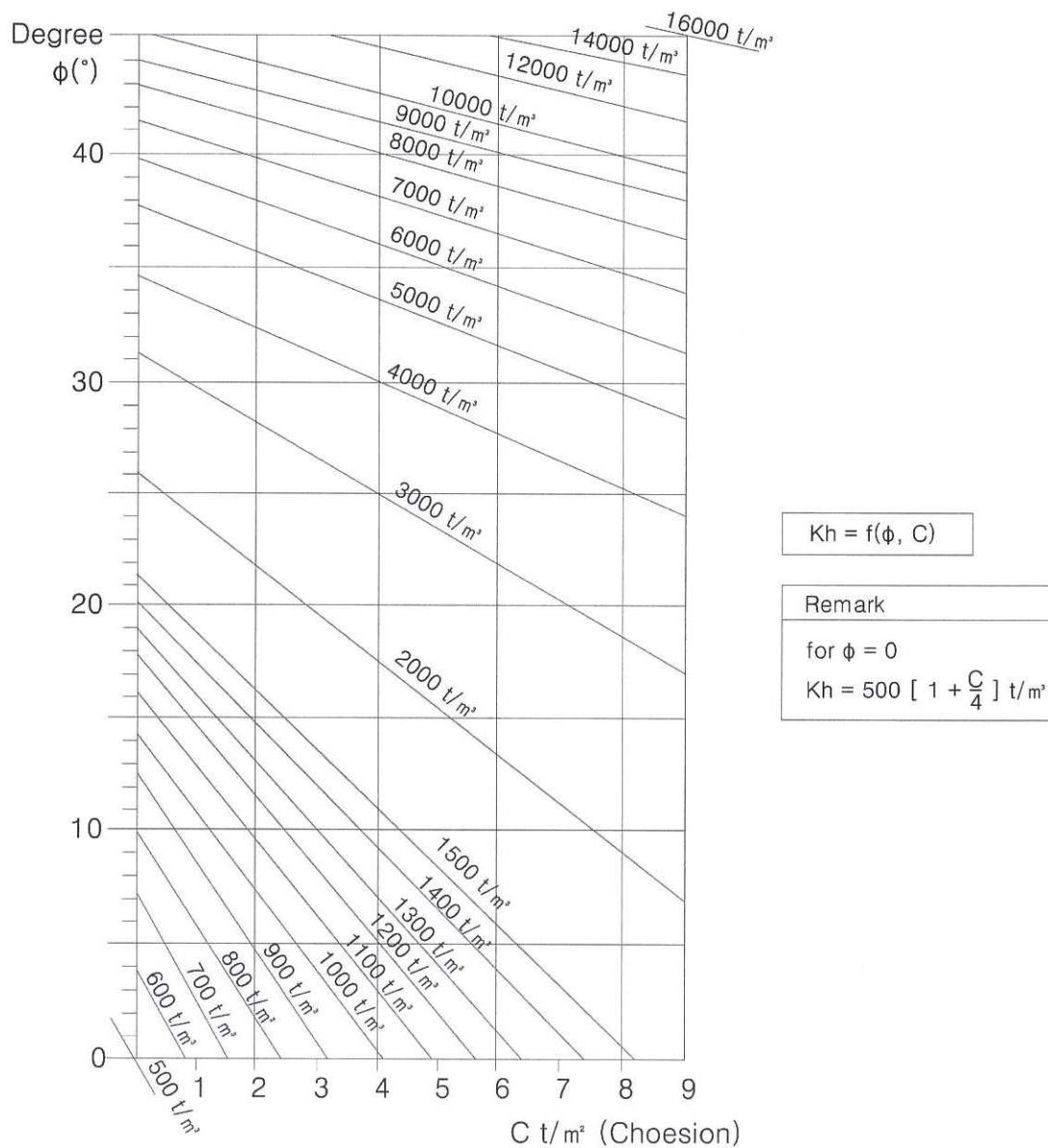


그림4.2 Solectanche법에 의한 Kh

4.5 검토 결과

- 송도국제도시 수소충전소 건설공사를 위한 지반조사 결과 성토매립층의 경우 모래, 실트, 자갈 등으로 구성되었고, 느슨~조밀한 상대밀도를 나타내며, 층후는 8.5m~8.8m이다. 퇴적층(점토질실트층, 실트질모래층)은 실트, 점토, 모래 등으로 구성되었고, 매우 연약~매우 견고한 연경도 및 매우 느슨~조밀한 상대밀도를 나타내며, 층후는 29.9m~30.2m이다. 풍화암은 모래, 실트로 구성되었고, 풍화 정도는 대체로 완전 풍화(CW)이며, 2.2m~2.6m의 층후로 매우 조밀한 상대밀도를 나타내고 있다. 보통 암(NH-02)은 기반암의 절리대로 풍화정도는 보통풍화(MW)~약간풍화(SW)이고, TCR/RQD는 69.3%/42.3%이며, 층후는 3.0m이다. 경암(NH-01)은 현지반의 기반암으로 풍화정도는 약간풍화(SW)~신선(F)이고, TCR/RQD는 86.7%/65.0%이며, 층후는 3.0m이다.

부

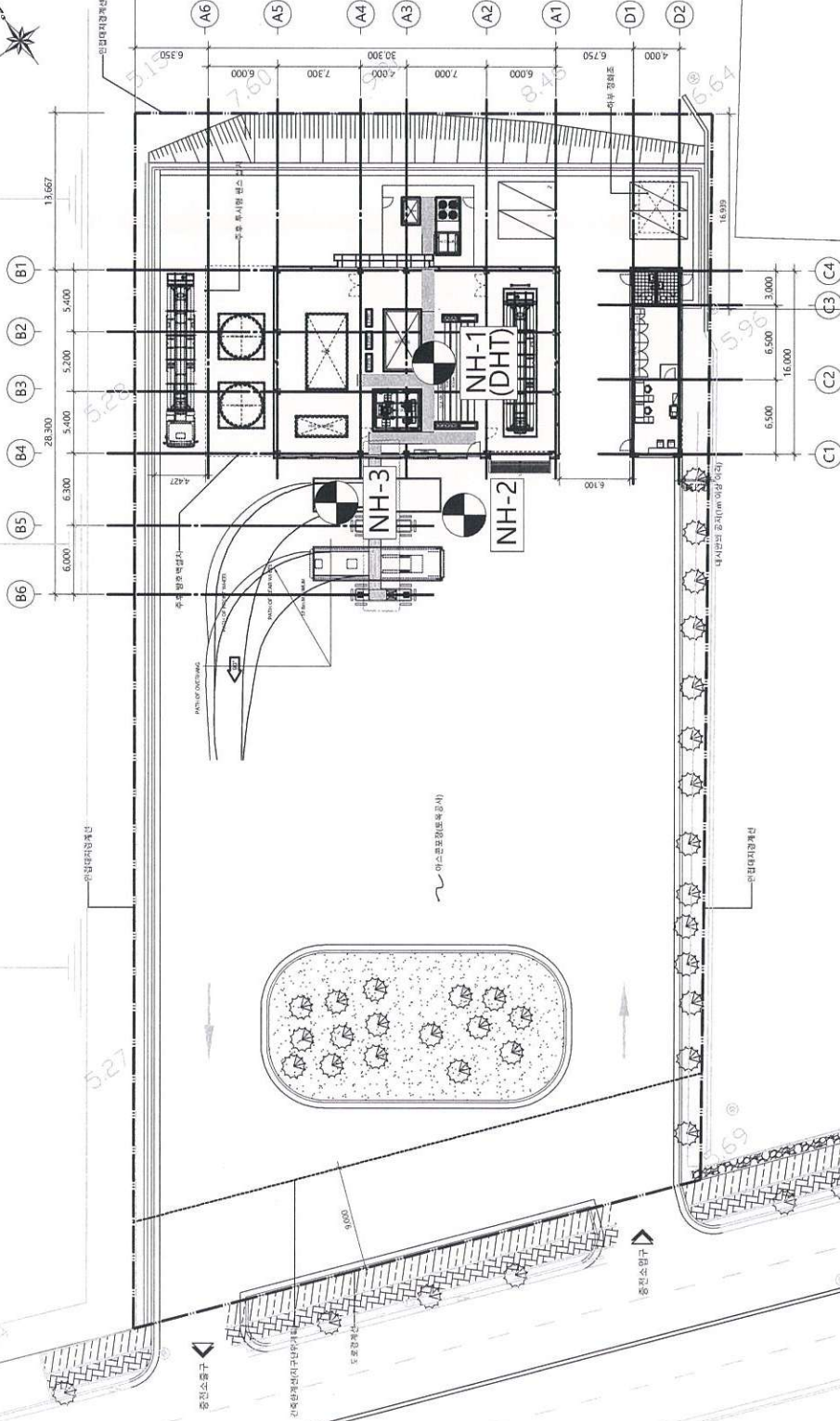
록

1. 조사위치 평면도
2. 지층단면도
3. 시추주상도
4. 하향식 탄성파탐사
5. 사진대지

1. 조사위치 평면도

Note

「아
스
스
아」



☐	No.	Revision	Date
☐			
☐			

사은 영등포구 7길 54호 중
이로 건축사무소
 대표이사 이영준
 Tel. 02-335-1943
 E-mail : iro@iro-j.com

인정 순도

북해수스흥전소 설계공사

조사위서검토면도

Project

Drawing Title

Project No. 2106

Date 2021 10

File Name

Scale A1 1/2000
A3 1/500

Drawing No.

Approval

Check

Drawing

Project No. 2106

Date 2021 10

File Name

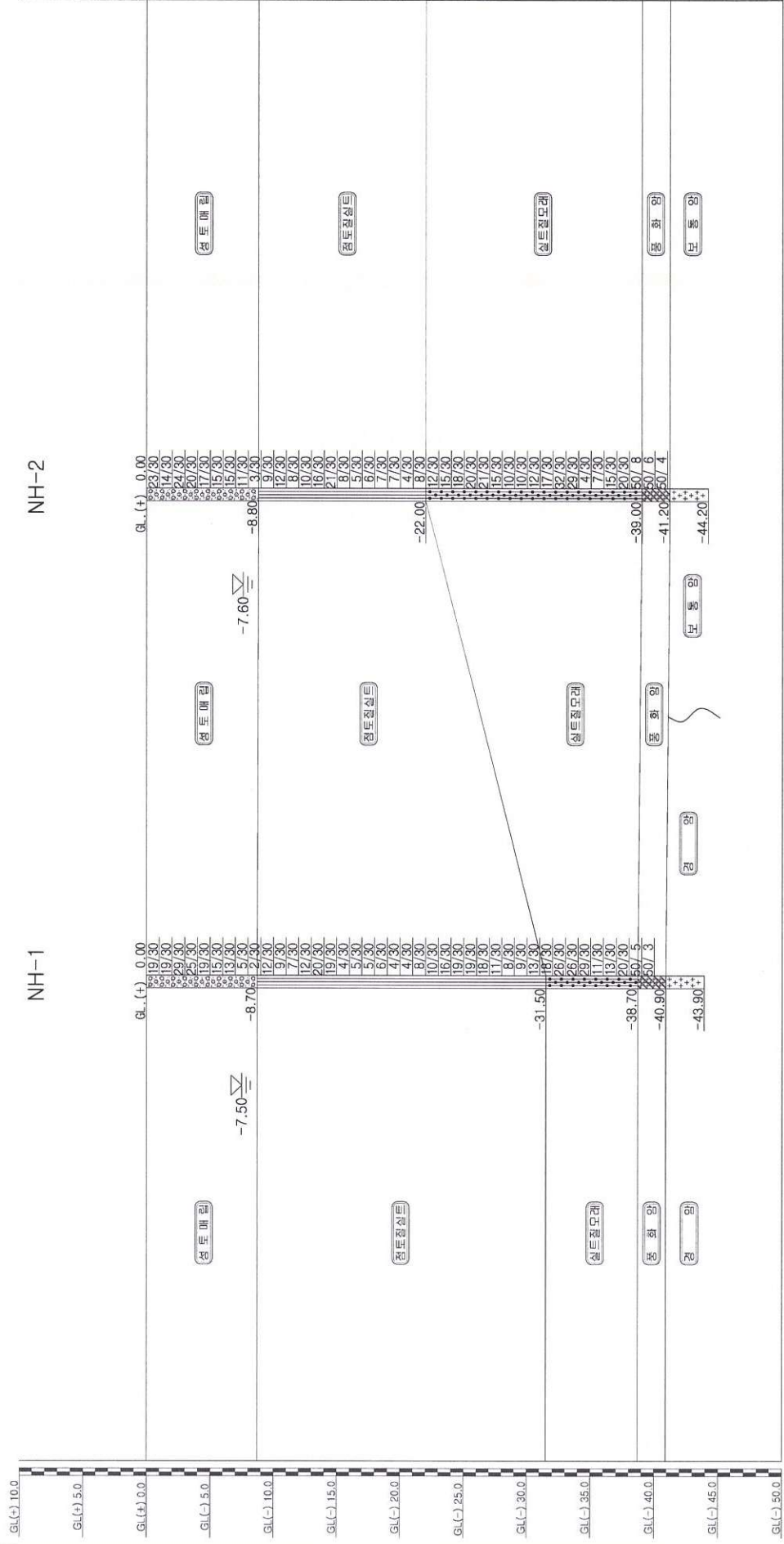
Scale A1 1/2000
A3 1/500

Drawing No.

2. 지층단면도

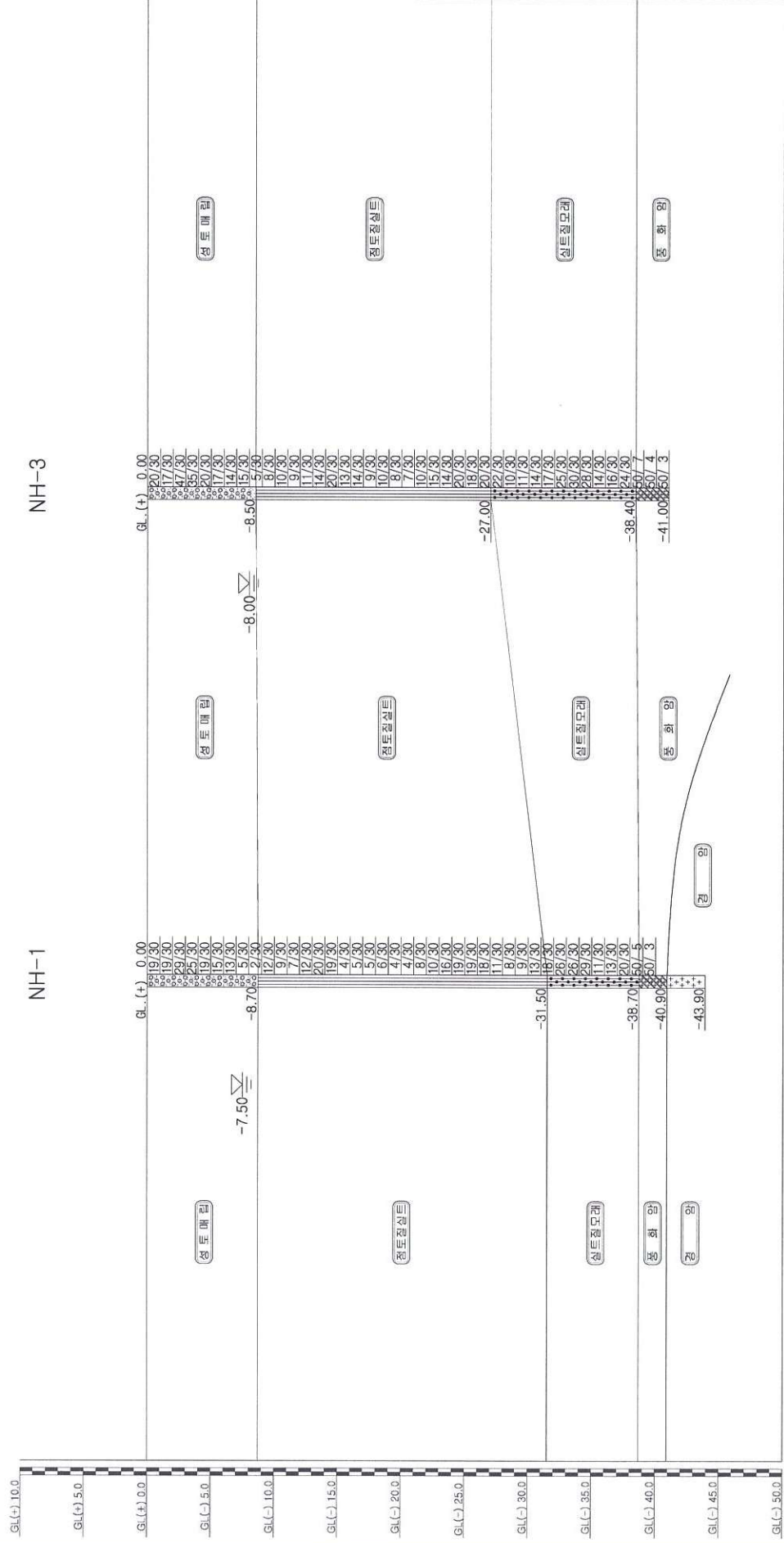
지형 단면도

A-A Section : NH-1, NH-2



지형 단면도

A-A Section : NH-1, NH-3



3. 시추주상도

시추주상도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 1 페이지

공사명 PROJECT	송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		공번 HOLE No.	NH-1		(주) 시료채취방법의 기호	
위치 LOCATION	인천광역시 연수구 송도동 13-8번지		지반표고 ELEVATION	현지반고		REMARKS	
날짜 DATE	2021.8.22		지하수위 GROUND WATER	(GL-) 7.50	M	☐ 자연시료 U.D. SAMPLE ☐ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE ☐ 코어시료 CORE SAMPLE ☐ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE	
감독자 INSPECTOR			노승오				

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지층설명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test						
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50	
-8.70		8.70	8.70		성토매립층	*성토매립층		S-1	○	1.0	19/30					
						* 습윤, 갈색		S-2	○	2.0	19/30					
						* 모래, 실트, 자갈 등으로 이루어짐		S-3	○	3.0	29/30					
						* 상대밀도(Relative Density) : 느슨~보통 조밀함		S-4	○	4.0	25/30					
						* 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음		S-5	○	5.0	19/30					
							S-6	○	6.0	15/30						
							S-7	○	7.0	13/30						
							S-8	○	8.0	5/30						
					점토질실트층	*점토질실트층		S-9	○	9.0	2/30					
						* 습윤, 회색		S-10	○	10.0	12/30					
						* 실트, 점토 등으로 이루어짐		S-11	○	11.0	9/30					
						* 연경도(Consistency) : 매우 연약~매우 견고		S-12	○	12.0	7/30					
						* 9.4m~15.8m, 22.6m~28.7m : 모래 분포		S-13	○	13.0	12/30					
							S-14	○	14.0	20/30						
							S-15	○	15.0	19/30						
							S-16	○	16.0	4/30						
							S-17	○	17.0	5/30						
							S-18	○	18.0	5/30						
							S-19	○	19.0	6/30						
							S-20	○	20.0	4/30						

시추주상도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 2 페이지

공사명 PROJECT	송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사			공번 HOLE No.	NH-1		(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS	
위치 LOCATION	인천광역시 연수구 송도동 13-8번지			지반표고 ELEVATION	현지반고		○ 자연시료 U.D. SAMPLE	○ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE ● 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
날짜 DATE	2021.8.22			지하수위 GROUND WATER	(GL-) 7.50	M		
				감독자 INSPECTOR	노승오			

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지층설명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test													
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow 10 20 30 40 50											
-31.50					점토질 실트층			S-20	○	20.0	4/30												
								S-21	○	21.0	4/30												
								S-22	○	22.0	8/30												
								S-23	○	23.0	10/30												
								S-24	○	24.0	16/30												
								S-25	○	25.0	19/30												
								S-26	○	26.0	19/30												
								S-27	○	27.0	18/30												
								S-28	○	28.0	11/30												
								S-29	○	29.0	8/30												
								S-30	○	30.0	9/30												
								S-31	○	31.0	13/30												
								-38.70				실트질 모래층	*실트질모래층 * 습윤, 갈색~회색 * 모래, 실트 등으로 이루어짐 * 상대밀도(Relative Density) : 보통 조밀함 * 34.7m~37.2m : 실트질점토층 협재 * 37.2m~38.7m : 자갈 분포		S-32	○	32.0	18/30					
															S-33	○	33.0	26/30					
															S-34	○	34.0	26/30					
S-35	○	35.0	29/30																				
S-36	○	36.0	11/30																				
S-37	○	37.0	13/30																				
S-38	○	38.0	20/30																				
				풍화암	*풍화암 * 습윤, 갈색		S-39								○	39.0	50/5						
							S-40								⊗	40.0	50/3						

DRILL LOG

페이지 : 3 중 3 페이지

[illegible]

시 추 주 상 도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 1 페이지

공 사 명 PROJECT	충도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사	공번 HOLE No.	NH-2	(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS ○ 자연시료 U.D. SAMPLE ⊙ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE ⊗ 코어시료 CORE SAMPLE ⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE
위 치 LOCATION	인천광역시 연수구 송도동 13-8번지	지반표고 ELEVATION	현지반고	
날 짜 DATE	2021.8.22	지하수위 GROUND WATER	(GL-) 7.60 M	
		감독자 INSPECTOR	노승오	

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시 료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회 /cm)	N blow																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
												10	20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
-8.80		8.80	8.80		성토 매립층	<u>*성토매립층</u> * 습윤, 회색~갈색 * 모래, 실트, 자갈 등으로 이루어짐 * 상대밀도(Relative Density) : 보통 조밀함 ※ 모래, 자갈 등의 혼입정도에 따라 N치가 과대측정 될 수 있음		S-1	⊙	1.0	23/30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

시 추 주 상 도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 2 페이지

공 사 명 PROJECT		송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		공번 HOLE No.		NH-2		(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS	
위 치 LOCATION		인천광역시 연수구 송도동 13-8번지		지반표고 ELEVATION		현지반고		☐ 자연시료 U.D. SAMPLE ☐ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE ☐ 코어시료 CORE SAMPLE ☐ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE	
날짜 DATE		2021.8.22		지하수위 GROUND WATER		(GL-) 7.60 M			
				감독자 INSPECTOR		노승오			

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시 료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test						
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50	
-22.00		22.00	13.20		점토질 실트층			S-20	☐	20.0	7/30					
								S-21	☐	21.0	4/30					
								S-22	☐	22.0	8/30					
								S-23	☐	23.0	12/30					
								S-24	☐	24.0	15/30					
								S-25	☐	25.0	18/30					
								S-26	☐	26.0	20/30					
								S-27	☐	27.0	21/30					
								S-28	☐	28.0	15/30					
								S-29	☐	29.0	10/30					
								S-30	☐	30.0	10/30					
								S-31	☐	31.0	12/30					
								S-32	☐	32.0	17/30					
								S-33	☐	33.0	32/30					
								S-34	☐	34.0	29/30					
								S-35	☐	35.0	4/30					
								S-36	☐	36.0	7/30					
								S-37	☐	37.0	15/30					
								S-38	☐	38.0	20/30					
-39.00		39.00	17.00		실트질 모래층	*실트질모래층 * 습윤, 갈색~회색 * 모래, 실트 등으로 이루어짐 * 상대밀도(Relative Density) : 매우 느슨~조밀함 * 35.0m~36.3m : 점토층 협재 * 37.3m~38.0m : 자갈 분포		S-39	☐	39.0	50/8					
					풍화암	*풍화암		S-40	☐	40.0	50/6					

시추주상도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 3 페이지

공 사 명 PROJECT		송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		공번 HOLE No.		NH-2		(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS	
위 치 LOCATION		인천광역시 연수구 송도동 13-8번지		지반표고 ELEVATION		현지반고		☐ 자연시료 U.D. SAMPLE ☐ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE ☐ 코어시료 CORE SAMPLE ☒ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE	
날짜 DATE		2021.8.22		지하수위 GROUND WATER		(GL-) 7.60 M			
				감독자 INSPECTOR		노승오			

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 U 일 S 분 C 류 S	시 료 Sample		표준관입시험 Standard Penetration Test						
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50	
-41.20		41.20	2.20		풍화암	* 습윤, 갈색 * 기반암의 상부 풍화대		S-40		40.0	50/6					
					보통암	* 시추시 세립~중립질 입도의 모래, 실트로 분해되어 분포 * 풍화정도 : 완전풍화(CW) * 상대밀도(Relative Density) : 매우 조밀함		S-41		41.0	50/4					
										41.2						
-44.20		44.20	3.00			* 보통암 * 갈색 * 기반암의 절리대 * 시추시 단주상, 장주상으로 채취됨 * 풍화정도: 보통풍화(MW)~약간풍화(SW) * 41.2m~44.2m : TCR-69.3%, RQD-42.3% * 심도 44.20 M 에서 시추종료				44.2						

시추주상도

DRILL LOG

페이지 : 3 중 1 페이지

공사명 PROJECT	충도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사			공번 HOLE No.	NH-3			(주) 시료채취방법의 기호 REMARKS			
위치 LOCATION	인천광역시 연수구 송도동 13-8번지			지반표고 ELEVATION	현지반고			○ 자연시료 U.D. SAMPLE			
날짜 DATE	2021.11.11			지하수위 GROUND WATER	(GL-)	8.00	M	○ 표준관입시험에 의한 시료 S.P.T. SAMPLE			
				감독자 INSPECTOR	노승오			● 코어시료 CORE SAMPLE			
								⊗ 흐트러진 시료 DISTURBED SAMPLE			

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지층 설명 Description	통 일 분 류	시료 Sample			표준관입시험 Standard Penetration Test					
								시료 번호	채취 방법	채취 심도	N치 (회/cm)	N blow				
											10	20	30	40	50	
-8.50		8.50	8.50		성토매립층	*성토매립층		S-1	○	1.0	20/30					
						S-2		○	2.0	17/30						
						S-3		○	3.0	47/30						
						S-4		○	4.0	35/30						
						S-5		○	5.0	20/30						
						S-6		○	6.0	17/30						
						S-7		○	7.0	14/30						
						S-8		○	8.0	15/30						
					점토질 실트층	*점토질실트층		S-9	○	9.0	5/30					
						S-10		○	10.0	8/30						
						S-11		○	11.0	10/30						
						S-12		○	12.0	9/30						
						S-13		○	13.0	11/30						
						S-14		○	14.0	14/30						
						S-15		○	15.0	20/30						
						S-16		○	16.0	13/30						
						S-17		○	17.0	14/30						
						S-18		○	18.0	9/30						
						S-19		○	19.0	10/30						
						S-20		○	20.0	8/30						

DRILL LOG

(주) 시료채취방법의 기호

공번 HOLE No.	NH-3		
지반표고 ELEVATION	현 지반고		
지하수위 GROUND WATER	(GL-)	8.00	M
감독자 INSPECTOR	노승오		

REMARKS

-  자연시료
U.D. SAMPLE
-  표준관입시험에 의한 시료
S.P.T. SAMPLE
-  코어시료
CORE SAMPLE
-  흐트러진 시료
DISTURBED SAMPLE

표고 Elev. M	Scale M	심도 Depth M	층후 Thic- kness M	주상도 Columnar Section	지층명	지 층 설 명 Description	통 U 일 S 분 C 류 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									
-27.00		27.00	18.50		점토질 실트층			S-20		20.0	8/30														
								S-21		21.0	7/30	●													
								S-22		22.0	10/30	●													
								S-23		23.0	15/30	●													
								S-24		24.0	14/30	●													
								S-25		25.0	20/30	●													
-38.40		38.40	11.40		실트질 모래층	<u>*실트질모래층</u> * 습윤, 갈색~회색 * 모래, 실트 등으로 이루어짐 * 상대밀도(Relative Density) : 느슨~보통 조밀함 * 35.2m~36.8m : 점토층 협재 * 37.4m~38.5m : 자갈 분포		S-27		27.0	20/30	●													
								S-28		28.0	22/30	●													
								S-29		29.0	10/30	●													
								S-30		30.0	11/30	●													
								S-31		31.0	14/30	●													
								S-32		32.0	17/30	●													
								S-33		33.0	25/30	●													
								S-34		34.0	30/30	●													
								S-35		35.0	28/30	●													
								S-36		36.0	14/30	●													
								S-37		37.0	16/30	●													
								S-38		38.0	24/30	●													
													풍화암	<u>*풍화암</u> * 습윤, 갈색		S-39		39.0	50/7						
																S-40		40.0	50/4						

DRILL LOG

(주) 시료채취방법의 기호

[illegible]

4. 하향식 탄성파탐사

Downhole Test SHEET

용역명	송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사				
공번(동)					
NH-1					

Depth (GL.-m)	지 층	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Gd (MPa)	Ed (MPa)	Kd (MPa)	ud	1/Vs	구간심도
1	성토매립층	426	175	53	149	244	0.398	0.005714	1
2	성토매립층	428	176	54	150	246	0.398	0.005682	1
3	성토매립층	457	189	62	173	280	0.397	0.005291	1
4	성토매립층	446	184	59	164	267	0.397	0.005435	1
5	성토매립층	428	176	54	150	246	0.398	0.005682	1
6	성토매립층	422	174	53	147	239	0.398	0.005747	1
7	성토매립층	417	171	51	142	234	0.399	0.005848	1
8	성토매립층	408	167	48	135	224	0.399	0.005988	1
9	점토질실트층	391	159	41	116	195	0.401	0.006289	1
10	점토질실트층	414	170	47	132	217	0.399	0.005882	1
11	점토질실트층	409	168	46	129	212	0.399	0.005952	1
12	점토질실트층	405	166	45	126	208	0.399	0.006024	1
13	점토질실트층	413	169	47	131	216	0.399	0.005917	1
14	점토질실트층	430	177	51	143	234	0.398	0.005650	1
15	점토질실트층	427	175	50	140	231	0.399	0.005714	1
16	점토질실트층	399	163	43	121	202	0.400	0.006135	1
17	점토질실트층	400	163	43	121	203	0.400	0.006135	1
18	점토질실트층	401	164	44	123	204	0.400	0.006098	1
19	점토질실트층	403	165	44	124	206	0.399	0.006061	1
20	점토질실트층	398	163	43	121	201	0.399	0.006135	1
21	점토질실트층	399	163	43	121	202	0.400	0.006135	1
22	점토질실트층	407	167	46	127	210	0.399	0.005988	1
23	점토질실트층	410	168	46	129	213	0.399	0.005952	1
24	점토질실트층	420	172	48	135	224	0.399	0.005814	1
25	점토질실트층	427	175	50	140	231	0.399	0.005714	1
26	점토질실트층	428	176	51	141	232	0.398	0.005682	1
27	점토질실트층	427	175	50	140	231	0.399	0.005714	1
28	점토질실트층	412	169	47	130	215	0.399	0.005917	1
29	점토질실트층	405	166	45	126	208	0.399	0.006024	1
30	점토질실트층	407	167	46	127	210	0.399	0.005988	1
				합 계				0.176308	30
				1.0m~30.0m 평균				170	
				지반종류				S5	
				국토교통부 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)에 의함					

5. 사진대지

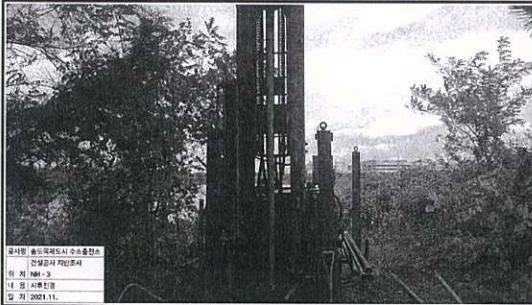
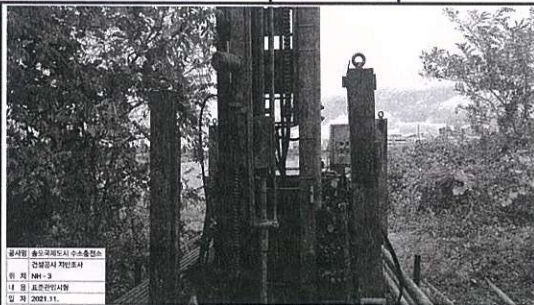
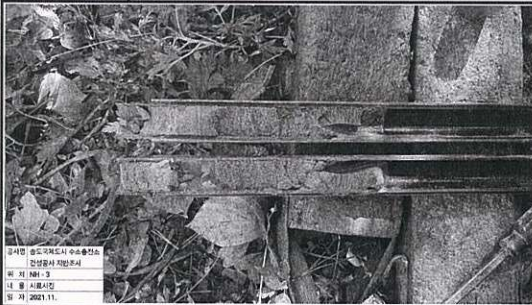
사 진 대 지

용역명		송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		시추공번		NH-01	
 공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 시추전경 일자 2021.08.22				 공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 표준관입시험 일자 2021.08.22			
설 명		시추전경		설 명		표준관입시험	
 공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 시료채취 일자 2021.08.22				 공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 코어채취 일자 2021.08.22			
설 명		시료채취		설 명		코어채취	
 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 공 번 NH-1 내 용 하향식탄성파탐사 일자 2021.8.				 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 공 번 NH-1 내 용 하향식탄성파탐사 일자 2021.8.			
설 명		하향식 탄성파탐사 시험		설 명		하향식 탄성파탐사 시험	
 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 폐공전 일자 2021.08.23				 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 폐공중 일자 2021.08.23			
설 명		폐공전		설 명		폐공중(시멘트밀크 주입)	
 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 폐공중 일자 2021.08.23				 공사명 송도 국제도시 수소충전소 건설사업 지반조사 번호 NH-1 공사명 폐공후 일자 2021.08.23			
설 명		폐공중(토사 되메움)		설 명		폐공후	

사 진 대 지

용역명	송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		시추공번	NH-02
				
공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 시추전경 일자 2021.08.23		공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 표준관입시험 일자 2021.08.23		
설 명	시추전경		설 명	표준관입시험
				
공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 시료채취 일자 2021.08.23		공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 코어채취 일자 2021.08.23		
설 명	시료채취		설 명	코어채취
				
공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 폐공전 일자 2021.08.23		공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 폐공중 일자 2021.08.23		
설 명	폐공전		설 명	폐공중(시멘트밀크 주입)
				
공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 폐공중 일자 2021.08.23		공사명 송도 국제도시 수소충전 건설사업 지반조사 번호 NH-2 공사명 폐공후 일자 2021.08.23		
설 명	폐공중(토사 되메움)		설 명	폐공후

사 진 대 지

용역명	송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사		시추공번	NH-03
				
공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 시추전경 일 자 2023.11.		공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 표준관입시험 일 자 2023.11.		
설 명	시추전경		설 명	표준관입시험
				
공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 시추전경 일 자 2023.11.		공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 표준관입시험 일 자 2023.11.		
설 명	시료채취		설 명	폐공전
				
공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 시료채취 일 자 2023.11.		공사명 송도국제도시 수소충전소 건설공사 지반조사 위 치 NH-03 내 용 폐공전 일 자 2023.11.		
설 명	폐공중		설 명	폐공후