

# 조사업체의 입장에서 본 지반조사의 현황, 문제점 및 개선방향

---

장찬수<sup>1)</sup>, Chan-Soo Jang

<sup>1)</sup> (주)천일지오컨설팅 대표이사, 토질 및 기초 기술사

이강운<sup>2)</sup>, Kang-Woon Lee

<sup>2)</sup> 동성엔지니어링(주) 전무이사, 토질 및 기초 기술사

김재수<sup>3)</sup>, Jae-Soo Kim

<sup>3)</sup> (주)천일지오컨설팅 이사, 토질 및 기초 기술사

# 조사업체의 입장에서 본 지반조사의 현황, 문제점 및 개선방향

장찬수<sup>1)</sup>, Chan-Soo Jang, 이강운<sup>2)</sup>, Kang-Woon Lee, 김재수<sup>3)</sup>, Jae-Soo Kim

<sup>1)</sup> (주)천일지오컨설턴트 대표이사, 토질 및 기초 기술사

<sup>2)</sup> 동성엔지니어링(주) 전무이사, 토질 및 기초 기술사

<sup>3)</sup> (주)천일지오컨설턴트 이사, 토질 및 기초 기술사

## 1. 서 론

우리나라에서의 현대적인 개념의 시추 조사를 한 역사는 길지 않다. 처음 인력을 주로 이용한 시추 조사에서부터, 회전력은 소형엔진으로부터 얻고 굴진은 기어식 레버를 사용한 방식으로, 그 후 대형 유압식 기계로 발전하였다. 최근에는 시추와 병행하여 로드의 축력, 회전 토크, 관입속도, 유압등을 계측하는 장비로 발전하고 있다. 또 시추조사를 보완하기 위하여 공내재하시험, 공내전단시험, 콘 관입시험 등을 병행하고 있으며, 전기 비저항탐사, 탄성과 탐사등의 물리탐사 기법도 적용되고 있다. 설계 대상에 따라 조사 수량도 많이 증가되고 있다. 짧은 지반조사 역사에 비하여 많은 발전을 하였지만 아직도 발주관행이나 제도적 측면에서, 장비측면에서 그 외의 각종 기술적인 측면에서 문제점이 있으며, 더 나은 발전을 위하여 이들 문제점을 제시하고 개선방안에 대하여 토론하고자 한다.

## 2. 발주관행과 제도의 문제

### 2.1 지반조사 목적에 대한 이해

지반조사 방법이 많이 발전하고 있지만, 효율적이고 합리적인 조사를 위해서는 발주자, 조사자, 설계자 모두 지반조사의 목적에 대한 이해와 지반조사 결과 무엇을 제공해야 하는지에 대한 이해가 필요하다. 일반적으로 지반조사는 다음과 같은 사항들을 포함하는 지반의 상태와 설계정수를 제공하기 위하여 실시한다.

- 1) 지하수위와 지반의 성층상태
- 2) 토층의 특성
- 3) 지반의 설계정수

지반과 관련된 문제를 해석하는데는 다음과 같은 지반특성들이 필요하다.

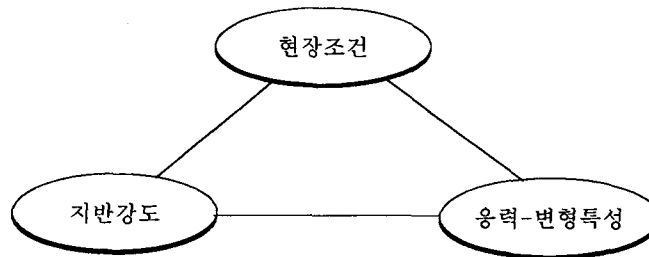


그림 21 지반조사에서 취득할 지반특성

- ① 현장조건 : 간극수압과 응력이력을 포함한 원위치의 수직 및 수평응력( $\sigma_v$ ,  $\sigma_h$ ,  $u$ ), 층상, 지하수조건
- ② 지반의 강도 : 전응력 또는 유효응력으로 표시한 강도특성( $c$ ,  $\phi$ ), 필요시 비선형성, 이방성, 시간 의존성을 고려해야 하며, 또 실제 지반의 변형수준에 해당하는 값을 구해야 한다.
- ③ 응력 - 변형특성 : 비선형성, 시간의존성을 고려해야 하며, 실제 지반내에서 예상되는 응력수준과 간극비 상태에 해당하는 값이다.

지반상태와 설계대상 목적물에 따라 이중 일부는 생각되거나 일부는 더 상세한 조사가 필요할 수 있다. 지반설계 파라미터는 시험결과와 경험치, 이론적 상관관계 등으로부터 구해질 수 있다. 설계대상에 따라 국부적인 평균치, 전체적인 평균치, 평균치±안전치등 어떤 것을 선택할 지가 결정된다.

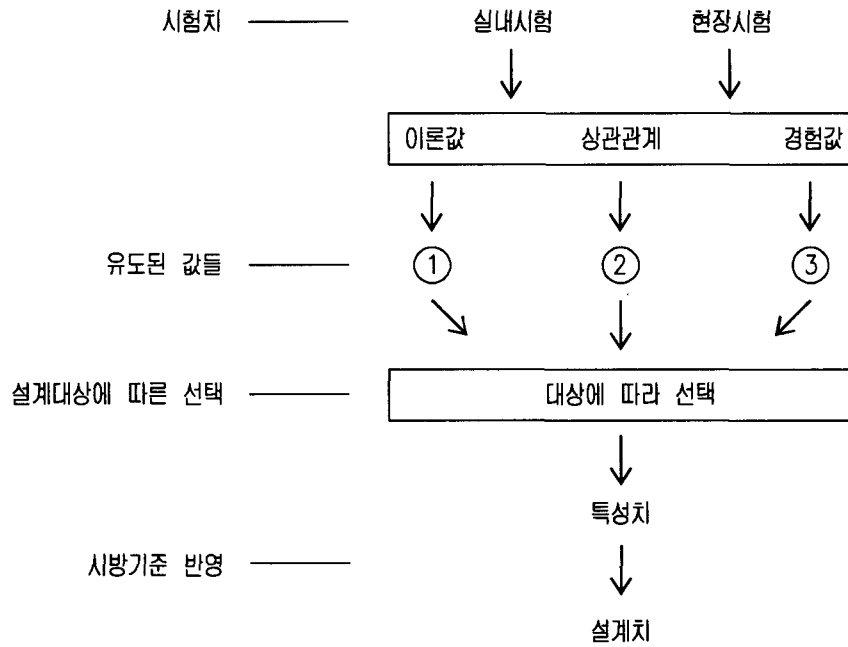


그림 2.2 지반의 설계치의 산정과정

지반은 다른 토목재료와는 달리 불 연속체로 되어 있으며 구성물질이 고체와 액체 기체의 3상으로 구성되어 있다. 그리고 재료의 거동은 탄소성거동을 할 뿐만 아니라 특성면에서도 비균질, 비등방이고 시간과 환경에도 지배를 받으므로 고유의 값을 갖기 어렵다. 즉 지반재료는 현위치(In-Site)조건에 따라 재료의 특성치가 달라지므로 가능한한 현위치 대표값을 얻기 위해서는 시험 수량과 항목이 충분해야 한다. 그래야만 시료채취 및 운반과 시험 시 발생하는 오차발생범위를 최소화 할 수 있고, 시험값의 신뢰성을 높일수 있다. 신뢰성이 낮은 시험값으로 설계를 하면 안전율을 크게 할 수 밖에 없으므로 전체 프로젝트 비용이 증가된다. 그림 2.3은 시험 개수가 작고 분산이 큰 경우가 시험개수가 많고 분산이 작은 경우에 비하여 더 보수적인 설계치를 취할 수밖에 없는 예를 보여준다. 그림 2.4는 지반조사비와 전체 프로젝트 비용의 관계를 나타낸다. 특히 지반자체가 대상이 되는 댐, 지하굴착, 연약지반처리, 성토 등의 프로젝트는 조사비가 전체 프로젝트 비용에 미치는 영향이 크다.

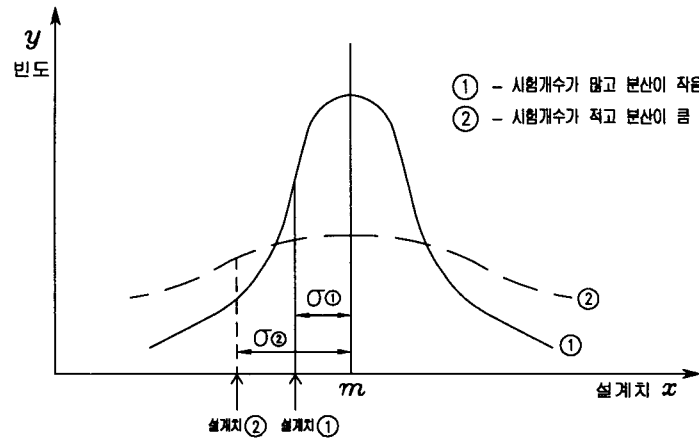


그림 2.3 시험치의 분산에 따른 설계치 선정

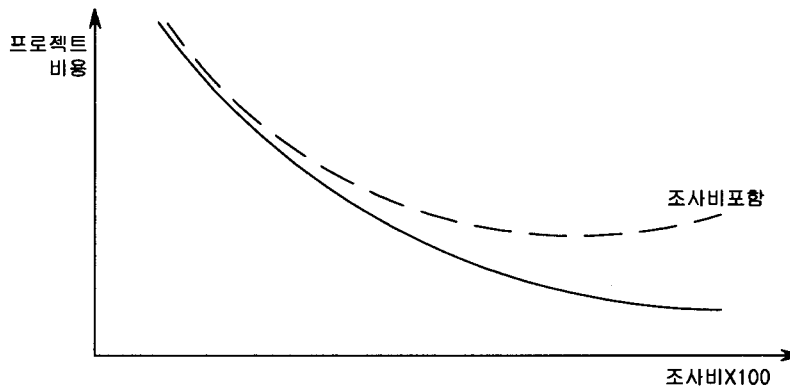


그림 2.4 지반조사비와 프로젝트 비용관계

현재 국내에서 실시되고 있는 조사방법 및 내용은 대체적으로 시추조사와 표준관입시험 위주로 조사되고 있는바 정량적인 설계자료로 이용하는 데는 한계가 있다. 그리고 조사규격은 BX SIZE일 경우 현위치상태의 Core 채취가 곤란하기도 하며, 시추조사 수량이 충분치 못해 지층추정이 곤란한 경우가 발생하기도 한다. 따라서 신뢰성있는 설계자료를 얻기 위해서는 실내·외 조사시험 수량 및 항목이 충분해야하며, 이에따른 조사결과 분석이 이루어져야 한다.

## 2.2 조사 계획

대부분의 지반조사는 설계 초기 단계에서 기초자료 제공 목적으로 일시에 실시되곤 한다. 이 경우 지반조사 중에 예기치 못한 상황이 발생하더라도 조사 항목이나 수량의 조정이 용이하지 않다.

이에 대하여 1단계(또는 예비단계)로 전체 과업 구간을 대상으로 전기비저항탐사 또는 시

추에 의한 개략적인 지반조사를 실시하고, 특이한 지반조건이 발견된 구간에 대하여 2단계 (또는 본단계)로 시추 및 각종 물리탐사와 현장시험을 집중 배치하여 정밀한 조사를 실시한다면 보다 충실한 자료의 도출이 가능하다. 또한, 조사의 생략이 필요한 경우에도 마찬가지로 이다. 다음은 교량에 대한 대안설계에서 지반조사를 단계별로 수행했던 예이다. 이 경우, 예비조사 결과 두껍게 분포하는 하상 퇴적 모래·자갈층의 특성을 규명하는 것이 조사의 주안점이라 판단되어, 백호에 의한 실제 굴착으로 얇은 심도의 입도상태와 투수성을 파악하였고, BIPS에 의해 깊은 심도에 분포하는 자갈 크기와 분포 상태를 파악하였다.

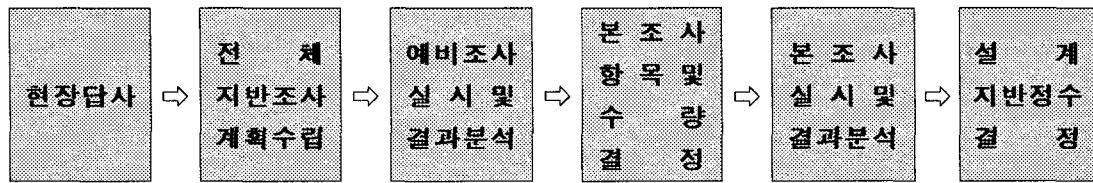


그림 2.5 단계별 조사 수행의 절차

표 2.1 단계별 조사 수행 예

조사 단계		목적	조사 내용	비 고
현장 답사		현황 파악	노선 및 지형 파악	
예비조사	광역조사	예비조사 위치 및 수량 결정	위성사진 분석 항공사진 분석 지표지질조사	
	국지조사	본조사 계획 수립의 자료	물리탐사 시추조사	전기비저항탐사 등
본 조사		실질적인 설계의 자료 도출	시추조사	
			현장시험	표준관입시험, 현장투수시험, 공내재 하시험, 점하중강도측정, 시험굴조사, SPT 에너지 효율 측정 등
			물리탐사	PS검층, 밀도검층, BIPS 등
			특수시험	모래·자갈층의 입도 확인을 위한 대형 시험굴 굴착 등
시공관리조사				구조물 등의 품질에 관한 조사와 시공시의 거동이나 안전성에 관한 조사
유지관리조사				구조물의 변한 상태 등을 정기적으로 관찰 혹은 관측함

단계별로 조사를 수행하면서 다음단계조사 수량을 증감할 수 있어야 하며, 최종 조사 결과 수량에 대하여 비용을 정산할 수 있어야 한다.

### 2.3 조사 항목

턴키설계 등의 영향으로 매우 다양한 조사가 실시되지만 이 중에는 다소 차이는 있으나 유사한 종류의 조사가 중복 실시되는 경우도 있으며, 또 직접 설계에 적용하기 위하여 실시하는 것이 아니라 결과를 간접적으로 이용하기 위하여 실시하기도 한다. 물론, 유사한 또는 호환 가능한 결과를 나타내는 두 가지 이상의 시험을 실시하여 그 결과를 상호 검증한 후 설계에 적용하는 것도 의미는 있겠으나, 그 시험의 비용이 고가라면 바람직하지만은 않다.

따라서, 설계 목적에 부합되는 적절한 조사 항목의 선택이 중요하다. 표 2.2는 지반조사시험 항목의 예를 나타내며, 설계대상 구조물의 종류와 지반의 특성에 따라 적절하게 선택하여야 한다.

표 2-2 지반조사 시험항목

구 분	토 질	암석 및 암반	비 고
원위치 시험	투수, 압밀시험, Vane 전단, Torvane, 정적 콘관입 Pressure meter, 동적 콘관입, 표준관입시험, 평판재하, 탄성과 시험, Piezo-Cone, Seismic-Cone 시험등	투수계수, 직접전단, 삼축압축, 일축압축, Dilatometer, Goodman Jack, FLAT-Jack Test, Plate-Jack 시험, Redial Jack Test, 삼축진동시험, 속도시험, Self Boring Pressuremeter, 시추공내 전단시험등	
실내 시험	비중, 다짐, 일축압축, 압밀, 함수량, CBR, 투수시험, 직접전단, 상대밀도, 삼축압축(UU, CU, CD) 시험, CRS 압밀시험, Stress Path 삼축시험, 진동삼축, 공진주 시험 등	비중, 밀도, 흡수율, 함수량, 공극율, 탄성과 속도시험, 투수시험, Slaking 시험, 흡수.팽창시험, 동결융해, 일축압축, 삼축압축, 점하중강도, 인장 및 전단시험, 질리면 전단 시험, Creep 시험, 동적시험, 경도, 마모시험등	
기타: 암반조사 항목으로는 Instrumented Boring, Borhole image processing System, Suspension PS Logger등			

지금까지의 국내 지반조사 내용은 주로 시추조사를 통한 지층파악이 주요 목적이었다. 이에 따라 분야별 특성에 적합한 지반조사 시험이 수행되지 못하는 경우가 있다. 예를들어 구조물 기초중 횡방향 하중을 받는 교대나 옹벽등의 경우에는 기초설계방향이 수직벽보다는 수평력에 의해 좌우될 수도 있다.

이때 깊은 기초의 수평지지력 결정에 절대적인 영향을 주는 요소는 횡방향 지반 반력계수의 산정이다. 이를 위해서는 지반조사시 필수적으로 공내재하시험등의 시험이 실시되어야만

다. 그러나 대체로 발주처 과업지시서 및 내역상에 누락되어 있고, 설계종사자들도 이의 필요성을 인식하면서도 조사비 문제등으로 인하여 원활히 실시하지 못하고 있는 상황이다. 한편 지반조건에 부합된 다양한 조사장비의 개발도 서둘러 진행되어야하나 아직까지 이에 못 미치고 있는 상황이다.

### 2.4 조사 수량

지반의 공학적 특성은 충분한 수량의 현장조사가 실시되고, 그에 따른 충분한 수량의 실내 시험이 실시되어야 하며, 그 결과의 정밀한 분석이 실시됨으로 그 지역의 공학적 특성을 파악할 수 있다. 우리가 조사하는 부분은 전체 프로젝트 대상 지반의 극히 일부분이다. 예를 들어 어떤 프로젝트에서 50m 간격으로 시추 조사를 한다면 시추공이 차지하는 체적은 전체 지반체적의 1/500,000 ~ 1/1,000,000에 불과하다. 지반조사 수량 및 시험의 빈도에 대하여 국내기준으로는 구조물기초 설계기준(한국지반공학회, 1997), 한국도로공사 기준, 한국토지공사 기술, 서울시 기준등이 있으며, 해외 기준으로는 AASHTO, 1988 기준이 있으며, 대상 프로젝트와 지반특성에 따라 적절한 기준을 선택해야 한다.

절토사면인 경우 시추조사 수량이 사면당 1~2개소로 한정되어 있어서 사면연장이 길어지거나 과거 절토지역인 사면등은 횡단상이나 종단상으로 추정 지층선을 파악하기 곤란하므로 지표와 평행하게 연결하여 추정하므로써 토공물량을 산정하고 있다. 이로써 시공이 상대적으로 설계변경이 많이 발생하고 있으며 이는 설계자의 설계부실로 연결될 가능성을 내포하고 있다.

실제 설계에서는 지반조사의 결과로서 개략적인 지반정수를 산정하고, 이 값들을 국내외의 참고자료와 기존의 설계 적용 예 등에 맞추어 적절히 조절하여 설계정수들을 결정하고 있는 실정이다. 이러한 과정은 특정 지역의 조사 결과를 일반화 시키는 것으로 국부적인 지역 특성을 감안한 설계라고 보기는 어렵다.



그림 2.6 기존 설계자료의 이용



근래에 들어 지반조사의 중요성이 대두되면서 과거에 비하여는 상당히 큰 규모의 지반조사가 실시되지만 정작 설계정수를 분석할 만한 자료는 아직도 충분하지 않은 것으로 판단된다.

## 2.5 조사 기간

대부분의 지반조사가 짧은 기간 내에 수행되므로 조사 수행 중 또는 수행 후에 발견되는 미심쩍은 부분들을 확인하지 못하는 경우가 많다. 특히, 기간이 짧은 대안설계의 경우 조사와 설계가 거의 비슷한 일정으로 진행되는 바 조사의 결과를 재검토해볼 수 있는 시간이 절대적으로 부족한 실정이다. 이는 큰 비용을 들이고도 저품질의 결과를 얻는 것으로 설계의 신뢰를 저하시키는 요인이다. 다음은 당사에서 실제 수행하지는 못했지만 수립하였던 지반조사 계획의 일례이다. 다음 표에서 보듯이 지반조사에 할애되는 기간이 설계를 포함한 전체 과업 수행 일정과 거의 비슷하다. 물론 각 공정의 진행 상 중복되는 기간을 고려한다면 다소 단축 될 수도 있으나, 설계는 지반의 조건을 정확히 알지 못하는 상황에서 수행될 수밖에 없다. 이러한 경우, 이를 수행하기 위하여 수많은 장비와 인력이 동원되기는 하나, 그 결과가 충분히 만족하도록 설계에 반영되지 못하며, 의심나는 부분들을 확인할 시간적 여유가 없어 오류가 발생하더라도 수정이 불가능하다.

표 2.3 지반조사 계획 예

- 00 대안설계
  - 설계 기간 : 80일
  - 설계 연장 : 3.3km
  - 기존 실시설계 시추공수 : 13공
- 지반조사 계획
  - 현장조사
    - 신규 대안설계 시추공수 : 50공
    - 시추 1공당 소요일수 : 2일/공(현장시험 포함)
    - 투입 장비 대수 : 4대
    - 여유일 : 5일
    - 현장조사 수행 일수 : 30일
  - 실내시험
    - 실내시험 : 20일(역학시험 포함)
  - 성과분석 및 보고서 작성
    - 성과분석 및 보고서 작성 : 30일
  - 전체 조사 수행 일수 : 80일

## 2.6 조사 비용

### 2.6.1 발주 단계에서의 비용 삭감

계획된 지반조사에 대하여 발주처에서 작성한 내역서상의 조사비용과 지반조사업체가 수

행하는 조사비용 사이에는 현격한 차이가 있어 조사의 품질은 저하될 수 있고, 이에 따른 설계의 신뢰성도 따라서 저하될 수 있다. 내역서를 작성하기 위한 자료인 일위대가상의 조사비를 100이라 하였을 때, 실제 업체가 지반조사를 수행하는 비용은 보통 40~60 정도이다. 그러나 조사비용은 직접인건비, 재료비 및 경비 등으로 구성되어 있어 경비에 가까운 금액이다. 따라서, 이에 대한 식감은 조사업체가 부담하여야 할 부분이며, 조사의 부실을 유발할 수도 있다.

구분	규격	수량	단위	재료비		노무비		경비		합계		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
제 호표 점토층												
중급기술자		0.2	인			88,632	17,726					17,726
고급기능사		0.2	인			74,234	14,847					14,847
초급기능사		0.2	인			51,959	10,392					10,392
특별인부		0.4	인			50,160	20,064					20,064
보통인부		0.4	인			34,360	13,744					13,744
Single Core Barrel		0.01	개	75,000	750							750
Metal Crown Bit		0.025	개	17,000	425							425
Drive Pipe Head		0.01	개	33,000	330							330
Drive Pipe Shoe		0.01	개	11,000	110							110
Drive Pipe		0.01	개	86,000	860							860
잡품		3	%	25	74							74
경유		3.5	ℓ	597	2,090							2,090
엔진유		0.05	ℓ	1,293	65							65
기타잡유		10	%	22	215							215
기계손료		1	식					3,648	3,648			3,648
합계					4,919		76,773		3,648			85,339

그림 2.7 품셈에 따라 작성된 점토층 m당 굴진비 예

종별	시험종목	시험방법	시료소요량	처리기간(일)	총괄시험비
지반조사 (일반지반 용)	함수량	KS F 2306	1kg	3	15,000
	입도	KS F 2302	1kg	4	193,000
	비중	KS F 2306	1kg	3	35,000
	액성한계	KS F 2303	1kg	3	54,000
	소성한계	KS F 2304	1kg	3	42,000
	점의 0.075mm체통과량	KS F 2309	1kg	4	35,000
	불의 입말시험	KS F 2316	50kg	13	583,000
	일축 압축강도 시험	KS F 2314	10kg	3	131,000
	삼축압축시험	KS F 2346	50kg	8	266,000
	불의 투수시험	KS F 2322	30kg	10	187,000
	점성토의 현장 배인점단시험	KS F 2342	-	소요기간 별도산출	248,000
	압밀수조건설의 직접점단시험	KS F 2343	50kg	8	164,000
	동적점단시험	KS F 2318	-	소요기간 별도산출	359,000
	압밀극속점단	일본토질공학회 시험(안)	50kg	6	248,000
	불의 압밀배수 삼축시험	KS F 2346에 준함	50kg	8	743,000
	불의 압밀배수 삼축시험	KS F 2346에 준함	50kg	9	1,201,000
	동적점단	일본토질공학회 시험(안)	-	소요기간 별도산출	378,000
	스펙트럼 관입시	일본토질공학회	-	소요기간	301,000

그림 28 건설기술연구원 품질시험 수수료 예

구분	단위	비고	수수료	비고	단위
2. 시추조사(NX)	공				2.0m/공
점토	m		45,000		6m/공
모래	m		60,000		6m/공
자갈	m		105,000		1.5m/공
문화암	m		45,000		1.5m/공
연암	m		100,000		2.0m/공
3. 현장원위치시험					
표준관입시험	회		15,000		1.5m/회
자연시료채취	회		50,000		NX조사
지하수위측정	개소		20,000		
현장투수시험	회		75,000		
공내재하시험	회		500,000		
4. 실내시험					
함수량	회		8,000		
비중	회		15,000		
액성한계	회		23,000		
소성한계	회		20,000		
입도분석	회		80,000		
#200체 통과량	회		15,000		
일축압축	회		65,000		
삼축압축	회		150,000		
입말시험	회		300,000		
다짐시험	회		80,000		

그림 29 계약 내역서 예

표 2.4 품셈에 따른 조사비 내역과 실제 계약 내역의 비교

구분	단위	수량	금액		품셈가에 대한 비율 (%)
			품셈	계약	
점토	m	1	85,339	45,000	52.7
입도분석	회	1	193,000	80,000	41.5

### 2.6.2 관례적으로 누락된 비용

#### (1) 공법 검토비

지반 조사후 그 결과를 토대로 검토해야 하는 사항이 많으나 별도의 비용이 계상되지 않고 있다. 검토하는 비용을 따로 주던가, 일반 설계비에 포함 되어있다면 지반조사 항목으로 전환하여 반영하여 주었으면 한다. 예를 들어 다음과 같은 항목들은 지반조사를 수행하는 부서나 기술자들이 수행하고 있으나 별도의 비용이 계상되지 않고 있어 설계 부서와 지반조사 부서 사이에 업무범위와 실행비용에 대한 논란이 되고 있다. 대절토 사면이 있을 경우 사면 안정검토

연약지반이 있을 경우 공법의 검토, 특수 지반, 공동이나 폐광이 있는 지반, 주변구조물과 근접시공이 이루어지는 지반의 기초검토

#### (2) 새로운 조사항목에 대한 비용산정

세계적으로 새로운 조사방법이 개발되고 많이 활용되고 있으나, 단가산정의 어려움, 규정의 경직성 등으로 활용하기 힘든 환경이다. 단가가 정해져 있지 않을 경우 2개 이상의 회사의 견적서로 결정한다든가 하는 방법이 강구되었으면 한다.

- 1) 현장조사 - piezo cone, seismic cone, Flat dilatometer, Instrumented boring, Bore hole image processing system, Suspension PS logger, 지하수 유량유속 측정, 대구경 sampler 에 의한 불교란 시료채취등
- 2) 실내시험 - CRS 압밀시험, Stress Path 삼축시험, 진동삼축시험, 공진주 시험

#### (3) 과업지시서와 내역서의 불일치

종종 과업 지시서에 수록된 조사수량 및 시험항목 등이 내역서의 조사비용과 일치하지 않을 경우가 있으며, 조사비에는 반영되지 않은 조사라도 시방서에 있으면 별도의 비용을 받지 못하고 수행해야 한다. 적은 비용으로 수행을 하다보면 조사 부실을 유발하며, 궁극적으로는 설계의 전반적인 문제점으로 파생될 수 있다.

#### (4) 현장 시험을 위한 추가 시추비

연약지반에서의 시추 시 현장시험으로 표준관입시험과 베인시험을 연속적으로 실시하고

불교란시료를 채취하는 것은 실제 단일 공에서 실시되는 것이 아니라 인접하여 두 공 이상을 대상으로 한 것과 같으나 이에 대한 보전은 거의 없다.

### 2.6.3 비용의 정산

지반조사비는 착수 이전에 결정되지만 지반조사의 내용은 착수하여 완료될 때까지 계속 변경이 될 수 있다. 실제 이것이 현실적인 조사이며, 이에 따른 비용의 정산이 필요하다.

지반조사 도중에도 필요에 따라 시험 항목이 추가되거나 제외될 수 있고, 수량이 조정될 수 있으며, 당초 예상한 조사 심도가 현장에서 확인 결과 더 깊어지거나 얕아질 수도 있다. 특히, 해상에서 조사하는 경우 기상조건이나 그 외의 불가항력의 여건에 의해 조사기간이 늘어나므로 바지나 예인선 등의 장비 사용에 추가 비용이 발생할 수도 있다.

이러한 경우 막대한 추가 비용이 발생하지 않는다면 대부분 조사업체가 비용을 부담하고 있어 조사에 대한 품질을 저하시킬 수 있다.

## 2.7 과업지시서 및 과업수행계획서

발주자가 제시하는 과업지시서나 조사자가 작성하는 과업수행계획서는 시공에서의 특별시방서와 마찬가지로 해당 지반조사에 대한 충분한 사전검토를 통하여 작성되어야 할 것이다.

과업지시서와 과업수행계획서는 조사 완료 후 준공처리 또는 정산의 근거가 되며, 만에 하나 발생할 수 있는 사태에 대하여 해결점을 제시할 수 있다. 일반적으로 지반조사는 사전에 과업지시서에 따라 과업수행계획서를 작성·제출하고, 승인을 받은 상태에서 착수하게 된다. 그러나 실제 조사중에 계획 수립 때 가정했던 지반조건과 상이한 지반 조건을 만나는 경우, 예를 들어 자갈 섞인 조립질 모래로 구성된 매립 지반의 조사를 위하여 이수 사용을 계획하고, 승인을 득한 후 조사에 착수하였다가 시추공벽 형성에 문제가 있어 발주자와 협의하여 케이싱에 의한 공벽 형성으로 변경하였을 때, 선행되었던 이수 사용에 대한 기간이나 비용을 보장 받을 수 있다. 과업지시서나 과업수행계획서 성에는 다음과 같은 내용을 포함하여야 할 것이다.

### 2.7.1 과업지시서에 포함될 내용

- ① 조사의 목적
- ② 조사 위치와 예상되는 지질조건
- ③ 발생 가능한 위험 요소(예를 들어 지하매설물, 교통상황, 예기치 않은 규칙, 위험한 폐기물 등)
- ④ 조사 수량
- ⑤ 조사 심도
- ⑥ 시료채취 방법과 범위
- ⑦ 시료의 취급 방법(채취, 운반 및 보관 방법 등)

- ⑧ 각종 현장시험 항목 및 수량
- ⑨ 폐공 처리 및 훼손 구간 복구 절차
- ⑩ 유의하여야 할 환경적인 문제
- ⑪ 발주자 및 보고 체계
- ⑫ 기타 필요사항

**2.7.2 과업수행계획서에 포함될 내용**

- ① 지반조건에 따른 구체적인 시추 방법
- ② 현장시험 등에 대한 수행 방법
- ③ 동원 장비 및 동원 계획
- ④ 참여 인원
- ⑤ 상세한 조사 수행 일정
- ⑥ 이상 징후 발견 시 보고 및 처리 계획
- ⑦ 기타 과업지시서 상의 내용

**2.8 중복 조사**

대안설계나 턴키설계가 시행되면서 과업 지역에 대하여 설계에 참여하는 각사가 지반조사를 실시하게 되었다. 실제로 2001년에 수행된 모 대안설계에서는 1km가 안 되는 과업 구간에 4개사가 각 4대씩의 총 16대의 시추기가 동원되어 조사를 수행한 적이 있다. 이 때, 현장에는 각 사에서 10여 명 씩 약 40여명의 인원이 시추 및 시험을 하느라 붐빈 적이 있다.

물론 각사의 설계 특징에 따라 지반조사가 달리 계획되어야 하지만 다소 국가적인 낭비가 아니었나 생각된다. 이에 대하여 발주처에서 사전 지반조사를 실시하여 설계의 조건으로 제공하거나, 참여회사들이 공동으로 조사를 수행하는 방안 등을 강구하는 것이 바람직하겠다.

표 2.5 00 대안설계 현장조사 장비 및 인원 투입 현황

구 분	시추기(대)	현장 인원(명)			
		작업자	현장감독	발주처 입회	계
A사	4	8	2	1	11
B사	4	8	1	1	10
C사	4	8	1	1	10
D사	4	8	1	1	10
	16	32	5	4	41

주. 상기 인원은 조사 기간 동안 상주했던 인원임

## 2.9 민원 및 보상

대부분의 과업에 있어 대상부지에 대한 부지 매입 또는 보상 이전에 설계(또는 지반조사)가 실시되곤 한다. 따라서, 지반조사자는 민원이 제기될 소지를 알면서 조사에 착수하게 된다.

대부분의 조사업체는 중소기업의 형태를 벗어나지 못한 상태로 진입로 개설을 목적으로 한 농지나 어장 출입시 소유자로부터 보상요구를 받게되며 녹지나 산림 훼손 시 위법으로 법의 제재를 받는 경우도 있어 조사의 수행 가능 여부마저 불투명하게 되며, 추후의 부지 매입 또는 보상과 연계하였을 때 이중의 비용 지출이 된다. 또한, 민원 발생의 소지를 제거하기 위한 행정처리는 번거롭고, 시간이 오래 걸리므로 위험을 무릅쓰고, 불법으로 시행하는 경우도 있다.

따라서, 가장 좋은 방법은 부지 매입 또는 보상 후에 지반조사를 착수하는 것이나, 그렇지 못한 경우에도 발주처에서 사전에 민원이 발생하지 않도록 조치를 취하고 조사에 필요한 산림훼손이나 도로점용등의 각종 인허가를 받아줄 것이 요망된다. 또 실제 지불된 보상비에 대하여는 발주처로부터 정산하여 받을 수 있어야 한다.

## 3. 장비의 문제

### 3.1 시추장비

국내에서 실시되는 대부분의 조사에는 회전식 시추기에 의한 방법이 채택된다. ⇨ 지반조사는 계획하는 과업의 목적과 부지의 자연적 특성에 따라 달라져야만 한다.

시추는 일반적으로 변위식, 수세식, 충격식, 회전식 및 오거식 시추 등으로 분류된다.

회전식을 수세식과 병행한 회전수세식은 지반조사에서 가장 널리 적용되는 방법이고, 이외에 부분적으로 사용되는 충격식과 오거식이 있다. 그러나 대부분의 지반조사는 지반 조건에 상관 없이 회전수세식 시추장비에 의한 굴진과 이에 병행하여 실시하는 표준관입시험이 거의 전부이고, 이 두 조사의 결과를 적당히 조합하여 설계에 임하고 있는 실정이다.

표 3.1 시추방법의 분류

구 분	특 징	굴진방법	지층판정방법	적용도절	용 도
변위식 시추 (Displacement boring)	가장 단순한 시추로 casing을 사용하지 않음	· 선단을 폐쇄한 sampler를 동적 또는 정적으로 관입 · Sampling 시는 선단을 개방하여 관입	· 관입량에 대한 타격수 · 압입하중	· 공벽이 붕괴되지 않는 점성토 및 사질토	· 개략 및 정밀조사
수세식 시추 (Wash boring)	장치가 간단하고 경제적	· 경량 bit의 회전 및 시추시 작업수의 분사로 굴진 · Slime은 순환수로 배제	· 관입 또는 bit 회전저항 · 순환 배제토 확인	· 매우 연약한 점토 및 세립·중립의 사질토	· 개략, 정밀, 보충조사 · 지하수 조사
충격식 시추 (Percussion boring)	깊은 시추공법 중 가장 긴 역사를 가짐	· 중량 bit를 낙하시켜 파쇄·굴진 · Slime은 bailer 또는 sand pump로 주기적으로 배제	· 굴진속도 · 배제토 · 일반적으로 지층 경계 판정 곤란	· 토사 및 균열이 심한 암반 · 연약 점토 및 느슨한 사질토는 부적합	· 일반적인 지하수 개발 · 전석, 자갈층의 관통 · 불교란시료 채취는 부적합
회전식 시추 (Rotary boring)	· 굴착이수 사용 · 지반교란 적음 · 코아채취 가능 · 신속	· Bit 회전으로 지반을 분쇄하여 굴진 · 이수에 의한 공벽 안정 · Slime은 순환 이수로 배제 · 코아채취 가능	· 굴진속도 · 순환배제토 · 수동식의 경우는 lever감각	· 토사 및 암반 등 거의 모든 지층	· 정밀, 보완조사 · 암석코아채취에 최적 · 지하수관측에는 부적합
오저식 시추 (Auger boring)	· 인력 및 기계 방식 · 가장 간편한 시추 · 시료는 교란됨	· Auger를 회전하면서 지층에 압입 굴진 · 주기적으로 auger를 인발하여 sampling	· 채취된 시료의 관찰	· 공벽붕괴가 없는 지반 · 연약하지 않은 점성토 · 점착성이 다소 있는 토사	· 얇은 지층의 개략, 정밀조사 · 동력식은 보충조사에 적합

예를 들어, 초연약한 층적 점성토층에 대하여 회전수세식 시추기에 의한 굴진과 표준관입 시험의 결과를 가지고 설계에 임한다면 당초 의도했던 바와는 전혀 다른 의외의 설계가 될 수도 있다. 이는 회전수세식 시추장비가 초연약지반의 상태를 감지할 만큼 섬세하지 못하기 때문이며, 또한, 표준관입시험이 동적 에너지에 대응하는 지반의 굳고, 무름을 평가하기 때문에 충격에 취약한 연약지반에서는 그 결과가 심히 의심스러울 수 있다.

실제로 얼마 전 우리나라의 남부지방 모 지역에서 연약한 해성 퇴적 점성토의 정밀조사를 위하여 회전수세식 시추기에 회전, 토크, 압력 등을 측정할 수 있는 각종 센서를 부착하고, 이를 통한 지층의 파악을 계획한 적이 있다. 이 때, 보다 폭넓은 자료의 수집을 위하여 일본, 네덜란드, 영국 등으로 적절성을 문의하였고, 이에 대한 회신으로 "왜 연약지반에 로타리 사운딩을 하는지 모르겠다. 오히려 콘관입이 낫지 않느냐?"는 답신을 받았다.

반면에 암반지대에서의 장심도 시추조사에는 회전수세식 장비 이외에는 부적절하며, 회전



수세식 시추기 중에서도 로드 구경이 커서 Inner tube가 로드 내부로 자유로이 통과하는 와이어 라인 코어 배럴을 이용한다면 비교적 쉽게 조사를 수행할 수 있다. 또한, 사석으로 매립된 지반을 시추기로 굴진하는 것은 많은 시간, 노력 및 비용을 감수하게 한다. 이러한 경우, 크롤러 드릴과 같은 충격식 장비를 이용하여 사석층을 관통하고, 그 하부 원지반은 시추기에 의하여 조사한다면 보다 효율적인 조사가 될 수 있다.

이와 같이, 조사의 목적에 따라 각기 다른 시추 장비가 선정되어야 하며, Self boring pressuremeter, Flat dilatometer, Vane, Cone 등의 보조 조사장비가 적절히 선정되어야 품질이 좋은 조사 결과를 얻을 수 있다.

### 3.2 장비의 자동화

근래의 조사장비들은 자동화 되어 있어 조사자의 판별력이 그리 중요하지 않다. ⇨ 지반조사에는 五感과 경험이 필요하다.

장비의 자동화는 조사의 품질관리 측면에서 매우 중요한 영향을 미치고 있다. 이상적인 조사의 경우 규격화(자동화)에 따라 장비의 운용의 오차 또는 오류를 미리 제거할 수 있어 품질이 양호한 조사 결과를 도출할 수도 있다. 그러나 이에 따른 부작용으로 지반조사는 단지 현장에서 컴퓨터를 가동하고, 그 출력물을 내는 과정으로 전락하였다. 장비가 정상적으로 작동할 때에는 정밀한 조사의 결과를 얻을 수 있으나, 만에 하나 장비가 오작동을 하였다면 전혀 다른 조사의 결과를 얻을 수밖에 없다.

최근 장비의 성능이 향상되어 30m 이상의 대심도 모래 자갈층에서도 케이싱 설치가 가능하게 되었다. 이것은 장점이 되기도 하지만 단점이 되기도 한다. 종래에는 공벽붕괴 방지를 위하여 이수(mud)를 사용하면서 조심스럽게 굴진을 하였으나, 케이싱 설치가 가능하게 됨으로서 굴진 속도가 빨라지고 지반의 교란도 증가된다. 암반에서의 굴진 속도도 빨라져서 코어 회수율이 떨어질 수 있다. 실제 지반조사는 자연의 암호를 해독하는 과정으로 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각 등 오감(五感)의 체득 더하기 지식, 이성적 경험에 의한 판단이 추가되어야 하며, 때에 따라서는 육감도 필요한 작업이다.

실제로 레버에 의해 조정되는 수동식 시추장비나 더치콘에 의한 조사를 수행할 때, 손바닥에 느껴지는 압력이나 귀를 통해 들려오는 소리(모래층을 통과할 때는 '사각사각'하는 소리가 들림)로서 점성토층 중간중간에 협재되어 있는 단단한 sand seam 등의 분포를 잘 조사할 수 있었다. 대용량의 펌프가 사용되므로, 연약지반에서 수압식 샘플러를 이용하여 시료 채취시 너무 높은 압력과 너무 빠른 속도로 관이 관입된다. 압력·유량 조절기를 설치하여 일정한 속도로 관입시킬 것이 요망된다. 또한, 해안에서 어느 정도 떨어진 위치에서의 조사 시 지하수위가 해수인지 아닌지를 판단하기 위하여 시료를 채취하고 실내시험을 거쳐 정확히 판별하는 것도 좋지만 현장에서 혀로 맛을 봄으로 간단히 판단할 수 있다. 따라서, 예전의 수동식 장비들이 단지 '구닥다리'로 치부될 것이 아니라 조사의 목적에 부합된다면 충분히 활용되어야 한다.

### 3.3 현장여건에 맞지 않는 장비의 사용

지반의 강도난 특성에 맞지 않는 장비를 사용함으로써 소기의 목적을 달성하지 못하는 경우가 있다. N치 0~2 정도의 매우 연약한 최적토에서 10ton 용량의 Piezo Cone을 사용할 경우 선단저항과 마찰력의 예민한 변화를 구할 수 없다. 오히려 2.5ton이나 소용량의 Cone을 사용하는 것이 바람직하다. 이와 같은 문제가 지반특성에 맞지 않는 용량의 공내재하시험기, 공내전단시험기를 선정할 때 발생할 수 있다.

## 4. 기술적인 문제

### 4.1 작업자의 기술 수준 문제

지반조사를 수행하는 작업자에 따라서 조사 결과 그 품질이 달라질 수 있다.

설계의 기초자료인 지반조사의 결과는 현장에서 직접 시추장비를 운용하는 試錐工(driller)과 현장책임자(Inspector), 그리고 현장 및 실내에서 시험에 임하는 기술자에 의해 좌우된다. 이 중, 실내에서 수행되는 시험은 대부분 규격에 명시되어 있고, 시험시의 조건이 거의 일정하기에 오차의 발생 요인이 비교적 적으나, 현장에서 수행되는 시추나 試錐孔(borehole)을 이용하는 대부분의 현장시험들은 시추의 품질에 따라 큰 편차를 나타낼 수도 있다. 이는 직접 시추를 수행하는 試錐工의 과업에 대한 이해도, 장비의 취급 능력, 숙련도 등에 따르며, 가장 중요한 것은 지질 및 지반공학에 관한 기초 지식의 습득 유무에 기인한다.

#### 4.1.1 작업자가 지질 및 지반공학에 관한 지식이 부족한 경우

지반조사로부터 얻고자 하는 지반의 정보에는 지층의 분포 현황, 구성성분, 지하수위의 분포 현황, 조사중에 발생한 예기치 않은 상황 등이며, 이 자료들은 설계기술자의 공학적 판단을 통해 설계의 자료로 활용되게 된다. 작업자가 토층이나 암반에 대한 판단을 잘 못하는 경우에는 큰 오류를 발생할 수 있다.

시추 시 점성토와 사질토의 구분을 못하는 경우는 거의 없으나 점토와 실트 또는 고소성 점성토층 중간 중간에 분포하는 저소성 점토(CL)나 점토질 모래(SC)를 잘못 판단하여 이 부분에서 불교란 시료를 채취하여 실내 시험을 실시하고, 그 값을 토대로 지반설계를 하였다면, 이 경우 채취된 불교란 시료가 현장 여건을 대표할 수 없으며, 시험값들이 과소 평가되어 시공 시 현장여건의 불일치함이 발생하고, 재조사 및 설계 변경 등이 발생할 수 있다. 실제 이와 유사한 경우가 종종 발생하기도 한다.

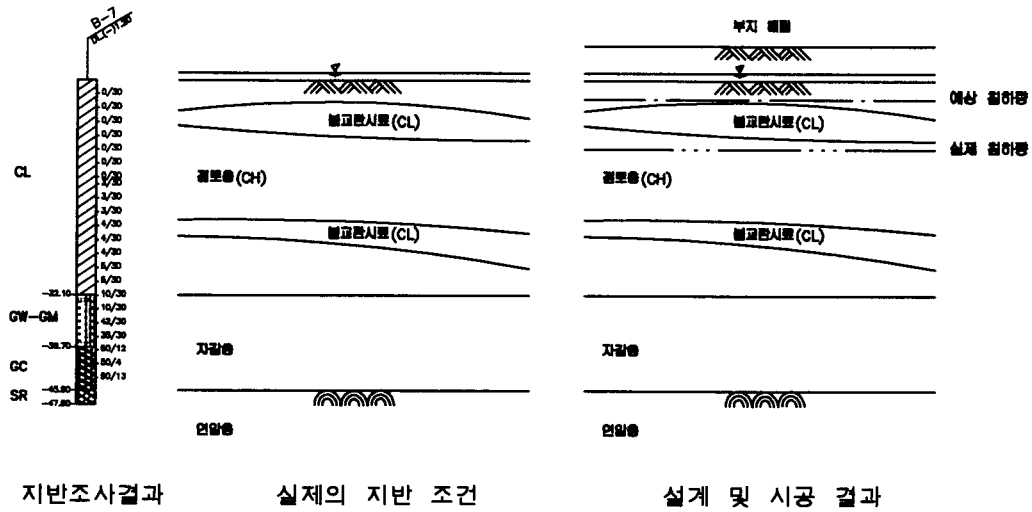


그림4.1. 지반의 특성을 잘 못 이해한 경우

토사와 풍화대 또는 풍화대와 연·경암을 잘못 구분하여 직접기초가 가능한 지반에 말뚝 기초 등의 깊은 기초를 적용하는 경우나, 기초의 지지력을 확보하기 위하여 기초의 크기를 키우거나 매트 기초를 적용하는 경우가 있다. 또한, 암중 및 불연속면에 대한 잘못된 판단으로 사면의 과도한 보강을 제시하는 경우도 있다. 이러한 설계는 시공에 과도한 예산을 요할 뿐 아니라 지반공학자의 신뢰에도 영향을 미친다.

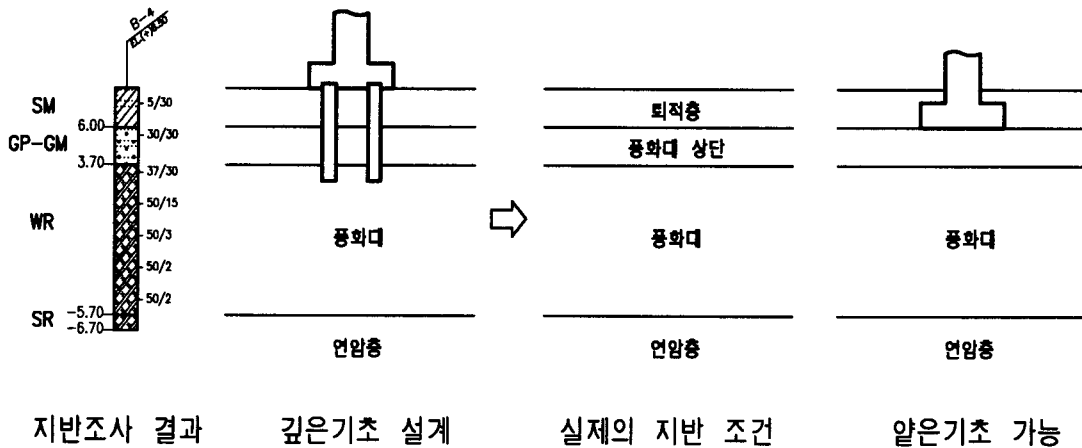


그림 4.2 암반의 특성을 잘 못 이해한 경우

4.1.2 과업에 대한 이해 부족의 경우

해안을 매립하여 부지를 조성하기 위한 지반조사에서 연약지반에 대한 조사와 암반에 대한 조사를 같은 방법으로 수행할 수는 없다. 지반조건에 따라 적절한 시추장비가 선정되어야

하며, 적절한 시험이 선정되어야 한다. 또한, 구조물기초의 형식에 따라 현장시험 등이 선정되어야 한다. 왜냐하면 일반적인 기초의 연직지지력을 확인하는 경우에는 별 문제가 없지만 옹벽이나 교대 등과 같이 수평하중을 받는 구조물을 단지 표준관입시험의 결과에 의존하여 설계한다는 것은 현실과 다른 설계일 수 있다.

#### 4.1.3 장비 취급 능력이 부족하거나 숙달되지 못한 경우

장비의 성능을 충분히 이해하지 못하거나 사용에 숙달되지 못한 경우에는 조사 결과에 대하여 신뢰를 주지 못한다. 또한, 대부분 현장시험의 공간인 試錐孔을 제대로 형성하지 못하기 때문에 현장시험의 신뢰도를 저하시킬 수 있고, 이에 따른 설계정수 결정에 문제가 될 수 있다.

상기와 같은 원인으로 발생할 수 있는 오류를 미연에 방지하기 위하여는 어느 정도 자격을 갖춘 자가 지반조사에 종사하는 것이 바람직하다. Eurocode 등에는 이와 같은 작업자의 자격 요건에 대하여 규정하고 있으나, 이러한 규정을 그대로 적용하기에는 너무 엄격하며, 다음과 같은 능력을 소지할 수 있도록 사전 교육이 필요하다.

##### (1) 현장책임자

- ① 현장 실무 경력이 충분한 자
- ② 관련 법률 지식이 있는 자
- ③ 조사 수행 절차에 충분히 익숙한 자
- ④ 조사의 기술적인 내용과 각종 기준에 대하여 충분한 지식과 경험이 있는 자
- ⑤ 안전수칙 등을 준수하며, 현장에서의 돌발사태에 응급조치가 가능한 자
- ⑥ 기타

##### (2) 시추기능공

- ① 목적을 충분히 이해하고 목적에 따른 조사가 가능한 자
- ② 기초적인 토질 및 암반의 분류가 가능한 자(흙의 육안판별, 지하수 시험, 공내 원위치 시험, 시료채취, 운반, 보관 등)
- ③ 지하수에 대한 이해가 있는 자
- ④ 각종 원위치 시험에 대한 지식이 하여도 충분히 숙달된 자
- ⑤ 사용 장비 및 각종 시험에 대하여도 충분히 숙달된 자
- ⑥ 기타

## 4.2 표준관입시험

현재 국내에서 실시하고있는 대부분의 조사에서 필수 시험항목으로 선정하여 시행하고 있는 표준관입시험은 비교적 간단한 장치를 이용한 간편시험이나, 그 효용성은 각 제안자들의 연구에 따라 대단히 광범위하다. 또한, 낙하에너지의 효율이 N치에 미치는 영향이 크므로

이에 대한 효율에 대한 측정이 우선적으로 수행되어야 하며, 설계에의 적용에 있어서도 보정을 실시하여 정도가 높은 결과치를 제공할 수 있도록 표준화 작업이 수행되어야 할 것이다.

표준관입시험에 대한 문제점에 대해서는 그간 세미나등을 통하여 많은 토론이 있었으며 많은 개선 방안이 논의되어왔다. 그러나, 낙하 에너지의 보정등 많은 기술적인 개선이 이루어지고 있지만, 시험 시 불량 슈를 사용한다거나, 낙하고를 준수하지 않는다거나 로드가 기울어진 채로 시험한다거나 하는 등 시험자의 부주의나 이해 부족으로 인한 문제점이 있다. 시험자의 개인차를 줄이고 시험의 중요성을 인식시키는 교육이 필요하다.

### 4.3 시료의 취급 문제

#### 4.3.1 시료 채취

N치 4이하의 연약한 점성토를 대상으로 불교란시료를 채취할 수 있는 샘플러로 국내에서는 대부분 수압식을 사용하고 있다. 여기서 고정 피스톤식이란 그림 4.3에서와 같이 피스톤의 위치는 고정되어 있고, 수압에 의해서 thin-walled tube를 지반 중에 압입시켜 시료를 채취하기 때문에 일컫는 말이다.

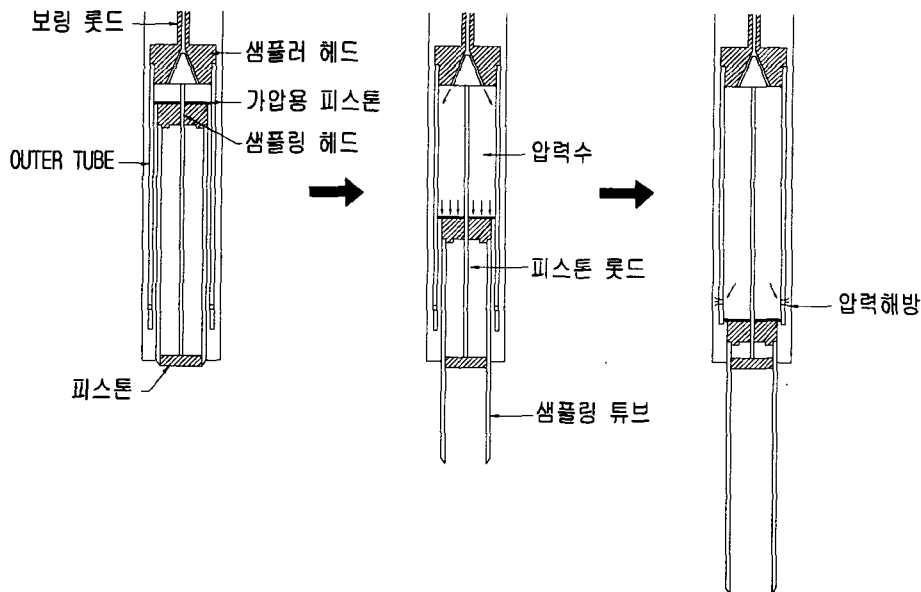


그림 4.3 고정 피스톤식 샘플러에 의한 시료채취 과정

샘플 튜브는 찌그러지거나 찢어진 것과 같은 손상이 있는 것을 사용해서는 안되며, 튜브와 주변 지반 사이에 마찰이 증가하지 않도록 빠르고 연속적으로 압입하여야 한다. 압입율은 압입 과정 동안 일정하게 유지되어야 하며, 보통 0.05 ~ 0.3m/sec 정도이다.

압입 완료 후에는 채취된 시료가 튜브 내에 잘 남아있도록 잠시 방치하고, 하부 지반과 튜

브 내 시료가 떨어지도록 2회 정도 회전시킨 후 인발한다. 인발 시에는 최대한 충격이나 진동 등에 주의하여야 하며, 회전을 주지 않는 상태로 일정한 속도로 천천히 인발한다. 만약 빠른 속도로 인발한다면 튜브 하부에서 진공이 발생하여 시료 교란의 원인이 되기도 한다.

#### 4.3.2 시료의 운반

시료의 운반은 일반적으로 불교란시료를 채취한 후 완충재료로 포장 후 차량의 좌석에 적당히 눕여서 시험실로 운반하는 경우가 대부분이다. 이러한 경우 시료는 원상태의의 중력 방향과는 달리 직각 방향의 중력을 받게 되며, 이에 따라 응력상태는 다소나마 변화하게 된다. 이러한 시료 교란의 영향을 최소화하기 위하여 시료를 연직으로 세워서 운반할 필요가 있으며, 이를 위하여 다음과 같은 박스를 제작하여 사용하기도 한다.

또한, 운반된 시료는 그대로 연직으로 세워서 보관한다.

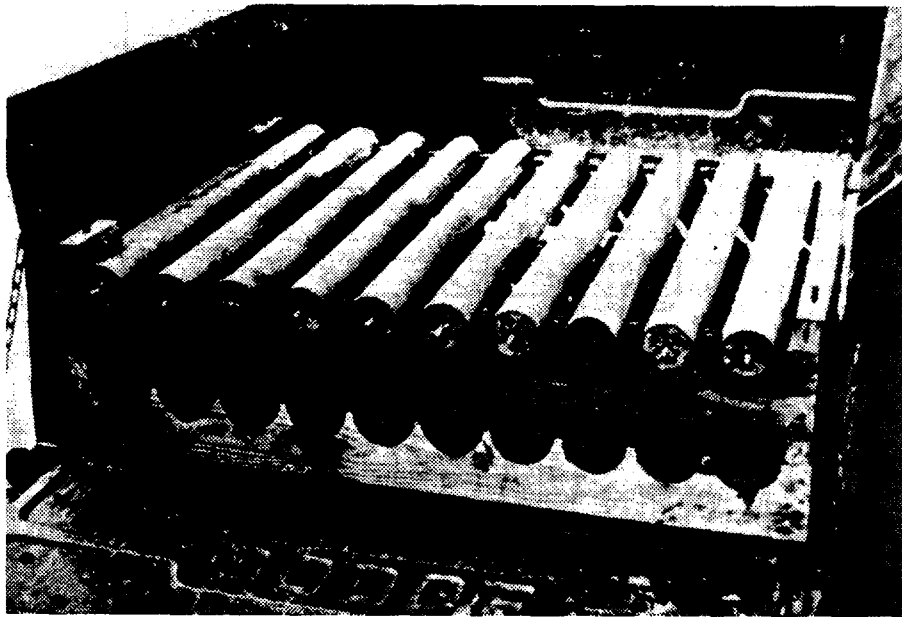


그림 4.4 불교란시료 운반용 Rack

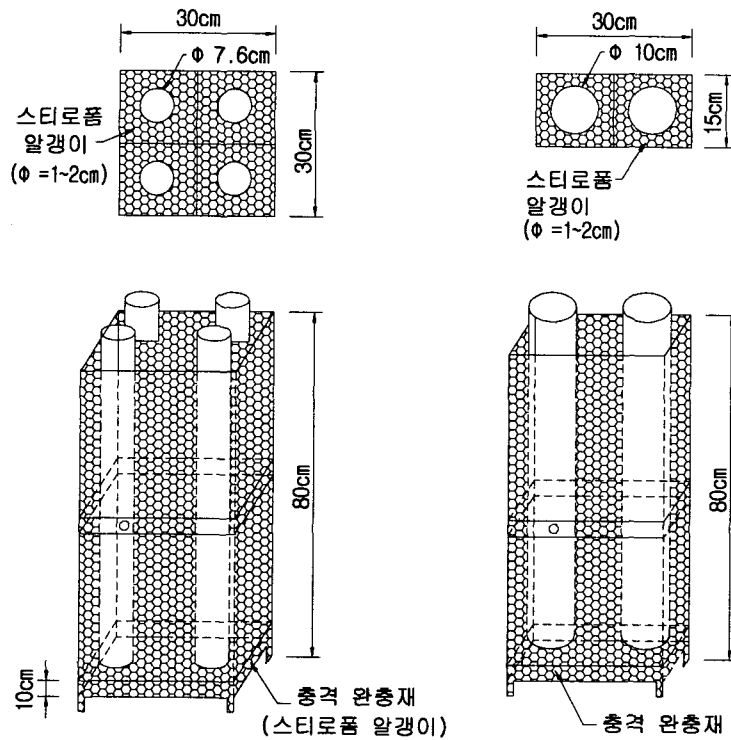


그림 4.5 비교란시료 운반용 박스

### 4.3.3 시료의 추출

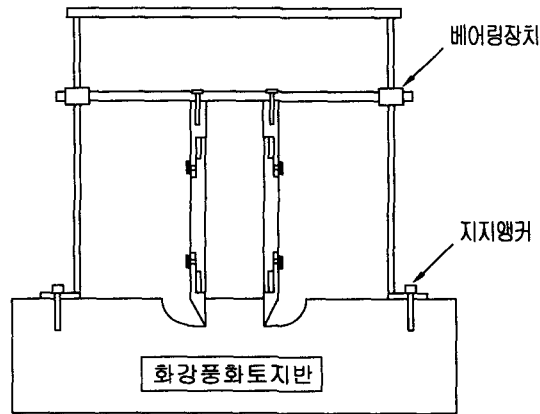
채취된 시료의 저면을 추출기의 축과 직각이 되도록 잘 정리한 후 시료 추출 시의 오차가 최소화되도록 일정한 속도로 천천히 추출한다. 시료 추출의 시기는 채취 후 장기간 방치하지 말고 가급적 빠른 시간 내에 실시하여야 한다. 왜냐하면, 시료를 방치하게 되면 시료와 튜브 사이에 부착력 또는 마찰이 증가하고, 추출 시 더 큰 교란을 야기 시킨다.

## 4.4 사질토와 암반의 강도 특성

사질토는 필터리지지 않은 시료의 채취가 매우 어려우므로 자연상태에서의 강도를 측정하기 어렵다. 보통 N치로부터 내부마찰각을 추정하고 있으나 미지수가 많기 때문에 하한치에 가까운 보수적인 값을 사용하게 되고 비경제적인 설계가 될 때가 많다. 또 함수상태와 재하 속도에 따라 강도 특성이 변하므로 위험측의 설계가 되기도 한다. 동결법에 의한 시료채취법, 필터진 시료를 현장밀도와 같이 재성형하여 시험하는법, 대형 전단시험장치의 사용으로 강도특성을 구하는 시도가 되어왔으며 앞으로도 많은 연구로 경제적이고 안전한 설계를 지향하여야 한다.

균열있는 암반의 점착력 및 내부마찰각은 암반사면의 안전에 큰 영향을 미치는 요인이며

공사비에도 직접적인 영향을 주지만 시료채취와 시험이 어려워 합리적으로 평가하는데 어려움이 있다. 최근에는 풍화토에 대한 불교란시료채취, 불연속면에 대한 전단시험 등이 수행되고 있으며 더 많은 연구가 필요하다. 암반의 분류에 대해서도 지반조사 표준품셈, 건교부분류기준, 도로공사 분류기준, 터널분류기준 등이 각각 있어서 통일된 분류 체계가 없는 실정이다.



채취기의 개요도

그림 4.6 풍화토의 홀트러지지 않은 시료채취(정순용 등, 1998)

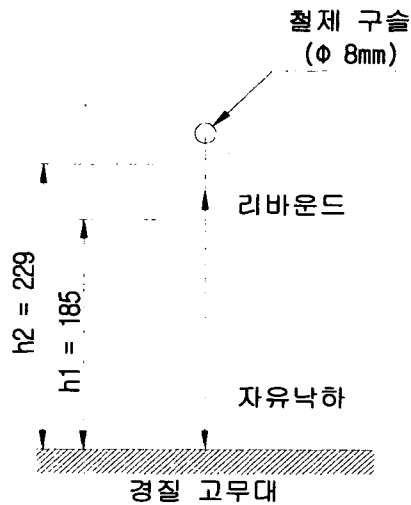
#### 4.5 검·교정의 문제

누구나 인정하는 숙련된 기술자가 아무리 주의하여 실시한 조사나 시험이라도 잘 못 조정된 장비 또는 기구를 사용하였다면 조사의 결과는 신뢰성이 결여된다.

현장시험장비나 시험기구의 검·교정이 정기적으로 이루어지지 않아 결과의 신뢰도가 떨어지는 원인이 된다. 응력이나 변형을 측정하는 센서들은 주기적인 검·교정을 실시하여야 한다.

근래에 와서 실내시험을 실시하기 전에 보유 장비에 대한 검·교정 여부를 확인하는 발주처들이 늘어가고 있는데 이는 바람직한 현상이며, 이를 의무화하여 조사결과의 신뢰성을 높일 필요가 있다.\





리바운드의 범위 :  $185 < \text{리바운드} < 229\text{mm}$

그림 4.7 액성한계 경질 고무대의 강성 검정 방법

#### 4.6 시험 기준과 시험의 표준화

설계가 점차 정밀한 해를 구하는 방향으로 흘러가 다양하고도 정밀한 현장 및 실내시험들이 실시되고 있으나, 이에 대한 기준이 미흡하거나 설정되어 있지 않은 실정이다. 예를 들어 입도시험의 시료를 어떤 경우에 건조상태와 습윤상태를 구분하여 사용하여야 할 것인지 명확하지 않으며, 또한, 연약지반 설계의 경우 압밀 비배수 삼축압축시험, Piezocone 관입시험, 이중관식 베인시험, Rowe cell, CRS, 장기압밀 등의 현장 및 실내시험은 거의 필수적으로 채택하고 있다. 그러나, 이에 대한 국내 기준이 없는 실정이다. 따라서, 현실 여건을 감안한 기준의 보완이나 신규 제정이 필요하다.

일본의 칸사이 공항의 지반조사에서 여러 회사가 투입되어 비슷한 위치, 비슷한 시료에 대하여 각 사가 수행한 실내토질시험 결과를 비교한 적이 있다. 기본 물성시험인 액성한계, 소성한계와 일축압축강도시험 결과 상당한 편차가 있었으며, 시료의 차이에 따른 편차보다는 각 회사별로 어떤 경향을 가지는 편차가 크다는 것이 밝혀진 바 있다(Seiji SUWA, Geo-Research Institute, Japan).

우리나라에서도 최근에 턴키 프로젝트등을 여러 회사가 수행하게 되고, 그 결과를 분석하여 회사마다 편차가 있음을 밝히고 있다(김동후, 대영엔지니어링). 이러한 차이는 표준화가 이루어지지 않은 시험방법과 시험자의 개인차가 주 요인인 것으로 생각된다.

액성한계 시험에 사용되는 고무판의 탄성에 대한 우리나라의 시험 기준이 없어서 회사마다 탄성에 차이가 있으며, 시험 시 회전속도의 개인차 등이 액성한계에 영향을 미친다. 개인 차이를 줄일 수 있는 Fall Cone Test 등과 연관을 시켜 표준화할 필요가 있다. 소성한계 시

험 시 시료의 함수비를 감소시켜나가는 과정, 입도분석시 분산액의 농도, 보관방법, 보관기간, 분산방법등도 영향을 미치며 표준화와 시험자에 대한 교육이 필요하다.

#### 4.7 누락된 정보

지반의 특성상 조사나 시험이 불가능한 경우가 있으며, 이러한 정보들을 보고서나 조사시험 슈트에 표시하지 않고 누락함으로써 설계자가 잘못된 설계를 하는 원인이 될 수 있다. 예를 들어 공내재시험 수행시에 지반이 약하여 재시험 수행이 불가능 한 위치가 몇 군데 있었을 때, 이들을 제외하고 시험이 잘 이루어진 결과만을 평균하여 설계하였을 때, 변형계수는 과대평가되고 침하량은 과소평가 될 수 있다. 비슷한 경우로써 지반이 약하여 시료 채취가 불가능했을 경우, 투수시험시 물의 투수량이 너무 많아서 시험이 불가능한 경우, 채취된 시료 추출 시 시료가 약하여 강도시험을 위한 성형이 불가능할 경우 등이며, 조사자나 시험자는 이러한 정보를 반드시 기입하여 설계자가 지반 특성치를 산정 할 때 고려할 수 있도록 해야 한다.

#### 4.8 육안 관찰 결과 이용

시추조사나 원위치시험 또는 실내시험이 아니더라도 현장에서의 육안관찰 결과도 중요하다.

세굴된 하상에서의 암반분포, 기존 절개면에서의 토층의 분포, 지하수 상태, 붕괴된 사면의 특성, 지형과 퇴적 양상에 따른 연약지반 분포추정등의 정보는 설계자에게 귀중한 자료가 되며, 보고서나 도면에 기재하여 활용될 수 있도록 하여야한다.

#### 4.9 결과 활용의 문제 - Database와 연관

조사의 결과는 설계 또는 시공의 완료와 동시에 사장되고 만다. 또한, 대안설계나 턴키 설계에 있어 떨어진 회사의 조사결과는 쓸모없는 폐품이다.

건설의 과정은 지반조사 결과를 토대로 설계가 이루어지고, 설계 내용에 따라 시공이 이루어지게 되며, 설계나 시공의 과정에서 필요에 따라 의심나는 사항을 확인하여 안정적인 과업이 되도록 하여야 한다.

일반적인 경우 설계를 위한 조사나 시공중의 확인용 조사는 그 공사가 완료됨과 함께 사장되고 만다. 그래서 추후 인근 지역에 건설사업을 계획하는 경우에 처음부터, 즉 지반조사부터 다시 시작하는 경우가 대단히 많다. 만약 인근 지역의 조사 자료를 입수할 수가 있다면 그에 따라 개략 설계를 수행하고 시공시 확인 조사만으로도 과업을 안정적으로 수행할 수 있을 것이다. 또한, 요즈음 대두되고 있는 대안설계나 턴키설계의 경우, 1등에 당선된 회사의 조사 자료만이 남고, 2등 이하 떨어진 경쟁 회사의 조사 자료들은 사장되고 만다.

이는 사회적인 차원에서 큰 낭비이며, 공공 기관이나 연구소 등에서 이 자료들을 체계적으로 정리하여 장래에 추진되는 사업의 기본자료로 이용할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것이다.

현재 한국도로공사, 서울특별시와 그 외 연구기관들에서 지반조사 결과를 데이터베이스화 하는 작업을 진행하고 있으며, 전국적인 통합과 표준화가 필요하다.

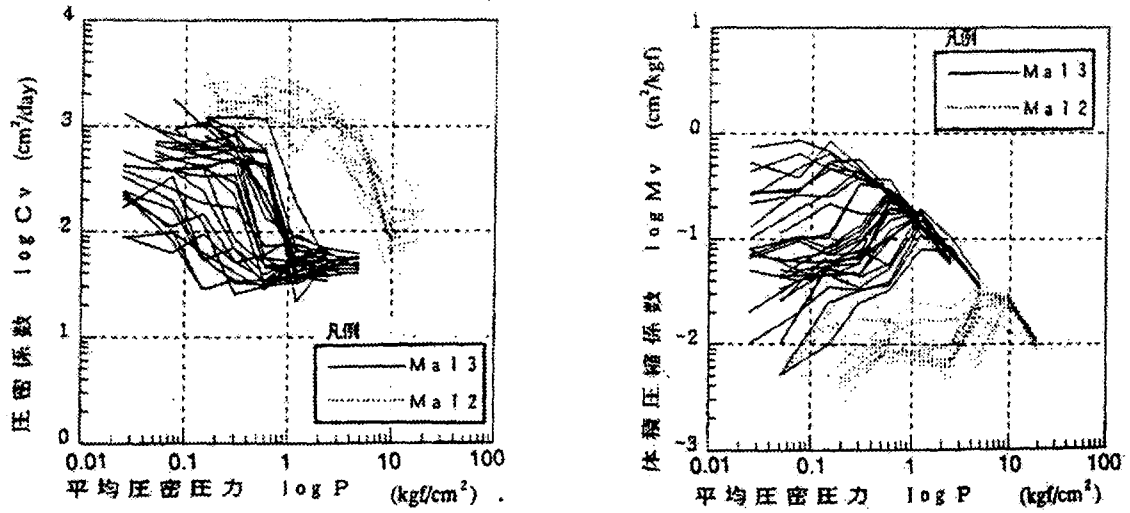


그림 4.8 압밀시험 결과의 데이터베이스 예(일본 오사카 시)

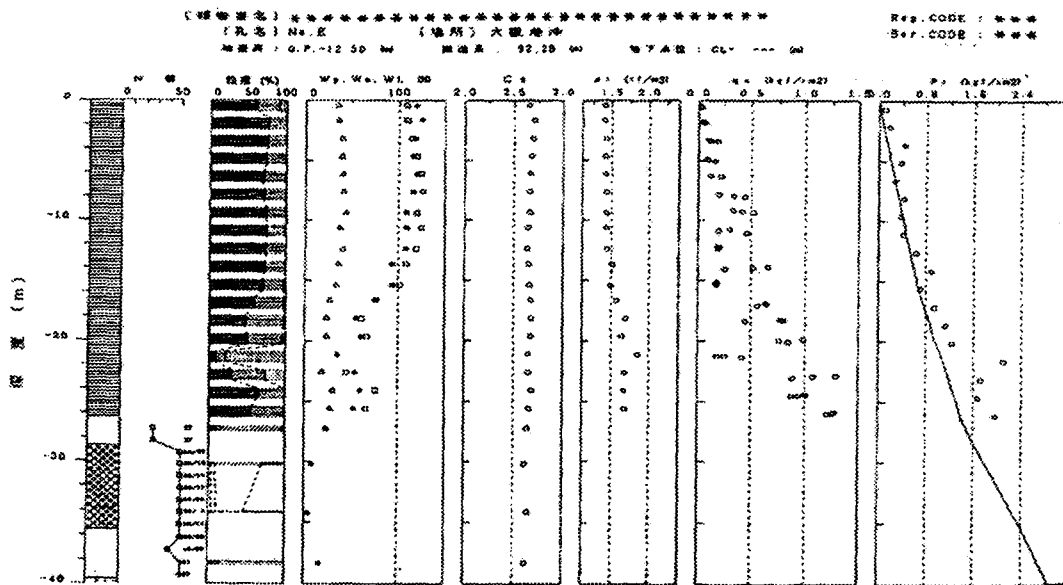


그림 4.9 지반조사결과 데이터베이스 예(일본 오사카 시)

## 5. 개선 방향

앞에서 언급한 문제점들을 요약하고 각각의 방향을 제시하면 다음과 같다.

표 5.1 지반조사의 문제점 및 개선방안

항목별 문제점	개선방안
1. 발주관행과 제도의 문제 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 조사목적에 대한 이해부족</li> <li>· 단계별 조사계획 미비</li> <li>· 조사 항목의 부적절</li> <li>· 조사 수량의 부족</li> <li>· 조사 기간의 부족</li> <li>· 비현실적인 조사 비용</li> <li>· 형식적인 과업지시</li> <li>· 중복조사로 인한 낭비</li> <li>· 민원 및 보상 비용</li> </ul>	<p>충분하고 적절한 지반조사는 전체 프로젝트 비용 절감과 안전한 시공에 기여한다는 인식을 가질 필요 있음.</p> <p>또 설계 시 예측한 지반조건과 상이할 때 설계를 변경한다거나 이로 인한 공기 지연을 예방할 수 있다는 인식이 필요함.</p>
2. 장비의 문제 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 부적절한 시추장비의 선택</li> <li>· 장비 자동화에 따른 부작용</li> <li>· 현장 여건에 맞지않는 장비사용</li> </ul>	<p>현장의 지반특성과 조사목적에 맞는 장비의 선정</p>
3. 기술적인 문제 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 작업자의 기술수준 문제</li> <li>· 지반 공학에 대한 지식 부족</li> <li>· 과업에 대한 이해부족</li> <li>· 장비의 취급능력 부족 및 미숙</li> <li>· 표준관입시험시의 문제</li> <li>· 시료취급의 문제(채취, 운반 추출)</li> <li>· 사질토의 강도특성 추정</li> <li>· 검교정의 문제</li> <li>· 시험기준과 시험의 표준화 미비</li> <li>· 누락된 정보</li> <li>· 육안 관찰결과 이용미비</li> </ul>	<p>기능공의 교육과 자격인증</p> <p>기술자의 계속교육</p> <p>조사회사의 연구투자</p> <p>학회나 연구기관에 의한 시험 기준의 보완, 기존 조사자료의 데이터베이스화</p>

## 6. 결 언

우리나라의 짧은 지반조사 역사에 비하여 장비의 개선, 다양한 조사방법의 도입, 조사수량의 증가 등 많은 발전을 하고 있지만 아직도 발주관행이나 제도적 측면에서, 장비의 측면에서 그 외의 각종 기술적인 측면에서 문제점이 있으며 이들에 대하여 검토하고 나름대로의 개선방안을 제시하였다.

발주 관행과 제도적인 문제로서는 조사목적에 대한 이해부족, 단계별 조사계획에 대한 유연성 부족, 부적절한 조사항목의 선정, 조사수량의 부족, 조사기간의 부족, 비현실적으로 적은 조사비용, 민원과 보상에 소요되는 비용 미 지불 등이 있다. 충분하고 적절한 지반조사는 전체 프로젝트 비용을 절감하고 안전한 시공에 기여한다는 발주자의 인식이 있을 때 이러한 문제는 점진적으로 개선 될 것이다. 또 지반조사가 미비했을 경우, 설계 시 예측한 지반조건과 실제 시공시의 지반조건이 상이할 때 공법이나 설계의 변경이 필요하다거나 이로 인한 공기지연을 예방할 수 있다는 인식도 필요하다.

최근에는 장비의 대형화와 자동화가 이루어지고 있으며, 이로 인한 조사기간의 단축과 인건비 절감에 기여하고 있는 반면에 수동식 장비일 때 얻을 수 있는 세세한 지반 정보를 얻지 못하는 부작용도 있다. 현장의 지반특성과 조사 목적에 맞는 종류와 용량의 장비를 선택할 필요가 있다. 기술적인 문제로서, 작업자의 기술수준, 시료취급 잘못으로 인한 시료교란, 시험방법의 표준화 미비, 기계기구의 점 교정문제, 조사자가 현장에서 취득한 육안관찰자료나 시험을 수행하지 못했을 때의 이유 등에 대한 기술을 하지 않음으로써 적절하지 못한 지반 특성치를 취하게 되는 점, 조사결과를 데이터 베이스화하여 추후에 이용할 수 있도록 해야하는 점 등이 있다. 기능공의 교육과 자격인증, 기술자의 지속적인 교육이 필요하다. 지반조사에 관계하는 회사의 장비와 연구개발에 대한 투자의 증가가 기술 발전에 기여할 수 있을 것이다. 학회나 연구기관들에 의한 시험기준의 표준화와 기존 조사자료의 데이터베이스화도 요망된다.

### 참고문헌

1. AASHTO(1998), Manual on Subsurface Investigation
2. Armando E. Pardes MSc Eng'g. Geol. " Soil Investigation Report for the Proposed Philippine Integrated Steel Project Located In Villanueva, Misamis Oriental"
3. ASTM(1992), "Volume 04.08(Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics)"
4. British Standards Institution(1981), "BS 5930(Code of Practice for Site Investigation)"
5. Bowles(1988), "Foundation Analysis and Design, 4th Ed.", McGraw-Hill
6. Clayton, Simons & Matthews(1982), "Site Investigation", Granada
7. Coduto. D.P., (1998) "Geotechnical Engineering, Principle and Practice," Prentice-Hall, Inc., USA
8. Geotechnical Engineering Office(1993), "GEOGUIDE 2(Guide to Site Investigation)"
9. Hvorslev(1949), "Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes"
10. Marchetti(1999), "The Flat Dilatometer Test(DMT) and Its Applications", 한국지반공학회 '99년 지반조사 위원회 세미나("현장 기술자를 위한 현장지반조사 및 기초설계")
11. NAVFAC(1982), "Soil Mechanics; Design Manual 7.1"
12. Robertson & Campanella(1989), "Guideline for Geotechnical Design Using the cone Penetro-meter Test and CPT with Pore Pressure Measurement"
13. Singh(1981), "Soil Engineering in Theory and Practice", Art Book Inc.
14. U.S. Bureau of Reclamation(1957), "Earth Manual"
15. U.S. Corps of Engineering(1972), "EM 1110-2-1907(Sampling)"
16. 과학기술 역, (1998), "최신 지반조사법" 도서출판 과학기술.
17. 김동후(2002), 향만 지반조사에 있어서 장비및 조사자가 조사결과에 미치는 영향
18. 김용필, 정경완, 송용선(1997), "지반공학 시험법 및 응용", 세진사
19. 대한토목학회, (사) 한국 지반 공학회 지반조사 위원회 "지반조사 학술 발표회 논문집"
20. 도서출판 새론(1996), "도로설계 실무편람(토질 및 기초)" 권영수의 13인.
21. 서울특별시(1996), "지반조사편람"
22. 신희순, 김기석, 김정호(1999), "지반조사와 결과의 이용(V)", 한국지반공학회지 Vol. 15 No. 12
23. 조성문(1994), "시추공학", 대광서림
24. 조성민(1999), "'지반특성측정시스템'을 활용한 현장 지반 조사 - 콘관입시험과 자가 굴착식 프레스미터시험을 중심으로 -", 한국지반공학회 '99년 지반조사 위원회 세미나("현장 기술자를 위한 현장지반조사 및 기초설계")
25. 정병현(1999), ENPASOL 지반조사와 SINNUS 그라우팅의 적용사례, 한양대학교 석사논문
26. 윤지선 역(1991), "암석·암반의 조사와 시험", 구미서관
27. (주)천일지오컨설턴트(1994), "토목기술자를 위한 지반조사 및 계측"
28. (주)천일지오컨설턴트(1999), "현장시험 및 물리탐사 장비(I)"
29. 창우출판(1996), "기초설계 자료집성" 토목공법 연구회
30. 최용규, 정성기(1999), "해상장대교량 기초말뚝 시공을 위한 PMT 수행사례", 한국지반공학회 '99년 지반조사 위원회 세미나("현장 기술자를 위한 현장지반조사 및 기초설계")

31. 한국건설기술연구원(2000), “새로운 지반조사 및 평가 관련 국제 심포지움”
32. 한국기술용역협회(1983), “지질조사 표준품셈”
33. 한국도로공사(1989), “건설공사 품질시험편람”
34. 한국도로공사(1996), “도로설계실무편람”
35. 한국엔지니어링진흥협회(1996), “토질 및 기초조사 표준품셈”
36. 한국지반공학회(1994), “지반조사결과의 해석 및 이용”
37. 한국지반공학회(1998) “풍화 잔적토의 지반 공학적 특성” 박병기, 98' 봄 학술발표회 논문집
38. 한국지반공학회(1997), “구조물기초설계기준”
39. 한국토지공사(1994), “단지계획설계실무편람”
40. 한국표준협회(1997), “한국산업규격”
41. 환경처(1994), “종합환경 연구단지 조성사업 실시설계 보고서”
42. (社)地盤工學會(1990), “土質調査法”
43. 日本 土質工學會 關西支部(平成7年) 海底地盤 - 大阪灣お例として

**“Unfortunately, soils are made by nature  
and not by man, and the products of  
nature are always complex”**

**Karl von Terzaghi, 1936**