

국내 지반조사 현황 및 개선 방향
(Site Investigation in Korea
- State of the Art Report)

장 찬 수

((주) 천일지오컨설턴트 대표이사, 토질 및 기초 기술사)

이 강 운

(동성 엔지니어링 상무이사, 토질 및 기초 기술사)

백 세 환

(도화지질 대표이사, 토질 및 기초 기술사)

1. 연구배경

일반적으로 지반재료는 다른 토목재료와는 달리 불연속체로 되어 있으며 구성물질이 고체와 액체 기체의 3상으로 구성되어 있다. 그리고 재료의 거동은 탄소성거동을 할뿐만 아니라 특성면에서도 비균질, 비등방이고 시간과 환경에도 지배를 받으므로 고유의 값을 갖기 어렵다. 즉 지반재료는 현위치(*In-Site*)조건에 따라 재료의 특성치가 달라지므로 가능한한 근접된 재료원의 대표값을 얻기 위해서는 우선적으로 현장 및 실내시험 수량과 항목이 충분해야 한다.

그러나 현재 국내에서 실시되고있는 조사방법 및 내용은 대체적으로 시추조사와 표준관입시험에 중점을 두고 조사되고 있는바 정량적인 설계자료로 이용하는 데는 한계가 있다. 그리고 조사규격과 조사수량도 충분치 못해 지층추정이 곤란한 경우가 발생하기도 한다. 따라서 신뢰성있는 설계자료를 얻기 위해서는 조사수량 및 항목이 충분해야 하며, 이에 따른 조사비가 내역서와 일치되어 설계품질이 확보되어야 한다.

이같은 차원에서 지반 기술자가 스스로의 위상을 찾고, 독립된 위치를 확고히 하기 위하여 지반분야의 기초작업이 필요한 상태이다. 이에 따라 본 연구는 그동안 국내에서 수행해왔던 기존 발주내용이나 설계내용의 문제점을 도출하여 분석하여 향후 바람직한 조사방향을 찾고자하는데 있다.

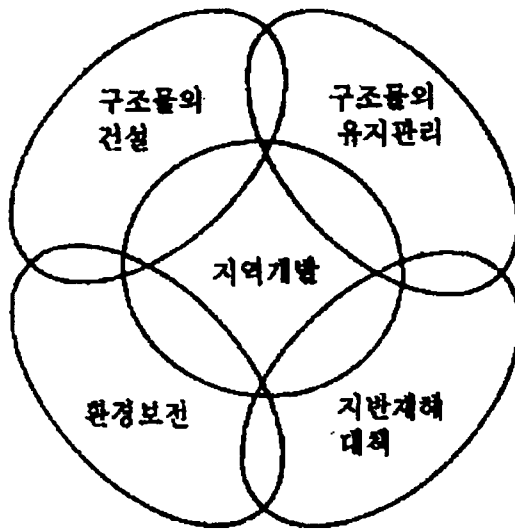
2. 연구목적

본 연구는 국내에서 설계 및 시공시 수행하는 지반조사업무와 관련하여 관련자가 지반조사 업무에 대한 중요성과 개념을 더욱 확고히하여 지반조사 설계의 신뢰성과 예산 절감을 유발함으로써 차원높은 품질을 확보토록 그 방향을 제시하는데 있다.

3.지반조사의 목적과 내용

3.1 지반조사의 목적

다음 <그림-1>는 광의의 차원에서 지반조사의 목적을 표현하였는데, 지반조사란 다양한 목적을 가지고 대상지반의 지형, 지질구조, 상층분포나 지하수의 상황, 지반을 구성하는 토질 및 암반의 특성을 파악하는 행위를 총칭하는 것이다. 지반조사의 목적 중에 하나는 지반이 구조물이나 시설물을 안전하게 지지할수 있는가를 평가하는 과정으로 알려져 있다. 그 과정을 통하여 지반의 강도나 침하에 대한 지반개량이나 구체적인 기초구조물, 그리고 토공설계를 하게된다. 또한 지반은 미생물에게 서식장소를 제공하며 수목을 지탱하며 지하수로 물을 제공한다. 지반에서 발생하는 여러 가지 생물학적이고 화학적인 작용은 인간활동에 지대한 영향을 미치고 있다. 이러한 자연환경에 대한 지반조사도 인간의 생활환경에 중요한 역할을 한다. 그러므로 지반조사의 영역은 사실상 매우 광범위하고 포괄적이다. 하지만 국내에서는 아직까지 지반조사의 목적을 구조물의 건설과 유지관리 차원에서 수행하고 있다.



<그림-1> 광의의 지반조사 목적

지반조사의 목적은 크게

- ㉠ 건설부지로서의 적정성 검토를 위한 조사
- ㉡ 기초 설계를 목적으로 한 지반의 공학적 특성파악을 위한 조사
- ㉢ 부동산 거래 및 택지 개발을 목적으로 한 지반조사
- ㉣ 지반의 오염상태를 파악하기 위한 조사로 구분된다.

일반적으로 건설부지로서의 지반특성 파악과 기초설계를 위한 지반조사의 궁극적인 목적은 다음과 같은 세부목적으로 수행된다.

- ㉠ 적합성: 제안된 건설공정에 현장부지가 적합한지를 평가
- ㉡ 설계 : 경제적 측면과 건설시 요구되는 적정 설계상수를 평가
- ㉢ 건설성: 건설에 따른 최적의 공법선정, 건설시 예상되는 문제점을 사전에 탐지하여 예방하기 위한 조사
- ㉣ 지반침하 및 주변과의 상호 관련성 평가이다.

3.2 지반조사의 흐름

문헌상 나타난 지반조사는 일반적으로 예비조사, 본조사, 시공관리조사, 유지관리조사로 구분되어 있으나 국내에서 수행하고 있는 조사는 타당성 조사 및 기본계획 등의 예비조사, 기본설계조사, 실시설계조사, 시공관리 및 확인조사 등으로 구분되어 있다.

가. 예비조사

예비조사는 기본적으로 기존의 부지에 대한 지형도, 지질도, 주변외의 지반조사 보고서 고찰 및 공사기록 등을 수립 정리하며, 현지답사에 의한 지형, 지질, 토질, 지하수 및 환경 등의 개요를 조사하게 된다. 이러한 과정은 거시적인 관점에서 조사 중점지역이나 차후의 본 조사를 대비한 조사 방침을 수립하게 된다. 기본조사 단계에서 그 특성을 파악할 수 있다.

나. 본조사

본조사는 설계 및 시공에 앞서 반드시 수행하는 조사로서 지반의 성질과 상태나 설계에 필요한 토질상수를 파악함과 동시에 건설상 문제가 되는 부분의 지반조건을 명백히 하는 것을 목적으로 한다. 그러므로 구체적인 조사지점이나 조사방법은 발주자나 지반기술자의 판단에 따라 결정되며 한번의 지반조사로 부지전체를 파악하는 것은 불가능하므로 건설대상 구조물의 특성에 맞게 조사지점, 조사깊이 및 조사숫자 등을 결정하게 된다. 하지만 지반조사로는 통상 점이나 선의 정보가 얻어지지만 실제로 조사결과를 이용할 경우는 면적 또는 공간적으로 해석하여 이용하게 된다. 그러므로 제한 점이나 선의 정보에서 전체 부지를 무리없이 판단하기 위해서는 조사빈도, 수량 및 깊이 등을 늘리는 것도 한계가 있으므로, 조사대상 지반에 시공할 구조물에 영향을 미치는 지반의 특이점을 파악하는 것이 합리적이다.

다. 시공관리 조사

시공관리 조사에는 구조물 등의 품질에 관한 조사와 시공시의 거동이나 안전성에 관한 조사가 있다.

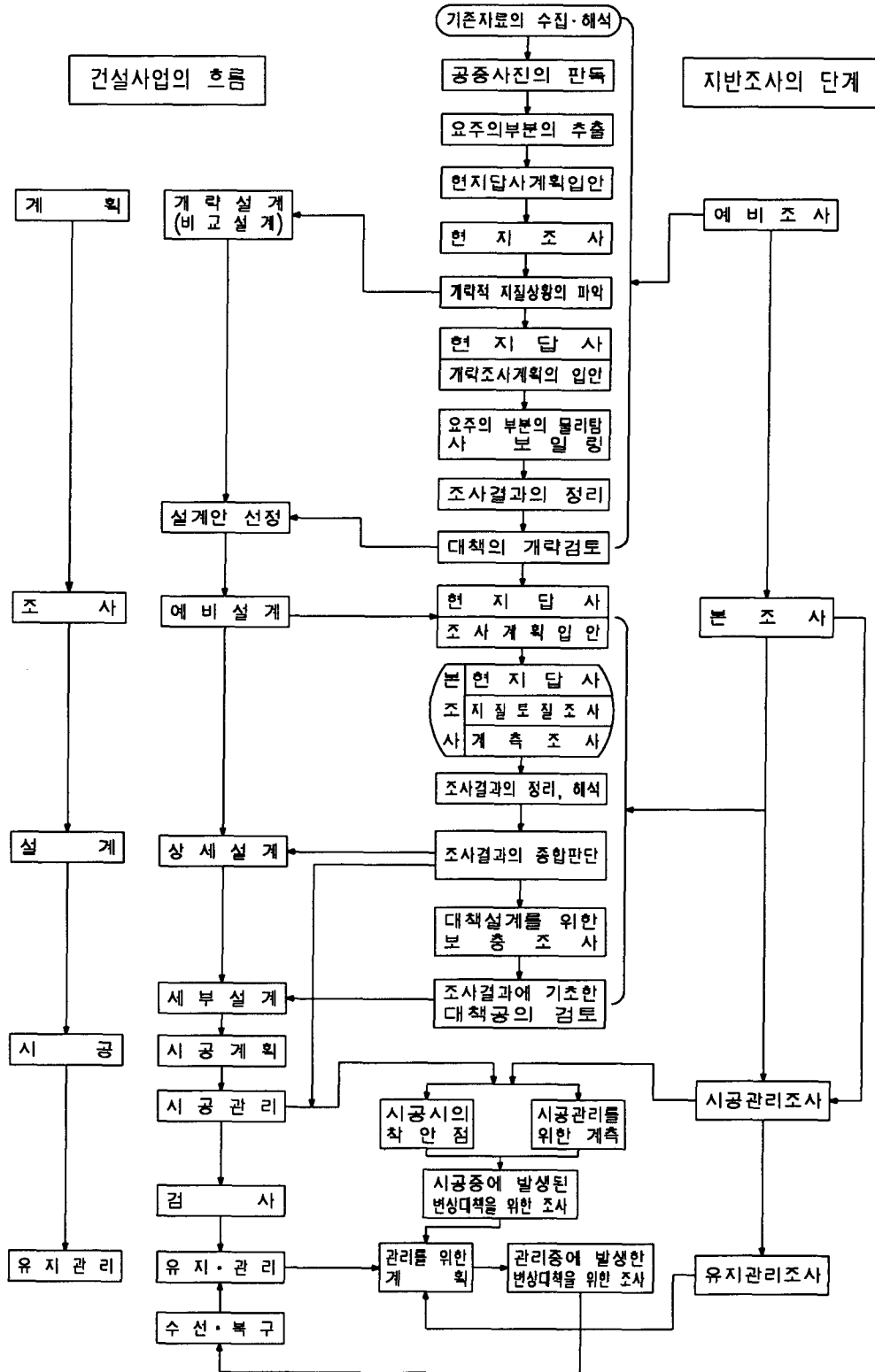
품질에 관한 조사는 구조물을 사전에 정할수 있었던 기준치로 합하여 될수 있는지 어떤지를 판정하기 위해서 행하는 것이기 때문에 재료의 품질관리나 성토의 확실한 관리 등이 있다.

한편 시공시의 거동이나 안전성에 관한 조사에는 공사진행에 맞춰 설계시의 불확실성을 보충하기 위해서 행하는 조사와 공사에 의해 생긴 지반의 변한상태나 그것이 구조물에 미치게 하는 영향을 알기 위해서 하는 조사가 있다. 후자를 일반적으로 동태관측이라고 불리고 있는 것으로 관측결과는 즉각 그래프화 해서 거동을 파악하고 설계시에 예기할 수 없었던 거동이 생긴 경우는 조속히 원인을 추구하고 대책을 강구하는 것이 필요하다.

라. 유지관리 조사

유지관리 조사는 일반적으로 구조물의 변한 상태 등을 정기적으로 관찰 혹은 관측하여 그 결과로부터 위험이 예상될때, 혹은 실제로 이상인 상태가 된때 등에 대한 대책을 검토하기 위해 실시한다.

따라서 여러 가지의 상황이 상정되고, 담당 기술자의 판단에 의해 어디가 중요하며, 확실적인 조사계획이나 조사방법으로 나타낸다는 것은 어려운 일이다. 진지한 사고방식으로 이상사태를 발견한 경우는 현지답사를 주체로 한 긴급 조사를 우선 실시하고, 그 결과에 기초해서 응급대책이나 항구대책을 위한 조사방침을 세우는 것이 좋다.



<그림-2> 건설의 흐름과 조사순서의 대응

3.3 지반조사의 항목

지반조사를 수행하기 위해서는 조사의 목적에 의거하여 상세한 검토항목을 선정해야 한다. 이에 따른 조사항목으로는 지층파악을 위한 물리탐사와 시추조사가 있으며, 실내외시험 항목으로는 암석과 토질로 구분하면 된다.

<표 1-1> 지반조사 시험항목

구분	토질	암석 및 암반	비고
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 Jacking Test, 삼축진동시험, 속도시험, Self Boring Pressuremeter, 시추공내 전단시험등	
실내시험	비중, 다짐, 일축압축, 압밀, 함수량, CBR, 투수시험, 직접전단, 상대밀도, 삼축압축(UU, CU, CD)시험, CRS 압밀시험, Stress Path 삼축시험, 진동삼축, 공진주 시험등	비중, 밀도, 흡수율, 함수량, 공극율, 탄성과 속도시험, 투수시험, Slaking 시험, 흡수. 팽창시험, 동결융해, 일축압축, 삼축압축, 점하중강도, 인장 및 전단시험, 파괴인성, Creep 시험, 동적시험, 경도, 마모시험등	
기타: 암반조사 항목으로는 Instrumented Boring, Borhole image processing System, Suspension PS Logger등			

<표 1-2> 물리탐사 항목

구분	측정법	비고
중력탐사	육상측정, 해상측정	
자기탐사	크기측정, 방향측정	
전기탐사	전기 비저항 탐사, 자연전위법, 유도 분극법	
탄성과 탐사	굴절법, 반사법, 전성분 측정법, 단성분 측정법, Tomography	

4. 지반조사 기준

4.1 구조물 기초 설계기준 (한국지반공학회 1997년)

가. 시추조사: 보링위치 선정을 위한 일반적인 지침은 다음 <표-2(배치기준)>과 <표-3(심도기준)>와 같다.

<표-2> 보링의 배치기준

조사 대상	배치 간격	비 고
단지조성, 매립지, 공항등 광역부지	<ul style="list-style-type: none"> • 절토 : 100~200m 간격 • 연약지반성토 : 200~300m 간격 • 호안, 방파제등 : 100m 간격 • 구조물 : 해당구조물 배치기준에 따른다. 	대절토, 대형단면등과 같이 횡단방향의 지층구성 파악이 필요한 경우는 횡방향 보링을 실시한다.
지 하 철	<ul style="list-style-type: none"> • 개착구간 : 100m 간격 • 터널구간 : 50~100m 간격 • 고가, 교량 등 : 교대 및 교각에 1개소씩 	대절토, 대형단면등과 같이 횡단방향의 지층구성 파악이 필요한 경우는 횡방향 보링을 실시한다.
고속전철, 도로	<ul style="list-style-type: none"> • 절토 : 절터교 20m 이상에 대해 150~200m 간격 • 연약지반성토 : 100~200m 간격 • 교량 : 교대 및 교각에 1개소씩 • 터널(산악) : 갱구부 2개소씩으로 1개터널에 4개소 실시하며 필요시 중간부분도 실시함. 갱구부 보링 간격은 30~50m 중간간격은 100~200m 간격 	대절토, 대형단면등과 같이 횡단방향의 지층구성 파악이 필요한 경우는 횡방향 보링을 실시한다.
건축물, 주차장, 하수처리장 등	<ul style="list-style-type: none"> • 사방 30~50m 간격, 최소한 2~3개소 	

주) 상기기준은 실시설계에 대한 것으로 기본설계시에는 2배 정도되게 계획하며 지층상태가 복잡한 경우는 기준을 1/2 축소하여 실시토록 하고 기준에 없는 경우는 유사한 경우를 참조하여 판단한다.

<표-3> 보링깊이 기준

조사 대상	깊 이	비 고
단지조성, 매립지, 공항 등 광역부지	<ul style="list-style-type: none"> • 절토 : 계획고하 2m • 연약지반성토 : 연약지반 확인후 견고한 지반 3~5m • 호안, 방파제 등 : 풍화암 3~5m • 구조물 : 해당구조물 깊이기준에 따른다. 	절토에서 기반암이 확인이 안된 경우는 기반암 2m확인, 조사공수 및 배치에 따라 부분적으로 계획고 도달전이라도 기반암 2m 확인하고 종료할 수 있음.
지 하 철	<ul style="list-style-type: none"> • 개착구간 : 계획고하 2m • 터널구간 : 계획고하 0.5~1.0D • 고가, 교량 등 : 기반암하 2m 	개착,터널구간에서 기반암이 확인 안된 경우는 기반암 2m 확인.
고속전철, 도로	<ul style="list-style-type: none"> • 절토 : 계획고하 2m • 연약지반성토 : 연약지반 확인후 견고한 지반 3~5m • 교량 : 기반암하 2m • 터널(산악) : 계획고하 0.5~1.0D 	절토, 터널에서 기반암이 확인 안된 경우는 기반암 2m 확인.
건축물, 주차장, 하수처리장 등	<ul style="list-style-type: none"> • 지지층 및 터파기 심도하 2m 	터파기 심도하 2m까지 기반암이 확인 안된 경우는 일부조사공에 대해 기반암 2m 확인.

주) 1. 상기기준은 기본설계, 실시설계 구분없이 적용하며 별도의 조사목적이 있는 경우는 기술자 판단에 따라 깊이를 조정하여 실시토록 한다.

2. 기반암은 연암 또는 경암을 의미함.

나. 시료채취: 지층형태와 구성물질에 따라서 시료의 개수와 종류가 결정되는데 대표적인 교란시료는 연직으로 1.5m마다 또는 지층의 변화시마다 채취하며, 불교란 시료는 설계상의 문제점과 필요한 시험계획에 의거 결정된다. 점성토층에서는 매 5.0m마다 최소 1개의 불교란 시료를 채취한다.

다. 설계를 위한 시험선정:

- 물리시험 : 흙의 물리적 특성치는 흙을 분류하고 주요지층에서 흙을 그룹화하고 역학적 특성값을 추정하는데 사용한다. 그리고 지층의 어떤 심도에서의 역학시험 결과를 다른 심도에서 또는 물성시험만 실시된 유사지반에서의 역학적 성질을 판단하는데 유용하다. 4-6개의 보링을 요하는 간단한 공사의 경우 1.5 - 4.5 m 인 지층에 대해 3회 정도 시험을 수행해야하며 지층이 복잡하거나 두꺼운 경우 4-6개소 이상의 보링수를 요하는 경우는 추가적인 시험을 해야한다.

- 역학시험: 이 시험들은 특정한 기초구조물등 설계상의 문제가 되는곳에서 수행한다. 주의 깊게 선정된 대표적인 불교란 시료에 대해 제한된수의 양질의 시험이 선호된다. 일반적으로 설계값의 선택은 제한된 면적내에서 토질이 단순한 경우 최소 3개의 시험치가 필요하다. 부지가 넓고 지반조건이 복잡한 경우에는 많은수의 시험이 필요하다.

<표 - 4> 조사기준 비교표 (조사항목 및 빈도)

구분	한국도로공사			서울시			한국토지공사			비고
	항목	빈도	심도	항목	빈도	심도	항목	빈도	심도	
성토부	<ul style="list-style-type: none"> • TEST PIT • AUGER BORING 	300m	1 ~ 2 m	해석에 필요한 토층단면을 알기위하여, 문제가 되는 방향을 따라 직선상에 3~5개소의 시추를 실시한다.	<ul style="list-style-type: none"> -보오링 -자연시표채취 -표준관입시험 -오오거보오링 -Cone관입 -Vane전단 	<ul style="list-style-type: none"> -100~300m -연직3m마다 -연직1.5m간격 -100~300m -필요시 -필요시 	<ul style="list-style-type: none"> -풍화암3m까지 -N치 5이내 -풍화암까지 -지표하3~4m까지 -관입가능심도 			
		100m 50m	3 ~ 5m 필요깊이까지		<ul style="list-style-type: none"> -보오링 -표준관입시험 -오오거보오링 -Cone관입 	<ul style="list-style-type: none"> -300~500m -연직1.5m간격 -100~300m -필요시 	<ul style="list-style-type: none"> -풍화암 3m까지 -풍화암까지 -지표하3~4m까지 -관입가능심도 			
절토부	<ul style="list-style-type: none"> • TEST PIT • BORING • 탄성과 검사 • 지표지질조사 	200m	1 ~ 2m 계획고하 1m		<ul style="list-style-type: none"> -보오링 -시험굴 -표준관입시험 	<ul style="list-style-type: none"> -50~100m -200m -연직1.5m간격 	<ul style="list-style-type: none"> -경암1m 또는 이상계획고까지 -지표하 -풍화암까지 			
		절토부 개소당 2개소 이상 대절토부 구간 (Cross Hole Test)								
교량부	<ul style="list-style-type: none"> • BORING • SPT 	ABUT 및 PIER 마다 1개소(NX)	풍화암7m, 연암 3m, 경암1m 중 택일하고 필요시 감독관과 협의하에 결정함	예비조사에서는 교대와 교각 예정지점에서 시추하며 본 조사단계에서는 교대 및 교각지점에서 최소 1공 이상을 시추한다.	<ul style="list-style-type: none"> -보오링 	<ul style="list-style-type: none"> -교량:교대,교각 -건축물:15~60m -터널:최소, -기타:30~60m -깊이방향1.5m마다 	<ul style="list-style-type: none"> -연암2m까지 -기초폭 2배깊이까지 또는 지지층까지 -층까지 -계획고하 0.5~1.0D까지 -기초지반하1m 또는 지지층까지 -풍화암까지 -1.5~2.0m -구조물 기초설치 심도까지 			
		1.5m 마다								
통로암거	<ul style="list-style-type: none"> • BORING 	각 양단부 1개소	필요깊이까지	토층이 불규칙할 경우 50m 내외, 균일할 경우는 200~300m정도로 시추간격을 배치한다.	<ul style="list-style-type: none"> -표준관입시험 	<ul style="list-style-type: none"> -토공량이 많은 경우 실시 -보오링과 동일 빈도 				
		터널개소당 3개소 및 300m당 1개소	계획고하 2m	노선방향으로 50~200 m 간격으로 배치하되 지층이 불규칙할 경우 시추심도가 상당히 깊어지는 산악터널에 있어서 시추심도가 상당히 깊어지는 경우 양갱구부가 각각 최소 2공씩 시추하고 시공중에 수평시추로 지반상태를 확인할 수 있다.						
터널부	<ul style="list-style-type: none"> • 지표지질조사 • 탄성과 탐사 	터널연장(Cross Hole Test)			<ul style="list-style-type: none"> -각종 채하시험 					

4.2 국내 발주 기관별 기준

국내 각 발주처별로 실시설계시 시추조사 기준을 보면 다음 <표-4>과 같다.

4.3 해외 지반조사 기준(AASHTO Manual on Subsurface Investigations, 1988)

해외조사기준은 미국의 경우를 중심으로 보면 다음과 같다.

① 보링개수

일반적인 경우:

비교적 균질한 표층: 60 - 90m 마다 1개의 보링

비교적 표층이 복잡한 경우: 30 - 60m 마다 1개 보링

상당히 복잡한 표층 형성: 8 - 15m 마다 보링

높은 성토나 깊은 굴착의 경우:

도로성토고가 5m보다 높은 경우: 60m 마다 보링

만약 지층이 복잡하거나 압축성 지반인 경우: 30m 마다 보링

단일 도로굴착 깊이가 5m를 초과하는 경우: 30m 마다 보링

② 보링심도

높은 성토 및 깊은 굴착인 경우:

5m이상의 성토고인 경우 : 성토고의 2 - 4 배의 보링깊이

굴착 높이가 5m 이상인 경우: 굴착깊이 2배의 보링심도

만약, 지지층이 암반이면 3m의 코아 보링이 필요

만약, 피압수층, 연약 압축지반 및 액상화 가능지반이면 보링깊이는 보다 깊게한다

특별한 구조물의 경우:

알은기초: 기초아래 최소한 10m의 굴착고 유지

터널구조: 터널직경의 2 - 3배의 보링심도

5. 지반조사의 문제점 및 개선방향

5.1 지반정수 분석의 필요성

일반적으로 지반조건은 상기 “제1장 연구배경”에서 언급한 바와 같은 여러요인에 의해 일정한 모델 및 대표값을 찾아내는 것은 무리가 있다. 따라서 시추조사시 불교란 상태의 시료를 채취하여 1개의 시료로부터 수개이상의 시험을 실시해야하며, 동일 위치에서 심도별 대표 시험값을 얻어낼때 시험오차 및 Sampling 등 여러요인에 의해 발생하는 시험값의 분산폭을 줄일수 있다. 현재 국내에서 설계되었거나 진행되고있는 대부분의 과업은 필요 시험값에 대한 자료가 부족하여 신뢰성있는 설계가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

이에 따라 과거의 경험자료, 기존 문헌자료 및 시추조사시 실시한 표준관입시험으로부터 유추한 경험식을 이용하여 추정하고 있는 상황이다. 이것은 점차적으로 설계의 부실문제로 인해 관련자의 개인별 책임한계가 증가하고 있는 상황에서 설계자나 발주자에게 상당한 부담으로 작용하고 있다. 일반 토목설계에 필요한 제반 지반정수값중 해석을 위해 가장 필요한 값은 변형특성과 강도특성이다. 이를 각 분야별로 나열하면 다음 <표 5-1 ~ 5-3>과 같다.

가. 구조물 기초 및 절·성토사면 분야

본 영역은 교량 및 옹벽구조물과 Box 구조물 그리고 절토와 성토사면으로 구분되며 이들의 기초설계 및 사면안정해석을 위해서는 실내 및 현장시험을 통해 다음과 같은 지반정수가 필요하다.

<표 5-1> 설계적용 지반정수

구 분	변형특성	강 도 특 성			비고
	공내재하시험	일축압축강도 시험	삼축압축강도 시험	직접전단시험 (절리면)	
토사지반	포아슨비, 변형계수, 지반반력 계수	단위중량, 점착력	점착력, 내부 마찰각, 단위중량		
암반지반	포아슨비, 변형계수,	※점착력, 단위중량	※점착력, 내부 마찰각, 단위중량	점착력, 마찰각, 단위중량	

주) 1. ※ 기호는 암석실내시험임.

2. 암반지반의 지지력산정은 시추조사시 얻게되는 RQD, RMR 로부터도 추정가능하며, 절토사면의 안정성 파악을 위해서는 절리면의 방향과 경사를 조사해야함.

3. 본 지반정수는 일반적인 설계기준임. (기본 및 실시설계 기준)

4. 현장시험은 평판재하시험 외에 BIPS시험등이 필요하나 설계사용실적이 미비하므로 생략하였음.

나. 연약지반

연약지반은 지층두께에 따라 적용공법이 다르나 통상적으로 단계별 시공이 진행될 경우 필요한 지반정수는 다음과 같다.

<표 5-2> 설계적용 지반정수

구분	변형특성		강도특성		비고
	압밀재하시험	일축압축강도 시험	삼축압축강도 시험		
실내시험	압축지수, 압밀계수, 선형압밀하중, 초기 간극비, 체적압축지수, 단위중량	단위중량, 점착력	- 비압밀 비배수 시험 (UU-Test) : 점착력 - 압밀 비배수 시험 (CU-Test) : 점착력, 내부 마찰각등, 단위중량		
현장시험		Vane Test : 점착력, Cone 관입시험 : 점착력			

주) 일반설계 기준임 (기본 및 실시설계)

다. 터널분야

터널지역은 암석자체의 강도 및 변형특성도 중요하지만 현위치 상태의 절리면 경사 및 방향이 더욱 중요하므로 이에 따른 시험이 진행되어야 한다. 통상적으로 시험방법이 특수하고 시험비가 고가이므로 아직까지 일반적인 시험 기준은 마련되어 있지않은바 과업의 중요성과 공사규모에 따라 시험의 실시여부를 판단해야될 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 일반적으로 시행되고있는 시험항목은 다음과 같다.

<표 5-3> 설계적용 지반정수

구분	변형특성		강도특성			비고
	공내재하시험	일축압축강도	일축압축강도 시험	삼축압축강도 시험	절리면 전단강도시험	
실내시험	-	포아슨비, 탄성계수, 단위중량 등	단위중량, 점착력	점착력, 내부 마찰각, 단위중량	점착력, 내부 마찰각, 단위중량	
현장시험	포아슨비, 변형계수, 단위중량				점착력, 내부 마찰각, 단위중량	Ko 시험등

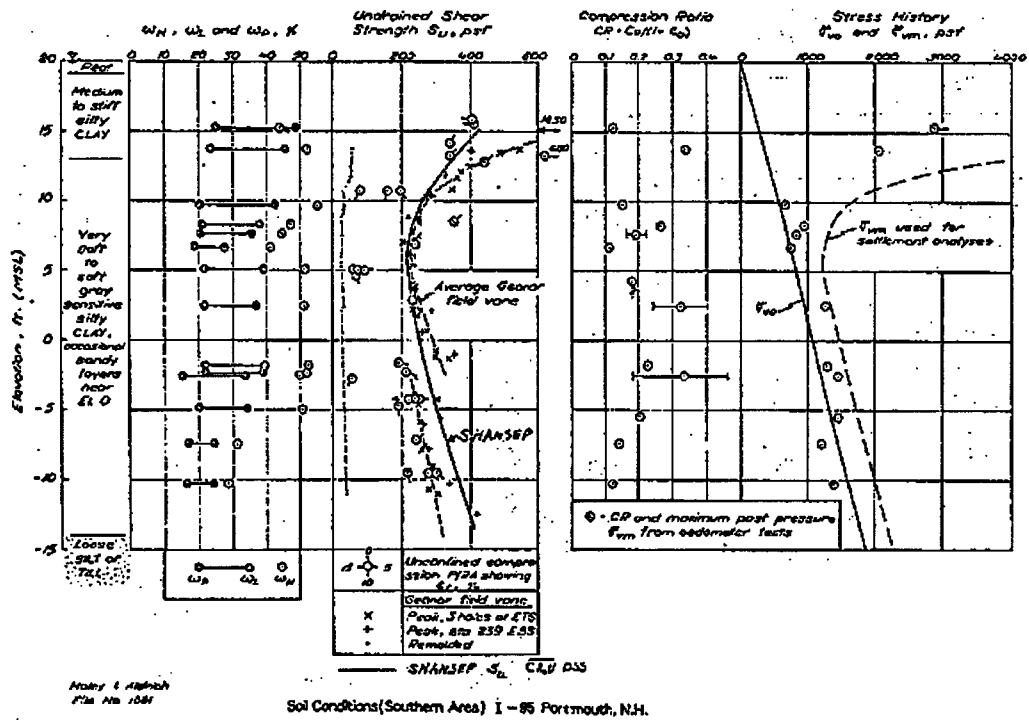
- 주) 1. 물리탐사는 현장시험으로 지층상태파악용으로 시추조사와 병행하여 실시
 2. 수압시험은 암의 투수계수를 구하기 위하여 실시
 3. Ko 시험은 현위치에서 초기지압응력을 구하기위한 시험임

5.2 지반조사의 문제점

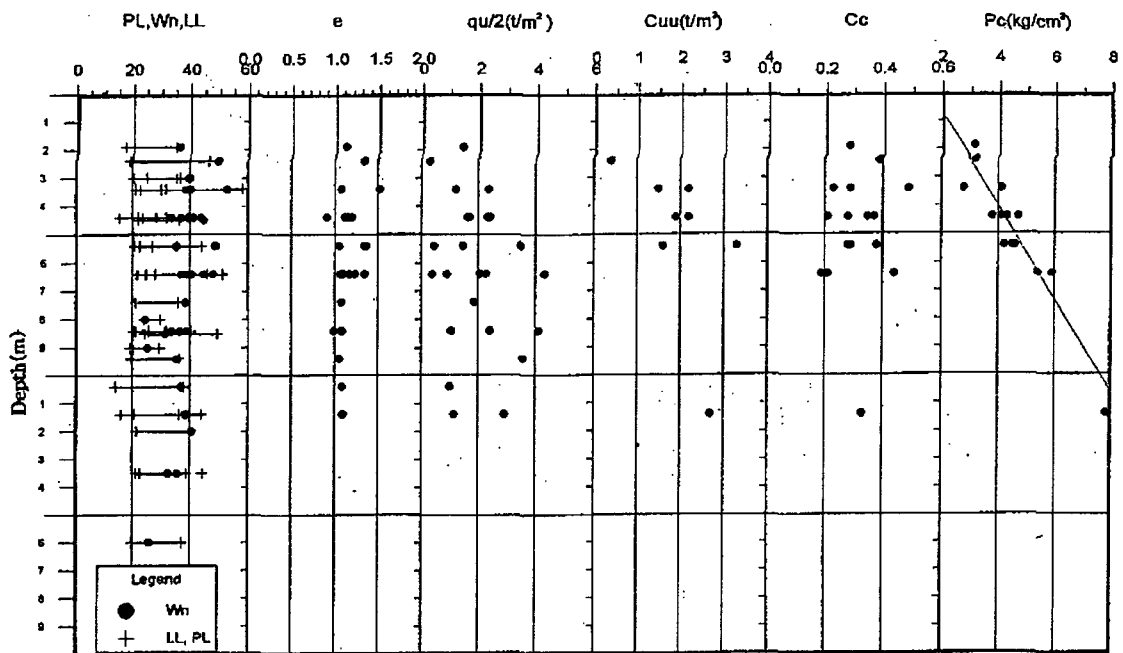
5.2.1 공통 사항(발주처와 설계사)

가. 조사항목 및 수량제한

① 시험 결과분석 미비 : 상기 5.1절과 같이 지반조사는 현위치 조건을 최대한 반영할수 있도록 설계에 임하여야하나 실험상, 재료상의 요인에 의하여 대표값을 정량적으로 나타내는 것은 대단히 곤란하므로 시험수량을 극대화하여 분석할수 밖에없다. 그러나 제한된 과업지시서 및 시험비로는 요구되는 값을 얻기 곤란하다. 다음 그림은 국내·외 현장에서 실시된 시험값을 Plotting 한 것이다. <그림 5-1>의 결과로부터 심도별로 액.소성상태 및 비배수전단강도와 초기간극비 그리고 응력이력의 추이를 추정할수있다.



<그림 5-1> 심도별 지반특성 상태(외국)



<그림 5-2> 심도별 지반특성 현황(국내)

② 조사항목 누락 : 지금까지의 국내 지반조사 내용은 주로 시추조사를 통한 지층파악이 주요 목적이었다. 이에 따라 분야별 특성에 적합한 지반조사 시험이 수행되지 못하였으며, 특히 구조물기초는 업무의 영역이 구조분야와 중복되면서 이같은 문제점을 노출시켰다.

예를들어 구조물기초중 횡방향 하중을 받는 교대나 옹벽등의 경우에는 기초설계방향이 수직력보다는 수평력에 의해 좌우될 수도 있다.

이때 깊은 기초의 수평지지력 결정에 절대적인 영향을 주는 요소는 횡방향 지반 반력계수의 산정이다. 이를 위해서는 지반조사시 필수적으로 공내재하시험등의 시험이 실시되어야한다. 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 진행되어야 하나 아직까지 이에 못 미치고 있는 상황이다.

③ 연속적인 지층선의 추정 곤란: 시추조사가 대체로 보수적인 기준이나 지침, 과업지시서에 의거 진행할 경우 때에 따라서는 명확한 현황파악과 지층파악이 곤란할 수 있다. 즉 절토사면인 경우 시추조사 수량이 사면당 1-2개소로 한정되어 있어서 사면연장이 길어지거나 과거 절토지역인 사면등은 횡단상이나 종단상으로 추정 지층선을 파악하기 곤란하므로 지표와 평행하게 연결하여 추정함으로써 토공물량을 산정하고 있다. 이로써 시공시 상대적으로 설계변경이 많이 발생하고 있으며 이는 설계자의 설계부실로 연결될 가능성을 내포하고 있다.

나. 조사방법문제: 일반적으로 성토사면인 경우의 지반조사방법은 Hand Auger Boring 으로 선 확인 후 연약지층이 확인될 경우에 한하여 시추조사를 실시하도록 규정하고 있는바 대부분의 설계사는 이에 준하여 지반조사를 수행하고 있다. 이에 따라 상부퇴적지반이 모래자갈층 등으로 구성되어 있거나 과압밀되어있는 경우는 Hand Auger Boring 장비의 조사한계로 인하여 지층파악이 곤란한 경우가 종종 발생할 수 있다. Hand Auger Boring 의 제한된 시험 방법으로는 형식적인 조사에 그칠 경우가 많으므로 천층 연약지반 설계를 위하고 신뢰성 있는 지층파악을 위해서는 시추조사가 실시되는 것이 타당하다고 판단됨.

5.2.2 발주상의 문제점

가. 과업지시서와 내역서의 불일치: 종종 과업지시서에 수록된 시추조사수량 및 규격과 시험항목등이 내역서의 조사비용과 많은 차이를 나타내고 있는데, 이는 조사부실로 연결되며 궁극적으로는 설계의 전반적인 문제점으로 발생할수 있다. 또한 이것은 지반분야 종사자들의 업무영역 한계를 나타내고, 사내적으로 갈등을 빚는 원인이 되기도 한다. 따라서 이의 시급한 조치가 최우선적으로 이루어져야할 상황이다. 이에대한 “예”는 ‘부록 1’에 수록되어 있다.

나. 정산문제 : 설계사에서 실시된 조사 및 시험수량이 설계의 중요도에 따라 당초 계획수량에 비하여 증·감이 발생하게 되는데 조사수량의 증·감에 따른 정산이 제대로 이루어지지 않고있는 실정이다. 간혹 발주처별로 시추조사인 경우는 정산이 실시되기도 하나 시험수량이나 조사장비등에 따른 부대시설 설치비나 신규조사 항목등에 대해서는 실시되지 않고있는 상황인바 이에 대한 제도적인 기준이 시급히 마련되어야할 상황임. 즉 해상조사시 SEP(Self Elevating Platform)작업대 사용비용이라든가 기상악화로 작업을 실시할수 없을 경우에 대한 보상등이 이루어 지지않고있음.

또한 지반조사는 공사목적 및 규모에 따라 시추조사비 보다는 시험비가 지반조사에 절대적인 영향을 주는 경우가 발생하게 되는데 설계자들이 이같은 경우가 발생하게 될 때는 내외적으로 어려움에 처할 수밖에 없는 상황이다. 그리고 신규 조사항목에 대해서는 단가가 책정되지 않아 조사의 중요성이 있음에도 불구하고 실시되지 못하여 신뢰성 있는 설계를 실시하지 못할 수 있음.

다. 토지보상 및 산림훼손 문제: 시추조사는 대체적으로 발주단계별로 차이는 있으나 실시설계 단계까지 토지보상이 완료된 상태로 지반조사를 수행하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 발주시 장비 진입로를 위한 별목이나 사유지 침범에 따른 조사비에 대해 예산이 책정되어야 할 것으로 판단된다. 지금까지의 조사는 시추조사비 내에서 이러한 행위가 이루어진 바 나날이 민원문제 크게 대두되고 지역별 개인별로 이기주의가 사회 전반적으로 확산되고 있는바 이에 대한 비중이 점차 커지므로 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 그리고 장비진입에 따른 산림훼손 문제에 대하여는 발주처로부터 계약된 과업기간내에 각 자치단체 및 부처별로 승인된 상태에서 현장조사에 착수하는 것은 무리가 있는 것으로 판단됨. 따라서 발주전 사전 업무협조가 이루어진 상태에서 지반조사가 착수되어야 설계업무를 무리없이 진행할 것으로 판단됨.

라. 지반설계 검토비 누락: 현재 일반적으로 발주되는 지반조사비 내용중에는 시추조사를 위한 직접경비와 시험비외에는 조사용 제경비와 기술료뿐만 아니라 기술검토에 필요한 직·간접 비용이 누락되어 있음. 예를들면 지반분야의 안정성을 검토하기 위해서는 지반조사후 선정된 지반정수로부터 사면안정검토, 연약지반 설계, 근접시공에 다른 안정검토, 특수지반에 대한 검토, 토공재료의 활용에 대한 검토 및 구조물 기초안정성 검토에 필요한 설계검토비용이 누락되어 있는 상태임. 다음<표 5-6>은 모 발주처의 조사금액과 정상적인 조사비를 비교한 것임.

<표 5-4> 조사비 기준표

(단위 : 원)

구 분	지반조사비		제경비 ³⁾	기술료 ⁴⁾	계
	수량	금액			
조사금액 ¹⁾	20	17,200,000	-	-	17,200,000
조사금액 ²⁾	20	17,200,000	15,900,000	10,402,000	43,500,000

주) 단, 기술검토비는 별도 금액임(사면안정 및 연약지반등). 따라서, 기술검토비는 지반조사비 중 누락되어 있음.

1)발주처 도급내역

2)엔지니어링 진흥협회 조사내역

3)직접인건비 X 115%(110~120%) : 제경비

4)(직접인건비 + 제경비) X 35%(20~40%) : 기술료

5.2.3 설계상의 문제점

가. 조사의 집중도문제: 일반적으로 시추조사시 병행하여 실시하는 표준관입시험과 채취한 시료는 심도별로 물리, 역학적인 시험치와 상호 상관관계를 분석하여 설계자료로 활용하는 것은 대단히 중요하다. 그러나 현재 국내에서 수행되고있는 대부분의 지반조사는 시험항목 및 수량이 제한된 상태에서 시추공당 1개의 시료를 채취하여 시험이 실시되고있어 지역에 대한 평가만 이루어지고 있으며 물리시험도 심도별 경향을 찾아내기 어려운 상태임. 다음은 외국의 지반조사 사례로써 국내 지반조사와 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

나. 시료채취곤란 및 시험방법개선: 현재 국내에서 수행되고있는 절토사면의 안정해석은 토사지반인 경우 대체적으로 한계평형법에 의한 안정해석이 실시되고있는데 이때 입력자료로 강도정수가 활용된다. 그러나 신뢰성 있는 해석을 위해서는 무엇보다도 지반정수의 산정이 대단히 중요함에도 불구하고 시료채취 곤란이나 제한된 시험방법에 의하여 설계시 기존 문헌이나 자료에 의지할 수밖에 없는 상황이다. 특히 대부분의 국내 절토사면은 풍화대가 깊게 나타나 이들 층이 절토사면의 안정여부를 판단하는 기준이 되기도 하는데 시험이 실시되지 못하고 있는 상황이다. 즉 풍화토나 풍화암 지반인 경우 불교란 시료채취가 곤란한바 특수한 시추방법이나 시험방법을 통해 시험값을 얻어내는 것이 중요하다고 판단된다. 다음은 최근 연구논문을 통해 얻어진 시험결과이다.

- 풍화정도에 따른 지반특성 (일본)

<표 5-5> 풍화정도에 따른 공학적 성질 (Matsuura)

풍화 정도	개 요	N, N _{sw}	변형계수 E (kg/cm ²)	Creep 계수 φ _c	V _p (km/s)	γ _t (t/m ³)	ω _n (%)	0.075μ 이하 (%)	허용 지내력 (t/m ²)
표 층	완전풍화. 점토화. 결정형태 볼 수 없음. 압질가능 화강토	N<20 N _{sw} <200	80이하	1.5 이상	0.3~	2.0 이하	20 이상	15 이상	10 이하
제 I 풍화대 (풍화토)	모암조직 존재하나 일 부 점토화 완전히 풍화된 모암으 로 화강토의 한계, 갈 색 또는 모암 색깔 곡괘이질 가능	20<N<100 보통N>30 200<N _{sw} <1000	80~ 400	1.0~ 1.5	~0.7~	2.0~ 2.2	10~ 20	10~ 15	10~ 30
제 II 풍화대 (상부 풍화대)	결정간 미세균열. 두 들기기만 해도 분쇄 인력굴착 불능 립퍼 굴착	N > 100 N _{sw} > 1000	400~ 2000	0.5~ 1.0	~1.5~	2.2~ 2.4	5~ 10	~5~	30~ 50
제 III 풍화대 (하부 풍화대)	균열이 많으나 신선암 에 가깝고 결정결합 강함 발파에 의함	N, N _{sw} 추정불능	2000~ 4000	극히 미량	~2.0~	2.4~ 2.6	5 이하	-	50~ 100
암 반	완전한 화강암질 암석 발파	N, N _{sw} 추정불능	4000 이상	무	4.5	2.6 이상	-	-	100 이상

- 주) 1. Creep계수, φ_c, 크게 풍화된 잔적토의 Creep 침하는 약1/2이상이며 장기간(7~8년)에 일어난다고 한다.
 2. 여기서 V_p는 현장 탄성과 속도값임.
 3. N_{sw}는 서전식 관입시험에 의한 N-Value로써 N값의 10배를 나타냄. (일본)

다. 지반분류의 혼란 : 일반적으로 토사지반과 암반지반의 분류기준은 나름대로 일정한 기준이 설정되어 있으나 풍화토와 풍화암, 풍화암과 연암과의 분류기준은 설계자와 발주처별로 차이가 있는바 시공시 가장 많은 설계변경을 유발하고 있음. 이는 또한 장비의 굴착능력과 관련되어 공사비 산출의 기초가 되고 있으므로 대단히 중요한 요소이다. 대체적으로 지금까지의 설계방법은 풍화암은 리핑암으로 연암은 발파암으로 분류하여 설계하고있으나 그 기준이 모호한 상태로 지금도 진행되고 있는 상황이다.

한편 국내에서 시행되고있는 분류기준은 다음과 같다.

<표 5-7> 건교부 암반 분류 기준표

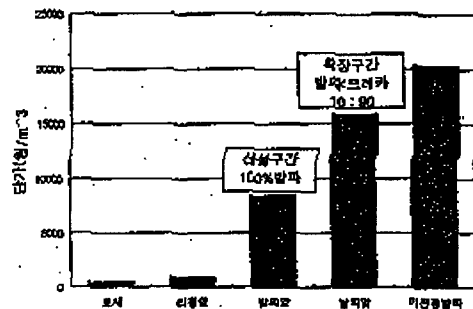
토공작업구분	토질상태	N-Value	탄성파속도	코아회수율 (NX 기준)	작업기준
토 사	표토층 및 풍화잔류토층	50회/15cm 이하	1000m/sec 이하	-	
리 핑 암	풍화암층	50회/15cm 이상	1000~1800m/sec	15~20%	30ton Dozer
발 파 암	연암 및 경암	-	1800m/sec 이상	15~25% 이상	

<표 5-8> 불연속면의 발달빈도 및 탄성파속도에 따른 분류 (한국도로공사)

구 분	리 핑 암		발 파 암	
	약한 암석인 풍화암, 연암, 보통암 중		강한 암석인 보통암, 경암, 극경암 중	
불연속면의 발달빈도	BX 크기	T.C.R=5% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	BX 크기	T.C.R=5~10% 이상이고 R.Q.D=0~5% 정도
	NX 크기	T.C.R=20% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	NX 크기	T.C.R=20% 이상이고 R.Q.D=0~10% 이상
구 분	풍 화 암		경 암	

<표 5-9> 토층, 리핑암, 발파암의 단가에 (1998년도 기준)

구 분	단가, (원/m ³)	
토 사	564	
리 핑 암	1,044	
발 파 암	신설발파 (100%)	8,252
	확장 (발파 10%, 브레커 90%)	15,945
	미진동 발파	20,402



라. TP 시료채취 및 설계적용문제 : 일반적으로 시굴조사는 토공재료의 유용성을 판단하기 위해서 실시하는 조사시험으로 토공설계에 대단히 중요한 요소이다. 그러나 시굴조사는 인력굴착에 의하여 지표근처에서 행해지고 있으므로 그 지반의 대표값으로 보기에는 무리가 있을 것으로 판단됨. 그리고 실내시험을 통해 얻어진 시험 결과치로부터 품질기준을 만족하지 않을 경우에는 사토시키는 등 별도의 품질관리방법을 마련하여야 하나 이 대한 시공관리 방안이 미미한 상태이다. 다음은 일반적으로 실시되고있는 도로의 성토재에 대한 품질관리기준임.

<표 5-10>성토재료의 품질규정

구 분	최대지수 (mm)	# 4 체 통과량 (%)	# 200체 통과량 (%)	# 40체 통과분에 대한 소성지수 (%)	수정 CBR (%)
상부노상	100 이하	25~100	0~25	10 이하	10 이상
하부노상	150 이하	-	50 이하	30 이하	5 이상
노 체	300 이하	-	-	-	2.5 이상

마. 지반조사 보고서 작성상의 문제점 : 일반적으로 지반조사 보고서상에 수록하는 내용은 상기 5.1절과 같은 업무영역에 의거 지형현황과 지층개요 및 두께, 그리고 지반정수의 선정과 재료의 선정 및 제반해석을 실시한 결과로부터 공법이나 방안을 제시한 실시설계 결과 등이다. 그러나 대부분의 지반조사 보고서는 시추조사 내용과 교과서 내용이 주를 이루며 현장조건에 부합된 시험결과에 대한 분석이 이루어지지 않고 있다. 따라서 선정된 지반정수로부터의 해석이 실질적이지 못하고 구조물 기초분야에 대한 해석 결과자료는 대단히 미약한 상태이다. 이에 따라 해석결과에 대한 근거가 미약한바 시공시 설계변경요인을 안고 있다. 그러므로 설계시 조사결과에 대한 문제점과 해석상의 변경요인을 시공시 시방서 및 내역서상에 보완토록 반양하여야할 것이다. 보고서 내용이 충실할 경우 현장에서 감리자나 시공자가 충분히 이해할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 대한 “예”는 ‘부록 2’에 수록되어 있다.

5.3 설계심의 지적사항

다음은 설계심의 결과로부터 지적된 지반조사분야중 절.성토사면에 대한 지적사항을 정리한 것이다.

- 절토부의 사면기울기 결정은 해당지반의 전단강도시험 결과로부터 구하되, N치로부터의 ϕ 를 추정하는 것은 가급적 지양하고 부득이한 경우 N치로부터 강도정수를 추정코자할 경우는 여러 가지 제안식의 평균치를 취할 것이 아니라 현지반토와 가장 접근되는 공식을 취하여 추정하기 바람
- 암반사면은 절리면방향, 파쇄대 등을 확인 또는 추정하여 적절한 기울기가 되도록 보완하기 바람
- 암반절취사면에서 시공시 절리조사를 실시하여 절취면 구배를 조정할 수 있는 기준을 명시하기 바람
- 절토시 암반에 대한 사면경사는 암의 구조적 특징, 풍화정도 등 복합적인 요소에 의하여 사면 경사결정 및 보강공법이 상이하므로 풍화암 및 연암은 절토에 따른 하중제거시 쉽게 이완되며, 지표에 노출되면 암의 재질에 따른 수화작용 등으로 풍화작용이 급속히 진행됨을 감안하여 시공에 반영되어야 하니 검토 보완하기 바람
- 대절토사면의 경우 절취에 따른 응력이완 정도가 크고, 사면 전체에 대해 부분적으로 확인되지 않은 단층, 파쇄대에는 사면파괴에 대한 공법이 강구되어 시공하여야하니 검토하기 바람. (암질, 절리면 방향, 암반사면의 경사각, 암반의 강도정수, 지하수 흐름, 지표수 배수 등을 고려)
- 토질정수 산정에 있어서 풍화암의 경우 $C=5t/m^2$, $\phi=36^\circ$ 는 과도한 감이 있으니 물성치를 재검토하기 바람
- 강도정수 추정에서 Ripping Rock이 Very Poor Rock으로 분류되고 있음에도 불구하고 사면 안정해석에 $\phi=35^\circ$ 으로 적용하는 것은 과도하게 추정한 것으로 판단되니 검토할 것
- 절개사면 상단 붕적토층이 있는 토사사면의 안정해석시 $C=1.0t/m^2$ 을 $C=0$ 으로 보아야 되며 하단까지 굴착 후 상단의 사면안정 검토가 필요한지 검토하기 바람
- 암반사면 해석에서 안전율에 영향을 크게 미치는 것이 강도정수인데, 연암과 경암의 점착력을 각각 $8t/m^2$ 과 $20t/m^2$ 로 본 것은 현장 암반상태 및 문헌을 참고하여 강도정수를 추정하였다고는 하나, 너무 과도한 것으로 생각되므로 보완하기 바람
- 암반사면의 안정성 해석을 위해서는 자연 절리면 전단시험 등에 의한 결과치와 기존자료 및 문헌에 의한 종합검토가 요구되는데 전단시험을 실시하지 않고 있으므로 이의 반영을 요함

- 본 공사에서는 30m이상의 대성토구간이 여러군데 있고 사면안정계산도 잘 되어 있으나 ϕ_p , ϕ_f , ϕ_r 값들이 RMR 결과로부터 추정되었다고 하는데 추정과정의 언급이 없어 적정값이 추정되었는지 알 수 없으므로 추정과정을 상세히 작성바람
- 암석코아로서 직접전단시험이나 삼축압축시험 결과사용치를 검토하고 수정하기 바람.(실제로 설계에 이러한 시험치를 반영할 수 없음)
- 사면안정검토시 풍화암의 점착력을 $8.0t/m^2$ 로 본 것은 너무 크므로 재검토바람. (만일 $8.0t/m^2$ 으로 본다면 내부마찰각을 작게 보아야 할 것임)
- 비록 현장에서 불교란 시료를 채취할 수 없는 사질토라 하더라도 본 고속도로 사업과 같은 국가중요사업의 실시설계에 대상 토질의 강도시험이 전혀 없다는 것은 다소 부끄러운 일이므로 들밀도 시험을 통하여 현장토의 단위중량을 구하고 이 값을 기준으로 하여 상하 3~4가지 단위중량시료를 조성 직접전단시험을 수행하여 현재 사면안정 해석과 교대 기초부에 가정하여 적용한 토질강도 정수의 적합성을 검토하기 바람
- 지하수에 의한 수압은 원형파괴 고려시에는 지하수위가 지표면에 있는 것으로 하고, 절리면을 따르는 직선파괴는 절리면에 양압력이 발생하는 것으로 가정하여 안정성 해석 수행요망
- 암반의 지반정수 마찰각에 대해서는 RMR 제안 수치를 점착력에 대해서는 Hock & Brown 제시값이 적합함. 표에서 Tilt test로 인한 마찰각 48.8° 의 수치는 너무 높은 수치임)
- 20m이상의 성토구간이 있는데 이에 대한 안전율이 1.9~2.096임. 안전율이 1.5이상이면 충분한데 이유가 많은 것으로 생각되니, 성토재료를 다짐을 해서 강도정수를 구하고 이 자료를 가지고 Stabl과 같은 프로그램으로 안정계산을 하도록 재검토할 것
- 대성토구간의 성토고가 13~17m 정도인데 이 구간의 원지반은 매우 불량한 매립토층으로 나타나고 있으므로 이 구간의 성토에 따른 Heaving, 성토사면에 대한 안정 및 지지력을 검토할 것
- 15m이상 대성토되는 구간의 부등침하 및 잔류침하 방지를 위한 품질관리 사항을 시방서에 추가하기 바람
- 성토부 사면안정 검토시 입력된 C, ϕ 의 적용근거를 명시할 것
- 성토재와 토사층의 경우 건조한 상태에서는 점착저항이 발휘되나 강우로 포화되는 경우 크게 감소하므로 이를 무시하는 편이 안전하니 검토바람
- 연약지반에 대한 사면안정 검토를 수행한 구간에 대해서 구간별 대표단면을 각 지층별 적용 토질정수와 함께 수록할 필요가 있으며 두께가 10m이상임에도 불구하고 동일 지층으로 간주하여 해석한 것은 불합리하나 특별한 사유가 있다면 명기할 필요가 있음

5.4 개선 방향

상기 제5.2장에서 노출된 문제점과 5.3장에서 설계심의회 지적된 사항을 종합 검토해보면 다음과 같이 요약된다.

- 설계자는 조사목적 및 목적물에 부합된 조사방법 및 내용에 대하여 조사비에 국한하지 않고 소요구조물 설계에 충실한 지반조사가 실시될수 있도록 충분한 시험값 확보와 성과분석을 통하여 지반정수를 산정해야 한다.
- 설계자는 지반조사 보고서 작성시 각 영역에 부합된 보고서를 합리적으로 작성하여야 한다.
- 발주처는 설계시 조사비용을 현실화하여 조사수량 및 항목에 따른 조사결과에 대한 신뢰성을 높여 소요의 품질을 확보토록 해야할 것으로 판단된다.

6. 결 언

지반조사 개선을 위해서는 본 지반공학회가 조사 기준에 대한 새로운 Manual을 작성하여 정부발주기관 뿐만 아니라 지방자치단체와 정부투자기관별이 제도적으로 본 조사 기준에 준하여 조사가 진행될 수 있도록 해야할 것으로 판단되며, 설계자들은 본 기준에 준하여 보고서 작성 및 지반조사가 반드시 수행될 수 있도록 해야할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 과학기술 역, (1998), "최신 지반조사법" 도서출판 과학기술.
2. 건설교통부(1997), "구조물기초 설계기준.
3. Coduto. D.P., (1998) "Geotechnical Engineering, Principle and Practice,"
Prentice-Hall, Inc., USA
4. 한국지반 공학회(1997), "구조물 기초 설계기준"
5. 창우출판(1996), "기초설계 자료집성" 토목공법 연구회
6. 도서출판 새론(1996), "도로설계 실무편람(토질 및 기초)" 권영수의 13인.
7. 환경처(1994), "종합환경 연구단지 조성사업 실시설계 보고서"
8. 한국 지반공학회(1994), "지반조사결과의 해석 및 이용"
9. Armando E. Pardes MSc Eng'g. Geol. " SOIL INVESTIGATION REPORT
FOR THE PROPOSED PHILIPPINE INTEGRATED STEEL PROJECT
LOCATED IN VILLANUEVA, MISAMIS ORIENTAL"
10. (사) 대한 토목학회, (사) 한국 지반 공학회 지반조사 위원회 "지반조사 학술 발표
회 논문집"
11. (사) 한국 지반공학회 "풍화 잔적토의 지반 공학적 특성" 박병기, 98' 봄 학술발표
회 논문집

부 록

1999. 12. 14. 한국지반공학회, 지반조사위원회 세미나

1. ○○도로개설공사 과업지시서 및 내역서

1. 과업의 개요

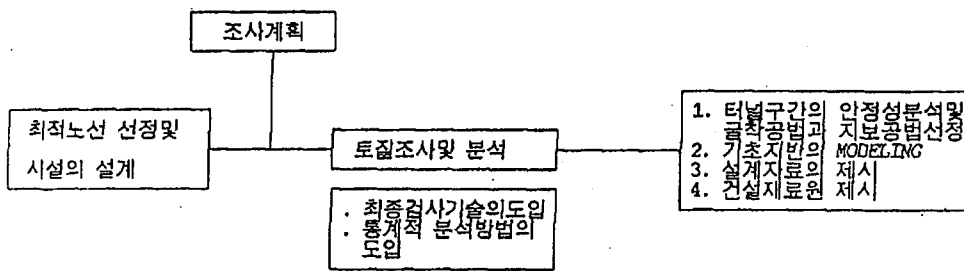
본 노선은 서부내륙을 동서로 횡단하여 기존 도로망에 연결하는 신설도로로서 총 연장은 〇Km 이며, 노선중 교량은 약 12개소가 신설될 예정으로 교각수가 35개, 교대수가 24개소 예상된다. 그리고 절토지역은 1개소로서 예상 절토고는 약 20m 내외가 될 것으로 예상된다. 한편 연약지반은 연장이 약 10 Km이고, 예상심도는 12m 내외로 판단된다.

2. 과업 지시서(토질 및 재료원 조사)

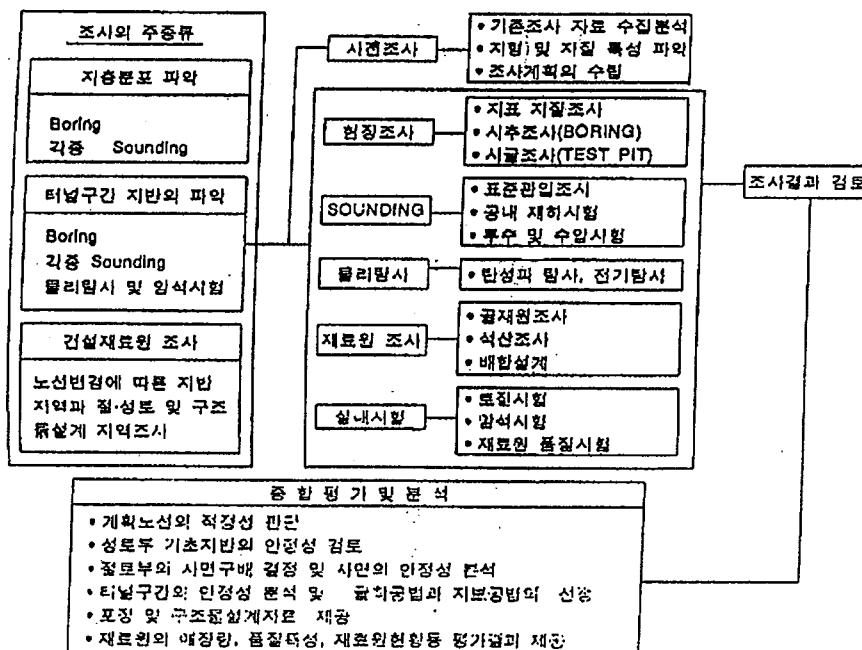
① 조사목적

토질조사는 계획노선의 설계에 필요한 지질공학적 설계인자를 도출 제시하고 공법 선정 및 구조물 설계에 필요한 제반사항을 파악하기 위하여 현장조사 및 자료등을 면밀히 검토한 후 현장여건에 상호 부합하도록 효율적으로 분석하여야 한다.

② 토질조사는 아래의 분석 흐름도를 표준으로 하여 실시한다.



③ 토질조사항목은 아래표를 표준으로 작성한다.



④ 토질조사

◦ 토질조사는 「구조물 기초설계기준」(구건설부 제정)의 제2장에 따라 실시하여야 하며, 현장 답사전에 토질조사 계획서를 우리부에 제출하여 승인을 득한 후 토질조사를 시행토록 하며, 실시 설계비 부족으로 과업지시서 이외의 토질조사 항목 및 조사비는 예산범위내에서 변경할 수 있고 과업지시서 이외의 추가 시행 항목에 대하여는 토질보고서에 명시하여 발주설계시 반영토록 하여야 한다.

◦ 토질조사의 조사항목 및 조사빈도, 조사심도는 과업지시서에 의거하여 계획서를 작성 후 우리부의 승인을 득한 후 시행한다.

◦ 본 과업노선에 대하여 노반조사, 교량기초조사, 터널부 지반조사, 사면안정조사 및 토취장 골재원 조사등을 실시하며 그 조사기준은 과업지시서의 다음표를 기준으로 한다.

<표-1>토질조사기준

구 분	토질조사법	조 사 기 준	시 험 내 용
•노반조사	시굴조사(T.P) 및 오가보링(HAB), 절토부 시추조사	•250m 이내로 실시 •중단계획고 1m까지 실시 (시추조사)	•함 수 비 •다짐시험 •실내 CBR
•교량기초조사	보링(시추조사:NX)	•매 교대 및 교각 •시추심도는 경암층 2m까지 실시	•시추공내 수위측정 •표준관입시험 (1.5m 간격) •실내시험
•터널조사	•보링 •탄성파 탐사	•개소당 3개소 이상	•FEM 해석 자료 •동역학 시험
•사면안정조사	시추조사 및 탄성파 탐사	•대절토(절토고 20m이상)부 1개소 이상 •시추심도는 계획고하 1m까지	•시추공내 수위측정 •표준관입시험 (1.5m 간격) •실내시험
•토취장 및 골재원 조사	시추조사(T.P) 및 시추조사	•2개소 이상 선정비교 (매장량, 토취가능 여부)	•비 중 •함수비 •기타 필요한 시험

3. 내역서

본 내역서는 당초 발주시 조사비용과 노선 답사후 예상 구조물과 노선에 대해 과업지 시서에 근거하여 조사를 실시할 경우의 조사금액을 비교한 것이다.

<표-2> 조사 비교표

(단위 : 원)

구분	시추조사			시 험				계
	수 량	단 가	금액	현장시험		실내시험		
				수량	금액	수 량	금액	
도 급 금 액	20	860,000	17,200,000	-	-	-	-	17,200,000
예 상 금 액	63	860,000	54,180,000	1식	4,000,000	1식	13,950,000	72,130,000

2. ○○도로개설공사 지반조사보고서 내용

1. 시공시 확인 시추조사 및 재하시험

절· 성토부 및 교량부에 대하여 대표지점에 한해 시행되어진 시추조사의 한계성으로 현장조건이 상이할 경우 시공시 추가적으로 시추조사를 실시하여 지층현황을 세부적으로 확인하여야 한다.

특히, 교량구간의 경우 각 교대에 수량산출에 반영된 확인시추조사 수량을 기준으로 아래표의 위치를 참조하여 실시하여야 한다.

<표 -1> 시공시 확인 시추조사 예상위치

교 량 명	위 치	STA No.	비 고
0 0 교	교대 1	7+451.74(좌, 24.35m)	
	교대 2	7+480(우, 24.34m)	
0 0 교	교대 1	0+547.749(좌, 16.45m)	
	교대 2	0+583.389(우, 19.0m)	

또한, 직접기초인 경우는 평판재하시험을 각 교대별로 실시하여 지반 장기 지내력 및 침하량을 확인하고, 말뚝기초인 경우는 일정수량에 대해 정재하시험을 실시하여 현장에서 실시된 Pile의 연직 및 인발, 횡하중의 예측과 설계하중에 대한 지지력을 확인하여야 하며, 동재하시험을 병행실시하여 관리시험으로 활용하여야 한다.

그리고 시공전, Pile 기초를 시험시공하여 항타기의 효율적 작용여부, 말뚝에 작용하는 압축력 및 인장력, 예상지지력, 말뚝의 손상정도등 시간경과에 따른 말뚝지지력 변화여부를 확인하여야 하며, 이에 따른 소요예산은 내역서에 포함하지 않았을 경우 설계 변경하여 충분히 반영하여야 한다.

<표-2> 예상 시추조사 수량

구 분	수량산출 기준공	점도 및 풍화암	모래	자갈	연암	풍화암	경암	표 관 입 시 험 (회)	비 고
두 동 육 교	BB4-1	25.6	0.9	1.5				19	시추종료심도; 풍화암:5.0m, 연 암:3.0m, 경 암:1.0m 기준
	BB4-2	1.9	5.3	5.2	6.6	6.5		8	
두 서 IC 교	BB5-1	18.0		10.0				19	
	BB5-4		2.0	19.5	3.5	3.0		16	
심 도 적 용	4 공	45.5	8.2	36.2	10.1	9.5		62	

<표-3> 재하시험 수량

구 분	위 치	정재하시험(회)	동재하시험(회)	비 고
두 동 육 교	교대 1	1	1	* 빈도기준 : 정· 동재하시험 교량별 말뚝수 처음 100본까 지 동재하시험 1회, 다음 250 본까지 정재하시험 1회, 이후 매 500본마다 동재하시험
	교대 2	1	1	
두 서 IC 교	교대 1	1	1	
	교대 2	1	1	

*재하시험 적용기준 : 설계실무자료집 3권 p591

2. 시공시 주의사항 및 특기사항

1) 하천을 횡단하여 가설되는 교량구조물의 터파기 굴착은 가능한 한 폭우 등에 의하여 세굴될 가능성이 있으므로 여름철 우기를 피하는 것이 작업능률 및 안전상 바람직 할 것으로 판단됨. 그리고 터파기 후 모암이 응력해방에 따른 Swelling 현상에 의해 풍화가 급속히 진행되어 연약해 질 수 있으므로 가능한 한 신속히 버림 Con'c를 타설하는 것이 타당하리라 판단됨.

2) 교량 기초의 지반은 지형상 지층변화가 클 것으로 예상되는 바 시공시 반드시 확인 시추조사를 실시하여 설계심도와 비교경토 하여야 하며, 심도차가 클 경우에는 감독 관과 협의하여 설계변경 여부를 검토하여야 한다.

3) 말뚝기초의 허용지지력 및 관입심도는 Pile Driveability 와 말뚝의 정재하시험과 동재하시험을 실시하여야 하며 이때 지지력의 차가 클 경우에는 Pile의 길이 조정이 가능하다. 단, 침하량이 허용침하량 이내에 있는 경우에 가능함.

4) 교량기초의 지지력 확인을 위한 평판재하시험 및 Pile재하시험은 0 장에 따라 실시하여야 함.

5) 0 교는 직접항타공으로 설계되었으나 확인시추 및 시항타결과 관입이 불충분하여 지지력을 발휘할 수 없는 경우는 천공후 항타공법으로 설계변경 여부를 검토하여야 한다.

6) 0 교는 천공후 항타공으로 설계되었으나 확인 시추결과와 현장여건에 따라 직접항타가 가능한 경우는 직접항타공법으로 설계변경 여부를 검토하여야 한다.

7) 본 과업구간은 과거 지각운동에 의해 압력과 열이 크게 작용하였던 지역으로 여름 우기시 포화간극수에 의해 비탈면붕괴가 발생할 수 있으므로 비탈면절토시 주의가 요구된다.

8) 비탈면굴착시 예상치 못한 지표수나 지하수가 유입되어 비탈면의 안정에 영향을 줄 것으로 판단되는 경우 별도의 수직도수로를 설치하여 수압발생을 최소화하도록 하여 비탈면의 안정성을 확보하여야 한다.

9) 굴착시 나타나는 양반상태는 제한된 수량의 시추조사와 지표지질조사만으로 조사 되었으므로 다소 설계조건과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 굴착시 Face Mapping을 병행 실시하여 상이한 경우가 발생할 경우 감독관과 협의하여 설계변경여부를 판단하도록 하여야 한다.

10) Pile 시공시 3)항에 의거 반드시 분항타전 시항타를 실시하여 Pile의 길이와 지지력등에 대해 설계조건과 비교 검토하여야 한다.

11) 시공시 나타나는 지반에 대한 암 판정은 Rippability등을 감안하여 0 장을 기준으로 실시한다.