

지반조사기술의 현재와 미래

윤길림^{*1}, 이규환^{*2}, 채광석^{*3}

1 서론

댐, 터널, 도로, 교량 등의 모든 토목구조물의 시공은 지반 위나 지반 내에서 이루어진다. 지반조사의 목적은 이들 토목구조물의 설계와 시공에 필요한 정확한 지반 정보를 얻는 데 있다. 지반은 어느 정도 물리적 특성을 조절할 수 있는 스틸, 콘크리트, 목재 등의 다른 토목재료들과 그 성질이 판이하게 다르다. 토목구조물 시공중 지반과 관련이 되는 많은 위험요소가 있는데 이와 같은 지반의 특성을 제대로 이해하지 못하고 시공을 하는 경우 상당한 위험이 따를 수 있다. 또한, 기초의 붕괴, 시공지연, 공사비용의 초과 등이 지반의 성질을 잘 파악하지 못하거나 부적절한 지반조사의 결과로 인해 기인되는 경우가 상당히 많다.

지반조사는 구조물을 경제적으로 설계하고 시공하기 위해서 필요한 기초적인 자료, 즉 지반의 특성 및 지층의 상태, 침하나 지지력 산정에 필요한 기본 자료 등을 제공하는 데에 그 목적이 있다. 구조물 설계시 구조물 하중에 의한 지반의 침하를 허용치 이내로 하고 기초에 가해지는 하중이 허용지지력을 초과하지 않도록 하는 것이 중요하다. 따라서 지반조사를 통하여 지반침하의 계산에 필요한 자료, 즉 각각의 지층의 형상, 두께 및 경사의 특성을 파악한다. 또한, 그밖에 구조물의 안전에 영향을 미칠 수 있는 지반에 대한 모든 형태의 정보를 취득해야 한다. 지반조사는 세심하게 수행해야 하며 구조물과 기초의 종류, 시공방법, 건설재료 등을 결정할 수 있도록 조기에 실시해야 한다. 지반조사가 늦어지면 공사기일에 쫓겨서 지반 조사를 세심하게 수행할 수 없게 되어 경제적인 해결책을 찾기 어렵게 된다. 지반조사의 비용은 전체 공사비의 1~2%에 불과하나 이 비용을 아끼면 전체구조물이 손상되는 피해를 입을 수 있다. 즉, 적절한 지반조사를 통해서 공사비를 상당히 감소시킬 수가 있으며 지반에

^{*1} 한국해양연구원 항만연안공간사업단 책임연구원, 전 지반조사위원장(glyoon@kordi.re.kr)

^{*2} 건양대학교 공과대학, 토목시스템공학과 조교수 (khlee@konyang.ac.kr)

^{*3} GS건설(주) 토목기술본부, 토질 및 기초팀 과장 (kschae@gsconst.co.kr)

대한 불확실성이나 위험요소를 어느 정도는 줄일 수 있다. 공사비의 증가는 부적절한 지반조사로부터 기인하는 경우가 많다. 이는 지반조사에 대한 신뢰성을 떨어뜨려 과대설계 및 공기지연으로 인한 공사비 증가의 원인이 된다. 최근 들어 국내의 지반조사 기술이나 장비도 괄목할 만한 성장을 하였다.

2005년 현재 CPT, PMT, 탄성파 시험 장비 등 첨단 장비들이 국내의 지반조사에 활용되고 있으며 지반조사에 대한 중요성도 점차 증가하는 추세에 있다. 또한, 지반조사 기술은 단지 시료를 채취하거나 물성치를 파악하는데 국한되지 않고 지반의 오염정도를 판단하고 치유를 위한 환경적인 목적으로 확대되어 활용되고 있다.

그러나 아직도 지반조사의 중요성에 대한 이해 부족으로 충분치 못한 조사비용이 투입되고 있으며 조사에 참여하는 인력 또한 하급 기술자들이 주를 이루고 있다. 경험 있는 지반기술자나 지질 기술자들에 의해서 잘 계획되고 시행된 적절한 지반조사를 통해서 공사비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 구조물의 안정성까지 증진시킬 수 있다는 점에서 지반조사의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다고 본다. 본 논문에서는 국내의 지반조사 현황 및 문제점을 살펴보고 현재 사용되고 있는 지반조사 장비 및 최신 지반조사 기술을 CPT를 중심으로 소개하고 향후, 지반조사 분야의 전망에 대해서 간단한 기술하고자 한다.

2. 국내 지반조사기술의 현황

지반은 구성 재료가 다양하고 매우 복잡하기 때문에 지반재료의 거동 및 특성의 고유치를 결정하

기가 매우 어렵다. 특히, 한정된 지반조사와 시료채취 및 운반에 따른 시험오차 등을 고려할 때 세심한 조사계획과 주의가 필요하다고 할 수 있다.

최근 들어 국내의 지반조사 기술도 괄목할 만한 성장을 하고 있으며 상당한 수준에 도달하였다. 그러나 아직도 지반조사의 중요도에 대한 인식부족, 조사수량의 부족 및 누락에 따른 분석의 미실시로 인해 지반에 대한 충분한 정보 없이 제한된 시험 데이터나 문헌에 있는 기존의 자료를 그대로 적용하는 경우가 많다. 또한, 지반조건에 따른 조사방법의 적정성을 고려하지 않고 획일적인 방법으로 조사방법을 정하는 경우도 많이 있다. 특히, 지반조사자와 설계자간의 상호 기술적인 대화 없이 설계자와 임의로 시험 결과치와는 상관없는 설계지반정수를 적용하는 경우가 있는데 보완해야 할 중요한 문제이다. 특히, 조사자와 설계자간에 상호 교류 없이 설계정수를 적용하였을 경우에 구조물의 붕괴 등의 문제가 발생하여 책임소재의 분쟁이 될 수도 있기 때문이다. 또한, 설계를 위한 조사가 아닌 형식적인 조사를 하는 경우, 예산 절감의 명목으로 조사비를 삭감하여 과업지시서와 내역서가 불일치하는 경우, 조사수량의 증감 및 조사에 따른 부대시설의 설치비등에 따른 비용을 고려해 주지 않는 경우 등 아직도 보완해야 할 점이 많이 있다.

지반조사 비용도 과거에 비해서 많이 증가는 되었으나 아직도 조사에 대한 충분한 비용이 책정되고 있지 않다. 또한, 발주처별로 지반분류기준이 상이한 점도 보완되어야 할 사항이다. 현재, 국내 지반조사에 첨단장비들이 많이 사용되고 있지만 대부분이 외국에서 비싼 외화를 주고 수입된 장비를 사용하고 있다. 따라서 유지 관리 측면에서 상당한 어려움이 있는 것도 사실이다. 이에 국내에서 새로

지반조사기술의 현재와 미래

운 장비를 개발하려고 시도하는 경우, 정부차원에서 재정적 재원이 필요하다고 본다. 토목공사에 대한 턱기 제도의 도입은 국내의 토목기술, 특히, 지반조사나 설계기술의 도약적인 발전에 크게 기여한 것이 사실이다. 그러나 무분별한 지반조사, 특히 아직 적용성이나 신뢰성이 입증되지 않은 지반조사는 경제적인 낭비를 초래하므로 새로운 조사기법을 도입하여 적용하는 경우에는 국내 기준에 맞는 적용 기준을 세우고 시험 결과치에 대한 신뢰성 문제를 확인한 후에 적용하는 것이 바람직하다고 본다.

3. 현장 지반조사의 문제점

토목구조물 설계시 흙의 특성 및 많은 수의 토질 정수가 필요하기 때문에 지반조사 동안에 지층의 구조 및 토질특성을 빠르게 판단할 수 있는 현장시험에 대한 관심이 날로 증대 되고 있다. 그러나 이는 현장시험으로 실내시험을 대체 할 수 있다는 것은 아니며 두 시험은 서로 보완적인 역할을 해야 한다. 실내시험은 시험샘플의 경계조건, 변형률, 배수조건등을 조절할 수 있다. 현장시험은 지층의 성질을 시험과 동시에 연속적으로 제공할 수가 있다. 어떤 설계자들은 불행하게도 해석과 평가를 위한 지반정수를 SPT와 같은 현장시험과 보조적인 실내시험을 통해서 전부 얻으려고 하는 경향이 있다. 그러나 SPT시험이 해석을 위해 적합하고 신뢰성 있는 모든 데이터를 제공한다고 믿는 것은 매우 비현실적인 일이다.

그림 1은 실제 SPT 실험을 통해서 얼마나 많은 토질 정수들을 추측하는지에 대한 예를 보여주고 있다. N치는 ASTM D-1586시험법을 이용하여 얻

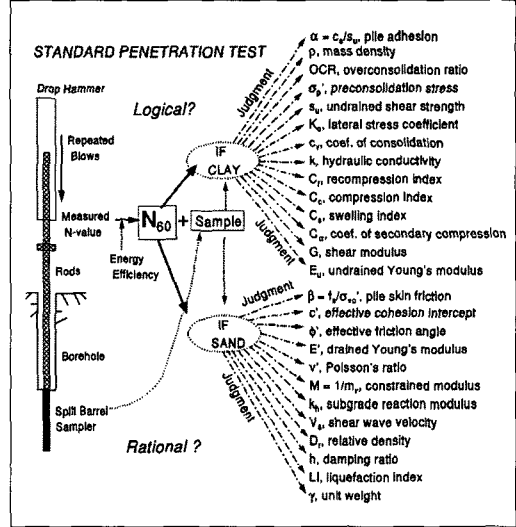


그림 1. 지반정수 해석시 SPT-N치에 대한 과도한 의존의 문제점

어지며 에너지 보정(ASTM D-4633)을 통해 이 얻어진다. 그리고 경험적인 관계를 이용, N치에서 광범위한 수의 지반정수를 도출하여 컴퓨터를 이용한 지반해석시 입력치로 사용되고 있다. 이러한 SPT-N값에 대한 과도한 의존은 기초나 옹벽, 사면, 토공작업등에서 부적당하고 비경제적이고 최적화되지 않은 설계 결과를 도출할 수가 있다. 보다 복잡한 컴퓨터 해석 프로그램(유한차분, 이산요소, 유한요소 등)의 개발로 인하여 양질의 입력 데이터에 대한 요구가 증대되고 있다. 이를 위해서는 지반보링에 추가적인 현장 및 실내시험에 추가되어야 한다.

4. 현장지반조사 기법

여러가지 현장지반 조사시험법들이 지층을 파악하거나 직접적인 방법으로 흙의 특성이나 지반정

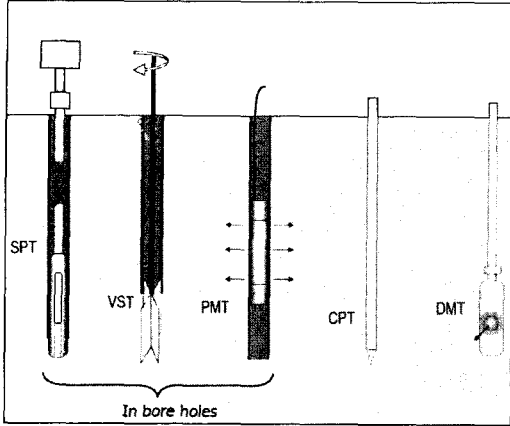


그림 2. 지반조사를 위한 현장시험 장비

수를 파악하기 위해 사용되고 있다. 가장 보편적으로 사용되고 있는 현장시험들에는 표준관입시험(SPT), 콘 관입시험(CPT), 피조콘(CPTu), dilatometer(DMT), 프레스 미터(PMT) 그리고 베인전단(VST)시험 등이 있다. 상기의 각 시험방법들은 각

기 다른 하중을 적용하여 이에 따른 흙의 반응을 측정하여 흙의 강도와 강성도 같은 재료적인 특성을 평가한다. 그림 2는 이들 시험 장치들과 방법을 단 순화시켜 놓은 것이다.

SPT, PMT, VST 시험에서는 보링 홀이 필요하다. 따라서 이들 시험을 위해서는 로터리 보링 장치가 필수적으로 사용된다. CPT, CPTu 그리고 DMT 시험에서는 보링 홀이 필요하지 않기 때문에 이들은 직접관입(direct-push)시험이라고도 한다. 특별히 제작된 PMT나 VST는 보링 홀 없이 직접 시험을 수행할 수 있다. 이와 같이 이들 시험 장치는 표준 드릴리거나 콘 트럭에 장착된 유압 시스템을 이용하여 시험을 수행한다. 직접관입 시험법은 지반을 굴착할 필요가 없다는 장점이 있는 반면 고화된 지층이나 기반암층을 관입할 수 없다는 단점이 있는데 이러한 경우 보링 홀 방법을 이용하는 것이 일반적이다.

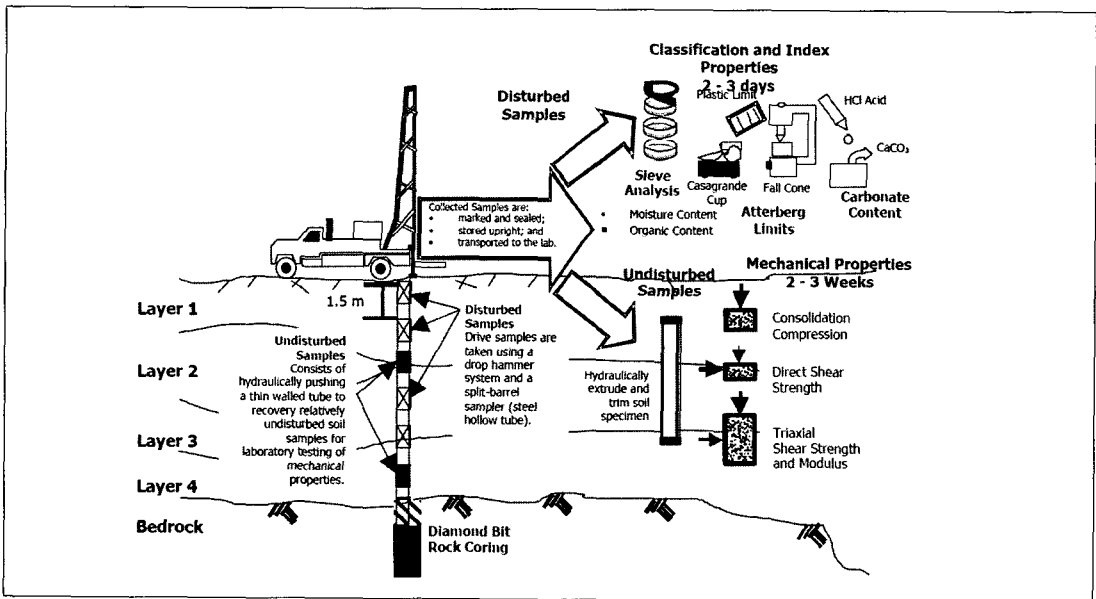


그림 3. 전통적인 드릴링, 샘플링, 실내시험 기법

5. 현장조사 시험법

전통적인 현장조사 방법은 회전방식의 보링 기계를 이용하여 구멍을 뚫고 실내시험을 위한 시료를 채취하는 것이다. 시료의 운송, 시료추출, 트리밍, 함수비 손실, 응력이완으로 인한 교란과 샘플러(thin-walled tube)관입시의 어려움과 인해 양질의 시료를 얻기가 어려우며 결과적으로 현장조건을 대표할 수 없게 한다. 실내시험은 다소 비용이 많이 들고 시험기간이 길고 샘플이 채취된 지역의 불연속적인 자료만을 제공한다.

반면에 현장시험은 비등방응력 상태의 정적인 자연 지반상태에의 정보를 제공한다. 현장시험은 빠르고 연속적으로 해석에 사용할 수 있는 정보들을 제공해 준다. 그림 3은 현재까지도 보편적으로 이루어지고 있는 드릴링, 샘플링, 그리고 실내시험 과정을 보여주고 있다.

그러므로 최적의 지반조사 프로그램은 일련의

보링과 현장시험 및 실내시험을 포함한다. 지금까지 약 50여종 이상의 현장시험장비가 흙의 일반적 또는 특별한 조사를 위해 개발되었다. 이들 중 일반적이고 쉽게 적용할 수 있는 장비들을 표 1에 정리하였다. 한편 콘 시험과 프로브 관입에 대한 해석적, 이론적, 수학적 모델링은 현장시험을 이해하는데 많은 도움을 준다. 현장시험이 어려운 이유는 지반의 성질과 관련된 근본적인 복잡성, 초기응력 상태, 비등방성, 흙의 구조, 입자의 모양, 예민비, 광물 특성, 지반화학특성등의 요소를 포함하기 때문이다. 따라서 새롭게 개발된 장비들은 광범위한 검증 및 보정시험이 필요하기 때문에 종종 최종해석단계에서 경험에 의존하기도 한다. SPT, CPT, DMT, PMT와 같이 잘 알려진 현장시험은 실제 적용되는데 최소 20여년 이상이 걸렸다. 그러므로 지반의 물리적 성질을 파악할 수 있는 콘 시험기와 같이 여러 가지 측정 장치가 혼합된 시험장비의 개발은 P파, S파, R파 등에 대한 해석절차가 잘 확립되어 있기

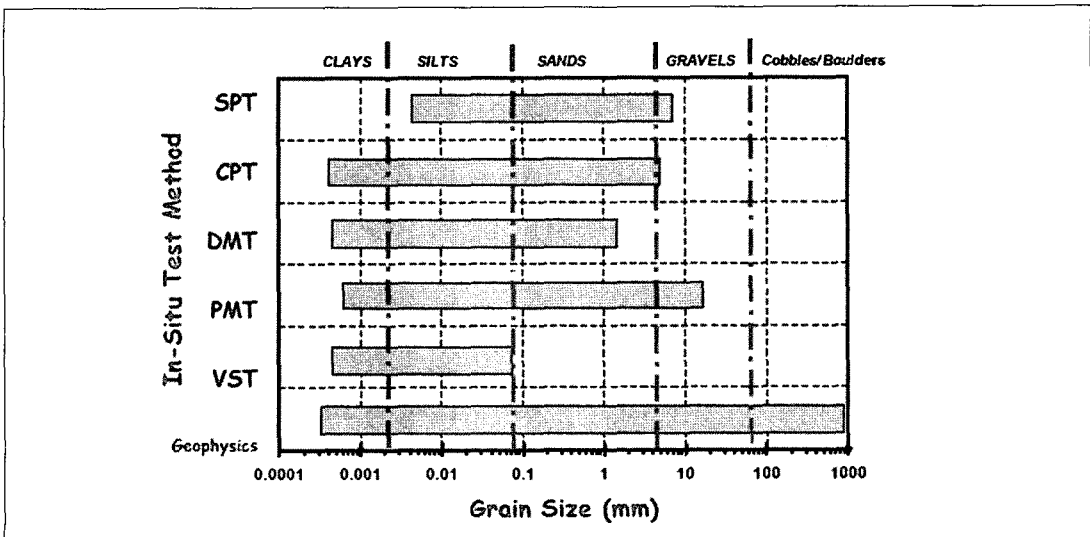


그림 4. 지반특성을 결정하기 위한 현장시험기의 적용범위

표 1. 일반적인 현장조사법과 응용분야

현장 시험법	시험 명칭	시험 & 응용시험	측정치 의 수
표준 관입시험(SPT)	SPT	ASTM-1586(N_{60})	1(+드라이브 샘플)
	SPTT	N_c + 토크	2(+드라이브 샘플)
배인전단시험(FVT)	VST	ASTM D-2573(s_u , S)	2(최대 + 재성형)
	VST/ r	+ 회전각	3(변형 정도)
콘관입시험(CPT)	CPT	ASTM D-3441 / D-5778	2 (q_c , f_s)
	SCPT	+ 다운홀 사이즈믹 데이터	4 (+ V_p , V_s)
	PCPT	+ 간극수압	3 (+ u)
	PCPT/d	+ 소산시험	3 (시간효과)
	SPCPT	[q_c , f_s , u , V_p , V_s]	5 (조합)
프레셔미터시험(PMT)	RCPT	+ 저항(resistivity)	3 (+전도성)
	PMT	ASTM D-4679	4 (P , E , σ_{ho} , τ_{max})
	SBPMT	자가보링 형	4 (운전이 복잡함)
	PIPMT	관입 형	3 (P , E , τ_{max})
	FDPMT	완전 치환	3 (P , E , τ_{max})
	CPMT	콘 + FDPMT형	5 (+CPT 데이터)
딜라토미터시험(DMT)	PCPMT	피조콘 + FDPMT	6 (+PCPT 데이터)
	DMT	뉴메틱 기록	2 (P_0 , P)
	DMT/l	+ 블레이드 관입	3 (P_0 , P , q_0)
	DMT/c	+ deflation reading	3 (P_0 , P , q_2)
DMT/d	+ 소산 기록	3 + 시간 저감(decay)	
지구물리탐사			
사이즈믹 반사	SR	표면에서의 P 파	1 (압축파)
표면파	SASW	표면에서의 R 파	1 (Rayleigh 파)
	SASW/d	R파 + 댐핑	2 (+ 감쇄)
크로스홀 시험	CHT	보어홀에서의 P & S파	3 (Body 파)
	CHT/d	CHT + 댐핑비(D)	3 (+ 감쇄)
다운홀 시험	DHT	깊이에 따른 P & S파	2 (Body 파)
	DHT/d	+ 깊이에 대한 댐핑	3 (+ 감쇄)
혼용(Hybrid) 시험			
콘 프레스 미터	CPMT	콘 & 프레스 미터	5 (CPT + 완전 PMT)
	PCPMT	피조콘 & 프레스 미터	6 (PCPT + FDPMT)
사이즈믹 피조콘	SPCPT	다운홀 & 피조콘	6 (DHT + PCPT)
사이즈믹 딜라토 미터	SDMT	다운홀 + 딜라토 미터	5 (DHT + DMT)
사이즈믹(Pressiocone)	SPCPMT	S 파, 콘 & FDPMT	9 (DHT + PCPT + PMT)

때문에 매우 관심이 가는 분야이다. 특히, 표준 콘 관입시험장치는 콘 저항치와 주면마찰력을 측정할

수 있으며 그 형태가 소형의 항타말뚝과 유사한 것으로 생각할 수 있다는 것이다.

현장에서 여러 가지 하중과 배수조건하에서 지반의 특성치를 얻기 위한 직접적인 방법에는 관입형(SPT, CPT, CPTu, DMT, CPMT, VST과 프로브형(PMT, SBP)들이 있다. 이들 시험방법들은 현장의 흙과 암석의 형성을 이해하기 위해서 지구 물리학적 시험법과 함께 사용되어야 한다. 이들 시험방법의 적용성은 표 1에 의해 나타난 것과 같이 주로 현장을 구성하고 있는 지반특성에 영향을 받는다. 또한, 각 시험법의 상관성도 프로젝트의 형태와 요구사항에 따라 달라진다. 일반적으로 물리탐사 방법들은 풍화암이나 파쇄된 암반에 적용이 된다. 특히, 사이즈믹 피조콘(SCPTu)와 사이즈믹 딜라토미터(SDMT)와 같이 지반공학적 장치와 지구 물리학적 장치들을 혼합한 하이브리드(Hybrid)형 시험기들을 이용하면 같은 위치에서의 최적화된 자료를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 비 파괴상태에서 미소변형시의 강성이나 대 변형시의 강도 등에 대한 지반 특성 자료를 얻을 수 있다.

6. 지반환경 조사용 콘관입시험(CPT)

최근 들어 지반공학과 연관된 지반환경에 대한 관심이 점차 증가되고 있는 추세이다. 지반환경과 관련된 많은 프로젝트들은 주로 지반의 오염조사와 관련이 있다. 지반환경조사는 콘 장비에 추가적인 장비를 부착하여 대상지반에서 액체, 증기, 고체의 형태로 샘플을 채취하여 지상에서 오염도 등을 측정하는 것이다. 따라서 지반환경조사의 목적으로 기존의 콘 장비를 개조하거나 추가적으로 센서를 장착하여 CPT의 기능을 확장하였다. 추가적으로 장착된 센서들은 전기저항(electrical resistivity),

전도성(conductivity), 유전율(permittivity), pH등을 측정할 수 있는 장치를 장착하였다. 또한, 액체나 증기(vapor), 흙을 샘플링 할 수 있는 장치도 개발되었다. 일반적인 방법으로 오염지반 조사를 위해 굴착하는 경우 굴착공 주변 지반에 상당한 교란이 발생하며 또한, 채취시료에도 영향을 준다. 그러나 CPT 장비를 이용한 시험은 직접 눌러서(push) 관입하는 형태이기 때문에 주변지반의 교란도 최소화 할 수 있으며 시험자와 오염지반과의 직접적인 접촉을 피할 수 있다는 장점이 있다. 지반조사의 목적은 지층의 구분 및 특성파악, 지하수 상태 조사, 지층의 물리적 공학적 특성 파악과 같이 크게 3가지로 구분할 수가 있다. 그리고 지반환경 조사를 위해서는 상기의 항목 외에 추가적으로 오염상태에 대한 항목이 추가되어야 한다. 지반환경문제를 다룰 때 어려운 점은 오염물질이 증기나 액체상태 또는 고체 상태로 존재할 수 있다는 점이다. 지반환경과 관련된 프로젝트에서는 주로 오염가능성을 판단해야 하며 장기적인 관찰이 필요하고 설계를 위해 시료를 채취해야 한다. 또한, 오염도를 분석한 후 이에 대한 치유대책을 세워야 한다는 점에서 기존의 전통적인 지반조사 방법과 차이가 있다고 할 수 있다. 만약, 고화된 오염물질이 주변지반의 성질과 매우 다른 경우에는 CPT를 통하여 오염지반을 구분할 수가 있다. 그리고 CPT를 통하여 오염지반의 화학적인 조성을 파악할 수는 없기 때문에 오염물질의 성질을 파악할 수 있는 센서가 개발되어 콘에 장착되었다. 간극수압의 측정은 지하수의 흐름 방향이나 연직 압력수두의 분포 및 지하수 지역을 파악하기 위한 중요한 시험이다. 일반적으로 콘 관입시험기를 연약지반에 사용하는 경우, 수압이 매우 크기 때문에 대응량의 압력계이지를 사용한다.

따라서 간극수압의 평형상태를 측정하기 위해서는 콘 외부에 작은 용량의 압력 게이지를 부착하여 측정시의 정확도를 높여야 한다. 그러나 관입시 발생한 과잉 간극수압이 소산되는데 상당한 시간이 소요되기 때문에 연약한 세립지반에서는 세심한 주의를 기울여야 한다. 현장 간극수압에 대한 정보가 매우 중요한 경우에는 작은 직경의 프로브(예; 1cm²)를 사용하여 간극수압 소산시간을 빠르게 할 수 있다.

7. 사이즈믹 콘관입시험 (SCPT)

전단파 속도(V_s)는 흙의 기본적인 성질로 미소변형 ($\gamma_s < 10^{-3}$)에서의 비 파괴반응을 나타낸다. 전단파 속도(V_s)는 토목공학에서 접할 수 있는 스틸, 콘크리트, 목재, 섬유유리, 복합재료, 흑연합금, 뿐만 아니라 흙, 암석 등의 모든 고체재료에 대해 측정이 가능하다. 이러한 적용의 다양성 때문에 V_s 는 공학적인 역학의 원리에서 자연적인 지반재료와 탄성 응력-변형을 거동 사이의 차이점을 체계적으로 정량화 하는데 기본적인 수단으로 사용된다. 왜냐하면 물은 전단력을 견딜 수 없기 때문에 흙의 S 파는 P 파와는 달리 물의 존재 유무에 영향을 받지 않는다. V_s 는 실내시험이나 현장시험을 통해 측정할 수가 있는데 그 방법은 그림 5에 제시되어 있다.

작은 샘플을 이용하는 실내시험은 공진주 기동 (RC), 비틀림 전단(TS), 구부림 요소(BE) 그리고 내부의 변형을 측정할 수 있는 특별한 삼축시스템을 포함한다. 현장시험에는 크로스 홀 시험(CHT), 다운홀 시험(DHT), 표면파 스펙트럼해석(SASW), 사이즈믹 콘 시험(SCPT), 사이즈믹 굴절시험(SF)등이 있다.

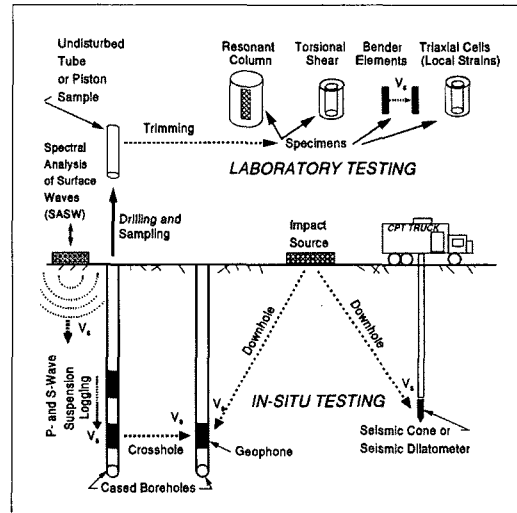


그림 5. 전단파 속도와 비소변형 강성지수를 위한 실내 및 현장 실험

미소변형에서 재료의 강성지수는 미소변위 전단 계수 $G_{max} = G_0 = \rho V_s^2$ 으로 나타낸다. 많은 연구를 통하여 흙의 G_0 값은 정적인 경우와 동적인 경우 모두 같은 값을 갖는 것으로 나타났다. G_0 값은 배수조건에 영향을 받지 않는 것으로 나타났는데 이는 변형이 너무 작아서 과잉간극수압이 발생하지 않기 때문으로 배수 및 비배수 조건의 경우에 다 적용할 수가 있다. G_0 값은 모래의 과압밀비(OOCR)에 비교적 민감하지 않으며 최근 연구에 의하면 점토에서도 OCR값에 크게 민감하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 G_0 값의 독립성은 변형문제에 대한 강성지수의 기준값으로 사용되기 때문에 그 중요성이 입증되었다.

8. 지반조사 결과의 분석 및 처리기술

기존의 고전적인 지반조사 결과의 처리에서 최

지반조사기술의 현재와 미래

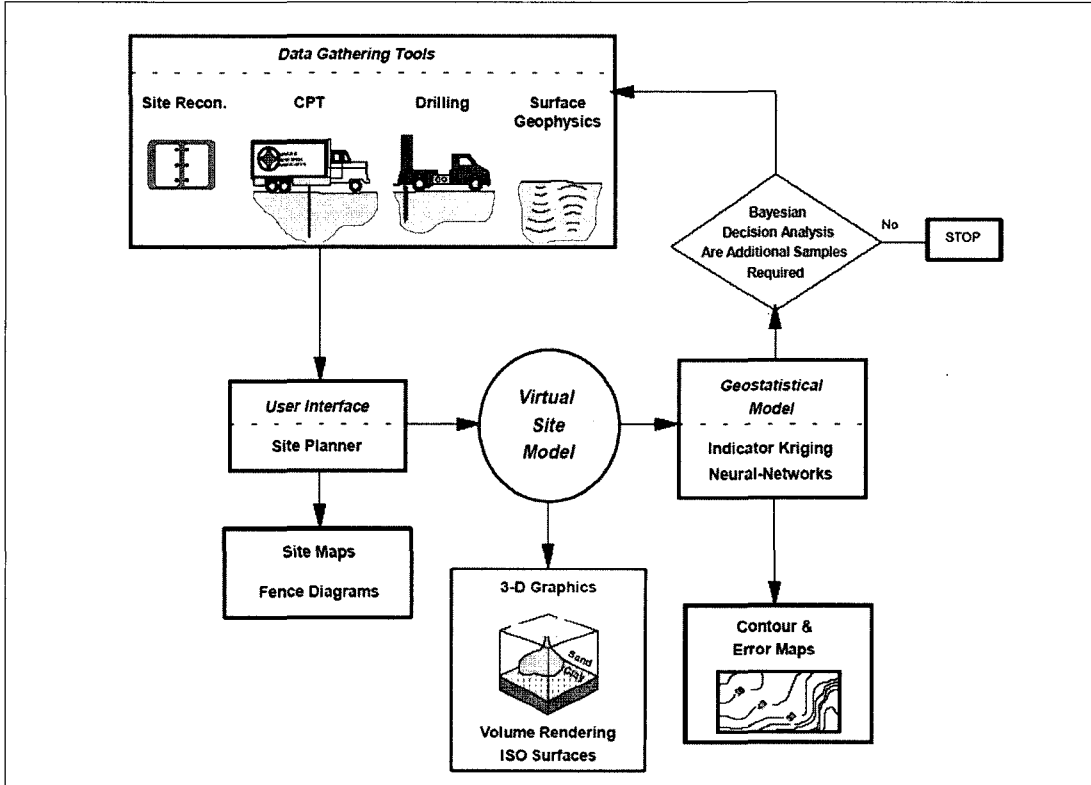


그림 6. 지반정보화 및 지능화된 지반조사 방법

근 들어서는 지반조사 결과의 정보화 지능화 처리 방법이 개발 적용되고 있다. 정보화/지능화된 지반 조사 데이터의 처리란 지구물리특성, 콘관입시험 결과 뿐만 아니라 전통적인 드릴링 시험법, 샘플링 그리고 관측기술을 이용하여 지반특성을 최적화 시키는 방법이다. 지능적인 처리 방법은 예측을 위한 수학 모델과 현장조사 결과의 상호 작용을 통해서 지반조사 결과를 최적화 하고 그 예측결과를 향상시키기 위한 방법이다. 이 방법론은 현장데이터 처리, 그래픽 디스플레이, 지구통계학적 결정 분석, 그리고 결정 분석 모델과 같은 4가지의 기본적인 소프트웨어 기능을 포함한다. 지능적인 지반조사

처리 방법은 그림 6과 같다. 이 그림을 보면 분석은 먼저, 현장답사, 콘시험, 표준관입시험, 지표물리탐 사등의 여러 가지 조사방법에 의해 모아진 데이터를 가지고 시작한다. 이들 데이터들은 가상의 현장 모델을 생성하기 위한 데이터 처리자에게 보내진다. 데이터 처리자는 가상모델을 이용하여 현장지 도를 생성한다. 이 그래픽뿐 아니라, 3차원 그래픽 이 가상 위치 모델에서 포함된 데이터를 이용하여 나타낼 수 있다. 지구통계모델은 가상현장모델에 포함된 데이터를 이용하여 파라메타나 오차값을 예측할 수 있다. 지구통계모델에 의해 얻어진 정보는 다음의 독립적인 방법 중 어느 한쪽에 사용할 수

있는데 이들은 둘 다 베이esian 해석과 관련이 있다. 첫 번째는 등고지도(contour maps) 방법에서는, 지반조사에서 얻고자 하는 목적과 이들을 수행하는데 소요되는 비용을 고려하여 추가적인 조사의 결과로 얻을 수 있는 이점을 평가하는데 사용할 수 있다. 만약, 비용이 새로운 데이터에서 얻을 수 있는 추가적인 이익보다 크게 나타나는 경우, 조사를 중단한다. 둘째로는, 모든 지반조사 파라메타가 신뢰할 수 있는 수준에 도달하여 모델링으로 인한 오차가 충분히 작은 경우 약 모형 제작 잘못이 충분히 사소한 모두 파라미터들(예를 들면, 깃털이 모양을 이루다, 오염물질 집중)이 적합한 신용 수준까지 알려져 있는 것이면 다른 유형은 또한 견적하기 위하여 화설선도를 사용함으로써 결정 할 수 있습니다. 이들 방법에서, 만약 추가적인 불확실성들이 존재하는 경우, 추가적인 조사방법을 이용한 지반조사 과정이 계속 진행된다.

9. 결론

토목구조물 공사에서 지반조사의 중요성이 날로 증가되고 있는 것과 더불어 지반조사 및 분석기술도 지속적으로 발전을 거듭하고 있다. 특히, 전자공학기술을 지반조사에 적용하므로서 보다 정확하고 신뢰성 있는 지반조사 데이터를 얻고 있다. 또한, 지반의 강도정수를 구하는데 있어서도 확률통계 기법의 적용 등으로 분석능력도 지속적인 발전을 하고 있는 상태이다. 지반조사 장비의 분야도 지속적인 개발과 성능개선이 되고 있다. 기존의 장비에 추가적인 센서를 부착하여 추가적인 지반 정보를 얻거나 자동화 시스템의 도입을 통하여 조사의 정

확도를 높이고 있다. 예를 들어, 기존의 피조콘에 전기비저항, pH, 온도, 감마선, 탄성과 속도 등을 측정할 수 있는 센서를 부착하여 지반의 물성치 파악뿐 만 아니라 지반의 오염상태등도 판단할 수 있게 되었다. 특히, GPR, SASW, 전기 비저항 탐사, 전기 비저항 토모그래피, 탄성파 탐사, 탄성파 토모그래피, 고밀도 탄성파 토모그래피 등의 물리 탐사 장비에 대한 연구개발 및 활용도가 점차 증가되리라고 판단된다. 그리고 본문에서 언급된 시험법 이외에도 지반조사에 관한 수많은 신기술이 개발되고 있는 중이다. 또한, 현장및 실험실시험법과 관련된 장비의 발달뿐만 아니라 이들로부터 얻어진 파라메타를 설계파라메타로 최적화시키는 문제 또한 매우 중요한 문제이다. 국내에서도 점차 파라메타 해석기법에 대한 적용사례가 꾸준히 증가 추세에 있으나 아직은 일반화 되지 못하고 있다. 따라서 통계 및 신뢰성 기법 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

이미 언급한 바와 같이 지반조사에 대한 계획, 감독, 해석 등의 일련의 과업들이 경험 있고 숙련된 지반기술자에 의해 이루어져야 하며 현장 조사 또한 현장 경험이 풍부한 기술자들에 의해 이루어 져야 할 것이다. 또한, 충분한 시간과 예산, 적절한 시험법의 선정 등을 통해서 신뢰성 있는 지반물성치를 얻을 수 있으며 이를 통해 공사시간 및 비용의 절감과 구조물 자체의 안정성을 확보할 수 있다는 것을 명심해야 할 것이다.

참고 문헌

1. 윤길림, 이규환(2004) "콘관입시험기(CPT)의 활용 및 지

지반조사기술의 현재와 미래

- 반설계,” 구미서관.
2. ADSC(1995) “Recommended procedures for the entry of drilled shaft foundations excavations” The International Association of Foundation Drilling, (IAFD-ADSC), Dallas.
 3. ASTM (1988). Vane Shear Strength Testing in Soils: Field and Laboratory Studies, ASTM STP 1014, 378 pp.
 4. ASTM (1997). Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Penn.
 5. Baguelin, F., Jezequel, J. F., and Shields, D. H. (1978) The Pressuremeter and Foundation Engineering, Trans Tech Publication, Switzerland.
 6. Baldi, G., Bellotti, R., Ghionna, V., Jamiolkowski, M. and LoPresti, D.C. (1989) “Modulus of sands from CPTs and DMTs”, Proceedings, 12 th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, Vol. 1, Rio de Janeiro, 165-170.
 7. Campanella, R.G., T.J. Boyd, and M.P. Davies(1994) Use of the Resistivity Piezocone for the Geotechnical and Geochemical Evaluation of a Tailings Impoundment. 47th Canadian Geotechnical Conference.
 8. Delft Geotechniques(1994) Grondmechanics Delft information literature.
 9. Hughes Clarke, J.E. and Parrot, R., (2001), Intergration of dense, time-varying water column information with high-resolution swath bathymetric data : United States Hydrographic Conference Proceedings, CDROM, pp.9.
 10. Olie,J.J., Meijer,J.C. and Visser(1994) “Status report on in-situ dection of NAPL-layers of petroleum products with Oil Prospecting Probe Mark 1”.
 11. P.J. Sabatini, R.C. Bachus, P.W. Mayne, J.A. Schneider, T.E. Zettler(2002)“GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 5 Evaluation of Soil and Rock Properties”.
 12. Robertson, P.K.,(1983) “Guidelines for Electric Cone Penetration Test”, prepared for Fugro Consultants International, Holland, Sept. 150p.
 13. Sager,H. J. and Herrenknecht, M.(1999) “The Westerschelde tunnel: New shield technologies in Europe,” Proc. of the Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, pp. 287~292.
 14. Woeller, D.J., I.Weemees, M. Kokan, G. Jolly, and P.K. Robertson(1991) “Penetration Testing for Groundwater Contaminants”, ASCE Geotechnical Engineering Congress, Boulder.