

## 설계정수 산정을 위한 지반조사 Site Investigations for Design Parameter Determination

조완제<sup>1)</sup>, Wanjei Cho

<sup>1)</sup> 단국대학교 토목환경공학과 전임강사, Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Dankook University.

**SYNOPSIS** : It is essential to carry out appropriate site investigations for the accurate prediction of the geo-structure. However, the importance of the site investigation is often overlooked due to the time and expense constraints. In this study, several cases of geotechnical design performed in United States are introduced with the lessons about how the site investigations are planned, performed and applied for the actual design parameter determination. Based on the case studies presented herein, experienced geotechnical engineer should participate in site investigations from the planning stage through the final boring logs and utilize all the laboratory and field tests to have consistent input parameters for the soil constitutive models. Furthermore, it is also desired to have close relationship between construction industry and the academia to compensate their needs.

**Keywords** : site investigation, soil parameters

### 1. 서론

최근 들어, 건설프로젝트들의 규모가 커짐에 따라, 그 지반조사의 중요성도 커지고 있는 실정이다. 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. 지반조사의 비용은 전체 공사비의 1~2%에 불과하나, 부적절한 지반조사로 인해 과대설계 및 공기지연으로 공사비가 증가되는 경우도 있고, 적절한 지반조사를 통해 경제적인 설계를 통해 공사비를 감소시킬 수도 있다 (윤길립 외 2005). 하지만 아직도 지반조사의 중요성에 대한 이해부족으로 충분치 못한 조사비용이 산정되고 있으며, 조사 인력 또한 하급 기술자들이 주를 이루고 있다. 경험 있는 지반/지질 기술자들에 의해 잘 계획되고 시행된 적절한 지반조사를 통해서 공사비 절감뿐만 아니라 구조물 안정성까지 증진시킬 수 있다는 점에서 지반조사는 매우 중요하다 할 수 있다. 미국에서 시행되고 있는 지반조사, 즉 기본적인 시추주상도를 제작하기 위한 과정과 설계에서 쓰일 수 있는 지반의 입력변수 산정과정의 실제 예를 소개하고, 그 예를 통해 얻을 수 있는 국내 지반조사의 전망에 대해 기술하고자 한다.

### 2. 미국의 지반조사와 지반공학 설계

#### 2.1 시추주상도 작성

미국의 경우, 대부분의 지반조사 계획이 그 지반구조물을 설계할 지반기술자들에 의해 수립된다. 해당 건설현장 주변의 선행된 지반조사내용을 바탕으로 그 지반의 공간적 불균질성을 우선적으로 판단하여,

지반조사 시추공의 개수를 결정하고, 건설될 구조물의 규모로서 그 깊이를 판단하게 된다. 지반의 불균질성이 확인되며, 문제가 발생할 가능성이 있는 연약층이 기존의 지반조사에서 인지되었을 경우, 시추하는 과정에서 지반기술자가 긴밀히 협력하여, 원하는 깊이의 시료를 교란이 적게 채취할 수 있도록 하고 있다. 예를 들어, 새로운 현장에서의 첫 번째 시추가 끝난 후, 더 이상의 시추가 진행되기 전에 지반기술자에게 연락을 취하라는 지시를 하기도 한다.

시추주상도를 만드는 과정에서도, 현장에서 표준관입시험을 수행하여 대략적인 지층을 구분하고 채취된 교란시료를 이용하여 함수비, 시료의 크기 등을 육안으로 관찰하여 현장의 시추도 (field boring log)를 작성하게 된다. 채취된 시료는 실험실로 이동되어, 필요한 실내시험을 통해 다시 재분류하게 된다. 이러한 시료들은 프로젝트별로 보관되어, 지반공학전공자인 설계자가 시료와 현장시추주상도와 실내분류 의견을 종합하여 보관된 시료의 최종적인 확인 하에 시추주상도를 작성하게 된다. 이러한 과정에서, 현장 시추를 수행한 현장 테크니션과 실내시험을 수행하여 분류를 한 실내시험 테크니션과의 원활한 소통을 통해 의견을 좁혀가며 일관된 주상도를 작성하게 된다. 그림 1은 현장시추주상도와 최종적으로 작성된 시추주상도의 예이다.

정기적으로 현장과 실내시험 테크니션들에게 전문적인 지식과 설계에 필요한 요소들이 무엇인지에 대한 교육을 실시함으로써 현장과 실내 시험시에 주의할 사항들에 대한 지식을 획득하고 그 지식을 적용할 수 있도록 하고 있다.

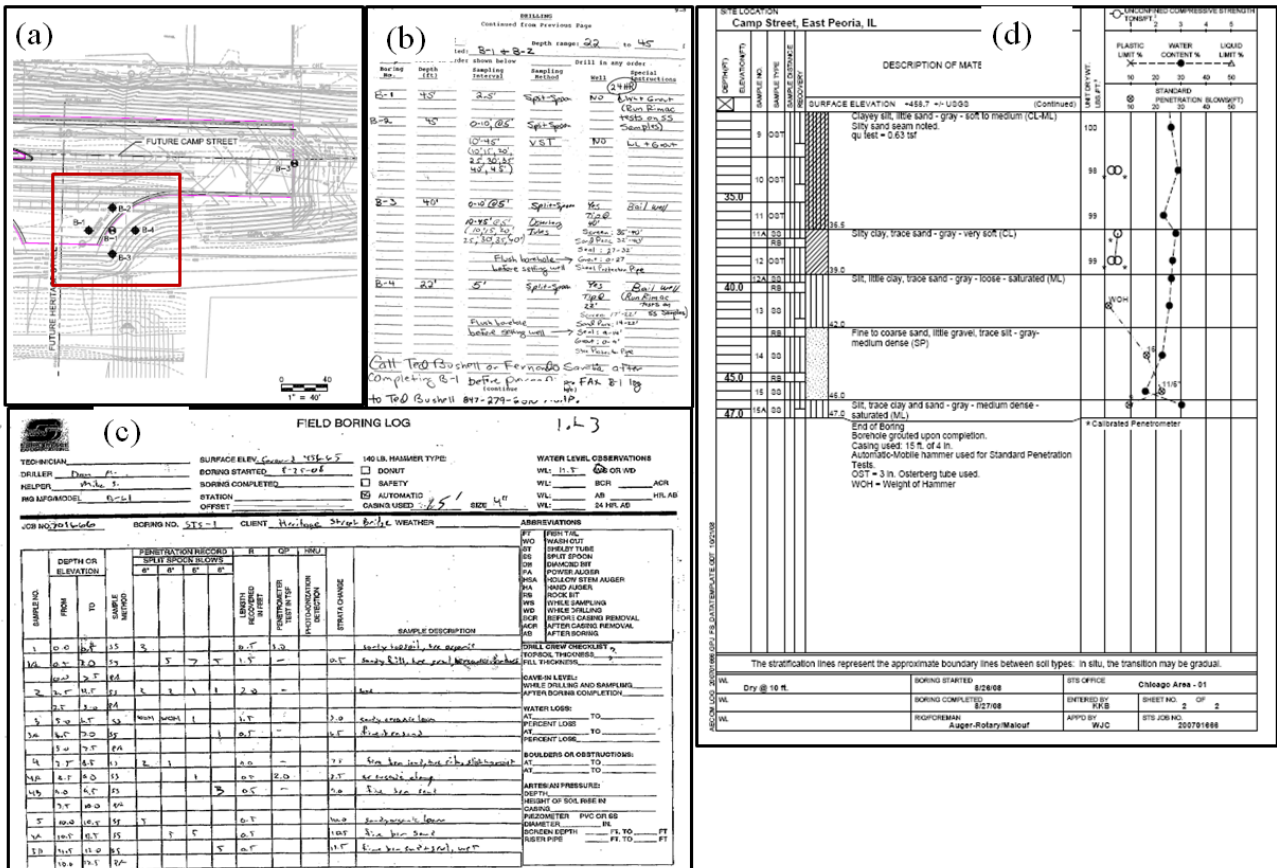


그림 1. 지반조사의 계획과 현장시추주상도의 작성 (a) 시추공의 위치 산정 (b) Drilling Instruction (c) 현장 시추주상도 (d) 최종 시추주상도

## 2.2 현장/실내 시험의 병행

도심지에서의 고층 구조물의 건설이 많아지면서, 지반 굴착에 의한 인접 구조물의 영향을 고려해야 하는 경우가 많아짐에 따라 정확한 지반의 거동 예측을 필요로 하는 경우가 많아지고 있다. 대부분의 지

반 거동 예측은 유한요소 해석을 통해 이루어지고 있으며, 정확한 해석을 위해서는 흙의 실제 거동을 잘 모사할 수 있는 구성모델의 선택과 그 모델에 필요한 입력 정수들이 그 지반을 적절히 대표할 수 있어야 한다.

이미 다양한 흙의 구성모델들이 제시되었고, 대상 구조물의 중요도와 위치, 지반의 균질성 등에 따라 구성모델을 선정하게 된다. 대부분의 상용유한요소 해석프로그램에서 이들을 적용할 수 있도록 구성되어 있으나, 흙의 비탄성, 비선형성을 고려할 수 있는 구성모델들은 입력 변수들의 수가 많아지게 되며, 그 입력 변수의 정확성이 전체 해석에 미치는 영향이 커지게 된다. 지반조사를 통해 이러한 구성모델의 입력변수들도 산정하게 되는데, 이는 주로 실내 및 현장 시험을 통해 이루어진다.

실내시험의 경우, 시료의 운송, 시료추출, 트리밍, 함수비 손실, 응력이완으로 인한 교란과 채취기 관입 시의 교란으로 인해 양질의 시료를 얻는데 한계가 있으나, 실내에서의 다양한 응력조건과 배수조건을 가할 수 있으므로, 필요한 입력변수 산정에 필수적인 요소가 된다. 반면에 현장 실험의 경우, 비등방응력 상태의 정적인 자연상태에서의 정보를 제공한다는 점과 연속적인 자료의 수집이라는 점에서 지반의 대표성에서는 실내시험보다 우월함을 가지고 있다. 하지만, 지반의 성질과 관련된 근본적인 복잡성, 초기응력상태, 비등방성, 흙의 구조, 입자의 모양, 광물특성 등을 고려한 시험결과의 해석이 어렵고, 응력조건과 배수조건을 조절이 자유롭지 않다는 점에서 구성모델 입력변수 산정에는 한계가 있다.

그림 2는 시카고강 지역의 600 m 높이, 지하 7층의 구조물의 지하 설계에서 이러한 시험들의 장단점을 고려하여 지반 정수를 산정한 예이다. 실내시험인 배수 삼축압축시험과 압밀시험을 통해, 적용된 지반구성모델의 입력 변수를 초기 산정하고, 이를 바탕으로 유한요소해석으로 현장시험인 프레스미터를 모사하여 입력변수를 조정하는 과정이다. 이러한 과정을 통해, 하나의 실험만을 통해 얻어진 입력변수가 가질 수 있는 지반의 불확실성이나 실험의 부정확성에 의해 유발될 수 있는 오류를 최소화하는 과정이다.

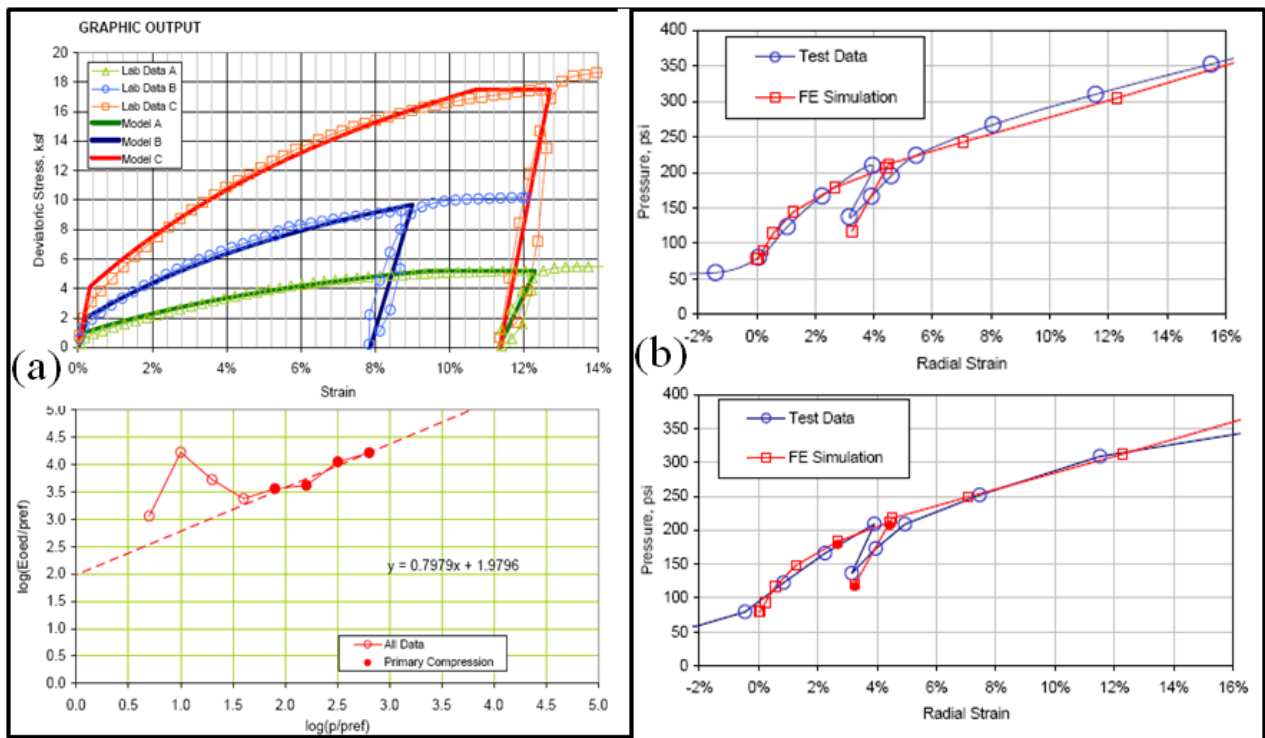


그림 2. 실내시험과 현장시험을 통한 지반정수의 산정 (a) 삼축압축시험과 압밀시험을 통한 지반정수산정 (b) 유한요소해석을 통한 현장시험(pressuremeter)결과와의 비교

### 2.3 최신 연구결과의 도입/적극적인 산학협력

최근 들어, 지반조사 기술도 괄목할 만한 성장을 하고 있으며 상당한 수준에 도달하였으나, 비용과 시간의 문제에 있어서, 적합한 구성모델의 입력 변수들을 위한 지반조사 방법이 언제나 가능한 것은 아니

다. 이러한 부분에 있어서, 그 지역에서 수행된 최신 연구 성과들을 적용하고 있다. 단순히 문헌을 통해 결과를 적용하는 것뿐만 아니라, 그 연구기관과 밀접한 관계를 통해 새로운 연구결과를 적용하고 그 결과를 통해 그 연구 성과의 검증에 보탬이 되는 산학협력을 실시하고 있다.

그림 3은 시카고 지역의 또 다른 400 m 이상, 지하 4층의 고층 건물의 지반 거동 해석을 위한 지반조사에서 최근 연구 성과의 적용 예이다. 지반재료와 탄성응력-변형률 거동 사이의 차이점을 체계적으로 정량화할 수 있는 탄성과 시험이 적용되지 않은 상황에서 그 지역의 지반에서 얻어진 시험 결과를 바탕으로 제안된 경험식의 적용으로 입력변수를 산정하였다. 시카고지역의 시료를 바탕으로 산정된 전단과 속도의 경험식 (Jung et al. 2007)을 바탕으로 깊이에 따른 초기 전단강성을 추정하고 이를 바탕으로 초기탄성부분까지 고려할 수 있는 구성모델을 적용할 수 있었다. 이 프로젝트 같은 경우, 그림 2에서 소개되었던 프로젝트 후에 수행된 것으로, 이전 프로젝트의 지반정수산정방법에 추가하여, 배수 삼축압축시험과 압밀시험결과에서 산정된 지반정수로 유한요소를 통해 단지 현장시험인 프레스미터 결과와만 비교한 것이 아니라 또 다른 실내시험인 비배수 삼축압축시험결과와도 비교하여 그 불확실성을 제거하려는 노력을 하였다.

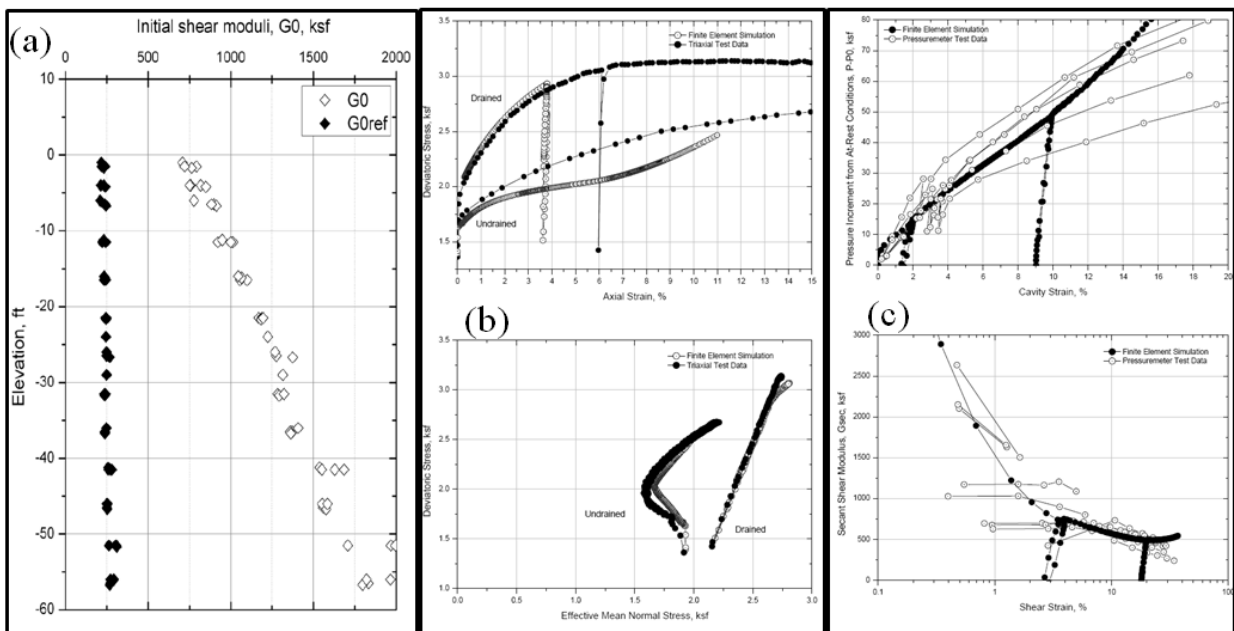


그림 3. 연구결과를 이용한 실내시험과 현장시험을 통한 지반정수의 산정 (a) 연구결과를 이용한 깊이에 따른 초기 전단강성의 추정 (b)배수삼축압축과 비배수삼축압축의 유한요소해석과 실험결과의 비교 (c)유한요소해석을 통한 현장시험(pressuremeter)결과와의 비교

아직은 이러한 지반조사에서 얻어진 변수들을 설계변수로 직접 적용하는 단계이지만, 이렇게 적용한 변수들을 최적화하는 통계 및 신뢰성 기법들에 대한 관심도 증가하고 있다. 이와 더불어 지반조사가 가지는 근본적인 한계를 극복하기 위해서, 현장 계측을 통한 입력변수들의 최적화 기법의 적용에도 관심을 가지고 있다.

### 3. 요약

현재의 토목구조물 공사에서 지반조사의 중요성이 증가함에 따라 지반에 대한 불확실성이나 위험요소를 줄이기 위한 계획된 지반조사가 필요하다. 미국에서의 지반조사 과정과 지반정수 산정에 있어서 그 적용 사례들을 통해, 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 지반조사에 대한 계획과정에서부터, 감독, 해석까지의 전 과정에서 경험있고, 숙련된 지반기술자들의 참여가 중요하며, 이를 위해서는 현장시험과 실내시험, 그리고 지반 정수 산정에 있어서까지 지반기술자의 일관적인 해석과 원활한 소통이 필요하다. 또

한, 도심지 굴착 혹은 복잡한 지반구조물의 경우 또는 정확한 지반의 거동 예측이 필요한 경우, 정확한 지반정수 산정을 위한 계획된 지반조사를 통해, 실내시험과 현장시험 모두를 만족시키는 지반정수를 찾는 방법의 적용을 수행하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 실내시험을 바탕으로한 구성모델의 입력변수와 함께 현장시험 결과를 융합하여 지반구조물 설계에 사용하는 지반설계 자료를 도출한다면, 매우 한정적인 지반 조사 결과만을 가지고 설계를 수행해야만 하는 설계자에게 상당한 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이런 적극적인 지반조사의 적용에서는, 최신 지반조사 기술을 적용하는 것도 중요하며, 발표된 연구의 적용과 검증을 통한 산학 협력도 매우 중요하다고 할 수 있다.

이와 더불어, 현장에서의 역해석을 통해 입력변수를 조정하여 분석 결과를 함께 도입하여 지반조사에 의해 산정된 입력변수들의 검증과정이 추가된다면 지반조사 및 지반구조물 설계시 설계자에게 매우 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 윤길림 이규환 채광석 (2005), “지반조사기술의 현재와 미래”, 한국지반공학회지 Vol.22, No.1, pp.11-21
2. Jung, Y. H., Cho, W., and Finno, R. J. (2007). "Defining yield from bender element measurements in triaxial stress probe experiments." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(7), pp841-849