

## 지반공학 총론

1. 지반공학의 정의
2. 지반공학의 세부분야

## 1. 지반공학의 정의

- 1) 지반공학(geotechnical engineering)
  - 흙(토질, soil)을 대상으로 인간의 삶을 보다 풍요롭게 하기 위해 이론과 실제를 체계화한 학문
  - 인간의 편익을 위해 만들어지는 구조물들의 지지대상인 흙과 암반을 대상으로 한 학문
  - 지반의 응력 및 변형해석과 이를 바탕으로 한 실제문제에의 응용 등은 건설공사의 안정성 확보측면에서 중요한 의미를 갖게 되며, 이와 관련하여 이론과 실제를 체계화한 학문
  - 토목공학(civil engineering)의 한 분야로서 주로 흙 또는 암반에 관한 공학적 문제를 역학적(mechanical) 또는 수리학적인 법칙(hydraulics law)을 적용하여 이론적 해명을 하는 응용역학의 한 분야
  - 흙과 암반의 이론적인 해석과 지질공학의 이론 등을 포함하는 토질역학, 암반역학, 지질공학, 수리학 등을 기초로 하며 그 응용분야로서 기초공학, 토질구조물, 지하공간, 지반환경, 지반진동학 등을 총망라하는 종합학문
- 2) 구조물의 일부를 형성하거나 지지하는 기초지반은 구조물의 자중이나 하중에 의한 외력(external force), 성토나 굴착 등에 의한 평형상태의 파괴(failure), 지진이나 공해진동, 지하수 등에 의해 응력상태의 변화를 받게 되며, 이로 인해 지반변형(deformation)이 발생하고 역학적 성질이 달라짐
- 3) 응력상태의 변화로 인한 지반변형이 지반이 가진 저항력(resistance)을 초과하는 경우 기초지반 자체의 파괴 및 구조물의 파괴 등의 큰 문제를 일으킴
- 4) 지반공학이라는 용어는 세계 각국에서 soil mechanics & foundation engineering 대신에 geotechnical engineering이란 용어를 쓰는 추세

## 2. 지반공학의 세부분야

### 2.1 지반공학개론

- 1) 흙은 균질한 부재와는 달리 자연의 재료로서 토립자, 물, 공기 등의 삼상(三相)에 의해 다양한 구성을 하고 있고 외적응력, 시간경과, 온도변화 등에 의해 성질이 달라지며 복잡한 특성을 갖게 되는 바, 지반의 공학적 문제에 토질역학만을 단순히 적용할 수 있는 경우는 많지 않음
- 2) 흙의 경우 그 성질을 나타내는 계수가 매우 많아 이들 사이에 대응하는 다양한 토질시험을 병행하여 설계에 필요한 토질정수를 얻어야 함
- 3) 흙의 생성, 시료의 채취방법 및 흙의 물리·화학적 성질을 연구하는 것이 우선 필요하게 되며, 아울러 흙 재료에 대한 균형, 강성 또는 소성변형을 조사하고 공학상의 문제인 기초 지반의 지지력(bearing capacity), 옹벽이나 가시설에서의 토압(earth pressure), 축제 및 사면의 안정(slope stability) 등을 검토함은 물론 지하수위 침투 및 배수의 적부 등 흙의 여러 문제를 종합적으로 연구
- 4) 지반공학적 문제를 해결하기 위해서는 지반공학의 기초인 토질역학을 충분히 활용해야 하는 것은 물론이나 토질역학만으로는 불충분하므로 토질역학이론이나 원칙에 기술적 판단을 가하여 공학적 문제를 해명하고, 공사의 실제에 적용

5) 지반공학과 관련된 문제

흙의 일반적 성질	물리·화학적 성질	흙의 분류, 토층·지반구분
흙 속의 수리	투수성	침투, 배수, 모관성, 지하수 유출, 동상문제
흙의 압축·압밀 지반의 응력과 변형	압축·압밀특성 응력·변형특성	지반, 성토, 구조물 등의 침하·경사·변형에 관한 문제(지반의 부등침하, 측방유동, 융기)
흙의 전단강도, 토압, 사면안정, 지반의 지지력	강도특성	성토구조물, 사면활동, 기초 및 토압(옹벽, 토류벽, 매설관 등)등에 대한 안정문제
흙의 다짐	다짐특성	다져진 흙의 성질, 토질안정문제 (고속도로, 고속철도, 공항, 필댐)
지반진동	동적 특성	액상화, 내진, 방진문제
지하공간	암석 및 암반의 강도특성	지하굴착, 토압 및 암반사면(암석 및 암반) 불연속면의 특성(터널, 지하철, 지하공간 등)의 문제
기초	지지력, 침하	직접기초, 말뚝기초, 피어기초 및 케이슨 기초 등의 지지력 부족에 대한 침하
지반환경	토질, 수질오염	폐기물처리, 환경오염문제(폐기물 매립, 준설, 지반 개량 등)
연약지반	차수, 보강	연약지반 처리문제(지반주입, 보강)
계측관리	응력, 변형, 간극수압	시공·유지관리, 역해석

## 2.2 지반조사(soil investigation)분야

- 1) 지반조사기술은 지반공학의 핵심분야로서 모든 지반구조물의 설계 및 해석에 필요한 지반정보제공을 담당
- 2) 앞으로 지반공학분야의 발전은 지반조사기술의 발전과 이를 바탕으로 한 정확한 지반정보의 제공에 달려 있음
- 3) 지반조사는 현장조사와 실내시험에 의한 조사로 구분
  - (1) 현장조사와 관련된 사항
    - 시추조사(boring)
    - 시료채취(sampling)
    - 사운딩(sounding)
    - 물리탐사(seismic survey)
    - 지하수 조사
  - (2) 실내시험과 관련된 사항
    - 흙의 물리·역학적 특성시험
    - 암석에 관한 시험
    - 사운딩(sounding)
    - 물리탐사(seismic survey)
    - 지하수 조사
- 4) 최근에는 시추조사의 단점인 지협성을 극복하기 위한 방안으로 물리탐사를 병행하여 조사의 신뢰성에 보다 많은 기여를 하고 있음

## 2.3 기초(foundation)분야

- 1) 기초란 상부 구조물로부터 전해 내려오는 하중을 안전하게 지반에 전달해 주는 역할을 하는 구조물
- 2) 상부구조물의 하중을 지지할 수 있는 지반이 지표면 가까이에 있으면 얕은 기초(shallow foundation), 그렇지 않고 지표면에서 떨어져 깊은 곳에 위치하면 깊은 기초(deep foundation)로 각각 설계
- 3) 특히 말뚝기초의 경우 말뚝재료, 공법 및 설계기술측면에서 상당한 발전이 있었으며, 최근에는 구조물의 대형화에 따른 말뚝재료의 고품위화 및 최적공법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있음
- 4) 주검토대상
  - (1) 지반조사 결과와 예상되는 상부구조물의 형태에 따른 기초형식의 계획
  - (2) 기초형식에 따른 지반 내 응력분포 형태
  - (3) 하중전달 형식에 따른 지지력(bearing capacity) 및 침하(settlement) 검토
  - (4) 동적 하중을 받는 기초에 대한 거동해석
  - (5) (1)~(4)를 바탕으로 한 기초의 구조설계

## 2.4 사면안정(slope stability)분야

- 1) 우리 나라와 같이 국토의 70%가 산지인 경우 인구 및 도시의 팽창과 이에 따른 기반시설확충 등으로 인하여 산지이용이 가속화되고 있으며, 이때 자연스럽게 구조물들이 사면(자연사면) 가까이 혹은 절개지를 따라 형성된 사면(절토사면) 인근에 위치하게 됨
- 2) 도로나 부지조성 공사 시 선형을 맞추기 위한 방법으로 성토를 하는 경우가 있는데 이때도 사면(성토사면)이 형성됨
- 3) 형성된 사면들의 안정문제는 곧바로 사면자체뿐만 아니라 인접한 구조물(도로, 가옥)의 안전문제와도 직결됨
- 4) 사면을 붕괴시키려는 힘과 이에 저항하려는 힘과의 상호관계에 대해 지반기술자로서 이에 대한 해(solution)를 얻고자 하는 것이 목표
- 5) 주검토대상
  - (1) 강도정수(strength parameter) 취득방법에 관한 사항
  - (2) 안정해석방법에 관한 사항
  - (3) 보강대책에 관한 사항
  - (4) 유지관리에 관한 사항

## 2.5 연약지반처리(soft ground improvement)분야

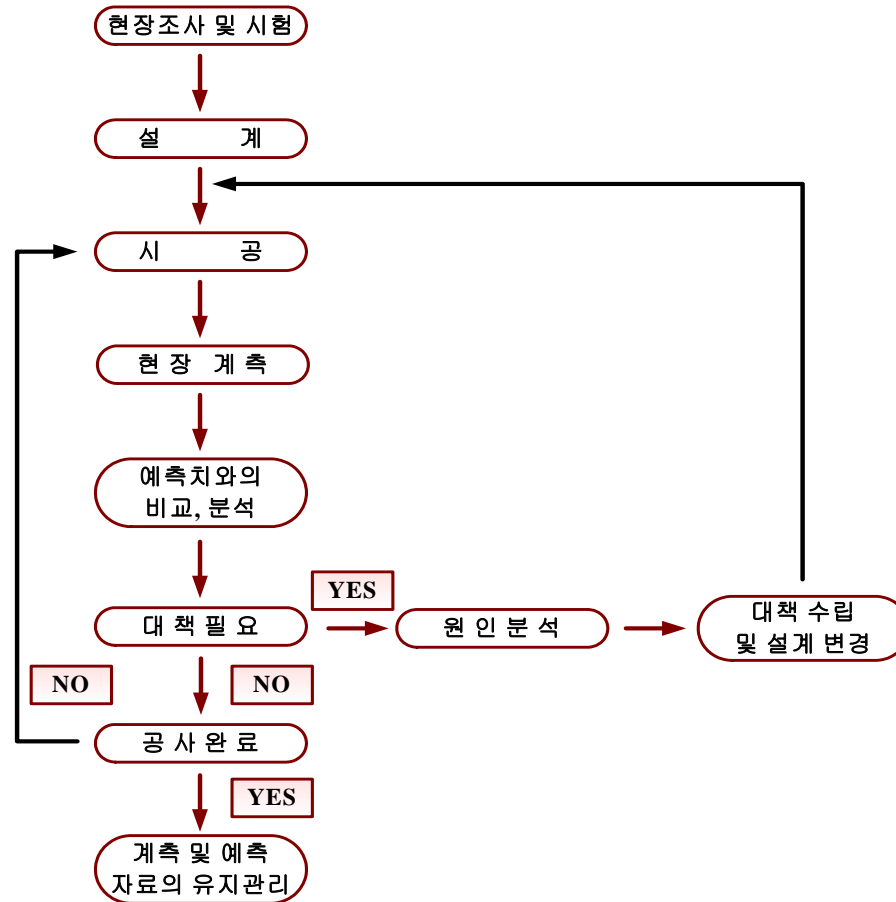
- 1) 지반자체가 상부구조물로부터 전해오는 하중을 견딜 수 없거나 혹은 예측침하량이 허용치를 넘는 경우 이를 연약지반이라 함
- 2) 우리 나라의 연약지반 처리수준은 선진국에 비해 다소 뒤진 경향이 있으나 pre-loading공법, drain공법(paper, sand, pack), 생석회말뚝공법, reverse circulation공법, 지반주입 및 혼합처리공법 등 연약지반처리를 위한 기술 발전이 급속히 이루어지고 있으며, 시공 전후의 계측조사를 통한 분석도 활발히 진행되고 있음
- 3) 연약지반에서 발생할 수 있는 공학적 문제
  - (1) 지지력(bearing capacity) 및 활동(sliding) 문제
  - (2) 과도한 침하(settlement) 문제
  - (3) 부마찰력(negative friction) 문제
  - (4) 액상화(liquefaction) 문제
- 4) 주검토대상
  - (1) 연약지반의 물리, 역학적 특성을 파악하기 위한 각종 실내 및 현장시험에 관한 사항
  - (2) (1)의 결과에 의한 지반정수의 선정 및 평가방법
  - (3) 연약지반의 거동특성
  - (4) 연약지반 대책공법에 관한 사항
  - (5) 연약지반개량을 위한 시공 및 관리에 관한 사항



## 2.6 정보화 시공(계측관리)분야

- 1) 정보화 시공(information-oriented construction)이란 구조물의 설계자료와 거동 예측자료를 현장계측자료(field monitoring data)와 비교검토 함으로써 시공 중 안전 상태를 확인하여 위험가능성이 있는 경우에는 신속하고 적절한 보강대책을 강구할 수 있도록 정량적 수치자료를 제공하는 공사안전관리(construction safety management)를 위한 일련의 공정을 의미
  
- 2) 우리 나라의 경우 1960년대 이후 최초로 계측이 도입된 이래 중요한 토목구조물 건설분야에 계측관리에 의한 정보화 시공이 적용되고 있으며, 오늘날에는 시공 초기부터 완공시까지의 안정성 검토 및 유지관리에 활용하는 추세
  
- 3) 주검토대상
  - (1) 지반굴착에 따른 지반변형, 버팀부재에 작용하는 하중, 슬러리 트렌치(slurry trench)의 변형 및 자연사면변형 등에 관한 사항
  - (2) 지하수위 저하에 따른 지반변위 문제
  - (3) 굴착바닥면의 응기에 관한 문제
  - (4) 거동예측과 관련된 수치해석에 관한 사항
  - (5) 해석 프로그램에 관한 사항
  - (6) 현장계측치와 컴퓨터 예측자료의 관리 및 활용에 관한 사항

4) 정보화 시공의 흐름도



## 2.7 준설 · 환경매립(dredging and environmental reclamation)분야

### 1) 준설매립분야

- (1) 준설(dredging)이라 함은 수중에 있는 흙 등의 재료를 준설선으로 들어올려 이를 구역 외로 운반 · 투기하는 일련의 공사를 말하며, 준설기술은 역사가 매우 오래된 기법이지만 지반공학분야에서는 최근에 새롭게 대두되고 있는 분야
- (2) 우리 나라에서도 임해공단이나 부두, 수도권 신공항 등의 대규모 해안매립공사가 준설기술에 의해 실행되었으며, 댐상류준설 등 내륙호수 및 하천에 대한 준설도 실시되고 있음
- (3) 준설기술은 크게 굴착, 운반, 매립 등의 영역으로 구분
- (4) 준설기술을 이해하기 위해서 사전지식으로 알고 있어야 하는 기술적 사항
  - 정 · 동수역학, 부력 · 부체역학 등의 기본 유체이론에 대한 이해
  - 준설펌프기술에 관한 사항
  - 준설장비 및 준설기술에 관한 사항
  - 지반의 퇴적에 대한 이해(침강 · 퇴적이론, 조사기술, 준설매립 후 지반특성)
  - 연약지반개량에 관한 사항
  - 준설에 의한 환경영향
  - 각종 계측에 관한 사항(유량 · 토량관측장비, 현장시험장비, 측량장비)
  - 각종 법규에 관한 사항(준설 및 환경과 관련된 법규)

## 2) 환경매립분야

- (1) 급격한 산업화에 따른 생산활동으로 발생한 쓰레기의 안전한 처리문제, 매립지 주변의 지하수 및 토양오염에 대한 문제, 사용 종료된 폐기물 매립지의 활용문제 등은 곧 지반공학적 문제와도 직결됨
- (2) 각 건설시방서에는 지반환경보존에 관한 조항이 삽입되고 잇는 추세이어서 앞으로는 토양 및 지하수 오염, 지하수 고갈을 초래하지 않도록 공사를 수행해야만 함
- (3) 지반환경분야는 지하수 이용이 활발해지면서 그 중요성을 인식하게 되어 오염물질에 의한 지하수 오염분석과 그 방지대책에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음
- (4) 주검토대상
  - 관계법규와 관련된 사항
  - 매립장 부지조사 및 설계·시공에 관한 사항(제방, 사면, 복토, 침출수 집배수, 우수배제, 가스처리시설)
  - 토양과 지하수 조사에 관련된 사항(오염조사, 분석 및 평가, 지반 내 오염물질이동 해석)
  - 각종 차수재의 공학적 특성 및 품질관리에 관한 사항
  - 오염지반의 정화방법
  - 폐기물 및 매립지반의 재활용에 관한 사항
  - 폐기물 매립지 유지관리에 관한 사항

## 2.8 지반굴착(underground excavation)분야

- 1) 지반굴착 시 주 관심사항은 흙막이 벽체 안전에 국한되었던 것이 주변지반, 인접구조물 및 주민에 미치는 영향 등도 함께 고려해야 하는 것으로 확대되었으며, 특히 도심지에서의 공사는 이러한 문제점들에 대한 중요성이 더욱 증대됨
- 2) 지반굴착 분야에서의 안정해석방법 및 설계기준을 살펴보면 고전적인 토압해석인 rankine, coulomb, terzaghi-peck 등의 방법이 많이 쓰이며, 버팀 시스템에서는 단순보법, 연속보법, 수치해석법 등이 쓰이고 있는 실정
- 3) 굴착방법에는 흙막이 벽체(sheet-pile, H-pile, 엄지말뚝+토류판, slurry wall 등)와 버팀구조(earth anchor, strut 등)가 있으며 주변여건에 따라 선택, 시공되고 있음
- 4) 주검토대상
  - (1) 굴착공사에 따른 제반법규에 관한 사항
  - (2) 흙막이 벽체의 종류 및 특성에 관한 사항
  - (3) 횡토압이론에 관한 사항
  - (4) 흙막이 벽체의 설계외력에 관한 사항
  - (5) 흙막이벽 설계를 위한 조사 및 시험에 관한 사항
  - (6) 암반에서의 토압산정에 관한 사항
  - (7) 주변구조물에 미치는 영향, 예측기법, 계측관리와 예측치의 feed back에 관한 사항

## 2.9 지반진동(내진설계)분야

- 1) 내진설계는 과학적인 원리, 공학적인 판단과 경험, 그리고 경제성과 확률에 근거를 두고 있으며, 내진설계지침의 기본개념은 경제성과 인명피해 극소화의 관점에서 설정되어야 함
- 2) 내진설계의 최적화(optimization)는 구조물의 연성(ductility)을 증가시키고, 구조물의 비선형 거동에 의한 진동에너지 소산(dissipation)으로 이를 수 있다.
- 3) 재료의 소성변위허용으로 구조적인 피해는 크지만, 구조물의 완전붕괴는 일으키지 않을 정도의 유연성을 고려해야 함
- 4) 향후 지반진동 분야에서는 토질조건, 지반의 층상, 기초의 강도를 고려한 지반구조물의 동적 상호작용, 동적지반물성의 적절한 산정과 진동레벨의 일관된 측정, 국내여건을 감안한 진동규준의 설정 등을 필요로 함
- 5) 주검토대상
  - (1) 지반진동에 관한 기본사항(동적지반거동, 지반 내 파전파, 진동이론, 감쇠특성)
  - (2) 동적지반계수 산정에 관한 사항
  - (3) 지반-구조물의 상호작용에 관한 사항
  - (4) 내진을 고려한 구조물 설계에 관한 사항
  - (5) 액상화(liquefaction)에 관한 사항

## 2.10 터널(tunnel) 및 암반역학(rock mechanics)분야

- 1) 오늘날에 와서는 터널공사가 “세기의 공사”라 할 만큼 그 규모가 엄청나게 커졌는데 일본의 세이칸 터널(공사기간 24년, 연장 53.85km), 영국과 프랑스 사이의 도버해협을 횡단하는 체널(channel : 공사기간 4년, 연장 50km) 등을 들 수 있음
- 2) 많은 터널공사와 도심지 지하철 공사 등이 수행되어 해석 및 시공기술에 많은 발전을 이루어 왔으며, 최근에는 지하공간의 이용 및 핵폐기물 지하저장에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 3) 앞으로 지하공간의 활용에 관해서는 그 필요성이 더욱 증대될 것이므로 지금까지의 터널 및 지하공간과 관련된 국내외의 실패사례와 성공사례 등을 자료화하고 적극적인 관심과 재투자를 해야 할 것임
- 4) 주검토대상
  - (1) 지반조사, 특히 암반분류에 관한 사항
  - (2) 터널설계에 관한 사항(굴착설계, 보조공법설계, 토사터널설계, 암반터널설계)
  - (3) 터널의 안정해석에 관한 사항(보요소법, 유한요소법, 유한차분법, 경계요소법, 개별요소법, 혼합법)
  - (4) 터널시공에 관한 사항
  - (5) 터널의 유지관리 및 보수에 관한 사항
  - (6) 균열 있는 암반의 역학특성
  - (7) 암반사면의 안정해석

## 2.11 토목섬유(geosynthetics)분야

- 1) 1960년 이후 고분자 합성섬유제품인 토목섬유(geosynthetics)가 개발되면서 기존 천연재료가 갖지 못했던 우수한 시공성, 적용성, 경제성 등을 갖추고 있어 각종 토목구조물의 보강, 필터, 배수, 분리, 봉쇄 및 침식방지제 등으로 폭넓게 사용되고 있음
- 2) 토목섬유는 폴리프로필렌(polypropylene), 폴리에스테르(polyester), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리아크릴리타일(polyacrylonitril), 나일론 등의 합성섬유를 직조하여 형성된 다공성 제품인 지오텍스타일(geotextile)과 차수용 제품인 지오멤브레인(geomembranes), 고강도 제품인 지오그리드(geogrids) 및 지오텍스타일 관련제품 등을 포함
- 3) geosynthetics라는 용어는 geomechanics와 synthetics가 합쳐져서 만들어진 용어로서 맨 처음 하천제방, 사면 보호를 위해 필터용 지오텍스타일을 사용한 이래 연약지반보강용, 수직배수재 등으로 그 영역이 점차 확대되어 오늘날에는 대규모 공사는 물론 고속전철, 지하구조물, 폐기물 매립지 등 토목섬유 적용구조물이 다양화, 대형화, 고난도화 되어져 가고 있음
- 4) 주검토대상
  - (1) 토목섬유제품 개발에 관련된 사항
  - (2) 토목섬유 특성평가 및 시험법에 관한 사항
  - (3) 토목섬유 적용성에 관한 사항
  - (4) 침식방지공
  - (5) 필터 및 배수재(수평, 연직)
  - (6) 분리재, 보강재(사면, 제방), 보강토 옹벽의 뒷채움재, 차수재