



터널(1)

박남서

‘터널’ 강좌를 시작하며

이인모*

국토의 65%이상이 산지로 이루어진 우리나라에서 도로, 철도, 지하철 등의 건설에 터널은 필수적이라 할 수 있으며, 실제로 현재 국내에 수많은 터널공사가 진행중에 있고 또한 계획되고 있다.

이에 발맞추어 터널에 관한 설계·시공기술도 하루가 다르게 발전하고 있는 것을 피부로 느낄 수 있다. 대학을 갓 졸업하고 터널에 종사하게 되는 엔지니어들에게 도움이 될 수 있는 강좌를 터널기술위원회가 중심이 되어 계획하고 있다. 이번 호에 그 첫번째 강의가 시작되어 격월로 강좌를 신게 되며 내년도(2001년) 9월에 마지막 강좌를 계획하고 있다.

강좌의 제목 및 집필자는 다음 표와 같다. 표를 보

터널강좌 계획(안)

제 목	집필자	게재예정호
1)터널설계를 위한 지반조사 및 지반정수 산정	박남서	2000년 7월
2)터널과 지하수	이인모	9월
3)터널의 수처해석	유충식	11월
4)터널굴착 및 지보재	김승렬	2001년 1월
5)터널계측	박광준	3월
6)기계화시공	배규진	5월
7)갱구부 설계	이두화	7월
8)터널의 유지관리	신용식	9월

*1 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

*2 정회원, 대덕공영주식회사 대표이사

면 예전의 강좌내용과 비교하여 몇가지 토픽이 추가된 것을 알 수 있다. 즉, 경관설계에서 중요시되는 갱구부 설계편과, 갈수록 그 중요성이 부각되고 있는 터널의 유지관리편을 강좌의 내용에 포함하였다.

본 강좌가 실무에 종사하는 터널 기술자들에게 조금이나마 유익한 내용들이 되길 바라며, 특히 바쁘신 중에도 강좌를 준비하는 집필자들에게 감사한 마음을 전한다. 강좌가 진행되는 동안 독자들께서 조언할 사항이 있으시면 언제나 환영합니다.

1. 터널설계를 위한 지반조사 및 지반정수 산정

1. 개요

터널의 조사는 초기의 노선선정단계에서부터 공사 단계에 이르기까지의 과정에서 안전하고 경제적으로 터널을 시공하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위해 시행된다.

조사는 터널의 노선선정, 설계, 시공 및 완성후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항이므로 터널의 목적 및 규모 등을 충분히 고려하여 조사내용, 순서, 방법, 범위, 정도 및 기간 등을 결정하여야 하며, 터널설계 및 시공시 적용방법 등을 고려하여 조사성과를 정리하여야 한다. 터널공사는 설계시의 조사 결과만으로 토질 및 암반조건, 지질조건, 지하수 등 지반조건을 파악하는 것이 어려우므로, 시공단계에서

표1. 조사단계별 조사내용

조사단계		시 기	목 적	내 용	범 위
예비조사	자료조사	사업 구상단계에서 구체적으로 계획	터널 노선 계획	· 각종 기존자료 조사 분석 · 지표답사	대상구간의 광범위한 지역
	현장답사 개략조사	비교 노선 검토에서부터 노선 결정까지	터널 노선의 선정	· 지형·지질조건에 대한 개략조사	계획터널노선 및 비교터널노선을 포함한 광범위한 지역
본조사		터널노선 결정 이후부터 공사 착공까지	설계 수행 및 시공계획의 수립 - 설계입력 자료 평가 - 공법 선정 - 단면해석 - 공사비 산출 등	· 환경·입지조건에 대한 광역조사 · 상세한 지질, 지반 조사 · 터널 주변환경 및 공사에 필요한 제설비, 법규 등 조사	결정된 터널 노선 및 주변지역
시공중 보완조사		시공 중	시공 관리, 공사 통제	· 막장조사 및 계측 (터널 내부 및 주변 지반포함) · 주변환경의 영향정도조사 · 시공관리조사	터널 내부 및 터널시공으로 영향을 받을 우려가 있는 터널주변지역

표2. 자료조사의 내용

조사대상	조사내용	자료구입처
기존 구조물	기존구조물의 배치, 설계도면, 시공관련자료, 현상태 등을 검토함으로써 개략적인 주변 지반 조건, 지지력, 위험요소 등을 파악	현장답사 사용주 탐문
인접지역 조사자료	조사지역의 인접지역에서 실시한 조사자료를 활용하여 지반의 종류 및 조건, 지하수 분포상태 등을 파악	구·군청 인접구조물의 소유자, 설계자, 한국자원연구소
지형도 항공사진 위성사진 고지형도	항공사진, 위성사진 및 고지형도를 이용하여 현재 및 과거의 지형상태를 조사, 분석하고 지질 경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 또는 석장 등의 조사에 활용하고 현장조사시의 시추위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득가능성 등을 파악	중앙지도문화사 산림청 국립지리원
지질도	지층의 분포상태, 구조물에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 절리, 선구조)의 발달과 특성 및 공동의 발달유무 등을 분석하여 터널굴착조건을 예측하고 노선결정과 조사계획 수립에 반영	한국자원연구소
토양도	토양도는 주로 표토의 영농자료를 제공하나 토양의 비옥도나 수분상태 등의 성질로부터 흙의 물리화학적 및 공학적 특성 추정가능	농림수산부 농어촌진흥공사
우물현황	지하수이용을 위한 우물개발 현황으로부터 지하수 부존상태, 지하수위 상태 등의 지하수특성파악	농어촌진흥공사 우물소유주

도 지속적인 조사를 실시하여 시공에 입력(Feed Back) 되도록 하는 것이 바람직하다. 또한, 계획 및 설계단계에서 적용한 지반분류 기준이 시공시 조사에도 일관된 설계기준으로 적용되어야 한다. 특히, 최근에 발주하는 대형터널공사의 턴키(turn-key) 프로젝트의 경우 기본조사결과를 제공하거나 노선이 유사할 경우 공동조사를 실시하므로써 조사의 난립으로 인한 환경훼손 및 조사비의 낭비요소가 발생하

지 않도록 관리되어야 할 것이다.

2. 지반조사

2.1 지반조사 일반

지반조사는 예비조사, 본조사 및 보완조사 등의 단계로 구분하며, 소규모 공사의 경우에는 조사단계의 일부를 생략할 수 있으나 장대터널 및 도심지터널 공사 등에서는 본조사 또는 보완조사시에 정밀조사를

필요한 만큼 실시하여야 한다. 각 조사단계에서는 다음사항을 고려하여 수행해야 한다.

- ① 예비조사는 공사계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며 기존 자료조사, 항공사진 및 위성사진의 판독·분석, 현장답사 등을 실시하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행하여야 한다.
- ② 본조사는 기본설계단계에서의 개략조사와 실시설계단계에서의 정밀조사로 구분되며, 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 물리검층 및 현장시험, 실내시험 등을 포함하여야 하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 달리 할 수 있다.
- ③ 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 불규칙적인 지반분포 구간에서는 시공시 노출되는 실제 지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 하며 설계변경에 필요한 자료를 제공하도록 하여야 한다.
- ④ 유지관리시 터널의 주변환경변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행하여야 한다. 조사 단계에 따른 시기, 목적, 내용, 범위 등을 요약하면 표1.과 같다.

2.2 자료조사

항공사진, 인공위성사진, 지형도, 지질도, 토양도, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 지하수 현황, 폐광 및 지반공동현황, 터널지역을 포함한 광역 조사자료 등을 이용하여 조사지역의 현황을 파악하여야 한다.

자료조사의 주요 조사 사항을 열거하면 표2.와 같다.

2.3 현장답사

현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 지역 주민들의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하여야 하며, 조사수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 확인하여 원활한 본 조사계획을 수립할 수 있도록 하여야 한다. 따라서, 현장답사는 반드시 경험 있는 관련기술자에 의해 이루어져야 한다. 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 해야 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다. 필요시에는 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 걸친 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다. 현장답사시 조사하여야 할 주요 내용은 지형변화, 대규모 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근구조물 유지상태, 지하매설물, 수송통로 등이 있다. 현장답사시에 관찰할 사항을 열거하면 표3.과 같다.

표 3. 현장답사시에 관찰할 사항

대상구분	주요 관찰 사항
지형변화	옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 성토 매립 등의 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시 하는 지역에서는 활동이나 범위
지표수 및 지하수	용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설시 등의 저수, 배수의 상태
인근구조물 유지상태	도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타의 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상유무
지하매설물	상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등
수송통로	트럭, 중차량 출입의 제한 유무, 도로의 교통상황, 소음, 진동, 공해 등

2.4 지표 지질조사

지표 지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 개괄적으로 파악하여 본조사를 실시할 때에 기본 자료로 활용하고 본조사의 경제적 및 시간

적 효율을 높이기 위하여 실시한다. 지표 지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등이 표시된 지질구조도 및 암종이 표시된 지질도를 작성하고 지질재해의 가능성 등을 검토하여야 한다. 지표 지질조사시에는 표층지반, 암질, 지질구조, 지하공동, 암반거동, 지표수 및 지하수 등의 사항을 조사하여 그 결과를 응용지질도(engineering geologic map)를 작성한다. 일반적으로 지표 지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1/10,000 이상의 축척으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다. 지표지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1:5,000을 기본지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다. 지표지질조사시의 세부조사항목은 표4.와 같다.

표 4. 지표 지질조사항목

구분	세부조사항목
표층지반	표토, 풍화토, 퇴적물의 종류(하상퇴적물, 선상지 퇴적물, 단구 퇴적물, 봉기 퇴적물, 화 산분출물)등의 분포상태 및 구성물질, 두께, 고결정도, 함수상태, 투수성, 유동성 등
암질	암석의 종류, 입도, 조암광물과 배열, 공극상태, 암속강도, 인장강도, 탄성과 속도, 변성도 및 풍화도, 층리·열리 등
지질구조	지질분포, 지층의 성층상태, 주향과 경사, 절리, 습곡, 단층, 파쇄대, 변질대 등
지표수 및 지하수	지표수의 유하상태, 지하수의 부존상태, 수온, 수질, 대수층의 구성, 지하수위, 대수층과 지질과의 관계, 용수상황 등
지열, 온천	고지열대, 온천출출 등
지하공동 암반거동	자연공동(석회동굴 등), 광산갱도, 폐광 등의 과거갱도 팽창성 및 유동성 지반의 유무나 분포상태, 용수에 의한 붕괴 가능 지반의 유무정도나 분포상태, 편입가능성 등

2.5 시추조사

터널시공 구간내의 지반에 대한 지반종류, 지질구조, 공학적성질, 절리분포, 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며, 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 시한다.

- ① 시추는 원칙적으로 NX규격(코아 직경 54mm) 이상의 이중 코아배럴을 사용하여 실시하며, 풍

- 화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아 배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
- ② 시추는 원칙적으로 수직으로 실시하되 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사시추를 할 수 있다. 경사시추는 기반암에 발달한 절리, 단층, 공동분포상태를 확인하기 위하여 실시한다.
- ③ 시추공의 간격은 도심터널 또는 지형이 비교적 완만한 경우에는 노선방향으로 50~200m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되 단층이나 파쇄대 등 터널공사에 장애가 되는 구간이나 지층이 불규칙 할 경우 또는 주요구조물 등 특수한 주변여건 때문에 지반상태를 확인할 필요가 있는 경우에는 시추 간격을 축소 조정하여야 한다. 단, 토피가 큰 산악지형으로 접근성이 불량한 터널에 있어서 시추심도가 상당히 깊어지는 경우 양쪽터널 갱구쪽에 각 2개소의 시추조사를 실시하고, 항공사진 판독과 탄성파탐사결과 지반조건이 불량한 연약대에 시추조사를 실시하며 필요시 시공중에 터널입구쪽에서 시추를 실시하며 터널내에서 수평시추를 실시하여 지반상태를 확인할 수 있다.
- ④ 시추심도는 원칙적으로 터널 바닥부의 계획심도에서 터널 최대 직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적을 위하여 필요한 경우 심도를 증가할 수 있다.
- ⑤ 시추공의 지하수위 측정은 시추직후 및 24시간 후에 실시하여야 하며, 필요시 72시간 경과후에 측정하여 안정된 수위를 산정한다.
- ⑥ 시추공의 폐쇄는 반드시 시멘트풀이나 시멘트 모르타르로 폐쇄시켜야 한다. 시추공 폐쇄작업은 조사 대상 지층을 지하수오염으로부터 보호하고, 하나 이상의 대수층이 있는 경우 지하수의 상하이동이나, 지하수가 섞이지 않도록 하여 완전히 메워진 상태에서 지하수 유동으로 인한 오염의 확산을 방지 하는 조건을 만족시켜야 한다.

2.6 시험터널 조사

특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정한 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다. 시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 흐트러짐을 최소화하여야 한다. 시험터널 조사시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고하여야 한다.

2.7 지구물리탐사

지구물리학적 수단에 의하여 지하의 지층, 암석에 대한 측정자료를 얻어 이로부터 지질구성, 지층의 주향 및 경사, 풍화대의 분포 두께, 단층의 유무 및 규모, 암반의 경연 등 지질상태를 판단하는 조사법을 지구물리탐사라 한다. 여기에는 탄성파탐사, 전기탐사, 자기탐사, 방사능탐사 등이 있는데 이 중에서 탄성파굴절법과 전기비저항 방법이 많이 사용되고 있다.

지표탐사에 비해 조사심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서는 시추공내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 물리탐사 기법을 적용하는 것이 바람직하며, 지반정보를 얻기 위해 실시하는 물리탐사 기법은 반드시 현장 적용성을 검토하여야 한다. 표 5, 6. 은 각 물리탐사 방법으로부터 취득할 수 있는 물성과 조사대상 지질특성들에 따른 각 물리탐사 방법들의 적용성을 요약한 것이다.

표 5. 각종 물리탐사 방법이 이용하는 물성과 측정하는 현상

물리탐사 방법	대비물성	측정에 이용되는 현상	비고
중력 탐사	밀도	중력가속도의 변화	
자력 탐사	대 자 율	정적자기장의 변화	
전기 비저항 탐사	전기전도도	겉보기 전기비저항의 변화	
전자 탐사	전기전도도, 투자율	전자기장의 강도, 위상변화	
탄성파탐사	탄성계수, 밀도	탄성파(P파, S파)속도, 진폭	

표 6. 조사대상 지질특성에 따른 물리탐사 방법의 적용성

지구물리 탐사종류 (기술)	지질 특성							
	광물종류 및 특성	암석종류 및 특성	불균질대의 위치	불균질대의 방향	불균질대의 크기	불균질대의 간격	불균질대의 조성 물질	암질 밀도
중력 탐사 (육상/항공)	○	○	●	○	○			●
자력 탐사 (육상/항공)	○	○	●	●	●	○	●	
전기비저항 탐사		○	●	○	●	○	○	○
전자탐사 (지 표)		○	●	○	●	○	○	
탄성파 굴절 법 탐사		○	●		○			● ○
탄성파 반사 법 탐사		○	●	○	●	●		○ ○

주) ● : 물리탐사 방법이 직접적으로 적용되는 대상 특성

○ : 2차적으로 적용가능하거나 특수한 환경에서 적용가능한 대상 특성

2.8 시추공내 탐사

시추공내 탐사를 실시하여 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적인 특성과 연계하여 구성암석, 단열상태(fracturing), 지하수 유동과 물리·화학적 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

2.8.1 시추공 영상촬영 시스템(BIPS)

시추공내의 불연속면의 위치 및 형상, 주향·경사의 판정, 공벽의 팽창 및 붕괴 상황의 관찰, 파쇄대의 위치 등 물리적 변형상태를 정확히 파악하기 위하여 시추공 영상촬영 시스템(BIPS : Borehole Image Processing System)을 이용하여 지하암반의 균열상태를 직접 영상(image)으로 확인하고 암반의 불연속면이나 균열의 상태 및 암질상태를 명확하게 규명하여 현장조사자료에 대한 신뢰도를 높일 수 있도록 하여야 한다.

2.8.2 시추공 텔레뷰어 탐사

시추코아 샘플에서 파악하기 어려운 지역이나 파쇄대의 정확한 방향을 규명하기 위해서 직접 시추공

내를 촬영할 수 있는 시추공 텔레뷰어(borehole televiewer)를 사용할 수 있다.

시추공 텔레뷰어 탐사는 시추공 내벽에 초음파(주파수 약 1MHz)빔을 주사하여 그로부터 반사되는 초음파의 진폭 및 주시 즉, 진폭이미지 및 주시이미지를 분석한다. 여기서 진폭이미지는 절리 및 단층의 발달상태 뿐만 아니라 상대적인 암석강도에 대한 정보를 제시한다.

2.8.3 시추공간 탄성파탐사

시추공간 탄성파탐사는 두 개의 시추공을 이용하여 시추공간을 전파하는 횡파(S파)의 전파시간으로부터 시추공과 시추공사이의 횡파 평균속도를 심도별로 측정하는 탐사법이다. 이 방법은 시추공과 시추공사이의 수평적인 속도변화를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 측정간격은 탐사목적 및 현지암반의 상태 등에 따라 적절히 설정하여야 한다. 또한 공극(孔曲) 측정을 필수적으로 수행하여 송·수신기간 거리를 정확히 산출하여야 한다.

2.8.4 지오토모그래피(Geotomography) 탐사

지표물리탐사로는 분해능(resolution)의 한계 때문에 미세한 지질적인 정보를 얻을 수 없는 경우 두 개의 시추공사이의 가장 정밀한 지질적인 정보를 얻을 수 있는 방법으로 의학계에서 많이 이용되는 CT(Computer Tomography) 촬영의 원리를 지구 물리에 적용한 지오토모그래피기술이 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 지오토모그래피에는 탄성파, 레이더 및 비저항토모그래피가 있다.

- ① 탄성파토모그래피는 시추공 사이 지질단면에서 얻은 탄성파속도 분포로부터 암층의 구분과 지질구조대를 파악할 수 있다.
- ② 레이더토모그래피는 미세한 파쇄대 및 세밀한 지질적인 정보를 얻는데 효율적이다.
- ③ 비저항토모그래피는 시추공사이 단면의 비저항 분포를 역산하는 방법으로 암반조사, 기타 정밀을 요구하는 탐사에 많이 사용된다.

2.9 시공중 보완조사

시공중 보완조사는 조사결과에서 나타난 지반의 문제점과 시공중 발생한 문제점에 대하여 필요할 경우에 추가조사를 계획하여 실시하여야 한다. 시공중 보완조사의 목적은 막장 전방과 막장주변의 지반상태를 파악하는데 있으며 시공중 관찰되는 노출된 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시하여야 한다.

시공중 조사에 포함되는 터널내 상세지질조사, 수평시추, 터널내 탄성파탐사를 통하여 지층의 종류와 암질 및 지질구조 등을 파악하고 지반 물성치를 추정하여 시험이나 계측계획의 수립 및 실시에 도움이 되도록 하며, 필요시 지반해석 및 변경설계의 기초자료를 제공한다.

3. 시험

3.1 현장시험

자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장 시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다. 현장시험은 주로 시추공내 또는 시험터널내에서 실시하는데 일반적으로 수행하는 시험항목은 표7.과 같다.

표7. 현장시험 항목

시험명	적용지반				측정치
	점토	사질토	역질토	암반	
표준관입시험	○	○	△	×	N치, 교란시료채취
지하수위측정	○	○	○	○	지하수위
현장투수시험	○	○	○	○	투수계수
간극수압시험	○	○	○	△	간극수압
공내재하시험	○	○	△	○	변형계수
수압파쇄시험	×	×	×	○	Ko값(측입계수)
각종물리검층	△	△	△	○	검층측정치
탄성파토모그래피	×	△	△	○	지반탄성파속도
시추공텔레뷰어	×	△	△	○	절리간격, 방향, 암질상태

○:최적, △:가능, ×:부적

시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반 사항을 감안하여 선정하며, 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

3.2 실내시험

실내시험은 지반조건, 터널의 규모나 길이, 지형의 변화, 지질구조 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다. 실내시험은 시료의 물리적, 역학적

제 시험을 행하여 지반의 공학적 특성판단에 필요한 정보를 얻기 위해 수행하며 실내시험용 시료는 현장답사, 보링공 및 시험공 조사에서 채취된 시료가 그 대상이 된다. 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동 규격이 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다. 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및

표8. 조사목적에 따른 실내시험법

조사목적 시험항목	기계공작 의작부	굴착비력의 굴재 이용여부	탄성파탐사와의 대비 에 의한 일반의 평가	미끄럼층 투수성	대수층 규분	산사태발 생유무	평창성지 반여부	유사현상 유무	개연성개 스유무	산소결 핍유무	관련규정
비중		●	○				○	○			KSF 2518
흡수율, 흡수율		●									KSF 2518
압축강도	●	○	●				●				KSF 2519
인장강도	○						○				
경도	●										JIS 2246
마모율	●	○									KSF 2521
안정성		○									KSF 2507
탄성파속도	●		●				○				-
포아송비, 탄성계수			○					○			-
투수계수				●	●			●			KSF 2322
입도분포				○			●				KSF 2502
평창성	●					○	○				-
광물조성	●					○	○			○	-
개스함유율									●	○	-
수질					●	○				○	KSF 0100

주) ● : 특히 유효한 시험법 ○ : 실시하는 편이 좋은 시험법

표9. 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 지반분류 기준(한국도로공사)

표준 단면	지반분류			Q값	ROQ (%)	탄성 파속도 (Km/sec)	일축 압축강도 (Kg/cm ²)	코아 회수율 (%)
	일반	RMR	특징					
1	경암	100~81	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	40이상	70이상	4.5이상	1200이상	90이상
2	보통암	80~61	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 충상의 암질	40~10	40~70	4.0~4.5	300~1200	70~90
3	연암	60~41	층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	10~4	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
4	풍화암	40~21	물리적, 화학적으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	4~1	20이하	3.5~2.0	250~600	40이하
5	풍화암 (토)	20이하	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	1이하	20이하 N)100:IV N)100:V	2.0이하	250이하	

시험방법은 국제 암반역학회(International Society for Rock Mechanics : ISRM)에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.

실내시험은 설계, 시공 및 유지관리의 기초자료로 정확성을 요하므로 자격을 가진 자가 시험기준에 입각하여 행한다. 실내시험중 물리시험은 보링공 1개 소마다 적어도 3개 이상의 시료를 채취하여 행하며, 역학시험은 조사목적에 따라 시험항목을 선정하여 행한다. 특히, 암석의 경우 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태를 고려하여 시험한다. 조사목적에 따른 실내시험 항목들은 표8.과 같다.

4. 지반조사 성과의 정리

4.1 지반분류

지반은 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 분류하여야 한다.

- ① 퇴적토, 풍화토 등 미고결지층은 '흙의 통일분류법(USCS)'에 따라서 세분하여야 한다.
- ② 암반분류는 터널의 용도, 지역 및 지질특성 등을 고려하여 분류기준을 정할 수 있으며, 국내 외에서 많이 적용하고 있는 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 RMR방법이나 바톤(Barton)이 제안한 Q-시스템을 분류기준으로 사용할 수 있다. RMR값과 Q-시스템의 Q값과의 관계는 비에니아스키가 제시한 $RMR = +44$ 의 관계식을 적용할 수 있다. 한국도로공사에서는 터널 표준단면과 암질에 따른 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 암반분류기준을 표9.와 같이 제시하였다. 특히 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류하여야 한다.

4.2 조사결과 정리

조사결과는 종합적으로 분석하여 터널의 선정, 설계 및 시공계획, 유지관리에 이용할 수 있도록 정리하여야 한다. 조사결과를 정리할 때에는 조사목적

에 맞도록 성과물을 작성하여야 한다. 특히, 조사자는 경제적이고 합리적인 설계 및 시공자료로 활용할 수 있도록 조사결과를 일반화된 방법으로 정량적으로 분류·평가하여 검토의견을 제시하여야 한다.

- ① 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리하여야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1 : 25,000)와 정밀응용지질도(1 : 5,000)로 구분하여야 한다.
- ② 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 하며, 지층설명은 색조, N치, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 물리탐사 등 기타 자료를 참고하여 터널구간의 지질 단면도를 작성하여야 한다.
- ③ 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료 상자에 정리하여야 한다. 시료상자에 정리된 시추코어는 암석시험용 시료선정 전에 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에 물을 뿌린후 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.
- ④ 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 한다.

5. 지반정수 산정

5.1 개요

터널굴착을 모델링하는 해석에서 이용되는 주요 지반 물성값으로는 탄성계수 E , 포아송비 ν , 점착력 c , 내부마찰각 ϕ 등이 있다. 이들 지반 특성치들은 원위치 시험이나 시료에 대한 실내시험을 통해 산정하는데, 수치해석에 이용될 경우에는 전문가의 충분한 공학적 판단에 의해 이를 결정해야 한다. 이들 값은 해석결과를 근본적으로 좌우하므로, 고도의 해석 이론을 사용해도 물성값이 정확하지 않으면 해석결과를 신뢰하기가 어렵다. 따라서 실제 현장 상황을

최대한 고려할 수 있는 물성치를 사용해야 하며, 해석 결과에 전적으로 의존하는 설계가 되어서는 안되고, 실제의 시공실적 및 경험 등을 반영하여 설계를 하여야 한다.

5.2 지반정수 산정

설계지반정수는 해석을 하고자 하는 단면의 지층별 원위치시험 결과를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 지반조사를 수행하지 않고 해석하는 예비설계의 경우나 인접되어 있는 지반조사 결과치를 사용하는 경우에는 유사지반이나 문헌상의 설계정수를 사용할 수도 있다. 또한 장대산악터널의 경우에는 지반조사가 극히 어려우며 조사시행의 경우에도 많은 비용이 수반되므로, 인접지반 조사자료, 유사지반조건에서의 설계자료 및 문헌상의 조사치 등에 대한 분석 및 평가가 중요하다.

터널설계시 사용되는 지반정수 산정을 위해 일반적으로 수행되어야 하는 절차는 그림1.과 같다.

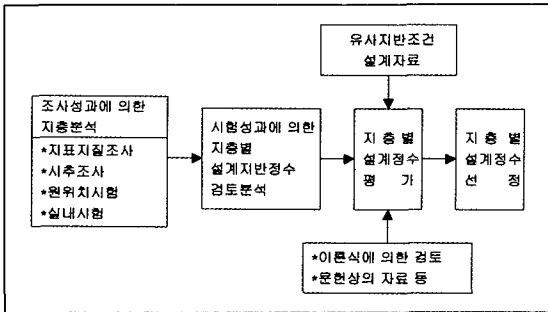


그림 1. 터널설계시 적용되는 지반정수의 산정절차

5.2.1 탄성계수 E

탄성계수는 해석에 가장 중요한 입력치로서 변위의 수준을 지배하는 값이다. 탄성계수는 원위치시험을 통해 구하거나 일축압축시험과 삼축압축시험과 같은 실내시험을 통해 구한다. 원위치시험에서 구해지는 탄성계수는 지반의 탄성계수를 직접 측정한 것인데, 전체 터널 지반의 극히 일부분에 대한 것이며, 현장조사(암의 종류, 절리상태, 파쇄대층, 주응력 방향 등)에 따라 지반특성치는 많은 차이가 있으므로

신중하게 선정할 필요가 있다. 즉, 수치해석에 이용되는 탄성계수는 지반을 연속체로 보고 사용하는 것이므로, 절리나 물성의 편차를 가진 지반으로서의 값을 적용해야 한다. 지반물성값을 실내시험결과를 이용하여 정하는 구체적인 방법으로는 균열계수에 기초한 저감률이나 시추결과 RQD값에 기초한 저감률 등을 이용하여 시료의 시험값을 낮추는 방법 등이 있다. 그밖에 지반 탄성과 속도와 신선한 시료의 초음파 탄성과 속도의 비에서 얻어진 동탄성계수 저감률을 탄성계수 저감률로 보고 구하는 방법도 제안되어 있다. 탄성계수 산정을 위한 현장시험, 실내시험 및 검토방법은 표10.과 같다.

표10. 탄성계수 산정 및 검토방법

구분	원위치 시험	실내시험	검토방법
토사	표준관입시험 공내재하시험	실내 토질시험 (일축압축시험, 삼축압축시험 등)	· Schmertmann(1978) · Hisatake(1984)의 제안식 · 도로교 표준시방서
암반	공내재하시험	실내 암석시험 (일축압축시험, 삼축압축시험 등)	· RMR 분류를 이용한 경험식 - Bieniawski(1978) - Serafim & Pereira(1983) - 김교원(1993) - Mitri et al.(1994) - Nicholson & Bierlawski(1990) · Q-system에 의한 경험식 · GSI를 이용한 경험식 · Romamurthy(1993) · Dee e et al.(1967)

(1) 토사

· Schmertmann(1978) : $E_d = \alpha \cdot N$ (kg/cm^2)

구분	실트 또는 모래질 실트	세립 모래 중립모래	조립모래	자갈질 모래 또는 자갈
α	4	7	10	12~15

· Hisatake : $E_d = 5N + 70$ (kg/cm^2)

· 도로교표준시방서 : $E_d = 28 \cdot N$ (kg/cm^2)

(2) 암반

1) 감쇠계수를 이용한 탄성계수 추정

- Nicholson & Bieniawski(1990)

$$RF = \frac{E_{int}}{E_m} = 0.0028RMR^2 + 0.9 \exp\left(\frac{RMR}{22.82}\right)$$

여기서, E_m : 암반의 탄성계수,

E_{int} : 실내시험에 의한 암석의 탄성계수

- Mitri et al. (1994)

$$RF = \frac{E_m}{E_{int}} = 0.5 \times \left[1 - \left\{ \cos\left(\pi \times \frac{RMR}{100}\right) \right\} \right]$$

2) 암반분류에 의한 변형계수 추정

- Bieniawski(1978) :

$$E_m = 2RMR - 100 \text{ (GPa)} \quad RMR > 50$$

- Serafim & Pereira(1983) :

$$E_m = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \text{ (GPa)} \quad RMR \leq 50$$

- 김교원(1993) :

$$E_m = 300 \exp(0.07) RMR' \text{ (MPa)}$$

RMR' 는 총 RMR 에서 지하수 상태 및 절리방향 보정을 제외함

- Barton(1995) : $E_m = 10 \times Q_c^{1/3}$ (GPa)

$$Q_c = \left(\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \right) \times \frac{\sigma_c}{100}$$

(σ_c = 일축압축강도 ~ (MPa))

- GSI 및 일축압축강도에 의한 추정

$$E_m = 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \times \frac{\sqrt{\sigma_c} \text{ (MPa)}}{100} \text{ (GPa)}$$

여기서, GSI : 지질강도정수,

σ_c : 암석의 일축압축강도 ($\sigma_c < 100$ MPa)

3) 절리계수 및 절리빈도를 이용

(Romamurthy, 1993)

$$E_j = E_{50} \cdot \exp(-1.15 \times 10^{-2} J_f),$$

$$J_f \text{ (절리계수)} = \frac{J_n \text{ (절리빈도)}}{n \cdot r}$$

여기서, E_j : 절리가 있는 암반의 탄성계수

E_{50} : 암석시험 일축압축시험시 파괴응력 50%에 대한 접선탄성계수

J_f : 절리계수

J_n : 절리빈도(단위 길이당 절리개수)

n : 절리경사 계수

r : 암석의 일축압축강도, 절리 충전물의 마찰각에 따른 보정계수

4) Deere et. al.(1967)의 속도지수 이용

$$E_{field} \sim \left(\frac{V_{P,field}}{V_{P,lab}} \right)^2 \cdot E_{lab}$$

5.2.2 포아송비 ν

포아송비는 일축압축시험 등을 통해 구하는데, 일반적으로 경암에서 0.1~0.25, 연약지반에서 0.45 정도이다. 수치해석에서는 터널 내공변위의 형상, 즉, 천단침하량과 측방 변위량의 비율이 포아송비가 높은 쪽이 전단면 변형을 일으키기 쉬우므로 측방 변위량이 커진다. 포아송비 산정을 위한 현장시험, 실내시험 및 검토방법은 표11.과 같다.

표 11. 포아송비 산정 및 검토방법

구분	원위치시험	실내시험	검토방법
토사	-	실내토질시험	· 관련문헌 : Hunt(1984), Das(1995) 등
암반	-	실내암석시험	· RMR분류를 이용한 방법 · Tsuchiya(1984) 및 김교원(1993)의 제안식

① Tsuchiya의 제안식(1984) :

$$\nu = 0.3 - (Y - 1.28) / 95$$

RMR 등급	I	II	III	IV	V
Y 값	8.37	7.53	6.36	5.00	0.65

② 김교원(1993) :

$$\nu = -0.17 \ln(\text{rm R MR}) + 0.9$$

5.2.3 점착력 c, 내부마찰각 phi

점착력 및 내부마찰각은 해당지반의 삼축압축시험이나 직접전단시험을 통해 구한다. 지하발전소와 같은 중요 구조물에서는 원위치시험을 통해 구하기도 하는데, 사례는 많지 않다. 실내시험을 할 수 없는 경우에는 지반등급 등을 가지고 추정하는 방법이 있으나, 기술자의 정확한 검증이 뒷받침되어야 한다. 탄성해석에서 점착력 및 내부마찰각은 지반의 변형에 영향을 미치지 않으며, 국부 파괴 안전율을 평가할 때만 이용된다. 그러나, 비선형해석이나 탄소성 해석에서는 항복규준의 파라미터이므로 해석결과에 큰 영향을 미친다. 따라서, 점착력 및 내부마찰각을 산정할 때는 시험결과 및 과거의 예 등을 참고로 하여 신중히 할 필요가 있다. 특히, 탄소성 해석에서 터널 주변에 소성영역이 넓게 분포할 경우에는 소성영역의 분포 형상이 점착력 및 내부마찰각의 크기에 큰 영향을 받으므로 주의해야 한다. 내부마찰각은 공시체의 크기에 영향을 거의 받지 않으므로 삼축시험의 결과가 그대로 이용되는 경우가 많다. 점착력 및 내부마찰각 산정을 위한 현장시험, 실내시험 및 검토방법은 표12.와 같다.

(1) 토사

• Dunham(1954) :

$$\phi = \sqrt{12} \cdot N + 15$$

입자가 둥글고 입도분포가 균일한 모래

$$\phi = \sqrt{12} \cdot N + 20$$

입자가 둥글고 입도분포가 좋은 모래 및 입자가 모나고 입도분포가 균일한 모래

$$\phi = \sqrt{12} \cdot N + 25$$

입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래

표12. 점착력 및 내부마찰각 산정 및 검토방법

구분	원위치시험	실내시험	검토방법
토사	-	실내 토질시험 (직접전단시험, 삼축압축시험)	· Dunham, Meyerhof, Peck, 오자끼 등의 경험식
암반	공내전단시험	실내 암석시험 (삼축압축시험, 절리면전단시험)	· GSI를 이용한 방법 - Hoek & Brown 파괴기준(1997) · RMR 분류를 이용한 경험식 - Bieniawski(1988) - Trueman(1988) - Tsuchiya(1984) - 김교원(1993)

- Meyerhof(1956) : $\phi = 0.25N + 32.5$
- Peck(1953) : $\phi = 0.3N + 27$
- 오자끼(1959) : $\phi = \sqrt{20} \cdot N + 15$

(2) 암반

1) RMR 분류를 이용한 경험식

• Tsuchiya(1984) :

$$c = -1.93Y + 2.07Y^2 + 0.035Y^3 (\text{kg/cm}^2),$$

$$\phi = 23.6 + 2.347Y$$

• Bieniawski & Orr(1976) :

$$c = 0.5 \times \text{RMR} (\text{t/m}^2)$$

• Trueman(1988) :

$$c = 0.25 \exp(0.05 \text{RMR}) (\text{MPa}),$$

$$\phi = 0.5 \text{RMR} + 5 (^\circ)$$

• 김교원(1993) : $c = 2.0 \exp(0.08 \text{RMR}) (\text{t/m}^2),$

$$\phi = 0.25 \text{RMR} + 27.5 (^\circ)$$

2) 지질강도지수(GSI)를 이용한 추정방법

Hoek & Brown(1988)은 RMR로부터 물질상수를 추정하는 방법을 제안하였는데, 이 방법은 RMR 값이 25 이상일 때만 유효하여 매우 불량한 암반에서는 적용할 수 없었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 새로운 지수인 지질강도 지수(Geological Strength Index, GSI)를 도입하였다(Hoek, 1994).

Bieniawski의 1989년 RMR분류를 기준으로 할 때 지질강도지수(GSI)는 다음과 같다.

$RMR_{89} > 23 \text{ GSI} = RMR_{89} - 5$

$RMR_{89} < 23 \text{ GSI} = 9 \ln Q' + 44$ 여기서,

$Q' = RQD/J_n \times J_r/J_a$

지질강도 지수를 이용하여 Hoek & Brown 파괴 기준으로부터 Mohr-Coulomb의 강도정수를 산출하는 방법은 그림2.와 같다.

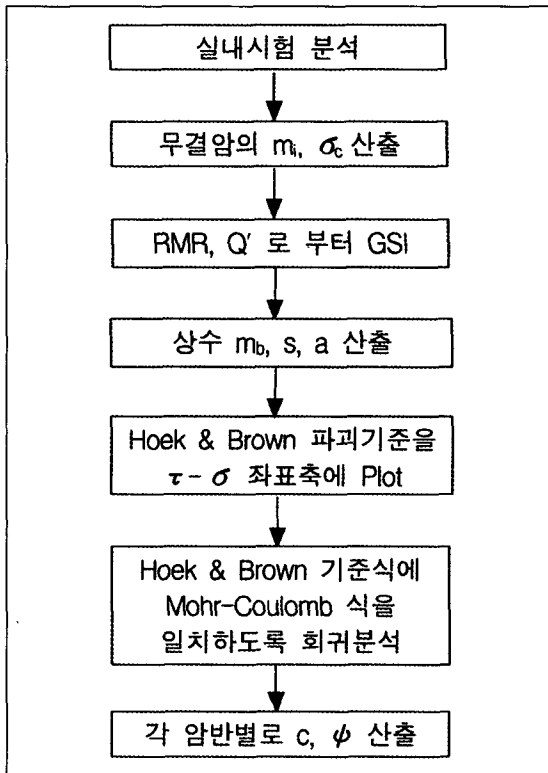


그림 2. 강도정수 산정흐름도

① Hoek&Brown 파괴기준

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c (m_b \frac{\sigma_3}{\sigma} + s)a$

여기서, m_b : 암반의 재료상수

s, a : 암반의 특성에 따른상수

σ_c : Intact Rock의 일축압축강도

σ_1, σ_3 : 유효수직응력 및 구속응력

$- m_b/m_i = \exp((GSI-100)/28),$

$m_b = m_i \times \exp((GSI-100)/28)$

$- GSI > 25 \text{ s} = \exp((GSI-100)/9), a = 0.5$

$- GSI < 25 \text{ s} = 0, a = 0.65 - GSI/200$

② Mohr-Coulomb 강도정수(Balmer, 1952)

$\sigma_n = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\partial \sigma_1 / \partial \sigma_3 + 1}$

$\tau = (\sigma_n - \sigma_3) \times \sqrt{\partial \sigma_1 / \partial \sigma_3}$

$\phi = (\tan^{-1} ((\Sigma \sigma_n \tau - (\Sigma \sigma_n \Sigma \tau)/8) / (\Sigma \sigma_n^2 - (\Sigma \sigma_n)^2/8))) \times 180/\pi$

$c = \Sigma \tau/8 - (\Sigma \sigma_n/8) \times \tan(\phi \times \pi/180)$

$\sigma_{cm} = (2 \times c \times \cos(\phi \times \pi/180)) / (1 - \sin(\phi \times \pi/180))$

여기서, $GSI > 25 \partial \sigma_1 / \partial \sigma_3$

$= 1 + (m_b \times \sigma_c) / (2 \times (\sigma_1 - \sigma_3))$

$GSI < 25 \partial \sigma_1 / \partial \sigma_3$

$= 1 + (a \times m_b^a) \times (\sigma_3/\sigma_c)^{a-1}$

ϕ : 암반의 내부마찰각

c : 암반의 점착력

σ_{cm} : 암반의 일축압축강도

5.2.4 측압계수 K_0

터널굴착이전의 초기응력을 현장에서 직접 측정하는 경우 대상지반의 측압계수는 $K_0 = \sigma_h/\sigma_v$ 의 관계를 이용하여 결정할 수 있으나, 터널설계를 위하여 현장에서 직접 초기응력을 측정하는 경우는 여러 가지 제약조건 때문에 극히 일부에 한하여 수압파쇄시험 등을 이용하여 수행하고 있다. 따라서 해당지반의 측압계수 결정은 여러 전문가들과 기존의 경험식으로부터 제안된 방법 등을 사용하여 결정하는 경우가 있다. 측압계수를 결정하는 원위치 및 검토방법 등은 표13.과 같다.

표13. 측압계수의 산정 및 검토방법

구분	원위치시험	검토방법
암반	수압파쇄시험, AE시험 등	· Sheorey(1994) · Hoek&Brown(1978) · 국내 측정자료

(1) 국내·외 축압계수 제안식

- 최성응의(1994)

$$K_o = 0.889 + 48.04/H$$

- Sheorey(1994)의 제안식

$$K_o = 0.25 + 7 \cdot E_h \cdot (0.001 + 1/z)$$

여기서, E_h : 수평방향 변형계수(GPa)

z : 지표이하 일정심도 이상(m)

- Hoek & Brown(1978)의 제안

$$\text{rm } 0.3 + \frac{100}{H} < K_o < 0.5 + \frac{1500}{H}$$

여기서, H : 지표이하 일정심도 이상(m)

- 이희근, 양형식외(1997), 응용암석역학
- 일본토목학회(1996), 터널 표준시방서(산악공법편)·동해설
- 한국도로공사(1995), 터널설계 실무 자료집
- 한국도로공사(1992), 도로설계요령 - 제4권 터널
- 한국수자원공사(1997), 수로터널의 설계 및 시공지침서
- 한국지반공학회 터널분과위원회(1997), '97터널기술 Work Shop-II(정보화 시대의 터널기술의 위상), pp. 3~29.
- Bieniawski(1989), Engineering Rock Mass Classifications, pp. 51~105.
- Hoek, E. & Brown, E. T.(1980), Underground Excavation in Rock, The Institute of Mining and Metallurgy, London
- Hoek, E.(1990), Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W. F.(1995), Support of Underground Excavations in Hard Rock
- Nick Barton(1995), Permanent Support for Tunnels using NMT, 한국암반역학회, pp. 1~26.

참고문헌

- 건설교통부(1999), 터널설계기준
- 건설교통부(1999), 터널표준시방서
- 건설교통부(1999), 도로설계편람(I) - 제6편 터널
- 대한지질공학회(1999), '99응용지질 WORKSHOP, pp. 92~158.
- 서울특별시(1996), 지반조사편람

도서 판매 안내

- '94 봄 학술발표회 논문집 / 5,000원
- '94 가을 학술발표회 논문집 / 10,000원
- 지반공학시리즈 2 - 얇은 기초(구) / 5,000원
- '94 발포 폴리스티렌(EPS) 이용 성토공법 / 10,000원
- 한 일 합동 세미나 논문집 / 5,000원
- '97 가을 학술발표회 논문집 / 10,000원
- 제11차 ARC 개최전 초청강연 논문집 ; Dr. R.H.G Parry, Prof. A.S. Bala / 10,000원
- 단기강좌Ⅱ : Ground Improvement Using Prefabricated Vertical Drains / 10,000원
- '98 가을 학술발표회 논문집 / 15,000원
- '98 토목섬유(위) 학술발표회 논문집 / 10,000원
- 강관팔뚝의 설계와 시공가이드 / 5,000원
- '99 지반조사(위) 학술발표회 논문집 / 5,000원
- 김상규 교수 퇴임기념 심포지엄 논문집 / 10,000원
- '99 토목섬유(위) 학술발표회 논문집 / 10,000원
- '00 정보화 시공(위) 학술세미나 / 10,000원
- '00지반조사(위) 물리탐사 특별세미나 논문집 / 15,000원

** 무료로 드립니다. **

- 지반공학 관련업체 소개서
- '98가을학술발표회Ⅱ

※ 우편 발송시 우송료는 본인 부담입니다.
한국주택은행 (예금주 : 한국지반공학회)

534637-01-000160

제12회 지반공학회 계속교육 안내

매년 연초에 실시하던 계속교육을 금년부터는 상·하반기로 나누어 년2회 시행하기로 하였습니다. 이에 하반기 계속교육은 우리학회 정보화시공위원회(위원장/한석희)에서 주관하여 “정보화 시공을 위한 계측(이론과 실제)” 이라는 주제로 아래와 같이 제12회 계속교육을 실시하오니 회원 여러분께서는 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

- 다 음 -

1. 일 시 : 2000년 8월 30일(수) ~ 9월 2일(토) / 4일간
2. 장 소 : 한국교통회관 2층 세미나실 (서초구 우면동)
3. 주 제 : 정보화 시공을 위한 계측(이론과 실제)
4. 등 록 비 : 정회원 220,000원 / 비회원 250,000원 (교재, 중식, 리셉션 포함)
5. 등록인원 : 선착순 100명
6. 접 수 처 : 한국지반공학회 사무국 (전화 : 3474-4428/7865 전송 : 3474-7379)

- 강의내용 및 일정표 -

일 자	내 용		강 사	소 속	시간수	비 고
8월30일	State of the art		김학문교수	단국대학교	2	
	계측일반	계측기의 설치와 측정	한석희상무	유신코퍼레이션	3	
		계측기의 구성	남순성박사	이제이	3	
8월31일		터널	박광준박사 유충식박사	대정컨설턴트 성균관대학교	4	교통, 수로터널 및 Cavern
		가시설	오정환사장	한국지오컨설턴트	4	옹벽구조포함
9월1일	계측계획, 분석 및 활용	연약지반	위성동박사 백영인부장	(주)한국도로기술 대림산업연구소	4	단지 및 항만 포함
		댐	김상환박사	대본엔지니어링	2	사력댐을 중심
		사면	정두희교수	부경대학교	2	
9월2일	계측분야의 신기술		이우진교수 장용채교수 양태선교수	고려대학교 목포해양대학교 김포대학	4.5	

발표순서 및 내용은 사정에 따라 조정될수 있음.

불 임 : 참가신청서 1부.