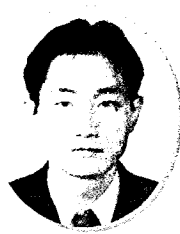


토질역학과 암반역학의 차이점

Soil Mechanics Vs. Rock Mechanics



윤길립
한국해양연구원 책임연구원
(glyoon@kordi.re.kr)



김흥연
한국해양연구원
인하대 박사과정
(bigyeon@kordi.re.kr)



한석주
인하대학교 석사과정
(ahnseo@hotmail.com)

1. 들어가며

본고는 한국에서도 유명한 교재인 “Rock Mechanics Principles in Engineering Practice”의 저자이자 국제암반공학회인 ISRM 회장인 John A. Hudson 교수 (Imperial College of Science, Technology & Medicine, UK)가 최근 국제지반공학회(ISSMGE) 회보(news-letter)에 기고한 시론을 번역한 것을 토대로 작성하였다. 토질 및 암반관련 학회와 이들 분야의 엔지니어들이 다루는 과제의 유사점 및 차이점을 고찰해보고 우리가 해결해야 할 몇 가지 질문들을 함께 고민해보고자 한다. 우리가 살고 있는 세상에 흙은 암석보다 그 양이 적는데 왜 국제암반공학회인 ISRM보다 국제지반공학회인 ISSMGE의 학회규모가 더 큰 것일까? 토질과 암반의 분석방법에서 탄성론 등의 많은 공통된 주제가 있는데, 왜 공학적 설계 시 접근방법이 서로 차이가 날까? 토질과 암반의 파괴 메카니즘(mechanism)은 다를까? 왜 토질역학과 암반역학

에 관련하여 종사하는 연구원이나 기술자간의 교류가 적을까? 왜 토질역학과 암반역학의 두 가지 기술에 모두 능통한 사람들은 거의 없을까? 이러한 다양한 질문들에 대하여 당연하다고 답변하는 회원들도 많겠지만 적어도 한 두 가지에 대하여는 보다 깊이 생각해볼 여지가 있을 것이다. 본 고에서는 이러한 질문들과 함께 우리가 현재 겪고 있는 문제들을 다시 한번 생각해 보고자 기고한다.

2. 왜 국제지반공학회(ISSMGE)가 국제암반공학회(ISRM) 보다 더 규모가 클까?

2009년 두 학회에 대한 통계가 표 1에 나타나 있다. 표 1에서 보듯이 ISSMGE에 비해 ISRM의 법인 회원 수에서 “예외적으로” 더 많은 것을 제외하고는 ISSMGE가 ISRM에 비해 보다 큰 조직임이 분명하다. 이는 예상했던

표 1. ISSMGE와 ISRM의 회원수

	ISSMGE	ISRM
Number of National Groups	86	48
Number of Individual Members	18,323	5,992
Number of Corporate Members	21	125
Number of Technical Committees/Commissions	24	9

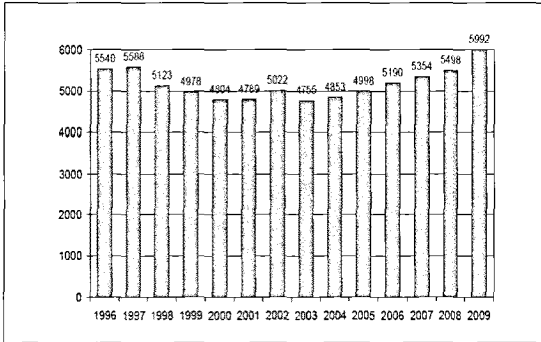


그림 1. 1996~2009년 사이의 ISRM 개인 회원수

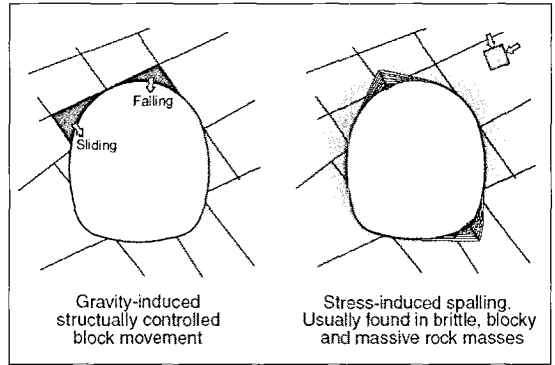


그림 2. 지하 경암지반에서 암반파괴의 두 가지 주요 모드 (after, Professor. Derek Martin)

일인가, 아니면 앞뒤가 맞지 않는 일인가? 지구상에는 흙보다 암반이 더 많고 토질공학에 관련된 프로젝트 보다는 암반공학이 더 거대한 깊이로 파고들어간다. 나아가 채굴한 암석의 막대한 부피를 떠올려보면 흙보다는 암석이 더 무게가 나가지 않는가? 반면, 많은 대도시가 강변의 토질지반 상에 위치해 있고 이때 기초설계는 토질특성의 이해와 세부적인 설계가 고려되어야 한다. 한편, 이러한 일에 종사하는 토질공학자들의 도시 집중은 서로 가까이 있기 쉽다는 것을 의미한다. 산속에 높은 곳이나 땅속 깊은 곳에서 일하는 암반공학자들은 이에 비하면 모이기가 쉽지 않다. 두 학회의 규모면에서 세배의 격차가 나는 것이 다소 미스테리긴 하지만 그림 1에서 알 수 있듯이 ISRM의 회원 수가 현재 증가추세에 있다고 말할 수 있다.

3. 토질역학과 암반역학의 차이점과 유사점

3.1 기존의 균열 (Pre-existing fractures)

토질역학 및 암반역학 설계시 큰 차이점 중에서 한가지

는 블록파괴와 관련이 있다. 우리가 지중에서 암반역학적 파괴에 대하여 설계할 때에는 두 가지 주요한 파괴모드가 존재한다. 즉, 암반블록파괴(rock block failure)와 응력유발파괴(stress-induced failure)가 그것이다(그림 2)

토질역학에서 인위적인 구조물의 크기에 비교할 때 흙의 입자는 그 크기가 미소하다. 하지만 암반역학에서 암반의 자연적 균열에 의해 생성된 암 블록들은 인위적인 구조물에 비해 더 작거나 같은 크기이거나 혹은 더 클 수도 있다. 이것은 지반조사 시 기존의 암반균열이 암 블록을 형성할 수 있는지, 만일 그렇다면 계획된 굴착면으로 암 블록이 떨어지거나 미끄러질 수 있는지 입증하는 식으로 접근해야 한다는 것을 의미한다.

암 블록이 가질 수 있는 최소면의 수는 4개(tetrahedral block)이다. 이 면들 중 하나는 굴착면이 될 수 있고 블록을 형성하는 데에는 암반 내에 적어도 세 개의 불연속면이 필요하다. 주어진 불연속면에 대한 자료를 통해 구체적인 굴착 형상에 대한 파괴가능성을 증명하거나 블록의 불안정 가능성을 줄이기 위해 최적화된 형상을 결정하는데 컴퓨터 프로그램이 사용된다. 두개의 단층으로 인해



그림 3. 서부 오스트레일리아 Teutonic Bore 노천채굴 광산의 대규모 썬기파괴

주로 유발되는 노천채굴 광산의 썬기파괴 전경이 그림 3에 나타나있다.

3.2 지반에서 초기응력 (In situ stress)

토질역학과 암반역학 사이에는 공통점도 많이 있는 반면 중요한 차이점도 있다. 그 차이점 중 하나는 암반역학에서는 초기응력을 매우 중요시 한다는 것이다. 일반적으로 암반에서 초기응력의 수평성분 크기는 수직성분보다 더 크다고 알려져 있고(tectonic plate forces에 의해 유발), 그것은 주응력의 크기와 방향을 파악하는데 있어 유용하며 매우 중요하다. 중국의 JinPing II hydroproject에서 발생한 응력유발 암반파쇄가 그림 4에 나타나 있다.

우리가 알고 있듯이 암반공동이나 터널의 방향을 계획하는데 있어 유연성이 있다면 응력유발 피해를 최소화하기 위하여 최대 수평응력 성분의 방향으로 굴착하는 것이

유리하다. 지하 방사성 폐기물 저장소의 설계제안 예가 그림 5에 나타나 있다. 수 킬로미터에 걸쳐 터널을 포함하고 있는 이 프로젝트는 그 방향에 유연성이 있다.

지역적인 초기응력의 경향은 WSM(World Stress Map) 자료를 통해 얻을 수 있지만 국부적인 응력은 지역적인 경향과는 혼동될 수 있으므로 프로젝트가 수행되는 현장에서 암반의 응력을 측정하는 것이 필수적이다. 하지만 이러한 작업은 결코 쉬운 일이 아니다. 어떠한 응력측정시 문제에 직면하게 되는데 그것은 여섯 개의 독립적인 요소를 가진 완벽한 응력텐서(stress tensor)를 직접 측정하는 것은 불가능하기 때문이다. 그러므로 응력을 제거한 후에 암반의 변위를 측정하거나(overcoring method), 유압을 이용하거나(hydraulic testing methods), 간접적인 방법(test on borehole cores)을 사용해야 한다.

토질역학에서 보통 초기응력의 중요성이 크게 부각되지 않는 이유는 토질구조물 설계가 암반설계 시 보다 비



그림 4. 중국 쓰촨성 야룽강의 JinPing II hydroproject에서 터널 어깨부의 암반파쇄

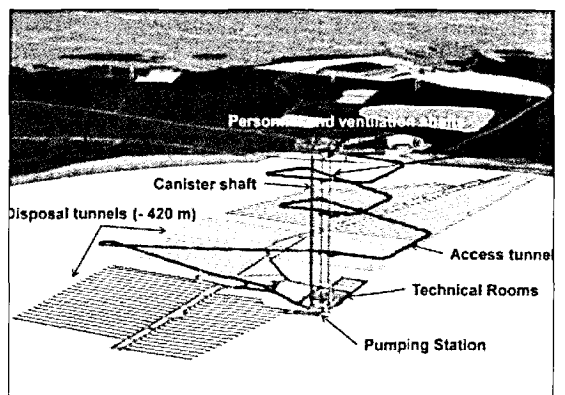


그림 5. 주요 수평 주응력의 방향과 일치하는 방사성 폐기물 저장소의 방향성(Posiva Oy, Finland)

교적 낮은 심도에서 이루어진다는 점과 수평 주응력의 크기에 현저한 차이가 없다는 이유가 주된 이유이다.

3.3 유효응력과 파괴규준

유효응력의 개념은 토질역학에서 잘 설명되지만 물이 무결암반(intact rock)을 통과하는 것보다 암반 블록들 사이의 균열을 따라서 더 빠르게 이동하는 파쇄된 암반에서는 유효응력 개념을 적용하기 쉽지 않다. 그러므로 암반역학에서 사용되는 파괴규준은 Mohr-Coulomb 및 Hoek-Brown 규준이지만, 두 가지 규준 모두 3개의 주응력 중에서 2 개만을 사용하고 있다. 따라서, 현재 암반역학에서는 3개의 주응력을 포함하는 대략적인 규준이 필요하다는 비판도 있다.

3.4 설계와 수치모델링 (Getechnical design and numerical modelling)

수치모델링은 토질역학과 암반역학에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그림 6의 설계 흐름도는 암반역학에서 여덟가지 설계방법이 나타나 있다. 이 방법들은 왼쪽에서 오른쪽으로(방법 A에서 D로) 갈수록 점차 복잡해진다. 첫째 열은 1:1 맵핑(mapping)방법(즉, 인위적인 구조물의 형상이 직접 모델로써 모사됨)이며, 둘째 열은 1:1 맵핑을 하지 않는 방법으로 총 4행 2열로 구성되어 있다.

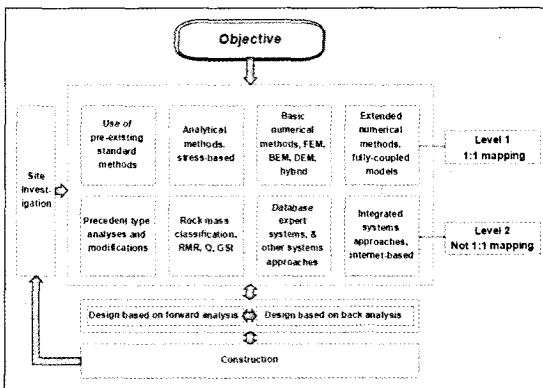


그림 6. 암반공학에서 사용하는 설계방법

방법 A와 B가 기본적인 설계 접근법에 성공적으로 활용되고 있는 동시에 방법 C와 D의 활용을 촉진하려는 움직임도 강하게 일고 있다. 방법 C의 기법은 현재 잘 정립되어 있으나, 수치해석법이 열적-수리적-역학적-화학적으로 조합된 시스템의 설계문제를 다룰 수 있고 인터넷에 기반한 접근법과 연동하여 운용할 수 있다는 면에서 방법 D의 기법을 개발하는데 보다 많은 연구가 필요하다. Hudson 교수는 아직도 암반공학적 설계를 위한 컴퓨터 프로그램의 활용을 검증할 수 있는 국제적인 기법이 없다는 점에 대해서 의구심을 가지고 있다. 한편, 최근 Chinese Academy of Sciences의 Xia-Ting Feng 교수(차기 ISRM 회장, 2011~2015)가 이끄는 ISRM 위원회 중 하나가 적절한 검증자격을 개발하는데 노력을 기울이기 시작했다.

3.5 토질 및 암반역학에서의 전문지식

위에서 언급한 문제들을 돌아볼 때, 각 접근법들 사이에 너무나 많은 차이점이 있음으로 인해 토질역학과 암반역학에 모두 능통한 사람이 거의 없다는 것을 당연한 일로 받아들이는 것인지 모른다. 다른 한편으로 양쪽의 문제 모두에 지식이 필요한 경우도 있다. 풍화암, 휴과 암반에 동시에 놓이는 기초, 두 가지 재료에 조우하게 되는 막장면의 터널링과 견고하고 강한 흙 또는 부드럽고 약한 암반을 고려해야 하는 지반의 경우가 그 예이다.

3.6 국제지반공학회(ISSMGE)와 국제암반공학회(ISRM) 사이의 잠재적 상호작용

이상의 함축된 토론으로부터 ISSMGE와 ISRM 사이의 상호작용이 얼마나 더 진행되어야 하는지를 당장 결론 내리기는 부족하다. 대학원 과정동안 토질역학 및 암반역학을 공부하는 학생들을 위한 지질공학, 탄성론, 점탄성론과 소성론 등 많은 일반교양 과목들이 있다. 더구나 수치해석 기법이 가지는 상호연관성은 양쪽 모두에 동등하게 적용되어야 한다. 아직은 접근원리, 지반조사 기술과 각 주제별 특정한 설계기법은 최종적인 해석에서 다소 차

이가 있다. Hudson 교수는 아울러 총체적인 교육, 연구 또는 공학적 기반에서, 또한 상기 모든 지적을 상기해볼 때, 그러한 상호작용이 필요하고 이미 늦었다고 생각하면서도 어떻게 ISSMGE-ISRМ 상호관계를 발전시켜야 하는지 명확한 해답을 찾지 못하고 있으며 동시에 누구든 해결책을 알고 있는 방법을 제안해 달라고 호소하고 있다.

4. 결 언

본고에서 언급한 메시지는 암반역학을 전공한 학자의 시각에서 국제학회에 제기된 의견이다. 하지만 이는 국제적인 견지에서뿐만 아니라 국내에서도 같은 고민을 해볼 필요가 있다. 국내의 지반관련 학회도 그 분야와 구성에 있어 국제학회와 크게 다르지 않기 때문이다. 국내에도 토질역학 분야의 대부분 전문가들이 구성하고 있는 우리 지반공학회와 암반역학 및 터널공학에 관련된 전문학회가 있다. 특히, 위에서도 언급되었지만 토질과 암반은 동일

한 공간 내에 공존하는 이유로 상당수 많은 학자나 기술자들이 두 가지 분야를 모두 다루고 있을 뿐 아니라 두 개 또는 그 이상의 학회에서 활동하기도 할 것이다.

토질역학을 전공하면서도 암반역학을 등한시하고 암반역학을 전공하면서도 토질역학을 외면하는 자세가 어제 오늘의 일이 아님을 다시 한번 고민할 필요가 있다. 다른 한편으로 생각해보면 상당수의 지반공학자들이 실무에 종사하면서 암반역학과 관련된 문제에 어려움을 느끼고 있음은 분명한 사실이며 반대로 암반공학자들이 느끼는 어려움도 마찬가지일 것이다. 그러한 측면에서 토질공학을 전공하는 대학원 과정에서 토목지질학, 암반역학이나 터널공학 등의 수강기회가 늘어가고 있음은 그나마 다행스러운 일이라 하겠다. 위에서 언급되었듯이 토질역학 및 암반역학 사이에 상호 다른 점이 더 많다고 간주하더라도 기본이론 외에 설계나 시공실무에서 양쪽의 기술자들이 어떤 한 가지 재료만을 취사선택하기는 불가능한 일이라는 것이 우리가 현재 느끼고 있는 가장 중요한 공통점이 아닐까 고민해본다.

한국지반공학회-카자흐스탄지반공학회 세미나 안내

1. 일시 : 2010. 7. 19(월) ~ 2010. 7. 24(토)
2. 장소 : 카자흐스탄 유라시안 국립대학교 국제회의실
3. 주제 : Geotechnics in Megacities and New Capitals
4. 발표분야 :
 - Construction in restrained urban areas.
 - Preservation of existing structures taking into account soil-structure interaction.
 - Urban environmental geotechnic.

※ 세미나 일정 및 논문작성법 등 자세한 사항은 홈페이지(www.kgshome.or.kr)를 참조하시기 바랍니다.