

지질공학적 사고에 대한 인식의 전환

김 영 기 (Young-Ki Kim)

경북대학교 지질학과

Engineering Geology를 필자는 지질공학(地質工學)이라 한다.

지질공학은 지반(地盤)의 토질 및 암석의 거동을 역학적인 관점에서의 지질역학(地質力學, Mechanical Geology)과 공학적 판단을 가하여 실제의 공사 등에 응용되는 기초학문이다. 이 분야에서의 중요 부분은 토목 시공 과정 또는 시공후에 발생할수 있는 지질적 문제(지질약선대의 문제 및 지질역학적 문제)등에 대한 조사연구인 것이다. 따라서 지질공학자는 암반의 기계적인 응답에 대한 요소들을 지질도에 표시하여 시공상의 문제점을 검토, 연구하여 착공 여부를 결정하고 지반보강 또는 지질개선을 실시케 한다. 문제 중 지반의 거동은 물질 자체의 성질과 불연속성면에 있다. 물질자체의 성질은 입자의 크기에 있고 구조적 집합성에 있는 것이다. 불연속성면은 미세한 균열에서 거대한 단층면에 이르기까지 존재하며, 구조지질역학적 성격에 있다.

미고결체(토질)에서는 입자의 크기에 따라 점토질, 사질, 역질로 구분하고 이들의 혼합율과 함수성에 따라 토질을 분류하고 역학적 성격을 구명하게 된다. 고결체(암석)는 광물입자의 크기와 광물입자의 종류에 있고, 또 입자배열에 있다. 입자의 크기 및 배열은 생성과정의 조건과 환경에 있고 각종 광물의 집합성, 즉 결구성(結構性)에 의하여 암석을 분류하고 그 역학적 특성을 구명하게 된다. 미고결체나 고결체가 정역학적 응력에서 벗어나게 되면 불연속성면이 발생하게 된다. 따라서 지표에 노출된 모든 암석은 불연속성면을 형성케 된다. 불연속성면은 표면에 나타나있는 면과 내면적인 면이 있다. 균열, 절리, 단층, 층리등은 표면에 나타나는 불

연속면이고, 암석의 결과 같은 것은 내면적인 불연속성면이라 할 수 있다. 우리나라는 미고결층(토층)이 많아, 암반노출이 많은 나라다. 따라서 미고결층은 제거하게되어 암반층을 대상으로 한 토목시공이 대부분이다.

지각을 구성하고 있는 물질을 우리들은 암석이라하고 이 암석은 광물입자(mineral skeleton)들로 이루어져 있으며 크기, 모양, 자세, 배치, 강도 및 분리 등의 불균질성 암석체이다. 따라서 암석은 지표에 노출됨에 따라 균열을 내포하고 지역적인 지질영역에 의해 변화되고 있다. 이들 변화는 평형(화학적인)을 유지하고 균형(물리적인)을 이루기 위해 끊임 없는 활동 -지각운동, 풍화작용 퇴적작용, 하중에 의한 응력변형(stress deformation), 하중제거에 의한 응력이완(stress relief)-을 하고 있다. 지구 표면은 끊임없는 변화를 일으키고 있어서 어느 시기에 달하면 하중 증가(퇴적시기)가 일어나게 되고, 또 어느 시기가 되면 하중의 제거(화성활동 및 삭박작용)가 일어나게 되어 균형(해체시기)을 이루려는 시기가 있게 된다. 이 활동은 긴시간에 걸쳐 서서히 일어나기 때문에 눈에 띄지도 않고 느끼지도 못한다.

이와같은 변천의 시기는 연속적으로 일어나고 있는 것이다. 이 변천은 자연적 현상이지만 인위적인 자연환경의 변화는 지역적인 변화를 가져오게 되므로, 다시 돌이킬수 없는 자연환경(새로운 자연 변천을 만들게 됨)으로 변화시키는 것이다. 이런 현상을 우리들은 "환경파괴"라 한다. 환경파괴 중 자연을 대상으로 한 파괴가 더 심각하다. 터널, 댐, 고층 건물, 지하수 개발 등이 자연변천을 강제로

변화시키는 꼴이 되며, 터널 및 도로공사 등을 위한 절취는 강제 응력 해방을 일으키는 꼴이 되고, 댐 및 고층건물의 집단화는 강제하중 증가를 시키는 꼴이 된다. 지하수 배출은 지하수 장해(수위강하로 응력의 불균형)를 가져올 뿐 아니라 변화를 위한 촉진제가 된다.

따라서 인위적인 것이 아닌 자연계에서의 변화를 측정하기란 매우 어렵다. 어느 정도의 규모를 대상으로한 시험을 결정하여야 그 지반에 대한 응답을 얻을 수 있을지가 문제 되고(문제1), 또 어떤 내용의 시험을 실시하여야 현재와 미래(시간적)에 대하여 예측이 가능한가가 문제된다(문제2). 또 개개의 요소는 상호간섭을 하고 있어서 각각 독립된 것으로 생각하여서는 안된다. 하나의 요소가 다른 요소에 어떤 영향을 미치는지를 확인하여야 할 것이다(문제3). 일반적인 개념은 정적상태로서 취급하고 있고, 초기적(현재의) 상태 개념을 바탕으로 한 수치해석을 하고 있다. 흙은 흙입자(입자역학)로서 암석은 암석블록(암석역학)으로서의 해석인 것이다. 정적 해석 및 초기응력(현재의) 상태로 한 수치해석은 위험한 일이라 할 수 있다. 즉 지질적 연속체로서 그리고 기계적 지질시간(mechanical geologic time)을 바탕으로한 해석이 요구된다.

암반은 자연계에 있어서 형성된 것이기에 그 특성은 측정되지 않으면 안된다. 그 특성은 암석자체의 결구성(fabric)과 원위치 응력(in-situ stress)에 있고, 또 암석에는 단열(fracture)이 있어서 동일한 암체에서 채취된 시료도 각기 다른 값을 얻게될 뿐 아니라, 응력 해방에 따른 마찰저항의 감소와 원위치 응력에 대한 효과도 다르게 나타난다. 이러한 지질적 문제를 해결하기 위하여 많은 지질공학자들은 각종 특성들을 분류, 구분하고 있다. 예, Barton의 "Rock Mass Quality", Wickham-Tiedman의 "Rock Structure Rating" Bieniawski의 "Rock Mass Rating" 등 암반공학적 분류를 하고 있다. 불연속면에 대하여도 구면투영도(stereographic projection)를 이용 운동학적 고찰을 하고 있다. 이상은 시공을 위한 공학적 사고 방식에서 이루어 졌다. 또 암석의 물성적 특성을 알기 위하여 탄성적 성질을 밝히고 시간에 따른 변형성도 도출하고 있다.

그러나 이것만으로는 문제를 해소하기에 미흡하

다. 국가가 건설계획을 수립할 때에는 지질역학적 자료가 수록된 지질역학도(mechanical geologic map)에 의해 계획·수립되어야 할 것이다 (지질역학도 : ① 암체의 응력 ② 불연속성면의 역학(구조 지질역학) ③ 수리지질(지하수유동) 등이 내포된 지질도). 예를 들면 굴업도를 핵폐기물 지하 저장지로 선정하였다가 활성단층의 존재가 확인되어 취소된 바 있다, 이는 큰 문제가 아닐수 없다. 단편적이고 국부적인 조사시험이 시간과 비용을 절감하리라 생각하는 것은 잘못된 것이다. 종합적이고 광역적인 조사연구에 의해 제작된 지질역학도의 바탕에 의해 시행되어야 할 것이다. 이것이 오히려 시간과 비용을 절감시키는 일이 된다. 한번 제작된 지질역학도는 영원히 모든 토목시공에 이용, 활용할 수가 있을 뿐 아니라 그 지역의 자연환경에 알맞는 국토건설계획을 수립할 수 있기 때문이다.

또 이 지질역학도는 문제 1), 2), 3)을 해소할수 있는 기초자료가 될수 있기 때문에 현재 시행실시되고 있거나, 예정지 즉, 비행장, 철도, 댐, 핵폐기물 저장지, 석유 저장지, 고속도로 및 터널 건설지 등에 대하여 지질역학도가 제작되어야 할 것이다. 이 지질역학도의 제작기관은 대학 또는 연구소등이 타당하나 지질역학적 조사·연구를 수행할 수 있는 인원 및 시설이 준비되어 있지 않으면 안되므로 인원과 시설이 있는 기관으로 하여금 연차적으로 계획 시행 실시하여야 할 것이다. 지질공학자는 공사가 아닌 조사연구에 의해 시공에 따른 문제점들을 해결해주는 의사인 것이다.

암석이 정역학적 상태에 있는 깊이는 (예. 화강암 압축강도 $2147\text{kg}/\text{m}^2$ 일 때, $\sigma_h/\sigma_v=1$ 이 되는 깊이, 단위중량 \times 심도= $2.616\text{kg}/\text{m}^3 \times 821\text{m}=2147\text{kg}/\text{m}^2$, 박덕원. 1995) 1000m이내(J.A.Hudson, 1989. "Rock Mechanics Principle in Engineering practure")가 된다. 그러나 실제 토목공사에 해당하는 심도는 500m이내인 것이다. 특히 연질(軟質)인 암석(강도: $500\text{kg}/\text{m}^2$ 이내-중생대 이질암(泥質岩), 신생대 사암, 이암 또는 미고결층)은 얇은 심도에서 주응력(主應力)은 $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$ 조건, 즉 정수압(靜水壓)에 이르게 되고 전단응력(剪斷應力)은 0이 된다. 수평응력(σ_h)의 평균값은 토목공사에 관련된 깊이에 있어서 일반적으로 수직응력(σ_v)성분보다 크게 나타난다. 이렇게 되면 암석체는 붕괴에 이르게 되고, 지하수

의 유출이 있을 시에는 이를 가속화시킬 것이다. 이와같은 예는 지하철 공사나 터널 공사시에 흔히 볼수 있는 현상인 것이다. 이는 암반공학적 문제라기보다 지질역학적 문제라 할 수 있다. 따라서 이 모든 것이 지질역학도에 기재될 수 있는 것이다.

우리나라는 산업발전과 더불어 국토 건설 사업이 활발히 진행되어 왔다. 고속도로, 댐건설, 지하철 건설 등 수없이 대형 건설사업이 진행되어 왔는데, 이는 공학적 연구에 의해 많은 발전이 되어왔을 뿐이다. 기초과학인 지질공학은 공사를 위한 절차에 따른 행위에 불과한 것이었고, 지질공학전문가 역시 토목공학에 예속한 분야인양 공학적 사고방식을 버리지 못하고 있다. 또 현 대학에서 지질공학 강좌를 맡고 있는 교수는 거의 모두 공학박사 학위소유자이고 이학박사 학위 소유자는 없는 것으로 알고 있다. 이들 조사연구 논문을 보면 거의 대부분이 공학적 연구 검토를 하고 있다. 이는 문제가 아닐수 없다. 지금이라도 지질공학 전문가들은 공학적 사고방식이 아닌 이학적 사고방식을 갖고 조사 연구에 임하여야 할 것이다.

수리지질도(hydrogeologic map)를 수맥도(水脈圖)(농업기반공사)라 하고 있다. 이는 지하수의 유동에 대하여 전혀 모르고 일반인들의 사고에 따르고 있기 때문이다. 제주도의 용암굴(lava tube), 석회동(石灰洞)의 지하천에서나 볼 수 있는 현상을 수맥이라 할수 있을지 모르나 지하수는 압력에 의해 형성되는 단위인 것이다. 지하수는 암체내에 함수되었다가 시추 또는 굴착에 의하여 뿜어나와 지하수면을 형성케 되는 것이다. 이 지하수면은 압력에 의한 것이지 따로 수맥이 있는 것은 아니다. 또 지하의 응력(σ)은 지하수의 압력(μ)과 입자의 응력(σ_s)의 합($\sigma = \mu + \sigma_s$)인 것이다. 그런데 어떻게 수맥이 있을 수 있는가?

정부나 일반인들은 지하수 개발에만 문제를 삼고 있지 수위변동(水位變動)은 전혀 고려하지 않고 있다. 이는 장차 일어날 수 있는 엄청난 재해를 모르고 있기 때문이다. 우선 개발하고자 하는 지역 주변의 자연수위에서 안전수위까지의 수위변동을 알아야 할 것이다. 만일 이 이하의 수위변화가 일어날 경우, 이 일대의, 지하수는 오염되기 쉽고 지하수는 고갈되기 시작하여 지반응력은 불균형을 일으키게 되어 붕괴에 이르게 될 것이다. 제주도에서는

“무분별한 개발로 용천수(湧泉水)가 줄어들고 있고, 동쪽 해안일대(구좌, 성산, 표선리)는 해수침입 범위가 커지고 있다(김영기, 1991.6 ‘濟州道の 地質環境에 대한 影響評價’). 울릉도에서는 화산성 물질이 생성이후 경과시간이 짧아 미고결 또는 고결이 불완전하여 불안정한 지반을 형성한 곳이 많다. 이런 지반을 공학적으로 악성지반(惡性地盤)이라 하고 있다. 울릉군 저등에 분포된 화산쇄설성 퇴적층 지반이 지하수 유출로 인하여 침하, 붕괴되어 마침내 활동까지 일어나기도 하였다(김영기, 1980. 第四紀 火山岩 分布地域에 頻發하는 地質災害). 시공중 지반이 붕괴되었을 때 “지질이 불량하여”란 말을 들은바 있고, 보고서에서도 본바 있다. 어떻게 지질이 불량할 수 있는가? 그 지역의 지질특성인 것을... 암석의 경연(硬軟)분류표에 의하면 사암은 연암으로 되어있다. 고생대, 중생대 및 신생대 사암은 각기 전혀다른 강도 특성을 갖고 있는데도 말이다. 또 지반조사에서는 관입저항 시험을 실시하게 되어 있어 암반위에서도 시험을 실시하니 이 얼마나 한심한 일인가?

지질공학 전문가들은 공학(工學)쪽보다는 이학(理學)쪽 사고바탕에서의 조사, 연구가 갈망된다. 이제 더 이상 시간을 보낼수 없다. 인식의 전환점에 와 있다고 하겠다.

김영기
 경북대학교 명예교수
 대구광역시 수성구 상동 65-7번지
 Tel: 053-763-5907
 e-mail: dsgueng@hanmail.net