대심도 암반거동 특성

Ⅰ. 개요

1. 최근 도로 및 철도 터널의 건설프로젝트가 증가함에 따라 토피고가 수백m에 이르는 대심도 산악지형을 통과하는 장대터널 구간이 발생하고 또한 고준위 방사선폐기물(High Level Waster) 지하처분 이산화탄소 지중저장, 고압압축공기, 지하저장등과 같이 심도 500m이상의 대심도 암반에 건설되는 지하공간 프로젝트들이 활발하게 계획되고 있는 실정이다.
2. 대심도 암반굴착의 경우 암반강도 및 현지응력에 따라 Rock Burst 등과 같은 취성파괴와 Squeezing, Swelling 등과 같은 과대 변위거동이 발생할 수 있다.

Ⅱ. 신선암 강도와 시료교란

1. 시료교란
   1) 일반적으로 심도 500m이상 또는 수 Km지점에서 채취한 암석 core는 시료교란이 발생하기 쉽고 이러한 과정은 실험실 물성에도 영향을 미친다.
   2) 대심도 채취된 암석시료로부터 물성을 구할 때는 반드시 신선암의 시료교란(sample disturbance of intact rock) 가능성을 고려한다.
   3) 응력을 받고 있는 암반으로부터 core시료를 시추하는 과정은 sampling지점에서 응력집중을 유지하고 이러한 응력집중이 충분히 크면 입자크기의 미세균열이 발생하여 미세균열 축적 및 성장이 최종적으로 core discing 현상을 유발하게 된다.
2. 미세균열 축적은 신선암 역학적 특성 변화시킨다.
   1) 단축압축강도의 감소
   2) 영률의 감소
   3) 포아슨비의 증가
   4) 공극률과 투수계수의 증가
   5) P파속도 감소
3. 시료교란에 영향을 받는 물성에 근거하는 설계기준을 사용할 때는 이러한 현상을 고려하는 것이 매우 중요하다.

Ⅲ. 대심도 암반강도 추정

1. Hoek-Brown 파괴기준이용
   1) $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c(mb\frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s)^a$

      여기서 σ_c: 신선암 단축압축강도(일축압축강도)

      ① 암반의 신선암 단축압축강도(σ_0)

      ② 신선암 Hoek-Brown 상수 mi

      ③ 암반의 GSI값
   2) 기존의 Hoek-Brown 변수가 얕은 심도의 터널과 주변 연성암반 전단강도를 평가하기는 적절하지만 대심도 주변 경암 강도를 추정하기는 적절하기 않다는 증거가 점차 증가하고 있다.
2. 입자유동코-드(PFC: Particle Flow Code)
   1) 입자유동코드는 암석의 파괴과정을 추정하기위해 수치모델을 이용하여 광물조직규모 등을 모사한다.
   2) 그림 8-4는 이러한 수치모사로 구한 전형적인 축 방향 응력, 변형률 곡선으로부터 손상개시, 최대강도, 변형률 등을 파악할 수가 있다.

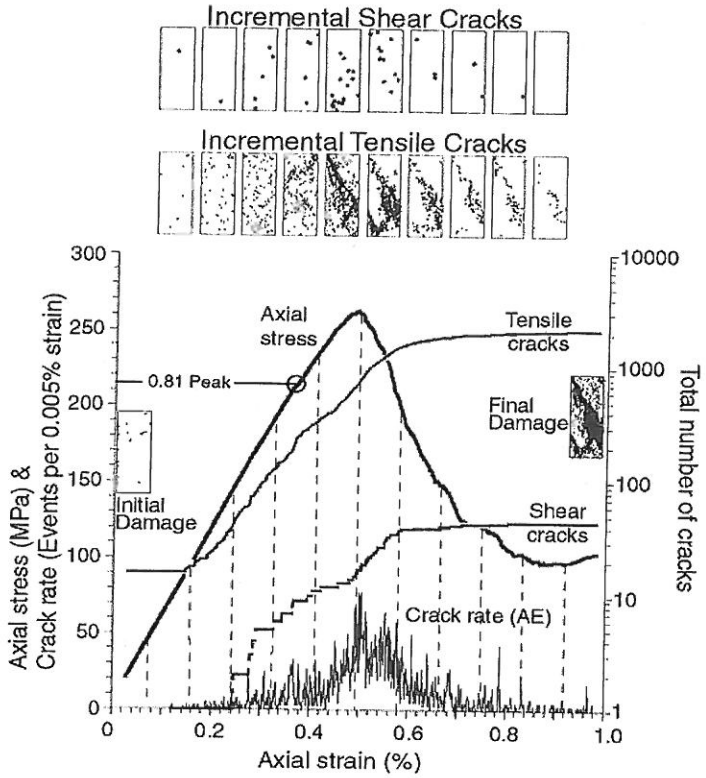


그림 8-4. PFC 모델로 구한 축방향 응력 대 축방향 변형률 곡선의 예(after Diederichs, 1999).

Ⅳ. 대심도 암반 문제점

1. Squeezing(압착성)

1) Squeezing은 연약한 암반의 변형률 및 강도 특성과 관련이 있어 굴착으로 인한 내공변위가 발생되어 터널붕괴 및 지보재 파괴를 유발한다.

2) 암반의 취약구간에 creep변형에 의해 하중재하 또는 응력제거 시 치약 짜듯이 흘러(융기)나오는 현상

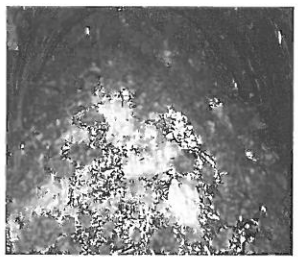
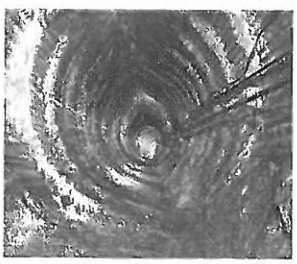
2. Rock Burst

1) 암반에 축적된 에너지가 굴착으로 방출되며 파괴되는 현상

3. Slabbing 및 Spalling

1) 굴착 후 암반이 판상이나 조각상으로 떨어져 나가는 현상

표 8-1. 대심도 암반공동에서 발생 가능한 안정성 문제(after 정치광 외, 2009)

구분		스퀴징	록버스트	슬래빙 / 스폴링
개요도				
특징	발생 원인	토피가 높고 암반강도가 약한 경우(파쇄대 등)	암반에 축적된 에너지가 굴착으로 방출되며 파괴	굴착 후 암반이 판상이나 조각상으로 떨어짐
	암반 상태	– static load – high confinement 과다한 변위 발생	– dynamic load – low confinement 암반 폭렬 및 seismic event	– static load – high confinement 암반 탈락
국내사례		솔안터널, 원효터널		석유비축기지

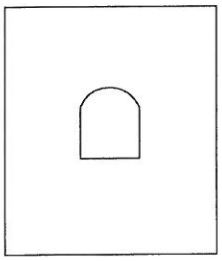
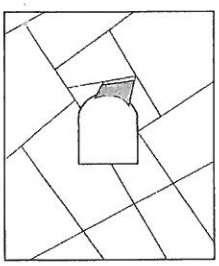
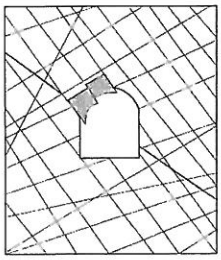
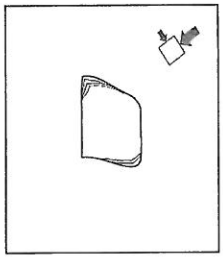
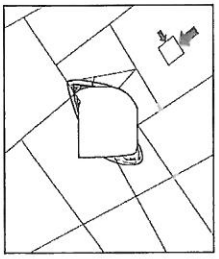
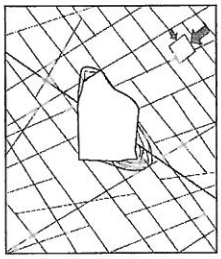
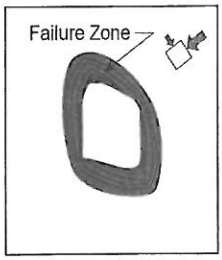
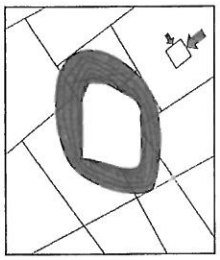
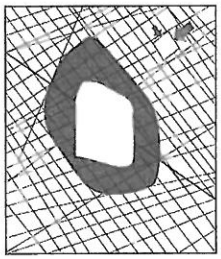
	Massive (GSI > 75)	Moderately Fractured (50 > GSI < 75)	Highly Fractured (GSI < 50)	
Low In-Situ Stress ($\sigma_1 / \sigma_c < 0.15$)	 Linear elastic response.	 Falling or sliding of blocks and wedges.	 Unravelling of blocks from the excavation surface.	Di < 0.4 (±0.1)
Intermediate In-Situ Stress ($0.15 > \sigma_1 / \sigma_c < 0.4$)	 Brittle failure adjacent to excavation boundary.	 Localized brittle failure of intact rock and movement of blocks.	 Localized brittle failure of intact rock and unravelling along discontinuities.	0.4 (±0.1) > Di < 1.1 (±0.1)
High In-Situ Stress ($\sigma_1 / \sigma_c > 0.4$)	 Brittle failure around the excavation .	 Brittle failure of intact rock around the excavation and movement of blocks.	 Squeezing and swelling rocks. Elastic/plastic continuum.	Di > 1.1 (±0.1)

그림 8-6. 암반등급(GSI)과 응력비(σ_1/σ_c)의 함수로 표현된 지하공동의 불안정과 파괴모드
(Martin et al., 2001; modified from Hoek et al., 1995)