

암석의 성인별 한계변형률 특성에 관한 연구

A study on critical strain properties of intact rock due to Petrogenesis

김영수¹⁾, Young-Su Kim, 박시현²⁾, Si-Hyun Park, 김대만³⁾, Dae-Man Kim, 신지섭⁴⁾, Ji-Seop Shin, 한희수⁵⁾, Hee-Su Han

- 1) 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Kyungpook Nat. Univ.
- 2) 한국시설안전기술공단 지하시설실 팀장, Director, Dept. of Underground Structure, KISTEC.
- 3) 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 박사, Doctor, Dept. of Civil Eng., Kyungpook Nat. Univ.
- 4) 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 박사과정, Doctor Course, Dept. of Civil Eng., Kyungpook Nat. Univ.
- 5) 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 석사과정, Master Course, Dept. of Civil Engineering, Kyungpook Nat. Univ.

SYNOPSIS : This study was conducted in order to know the internal application of the critical strain graph. To evaluate critical strain graph, we carried out an uniaxial compression test with some of internal rocks: sandstone, shale, weathered granite, and pink granitic. Based on the uniaxial compression test, we deduced relations among critical strain, failure strain, uniaxial compression strength and modulus of elasticity. As a result, the study has found out the rocks, which have been tested, can be possibly evaluated by critical strain graph.

Keywords : critical strain, uniaxial compression strength, rock

1. 서론

Sakurai(1982) 등은 설계 및 시공 중 터널 및 지반의 안정성 평가를 위한 관리 기준치로서 변위를 이용한 직접변형률 평가법을 제시하였다. 변위계측은 정확성, 효율성 그리고 경제성 측면에서 응력계측보다 유리하기에 많이 적용되고 있다. 이에 Sakurai(1982)는 그림 1과 같이 화강암, 응회암, 역암, 사암, 실트암, 이암, 모래, 실트에 대한 일축압축강도 시험 결과를 바탕으로 직접변형률 평가법의 기준치로 사용되는 한계변형률과 한계변형률 도표를 제시하여 이를 터널 안정성 평가지표로 이용하였다. 또한 일축압축강도시험에서 얻은 한계변형률을 허용치로 하여 지반의 변형률을 추정하여 터널의 안정성을 평가한 결과 양호한 결과를 얻었다.

이에 본 논문에서는 국내에 직접변형률 평가법을 적용하기 위하여 다양한 국내 암석을 대상으로 실내 일축압축실험을 실시하여, 그 결과 및 고찰을 기존의 Sakurai(1982)의 한계변형률 도표와 비교하여 국내 암석의 한계변형률 특성을 규명하고자 한다.

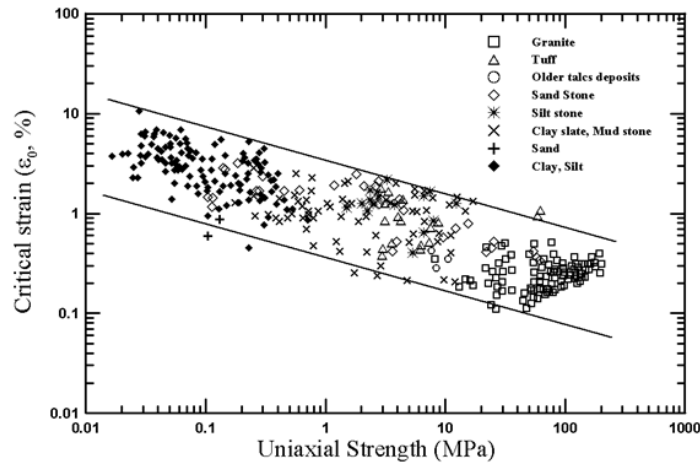


그림 1. Sakurai(1982)가 제시한 한계변형률 도표

2. 암석의 한계변형률의 정의

암석공시체의 일축압축강도시험의 결과를 이용하여 Sakurai(1982)는 식 (1)에 나타난 한계변형률을 제안하였다. 즉, 암석의 일축압축강도와 탄성계수의 비를 한계변형률로 한다. 일반적으로 공시체의 탄성계수는 그 측면의 대칭위치에 부착된 변형률게이지에서 시험 재하중의 변형률을 계측하고 그 응력-변형률 관계에서 초기탄성계수 혹은 압축강도의 50%응력에서의 접선 탄성계수로 하여 평가된 E_{50} 가 이용되고 있다.

$$\epsilon_0 = \frac{\sigma_c}{E} \quad (1)$$

여기서 ϵ_0 : 암석의 한계변형률
 σ_c : 암석의 일축압축강도
 E : 탄성계수

3. 실험 개요

3.1 실험에 사용된 암석 시료

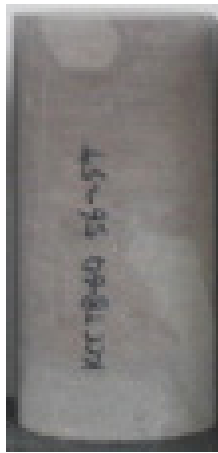
본 연구에서는 퇴적암으로 사암과 셰일을 화성암으로 풍화화강암과 핑크색화강암을 대상으로 일축압축시험을 실시하였다. 실험에 사용된 암석코어의 물성의 범위를 표 1에 나타내었으며 사진 1에 각각의 암석코어를 나타내었다.

표 1. 실트질 모래의 물성치

암종	흡수율	겉보기 비중	탄성과속도 (km/sec)		포아스비
			P파	S파	
사암	-	2.16~2.18	0.97~1.34	-	0.05~0.47
셰일	0.05~2.13	2.43~2.98	2.11~11.59	1.55~8.17	0.19~0.42
풍화화강암	-	2.39~2.49	0.10~0.71	0.01~0.28	0.04~2.03
핑크색화강암	0.19~0.69	2.60~2.63	1.43~5.35	0.11~0.76	0.07~0.53



(a) 사암



(b) 세일



(c) 풍화화강암



(d) 핑크색화강암

사진 1 실험에 사용된 암석

3.2 실험 장비 및 실험 방법

본 연구에 사용된 실험장비는 만능재하 시험장비를 사용하였으며 최대 재하하중은 100tf이다. 사진 2는 사용된 재하장비를 나타내었다. 공시체는 시추된 암석을 직경 대 길이의 비가 1:2이상이 되도록 제작하였으며 공시체 상하 재하면은 편심을 줄이기 위하여 연마기로 연마 혹은 캠핑을 실시하였으며 종방향, 횡방향 변형률을 측정하기 위하여 공시체 측면의 중앙부에 T형으로 변형률 게이지를 부착하였다. 사진 3은 T형으로 부착된 게이지를 보여준다. 일축압축시험은 ASTM D 2938을 참조하여 실시하였으며 정적 변형률 재하속도는 0.01%/min로 실시하였다.



사진 2 만능재하장비

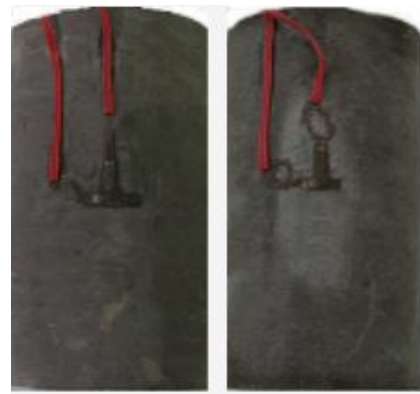


사진 3 게이지 부착

4. 실험결과 및 고찰

4.1 일축압축시험 결과

암석의 일축압축시험 결과를 정리하면 다음 표 2와 같으며 대표적인 암석별 시험결과를 그림 2에 나타내었다. 표 2에 나타난 것처럼 일축압축강도의 경우 사암은 5.5~13.0MPa, 세일은 31.5~206.4MPa, 풍화화강암은 6.0~27.6MPa, 핑크색화강암은 29.7~104.5MPa의 범위로 나타났다. 한계변형율은 사암은 0.21~0.73%, 세일은 0.08~0.44%, 풍화화강암은 0.15~0.55%, 핑크색화강암은 0.33~0.91%의 범위로 나타났다.

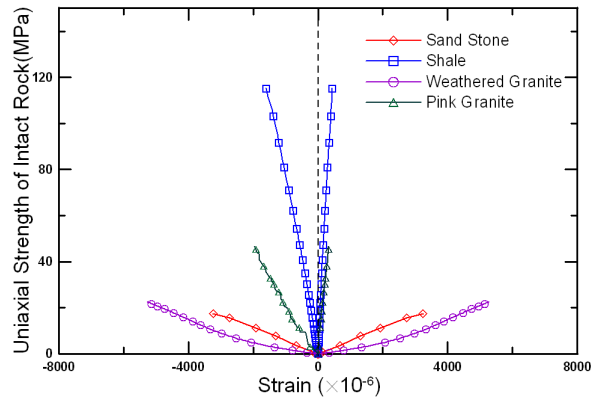


그림 2 암석별 응력-변형률 곡선

표 2. 일축압축시험 결과

암종	일축압축강도 (MPa)	한계변형률 ϵ_0 (%)	파괴변형률 ϵ_f (%)	ϵ_f / ϵ_0
사암	5.5~13.0	0.21~0.73	0.23~0.85	1.01~1.28
셰일	31.5~206.4	0.08~0.44	0.08~0.46	1.01~1.58
풍화화강암	6.0~27.6	0.15~0.55	0.17~0.55	1.01~1.13
핑크색화강암	29.7~104.5	0.33~0.91	0.12~0.33	1.02~1.36

4.2 한계변형률의 특성 분석

각 암종별의 한계변형률 및 파괴변형률과의 일축압축강도의 관계를 살펴보면 다음과 같다. 그림 3과 4에 나타난 것처럼 모든 시료에서 일축압축강도가 증가할수록 한계변형률과 파괴변형률은 증가하는 경향을 보였으며 Sakurai(1982)가 제안한 한계변형률 도표의 상하 제안선에 거의 수렴하게 나타났다.

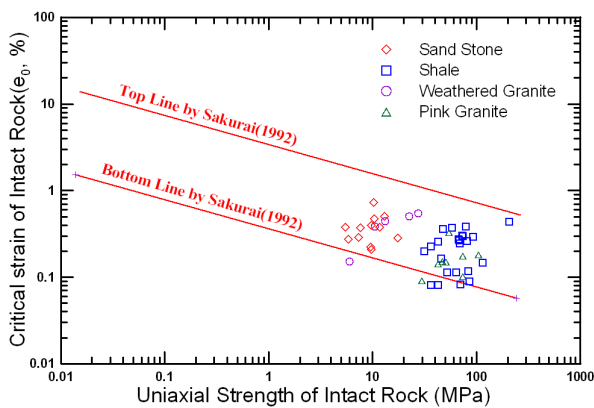


그림 3 일축압축강도-한계변형률 도표

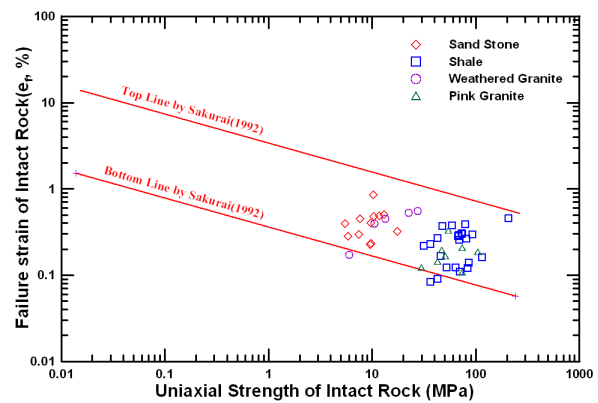


그림 4 일축압축강도-파괴변형률 도표

그림 5와 6에 한계변형률 및 파괴변형률과 점선탄성계수의 관계를 나타내었다. 사암과 셰일의 경우 탄성계수가 증가할수록 한계변형률이 작아지는 경향을 나타내고 있다. 풍화화강암과 핑크색화강암의 경우 데이터의 수가 적어 정확한 판단을 할 수가 없다.

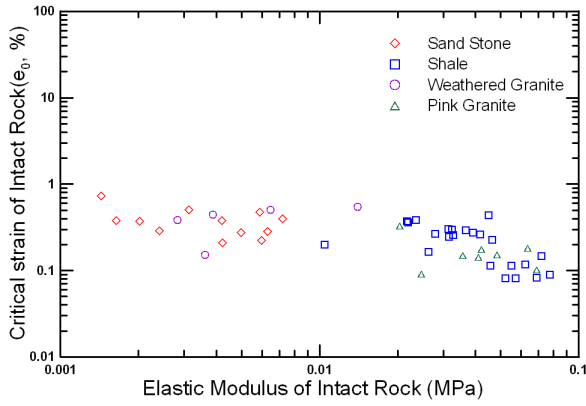


그림 5 탄성계수-한계변형률 도표

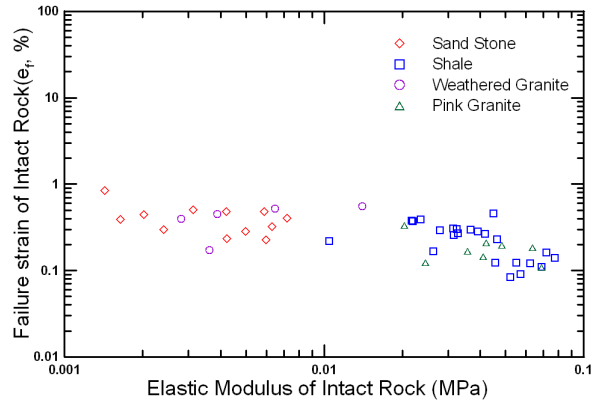


그림 6 탄성계수-파괴변형률 도표

그림 7은 암석에 대한 파괴변형률/한계변형률비와 일축압축강도의 관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 일축 압축시험에서의 한계변형률은 파괴변형률의 약 1.0~1.5배 사이로 나타났으며 대부분 1.25 이하임을 알 수 있다.

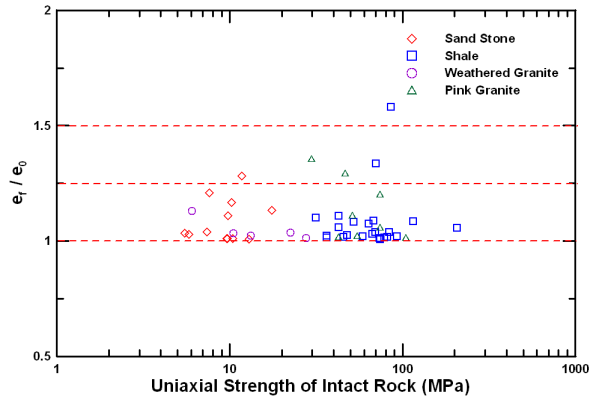


그림 7 일축압축강도-파괴변형률/한계변형률

5. 결론

본 연구에서는 직접변형률 평가법을 이용하여 터널 및 지반의 안정성 평가를 판정하기 위하여 한계변형률의 특성을 암석별로 규명하고자 하였다. 국내 암석 중 퇴적암인 사암과 셰일, 화성암인 풍화화강암과 핑크색화강암에 대하여 일축압축시험을 실시하여 한계변형률 특성에 대하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모든 시료에서 일축압축강도가 증가할수록 한계변형률과 파괴변형률은 증가하는 경향을 보였으며 Sakurai(1982)가 제안한 한계변형률 도표의 상하 제안선에 거의 수렴하게 나타났다.
2. 사암과 셰일의 경우 탄성계수가 증가할수록 한계변형률이 작아지는 경향을 나타내고 있다. 풍화화강암과 핑크색화강암의 경우 정확한 판단을 할 수 없었다.
3. 모든 시료에서 한계변형률은 파괴변형률의 약 1.0~1.5배 사이로 나타났으며 대부분 1.25이하임을 알 수 있다.

추후 보다 많은 데이터의 확보와 변성암계통의 시료확보를 통하여 암석의 성인별 일축-한계(파괴)변형률에 대한 특성을 규명하여 국내에서 암반지반에 대한 안정성평가 도표 사용에 대한 평가를 하여야

할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 CTRM(05건설 핵심 D03-01)에 의해 수행 되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Sakurai, S. (1982), "An evaluation technique of displacement measurements in tunnels", Journal of Geotechnical Engineering, JSCE, Vol.317, pp. 93~100.
2. The British Tunnelling Society and The Institution of Civil Engineers (2004), Tunnel lining design guide, Thomas Telford, pp.184