

국내외 암석의 파괴인성

양형식^{1)*}, 김종관²⁾

Trends of Research in Fracture Toughness of Rocks

Hyung-Sik Yang and Jong-Gwan Kim

Abstract Papers on fracture toughness of rock were surveyed. In spite of variety in methods and nations, it seemed that same rock type shows similar fracture toughness value.

Key words Fracture toughness

초 록 암석의 파괴인성을 다룬 국내외의 논문을 조사하여 연구를 수행하는 국가, 인성을 구한 시험방법 및 암종별 인성값을 비교하였다. 실험방법과 지역의 차이에도 불구하고 암종에 따라 유사한 파괴인성 값을 가지는 것으로 조사되었다.

핵심어 파괴인성

1. 서 론

파괴인성은 파괴역학에서 중요한 변수 중의 하나로서 균열 개시와 전파에 관한 물질 고유의 상수로 알려져 있다. 암석은 재료로서는 균질하지 않은 편이고 취성이 강하여 파괴인성을 구하기 어렵고 파괴인성을 구체적인 분야에 응용한 사례도 많지 않다.

터널 발파와 관련하여 파괴인성이 손상대의 형성에 미치는 영향이 클 것으로 예상되지만 변수가 많다.

본 연구에서는 국내외 문헌을 통하여 암석의 파괴인성을 구하기 위해 사용된 시험방법과 암종별 생산지역별 파괴인성 값을 조사하여 향후 손상대 형성과 관련한 연구의 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 파괴인성 연구동향

암석의 파괴인성과 관련된 연구동향을 파악하기 위해 암반공학 분야의 저명한 학술지인 International Journal of Rock Mechanics(IJRM)에 실린 논문을 중심으로 조사하였다. 초록으로만 소개된 논문들을 제외하

고 약 68편의 파괴인성 관련 논문을 조사 하였으며 국가, 시험방법, 활용분야별로 분석하였다.

2.1 국가별 연구동향

IJRM에서 암석파괴인성과 관련된 논문의 편수를 주저자의 국가별로 조사하였다. 전체 16개국의 68편의 논문이 실려 있으며, 비율을 살펴보면 표 1과 같다. 미국, 중국, 영국, 독일이 주를 이루고 있으며 기타로 프랑스, 그리스, 인도, 이란, 포르투갈, 사우디아라비아, 싱가포르, 터키가 각 1편씩 실린 상태이다. 국내의 경우 국내 학회지에 15편 정도가 실려 있다.

2.2 시험방법별 연구동향

파괴인성 관련된 논문 중에서 시험방법을 통해서 파괴인성을 구한 연구는 국내외 20편 정도로 조사되었다. 표 2와 같은 시험법이 사용되었으며 주로 Mode I에 관한 시험결과이다. CB 시험법과 SR 시험법은 ISRM에서 제안된 시험법으로 전체 파괴인성 연구 중에서 가장 많이 사용된 시험법들이다. 국내에서는 CB, SR, CCNBD, SCB, CNSCB 시험법이 주로 사용되었고, DT, PTS(Punch Through Shear), Brazillian 시험법을 이용한 시험법을 이용한 연구가 최근에 이루어지고 있다.

2.3 최근의 연구동향

Naserri(2007)는 파괴인성에 미치는 열적 손상의

¹⁾ 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

²⁾ 전남대학교 대학원 지구시스템공학과

* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2007년 8월 2일

심사 완료일 : 2007년 8월 22일

표 1. 국가별 논문 편수

국가	편수	비율 (%)
미국	14	20.6
중국	12	17.7
영국	8	11.8
독일	7	10.3
캐나다	6	8.8
호주	5	7.4
일본	4	5.9
스웨덴	4	5.9
프랑스	1	1.5
그리스	1	1.5
인도	1	1.5
이란	1	1.5
포르투갈	1	1.5
사우디아라비아	1	1.5
싱가포르	1	1.5
터키	1	1.5

표 2. 시험방법별 논문편수

시험방법	편수
SR	12
CB	8
SC3PB	7
BDT	6
HDB	4
SECBD	4
CCNBD	4
SENRRB	3
Punch-Through Shear test	3
CT	1
CNSCB	1
SCB	1
DT	1
flattened Brazillian disc specimen	1
SCR3PB	1
SENB	1
Shear-box test	1

3. 암종별 파괴인성

파괴인성 실험과 관련된 논문을 분석한 결과 14개 암종에 대한 파괴인성을 원산지, 시험방법에 따라 표 3에 정리하였다. 화강암의 경우는 8개국에서 다양한 시험방법을 이용한 파괴인성값이 조사되었다. CB 시험법을 통한 화강암의 경우 국가별로 거의 유사한 수치를 나타내었다. 다른 암종의 경우도 동일 시험법인 경우는 비슷한 수치를 나타내었다. 상대적으로 모드 II의 파괴인성치는 표 4와 같이 몇 개의 암종에 국한되었다.

4. 고찰

표 3과 4에서 두 개 이상의 데이터가 있는 암종을 고찰해보면 안산암이 $2.07\sim 2.17 MPa\sqrt{m}$, 섬록암이 $2.22\sim 3.21 MPa\sqrt{m}$, 경사암이 $2.38\sim 3.15 MPa\sqrt{m}$, 규암은 $2.4 MPa\sqrt{m}$, 사암은 $1.10\sim 2.10 MPa\sqrt{m}$ 으로 비교적 일정한 값을 보였다. 반면 화강암이 $0.38\sim 2.17 MPa\sqrt{m}$, 석회암이 $0.39\sim 2.06 MPa\sqrt{m}$, 대리암은 $0.08\sim 3.20 MPa\sqrt{m}$ 등으로 다소 넓은 범위의 값 변화를 보였으나 화강암의 경우에도 한 경우를 제외하면 대략 $1.07\sim 2.17 MPa\sqrt{m}$ 이어서 조사한 사례에 비하면 변화의 폭이 크지 않다고 볼 수 있다.

원 데이터를 이용하면 암종별 값 변화의 유의성을 확인할 수 있을 것으로 생각되나, 문헌에 보고된 자료만으로는 유의성을 판단할 수 없다. 다만, 암종별 파괴인성의 값 차이가 비교적 뚜렷하고 지역별로 큰 차이가 없는 사례들이 다수 포함되어 있어서 암종에 따라 달라지는 파괴인성 값의 유의성이 클 것으로 생각된다.

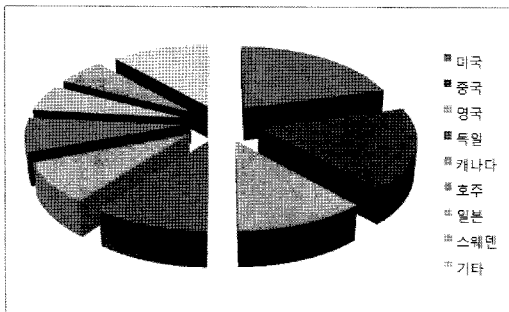


그림 1. 국가별 구성 비율

영향을 파악한 바 있고, 균질암석에서 미소구조적인 특징의 크기와 방향의 영향을 파악하기 위해 실험을 수행하였다. Iqbal(2006)은 CCNBD 시험편의 응력 확대계수를 보정하기 위해 실험적으로 접근하였고, Stavropoulou(2006)는 로터리 드릴링 시험의 수치해석적 결과와 비교를 위해 CB 시험을 수행한 바 있다. Kahraman(2004)는 파괴인성과 취성도와의 관계를 파악하기 위해 SR과 CB 시험법을 이용하여 파괴인성을 측정한 바 있다. 최근의 파괴인성을 측정하는 시험법과 관련된 연구는 주로 파괴인성에 미치는 영향인자, 파괴인성과 관련된 계수, 파괴인성과 인장강도, 취성도 등과의 관련성 파악 등에 중점을 두고 있다. 측정된 파괴인성 값을 암반공학과 관련된 현상을 파괴역학적으로 해석하는데 적용된 연구는 부족한 실정이다.

표 3. 암종별 파괴인성 (모드 I)

암종	원산지	시험법	K_I ($MPa\sqrt{m}$)
agglomerate (집괴암)	인도	CCNBD	0.79
andesite (안산암)	일본	DT	2.07
	호주	CB	2.17
	터키	CB	2.17
basalt (현무암)	인도	CCNBD	1.43
diorite (섬록암)	호주	CB	2.22 ~ 2.77
	스웨덴	SENRRBB	3.21
	터키	CB	2.22 ~ 2.77
dolerite (조립현무암)	인도	CCNBD	0.24
dolomite (백운석)	인도	CCNBD	1.26
	터키	SR	1.66 ~ 2.47
gabbro (반려암)	중국	SR	0.98 ~ 2.68
granite (화강암)	한국 (춘천)	CB	1.13
	한국 (대전)	PTS-test	1.18 ± 0.12
	한국 (거창)	CNSCB	1.60
	호주	CB	1.83
	캐나다	CCNBD	1.35 ~ 1.52
	캐나다	CB	1.07 ~ 2.17
	중국	SENRRBB	2.08
	독일	CB	1.60 ± 0.09
	포르투갈	SENB	0.38 ~ 0.61
	터키	CB	1.83
	미국	CCNBD	1.17 ~ 1.54
	미국	CB	1.44 ~ 1.89
	greywacke (경사암)	호주	CB
터키		CB	2.38 ~ 3.15
limestone (석회암)	호주	CB	0.73 ~ 1.70
	독일	CB	1.12 ± 0.02
	인도	CCNBD	1.32
	사우디아라비아	SENRRBB	0.39
	터키	SR	1.36 ~ 2.06
	터키	CB	0.73 ~ 1.70
marble (대리암)	한국 (여산)	CNSCB	1.86
	중국	SR	0.09 ~ 0.85
	중국	flattened Brazillian disc specimen	0.71 ~ 3.20
	그리스	CB	1.90 ± 0.50
	이탈리아	PTS-test	1.14 ± 0.07
	이탈리아	CB	0.70 ± 0.30
quartzite (규암)	호주	CB	2.44
	터키	CB	2.44

표 3. 암종별 파괴인성 (모드 I) (continued)

암종	원산지	시험법	$K_I (MPa \sqrt{m})$
sandstone (사암)	호주	CB	1.18 ~ 2.10
	인도	CCNBD	1.51
	터키	SR	1.15 ~ 1.78
	터키	CB	1.10 ~ 2.10
schist (편암)	인도	CCNBD	1.09 ~ 1.22

표 4. 암종별 파괴인성 (모드 II)

암종	원산지	시험법	$K_{II} (MPa \sqrt{m})$
diorite (섬록암)	스웨덴	PTS-test	13
granite (화강암)	독일	PTS-test	14.2
	일본	PTS-test	12.8
limestone (석회암)	독일	PTS-test	5.9
marble (대리암)	이탈리아	PTS-test	2.4 ~ 11.9
sandstone (사암)	독일	PTS-test	5.1

5. 결론

IJRM과 국내 학회지에 실린 파괴인성 관련 논문을 통해서 국내외의 암석의 파괴인성 파괴인성을 분석하였다. 국내의 경우 연구가 미흡한 상태이고 미국, 중국, 영국 등에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, CB, SR의 시험법이 주로 사용되고 있다. 충분한 자료는 아니지만, 암종별 파괴인성 값은 지역에 따른 차이가 크지 않은 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 'IT 및 신소재를 활용한 급속안정화 터널 시공기술 개발(과제번호: 05건설핵심 D03-01)'의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 신재근, 이상은, 임한욱, 2000, 미소 파괴음 빈도 측정에 의한 화강암의 파괴인성 평가에 관한 연구, 터널과 지하공간, 제10권, pp. 227-236.
- 윤정석, 전석원, 2003, 암석의 전단 파괴인성 측정에 관한 실험적 연구, 터널과 지하공간, 제13권 1호, pp. 64-75.
- 장수호, 이정인, 1999, 인장, 전단 및 혼합모드에서 디스크 시험편을 이용한 암석의 파괴인성 측정에 관한연구, 터널과 지하공간, 제9권, pp. 315-327.
- 정해식, 전석원, 2004, 이중 비틀림 시험에서 유도 흡의

형상이 암석의 응력부식수에 미치는 영향, 터널과 지하공간, 제14권 제5호, pp.363-372.

- M.H.B. Nasser, A. Schubnel, R.P. Young, 2007, Coupled evolutions of fracture toughness and elastic wave velocities at high crack density in thermally treated Westerly granite, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 44, pp. 601-616.
- M.H.B. Nasser, B. Mohanty, P.-Y. F. Robin, 2005, Characterization of microstructures and fracture toughness in five granitic rocks, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 42, pp. 450-460.
- M.J. Iqbal, B. Mohanty, 2006, Experimental calibration of stress intensity factors of the ISRM suggested cracked chevron-notched Brazilian disc specimen used for determination of mode-I fracture toughness, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 43, pp. 1270-1276.
- M. Stavropoulou, 2006, Modeling of small-diameter rotary drilling tests on marbles, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, pp. 1034-1051.
- P.M. Amaral, L. Guerra Rosa, J. Cruz Fernandes, 1999, Fracture toughness of different types of granite, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, No. 6, pp. 839-842.
- Qihua Rao, Zongqi Sun, O. Stephansson, Chunlin Li, B. Stillborg, 2003, Shear fracture (Mode II) of brittle rock, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 40, pp. 355-375.
- R. A. Bearman, 1998, The use of the point load test for the rapid estimation of Mode I fracture toughness, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, No. 2, pp. 257-263.
- R.D. Dwivedi, A.K. Soni, R.K. Goel and A.K. Dube,

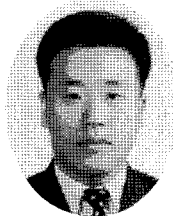
- 2000, Fracture toughness of rocks under sub-zero temperature conditions, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 37, No. 8, pp. 1267-1275.
13. S. Kahraman, R. Altindag, 2004, A brittleness index to estimate fracture toughness, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 41, pp. 343-348.
 14. T. Bakers, G. Dresen, E. Rybacki, O. Stephansson, 2004, New data on Mode II fracture toughness of rock from the punch-through shear test, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 41, pp. 351-352.
 15. T. Backers, O. Stephansson, E. Rybacki, 2002, Rock fracture toughness testing in Mode II-punch-through shear test, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 39, pp. 755-769.
 16. Z.X. Zhang, 2002, An empirical relation between mode I fracture toughness and the tensile strength of rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 39, No. 3, pp. 401-406.



양형식

1979 서울대학교 공과대학 자원공학과
학사
1981 서울대학교 대학원 자원공학과 석사
1987 서울대학교 대학원 자원공학과 박사

Tel: 062-530-1724
E-mail: hsyang@jnu.ac.kr
현재 전남대학교 건설지구환경공학부
교수



김종관

2003년 전남대학교 공과대학 자원공학과
학사

Tel: 062-530-0824
E-mail: 00kjg@hanmail.net
현재 전남대학교 대학원 지구시스템공
학과 석사과정