



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월20일
(11) 등록번호 10-1537955
(24) 등록일자 2015년07월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/08 (2006.01) G01N 1/28 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0193611
(22) 출원일자 2014년12월30일
심사청구일자 2014년12월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR101450504 B1*
논문(2005.09)*
논문(2010.02)
KR101285968 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
(72) 발명자
박덕원
대전광역시 서구 대덕대로 415 상아아파트
101-1105
(74) 대리인
정상규

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 한별

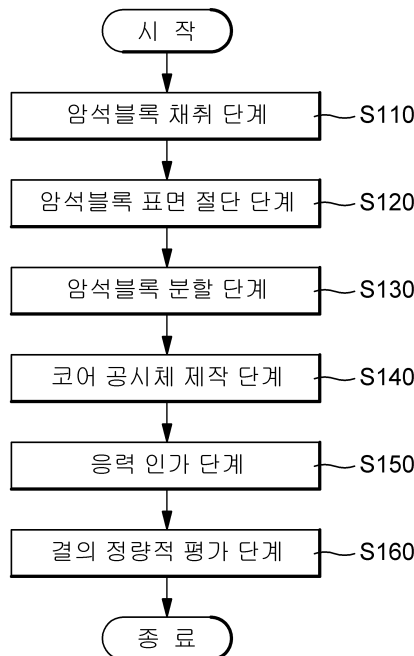
(54) 발명의 명칭 **화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법**

(57) 요약

본 발명은 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 관한 것으로, 화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계; 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계; 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계; 상기 암

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계; 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 압축 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2011-003

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 산업기술연구회

연구사업명 주요사업-기관고유임무형

연구과제명 한반도 남동부 지열이상대 특성 규명 및 지열자원 부존 평가

기여율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2012.01.01 ~ 2014.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;

상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및

상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결의 정량적 평가 단계에서는,

상기 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간인 IV-2 구간이 배열되는 위치가 우측에 위치할수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형율 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 3

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;

상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및

상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결의 정량적 평가 단계에서는,

상기 응력-체적변형율 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)에서 X축 방향으로 연장한 세로 선 그리고 I 단계의 끝 지점인 σ_1^c 에 해당되는 가로 선과의 교점(A')의 이동 경로를 분석하여, 교점(A')의 II 구간의 초기점(A)를 기준으로 초기점(A)의 좌측에 위치하는 결에 대하여 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형율 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 4

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;
 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;
 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;
 상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;
 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및
 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,
 상기 결의 정량적 평가 단계에서는,
 상기 응력-체적변형율 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C) 그리고 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G)의 θ 각을 분석하여, θ 각이 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형율 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 5

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;
 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;
 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;
 상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;
 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및
 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,
 상기 결의 정량적 평가 단계에서는,
 상기 응력-체적변형율 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)를 연장하여 X축과 만나는 점(C')을 연결하는 직선(C-C')을 구하고, 구간 IV-2의 초기점(C)과 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G)을 구하며, 상기 두 직선(C-C', C-B-G)에 의하여 분할되는 X축의 C' 및 G를 연결한 직선(C'-G)을 구한 후, 상기 3개 직선(C-C', C-B-G, C'-G)으로 포획된 직각 삼각형($\Delta CC'G$)의 면적비를 분석하여, 면적비가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형율 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 6

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;
 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;
 상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;
 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및
 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형을 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형을 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형을 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형을 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,
 상기 결의 정량적 평가 단계에서는,
 상기 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 연결한 직선(C-F)을 구하고, 구간 IV-2의 초기점(C)과 III 단계와 IV 단계의 변곡점(E)을 연결한 직선(C-E)을 구하며, 점(E) 그리고 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 상호 연결한 직선(E-F)을 구한 후, 상기 3개 직선(C-F, C-E, E-F)으로 포획된 삼각형($\triangle CEF$)의 면적을 분석하여, 면적이 넓을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,
 상기 3개 직선(C-F, C-E, E-F)으로 포획된 삼각형($\triangle CEF$)의 면적비를 분석하여, 면적비가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

청구항 8

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;
 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계;
 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;
 상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계;
 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및
 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적 변형을 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형을 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형을 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형을 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,
 상기 결의 정량적 평가 단계에서는,
 상기 응력-체적변형을 곡선에서 X축과 Y축의 교점(O)에서 체적변형을 곡선상의 각 단계별(I, II, III, IV-1, IV-2) 지점을 연결한 5개의 직선 OA, OB, OE, OC, OD의 길이(L₁, L₂, L₃, L₄, L₅)를 측정해 분석하여, 5개 직선의 길이가 길수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 국내의 화강암 석산(granite quarry)에서는 암체 내부에 잠재하는 할석(rock splitting)이 용이한 소위결(rock cleavage)을 이용하여 정방형의 암괴를 채석하고 있다. 결의 발달은 국내외의 모든 화강암체에서 공통적인 현상이며, 특히 화강암의 생성시기 그리고 화강암 내부의 미세균열의 생성시기와 관련되어 수직 결의 방향성은 지역적으로 상이하다.

[0003] 화강암체의 상대적인 할석의 용이도는 일반적으로 1번 결(rift) > 2번 결(grain) > 3번 결(hardway)의 순으로 되며, 3 종류의 채석면은 일반적으로 상호 수직관계를 형성한다. 영어권의 석산에서도 상기한 1번, 2번 및 3번에 해당되는 면 구조의 용어로 리프트 면(rift plane), 그레인 면(grain plane) 및 하드웨이 면(hardway plane)으로 호칭되며, 이들 3개의 면은 상호 직교하는 것을 전제로 한다.

[0004] 이들 채석면의 방향성은 단위 석산내에서 채석방향을 결정하는 주요 요인으로 작용하며 또한 규격석을 위한 화약 발파 시 채석 실수율에도 많은 영향을 미친다. 따라서 이러한 수직의 결을 식별하는 능력은 화강암류 석산에서는 특히 중요하게 인식되고 있다. 석산별로 수평 및 수직상 미세균열(결)의 밀도 차이는 암체의 할석작업 시 상대적인 분리성을 의미한다.

[0005] 채석 현장에서는 실제 석산별로 암석의 채석면이 달리 형성되기 때문에 1번 결의 방향을 공통적으로 적용할 수 없으며, 1번 결의 방향을 대부분의 채석장에서 경험적으로 찾고 있기 때문에 실제 채석 실수율이 저하되고 있는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 그 목적은 암석의 초(sec) 단위의 강도, 변형율의 시험 및 계측을 통하여 도출한 공시체별 체적 변형을 곡선에서 다양한 분포 특성의 차이점을 도출, 3개 채석면의 평가 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 한편 암석 시료 내부에서 분포하는 미세균열의 분포상황은 모호하며 육안으로 확인이 곤란한 경우가 많다. 동일한 응력조건 하에서의 결에 대한 체적 변형을 곡선의 특성은 암석 시료 내부에 존재하는 미세균열의 대표적인 분포특성을 잘 대변하는 것으로 생각된다. 기존의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 체적 변형을 곡선의 특성과 대비하였다. 화강암 석산에서 3개 채석면의 분리성은 1번 면(rift plane) > 2번 면(grain plane) > 3번 면(hardway plane)의 순이다. 즉 화강암 석산의 개발 초기단계에서 채석면의 방향성 설정, 나아가 3개 면의 평행한 방향으로 발파 시 화약량의 조절 등의 참고자료에 기여할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따르면, 화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계; 상기 암석블록을 3개 결의 면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계; 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계; 상기 암석시료에서 3개 결의 면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계; 상기 코어 공시체들에 대하여 응력을 인가하는 응력 인가 단계; 및 상기 코어 공시체들에 가해진 응력에 따른 역학적 반응을 측정하고 결별로 체적변형율(ϵ_v)을 산출해 응력-체적변형율 곡선을 구하며, 상기 응력-체적변형율 곡선을 통해 암석 파괴 과정을 4 단계의 강도 구간(I, II, III 및 IV)으로 구분하고, 4 단계의 강도 구간 중 IV 단계의 응력-체적변형율 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간을 IV-2 구간으로 구분하여 해당 IV-2 구간에서 응력-체적변형율 곡선의 분포 특성을 분석하여 3개 결의 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결의 정량적 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을

이용한 결의 평가 방법을 제공한다.

- [0009] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 직선의 형태를 갖는 선형 구간인 IV-2 구간이 배열되는 위치가 우측에 위치할수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)에서 X축 방향으로 연장한 세로 선 그리고 I 단계의 끝 지점인 σ_1^c 에 해당되는 가로 선과의 교점(A')의 이동 경로를 분석하여, 교점(A')의 II 구간의 초기점(A)를 기준으로 초기점(A)의 좌측에 위치하는 결에 대하여 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C) 그리고 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G)의 θ 각을 분석하여, θ 각이 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)를 연장하여 X축과 만나는 점(C')을 연결하는 직선(C-C')을 구하고, 구간 IV-2의 초기점(C)과 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G)을 구하며, 상기 두 직선(C-C', C-B-G)에 의하여 분할되는 X축의 C' 및 G를 연결한 직선(C'-G)을 구한 후, 상기 3개 직선(C-C', C-B-G, C'-G)으로 포획된 직각 삼각형($\Delta CC'G$)의 면적비를 분석하여, 면적비가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 연결한 직선(C-F)을 구하고, 구간 IV-2의 초기점(C)과 III 단계와 IV 단계의 변곡점(E)을 연결한 직선(C-E)을 구하며, 점(E) 그리고 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 상호 연결한 직선(E-F)을 구한 후, 상기 3개 직선(C-F, C-E, E-F)으로 포획된 삼각형(ΔCEF)의 면적을 분석하여, 면적이 넓을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 바람직하게는, 상기 3개 직선(C-F, C-E, E-F)으로 포획된 삼각형(ΔCEF)의 면적비를 분석하여, 면적비가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 결의 정량적 평가 단계에서는, 상기 응력-체적변형을 곡선에서 X축과 Y축의 교점(O)에서 체적변형을 곡선상의 각 단계별(I, II, III, IV-1, IV-2) 지점을 연결한 5개의 직선 OA, OB, OE, OC, OD의 길이(L_1, L_2, L_3, L_4, L_5)를 측정해 분석하여, 5개 직선의 길이가 길수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0016] 한 석산에서 채석되는 화강암에 대하여 동일한 응력조건 하에서의 결에 대한 체적 변형을 곡선의 분포 특성은 암석 시료 내부에 존재하는 미세균열의 대표적인 분포특성을 잘 대변한다. 기존의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 도출된 분포 특성과 상호 대비하였다. 이러한 대비를 통하여 3개 면 사이의 차이점을 잘 대변하는 체적 변형을 곡선의 대표적인 분포 특성을 도출하였다. 결론적으로 많은 시간과 노력을 요하는 미세균열의 평가 작업의 과정을 거치지 않고 체적 변형을 곡선을 통하여 도출한 특성을 이용하여 3개 면을 사전에 인식할 수 있는 장점이 있다.
- [0017] 화강암 석산의 개발 초기단계에서 암석시료에 대한 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 도출, 3개 면에서 상호 비교하는 여섯 방향의 결에 대한 보다 정확한 인식에 기여할 수 있다.
- [0018] 즉 화강암 채석장에서 상호 수직을 형성하는 3개 채석면과 관련하여 기존에 규명된 미세균열의 분포성 그리고 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 상호 대비, 3개 채석면을 형성하는 결의 고유한 특성에 대한 보다 명확한 평가를 기할 수 있다.
- [0019] 박편을 사용하는 미세균열의 분석작업 이전에 국제 규격의 공시체에 대한 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 도출, 3개 채석면 사이의 구분을 사전에 인식할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0020]

도 1은 본 발명에 따른 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법을 도시한 흐름도.
 도 2는 실내 역학시험을 위한 현장의 암석시료 채취 및 공시체 제작과정을 나타내는 도면.
 도 3의 (a)와 (b)는 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 평행하게 제작된 박편의 확대사진 및 미세균열에 대한 스케치 결과를 나타내는 도면.
 도 4는 6개 방향별 미세균열(결)의 각종 물리량을 나타내는 모식도.
 도 5는 일축압축하에서 구한 축응력-체적변형을 곡선(G-1 공시체)에서 선형 구간인 IV-2의 영역 획득을 통한 구간 IV-2의 차응력 및 차변형을 그리고 θ 각, 삼각형 CC'G 및 CEF의 변화를 나타내는 도면.
 도 6은 일축압축하에서 구한 축응력-체적변형을 곡선에서 선형 구간인 IV-2의 차응력 및 차변형을 그리고 θ 각, 삼각형 CC'G 및 CEF의 변화를 공시체별로 나타내는 도면.
 도 7은 각 면에 대한 공시체별 체적 변형을 곡선에서 구한 θ 각, 삼각형 CC'G 및 CEF, 차변형을 및 차응력의 변화를 나타내는 도면.
 도 8은 일축압축하에서 축응력-체적변형을 곡선(G-1 공시체)에서 원점과 체적변형을 곡선상의 각 지점 사이의 길이(L₁~L₅) 및 각도(α_1 ~ α_5)의 변화를 나타내는 도면.
 도 9는 각 면에 대한 공시체별 체적 변형을 곡선(도 6)에서 구한 길이(L₁~L₅) 및 길이의 이방성 계수, 각도(α_1 ~ α_5) 및 각도의 이방성 계수의 변화를 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021]

이하 본 발명에 따른 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 대하여 첨부한 도면을 참고하여 상세히 설명한다.

[0022]

본 발명은 암석 특히 화강암에서 발달하는 결의 정량적 평가 방법에 관한 것으로, 일차적으로 박편의 확대사진을 통한 결(미세균열)의 미세특성을 정량화하였다. 이차적으로 체적변형을(ϵ_v) 곡선 상에서 4 단계(I~IV)의 파괴과정을 도출하였다. 즉 응력 증가에 따른 4 단계별 강도(σ_1^c , σ_1^i , σ_1^{ii} 및 σ_1^f)를 시험 및 계측하였다.

[0023]

즉 화강암 채석장에서 상호 수직을 형성하는 3개 채석면과 관련된 미세균열의 분포성 그리고 결의 공극률(부피)을 지시하는 체적변형을을 상호 대비, 이들 3개 채석면을 형성하는 수평 및 수직 결에 대한 부피 개념의 정량적인 평가를 실시하였다.

[0024]

한편 국제 표준규격의 공시체(NX size)를 사용하여 수평, 수직 결에 대한 3차원적인 부피 개념(공극률)의 체적 변형을을 도출, 박편의 확대사진에서 도출한 2차원적인 미세균열의 분포성과 대비하였다. 이러한 종합적인 대비를 통하여 3개 채석면 그리고 모식도에서 제시한 6개 방향의 결(도 3과 도 4 참조)에 대한 보다 명확한 평가를 기할 수 있다.

[0025]

기존에 규명된 미세균열의 분포성(도 3 및 도 4 참조)과 연계, 화강암 채석장에서 상호 수직을 형성하는 3개 채석면과 체적 변형을 곡선의 분포 특성과 상호 대비하였다. 이러한 상호 대비를 통하여 3개 채석면의 고유한 특성에 대한 보다 정확한 인식에 접근할 수 있다. 암석은 거창지역과 합천지역의 화강암을 대상으로 하였다.

[0026]

도 1은 본 발명에 따른 화강암의 체적 변형을 곡선의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법을 도시한 흐름도이다.

[0027]

1. 암석블록 채취 단계(S110)

[0028]

경남 거창군 산포리(범일석산)의 유라기 화강암(이하 거창화강암, 공시체: G)에서 시료에 사용될 암석블록을 채취하였다. 거창화강암(Geochang granite)은 선캠브리아기의 반상변정편마암과 흑운모 호상편마암을 관입한 유라기 화강암이다. 이 암석은 회백색(greyish white)을 띠고, 등립상의 중립질암으로 석영 및 장석의 입도는 2~6 mm이다. 실험대상 암석시료 채취심도는 약 20m이다. 주구성광물의 모드 조성(vol. %)은 석영: 31.3 %, 사장석: 39.5 %, 정장석: 9.8 %, 미사장석: 9.6 %, 퍼다이트: 5.7 %, 흑운모: 2.9 %이며, 그외 백운모 등이 미량 확인

된다. 이 암석은 분류상 흑운모 화강암에 속한다. 3개 결의 관계를 나타내는 모식도에서 1번 면은 수평, 2번(동북동 방향) 및 3번 면은 수직을 형성한다(도 2의 a 참조).

[0029] 경남 합천군 우곡리(신화석상)의 주라기 화강암(이하 합천화강암, 공시체:H)에서 시료를 채취하였다. 합천화강암(Hapcheon granite)은 선캠브리아기의 미그마타이트질 편마암을 관입하며, 이들 암체를 백악기의 퇴적암류인 신동층군이 피복한다. 이 암석은 담회색(light grey)을 띠고, 등립상의 조립질암으로 석영 및 장석의 입도는 2~9mm이다. 연구대상 암석시료 채취심도는 약 17m이다. 주구성광물의 모드 조성(vol. %)은 석영: 30.5%, 사장석: 40.4%, 정장석: 8.4%, 미사장석: 12.1%, 퍼다이트: 5.2%, 흑운모: 2.6%이며, 그외 저어콘 및 인회석이 미량 확인된다. 이 암석은 분류상 흑운모 화강암에 속한다.

[0030] 상기한 2개의 석산에서 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 각각 평행하게 약 1.2m 크기의 정방형의 암석 블록을 채취한다(도 2의 a 참조). 그리고 석산에서 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 각각 평행하게 채석된 약 1.2m 크기의 정방형의 암석 블록에서 약 35cm 크기의 암석블록을 채취하였다(도 2의 b 참조).

[0031] 2. 암석블록 표면 절단 단계(S120)

[0032] 샘플링된 암석블록에 대하여 대형 암석절단 톱을 이용하여 상기 3개 채석면과 평행한 방향으로 암석 표면을 절단하여 평평하게 한다(도 2의 c 참조).

[0033] 3. 암석블록 분할 단계(S130)

[0034] 3개 채석면과 평행한 방향으로 표면을 절단한 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하였다(도 2의 d 참조). 이 같이 분할된 암석시료는 실내의 공시체 및 박편 제작에 용이하다.

[0035] 4. 공시체 제작 단계(S140)

[0036] 분할된 암석시료에 대하여 1번 면, 2번 면, 3번 면에 각각 수직방향으로 작업하여 NX 크기의 코어를 획득하였다. 실내 역학시험을 위한 NX 코어 공시체의 규격은 직경이 5.4cm, 길이 10.8cm이다. 4 단계별 강도, 변형률 및 소요시간의 측정을 위한 NX 크기의 공시체는 상기한 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 각각 수직되게 제작하였으며, -1, -2 및 -3 공시체로 각각 명명하였다.

[0037] 여기서 -1은 1번 면, -2는 2번 면 그리고 -3은 3번 면에 수직인 축을 각각 의미한다(도 2의 e 참조).

[0038] 바람직하게는, 상기 암석시료 채취 단계에서 채취되는 정방형 암석시료는 상호 직교하는 리프트면, 그레인면 및 하드웨이면을 외면에 가지게 채취되며, 상기 공시체 제작 단계에서는 상기 리프트면, 그레인면 및 하드웨이면에 각각 직교하는 공시체를 제작하는 것을 특징으로 한다. 암석시료는 경남 거창군 산청리에 분포하는 주라기 화강암(거창화강암, G)과 경남 합천군 우곡리에 분포하는 주라기 화강암(합천화강암, H)의 시료이다.

[0039] 5. 미세균열의 관찰

[0040] 화강암에서는 세 방향의 채석면과 평행하게 제작된 박편 상에서 상호 직교하는 2조의 결(미세균열)을 각각 측정할 수 있다. 거창 및 합천화강암의 박편의 확대사진 및 미세균열에 대한 스케치 결과의 일부가 도 3의 (a)와 (b)에 각각 도시되어 있다.

[0041] 도 4에 도시된 채석면과 미세균열과의 상관성을 나타내는 모식도에서와 같이 1번 면에 평행하는 박편에서는 그레인 1(grain 1)과 하드웨이 2(hardway 2), 2번 면에 평행하는 박편에서는 리프트 1(rift 1)과 하드웨이 1(hardway 1) 그리고 3번 면에 평행하는 박편에서는 그레인 2(grain 2) 및 리프트 2(rift 2)의 미세균열을 각각 측정할 수가 있다. 결의 모식도에서 제시한 6 방향과 연계한 미세균열의 길이, 평균길이 및 밀도는 도 4에 도시되어 있다.

[0042] 한편 조사선법에 의한 석영 및 장석 내부의 미세균열을 종합하여 빈도수, 평균길이 및 밀도를 측정하고, 미세균열(결)의 제 특성을 모식도에서 제시한 도 4의 6 방향의 미세균열과 연계하여 역학적 특성을 분석한다. 즉 다양한 정량적인 판별요소들 그리고 상기한 미세균열의 밀도 사이의 상관성을 검토하게 된다.

[0043] 6개 방향별 미세균열의 각종 물리량을 종합해 보면 균열의 발생빈도(N), 총길이(L_t), 평균길이(L_m) 및 밀도(ρ)는 동일하게 리프트 > 그레인 > 하드웨이의 순을 보이고 있음이 주목된다. 미세균열의 각종 물리량에 대하여 각면의 2 방향의 결에 대한 평균치를 산출한 결과, 거창화강암의 표 1과 합천화강암의 아래의 표 2에서와 같이 (리프트 1 + 리프트 2) > (그레인 1 + 그레인 2) > (하드웨이 1 + 하드웨이 2)의 순으로 되어 결의 강도에 따른

경향성이 뚜렷하다. 이러한 실내 분석 결과는 -1, -2, -3 공시체에 대한 객관적인 설정 기준이 된다.

표 1

[0044]

Direction of rock cleavage	N	L_t (mm)	L_m (mm)	ρ
Rift 1 + Rift 2 / 2	37	88.8	2.80	0.22
Grain 1 + Grain 2 / 2	23	42.9	2.17	0.08
Hardway 1 + Hardway 2 / 2	9	16.4	1.96	0.02

[0045]

위 표 1은 거창 화강암에 대한 N , L_t , L_m and ρ 의 평균값을 나타내고 있다.

표 2

[0046]

Direction of rock cleavage	N	L_t (mm)	L_m (mm)	ρ
Rift 1 + Rift 2 / 2	40.5	91.4	2.34	0.17
Grain 1 + Grain 2 / 2	19.0	47.8	2.31	0.08
Hardway 1 + Hardway 2 / 2	7.5	14.3	2.02	0.03

[0047]

위 표 2는 함천 화강암에 대한 N , L_t , L_m and ρ 의 평균값을 나타내고 있다.

[0048]

일축압축시험 시 하중과 평행하게 배열하는 2조의 수직 결의 밀도의 합(도 4)을 공시체별로 나타내면 표 3과 같이 정리될 수 있다. 즉 $-1 < -2 < -3$ 공시체의 순으로 된다.

표 3

[0049]

Rock name	Sample No.	수직배열하는 2조의 미세균열	밀도(ρ)의 합	
Geochang granite (G)	G-1	Grain 2 + Hadway 1	0.08	0.66
	G-2	Rift 2 + Hadway 2	0.19	
	G-3	Rift 1 + Grain 2	0.39	
Hapcheon granite (H)	H-1	Grain 2 + Hadway 1	0.07	0.54
	H-2	Rift 2 + Hadway 2	0.21	
	H-3	Rift 1 + Grain 2	0.26	

[0050]

위 표 3은 일축압축 시험 하중과 수평배열하는 2조의 미세균열을 나타내고 있다(도 4 참조).

[0051]

6. 응력 인가와 단계별 강도 및 변형률 측정 단계(S150)

[0052]

공시체에 가해진 연속적인 응력(강도)에 따른 변형률, 소요시간(sec)의 측정에 사용된 압축강도기는 미국 MTS(Material Testing System)사의 압축력 160톤, 인장력 80톤의 용량을 갖고 있는 서보발브형 자동제어 시스템이다. 컴퓨터에 부착된 전기숫자 변환기(A/D Converter)에 의해 자동으로 측정치는 기록되며, 파괴시험에서는 스트로크를 제어해야 하는데 본 시험에서는 응력을 가하게 되는 스트로크의 상향 움직임의 속도는 0.1 mm/min으로 결정하였다.

[0053]

일축압축강도 및 변형률의 측정에는 20mm용 Displacement transducer (KYOWA, DF20D), Extensometer (MTS, Model 1632.12c), Dynamic strain amplifier (KYOWA, DMP-G), X-Y₁Y₂ recorder (WATANABE, WX4302) 등이 사용되었다. 한편 시험장치에서는 초 단위로 가해진 응력, 축변형률(axial strain, ϵ_a), 횡변형률(lateral strain, ϵ_l) 및 초 단위의 소요시간이 동시에 자동 기록이 된다. 시험은 한국지질자원연구원에서 실시되었다. 즉 NX 코아의 공시체로는 재하 축변형률(ϵ_a) 및 재하축과 직교방향의 횡변형률(ϵ_l)시험을 실시하였으며, 체적변형률(volumetric strain, ϵ_v)은 다음 수학적 식 1을 통해 구할 수 있다.

수학식 1

$$\epsilon_v = \epsilon_a + 2 \epsilon_l$$

[0054]

[0055]

이렇게 구해진 연속적인 응력 단계별 축변형율, 횡변형율 및 체적변형율은 거창 화강암의 표 4와 같이 정리될 수 있다.

표 4

[0056]

Stress (kg/cm ²)	G-1			G-2			G-3		
	$\epsilon_a(-)$	$\epsilon_l(+)$	$\epsilon_v(-)$	$\epsilon_a(-)$	$\epsilon_l(+)$	$\epsilon_v(-)$	$\epsilon_a(-)$	$\epsilon_l(+)$	$\epsilon_v(-)$
50	3364	76	3209	1483	37	1406	375	0	374
100	3987	87	3812	1863	58	1746	1179	5	1168
200	4657	114	4428	2311	95	2119	1716	24	1666
300	5134	153	4827	2777	152	2471	2206	66	2072
400	5578	209	5159	3050	197	2654	2593	112	2368
500	5930	267	5394	3343	251	2838	2973	168	2636
600	6169	309	5548	3639	314	3010	3346	230	2885
700	6439	373	5745	3959	383	3191	3671	292	3086
800	6813	446	5923	4198	445	3307	3922	351	3219
900	7083	524	6033	4498	535	3427	4160	414	3331
1000	7335	595	6142	4743	616	3509	4474	501	3470
1100	7589	683	6221	4994	703	3587	4798	608	3581
1200	7831	779	6272	5241	800	3642	5060	718	3623
1300	8074	885	6301	5493	915	3662	5321	865	3590
1400	8300	1009	6279	5801	1077	3646	5663	1777	2109
1500	8528	1157	6213	6042	1238	3565	6004	3964	+1925
1587							6131	6355	+6579
1600	8763	1344	6073	3284	1460	3362			
1700	9006	1595	5815	6531	1789	2951			
1800		1941	5380	6795	2338	2117			
1887				7012	3095	822			
1900		2650	4261						
2000	9888	4092	1701						
2048	10132	8118	+6104						

[0057]

표 4는 응력에 대한 거창 화강암(G)의 축, 횡 및 체적 변형율($\times 10^{-6}$)의 값을 나타낸다.

[0058]

7 결의 정량적 평가 단계(S160)

[0059]

7-1 응력-체적변형율 곡선의 4 단계 구분

[0060]

응력-체적변형율 곡선에서는 축변형율 및 횡변형율 곡선에 비하여 4 단계별 파괴진행 과정이 보다 명확하다.

[0061]

응력-체적변형율 곡선상에서 암석 파괴 과정을 4 단계로 구분한 기준은 다음과 같다. 거의 일정한 증가율을 보이는 선형 구간(II 단계), 변곡점이 형성되어 곡선이 반전하여 급격한 체적팽창 현상이 일어나 파괴에 이르는 구간(IV 단계)을 경계로 하여 II 단계 하부구간은 I 단계, II 단계와 IV 단계 사이는 III 단계로 각각 구분된다.

[0062]

압축에 의해 수평 결이 밀폐되는 구간(I 단계), 탄성적 성질을 갖는 구간(II 단계) 및 하중증가에 따른 수직 결이 발생하여 개구되거나 안정상태에 있는 구간(III 단계), 더욱 증가된 하중에 의해 불안정한 균열이 전파되어 파괴될 때까지의 구간(IV 단계)으로 구분이 된다.

[0063]

즉 I 단계($0 \leq \sigma \leq \sigma_1^c$: 이하 강도 I)는 암석이 갖고 있는 수평 결(선재 간극)의 체적변형율(ϵ_v^0)을 나타내는 구

간, II 단계($\sigma_1^c \leq \sigma \leq \sigma_1^i$:이하 강도 II)는 탄성적 성질의 구간, III 단계($\sigma_1^i \leq \sigma \leq \sigma_1^{ii}$:이하 강도 III)는 수직 결이 개구되어지는 구간으로서 인장응력에 의한 파괴가 일어나는 구간이 되고, IV 단계($\sigma_1^{ii} \leq \sigma \leq \sigma_1^f$, σ_1^f :이하 강도 IV(파괴강도))는 전단파괴가 일어나는 구간이라 할 수 있다. 각 단계별 강도는 σ_1^c , σ_1^i , σ_1^{ii} 및 σ_1^f 로 각각 구분하였다(도 5 참조). 이렇게 구해진 거창 및 합천화강암의 응력-체적변형을 곡선은 도 6과 같다.

[0064]

7-2 응력-체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 설정

[0065]

체적변형을 곡선의 IV 단계에서는 직선의 형태를 갖는 선형 구간(구간 IV-2)을 획득 후, 선형 변형선 cd를 구할 수 있다. 한편 구간 IV-2의 설정기준은 다음과 같다(도 5 참조).

[0066]

축변형을, 횡변형을 곡선은 IV 단계에서 곡선 형태를 보여 선형 구간의 설정이 모호하다. 그러나 체적변형을 곡선에서는 객관적인 선형 구간 설정이 가능하다. 이러한 선형 구간은 6개 공시체에서 모두 공통적으로 존재하며, 구간 IV-2를 중심으로 하여 IV 단계를 3개 구간으로 세분화 할 수 있는 객관적 근거가 된다. 즉 구간 IV-2를 중심으로 우측 구간은 IV-1, 좌측 구간은 IV-3으로 구분할 수 있다.

[0067]

즉 체적변형을 곡선을 통하여 IV 단계의 암석 파괴 과정을 3 구간으로 세분한 기준은 다음과 같다. 선형구간(구간 IV-2)을 경계로 하여 변곡점이 형성되어 급격한 곡선의 형태를 갖는 구간 IV-1, 즉 안정전파구간~선형구간의 초기점의 구간(구간 IV-1)보다 급격한 체적팽창 현상이 일어나 파괴에 이르는 구간 IV-3으로 각각 구분된다.

[0068]

또한 IV 단계에서 응력 증가에 따른 선형 구간 이전 단계인 구간 IV-1을 IV 단계의 전반부, 선형 구간의 이후 단계인 구간 IV-2 및 IV-3을 IV 단계의 후반부로 2 대분 할 수 있다.

[0069]

한편 구간 IV-2 부터는 응력과 평행 배열하는 미세균열(결)의 신규생성, 기존 미세균열의 성장 및 결합이 활발하다. ① 구간 IV-2를 중심으로 하여 공시체별 θ 각의 변화, 삼각형 CC'G 및 삼각형 CEF의 면적변화, 차변형을 및 차응력의 변화, 구간 IV-2의 배열성, 교점 A' 및 교점 G의 이동 경로(도 5), ② 원점과 체적변형을 곡선상의 각 지점 사이의 길이($L_1 \sim L_5$) 및 각도($\alpha_1 \sim \alpha_5$) 변화의 규칙성(도 8)을 도출하여 3개 면에 대한 예측이 가능하다. 즉 체적변형을 곡선에서 구간 IV-2의 획득을 통하여 3개 면을 인식(예측)할 수 있는 진보적인 판별 기준을 아래와 같이 제시하였다.

[0070]

7-3 구간 IV-2의 배열성

[0071]

구간 IV-2는 -1 → -2 → -3으로 갈수록 공통적으로 우측에서 좌측으로 이동 배열한다. 표 3에서 제시한 3개 공시체 사이의 수직 결의 밀도 차에 따른 상대적인 체적 팽창의 증가를 의미한다.

[0072]

3개 공시체 사이의 구간 IV-2에 대한 상호 중첩 정도를 보면, 거창화강암에 비하여 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 중첩도가 높다(도 6).

[0073]

7-4 교점 A' 및 교점 G의 이동 경로

[0074]

구간 IV-2의 초기점(C)에서 X축 방향으로 연장한 세로 선 그리고 I 단계의 끝 지점인 σ_1^c 에 해당되는 가로 선과의 교점(A')의 이동 경로를 도출하였다.

[0075]

거창화강암의 교점(A')의 이동 경로를 보면, 체적변형을 곡선 상에서 II 구간의 초기점(A)을 기준하여 -1에서는 점 A의 좌측, -2, -3에서는 점 A의 우측에 위치한다. 합천화강암의 교점(A')의 이동 경로를 보면, -1, -2에서는 점 A의 좌측, -3에서는 점 A의 우측에 위치한다. 두 암석의 -3에서는 공통적으로 A의 우측에 위치한다(도 6).

[0076]

X축의 체적 변형을 $1000(\epsilon_v, \times 10^{-6})$ 의 길이를 10mm(1cm)로 가정할 경우, A'-A의 길이(mm)는 다음과 같다. 거창 화강암에서는 -1(2.55), -2(3.65), -3(7.88), 합천화강암에서는 -1(1.64), -2(1.29), -3(1.05)이다. 3개 공시체의 평균 길이는 거창화강암(4.66) > 합천화강암(1.32)의 순이다. 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 평균 길이가 상대적으로 크다. 거창화강암의 경우, 교점 A'와 교점 A와의 길이에 해당되는 차 변형을($\epsilon_v, \times 10^{-6}$)은 -1(255) < -2(365) < -3(788)의 순으로 전형적인 증가를 보인다.

[0077]

구간 IV-2의 초기점(C) 그리고 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 교점(G)의 이동 경로를 도출하였다.

[0078] 거창화강암에서는 선 E-E'의 우측(-1) → 구간 IV-1의 내부(-2, -3)로 이동한다. 반면에 합천화강암에서는 선 E-E'의 우측(-1) → 선 E-E'에 보다 접근(-2, -3)하며, 구간 IV-1의 내부로 이동하지 않는다. 즉 구간 IV-1의 우측 경계선인 선 E-E'를 기준선으로 할 경우, 교점(G)는 -1 → -2 → -3 공시체로 갈수록 공통적으로 우측에서 좌측으로 이동한다. 따라서 교점(G) 그리고 교점(A')의 이동경로는 상호 반대 방향임을 도출할 수 있다(도 6).

[0079] X축의 체적 변형율 $1000(\epsilon_v, \times 10^{-6})$ 의 길이를 10mm(1cm)로 가정할 경우, E'-G의 길이(mm)는 다음과 같다. 거창 화강암에서는 -1(8.55), -2(2.08), -3(5.18)이다. 합천화강암에서는 -1(7.73), -2(2.76), -3(1.33)이다. 3개 공시체의 평균 길이는 거창화강암(5.27) > 합천화강암(3.94)의 순이다.

[0080] 7-5 θ 각의 변화

[0081] 구간 IV-2의 초기점(C) 그리고 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G)의 θ 각은 표 5와 같다. θ 각은 도 6의 도면을 프로그램 상에서 확대하여 측정하였다.

[0082] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 θ 각은 $-1(75.7^\circ, 77.3^\circ) < -2(86.5^\circ, 81.2^\circ) < -3(88.4^\circ, 84.6^\circ)$ 의 순으로 되며, 공통적으로 증가한다(도 7a).

[0083] 3개 공시체의 θ 각의 평균각 및 이방성 계수(%)는 합천화강암(57.9, 9.0%) < 거창화강암(83.5, 15.2%)의 순이며, 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 평균각 및 이방성 계수(%)가 모두 크다.

표 5

[0084]

Rock name	Sample No.	$\theta(^{\circ})$
Geochang granite (G)	G-1	75.7
	G-2	86.5
	G-3	88.4
	Mean	83.5
	An(%)	15.2
Hapcheon granite (H)	H-1	77.3
	H-2	81.2
	H-3	84.6
	Mean	57.9
	An(%)	9.0

[0085] 여기에서 An은 이방성 계수(Anisotropy coefficient, %)이며, Max-Min/평균 으로 계산될 수 있다.

[0086] 7-6 삼각형 CC'G의 면적변화

[0087] ① 구간 IV-2의 초기점(C)를 연장하여 X축과 만나는 점(C')를 연결하는 직선 C-C', ② 구간 IV-2의 초기점(C)과 II 단계의 끝 지점(B)를 연장하여 X축과 만나는 점(G)을 연결한 직선(C-B-G), ③ 상기 두 직선에 의하여 분할되는 X축의 C' 및 G를 연결한 직선 C'-G를 얻게 된다. X축의 체적 변형율 $1000(\epsilon_v, \times 10^{-6})$ 의 길이를 1cm로 가정할 경우, 상기 3개 직선으로 포획된 직각 삼각형($\Delta CC'G$)의 면적(cm^2) 및 면적비는 표 6과 같다.

표 6

[0088]

Rock name	Sample No.	$\Delta CC'G$		ΔCEF	
		면적(cm^2)	면적비	면적(cm^2)	면적비
Geochang granite (G)	G-1	8.46	1	5.41	1.00
	G-2	2.13	0.25	1.95	0.36
	G-3	0.49	0.06	1.28	0.24
	Mean	3.69		2.88	
	An(%)	215.7		143.2	

Hapcheon granite (H)	H-1	9.28	1	4.43	1.00
	H-2	5.96	0.64	3.57	0.81
	H-3	3.90	0.42	2.39	0.54
	Mean	6.38		3.46	
	An(%)	84.3		59.0	

[0089] 여기에서 An은 이방성 계수(Anisotropy coefficient, %)이며, Max-Min/평균 으로 계산될 수 있다.

[0090] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 ΔCC'G의 면적을 보면, -1(8.46, 9.28) > -2(2.13, 5.96) > 3(0.49, 3.90)의 순이며, 공통적으로 음의 지수함수의 형태로 감소한다. 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 지수함수의 기울기(λ=0.43)가 보다 낮다. -1 공시체를 기준한 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 ΔCC'G의 면적비를 보면, -1(1, 1) > -2(0.25, 0.64) > -3(0.06, 0.42)의 순이며, 공통적으로 감소한다(도 7b).

[0091] 3개 공시체의 평균면적은 거창화강암(3.69) < 합천화강암(6.38)의 순이며, 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 평균면적이 크다. 반면에 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 합천화강암(84.3%) < 거창화강암(215.7%)의 순이며, 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 이방성 계수가 높다.

[0092] 7-7 삼각형 CEF의 면적변화

[0093] 또한 ① 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 연결한 직선(C-F), ② 구간 IV-2의 초기점(C)과 III 단계와 IV 단계의 변곡점(E)을 연결한 직선(C-E), ③ 점(E) 그리고 구간 IV-2의 초기점(C)에서 수직방향으로 연장하여 체적 변형을 곡선과 만나는 점(F)을 상호 연결한 직선(E-F)를 얻게 된다. X축의 체적 변형을 1000(ε_v, ×10⁻⁶)의 길이를 1cm로 가정할 경우, 상기 3개 직선으로 포획된 삼각형(ΔCEF)의 면적(cm²) 및 면적비는 표 6과 같다.

[0094] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 ΔCEF의 면적을 보면, -1(5.41, 4.43) > -2(1.95, 3.57) > 3(1.28, 2.39)의 순이며, 공통적으로 음의 지수함수의 형태로 감소한다. 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 지수함수의 기울기(λ=0.30)가 보다 낮다. ΔCC'G의 지수함수의 기울기(0.43~1.42)와 비교하면, ΔCEF의 지수함수의 기울기(0.30~0.72)가 낮은 관계로 3개 공시체 사이의 면적변화의 정도가 낮다(도 7c).

[0095] -1 공시체를 기준한 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 ΔCEF의 면적비를 보면, 공통적으로 -1(1, 1) > -2(0.36, 0.81) > -3(0.24, 0.54)의 순으로 감소한다.

[0096] 3개 공시체의 평균면적은 거창화강암(2.88) < 합천화강암(3.46)의 순이며, 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 평균면적이 크다. 반면에 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 합천화강암(59.0%) < 거창화강암(143.2%)의 순이다. 이러한 특성은 삼각형 CC'G의 면적변화의 경우와 동일하다.

[0097] 7-8 차변형율(구간 IV-2의 세로 폭)

[0098] 구간 IV-2의 X축에 대응되는 차변형율(Δε_v, ε_v¹-ε_v², ×10⁻⁶)을 검토하였다(표 7).

표 7

[0099]

Rock name	Sample No.	구간 IV-2		
		ε _v ¹	ε _v ²	Δε _v (ε _v ¹ -ε _v ²)
Geochang granite (G)	G-1	4892	3458	1434
	G-2	2860	2020	840
	G-3	2895	-590	3485
	Mean	3549	1629	1919
Hapcheon granite (H)	H-1	3401	2315	1086
	H-2	3243	2321	922
	H-3	2258	1282	976
	Mean	2967	1972	994

[0100] 거창화강암의 차변형율은 $-1(1434) \rightarrow -2(840)$ (감소), $-2(840) \rightarrow -3(3485)$ (증가)한다. 합천화강암에서도 $-1(1086) \rightarrow -2(922)$ (감소), $-2(922) \rightarrow -3(976)$ (증가)한다. 두 암석의 공시체 사이의 공통적인 규칙성을 도출하였다. 거창화강암의 차변형율은 $-3(3485)$ 에서 가장 높은 전형적인 양상이다(도 7d).

[0101] 암석별 3개 공시체의 차변형율의 평균치는 합천화강암(994) < 거창화강암(1919)의 순이다. 합천화강암에 비하여 일축압축강도가 낮고 결의 밀도가 높은 거창화강암의 차변형율이 크다.

[0102] 7-9 차응력(구간 IV-2의 가로 폭)

[0103] 구간 IV-2의 Y축에 대응되는 차응력($\Delta \sigma$, $\sigma_1^2 - \sigma_1^1$, kg/cm^2)과 파괴비(σ_1^1 / σ_1^f , σ_1^2 / σ_1^f)를 검토하였다. 구간 IV-2의 차응력, 파괴비의 값은 표 8과 같다.

표 8

[0104]

Rock name	Sample No.	구간 IV-2					$\Delta \sigma$ ($\sigma_1^2 - \sigma_1^1$)
		σ^1	σ_1^f	σ_1^1 / σ_1^f	σ_1^2	σ_1^2 / σ_1^f	
Geochang granite (G)	G-1	1852	2048	0.90	1939	0.94	87
	G-2	1701	1887	0.90	1802	0.95	101
	G-3	1368	1587	0.86	1433	0.90	47
	Mean	1640	1840	0.89	1724	0.93	78
Hapcheon granite (H)	H-1	2126	2340	0.90	2230	0.95	104
	H-2	2068	2211	0.93	2184	0.98	116
	H-3	2124	2230	0.95	2219	0.99	95
	Mean	2106	2260	0.93	2211	0.97	105

[0105] 거창화강암의 차응력은 $-1(87) \rightarrow -2(101)$ (증가), $-2(101) \rightarrow -3(47)$ (감소)한다. 합천화강암에서도 $-1(104) \rightarrow -2(116)$ (증가), $-2(116) \rightarrow -3(95)$ (감소)한다. 두 암석의 공시체 사이의 공통적인 규칙성을 도출하였다. 응력의 방향과 수평 배열하는 수직 결의 밀도가 가장 높은 3 공시체에서 차응력이 공통적으로 가장 낮다(도 7e).

[0106] 거창 및 합천화강암의 공시체별 차변형율 및 차응력의 관계를 보면, $-1 \rightarrow -2$ (감소 및 증가), $-2 \rightarrow -3$ (증가 및 감소)한다. 상호 반비례의 규칙성을 도출하였다. 즉 구간 IV-2의 세로 폭(차변형율)은 -2가 낮은 반면, 가로 폭(차응력)은 -2가 높은 공통성을 도출하였다(도 7d, e).

[0107] 차응력의 평균치를 보면, 거창화강암(78) < 합천화강암(105)의 순이며, 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 차응력이 크다.

[0108] 거창화강암의 파괴비는 $-2(0.90\sim 0.95) \rightarrow -1(0.90\sim 0.94) \rightarrow -3(0.86\sim 0.90)$ 으로 갈수록 감소한다. 합천화강암의 파괴비는 $-3(0.95\sim 0.99) \rightarrow -2(0.93\sim 0.98) \rightarrow -1(0.90\sim 0.95)$ 로 갈수록 감소한다. 두 암석의 공시체 사이의 규칙성이 결여된다.

[0109] 파괴비의 평균치를 보면, 거창화강암(0.89~0.93) < 합천화강암(0.93~0.97)의 순이며, 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 차응력이 크다.

[0110] 7-10 원점과 체적변형율 곡선상의 각 지점 사이의 길이 변화

[0111] X축과 Y축의 교점(O)에서 체적변형율 곡선상의 각 단계별 지점을 연결한 5개의 직선 OA, OB, OE, OC, OD의 길이, 즉 L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 를 측정하였다(도 8). X축의 체적 변형율 $1000(\epsilon_v, \times 10^{-6})$ 의 길이를 1cm로 가정할 경우, 상기 5 직선의 길이, 평균길이, 이방성계수(%)는 표 9와 같다.

표 9

[0112]

Rock name	Sample No.	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
-----------	------------	-------	-------	-------	-------	-------

Geochang granite (G)	G-1	7.2	10.0	11.9	13.6	13.4
	G-2	3.9	6.0	9.5	11.6	11.9
	G-3	3.3	5.7	8.8	9.4	9.3
	Mean	4.80	7.23	10.07	11.53	11.53
	An(%)	81.25	59.45	30.79	36.42	35.55
Hapcheon granite (H)	H-1	5.6	9.9	13.1	14.6	14.7
	H-2	5.8	8.4	11.7	14.1	14.4
	H-3	4.5	7.4	10.6	13.9	14.1
	Mean	5.30	8.57	11.80	14.20	14.40
	An(%)	20.75	29.18	21.19	4.93	4.17

- [0113] 여기에서 단위는 cm 이고, An은 이방성 계수(Anisotropy coefficient, %)이며, Max-Min/평균 으로 계산될 수 있다.
- [0114] 거창 및 함천화강암의 3개 공시체별 5개 직선의 길이의 영역을 보면, -3(하위영역) < -2(중위영역) < -1(상위영역)의 순으로 배열하는 공통적인 규칙성을 도출하였다(도 9a, b).
- [0115] 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 함천화강암(하위영역) < 거창화강암(상위영역)의 순이며, 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 이방성 계수가 높다(도 9c).
- [0116] 7-11 원점과 체적변형을 곡선상의 각 지점의 교차각 변화
- [0117] X축과 Y축의 교점(O)에서 체적변형을 곡선상의 각 단계별 지점을 연결한 5개의 직선 OA, OB, OE, OC, OD의 교차각의 변화 특성을 도출하였다.
- [0118] 직선 OA와 수평선이 이루는 교차각(α_1), 직선 OB와 직선 OA의 교차각(α_2), 직선 OE와 직선 OB의 교차각(α_3), 직선 OC와 직선 OE의 교차각(α_4), 직선 OD와 직선 OC의 교차각(α_5) 그리고 교차각의 평균각 및 이방성계수(%)는 표 10과 같다.

표 10

[0119]

Rock name	Sample No.	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
Geochang granite (G)	G-1	19.5	12.2	8.4	11	6.5
	G-2	31	12.2	17.3	10.3	6.3
	G-3	36.8	10	11	9.1	27.9
	Mean	29.1	11.5	12.2	10.1	13.6
	An(%)	59.5	19.2	72.8	18.8	159.2
Hapcheon granite (H)	H-1	34.8	15.1	8.4	11.6	7.1
	H-2	33.6	12.2	11.2	13.1	6.6
	H-3	44.7	12.2	8.4	11	6.5
	Mean	37.7	13.2	9.3	11.9	6.7
	An(%)	29.4	22.0	30.0	17.6	8.9

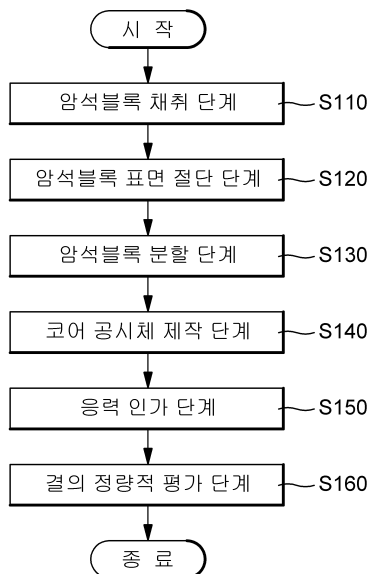
- [0120] 여기에서 An은 이방성 계수(Anisotropy coefficient, %)이며, Max-Min/평균 으로 계산될 수 있다.
- [0121] 두 암석의 α 각은 -1에서 공통적으로 $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2 \rightarrow \alpha_3$ (감소), $\alpha_3 \rightarrow \alpha_4$ (증가), $\alpha_4 \rightarrow \alpha_5$ (감소)하는 규칙성을 도출하였다. 두 암석의 3개 공시체 중, -2, -3에서는 규칙성이 결여된다(도 9d).
- [0122] 5개 각에 대한 이방성 계수(%)는 함천화강암(하부영역) < 거창화강암(상부영역)의 순이다. 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 이방성 계수가 높다. 두 암석의 이방성 계수(%)는 $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ (감소), $\alpha_2 \rightarrow \alpha_3$ (증가), $\alpha_3 \rightarrow \alpha_4$ (감소), $\alpha_4 \rightarrow \alpha_5$ (증가)하는 공통적인 규칙성을 도출하였다(도 9e).
- [0123] 본 발명에서는 체적 변형을 곡선 상에서 획득한 구간 IV-2를 중심으로 하여 화강암의 3개 면에 대하여 사전에 3개 결, 3개 면을 예측할 수 진보적인 판별 기준을 도출하였다.
- [0124] 1. 구간 IV-2의 배열성

- [0125] 구간 IV-2는 -1 → -2 → -3으로 갈수록 공통적으로 우측에서 좌측으로 이동 배열한다. 3개 공시체 사이의 수직 결의 밀도 차에 따른 상대적인 체적 팽창의 증가를 의미한다.
- [0126] 3개 공시체 사이의 구간 IV-2에 대한 상호 중첩 정도를 보면, 일축압축강도가 높고 미세균열의 밀도가 낮은 합천화강암의 중첩도가 높다.
- [0127] 2. 교점 A' 및 교점 G의 이동 경로
- [0128] 거창화강암의 교점(A')의 이동 경로를 보면, 체적변형을 곡선 상에서 II 구간의 초기점(A)을 기준하여 -1에서는 점 A의 좌측, -2, -3은 점 A의 우측에 위치한다. 합천화강암의 교점(A')의 이동 경로를 보면, -1, -2에서는 점 A의 좌측, -3은 점 A의 우측에 위치한다. 두 암석의 -3에서는 공통적으로 A의 우측에 위치한다.
- [0129] 교점(G)의 이동 경로를 도출하였다. 구간 IV-1의 우측 경계선인 선 E-E'를 기준선으로 할 경우, 교점(G)는 -1 → -2 → -3 공시체로 갈수록 공통적으로 우측에서 좌측으로 이동한다. 교점(G), 교점(A')의 이동경로는 상호 반대 방향이다. A'-A, E'-G의 평균 길이는 거창화강암 > 합천화강암의 순이다.
- [0130] 3. θ 각의 변화:
- [0131] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 θ 각은 -1 < -2 < -3의 순으로 되며, 공통적으로 증가한다. θ 각의 평균 각 및 이방성 계수(%)는 합천화강암 < 거창화강암의 순이며, 일축압축강도가 낮고 미세균열의 밀도가 높은 거창화강암의 평균각 및 이방성 계수(%)가 높다.
- [0132] 4. 삼각형 CC'G의 면적변화
- [0133] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 $\Delta CC'G$ 의 면적은 공통적으로 -1 > -2 > 3의 순이며, 음의 지수함수의 형태로 감소한다. 합천화강암의 지수함수의 기울기가 낮다.
- [0134] 3개 공시체의 평균면적은 거창화강암(3.69) < 합천화강암(6.38)의 순이며, 합천화강암의 평균면적이 크다. 반면에 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 합천화강암(84.3%) < 거창화강암(215.7%)의 순이며, 거창화강암의 이방성 계수가 높다.
- [0135] 5. 삼각형 CEF의 면적변화
- [0136] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 ΔCEF 의 면적은 -1 > -2 > 3의 순이며, 공통적으로 음의 지수함수의 형태로 감소한다. 합천화강암의 지수함수의 기울기가 낮다.
- [0137] 3개 공시체의 평균면적은 거창화강암(2.88) < 합천화강암(3.46)의 순이며, 합천화강암의 평균면적이 크다. 반면에 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 합천화강암(59.0%) < 거창화강암(143.2%)의 순이며, 거창화강암의 이방성 계수가 높다. 이러한 특성은 $\Delta CC'G$ 의 면적변화의 경우와 동일하다.
- [0138] 6. 차변형율(구간 IV-2의 세로 폭)
- [0139] 거창화강암의 차변형율은 -1(1434) → -2(840)(감소), -2(840) → -3(3485)(증가)한다. 합천화강암에서도 -1(1086) → -2(922)(감소), -2(922) → -3(976)(증가)한다. 두 암석의 공시체 사이의 공통적인 규칙성을 도출하였다.
- [0140] 암석별 3개 공시체의 차변형율의 평균치는 합천화강암(994) < 거창화강암(1919)의 순이다. 거창화강암의 차변형율이 크다.
- [0141] 7. 차응력(구간 IV-2의 가로 폭)
- [0142] 거창화강암의 차응력은 -1(87) → -2(101)(증가), -2(101) → -3(47)(감소)한다. 합천화강암에서도 -1(104) → -2(116)(증가), -2(116) → -3(95)(감소)한다. 두 암석의 공시체 사이의 공통적인 규칙성을 도출하였다. 응력의 방향과 수평 배열하는 수직 결의 밀도가 가장 높은 3 공시체에서 차응력이 공통적으로 가장 낮다.
- [0143] 거창 및 합천화강암의 차변형율과 차응력의 관계를 보면, -1 → -2(감소 및 증가), -2 → -3(증가 및 감소)한다. 상호 반비례의 규칙성을 도출하였다. 즉 구간 IV-2의 세로 폭(차변형율)은 -2가 낮은 반면, 가로 폭(차응력)은 -2가 높은 공통성을 도출하였다.
- [0144] 차응력의 평균치를 보면, 거창화강암(78) < 합천화강암(105)의 순이며, 합천화강암의 차응력이 보다 크다.
- [0145] 8. 원점과 체적변형을 곡선상의 각 지점 사이의 길이 변화

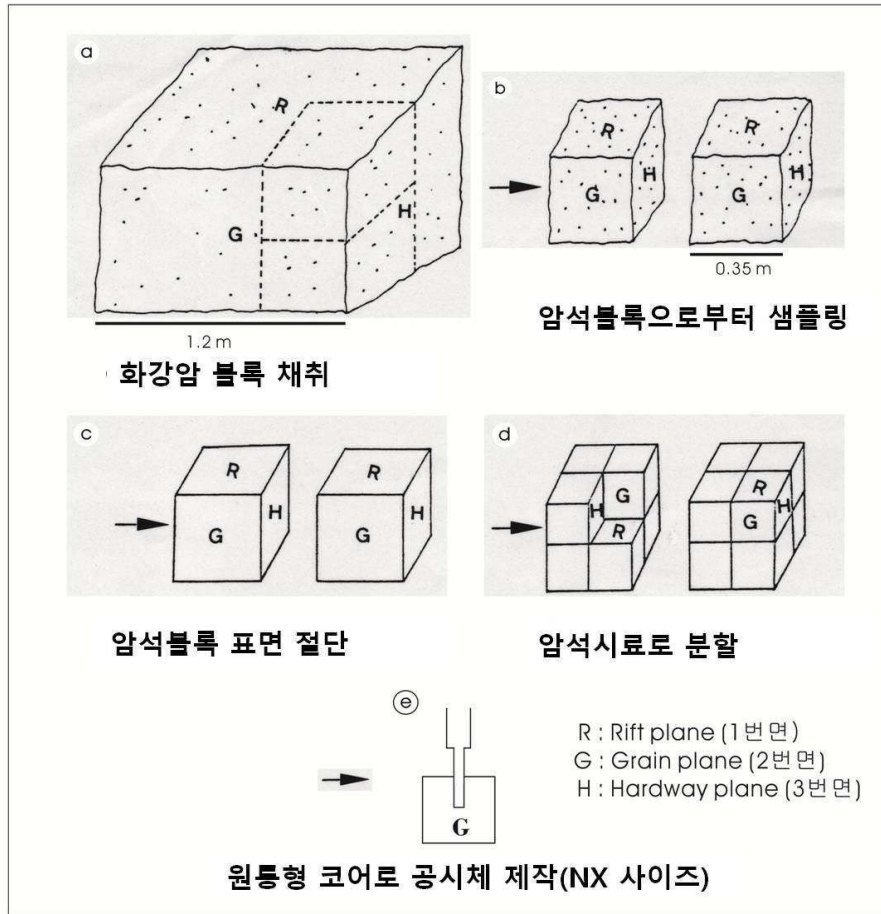
- [0146] 거창 및 합천화강암의 3개 공시체별 5개 직선의 길이의 영역을 보면, -3(하위영역) < -2(중위영역) > 1(상위영역)의 순으로 배열하는 공통적인 규칙성을 도출하였다.
- [0147] 3개 공시체별 이방성 계수(%)는 합천화강암(하위영역) < 거창화강암(상위영역)의 순이며, 거창화강암의 이방성 계수가 높다.
- [0148] 9. 원점과 체적변형을 곡선상의 각 지점의 각도 변화
- [0149] 거창 및 합천화강암의 각도 변화를 보면, -1에서는 $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3$ (감소), $a_3 \rightarrow a_4$ (증가), $a_4 \rightarrow a_5$ (감소)하는 공통적인 규칙성을 도출하였다. 두 암석의 3개 공시체 중, -2, -3에서는 규칙성이 결여된다.
- [0150] 5개 각에 대한 이방성 계수(%)는 합천화강암(하부영역) < 거창화강암(상부영역)의 순이다. 거창화강암의 이방성 계수가 높다.
- [0151] 두 암석의 이방성 계수(%)는 $a_1 \rightarrow a_2$ (감소), $a_2 \rightarrow a_3$ (증가), $a_3 \rightarrow a_4$ (감소), $a_4 \rightarrow a_5$ (증가)하는 공통적인 규칙성을 도출하였다.
- [0152] 이상 거창 및 합천화강암의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 체적 변형을 곡선 상에서 획득한 다양한 판별 요소와 상호 대비하였다. 이러한 대비를 통하여 거창 및 합천화강암의 3개 체적면을 공통적으로 대변하는 주요 판별요소를 도출하였다.
- [0153] 이상과 같이 도면과 명세서에서 최적 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

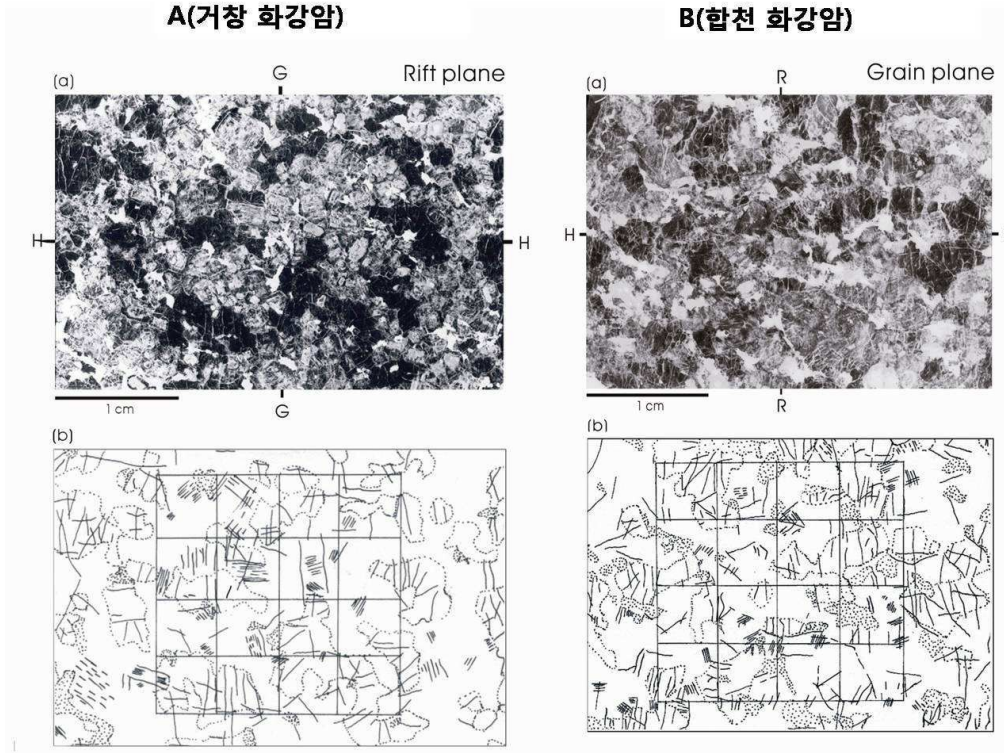
도면1



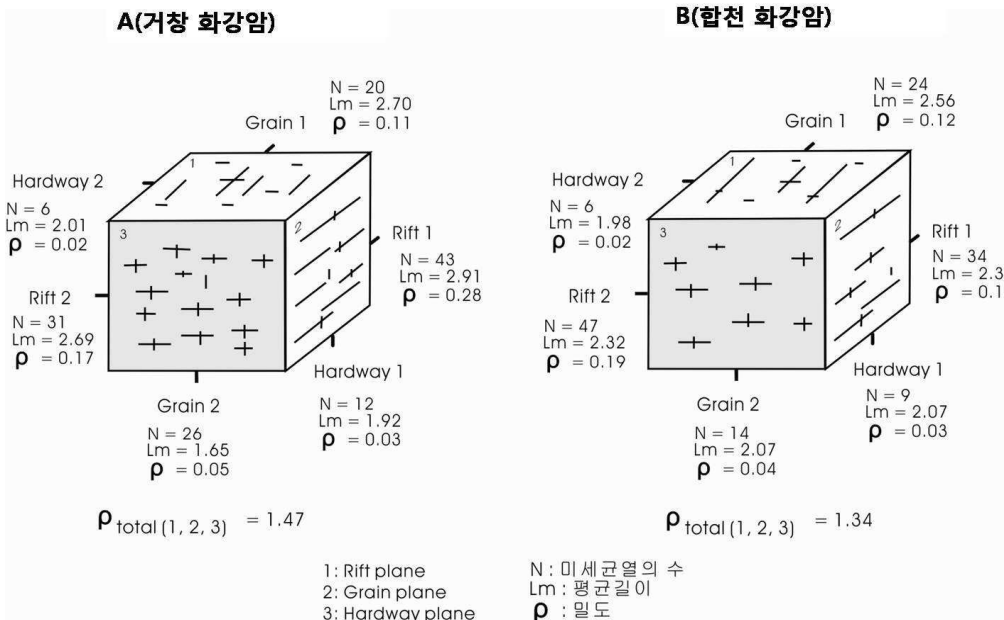
도면2



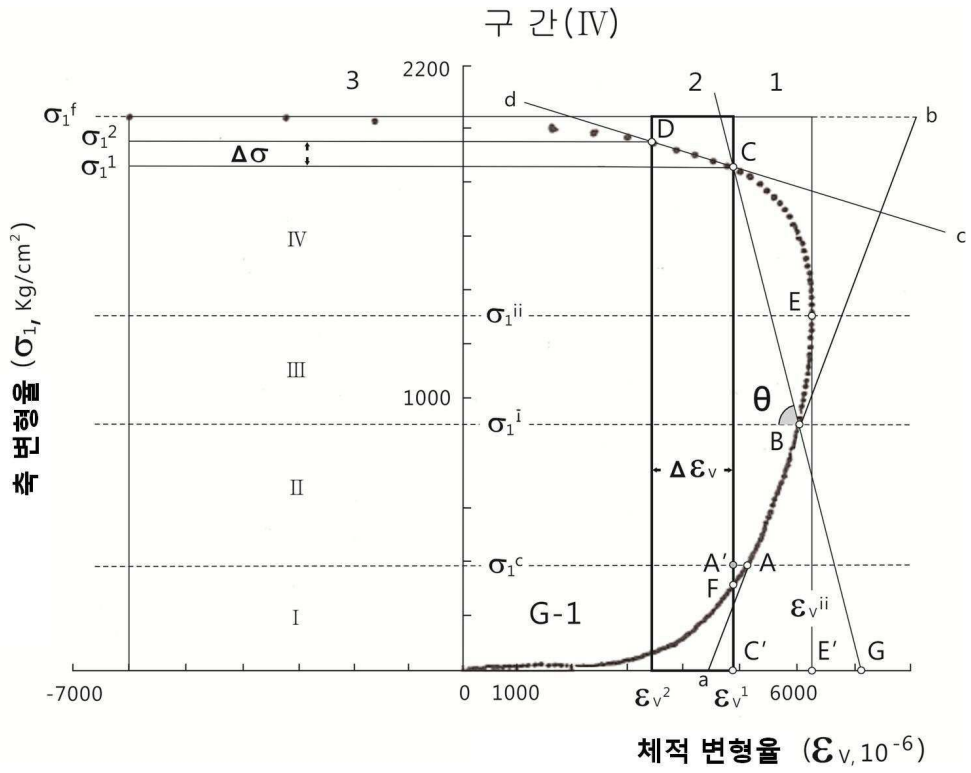
도면3



도면4



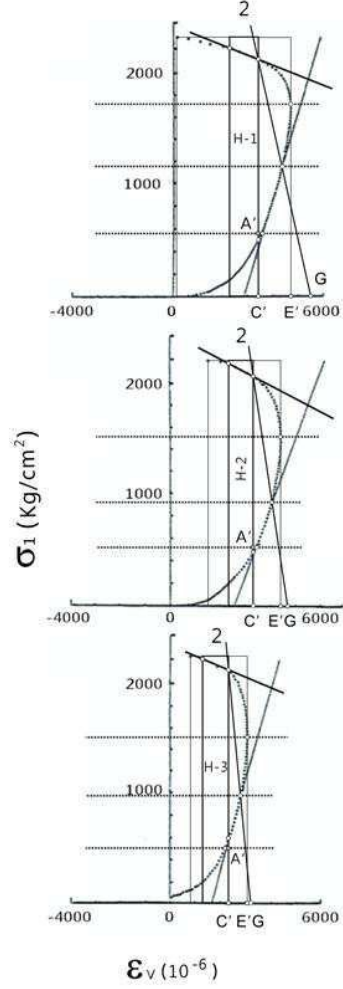
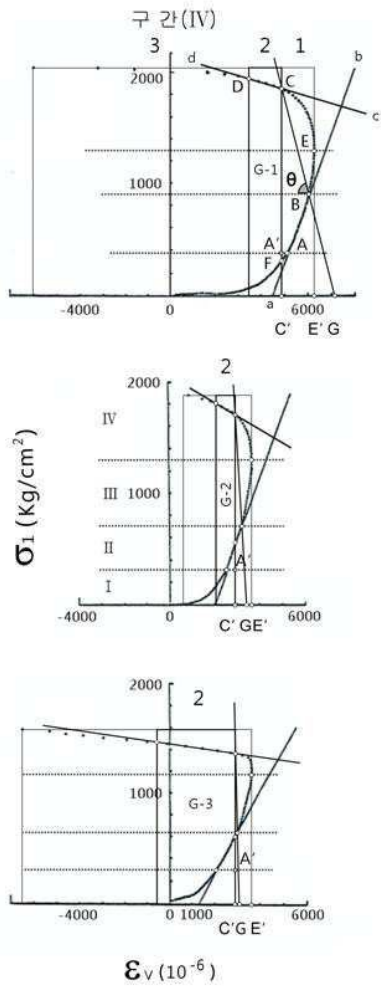
도면5



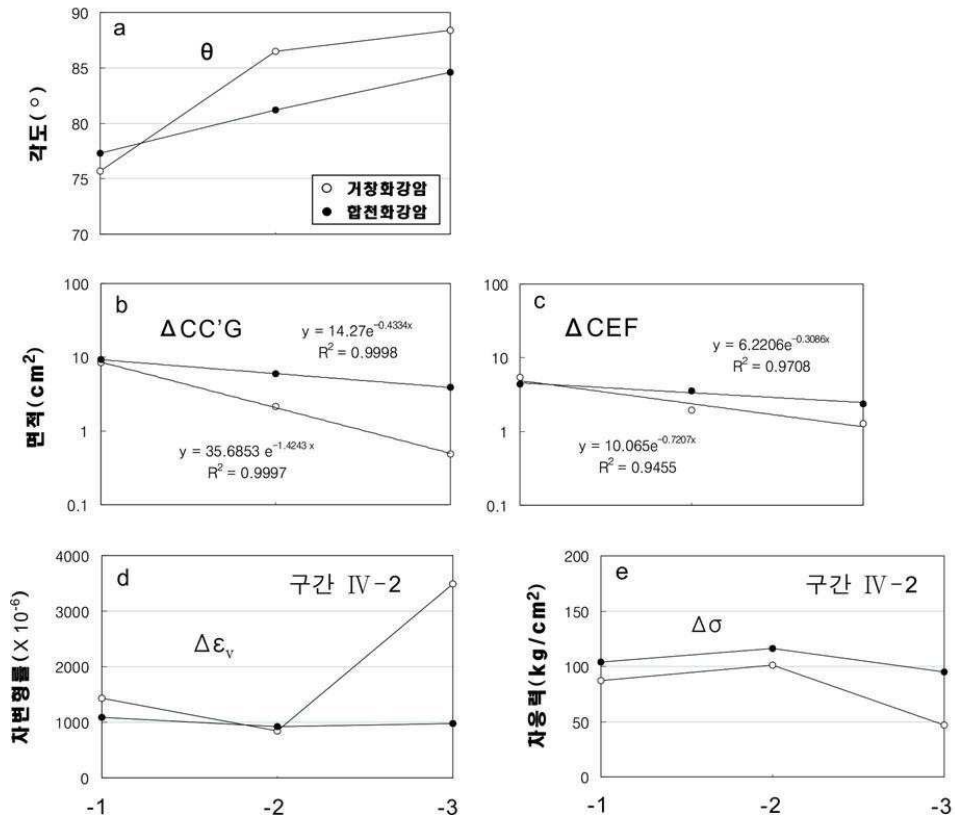
도면6

A(거장화강암)

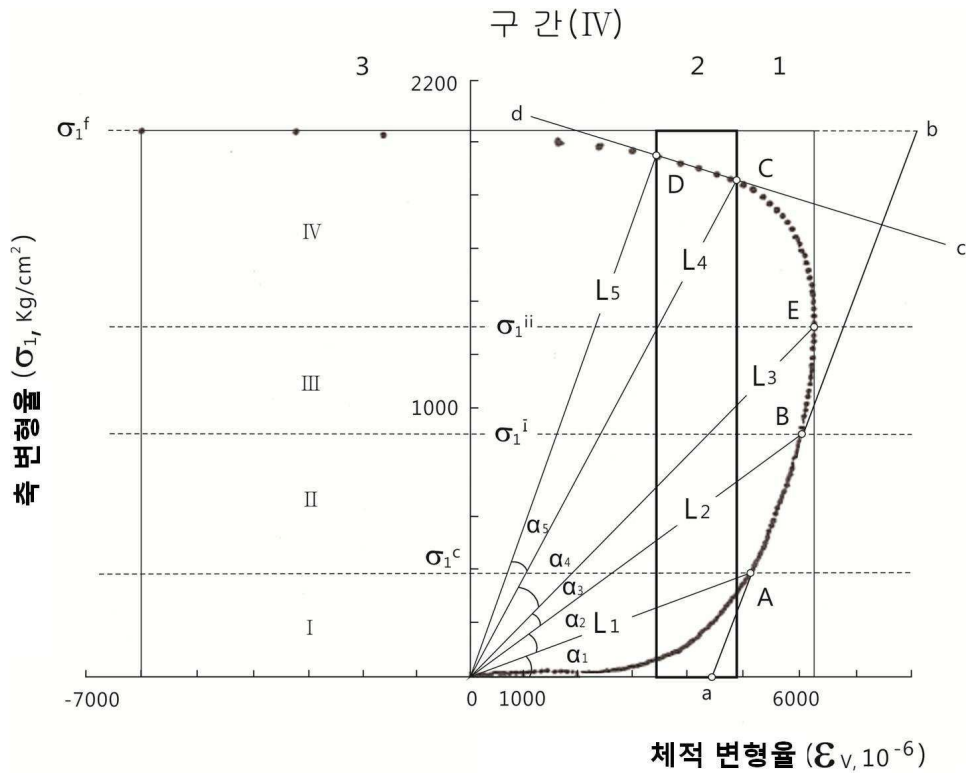
B(합천화강암)



도면7



도면8



도면9

