



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년05월11일
 (11) 등록번호 10-1734788
 (24) 등록일자 2017년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01N 3/08 (2006.01) G01B 21/32 (2006.01)
 G01N 3/40 (2006.01) G01N 33/24 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01N 3/08 (2013.01)
 G01B 21/32 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0172513
 (22) 출원일자 2016년12월16일
 심사청구일자 2016년12월16일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR101285968 B1*
 KR101537955 B1*
 KR200437268 Y1
 KR101503219 B1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
 (72) 발명자
 박덕원
 대전광역시 서구 대덕대로 415 상아아파트 101-1105
 김경수
 대전광역시 유성구 배울2로 42 (관평동, 대덕테크노밸리5단지아파트) 515-801
 이영민
 대전광역시 유성구 가정로 43 삼성한올아파트 11 0동 1805호
 (74) 대리인
 정상규

전체 청구항 수 : 총 9 항

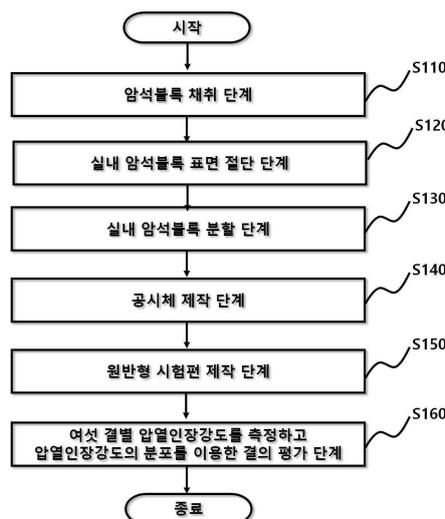
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 **화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법**

(57) 요약

본 발명은 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법에 관한 것으로, 화강암으로부터 정방형 암석 블록을 채취하는 암석블록 채취 단계; 상기 암석블록을 3개 채석면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계; 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계; 상기 암석시료에서 3개 채석면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계; 제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계; 상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 3/40 (2013.01)

G01N 33/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2015-026

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 한국지질자원연구원 주요사업

연구과제명 고온고압 조건하 심부 지열특성 평가기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2015.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과에 대하여 9개 계급구간으로 구분하여 압열인장강도값의 빈도율을 도출하고, 빈도수의 집중도가 낮을수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

청구항 3

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 최대 압열인장강도값과 최소 압열인장강도값 사이의 강도차를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 평균값인 각 결별 강도차를 구해 강도차가 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

청구항 4

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 평균 강도를 도출하고, 면에 포함되는 두 방향의 평균값인 각 면별 평균 강도를 구해 평균 강도가 낮을수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

청구항 5

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 평균 강도를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 평균 강도들 사이의 강도차이를 구해 평균 강도의 차이가 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

청구항 6

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 중앙 강도를 도출하고, 곁에 포함되는 두 방향의 중앙 강도의 평균값을 구해 평균값이 작을수록 해당 곁의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 곁의 평가 방법.

청구항 7

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 곁의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 곁의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 곁과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 곁과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 곁과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 중앙 강도를 도출하고, 곁에 포함되는 두 방향의 중앙 강도들 사이의 강도차이를 구해 중앙 강도의 차이가 작을수록 해당 곁의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 곁의 평가 방법.

청구항 8

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 곁의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 곁의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 곁과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 곁과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 곁과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대하여 하기의 수학적 식을 통해 이방성 계수를 구하고, 곁에 포함되는 두 방향의 이방성 계수들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 곁의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 곁의 평가 방법.

(수학적 식)

이방성 계수(A_n , %) = {압열인장강도의 최대값(Maximum value) - 압열인장강도의 최소값(Minimum value) / 압열인장강도의 평균값(Mean value)} × 100

청구항 9

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대한 인장강도-시험편의 누적수 그래프(인장강도(X축)는 오름차순, 시험편의 누적수(Y축)는 내림차순)를 각각 작성하고, 각 그래프에 대한 음의 일차함수($Y = -aX + b$)의 상관식을 도출한 후 음의 기울기(a)를 구하며, 면에 포함되는 두 방향의 기울기(a)들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

청구항 10

화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계;

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

상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계;

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

제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계;

상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하며,

상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는,

여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대한 인장강도-시험편의 누적수 그래프(인장강도(X축)는 오름차순, 시험편의 누적수(Y축)는 내림차순)를 각각 작성하고, 각 그래프에 대한 음의 일차함수($Y = -aX + b$)의 상관식을 도출한 후 음의 기울기(a)를 구하며, 결에 포함되는 두 방향의 기울기(a)들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 국내의 화강암 석산(granite quarry)에서는 암체 내부에 잠재하는 활석(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 지역

적으로 상이하다.

- [0003] 화강암체의 상대적인 할석의 용이도는 일반적으로 3번 결(hardway) < 2번 결(grain) < 1번 결(rift)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 국내에서 주종을 이루는 화강암류 석산에서는 특히 중요하게 인식되고 있다.
- [0005] 석산별로 수평 및 수직상 미세균열(결)의 밀도 차이는 암체의 할석작업 시 상대적인 분리성을 의미한다. 수평 결과 수직 결의 상대적인 분리성에 기준하여 석산의 유형을 분류할 수 있다. 즉 수평의 채석면을 기준으로 하여 다음의 3 가지의 유형(type)으로 분류할 수 있다.
- [0006] 국내 화강암 석산의 유형은 ① 1번 면(rift plane)이 수평면을 형성하고, 2번 및 3번 면이 수직을 형성하는 유형(R-type, 1-유형), ② 2번 면(grain plane)이 수평면을 형성하고, 1번 및 3번 면이 수직을 형성하는 유형(G-type, 2-유형), ③ 3번 면(hardway plane)이 수평면을 형성하고, 1번 및 2번 면이 수직을 형성하는 유형(H-type, 3-유형)이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국특허출원 제2015-0038618호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 그 목적은 화강암의 압열인장강도의 역학적 특성을 이용한 3개 채석면 및 여섯 결의 평가 방법을 제공하는데 있다.
- [0009] 첫째, 이 연구에서는 전체법에 의한 여섯 방향의 미세균열에 대한 빈도수, 총 길이, 평균 길이, 중앙 길이 및 밀도를 통하여 결의 발달상과 분포상을 규명하였다. 즉 여섯 결의 모식도에서 제시한 여섯 방향별 미세균열의 각종 파라미터를 도출하였다.
- [0010] 둘째, 3개 면, 여섯 결에 대한 ① 압열인장강도의 다양한 특성, ② 압열인장강도(X축) - 시험편의 누적수(Y축) 그래프에서 도출한 상관함수의 기울기(a), 여섯 그래프의 표준적인 분포형 그리고 여섯 그래프 사이의 배열성(상위영역, 하위영역)을 도출하였다.
- [0011] 셋째, ① 최종적으로 여섯 방향의 압열인장강도(최대 강도) 그리고 ② 결의 모식도에서 제시한 여섯 방향과 평행 배열하는 미세균열의 길이의 파라미터 사이의 상관도를 작성하였다.
- [0012] 한편 암석시료의 내부에서 분포하는 미세균열의 분포상황은 모호하며 육안으로 확인이 곤란한 경우가 많다. 동일한 응력조건 하에서의 압열인장강도에 대한 결의 거동 특성은 원반형 시험편의 내부에 존재하는 미세균열의 대표적인 분포 특성을 잘 대변하는 것으로 생각된다. 기존의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 압열인장강도의 특성과 대비하였다.
- [0013] 화강암 석산에서 3개 채석면의 분리성은 3번 결(hardway) < 2번 결(grain) < 1번 결(rift)의 순이며, 분리성이 가장 낮은 3번 면에 대한 할석 시, 젯트 버너를 사용하기도 한다. 즉 화강암 석산의 개발 초기단계에서 채석면의 방향성 설정, 나아가 3개 채석면의 평행한 방향으로 발파 시 화약량의 조절 등의 참고자료에 기여할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명에 따르면, 화강암으로부터 정방형 암석블록을 채취하는 암석블록 채취 단계; 상기 암석블록을 3개 채석면과 평행한 방향으로 표면을 절단하는 암석블록 표면 절단 단계; 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하는 암석블록 분할 단계; 상기 암석시료에서 3개 채석면과 수직방향으로 각각의 코어 공시체를 제작하는 코어 공시체 제작 단계; 제작된 3개 채석면 방향의 코어 공시체 각각에서 두께가 동일한 원반형 시험편을 다수 개 제작하는 원반형 시험편 제작 단계; 상기 원반형 시험편들에 대하여 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가해 압열인장강도를 측정하고, 측정된 여섯 결의 압열인장강도 분포특성을 분석하여 3개 결과 3개 면에 대한 상대적인 강도를 평가하는 결과 면의 정량적 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법을 제공한다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과에 대하여 9개 계급 구간으로 구분하여 압열인장강도값의 빈도율을 도출하고, 빈도수의 집중도가 낮을수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 최대 압열인장강도값과 최소 압열인장강도값 사이의 강도차를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 평균값인 각 결별 강도차를 구해 강도차가 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 평균 강도를 도출하고, 면에 포함되는 두 방향의 평균값인 각 면별 평균 강도를 구해 평균 강도가 낮을수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 평균 강도를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 평균 강도들 사이의 강도차이를 구해 평균 강도의 차이가 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 중앙 강도를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 중앙 강도의 평균값을 구해 평균값이 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에서 중앙 강도를 도출하고, 결에 포함되는 두 방향의 중앙 강도들 사이의 강도차이를 구해 중앙 강도의 차이가 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대하여 하기의 수학적식을 통해 이방성 계수를 구하고, 결에 포함되는 두 방향의 이방성 계수들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0022] (수학적식)
- [0023] 이방성 계수(A_n , %) = {압열인장강도의 최대값(Maximum value) - 압열인장강도의 최소값(Minimum value) / 압열인장강도의 평균값(Mean value)}×100
- [0024] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대한 인장강도-시험편의 누적수 그래프(인장강도(X축)는 오름차순, 시험편의 누적수(Y축)는 내림차순)를 각각 작성하고, 각 그래프에 대한 음의 일차함수($Y = -aX + b$)의 상관식을 도출한 후 음의 기울기(a)를 구하며, 면에 포함되는 두 방향의 기울기(a)들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 면의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.
- [0025] 바람직하게는, 상기 결과 면의 정량적 평가 단계에서는, 여섯 방향의 압열인장강도 측정결과를 통해 여섯 방향에 대한 인장강도-시험편의 누적수 그래프(인장강도(X축)는 오름차순, 시험편의 누적수(Y축)는 내림차순)를 각각 작성하고, 각 그래프에 대한 음의 일차함수($Y = -aX + b$)의 상관식을 도출한 후 음의 기울기(a)를 구하며, 결에 포함되는 두 방향의 기울기(a)들 사이의 차이를 구해 이 차이가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0026] 한 석산에서 채석되는 화강암에 대하여 동일한 응력조건 하에서의 압열인장강도의 특성은 ① 여섯 결의 방향과 평행 배열하는 미세균열의 양적 특성에 민감한 동시에, ② 미세균열의 대표적인 분포 특성을 잘 반영한다. 기존의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 압열인장강도의 특성과 상호 대비하였다. 이러한 대비를 통하여 3개 면 및 여섯 결 사이의 차이점을 잘 대변하는 대표적인 역학적 요소를 도출하였다. 결론적으로 많은 시간과 노력을 요하는 미세균열의 평가 작업의 과정을 거치지 않고 실내 압열인장강도를 통하여 3개 면, 여섯 결을 인식할 수 있는 장점이 있다.
- [0027] 즉 화강암 채석장에서 상호 수직을 형성하는 3개 채석면과 관련하여 기존에 규명된 미세균열의 분포성 그리고 실내에서 측정한 압열인장강도의 분포 특성을 상호 대비, 3개 채석면 및 여섯 결의 고유한 특성에 대한 보다 명확한 평가를 기할 수 있다.
- [0028] 화강암 석산의 개발 초기단계에서 암석시료에 대한 역학적 특성을 수행, 3개 면의 사전 인식에 따른 석산의 유형분류가 가능하며, 3개 면에서 상호 직교하는 여섯 방향의 결에 대한 보다 정확한 인식에 기여할 수 있다. 또한 석산의 유형분류, 나아가 3개 면의 평행한 방향으로 발파 시 상대적인 조절을 위한 기초자료를 제공할 수 있다.
- [0029] 보다 상세하게는, 암석 시료 내부에서 분포하는 미세균열의 분포상황은 모호하며 육안으로 확인이 곤란한 경우가 많다. 동일한 응력조건 하에서의 결에 대한 압열인장강도의 특성은 암석 시료 내부에 존재하는 미세균열의 대표적인 분포특성을 잘 대변하는 것으로 생각된다. 기존의 박편사진을 통한 미세균열의 평가 결과와 병행, 압열인장강도체적 변형을 곡선의 특성과 대비하였다.
- [0030] 결의 평가 측면에서, 복잡한 미세균열계의 분석과정의 배제효과와 함께 다양한 암종에 대한 확대적용이 기대된다. 기존의 결의 평가방법에 비하여 보다 진보적이며 신규성에 기여하는 분석방법을 도출하였다.
- [0031] 시간과 노력을 요하는 기존의 박편의 확대사진을 통한 미세균열의 분석과정을 배제하고, 국제규격(NX 규격)의 공시체에서 제작한 원반형 시험편에 대한 역학적 특성을 도출, 3개 채석면 및 여섯 결을 사전에 인식 내지는 판별할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0032] 도 1은 본 발명에 따른 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법을 이용한 결의 평가 방법을 도시한 흐름도.
- 도 2는 현장에서 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 평행하게 채석된 화강암 블록으로부터 암석시료 채취과정 및 실내 박편의 제작과정을 나타내는 도면.
- 도 3은 3개 면에 평행한 박편의 확대사진 상에서 여섯 방향과 평행 배열하는 미세균열만을 분리하여 스케치한 도면(a, b, c), 채석면과 미세균열과의 상관성을 나타내는 암석시료의 모식도에서 공시체 및 원반형 시험편의 제작과정(d)을 종합적으로 나타내는 도면.
- 도 4는 압열인장강도(N:30)를 9개 계급구간으로 구분하여 전체적인 빈도수의 분포형을 나타내는 도면.
- 도 5는 여섯 방향의 압열인장강도 - 시험편의 누적수 그래프의 분포 형, 상호간의 배열성(상위영역, 하위영역)을 종합적으로 나타내는 도면.
- 도 6은 여섯 방향의 압열인장강도차(a), 평균 강도 및 중앙 강도(b), 압열인장강도의 이방성 계수(c), 일차함수의 기울기(d)를 크기가 증가하는 순으로 배열하여 전체적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 7은 여섯 방향의 중앙 강도 및 평균 강도를 3개 면(a), 3개 결(b)로 배열하여 두 파라미터 사이의 강도차의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 8은 여섯 방향의 미세균열의 총 길이, 빈도수, 중앙 길이, 밀도 및 최대 강도를 3개 면(a), 3개 결(b)로 배열하여 이들 파라미터의 전체적인 변화 특성과 상호간의 상관성을 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하 본 발명에 따른 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법에 대하여 첨부한 도면을 참고하여 상세히 설명한다.
- [0034] 여섯 방향의 압열인장강도의 다양한 분포 특성을 도출, 결의 모식도에서 제시한 여섯 방향의 미세균열의 길이의 파라미터와 연계하여 분석하였다. 즉 여섯 방향에 대한 압열인장강도 - 시험편의 누적수 그래프를 도출, 이들 그래프에서 도출한 다양한 역학적 파라미터, 표준적인 분포형, 여섯 그래프 사이의 배열성을 도출하여 기 규명된 미세균열의 길이와 관련된 파라미터와 대비하였다.
- [0035] 이러한 강도 그리고 미세균열 사이의 상호 대비를 통하여 3개 채석면 및 여섯 결의 고유한 특성에 대한 보다 정확한 인식에 접근할 수 있으며, 효과적인 역학적 판별요소의 도출을 시도하였다. 암석은 거창지역의 화강암을 대상으로 하였다.
- [0036] 도 1은 본 발명에 따른 화강암의 압열인장강도의 분포를 이용한 결의 평가 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0037] 1. 암석시료 채취 단계(S110)
- [0038] 경남 거창군 웅양면 산포리(범일석산)의 주라기 화강암(이하 거창화강암)에서 시료를 채취하였다. 거창화강암(Geochang granite)은 선캠브리아기의 반상변정편마암과 흑운모 호상편마암을 관입한 주라기 화강암이다. 이 암석은 회백색(greyish white)을 띠고, 등립상의 중립질암으로 석영 및 장석의 입도는 2~6 mm이다. 실험대상 암석 시료 채취심도는 약 20m이다. 주구성광물의 모드 조성(vol. %)은 석영: 31.3 %, 사장석: 39.5 %, 정장석: 9.8 %, 미사장석: 9.6 %, 피다이트: 5.7 %, 흑운모: 2.9 %이며, 그외 백운모 등이 미량 확인된다. 이 암석은 분류상 흑운모 화강암에 속한다. 실험대상 시료용의 암석블록 채취심도는 약 20m이다. 3개 결의 관계를 나타내는 모식도에서 1번 면은 수평, 2번(동북동 방향) 및 3번 면은 수직을 형성한다. 상기한 석산에서 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 평행하게 채석된 약 1.2m 크기의 정방형의 암석 블록에서 약 35cm 크기의 암석블록을 채취하였다(도 2a, b).
- [0039] 2. 암석블록 표면 절단 단계(S120)
- [0040] 샘플링된 암석블록에 대하여 대형 암석절단 톱을 이용하여 상기 3개 채석면과 평행한 방향으로 암석 표면을 절단하여 평평하게 한다(도 2c).
- [0041] 3. 암석블록 분할 단계(S130)
- [0042] 3개 채석면과 평행한 방향으로 표면을 절단한 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하였다(도 2d). 이와 같이 분할된 암석시료는 실내의 박편, 공시체, 원반형 시험편의 제작에 용이하다.
- [0043] 4. 박편 제작 단계
- [0044] 현장에서 채취한 화강암의 암석시료에서 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 각각 평행하게 박편을 제작한다. 제작된 박편의 크기는 2 cm × 3 cm 이며, 박편의 두께는 먼구조 측정의 용이성을 위하여 일반 박편의 3~4배(약 0.1 mm)로 제작한다(도 2e). 또한 화강암에서는 세 방향의 채석면과 평행하게 제작된 박편의 확대사진(×6.7)을 통하여 상호 직교하는 2조의 결(미세균열)을 각각 측정할 수 있다.
- [0045] 5. 공시체 제작 단계(S140)
- [0046] 세 방향의 채석면과 평행하게 제작된 박편의 확대사진(도 3a), 전체적인 미세균열의 스캐치 사진(도 3b), 상기 미세균열의 스캐치 사진에서 추출한 여섯 방향과 평행 배열하는 미세균열을 분리하여 스캐치한 사진(도 3c)을 제시하였다.
- [0047] ① 결의 모식도에서 제시한 여섯 방향의 미세균열을 분리하여 스캐치한 결과, ② 표면을 절단한 정방형 암석블록에서 3개 면과 직교하는 방향으로 제작한 공시체를 이용하여 원반형 시험편을 제작하는 과정을 모식적으로 나타내면 도 3d와 같다.
- [0048] 도 3d에 도시한 3개 채석면과 미세균열과의 상관성을 나타내는 모식도에서와 같이 1번 면에 평행하는 박편에서는 그레인 1(Grain 1, G1)과 하드웨이 1(Hardway 1, H1), 2번 면에 평행하는 박편에서는 리프트 1(Rift 1, R1)과 하드웨이 2(Hardway 2, H2) 그리고 3번 면에 평행하는 박편에서는 그레인 2(Grain 2, G2) 및 리프트 2(Rift 2, R2)의 미세균열을 각각 측정할 수가 있다. 결의 모식도에서 제시한 6개 방향과 평행 배열하는 미세균열의 분포 형태는 도 3d에 도시되어 있다.
- [0049] 상기 분할된 암석시료에 대하여 1번 면, 2번 면, 3번 면에 각각 수직방향으로 작업하여 NX 크기의 코어를 획득

하였다. 실내 역학시험을 위한 NX 코어 공시체의 규격은 직경이 5.4cm, 길이 10.8cm이다. NX 크기의 공시체는 상기한 1번 면(Rift plane), 2번 면(Grain plane), 3번 면(Hardway plane)에 각각 수직되게 제작하였으며, R, G 및 H 공시체로 각각 명명하였다. 여기서 R은 1번 면, G는 2번 면 그리고 H는 3번 면에 수직인 축을 각각 의미한다(도 3d).

[0050] 6. 원반형 시험편 제작 단계(S150)

[0051] 이들 3개 방향의 코어 공시체에서 10개의 원반형 시험편(specimen)을 각각 제작하였다(도 3d). 원반형 시험편의 규격은 직경이 5.4 cm, 두께는 직경의 0.5배이다. 모두 30개의 시험편을 제작, 간접적인 압연인장시험을 실시하였다.

[0052] 7. 여섯 결의 평가 단계(S160)

[0053] 7-1 전체법에 의한 미세균열의 측정

[0054] 6개 방향과 평행 배열하는 개개 미세균열의 길이는 프로그램을 통하여 총 279개를 측정하였다. 여섯 방향의 미세균열의 빈도수, 길이범위, 총 길이, 평균 길이, 중앙 길이 및 밀도를 모두 종합하면 표 1과 같다.

[0055] 각 면별로는 1번 면(G1 + H1)에서 57개, 2번 면(R1 + H2)에서 109개, 3번 면(R2 + G2)에서 113개를 각각 측정하였다. 미세균열의 수는 1번 면(20.4 %) < 2번 면(39.1 %) < 3번 면(40.5 %)의 순을 보인다. R2와 G2가 교차하는 3번 면에서 미세균열의 수가 가장 많다.

표 1

Plane	Rock cleavage	N	Length range (mm)	Total length (mm)	Mean length (mm)	Median length (mm)	Density (ρ)
Rift	Grain 1	32	0.86 ~ 4.28	63.87	1.99	1.84	0.113
	Hardway 1	25	0.51 ~ 2.78	43.08	1.72	1.63	0.064
Grain	Rift 1	72	0.19 ~ 7.99	158.56	2.20	2.14	0.364
	Hardway 2	37	0.53 ~ 3.40	51.05	1.47	1.36	0.063
Hardway	Rift 2	72	0.45 ~ 6.50	145.37	2.01	1.87	0.287
	Grain 2	41	0.35 ~ 3.74	62.75	1.53	1.52	0.094
Total		279	0.19 ~ 7.99	524.68	1.88	1.68	0.985

[0056]

[0057] 표 1은 여섯 방향별 미세균열의 길이 자료이다.

[0058] 표 1의 여섯 방향별 미세균열의 파라미터를 종합하면, 미세균열의 빈도수(N), 총길이(L_t), 평균길이(L_m) 및 밀도(ρ)는 하드웨이 < 그레인 < 리프트의 순이다. 미세균열의 각종 파라미터에 대하여 각 면의 2 방향의 결에 대한 합을 산출한 결과, (하드웨이 1 + 하드웨이 2) < (그레인 1 + 그레인 2) < (리프트 1 + 리프트 2)의 순으로 되어 결(미세균열)의 강도에 따른 경향성이 뚜렷하다(표 2).

표 2

Direction of rock cleavage	N	Total length (L_t , mm)	Mean length (L_m , mm)	Median length (L_{med} , mm)	Density (ρ)
Rift 1 + Rift 2	144	303.9	2.12	1.98	0.65
Grain 1 + Grain 2	73	126.6	1.73	1.66	0.20
Hardway 1 + Hardway 2	62	94.1	1.51	1.48	0.12

[0059]

[0060] 도 3의 모식도에서 제시한 여섯 방향의 미세균열(결)의 제 특성과 역학적 특성을 상호 연계하여 분석한다. 즉

상기한 미세균열의 파라미터(표 1, 2) 그리고 다양한 역학적 파라미터 사이의 상관성을 검토하게 된다.

[0061] 7-2 여섯 결의 압열인장강도

[0062] 여섯 결의 평가 단계에서는 도 3d의 모식도에서 제시한 여섯 결의 방향과 평행한 방향으로 하중을 가하여 압열인장강도를 측정하였다. 압열인장시험을 위하여 각 방향별로 5개의 원반형 시험편(총 30개)을 사용하였다. 압열인장강도(σ_t , kg/cm²)는 시험편에 가해진 파괴하중(P), 시험편의 직경(D), 시험편의 두께(L)에 대하여 $2P/\pi \cdot D \cdot L$ 의 공식을 이용하여 구할 수 있다. 강도시험은 한국지질자원연구원에서 실시되었다(도 3d).

[0063] 여섯 방향의 압열인장강도에 대하여 강도값이 증가하는 순(시험편 번호 1 → 시험편 번호 5)으로 배열하면 표 3과 같다.

표 3

Specimen No.	Rift plane		Grain plane		Hardway plane	
	Grain 1 (G1)	Hardway 1 (H1)	Rift 1 (R1)	Hardway 2 (H2)	Rift 2 (R2)	Grain 2 (G2)
1	85	76	73	72	87	98
2	87	82	91	104	87	99
3	94	93	91	110	88	100
4	99	99	92	113	97	107
5	105	108	93	115	99	112

[0064]

[0065] 7-3 9개 계급구간의 빈도율

[0066] 여섯 방향(결)의 압열인장강도(σ_t , kg/cm²)에 대하여 9개 계급구간으로 구분, 강도값의 빈도율을 도출하였다(표 4). 전체적인 강도값은 115 kg/cm² 이내이며, 90~100 kg/cm² 이내에서 집중한다. 총 빈도수(N:30) 대비 90~100 kg/cm² 이내의 빈도수(N:13)의 비율은 43.3 %이다. 9개 계급구간(kg/cm²)의 빈도수가 차지하는 빈도율(%)은 75~80 및 100~105(3.3) < 70~75(6.7) < 80~85(6.7) < 110~115(10) < 85~90 및 105~110(13.3) < 90~95(20) < 95~100(23.3)의 순으로 증가이다.

[0067] 특정 계급구간(kg/cm²) 에서 빈도수가 집중하는 방향을 보면, ① 2번 면의 리프트 1(90~95)과 하드웨이 2(100~115), ② 3번 면의 리프트 2(85~100)와 그레인 2(95~100)이다. 한편 2번 및 3번 면과 비교하면, 1번 면의 그레인 1과 하드웨이 1의 빈도수의 집중도가 보다 낮게 나타난다. 즉 1번 면의 강도의 분포범위가 보다 크다.

표 4

Plane		σ_t (kg/cm ²)								
		70 ~ 75	75 ~ 80	80 ~ 85	85 ~ 90	90 ~ 95	95 ~ 100	100 ~ 105	105 ~ 110	110 ~ 115
Rift	Grain 1			1	1	1	1		1	
	Hardway 1		1	1		1	1		1	
Grain	Rift 1	1				4				
	Hardway 2	1						1	1	2
Hardway	Rift 2				3		2			
	Grain 2						3		1	1
Total		2	1	2	4	6	7	1	4	3
%		6.7	3.3	6.7	13.3	20.0	23.3	3.3	13.3	10.0

[0068]

- [0069] 7-4 압열인장강도의 분포형
- [0070] 빈도수의 전체적인 분포형을 보면, 계급구간 1(95~100 kg/cm²) 그리고 계급구간 2(105~110 kg/cm²)에서 2개의 분포각을 형성하여 이봉분포(bimodal distribution)를 보여 준다. 전체적으로 계급구간 1을 중심으로 비대칭 정규 분포에 근접한다(도 4).
- [0071] 7-5 인장강도 - 시험편의 누적수 그래프
- [0072] 3개 면의 여섯 곁에 대한 인장강도-시험편의 누적수 그래프를 작성, 스케일링(척도화) 특성을 도출하였다. 인장강도(X축)는 오름차순, 시험편의 누적수(Y축)는 내림차순으로 각각 정리하였으며, 등간격 - 등간격 좌표계에 도시하여 여섯 그래프를 작성하였다. 즉 인장강도의 모집단을 여섯 방향의 부집단(sub-population)으로 세분, 이들 부집단 사이의 분포 특성을 비교하였다. 여섯 그래프)는 빈도수, 기울기 및 분포형이 상이한 두 구간, 즉 상부구간(upper section, ○), 하부구간(lower section, ●)으로 분할할 수 있다(도 5).
- [0073] 상기한 여섯 그래프는 최상위 영역 R1 < R2 < G1 < H1 < G2 < 최하위 영역 H2의 순으로 배열한다. 특히 두 방향의 그래프에 대하여 전체적인 평균 강도 및 중앙 강도의 값이 상대적으로 크고, 보다 우측 배열하는 그래프는 상위영역으로 설정하였다. 반면에 평균 강도 및 중앙 강도의 값이 상대적으로 낮고, 보다 좌측 배열하는 그래프는 하위영역으로 설정하였다. 한편 도 3의 곁의 모식도에서 제시한 여섯 방향과 연계한 미세균열의 평균 길이와 밀도(표 1)는 도 5에 병행 기재되어 있다.
- [0074] 프로그램을 통하여 도출한 여섯 그래프의 다양한 함수 중, 상관계수가 공통적으로 높은 음의 일차함수(Y = -aX + b)의 상관식을 도출하였다. 일차함수의 음(-)의 기울기(a), 절편(b) 및 상관계수(R²)는 도 5와 같다.
- [0075] 또한 도 5에 도시한 여섯 방향별 인장강도의 범위, 강도차($\Delta \sigma_t^{\max} - \sigma_t^{\min}, \Delta \sigma_t$), 평균 강도(mean strength), 중앙 강도(median strength), (중앙 강도 - 평균 강도), 이방성 계수(An, %)를 종합하면 표 5와 같다. 여기서 이방성 계수(Anisotropy coefficient, An, %) = {최대값(Maximum value) - 최소값(Minimum value) / 평균값(Mean value)}×100의 식을 이용하여 구할 수 있다.

표 5

Plane	Rock cleavage	Strength range (kg/cm ²)	$\Delta \sigma_t$ (2) - (1)	Mean strength (kg/cm ²), a	Median strength (kg/cm ²), b	b - a	An (%)
Rift	Grain 1	85 ¹ ~ 105 ²	20	94	94	0	21.3
	Hardway 1	76 ~ 108	32	91.6	93	1.4	34.9
Grain	Rift 1	73 ~ 93	20	88	91	3	22.7
	Hardway 2	72 ~ 115	43	102.8	110	7.2	41.8
Hardway	Rift 2	87 ~ 99	12	91.6	88	-3.6	13.1
	Grain 2	98 ~ 112	14	103.2	100	-3.2	13.6
Mean		81.8 ~ 105.3	23.5	95.2	96.0	0.80	24.5

- [0076]
- [0077] 7-6 여섯 그래프의 표준적인 분포형
- [0078] 여섯 그래프의 분포형 및 다양한 강도 특성을 기재하면 다음과 같다. 도 5는 1번 면(G1, H1), 2번 면(R1, H2), 3번 면(R2, G2)의 순으로 여섯 방향의 그래프를 배열하여 그래프 사이의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다. 그래프 사이의 전체적인 분포형의 변화 특성을 기재하면 다음과 같다.
- [0079] 3개 면의 그래프
- [0080] 1번 면(G1, H1): 1번 면의 G1, H1의 두 그래프는 전체적으로 일차함수의 선형이다. 이들 두 그래프는 공통적으로 기울기가 상이한 두 분절(segment)로 구성된다. 강도값이 감소하는 상부구간(○)은 상향곡선형, 하부구간(●)는 선형이다. G1(하위영역)(평균 길이: 1.99 mm) → H1(상위영역)(평균 길이: 1.72 mm)의 그래프로

갈수록 상부구간, 하부구간의 기울기가 감소한다. 두 구간 사이의 둔각의 크기는 G1(하위영역) → H1(상위영역)로 갈수록 증가하며, 보다 선형의 일차함수형에 근접한다(도 5a, b).

[0081] 2번 면(R1, H2): 2번 면의 R1, H2의 두 그래프는 ① 기울기가 상이한 상부구간과 하부구간으로 구성되며, 전체적으로 하향곡선형이다. R1(하위영역)(평균 길이: 2.20 mm) → H2(상위영역)(평균 길이: 1.47 mm)의 그래프로 갈수록 상부구간과 하부구간의 기울기가 급격히 감소한다. 반면에 두 구간 사이의 둔각의 크기는 증가한다. 즉 빈도수가 낮은 상부구간과 빈도수가 밀집 분포하는 하부구간의 기울기는 모두 $H2 < R1$ 의 순이다(도 5c, d).

[0082] 3번 면(R2, G2): 3번 면의 R2, G2의 두 그래프는 ① 기울기가 상이한 상부구간과 하부구간으로 구성되며, 전체적으로 상향곡선형에 근접한다. R2(하위영역)(평균 길이: 2.01 mm) → G2(상위영역)(평균 길이: 1.53 mm)의 그래프로 갈수록 상부구간과 하부구간의 기울기가 감소하며, 보다 완만한 곡선 형태로 변화한다. 상부구간의 형태는 수직(R2) 또는 수직에 근접하는 고각도(G2)의 일차함수형이다. 두 구간 사이의 둔각의 크기는 R2(하위영역) → G2(상위영역)로 갈수록 증가한다(도 5e, f).

[0083] 종합하면, 좌측 배열하는 하위영역 → 우측 배열하는 상위영역으로 갈수록, ① 상부구간과 하부구간의 기울기가 공통적으로 감소하고, ② 두 구간 사이의 둔각의 크기는 증가하며, ③ 전체적인 인장강도의 범위($\Delta \sigma_t^{\max} - \sigma_t^{\min}$, $\Delta \sigma_t$)가 보다 증가하며(3번 면 < 1번 면 < 2번 면), ④ 보다 우측으로 신장된 형태를 취하며, 동시에 우측으로 평행 이동하여 상호 닮은 꼴이다. 이러한 신장 및 평행 이동의 정도는 3번 면 < 1번 면 < 2번 면의 순이며, 이중 2번 면에서 가장 전형적이다. ⑤ 하위영역 상위영역의 그래프로 갈수록 미세균열의 평균 길이 및 밀도는 공통적으로 감소한다(도 5).

[0084] 3개 결의 그래프

[0085] 1번 결(R1, R2): 1번 결의 R1(하위영역)(평균 길이: 2.20 mm), R2(상위영역)(평균 길이: 2.01 mm)의 두 그래프는 하향곡선형, 상향곡선형으로 각각 대비된다. R1 → R2의 그래프로 갈수록 인장강도의 전체적인 범위가 감소하며, 전체적인 일차함수의 기울기는 증가한다. 다만 하부구간의 기울기는 감소한다(도 5c, e).

[0086] 2번 결(G1, G2): 2번 결의 G1(하위영역)(평균 길이: 1.99 mm), G2(상위영역)(평균 길이: 1.53 mm)의 두 그래프는 일차함수형, 상향곡선형으로 각각 대비된다. G1 → G2의 그래프로 갈수록, 인장강도의 범위가 감소하며, 전체적인 일차함수의 기울기는 증가한다. 다만 하부구간의 기울기는 감소한다(도 5a, f).

[0087] 3번 결(H1, H2): 3번 결의 H1, H2의 두 그래프는 일차함수형, 하향곡선형으로 각각 대비된다. H1(하위영역)(평균 길이: 1.72 mm) → H2(상위영역)(평균 길이: 1.47 mm)의 그래프로 갈수록 인장강도의 범위가 증가하며, 전체적인 일차함수의 기울기는 감소한다. 다만 하부구간의 기울기는 증가한다(도 5b, d).

[0088] 종합하면, 좌측 배열하는 하위영역 → 우측 배열하는 상위영역으로 갈수록, ① 3번 결(H1, H2)을 제외한 1번 결(R1, R2), 2번 결(G1, G2)에서 전체적인 기울기는 감소하고, ② 인장강도의 범위가 감소한다. ③ 하위영역 상위영역의 그래프로 갈수록 미세균열의 평균 길이 및 밀도는 공통적으로 감소한다(도 5).

[0089] 7-7 여섯 그래프의 종합도

[0090] 도 5a~f의 여섯 그래프의 종합도를 작성하였다. 종합도의 전 영역을 시험편의 누적수 2(N=2)를 경계로 하여 상부영역과 하부영역으로 구분하였다. 상부영역(N≥2)(R < G < H)의 여섯 도표는 상호 교차하여 교란대를 형성한다. 하부영역(N≤2)의 여섯 도표는 R1 < R2 < G1 < H1 < G2 < H2(R < G < H)의 순이며, 각 도표의 순위를 지속적으로 유지하는 특성이 있다. 이 연구에서 도출한 시험편의 누적수 2 이하(N≤2)에 해당되는 이들 강도값은 여섯 방향(결) 사이의 식별을 위한 대표적인 값에 해당된다(도 5g).

[0091] 7-8 압열인장강도의 범위

[0092] 여섯 방향에 대한 인장강도의 범위는 표 5와 같다. 표 5에서는 여섯 방향별로 강도값이 증가하는 순으로 정리하였다. 각 방향의 가장 높은 강도값의 순으로 인장강도(kg/cm²)의 범위를 배열하면, R1(73~93)(6) < R2(87~99)(5) < G1(85~105)(4) < H1(76~108)(3) < G2(98~112)(2) < H2(72~115)(1)의 순이다. 즉 R1(6) < R2(5), G1(4) < G2(2), H1(3) < H2(1)(R < G < H)의 순(R1 → H2)으로 되어 가장 우측 배열하는 상위영역의 그래프(H2)의 강도값이 크다. 또한 (1) < (2)의 규칙적인 순이다. 전체적인 평균값(kg/cm²)은 81.8~105.3의 범위이다.

[0093] 상기 여섯 방향의 배열순(6~1)을 통하여 3개 면에 대한 순위의 규칙성을 도출하였다. 2번 면은 R1(6) < H2(1) (최하위~최상위), 3번 면은 R2(5) < G2(2), 1번 면은 G1(4) < H1(3)(중간영역)의 규칙적인 배열순을 갖는다(표

5).

[0094] 7-9 압열인장강도차

[0095] šest 방향의 최대 강도값 그리고 최소 강도값 사이의 강도차($\sigma_t^{\max} - \sigma_t^{\min}$, $\Delta \sigma_t$)는 표 5와 같다. 여섯 방향의 전체적인 강도차(kg/cm²)를 보면, R2(12) < G2(14) < G1(20) < R1(20) < H1(32) < H2(43)의 순으로 증가한다. R2 < R1, G2 < G1, H1 < H2의 순이며, (2) < (1)의 경향성이 있다. 전체적인 평균값(kg/cm²)은 23.5이다.

[0096] ① 3개 면별 강도차(두 방향의 평균값)를 보면, 3번 면(13, H-p) ≪ 1번 면(26) < 2번 면(31.5)의 규칙적인 순이다. 3개 결별 강도차(두 방향의 평균값)를 보면, 1번 결(16) < 2번 결(17) ≪ 3번 결(37.5)의 순이다.

[0097] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 강도차(kg/cm²)는 3번 면(G2-R2, 2) < 1번 면(H1-G1, 8) ≪ 2번 면(H2-R1, 23)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 강도차는 2번 결(G1-G2, 6) < 1번 결(R1-R2, 8) < 3번 결(H2-H1, 11)의 순이다.

[0098] 즉 3개 면별 순(3 < 1 ≪ 2) 그리고 3개 결별 순(2 < 1 < 3) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다.

[0099] 한편 강도차($\Delta \sigma_t$), 평균 강도 및 중앙 강도, 이방성 계수 그리고 일차함수의 기울기(a)의 분포함수를 각각 도출하였다(도 6). 이중 강도차의 분포함수는 $Y=1.23X^2-2.65X+14.10(R^2=0.97)$ 이다. 3번 면(R2 < G2, H-p)은 그래프의 가장 좌측부 그리고 1번 면(G1 < H1) → 2번 면(R1 < H2)으로 갈수록 보다 우측 배열한다. 3번 결(H1 < H2, H)은 가장 우측부에 배열한다(도 6a).

[0100] 7-10 평균 강도

[0101] 여섯 방향의 평균 강도는 표 5와 같다. 여섯 방향의 평균 강도(kg/cm²)를 배열하면, R1(88) < R2(91.6) < H1(91.6) < G1(94) < H2(102.8) < G2(103.2)의 순으로 증가한다. R1 < R2, H1 < H2, G1 < G2의 순으로 되어 상위영역의 평균 강도가 크다. 즉 (1) < (2)의 규칙적인 순이다. 전체적인 평균값(kg/cm²)은 95.2이다.

[0102] ① 3개 면별 평균 강도(두 방향의 평균값, kg/cm²)를 보면, 1번 면(92.8) < 2번 면(95.4) < 3번 면(97.4)의 규칙적인 순이다. 3개 결별 강도차(두 방향의 평균값)를 보면, 1번 결(89.8) < 3번 결(97.2) < 2번 결(98.6)의 순이다.

[0103] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 평균 강도(kg/cm²)의 차이를 보면, 1번 면(H1-G1, 2.4) ≪ 3번 면(G2-R2, 11.6) < 2번 면(H2-R1, 14.8)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 강도차는 1번 결(R2-R1, 3.6) ≪ 2번 결(G2-G1, 9.2) < 3번 결(H2-H1, 11.2)의 순이다.

[0104] 즉 3개 면별 순(1 ≪ 3 < 2) 그리고 3개 결별 순(1 < 2 ≪ 3) 사이에서 1번 면(결)의 평균 강도가 낮고, 2번 면 및 3번 면(결)은 상호 역순이다.

[0105] 7-11 중앙 강도

[0106] 여섯 방향의 중앙 강도는 표 5와 같다. 여섯 방향의 중앙 강도(kg/cm²)를 배열하면, R2(88) < R1(91) < H1(93) < G1(94) < G2(100) < H2(110)의 순으로 증가한다. R2 < R1, H1 < H2, G1 < G2의 순으로 되어 상위영역의 중앙 강도가 큰 경향성이 있다. 전체적인 평균값(kg/cm²)은 96.0이다.

[0107] ① 3개 면별 중앙 강도(두 방향의 평균값)를 보면, 1번 면(93.5) < 3번 면(94.0) < 2번 면(100.5)의 순이다. 3개 결별 중앙 강도(두 방향의 평균값)를 보면, 1번 결(89.5) < 2번 결(97.0) < 3번 결(101.5)의 규칙적인 순이다.

[0108] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 중앙 강도(kg/cm²)의 차이를 보면, 1번 면(G1-H1, 1) ≪ 3번 면(G2-R2, 12) < 2번 면(H2-R1, 19)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 강도차는 1번 결(R1-R2, 3) < 2번 결(G2-G1, 6) ≪ 3번 결(H2-H1, 17)의 순이다.

[0109] 즉 3개 면별 순(1 ≪ 3 < 2) 그리고 3개 결별 순(1 < 2 ≪ 3) 사이에서 1번 면(결)의 중앙 강도가 낮고, 2 및 3번 면(결)은 상호 역순이다. 평균 강도의 분석 결과와 상호 부합한다.

[0110] 7-12 중앙 강도와 평균 강도의 분포 특성

[0111] 여섯 방향의 (중앙 강도 - 평균 강도)의 값은 표 5와 같다. 평균 강도 및 중앙 강도의 분포함수는 $Y=0.34X^2+0.80X+87.20(R^2=0.91)$ 및 $Y=-0.21X^2+4.66X+79.63(R^2=0.96)$ 이다. 이들 두 분포곡선 사이의 간격은 (중

양 강도 - 평균 강도)의 값을 지시한다. 중앙 강도 및 평균 강도가 증가할수록 (중앙 강도 < 평균 강도) → (평균 강도 < 중앙 강도) → (중앙 강도 < 평균 강도)의 순으로 나타나며, 이들 두 강도 사이의 차이값은 감소 → 증가 → 감소하는 특성이 있다(도 6b).

[0112] 7-13 이방성 계수

[0113] 여섯 방향의 압연인장강도의 이방성 계수는 표 5와 같다. 여섯 방향의 이방성 계수(%)를 배열하면, R2(13.1) < G2(13.6) < G1(21.3) < R1(22.7) < H1(34.9) < H2(41.8)의 순으로 증가한다. R2 < R1, G2 < G1, H1 < H2(R < G < H)의 순으로 되어 상위영역(H1, H2)의 이방성 계수가 가장 크다. 전체적인 평균값은 24.5이다.

[0114] ① 3개 면별 이방성 계수(%) (두 방향의 평균값)를 보면, 3번 면(13.3) ≪ 1번 면(28.1) < 2번 면(32.2)의 순이다. 3개 결별 이방성 계수(두 방향의 평균값)를 보면, 2번 결(17.4) ≤ 1번 결(17.9) ≪ 3번 결(38.3)의 순이다.

[0115] 즉 3개 면별 순(3 < 1 < 2) 그리고 3개 결별 순(2 < 1 < 3) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다. (평균 강도-중앙 강도)의 값의 분석 결과와 부합한다.

[0116] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 이방성 계수의 차이는 3번 면(G2-R2, 0.5) ≪ 1번 면(H1-G1, 13.6) < 2번 면(H2-R1, 19.1)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 이방성 계수의 차이는 3번 결(H2-H1, 6.9) < 2번 결(G1-G2, 7.7) < 1번 결(R1-R2, 9.6)의 순이다.

[0117] 즉 3개 면별 순(3 ≪ 1 < 2) 그리고 3개 결별 순(3 < 2 < 1) 사이에서 3번 면(결)의 이방성 계수의 차이가 공통적으로 낮고, 2 및 3번 면(결)은 상호 역순이다. 평균 강도의 분석 결과와 상호 부합한다.

[0118] 이방성 계수(%)의 분포함수는 $Y=0.90X^2-0.34X+12.03(R^2=0.97)$ 이다. 3번 면(R2 < G2)은 그래프의 가장 좌측부 그리고 1번 면(G1 < H1) → 2번 면(R1 < H2)으로 갈수록 보다 우측 배열한다. 3번 결(H1 < H2, H)은 가장 우측부에 배열한다(도 6c).

[0119] 7-14 강도차와 이방성 계수의 상관성

[0120] 전술한 강도차($\Delta \sigma_t$) (도 6a) 그리고 이방성 계수(도 6c) 사이에서는 여섯 방향의 배열순, 3개 면의 배치 영역 및 분포곡선의 형태가 상호 부합한다. 이러한 분포특성은 3개면, 여섯 결의 판별기준이 될 수 있다.

[0121] 7-15 일차함수의 기울기

[0122] 도 5에서 기재한 여섯 방향의 음의 기울기(a)를 배열하면, H2(0.08) < H1(0.12) < R1(0.14) < G1(0.19) < R2(0.24) < G2(0.25)의 순으로 증가한다. H2 < H1, R1 < R2, G1 < G2(H < R < G)의 순, 즉 (1) < (2)의 순으로 되어 하위영역의 음의 기울기가 큰 경향성이 있다. 전체적인 평균값은 0.17이다.

[0123] ① 3개 면별 음의 기울기(두 방향의 평균값)를 보면, 2번 면(0.11) < 1번 면(0.15) < 3번 면(0.24)의 순이다. 3개 결별 음의 기울기(두 방향의 평균값)를 보면, 3번 결(0.16) < 1번 결(0.19) < 2번 결(0.24)의 순이다.

[0124] 즉 3개 면별 순(2 < 1 < 3) 그리고 3개 결별 순(3 < 1 < 2) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다.

[0125] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 기울기의 차이를 보면, 3번 면(G2-R2, 0.01) < 2번 면(R1-H2, 0.06) < 1번 면(G1-H1, 0.07)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 기울기의 차이는 3번 결(H1-H2, 0.04) < 2번 결(G2-G1, 0.06) < 1번 결(R2-R1, 0.10)의 순이다.

[0126] 즉 3개 면별 순(3 ≪ 2 ≤ 1) 그리고 3개 결별 순(3 < 2 < 1)은 상호 부합한다.

[0127] 한편 음의 기울기(a)의 분포함수($Y=-0.001X^2+0.04X+0.039, R^2=0.97$)는 가장 선형에 근접한다. 2번 면(H2 < R1) → 1번 면(H1 < G1) → 3번 면(R2 < G2)으로 갈수록 보다 우측 배열한다. 3번 결(H1 < H2, H)은 가장 좌측부에 배열한다. 전술한 강도차($\Delta \sigma_t$) 및 이방성 계수 그리고 기울기(a) 사이에서는 3개 면의 배치 영역이 역순이다(도 6d).

[0128] 7-16 일차함수의 상관계수

[0129] 도 5에 도시한 여섯 방향의 상관계수(R^2)를 배열하면, R1(0.59) < H2(0.72) < R2(0.83) < G2(0.88) < G1(0.98) < H1(0.99)의 순으로 증가한다. R1 < R2, H2 < H1, G2 < G1의 순, 즉 (1) < (2)의 순으로 되어 하위영역의 상

관계수가 큰 경향성이 있다. 전체적인 평균값은 0.83이다.

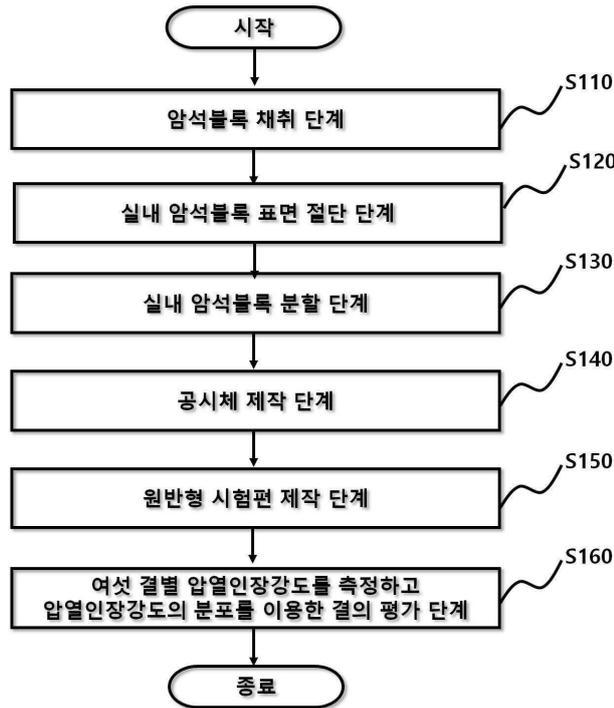
- [0130] ① 3개 면별 상관계수(두 방향의 평균값)를 보면, 2번 면(0.65) < 3번 면(0.85) < 1번 면(0.98)의 순이다. 3개 결별 상관계수(두 방향의 평균값)를 보면, 1번 결(0.71) < 3번 결(0.85) < 2번 결(0.93)의 순이다.
- [0131] 즉 3개 면별 순(2 < 3 < 1) 그리고 3개 결별 순(1 < 3 < 2) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다.
- [0132] ② 3개 면을 각각 구성하는 두 방향 사이의 상관계수의 차이를 보면, 1번 면(H1-G1, 0.01) < 3번 면(G2-R2, 0.05) ≪ 2번 면(H2-R1, 0.13)의 순, 3개 결을 각각 구성하는 두 방향 사이의 상관계수의 차이는 2번 결(G1-G2, 0.10) ≪ 1번 결(R2-R1, 0.24) < 3번 결(H1-H2, 0.27)의 순이다.
- [0133] 즉 3개 면별 순(1 < 3 ≪ 2) 그리고 3개 결별 순(2 ≪ 1 < 3) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다.
- [0134] 7-17 중앙 강도와 평균 강도의 분포도
- [0135] 여섯 방향의 (중앙 강도 - 평균 강도)의 값에 대하여 ① 증가하는 순(도 7a), ② 1번 결, 2번 결, 3번 결의 순(도 7b)으로 각각 도시하였다(도 7).
- [0136] 3개 면: ① 여섯 방향의 (중앙 강도 - 평균 강도)의 값(kg/cm²)을 배열하면, R2(-3.6) < G2(-3.2) < G1(0) < H1(1.4) < R1(3) < H2(7.2)의 순으로 증가한다. R2 < R1, H1 < H2, G1 < G2의 순으로 되어 상위영역의 (중앙 강도-평균 강도)의 값이 큰 경향성이 있다. 또한 상기 여섯 방향의 배열순은 연속적으로 3번 면 < 1번 면 < 3번 면의 배열순을 갖는다. 한편 중앙 강도와 평균 강도의 두 분포곡선은 G1에서 교차점을 형성하여 영역의 전이를 한다. 교차점을 중심으로 하여 좌측부에서는 중앙 강도(σ_t^{median}) < 평균 강도(σ_t^{mean})의 순이며, 두 분포곡선 사이의 폭은 점차 감소한다. 반면에 교차점의 우측부에서는 평균 강도 < 중앙 강도의 순이며, 두 분포곡선 사이의 폭은 점차 증가한다. 즉 (중앙 강도-평균 강도)의 값이 증가한다(도 7a).
- [0137] 3개 결: ② 여섯 방향의 (중앙 강도-평균 강도)의 값을 1번 결, 2번 결, 3번 결의 순으로 도시하였다. 중앙 강도와 평균 강도의 분포곡선은 2개소(R1-H2, G2-H1)에서 교차점을 형성하여 영역의 전이를 한다. 이들 두 교차점을 중심으로 하여 좌측부에서는 평균 강도 < 중앙 강도의 순이며, (중앙 강도-평균 강도)의 값이 점차 감소한다. 중앙부에서는 중앙 강도 < 평균 강도의 순이며, 두 분포곡선 사이의 폭은 증가 및 감소를 반복한다. 우측부에서는 평균 강도 < 중앙 강도의 순이며, (중앙 강도-평균 강도)의 값이 점차 증가한다(도 7b).
- [0138] 한편 3개 면별 (평균 강도-중앙 강도)의 값(두 방향의 평균값)를 보면, 3번 면(-3.4) < 1번 면(0.7) < 2번 면(5.1)의 순이다. 3개 결별 강도차(두 방향의 평균값)를 보면, 2번 결(-1.6) < 1번 결(-0.3) < 3번 결(4.3)의 순이다.
- [0139] 즉 3개 면별 순(3 < 1 < 2) 그리고 3개 결별 순(2 < 1 < 3) 사이에는 상호 역순의 상관성을 유지한다(도 7a, b).
- [0140] 7-18 미세균열의 길이의 파라미터와 최대 강도 사이의 상관도
- [0141] 도 8은 여섯 방향의 미세균열의 총 길이, 빈도수, 중앙 길이, 밀도 및 최대 강도를 3개 면(a), 3개 결(b)로 배열하여 이들 파라미터의 전체적인 변화 특성과 상호간의 상관성을 나타내는 도면이다.
- [0142] ① 1번 면, 2번 면, 3번 면의 순으로 도시한 상관도에서 최대 강도(kg/cm²)를 연속적으로 배열하면, G1(105) < H1(108), R1(93) < H2(115), R2(99) < G2(112)의 규칙적인 순이다. 최대 강도의 분포곡선 그리고 미세균열의 길이의 총 길이, 빈도수, 중앙 길이 및 밀도의 분포곡선은 Y=a에 대하여 상호 대칭형태이다. 따라서 상호 반비례의 상관성을 갖는다(도 8a).
- [0143] ② 1번 결, 2번 결, 3번 결의 순으로 도시한 상관도에서 최대 강도(kg/cm²)를 연속적으로 배열하면, R1(93) < R2(99), G1(105) < G2(112), H1(108) < H2(115)의 순이다. 상관도에서 좌측에서 우측으로 갈수록 미세균열의 총 길이(R1→R2, G1→G2), 중앙 길이(R1→R2, G1→G2, H1→H2) 및 밀도(R1→R2, G1→G2, H1→H2)는 감소이다. 이중 중앙 길이를 위시하여 밀도의 분포곡선의 감소 현상이 가장 뚜렷하다. 반면에 최대 강도는 증가하여 상기한 길이의 파라미터와 반비례의 상관성을 갖는다(도 8b).
- [0144] 최종적으로 최대 강도 그리고 압축 내부에서 잠재하는 미세균열의 길이와 관련된 파라미터 사이의 상관성을 종합적으로 도출하였다. 압열인장강도와 미세균열의 분석 결과에 대한 상호 대비를 통하여 양자간의 신뢰도를 제고할 수 있다(도 8).

[0145]

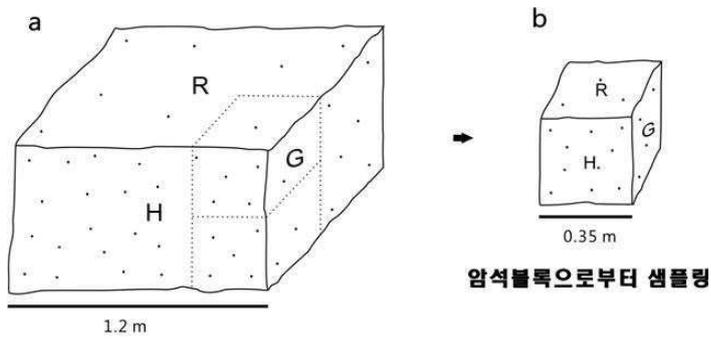
이상과 같이 도면과 명세서에서 최적 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

도면1

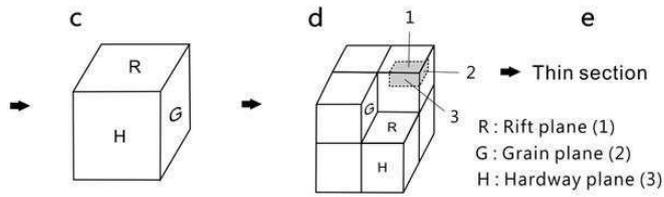


도면2



화강암 블록 채취

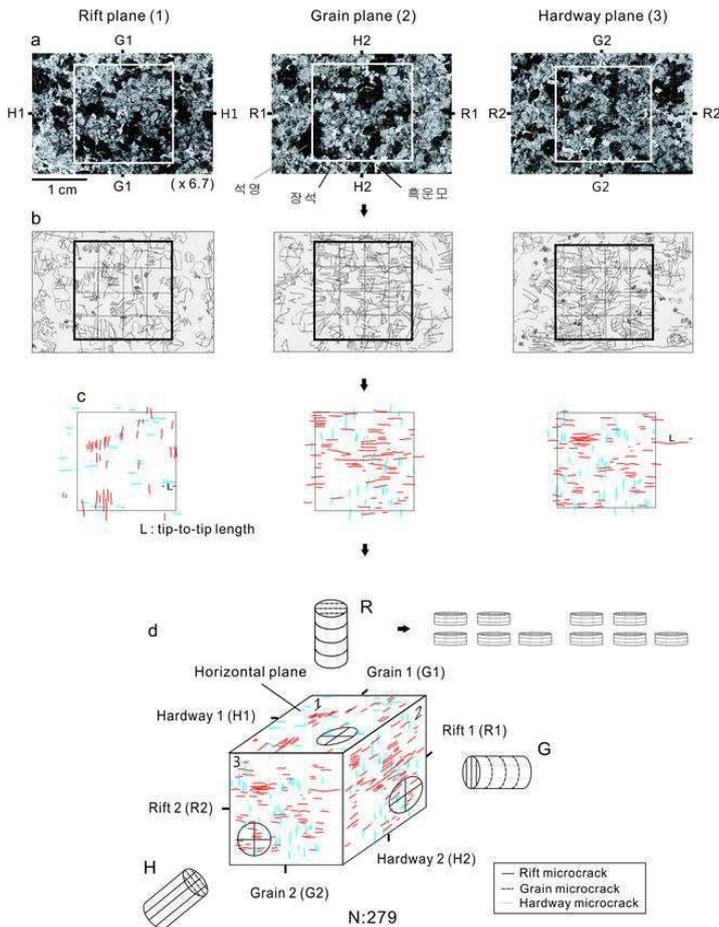
암석블록으로부터 샘플링



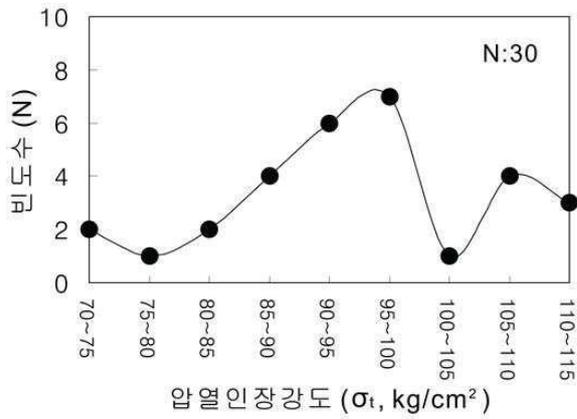
암석블록 표면절단

암석시료로 분할

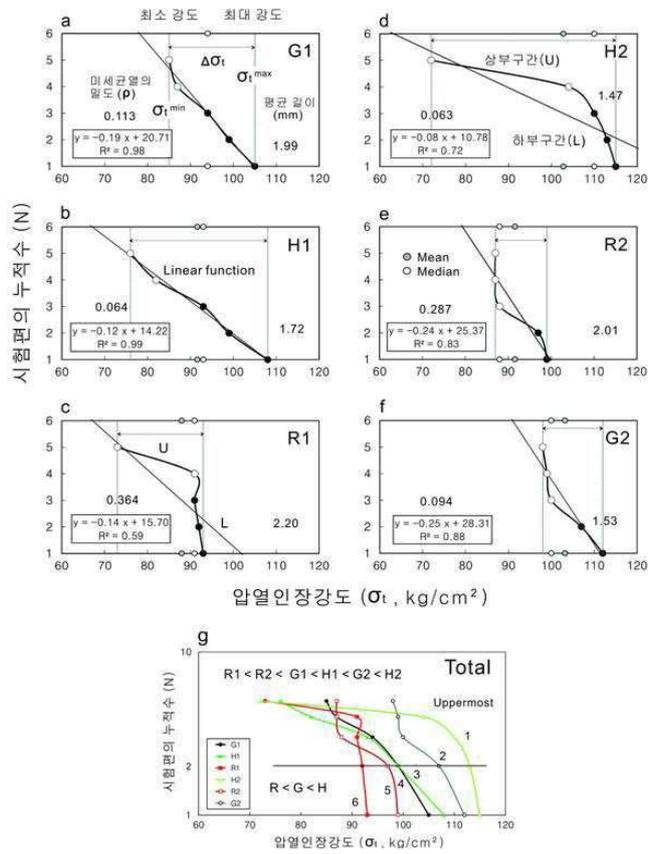
도면3



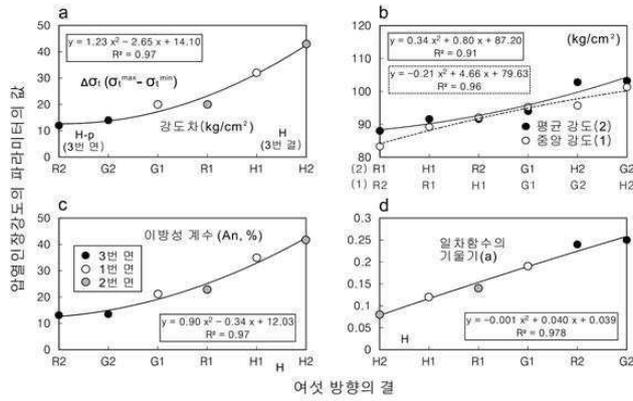
도면4



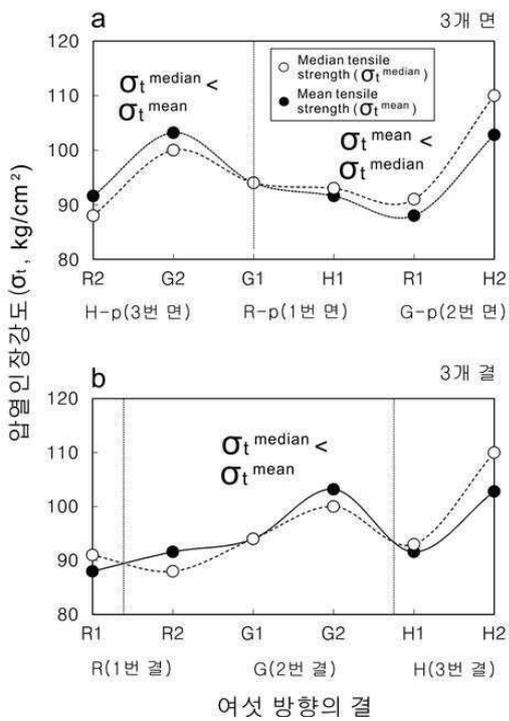
도면5



도면6



도면7



도면8

