



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2018년04월04일  
 (11) 등록번호 10-1845201  
 (24) 등록일자 2018년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 3/06 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 G01N 3/066 (2013.01)  
 G01N 1/06 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2017-0114423  
 (22) 출원일자 2017년09월07일  
 심사청구일자 2017년09월07일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101569759 B1\*  
 KR101569757 B1\*  
 KR1020110138857 A  
 KR101450504 B1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 한국지질자원연구원  
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)  
 (72) 발명자  
 박덕원  
 대전광역시 서구 대덕대로 415 상아아파트 101-1105  
 김명선  
 대전광역시 유성구 지족로 240 (지족동) 506동 404호  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 정상규

전체 청구항 수 : 총 7 항

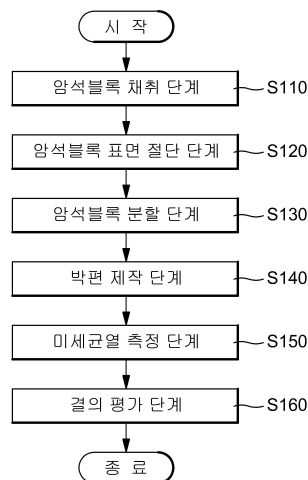
심사관 : 한별

**(54) 발명의 명칭 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 3개 분절의 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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계; 상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및 상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**대표도 - 도1**



- (52) CPC특허분류  
G01N 33/24 (2013.01)  
G06F 17/15 (2013.01)  
G06F 17/18 (2013.01)

**이태종**

대전광역시 유성구 가정로 43 (신성동, 삼성한울아파트) 111-1803

- (72) 발명자  
**김형찬**

대전광역시 유성구 엑스포로 448(전민동, 엑스포아파트) 108동 404호

**이철우**

대전광역시 유성구 덕명로 26(덕명동, 운암네오미아아파트) 107-303

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711051649
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	국가과학기술연구회
연구사업명	한국지질자원연구원연구운영비지원
연구과제명	시추공 기반 심지층 특성규명 InDEPTH 요소기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	한국지질자원연구원
연구기간	2017.01.01 ~ 2017.12.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 멱법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

상부구간, 중앙구간 및 하부구간에서 미세균열의 총 길이 및 밀도가 가장 큰 결에 대하여 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(멱법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

**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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서

각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 멱법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간에 대한 선형의 멱법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 을 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 평균값이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(멱법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

## 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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 멱법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간에 대한 선형의 멱법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 을 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 합이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(멱법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

## 청구항 7

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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 멱법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간에 대한 선형의 떡법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 을 구하고, 상기 3개 결별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수, 평균값이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(떡법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

### 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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 떡법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간에 대한 선형의 떡법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 을 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$ ,  $\theta_L / \theta_U$ )가 높을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(떡법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

### 청구항 9

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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 떡법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간에 대한 선형의 떡법칙 방정식의 상관직선에서 상부구간과 중앙구간의 상관직선 사이의 교차각  $\alpha$ , 중앙구간과 하부구간 사이의 교차각  $\beta$ , 상부구간과 하부구간 사이의 교차각  $\gamma$ 를 구하고, 상기 3개 교차각의 합이

낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(떡법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

**청구항 10**

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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계;

상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하며,

6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이(X축)-누적빈도수(Y축) 그래프를 로그(X축)-로그(Y축)의 좌표계에서 각각 작성하고 각각의 그래프를 하기의 선형 떡법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고,

각 구간별로 6개 방향 각각에 대해 미세균열의 밀도(ρ)를 하기의 수학식을 통해 구하고, 상부구간, 중앙구간 및 하부구간에서 미세균열의 밀도(두 방향의 평균값)가 가장 높은 결에 대하여 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법.

(떡법칙 방정식)

$$N=a \times L^{-b}$$

(수학식)

$$\rho = \frac{1}{A} \cdot N \cdot \sum_{i=1}^N C_i^2$$

이때, A는 시료의 단면적이고, C는 균열 간의 간격의 절반(half-spacing)이고, N은 미세균열 간격의 수임.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 3개 분절의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 국내의 화강암류 석산(granite quarry)에서는 암체 내부에 잠재하는 분리가 용이한 면을 이용하여 채석한다. 이러한 고유의 방향성은 소위"결"(rock cleavage)이라고 지칭되며, 암석을 채석 또는 가공할 때 경험적으로 사용되는 용어이다.

[0003] 결은 국내에서 "메"라는 단어로 사용되기도 하며, 이 "메"자는 틈이라는 의미의 일본어 "目"에서 그대로 사용된 것으로 우리 말의 "결"자를 사용하고 있다. 일본의 경우 가장 깨지기 쉬운 면을 1번 혹은 결(目), 이 면과 직교하는 2번째로 깨지기 쉬운 면을 2번, 이들 2면과 직교하는 면에 대하여 3번 등으로 호칭된다. 영어권의 석산에

서도 상기한 1번, 2번 및 3번에 해당되는 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] 따라서 화강암체의 상대적인 활석의 용이도는 일반적으로 1번 결(rift) > 2번 결(grain) > 3번 결(hardway)의 순으로 되며, 3 종류의 채석면은 일반적으로 상호 수직관계를 형성한다.

[0005] 이러한 3 종류의 채석면(quarrying plane)은 일반적으로 상호 직교관계를 이루며, 수직상 채석면의 방향성은 각 석산별로 상이하다. 이들 채석면의 방향성은 단위 석산내에서 채석방향을 결정하는 주요 요인으로 작용하며 또한 규격석을 위한 채석 실수율에도 많은 영향을 미친다. 따라서 이러한 수직의 결을 식별하는 능력은 화강암류 석산에서는 특히 중요하게 인식되고 있다.

[0006] 하지만 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.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0007] (특허문헌 0001) 한국특허출원 제2015-0038618호  
(특허문헌 0002) 한국특허출원 제2015-0086584호

**비특허문헌**

[0008] (비특허문헌 0001) Segall, P., 1984, Formation and growth of extensional fracture sets. Geol. Soc. Am. Bull., 95, 454-462.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 그 목적은 채석장의 암석에 분포하는 미세균열의 파라미터(3개 구간의 수, 총 길이, 밀도, 평균길이, 중앙길이(값)) 및 로그-로그 좌표계의 길이-누적빈도수 그래프를 통하여 도출한 파라미터(3개 구간의 멱법칙 방정식 및 상관직선의 기울기, 3개 구간의 상관직선 사이의 교차각)를 상호 결합하여 해당 암석의 결별 강도를 도출하는 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 3개 분절의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 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 암석시료의 3개 면과 평행한 박편을 각각 제작하는 박편 제작 단계; 상기 각 박편의 3개 면에서 상호 직교하는 6개 방향으로 형성된 미세균열의 모집단을 도출하고 이 6개 방향에 대한 미세균열을 측정하는 단계; 및 상기 측정된 6개의 방향에 대한 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 분절의 분포 특성을 이용해 3개 결의 상대적인 강도를 평가하는 결의 강도 평가 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법을 제공한다.

[0011] 바람직하게는, 상기 결의 강도 평가 단계에서는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 통해 도출한 하기의 멱법칙 방정식에서 상수(a)가 클수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0012] (멱법칙 방정식)

[0013] 
$$N=a \times L^{-b}$$

[0014] 바람직하게는, 상기 결의 강도 평가 단계에서는, 상기 먹법칙 방정식의 지수(b)와 이 지수(b)에 대해 정비례의 상관성을 갖는 상관직선의 기울기( $\theta^\circ$ )를 구하고, 상기 지수(b)와 기울기( $\theta^\circ$ )가 작을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 상부구간, 중앙구간 및 하부구간에서 미세균열의 총 길이 및 밀도가 가장 큰 결에 대하여 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간에 대한 선형의 먹법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 를 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 평균값이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간에 대한 선형의 먹법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 를 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 합이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간에 대한 선형의 먹법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 를 구하고, 상기 3개 결별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수, 평균값이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 하는 한다.

[0019] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 하기의 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간에 대한 선형의 먹법칙 방정식의 상관직선의 기울기인 3개 결별 기울기  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 를 구하고, 상기 3개 결별 기울기의 비 ( $\theta_M / \theta_U$ ,  $\theta_L / \theta_U$ )가 높을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 하기의 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간에 대한 선형의 먹법칙 방정식의 상관직선에서 상부구간과 중앙구간의 상관직선 사이의 교차각  $\alpha$ , 중앙구간과 하부구간 사이의 교차각  $\beta$ , 상부구간과 하부구간 사이의 교차각  $\gamma$ 를 구하고, 상기 3개 교차각의 합이 낮을수록 해당 결의 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 바람직하게는, 6개의 방향 각각에 대하여 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 각각 작성하고 해당 그래프를 먹법칙 방정식의 상관직선에 의해 상부구간, 중앙구간 및 하부구간으로 분할하고, 각 구간별로 6개 방향 각각에 대해 미세균열의 밀도( $\rho$ )를 하기의 수학적식을 통해 구하고, 상부구간, 중앙구간 및 하부구간에서 미세균열의 밀도(두 방향의 평균값)가 가장 높은 결에 대하여 상대적인 강도를 낮게 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0022] (수학적식)

$$\rho = \frac{1}{A} \cdot N \cdot \sum_{i=1}^N C_i^2$$

[0023]

[0024] 이때, A는 시료의 단면적이고, C는 균열 간의 간격의 절반(half-spacing)이고, N은 미세균열 간격의 수임.

**발명의 효과**

[0025] 본 발명에 따르면, 채석장의 암석에 분포하는 개개 미세균열에 대하여 프로그램 상의 로그-로그 좌표계의 길이-누적빈도수 그래프를 통해 암석의 결별 강도를 객관적으로 도출할 수 있어서 석산별로 상이한 암석의 채석방향을 정확하게 판단할 수 있게 되고 이를 통해 채석 실수율을 높일 수 있게 되는 효과가 있다.

[0026] 본 발명은 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 3개 분절의 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 관한 것이다. 자연계에서 존재하는 거시적인 단층선의 길이 등은 먹법칙 함수(power-law function)의 분포성을 따



른다는 사실이 알려져 있다. 3개 채석면을 형성하는 미소한 미세균열의 길이 개념에 대하여 상기한 먹법칙 분포 특성의 관점에서 접근하고자 한다.

[0027] ① 로그-로그 좌표계의 길이-누적빈도수 그래프를 통하여 이러한 선형의 먹법칙 분포 특성의 도출이 가능하다. 프로그램 상에서 도출한 그래프는 길이 분포성을 달리하는 선형의 3개 구간으로 자연스럽게 구분되며, 각 구간별 특징적인 길이 분포성을 강조하는 특성이 있다. ② 반면에 기존의 로그-등간격 좌표계의 그래프(국내 특허출원 10-2015-0038618)에서는 전 구간에 대한 선형의 지수함수를 도출, 전체적인 분포성의 파악에 유용하다. 본 발명에서 수행한 3개 구간의 종합적인 평가의 측면에서 보면, 기존의 결에 대한 평가(국내 특허출원 10-2015-0038618)의 미흡한 부분을 보완하는 장점이 있다. 즉 6개 방향(결)의 3개 구간별 파라미터를 도출, 객관적인 그래프와의 상호 융합을 통하여 기존의 결의 평가에 대한 진보성 내지는 신규성을 내포한다.

[0028] 채석장의 암석에 분포하는 미세균열의 파라미터 그리고 개개 길이 분포성을 가시적으로 표현하는 로그-로그 좌표계의 길이-누적빈도수 그래프 사이를 상호 결합, 결별 상대적인 강도를 용이하게 도출할 수 있어서 석산별로 상이한 암석의 채석방향을 객관적으로 판단할 수 있게 되고 이를 통해 채석 실수율을 높일 수 있게 되는 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 관한 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0029] 도 1은 본 발명에 따른 미세균열의 3개 분절의 분포 특성을 이용한 결에 대한 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 채석면과 미세균열과의 상관성을 나타내는 모식도.
- 도 4는 3개 면에 평행한 박편의 확대사진 상에서 6개 방향과 평행 배열하는 미세균열만을 분리하여 스케치한 결과를 나타내는 도면.
- 도 5는 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)으로 배열하여 전체구간에 대한 먹법칙 함수, 선형의 상관직선의 기울기 그리고 상관직선에 의하여 분할된 중앙구간의 내부에 점시되는 평균길이 및 중앙길이의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 6은 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할한 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)으로 배열하여 3개 구간별 먹법칙 함수의 상관직선의 기울기, 3개 구간의 상관직선 사이의 교차각, 중앙구간 내부의 평균길이 및 중앙길이의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 7은 6개 방향에 대한 상부구간, 중앙구간, 하부구간의 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도(Y축)를 총 밀도(X축)가 증가하는 H2, H1, G2, G1, R2, R1(H2 → R1)의 순으로 배열하여 연속적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 8은 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 먹법칙 함수의 상관직선의 기울기를 밀도(H2 → R1)가 증가하는 순(도 8-a), 기울기가 감소하는 순(도 8-b, c, d) 그리고 3개 구간의 평균기울기 및 평균기울기의 이방성 계수를 3개 결(도 8-e, f), 3개 면(도 8-g, h)의 순으로 각각 배열하여 연속적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 9는 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 먹법칙 함수의 상관직선 사이의 교차각(α, β, γ)을 총 밀도(H2 → R1)가 증가하는 순(도 9-a), 교차각이 감소하는 순(도 9-b, c, d) 그리고 평균교차각 및 평균교차각의 이방성 계수를 3개 결(도 9-e, f, i), 3개 면(도 9-g, h, j)의 순으로 각각 도시하여 전체적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 10은 6개 방향의 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 각 구간별 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)으로 배열하여 먹법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙값 및 밀도의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 11은 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 먹법칙 함수의 상관직선 사이의 교차각을 총 밀도(H2 → R1)가 증가하는 순(도 11-a), 교차각이 감소하는 순(도 11-b, c, d)으로 각각 배열하여 연속적인 변화 특성을 나타내는 도면.
- 도 12는 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할된 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 3개 구간별로 종합하여 6개 방향의 밀도순 및 영역순 사이의 상관성을 나타내는 도면.

도 13은 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할한 3개 결, 3개 면의 종합적인 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순으로 배열하여 전체 구간에 대한 멱법칙 방정식의 상수(a) 및 지수(b), 상관직선의 변화에 따른 중앙구간의 분포성 그리고 3개 구간의 주요 파라미터, 중앙구간 내부의 평균길이 및 중앙길이의 배치, 밀도, 분포형의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면.

도 14는 3개 결의 길이-누적빈도수 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 밀도순(3번 결 < 2번 결 < 1번 결)에 따른 각 구간별 멱법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙길이 및 밀도의 점진적인 변화 특성(도 14-a, b, c), 3개 결별 3개 구간 사이의 기울기의 순위(도 14-d) 그리고 밀도순 및 영역순 사이의 순위(도 14-e)를 종합적으로 나타내는 도면.

도 15는 3개 면의 길이-누적빈도수 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 밀도순(1번 면 < 3번 면 < 2번 면)에 따른 각 구간별 멱법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙길이 및 밀도의 점진적인 변화 특성(도 15-a, b, c), 3개 면별 3개 구간 사이의 기울기의 순위(도 15-d), 밀도순 및 영역순 사이의 순위(도 15-e)를 종합적으로 나타내는 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0030] 이하 본 발명에 따른 암석 미세균열의 분절 분포 특성을 이용한 결의 평가 방법에 대하여 첨부한 도면을 참고하여 상세히 설명한다.
- [0031] 암석의 3 방향의 결 중에서 수평면 상에서 잠재하는 수직 결의 방향성은 단위 석산 내에서 채석방향 설정에 주요한 요소로 작용하므로 국내의 화강암류 석산에서는 특히 중요한 의미를 지닌다. 따라서 이 발명에서는 수직면(vertical plane)인 2번 면 및 3번 면을 위시하여 수평면(horizontal plane)인 1번 면 상에서 잠재하는 2 조의 수직 결에 대한 미세균열 관련 조직 분석(microcrack-related fabric analysis)을 실시하였다.
- [0032] 세부사항으로는 전체법에 의한 6개 방향별 미세균열의 물리량의 계측을 통하여 결의 발달상과 분포상을 규명하였다. 즉 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프를 통한 상부구간, 중앙구간, 하부구간의 멱법칙 방정식의 상수 및 지수, 상관직선의 기울기, 상관직선 사이의 교차각, 3개 구간별 분포형 및 배열성(상위영역, 하위영역)의 변화 특성을 통하여 가시화된 효과적인 결의 판별요소의 도출을 시도하였다. 대상 암석은 거창지역의 화강암을 대상으로 하였다.
- [0033] 도 1은 본 발명에 따른 미세균열의 길이-누적빈도수 그래프에서 도출한 3개 분절의 분포 특성을 이용한 여섯 조의 결에 대한 평가 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0034] 1. 암석블록 채취 단계 (S110)
- [0035] 경남 거창군 산포리(범일석산)의 주라기 화강암(이하 거창화강암)에서 시료를 채취하였다. 거창화강암(Geochang granite)은 선캠브리아기의 반상변정편마암과 흑운모호상편마암을 관입한 주라기 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 %, 피다이트: 5.7 %, 흑운모: 2.9 %이며, 그외 백운모 등이 미량 확인된다. 이 암석은 분류상 흑운모 화강암에 속한다. 실험대상 암석시료 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 2-a, b).
- [0036] 2. 암석블록 표면 절단 단계(S120)
- [0037] 샘플링된 암석블록에 대하여 대형 암석절단 톱을 이용하여 상기 3개 채석면과 평행한 방향으로 암석 표면을 절단하여 평평하게 한다(도 2-c).
- [0038] 3. 암석블록 분할 단계(S130)
- [0039] 3개 채석면과 평행한 방향으로 표면을 절단한 상기 암석블록을 다수의 정방형 암석시료로 분할하였다(도 2-d). 이 같이 분할된 암석시료는 실내의 박편 제작에 용이하다.
- [0040] 4. 박편 제작 단계(S140)
- [0041] 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 2-e). 또한 화강암에서는 세 방향의 채석면과 평행하게 제작된 박편의 확대사진( $\times 6.7$ )을 통하여 상호 직교하는 2조의 결(미세균열)을 각각 측정할 수 있다.

[0042] 도 3에 도시된 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 3에 도시되어 있다.

[0043] 5. 미세균열 측정 단계(S150)

[0044] 박편의 확대사진( $\times 6.7$ )을 통하여 석영 및 장식 입자 내부에 분포하는 미세균열의 길이(L), 빈도수(N)를 측정할 수 있다(도 4-a).

[0045] 가로 및 세로 방향으로 각각 5개의 측선을 설정한 후, 이들 측선과 교차(조사선법)하는 동시에 측선과  $\pm 7.5^\circ$  이내의 방향각( $\theta$ )을 갖는 미세균열(1 mm <)을 측정할 수 있다(도 4-b).

[0046] 그러나 여기서는 측선으로 포획된 단위면적( $3.2 \text{ cm}^2$ )의 내부에서 결의 방향과 평행 배열하는 미세균열(1 mm 이하 및 이상)을 모두 대상(전체법)으로 하였다(도 4-c). 거창화강암의 박편의 확대사진 및 미세균열에 대한 스케치 결과가 도 4의 (a), (b), (c)에 도시되어 있다.

[0047] 도 3의 모식도에서 제시한 6개 방향의 빈도수, 평균길이, 중앙길이, 밀도를 도출하였다(국내 특허출원 10-2015-0038618). 본 발명에서는 길이-누적빈도수 그래프의 상에서 분할한 3개 구간(상부구간, 중앙구간 및 하부구간)의 빈도수, 총 길이, 평균길이(a), 중앙길이(b), 평균길이 - 중앙길이(a - b), 밀도를 도출하였다. 특히 3개 구간(분절)에 대한 ① 멱법칙 방정식의 상수(a) 및 지수(b), 상관직선의 기울기 및 분포형, ② 3개 구간의 상관직선 사이의 교차각, ③ 3개 구간별 6개 그래프의 영역순 그리고 밀도순 사이의 상관성(일관성)을 도출하였다. 즉 상기한 파라미터의 분포 특성 및 파라미터 사이의 상관성을 가지적으로 검토하게 된다. 이러한 분석절차를 통하여 3개 결 또는 3개 면을 지시하는 주요 판별요소를 도출하였다.

[0048] 6. 결의 평가 단계(S160)

[0049] 6-1 미세균열의 수

[0050] 6개 방향과 평행 배열하는 개개 미세균열의 길이는 프로그램을 통하여 총 279개를 측정하였다. 6개 방향의 빈도수(N)는 H1(25) < G1(32) < H2(37) < G2(41) < R2(72) < R1(72)의 순이다(표 1).

[0051] 3개 결의 빈도수(N)는 3번 결(H1과 H2, 62) < 2번 결(G1과 G2, 73) < 1번 결(R1과 R2, 144)의 순이다. 3개 면의 빈도수는 1번 면(G1과 H1, 57) < 2번 면(R1과 H2, 109) < 3번 면(R2와 G2, 113)의 순이다. R2와 G2가 교차하는 3번 면에서 미세균열의 수가 가장 많다(표 1).

표 1

[0052]

No.	Rock cleavage (Length)					
	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	0.86	0.51	0.19	0.53	0.45	0.35
2	1.07	0.88	0.43	0.67	0.45	0.35
3	1.28	1.10	0.53	0.70	0.70	0.37
4	1.34	1.15	0.64	0.72	0.75	0.43
5	1.39	1.26	0.64	0.75	0.94	0.48
6	1.44	1.31	0.75	0.80	1.02	0.51
7	1.50	1.31	0.78	0.91	1.07	0.64
8	1.52	1.42	0.80	0.91	1.10	0.99
9	1.52	1.44	0.86	0.94	1.12	0.99
10	1.55	1.44	0.91	0.96	1.15	0.99
11	1.63	1.58	0.99	0.99	1.15	1.07
12	1.68	1.63	0.99	1.02	1.20	1.12
13	1.71	1.63	1.10	1.07	1.20	1.12

14	1.71	1.66	1.12	1.10	1.20	1.15
15	1.74	1.68	1.18	1.18	1.23	1.26
16	1.84	1.79	1.26	1.18	1.23	1.26
17	1.84	1.82	1.34	1.20	1.26	1.39
18	1.90	1.95	1.39	1.34	1.28	1.42
19	1.90	2.09	1.39	1.36	1.34	1.44
20	2.01	2.46	1.39	1.36	1.36	1.50
21	2.06	2.49	1.44	1.47	1.36	1.52
22	2.14	2.51	1.47	1.50	1.39	1.52
23	2.27	2.54	1.55	1.52	1.52	1.55
24	2.27	2.65	1.60	1.55	1.52	1.58
25	2.27	2.78	1.63	1.58	1.55	1.66
26	2.30		1.68	1.60	1.60	1.66
27	2.33		1.71	1.60	1.63	1.66
28	2.41		1.74	1.66	1.63	1.66
29	2.51		1.84	1.68	1.66	1.66
30	3.48		1.87	1.71	1.71	1.70
31	4.12		1.90	1.82	1.71	1.71
32	4.28		1.93	1.87	1.76	1.79
33			2.01	1.90	1.79	2.01
34			2.03	2.14	1.82	2.17
35			2.09	2.17	1.84	2.38
36			2.11	2.19	1.84	2.51
37			2.14	3.40	1.87	2.67
38			2.17		1.87	2.81
39			2.22		1.93	2.86
40			2.22		1.98	3.10
41			2.25		1.98	3.74
42			2.30		2.01	
43			2.35		2.06	
44			2.41		2.06	
45			2.41		2.06	
46			2.43		2.09	
47			2.46		2.11	
48			2.49		2.11	
49			2.51		2.11	
50			2.51		2.14	
51			2.59		2.14	
52			2.59		2.14	
53			2.62		2.22	
54			2.67		2.30	
55			2.75		2.33	
56			2.75		2.59	
57			2.78		2.65	
58			2.78		2.65	
59			2.81		2.67	
60			2.83		2.67	
61			2.86		2.67	
62			2.97		2.70	
63			3.21		2.94	
64			3.32		3.18	
65			3.48		3.18	
66			3.48		3.21	
67			3.64		3.42	
68			4.33		3.74	
69			4.84		4.20	
70			5.51		4.28	
71			5.61		5.08	

72			7.99		6.50	
----	--	--	------	--	------	--

[0053] 6-2 미세균열의 길이범위, 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도

[0054] **길이범위:** 6개 방향별 길이범위를 종합하면 아래의 표 2와 같다. 미세균열의 밀도의 순(표 2)으로 6개 방향별 미세균열의 길이범위(mm)를 나열하면, R1(0.19~7.99), R2(0.45~6.50), G1(0.86~4.28), G2(0.35~3.74), H1(0.51~2.78), H2(0.53~3.40)의 순이다. 3개 결의 길이범위(mm)는 3번 결(H1과 H2, 0.51~3.40) < 2번 결(G1과 G2, 0.35~4.28) < 1번 결(R1과 R2, 0.19~7.99)의 순이다. 3개 면의 길이범위(mm)는 1번 면(G1과 H1, 0.51~4.18) < 3번 면(R2와 G2, 0.35~6.50) < 2번 면(R1과 H2, 0.19~7.99)의 순이다(표 2).

[0055] **평균길이 및 중앙길이:** 6개 방향별 평균길이, 중앙길이를 종합하면 아래의 표 2와 같다. 6개 방향별 평균길이 및 중앙길이(mm)를 나열하면, H2(1.47~1.36) < G2(1.53, 1.52) < H1(1.72, 1.63) < G1(1.99, 1.84) < R2(2.01, 1.87) < R1(2.20, 2.14)의 순이다(표 2).

[0056] **총 길이:** 6개 방향별 총 길이를 종합하면 아래의 표 2와 같다. 3개 면에서 측정된 미세균열의 총 길이(L<sub>t</sub>)는 524.68 mm이다. 3개 결의 총 길이(mm)는 3번 결(H1과 H2, 94.13) < 2번 결(G1과 G2, 126.62) < 1번 결(R1과 R2, 303.93)의 순이다. 3개 면의 총 길이(mm)는 1번 면(G1과 H1, 63.87) < 3번 면(R2와 G2, 208.12) < 2번 면(R1과 H2, 209.61)의 순이다. 2번 면과 3번 면의 총 길이는 거의 유사한 반면, 수평면에 해당되는 1번 면의 총 길이가 가장 짧은 특성이 있다(표 2).

[0057] **밀도:** 미세균열의 밀도(ρ)는 시료의 단면적(A), 균열길이의 절반(half-length, C) 및 미세균열의 수(N)를 이용하여 다음 수학적 식(Segal1, 1984)을 통해 구할 수 있다. 미세균열의 밀도는 균열의 빈도수와 길이의 함수이다.

**수학적 식 1**

$$\rho = \frac{1}{A} \cdot N \cdot \sum_{i=1}^N C^2_i$$

[0058]

[0059] 이렇게 구해진 6개 방향별 미세균열의 밀도는 아래의 표 2와 같다. 3개 면에서 측정된 6개 방향의 밀도는 총 0.985이다. 6개 방향의 밀도는 H2(0.063) < H1(0.064) < G2(0.094) < G1(0.113) < R2(0.287) < R1(0.364)의 순이다. 한편 3개 결의 총 밀도는 3번 결(H1과 H2, 0.127) < 2번 결(G1과 G2, 0.207) ≪ 1번 결(R1과 R2, 0.651)의 순이다. 즉 3번 결 < 2번 결 ≪ 1번 결의 순차적인 배열성을 도출할 수 있다. 한편 3개 면의 총 밀도는 1번 면(G1과 H1, 0.177) ≪ 3번 면(R2와 G2, 0.381) < 2번 면(R1과 H2, 0.427)의 순이다. 이 중 2번 면의 밀도가 가장 높다. 이러한 규칙성은 3개 면 및 3개 결을 식별하는 기준이 될 수 있다(표 2).

[0060] 전체법에 의한 6개 방향별 수, 길이범위, 평균길이, 중앙길이, 총 길이, 밀도를 종합하면 아래의 표 2와 같이 정리될 수 있다(국내 특허출원 10-2015-0038618).

**표 2**

[0061]

Rock cleavage	N	Length range (mm)	Mean length (mm) (a)	Median length (mm) (b)	Total length (mm)	Density (ρ)
H2	37	0.53~3.40	1.47	1.36	51.05	0.063
H1	25	0.51~2.78	1.72	1.63	43.08	0.064
G2	41	0.35~3.74	1.53	1.52	62.75	0.094
G1	32	0.86~4.28	1.99	1.84	63.87	0.113
R2	72	0.45~6.50	2.01	1.87	145.37	0.287
R1	72	0.19~7.99	2.20	2.14	158.56	0.364
Total	279	0.19~7.99	1.88	1.68	524.68	0.985

[0062] 6-3 평균길이 및 중앙길이의 규칙적 배열성

[0063] 도 5는 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)으로 배열하여 전체구간에 대한 멱법칙 함수, 선형의 상관직선의 기울기 그리고 상관직선에 의하여 분할된 중앙구간의 내부에 점시되는 평균길이 및 중앙길이의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다.

[0064] 6개 방향의 곡선형 그래프는 선형의 멱법칙 함수의 상관직선에 의하여 공통적으로 ① 상부 구간(Upper section), ② 중앙구간(Middle section), ③ 하부구간(Lower section)으로 각각 분할된다. 이때 중앙구간 내에서는 표 2에서 제시한 전 구간에 대한 평균길이 및 중앙길이가 위치하며, 중앙길이 < 평균길이의 순으로 나타난다. 평균길이와 중앙길이는 공통적으로 H2 < H1, G2 < G1, R2 < R1의 순으로 되며, (2) < (1)의 규칙적인 배열성을 갖는다. 3개 결별 평균길이 및 중앙길이(mm)를 보면, 3번 결(H1과 H2의 평균값, 1.59, 1.49) < 2번 결(G1과 G2의 평균값, 1.76, 1.68) < 1번 결(R1과 R2의 평균값, 2.10, 2.00)의 순이다. 이러한 규칙성은 (1)과 (2)를 그리고 3개 결을 식별하는 기준이 될 수 있다.

[0065] 6-4 전체 구간의 멱법칙 방정식 도출

[0066] 도 5에서 도시한 그래프의 전 구간에 대한  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 멱법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 지수와 정비례의 상관성을 갖는 상관직선의 기울기( $\theta^\circ$ ) 및 상관계수( $R^2$ )를 정리하면 아래의 표 3과 같다. 이들 6개 방향의 멱법칙 방정식 및 선형의 상관직선의 기울기는 모두 프로그램을 통하여 도출하였다.

표 3

[0067]

Rock cleavage	멱법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )			
	상수 (a)	지수 (b)	기울기 ( $\theta^\circ$ )	$R^2$
H2	23.89	1.99	40.7	0.83
H1	24.22	1.80	38.0	0.70
G2	22.46	1.20	27.6	0.69
G1	56.86	2.36	45.7	0.89
R2	74.83	1.69	36.1	0.81
R1	59.27	1.22	28.0	0.70
평균	43.59	1.71	30.0	0.77

[0068] 3개 결의 상수(a)는 3번 결(H1과 H2의 평균값, 24.06) < 2번 결(G1과 G2의 평균값, 39.66) < 1번 결(R1과 R2의 평균값, 67.05)의 순이다. 반면에 3개 결에 대한 상관직선의 지수(b)와 기울기( $\theta^\circ$ )는 1번 결(R1과 R2의 평균값, 1.46, 32.0°) < 2번 결(G1과 G2의 평균값, 1.78, 36.6°) < 3번 결(H1과 H2의 평균값, 1.90, 39.3°)의 순이다. 3개 방향에 대한 상수 그리고 지수 및 기울기 사이에서는 상호 역순의 규칙성이 있다. 이러한 규칙성은 3개 결을 식별하는 기준이 될 수 있다(표 4).

[0069] 표 3의 6개 방향에 대한 상수(a), 지수(b) 및 기울기( $\theta^\circ$ )를 3개 방향의 결별로 정리하면 아래의 표 4와 같다.

표 4

[0070]

Rock cleavage	평균값	멱법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )			
		상수 (a)	지수 (b)	기울기 ( $\theta^\circ$ )	$R^2$
3번 결	(H1 + H2) / 2	24.06	1.90	39.3	0.77
2번 결	(G1 + G2) / 2	39.66	1.78	36.6	0.79
1번 결	(R1 + R2) / 2	67.05	1.46	32.0	0.76

[0071] 6-5 3개 구간의 구분을 위한 기준 설정

[0072] 도 6은 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할한 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)(표 2)으로 배열하여 3개 구간별 멱법칙 함수의 상관직선의 기울기, 3개 구간의 상관직선 사이의 교차각, 중앙구간 내부의 평균길이 및 중앙길이의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다.

[0073] 여기서  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 는 상부구간(Upper section, U), 중앙구간(Middle section, M), 하부구간(Lower section,

L)에 대한 선형의 멱법칙 함수의 상관직선의 기울기이다.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 는 상부구간과 중앙구간, 중앙구간과 하부구간, 상부구간과 하부구간의 상관직선 사이의 교차각이다.

- [0074] 6개 방향의 길이(X 축)는 오름차순, 누적빈도수(Y 축)는 내림차순으로 각각 정리, 양대수 그래프에 도시하였다. 6개 방향의 모집단에 대하여 프로그램을 통하여 3개 구간으로 세분하여 이들 부집단 사이의 분포 특성을 상호 비교하였다(도 6).
- [0075] 길이-누적빈도수 그래프에서 기울기의 변화과정을 크게 3개 구간으로 구분한 기준은 다음과 같다. 즉 프로그램 상에서 6개 그래프의 상부구간의 기준 설정을 기재하면, 길이가 가장 짧은 좌측의 상부구간의 시작점에서 시작하여 우측으로 점차 설정 범위를 확대하여 가는 과정에서 상관계수가 가장 높은 선형의 구간(즉 중앙구간의 초기점)까지를 상부구간으로 설정하였다. 변곡점이 형성되어 공통적으로 급격한 기울기( $65.4^\circ \sim 90^\circ$ )의 증가 현상이 일어나는 선형의 하부구간을 경계로 하여 상부구간과 하부구간 사이의 구간을 중앙구간으로 설정하였다. 따라서 선형의 상부구간과 선형의 하부구간의 설정에 따라 중앙구간은 자연스럽게 설정되며, 이들 3개 구간의 그래프는 결의 특성에 따른 고유의 분포형을 반영한다(도 6).
- [0076] 즉 ① 기울기가 수평에 근접하는 선형(멱법칙 함수 또는 지수함수 분포형)의 상부 구간, ② 기울기가 증가하여 선형(멱법칙 함수 또는 지수함수 분포형) ~ 완만한 곡선형(일차함수의 분포형, 균등분포형)의 중앙구간, ③ 중앙 구간의 말단부에서 변곡점이 형성되어 공통적으로 급격한 기울기( $65.4^\circ \sim 90^\circ$ )의 증가 현상이 일어나는 선형(멱법칙 함수 분포형)의 하부구간으로 각각 구분된다. 특히 프로그램 상에서 각 구간에 대한 여러 형태의 상관함수를 도출 후, 이중 상관계수가 가장 높은 상관함수의 방정식을 선별하였다. 길이 특성을 각각 달리하는 이들 3개 구간의 그래프의 고유의 분포형태는 로그(X)-로그(Y)의 좌표계에서 명확하며, 등간격(X)-등간격(Y), 등간격(X)-로그(Y) 및 로그(X)-등간격(Y)의 좌표계에 도시한 그래프를 종합하여 구분할 수도 있다(도 6).
- [0077] 6-6 중앙구간의 길이범위
- [0078] 도 6의 6개 방향의 그래프에 대한 중앙구간의 길이범위는 아래의 표 5와 같다.
- [0079] 6개 그래프의 중앙구간의 길이범위(mm)를 나열하면, R1(1.39~2.75), R2(1.07~2.06), G1(1.28~2.27), G2(0.99~1.66), H1(1.26~2.46), H2(0.91~1.47)의 순이다(표 5).
- [0080] 2 방향 사이의 중앙구간의 길이범위를 비교하면, H2 < H1(3번 결), G2 < G1(2번 결), R2 < R1(1번 결)의 순으로 나타난다. 즉 (1)과 (2)의 중앙구간은 상호 중첩되며, (1)의 길이범위는 (2)의 길이범위에 비하여 보다 우측 영역을 차지한다. (2) < (1)의 규칙적인 배열성이 있다. 6개 그래프 중, H2와 R1 사이의 길이범위의 차이가 가장 크다. 이러한 규칙성은 (1)과 (2)를 그리고 3개 결을 식별하는 기준이 될 수 있다(도 6).
- [0081] 3개 면에서 존재하는 2 방향에 대한 중앙구간의 길이범위는 H2 < R1(2번 면), G2 < R2(3번 면) 그리고 예외적으로 G1 < H1(1번 면)의 순서를 보인다. 전체구간에 대한 평균길이와 중앙길이(표 2)는 상기한 2 방향 사이의 길이범위의 순(H2 < R1, G2 < R2)과 부합하며, 특히 H1 < G1(1번 면)의 정상적인 순으로 나타나는 특성이 있다(도 6).
- [0082] 6-7 중앙구간내의 전체적인 평균길이 및 중앙길이의 배치
- [0083] 도 6의 6개 방향의 그래프에 대한 전체적인 평균길이와 중앙길이는 표 2와 같다.
- [0084] 6개 방향의 전체적인 평균길이 및 중앙길이는 그래프의 중앙구간 내에 점시된다. 또한 (1)의 평균길이 및 중앙길이는 중앙구간의 중앙부에 보다 근접하는 반면, (2)의 평균길이 및 중앙길이는 중앙구간의 우측 경계부에 점시되는 규칙성을 도출하였다. 이러한 분포 특성은 도 3의 모식도에 제시한 2개 방향, 즉 (1)과 (2)를 식별하는 기준이 될 수 있다. 즉 H1과 H2, G1과 G2, R1과 R2 사이의 판별 기준이 될 수 있다(도 5).
- [0085] 6-8 3개 구간의 종합적인 배열 특성
- [0086] 도 6의 6개 방향의 그래프에 대한 3개 구간의 수, 빈도율, 길이범위, 평균길이(a), 중앙길이(b), 평균길이(a) - 중앙길이(b), 총 길이 및 밀도를 정리하면 아래의 표 5와 같다. 표 5, 도 6에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.
- [0087] **3개 구간의 길이범위:** 1번 결에서는 R2 < R1, 2번 결에서는 G2 < G1, 3번 결에서는 H2 < H1의 순으로 보다 우측 배열한다. 즉 (2) < (1)의 배열성의 규칙성이 있으며, 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다.
- [0088] **평균길이 및 중앙길이:** 1번 결에서는 R2 < R1, 2번 결에서는 G2 < G1, 3번 결에서는 H2 < H1의 순으로

증가한다. 즉 (2) < (1)의 공통적인 규칙성이 있으며, 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다.

- [0089] **밀도:** 상부 및 중앙구간 전역 그리고 하부구간 일부(R1, R2)의 밀도는  $R2 < R1, G2 < G1, H2 < H1$ 의 순으로 증가한다. 예외적으로 2번 및 3번 결의 하부구간에서는  $G1(0.066) < G2(0.070), H1(0.031) < H2(0.047)$ 의 순이다.
- [0090] **중앙구간의 그래프(군집)의 분포형:** (1)의 길이범위의 폭이 넓으며, 보다 곡선 형태를 취한다. 반면에 (2)의 길이범위는 폭이 좁고, 선형~곡선의 형태를 취한다. 3번 결에서 가장 전형적인 선형이다.
- [0091] 1번 결과 3번 결의 중간영역에 속하는 2번 결(G2, G1)의 하부구간의 분포형은 "S"자 형태에 근접한다. 하부구간의 볼록렌즈 형태의 구간은  $G2 \rightarrow G1$ 으로 갈수록 보다 우측 배열한다. 이러한 분포 형태의 특성은 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다.
- [0092] 6-9 6개 방향의 3개 구간별 총 평균값
- [0093] 도 6의 6개 방향의 그래프에 대한 3개 구간의 수, 빈도율, 길이범위, 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도를 정리하면 아래의 표 5와 같다. 6개 방향의 3개 구간에 대한 주요 파라미터의 평균값을 도출하였다.
- [0094] **빈도수:** 6개 방향에 대한 3개 구간의 빈도수(N)의 평균값을 기재하였다. 상부구간(8) < 하부구간(16) < 중앙구간(24) 그리고 빈도율(%)은 상부구간(17.0) < 하부구간(34.8) < 중앙구간(53.0)의 순이다(표 5).
- [0095] **길이범위:** 6개 방향에 대한 3개 구간의 길이범위(mm)의 평균값을 기재하였다. 상부구간(0.48~1.15) < 중앙구간(1.15~2.11) < 하부구간(2.11~4.78)의 순이다(표 5).
- [0096] **평균길이 및 중앙길이:** 6개 방향에 대한 3개 구간의 평균길이 및 중앙길이(mm)의 평균값을 기재하였다. 상부구간(0.82, 0.83) < 중앙구간(1.54, 1.57) < 하부구간(2.68, 2.42)의 순이다. 한편 평균길이(a) 및 중앙길이(b)의 차이(a - b, mm)는 중앙구간(-0.03) < 상부구간(-0.01) ≪ 하부구간(0.26)의 순이다. 3개 구간 중, 하부구간을 위시하여 R1의 하부구간의 값(0.51)이 가장 탁월하다. 이러한 평균길이 및 중앙길이의 차이의 증가는 보다 긴 미세균열의 급격한 숫적 증가를 지시한다(표 5).
- [0097] **총 길이:** 6개 방향에 대한 3개 구간의 총 길이(mm)의 평균값을 기재하였다. 상부구간(6.58) ≪ 중앙구간(39.79) < 하부구간(44.48)의 순이다(표 5).
- [0098] **밀도:** 6개 방향에 대한 3개 구간의 밀도의 평균값 및 비율(%)을 기재하였다. 상부구간(0.004, 2.4 %) ≪ 중앙구간(0.054, 32.3 %) ≪ 하부구간(0.109, 65.3 %)의 순이다. 이러한 3개 구간 사이의 밀도의 급격한 비율 증가를 보면, 상부구간 → 중앙구간 → 하부구간으로 갈수록 6개 방향, 3개 결, 3개 면의 판단기준을 제고한다(표 5).

**표 5**

Rock cleavage	구간	N	빈도율 (%)	길이의 범위 (mm)	평균 길이 (mm) (a)	중앙 길이 (mm) (b)	(a)-(b)	총 길이 (mm)	밀도 (ρ)
H2	상부	7	18.9	0.53 - 0.91	0.72	0.72	0	5.99	0.003
	중앙	15	40.5	0.91 - 1.47	1.13	1.10	0.03	16.99	0.015
	하부	17	45.9	1.47 - 3.40	1.84	1.71	0.13	31.36	0.047
H1	상부	5	20.0	0.51 - 1.26	0.98	1.10	-0.12	4.90	0.004
	중앙	16	64.0	1.26 - 2.46	1.65	1.63	0.02	26.47	0.035
	하부	6	24.0	2.46 - 2.78	2.57	2.52	0.05	15.43	0.031
G2	상부	8	19.5	0.35 - 0.99	0.51	0.45	0.06	4.12	0.001
	중앙	18	43.9	0.99 - 1.66	1.30	1.32	-0.02	23.53	0.024
	하부	17	41.4	1.66 - 3.74	2.22	2.01	0.21	37.75	0.070
G1	상부	3	9.4	0.86 - 1.28	1.07	1.07	0	3.21	0.002
	중앙	21	65.6	1.28 - 2.27	1.56	1.71	-0.15	35.97	0.049
	하부	10	31.3	2.27 - 4.28	2.82	2.37	0.45	28.24	0.066
R2	상부	7	9.7	0.45 - 1.07	0.76	0.75	0.01	5.38	0.003
	중앙	37	51.3	1.07 - 2.06	1.53	1.55	-0.02	56.92	0.071
	하부	30	41.6	2.06 - 6.50	2.87	2.65	0.22	86.20	0.217



R1	상부	18	25.0	0.19 - 1.39	0.88	0.88	0	15.90	0.012
	중앙	38	52.8	1.39 - 2.75	2.07	2.12	-0.05	78.86	0.132
	하부	18	25.0	2.75 - 7.99	3.77	3.26	0.51	67.94	0.226
평균	상부	8	17.0	0.48 1.15	0.82	0.83	-0.01	6.58	0.004
	중앙	24	53.0	1.15 2.11	1.54	1.57	-0.03	39.79	0.054
	하부	16	34.8	2.11 4.78	2.68	2.42	0.26	44.49	0.110

[0100] 6-10 3개 구간별 주요 파라미터의 변화도

[0101] 도 7은 도 6 및 표 5에서 제시한 6개 방향에 대한 상부구간, 중앙구간, 하부구간의 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도(Y축)를 총 밀도(X축)가 증가하는 H2, H1, G2, G1, R2, R1(H2 → R1)의 순으로 배열하여 연속적인 변화 특성을 나타내는 도면이다.

[0102] 이들 주요 파라미터의 연속적인 변화곡선의 함수를 도출하였다. 상부구간을 제외한 중앙구간 및 하부구간에 대한 다양한 함수 중, 상관계수가 높은 정(+)의 이차함수의 분포형을 갖는 공통적인 규칙성을 도출하였다. 4개 파라미터의 상관계수는 0.63~0.98의 범위이며, 특히 중앙구간(밀도 및 총 길이)의 상관계수(0.95~0.98)가 가장 높게 나타난다(도 7).

[0103] **평균길이 및 중앙길이:** 3개 구간에서는 공통적으로 H2 < H1, G2 < G1, R2 < R1의 순으로 배열한다. 즉 (2) < (1)의 배열성의 규칙성이 있으며, 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다. 중앙구간 및 하부구간(평균길이)의 이차함수의 방정식은  $Y = 0.02X^2 - 0.04X + 1.31(R^2=0.63)$ ,  $Y = 0.04X^2 + 0.01X + 1.97(R^2=0.85)$  그리고 중앙구간 및 하부구간(중앙길이)의 이차함수의 방정식은  $Y = 0.01X^2 + 0.05X + 1.18(R^2=0.66)$ ,  $Y = 0.04X^2 - 0.03X + 1.93(R^2=0.75)$ 이다. 중앙구간에 비하여 하부구간의 상관계수가 보다 높다(도 7-a, b).

[0104] **총 길이:** 중앙구간에서는 공통적으로 H2 < H1, G2 < G1, R2 < R1의 순으로 배열한다. 즉 (2) < (1)의 배열성의 규칙성이 있으며, 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다. 그러나 하부구간에서는 H1 < H2, G1 < G2, R1 < R2의 순으로 배열하며, 중앙구간에서의 (1)과 (2)의 배열순과는 상호 역순의 상관성이 있다. 중앙구간 및 하부구간(총 길이)의 이차함수의 방정식은  $Y = 2.82X^2 - 7.93X + 24.79(R^2=0.98)$ ,  $Y = 2.34X^2 - 5.34X + 27.73(R^2=0.64)$ 이다. 하부구간에 비하여 중앙구간의 상관계수가 보다 높다(도 7-c).

[0105] **밀도:** 상부구간 및 중앙구간에서는 공통적으로 H2 < H1, G2 < G1, R2 < R1의 순으로 배열한다. 즉 (2) < (1)의 배열성의 규칙성이 있으며, 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다. 하부구간에서는 H1 < H2, G1 < G2, R1 < R2의 순으로 배열하며, 상부구간 및 중앙구간에서의 (1)과 (2)의 배열순과는 상호 역순의 상관성이 있다. 이러한 배열성은 총 길이의 배열성과 부합한다. 중앙구간 및 하부구간(밀도)의 이차함수의 방정식은  $Y = 0.01X^2 - 0.02X + 0.049(R^2=0.95)$ ,  $Y = 0.01X^2 - 0.03X + 0.06(R^2=0.88)$ 이다. 하부구간에 비하여 중앙구간의 상관계수가 보다 높다(도 7-d).

[0106] 6-11 3개 구간의 3개 결별 순위

[0107] 도 7 및 표 5에서 제시한 3개 구간의 3개 결별 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도의 값을 정리하면 아래의 표 6과 같다.

[0108] **상부구간:** 평균길이 및 중앙길이(mm)은 2번 결(0.79, 0.76, G1과 G2의 평균값) < 1번 결(R1과 R2의 평균값, 0.82, 0.81) < 3번 결(H1과 H2의 평균값, 0.85, 0.91)의 순이다. 반면에 총 길이(mm) 및 밀도는 공통적으로 2번 결(3.66, 0.001) < 3번 결(5.44, 0.003) << 1번 결(10.64, 0.007)의 순이다. 이중 1번 결의 총 길이 및 밀도의 값이 탁월하다. 이러한 배열의 규칙성은 1번 결을 식별하는 기준이 될 수 있다(표 6).

[0109] **중앙구간 및 하부구간:** 상기한 4개 주요 파라미터는 공통적으로 3번 결 < 2번 결 << 1번 결의 규칙적인 순이다. 이러한 배열의 규칙성은 3개 결을 식별하는 기준이 될 수 있다(표 6).

표 6

Rock cleavage	평균값	구간	평균길이 (mm)	중앙길이 (mm)	총 길이 (mm)	밀도 (ρ)
3번 결	(H1 + H2) / 2	상부	0.85	0.91	5.44	0.003

2번 결	(G1 + G) / 2	중양	1.39	1.36	21.73	0.025
		하부	2.20	2.11	23.39	0.039
		상부	0.79	0.76	3.66	0.001
		중양	1.43	1.51	29.75	0.036
1번 결	(R1 + R2) / 2	하부	2.52	2.19	32.99	0.068
		상부	0.82	0.81	10.64	0.007
		중양	1.80	1.83	67.89	0.101
		하부	3.32	2.95	77.07	0.221

[0111] 6-12 결별 3개 구간의 기울기( $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ )

[0112] 도 8은 도 6의 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 멱법칙 함수의 상관직선의 기울기를 밀도(H2 → R1)가 증가하는 순(도 8-a), 기울기가 감소하는 순(도 9-b, c, d) 그리고 3개 구간의 평균기울기 및 평균기울기의 이방성 계수를 3개 결(도 8-e, f), 3개 면(도 8-g, h)의 순으로 각각 배열하여 연속적인 변화 특성을 나타내는 도면이다.

[0113] 도 6의 6개 그래프의 상부구간( $\theta_U$ ), 중앙구간( $\theta_M$ ), 하부구간( $\theta_L$ )에 대한 멱법칙의 상관직선의 기울기를 3개 결별로 정리하면 아래의 표 7과 같다. 도출한 사항은 다음과 같다.

[0114] 6개 방향의 3개 구간별 멱법칙의 상관직선의 기울기( $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ )를 전체적인 밀도가 증가하는 순으로 배열한 결과, 최상위의 하부구간의 그래프에서는 3번 결(H1, H2)의 기울기가 가장 탁월하다. 3개 구간의 기울기는 밀도가 증가하는 순(H1 → R1)과 반비례하여 감소한다. 최하위의 상부구간의 그래프에서는 3번 결(H1)의 기울기가 가장 탁월하다. 상부구간의 기울기는 밀도와 음(-)의 상관성이 가장 높다. 상부구간의 지수함수의 방정식은  $Y = -3.00 \ln(X) + 7.88(R^2=0.75)$ 이다. 특히 중앙구간( $\theta_M$ )과 하부구간( $\theta_L$ )의 기울기는 H2 ~ H1의 구간에서 증가, H1 ~ G2의 구간에서 감소한다. 반면에 G2 ~ R1의 구간에서는 상호 반비례의 상관성을 갖는다. 상부구간( $\theta_U$ )과 중앙구간( $\theta_M$ )의 기울기는 H2 ~ G2의 구간에서 상호 반비례의 상관성을 갖는다. 반면에 G1 ~ R1의 구간에서 상호 비례의 상관성을 갖는다. 3개 구간의 기울기 중, 상부구간( $\theta_U$ )과 하부구간( $\theta_L$ )의 기울기는 H2 ~ G2의 구간, G1 ~ R1의 구간에서 상호 반비례의 상관성이 가장 강한 특성을 도출하였다(도 8-a).

표 7

Rock cleavage	기울기의 평균값 및 이방성 계수	기울기 ( $\theta^\circ$ )				
		상부구간 ( $\theta_U$ )	중앙구간 ( $\theta_M$ )	하부구간 ( $\theta_L$ )	합계	
3번 결	H2	8.95	27.46	58.45	94.86	↓
	H1	4.26	42.51	80.88	127.65	↑
	(H1 + H2) / 2 (평균)	6.64	42.54	69.66	(222.51)	
	이방성 계수(%)	135.5	121.5	116.0		
2번 결	G2	4.33	27.26	51.55	83.14	↓
	G1	4.06	42.57	49.32	95.95	↑
	(G1 + G) / 2 (평균)	4.19	34.91	50.43	(179.09)	
	이방성 계수(%)	103.2	78.0	102.2		
1번 결	R2	2.08	26.27	51.43	81.78	↓
	R1	3.88	33.01	48.20	86.09	↑
	(R1 + R2) / 2 (평균)	2.98	29.64	49.81	(167.87)	
	이방성 계수(%)	69.7	88.6	103.2		

[0116] \* An(Anisotropy coefficient, %): {(Max - Min) / Mean} × 100

[0117] 6-13 3개 구간의 기울기( $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ )의 배열성

[0118] 상부구간에 대한 상관직선의 기울기( $\theta_U$ )는 H2, G2, H1, G1, R1, R2의 순으로 감소하여 (2) > (1)의 경향성이 있다. 6개 방향 중, H2의 기울기가 가장 큰 반면, R2의 기울기가 가장 낮다. G2 ~ R1의 구간에서 그래프의 기울

기는 거의 수평에 근접한다(도 8-b). 중앙구간에 대한 상관직선의 기울기( $\Theta_M$ )는 G1, H1, R1, H2, G2, R2의 순으로 감소하여 (1) > (2)의 규칙성을 갖는다. G1, H1의 기울기가 가장 큰 반면, R2의 기울기가 가장 낮다. H1 ~ R2의 구간에서 전체적인 그래프는 상향곡선의 형태이다(도 8-c). 하부구간에 대한 상관직선의 기울기( $\Theta_L$ )는 H1, H2, G2, R2, G1, R1의 순으로 감소하여 (2) > (1)의 경향성이 있다. 3개 구간 중, 도 8-a의 H2, H1, G2, G1, R2, R1의 밀도순(H2 → R1)에 가장 근접한다. 6개 방향 중, H1의 기울기가 가장 큰 반면, R1의 기울기가 가장 낮다. 전체적인 그래프의 형태는 상향곡선형(떡볶이 함수 분포형)이다. 3개 구간 중, 하부구간에 대한 다양한 함수의 상관계수가 가장 높고, 특히 떡볶이 방정식은  $N = 75.69 \times L^{-0.28}$  ( $R^2=0.91$ )이다(도 8-d).

[0119] 종합하면, 상부구간 및 하부구간에 대한 상관직선의 기울기는 공통적으로 (2) > (1)의 경향성을 갖는다. 특히 중앙구간에 대한 상관직선의 기울기( $\Theta_M$ )는 3개 방향에서 공통적으로 (1) > (2)의 규칙성을 도출하였다. 상부구간 → 중앙구간 → 하부구간으로 갈수록 점차 전체적인 그래프의 형태는 떡볶이 함수의 분포형으로 진화한다(도 8-b, c, d).

[0120] 6-14 3개 결별 기울기( $\Theta_U$ ,  $\Theta_M$ ,  $\Theta_L$ )의 변화도

[0121] 도 8의 3개 결별 3개 구간의 기울기를 요약하면 다음과 같다. 3개 결별 3개 구간의 기울기(평균값)은 1번 결(27.98) < 2번 결(29.85) < 3번 결(37.08)의 순이다. ① 하위영역을 차지하는 1번 결의 기울기는  $\Theta_U(2.98) \rightarrow \Theta_M(29.64) \rightarrow \Theta_L(49.81)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 23.42X - 19.35$ ,  $R^2=0.99$ )이다. ② 중앙구간의 2번 결의 기울기는  $\Theta_U(4.19) \rightarrow \Theta_M(34.91) \rightarrow \Theta_L(50.43)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형에 근접하는 둔각의  $\wedge$ 자의 형태( $Y = 23.12X - 16.40$ ,  $R^2=0.96$ )이다. ③ 상위영역을 차지하는 3번 결의 기울기는  $\Theta_U(6.64) \rightarrow \Theta_M(42.54) \rightarrow \Theta_L(69.66)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 31.52X - 23.41$ ,  $R^2=0.99$ )이다. 1번 결(23.42), 2번 결(23.12) → 3번 결(31.52)로 갈수록 기울기는 감소한다(도 8-e).

[0122] 3개 결의 기울기( $\Theta_U$ ,  $\Theta_M$ ,  $\Theta_L$ )의 합: R2(81.78) < G2(83.14) < R1(86.09) < H2(94.86) < G1(95.95) < H1(127.65)의 순으로 증가한다. 여기서 H2 < H1, G2 < G1, R2 < R1의 순으로 (2) < (1)의 규칙성이 있다. 3개 결은 R1+R2(167.87) < G1+G2(179.09) < H1+H2(222.51)의 배열성을 보여 1번 결 < 2번 결 < 3번 결의 순이다(표 7).

[0123] 6-15 3개 결별 기울기( $\Theta_U$ ,  $\Theta_M$ ,  $\Theta_L$ )의 이방성 계수의 변화도

[0124] 도 8의 3개 결별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수를 요약하면 다음과 같다. 3개 결별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수(평균값, %)는 1번 결(87.1) < 2번 결(94.4) < 3번 결(124.3)의 순이다. ① 1번 결의 이방성 계수는  $\Theta_U(69.7) \rightarrow \Theta_M(88.6) \rightarrow \Theta_L(103.2)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 16.75X + 53.67$ ,  $R^2=0.99$ )이다. ② 2번 결의 이방성 계수(%)는  $\Theta_U(103.2) \rightarrow \Theta_M(78.0) \rightarrow \Theta_L(102.2)$ 로 갈수록 감소 및 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 둔각의 V자 형태이다. ③ 상위영역을 차지하는 3번 결의 이방성 계수는  $\Theta_U(135.5) \rightarrow \Theta_M(121.5) \rightarrow \Theta_L(116.0)$ 로 갈수록 감소한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = -0.75X + 143.83$ ,  $R^2=0.94$ )이다(도 8-f). 3개 결별 평균기울기의 변화도(도 8-e) 및 기울기의 이방성 계수의 변화도(도 8-f)에서 공통적으로 3번 결의 그래프가 상위영역을 차지한다.

[0125] 6-16 3개 면별 기울기( $\Theta_U$ ,  $\Theta_M$ ,  $\Theta_L$ )의 변화도

[0126] 도 6의 6개 그래프의 상부구간( $\Theta_U$ ), 중앙구간( $\Theta_M$ ), 하부구간( $\Theta_L$ )에 대한 떡볶이의 상관직선의 기울기를 3개 면별로 정리하면 아래의 표 8과 같다. 도출한 사항은 다음과 같다.

[0127] 3개 면별 3개 구간의 기울기(평균값)는 3번 면(81.46) < 2번 면(89.98) < 1번 면(111.80)의 순이다. ① 하위영역을 차지하는 3번 면의 기울기는  $\Theta_U(3.20) \rightarrow \Theta_M(26.76) \rightarrow \Theta_L(51.49)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 24.15X - 21.14$ ,  $R^2=1.00$ )이다. ② 중앙구간의 2번 면의 기울기는  $\Theta_U(6.41) \rightarrow \Theta_M(30.23)$

→  $\theta_L(53.32)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 23.45X - 16.92, R^2=0.99$ )이다. ③ 상위 영역을 차지하는 1번 면의 기울기는  $\theta_U(4.16) \rightarrow \theta_M(42.54) \rightarrow \theta_L(65.10)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프의 형태는 선형( $Y = 30.47X - 23.67, R^2=0.98$ )이다. 3번 면(24.15), 2번 면(23.45) → 1번 면(30.47)로 갈수록 기울기는 증가한다. 3개 면별 3개 구간의 그래프 그리고 전술한 3개 결별 3개 구간의 그래프(도 8-e) 사이의 배열성은 상호 역순이다. 이러한 특유의 배열 특성은 3개 결, 3개 면을 식별할 수 있는 기준이 될 수 있다(도 8-g).

[0128] **3개 면의 기울기( $\theta_U, \theta_M, \theta_L$ )의 합:** R2(81.78) < G2(83.14) < R1(86.09) < H2(94.86) < G1(95.95) < H1(127.65)의 순으로 증가한다. 여기서 R2 < G2, R1 < H2, G1 < H1의 순이다. 3개 면은 R2+G2(162.92) < R1+H2(179.95) < G1+H1(223.21)의 배열성을 보여 3번 면 < 2번 면 < 1번 면의 순이며, 표 7의 1번 결 < 2번 결 < 3번 결의 순과 상호 역순으로 나타난다(표 8).

표 8

[0129]

Plane	Rock cleavage	기울기( $\theta^\circ$ )				
		상부구간 ( $\theta_U$ )	중앙구간 ( $\theta_M$ )	하부구간 ( $\theta_L$ )	합계	
3번 면	G2	4.33	27.26	51.55	83.14	↑
	R2	2.08	26.27	51.43	79.78	↓
	(R2 + G2) / 2 (평균)	3.20	26.76	51.49	(162.92)	
	이방성 계수(%)	135.1	101.8	100.1		
2번 면	H2	8.95	27.46	58.45	94.86	↑
	R1	3.88	33.01	48.20	85.09	↓
	(R1 + H2) / 2 (평균)	6.41	30.23	53.32	(179.95)	
	이방성 계수(%)	139.5	90.8	109.6		
1번 면	H1	4.26	42.51	80.88	127.65	↑
	G1	4.06	42.57	49.32	95.95	↓
	(G1 + H1) / 2 (평균)	4.16	42.54	65.10	(223.2)	
	이방성 계수(%)	102.4	99.9	124.2		

[0130] \* An(Anisotropy coefficient, %): {(Max - Min) / Mean} × 100

[0131] 6-17 3개 면별 기울기( $\theta_U, \theta_M, \theta_L$ )의 이방성 계수의 변화도

[0132] 도 6의 6개 그래프의 상부구간( $\theta_U$ ), 중앙구간( $\theta_M$ ), 하부구간( $\theta_L$ )에 대한 먹법칙의 상관직선의 기울기를 3개 결별로 정리하면 아래의 표 8과 같다. 도 8의 3개 면별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수를 요약하면 다음과 같다.

[0133] 3개 면별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수(평균값, %)는 3번 면(112.3) ≤ 2번 면(113.3) < 1번 면(198.8)의 순이다. ① 3번 면의 이방성 계수는  $\theta_U(135.1) \rightarrow \theta_M(101.8) \rightarrow \theta_L(100.1)$ 로 갈수록 감소한다. ② 2번 면의 이방성 계수는  $\theta_U(139.5) \rightarrow \theta_M(90.8) \rightarrow \theta_L(109.6)$ 로 갈수록 감소 및 증가한다.  $\theta_M$ 에서 변곡점을 형성하여 전체적인 그래프의 형태는 둔각의 V자 형태이다. ③ 1번 면의 이방성 계수(%)는  $\theta_U(102.4) \rightarrow \theta_M(99.9) \rightarrow \theta_L(124.2)$ 로 갈수록 감소 및 증가한다(도 8-h).

[0134] 3개 결(도 8-f) 및 3개 면(도 8-h)의 이방성 계수의 변화도에서 2번 결의 그래프는 공통적으로 둔각의 V자 형태이다. 특히 3개 결별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수(1번 결(87.1) < 2번 결(94.4) < 3번 결(124.3))의 순(도 8-f), 그리고 3개 면별 3개 구간의 기울기의 이방성 계수(3번 면(112.3) ≤ 2번 면(113.3) < 1번 면(198.8))의 순(도 8-h) 사이의 배열성은 상호 역순이다. 이러한 특유의 배열 특성은 3개 결, 3개 면을 식별할 수 있는 기준이 될 수 있다.

[0135] 6-18 3개 결별, 면별 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U, \theta_L / \theta_U$ )

[0136] 도 6의 상부구간( $\theta_U$ ), 중앙구간( $\theta_M$ ), 하부구간( $\theta_L$ )에 대한 먹법칙 함수의 상관직선의 기울기의 비를 6개 방향

별로 정리하면 아래의 표 9와 같다.

표 9

[0137]

Rock cleavage	$\theta_M / \theta_U$	$\theta_L / \theta_U$
H2	3.07	6.53
H1	9.98	18.99
G2	6.30	11.91
G1	10.49	12.15
R2	12.63	24.73
R1	8.51	12.42
평균	8.49	14.45

[0138]

표 9를 이용하여 3개 결별 중앙구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$ ), 하부구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\theta_L / \theta_U$ )를 도출하면 아래의 표 10과 같다.

[0139]

3개 결별 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$  및  $\theta_L / \theta_U$ )는 공통적으로 3번 결(6.41, 10.49) → 2번 결(8.33, 12.04) → 1번 결(9.95, 16.71)의 순으로 증가하는 배열성을 갖는다. 이러한 규칙적인 배열성은 3개 결의 판별 기준이 될 수 있다(표 10).

표 10

[0140]

Rock cleavage	평균값	$\theta_M / \theta_U$	$\theta_L / \theta_U$
3번 결	$(H1 + H2) / 2$	6.41	10.49
2번 결	$(G1 + G2) / 2$	8.33	12.04
1번 결	$(R1 + R2) / 2$	9.95	16.71

[0141]

표 9를 이용하여 3개 면별 중앙구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$ ), 하부구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\theta_L / \theta_U$ )를 도출하면 아래의 표 11과 같다.

[0142]

3개 면별 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$ )는 2번 결(4.72) → 3번 결(8.36) → 1번 결(10.23)의 순으로 증가한다. 3개 면별 기울기의 비( $\theta_L / \theta_U$ )는 2번 결(8.32) → 1번 결(15.65) → 3번 결(16.09)의 순으로 증가한다. 3개 면 중에서 2번 면의 기울기의 비( $\theta_M / \theta_U$  및  $\theta_L / \theta_U$ )가 공통적으로 가장 낮다. 이러한 특성은 2번 면의 판별 기준이 될 수 있다(표 11).

표 11

[0143]

3개 면	평균값	$\theta_M / \theta_U$	$\theta_L / \theta_U$
1번 면	$(G1 + H1) / 2$	10.23	15.65
3번 면	$(R2 + G2) / 2$	8.36	16.09
2번 면	$(R1 + H2) / 2$	4.72	8.32

[0144]

6-19 결별 3개 구간의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )

[0145]

도 9는 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 멱법칙 함수의 상관직선 사이의 교차각을 총 밀도(H2 → R1)가 증가하는 순(도 9-a), 교차각이 감소하는 순(도 9-b, c, d) 그리고 평균교차각 및 평균교차각의 이방성 계수를 3개 결(도 9-e, f, i), 3개 면(도 9-g, h, j)의 순으로 각각 도시하여 전체적인 변화 특성을 나타내는 도면이다.

[0146]

3개 결별 중앙구간( $\alpha$ ), 중앙구간과 하부구간( $\beta$ ), 상부구간과 하부구간( $\gamma$ )의 상관직선 사이의 교차각을 정리하면 아래의 표 12와 같다. 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0147] 6개 방향의 3개 구간의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )을 전체적인 밀도가 증가하는 순으로 배열한 결과, 가장 상위의 교차각( $\gamma$ )의 그래프에서는 3번 결(H1, H2), 교차각( $\alpha$ ) 및 교차각( $\beta$ )의 그래프에서는 2번 결(G1, H1) 및 3번 결(H1, H2)에서 각각 탁월하다. 전체적으로 교차각( $\gamma$ )와 교차각( $\beta$ )의 그래프에서는 상호 비례의 상관성이 강한 특성을 보여준다. 반면에 G2 ~ G1 ~ R2 ~ R1의 구간에서는 교차각( $\alpha$ ) 그리고 교차각( $\beta$ ,  $\gamma$ )는 상호 반비례의 상관성을 갖는다(도 9-a).

표 12

[0148]

Plane	Rock cleavage	교차각도 (°)			합계	
		상부구간과 중앙구간 ( $\alpha$ )	중앙구간과 하부구간 ( $\beta$ )	상부구간과 하부구간 ( $\gamma$ )		
3번 결	H2	18.51	30.99	49.50	99	↓
	H1	38.25	38.37	76.62	153.24	↑
	(H1 + H2) / 2 (평균)	28.38	34.68	63.06	(252.24)	
	이방성 계수(%)	65.2	89.3	78.4		
2번 결	G2	22.93	24.29	47.22	94.44	↑
	G1	38.51	6.75	45.26	90.52	↓
	(G1 + G2) / 2 (평균)	30.72	15.52	46.24	(184.96)	
	이방성 계수(%)	74.6	156.5	102.1		
1번 결	R2	24.19	25.16	49.35	98.7	↑
	R1	29.13	15.19	44.32	88.64	↓
	(R1 + R2) / 2 (평균)	26.66	20.17	46.83	(187.34)	
	이방성 계수(%)	90.7	124.7	105.3		

[0149] \* An(Anisotropy coefficient, %): {(Max - Min) / Mean}×100

[0150] 6-20 3개 구간의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 배열성

[0151] 상부구간과 중앙구간에 대한 상관직선의 교차각( $\alpha$ )는 G1, H1, R1, R2, G2, H2의 순으로 감소하여 특히, (1) > (2)의 규칙적인 배열성을 갖는다. 6개 방향 중, G1, H1의 교차각이 가장 큰 반면, H2가 가장 낮다. H1 ~ H2의 구간에서의 그래프는 상향곡선형의 멱법칙 함수형( $Y = 58.56X^{0.62}$ ,  $R^2=0.98$ )이다(도 9-b).

[0152] 중앙구간과 하부구간에 대한 상관직선의 교차각( $\beta$ )는 H1, H2, R2, G2, R1, G1의 순으로 감소하여 (2) > (1)의 경향성이 있다. H1, H2의 교차각이 가장 큰 반면, G1이 가장 낮다. 전반적으로 선형( $Y = -5.90X + 44.10$ ,  $R^2=0.97$ )이다(도 9-c).

[0153] 상부구간과 하부구간에 대한 상관직선의 교차각( $\gamma$ )는 H1, H2, G2, R2, G1, R1의 순으로 감소하여 (2) > (1)의 경향성이 있다. 6개 방향 중, H1의 교차각이 가장 큰 반면, R1이 기울기가 가장 낮다. H2 ~ R1의 구간에서는 선형( $Y = -1.44X + 52.91$ ,  $R^2=0.95$ ), 전체적으로 상향곡선형의 멱법칙 함수형( $Y = 69.44X^{0.28}$ ,  $R^2=0.83$ )에 근접한다(도 9-d).

[0154] 6-21 3개 결별 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 변화도

[0155] 3개 결별 중앙구간( $\alpha$ ), 중앙구간과 하부구간( $\beta$ ), 상부구간과 하부구간( $\gamma$ )의 상관직선 사이의 교차각을 정리하면 표 12와 같다. 도 9의 3개 결별 3개 구간의 교차각을 요약하면 다음과 같다.

[0156] 3개 결별 3개 구간의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 의 평균값)은 2번 결(30.82) ≤ 1번 결(31.72) < 3번 결(40.04)의 순이다. ① 2번 결의 교차각은  $\alpha(30.72) \rightarrow \beta(15.52) \rightarrow \gamma(46.24)$ 로 갈수록 감소 및 증가한다. 전체적인 그래프는 둔각의 V자 형태이다. ② 1번 결의 교차각은  $\alpha(26.66) \rightarrow \beta(20.17) \rightarrow \gamma(46.83)$ 로 갈수록 감소 및 증가한다. 전체적인 그래프는 둔각의 V자 형태이다. ③ 상위영역을 차지하는 3번 결의 교차각은  $\alpha(28.38) \rightarrow \beta(34.68) \rightarrow \gamma(63.06)$ 로 갈수록 증가한다. 전체적인 그래프는 보다 둔각의 V자 형태이다(도 9-e).

[0157] 3개 결의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 합: R1(88.64) < G1(90.52) < G2(94.44) < R2(98.7) < H2(99) < H1(153.24)의 순으로 증가한다. 여기서 H2 < H1, G1 < G2, R1 < R2의 순으로 나타난다. 3개 결은 R1+R2(187.34) < G1+G2(184.96) < H1+H2(252.24)의 배열성을 보여 1번 결 < 2번 결 < 3번 결의 규칙적인 순으로 나타난다(표

12).

[0158] 6-22 3개 결별 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 이방성 계수의 변화도

[0159] 3개 결별 중앙구간( $\alpha$ ), 중앙구간과 하부구간( $\beta$ ), 상부구간과 하부구간( $\gamma$ )의 상관직선 사이의 교차각을 정리하면 표 12와 같다.

[0160] 3개 결별 3개 구간의 교차각의 이방성 계수(평균값, %)는 3번 결(77.63) < 1번 결(106.90) < 2번 결(111.06)의 순이다. ① 하위영역을 차지하는 3번 결의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha$ (65.2)  $\rightarrow$   $\beta$ (89.3)  $\rightarrow$   $\gamma$ (78.4)로 갈수록 증가 및 감소한다. ② 중위영역을 차지하는 1번 결의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha$ (90.7)  $\rightarrow$   $\beta$ (124.7)  $\rightarrow$   $\gamma$ (105.3)로 갈수록 증가 및 감소한다. 1번 결 및 3번 결의 그래프는 2번 결의 그래프에 비하여 보다 둔각의  $\wedge$ 자 형태이며, 상호 닮은 꼴이다. ③ 상위영역을 차지하는 2번 결의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha$ (74.6)  $\rightarrow$   $\beta$ (156.5)  $\rightarrow$   $\gamma$ (102.1)로 갈수록 증가 및 감소한다. 전체적인 그래프는 둔각의  $\wedge$ 자 형태이다(도 9-f).

[0161] 6-23 3개 면별 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 변화도

[0162] 3개 면별 중앙구간( $\alpha$ ), 중앙구간과 하부구간( $\beta$ ), 상부구간과 하부구간( $\gamma$ )의 상관직선 사이의 교차각을 정리하면 아래의 표 13과 같다. 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0163] 3개 면별 3개 구간의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 의 평균값)은 2번 면(30.82) < 3번 면(32.27) < 1번 면(40.62)의 순이다. ① 2번 면의 교차각은  $\alpha$ (23.82)  $\rightarrow$   $\beta$ (23.09)  $\rightarrow$   $\gamma$ (46.91)로 갈수록 감소 및 급증한다. ② 3번 면의 교차각은  $\alpha$ (23.56)  $\rightarrow$   $\beta$ (24.72)  $\rightarrow$   $\gamma$ (48.28)로 갈수록 증가한다. 2번 면의 그래프의 형태와 닮은 꼴이다.

[0164] ③ 상위영역을 차지하는 1번 면의 교차각은  $\alpha$ (38.38)  $\rightarrow$   $\beta$ (22.56)  $\rightarrow$   $\gamma$ (60.94)로 갈수록 감소 및 증가한다. 전체적인 그래프는 둔각의 V자 형태이다(도 9-g). 3개 결별 3개 구간의 교차각(2번 결(30.82)  $\leq$  1번 결(31.72) < 3번 결(40.04))(도 9-e) 그리고 3개 면별 3개 구간의 교차각(2번 면(30.82) < 3번 면(32.27) < 1번 면(40.62))(도 9-g)의 순 사이에서는 1번 결, 3번 결의 그래프와 3번 면, 1번 면의 그래프가 역전되며 2번 결, 2번 면의 그래프가 공통적으로 하위영역을 차지하여 판별기준이 될 수 있다.

[0165] 3개 면의 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 합: R1(88.64) < G1(90.52) < G2(94.44) < R2(98.7) < H2(99) < H1(153.24)의 순으로 증가한다. 여기서 G2 < R2, R1 < H2, G1 < H1의 순으로 나타난다. 3개 면은 R1+H2(187.64) < R2+G2(193.14) < G1+H1(243.76)의 배열성을 보여 2번 면 < 3번 면 < 1번 면의 순이다(표 13).

표 13

[0166]

Plane	Rock cleavage	교차각도 (°)				
		상부구간과 중앙구간 ( $\alpha$ )	중앙구간과 하부구간 ( $\beta$ )	상부구간과 하부구간 ( $\gamma$ )	합계	
3번 면	G2	22.93	24.29	47.22	94.44	↑
	R2	24.19	25.16	49.35	98.7	↓
	평균	23.56	24.72	48.28	(193.14)	
	이방성 계수(%)	97.3	98.2	97.7		
2번 면	H2	18.51	30.99	49.5	99	↑
	R1	29.13	15.19	44.32	88.64	↓
	평균	23.82	23.09	46.91	(187.64)	
	이방성 계수(%)	77.7	134.2	105.5		
1번 면	H1	38.25	38.37	76.62	153.24	↑
	G1	38.51	6.75	45.26	90.52	↓
	평균	38.38	22.56	60.94	(243.76)	
	이방성 계수(%)	99.6	170.0	125.7		

[0167] \* An(Anisotropy coefficient, %): {(Max - Min) / Mean} × 100

[0168] 6-24 3개 면별 교차각( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )의 이방성 계수의 변화도

[0169] 3개 면별 중앙구간( $\alpha$ ), 중앙구간과 하부구간( $\beta$ ), 상부구간과 하부구간( $\gamma$ )의 상관직선 사이의 교차각을 정리하면 표 13과 같다. 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0170] 3개 면별 3개 구간의 교차각의 이방성 계수(평균값, %)는 3번 면(97.7) < 2번 면(105.8) < 1번 면(131.7)의 순이다.

[0171] ① 하위영역을 차지하는 3번 면의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha(97.3) \rightarrow \beta(98.2) \rightarrow \gamma(97.7)$ 로 갈수록 증가 및 감소한다. 전체적인 그래프는 선형( $Y = a$  형태)이다. ② 중위영역을 차지하는 2번 면의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha(77.7) \rightarrow \beta(134.2) \rightarrow \gamma(105.5)$ 로 갈수록 증가 및 감소한다. ③ 상위영역을 차지하는 1번 면의 교차각의 이방성 계수(%)는  $\alpha(99.6) \rightarrow \beta(170.0) \rightarrow \gamma(125.7)$ 로 갈수록 증가 및 감소한다. 1번 면 및 2번 면의 그래프는 둔각의  $\wedge$ 자 형태이며, 상호 닮은 꼴이다(도 9-h).

[0172] 3개 결별 3개 구간의 교차각의 이방성 계수(3번 결(77.63) < 1번 결(106.90) < 2번 결(111.06))(도 9-f) 그리고 3개 면별 3개 구간의 교차각의 이방성 계수(3번 면(97.7) < 2번 면(105.8) < 1번 면(131.7))(도 9-h) 사이에서는 1번 결과 2번 결 그리고 2번 면과 1번 면의 그래프의 순위가 역전되며, 3번 결, 3번 면의 그래프가 공통적으로 하위영역을 차지하여 판별기준이 될 수 있다.

[0173] 3개 교차각별 3개 결의 이방성 계수는 전체적으로  $\alpha < \gamma < \beta$ 의 순으로 증가한다. 이중 는 2번 결  $\rightarrow$  3번 결로 갈수록 감소한다. 3개 결 중에서 3번 결의 이방성 계수가 가장 낮다(도 9i).

[0174] 3개 교차각별 3개 면의 이방성 계수는 전체적으로  $\alpha < \gamma < \beta$ 의 순으로 증가한다.  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 1번 면  $\rightarrow$  3번 면으로 갈수록 수렴하는 특성을 도출하였다(도 9j).

[0175] 6-25 3개 결별, 면별 교차각의 비( $\beta/\alpha, \gamma/\alpha$ )

[0176] 도 6의 상부구간( $\Theta_U$ ), 중앙구간( $\Theta_M$ ), 하부구간( $\Theta_L$ )에 대한 멱법칙 함수의 상관직선 사이의 교차각( $\alpha, \beta, \gamma$ )의 비를 6개 방향별로 정리하면 아래의 표 14와 같다.

표 14

[0177]

Rock cleavage	$\beta/\alpha$	$\gamma/\alpha$
H2	1.67	2.67
H1	1.00	2.00
G2	1.06	2.06
G1	0.18	1.18
R2	1.04	2.04
R1	0.52	1.52

[0178] 표 14를 이용하여 3개 결별 중앙구간과 상부구간 사이의 교차각의 비( $\beta/\alpha$ ), 하부구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\gamma/\alpha$ )를 정리하면 아래의 표 15와 같다.

[0179] 3개 결별 교차각의 비( $\beta/\alpha, \gamma/\alpha$ )는 공통적으로 2번 결(0.51, 1.51) < 1번 결(0.76, 1.76)  $\ll$  3번 결(1.22, 2.22)의 순으로 증가하는 배열성을 갖는다. 이러한 규칙적인 배열성은 3개 결의 판별 기준이 될 수 있다(표 15).

표 15

[0180]

평균값	$\beta/\alpha$	$\gamma/\alpha$
3번 결	1.22	2.22
1번 결	0.76	1.76
2번 결	0.51	1.51

[0181] 표 14를 이용하여 3개 면별 중앙구간과 상부구간 사이의 교차각의 비( $\beta/\alpha$ ), 하부구간과 상부구간 사이의 기울기의 비( $\gamma/\alpha$ )를 정리하면 아래의 표 16과 같다.

[0182] 3개 면별 교차각의 비( $\beta/\alpha, \gamma/\alpha$ )는 공통적으로 1번 면(0.59, 1.59) < 2번 면(0.97, 1.97) < 3번 면(1.05, 2.05)의 순으로 증가한다. 이러한 특성은 3개 면의 판별 기준이 될 수 있다(표 16).



표 16

[0183]

평균값	$\beta / \alpha$	$\gamma / \alpha$
3번 면	1.05	2.05
2번 면	0.97	1.97
1번 면	0.59	1.59

[0184]

6-26 3개 구간의 떡법칙 방정식 도출

[0185]

도 10은 도 6의 6개 방향의 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 각 구간별 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순(H2 → R1)으로 배열하여 떡법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙값 및 밀도의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다. 여기서  $\theta_U$ ,  $\theta_M$ ,  $\theta_L$ 는 상부구간, 중앙구간, 하부구간에 대한 떡법칙 방정식의 상관직선의 기울기이다.

[0186]

6개 방향의 3개 구간에 대한  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 떡법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 상관계수( $R^2$ )를 정리하면 아래의 표 17과 같다. 6개 방향의 3개 구간에 걸친 상수, 지수의 공통적인 규칙성은 결여된다. 다만 상수, 지수, 상관계수의 평균값을 보면 상부구간 → 중앙구간 → 하부구간으로 갈수록 모두 증가한다(표 17).

표 17

[0187]

Rock cleavage	떡법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )								
	상부구간(U)			중앙구간(M)			하부구간(L)		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
H2	30.12	0.35	0.88	26.96	1.18	0.98	63.54	3.70	0.94
H1	22.69	0.16	0.79	34.98	2.08	0.96	( $1.94 \times 10^6$ )	14.18	0.98
G2	33.03	0.17	0.88	33.58	1.17	0.94	63.97	2.86	0.93
G1	31.26	0.16	0.99	57.09	2.08	0.97	64.91	2.64	0.88
R2	67.18	0.08	0.92	74.25	1.12	0.96	214.03	2.85	0.98
R1	61.24	0.15	0.77	99.30	1.48	0.90	195.76	2.54	0.97
평균	40.92	0.18	0.87	54.36	1.52	0.95	140.51	4.80	0.95

[0188]

도 10의 3개 구간의  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 떡법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 상관계수( $R^2$ )를 3개 결별로 정리하면 아래의 표 18과 같다.

[0189]

3개 구간별 상수, 지수의 평균값의 규칙성을 검토하였다. 1번 결 → 2번 결 → 3번 결로 갈수록 상수는 감소하는 반면, 지수(기울기)는 증가하는 규칙성을 도출하였다. 특히 3번 결의 하부구간에서는 지수의 크기가 급격히 증가하는 특성이 있다. 이러한 특성은 3개 결을 판별할 수 있는 기준이 될 수 있다(표 18).

표 18

[0190]

Rock cleavage	평균값	떡법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )								
		상부구간(U)			중앙구간(M)			하부구간(L)		
		a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
3번 결	(Hardway 1 + Hardway 2) / 2	26.41	0.26	0.84	30.97	1.630	0.97	31.77	970,308.41	0.96
2번 결	(Grain 1 + Grain 2) / 2	32.15	0.17	0.94	45.34	1.625	0.96	64.44	2.75	0.91
1번 결	(Rift 1 + Rift 2) / 2	64.21	0.12	0.85	86.78	1.30	0.93	204.90	2.70	0.98

[0191]

6-27 3개 결의 구간 비교

[0192]

도 10의 6개 방향의 그래프에 대한 3개 구간의 수, 빈도율, 길이범위, 평균길이, 중앙값, 총 길이 및 밀도를 정리하면 앞의 표 5와 같다. 표 5 및 도 10에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0193]

**길이범위:** 3개 결별 3개 구간의 전체적인 길이범위(mm)는 R2 < R1, G2 < G1, H2 < H1의 순이다. 즉 하위영역

(2)은 좌측 배열하며, 상위영역(1)은 보다 우측 배열하는 공통적인 규칙성이 있다. 이러한 규칙성은 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다.

- [0194] **평균길이 및 중앙값:** 3개 결별 3개 구간의 평균길이 및 중앙값은 상기한 길이범위와 비례하여 (2) < (1)의 공통적인 규칙성이 있다. 이러한 규칙성은 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다.
- [0195] 중앙구간의 군집의 형태를 보면, (1)의 길이범위의 폭이 넓으며, 보다 곡선 형태를 취한다. 반면에 (2)의 길이범위는 폭이 좁고, 보다 선형의 형태를 취한다. 이러한 예는 1번 결에서 가장 전형적이다. 6개 방향 중, 밀도가 가장 높은 R1은 가장 곡선형인 반면, 가장 낮은 H2는 가장 선형이다.
- [0196] 하부구간의 군집의 형태를 보면, 길이범위에 비례하여 길이가 가장 긴 선형(1번 결) → 전형적인 "S"자 형태(2번 결) → 급경사의 선형(3번 결)으로 변화한다.
- [0197] **밀도:** 3개 결별 3개 구간의 밀도를 보면, 상부구간, 중앙구간 그리고 하부구간의 1번 결(R1, R2)에서는 (2) < (1)의 공통적인 규칙성이 있다. 이러한 규칙성은 2 방향 사이의 판단 기준을 제시한다. 다만 하부구간의 2번 및 3번 결에서는  $G1 < G2$ ,  $H1 < H2$ 의 순으로 예외적이다.
- [0198] 6-28 3개 구간의 밀도의 종합
- [0199] 도 11은 6개 방향의 상부구간, 중앙구간, 하부구간별로 밀도순( $H2 \rightarrow R1$ )(도 11-a) 그리고 3개 구간별 6개 방향의 밀도순(도 11-b, c, d)으로 각각 배열하여 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다. 상부구간, 중앙구간, 하부구간의 밀도로 구분하여 정리하면 전술한 표 5와 같다. 도출한 주요 사항은 다음과 같다.
- [0200] 6개 방향의 3개 구간의 밀도( $\rho$ )를 각 방향의 전체적인 밀도가 증가하는 순( $H2 \rightarrow R1$ )으로 배열한 결과, 하위영역을 차지하는 상부구간의 밀도의 그래프에서는 3번 결( $H2 < H1$ ), 2번 결( $G2 < G1$ ), 1번 결( $R2 < R1$ )의 순((2) < (1))으로 배열한다. 이러한 배열성은 전체적인 밀도의 순인 (2) < (1)의 순과 상호 부합한다. 1번 결(R1)의 밀도가 가장 높다.  $G2 \sim R1$  구간에 대한 그래프는 지수함수형( $Y = 8E-05e^{0.78X}$ ,  $R^2=0.93$ )이다(도 11-a).
- [0201] 중위영역을 차지하는 중부구간의 밀도의 그래프에서는 3번 결( $H2 < H1$ ), 2번 결( $G2 < G1$ ), 1번 결( $R2 < R1$ )의 순((2) < (1))으로 배열한다. 이러한 배열성은 상부구간의 밀도의 순인 (2) < (1)의 순과 상호 부합한다. 3번 결(H2)의 밀도가 가장 낮고, 1번 결( $R2 < R1$ )의 밀도가 가장 높다. 전체 구간에 대한 그래프의 형태는 지수함수형( $Y = 0.01e^{0.39X}$ ,  $R^2=0.89$ )이다(도 11-a).
- [0202] 상위영역을 차지하는 하부구간의 밀도의 그래프에서는 3번 결( $H1 < H2$ ), 2번 결( $G1 < G2$ ), 1번 결( $R2 < R1$ )의 순으로 배열한다. 이중 1번 결( $R2 < R1$ )의 배열성은 상부구간 및 중앙구간의 밀도의 순인 (2) < (1)의 순과 상호 부합한다. 3번 결(H1)의 밀도가 가장 낮고, 1번 결( $R2, R1$ )의 밀도가 가장 높다. 전체 구간에 대한 그래프의 형태는 지수함수형( $Y = 0.02e^{0.38X}$ ,  $R^2=0.80$ )이다(도 11-a). 3개 구간의 밀도의 그래프에서는 공통적으로 지수함수형의 상관성이 높다.
- [0203] 6-29 3개 구간의 밀도의 변화도
- [0204] 상부구간에 대한 밀도는  $G2, G1, H2, R2, H1, R1$ 의 순으로 증가하여 (2) < (1)의 규칙적인 배열성이 있다. 밀도(두 방향의 평균값)은 2번 결(0.001) → 3번 결(0.003) → 1번 결(0.008)의 순( $G < H < R$ )이다. 6개 방향 중,  $G2$ 의 밀도가 가장 낮은 반면,  $R1$ 의 밀도가 가장 크다. 그래프의 형태는 지수함수형( $Y = 0.001^{0.414X}$ ,  $R^2=0.891$ )이다(도 11-b).
- [0205] 중앙구간에 대한 밀도는  $H2, G2, H1, G1, R2, R1$ 의 순으로 증가하여 (2) < (1)의 규칙적인 배열성이 있다. 밀도(두 방향의 평균값)은 3번 결(0.025) → 2번 결(0.036) → 1번 결(0.101)의 순( $H < G < R$ )으로 규칙적인 배열성을 갖는다. 6개 방향 중,  $H2$ 의 밀도가 가장 낮은 반면,  $R2, R1$ 의 밀도가 가장 크다. 그래프의 형태는 지수함수형( $Y = 0.010^{0.413X}$ ,  $R^2=0.991$ )이다(도 11-c).
- [0206] 하부구간에 대한 밀도(두 방향의 평균값)은 3번 결(0.039,  $H1 < H2$ ) → 2번 결(0.068,  $G1 < G2$ ) → 1번 결(0.221,  $R2 < R1$ )의 순( $H < G < R$ )으로 되며, 중앙구간과 더불어 규칙적인 배열성을 갖는다. 이러한 배열성은 3개 구간 중에서 가장 탁월하다. 전체적으로 (1) < (2)의 경향성이 있다. 6개 방향 중,  $H1, H2$ 의 밀도가 가장 낮은 반면,  $R2, R1$ 의 밀도가 가장 크다. 그래프의 형태는 지수함수형( $Y = 0.010^{0.413X}$ ,  $R^2=0.99$ )이다(도 11-d).
- [0207] 종합하면, 3개 구간에 대한 밀도(두 방향의 평균값)의 변화도에서 1번 결(R1)의 밀도가 공통적으로 가장 높다.

상부구간 및 중앙구간의 밀도는 공통적으로 (2) < (1)의 규칙적인 배열성이 있다. 중부구간 및 하부구간의 밀도 (두 방향의 평균값)은 3번 결 < 2번 결 < 1번 결의 크기 순으로 증가하는 규칙적인 배열성을 도출하였다(도 11-b, c, d).

[0208] 한편 3개 구간의 그래프의 형태는 공통적으로 지수함수형이다. 3개 구간의 지수( $\lambda$ )는 0.414(상부구간), 0.413(중앙구간) 및 0.417(하부구간)로 거의 일정하며, 중앙구간의 상관계수( $R^2=0.991$ )가 가장 높다(도 11-b, c, d).

[0209] 6-30 3개 구간별 6개 방향의 배열성

[0210] 도 12는 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할된 6개 방향의 길이-누적빈도수 그래프를 3개 구간별로 종합하여 6개 방향의 밀도순 및 영역순 사이의 상관성을 나타내는 도면이다. 여기서 영역순은 3개 구간별 6개 방향의 배열성(하위영역 < 상위영역)을 의미한다. 도 12에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0211] **상부구간:** 3개 방향의 전체적인 길이범위를 보면, 1번 결(R), 2번 결(G), 3번 결(H)의 순으로 보다 좌우측 배열한다. 6개 방향의 상위영역의 밀도(표 5, 도 11-b)는  $G2 < G1 < H2 < R2 < H1 < R1$ 의 순, 그리고 영역은 최하위 영역  $H2 < H1 < G2 < G1 < R2 < R1$ 의 순이다. 6개 방향의 영역의 순은 6개 방향의 총 밀도의 순과 부합한다(도 12-a).

[0212] **중앙구간:** 6개 방향의 중앙구간의 밀도(표 5, 도 11-c)는  $H2 < G2 < H1 < G1 < R2 < R1$ 의 순이다. 한편 영역(하위영역 < 상위영역)은 최하위 영역  $H2 < H1 < G2 < G1 < R2 < R1$ 의 순이다. 6개 방향의 영역의 순은 6개 방향의 총 밀도의 순과 부합한다(도 12-b).

[0213] **하부구간:** 6개 방향의 중앙구간의 밀도(표 5, 도 11-d)는  $H1 < H2 < G1 < G2 < R2 < R1$ 의 순이다. 한편 영역(하위영역 < 상위영역)은 최하위 영역  $H2 < H1 < G2 < G1 < R2 < R1$ 의 순이다(도 12-c).

[0214] 밀도순 및 영역순 사이의 상관성을 분석한 결과, 3개 구간에서의 6개 방향의 영역의 순은 공통적으로 6개 방향의 총 밀도의 순( $H2 \rightarrow R1$ )과 부합하는 고유의 특성을 도출하였다(도 12).

[0215] 하부구간의 초기 영역에서는 길이가 유사한 미세균열의 빈도수가 밀집하여 급경사를 형성한다. 이러한 특징적인 초기영역의 경사각은  $65.4^\circ$  (H2),  $80.3^\circ$  (R2),  $82.6^\circ$  (R1) 및  $90^\circ$  (G2) 등이다. 이중 총 밀도가 가장 낮은 H2(0.0063)의 경사각( $65.4^\circ$ )이 낮다. 3개 구간에서는 2번 결(G) 및 3번 결(H)이 상호 중첩 내지는 밀착 분포하며, 1번 결(R)은 독립 분포한다. 즉 수직의 2번 결(G) 및 3번 결(H)과 비교하면 수평의 1번 결의 분포성이 탁월하다. 1번 결이 수평인 1-유형(R-type) 석산의 전형적 형태이다(도 12-c).

[0216] 6-31 3개 결, 3개 면의 종합

[0217] 도 13은 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할한 3개 결, 3개 면의 종합적인 길이-누적빈도수 그래프를 밀도순으로 배열하여 전체 구간에 대한 멱법칙 방정식의 상수(a) 및 지수(b), 상관직선의 변화에 따른 중앙구간의 분포성 그리고 3개 구간의 주요 파라미터, 중앙구간 내부의 평균길이 및 중앙값의 배치, 밀도, 분포형의 점진적인 변화 특성을 나타내는 도면이다. 도 13에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0218] 3개 결의 상수(a)는 3번 결(46.68) < 2번 결(51.14)  $\ll$  1번 결(131.18)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다. 지수(b)는 2번 결(1.39) < 1번 결(1.45) < 3번 결(1.96)의 순으로 증가한다. 3개 결중, 3번 결의 상수(a)가 가장 낮고, 3번 결의 지수(b)가 가장 높은 역순의 상관성을 갖는다(도 13-A).

[0219] 3개 면의 상수(a)는 1번 면(76.06) < 2번 면(83.04) < 3번 면(85.26)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다. 지수(b)는 2번 면(1.41) < 3번 면(1.45) < 1번 면(2.19)의 순으로 증가한다. 3개 면중, 1번 면의 상수(a)가 가장 낮고, 1번 면의 지수(b)가 가장 높은 역순의 상관성을 갖는다(도 13-B).

[0220] 3개 결, 3개 면 사이의 순위의 상관성을 종합하면, ① 3개 결의 상수(3번 결 < 2번 결  $\ll$  1번 결)의 순 그리고 3개 면의 상수(1번 면 < 2번 면 < 3번 면)의 순 사이에는 역순의 상관성을 도출하였다. ② 3개 결의 지수(2번 결 < 1번 결 < 3번 결)의 순 그리고 3개 면의 지수(2번 면 < 3번 면 < 1번 면)순 사이의 상관성을 도출하였다. 즉 2번 결, 2번 면의 지수가 공통적으로 가장 낮고, 1번 결 < 3번 결의 순 그리고 3번 면 < 1번 면의 순 사이에서는 상호 역순의 상관성을 갖는다. 이러한 순위의 상관성(규칙성)은 3개 결, 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(도 13).

[0221] 도 13의 3개 결, 3개 면의 전체 구간에 대한  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 멱법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 상관계수( $R^2$ )를 정리하면 아래의 표 19와 같다.

표 19

[0222]

Rock cleavage / Plane		멱법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )		
		상수 (a)	지수 (b)	$R^2$
3번 결	H1 & H2	46.68	1.96	0.78
2번 결	G1 & G2	51.14	1.39	0.66
1번 결	R1 & R2	131.18	1.45	0.74
1번 면	G1 & H1	76.06	2.19	0.80
3번 면	R2 & G2	85.26	1.45	0.73
2번 면	R1 & H2	83.04	1.41	0.78

[0223]

6-32 중앙구간의 세분화

[0224]

3개 결, 3개 면의 6개 그래프는 전체 구간에 대한 선형의 멱법칙 상관직선에 의하여 3개 구간으로 분할된다. 본 발명에서 설정한 중앙구간(1)의 중앙부는 상기한 전체구간에 대한 선형의 멱법칙 상관직선에 의하여 분할된 중앙구간(2)의 내부에 위치하며(도 13-A, B), 양자에 의하여 도출한 두 유형의 중앙구간(1, 2)의 범위는 상호간에 거의 부합하는 특성을 도출하였다(도 13-A, B-a, b).

[0225]

3개 결의 그래프에서 구분한 중앙구간은 부분적인 기울기의 변화에 부응하여 M-1, M-2, M-3의 3개 분절로 구분 이 된다. 중간의 M-2 분절의 길이범위(mm)는 3번 결(1.31 ~ 1.58) → 2번 결(1.42 ~ 1.66) → 1번 결(1.52 ~ 2.06)로 갈수록 보다 우측 배열하는 규칙성을 도출하였다(도 13-A).

[0226]

3개 결의 전체적인 평균길이, 중앙값은 M-2 분절의 길이범위 내 또는 M-2 분절과 M-3 분절 사이의 경계부에 점 시된다. 평균길이(a), 중앙값(b) 및 평균길이와 중앙값의 차이(a-b)는 공통적으로 3번 결(1.51, 1.48, 0.03) → 2번 결(1.73, 1.66, 0.07) → 1번 결(2.12, 1.98, 0.14)로 갈수록 증가하는 규칙성이 있다. 이러한 순위의 상관성(규칙성)은 3개 결 사이의 판단 기준을 제시한다(도 13-A).

[0227]

3개 면의 그래프에서 구분한 중앙구간은 기울기의 변화에 부응하여 1번 및 3번 면은 3개 그리고 2번 면은 4개의 분절로 구분이 된다. 중앙구간의 전체적인 폭은 밀도의 크기와 비례하여 1번 면 → 3번 면 → 2번 면으로 갈수록 증가하는 규칙성이 있다. 즉 중간 분절의 길이범위(mm)는 1번 면(1.44 ~ 1.63) → 3번 면(1.52 ~ 1.98) → 2번 면(0.91 ~ 2.14)으로 갈수록 증가하는 동시에 보다 좌우측 배열하는 규칙성이 있다(도 13-B).

[0228]

3개 면의 전체적인 평균길이, 중앙값은 1번 면 및 3번 면에서는 M-2, 2번 면에서는 M-3 분절의 길이범위 내 또는 M-3 분절과 M-4 분절 사이의 경계부에 점시된다. 평균길이(a)는 3번 면(1.84) < 1번 면(1.87) < 2번 면(1.92)의 순, 중앙값(b)는 3번 면(1.66) < 2번 면(1.71) < 1번 면(1.74)의 순이다. 공통적으로 3번 면의 평균 길이, 중앙값이 가장 짧다. 특히 평균길이와 중앙값의 차이(a - b)는 밀도순과 부합하여 1번 면(0.13) < 3번 면(0.18) < 2번 면(0.21)의 순이다. 이러한 순위의 상관성(규칙성)은 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(도 13-B).

[0229]

중앙구간의 형태는 밀도순과 부합하여 1번 면(선형) → 3번 면(선형~곡선의 중간 형태) → 2번 면(완만한 곡선형)의 변화를 한다. 도 13-A의 3개 결의 그래프에 비하여 3개 면별 그래프 사이의 점이적인 변화성 뚜렷하다(도 13-B).

[0230]

도 13의 3개 결 그리고 3개 면의 그래프에 대한 3개 구간의 평균길이, 중앙값 및 밀도를 정리하면 아래의 표 20 과 같다.

표 20

[0231]

Rock cleavage / Plane		Mean length (mm) (a)	Median length (mm) (b)	a - b	Density ( $\rho$ )
3번 결	H1 & H2	1.51	1.48	0.03	0.127
2번 결	G1 & G2	1.73	1.66	0.07	0.207
1번 결	R1 & R2	2.12	1.98	0.14	0.651
1번 면	G1 & H1	1.87	1.74	0.13	0.177

3번 면	R2 & G2	1.84	1.66	0.18	0.381
2번 면	R1 & H2	1.92	1.71	0.21	0.427

[0232] 6-33 결별 3개 구간의 파라미터의 종합

[0233] 도 14는 3개 결의 길이-누적빈도수 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 밀도순(3번 결 < 2번 결 < 1번 결)에 따른 각 구간별 먹법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙길이 및 밀도의 점진적인 변화 특성(도 14-a, b, c), 3개 결별 3개 구간 사이의 기울기의 순위(도 14-d) 그리고 밀도순 및 영역순 사이의 순위(도 14-e)를 종합적으로 나타내는 도면이다. 도 14에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0234] **길이범위 및 폭:** 상부구간의 길이범위 및 폭(최대길이 - 최소길이)(mm)을 보면, 3번 결(0.51 ~ 0.91, 0.40) → 2번 결(0.35 ~ 0.99, 0.64) → 1번 결(0.19 ~ 0.99, 0.80)의 순으로 갈수록 보다 좌우측 배열하는 동시에 전체적인 폭은 증가한다(도 14-a). 중앙구간의 길이범위 및 폭(mm)을 보면, 2번 결(0.99 ~ 2.27, 1.28) → 3번 결(0.91 ~ 2.46, 1.55) → 1번 결(0.99 ~ 2.67, 1.68)의 순으로 갈수록 보다 우측 배열한다. 3개 결중, 1번 결의 폭(1.68 mm)이 가장 넓고 연속성이 강하다(도 14-b). 하부구간의 길이범위 및 폭(mm)을 보면, 3번 결(2.46 ~ 3.40, 0.94) → 2번 결(2.27 ~ 4.28, 2.01) → 1번 결(2.67 ~ 7.99, 5.32)의 순으로 갈수록 보다 우측 배열하는 동시에 전체적인 폭은 증가한다. 상부구간과 함께 하부구간의 길이범위의 변화가 뚜렷하다(도 14-c).

[0235] **평균길이(a), 중앙값(b):** 상부구간의 평균길이, 중앙값은 2번 결(0.55, 0.48) → 1번 결(0.68, 0.72) → 3번 결(0.72, 0.72)의 순으로 보다 배열하는 규칙성이 있다(도 14-a). 중앙구간의 평균길이, 중앙값은 3번 결(1.50, 1.51) → 2번 결(1.56, 1.55) → 1번 결(1.81, 1.84)의 순으로 보다 우측 배열하는 규칙성이 있다(도 14-b). 하부구간의 평균길이, 중앙값은 3번 결(2.69, 2.54) → 2번 결(2.84, 2.51) → 1번 결(3.67, 2.97)의 규칙적인 순으로 보다 우측 배열하는 규칙성이 있다. 이러한 결별 순위는 중앙구간과 부합하며, 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다(도 14-c).

[0236] **(평균길이 - 중앙값, a-b):** 하부구간의 평균길이, 중앙값 그리고 평균길이와 중앙값의 차이(a-b)(mm)를 보면, 3번 결(2.69, 2.54, 0.15) < 2번 결(2.84, 2.51, 0.33) < 1번 결(3.67, 2.97, 0.70)의 순이며, 3개 구간 중에서 하부구간의 평균길이, 중앙값 및 평균길이(a)와 중앙값(b)의 차이(a-b)가 공통적으로 증가하는 규칙성을 도출하였다. 이러한 증가는 결의 발달 정도에 따른 보다 길이가 긴 미세균열의 증가를 지지하며, 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다(도 14-c).

[0237] **총 길이:** 상부구간의 총 길이(mm)를 보면, 2번 결(4.98) → 3번 결(6.47) → 1번 결(10.81)의 순으로 증가한다(도 14-a). 중앙구간의 총 길이(mm)를 보면, 3번 결(72.2) → 2번 결(76.59) → 1번 결(175.73)의 순으로 증가한다. 3개 결중, 1번 결의 길이범위의 폭(1.68 mm)과 함께 총 길이가 가장 탁월하다(도 14-b). 중앙구간과 함께 하부구간의 총 길이(mm)를 보면, 공통적으로 3번 결(18.83) → 2번 결(48.31) → 1번 결(121.05)의 순으로 증가한다. 이러한 배열성은 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다(도 14-c).

[0238] **밀도:** 중앙구간 및 하부구간의 밀도는 공통적으로 3번 결(0.089, 0.040) < 2번 결(0.097, 0.112) < 1번 결(0.265, 0.386)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다. 이러한 사항들은 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다(도 14-b, c).

[0239] **분포형:** 1번 결의 상부구간의 균집의 형태를 보면, 우측으로 갈수록 보다 길이가 긴 미세균열이 보다 조밀하게 분포한다(도 14-a). 1번 결의 중앙구간의 균집의 형태를 보면, 가장 완만한 곡선의 형태이다(도 14-b). 하부구간의 균집의 형태를 보면, 3번 결(상향곡선형) → 2번 면(완만한 S자 형) → 1번 면(선형)의 변화를 볼 수 있다(도 14-c).

[0240] 도 14의 3개 결의 그래프에 대한 3개 구간의 수, 빈도율, 길이범위, 평균길이(a), 중앙값(b), 평균길이와 중앙값의 차이(a - b), 총 길이 및 밀도를 정리하면 아래의 표 21과 같다.

표 21

Rock cleavage		구간	N	빈도율 (%)	Length range (mm)	Mean length (mm) (a)	Median length (mm) (b)	a - b	Total length (mm)	Density (ρ)
3번 결	H1 & H2	상부	9	14.5	0.51 - 0.91	0.72	0.72	0	6.47	0.003
		중앙	48	77.4	0.91 - 2.46	1.50	1.51	-0.01	72.20	0.089
		하부	7	11.3	2.46 - 3.40	2.69	2.54	0.15	18.83	0.040
2번 결	G1 & G2	상부	9	12.3	0.35 - 0.99	0.55	0.48	0.07	4.98	0.002
		중앙	49	67.1	0.99 - 2.27	1.56	1.55	0.01	76.59	0.097
		하부	17	23.3	2.27 - 4.28	2.84	2.51	0.33	48.31	0.112
1번 결	R1 & R2	상부	16	11.1	0.19 - 0.99	0.68	0.72	-0.04	10.81	0.006
		중앙	97	67.4	0.99 - 2.67	1.81	1.84	-0.03	175.73	0.265
		하부	33	22.9	2.67 - 7.99	3.67	2.97	0.70	121.05	0.386

[0242] 6-34 결별 3개 구간의 멱법칙 방정식 도출

[0243] 도 14에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0244] **지수:** 상부, 중부 및 하부구간의 지수는 1번 결(0.074, 1.328, 2.956) < 2번 결(0.100, 1.699, 3.613) < 3번 결(0.227, 2.108, 5.732)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다. 특히 3번 결에서 급격히 증가한다. 이러한 사항들은 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다(표 22).

[0245] **이방성 계수:** 상수의 이방성 계수(%)는 상부구간(93.9) → 중앙구간(100.5) → 하부구간(111.9) 으로 갈수록 증가한다. 반면에 지수의 이방성 계수(%)는 상부구간(115.5) → 하부구간(67.8) → 중앙구간(45.7)으로 갈수록 감소한다(표 22).

[0246] 도 14의 3개 결에 대한  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 멱법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 이방성 계수, 상관계수( $R^2$ )를 정리하면 아래의 표 22와 같다.

표 22

Rock cleavage		멱법칙 방정식( $N = a \times L^{-b}$ )								
		상부구간(U)			중앙구간(M)			하부구간(L)		
		a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
3번 결	H1 & H2	53.55	0.22	0.93	59.29	2.10	0.90	949.45	5.73	0.91
2번 결	G1 & G2	64.53	0.10	0.93	78.90	1.69	0.89	287.30	3.61	0.96
1번 결	R1 & R2	131.86	0.07	0.78	158.80	1.32	0.91	537.10	2.95	0.99
이방성 계수(%)		93.9	115.3	-	100.5	45.7	-	111.9	67.8	-

[0248] \* An(Anisotropy coefficient, %):  $\{(Max - Min) / Mean\} \times 100$

[0249] **기울기:** 멱법칙 방정식의 상관직선의 기울기( $\theta$ )는 표 22의 지수(b)의 크기와 비례하여 상부, 중앙 및 하부구간에서 모두 1번 결 → 2번 결 → 3번 결로 갈수록 증가하는 규칙성이 있다(표 23, 도 14-d). 기울기의 이방성 계수(%)는 상수(a)의 이방성 계수(표 22)와 함께 상부구간(115.5) → 중앙구간(39.5) → 하부구간(37.6)으로 갈수록 감소하는 규칙성이 있다(표 23).

[0250] 도 14의 3개 결의 그래프에서 도출한 3개 구간에 대한 상관직선의 기울기( $\theta$ ), 이방성 계수를 정리하면 아래의 표 23과 같다.

표 23

Rock cleavage		기울기( $\theta^\circ$ )		
		상부구간(U)	중앙구간(M)	하부구간(L)
3번 결	H1 & H2	3.81 <sub>(3U)</sub>	31.68 <sub>(3M)</sub>	59.27 <sub>(3L)</sub>

2번 결	G1 & G2	1.66 <sub>(2U)</sub>	26.44 <sub>(2M)</sub>	46.60 <sub>(2L)</sub>
1번 결	R1 & R2	1.23 <sub>(1U)</sub>	21.24 <sub>(1M)</sub>	40.87 <sub>(1L)</sub>
이방성 계수(%)		115.5	39.5	37.6

[0252] \* An(Anisotropy coefficient, %):  $\{(Max - Min) / Mean\} \times 100$

[0253] 6-35 결별 3개 구간의 그래프의 종합

[0254] 1번 결(R1 + R2), 2번 결(G1 + G2) 및 3번 결(H1 + H2)의 상부, 중앙 및 하부구간의 그래프(도 14-a, b, c)를 모두 종합하면 도 14-e와 같다. 3개 결별 3개 구간의 총 밀도순(표 20, 도 13) 그리고 3개 구간 사이의 밀도순 및 영역순 사이의 순위를 비교하였다. 여기서 영역순은 3개 구간별 배열성(하위영역 < 상위영역)을 의미한다. 도 14-e에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0255] 상부구간: ① 3개 결의 상부구간의 밀도(표 21)는 G1 & G2(0.002) < H1 & H2(0.003) < R1 & R2(0.006)의 순이다. ② 3개 결의 상부구간의 영역은 H1 & H2 < G1 & G2 < R1 & R2(상위영역)의 순이다. 3개 결의 상부구간의 밀도와 영역 중, 3개 결별 총 밀도의 순과 부합하는 요소는 영역의 순이다(도 14-e).

[0256] 중앙구간 및 하부구간: 3개 결의 중앙 및 하부구간의 영역 및 밀도(표 21)의 순은 공통적으로 H1 & H2(0.089, 0.040) < G1 & G2(0.097, 0.112) < R1 & R2(0.265, 0.386)의 순이다. 3개 결의 중앙 및 하부구간의 밀도와 영역의 순은 3개 결의 총 밀도의 순과 상호 부합한다. 이러한 순위의 상관성은 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(도 14-e).

[0257] 6-36 면별 3개 구간의 파라미터의 종합

[0258] 도 15는 3개 면의 길이-누적빈도수 그래프를 상부구간, 중앙구간, 하부구간으로 분할하여 밀도순(1번 면 < 3번 면 < 2번 면)에 따른 각 구간별 먹법칙 방정식, 상관직선의 기울기, 평균길이, 중앙길이 및 밀도의 점진적인 변화 특성(도 15-a, b, c), 3개 면별 3개 구간 사이의 기울기의 순위(도 15-d), 밀도순 및 영역순 사이의 순위(도 15-e)를 종합적으로 나타내는 도면이다. 도 15에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0259] 길이범위 및 폭: 상부구간의 길이범위 및 폭(mm)을 보면, 1번 면(0.51 ~ 1.26, 0.75) → 3번 면(0.35 ~ 0.94, 0.59) → 2번 면(0.19 ~ 0.64, 0.45)의 순으로 갈수록 보다 좌측 배열하는 동시에 전체적인 폭도 감소한다(도 15-a). 중앙구간의 길이범위 및 폭(mm)을 보면, 1번 면(1.26 ~ 2.27, 1.01) → 3번 면(0.94 ~ 2.65, 1.71) → 2번 면(0.64 ~ 2.75, 2.11)의 순으로 갈수록 보다 좌우측 배열하는 동시에 전체적인 폭도 증가한다(도 15-b). 하부구간의 길이범위 및 폭(mm)을 보면, 1번 면(2.27 ~ 4.28, 2.01) → 3번 면(2.65 ~ 6.50, 3.85) → 2번 면(2.75 ~ 7.99, 5.24)의 순으로 갈수록 보다 우측 배열하는 동시에 전체적인 폭도 증가한다(도 15-c).

[0260] 중앙구간 및 하부구간의 길이범위 및 분포 폭을 보면, 3개 면별 총 밀도순(1 < 3 < 2)에 부응하여 공통적으로 1번 면 < 3번 면 < 2번 면의 순으로 증가한다. 전체적으로 중간구간에서는 좌우측, 하부구간에서는 우측 배열하는 규칙성이 있다. 반면에 상부구간의 길이범위 및 분포 폭을 보면, 1번 면 < 3번 면 < 2번 면의 순으로 감소하는 동시에 좌측 배열하여 중앙구간 및 하부구간과 역순의 상관성을 보여 준다. 총 밀도순에 따른 3개 면별 3개 구간 사이의 길이범위 및 분포 폭의 가시적인 변화 특성이 뚜렷하다. 이러한 사항들은 3개 면의 판별 기준을 제시한다(도 15-a, b, c).

[0261] 평균길이(a), 중앙값(b): 상부구간의 평균길이, 중앙값은 1번 면(0.98, 1.07) → 3번 면(0.54, 0.46) → 2번 면(0.46, 0.53)의 순으로 배열한다(도 15-a). 중앙구간의 평균길이, 중앙값은 2번 면(1.60, 1.58) → 3번 면(1.64, 1.64) → 1번 면(1.67, 1.64)의 순으로 보다 우측 배열하는 규칙성이 있다(도 15-b). 하부구간의 평균길이, 중앙값은 1번 면(2.73, 2.50) → 3번 면(3.38, 3.10) → 2번 면(3.75, 3.32)의 규칙적인 순으로 보다 우측 배열하는 규칙성이 있다(도 15-c). 이러한 면별 순위는 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다.

[0262] (평균길이 - 중앙값, a-b): 하부구간의 평균길이와 중앙값의 차이(a - b)를 보면, 1번 면(0.23) < 3번 면(0.28) < 2번 면(0.43)의 순이다. R1과 H2의 미세균열이 분포하는 2번 면의 값이 가장 크다(도 15c).

[0263] 총 길이: 상부구간의 총 길이(mm)를 보면, 2번 면(2.32) < 3번 면(6.42) < 1번 면(6.83)의 순으로 증가한다. 3개 면의 총 길이순 그리고 밀도순 사이의 순위는 상호 반비례의 상관성을 갖는다(도 15-a). 중앙구간 및 하부구간의 총 길이(mm)를 보면, 3개 면의 밀도순과 비례하여 공통적으로 1번 면(59.98, 43.67) < 3번 면(134.37, 70.92) < 2번 면(139.34, 71.34)의 순으로 증가한다(도 15-b, c).

[0264] 종합하면, 상부구간(2번 면 < 3번 면 < 1번 면) 그리고 중앙구간 및 하부구간(1번 면 << 3번 면) < 2번 면) 사이의 순위는 상호 반비례의 상관성을 갖는다. 이러한 순위의 상관성은 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(도 15-a, b, c).

[0265] 밀도: 중앙구간 및 하부구간의 밀도는 공통적으로 3번 면(0.079, 0.098) < 2번 면(0.188, 0.201) < 1번 면(0.197, 0.235)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다. 이러한 사항들은 3 방향 사이의 판단 기준을 제시한다. 3개 결의 경우와 부합한다(도 15-b, c).

[0266] 분포형: 상부구간의 균집의 형태를 보면, 2번 면을 구성하는 미세균열의 분포간격이 가장 넓은 반면, 빈도수가 가장 높은 3번 면을 구성하는 미세균열의 분포간격이 가장 조밀하다(도 15-a). 중부구간의 균집의 형태를 보면, 1번 면 → 3번 면 → 2번 면을 갈수록 길이의 길이범위(분포 폭)이 증가하며, 선형 → 완만한 볼록렌즈 형태의 곡선형태로 변화한다. 3개 구간 중, 변화양상이 뚜렷하다(도 15-b). 하부구간의 균집의 형태를 보면, 밀도의 증가에 부응하여 상향곡선형(1번 면) → 선형(3번 면) → 선형(2번 면)의 변화를 한다. 길이범위가 증가하며 보다 우측 배열한다. 중앙구간과 함께 변화양상이 뚜렷하다(도 15-c).

[0267] 도 15의 3개 면의 그래프에 대한 3개 구간의 수, 빈도율, 길이범위, 평균길이, 중앙길이, 총 길이 및 밀도를 정리하면 아래의 표 24와 같다.

표 24

Plane		구간	N	빈도율 (%)	Length range (mm)	Mean length (mm) (a)	Median length (mm) (b)	a - b	Total length (mm)	Density (ρ)
1번 면	G1 & H1	상부	7	12.3	0.51 - 1.26	0.98	1.07	-0.09	6.83	0.005
		중앙	36	63.2	1.26 - 2.27	1.67	1.64	0.03	59.98	0.079
		하부	16	28.1	2.27 - 4.28	2.73	2.50	0.23	43.67	0.098
3번 면	R2 & G2	상부	12	10.6	0.35 - 0.94	0.54	0.46	0.08	6.42	0.002
		중앙	82	72.6	0.94 - 2.65	1.64	1.64	0	134.37	0.183
		하부	21	18.6	2.65 - 6.50	3.38	3.10	0.28	70.92	0.201
2번 면	R1 & H2	상부	5	13.8	0.19 - 0.64	0.46	0.53	-0.07	2.32	0.0009
		중앙	87	70.6	0.64 - 2.75	1.60	1.58	0.02	139.34	0.197
		하부	19	17.4	2.75 - 7.99	3.75	3.32	0.43	71.34	0.235

[0269] 6-37 면별 3개 구간의 멱법칙 방정식 도출

[0270] 도 15에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

[0271] 지수: 상부구간, 중앙구간 및 하부구간의 지수는 밀도와 반비례하여 공통적으로 2번 면(0.02, 1.09, 2.63) < 3번 면(0.10, 1.62, 3.33) < 1번 면(0.11, 2.15, 3.68)의 순으로 증가하는 규칙성이 있다(도 15-a, b, c). 이러한 순위의 규칙성은 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(표 25).

[0272] 이방성 계수: 상수(a)의 이방성 계수(%)는 중앙구간(32.2) → 상부구간(59.1) → 하부구간(71.8)으로 갈수록 증가한다. 반면에 지수의 이방성 계수(%)는 상부구간(117.3) → 중앙구간(65.4) → 하부구간(32.6)으로 갈수록 감소하는 규칙성이 있다(표 25).

[0273] 도 15의 3개 면에 대한  $N=a \times L^{-b}$  형태를 갖는 멱법칙 방정식의 상수(a), 지수(b), 이방성 계수, 상관계수( $R^2$ )를 정리하면 아래의 표 25와 같다.

표 25

Plane		멱법칙 함수 방정식 ( $N = a \times L^{-b}$ )								
		상부구간(U)			중앙구간(M)			하부구간(L)		
		a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
1번 면	G1 & H1	53.58	0.11	0.78	92.88	2.15	0.97	252.6	3.68	0.92
3번 면	R2 & G2	100.29	0.10	0.94	118.90	1.62	0.93	452.78	3.33	0.98
2번 면	R1 & H2	104.58	0.02	0.75	86.78	1.09	0.88	228.91	2.63	0.97



이방성 계수(%)	59.1	117.3	-	32.2	65.4	-	71.8	32.6	-
-----------	------	-------	---	------	------	---	------	------	---

[0275] \* An(Anisotropy coefficient, %):  $\{(Max - Min) / Mean\} \times 100$

[0276] **기울기:** 떡법칙 방정식의 상관직선의 기울기( $\theta$ )는 표 25의 지수(b)의 크기와 비례하여 하부, 중앙 및 하부구간에서 모두 2번 면 → 3번 면 → 1번 면으로 갈수록 증가하는 규칙성이 있다. 기울기의 이방성 계수(%)는 지수(b)의 이방성 계수(표 25)와 함께 상부구간(109.6) → 중앙구간(57.5) → 하부구간(22.0)으로 갈수록 감소하는 규칙성이 있다(표 26).

[0277] 도 15의 3개 면의 그래프에서 도출한 3개 구간에 대한 떡법칙 방정식의 상관직선의 기울기( $\theta$ ), 이방성 계수를 정리하면 표 26과 같다.

표 26

Plane		기울기( $\theta^\circ$ )		
		상부구간(U)	중앙구간(M)	하부구간(L)
1번 면	G1 & H1	1.96( $\theta_{RU}$ )	32.42( $\theta_{RM}$ )	47.28( $\theta_{RL}$ )
3번 면	R2 & G2	1.76( $\theta_{HU}$ )	25.49( $\theta_{HM}$ )	44.50( $\theta_{HL}$ )
2번 면	R1 & H2	0.44( $\theta_{GU}$ )	17.90( $\theta_{GM}$ )	37.78( $\theta_{GL}$ )
이방성 계수(%)		109.6	57.5	22.0

[0279] \* An(Anisotropy coefficient, %):  $\{(Max - Min) / Mean\} \times 100$

[0280] 6-38 면별 3개 구간의 그래프의 종합

[0281] 2번 면(R1 + H1), 3번 면(R2 + G2), 1번 면(G1 + H1)의 상부, 중앙 및 하부구간의 그래프(도 15-a, b, c)를 모두 종합하면 도 15-e와 같다. 3개 면별 3개 구간의 총 밀도순(표 20, 도 13) 그리고 3개 구간 사이의 밀도순 및 영역순 사이의 순위를 비교하였다. 여기서 영역순은 3개 구간별 배열성(하위영역 < 상위영역)을 의미한다. 도 15-e에서 도출한 주요 사항은 다음과 같다.

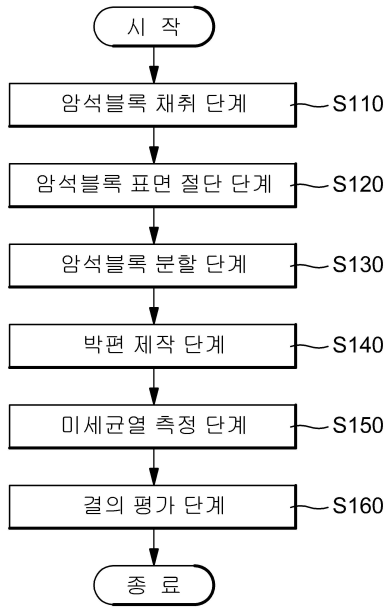
[0282] **상부구간:** 3개 면의 밀도(표 24)는 1번 면(G1 + H1, 0.182) < 3번 면(R2 + G2, 0.3860) < 2번 면(R1 + H1, 0.4329)의 순이다. 3개 면의 상부구간의 영역의 순은 1번 면 < 2번 면 < 3번 면의 순이다. 3개 방향의 상부구간의 밀도와 영역 중, 3개 방향의 총 밀도의 순과 부합하는 요소는 미흡하다(도 15-e).

[0283] **중앙구간 및 하부구간:** 3개 면의 중앙 및 하부구간의 영역 및 밀도(표 24)의 순은 공통적으로 1번 면 < 3번 면 < 2번 면의 순이다. 3개 면의 중앙 및 하부구간의 영역 및 밀도의 순은 3개 방향의 총 밀도의 순과 부합한다. 이러한 순위의 상관성은 3개 면 사이의 판단 기준을 제시한다(도 15-e).

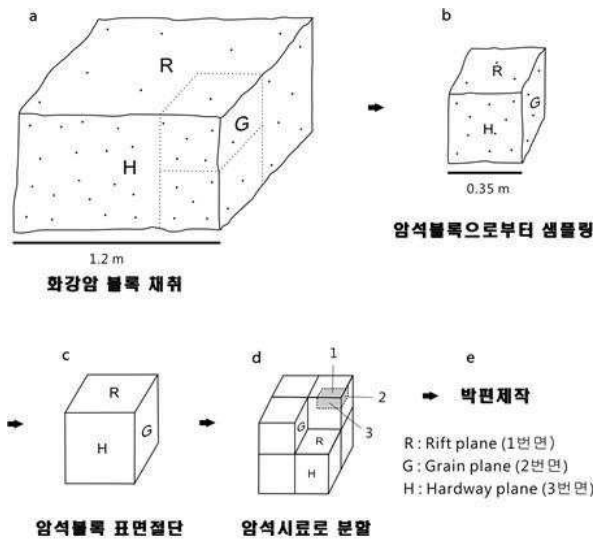
[0284] 이상과 같이 도면과 명세서에서 최적 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

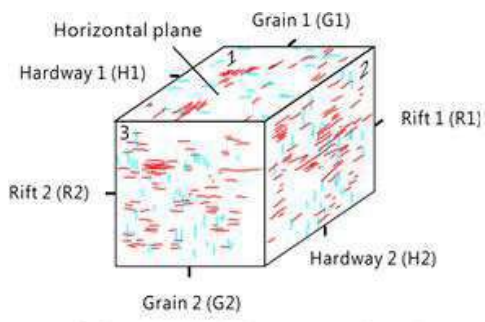
도면1



도면2

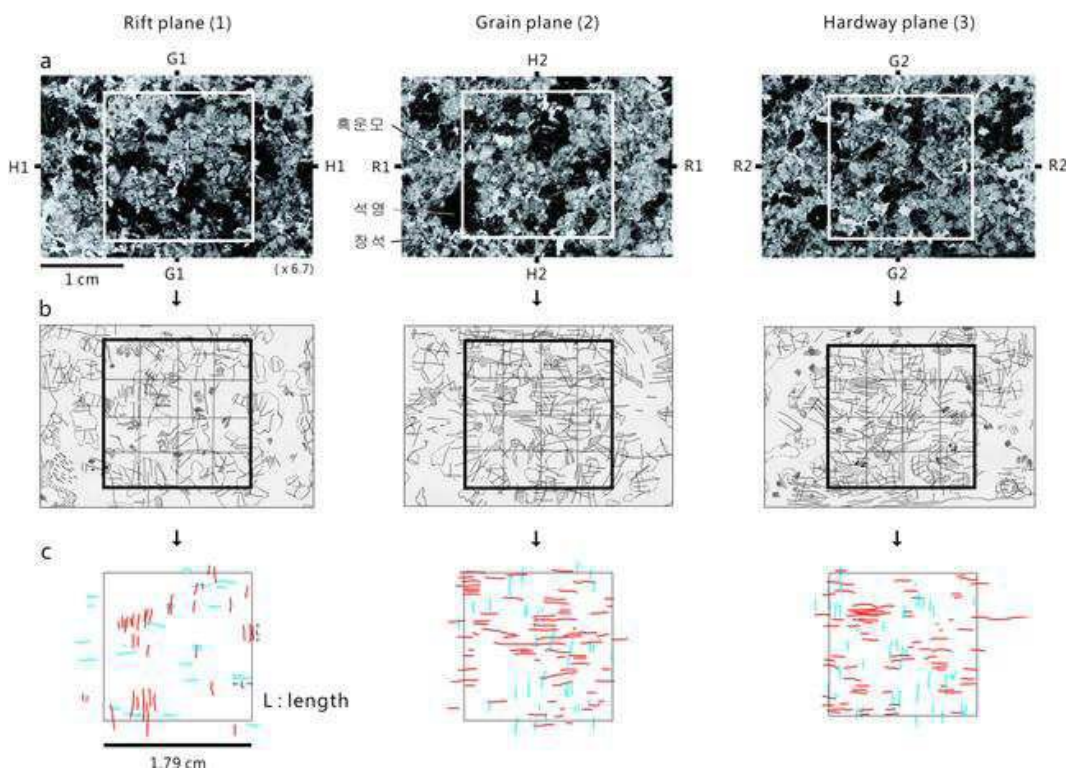


도면3

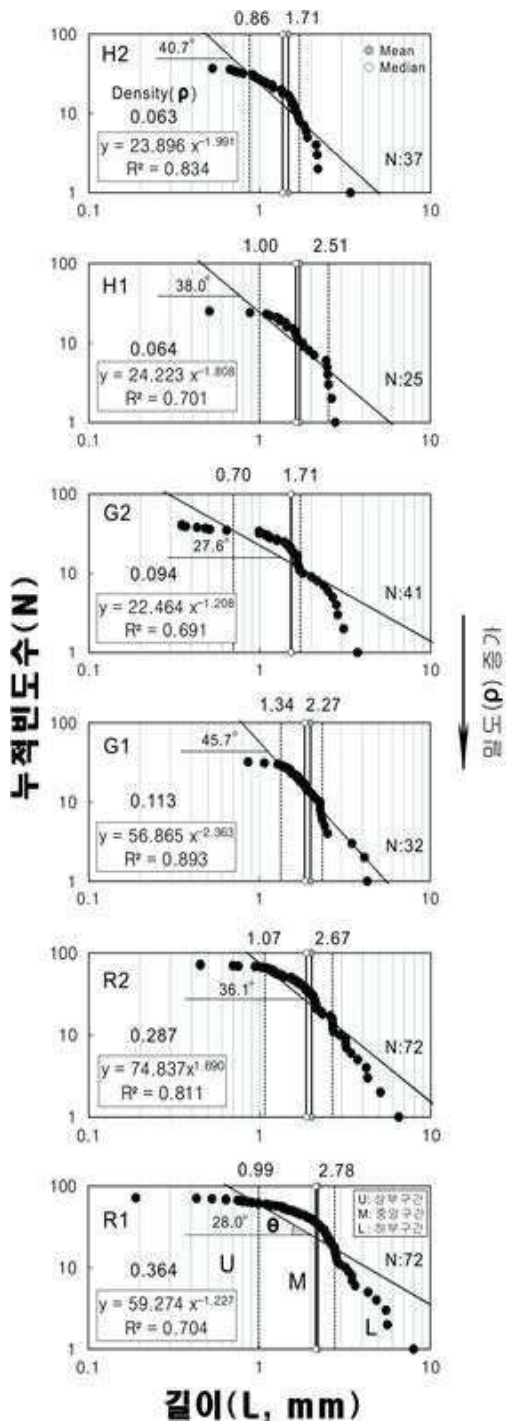


1 : Rift plane, 2 : Grain plane, 3 : Hardway plane

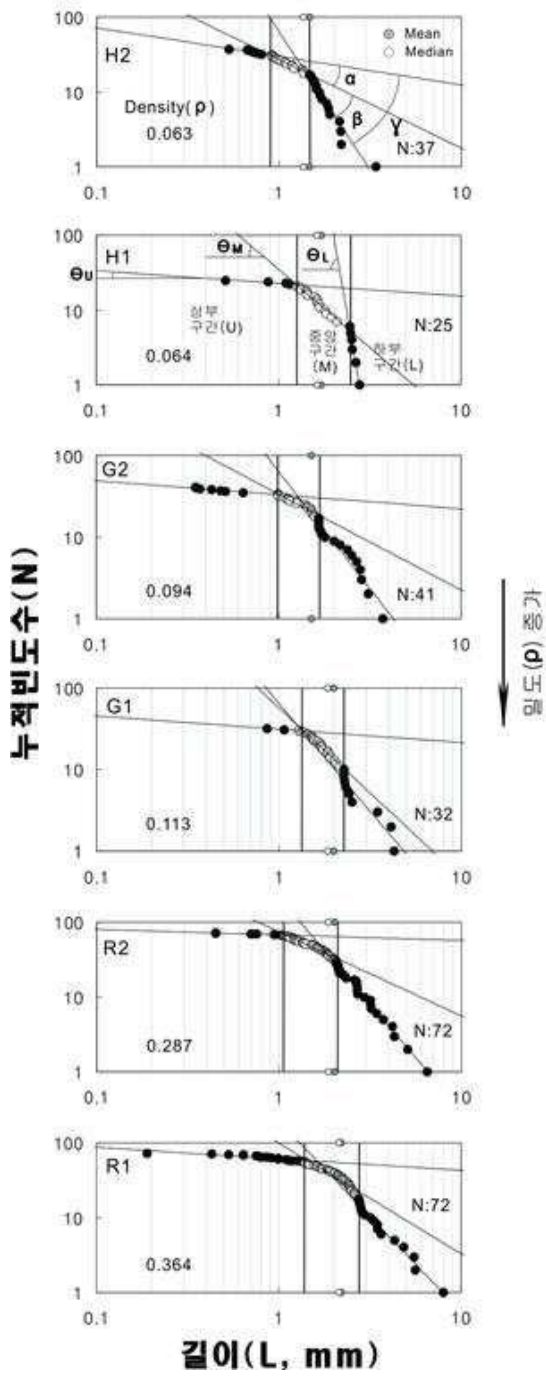
도면4



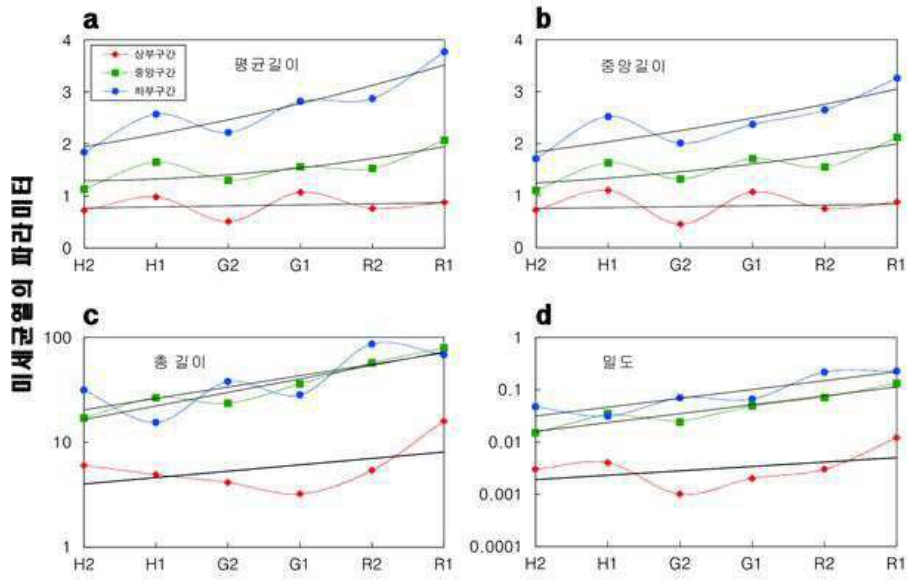
도면5



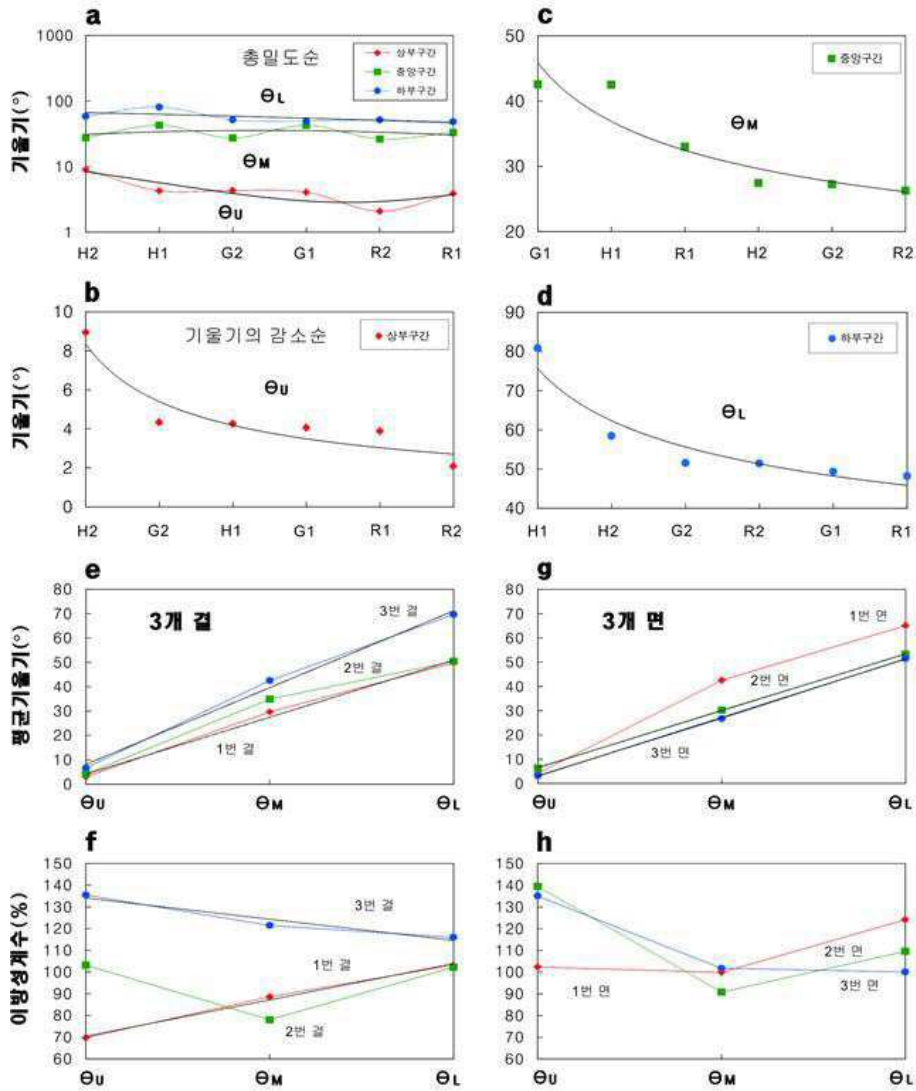
도면6



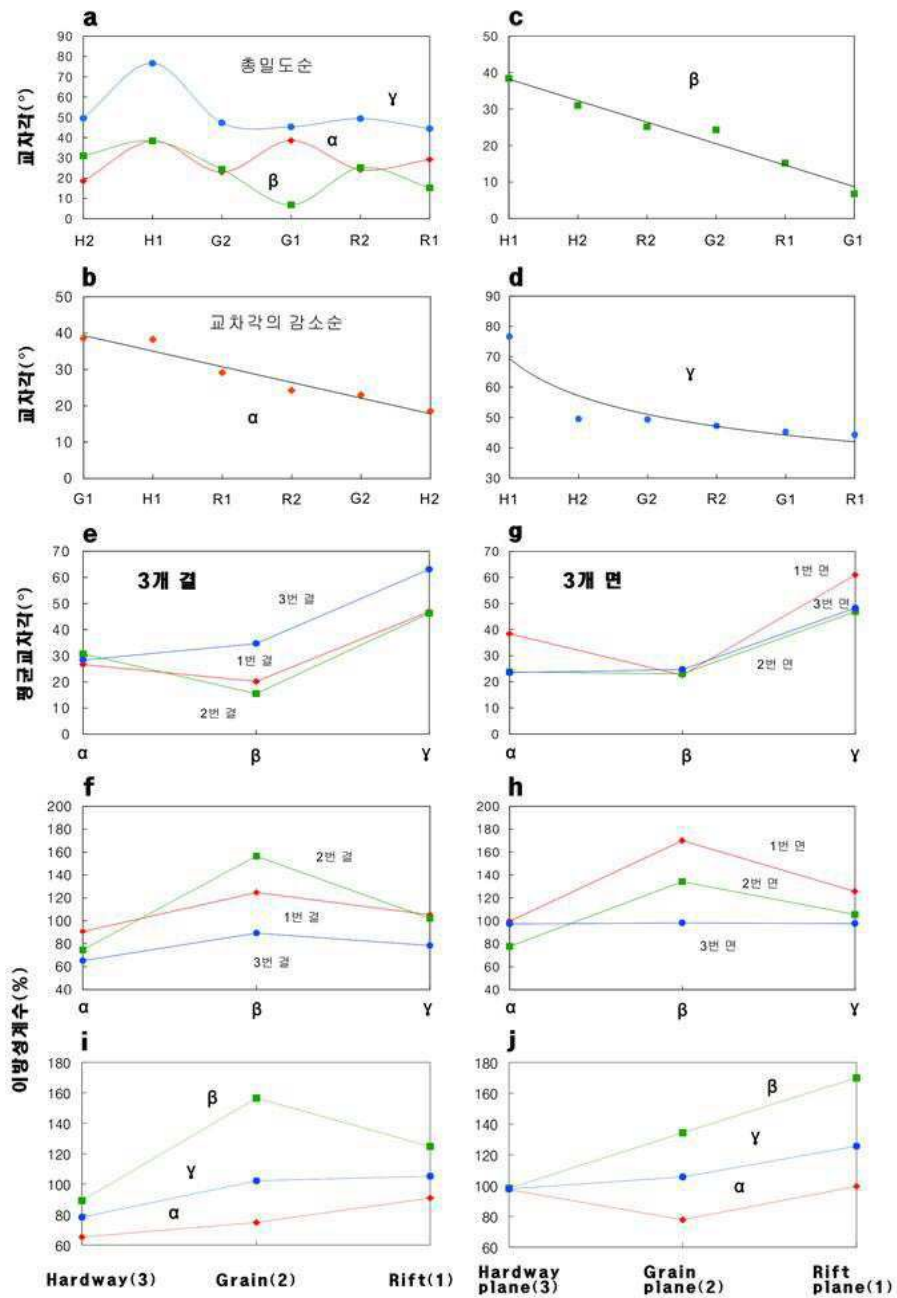
도면7



도면8

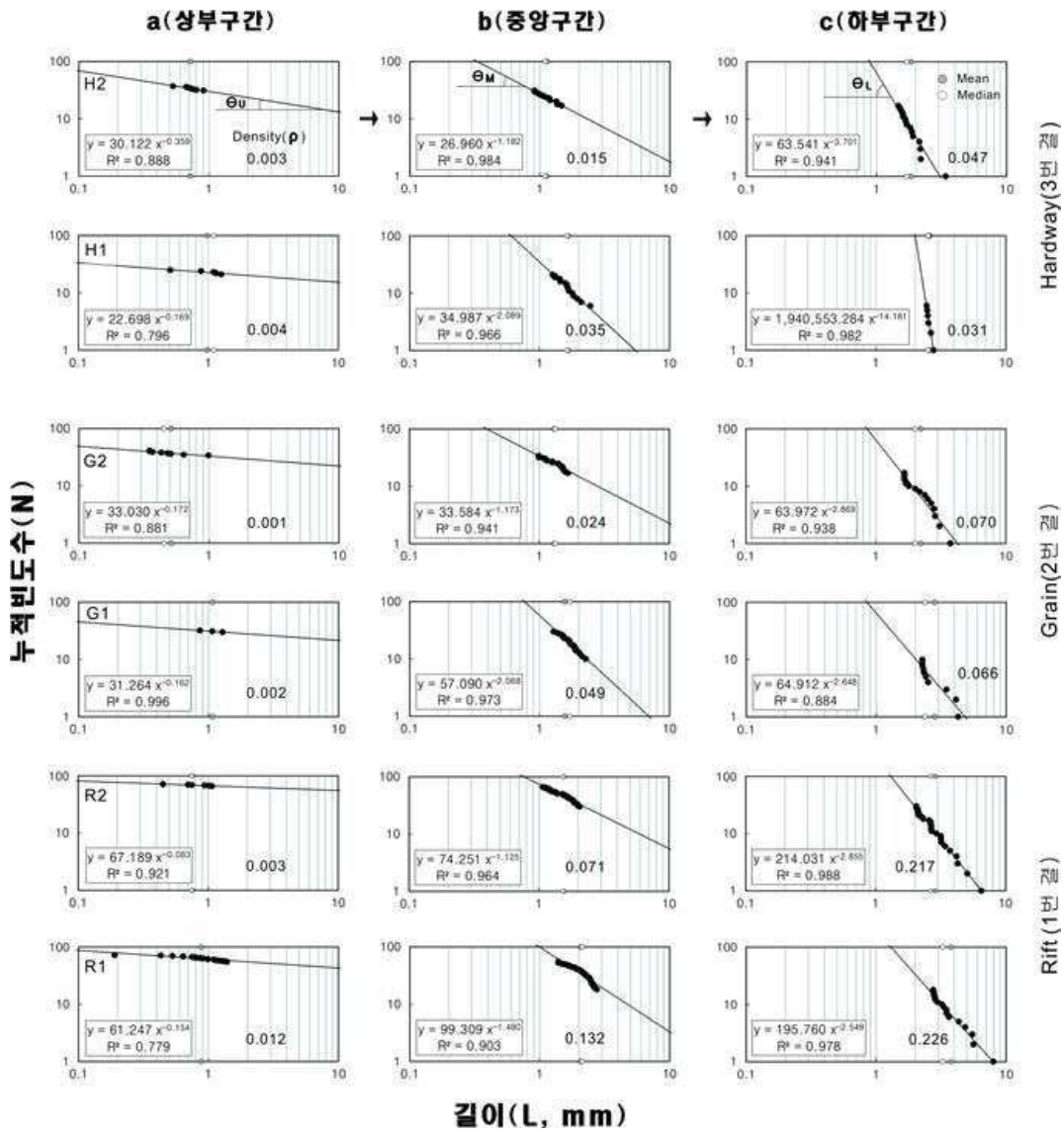


도면9

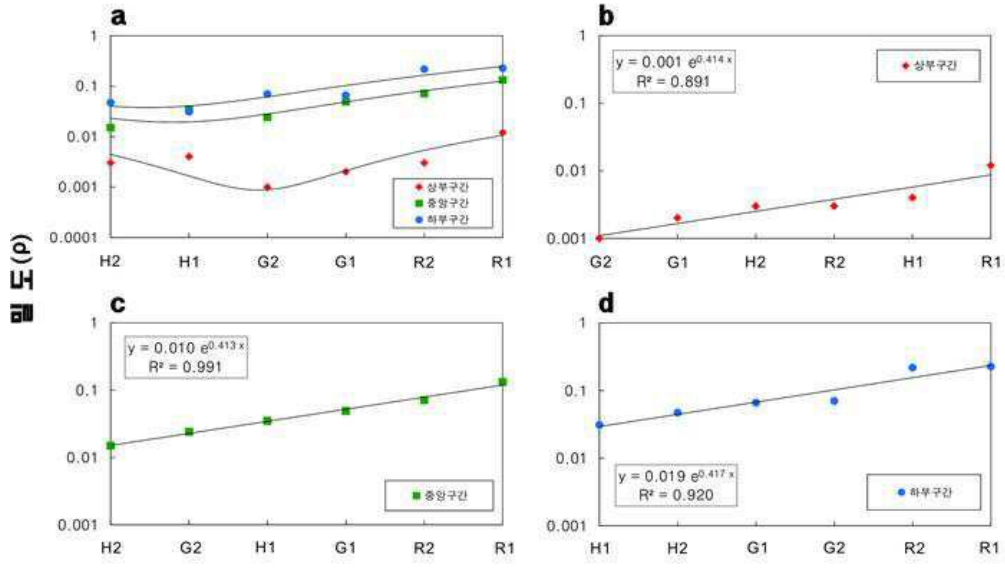




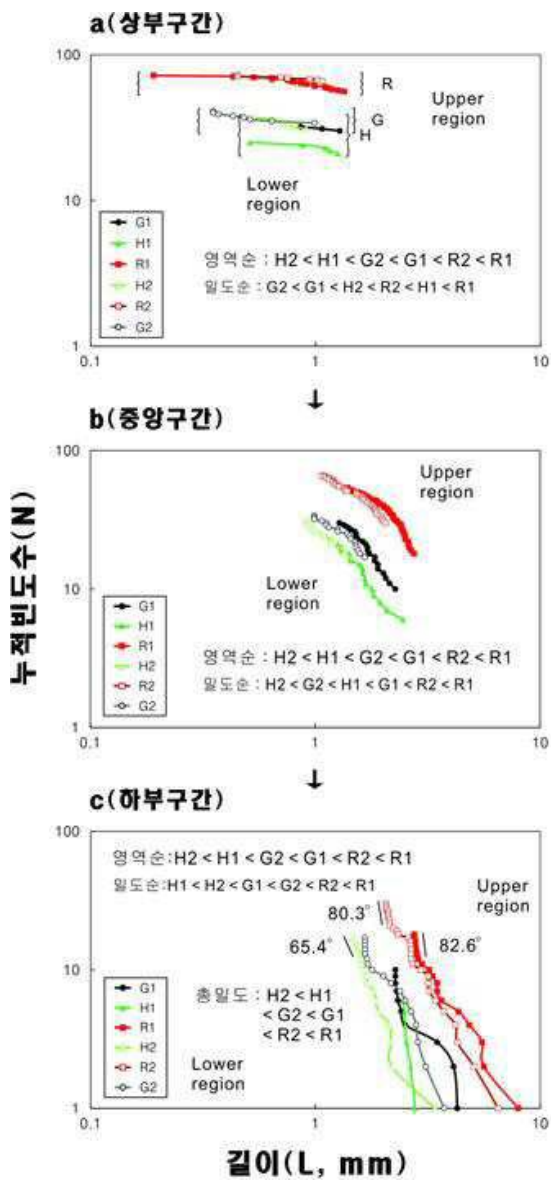
도면10



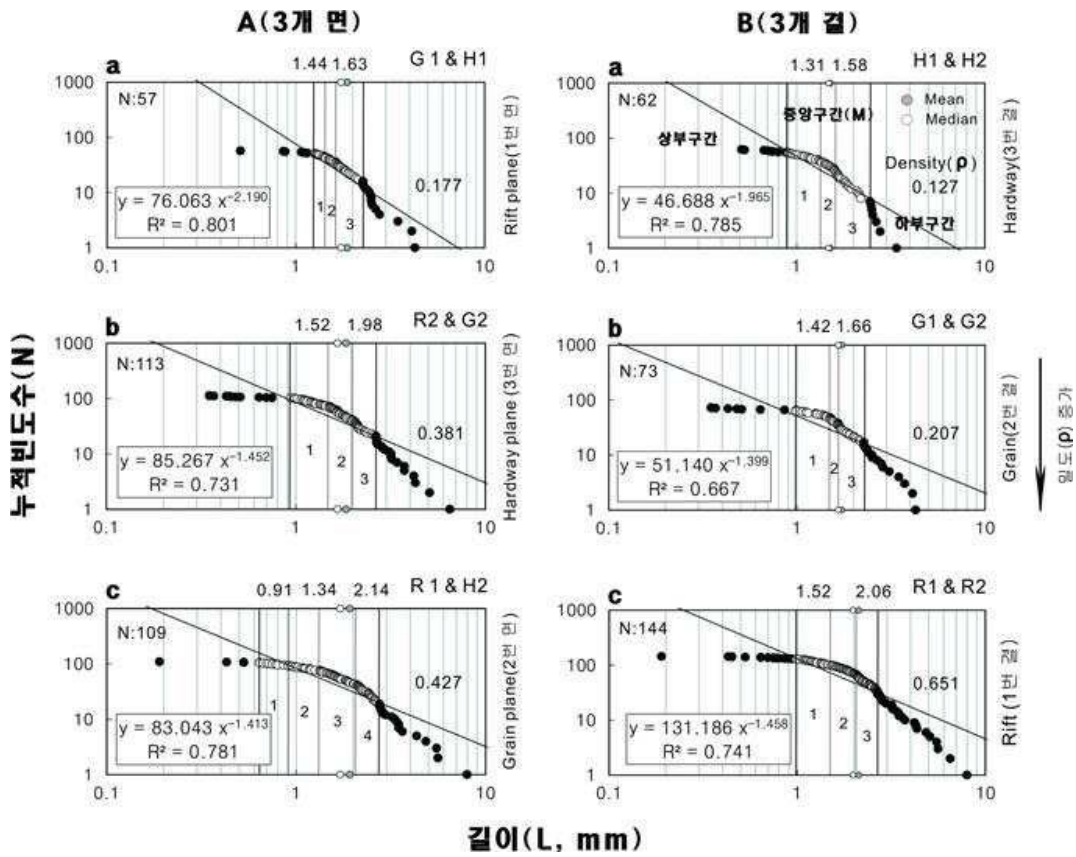
도면11



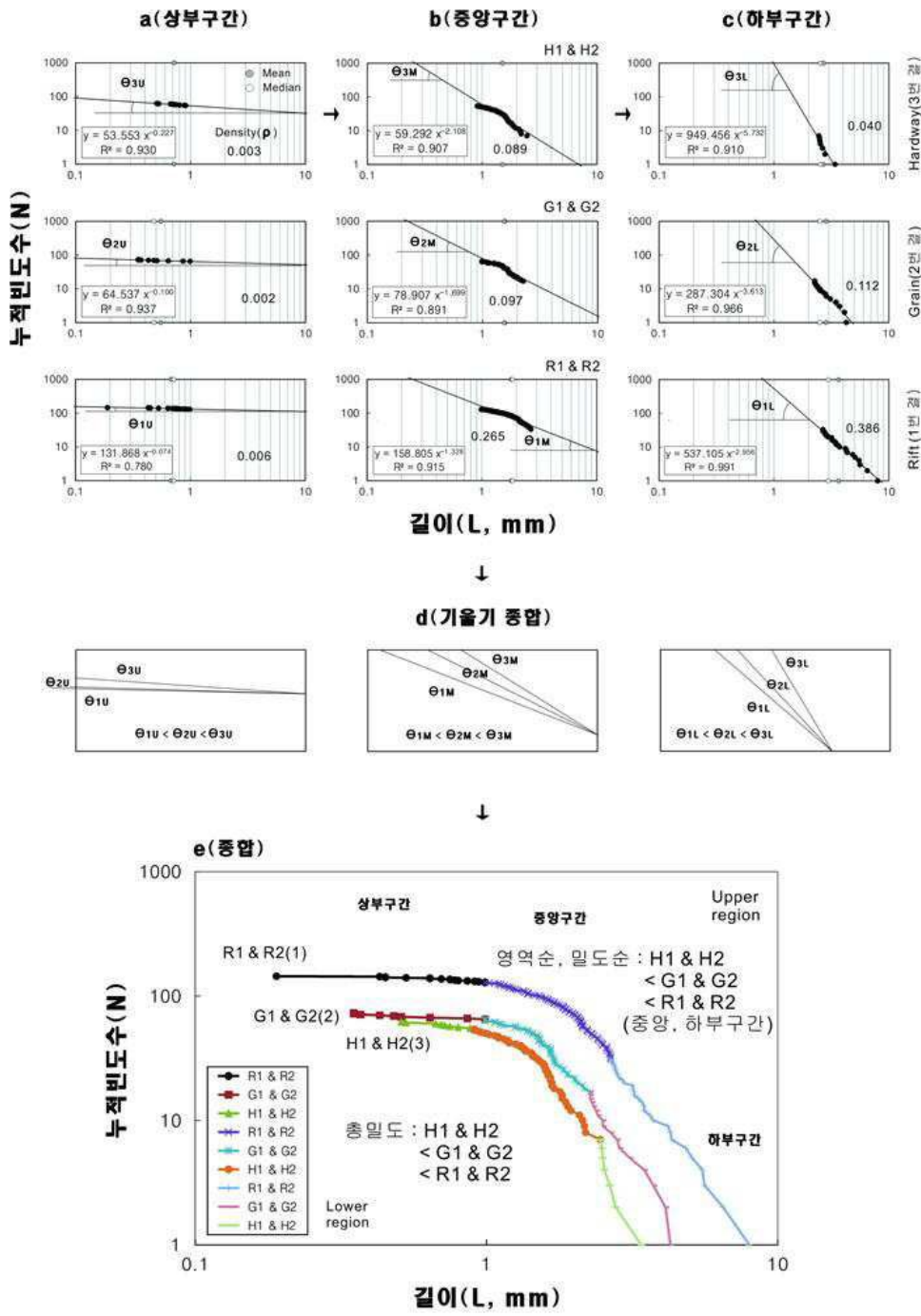
도면12



도면13



도면14



도면15

