Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 13, No. 3, p. 133~141, 2004

포천지역의 쥬라기 화강암에 발달된 결의 특성

박덕원[1,*] · 김형찬[1] · 이창범[1] · 홍세선[2] · 장세원[3] · 이철우[1]

한국지질자원연구원 지하수지열연구부, 대전광역시 유성구 가정동 30, 305-350

Characteristics of the Rock Cleavage in Jurassic Granite, Pocheon

Deok Won Park[1,*], Hyoung Chan Kim[1], Chang Bum Lee[1], Sei Sun Hong[2], Se Won Chang[3] and Cheol Woo Lee[1]

[1]*Groundwater & Geothermal Resources Division,*
[2]*Geological & Environmental Hazards Division,*
[3]*Petroleum & Marine Resources Division,*
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajeongdong, Yuseonggu, Daejeon 305-350, Korea

요 약: 포천지역의 쥬라기 화강암내 결의 특성을 규명하였다. 3가지 미세균열의 분포상은 박편의 확대사진(x6.7)에서 잘 나타난다. 우세균열 면은 1번 결의 면에 평행하며, 준 우세균열 면은 2번 결의 면에 평행하다. 이러한 1번 결 및 2번 결을 형성하는 미세균열은 3번 결의 면상에서 상호 거의 수직을 이룬다. 따라서, 연구지역의 화강암질암의 결은 미세균열의 선택적 배향성에 지배된다고 할 수가 있다. 결은 리프트, 그레인, 하드웨이 면의 순으로 발생빈도, 길이 및 밀도가 발달하고 있다.

핵심어: 화강암, 결, 미세균열

Abstract: We have studied the characteristics of rock cleavage for the Pocheon granite with Jurassic emplacement age. Photomicrographs were used to observe and analyze microcracks from the granite. Three sets of microcrack planes are recognized; (1) the rift plane developed parallel to the principal sets of microcracks, (2) the grain plane parallel to the secondary sets of microcracks, (3) the hardway plane perpendicular to both rift and grain planes. The microcracks developed in the granite shows higher polution, mean length and density in the order of rift plane, grain plane and hardway plane. The fracturing characteristics of the granite are closely related to the development of these three planes.

Key words: granite, rock cleavage, microcrack

서 론

암석의 분리 또는 파괴는 그 암체내의 결함(defect)에 영향을 받는다. 미세한 결함(microscopic defect) 주위의 응력집중에 의하여 분리 또는 파괴가 촉진된다고 한다(Griffith 이론). 이와 같은 결함의 환경에는 온도, 습도, 동결, 용해, 반복되는 응력의 정도와 횟수, 하중의 시간 및 충격의 속도등 다양한 요인에 의해 생기나, 이론적인 탄성 및 소성이론이나 혹은 확률과정이론 등에 의해 분리성 및 파괴성을 규명할 수 있다. 그러나 암석의 결함 중 가장 큰 요인은 미세균열의 특성에 따라 분리성은 달라짐으로, 이를 활용하는 채석작업에서는 채석방향(quarry direction), 즉 "결"(rock cleavage)의 존재와 그 특성이 중요시 되어 과거 많은 학자들에 의해 연구되고 있다. Dale(1923), Ljungner(1930) 등은 석영과 장석을 가로지르는 미세균열의 우세방향이 상호 수직을 이루어 리프트(rift)와 그레인(grain)을 형성한다고 하고 있다. Osborne(1935)은 리프트와 그레인외에 하드웨이(hardway)가 존재한다고 하며, 하드웨이는 리프트 및 그레인에 각각 수직관계를 형성한다고 했다. Holzhausen(1989)은 현미경 관찰에 의하여 리프트, 그레인 및 하드웨이를 제시하고 있다. Twidale(1982)은

*Corresponding author: Tel: 82-42-868-3123, E-mail: pdw@kigam.re.kr

리프트, 그레인 및 하드웨이 상호간의 상대적인 분리성, 즉 리프트 > 그레인 > 하드웨이를 제시하고 있다. Plumb *et al.*(1984)은 리프트, 그레인 및 하드웨이를 활용하여 현지응력의 방향을 제시하고 있으며, 특히 인장균열을 강조하고 있다. 국내에서도 이병대 외(1999)는 차분변형율 분석을 실시, 화강암내에 발달하는 미세균열의 이방성을 밝혔다. 이상은 등(1999)은 현미경 관찰에 의하여 리프트, 그레인 및 하드웨이를 제시하였다. 또한 서용석 외(1999), 백환조 외(1998), 장보안 외(1995)의 미세균열과 암반의 거시적인 거동과의 관련성 연구도 실시되었다.

이상 여러 학자들에 의해 연구된 암석의 "결"(rock cleavage)은 암체에 충격을 가하였을 때 일정한 방향성을 갖고 분리하게 되는 성질을 말한다. 이 연구에서 대상으로 하는 화강암의 결은 성인적인 연계성을 갖지 않는 간격벽개(장태우, 1992)에 해당되며, "결"을 상기한 벽개(cleavage)에 대한 포괄적인 용어로서 사용코저 한다.

이 연구에서는 암석 결구의 물리량 및 강도의 계측 및 시험에 의하여, 결의 발달상과 분포상을 규명하고, 그들의 성질을 제시하고자 한다. 특히 결의 고유한 미세특성을 가시화하고 이를 정량화하는데 주력하였다. 연구대상 암석은 국내 화강암 석재 채석장이 밀집한 포천지역의 화강암을 대상으로 하였다.

국내 현황

국내에서는 화강암질 암류 석재를 대상으로 z-burner 또는 화약발파에 의존하여 정방형에 가까운 암괴를 채석하고 있다. 채석장에서는 화강암체 채석시 임의의 방향으로 채석치 않고 소위 "결"이라 하여 할석이 용이한 면을 이용하여 채석한다. 따라서 결의 방향은 단위 채석장내에서 채석방향을 결정하는 주요 요인으로 작용하며 또한 채석 실수율에도 많은 영향을 미친다.

채석장의 한 암체 내에서는 채석작업의 상대적인 용이도에 의해 가장 용이한 방향을 1번 결, 그 다음으로 용이하게 채석되는 방향을 2번 결, 채석의 용이도가 가장 낮은 방향을 3번 결로 각각 호칭한다. 상기 3 종류의 채석면은 일반적으로 상호 수직관계를 이루며 또한 채석장마다 방향성이 상이하다.

환언하여 국내 채석업계에서 채석의 용이도에 따라 구분되는 1번 결, 2번 결 및 3번 결의 의미는 국외학자들에 의해 정의된 리프트, 그레인 및 하드웨이의 의미와 상호 일치하고 있다. 이 연구의 용어사용에 있어 리프트를 1번 결, 리프트 면을 1번 면, 그레인을 2번 결, 그레인 면을 2번 면, 하드웨이를 3번 결, 하드웨이 면을 3번 면의 의미로 각각 사용하고저 한다.

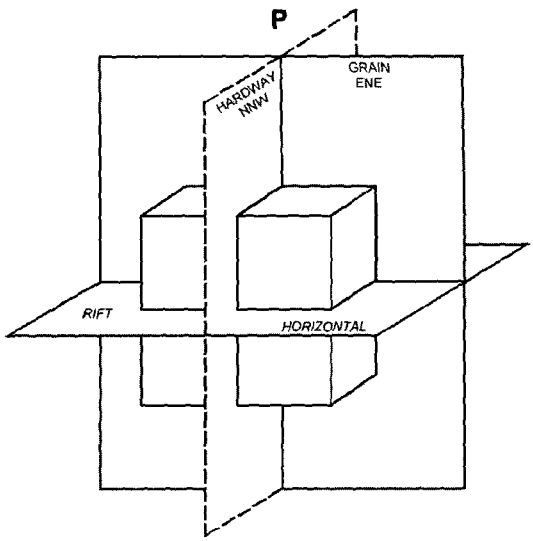

Fig. 1. Diagram of the orthogonal rift, grain and hardway planes showing their approximate orientations (P: Pocheon granite).

부언하면 이와같은 결의 발달은 국내 뿐 아니라 국외의 화강암질 암체 내에서 공통적인 현상이며, 특히 채석의 방향 설정에 중요한 요소인 수직의 결(rift plane 및 grain plane) 방향은 지역적으로 그 방향성이 상이하다.

시료 및 분석방법

암석시료

경기도 포천군 가양리(삼우석재)의 쥬라기 대보화강암(이하 포천화강암)에서 시료를 채취하였다. 포천화강암(Pocheon granite)은 선캠브리아기의 편마암류를 관입한 쥬라기의 대보화강암체에 속한다. 이 암석은 담홍색(pale pink)을 띠고, 등립상의 조립질암으로 석영 및 장석의 입도는 3~9 mm이다. 연구대상 암석시료 채취심도는 약 25 m이다. 주구성광물의 모드 조성(vol. %)은 석영:32.7%, 사장석:29.3%, 정장석:4.8%, 미사장석:15.3%, 퍼다이트:13.4%, 흑운모: 3.1%이며, 그와 저어콘 및 인회석이 미량 확인된다. 이 암석은 분류상 흑운모 화강암(Streckeisen, 1976)에 속한다. 채석대상 화강암체에서는 1번 면이 수평면을 형성하고, 수직의 2번 면은 ENE의 방향성을 지닌다. 또한 수직인 3번 면은 2번 면과 거의 직각을 형성하고 있다(Fig. 1).

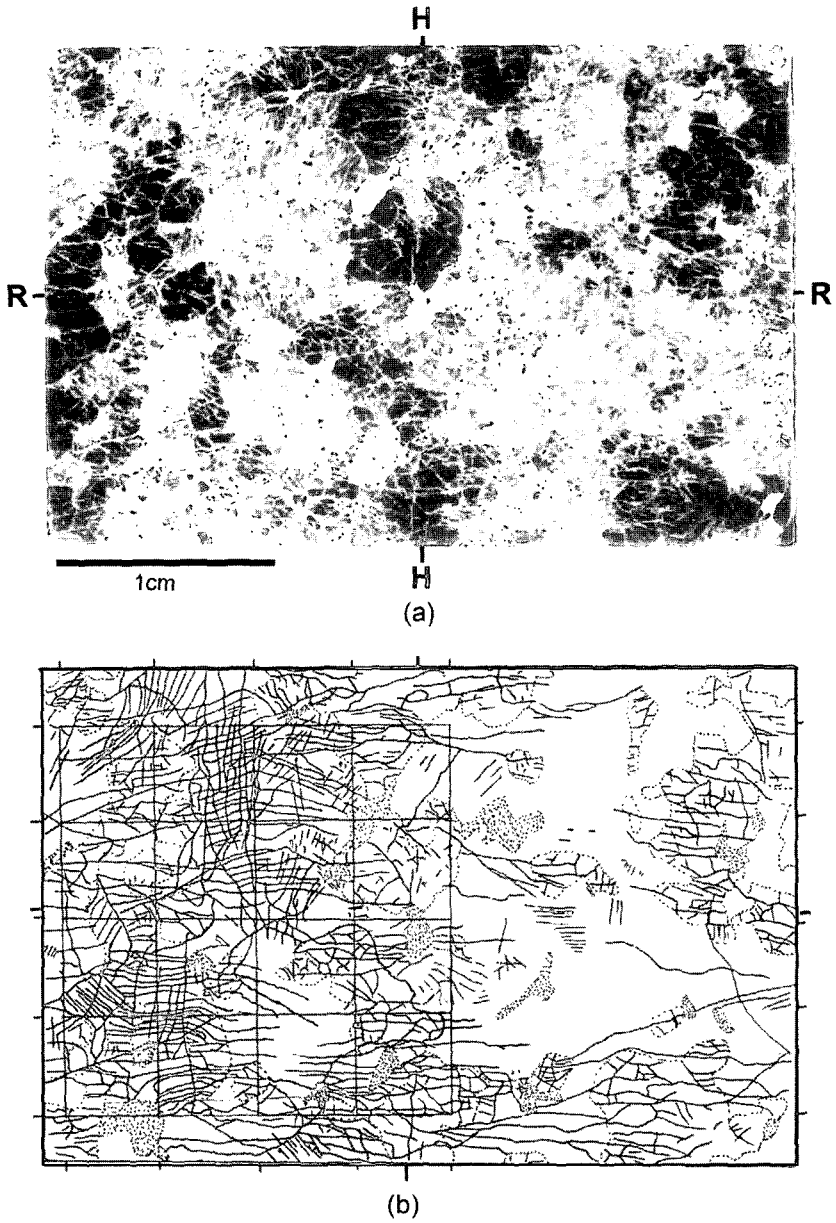

Fig. 2. (a) Photomicrograph of thin section of the Pocheon granite cut parallel to grain plane. Black, mottled, and white areas represent quartz, feldspar and biotite, respectively. R: rift plane, H: hardway plane (b) Map of microcracks in (a). The preferred orientation of transgranular microcracks in the quartz approximately parallel to the rift plane.

분석방법

포천화강암의 3개 채석면, 즉 1번 면(rift plane), 2번 면(grain plane) 및 3번 면(hardway plane)에 평행하게 3개의 박편을 제작하였다. 포천화강암에서 P-1 박편은 1번 면, P-2 박편은 2번 면 그리고 P-3 박편은 3번 면에 평행하게 제작된 박편을 의미한다. 제작된 박편의 크기는 2 cm×3 cm, 박편의 두께는 면구조의 측정을 용이하게 하기위해 일반 박편의 4배(약 0.1 mm)로 제작하였다. 특히 박편의 두께 조절의 난이도로 인하여 3~4회의 제작을 시도하였다. 측정된 요소는 석영내 미세균열 및 유체포유물, 장석내 미세균열 및 벽개면 그리고 흑운모의 벽개면의 5개 요소가 검토되었으나, 미

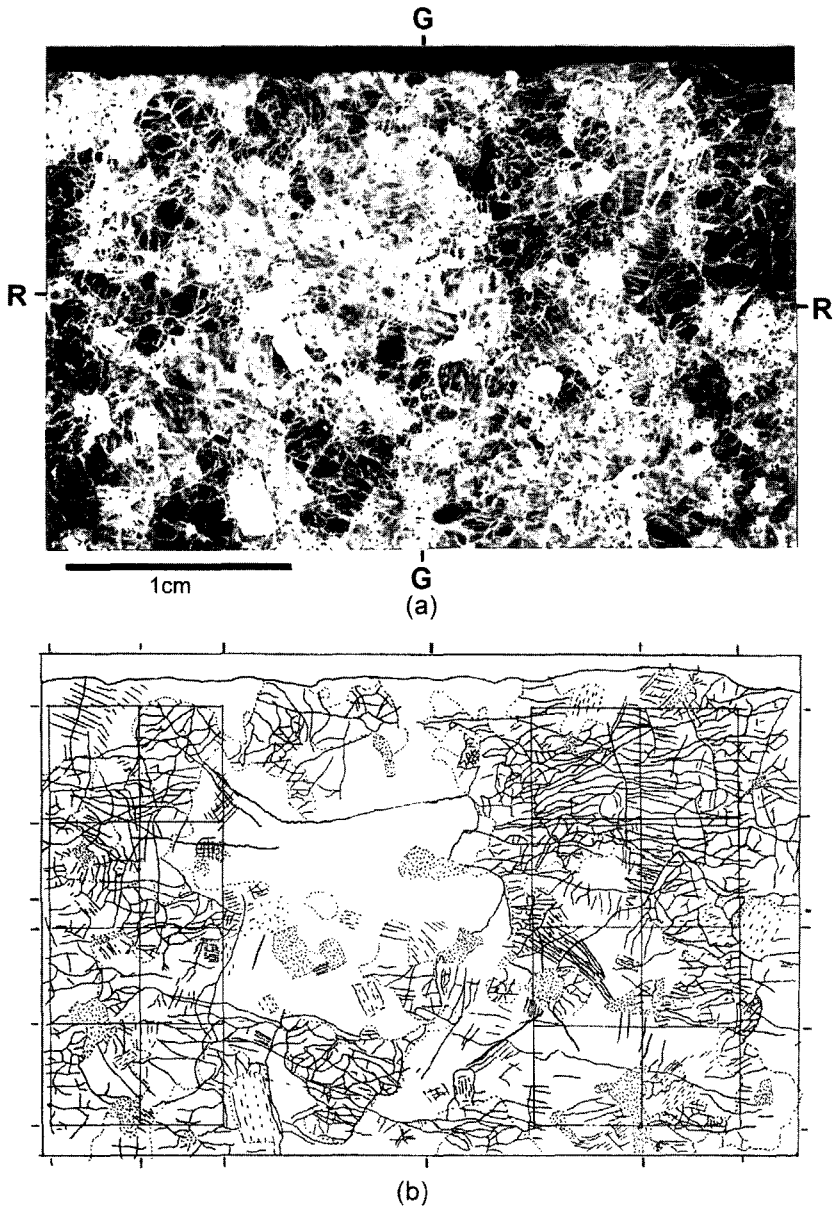

Fig. 3. (a) Photomicrograph of thin section of the Pocheon granite cut parallel to hardway plane. Black, mottled, and white areas represent quartz, feldspar and biotite, respectively. R: rift plane, G: grain plane (b) Map of microcracks in (a). The distribution of microcracks in quartz shows more irregular network and higher density distribution compared with other minerals in thin section.

세균열을 제외한 다른 요소는 결의 방향성과 상관성이 결여되어 본문의 기재에서 제외하였다. 따라서 이 연구에서는 미세 결구(microfabric)를 중심으로 분석을 실시하였다.

한편 박편의 확대사진(x6.7) 상에서 측선과 교차하는 미세균열의 길이(L), 간격(S), 빈도수(N) 및 15° 간격의 방향각(θ)을 측정하였다. 또한 미세균열의 길이는 측정상의 난이도를 고려하여 1 mm 이상인 것만 대상으로 하였다.

강도시험으로는 직접적인 인장시험에 비하여 보다 용이한 압열 인장시험(Brazilian tensile test)을 실시하였다. 1번 면, 2번 면 및 3번 면에 각각 수직인 3개 방

Table 1. Measured value of microcrack length on three planes.

Length (mm) / Plane	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	Mean
P-1	41	30	13	10	12	8	3	7	2	2	1	3.70
P-2	27	36	21	27	17	6	1	4	2	2	2	3.87
P-3	82	45	17	16	8	5	4	3	1	2	1	1.18 (3.45)
Total	P-1: 129 P-2: 145 P-3: 184 (458)											

Table 2. Measured value of microcrack spacing on three planes.

Spacing (mm) / Plane	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	Mean
P-1	79	72	15	15	5	3	0.73
P-2	135	68	18	6	6	2	0.58
P-3	142	72	13	10	1		0.52(0.61)
Total	P-1: 189 P-2: 235 P-3: 238 (662)						

향에서 NX 코어(직경 5.4 cm)를 채취하여 길이 대 직경의 비가 1 : 2가 되도록 시편을 제작하였다. 모두 6 방향의 결에 평행하게 압열 인장시험을 실시하였으며, 1 방향의 결에 대하여 모두 10개의 시편이 사용되었다. 상기한 박편제작 및 실내시험은 모두 한국지질자원연구원에서 실시되었다.

시험 결과

미세균열의 길이

박편을 확대 촬영하여 미세균열에 대한 각종 물리량을 측정하였다. 1번 면(rift plane), 2번 면(grain plane) 및 3번 면(hardway plane)에 평행하게 제작된 박편의 확대사진과 그 스케치 결과의 일부를 제시하면 Fig. 2 및 3과 같다.

균열의 길이는 포천화강암에서 458개를 측정하였다. 각 면별로는 1번 면에서 129개, 2번 면에서 145개 그리고 3번 면에서 184개를 각각 측정하였다(Table 1). 포천화강암의 전체적인 균열 길이는 1~12 mm 사이에 분포하며 평균길이는 3.45 mm 정도이나, 1-3 mm사이에 집중되어 있다. 한편 총 측정치에 대한 1~3 mm 사이의 균열이 차지하는 비율은 3번 면(28%) > 1번 면(16%) > 2번 면(14%)의 순을 보인다. 또한 포천화강암의 전체적인 평균길이는 3.45 mm이며, 각 면의 평균길이는 2번 면(3.87 mm) > 1번 면(3.70 mm) > 3번 면(1.18 mm)의 순으로 나타난다. 각 면에서 측정된 미세균열의 길이(L)-수(N) 분포양상은 음의 지수함수 곡선으로 나타나고(Fig. 4), 이러한 결과는 Krantz(1983), Segall and Pollard(1983)의 결과와 거의 일치한다.

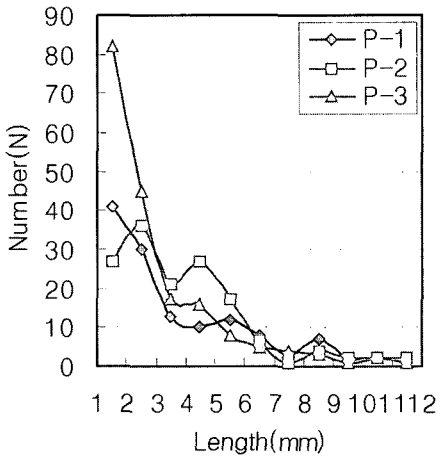

Fig. 4. Plots of microcracks number (N) vs. length on the riht, grain, hardway planes.

미세균열의 간격

균열의 간격은 포천화강암에서 모두 662개를 측정하였다. 또한 각 면에 대한 균열의 간격에 대하여 1번 면에서는 189개, 2번 면에서는 235개, 3번 면에서는 238개를 각각 측정하였다(Table 2). 균열간의 간격(spacing)은 균열과 균열간의 거리를 의미한다. 포천화강암의 균열간격은 3 mm 이내의 범위에서 분포하고, 주로 1 mm 이내에 집중되어 있다. 균열의 평균간격은 약 0.61 mm로 나타난다. 한편 포천화강암의 각 면별로 살펴보면, 1 mm 이하의 균열간격은 3번 면(32%) > 2번 면(31%) > 1번 면(23%)의 빈도 순으로 나타난다. 각 면의 평균간격은 1번 면(0.73 mm) > 2번 면(0.58 mm) > 3번 면(0.52 mm)의 순으로 나타난다. 이와 같은 현상은

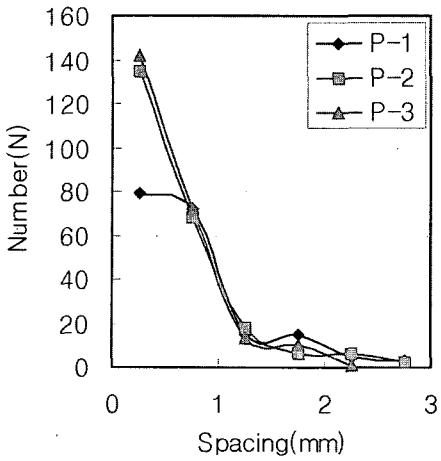

Fig. 5. Microcrack number (N) with respect to their spacing (S) on three planes.

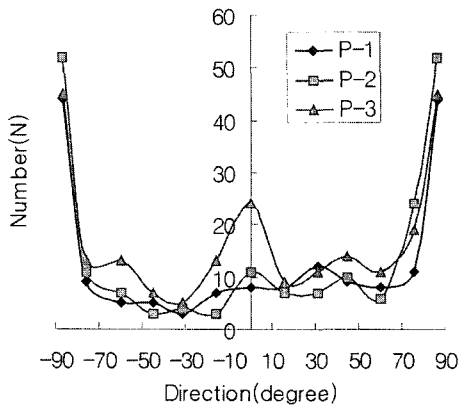

Fig. 6. Distribution of microcrack number (N) relative to direction in photomicrograph.

균열발달의 빈도수(N)에 관계된다고 할 수 있다. 균열의 간격(S)-수(N) 분포양상도 Fig. 4의 경우와 거의 유사하게 음의 지수함수 곡선으로 나타난다(Fig. 5).

미세균열의 수

미세균열에 대한 방향별 분포수(N)는 포천화강암에서 모두 458개를 측정하였다. 각 면에 대하여 1번 면에서는 189개, 2번 면에서는 235개, 3번 면에서는 238개를 각각 측정하였다. 이는 미세균열의 길이 측정 수치와 동일하다. 방향성은 박편의 세로축의 중심을 택하여 시계방향(positive)과 반시계방향(negative)으로 하여 측정하였다. 암석별 각 면에 대한 방향각 별 균열의 빈도에 대한 측정치는 Table 3과 같다. Fig. 6에서 방향각에 따른 각 면(1, 2, 3)의 균열 분포양상은 다르나, 일반적으로 1번 면 및 2번 면에서는 ±80°~±90°에서 집중하고 있고, 특히 3번 면(rift와 grain이 교차하는 면)에서는 0°~±20°에서 집중성을 보여주고 있다. 이러한 미세균열의 선택적 배향성은 암체 내부의 응력성, 즉 현지응력($\sigma_{lin\text{-}situ}$)의 방향을 제시하고 있다(Plumb *et al.*, 1984).

미세균열의 밀도 및 강도 이방성

모든 암체는 결(rock cleavage)의 방향에 따라 잠재적 결함(미세균열)을 내포하여 강도 이방성의 특성을 갖는다. 강도 이방성은 미세균열의 분포밀도에 따르며, 밀도(ρ)는 시료의 단면적(A), 균열길이의 1/2(half-length) 및 균열의 수(N)를 이용하여 다음 식(Segall, 1984)으로 구할 수 있다.

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

Table 4는 각 암석시료에 대한 분포각(θ)별 균열의 밀도가 되며, 이를 도시한 것이 Fig. 7이다. Fig. 7에서 1, 2, 및 3번 면의 균열 밀도분포는 상이하나, 각 면에서는 공히 분포각 ±80°~±90° 구간에서 가장 높은 밀도분포를 보이며 특히, 1 및 2번 면에서는 +10° ~+30° 구간에서 변곡점(diverging point)을 형성하는 고유의 분포특성이 나타난다. 이와 같은 양상은 Fig. 6의 경우와 매우 유사하다. 또한 3번 면에서는 0°~±20° 구간에서 변곡점을 형성하여 2조의 균열이 상호 수직에 가까운 분포성을 나타내며, 곡선형태가 대칭형태를 취하고 있다. 3개 면 중 1번 면에 비하여 2번 면에서 높은 균열

Table 3. Orientation and number distribution of microcrack on three planes.

θ (°)	Negative							Positive						
Plane	82.5~90	67.5~82.5	52.5~67.5	37.5~52.5	22.5~37.5	7.5~22.5	0~7.5	0~7.5	7.5~22.5	22.5~37.5	37.5~52.5	52.5~67.5	67.5~82.5	82.5~90
P-1	15	9	5	5	3	7	3	5	8	12	9	8	11	29
P-2	16	11	7	3	4	3	4	7	7	7	10	6	24	36
P-3	23	13	13	7	5	13	12	12	9	11	14	11	19	22
Total	P-1: 129 P-2: 145 P-3: 184 (458)													

Table 4. Orientation (θ) and microcrack density (ρ) distribution on three plane.

θ(°) Plane	Negative							Positive							Total
	82.5~90	67.5~82.5	52.5~67.5	37.5~52.5	22.5~37.5	7.5~22.5	0~7.5	0~7.5	7.5~22.5	22.5~37.5	37.5~52.5	52.5~67.5	67.5~82.5	82.5~90	
P-1	0.18	0.17	0.01	0.03	0.001	0.05	0.001	0.02	0.04	0.08	0.05	0.04	0.07	0.49	1.23
P-2	0.34	0.08	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.14	0.04	0.04	0.09	0.03	0.33	0.51	1.71
P-3	0.39	0.05	0.05	0.02	0.001	0.06	0.04	0.05	0.04	0.03	0.06	0.09	0.14	0.23	1.20(4.14)

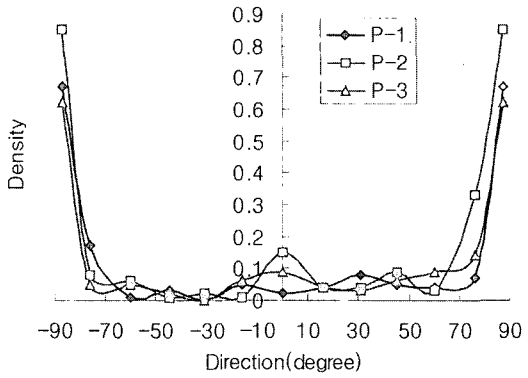

Fig. 7. Distribution of microcrack density relative to direction.

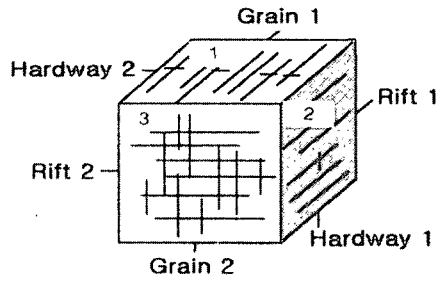

Fig. 8. Diagram of the six directions of rock cleavage on rift plane (1), grain plane (2) and hardway plane (3).

밀도를 보여 주고 있다. 이 그림은 암체 내부의 균열의 밀도 이방성을 나타낸다. 포천화강암의 균열밀도는 4.14이며 2번 면(1.71) > 1번 면(1.23) > 3번 면(1.20)의 순으로 나타난다.

화강암에서는 세 방향의 박편 상에서 상호 직교하는 두 종류의 결을 측정할 수 있다. 모식도에서 P-1 박편에서는 그레인 1(grain 1)과 하드웨이 2(hardway 2), P-2 박편에서는 하드웨이 1(hardway 1)과 리프트 1(rift 1) 그리고 P-3 박편에서는 그레인 2(grain 2) 및 리프트 2(rift 2)가 각각 측정된다(Fig. 8). 6개 방향별 미세균열의 각종 물리량 및 인장강도치를 종합해 보면 Table 5와 같다. 포천화강암 내에서 균열의 발생빈도(N), 평균길이(L_m) 및 밀도(ρ)는 동일하게 리프트 > 그레인 > 하드웨이의 순을 보이고 있음이 주목된다. 한편 화강암의 결과 관련된 역학적 이방성을 밝히기 위하여 균열의 분포성에 비교적 예민한 압열 인장시험을 수행하였다. Fig. 8에 제시한 6개 방향의 결과 평행한 방향으로 압열 인장응력을 가한 후 강도를 측정하였다. 6개 방향의 인장강도는 55~79 kg/cm^2(평균: 66 kg/cm^2), 강도 이방성의 범위는 15.1%~18.5%(평균 16.6%)로 각각 나타난다. 3개의 면에 대한 강도 이방성의 평균치는 2번 면(18.5%) > 1번 면(16.4%) > 3번 면(15.1%)의 순으로 나타난다. 한편 6개 방향별로 측정된 균열의 발생빈도, 평균길이, 밀도 그리고 인장강도의 상관도에서 인장강도는 균열의 밀도 및 빈도수와 높은 상관성을 나타내고 있다(Fig. 9).

Table 5. N, L_m, ρ and An of σ_t with respect to rock cleavage.

Rock name	Plane	Direction of rock cleavage	N	L_m (mm)	ρ	Tensile strength (kg/cm^2)	
						σt	An (%)
Pocheon granite	1	Hardway 2	8	2.52	0.04	79	16.4
		Grain 1	44	4.31	0.63	67	
	2	Hardway 1	11	3.22	0.09	71	18.5
		Rift 1	52	4.42	0.79	59	
	3	Grain 2	24	2.70	0.13	64	15.1
		Rift 2	45	4.21	0.62	55	
	Mean		31	3.56	0.38	66	16.6

*Six directions of rock cleavage are same as in Fig. 8. N: microcrack number, L_m: mean length of microcrack ρ: microcrack density, An (Anisotropy coefficient): Max-Min/Mean, 1: rift plane, 2: grain plane, 3: hardway plane.

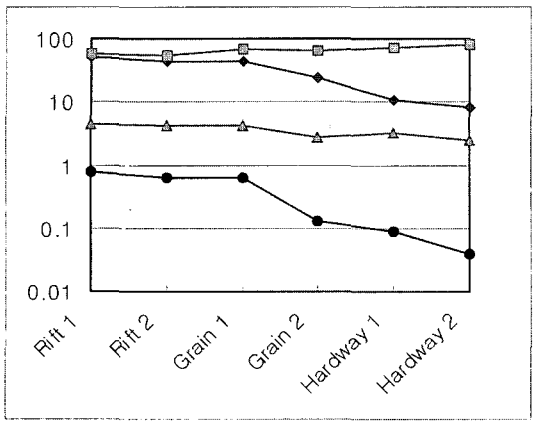

Fig. 9. Variation of microcrack number (◆), mean length of microcrack (▲), microcrack density (●) and tensile strength (■) with respect to six directions of rock cleavage shown in Fig. 8.

토 론

암석의 결은 암석을 채석 또는 가공할 때 "분리가 용이한 면"을 나타내는 말로 채석장에서 경험적으로 사용되는 용어이다. 결의 방향을 이해해 두지 않으면 채산성에 영향을 주기 때문에 이러한 결을 식별하는 능력은 화강암 채석장에서는 특히 중요하게 인식되고 있다.

암석내의 조직은 광역적으로 일반성을 가지는 구조와 광물입자의 배열과 같은 국소적인 특징이 조합된 것으로 생각된다. 이러한 구조적인 이방성은 개략적인 조사로도 분명할 수가 있으나, 암석 내에서 구성광물과 결함(defect)의 우세방향은 모호하며 정밀한 계측이 없으면 확인하기 어렵다. 따라서 화강암의 결을 의미하는 조직을 말할 경우에도 이러한 점에 유의하는 것이 필요하다.

화강암의 결에 대해서 현미경 및 박편사진 관찰 그리고 인장강도시험을 수행하였다. 화강암의 1번 결 및 2번 결과 평행하는 2 조의 열린 미세균열(open microcrack)이 탁월한 분포를 보이며, 인장강도시험에서도 이들 열린 미세균열과 관련되는 이방성을 보인다.

이러한 미세균열의 자세한 연구는 미세균열의 생성 당시에 작용한 응력장의 규명에 유용한 수단이 될 수 있다.

외국의 경우, 리프트가 수평이며 그레인 및 하드웨이가 수직인 3 개소의 화강암 채석장에서 현지응력과 미세균열간의 상관성에 대한 연구를 한 사례가 있다. 이 연구에서는 측정된 최대 압축 주응력(σ_1)의 방향성은 그레인을 형성하는 열린 미세균열의 우세방향과 일치함을 밝히고 있다(Plumber *et al.*, 1984).

이와 같이 화강암의 결을 활용하여 암체 내부의 응력성, 즉 현지응력의 방향성을 제시하고 있다. 이러한 연구결과에 비추어 포천지역 일대에 분포하는 화강암체의 수직방향의 결 또한 비교적 최근의 응력성을 반영할 가능성이 크다. 또한 화강암체의 초기 냉각 시 형성되는 아문 미세균열(healed microcrack) 생성 이후의 응력성을 반영하는 것으로 생각된다.

평강-포천-동두천-양주-서울을 연결하는 쥬라기 대보 화강암체의 일부 지역에서 수직 결(1번 결 및 2번 결)의 방향성(N = 23)을 측정하였다. 수직 결의 방향성은 크게 3방향으로 요약되며, ① N~NNE-S~SSW(39%) > ② NNW-SSE(22%) > ③ ENE-WSW(22%) > ④ 기타(17%)의 빈도 순으로 나타난다. 이들 방향성은 광역적 또는 국지적인 최대 압축 주응력의 방향성을 의미하며, 이 지역에 대한 응력사의 규명은 앞으로의 연구 과제이기도 하다. 광역 응력장에 의해 이들 결들이 형성되었다면, 이 지역의 다른 암체에서도 유사한 방향의 결이 관찰될 것으로 예측된다. 국지적인 응력장에 의해 이들 결들이 형성되었다면, 마그마의 관입후 냉각과정 중의 수축작용이 주된 결의 형성기작일 가능성이 높다.

이와 같이 실내외에서 수행된 연구에서는 리프트, 그레인 및 하드웨이와 관련된 암석의 결구특성을 밝히고 물성간의 관계를 규명하였다. 또한 한 암체내에서 결과 응력과의 상관성을 규명하려는 일련의 과정이라고 볼 수 있다.

결 론

포천지역의 쥬라기 화강암을 대상으로 박편의 확대사진을 이용하여 미세균열의 방향성과 길이, 간격, 밀도 등을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. 미세균열은 전체적으로 결의 방향을 따라 서로 직교하여 나타나는 경향을 보인다. 또한 미세균열의 발생빈도, 길이 및 밀도는 결의 상대적인 강도를 제시하고 화강암에서 1번 결(rift) > 2번 결(grain) > 3번 결(hardway) 순으로 나타난다. 6개 방향별 미세균열의 발생빈도 및 밀도와 인장강도와의 상호 관계에서도 결의 상대적인 발달 정도를 잘 반영한다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 지하수지열연구부에서 수행한 기본사업 지열자원 부존특성규명 및 활용기

반기술연구와 관련하여 수행되었음을 감사드립니다. 또한 이 원고를 읽고 자세히 지적 및 보완해 주신 두 분 심사위원님에게 감사를 드린다.

참고문헌

백환조, 김덕현, 최성범, 1998, 암석의 미세균열의 발달과 분포의 예측방법에 관한 연구, 터널과 지하공간, 8, 226-233.

이병대, 장보안, 윤현수, 이한영, 진명식, 1999, 문경지역에 분포하는 화강암의 미세균열 발달특성, 암석학회지, 8, 1, 24-33.

이상은, 조상호, 양형식, 박홍민, 1999, 조사선을 이용한 화강암의 미세 불연속면 분포성 평가, 9, 364-372.

장보안, 김재동, 1995, 압축피로하중에 의한 반려암, 사암 및 대리암에서의 미세균열 발달, 터널과 지하공간 5, 240-250.

장태우, 1992, 옥천구조대 변성사질암의 벽개 발달에 관한 연구: 2. 간격벽개, 지질학회지, 28, 1-7.

서용석, 清木隆文, 市川康明, 1999, マイクロクラックの發生・進展に起因した結晶質岩の 應力緩和現象に關する水浸一軸試驗, 材料, 48, 1255-1262.

Dale, T.N., 1923, The commercial granites of New England, U.S. Geol. Surv. Bull., 738, 488.

Holzhausen, G.R., 1989, Origin of sheet structure, 1. Morphology and boundary conditions, Eng. Geo., 27, 225-275.

Ljungner, E., 1930, Spaltentektonik und morphologie der schwedischen Skagerrak-Kueste, Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, 21, 478.

Osborne, F.F., 1935, Rift, grain and hardway in some precambrian granite, Quebec. Econ. Geol., 30, 540-551.

Krantz, R.L., 1983, Microcracks in rocks, Tectonophysics, 100, 449-471.

Plumb, R., Engelder, T. and Yale, D., 1984 b, Near-surface in-situ stress, 3. Correlation with microcrack fabric within the New Hampshire, J. Geophys. Res., 89, 9350-9364.

Segall, P., 1984, Formation and growth of extensional fracture sets, Geol. Soc. Am. Bull., 95, 454-462.

Segall, P. and Pollard D.D., 1983, Joint formation in granitic rock of the Sierra Nevada, Geol. Soc. Am. Bull., 94, 563-575.

Streckeisen, A. L., 1976, To each plutonic rocks and its proper name, Earth Sci. Rev., Vol. 12, 1-33.

Twidale, C.R., 1982, Granite landforms, Elsevier scientific pub. comp., 46-86.

(2004년 6월 19일 접수; 2004년 9월 5일 채택)