

문경지역에 분포하는 화강암의 미세균열 발달특성

이병대 · 장보안* · 윤현수 · 이한영 · 진명식

한국자원연구소
*강원대학교

요 약 : 화강암에 대한 미세균열의 특성을 규명하기 위하여 노은리와 궁기리의 2개소 화강암을 대상으로 차분 변형률 분석(Differential Strain Analysis)을 실시하였다. 변형률은 압력을 처음 50 MPa까지는 5 MPa씩, 50~100 MPa에서는 10 MPa씩, 250 MPa까지는 15 MPa씩 압력을 가하였다. 변형률 분석을 위하여 코아 시료의 수직방향과 수평방향에 각각 변형률 게이지를 부착하였다. 수직방향과 수평방향의 누적 균열 변형률은 매우 큰 편차를 보여주고 있어 미세균열의 발달에 이방성을 보임을 알 수 있다. 수직방향의 누적 균열 변형률이 가장 큰 값을 보여 수평방향과 평행한 미세균열이 가장 잘 발달해 있음을 지시하며, 이는 문경지역 화강암류 석재의 "결"방향(rift plane)과 일치하고 있음을 알 수 있다. 240 MPa의 압력하에서 발생한 균열 변형률은 각각 N-1: $174 \times 10^{-6} \sim 820 \times 10^{-6}$, N-2: $190 \times 10^{-6} \sim 460 \times 10^{-6}$, G-1: $329 \times 10^{-6} \sim 836 \times 10^{-6}$, G-1: $833 \times 10^{-6} \sim 1,592 \times 10^{-6}$ 이다. 또한 250 MPa의 압력에서 체적 균열 변형률은 궁기리지역 석재가 $1,804 \times 10^{-6} \sim 3,936 \times 10^{-6}$, 노은리 지역의 석재가 $1,125 \times 10^{-6} \sim 1,457 \times 10^{-6}$ 으로서 전자가 후자에 비해 훨씬 많은 미세균열들이 분포하고 있으며 "결"의 발달상태가 더 양호한 것으로 나타났다. 화강암의 "결"과 미세균열의 방향성을 측정하기 위하여 최대 균열 변형률과 최소 균열 변형률의 비($\epsilon_{\max}/\epsilon_{\min}$)를 계산하였다. 그 비는 2.42에서 3.43까지의 높은 값을 가지는데, 이는 연구지역의 조립질 화강암류 석재에 발달되어 있는 미세균열은 대부분이 일정한 방향성을 보이는 입자내 균열임을 시사한다.

핵심어 : 미세균열, 차분 변형률 분석, 결, 누적 균열 변형률, 체적 균열 변형률.

서 론

연구지역은 옥천지향사대 남서부인 소백산맥 줄기로서 문경군 동로면과 농암면 일대에 해당된다(Fig. 1). 이 지역은 불국사 화성활동의 산물인 대규모 저반상 암체로 이루어져 있으며, 담홍색 계열 화강암 석재의 대표적인 산출지이다. 우리나라의 석재산업은 원석종류의 빈곤과 가공 기술의 빈약 등으로 매장량은 풍부하면서도 상당량을 수입하고 있는 실정에 비추어 볼 때 석재자원에 대한 연구는 시급한 과제라 할 수 있다. 그러나 지금까지의 석재에 관한 연구는 주로 석재의 물성과 화학조성의 분석에 집중되어 있으며, 미세균열의 발달에 관한 연구는 극히 최근의 일이라 할 수 있다. 대부분의 암석 내에는 응력의 제거로 인한 많은 미세균열들이 발달되어 있다. 화강암 채석장에서 채석시 발파 혹은 천공에 의한 반복되는 하중을 받게 되면 정적피로와 유사하게 암석 내에는 미세균열이 발달하게 된다. 암석에 발달한 미세균열의 양 및 특성은 암석의 물리적, 역학적 특성 및 공학적으로 중요한 영향을 미친다. 또한 방사성 폐기물 지하처분장과 같은

지하 구조물에서의 미세균열은 핵종의 이동 통로가 되기도 한다. 특히 석재는 암석 자체가 생산물이므로 석재에 발달한 미세균열은 석재의 질적 특성, 내구성 및 경제성을 좌우하는 중요한 요소가 된다. 석재내에 발달한 우세한 방향의 미세균열은 석재자원 채석시 규격석 생산에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나로, 국내 화강암 채석장에서는 석공들에 의해 "메" 혹은 "결"이라는 용어로 사용되고 있다.

미세균열과 관련된 연구로는 Kowallis와 Wang(1983), Plumb *et al.*(1984), Carlson과 Wang(1986)의 응력 기원의 미세균열에 대한 연구와 Lespinasse와 Pecher(1986), Jang(1989)의 달린 미세균열과 광역적인 응력장과의 관계에 대한 연구가 수행되었다. Plumb *et al.*(1984)은 New England의 화강암 석재를 이용한 미세균열의 연구에서 1번 "결"과 2번 "결"의 방향은 고응력장의 방향을 지시한다고 보고하였다. 또한 Siegfried와 Simmons(1978), Strickland와 Ren(1981), Jang(1989), 장보안 외(1994)는 차분 변형률 분석(이하 DSA)을 이용하여 정수압하에서 미세균열의 변형률을 측정함으로써 응력비, 응력방향 등에 대한 연구를 보고하였다.

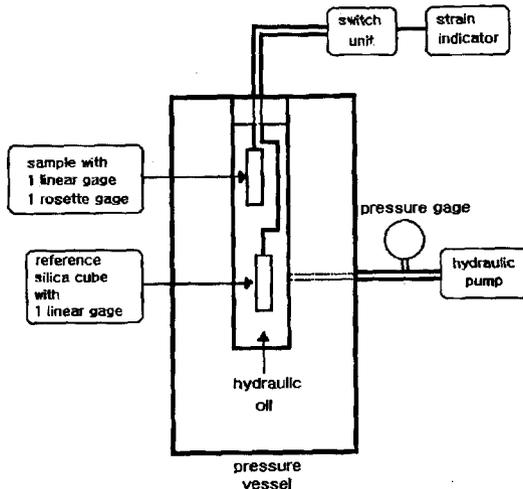


Fig. 2. Block diagram showing the setup for the differential strain analysis.

후 압력을 주어 실온에서 24시간 고결시켰다. DSA 시험시 압력실내에서 암석시료 및 실리카 큐브내에 유압유가 스며드는 것을 방지하기 위하여 시료 및 실리카 큐브를 미국 Dow Corning사의 실가드(Sylgard) 186으로 밀봉하였다. 준비된 시료의 변형을 측정시 압력의 가압형태는 50 MPa까지는 5 MPa씩 50 MPa 이상에서는 10 MPa~15 MPa씩 증가시키면서 측정하였고, 최대 압력은 200~300 MPa이었다. 각 단계의 압력을 증가시킨 후 10분 후에 변형을 측정하여 압력계의 압력과 압력실의 압력이 평형을 이룰 수 있도록 하였으며, 하나의 시료에 대한 DSA 실험 시간은 5시간 정도이다.

DSA와 미세균열

DSA의 개요

암석에 일축 압축응력이나 세방향의 응력이 다른 삼축 압축응력을 가하면 최대 응력 방향에 직각인 면으로 발달한 미세균열은 단히는 반면에, 최대응력 방향에 경사지거나, 평행한 기존의 미세균열들은 최대 응력 방향과 평행한 방향으로 연장되며, 또한 최대 응력에 평행한 방향으로 새로운 미세균열들이 생성되기도 한다(Batzle *et al.*, 1980; Horii and Nasser, 1985).

시료에 대하여 DSA를 실시하면 차분 변형율(differential strain), 누적 균열 변형율(cumulative crack strain) 및 균열 압축율(crack compressibi-

lity) 등의 자료를 얻게되어 암석내에 발달한 미세균열의 양, 방향 및 특성을 파악할 수 있다.

암석의 변형율에서 실리카 큐브의 변형율을 빼주면 차분 변형율을 얻게되며, 차분 변형율은 일반적으로 낮은 압력에서 음의 값을 보이다가 압력이 높아지면 점차 양의 값을 가지게 된다. 그러나 미세균열의 발달정도나 암석의 압축율과 실리카 큐브의 압축율의 차이에 따라 차분변형율 곡선의 전구간이 양의 값을 보이거나 혹은 음의 값을 보이기도 한다. 차분 변형율 곡선은 낮은 압력에서는 위로 오목한 형태를 보이거나 압력이 높아지면 거의 직선의 형태를 보이게 된다. 위로 오목한 형태는 암석내에 분포하는 미세균열들이 단히면서 발생한 변형율이 그 원인이고 직선의 구간은 미세균열이 단히지 않는다는 것을 나타낸다.

차분 변형율 곡선의 한 압력에서 접선을 그릴 때, 접선이 차분 변형율 축과 만나는 점의 값은 그 압력까지 발생한 균열 변형율(crack strain: 미세균열이 단히면서 발생한 변형율)을 나타내며, 각 압력 단계에서 구한 균열 변형율을 모으면 누적 균열 변형율을 얻게된다. 각 압력에서의 누적 균열 변형율은 그 압력까지 단힌 미세균열의 양을 나타내며 누적 균열 변형율 곡선이 양의 기울기를 가지면 미세균열이 계속 단히고 있음을, 기울기가 수평이면 미세균열의 단힘이 종료되었음을 지시한다.

누적 균열 변형율을 미분하면 균열 압축율을 얻게된다. 균열 압축율은 압력이 P에서 P+ ΔP 로 증가할 때 ΔP 의 구간내에서 발생한 균열 변형율의 양을 나타낸다.

미세균열과 압력과의 관계

암석내의 미세균열은 단축의 길이/장축의 길이로 표시되는 종횡비로 나타낼 수 있다. 공극의 경우 원형은 종횡비가 거의 1에 가까우며 타원형의 형태는 10^{-1} 정도인 반면에, 미세균열의 경우에는 종횡비가 10^{-3} 정도이다. 미세균열의 형태, 즉 종횡비의 측정현미경 관찰을 통한 직접적인 관찰법과 정수압하에서 미세균열이 단히는 압력의 측정에 의한 계산법이 있다. 현미경을 이용한 관찰법은 상당히 정확한 종횡비를 구할 수는 있지만, 많은 시간과 경비가 소요되며, 또한 극히 일부분의 미세균열에 대해서만 측정이 가능하기 때문에 현실적으로 거의 이용되고 있지 않다. 반면에 미세균열이 단히는 압력을 이용한 종횡비의 측정법은 아주 정확한 값을 구할 수는 없지만 비용이 저렴하고 짧은 시간에 측

Table 1. Young's modulus and Poisson's ratio of the granites in Korea

Sample	Properties	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio
Mungyeong-1		32.00	0.230
Mungyeong-2		63.00	0.250
Mungyeong-3		53.80	0.220
Namwon-1		44.20	0.290
Namwon-2		48.10	0.250
Namwon-3		42.90	0.230
Namwon-4		38.80	0.280
Namwon-5		36.90	0.300
Namwon-6		43.30	0.220
Namwon-7		44.60	0.290
Namwon-8		50.50	0.220
Namwon-9		39.60	0.250
Namwon-10		40.70	0.270
Namwon-11		43.90	0.210
Hamyang-1		36.40	0.200
Hamyang-2		39.00	0.230
Hamyang-3		29.60	0.220
Hamyang-4		28.10	0.230
Hamyang-5		33.90	0.250
Hamyang-6		37.00	0.200
Hamyang-7		34.90	0.220
Kanghwa		47.90	0.249
Yeosu		67.10	0.257
Hwangdung		39.90	0.278

정할 수 있기 때문에 많이 이용되고 있다.

암석에 정수압이 가해지면, 암석내의 모든 미세균열들은 닫히게 된다. Walsh(1965)는 정수압하에서 미세균열이 닫히는 압력과 종횡비 사이에는 $P = \pi E \alpha / 4(1 - \nu^2)$ 의 관계가 있음을 발표하였다. 여기서 P는 정수압, E는 암석의 영률, ν 는 포아송비이며 α 는 종횡비이다. Table 1과 같이 우리나라 대부분의 화강암의 영률은 40~68 GPa이고 포아송 비가 약 0.25이므로, 200 MPa 이하의 압력에서 닫히는 연구지역 화강암의 미세균열들은 종횡비가 $3.5 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$ 이하인 미세균열로 판단할 수 있다 (장보안 외, 1994).

지역별 DSA 해석

문경지역내 화강암류 석재의 미세균열의 발달 특성을 파악하기 위하여 연구지역 북동부인 노은리지역(N-1, N-2)과 남동부인 궁기리지역(G-1, G-2)의 화강암 채석장에서 각각 2개씩, 총 4개의 신선한 시료에 대하여 차분 변형률 분석을 실시하였으며, 각 시료에 대한 DSA 결과는 다음과 같다.

N-1

차분 변형률 곡선은 거의 모든 압력에서 음의 값을

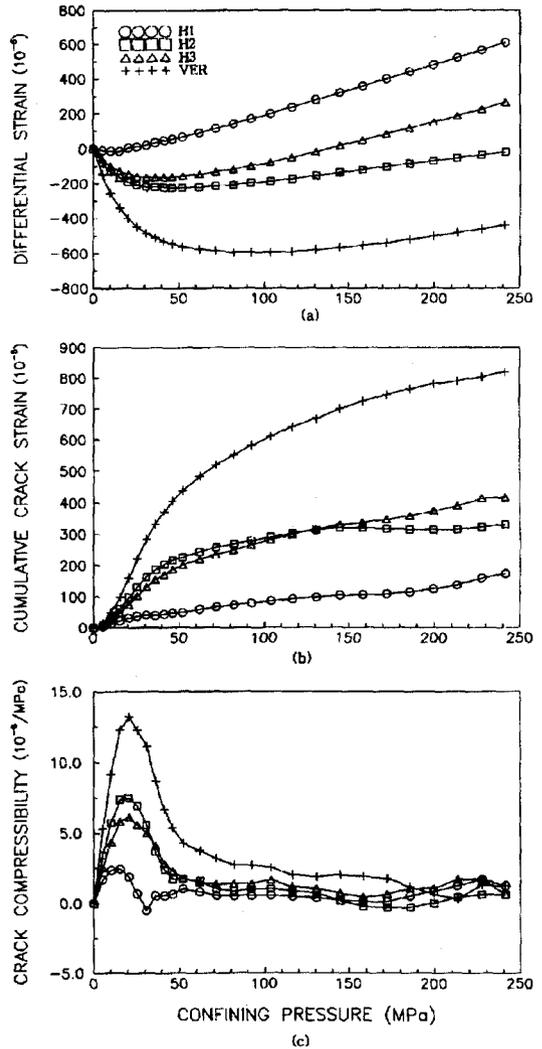


Fig. 3. Differential strain analysis for N-1 sample.

보여주어 시료의 압축율이 실리카 큐브의 압축율보다 크다는 것을 알 수 있다(Fig. 3a). 그러나 수평 방향의 H1은 15 MPa 이하의 압력에서 위로 오목한 형태를 보이다가 압력이 증가함에 따라 거의 직선의 형태를 보이고 있다. 이러한 곡선의 위로 오목한 형태는 암석내의 미세균열들이 닫히면서 발생한 변형율이 그 원인이고, 직선 형태의 구간은 미세균열들이 더 이상 닫히지 않는다는 것을 나타낸다. 각 방향의 곡선은 서로 다른 기울기를 보여 방향에 따른 압축율의 이방성을 보여준다. 누적 균열 변형율은 수직방향의 변형율의 경우에는 압력이 증가함에 따라 거의 직선의 형태로 증가하는 것으로 미루어

낮은 압력에서 닫히는 미세균열에서부터 아주 높은 압력에서 닫히는 미세균열들이 다양하게 분포하고 있음을 보인다(Fig. 3b). 수평방향의 변형율은 50 MPa까지는 조금 급한 기울기로 증가하다가 그 이상의 압력에서는 거의 수평의 기울기를 보여주어, 50 MPa 이상의 압력에서는 미세균열의 닫힘이 거의 없음을 알 수 있다. 또한 수직방향의 누적 균열 변형율이 가장 큰 값을 보여 횡방향과 평행한 미세균열이 가장 잘 발달해 있음을 지지하며, 이는 문경 지역 화강암류 석재의 "결" 방향(rift plane)과 일치하고 있음을 알 수 있다. 균열 압축률 곡선은 10~20 MPa 구간에서 최고치를 보인 후 감소하여 이 구간의 압력에서 닫히는 미세균열이 가장 많이 분포함을 나타낸다(Fig. 3c).

N-2

차분 변형률 곡선은 수평방향의 H2를 제외하고는 거의 모든 압력에서 음의 값을 보여주어 시료의 압축율이 실리카 큐브보다 큼을 알 수 있고, H2는 25 MPa 이상의 압력에서는 거의 직선관계를 나타내나 미세하게 위로 오목한 형태를 보여주고 있어 대부분의 미세균열이 25 MPa 이하의 압력에서 닫혔음을 지지한다(Fig. 4a). 누적 균열 변형율은 압력이 증가함에 따라 거의 직선의 형태로 증가하여 낮은 압력에서 닫히는 미세균열에서부터 아주 높은 압력에서 닫히는 미세균열들이 골고루 분포하고 있음을 보인다(Fig. 4b). 누적 균열 변형율은 방향에 따라 서로 다른 곡선을 보여 미세균열의 발달에 이방성이 있음을 보이고 있다. 또한 전체적으로 수직 방향의 누적 균열 변형율이 큰 값을 보여, 수평에 가까운 미세균열이 잘 발달되어 있음을 지지하며, 이는 이 지역 화강암류 석재의 "결"이 수평방향이라는 것을 나타낸다. 균열 압축률 곡선은 15~30 MPa 구간에서 $1.6 \times 10^{-6}/\text{MPa} \sim 4 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ 의 최고치를 보여 이 구간의 압력에서 닫히는 미세균열이 빈도가 가장 높은 것을 알 수 있다(Fig. 4c). 압력이 증가함에 따라 점차 감소 경향을 보이나 여전히 $0.5 \sim 2 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ 의 값을 보여 240 MPa의 압력에서도 미세균열의 닫힘이 완료되지 않았음을 알 수 있다.

G-1

차분 변형률 곡선은 약 80 MPa까지는 위로 오목한 형태를 보이다가 압력이 증가함에 따라 거의 직

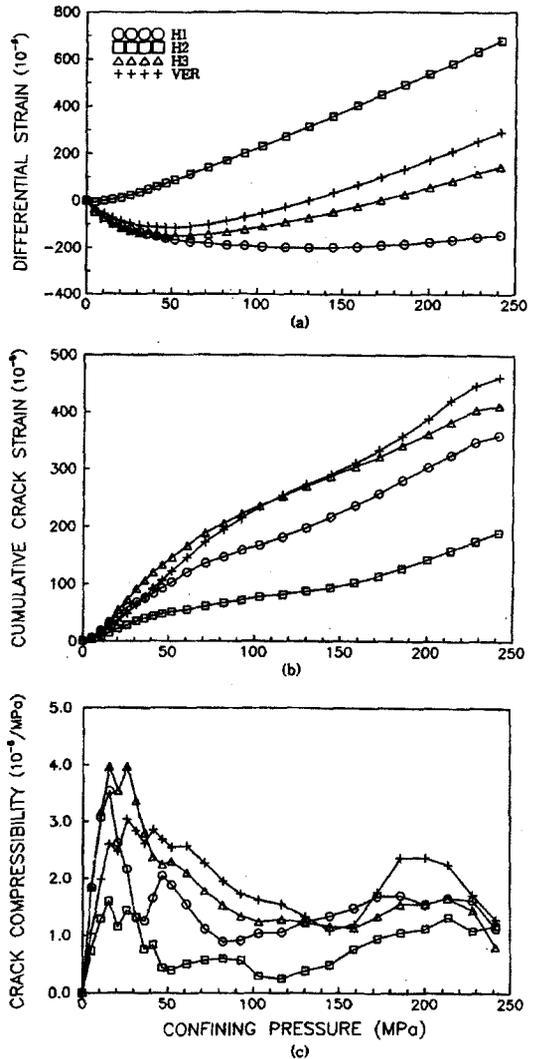


Fig. 4. Differential strain analysis for N-2 sample.

선의 형태를 보여 대부분의 미세균열이 80 MPa 이하에서 닫혔음을 지지한다(Fig. 5a). 누적 균열 변형율은 50~100 MPa까지는 급한 기울기로 증가하지만 그 이상의 압력에서는 기울기가 점차 완만해지고, 방향에 따라 서로 다른 곡선을 보여 미세균열의 발달에 이방성이 있음을 나타내고 있다(Fig. 5b). 240 MPa의 압력에서 수직방향의 누적 균열 변형율은 836×10^{-6} 의 균열 변형율을 보여 수평방향에 비해 훨씬 많은 미세균열이 분포하고 있음을 알 수 있다. 균열 압축률 곡선은 15~35 MPa 구간에서 $4.1 \times 10^{-6} \sim 11.6 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ 의 최고치를 보여 이 구간의 압력에서 닫히는 미세균열의 빈도가 가

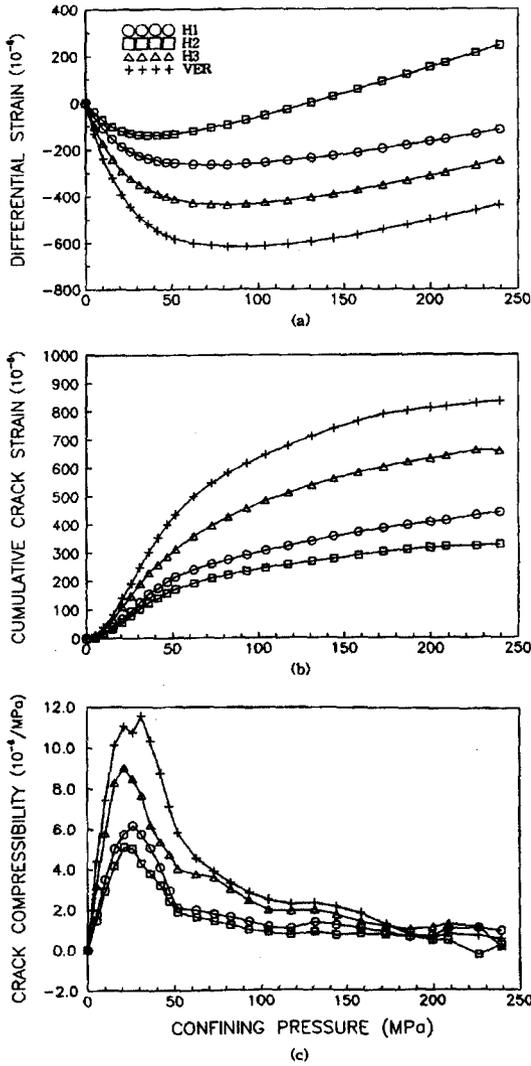


Fig. 5. Differential strain analysis for G-1 sample.

장 높은 것을 알 수 있다(Fig. 5c). 압력이 증가함에 따라 감소경향을 보이면서 약간의 요철을 보이나 약 150 MPa 이상의 압력에서는 거의 "0"에 가까운 변형율을 보여주어, 대부분의 미세균열이 150 MPa 이하의 압력에서 닫히고 있음을 알 수 있다.

G-2

차분 변형율은 모든 방향으로 전 압력 구간에서 음의 값을 보여주어 시료의 압축율이 실리카큐브의 압축율보다 크다는 것을 알 수 있다(Fig. 6a). 약

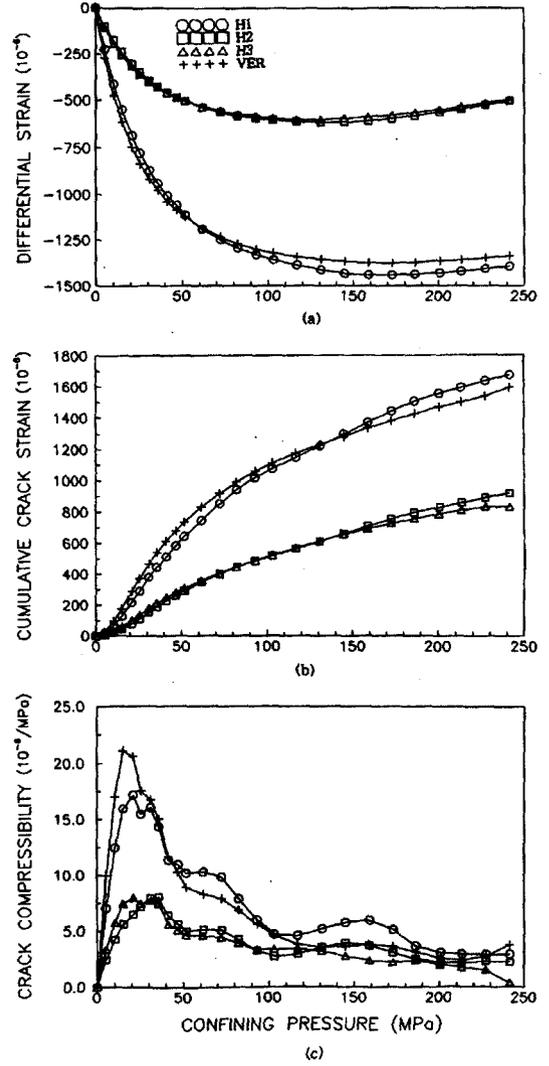


Fig. 6. Differential strain analysis for G-2 sample.

150 MPa 이상의 압력에서는 거의 직선의 관계를 나타내나 미세하게 위로 오목한 형태를 보여 대부분의 미세균열이 150 MPa 이하의 압력에서 닫혔음을 지지한다. 수평방향의 H1과 수직방향의 차분변형율은 서로 압축율이 달라 변형을 곡선이 약 60 MPa에서 교차한다. 누적 균열 변형율은 약 50 MPa까지는 매우 급한 기울기로 증가하지만 50 MPa 이상에서는 기울기가 완만해지다가 약 150 MPa 이상의 압력에서는 기울기가 더욱 완만하여 거의 일정한 기울기를 보이고 있다(Fig. 6b). 이는 50 MPa 이하의 매우 낮은 압력에 닫히는 미세균열들이 가장 많이 발달해 있으며, 높은 압력하에서 닫

히는 미세균열도 발달해 있음을 나타낸다. 각 방향의 균열 변형율은 매우 큰 편차를 보여주고 있어 미세균열의 발달에 이방성을 보임을 알 수 있다. 240 MPa의 압력에서 발생한 균열 변형율은 $833 \times 10^{-6} \sim 1,592 \times 10^{-6}$ 까지로 상당히 많은 미세균열이 암석 내에 발달해 있다. 전체적으로 수직의 누적 균열 변형율이 가장 큰 값을 보여 이 구간의 압력에서 달히는 미세균열의 빈도가 가장 높은 것을 알 수 있다 (Fig. 6c). 압력이 증가함에 따라 감소 경향을 보이다가 약 150 MPa 이상의 압력에서 달히는 미세균열의 발달은 미약함을 알 수 있다.

토 의

미세균열은 전체적으로 수직의 누적 균열 변형율이 가장 큰 값을 보여 수평에 가까운 미세균열이 가장 많이 발달되어 있으며, 이는 문경지역 화강암류 석재의 “결” 방향인 수평방향과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 240 MPa의 압력에서 발생한 균열 변형율은 각각 N-1: $174 \times 10^{-6} \sim 820 \times 10^{-6}$, N-2: $190 \times 10^{-6} \sim 460 \times 10^{-6}$, G-1: $329 \times 10^{-6} \sim 836 \times 10^{-6}$, G-2: $833 \times 10^{-6} \sim 1,592 \times 10^{-6}$ 의 균열 변형율을 보여 궁기리지역 석재가 노은리 지역의 석재에 비해 더 많은 미세균열이 발달해 있는 것으로 해석된다. 연구지역의 화강암은 각 방향의 균열 변형율에 있어서 매우 큰 편차를 보여주고 있어 미세균열의 발달에 이방성을 보임을 알 수 있다. 화강암의 미세균열 발달의 이방성에 대해서 이상은과 박홍민 (1993)은 미세균열의 선택적 배향성이 뚜렷한 “결”의 방향과 이에 직교하는 다른 “결”의 방향에서의 탄성과 전파 속도(V_p)와 압열인장강도(σ_c)를 측정, 비교하여 이방성을 확인하였으며, V_p 와 σ_c 의 상관성은 매우 밀접하다고 보고하였다.

Fig. 7은 미세균열의 방향성과 최대, 최소 균열 변형율과의 관계를 보여주는 그림으로, 화강암내의 미세균열이 Fig. 7과 같이 분포한다면 많은 미세균열이 배열한 방향에 직각인 수평방향으로 최대의 균열 변형율이 발생하고, 평행한 수직방향으로는 최소의 균열 변형율이 발생한다. 만약 미세균열이 일정한 방향으로 배열되어 있으면 최대 균열 변형율과 최소 균열 변형율의 비는 큰 값을 보이지만, 미세균열이 임의의 방향으로 배열되어 있으면 그 비는 낮은 값을 보일 것이다.

연구지역 화강암의 “결”과 미세균열의 방향성을 측정하기 위하여 최대 균열 변형율과 최소 균열 변형율의 비($\epsilon_{crack(max)}/\epsilon_{crack(min)}$)를 구하였다(Table 2).

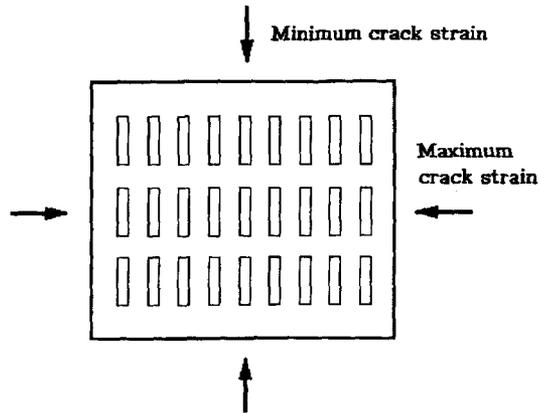


Fig. 7. Schematic diagram representing the relationship between the orientation of microcracks and orientations of the maximum and the minimum crack strains.

그 비는 각각 N-1: 3.43, N-2: 3.16, G-1: 2.42, G-2: 3.34로 나타나 전반적으로 문경지역의 화강암류 석재가 “결”을 따라 미세균열이 많이 발달되어 있음을 알 수 있다. 이 값은 장보안 외(1994)에 의해 보고되었던 황등석: 1.62, 여수석: 1.35, 강화석: 1.50에 비해 높은 값으로, 이는 문경지역의 조립질 화강암류 석재에 발달되어 있는 미세균열은 대부분이 일정한 방향성을 보이는 입자내 균열로, 황등석, 여수석 및 강화석 등의 세립 내지 중립질 석재에 비해 “결”의 발달이 더 양호함을 나타낸다. 장보안외 (1994)는 화강암류 암석의 DSA 연구에서 석재의 “결”의 방향과 미세균열의 방향성을 비교하기 위하여 석공이 “결”의 방향을 표시한 시료에 DSA를 실시하여 미세균열의 방향성을 측정하였다. 그 결과 미세균열에 의한 최소 균열 변형율의 방향은 석공이 기재한 “결”의 방향과 약 3°의 차이를 보이고 있어, “결”의 방향과 미세균열의 방향성이 거의 일치한다고 보고하였다. 이런 연구결과는 금번 연구지역 화강암의 “결” 방향과 미세균열의 방향성에 대한 DSA 분석 결과와 잘 일치하는 것으로서, 이는 화강암 석재의 “결”에 대한 연구시 새로운 기법으

Table 2. The ratio of a maximum crack strain to a minimum crack strain

Sample	$\epsilon_{crack(max)}/\epsilon_{crack(min)}$	Sample	$\epsilon_{crack(max)}/\epsilon_{crack(min)}$
N-1	3.43	KH*	1.50
N-2	3.16	YS*	1.35
G-1	2.42	HD*	1.62
G-2	3.34		

*: 장보안외(1994), KH: Kanghwa granite, YS: Yeosu granite, HD: Hwangdeong granite.

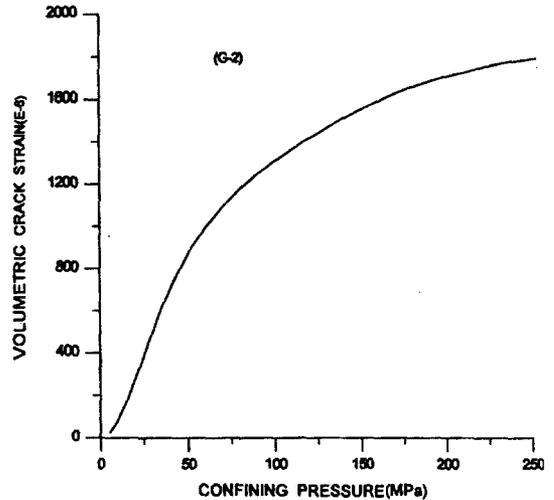
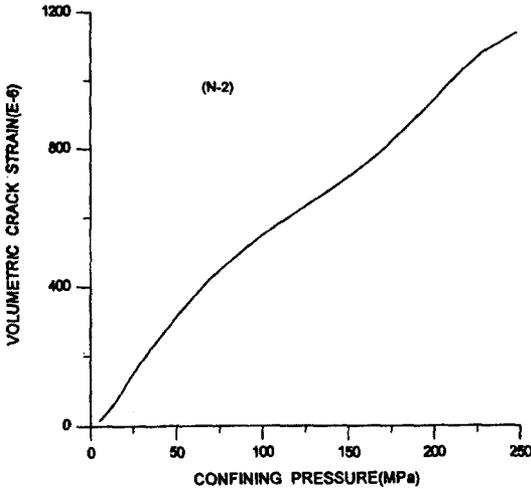
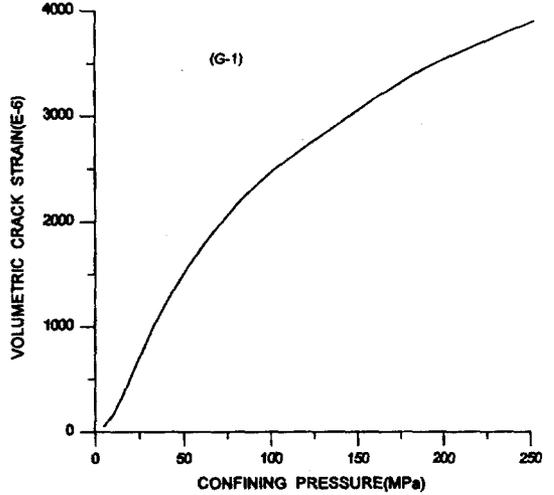
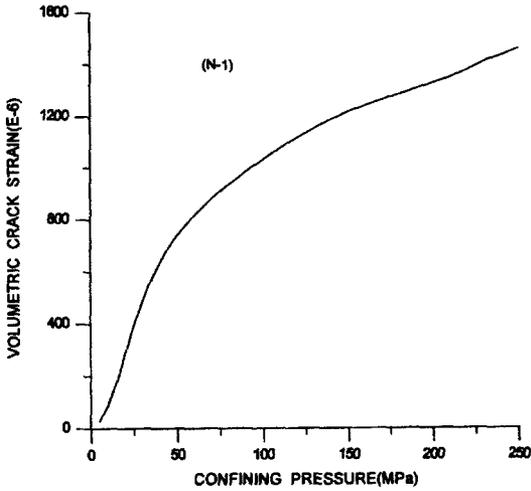


Fig. 8. Cumulative volumetric crack strains measured in samples from Noeunri area.

Fig. 9. Cumulative volumetric crack strains measured in samples from Gungiri area.

로 DSA 방법이 적용될 수 있음을 시사하며, 채석시 정확한 “결” 방향을 파악하여 경제적인 채석을 하는데 활용될 수 있다.

또한 DSA를 이용하여 각각의 석재에 분포하는 체적 균열 변형율의 누적 곡선(cumulative volumetric crack strain)을 작성하였다(Fig. 8, Fig. 9). 체적 균열 변형율은 횡방향으로 부착한 로켓 게이지에 의해 구한 2방향의 주균열 변형율(principal crack strain)에 종방향의 균열 변형율을 합하여 구하였다. Fig. 8과 9에서 체적 균열 변형율 누적 곡선의 형태는 거의 직선 내지는 직선에 가까운 곡선의 형태로서, 이는 연구지역의 석재가 10^{-4} ~ 10^{-3} 의

종횡비를 가지는 미세균열들이 고르게 분포하고 있는 것으로 해석된다. 250 MPa의 압력에서 체적 균열 변형율은 궁기리지역 석재가 $1,804 \times 10^{-6}$ ~ $3,936 \times 10^{-6}$, 노은리 지역의 석재가 $1,125 \times 10^{-6}$ ~ $1,457 \times 10^{-6}$ 으로서 전자가 후자에 비해 훨씬 많은 미세균열들이 분포하고 있으며 “결”의 발달상태가 더 양호한 것으로 나타난다.

결론

문경지역 화강암류 석재를 대상으로 석재내에 발달하고 있는 미세균열의 발달특성을 규명하기 위하

여 DSA를 이용하여 해석하였다. 이에 분석된 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 미세균열 발달은 수직의 누적 균열 변형율이 가장 큰 값을 보여 수평에 가까운 미세균열이 가장 많이 발달되어 있고, 이는 대부분의 미세균열 발달 시 우세 방향성은 문경지역 화강암류 석재의 "결" 방향과 잘 일치된다.

2. 최대 균열 변형율과 최소 균열 변형율의 비는 2.42~3.43으로 비교적 높은 값을 보여, 대체로 "결"을 따라 미세균열이 많이 발달되어 있음을 알 수 있고, 연구지역내 미세균열은 대부분이 일정한 방향성을 보이는 입자내 균열로 해석된다.

3. 연구지역의 화강암은 각 방향의 균열 변형율에 있어서 매우 큰 편차를 보여주고 있어 미세균열의 발달에 이방성을 보임을 알 수 있다.

4. 체적 균열 변형율 누적 곡선의 형태는 거의 직선 내지는 직선에 가까운 곡선의 형태로서, 연구지역의 석재가 10^{-4} ~ 10^{-3} 의 중횡비를 가지는 미세균열들이 고르게 분포하고 있는 것으로 해석된다. 또한 250 MPa의 압력에서 궁기리지역 석재가 1.804×10^{-6} ~ 3.936×10^{-6} , 노은리 지역의 석재가 1.125×10^{-6} ~ 1.457×10^{-6} 으로서, 궁기리 지역 석재가 노은리 지역 석재에 비해 훨씬 높은 값을 가지는데, 이로써 전자가 후자에 비해 더 많은 미세균열들이 분포되어 있고, "결"의 발달상태가 더 양호한 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 과학기술부 특정연구과제의 일환으로 이루어졌으며 연구비를 지원해주신 관계기관에 감사드린다. 아울러서 논문심사를 맡아 주신 심사위원께도 감사드린다.

참고문헌

윤현수, 김선익, 1990, 문경 남부일대에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학 및 암석화학. 암석학회지, 23, 343-352.
 이상은, 박홍민, 1993, 화강암 채석장에 있어서 화강암의 "결"의 방향성과 이방성. 한국자원공학회지, 30, 463-468.
 장보안, 최인선, 김재동, 1994, 피로하중에 의한 화강암류 암석의 미세균열 발달 특성. 지질학회지, 30, 613-631.
 진명식, 주승환, 지세정, 김성재, 신성천, 1991, 동위원소 지질 연구. KR-91-1D-2, 35p.

Batzle, M. L., Simmons, G. and Siegfried, R. W., 1980, Microcrack closure in rocks under stress: Direct observation. Jour. Geophy. Res., 85, 7072-7090.
 Bonin, B., 1986, Ring complex granites and anorogenic magmatism. North Oxford Academic, 189p.
 Bowels, O., 1934, The stone industries. McGraw-Hill. Inc., 498p.
 Carlson, S. R. and Wang, H. F., 1986, Microcrack porosity and in situ stress in Illinois borehole UPH-3. Jour. Geophy. Res., 91, 10421-10428.
 Horii, H. and Nemat-Nasser, S., 1985, Compression-induced microcrack growth in brittle solids: Axial splitting and shear failure. Jour. Geophy. Res., 90, 3105-3125.
 Hyndman, D. W., 1985, Petrology of igneous and metamorphic rocks. McGraw-Hill Book Co., 786p.
 Jang, B. A., 1989, Microcracks as stress indicator. Ph. D. thesis, University of Wisconsin-Madison, 235p.
 Kim, O. J., 1971, Study on the intrusion epochs of younger granite and their bearing orogenesis in South Korea. Jour. Kor. Mining Geol., 13, 91-100.
 Kowallis, B. J. and Wang, H. F., 1983, Microcrack study of granitic cores from Illinois deep borehole UPH-3. Jour. Geophy. Res., 88, 7373-7380.
 Lespinasse, M. and Pecher, A., 1986, Microfracturing and regional stress field: A study of the preferred orientations of fluid inclusion planes in a granite from the Massif Central, France. Jour. Struct. Geol., 8, 168-180.
 Plumb, R., Engelder, T. and Yale, D., 1984, Near-surface in situ stress: 3. Correlation with microcrack fabric within the Hampshire granites. Jour. Geophy. Res., 89, 9250-9364.
 Segal, P., 1984, Formation and growth of extensional fracture sets. Geol. Soc. Am. Bull., 95, 454-462.
 Siegfried, R. and Simmons, G., 1978, characterization of oriented cracks with differential strain analysis. Jour. Struct. Geol., 83, 1269-1277.
 Simmons, G., Siegfried, R. and Feves, M., 1974, Differential strain analysis: A new method of examining cracks in rocks. Jour. Geophy. Res., 79, 4383-4385.
 Strickland, F. G. and Ren, N. K., 1981, Use of differential strain curve analysis in predicted in situ stress state of deep wells, in D.A. Summer, ed., Rock Mechanics, The state of the Art: Proceedings of 21st Rock Mechanics Symposium, 523-532.
 Walsh, 1965, The effect of cracks on compressibility of rock. Jour. Geophy. Res., 71, 2591-2500.

(책임편집 : 황상기)

(1998년 12월 18일 접수, 1999년 1월 25일 수리)

Characteristics of Microcrack Development in Granite of the Mungyeong area in Korea

Byeong-Dae Lee, Bo-An Jang*, Hyun-Soo Yun,
Han-Yeang Lee and Myung-Shik Jin

*Korea Institute of Geology, Mining and Materials
(30, Kajung-dong, Yusung-ku, Taejeon, Korea, 305-350)*

**Kangwon National University(Hyoja-dong, Chuncheon, Kangwon-do, Korea, 200-701)*

ABSTRACT: Differential Strain Analysis (DSA) was performed to examine the characteristics of microcracks for the granites from two sites, Noeunri and Gunggiri. The results of the DSA are taken every 5 MPa for the first 50 MPa, then every 10 MPa to a pressure of 100 MPa, and then every 15 MPa to a pressure of 250 MPa. Differential strain was measured on core samples in three horizontal directions, using 45° rosette strain gages, and one vertical direction. The gradients of cumulative crack strain curves in one vertical direction and three horizontal directions differed from one another, indicating anisotropic crack development in the sample. The magnitude of vertical cumulative crack strain was the highest, indicating that the microcracks from the studied rock are generally developed in horizontal direction. Under the pressure of 240 MPa, vertical cumulative crack strains for samples N-1, N-2, G-1, and G-2 were 74×10^{-6} ~ 820×10^{-6} , 190×10^{-6} ~ 460×10^{-6} , 329×10^{-6} ~ 836×10^{-6} , 833×10^{-6} ~ $1,592 \times 10^{-6}$, respectively. Under the pressure of 250 MPa, volumetric crack strains for Gunggiri and Noeunri ranged from $1,804 \times 10^{-6}$ to $3,930 \times 10^{-6}$ and from $1,125 \times 10^{-6}$ to $1,457 \times 10^{-6}$, respectively. Therefore, the amount of microcracks produced were more distributed in Gunggiri than Noeunri. The ratio of a maximum crack strain to a minimum crack strain was calculated to find the orientations between microcracks and the rift plane of the granites. Generally, the ratio has very high values ranging from 2.42 to 3.43, which suggests most microcracks to be intragranular cracks with the regular orientations. These results indicate that the preferred orientations of microcracks in the granites were almost parallel to the rift plane of the granites.

Key words: Microcrack, Differential Strain Analysis, Rift plane, Cumulative crack strain, Volumetric crack strain.