

# 전남 고흥 일대 백악기 화강암류의 아문미세균열을 이용한 백악기 말-신생대 3기 초 고응력장

강성승<sup>1</sup> · 임철기<sup>2</sup> · 심혜민<sup>3</sup> · 윤재홍<sup>3</sup> · 김정빈<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>순천대학교 기초과학연구소, 540-742, 전라남도 순천시 매곡동 315

<sup>2</sup>순천팔마중학교, 540-853, 전라남도 순천시 해룡면 상삼리 385

<sup>3</sup>순천대학교 영재교육원, 540-742, 전라남도 순천시 매곡동 315

<sup>4</sup>순천대학교 과학교육과, 540-742, 전라남도 순천시 매곡동 315

## Late Cretaceous to Early Tertiary Paleostress from Healed Microcracks of Cretaceous Granites in Goheung Area, Jeonnam

Seong-Seung Kang<sup>1</sup>, Chel-gi Lim<sup>2</sup>, Hye-Min Sim<sup>3</sup>,  
Jae-Hong Yoon<sup>3</sup>, and Cheong-Bin Kim<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Basic Sciences, Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

<sup>2</sup>Suncheon Palma Middle School, Jeonnam 540-853, Korea

<sup>3</sup>Science Education Institute for the Gifted, Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

<sup>4</sup>Department of Science Education, Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

**Abstract:** Late Cretaceous to early Tertiary paleostress was evaluated by analyzing the healed microcracks in the Cretaceous granite of the Goheung area, south Korea. Healed microcracks in five granite samples (GH-1, GH-3, GH-4, GH-5, GH-8) were investigated and measured according to direction. The directions of maximum horizontal principal stress in GH-1, GH-3, and GH-4 are dominantly N60°W and N70°E, N20°W and N50°W, while minor directions are N-S and N30°E. In GH-5 and GH-8, N40°E and N10°E are the most dominant directions, while N40°W is the minor direction. Thus overall, the most dominant directions of healed microcracks in the study area are oriented N60°W, while minor directions are oriented N20°W, N20°E and N70°E, essentially NE. Combining the paleostress results of this study with other studies, the direction of the maximum horizontal principal stress in the study area during the late Cretaceous to the early Tertiary should perhaps be changed WNW to NE. The reason for this is thought to be the complex tectonic movements which occurred in northeast Asia at that time.

**Keywords:** Goheung, Cretaceous, healed microcrack, paleostress, maximum horizontal principal stress

**요약:** 고흥지역 일대에 분포하는 백악기 화강암을 대상으로 석영내에 발달해 있는 아문미세균열을 측정하여 연구지역의 고응력장을 분석하였다. 5개의 시료(GH-1, GH-3, GH-4, GH-5, GH-8)에서 아문미세균열들의 방향을 측정하여 분석한 결과, GH-1, GH-3, GH-4에서 최대수평주응력은 N60°W와 N70°E, N20°W, N50°W의 방향성이 가장 우세하였으며, N-S와 N30°E의 방향성도 미약하게 나타났다. GH-5와 GH-8시료에서는 최대수평주응력의 방향 N40°E와 N10°E가 가장 우세하였고, N40°W의 방향성도 미약하게 나타났다. 전체적인 최대수평주응력의 방향은 N60°W가 가장 우세하였으며, N20°W, N20°E, N70°E 등의 방향성도 미약하게 나타났다. 이 연구의 결과와 기존의 고응력장에 관한 연구결과를 종합해 볼 때, 백악기 말에서 신생대 3기 초 사이 연구지역에 작용한 최대수평주응력의 방향은 WNW에서 NE로 변화했을 것으로 판단되며, 그 원인으로는 그 당시 동북아시아 일대에 일어났던 복잡한 지구조운동에 기인한 것으로 사료된다.

**주요어:** 고흥, 백악기, 아문미세균열, 고응력장, 최대수평주응력

\*Corresponding author: cbkim@sunchon.ac.kr

Tel: 82-61-750-3393

Fax: 82-61-750-3308

## 서론

화성암이나 변성암의 결정질 암석 내 석영 입자에서 흔하게 관찰되는 미세균열(microcrack)은 응력, 열, 충격 등과 같은 다양한 원인에 의하여 생성되며 (Simmons and Richter, 1976; Kranz, 1983), 일반적으로 암석이나 광물에 작용하는 응력이 인장강도보다 클 때 생성된다(Plumb et al., 1984; Pêcher et al., 1985; Kowallis et al., 1987; Ren et al., 1989). 특히, 화강암 내의 석영이나 장석 입자에서 2차적인 유체 포유물(secondary fluid inclusion)로 이루어진 면으로 관찰되는 아문미세균열(healed microcrack)은 대부분 인장응력(tensile stress)에 의한 Mode I 형태로써 입자 경계를 따라 발달하는 입자경계 균열(boundary crack), 한 입자 내에서 존재하는 입자내 균열(intragranular crack), 그리고 둘 이상의 입자를 관통하는 입자관통 균열(intergranular crack 또는 transgranular crack)로 나눌 수 있으며 거의 수직의 경사를 보인다(Simmons and Richter, 1976; Kranz, 1983; Pêcher et al., 1985; Kowallis et al., 1987; Jang et al., 1989). 아문미세균열은 미소한 수압과쇄에 의한 균열(Knapp and Knight, 1977), 차응력하에서 암체에 발생한 열응력에 의한 균열(Norton, 1982), 석영과 장석의 열팽창율과 압축율의 차이로 발생한 응력에 의한 균열(Plumb et al., 1984), 단층의 생성이나 움직임으로 발생한 응력에 의한 균열(Pêcher et al., 1985) 등 다양한 원인에 의하여 생성된 열린미세균열(open microcrack)은 열수의 확산작용(diffusion)에 의해 지질학적으로 매우 짧은 기간에 아물게 되어 생성됨을 실험으로 입증되었다(Brantley et al., 1990). 이 때 생성된 아문미세균열의 방향성은 암체에 작용한 최대 주응력의 방향과 일치하며, 이러한 아문미세균열의 방향성과 응력장의 관계는 고응력장 연구에 많이 이용되었다(Pêcher et al., 1985; Lespinasse and Pêcher, 1986; Kowallis et al., 1987; Jang et al., 1989; Ren et al., 1989; Takeshita, 1995; Boullier, 1999; 정해식과 장보안, 2004; 장보안과 정해식, 2005).

Pêcher et al.(1985)와 Lespinasse and Pêcher (1986)는 프랑스 서북 Massif Central에 분포하는 화강암 내 아문미세균열을 측정된 결과 그 지역에 3번의 변형 작용이 있었으며, 아문미세균열의 방향성은 생성 당시에 작용한 최대 주응력의 방향과 일치함을 보였다. Carlson and Wang(1986)과 Kowallis et al.

(1987)은 미국 Illinois 화강암의 시추코어의 아문미세균열 방향성을 측정된 결과를 수압과쇄법으로 결정된 현재 응력장의 방향성과 비교한 결과 고응력장이 현재 응력장과 90° 차이가 남을 발표하였다. Laubach (1989)는 미국의 East Texas Basin에 분포하는 사암 내의 아문미세균열의 방향성이 최대 수평주응력의 방향과 일치함을 보였다. Jang(1992)은 수치해석을 이용하여 화강암체의 냉각에 의해 발생하는 열응력은 아문미세균열이 생성되기에 충분하며 그 때 생성된 아문미세균열의 방향성은 최대 수평주응력의 방향과 일치함을 보였다. 장보안과 김정애(1996)는 인제, 제천, 월악산, 속리산 일대에 분포하는 화강암에 대한 아문미세균열의 방향성을 측정하여 주라기 중기에서 백악기 초기에 작용한 주응력의 방향이 NW-SE임을 밝혔다. 정해식과 장보안(2004)은 소백산 육괴 동북부 영주 화강암에 대한 아문미세균열의 방향성 연구로부터 중생대 주라기 한반도에 작용한 고응력장을 살펴본 결과, 주라기 중기에는 NW-SE 방향의 최대 수평주응력이 작용하였고 국부적으로 NE-SW 방향의 주응력이 작용하였다고 보고하였다.

본 연구에서는 고홍일대에 분포한 중생대 백악기 화강암을 대상으로 화강암체가 형성된 이후 지구조적 운동에 의해 발달한 석영내 아문미세균열의 방향성을 관찰하고 측정하여 연구지역에 작용한 고응력장의 방향을 규명하였다.

## 연구 방법

시료는 총 9개로 풍화되지 않은 신선한 노두를 선택하여 화강암체의 응력 특성이 충분히 반영되도록 암체 전체에 걸쳐 골고루 채취되었다(Fig. 1). 시료채취는 시료를 노두에서 채취하기 전 서로 평행하지 않은 두 면에 대해 주향과 경사를 측정하여 시료의 방향을 노두에서의 방향과 일치시키는 정향시료채취법을 이용하였다(Fig. 2a). 대부분의 아문미세균열들은 거의 수직의 경사를 보이므로(Kowallis et al., 1987; Jang et al., 1989) 수평박편만을 제작하였다. 박편의 두께는 아문미세균열의 면을 용이하게 관찰하기 위하여 0.1~0.2 mm 정도의 두께로 제작하였다. 아문미세균열의 방향성 측정은 4축 만능 재물대(4-axis universal stage)와 미세 눈금자(micro-ocular)가 장착된 편광현미경을 이용하여 아문미세균열의 주향과 경사를 측정하고 그 특징을 기재하였다. 측정된

방향은 10° 간격의 백분율로 나타내어 로즈다이아그램으로 표현하였다.

### 지질개요

연구지역은 Fig. 1에서 보이듯이 영남육괴 서남부에 위치하는 곳으로 지체구조로는 영남육괴 지리산지구의 서남부와 경상분지가 접하는 최남단 지역으로 시대와 산상이 다른 여러 화성암류가 분포한다(박영석 외, 1997). 이 지역의 지질은 선캠브리아기의 지리산편마암복합체에 속하는 변성퇴적암류와 반상변정질편마암을 기반으로 이를 부정합으로 덮는 경상계 퇴적암류와 화산암류 그리고 이들 암층을 관입하는 백악기말의 섬록암과 흑운모화강암으로 구성된다(조

석희, 2000). 변성퇴적암류는 연구지역의 서부에 해당하는 고흥군 풍양면과 도양읍지역에 널리 분포한다. 이 암석은 회색장석과 흑운모의 방향성 있는 배열로 엽리조직을 보이는 중립 내지 세립의 흑운모편암과 녹니석편암이 우세하며 소규모의 각섬석편암을 포함한다. 이 암석은 재결정화된 유색광물로 형성된 뚜렷한 엽리구조를 보이며 그 주향과 경사는 N20°-30°E와 50°-70°SE이다(조계복, 1998).

연구지역에서 반상변정질편마암은 변성퇴적암을 관입하는 조립질화강암질암으로 고흥군 도양읍, 도덕면, 두원면과 대서면 지역에서 널리 분포한다. 이 암석은 대서면 수문동과 두원면 대전리 부근에서 두원층에 의해 부정합으로 덮히며, 도덕면 신양리와 풍양면 매곡리 부근에서 안산암에 의해 관입된다. 본 암은 조

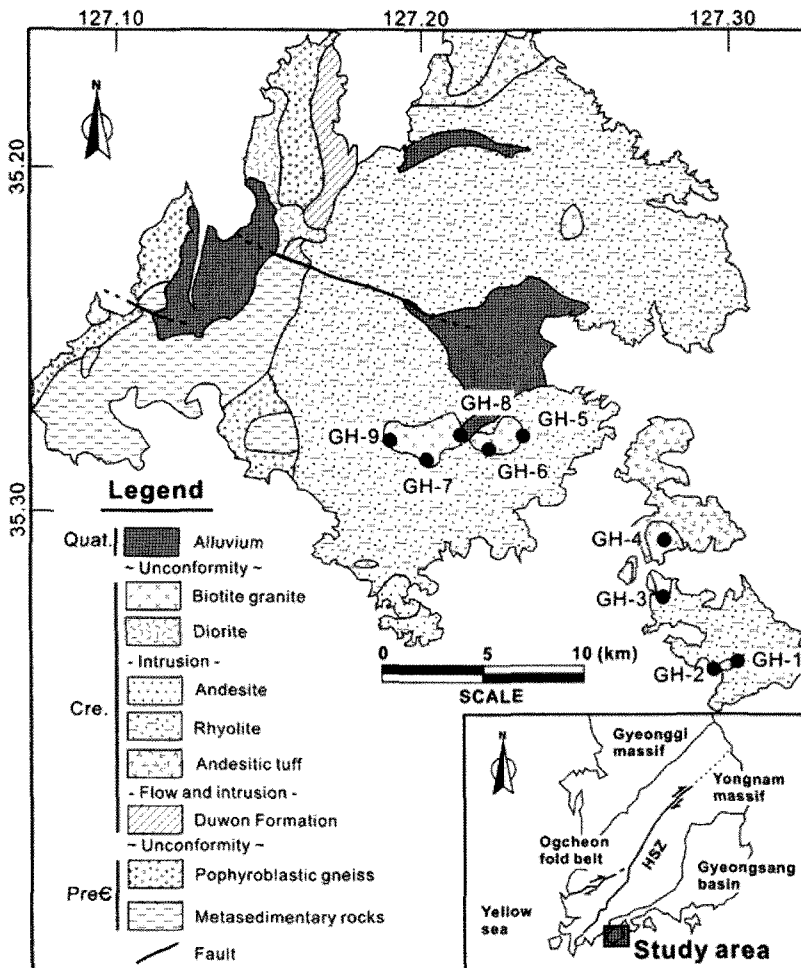


Fig. 1. Simplified geological map and sampling site of the study area (modified from Choi et al., 2002). HSZ: Honam Shear Zone.

사지역의 서남부지역에 속하는 고흥군 도양읍과 도덕면지역에서 비교적 균질한 조립질 화강암질상을 보이며 풍양면 풍남리 부근에서 암쇄작용의 영향으로 부분적으로 안구상편마암상을 보인다. 두원층은 연구지역의 서북부 지역에 해당하는 고흥군 대서면과 두원면지역에 널리 분포한다. 본 층의 하부는 규암, 화강암질편마암, 변성퇴적암 기원의 역으로 구성된 역암상이 우세하고 상부에는 사암과 식물화석을 포함하는 세일상이 우세하다. 역암층은 주로 최대 20 cm 직경의 원마도가 양호한 규암역으로 구성되며 세일층은 담회색을 띠며 층리가 발달되어 있다. 이 역암층은 약 3-4 m 두께의 층으로 층리가 발달하며 층 층후는 약 400 m이다(조석희, 2000). 안산암질응회암은 연구지역의 동남부에 속하는 고흥군 동일면과 포두면지역에 널리 분포한다. 본 암은 녹회색 또는 자갈색을 띠는 것은 대체로 라피리응회암에 속한다. 이들은 5-10 mm 내외의 암녹색과 담록색의 암편(lithic fragment)과 부석(pumice)을 다량 함유하기 때문에 기질 보다 암녹색이거나 담색이어서 다소 선명하게 관찰된다.

연구지역에서 유문암은 담회색에서 저색을 띠며 가장 넓은 분포를 보여주며, 반정으로 사장석, 각섬석 및 석영을 함유하며 석기는 미립 내지 은미정질 휘석, 녹니석, 유리질 및 얼마간의 불투명광물로 구성된다(윤성호, 1988). 안산암은 남쪽지역에 분포하며 암록색에서 회색을 띠고, 반자형에서 자형의 사장석과 휘석 반정을 함유한다. 또한 안산암은 도화면 구암리 부근에서 섬록암을 관입하고 포두면 봉림리 부근에서 흑운모화강암에 의해 관입된다. 본 암은 반정으로 사장석과 휘석 및 각섬석 등이 주로 함유되어 있고, 부성분광물로는 흑운모 및 불투명광물 등이 소량 함유되어 있다(박영석 외, 1997).

연구지역에서 섬록암은 남부지역에 해당하는 포두면 오취부락과 도화면 구암리. 뒷산 부근에서 직경 1-2 km의 작은 암주상 관입체로 출현하고 있다. 본 암은 암회색에서 흑색을 띠는 조립 내지 중립질 염기성 화성암으로 유색광물의 함량의 변화가 심하며 반려암에서 섬록암 및 화강섬록암까지 다양한 암상을 보인다(박영석 외, 1997). 흑운모화강암은 연구지역의 남부와 남동부지역에서 유문암과 안산암질응회암을 관입하는 암주상으로 분포하며 회색에서 담회색을 띠는 화강암으로 풍화면에서 담홍색을 띠나 신선한 부분에서는 담회색을 띤다. 이 암석은 중립내지 조립질 기질에 5 mm 이내의 알칼리장석 반정을 함유한다.

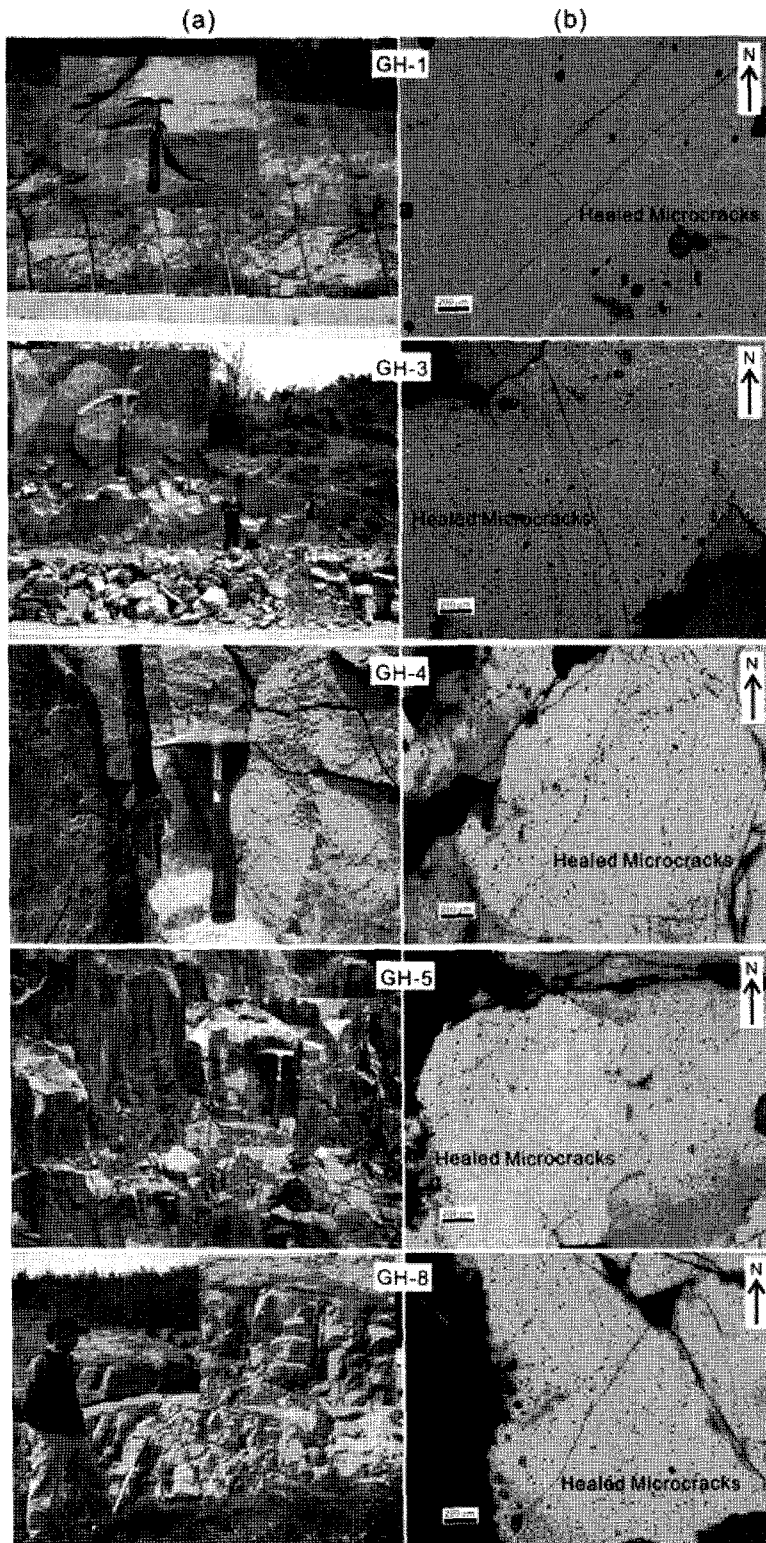
본 암의 주조성광물은 석영, 정장석, 사장석과 흑운모이며, 부조성광물은 인회석, 불투명광물과 저어콘이고 변질광물은 녹니석, 녹립석, 견운모 및 고능석으로 구성되어 있다(박영석 외, 1997).

## 연구 결과 및 고찰

연구지역인 고흥일대에 분포하는 5개의 화강암체에서 9개의 시료를 채취한 후 박편시료를 제작하여 아문미세균열을 관찰한 후 그 특징을 살펴보았다. 대부분의 아문미세균열들은 하나의 입자 내에서 미세균열이 형성된 입자내 균열이었으며 입자관통 균열은 드물게 관찰되었다(Fig. 2b). 또한 아문미세균열들은 대부분 거의 수직의 경사를 가진 Mode I의 인장균열이었다. Fig. 3은 측정된 아문미세균열의 주향 방향에 따른 분포를 보여준다. 아문미세균열의 주향은 GH-1의 경우 N60°W, GH-3의 경우 N20°W, GH-4의 경우 N50°W에 집중되는 반면, GH-5의 경우 N40°E, GH-8의 경우 N40°E 방향에 집중됨을 알 수 있다. Fig. 3의 결과에 대한 아문미세균열의 방향을 10° 간격의 로즈다이어그램으로 나타낸 각 지점별 최대수평주응력의 방향은 Fig. 4에서 보여준다. 각 시료에 대한 최대수평주응력의 방향성을 살펴보면, GH-1에서는 N60°W와 N70°E의 두 방향성이 우세하게 나타나며 N-S의 방향성도 미약하게 보인다. GH-3에서는 N20°W의 방향성이 가장 우세하게 나타난다. GH-4에서는 N50°W의 방향성이 가장 우세하게 나타나며 N30°E의 방향성도 미약하게 보인다. GH-5에서 우세하게 나타난 방향성은 N40°E이고 N40°W의 방향성은 미약하게 나타난다. GH-8에서는 N10°E의 방향성이 가장 우세하게 나타난다. 전체적인 최대수평주응력의 방향은 N60°W가 가장 우세하게 나타나며 N20°W, N20°E, N70°E 등의 방향도 미약하게 보여준다.

## 결론

영남육괴 지리산지구의 서남부와 경상분지가 접하는 최남단 지역으로서 고흥지역은 지체구조적인 측면에서 한반도와 동아시아에서 중생대 말기의 응력사를 해석하는데 큰 비중을 차지한다. 현재까지 이 지역에 대한 연구는 주로 암석학적 및 지화학적 특징에 관점을 두고 수행되어왔다(박영석 외, 1997; 박배영 외, 2004). 박영석 외(1997)에 따르면, 고흥지역에 분포하



**Fig. 2.** (a) Photographs of each sample collected from granite rock mass on the outcrop and (b) microphotographs of healed microcracks in quartz grains from GH-1, GH-3, GH-4, GH-5, and GH-8.

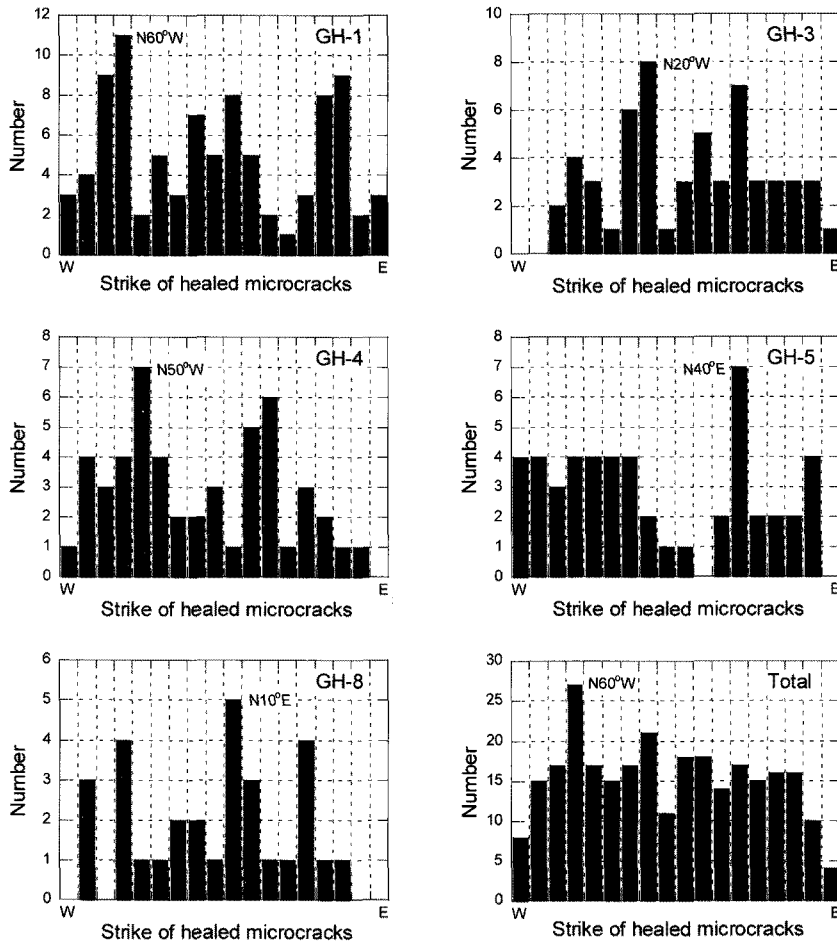


Fig. 3. Distribution of healed microcracks according to orientations of strike from GH-1, GH-3, GH-4, GH-5, GH-8 and total.

는 백악기 심성암류는 판구조운동과 관련이 있는 호상열도나 응력장이 작용하는 대륙주변부에서 형성되었음을 보고하였다. 박배영 외(2004)는 고흥지역의 화강암류는 대륙의 동시 충돌형과 후기 및 후조산대 영역에서 형성되었을 것으로 예상하였다. 이준동 외(1993)는 자기 비등방성을 이용하여 경상분지의 고응력장을 분석한 결과, 백악기 말에서 에오신 중기 사이에 WNW-ESE에서 NNE-SSW 방향으로 응력장이 변화하였음을 밝혔다. 박상욱(1994)은 양산단층 주변에 발달해 있는 화강암의 아문미세균열 연구로부터 89 Ma~50 Ma동안 NW-SE, NE-SW, WNW-ESE, E-W, NNE-SSW순의 압축응력이 작용했음을 주장하였다. 또한, 장보안과 정해식(2005)은 경상분지 남동부에 분포하는 마산 및 양산일대의 백악기 화강암류에 대한 아문미세균열의 방향성을 측정하여 백악기 말에서 신생대 제3기 초 이 지역에 작용한 응력장을 규명하

였는데, 백악기 말에 최대수평주응력은 WNW-ESE 방향이었으며 신생대 제3기초에 이르러 이 방향은 NE-SW 방향으로 회전하였으며, 회전 시기는 약 62 Ma일 것으로 보고하였다.

이상의 한반도 남부지역에서 수행한 기존의 고응력장 연구결과(이준동 외, 1993; 박상욱, 1994; 장보안과 정해식, 2005)와 이 연구에서 얻은 결과를 종합하여 비교해 보면 중생대 백악기 말 이후 연구지역뿐만 아니라 한반도 남부지역에 작용한 고응력사를 규명할 수 있다. Fig. 5는 이들에 대한 고응력장의 방향을 정리한 것이다. 검은 화살표는 고응력장의 주방향을 흰 화살표는 미약한 방향을 지시하며 점선은 고응력장의 작용시기를 나타낸다. 이 연구의 결과만으로 고응력장의 작용시기를 정확하게 예측할 수 없지만 Fig. 5에서 알 수 있듯이 백악기 말인 100 Ma~65 Ma동안 작용한 최대수평주응력의 방향은 WNW-

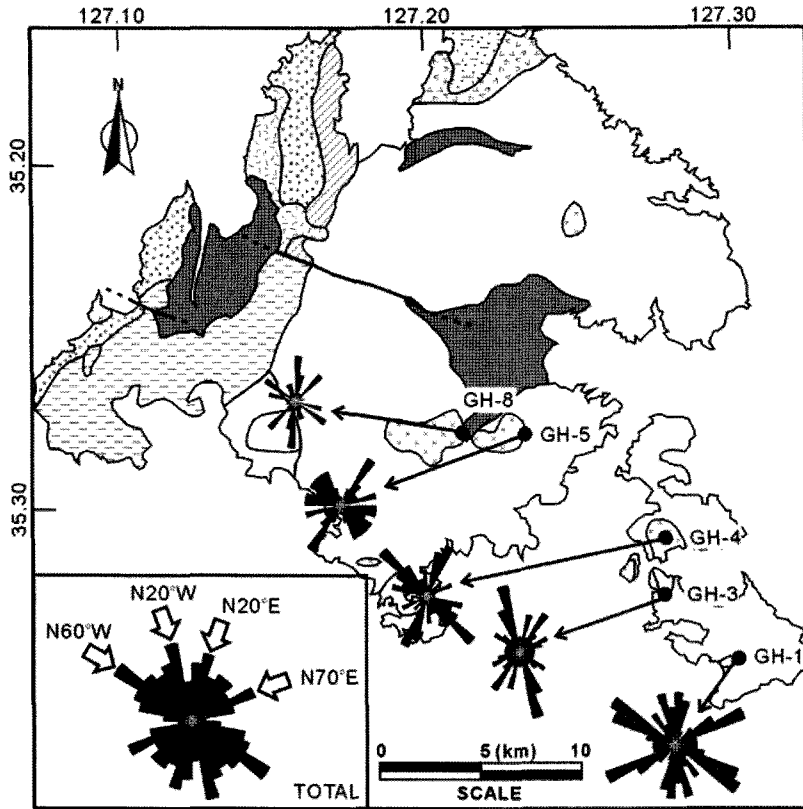


Fig. 4. Orientations of the maximum principal horizontal stress in the Goheung area.

Age (Ma)	Period	Direction of paleostress field				Overall direction
		Lee et al. (1993)	Park (1994)	Jang & Jeong (2005)	This study	
50	Tertiary	↘	↘	↘	↘	↘
100	Cretaceous	↘	↘	↘	↘	↘

Fig. 5. Directions of paleostress during the Cretaceous to the Early Tertiary obtained from this and other studies.

ESE이며, 이후 신생대 3기초에는 그 방향성이 NE-SW로 변화했음을 알 수 있다. 이에 대한 원인으로서는 백악기 말에 NNW-SSE 방향으로 북상한 Kula-Pacific 판의 경사섭입과 그 이후 신생대 3기초에 해령의 섭입으로 이 판이 WNW-ESE 방향으로 바뀌면

서 현재의 필리핀 해양판 밑으로 섭입하게 되고 동해가 확장하기 시작하는 등 당시 동북아시아 일대에 복잡한 지구조운동이 일어났으며(Chough and Barg, 1987), 그 결과가 백악기 말에서 신생대 3기 초 사이에 연구지역을 포함한 한반도 남부지역의 응력장에 변화를 일으켰을 가능성을 시사한다.

## 사 사

논문을 읽고 미비한 점들을 지적해 주신 부경대학교 김영석 교수와 경북대학교 김형수 교수 그리고 익명의 심사자에게 감사드린다. 이 연구는 한국학술진흥재단의 지역우수과학자 연구과제(KRF-2005-072-AS1006)와 순천대학교 영재교육원의 지원에 의해 수행되었다.

## 참고문헌

박상욱, 1994, 경상분지 남동부의 화강암체내에 발달한 미

- 세균열에 대한 연구. 강원대학교 석사학위논문, 79 p.
- 박배영, 신상은, 조계복, 2004, 전라남도 고흥 북북지역에 분포하는 편마암류의 변성작용에 관한 연구. 한국지구과학회지, 25, 443-473.
- 박영석, 김정빈, 윤정환, 안건상, 1997, 고흥지역에 분포하는 백악기 심성암류의 지질시대와 암석화학적 연구. 한국지구과학회지, 18, 70-83.
- 윤성효, 1988, 화산 환상화성암복합체의 발달사 및 콜드른 구조. 지질학회지, 24, 267-288.
- 이준동, 김인수, 윤선, 상기남, 김영화, 1993, 연양지역을 중심으로 한 양산단층에 관한 연구: 특히 파쇄작용과 자기 비등방성 고찰을 중심으로. 지질학회지, 29, 128-144.
- 장보안, 김정애, 1996, 월악산, 속리산 일대의 화강암체내에 분포하는 아문미세균열 및 유체포유물에 의한 증생대 백악기 고응력장. 지질학회지, 32, 291-301.
- 장보안, 정해식, 2005, 마산 및 양산 일대의 백악기 화강암류의 아문미세균열과 유체포유물 연구를 통한 백악기 및 신생대 고응력장 분석. 지질학회지, 41, 59-72.
- 정해식, 장보안, 2004, 소백산 육괴 동북부 영주 화강암 내의 아문미세균열 및 유체포유물을 이용한 증생대 고응력장 연구. 지질학회지, 40, 179-190.
- 조계복, 1998, 전남 승주-보성·별교-도양 일대의 변성암류의 변성작용에 대한 연구. 전남대학교 석사학위논문, 68 p.
- 조석희, 2000, 전남 고흥 북부 일대에 분포하는 백악기 퇴적분지의 소환경에 관한 연구. 전남대학교 박사학위논문, 159 p.
- 최범영, 황재하, 고희재, 이병주, 김정찬, 최현일, 기원서, 김유봉, 송교영, 최영섭, 2002, 1:250,000 목포·여수 도폭 지질보고서. 한국지질자원연구원, 1-45.
- Boullier, A.M., 1999, Fluid inclusions: tectonic indicators. *Journal of Structural Geology*, 21, 1229-1235.
- Brantley, S.L., Evans, B., Hickman, S.H., and Crerar, D.A., 1990, Healing in microcracks in quartz: Implications for fluid flow. *Geology*, 18, 136-139.
- Carlson, S.R. and Wang, H.F., 1986, Microcrack porosity and in situ stress in Illinois borehole UPH-3. *Journal of Geophysical Research*, 91, 10421-10428.
- Chough, S.K. and Barg, E., 1987, Tectonic history of Ullung basin margin, East Sea (Sea of Japan). *Geology*, 15, 45-48.
- Jang, B.A., 1992, Characteristics of healed microcracks in granite based on numerical modeling. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 28, 458-470.
- Jang, B.A., Wang, H.F., Ren, X., and Kowallis, B.J., 1989, Precambrian paleostress from microcracks and fluid inclusions in the Wolf River batholith of central Wisconsin. *Geological Society of America Bulletin*, 101, 1457-1464.
- Knapp, R.B. and Knight, J., 1977, Differential thermal expansion of pore fluids: Fracture propagation and micro-earthquake production in hot pluton environments. *Journal of Geophysical Research*, 82, 2515-2522.
- Kowallis, B.J., Wang H.F., and Jang B.A., 1987, Healed microcrack orientations in granite from Illinois borehole UPH-3 and their relationship to the rock's stress history. *Tectonophysics*, 135, 297-306.
- Kranz, R.L., 1983, Microcracks in rocks: A review. *Tectonophysics*, 100, 449-480.
- Laubach, S.E., 1989, Paleostress directions from the preferred orientation of fluid-inclusion planes (healed microfractures) in sandstone, East Texas basin, U.S.A. *Journal of Structural Geology*, 11, 603-611.
- Lespinasse, M. and Pêcher, 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. *Journal of Structural Geology*, 8, 169-180.
- Norton, D.L., 1982, Fluid and heat transport phenomena typical of copper-bearing pluton environments. In Titley, S.R. (ed.), *Advances in geology of the porphyry copper deposit*. University of Arizona Press, Tucson, USA, 560 p.
- Pêcher A., Lespinasse M., and Leroy J., 1985, Relations between fluid inclusion trails and regional stress field: A tool for fluid chronology - an example of an intragranitic uranium ore deposit (northwest Massif Central, France). *Lithos*, 18, 229-237.
- Plumb, R., Engelder, T., and Yale, D., 1984, Near-surface in situ stress: 3. Correlation with microcrack fabric within the New Hampshire granite. *Journal of Geophysical Research*, 89, 9350-9364.
- Ren, X., Kowallis, B.J., and Best, M.G., 1989, Paleostress history of the Basin and Range province in western Utah and eastern Nevada from healed microfracture orientations in granites. *Geology*, 17, 487-490.
- Simmons, G. and Richter, D., 1976, Microcracks in rocks. In Sterns, R.J.C. (ed.), *The Physics and Chemistry of Minerals and Rocks*. Wiley-Interscience, N.Y., USA, 105-137.
- Takeshita, T., 1995, Dynamic analysis of deformed quartz grains from the folded Middle Miocene Momonoki Subgroup of central Japan: Origin of healed microcracks. *Tectonophysics*, 245, 277-297.

2008년 2월 20일 접수

2008년 4월 1일 수정완료 접수

2008년 4월 28일 채택