

## 석영의 파동소광을 이용한 포천-기산리 일대의 화강암 변형의 정량화

정원석<sup>1</sup> · 윤현수<sup>2</sup> · 나기창<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 자연과학대학 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 지질연구부

### Quantification of Granite Deformation of Pocheon-Gisanri Area Using Wavy Extinction of Quartz Grain

Won Seok Cheong<sup>1</sup>, Hyun Soo Yun<sup>2</sup> and Ki Chang Na<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth & Environmental Sciences, College of natural Science, Chungbuk National University, 48 Gaesin-dong, Cheongju, Chungbuk, Korea, 361-763

<sup>2</sup>Geology Division, Korea institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Kajungdong Yuseongku, Daejeon, Korea, 305-350

**요약:** 석영의 파동소광은 암석의 변형도를 나타낼 수 있는 좋은 지표로서 사용할 수 있다. 암석의 변형도를 결정하기 위해 석영의 파동소광강도(IWE)를 편광현미경, 디지털 카메라, NIH Image 프로그램으로 측정하였다. 이러한 방법을 이용하여 흑운모화강암(Gb), 석류석흑운모화강암(Ggb) 그리고 복운모화강암(Gtm)으로 구성되어 있는 포천-기산리 일대의 주라기의 화강암류의 변형정도를 측정하였다. 본 연구에서는 크게 포천읍을 기준으로 서부에 분포하는 Gb와 동부에 분포하는 Ggb에서 파동소광의 강도 측정이 이루어 졌다. 측정 결과 Gb는 D2 이하의 낮은 변형도가 나타났고, Ggb는 D3이상의 고변형이 나타나, 전반적으로 조사지역의 북서부에서 남동부로 갈수록 변형도가 증가하는 양상을 보여주었다. 이는 1:250,000지질도에 기재된 Ggb상을 관통하는 단층에 의한 영향으로 사료된다.

**핵심어:** 파동소광강도, NIH Image, 흑운모화강암, 석류석흑운모화강암, 단층

**Abstract:** The wavy extinction of quartz can be used as a standard indicator showing the degree of rock deformation. To determine the degree of rock deformation, the intensity of wavy extinction (IWE) of quartz was measured using polarizing microscope, digital camera, and NIH Image program. This method was applied to the granite of Pocheon-Gisanri area, which are divided three type; biotite granite (Gb), garnet biotite granite (Ggb) and two mica granite (Gtm). In this study, measurement of wavy extinction was proceeded Ggb in eastern part and Gb in western part based on the Pocheoneup. The result was that Gb shows low deformation degree below D2, and Ggb represents high deformation degree above D3, generally showing that increasing deformation degree from northwest to southeast in the studied area. It is suggested that the fault which penetrated Ggb in 1/250,000 geological map affected the deformation degree of Ggb.

**Key words:** IWE, NIH Image, Gb, Ggb, Fault

### 서론

암석의 변형작용은 외부에서 작용하는 응력의 결과로써 암석을 구성하는 광물의 물리, 화학적인 변화를 거쳐 궁극적으로 암석의 구조적인 변화를 동반한다. 이

러한 암석의 변형작용은 작용하는 응력과 그에 반응하는 암석의 물리, 화학적인 조건에 따라 크게 연성 변형과 취성 변형으로 분류된다. 지하 깊은 곳의 비교적 높은 지압력과 높은 온도 조건에서 일어나는 변형작용의 경우에는 연성 변형작용을 수반하지만, 지하 얇은

곳의 환경에서의 암석은 취성 변형작용을 받아 단층각력암, 단층점토 등의 단층암으로 구성된 파쇄대가 형성된다(Engelder, 1974; Sibson, 1977; Nicolas, 1987; Passchier and Trouw, 1996).

암석이 변형작용을 받는 경우 암석내의 광물은 파쇄되거나 미킹크(microkink), 구조적 쌍정(mechanical twinning)이 형성되기도 하며, 압력에 의하여 물질이 이동하기도 하고, 또한 변형띠(deformation band), 재결정작용(recrystallization), 파동소광 등 변형작용이 발생한 깊이, 온도, 작용한 응력의 정도에 따라 여러 가지 미구조를 보여준다(Raymond, 1995). 특히 연성 변형작용의 경우 석영 입자는 결정격자내의 변형작용에 의해 파동소광을 잘 보여준다.

석영의 파동소광은 격자내의 변위(dislocation)에 기인한 것으로 이러한 변위가 결정 내에 고르게 분포하기 때문에 발생한다(Klein and Hurlbut, 1993; Passchier and Trouw, 1996; 田切·堀江, 1998). 결정 내에 고루 분포한 수많은 변위를 갖는 결정격자는 미약하지만 휘어서 일률적으로 소광하지 않게 된다(Passchier and Trouw, 1996). 따라서 석영의 파동소광의 정도는 암석변형의 지표로서 이용할 수 있다(田切·堀江, 1998).

포천-기산리 일대에 분포하는 화강암류는 서울-의정부-양구북부 일대에 걸쳐 북동방향으로 대규모 분포를 이루며 주변의 경기편마암 복합체를 관입한 대보화강암질 저반의 중부에 위치한다. 조사지역은 1/5만 도폭 상으로 포천(미발간)-기산리(미발간)일대에 걸쳐 넓게 분포하는 주라기 화강암류이며 조립, 등립 조직을 보

이는 흑운모 화강암을 주로 하는 암체로 암질이 균질하고 변형이 적어 석산개발이 활발히 진행되고 있는 지역이다. 이 지역은 야외 조사와 암석의 광물학적 차이에 의하여 흑운모화강암(이하 Gb로 표기), 석류석흑운모화강암(이하 Ggb로 표기) 그리고 복운모화강암(이하 Gtm로 표기)으로 분대된다(윤현수 외, 2002).

본 연구에서는 석영의 편광현미경화상의 흑백사진을 미국 보건국(NIH: National Institute of Health)에서 개발한 공개프로그램인 NIH Image를 이용하여(Rasband, 1994; BjØrnerud and Boyer, 1996), 석영의 파동소광강도(intensity of wavy extinction: 이하 IWE로 표기)와 암석의 변형도를 구한 방법(田切·堀江, 1998; 정원석 외, 2002a, 2002b)에 따라서 포천-기산리 일대에 분포하는 대보 화강암류 중 Gb와 Ggb의 변형도를 산출하여 이 지역에 가장 큰 영향을 준 변형요소를 찾으려 시도해보았다.

### 포천 기산리 일대의 지질

1/5만 지질도가 미발간 된 본 연구지역의 기존 조사(윤현수 외, 2002)에 의하면 포천-기산리 일대의 구성암은 선캠브리아기의 편마암류, 주라기의 대보 화강암, 백악기의 토날라이트와 산성-염기성 암맥류, 그리고 제4기의 충적층이다. 특히 화강암류는 1/25만 지질도폭에서 서울-의정부-동두천-포천-기산리로 이어지는 남북방향의 화강암질 저반의 북서부에 해당하며, 구성광물의 특성과 분포지역에 따라 서부-남서부의 Gb, 동부의 Ggb

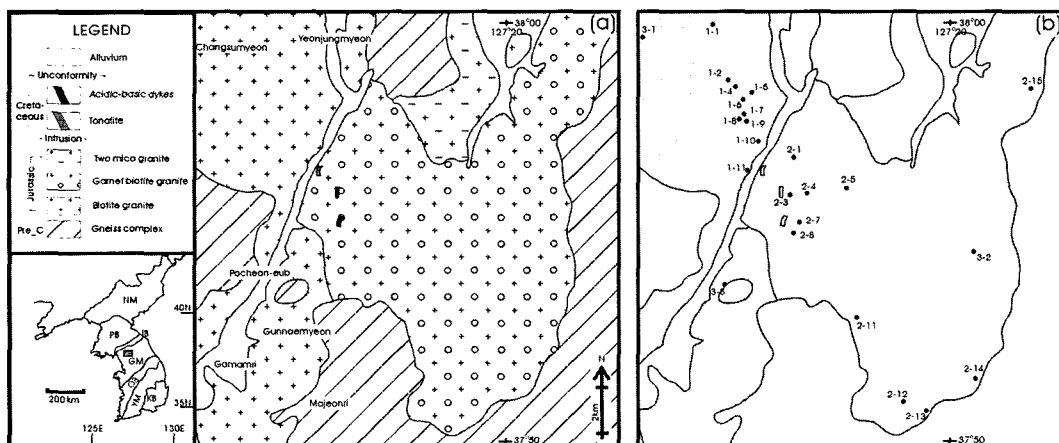


Fig. 1. The geological map and sampling sites of studied area. (a) geological map. NM: Nangrim Massif, PB: Pyeongan Basin, IB: Imjingang Belt, GM: Gyeonggi Massif, OB: Okcheon Belt, YM: Youngnam Massif, KB: Kyeongsang Basin. Gray rectangle in GM is study area. (b) The sampling localities on the simple geologic map. Gray color areas in this map are studied granite bodies.

Table 1. QAP Modes of the Jurassic granites in the study area

Sp.no	Rock type	Qz	Af	Pl	Sp.no	Rock type	Qz	Af	Pl
1-1	Gb	38.2	37.6	24.2	2-4	Ggb	42.0	29.9	28.1
1-2	Gb	45.6	26.4	28.0	2-5	Ggb	30.5	32.6	36.9
1-4	Gb	29.3	42.6	28.1	2-7	Ggb	52.5	24.9	22.6
1-5	Gb	44.2	25.7	30.1	2-8	Ggb	43.6	28.7	27.7
1-6	Gb	45.5	26.0	28.5	2-11	Ggb	34.4	32.2	33.4
1-7	Gb	44.3	28.0	27.7	2-12	Ggb	45.1	28.6	26.3
1-8	Gb	51.8	20.2	28.0	2-13	Ggb	58.5	18.6	22.9
1-9	Gb	54.7	19.0	26.3	2-14	Ggb	42.7	29.2	28.1
1-10	Gb	31.0	48.8	20.2	2-15	Ggb	50.3	27.6	22.1
1-11	Gb	39.3	36.5	24.2	3-1	Gb	37.1	37.7	25.2
2-1	Ggb	47.9	23.5	28.6	3-2	Gb	32.6	41.5	25.9
2-3	Ggb	35.4	30.4	34.2	3-3	Ggb	46.5	28.4	25.1

Qz: quartz, Af: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Gb: biotite granite, Ggb: garnet biotite granite.

그리고 Gtm으로 구분 할 수 있다. 이 중에서 전자의 들은 넓은 분포지역을 이루나 후자는 소규모로 분포한다(Fig 1).

편마암 복합체는 선캠브리아기의 편마암과 편암류로서 연구지역의 동부, 서부와 남부 일대에 분포한다. 구성암은 호상편마암, 안구상호상편마암, 화강암질 편마암, 반상변정 화강암질 편마암, 흑운모 편암 등이다. 이것은 경기육괴의 기반암인 편마암 복합체에 해당한다(GMIK, 1973; Na, 1978, 1979; 이병주 외, 1999).

Gb는 담회색 또는 미약한 담홍색의 중-조립질암으로 포천천의 서부와 남서부에 넓게 분포하며 다소 낮은 지형을 이룬다. 석영-알칼리장석-사장석(QAP) 모우드 삼각도에서 화강암에 걸친다(Table 1; Fig. 2). 이 화강암의 흑운모 연령은  $166 \pm 7$  Ma로서 주라기 중기로 보고된 바 있으며(윤현수, 1995), 연구지역의 Gb는 그 북부의 연장암체로 해석된다. Gb는 거사리 등 일부지역에서는 교차된 열극을 따라 차별적 풍화작용으로 인하여 형성된 타포니(tafoni)(Twindale, 1982)가 수 m의 크기로 발달되기도 한다. 경하상에서 Gb와 Ggb는 불투명광물의 유무에서 큰 차이를 보인다. 즉 전자에서는 미립질의 불투명광물이 반드시 수반되나, 후자에서는 흔적을 이루거나 관찰되지 않는다. 주 구성광물로는 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모 등이 있으며, 부 성분으로는 백운모, 녹니석, 인회석, 스펀, 저어콘, 갈엽석 및 불투명광물 등이 산출한다. 주로 반자형의 등립질 입상조직을 보여주나, 부분적으로 미르메카이트나 문상조직이 발달한다. 석영은 파동소광과 부분적으로 줄무늬소광(shadowy extinction)을 이룬다. 알칼리 장석은 미사장석, 퍼다이트와 일부 마이크로 퍼다이트로

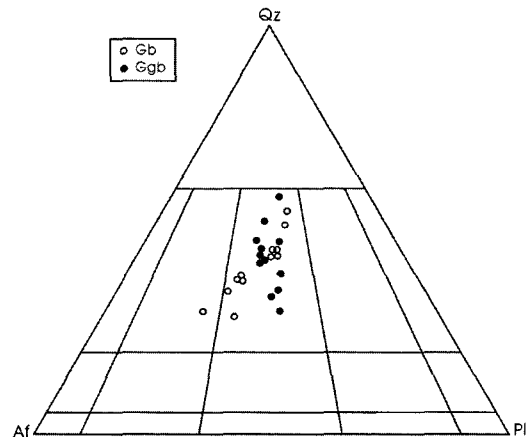


Fig. 2. Triangular diagram of modes for the studied granites. Abbreviations are the same as those in the Table 1.

구성되어 있으며 간혹 칼스바드 쌍정을 이룬다. 흑운모는 변질을 받아 부분적으로 녹니석화 되었다(Fig. 3).

Ggb는 회색, 담회색, 담홍색의 중-조립질 암으로 Gb와 달리 대부분 높은 지형을 이룬다. 전반적으로 미립의 석류석이 산출되고, QAP 모우드 삼각도에서 문조 화강암에 해당한다(윤현수 외, 2002). 곳에 따라 유색광물이 밀집된 포획암이 발달하여, Ggb의 서측인 지현리에서는 수-30 cm 정도의 크기를 이룬것들이 타원형으로 종종 수반된다. 연구지역의 남서부인 포천의정부사이에 분포하는 석류석흑운모화강암의 흑운모 연령이  $165 \pm 2$  Ma(K-Ar 법)로 보고된 바 있으며(윤현수, 1995), 연구지역의 Ggb도 같은 시기의 암체로 해석된다. Ggb

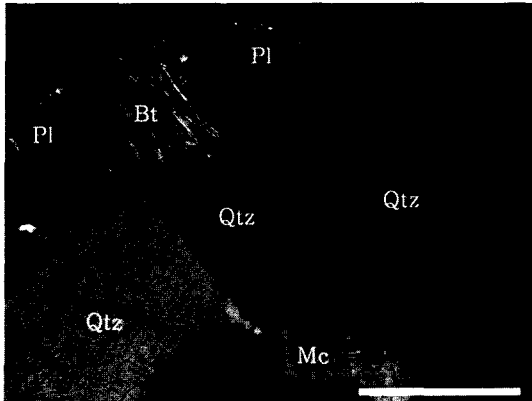


Fig. 3. Photomicrograph of thin section of Gb. Center of the photomicrograph shows shadowy extinction in quartz grain. Biotite was partially altered into chlorite. Qtz: quartz, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Mc: microcline. Cross polar, scale: 0.5 mm.

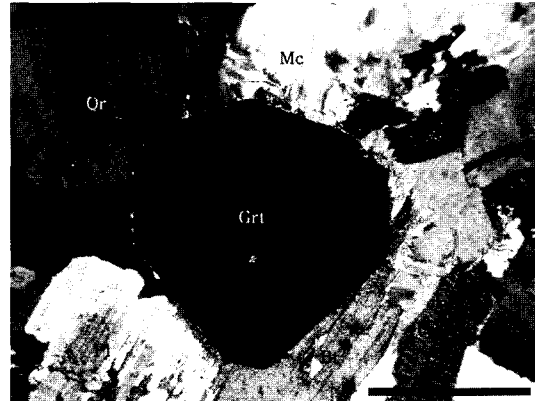


Fig. 4. Photograph of thin section of Ggb. Center of the photomicrograph shows an euhedral garnet grain. Grt: garnet, Or: orthoclase, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Mc: microcline. Cross polar, scale: 0.5 mm.

는 남동부인 하판리에서 주변의 변정질 호상 편마암을 맥상으로 관입하며, 그 접촉부에서는 보다 세립질화 되기도 한다. 그리고 연구지역의 남동단인 신상리에서 주변의 화강암질 편마암을 관입한 맥상의 Ggb에서는 미약한 엽리구조가 발달되기도 한다. 주 구성광물로는 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모 등이며, 부성분으로 백운모, 녹니석, 인회석, 저어콘, 석류석과 불투명광물 등이 있다. 주로 반자형의 등립질 입상조직을 보여주나, 일부에서는 미르메카이트와 문상조직이 발달한다. 석영은 대체로 파동, 모자이크 소광을 이룬다. 엽리상의 줄무늬소광이 종종 수반되어, 국부적으로 미약한 변형 작용을 받은 흔적을 보여준다. 알칼리 장석은 미사장석, 퍼다이트와 마이크로 퍼다이트로 구성된다. 흑운모는 갈색-암갈색과 녹갈색을 띠며, 부분적 또는 전체적으로 심하게 변질되어 종종 녹니석화 된다. 석류석은 담갈색을 띠는 타형 혹은 자형으로 사장석 내에 자주 함유되며 그 크기가 1mm 정도에 이르기도 한다(Fig 4).

Gtm은 금주산 동측에서 북동향으로 분포하는 소규모의 암체로서 대부분은 높은 고지대를 이루며 그 서측에서 안구상 호상편마암을 관입한다. 이 암석은 그 동측에서 석영과 장석이 반응을 이루며, 간혹 유색광물이 군집된 포획암이 수 cm 크기로 발달한다. 회색의 중-조립질암으로 흑운모와 백운모를 수반함이 특징이며, 모우드 분석결과 몬조화강암에 해당한다(윤현수 외, 2002). 연구지역의 북동부인 1/5만 화천도폭(박기화 외, 1997)에서는 북운모 화강암의 백운모 연령이

151±4 Ma(K-Ar 법)로 보고된 바 있다.

윤현수 외(2002)는 주변지역의 야외조사와 K-Ar 운모류 연령해석에 의하여 Ggb가 Gb를 관입하였으며 Gtm은 가장 후기로 해석된다고 하였으며, Gb와 Ggb는 서브알카린과 켈크알카린 계열의 산성암류로 여러 암석학적인 조사로 미루어 볼 때 동일마그마에서 기원되었으며 Ggb가 Gb보다 분화후기의 산물로 해석된다고 하였다.

1/25만 서울-남천도폭에는 북북동 내지 남북방향의 단층들이 비교적 연장성 있게 발달하며 그 외에 북서 방향의 단층들과 북동 내지 동북동 방향의 단층들이 발달한다. 본 연구지역을 지나는 단층은 소위 추가령 단층대의 일부분으로 이들 단층도 우수향의 주향이동 단층으로 여겨지나 단층들의 기하학적인 특징에 대하여는 더 많은 조사와 연구가 필요한 단층들이다(이병주 외, 1999).

Table 2. Classification of rock deformation by IWE value range (Cheong *et al.*, 2002)

IWE	Degree of deformation (D)	
	Deformation zone	Index
0-10	Lowest (or Non)	D1
15-25	Low	D2
30-45	Medium	D3
50-65	High	D4
70-85	Highest	D5

결 과

고 찰

측정 방법

본 연구는 포천-기산리 일대에 분포하는 대보화강암 중 Gb와 Ggb에서의 채취된 시료를 이용하였으며, 이는 기존 연구(윤현수 외, 2002)에 사용되었던 시료 중 일부와 추가로 채취한 시료를 이용한 것이다(Fig. 1b).

석영의 IWE 측정 및 자료처리방법은 정원석 외 (2002a) 방법을 이용하였다. 본 연구에서는 니콘(Nikon)사의 편광현미경과 디지털카메라, IBM PC를 사용하였다. 일반적으로 시료가 방향성이 있는 경우 그 방향성의 수직으로 박편을 제작하여야 하나 본 연구에 사용된 박편들은 대부분 방향성이 드물기 때문에 이러한 것을 고려하지 않고 무작위로 제작하였다. 이렇게 만든 박편을 편광현미경에서 관찰하면서 디지털 카메라를 이용하여 측정대상의 영상을 획득하였다. 이때 촬영할 석영이 파동소광이 나타날 경우 그 입자의 한 부분이 최대 소광이 나타날 때까지 재물대를 회전시킨 다음 촬영하였다. 획득한 이미지를 컴퓨터에서 NIH Image에서 파동소광이 일어나는 길이(L)와 이 길이에 대한 광량변화(ΔB)를 구한 후 아래 공식에 대입하여 IWE를 산출해 냈다.

$$IWE = \left| \tan^{-1} \left( \frac{\Delta B}{L} \right) \right|$$

위의 방법으로 IWE를 한 입자에서 수 회, 한 박편에서 수십 개 이상을 구한 다음 이것을 통계처리하여 각 시료에 대한 IWE 대표값을 구한다. 이 IWE 대표값을 Table 2에 따라 암석의 변형도를 결정하였다.

암석별 변형도 분포

본 연구지역에서 산출된 히스토그램을 보면 Gb에서는 대체적으로 50° 미만의 영역에서 모우드 값이 나타나는 것을 확인 할 수 있으며(Fig. 5), Ggb에서는 50° 이상의 영역에서 모우드 값이 나타나는 것을 확인 할 수 있다(Fig. 6). 또한 이 히스토그램을 바탕으로 산출된 IWE 대표값과 변형도를 보면 전반적으로 Gb에서는 저변형이 Ggb에서는 고변형이 나타났다(Table 3). 본 연구에서는 시료의 분포가 대체적으로 일직선상에 배열하기 때문에 등고선 지도를 그린다 것이 약간의 무리가 있으나 데이터가 없는 영역을 삭제한 후 등고선 지도도 표현하여 보았다(Fig. 7). 이를 보면 대체적으로 Ggb 암체의 중간부분에서 D5정도의 고변형 영역이 존재함을 알 수 있다.

본 연구에 사용된 지질도와 일부 시료는 기존 연구의 것을 이용하였다(윤현수 외, 2002). 본 연구지역에 분포하는 Gb와 Ggb 모두 육안상 구별되는 뚜렷한 변형의 흔적은 보이지 않으나 Ggb의 중앙부에서 변형도가 Gb에 비해 상대적으로 높은 것을 알 수 있었다(Fig. 7). 이렇게 높은 변형도를 준 변형요소를 본 연구에 사용한 지질도(윤현수 외, 2002)로서는 찾을 수 없었으나 기 발간된 1/25만 지질도(이병주 외, 1999)를 본 연구에 사용된 지질도와 겹쳐본 결과 길이 약 30 km이상의 단층이 Ggb를 통과하고 있어(Fig. 7) 이 지역에 가장 큰 변형요소로 판단된다. 이 단층은 지질도 상에선 우수향단층으로 생각되고 있으나 아직 자세한 연구결과와는 나와 있지 않다.

단층을 기준으로 양쪽암체의 변형도가 대칭적으로 감소하는 타 지역의 연구 결과(정원석 외, 2002b)와 비교해 볼 때 단층을 기준으로 Gb와 Ggb 사이의 변형도가 Gb 쪽에서 고변형도가 나타나지 않고 Gb에서 Ggb 쪽(연구 지역에서 북서에서 남동방향)으로 갈수록 변형도가 점이적으로 증가(Fig. 7)하는 것으로 미루어 볼 때 이 두 암체의 접촉 관계가 관입 관계인 것을 뒷받침 해준다고 생각된다.

변형도에 대한 등고선 지도에서 Gb내의 시료 1-2와 3-1은 주변암석의 변형도에 대하여 상대적으로 높은 값으로 나타나 좀더 조사가 필요하다고 생각된다(Fig. 7b, Table 3). 만일 좀더 폭넓은 조사가 진행되어 조사 지역의 북부에 D3이상의 고변형도가 나타난다면 본 연구의 지질도의 북쪽 영역 밖에 있는 단층의 영향일 것이라 사료된다. 따라서 향후 데이터가 없는 영역의 암석인 Gb, Gtm과 일부 편마암의 변형도 분석을 할 예정이며, 이들 자료가 첨가되면 Ggb내의 고변형도 영역이 단층을 따라 북북서-남남동 방향으로 더 넓게 분포될 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 석영의 파동소광강도를 이용하여 1/5만 포천-기산리도폭(미발간)에 넓게 분포하는 류라기 대보화강암류인 Gb와 Ggb에 대한 암석의 변형도를 측정하였다. 그 결과 전반적으로 Gb에 비하여 Ggb의 변형도가 상대적으로 높게 나왔다. 이러한 이유로 1/25만 서울-남천점 지질도폭(이병주 외, 1999)과 본 연구

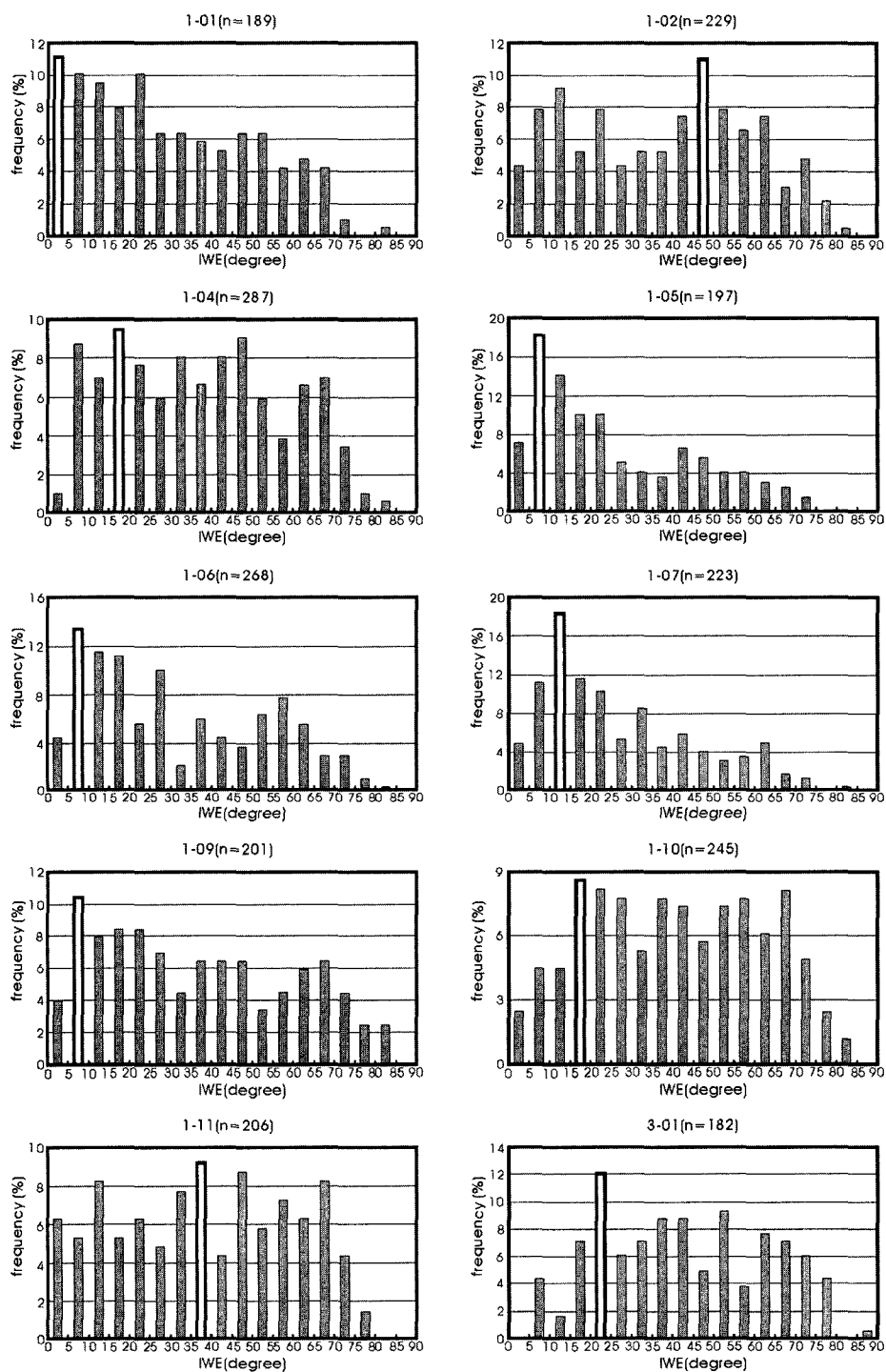


Fig. 5. The histogram of Gb samples. The number which is on the top of the each histogram is sample number and measurement count. White bar in histogram is mode value, respectively.

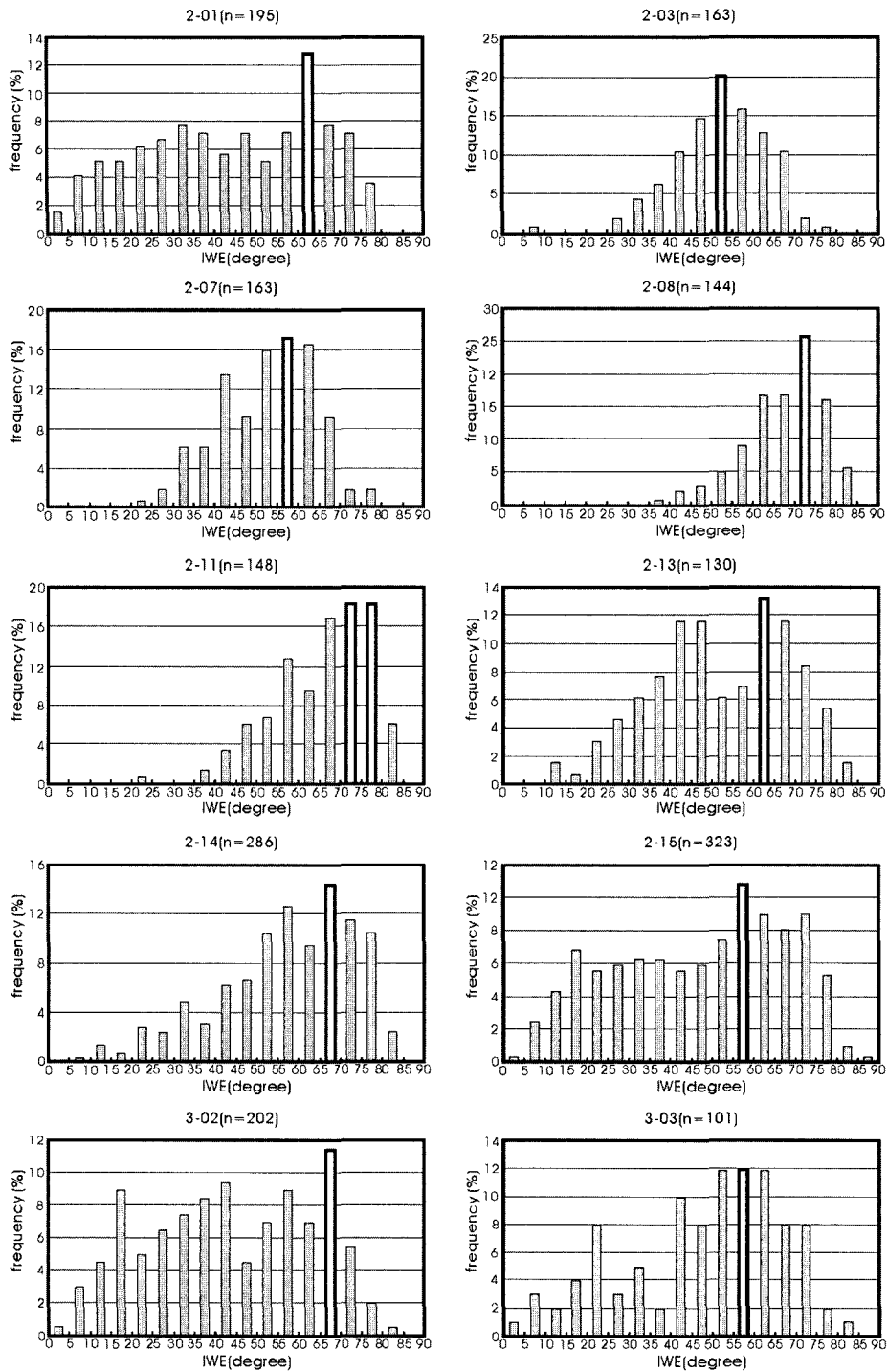


Fig. 6. The histogram of Ggb samples.

Table 3. The IWE, deformation index value of the study area

Biotite granite (Gb)			Garnet biotite granite (Ggb)		
Sample No.	IWE (degree)	Deformation index	Sample No.	IWE (degree)	Deformation index
1-1	5	D1	2-4	45	D3
1-2	40	D3	2-5	55	D4
1-4	25	D2	2-7	55	D4
1-5	10	D1	2-8	70	D5
1-6	15	D2	2-11	70	D5
1-7	15	D2	2-12	55	D4
1-8	10	D1	2-13	55	D4
1-9	15	D2	2-14	60	D4
1-10	45	D3	2-15	50	D4
1-11	35	D3	3-1	30	D3
2-1	55	D4	3-2	55	D4
2-3	50	D4	3-3	50	D4

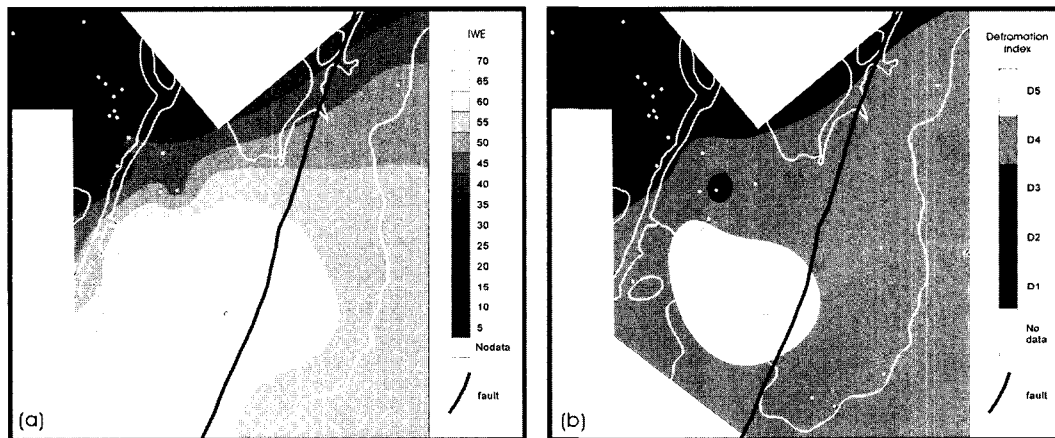


Fig. 7. The contour map in the study area to be overlaid Fig. 1b. (a) IWE, (b) rock deformation degree. White dots are sample points and black line of NNE-SSW direction is the fault reported in 1/250,000 Seoul-Namchonjeom geologic map.

에 사용된 지질도(윤현수 외, 2002)을 비교해본 결과 주 변형 요소는 Ggb를 통과하는 길이 약 30 km의 단층으로 추정되며 본 연구의 변형도 분포와 잘 일치한다(Fig. 7). 또한 Gb와 Ggb 사이의 변형도가 Gb 쪽에서 고변형대가 나타나지 않고 Gb에서 Ggb 쪽(연구 지역에서 서북에서 동남방향)으로 갈수록 변형도가 점이적으로 증가하므로 이 두 암체의 접촉 관계가 관입 관계인 것을 뒷받침 해준다고 생각된다.

## 사 사

본 논문을 심사하여 많은 문제점들을 자세하게 지적하여주신 강지훈 교수와 박영도 박사에게 깊은 감사를

드린다.

## 참고문헌

- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정빈, 1997, 화천 지질조사 보고서(1/5만), 한국자원연구소, 33 p.  
 윤현수, 1995, 포천-의정부일대에 분포하는 화강암류의 산상과 암석화학, 암석학회지, 4, 91-103.  
 윤현수, 홍세선, 이윤수, 2002, 포천-기산리 일대에 분포하는 쥬라기 대보화강암류의 암석 및 암석화학, 암석학회지, 11, 1-16.  
 이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식, 1999, 서울-남천점 지질도폭 및 설명서(1/25만), 과학기술부, 1-64.  
 정원석, 나기창, 정상원, 2002a, 석영의 파동소광 강도를 이



- 용한 암석 변형의 정량화, 암석학회지, 11, 65-73.
- 정원석, 이승준, 나기창, 2002b, 석영의 파동소광강도를 이용한 청산화강암의 변형의 정량화, 암석학회지, 11, 250-258
- 田切美智雄, 堀江典子, 1998, 石英の波動消光と變形度, 岩?, 93, 323-329.
- BjØrnerud, M.G. and Boyer, B., 1996, Image analysis in structural geology using NIH Image, In Structural Geology and Personal Computer, Declan G.D.P. ed., Pergamon, 105-121.
- Engelder, J.T., 1974, Cataclasis and generation of fault gouge. Geol. Soc. Am. Bulletin, 85, 1515-1522.
- GMIK (Gology and Mineralogy Institute of Korea), 1973, 1/250,000 Seoul geological map of Korea. GMIK, Korea.
- Klein, C. and Hurlbut, C.S.Jr., 1993, Manual of Mineralogy 21st ed., John Wiley & Sons, Inc., 162-164.
- Na, K.C., 1978, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies on the Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts (1). Jour. Geol. Soc. Korea, 14, 195-211.
- Na, K.C., 1979, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies on the Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts (2). Jour. Geol. Soc. Korea, 15, 67-88.
- Nicolas, A., 1987, Principles of rock deformation. D. Reidel Pub. Co., Holland, 208p.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 1996, Microtectonics. Springer-Verlag, 289 p.
- Rasband, W. 1994. NIH Image User Guide, The National Institutes of Health, Washington. (Unpublished, <http://www.scioncorp.com>)
- Raymond, L.A., 1995, Petrology, Wm. C. Brown Publishers, p. 472-495.
- Sibson, R.H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms. Jour. Geol. Soc. London, 133, 191-213.
- Twindale, C.R., 1982, Granite landforms. Elsevier, 372 p.

---

(2003년 5월 27일 접수; 2003년 8월 12일 채택)