

## 석영의 파동소광 강도를 이용한 청산화강암의 변형의 정량화

정원석 · 이승준 · 나기창\*

충북대학교 지구환경과학과, 충북 청주시 개신동 산 48번지, 361-763

## Quantification of Cheongsan granite deformation using wavy extinction of quartz

Wonseok Cheong, Syngjoon Rhee and Ki Chang Na\*

Department of Earth & Environmental Sciences, Chungbuk National University,  
48 Gaesin-dong, Cheongju, Chungbuk, Korea, 361-763

**요약:** 석영의 파동소광은 암석의 변형도를 나타낼 수 있는 좋은 지표로서 사용할 수 있다. 암석의 변형도를 결정하기 위해 석영의 파동소광 강도(IWE)를 편광현미경, 디지털 카메라, NIH Image로 측정하였다. 본 연구에서는 이러한 방법을 이용하여 복잡한 변형을 받은 청산지역일대의 청산반상화강암, 청산복운모화강암, 백록화강암의 변형도를 구하여 청산일대의 변형사를 밝혔다. NIH Image로 측정한 결과, 청산화강암과 백록화강암 사이의 주향이동단층 부근과 청산화강암과 영동층군 사이의 부정합면 부근에서 높은 변형도가 나타났다. 따라서 이 지역의 최근의 주된 변형 요인은 영동분지를 형성한 단층과 청산화강암과 백록화강암 사이에 있는 주향이동단층이다.

**핵심어:** 파동소광, IWE, NIH Image, 청산화강암, 백록화강암

**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 petrographic microscope, digital camera, and NIH image. In this study, this method was applied to the Cheongsan porphyritic granite, Cheongsan two mica granite, and Baekrok granite to investigate the deformation intensity of Cheongsan area. NIH Image data show a high-grade deformation in the vicinity of the strike-slip fault (between Cheongsan granite and Baekrok granite) and the unconformity (between Cheongsan granite and Yeongdong basin). Thus, the main deformation in these areas is most likely to be concentrated on the faults that generate Yeongdong basin and the strike slip faults between Cheongsan granite and Baekrok granite.

**Key words:** Wavy extinction, IWE, NIH Image, Cheongsan granite, Baekrok granite

### 서 론

암석의 변형작용은 외부에서 작용하는 응력의 결과로써 암석을 구성하는 광물의 물리, 화학적인 변화를 거쳐 궁극적으로 암석의 구조적인 변화를 동반한다. 이러한 암석의 변형작용은 작용하는 응력과 그에 반응하는 암석의 물리, 화학적인 조건에 따라 크게 연성 변형과 취성 변형으로 분류된다. 지하 깊은 곳의 비교적 높은 봉압(confining pressure)과 높은 온도 조건에서 일

어나는 변형작용의 경우에는 연성 변형작용을 수반하지만, 지하 얕은 곳의 환경에서의 암석은 취성 변형작용을 받아 단층각력암, 단층점토 등의 단층암(fault rocks)으로 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 이

\*Corresponding author: Tel. 82-43-261-2731, E-mail. petrona@chungbuk.ac.kr

동(pressure solution)하기도 하고, 또한 변형띠(deformation band), 재결정작용(recrystallization), 파동소광(wavy extinction) 등 변형작용이 발생한 깊이, 온도, 작용한 응력의 정도에 따라 여러 가지 미구조를 보여준다(Raymond, 1995). 특히 취성-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).

청산화강암은 옥천구조대 내에 분포한 엽리상 화강암류로 이것의 변형 시기는 대보조산운동으로 보고 있다(김옥준 외, 1994). 옥천구조대내외에는 순창전단대, 광주전단대, 전주전단대, 예천전단대 등 다수의 연성전단대가 북동-남서 방향으로 발달하며 모두 우수향 전단운동의 산물로 알려져 있다(장태우, 1994; 장태우와 이미경, 1996). 청산 화강암체의 절대연령(Lee, 1971; 주승환과 김성재, 1985; 정창식과 장호완, 1996)과 비교하여 볼 때 화강암체 형성 이후에 발생하였을 것으로 추측되는 동편의 문경대단층(충상단층), 북의 좌수향단층 등은 모두 화강암의 변형에 큰 영향을 주었다(김동학과 이병주, 1986).

본 연구에서는 석영의 편광현미경화상의 흑백사진을 공개프로그램인 NIH Image 또는 Scion Image를 이용하여(Rasband, 1994; Bj merud and Boyer, 1996), 석영의 파동소광 강도(IWE)와 암석의 변형도를 구한 방법(田切·堀江, 1998; 정원석 외, 2002)에 따라서 청산화강암과 백록화강암의 변형도를 산출하고, 이를 등고선지도로 재구성해 청산화강암지역에 가장 최근에 영향을 미친 변형작용을 분석하였다. 또한 본 연구지역 주변의 일부 변성암 및 석영반암에 대하여 분석을 시도함으로써 화강암 이외의 암석에도 본 실험방법을 적용할 수 있는지에 대해서도 연구해 보았다.

### 청산일대의 지질

본 연구지역은 한반도에서 드문 고생대 화강암이 분포하고 있으며(주승환과 김성재, 1985; 정창식과 장호완, 1996), 화강암체의 형성과 동시에 지구조운동이 관련되어 있고(김옥준 외, 1994), 주변에 부정합, 주향이

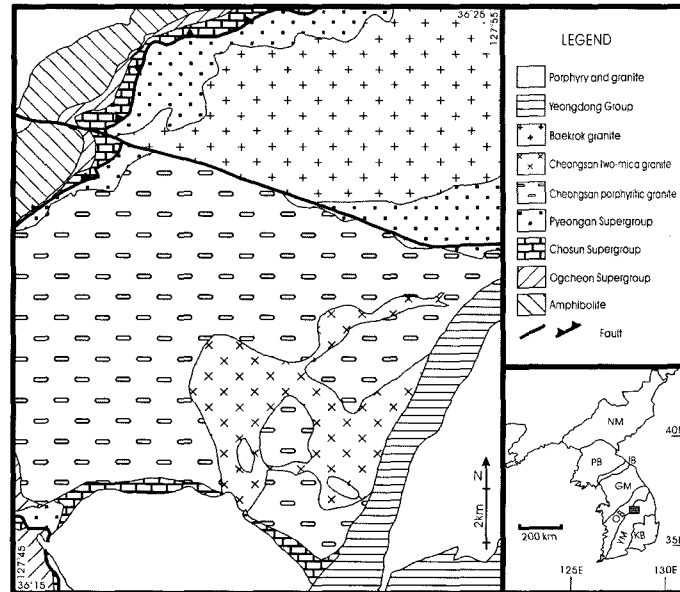
동단층, 충상단층 등과 같은 다양한 지질 구조가 존재하고 있어 시대에 따른 복합적인 변형요소에 대한 변형도를 연구하는데 적합한 지역이라 생각된다.

청산일대에 분포하는 화강암류는 크게 청산화강암이라 불리는 반상화강암과 북운모 화강암 그리고, 백록 화강암이라 불리는 각섬석화강암으로 나눌 수 있다. 북동-남서방향으로 장축을 갖는 타원형의 지반상 관입암체인 이 화강암들은 1 : 50,000 영동도폭 지질도(김규봉과 황재하, 1986), 청산도폭 지질도(김동학과 이병주, 1986)에 대부분이 기재되어 있으며, 옥천도폭(김동학 외, 1978)과 보은도폭(김옥준 외, 1977)에 일부 기재되어 있고, 1 : 250,000 대전도폭(이병주 외, 1996)과 안동도폭(황재하 외, 1996)에도 잘 나타나 있다(Fig. 1).

연구지역의 남부에 위치하는 청산화강암은 북쪽으로 백록화강암과 좌수향단층(sinistral strike-slip fault)으로 접하고 있으며, 동쪽과 남쪽 방향으로는 평안층군과 접하고 있는데, 그 관계는 평안층군과 청산화강암이 동시에 압쇄암화작용을 받아 둘 사이의 접촉관계를 알아 내기는 힘들다(사공희와 좌승주, 1997). 남쪽에서는 시대미상의 석회암을 관입하고 동쪽은 백악기 영동층군과 부정합관계이다. 청산화강암의 연령은 이전에 시대미상으로 알려져 있었으나, 방사선 절대연령 측정치가 흑운모의 K-Ar법은 164 Ma(Lee, 1971), Rb-Sr 전암법은 256 Ma(주승환과 김성재, 1985), 216 ± 21 Ma(정창식과 장호완, 1996)으로 폐렴기 중기에서 중생대 유라기 초까지 다양하게 나타난다. 백운리 남쪽에 위치하는 하례곡 다리 부근에 소규모로 분포하는 평안층군의 변성퇴적암에는 청산화강암에 의한 접촉변성작용의 흔적도 나타나며(강지훈, 1998) 인공 동굴(탄광 또는 광산으로 추정하기엔 규모가 작음)과 동굴 내부의 것으로 추정되는 탄질물이 많이 포함된 암석들도 관찰할 수 있다.

청산반상화강암의 주 구성광물은 거대 반정을 이루고 있는 K-장석과 사장석, 기질을 이루고 있는 중립내지 조립의 석영, 장석, 흑운모 등으로 구성되어 있다. 거대 반정을 이루고 있는 장석은 보통 장경이 3-5 cm의 범위를 갖으며 방향성이 있으나, 그 방향성은 지역별로 차이가 있다(김규봉과 황재하, 1986; 김동학과 이병주, 1986). 본 암체는 전반적으로 변형을 많이 받았으며, 특히 동부와 북부로 갈수록 압쇄구조가 심하게 나타난다. 일부 흑운모들은 변질작용으로 인하여 녹니석화 된 것이 많다.

청산화강암의 남서부에 위치한 북운모화강암은 청산 반상화강암을 관입하고 있으며 그 관입의 경계는 매우 뚜렷하고 청산반상화강암의 포획암이 관찰된다. 비교



**Fig. 1. The geologic map of study area.** Identification; NM: Nangrim Massif, PB: Pyeongan Basin, IB: Imjingang Belt, GM: Gyeonggi Massif, OB: Okcheon Belt, YM: Yeongnam Massif, KB: Kyeongsang Basin. Gray rectangle in the Korean map is study area.

적 등립질의 세립질 이며, 육안상 암석의 변형은 인지가 어렵지만, 현미경상에선 뚜렷한 변형의 특징을 볼 수 있다. 주 구성광물은 석영, 미사장석, 사장석, 흑운모, 백운모이다. 2차광물로는 녹니석, 견운모가 관찰된다. 장석은 알칼리장석이 주를 이루며 간혹 퍼사이트조각이 나타나기도 한다. 흑운모는 자형내지 반자형의 결정으로 나타나며, 암갈색 혹은 담갈색을 띠고 강한 다색성이 나타난다.

청산화강암과 주향이동단층으로 접하고 있는 백록화강암은 동쪽과 서쪽에서 평안누층군을 관입하고, 북쪽에서는 반암류가 관입하였다. 이 암체는 등립질의 중립내지 조립질이며, 전반적으로 연성변형의 특징이 많이 관찰된다. 암체의 곳곳에서 반암류의 관입이 관찰된다. 특히 사루봉 남쪽 기슭에 나타나는 관입암류는 엽리와 구과상 조직(spherulitic texture)이 나타난다. 암석의 절대연령은 Rb-Sr 전암법으로  $256 \pm 16$  Ma (Cheong and Chang, 1997)이다. 주 구성광물은 사장석, 석영, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석 등으로 구성되며, 부수광물로는 인회석, 저어콘, 갈염석, 스펀, 티탄철석, 자철석 및 적철석 등이 있다. 2차 광물로는 녹니석, 녹염석, 견운모가 나타난다. 각섬석의 양은 암체 외각부에서 중심부를 향해 감소하는 경향을 보인다(사공회와 좌용주, 1997).

청산화강암과 백록화강암의 서편에 있는 평안계와

조선계 암석은 주로 변성퇴적암으로 구성되어 있으며, 서로 충상단층(thrust)으로 접하고 있다. 이 단층은 화강암의 관입 이후에 발생하였고 청산화강암과 백록화강암 사이에 있는 주향이동단층에 의해 잘려 있다. 주향이동단층은 백악기 후기에 영동분지 형성 이후 발생하였다(김동학과 이병주, 1986).

## 결 과

### 측정 방법

지질도상 복잡한 구조를 보여주는 본 조사지역에서의 시료채취는 화강암류를 중심으로 수행하였고, 그 외에 일부 화강암과 접촉하고 있는 변성암과 석영반암도 일부 조사했다(Fig. 2).

석영의 파동소광강도(IWE) 측정 및 자료처리방법은 정원석 외(2002)의 방법을 이용하였다. 본 연구에서는 Nikon사의 편광현미경과 디지털카메라, IBM PC를 사용하였다. 청산화강암과 백록화강암은 대부분 방향성이 있으므로 박편 제작시 엽리의 방향성을 고려하여 파동소광과 미구조가 잘 관찰되는 엽리면의 수직으로 시료를 제작하였다. 이렇게 만든 박편을 편광현미경에서 관찰하면서 디지털 카메라를 이용하여 측정대상의 영상을 획득하였다. 이때 촬영할 석영이 파동소광이 나타날 경우 그 입자의 한 부분이 최대 소광을 타나낼

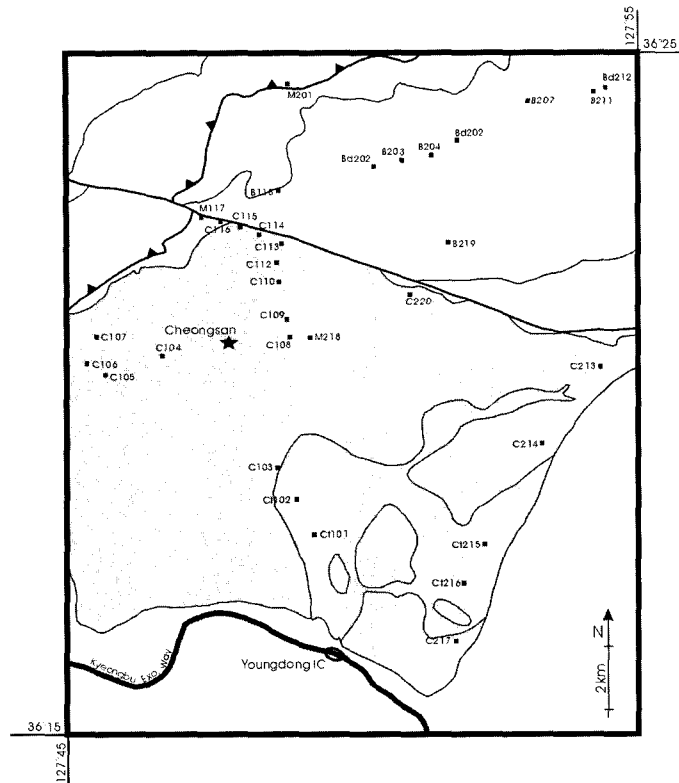


Fig. 2. The sampling localities on the simple geologic map of Cheongsan study area. Identification; B: Baekrok granite, C: Cheongsan porphyritic granite, Ct: Cheongsan two-mica granite, M: Metasandstone, and Bd: Quartz porphyry. Gray color area in this map is Cheongsan granite body.

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.

$$IWE = \tan^{-1} \frac{\Delta B}{L}$$

위의 방법으로 IWE를 한 입자에서 여러번, 한 박편

Table 1. 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

에서 수십 개 이상을 구한 다음 이것을 통계처리하여 각 시료에 대한 IWE 대표값을 구한다. 이 IWE 대표값을 Table 1에 따라 암석의 변형도를 결정하였다.

단층과 화강암 변형도의 관계

Table 2는 본 연구지역에서 구한 파동소광강도(IWE) 히스토그램에서 IWE 대표값과 변형도를 산출한 것이다. 이러한 결과를 등고선지도로 나타낸 것을 보면 이 지역에 큰 영향을 준 구조는 백록화강암과 청산화강암 사이에 있는 주향이동단층이다(Fig. 3). 충상단층이 존재하는 암체의 서편은 변형도가 낮고 부정합 관계인 청산화강암의 동편은 변형도가 높게 나타났다.

암석별 변형도의 비교

본 연구 지역에서는 평안누층군과 조선누층군에 해당하는 일부 변성퇴적암과 석영반암에서의 변형도를 측정하였다.

사실 변성암의 시료는 주향이동단층의 인접한 화강

Table 2. The IWE, deformation index, average, median, and mode value of Cheongsan area samples.

Sample No.	IWE (degree)	Deformation index	Sample No.	IWE (degree)	Deformation index
Ct101	20	D2	M201	20	D2
Ct102	20	D2	Bd202	40	D3
C103	5	D1	B203	45	D3
C104	5	D1	B204	40	D3
C106	10	D1	B205	50	D4
C107	15	D2	B207	25	D2
C108	25	D2	B211	25	D2
C109	55	D4	Bd212	5	D1
C110	50	D4	C213	50	D4
C112	50	D4	C214	45	D3
C113	70	D5	Ct215	55	D4
C114	60	D4	Ct216	60	D4
C115	60	D4	C217	55	D4
C116	55	D4	M218	45	D3
M117	70	D5	B219	50	D4
B118	50	D4	C220	70	D5

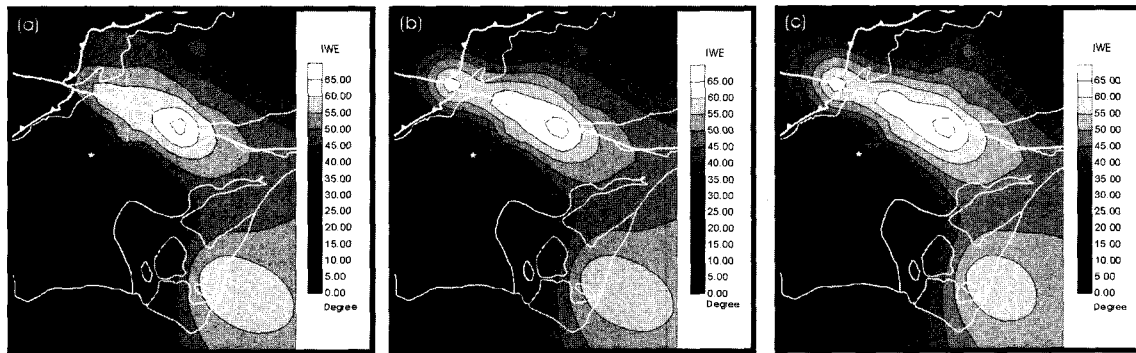


Fig. 3. IWE data distribution based on rock type. (a) granite (b) granite + metasandstone (c) granite + metasandstone + quartz porphyry.

암체 서부 끝자락 만월리 부근(M117), 중부에 있는 하예곡교(下禮谷橋) 아래(M218), 북부의 기대리(箕大里) 부근의 평안계지층(M201)에서 채취하였다. 석영반암은 조사지역 북부의 새중리 부근(Bd202)과 북서부 사산리(沙山里) 부근(Bd212)에서 채취하였다(Fig. 2).

동일시료에서 제작한 두 박편의 IWE 히스토그램을 비교해 보면, 화강암(Fig. 4a, b)과 변성퇴적암(Fig. 4c)에서는 동일한 경향성 및 같은 변형도가 나타났다. 석영반암은 그렇지 못하였다(Fig. 4d). 화강암과 인접 변성암과의 IWE(Fig. 5a, b)와 석영반암과의 비교에서(Fig. 5c, d) 변형지수가 1단계 정도 차이가 있었다. 그 중 Fig. 5a, b, c의 히스토그램은 주변화강암의 것과 비교적 비슷한 경향성을 보여주었으나, Fig. 5d는 현저히 다른 경향성을 보여주었다. Fig. 3의 화강암(a), 화강암

+ 사질변성암(b), 화강암 + 사질변성암 + 석영반암(c)의 IWE대표값에 대한 등고선 지도에서 변성암과 석영반암의 시료가 그리 많지 않아 세 개의 지도가 비교적 유사하나 (c)의 북서부의 석영반암시료(Bd212)를 채취한 부분에서 변형도 등고선이 북서에서 남동방향으로 이루고 있다.

## 고찰

청산지역의 암석들이 최저변형인 D1부터 최고 변형인 D5의 다양한 변형도를 보여준다(Table 1, Fig. 6). 지질도와 변형도의 등변형지도로 미루어 보면 주변 암석에 최근에 가장 큰 변형을 준 요소는 청산화강암과 백록화강암 사이에 있는 주향이동단층으로 생각된다.

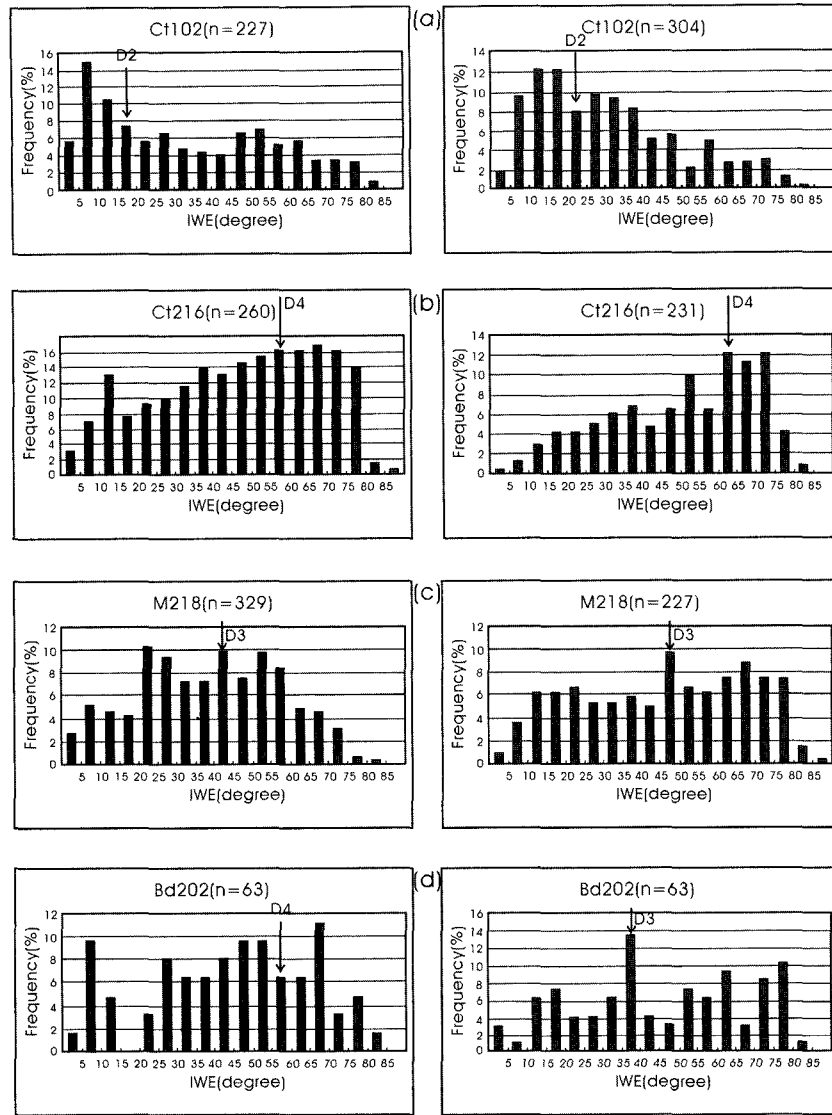
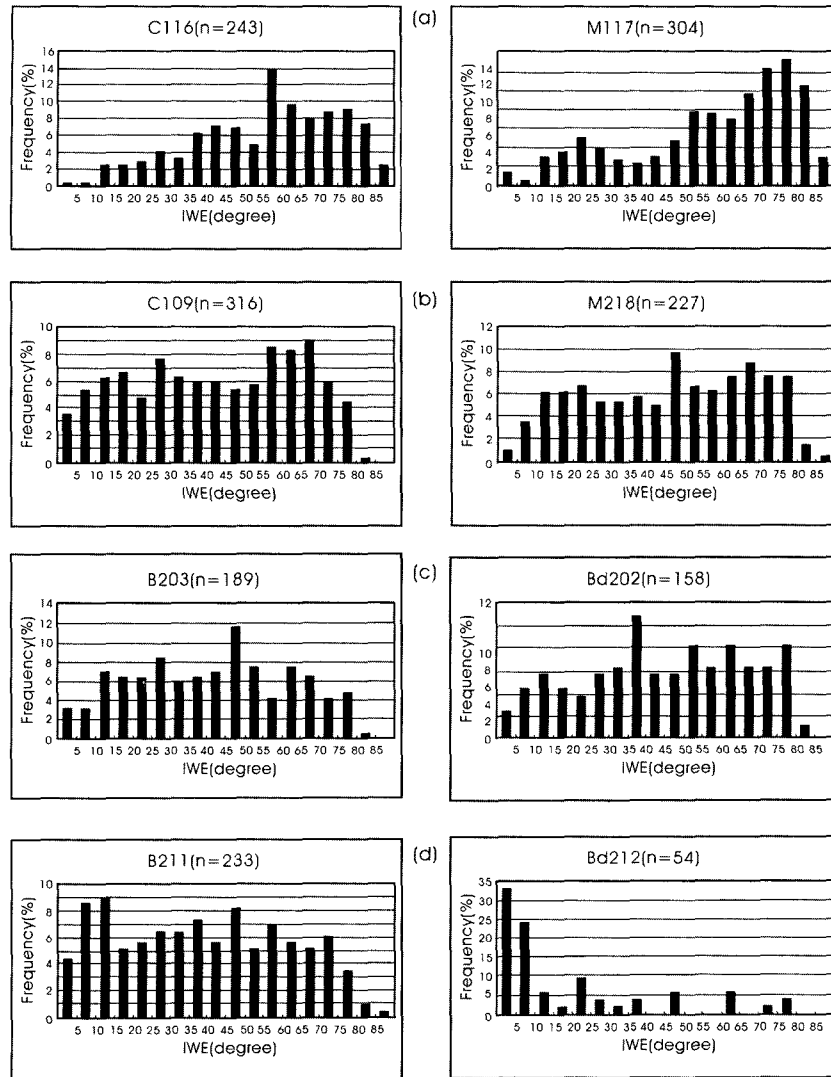


Fig. 4. The histogram of two thin sections in the same sample. (a) granite(Ct102), (b) granite(Ct260), (c) metasandstone(M218), (d) quartz porphyry(Bd202). Sample number; refer to Fig. 2.

청산 화강암과 주변 변성암의 생성시기와 청산 화강암의 서편으로 갈수록 강하게 나타나는 연성변형의 흔적을 고려할때 때 평안누층군과 조선누층군 사이에 있는 충상단층은 청산화강암 관입과 동시대 또는 이후에 발생했을 확률이 높은데도 IWE값이 낮았다. 따라서 본 단층은 주변 암석에 연성변형작용을 발생시켰거나, 충상단층 형성 당시 강한파동소광이 생겼더라도 변형작용 이후에도 이를 없애는 변형 또는 변성작용이 발생하였을 것으로 생각된다.

Fig. 3a에서 백록 화강암의 동부에서 높은 변형도가 인지되지 않은 이유는 동편에 존재하는 평안계 암석인 사질변성암에 대한 변형도 조사가 행하여지지 않았기 때문으로 생각된다. 만일 이 지역도 영동분지 형성과 관련된 변형의 영향이 크다면 백록화강암의 동편에 존재하는 평안계 변성암이 서편에 존재하는 평안계 지층의 암석보다 높은 변형도를 나타낼 것이라 추측되며 앞으로 연구할 계획이다.

청산 화강암체 동편의 부정합면을 따른 D3에서 D4



**Fig. 5.** The histogram of two thin sections near to the sample point. (a) granite(C116) and metasandstone(M117), (b) granite(C109) and metasandstone(M218), (c) granite(B203) and quartz porphyry(Bd202), (d) granite(B211) and quartz porphyry(Bd212). Sample number; refer to Fig. 2.

에 해당하는 높은 변형률은 영동분지 형성과 관련된 단층작용의 영향이라고 생각된다. 언양화강암에 관한 암석 변형률 연구(정원석 외, 2002)와 본 연구에서 보면, 변형도가 D3인 지역이 단층으로부터 최소 1.5 km 떨어져 있다. 따라서 고변형대인 D4가 나타나면 대체적으로 1 km 이내에 가장 최근에 그 암석의 변형에 영향을 준 단층이 존재할 확률이 높다고 생각된다. 그리고 청산화강암과 영동층군사이의 부정합면 부근에서 D4이상의 높은 변형도가 나오는 것으로 보아 원래의 단층면이 얼마 침식되지 않았을 것으로 추측된다.

화강암 이외의 암석에 대한 변형도 분석에서 비록 시료는 많지 않았지만 사질변성암은 하나의 시료에서 만든 두 박편의 데이터가 일정한 값을 유지했고(Fig. 4c) 주변 화강암과 변형도의 경향(Fig. 5a, b)이 비슷하기 때문에 자료로서 이용하는 것이 괜찮다고 생각한다. 반면에 일부 석영반암은 동일 시료에서 만든 두 박편의 데이터(Fig. 4d)가 다르고 주변화강암과 변형도의 경향(Fig. 5d)이 심한 차이를 보이기 때문에 사용안하는 것이 좋다고 사료된다. 변형도 등고선에서는 화강암만의 변형도 등고선(Fig. 6a)에서 D4의 고변형대 등

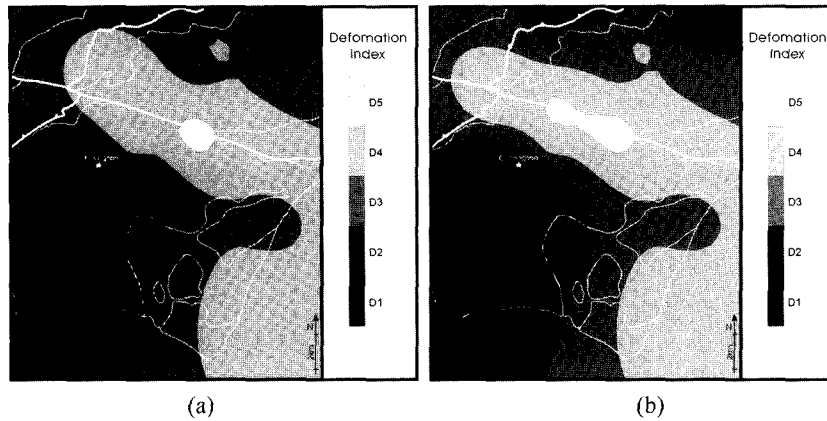


Fig. 6. Contour map of rock deformation index in Cheongsan area to be overlaid Fig. 3. (a) granite, (b) granite + metasandstone.

고선이 주향이동단층과 나란하지 않지만, 화강암과 변성암을 합한 변형도 등고선(Fig. 6b)에서 D4의 고변형대 등고선이 주향이동 단층과 나란한 것을 볼 수 있다. 따라서 변성암을 추가한 자료가 주향이동단층에 대한 주변 암석의 변형이 비교적 대칭으로 나타나 주향이동단층과 변형도와의 상관관계를 이해하는데 좀더 용이하였다. 앞으로 화강암과 다른 암석의 변형도를 비교하기 위해서 연구지역 주변의 조선계, 평안계의 변성퇴적암과 북부의 반암류에 대하여 연구할 생각이다.

이 외에 청산화강암내의 장석에서 파동소광 측정도 시도하여 보았으나 쌍정(twin), 깨짐(fracture), 벽계(cleavage) 등으로 인해 측정이 힘들었다. 만일 장석의 IWE 측정이 가능하다면 물리적 특성이 석영과 차이가 있기 때문에 동일 시료 또는 인근지역 시료의 석영으로 구한 IWE와 비교가 필요하다고 생각된다.

### 결 론

본 연구에서는 편광현미경, 영상분석장치 및 NIH Image를 이용하여 청산일대의 암석의 변형도를 산출한 결과 전반적인 연구지역에서 D1부터 D5까지 다양한 변형대가 나타남을 알 수 있었다. 특히 백록화강암과 청산화강암 사이의 주향이동단층과 청산화강암체 서편의 부정합면 쪽에서 높은 변형도가 나타났다.

청산화강암과 주변 변성암의 생성시기와 청산화강암체의 서편으로 갈수록 강하게 나타나는 연성변형의 흔적을 고려할 때 평안누층군과 조선누층군 사이에 있는 충상단층은 청산화강암 관입 이후에 발생했을 확률이 높음에도 불구하고 변형도가 낮았다. 따라서 이 충상

단층으로 인하여 암석에 연성변형작용이 일어났거나, 취성변형작용이 일어났더라도 이후에 파동소광을 없애는 변형 또는 변성작용이 발생하였음을 알 수 있다.

청산화강암과 영동분지사이의 부정합면에서 변형도가 D4인 높은 변형지수를 나타나는 것으로 보아 이 부정합면은 이전에 영동분지를 형성한 단층면과 관련이 깊을 것으로 생각되며 또한 당시의 단층면이 그리 많이 풍화되지 않았을 것이라 사료된다.

### 참고문헌

강지훈, 1998, 변형된 청산 화강암의 압쇄암화작용시의 변형온도(변형된 청산화강암의 구조해석), 암석학회지, 7, 53-68.  
 김규봉, 황재하, 1986, 영동도폭(1:50,000) 및 설명서, 한국동력자원연구소, 1-24.  
 김동학, 장태우, 김원영, 황재하, 1978, 옥천도폭(1:50,000) 및 설명서, 자원개발연구소, 1-21.  
 김동학, 이병주, 1986, 청산도폭(1:50,000) 및 설명서, 한국동력자원연구소, 1-20.  
 김옥준, 이대성, 이하영, 1977, 보은도폭(1:50,000) 및 설명서, 자원개발연구소, 1-35.  
 김용준, 박영석, 강상원, 1994, 호남전단대내에 분포하는 열리상화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구, 자원환경지질, 27, 247-261.  
 사공희, 좌용주, 1997, 청산 일대에 분포하는 화강암류의 광물조성과 주성분원소 지구화학, 암석학회지, 6, 185-209.  
 이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화, 1996, 대전 지질도폭(1:250,000) 및 설명서, 과학기술처, 1-59.  
 장태우, 1994, 광주 전단대내 석영 분쇄암의 미구조에 관한 연구, 지질학회지, 30, 140-152



- 장태우, 이미경, 1996, 순창전단대내 화강분쇄암의 열구조 발달: 2. 열구조, 지질학회지, 32, 500-508.
- 정원석, 나기창, 정상원, 2002, 석영의 파동소광 강도를 이용한 암석 변형의 정량화, 암석학회지, 11, 65-73.
- 정창식, 장호완, 1996, 중부 옥천변성대의 화성, 변성 및 광화작용과 조구조적 연관성 연구(I): 보은지역 화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학, 지질학회지, 32, 91-116.
- 주승환, 김성재, 1985, Rb-Sr 법에 의한 영남육괴 연대 측정연구 I(평해-분천-김천 화강편마암류 및 화강암류), 한국동력자원연구소, KR-85-24, p. 7-40.
- 황재하, 김동학, 조등룡, 송교영, 1996, 안동 지질도폭 (1:250,000) 및 설명서, 과학기술처, 1-67.
- 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.
- Cheong, C.S. and Chang, H.W., 1997, Sr, Nb, Pb isotope systematics of granitic rocks in the central Ogcheon Belt, Korea, *Geochem. Jour.*, 31, 17-36.
- Engelder, J.T., 1974, Cataclasis and generation of fault gouge. *Geol. Soc. Am. Bulletin*, 85, 1515-1522.
- Klein, C. and Hurlbut, C.S.Jr., 1993, *Manual of Mineralogy* 21st ed., John Wiley & Sons, Inc., 162-164.
- Lee, D.S., 1971, Study on the Igneous activity in the Ocheon geosynclinal zone, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 7, 153-216.
- Nicolas, A., 1987, *Principles of rock deformation*. D. Reidel Pub. Co., Holland, 208.
- 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.

---

(2002년 10월 12일 접수, 2002년 11월 28일 채택)