

靈光 附近 延性剪斷帶(全州剪斷帶)의 性質과 交叉樣相에 關하여

田京浩 * · 張泰雨 · ** 李炳柱 · ***

On the Properties and Intersection Feature of the Ductile Shear Zone (Chonju shear zone) near Yongkwang-Eub

Kyeong Seok Jeon*, Tae Woo Chang **and Byung Joo Lee***

ABSTRACT: Ductile shear zones developed in Jurassic granites in the Yonggwang area show NE trend at the eastern part and nearly EW trend at the western part, respectively. Judged from shear sense indicators, they have resulted from dextral strike-slip movement. The intersection of both trends is thought to be due to the truncation and offset of NE shear zone Chonju Shear zone by the brittle Yonggwang fault which runs in near EW direction with sinistral movement sense. The simple shear deformation was predominate through the deformation in this ductile shear zone. Based on this deformation mechanism, the shear strain (γ) estimated in domain 1 increases from 0.14 at the shear zone margin to 9.41 toward the center of shear zone. Total displacement obtained only from this measured section(JK 59 to JK14) appears to be 1434.5 meters. The sequential development of microstructures can be divided into three stages; weakly-foliated and banded-foliated stages. In the weakly-foliated stage dislocation glide mechanism might be predominant. In the well-foliated stage grain boundary migration and progressive misorientation of subgrains was remarkable during dynamic recovery and recrystallization. In the banded-foliated stage grain boundary sliding and microfracturing mechanisms accompanied with crushing and cracking were marked. According to strain analysis from quartzites of the metasedimentary rocks, strain intensity (γ) of the samples within the ductile shear zone ranges from 2.7 to 5.7, while that of the samples out of the ductile shear zone appears to be about 1.7.

序 言

韓半島에서 延性剪斷帶는 옥천층군등의 변성퇴적암류에 비해 花崗岩類의 노출이 풍부한 沃川構造帶 西南部地域에 집중적으로 여러 條가 발달되어 있으며, 그중 廣域的으로 볼때 葵樹-淳昌-康津 線(淳昌剪斷帶)과 全州-務安-木浦 線(全州剪斷帶)의 2條가 크게 認知된다고 알려져 있다(張泰雨, 1985). 本 研究지역은 옥천구조대 西南部 지역의 珪岩기 화강암질암이 분포하는 지역이며, 全州전단대의 一部로서 靈光附近에서는 거의 EW 方向으로 갈라져 분포하고있다(Fig. 1.). 本 域에 대한 既 調査 研究는 장태우, 황상구(1984)와 최위찬, 황상구

(1986)등의 圖幅 地質調査로 전단대의 발달 範圍와 配向이 記載되었고 張泰雨(1985)와 李炳柱등(1990)에 의해서는 각각 전단대의 미구조와 변형특성이 단편적으로 研究된 바 있다.

이와 같은 地域에서 本 研究는 靈光邑 東部에서 NE 方向과 EW 方向의 交叉현상에 대해 李炳柱 등 (1990)의 주장을 다시 검토하고 보다 타당하고 구체적인 대안을 提示 할 것이며, 보다 타당하고 구체적인 理論을 野外와 顯微鏡 관찰에 의해 變形作用 增加에 따른 微構造的 變化및 剪斷變形 (shear strain, γ) 값, 그리고 전단각각 결정요소에 의한 전단각각 결정 등으로 전체적인 운동 성질을 해석하고자 한다.

地 質

本域에 分布하는 岩層들은 시대 미상의 沃川層群 變成堆積岩類와 珪岩기 花崗岩類 및 岩脈類 등으로 構成되어 있다(Fig. 1). 沃川層群 變成堆積岩類들은 雲母片岩이

* 부산 광명고등학교(Kwangmyong High School, Pusan 606-070, Korea).

**경북대학교 지질학과(Department of Geology Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea).

***한국자원연구소(Korea Institute of Energy and Resources, Taejeon 305-343, Korea).

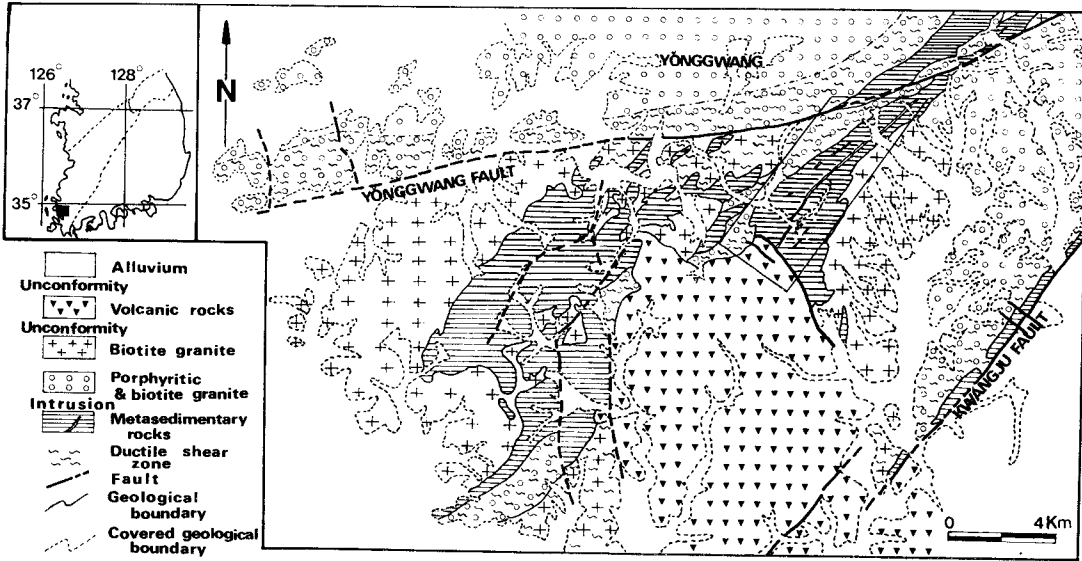


Fig. 1. Geological map of the study area.

대부분이고 礫質硅岩, 硅岩, 含礫石灰質 片岩, 千枚岩 등이 협재되어 있다. 이들은 硅岩層의 협재정도와 구성 암질로 볼때 佛甲貯水地 부근과 신광면 송사리에서 北東 方向으로 발달된 단층의 北西 地域은 含礫石灰質 片岩이 많이 협재되어 분포하고 운모류를 많이 함유하는 雲母 片岩이 우세하다. 반면에 그 단층의 남서 지역과 묘량면 연암리 일대, 즉 本 論文의 규암에서의 變形分析을 실시 한 지역 일대에서는 빈번한 규암층의 협재와 석영 편암 층의 우세한 양상을 보여준다. 특히 礫質硅岩은 묘량면 연암리 근처에서의 礫들이 XZ 面에서 약 2:1로 신장되어 있는 반면에, 장성군 삼서면 학성리 柳平貯水地一帶에서는 약 11:1로 크게 伸張되어 있는데 이는 剪斷帶 內에 포함되어 있기 때문으로 해석된다.

쥬라기 花崗岩類는 광물 및 조직적인 特性에 따라 반 상흑운모 화강암, 흑운모 화강암으로 분류되며 本域에 넓게 분포된다. 本 花崗岩類의 貫入時期는 白光浩 등 (1979)에 의해 수행된 黑雲母 花崗岩의 K/Ar 法에 의 한 絶對年齡值가 169 m.y. 를 보이므로 이는 쥬라기 중기에 해당된다. 이 쥬라기 花崗岩類에는 延性變形作用 에 의한 剪斷帶가 발달되어 있어 本 研究의 主 대상 암 체이다. 그리고 本域 NE 方向의 전단대는 함평군 손불 면 石倉理와 飛龍 貯水地근처, 즉 望雲圖幅의 반상변정 질편마암과 맞닿게 되는데, 望雲圖幅에서는 이들 반상변

정질 편마암을 퇴적 기원의 광역변성작용의 산물로 간주 하여 쥬라기 以前의 암석으로 보았다(李倫鍾 外, 1971). 또 金亨植(1973)은 全州-木浦 一帶에 分布하는 소외 片狀花崗岩으로 불리워졌던 암석을 미그마타이트라 하 고 이는 변성퇴적암류, 특히 雲母 片岩이 미그마타이트 화 作用을 받아 생성된 것이라 하였다. 그러나 80年代 에 들어오면서 이들 片狀구조의 암석들에 대해 變形作用 의 산물로 보기 시작하였고 몇몇 學者들에 의해 粉碎岩 化作用 (mylonitization)에 根據를 두고 mapping하게 되었으며, 張泰雨(1985)는 本域 花崗岩 mylonite 微構 造 發達에 대해서 論文을 발표하기도 하였다.

白堊紀 火山岩類와 岩脈類 중 火山岩類는 유문암질과 안산암질암으로 구성되며, 白堊紀 以前의 변성퇴적암류 와 쥬라기 花崗岩類 등을 不整合的으로 被覆하고 있으 며, 인접 지역에서 나온 年齡值에 의하면 90.4-75.3 m.y. (白光浩 外, 1979)로 나타나 榆川層群에 對比되는 암석들이다. 또한 岩脈類는 주로 중성암맥과 산성암맥 등이 나타난다.

地質構造

本域에 발달하는 構造요소들로는 변성퇴적암류에서의 점판변개 및 편리, 분쇄질 화강암 내의 粉碎質 葉理

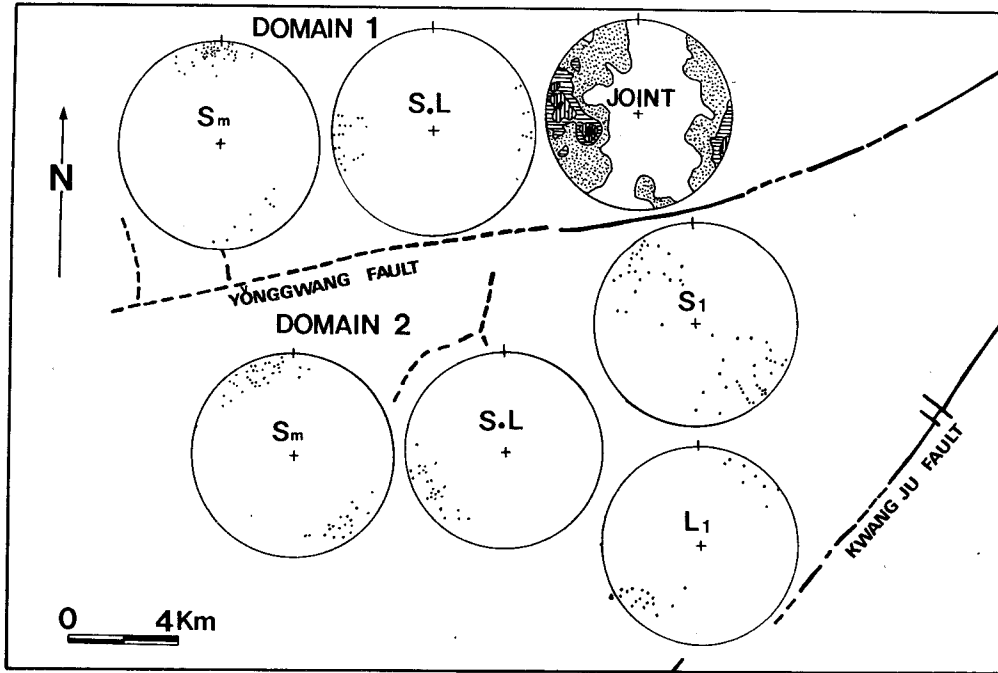


Fig. 2. Structural domains and stereographic projections of the structural data: Sm; mylonitic foliation S.L; stretching lineation S1; slaty cleavage L1; mineral lineation.

(mylonitic foliation)와 절리 등의 面구조와 광물 및 礫신장 선구조, 분쇄질 화강암에 발달하는 광물신장 선구조 등의 선구조 및 단층 등으로 구성되며, 이러한 構造要素들은 영광단층을 기준으로 크게 2개의 構造領域으로 구분하여 각 구조요소들을 입체투영상에 點記하면 Fig. 2와 같다.

第1 構造領域에서는 변성퇴적암류가 거의 분포하지 않으며 EW 방향으로 變形된 반상흑운모 화강암의 延性剪斷帶 (ductile shear zone)가 발달되어 있는 지역이다. 粉碎質 葉理는 zone margin 에서 zone center로 갈수록 현저하게 발달하며 대체로 N84E, 80SE에 가장 집중됨을 보여준다. 광물신장 선구조는 伸張된 석영 rods와 재결정된 운모, 장석 斑狀碎晶 (porphyroclast)의 꼬리 등으로 정의되며, 대체로 265°-278°의 선주향 (trend)으로 완만한 선경사 (plunge)를 보여준다.

第2 構造領域에서의 面構造로는 변성퇴적암류에서의 점판벽개 및 편리, 분쇄질암에서의 粉碎質 葉理 등이 나타나는데, 본領域에서의 분쇄질 엽리는 第1 構造領域과는 달리 대체로 N50° E에 北西傾 혹은 南東傾한다 (Fig. 2). 그리고 變成堆積岩類에 발달된 엽리 (粘板劈

開 및 片理)는 대체로 N40° E로, 경사는 低角度에서 高角度까지 고루 분포하며, 주로 묘량면 連岩里 일대에서 수집된 자료를 보면 北西傾하거나 南東傾하여 하나의 褶曲形態를 보여준다. 분쇄질암에 발달된 伸張線構造는 대체로 230°-260° 선주향에 선경사는 약 20° 内外이다.

本域 野外 地質調査時 EW 方向의 剪斷帶 南側 境界를 따라 거의 EW 方向으로 약 30 km이상의 연장성을 갖는 脆性變形作用 (brittle deformation)의 산물인 단층이 발견되었는데, 이 단층은 영광 단층으로 命名되었으며 연성전단대를 절단하고 있다. 본영광단층은 주로 흑운모 화강암과 반상흑운모 화강암의 境界部를 따라 나타나며 斷層面의 走向은 거의 EW 方向이고, 급하게 南傾하거나 北傾한다. 佛甲貯水池 옆의 光州-靈光 國道邊에 선 단층면을 직접 관찰할 수 있는데 단층면은 거의 EW 走向이고 거의 수직으로 傾斜한다. 측정된 斷層條線은 268°에 약 20°의 선경사를 나타낸다. 이곳에서 靈光斷層의 運動感覺을 決定할 수 있는 증거들이 관찰된다. 특히 Petit(1987)에 의해 제안된 이동감각 결정을 위한 중요 기준들은 야외적용이 용이하며 비교적 신뢰도가 높은 것으로 알려져 있는데 그 중 본단층에선 T-criteria의

crescentic 및 tensile-type 斷裂 (Fig. 3)과 방해석으로 충전된 斷裂들이 흔히 관찰되고, 더불어 R-criteria 斷裂중에서 특히 RO-type(Fig. 4)이 전형적으로 나타남으로서 이들을 적용할때 영광단층의 운동은 左手 주향이동성이었을 것으로 판단할 수 있다. 이외에도 靈光邑 新川里 신천저수지 윗쪽의 하천변, 영광군 묘량면 월암리 월포마을 옆 계곡, 월암리 사동마을 개울가 등에서는 斷層面을 직접 관찰하긴 어려우나 단층면의 주향에 평행하게 단층각력대가 잘 발달된다.

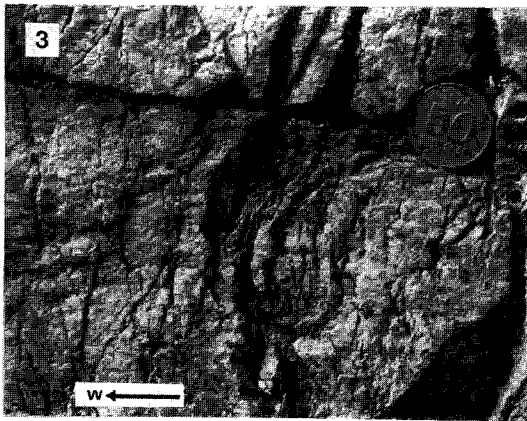


Fig. 3. Crescentic fractures (T fractures) on the fault plane of the Younggwang fault. Arrow indicates sense of movement.

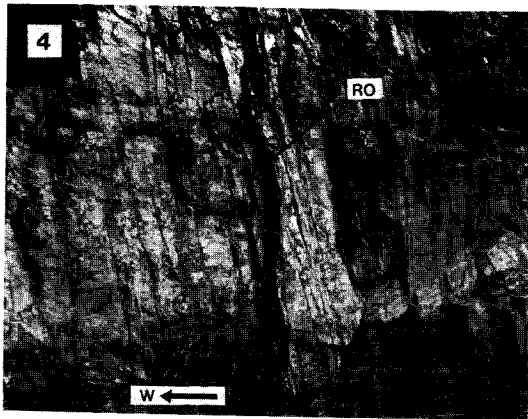


Fig. 4. Ro type fractures on the fault surface of the Younggwang fault which is serrated due to the intersection of two sets of secondary shears, R and R. Arrow indicates sense of movement.

剪斷帶의 性質

微構造

本剪斷帶에서 變形史 (strain history)는 단순전단이 우세하게 일어난 非同軸 不均一變形作用 non-coaxial inhomogeneous deformation)으로, 이에 대한 증거로는 야외 및 현미경 관찰에 의해 S-C구조, 비대칭 斑狀碎晶, 단열 및 變位된 입자, 粉碎質 엽리의 小褶曲 등으로 나타난다. 전단대 형성에 대한 樣相과 조건에 대해서는 많은 학자들(Sibson, 1977; White, 1980; Takagi, 1986)에 의해 論議되어져 오고 있으나, 일반적으로 분쇄암의 형성은 지하 심처의 高溫, 高封壓下에서 형성된다고 생각되어지고 있다.

第1 構造領域에서 연성전단대를 가로질러 zone margin에서 zone center 로 갈수록 분쇄암은 점진적으로 구성광물들, 특히 석영과 장석의 입자크기가 감소됨을 보여준다(Fig. 5). 석영의 입자크기에서 한 試料 (JK 60)가 異常値를 보여주는데 이것은 雲母類의 함량이 他試料에 비해 상대적으로 낮게 나타나므로 同一條件下에서도 動力 再結晶作用이 더 더욱 우세하게 나타날 수 있기 때문에 思料된다. 그리고 엽리의 발달도 점진적으로 강하게 되며, 또한 일반적으로 분쇄암에는 2가지의 葉理가 흔히 관찰된다. 즉 Lister & Snoke (1984)에 의한 전형적인 Type I S-C 粉碎岩 組織으로 S-엽리는 有限變形의 집적(accumulation)에 관련 있는 것이고, C-엽리는 變位の 불연속면 혹은 局部的으로 높은 strain zone에 관련있는 剪斷面이다 (Fig. 6).

張泰雨(1985)에 의해 구분된 各 葉理 發達段階에 S-C구조의 발달정도를 연관시켜 고찰해 보면 weakly-foliated stage에서는 이 S-C 구조가 肉眼으로는 거의 관찰할 수 없고 현미경에서 희미하고 불연속적으로 발달됨이 관찰되며, 兩面간의 角度(θ')는 35-43°의 범위를 갖는다. Well-foliated stage에서는 육안으로도 認知가 쉽게되며 S-面은 C-面 속으로 anastomosing하고, C-面은 비교적 연속적이고 명료한데 그 角度(θ')는 16-21° 정도이다. 이 段階에서는 C-面들 간의 간격도 좁아지므로 그 密度도 증가한다. 특히 이 단계에서 S-面に 평행한 ribbon形의 석영 집합입자 내에 신장된 個個 석영입자들이 S-面に oblique 한 석영엽리(quartz foliation)를 발달시키고 있다. Banded-foliated stage

엔 兩面들이 서로 거의 平行하게 나타난다. 여기서 S-면은 조밀한 C-면 영역사이의 마이크로리손(microlithion)지역에서 석영 집합입자 ribbon과 운모의 選擇配向으로 弱하게 인지된다. 결국 C-면의 밀도 증가는 전체적으로 입자크기 감소와 兩面간의 角度 감소를 동반한다고 할 수 있다.

剪斷感覺 決定

本剪斷帶에 대한 전단감각은 이미 張泰雨(1985), 李柄柱等(1990)에 의해 右手向 走向移動임이 알려졌지만 今番 연구를 통해 전단감각을 지시하는 좋은 기준들이 많이 관찰되었고 그 결과는 前述 연구의 것과 같았다. 그 중에서 중요하고 신뢰도가 높은 몇몇 기준들을 기술해 보기로 한다.

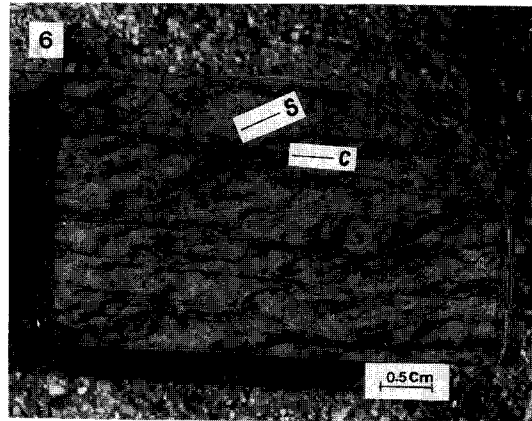


Fig. 6. S-C mylonitic fabrics on the handspecimen of the deformed granite. Sense of shear is dextral

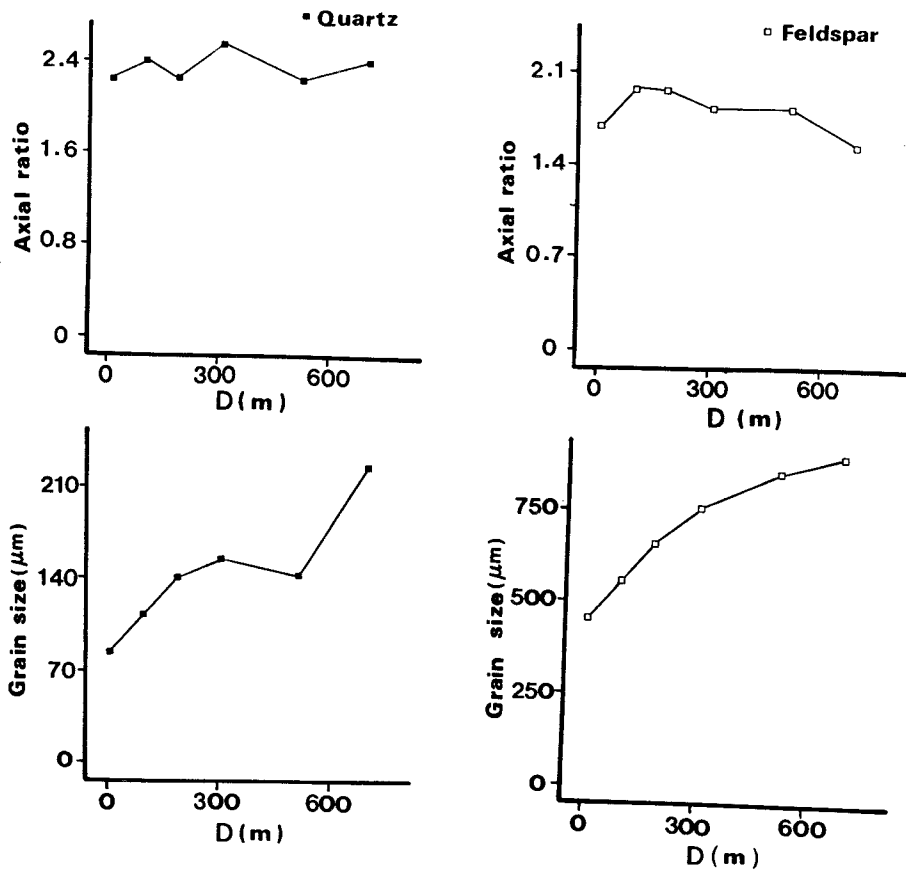


Fig. 5. Variation of the mean grain size and mean axial ratio of collected samples across the domain 1.

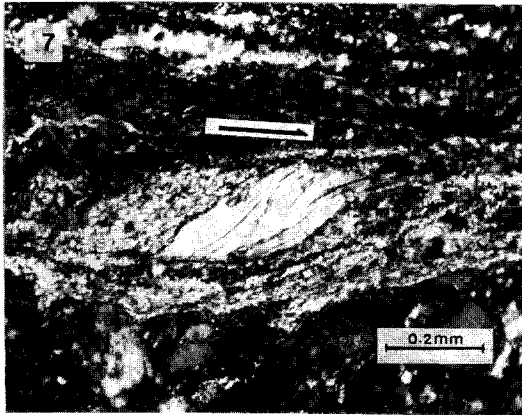


Fig. 7. Photomicrograph of mica fish - muscovite porphyroclast in the intensely deformed granite. Arrow indicates sense of shear.

S-C 구조와 운모 물고기(mica-fish)

剪斷感覺의 決定要素 (Simpson & Schmid, 1983; Simpson, 1986; Passchier & Simpson, 1986)들 중에서 S-C 구조는 가장 정확한 指示者로 本域의 대부분에서 잘 발달되며, 특히 第1 構造領域에서는 현저하게 나타난다. 이러한 本 決定要素에 의하면 모두 右手感覺임을 보여준다 (Fig. 6).

운모 물고기는 粉碎岩에서 雲母 斑狀碎晶으로 나타나는데 (Lister & Snoke, 1984), 本剪斷帶에서도 잘 나타나며, 本域 試料의 현미경사진으로부터 모두 右手감각을 지시해준다 (Fig. 7).

非對稱 斑狀碎晶

일반적으로 석영-장석질 암석으로부터 유래된 粉碎質 岩石에서는 長石 斑狀碎晶들이 흔히 나타나는데, 이러한 반상쇄정에서 전단감각의 指示는 非對稱的인 꼬리, 즉 reaction softened 물질로 된 꼬리의 형태 (Passchier & Simpson (1986)의 shear box 실험으로 만들어진 기하학적 system의 σ -Type과 δ -Type)에 따라 전단감각을 決定할 수 있다. Passchier & Simpson (1986)의 방법에 Takagi & Ito (1988)의 drag angle method를 結付시키면 더욱 명료한 剪斷感覺을 결정할 수 있다. 本域의 試料에서는 특히 전단대의 거의 중심부에 해당하는 試料에서 잘 관찰되는데 모두 右手감각을 보여준다.

斷裂 및 變位된 粒子

일반적으로 연성 변형작용에 의해 발달되는 粉碎岩에서 rigid 礦物인 장석의 斷裂된 입자로부터 剪斷감각을 결정할 수 있다. Simpson (1986)에 의하면 葉理面과 斷裂 間の 角度 $0-35^\circ$ 에서는 變位된 입자의 slip 감각과 同一한 전단감각을 가지며, 35° 이상이면 입자의 slip 감각과 反對의 剪斷感覺을 보여준다고 하였다. 本域의 試料 중에서 高각도를 갖고 전단감각과 반대 slip 감각을 보여주는 장석입자의 현미경 사진과 bookshelf sliding을 보여주는 장석입자에서 또한 右手감각임을 나타낸다 (Fig. 8).

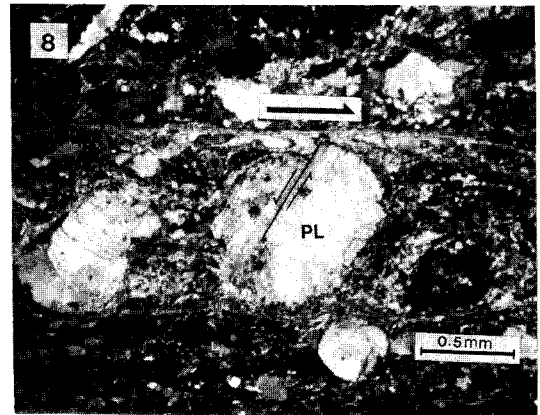


Fig. 8. Photomicrograph of fractured and displaced grains of plagioclase porphyroclasts in the intensely deformed granite. Arrow indicates sense of shear.

形態 選擇 配向(石英 葉理)

일반적으로 분쇄질암내의 monominerallic bands (거의 대부분 石英집합 입자 ribbon임)에는 흔히 그 암석의 主 葉理(분쇄질 葉理)와 斜角의 석영 葉리를 가지는데, 이 석영 葉리는 薄片에서만 관찰되어지며 세립으로 再結晶된 석영 새입자 들의 伸張으로 이루어진다. 이들의 주엽리 및 C-면에 대한 角度는 變形이 증가함에 따라 점진적으로 감소하는 것으로 알려져 있다 (Chang, 1991).

Lister & Snoke (1984)에 의하면 이는 剪斷感覺 유추에 있어서 신뢰도 높은 指示者로 생각되며 本域에선 우수감각을 나타낸다 (Fig. 9). 그러나 석영 葉리로 전

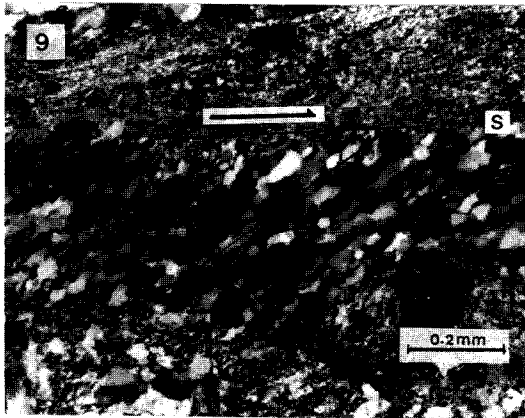


Fig. 9. Photomicrograph showing grain shape preferred orientation of quartz in well-foliated granite. The elongate new grains weakly define quartz foliation. Arrow indicates senses of shear.

단 감각을 결정할 때에는 분쇄질 엮리가褶曲되지 않은 곳에서만이 좋은 지시자가 될 수 있다.

剪斷變形 推定 (Shear Strain Estimation)

일반적으로 延性剪斷帶에서 변형측정은 적당한 變形指示者(strain maker)의 결여로 어려움이 뒤따른다. 그러나 本域의 전단대는 우수 주향이동의 전단대로서 剪斷帶 境界 (shear zone boundary)가 전단면(shear plane; C-면)에 평행하고 S-面은 principal shortening 에 직각으로 형성되었고 zone center로 갈수록 두 면사이의 角度(θ')는 점진적으로 감소했을 것이다 (Table 1). 따라서 유한 변형타원체(finite strain ellipsoid)의 XY면과 전단면사이의 角度(θ')는 剪斷變形(γ)과 관련된다(Fig.10). 즉 Ramsay & Graham (1970)에 의한 公式 $\tan 2\theta' = 2/\gamma$ 로 표시된다. 그리고 각 C-면과 C-면간의 幅(dx)을 알수 있다면 각 變位(S)=dx · γ 로 표시될수 있으므로 불균일 전단변형대의 전체 變位(S)는 $S = \int_0^x \gamma dx$ 로 표시된다. 또한 Fig. 11과 같이 거리에 따른 전단변형(γ) 값 변화 그래프에서 그 그래프가 나타내는 面積의 總合으로서도 이 전체변위(S)를 나타낼 수 있다.

本域에서의 變形推定은 다음과 같은 3가지의 假定에 근거하여 시도되었다. 1) 변형작용은 平面變形 (plane strain) 이며 단지 剪斷作用에 基因한다. 2) 변형작용은

Table 1. Shear strain (γ) and S^C angle (θ') across the ductile shear zone of domain 1 in study area

시료번호	JK 14	JK 46	JK 55	JK 61	JK 60	JK 59
S^C angle (θ')	6°	16°	19°	21°	36°	43°
Shear strain (γ)	9.41	3.20	2.56	2.22	0.65	0.14

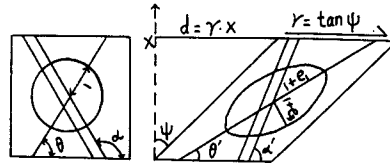


Fig. 10. Relation of the strain ellipse to shear in a simple shear system with no volume change (Ramsay 1980).

일정한 體積을 유지한채 일어났다. 3) 변형작용은 延性이고 균일하다. 이러한 假定과 方法으로 S-C 분쇄암의 발달이 양호한 本域의 제 1 구조영역에서 채취한 6개의 試料 (Table 1) 로서 薄片과 手試料에서 S^C angle 를 측정하고, 이것으로 전단변형(γ) 값을 구하여 이를 거리에 따른 변화 그래프로 나타내어서 이 구간 (Fig.11)의 JK 14에서 JK 59까지) 에서만의 전체변위량을 구하여 본 결과는 대략 1434.5(m)로 나타나며 전단대의 中心部로 갈수록 전단변형(γ) 값은 증가됨을 보여준다.

이와같은 결과를 놓고 볼때 연성전단대에서 岩脈과 같은 displaced & strained markers가 없으면 polycrystalline 집합입자를 指示者로 하여서 그 變形을 해석할 수도 있는데 이 경우에 그 집합입자가 變形作用 以前에 球形이 아닐수 있으며, 또한 그 집합입자의 변형작용이 전체암석의 變形作用을 代表하지 않을 수도 있으므로 粉碎質岩石에서의 변형을 측정할 때에는 아주 조심스럽게 遂行되어야 될 것으로 알려져 있다 (Brug & Laurent, 1978). 그리고 Burg & Laurent (1978)는 화강섬록암 内の 剪斷帶에서 직접적으로 명료한 變形指示者를 갖고 측정한 값과 本域에서 시도한 방법과 동일한 방법으로 측정하여 얻은 값을 비교해 보고 그 각각의 계산된 X/Z 값은 거의 일정한 값을 보여준다고 하였다. 또한 Boullier(1986)에 의하면 동일한 한 地域內에서 3가지 方法, 즉 ①분쇄질 엮리의 회전에 의한 방법 (S^C angle 방법), ②Eburnean granulitic layering

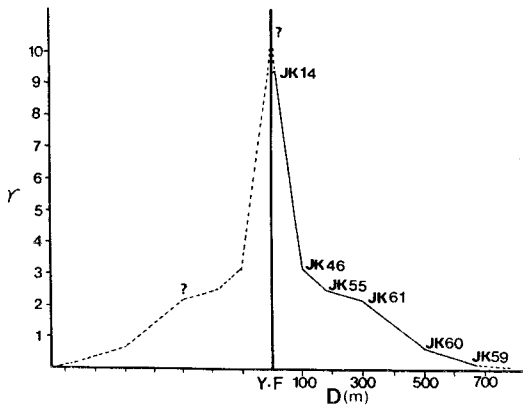


Fig. 11. Graph showing the variation in shear strain (γ) across the domain 1

의 회전에 의한 방법, ㉔ mylonitic layering의 두께에 의한 방법을 시도해본 결과 그 측정된 값들은 약간씩 차이를 보였으나 이는 各方法에서 수반된 실책에 의한 차이로 해석하였고 ㉑方法과 ㉒方法의 경우 동일한 결과

를 나타내므로 그 측정된 값은 합당한 변위와 剪斷變形 (γ) 값을 나타낸다고 하였다. 그래서 本域에서 시도한 방법은 어느 정도 합당한 값을 얻을수 있지만 단지 6개의 試料로서는 부족하며 測定時의 실책도 수반될 수 있으며, 剪斷帶 전체를 횡단하여서 그 측정치를 얻는다면 그 값은 훨씬 더 큰 변위값을 나타낼 것이다. 그러나 이번에 얻은 값은 전형적인 剪斷帶의 half zone에서의 최소 변위값으로 볼 수 있다.

剪斷帶의 交叉樣相에 대한 考察

本域의 花崗암류 內에 발달하는 연성전단대가 靈光邑 東部에서 NE의 방향과 EW내지 NEE의 방향이 서로 交叉하고 있는데 두 方向 공히 右手 전단감각을 나타내며 走向移動運動을 지시해주고 있다(Fig. 12). 이렇게 전단대가 交叉 또는 分岐할 수 있는 model들을 提示하고 그 타당성을 검토해 본다. 먼저 李炳柱等 (1990)에 의해 이미 지적되었던 바와 같이 EW 방향을 antithetic Riedel shear 로 해석하는 모델, EW 方向의 壓리면을

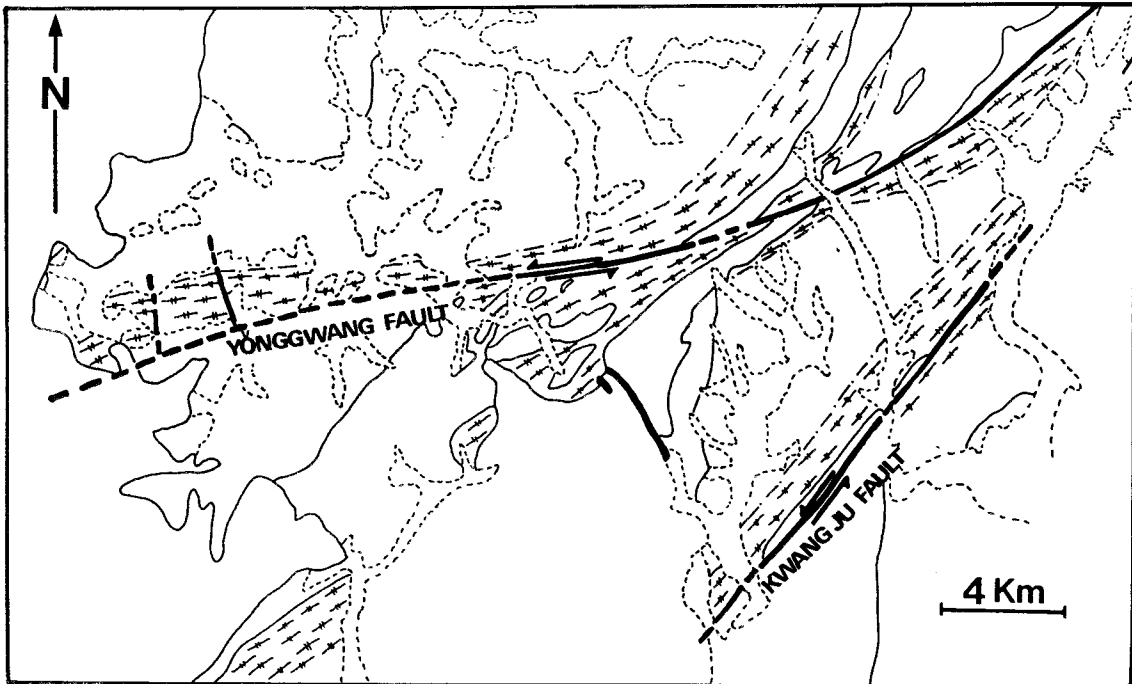


Fig. 12. Structural trend of ductile shear zones with mylonitic foliations and lineations in the Yonggwang area.

S-C 면구조에 연이어 생성되는 C' 면으로 간주하는 假說 및 생성시기를 달리하는 두 전단대의 중복교차양상이 라는 說 등은 확실히 그 타당성이 결여된다고 할 수 있다. 다음으로 同一變位感覺을 갖고 발달하는 merging shear zone (Ramsay 1980)의 가설(Fig. 13) 로 운동감각이 둘 다 右手向임은 본역과 一致한다. 하지만 地殼의 淺部에서는 inward-dipping geometry 를 가질 수 있지만 地殼의 深部에서는 하나의 전단대(single shear zone)로 收斂함을 추측케하므로 일반적으로 地殼의 深部에서 형성되는 것으로 알려져있는 粉碎帶에서 本域과 같이 高角度를 가지며 分岐하여 나타난 것에 대한 설명으로는 부족한 점이 나타나며, 또한 李柄柱 등 (1990)의 가설과 마찬가지로 本域에서처럼 지표에서 두 方向이 交叉되는 양상을 잘 설명할 수 없다. 또 李柄柱 등(1990)이 제안한 extensional oblique-slip imbricate 가설은 理想的인 dextral strike-slip system에서 extensional oblique imbricate fan 의 樣相 (Woodcock 1986 & 1987) 과 비교 검토해보면 imbricate fan部分인 EW방향의 전단대의 경우 傾斜方向이 北傾하여 나타나야되고 線구조의 선경사도 SWW 와는 반대로 NEE 내지 NE를 가르킴이 더 합리적이다. 나아가서 "imbricate"란 용어가 통상 거의 平行하고 overlapping하는 일련의 소단층 혹은 압괴를 기술하는데 사용됨을 고려할때, 本域에서 EW전단대 한 條를 서술하는 데는 또다른 EW방향의 平行한 전단대들이 관찰 되어야 할 것이다. 마지막으로 後期の

靈光斷層이 理想的인 strike-slip의 releasing bend부분에서 일어나 기존의 전단대를 左手向으로 수평 이동시켰다는 假說(Fig. 14)로서 이것은 既存의 理想的인 strike-slip system(Christie-Blick, 1985)에서의 releasing bend 部分이 있었고 封壓, 溫度, 變形速度등 변형작용 상태의 변화를 수반한 후기의 變形作用이 releasing bend 部分에 左手의 胞性走向移動斷層을 발달시킴으로서 현재와 같은 연성전단대의 분포를 야기시켰다고 생각된다. 이 靈光斷層이 左手 주향이동운동에 의한 產物임은 여러가지 室內外 단층면 운동의 criteria 로 부터 확인되었음은 前章에 기술된 바있다.

變成堆積岩內 硅岩의 變形 分析

변형작용을 받은 岩石의 변형측정을 위해 여러가지 變形指示者들이 이용 되고 있지만, 本研究 地域 中에서 靈光郡 묘량면 연암리 일대 (Fig.1의 挿入圖 & Fig. 15) 는 변성퇴적암류 中에 硅岩이 많이 混재되어 있고, 中央의 延長性이 좋은 礫質硅岩을 경계로 그 北西쪽과 南東쪽의 변성퇴적암류들은 전단대 이전에 발달한 하나의 큰 습곡을 이루고 있는데 이곳에서 변형된 규암의 석영입자 및 석영집합입자를 변형의 指示者로 變形橢圓體의 XZ面과 YZ 面에서 50-100입자가 측정되었고 또한 역질규암 (시료 F) 에서는 XZ 面과 YZ面에서 신장된 礫을 各各 60여개가 측정되었다. 이와같이 측정된 Rf (final aspect ratio) 값과 ϕ 값을 비교적 정확도가 높고

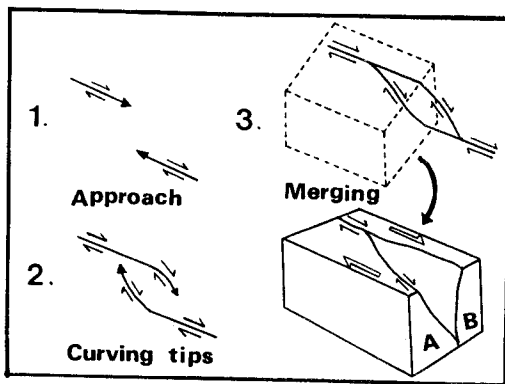


Fig. 13. Propagation of merging shear zones and postulated three-dimensional form of similar displacement sense (Ramsay 1980; Woodcock 1986).

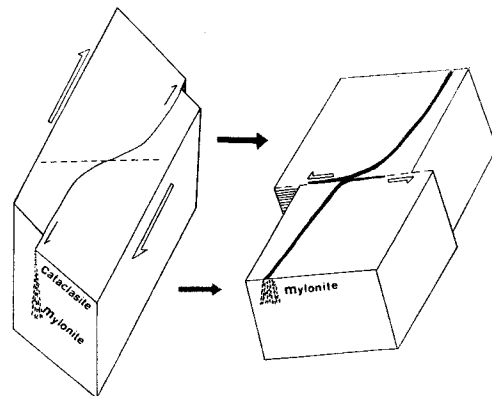


Fig. 14. Block diagram illustrating the development of the intersection feature of the ductile shear zone at the study area.

Table 2. Result of strain analysis and calculated strain parameters in metasedimentary rocks(quartzite).

Sample No	Rs			$\sqrt{\lambda_1}$	$\sqrt{\lambda_2}$	$\sqrt{\lambda_3}$	K	ϵ_s	ν	γ
	X	Y	Z							
	A	1.721	1.586							
B	2.001	1.397	1	1.487	1.038	0.743	1.050	0.4908	-0.0365	1.829
C	3.181	2.477	1	1.862	1.450	0.585	0.180	0.8610	0.5678	2.761
D	2.747	2.618	1	1.751	1.669	0.638	0.020	0.8061	0.9044	2.667
E	4.997	2.070	1	2.471	1.024	0.495	1.320	1.1386	0.0958	3.484
F	11.19	3.126	1	3.624	1.012	0.324	1.214	1.7088	-0.056	5.707
JK39	3.836	2.903	1	2.065	1.563	0.538	0.160	1.0040	0.5856	3.224

非回轉變形이건 回轉變形이건 모든 변형에 적용할 수 있는 Shimamoto & Ikeda(1976) 방법을 사용하여 분석하고 그 결과를 검토하였으며, 本域에서 변형된 규암의 분포가 전단대 내와 밖에 공히 분포함으로써 延性 剪斷變形作用이 변형 규암에 어떠한 영향을 주었는가를 검토할 수 있었다. Shimamoto & Ikeda 방법에 의해 구해낸 변형타원체 주축의 길이를 이용하여 각종 變形 媒介變數들을 구한 결과는 Table 2와 같다.

위의 결과에서 Mukhopadhyay (1973)의 strain magnitude (ϵ_s) 값은 변형의 크기를 하나의 常數로 나타낼 수 있는데 그 값이 크면 變形이 많았음을 나타낸

다. 本域에서는 그 값이 0.41에서 1.7의 범위를 보인다. 또한 Watterson (1968)에 의한 strain intensity (γ) 도 各 軸에서의 변형크기를 하나의 常數로 나타낼 수 있는데, 本域에서는 Fig. 15 에서 보여주듯이 剪斷帶 內에서는 2.7-5.7의 범위를 나타내고, 전단대를 벗어난 곳에서의 strain intensity (γ)는 1.7과 1.8을 보여준다.

本域의 변성퇴적암류 內 硅岩에서의 變形型을 알기 위해 Hsu diagram에 접기한 결과는 褶曲의 힌지 부분이 가까운 규암과 역질규암에서는 평면변형(K=1)領域 및 그 부근에 접기되고, 그 以外 試料에서는 扁平形의 變形

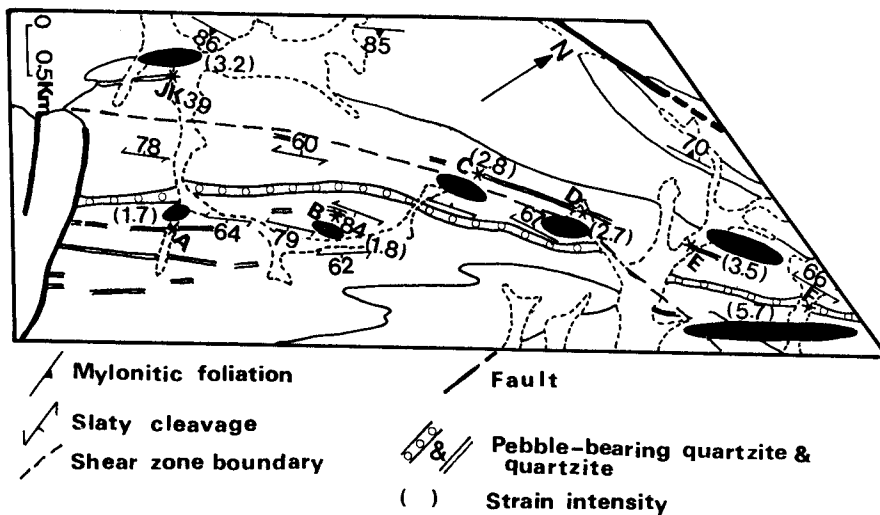


Fig. 15. Structural map and the shape of strain ellipses on the XZ plane and strain intensity(r) in the study area.

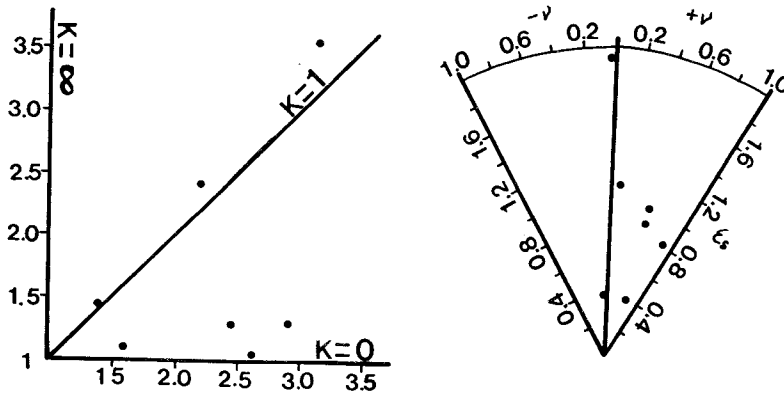


Fig. 16. Flinn and Hsu diagram showing strain patterns and strain magnitude.

형을 보여준다 (Fig. 16). 따라서 전단대 밖에 분포하는 규암에 비하여 전단대 內에 분포하는 역질규암 및 규암은 연성전단변형작용의 영향으로 더욱 變形되었음을 보여주며, 전단대의 中心部에 가까운 역질규암에서는 신장된 礫들이 변형타원체의 XZ面에서 약 11:1로 크게 신장되어 나타남을 보여준다.

結論

靈光附近的 珪岩이 화강암체에 발달하는 연성전단대는 NE의 走向을 갖는 전단대와 靈光邑에서 西쪽으로 거의 EW의 走向을 갖는 전단대가 交叉하며 모두 公히 右手 走向移動運動을 나타내고, 本域에서 거의 EW방향의 연성전단대를 분기시킨 가장 타당한 해석으로는 理想的인 右手 strike-slip system의 releasing bend部分에 봉압, 온도, 변형속도 등 변형작용 상태의 변화를 수반한 계속적인 변형작용이 靈光斷層 즉 胞性的인 左手 走向移動運動으로 발달되어 현재와 같은 分岐 및 交叉形 연성전단대의 분포를 일으켰을 것으로 사료된다. 本域에서 연성변형작용 以後에 일어난 영광단층은 左手 走向이 동운동을 잘 지시해 준다.

本域의 연성전단대에서 變形史는 단순전단이 작용한 非同軸 불균일 변형작용으로 제 1 구조영역에서 단순전단에 根據한 전단변형 추정치는 전단대의 가장자리에서 中心部로 갈수록 0.14에서 9.41 까지 증가함을 보여주며, 측정되어진 이 구간(JK 59에서 JK14 까지)에서 단의 얻어진 half zone의 최소 전체 變位 값은 1434.

5m 입을 나타낸다.

本域의 延性剪斷帶의 zone margin에서 zone center로 갈수록 構成礦物들의 입자크기는 점진적으로 감소됨을 보여주며, 葉理의 발달도 점진적으로 강하게 나타난다. 葉理발달 段階에 따른 S-C 구조의 발달은 weakly foliated 段階엔 이 構造가 미약하고 불연속적이며 $S^{\wedge}C$ 角度는 $35^{\circ} \sim 43^{\circ}$ 로 크다. Well-foliated 段階에서는 육안으로도 認知가 되며 비교적 연속적이며 명료하고 $S^{\wedge}C$ 각은 $16^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 정도인데 이 段階부터는 S-面에 oblique한 石英葉理가 발달하게 된다. banded-foliated 段階엔 兩面이 서로 거의 平行하게 나타나며 S-面에 대한 석영葉理의 角度도 감소한다.

本域의 변성퇴적암류 內 珪岩에서의 變形分析 결과는 연성전단대 밖에 있는 규암의 strain intensity(γ)가 약 1.7을 나타내는 반면에 연성전단대 內의 규암에서는 strain intensity(γ)가 2.7에서 5.7의 값을 나타낸다.

參考文獻

- 李炳柱, 金東鶴, 田京惜 (1990) 韓半島 南西部 靈光邑 附近 延性剪斷帶의 變形特性 研究. 地質학회지, 26, 권 p. 304-312.
- 李倫鐘, 權英一, 李仁基 (1973) 한국지질도 망운도폭, 국립지질조사소.
- 任明赫, 張泰雨 (1990) 長城地域 剪斷帶內 珪岩의 微構造와 變形度 分析. 地質학회지, 26권, p. 541-552.
- 張泰雨, 黃尙九 (1984) 歌音島 圖幅地質報告書. 한국동력자원연구소.
- 張泰雨 (1985) 全南 靈光附近 花崗岩 mylonite 微構造의 順次的

- 發達. 지질학회지. 21권, p. 133-146
- 崔偉讚, 黃尙九, 金映範 (1986) 靈光圖幅地質報告書. 韓國動力資源研究所.
- Berthé, D., Choukroune, P. and Jegouzo, P. (1979) Orthogneiss, mylonites and noncoaxial deformation of granites: the example of the south Armorican shear zone. *J. Struct. Geol.*, v.1, p.31-42.
- Burg, J.P. and Laurent, Ph.(1978) Strain analysis of a shear zone in a granodiorite. *Tectonophysics*, v. 47, p.15-42.
- Boulier, A.M. (1986) Sense of shear and displacement estimates in the Abeibara-Rarhous late Pan-African shear zone. *J. Struct. Geol.*, v. 8, p.47-58.
- Chang, T.W.(1990) Relative timing of shear zone formation and granite emplacement in the Yechon shear zone, Korea. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 23, p.453-463.
- Chang, T.W. (1991) On the microstructures of mylonitic rocks, with special reference to Yechon shear zone, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 27, p. 177-190.
- Christie-Blick, N. and Biddle, K.T. (1985) Deformation and basin formation along strike-slip faults. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, special publication, No. 37*, p.1-37.
- Kim, H.S.(1973) On migmatites in the Jeonju - Mogpo area, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v.9, p.207-234.
- Lister, G.S. and Snoke, A.W. (1984) S-C mylonites. *J. Struct. Geol.*, v.6, p.617-638.
- Mukhopadhyay, D.(1973) Strain measurements from deformed quartz grains in the slaty rocks from the Ardennes and the Northern Eifel. *Tectonophysics*, v.16, p.279-296
- Paik, K.H., Yoon, K.S., Kim, E.H. and Freeland, M.H.(1979) Geology and geochronology of Gwangju fault area. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 15, p.201-209.
- Passchier, C.W. and Simpson, C.(1986) Porphyroblast systems as kinematic indicators. *J. Struct. Geol.*, v. 8, p.831-843.
- Petit, J.P. (1987) Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *J. Struct. Geol.*, v. 3, p.597-608.
- Ramsay, J.G. and Graham, R. H. (1970) Strain variation in shear belts. *Can. J. Earth Sci.*, v.7, p. 786-813.
- Ramsay, J.G. (1980) Shear zone geometry: a review *J. Struct. Geol.*, v.2, p.843-99.
- Shimamoto, T. and Ikeda, Y.(1976) A simple algebraic method for strain estimation from deformed ellipsoidal objects 1, basic theory. *Tectonophysics*, v.36, p. 351-337.
- Sibson, R.H. (1977) Fault rocks and fault mechanism. *J. Geol. Soc Lond.*, v.133, p.191-213.
- Simpson, C. and Schmid, S.M., 1983, An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v.94, p.1281-1288.
- Simpson, C.(1986) Determination of movement sense in mylonites. *J. Geol. Education*, v.34, p.246-261.
- Takagi, H. (1986) Implications of mylonitic microstructures for the geotectonic evolution of the Median Tectonic Line, central Japan. *J. Struct. Geol.*, v.8, p.3-14.
- Tagaki, H and Ito, M.(1988) The use of asymmetric pressure shadows in mylonites to determine the sense of shear. *J. Struct. Geol.*, v.10, p.347-360.
- Watterson, J. (1968) Homogeneous deformation of the gneisses of Vesterland, SW Greenland, *Meddr Gronland*, 175, p.1-75.
- White, S.H., Burrows, S.E., Carreras, J., Shaw, N. D. and Humphreys, F.J.(1980) On mylonites in ductile shear zones. *J. Struct. Geol.*, v.2, p.175-187.
- Woodcock, N.H. and Fischer, M.(1986) Strike-slip duplexes. *J. Struct. Geol.*, v.8, p.725-735.
- Woodcock, N.H. (1987) Kinematics of strike-slip faulting, Builth Inlier, Mid-Wales. *J. Struct. Geol.*, v.9, p.353-363.

3



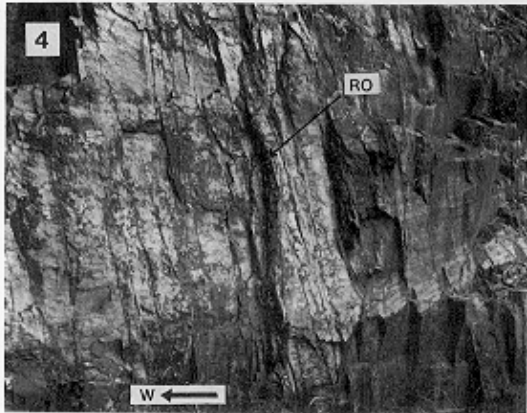
W ←



4

RO

W



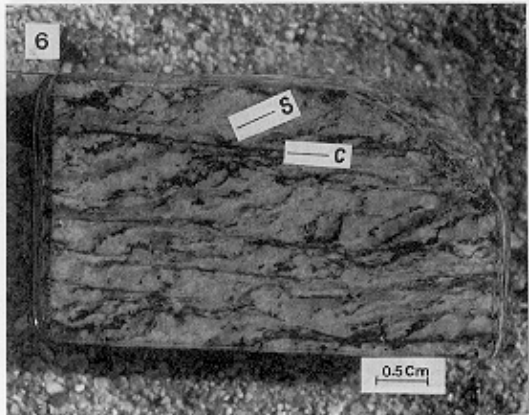
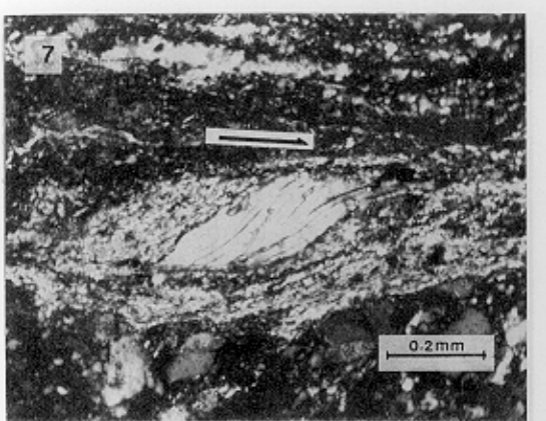


Fig. 7. Photomicrograph of insect head - *triacovella*

7



0.2mm

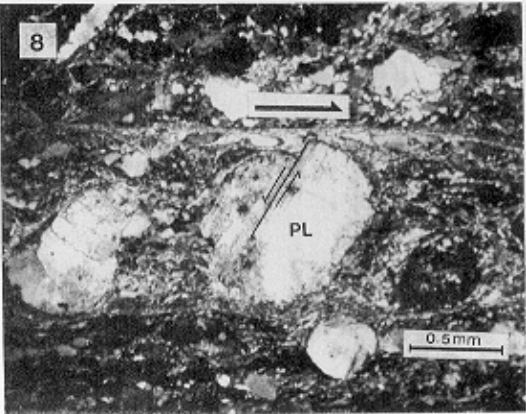


8



PL

0.5mm



9

S



0.2 mm

