

報恩 炭田 西部地域의 地質構造

安重烈* · 張泰雨**

Structural Geology in the Western Area of the Poun Coal Field

Jung Ryeol An* and Tae Woo Chang**

ABSTRACT: The study area is mainly composed of metasedimentary rocks which are included in Ogchon, Choson and Pyongan Groups. Because of thrust faults which are developed in this area, a coal bearing formation is repeatedly distributed two times, and Choson Group is thrust over Pyongan Group. Deformation in this area was taken place in a series of three phases (D_1, D_2 and D_3); D_1 was most intense whereas D_3 was weakest. Thrust faults developed in the upper crust during D_2 produced cataclastic rocks and fault breccia, truncating regional slaty cleavage and earlier folds which were formed during D_1 stage. The quartz microstructures of metapsammitic rocks in Choson and Pyongan Groups suggest that dislocation creep mechanism predominated early in fabric development, afterwards deformation mechanism was transferred to pressure solution which intensified the earlier fabrics. According to strain analysis using quartz grains and quartz aggregate grains, the strain magnitude (E_s) of Pyongan Group represents larger values than that of Choson Group due to the contrast of constituent minerals, the size of original quartz grains and matrix content. Apparent flattening type in strain pattern appears in the whole area. It is suggested that the relationship between Ogchon Group and Choson Group may be thrust contact.

序 言

本 研究地域은 中部 沃川帶의 東南연변부에 위치하는 地域으로서 行政區域上으로 忠淸北道 報恩郡 馬老面 全 域과 三升面의 一部, 沃川郡 青山面과 青城面의 一部 및 慶尙北道 尙州郡 化北面과 化西面의 一部가 포함된다.

本域에 대한 기 조사자료로는 1:5만 青山 及 永同圖 幅(島村新兵衛, 1927), 報恩圖幅(김옥준 등, 1977), 沃川 圖幅(김동학 등, 1978), 青山圖幅(김동학, 이병주, 1986), 報恩炭田 精密地質調査 報告書(자원개발연구소, 1978), 炭田地質 및 시추조사보고 1호 - 11호(대한광업진흥공사, 1962-1987) 및 그의 몇몇 단편적인 研究가 수행된바 있었다.

本域의 地層들은 외견상 하위로부터 平安層群, 朝鮮 層群, 沃川層群의 순서로 分布하고 있는데 기 조사자들 에 의하면 平安層群과 朝鮮層群은 衝上接觸 관계에 있다 고 공통적으로 보고있으나 朝鮮層群 上位에 놓여 있는 沃川層群의 地質時代 및 朝鮮層群과의 관계에 관해서는 아직 定說이 확립되지 않은 상태로 보인다. 또한 本域의 大部分이 포함되는 青山圖幅에서는 本域에 分布하는 石 灰岩 및 石灰質 石英片岩을 朝鮮層群으로 간주하고 이들 이 衝上斷層에 의해 외견상 平安層群 上位에 놓이는 것 으로 해석하였으나 報恩炭田 精密地質調査 報告書 조사 자들은 그중 石灰質 石英片岩을 떼어내어 平安層群으로 간주하고 石灰岩과의 接觸部를 報恩 大斷層으로 해석하 였다.

이와같은 地域에서 本 研究의 目的은 野外 精密調査 및 室內 研究를 통해 各 地層들간의 상호관계, 本域에 數條 발달하는 衝上斷層의 발달상태 및 變形作用의 歷史 를 究明하며 本域에 가장 넓게 分布하는 片岩類에서의

*안동시 경일고등학교(Kyungil High School, Andong, 760-140, Korea)

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

微構造 研究을 통해 變形作用機構, 變形強度 및 變形型을 밝히는데 있다.

地 質

本域에 分布하는 岩層은 沃川層群의 低變成 堆積岩類, 朝鮮層群의 石灰岩 및 石灰質 石英片岩, 平安層群의 片岩類 및 탄질세일, 이들을 貫入한 주라기 화강암류, 그리고 위의 모든 암층들을 貫入한 백악기 화강반암 및 맥암류들로 구성된다 (Fig. 1). 本域의 變成 堆積岩類중 의견상 최상위에 놓여있는 沃川層群의 低變成 堆積岩類는 주로 회색 암회색 및 녹색을 띠는 千枚岩, 雲母片岩과 녹색의 角閃石 片岩(일명 綠色片岩) 등으로 구성된다. 비교적 급경사의 葉理 및 鑛物 線構造가 뚜렷하게 발달하고 있으나 層理面의 발달은 극히 불량하다.

朝鮮層群의 地層들은 石灰岩 및 石灰質 石英片岩으로 구성되고 衝上斷層에 의해 平安層群의 岩石들 위에 놓여 있다. 石灰質 石英片岩을 사이에 두고 반복 分布되

는 石灰岩은 化北面 壬谷理 일대에서 最大分布를 보인다.

本 研究의 主대상이 되는 平安層群은 주로 石英片岩 및 탄질세일로 구성되고 含礫 石英片岩을 협재한다. 報恩 炭田 精密地質調査 報告書(자원개발연구소, 1978)에 의하면 本 層群의 3개소에서 식물 화석인 *calamites sp.*가 산출된다고 보고하였으며, 대성 보은탄광 항내에서 *stigmara* 인듯한 화석이 발견되었다고 보고하고 本 層群을 平安層群으로 해석하였다. 野外 地質調査를 통해 볼때 本 層群에는 化北面 중내리 송정부락 계곡, 馬老面 所餘里일대의 2개소, 靑城面 巨浦里부근에서 편암류내에 렌즈상의 石灰岩이 협재 되고 있으며, 시추 자료를 검토해 볼때도 함탄층내 또는 편암류내에서 石灰岩이 얇게 협재되고 있다. 衝上斷層에 의해 편암류 및 탄질세일 층은 2회 반복 分布되며 편암류내에서는 엽리가 매우 잘 발달하고 층리의 발달도 양호한 편이다. 탄질세일층은 대부분 粘板岩化 되었고 朝鮮層群과의 衝上接觸을 수 곳에서 보여주며 이들 衝上斷層들에 의해 매우 교란된 양

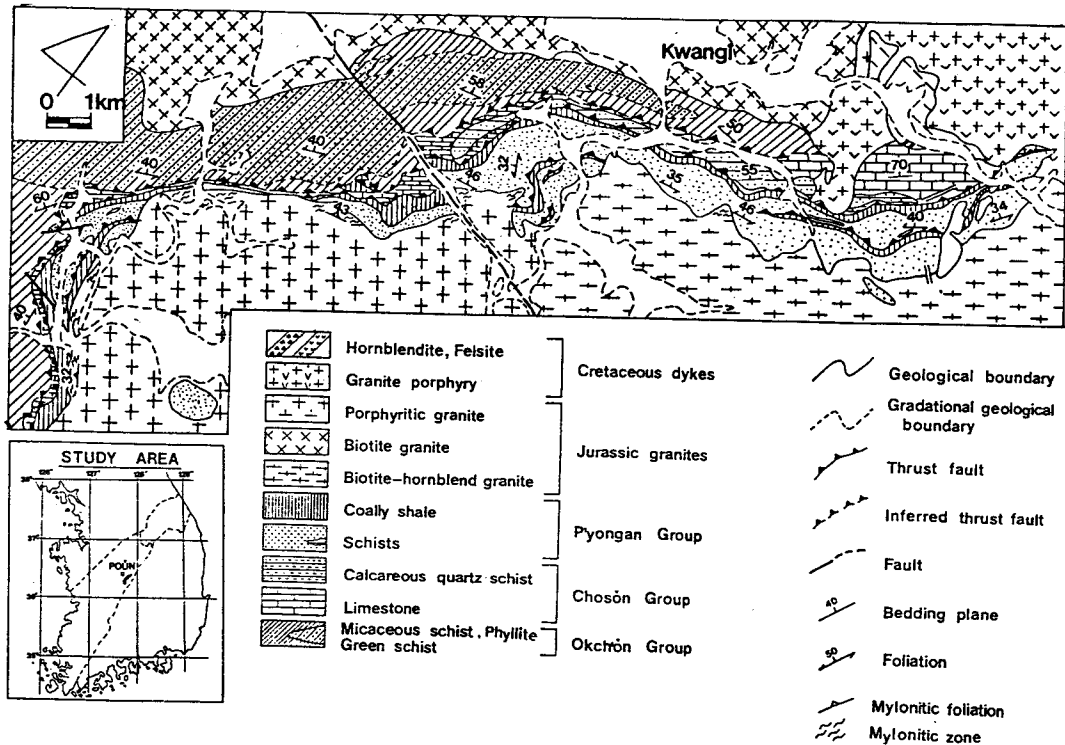


Fig. 1. Geological map of the study area.

상을 보여준다.

花崗岩類는 本域의 주변부를 關입하여 報恩炭田을 東西部로 分利한 흑운모 - 각섬석 花崗암, 좌변부를 關입한 흑운모 花崗암(일명 報恩 花崗암), 그리고 南西部에 넓게 關입한 斑상花崗암(일명 靑山 花崗岩)으로 구성된다. 本域 우측의 化西面 上谷里 國道변에서 慶尙累層群의 퇴적암이 흑운모 - 各섬석 花崗암을 부정합적으로 피복함을 직접 관찰할 수 있어 이 花崗암이 주라기 대보 花崗암임을 입증해 주고 있다. 斑상 花崗암에서 斑晶은 대체로 장경 5 - 6cm 정도이며 이들은 약간의 방향성을 가지고 배열하기도 한다. 또한 이 斑상 花崗암은 本域의 變성퇴적암류와의 거의 모든 接觸部에서, 흑운모 - 各섬석 花崗암은 化北面 平溫里, 馬老面 所餘里 작은재 부근에서 分碎岩化되어 좁은 分碎帶(mylonite zone)를 형성한다. 한편 斑상花崗암은 變성퇴적암류와 비교적 smooth한 接觸部를 갖는데 비해 흑운모-各섬석 花崗암은 비교적 불규칙한 接觸部를 가지며 이들 花崗岩들은 化北面 平溫里, 靑山面 大城里, 靑城面 거포리일대에서 衝上斷層을 절단하고 있다. 北西部의 흑운모 花崗암은 沃川層群 및 朝鮮層群을 關입하고 있으며 花崗반암에 의해 關입당하고 있다.

地質 構造

本域에 발달하는 構造要素들은 層理(S₀), 褶皺 및 편리(S₁), 파랑벽개(S₂), 粉碎質 花崗岩에 발달하는 粉碎質 葉理등의 面構造와 鑛物 및 礫伸張 線構造(L₁), 波浪線構造(L₂), 粉碎質 花崗岩에 발달하는 鑛物伸張 線構造등의 線構造, 褶曲, 衝上斷層 및 斷層등으로 구성되며 이러한 褶皺 構造要素들 및 탄층개발을 위해 수행된 시추공의 자료들을 종합하여 작성한 斷面圖는 Fig. 2와 같다. 이러한 構造要素들은 重複 變形作用의 영향으로 그 trend가 수회 변하는데 각각 다른 방향에 群集되는 構造要素들의 配向(orientation)에 기인하여 4개의 分割區로 구분하여 각 構造要素들을 입체투영圖에 占記하면 Fig. 3과 같다. 本域에 발달하는 層理는 全域에 걸쳐 발달하는데 朝鮮層群에서는 매우 현저하게 발달하며 沃川層群 및 平安層群에서는 드물게 관찰된다. 대체로 粘板劈開 및 片理와 같은 방향에 占記되나 습곡작용에 의해 主 葉理 집중방향의 반대편에 占記되기도 한다.

한편 野外 調查資料 및 이에 따른 褶皺 構造要素들의 통계처리에 의할때 本域에서의 變形作用은 3단계(D₁, D₂, D₃)에 걸쳐 일어났다고 볼 수 있으며 褶皺 構造要素들은 이들 3단계의 變形作用과 직접 혹은 간접적으로 연관되어 발달되었다(Table 1).

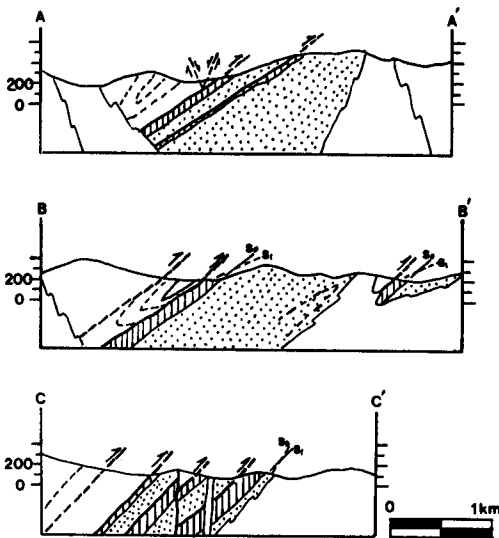


Fig. 2. Geological cross sections drawn from the map of Fig.3.

一段階 變形作用(D₁)

本域에서의 3회 變形作用中 첫번째 단계가 가장 강렬

Table 1. Deformation sequence and products in the study area.

Event	products
D ₁	Tight-isoclinal fold(F ₁)
	Regional slaty cleavage(S ₁) usually parallel to bedding plane(S ₀)
	Mineral lineation and pebble lineation
D ₂	Thrusting & shearing
	Irregularly developed spaced and crenulation cleavage(S ₂), crenulation lineation(L ₂)
	Mylonitic foliation and stretching lineation
D ₃	Open folding & faulting
	Regional slaty cleavage and thrust planes were gently folded.

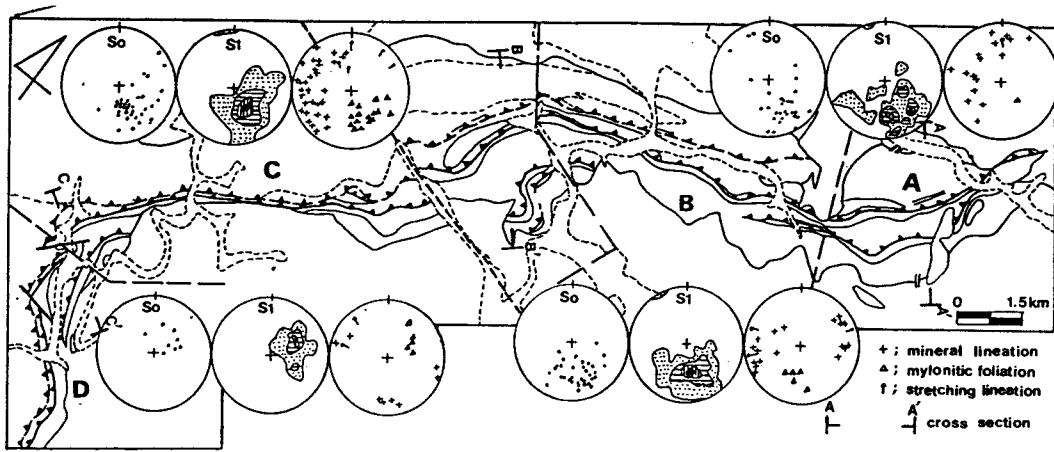


Fig. 3. Structural domains and stereographic projections of the structural data.

하게 진행되어 本域의 모든 地層을 교란, 변위시켰으며 本域에 광역적으로 발달되는 枯板劈開 및 片理(S1), tight ~ isoclinal fold, 鑛物 및 礫伸張 線構造(L1) 등이 이 시기에 발달된 것으로 생각된다.

이 시기에 발달된 葉理는 全域에 걸쳐 매우 현저하게 발달하며 各 區別로 양호한 집중성을 갖는 편이다. A區에서는 대체로 N45° E 60° NW에, B區에서는 N80° E 40° NW에, C區에서는 N60° E 34° NW에, D區에서는 上記 세 區들과는 크게 달리 N30° W 43° SW에 집중된다 (Fig. 3). 또한 이들 葉理들과 수반되어 발달한 鑛物線構造들은 약간 분산된 경향을 보여주는데 대체로 A區에서는 50° - 100°, B區에서는 240° - 320°, C區에서는 210° - 350°, D區에서는 110° - 300°의 선주향(trend)을 가지며 대체로 완만한 경사로 plunge한다.

한편 이 시기에 발달한 습곡(F1)은 소규모적으로는 朝鮮層群 및 平安層群의 岩石이 分布하는 도처에서 직접 관찰할 수 있다. 대규모적으로 tight- isoclinal 한 습곡의 인지는 야외에서 관찰된 層理面과 葉理面간의 角관계 및 에인褶曲(drag fold)에 의할 때 가능한 데 朝鮮層群인 石灰岩層내에서는 正 . 逆轉位가 매우 자주 반복되어 타이트한 습곡의 존재가 인지되며 平安層群내에서는 全域에 걸쳐 逆轉位가 우세하게 관찰되나 국부적으로 正常位가 관찰되어 큰 습곡의 존재가 示唆된다.

二段階 變形作用(D2)

두번째 단계는 첫번째 단계에 비해 비교적 약하게 일어났으며, 이 시기에 衝上斷層이 발달하여 첫번째 단계에 발달한 構造들을 절단하였고, 하반인 탄질세일층에 剪斷作用을 야기하여 이를 교란 시킨 것으로 판단된다. 국부적으로 발달되는 波浪 褶曲(F2), 波浪 劈開(S2) 및 波浪 線構造(L2)가 이 시기에 발달되었으며, 이 시기 말에는 花崗岩類가 貫入하면서 變成 堆積岩類와의 접촉부에 좁은 粉碎帶를 形成하였는데 이것은 강렬하게 貫入하던 마그마의 주변부가 70%이상 結晶化作用이 진행되면서 内部에 剪斷作用이 수반되어 母岩과의 접촉부에 延性 剪斷帶(ductile shear zone)를 발달시킨 것으로 생각되며 (Compton, 1985) 分碎質 葉理 및 鑛物 伸張 線構造를 산출하였다. 分碎質 葉理는 대체로 變成 堆積岩類에 발달하는 葉理와 平行한 방향성을 가지며 이와 수반되어 발달된 鑛物 伸長 線構造들은 分쇄질 葉理의 走向과 傾斜方向사이로 oblique하게 plunge 하는 경향이 있다.

三段階 變形作用(D3)

세번째 단계는 D2에 비해 훨씬 약하게 일어났으며 이 시기에는 本域의 葉理 및 衝上斷層들을 습곡시킨 NW plunging open - gentle folding 과 이들을 절단한

左手感覺의 走向移動 斷層作用이 있었다. 이 段階의 變形作用 結果로 層面 構造要素들의 配向은 各 區別로 다르게 群集하게 되며 동일 區내에서도 약간 分산된 경향을 보여주게 된다.

全體的으로 보아 두번째 단계의 變形作用은 강열하게 광역적으로 일어난 첫번째 단계의 變形作用에 비해, 세번째 단계는 두번째 단계에 비해 환경요소의 함수로 정의되는 平均延性(mean ductility) (Uemura, 1981) 이 훨씬 낮은 상태에서 일어난 것으로 보인다

微 構 造

微構造 研究은 야외에서 채취한 시료를 엮리면에 수직이고 광물 線構造에 평행한 XZ면으로 절단하여 박편을 제작, 편광현미경下에서 전체적으로 관찰 검토하고, 특히 朝鮮層群에서의 石灰質 石英片岩과 平安層群의 片岩類의 시료를 집중적으로 관찰하여 各各의 특징을 비교하고 그 變形作用 機構를 유추하였다. 朝鮮層群의 石灰質 石英片岩과 平安層群의 片岩類는 構成鑛物 및 石英粒子的 크기, 형태 그리고 다음 章에서 언급되는 變形의 크기 등 여러가지 面에서 현저한 微構造의 差異를 보여준다.

朝鮮層群에서의 微構造

朝鮮層群에서의 石灰質 石英片岩은 주로 石英과 基質을 이루고 있는 녹니석, 방해석, 흑운모 및 소량의 不透明 鑛物로 構成되며 平安層群의 시료에서 산출되는 長石類는 전혀 함유하지 않는다. 이들은 石英粒子的 平均크기가 110 - 120 μm 의 비교적 세립입자로 構成된것과 220 - 390 μm 의 조립입자로 構成된 것으로 구분된다 (이들을 各各 C1, C2 group 으로 명명함).

C1 group 의 石英粒자들은 대부분 쇄설성 입자들로서 기질에 의해 완전히 에워싸이며 미약한 파동소광을 보여준다(Fig. 4). C2 group 은 C1 group 에 비해 石英粒자의 含量이 매우 높으며 심한 파동소광을 보여준다(Fig. 5). 石英粒자의 境界부에 動力回復(dynamic recovery) (White; 1973, 1976)의 產物인 亞粒子(sub-grain) 및 새 粒子(newgrain) 들을 발달시킨다. 또한 石英들간의 粒子 境界 및 石英입자와 기질간의 境界는 불규칙한 融合상 형태를 보여준다. C1 및 C2 group 은 各各 균등한 크기의 石英粒자들을 함유하나 粗粒의

C2 group이 C1 group에 비해 内部 變形作用의 정도가 훨씬 強하게 관찰된다.

平安層群의 微構造

平安層群의 片岩類들은 주로 石英 및 石英集合粒子, phyllosilicates, 長石類 및 소량의 不透明 鑛物들로 構成된다.

劈開方向으로 伸張된 石英集合粒子, phyllosilicates 의 形態 및 (001)面의 選擇配向이 劈開를 규정하며 전체적으로 보아 朝鮮層群에 비해 훨씬 높은 變形정도를 보여준다. 이들에 함유되어 있는 石英粒자들은 상당량이 動力回復 및 動力再結晶作用의 產物인 亞粒子 및 變形解放(strain-free) 새 粒子들로 再結晶되어 집합입자를 형성하고 있다. 이때 재결정된 새 粒子들의 크기는 80 - 100 μm 정도이고 모양은 等徑(equant)인데 반해 集合粒자의 크기는 다양하고 不等徑(inequant) 粒子모양을 갖는다. 또는 이 集合粒자의 平均크기와 軸比, 石英의 再結晶作用정도, phyllosilicates의 含量 및 여러가지 微構造의 인상들은 地域에 따라 다르게 나타난다. 이들 要素들에 근거하여 朝鮮層群과의 境界로 부터 가까운 지역에서 채취된 시료를 P1 group, 朝鮮層群과의 境界로 부터 가장 멀리 떨어진 地域에서 채취된 시료를 P3 group, P1과 P3사이를 따라 채취된 시료를 P2 group 으로 구분 할 수 있다.

P1 group은 石英의 再結晶作用 정도는 80 - 90 %로 매우 높으며, 集合粒자들의 平均軸比도 3.27 - 3.75로 가장 높고, 集合粒자들의 크기는 各各의 시료에서 다양하나 그들의 平均値는 대체로 320 - 690 μm 정도이다. 再結晶된 石英들은 内部變形作用의 樣相을 잘 보여주는 큼직큼직한 옛 粒子(old grain)의 境界 주위를 부분적으로, 혹은 완전히 에워싸며 "핵과 맨틀구조(core and mantle structure)" (White, 1976)를 형성하기도 한다(Fig. 8). 石英의 옛 粒자와 亞粒子 및 새 粒子 들과의 粒子境界 모양은 lobate境界 (Spry, 1969)를 보여주며, 새 粒子들 끼리 接觸하는 境界는 직선적이거나 약간 만곡된 형태, 또는 全體粒자의 境界面積을 최소화 시킴으로서 만들어지는 三重交叉(triple junction)를 보여주기도 한다(Fig. 7). 이 三重交叉는 열역학적으로 평형상태를 의미하는 境界이다(Kerrich and Allison, 1978). 또한 phyllosilicate가 풍부한 domain이 石英

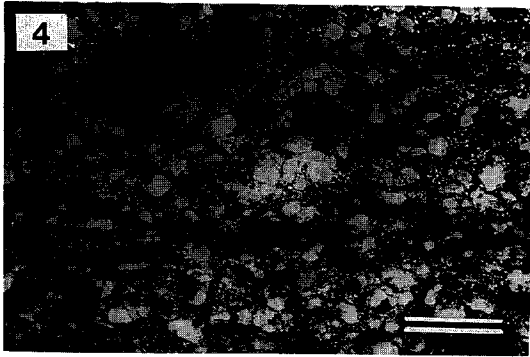


Fig. 4. Photomicrograph showing the microstructures of C1 group in calcareous quartz schist of Choson group, containing fine-grained quartz with weak undulose extinction and a lot of matrix. Scale bar is 0.5 mm.

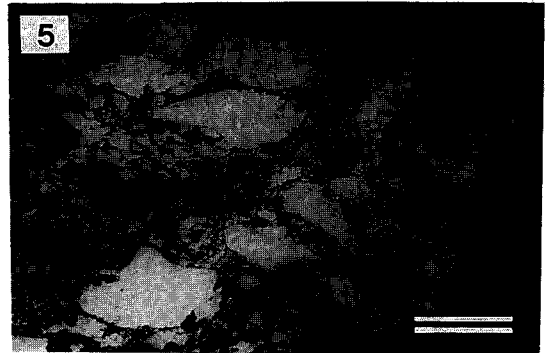


Fig. 5. Photomicrograph showing the microstructures of C2 group in calcareous quartz schist of Choson group, containing coarse-grained quartz with intense undulose extinction and elongate shape. Scale bar is 0.5 mm.

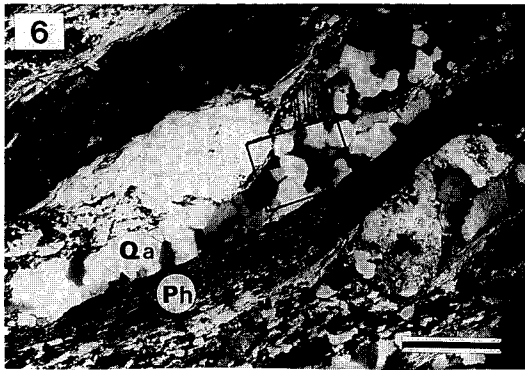


Fig. 6. Photomicrograph of quartz aggregate(Qa) which consists of recrystallized, strain-free, new grains in P1 group schist of Pyongan group, showing a planar truncated boundary by phyllosilicate domain(Ph). Scale bar is 0.5 mm.

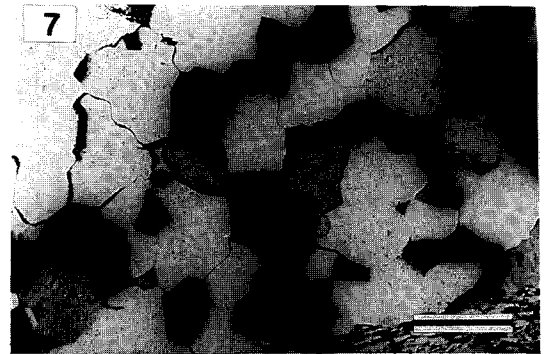


Fig. 7. Photomicrograph of strain-free, new grains of quartz, having slightly curved to straight boundary morphology with triple junction. Magnification of boxed area in Fig. 6. Scale bar is 0.2 mm.

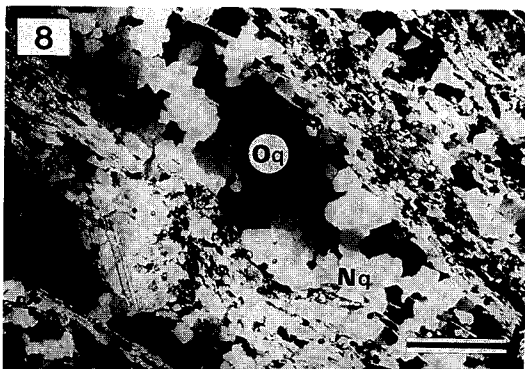


Fig. 8. Photomicrograph of core and mantle structure, showing the development of recrystallized, new grains(Nq) around old quartz grain(Oq) in P1 group schist of Pyongan Group. Scale bar is 0.5mm.

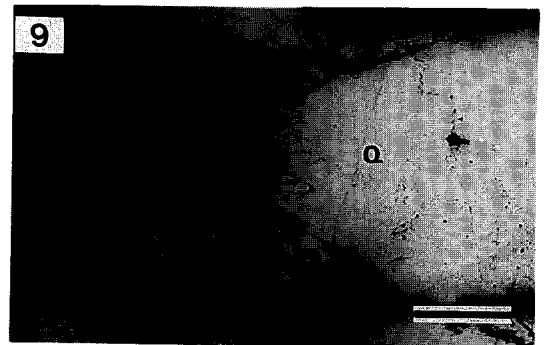


Fig. 9. Photomicrograph of pressure shadow around a large quartz grain(Q) in P3 group schist of Pyongan Group. Scale bar is 0.2mm.

集合粒子들의 한쪽 面을 크게 직선적으로 절단하는 형태의 planar truncated boundary(Gray, 1978; 張泰雨, 1987)를 보여주기도 한다(Fig. 6). 이 경계모양은 壓力溶解의 한 증거가 되며 파동소광하는 옛 粒子들이나 이와 접해 있는 새 입자들을 모두 직선적으로 切斷하고 있는 것으로 보아 이 石英集合粒子를 신장 시키는데 있어서 轉位脩行 變形作用이 먼저 일어나고 그 후에 壓力溶解가 일어났음을 유추 할수 있다.

P2 group 은 石英粒子的 再結晶정도가 60 - 70 % 정도로 P1 과 P3 group의 중간 정도이고 옛 입자들을 포함한 集合粒子的 平均축비는 2.5 - 2.8 정도이며 평균입자 크기는 470 - 800 μm 정도이다. 石英의 옛 입자들은 심한 파동소광을 보여주며 옛 입자와 새 입자들과의 경계는 대체로 lobate type 이나 새 입자들 끼리의 경계는 직선적 경계, 만곡된 경계, 三重交叉 경계등 다양하게 나타나며 또한 엽리에 수직인 입자경계 地域에 형성된 壓力陰地의 발달이 양호한 편이다.

P3 group은 P1 및 P2 group에 비해 phyllosilicate의 함량이 40 - 50 % 로 훨씬 높으며 石英의 再結晶作用 정도는 40 - 50 %로 P1 및 P2 group에 비해 훨씬 낮은 편이고 상대적으로 옛 粒子들이 풍부하다. 평균축비도 2.25 - 2.4로 낮다. 옛 粒子들은 심한 파동소광을 보여주며, 옛 입자와 亞粒子 및 새 입자들과의 경계, 새 粒子들끼리 接觸하는 경계는 대체로 lobate경계를 보여주고 드물게 직선적 경계를 보여준다. 옛 粒子로서의 石英粒이는 각기 독립적으로 기질의 phyllosilicate 및 기질石英으로 에워싸이며 신장된 형태로 고루 散在 分布하고 phyllosilicate와 평행하게 배열한다. P1 및 P2 group에 비해 壓力溶解의 증거가 되는 壓力陰地의 발달이 현저하다(Fig. 9). 壓力陰地에서는 끝부분으로 갈수록 입자가 작아지는 경향이 있다.

變形作用 機構

變形岩에서 원래 粒子(original grain)의 모양과 크기를 變化시키는데 있어서 두가지 重要한 機構는 粒子内部에서 slip으로 부터 시작되는 變形作用(intragranular deformation)인 轉位脩行과 粒子간 境界지역으로부터 일어나는 變形作用인 壓力溶解가 重要하게 논의되고 있다(張泰雨, 1987). 本域에 分布하는 朝鮮層群에서 石英粒子的 모양변화(신장도)는 미약하다. 또 내부 變形

作用 양상인 파동소광과 옛 입자 주변부에 소량의 亞粒子 및 새 입자들이 형성된 양상을 보여주기는 하나 壓力溶解의 증거는 보여주지 않는다. C2 group의 粗粒石英들이 C1 group의 粗粒 石英들에 비해 内部 變形作用의 정도가 강한 편이다.

平安層群의 石英粒자들은 朝鮮層群의 것들에 비해 훨씬 높은 變形정도를 보여주는데, P1 group은 소량 존재하는 石英 옛 粒子들의 심한 파동소광, 石英粒자의 높은 再結晶作用 정도, 핵과 맨틀구조, 變形解放 새 입자들간의 三重交叉 경계등의 轉位脩行 變形作用의 증거를 잘 보여주며, 옛 입자 및 재결정된 새 입자들을 직선적으로 절단하는 planar truncated boundary 및 높은 垂直應力의 粒子境界地域에 농축된 不溶性 물질들의 압력용해 變形작용의 증거들도 미약하게 보여준다.

Phyllosilicate의 함량이 P1 group보다 높은 P2 및 P3 group의 시료들도 역시 현저한 轉位脩行 變形作用의 양상을 보여주나 그 정도는 P1 group의 비해 낮은 편이다. 반면 壓力溶解 變形作用의 중요한 증거가 되는 壓力陰地의 발달은 P1→P2→P3 group으로 갈수록 더 현저하다. 이런 상황으로 볼때 Phyllosilicate의 함량이 본역 岩石들의 微構造를 발달시킨 變形作用 機構와 크게 관련되었다고 볼 수 있다. Phyllosilicate가 풍부한 基質은 變形作用시 석영 옛 입자들과의 현저한 延性差로 인해 쿠손효과를 일으킴으로서 옛 입자에 적은 변형을 기록케하며, 반면 石英같은 溶解性 鑛物의 높은 수직응력의 粒子境界를 따른 물질의 확산적 운반은 phyllosilicate의 물과 같은 水成媒質(aqueous medium)에 의해 강화될수 있다(White, 1976; 장태우, 1987). 즉 轉位脩行變形作用은 풍부한 phyllosilicate에 의해 제한되며 壓力溶解 變形作用은 이에 의해 촉진된다.

이러한 제반사항들과 本域의 變形作用양상등을 종합하여 판단해보면 平安層群의 石英들을 變形시킨 變形作用의 機構는 초기에는 轉位脩行이 우세하게 작용하여 이때 phyllosilicate의 함량이 비교적 낮은 P1 group에 보다 큰 영향을 주었으며, 再結晶된 細粒의 새 입자들 사이에 약간의 입자경계 미끄럼(grain boundary sliding)이 가미되어 集合粒子들을 더욱 신장시킨것으로 생각된다. 후기에 壓力溶解가 작용하여 이미 신장된 입자들을 더욱 신장시키는데 기여했으며 이때는 phyllosilicate가 비교적풍부한 P3 group에 보다 큰 영

향을 준것으로 보인다

한편 朝鮮層群 岩石들과 平安層群 岩石들 사이에 변형작용양상의 큰 차이를 보이는것은 朝鮮層群 岩石들이 平安層群 岩石들에 비해 세립인 점과 입자들을 예워싸고 分布하는 기질의 함량 및 성질과 연관되어 平安層群 암석들은 대부분 전위포행 변형작용의 동력회복 단계를 거쳐 再結晶 段階에 접어들었으나 朝鮮層群 石英들은 상대적으로 적은 변형을 받아 아직까지 結晶內部 變形作用 및 粒子成長 (grain growth) 段階에 머무른 것으로 판단된다.

變形 分析

本 研究에서는 朝鮮層群중 石灰質 石英片岩에서의 石英粒子, 平安層群 中 片岩類에서의 石英粒子 및 石英集合 粒子를 變形의 指示者로 사용하여 XZ面과 YZ面으로 切斷된 薄片으로 經하에서 50 - 100 粒子의 長軸과 短軸이 각각 측정 되었다. 측정된 Rf 값 및 ϕ 값으로 大數學的 計算에 의해 모든 값이 구해지는 Shimamoto & Ikeda (1976) 方法을 사용하여 분석하고 그 결과를 검토하였다. 이 방법에 의해 구해낸 變形 橢圓體의 主軸의 길이를 이용하여 각종 변형 매개변수 이들에 의한 결과는 Table 2와 같다.

$$k = \frac{a - 1}{b - 1} \quad (a = X / Y, b = Y / Z)$$

$$\bar{E}_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \{ (\bar{E}_1 - \bar{E}_2)^2 + (\bar{E}_2 - \bar{E}_3)^2 + (\bar{E}_3 - \bar{E}_1)^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

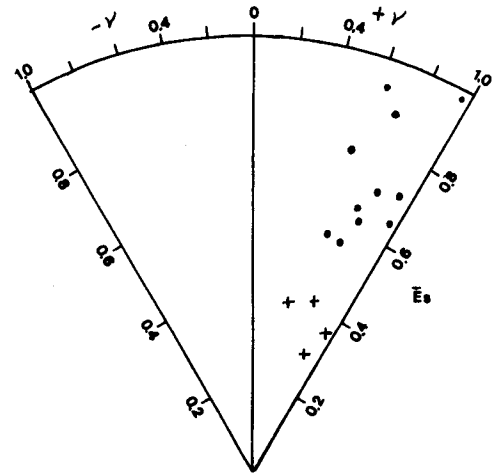


Fig. 10. Hsu diagram showing strain magnitude and strain pattern (crosses; Choson Group, closed circles; Pyongan group).

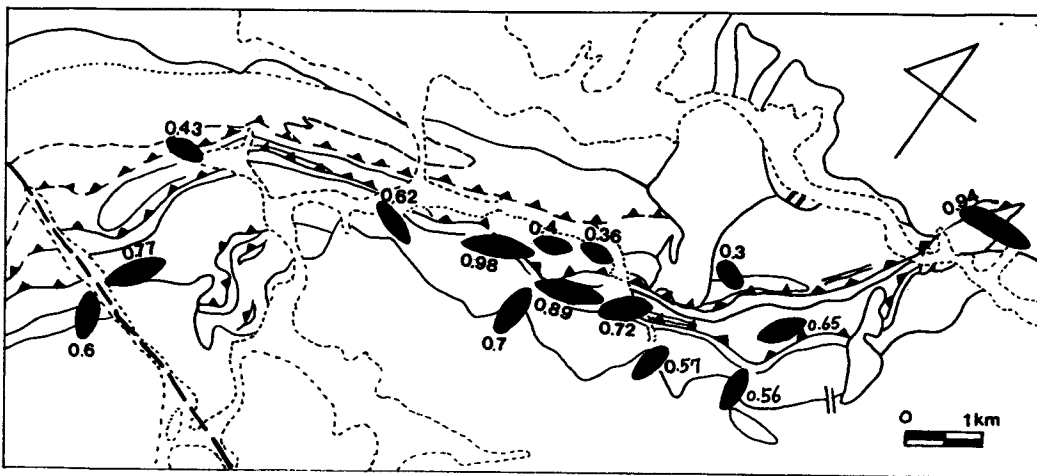


Fig. 11. Variation in the strain magnitude and the shape of strain ellipses on XZ principal plane throughout the area.

Table 2. Results of strain analysis and calculated strain parameters.

No.	Rs	\bar{K}	\bar{E}_1	\bar{E}_2	\bar{E}_3	\bar{E}_s	Rode's
	X : Y : Z						
A15	1.569: 1.541:1	0.033	0.262	0.244	-0.189	0.361	0.920
A52	1.763: 1.595:1	0.178	0.321	0.221	-0.246	0.428	0.647
A21	1.734: 1.471:1	0.379	0.311	0.147	-0.240	0.400	0.405
A67	1.467: 1.402:1	0.114	0.226	0.181	-0.157	0.296	0.767
K110	2.153: 1.817:1	0.227	0.454	0.284	-0.313	0.570	0.557
K171	2.092: 1.855:1	0.149	0.426	0.306	-0.312	0.560	0.675
A26	2.478: 2.341:1	0.085	0.593	0.492	-0.315	0.704	0.778
K175	2.358: 2.063:1	0.135	0.479	0.346	-0.378	0.652	0.690
K23	2.244: 2.017:1	0.110	0.441	0.335	-0.367	0.621	0.738
A140	2.243: 2.177:1	0.025	0.458	0.429	-0.350	0.648	0.928
K38	2.825: 2.239:1	0.211	0.573	0.341	-0.465	0.771	0.553
K104	2.448: 2.351:1	0.031	0.507	0.466	-0.389	0.715	0.908
A96	3.469: 2.752:1	0.149	0.673	0.441	-0.571	0.935	0.627
K121	3.345: 3.271:1	0.010	0.687	0.664	-0.521	0.977	0.962
K100	3.200: 2.608:1	0.111	0.652	0.481	-0.511	0.888	0.706

$$\nu = \frac{2\bar{E}_2 - \bar{E}_1 - \bar{E}_3}{\bar{E}_1 - \bar{E}_3}$$

또한 이들을 Hsu diagram에 占記한 결과 모든 시료가 현저한 扁平形의 變形型을 보여준다(Fig. 10)

그리고 變形 橢圓體의 X軸의 方向과 XZ面에서의 모양, 變形의 크기 (strain magnitude: \bar{E}_s) 등을 나타내면 Fig. 11과 같고 朝鮮層群의 岩石에 비해서는 平安層群의 岩石이 훨씬 變形의 크기가 크며 平安層群 내에서는 朝鮮層群과의 境界부로부터 멀어질수록 작아지는 경향이 있다.

上述한 바와 같이 朝鮮層群과 平安層群 사이에 變形의 큰 차이를 보이는 것은 구성광물, 石英粒子의 크기, 基質의 함량 및 性質에 기인한 變形作用 機構의 차이로 생각되며, 平安層群내에서 朝鮮層群과의 境界지역이 더 高變形을 보이는 것은 초기의 變形作用 機構인 轉位節行이 phyllosilicates 함량이 비교적 적은 地域의 岩石에 큰 영향을 주었고 계속해서 變形解放 새 입자들 사이에 粒子境界 미끄럼이 작용하여 再結晶된 石英 集合粒子들을 더욱 신장시킨데 기인한 것으로 판단된다.

衝上斷層論(THRUST TECTONICS)

本域에는 北西에서 南東方向으로 진행하였고 野外에서 확인되는 크게 2條의 衝上斷層이 발달하는데 (沃川層群과 朝鮮層群의 境界부를 따라서도 衝上斷層이 발달되는 것으로 보이는데 이는 뒤에서 자세히 고찰 될 것임) 이들은 平安層群내에서 片岩類와 탄질세일층과의 境界부에, 그리고 朝鮮層群과 平安層群의 境界부에 각각 발달한다(Fig. 1) (本 논문에서는 각각 T1, T2로 명명함). 이 衝上斷層들에 의해 탄질세일층은 반복 分布되며 朝鮮層群은 平安層群의 탄질세일층 상위에 놓이게 되었다.

報恩炭田 精密地質調査 報告書(자원개발연구소, 1978)에 의하면 本域 朝鮮層群인 石灰質 石英片岩을 平安層群의 片岩類들과 동일 지층으로 간주하고 石灰岩과 石灰質 石英片岩의 접촉부를 報恩 大斷層으로 해석하였다. 그러나 地表地質調査時 石灰岩과 탄질세일층의 境界부에서는 衝上斷層이 도처에서 관찰되지만 石灰岩과 石灰質 石英片岩의 接觸부는 그렇지 않은 점, 현미경 관찰 결과 平安層群의 片岩類와는 광물조성 및 조직이 현저히 다르다는 점, 變形分析에 있어서 양자 사이에 變形의 크기가



Fig. 12, Thrust fault developed between Choson group (LS) and Pyongan Group (Sh), crosscutting together the bedding planes(SO) of Ls and the slaty cleavage



Fig. 13, Internal duplex developed in Pyongan Group between T₁ and T₂ thrusts.

매우 다른점 등으로 볼때 석회질 石英편암을 平安層群으로 간주하여 石灰岩과의 접촉부를 衝上接觸으로 해석하는 것은 곤란하며 石灰質 石英片岩은 石灰岩과 마찬가지로 朝鮮層群에 해당하는 地層이다. 따라서 本域에는 크게 보아 2條(T₁, T₂)의 衝上斷層이 되는것이다.

野外에서 T₁은 馬老面 所餘里의 嶺岳계곡, 靑城面 구음리 삼천리 광업소 입구 및 구음리 점동하천변 등에서, T₂는 化北面 평은리의 국도변, 壬谷里의 石灰岩 廣山(Fig. 12), 邑실부락 남쪽계곡 馬老面 箕大里 하천 건너편, 靑成面 長連里 구재마을 입구 등에서 관찰이 가능하며 곳에 따라 斷層角礫 및 斷層粘土를 포함한다. 대부분의 장소에서 이들 衝上斷層들은 심한 破碎帶를 형성하였으며 斷層面 下盤의 단질세일층을 크게 교란시킨 것으로 보인다. 衝上斷層들은 모두 層理 및 葉理를 절단하는 상태이며 지표에서는 30° - 35°의 경사를 갖는다. 이들 衝上斷層들은 여러곳에서 발달하는 F₁ 습곡 및 S₁점판 벽개를 모두 절단하고 있는 것으로 보아 D₁ 變形作用 이후의 產物로 생각할 수 있다. 한편 소규모 크기로 F₂ 습곡축면에 평행하게 발달한 衝上斷層이 手試料에서 관찰되며 이는 1차 葉理 형성 이후에 형성된 波浪劈開들과 같은 방향성을 갖는다. 이러한 상황은 지표 조사시 관찰한 衝上斷層이 S₁엽리를 절단하는 결과와 일치하며 衝上斷層은 파랑벽개의 발달과 때를 같이하는 D₂ 시기에 발달되었음을 입증해 주고있다. 이런 제반 사항들을 중

합해 볼때 本域의 衝上斷層들은 비교적 지각의 천부에서 발달되어 기존 構造들을 자르며 斷層面 하반의 합탄층에 좁은 전단대를 형성하여 이들을 교란시킨 것으로 보인다.

한편 衝上斷層을 研究한 많은 학자들에 의하면 대체로 몇몇 이웃하는 衝上斷層들은 서로 밀접하게 연관되어 연결되며 thrust system을 형성한다고 하였다(Boyer and Elliott, 1982). 일반적으로 서로 연관된 여러 斷層들을 기하학적으로 구성하는 것은 이들과 연관된 構造, 진화 및 mechanical process의 기초가 되며 fault slice의 형성순서는 thrust system의 기하에 현저한 영향을 받는다(Boyer and Elliott, 1982). Tip line이나 branch line은 침식에 의해 tip 또는 Branch point가 지표에 노출되게 되며 이들은 thrust들을 형성하는 많은 물리적 과정을 관찰할수 있게 해주기 때문에 특히 중요하다(Elliott, 1976). 本域에는 T₁ 및 T₂에 수반되어 3개의 minor thrust가 발달하는데 T₁에 수반되어 馬老面 猿汀里 점동 마을 부근에 발달된 2조의 minor thrust 및 T₂에 수반되어 발달된 청성면 장연리 구재마을 부근의 minor thrust가 그것이다(Fig. 1). 이들을 Boyer and Elliott (1982)의 branch model에 적용하면 모두 침식면이 tip line을 두개로 자르는 "isolated splay"에 해당된다. 또한 마노면 소여리 단천 광업소 입구에서는 T₁과 T₂ 사이에 해당하며 T₂ 바로

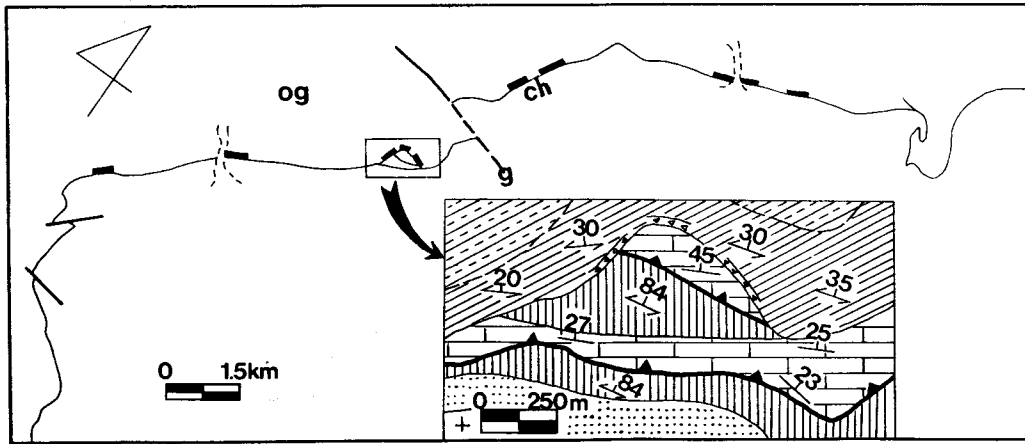


Fig. 14. Geological boundary between Ogchon Group(og) and Choson Group(ch) which is intruded by dykes, and enlarged map in the vicinity of Changyo n-ri, Chong- song-myon. Symbols are the same as in Fig.1.

하반인 平安層群의 石英편암층내에 4개의 horse를 갖는 internal duplex (McClay and Insley, 1986)가 발달된다(Fig 13). 이들의 형태는 T1 및 T2의 진행방향과 일치하고 각각의 horse block은 약 6cm의 간격을 가지며 floor 및 roof thrust에 점진적으로 연결된다. 이 internal duplex는 floor thrust 및 roof thrust에 연결되는 S자형의 imbricate들에 의하여 층이 반복되며 horse 및 S자형의 imbricate가 모두 thrust 진행방향의 반대방향으로 경사하는 hinterland dipping duplex (Boyer and Elliott, 1982 ; McClay and Insley, 1986)에 해당된다.

本研究를 통해 각 地層群間的 相互關係를 밝히고자 노력을 기울였으나 朝鮮層群과 平安層群은 上記한 바와 같이 衝上接觸을 하고 있음이 분명하지만, 沃川層群과 朝鮮累層群의 상호관계를 밝혀줄수 있는 증거들은 그리 풍부하지 못하다. 그러나 두 層群간의 접촉부를 따른 상세한 野外調査資料는 이들 두 層群간의 상호관계를 추론하기에 충분하다고 보며, 이에 따라 두 지층간의 상호관계에 관하여 고찰해 보고자 한다.

本域에는 沃川層群과 朝鮮層群의 岩石들이 길게 대상으로 접하여 分布하고 있지만 두 層群간의 경계를 모두에서 직접 관찰하기가 힘들다. 대부분의 地域에서 그 경계는 풍화에 의해 노출되어 있지 않으며 10여개소에서 각 석암 및 규장암으로된 백악기 암맥들이 관입한 양상을

관찰할 수 있다(Fig. 14). 馬老面 所餘里 단천광업소 맞은편 계곡 箕大里 하천변 및 箕大橋 맞은편, 馬老面 梧川里 붓골 입구, 靑成面 長餘里 구재부락일대 등에서는 각석암이, 靑城面 和城里 도로변, 九音里 황음 부락에서는 규장암이 兩層群 접촉부를 5 - 10m 幅으로 관입하고 있으며, 기타地域에서의 二接觸부는 대부분 풍화토에 의해 덮여 있다. 양지층의 연장부인 本域 남쪽에 위치한 永同郡 龍山面 詩守里 넓은 열 하천변에서도 역시 각석암의 관입을 볼 수 있다. 수십 km 에 이르는 本域의 두 層群 境界부에 이렇게 10여개소에서 岩脈들이 관입해 주는 양상은 특이한 현상이 아닐수 없으며 두 層群의 接觸關係를 암시해 주는 것으로 생각된다. 이러한 岩脈들은 變形作用을 겪은 흔적이 전혀 없는 것으로 보아 本域의 變形作用이 완전히 끝난후 두 層群間的 境界에 발달한 構造的 弱帶를 따라 貫入했을 가능성을, 즉 두 層群 境界부가 큰 構造線일 가능성을 示唆해 준다.

또한 T2 thrust 에 수반된 minor thrust가 발달하는 靑成面 長連里 구재마을 일대에서는 T2 및 minor thrust에 의해 반복分布되는 朝鮮層群의 石灰岩과 平安層群의 탄질 셰일이 沃川層群의 암석들에 의해 모두 절단되는 특이한 地質分布를 보여주고 있다(Fig.14). 한 지층이 다른 지층을 절단하면서 分布할 때 그 境界부는 不整合 또는 斷屬接觸으로 생각할 수 있는데 地質 分布상 만약 不整合이라면 沃川層群은 平安層群上位에, 衝上

斷屬接觸이라면 沃川層群은 朝鮮層群 下位에 놓이는 것으로 보아야 한다. 이 地域에서는 특별히 不整合이라는 증거는 찾아 볼 수 없으며 朝鮮層群과 沃川層群의 접촉부 및 沃川層群, 朝鮮層群, 平安層群의 地層이 함께 접하는 지점에서 각섬암의 암맥이 관입되어 있다.

이 靑成面 長連里 구재마을 일대의 특이한 地質分布 상태와 전술한 것처럼 兩層群의 境界부를 관입한 암맥들은 兩層群의 境界부에 큰 衝上斷層이 발달하였을 가능성을 강력히 시사해 주며, 이에 따라 本域에서는 朝鮮層群보다 下位の 沃川層群이 thrust over하여 외견상 朝鮮層群 上位에 놓여 있는 것으로 판단된다.

이상과 같이 沃川層群과 朝鮮層群의 境界부에 衝上斷層(T3)이 발달한다고 볼때 本域의 衝上斷層들은 Boyer and Elliott(1982)의 thrust system分類에 따르면 T1, T2 및 T3 모두가 거의 같은 모양으로 같은 方向의 경사를 가지고 반복되며 thrust sheet가 overlap 되고, 平安層群내에서 발달한 T1에 비해서는 朝鮮層群을 平安層群위에 얹어놓은 T2가 더 큰 slip을, T2에 비해서는 沃川層群을 朝鮮層群위에 얹어놓은 T3가 더 큰 slip을 갖는, 즉 최대 slip을 갖는 衝上斷層이 thrust 진행방향과는 반대방향인 뒷쪽에 있는 trailing imbricate fan(modified from Dahlstrom, 1970)에 해당되는 것으로 생각될 수 있다.

結 言

本域은 衝上斷層에 의해 큰 含炭層이 2회 반복 分布하며 朝鮮層群은 平安層群 上位에 놓이게 되었다. 衝上斷層作用은 비교적 地殼의 上部에서 진행되어 破碎岩 및 斷層角礫들을 發達시켰고 下盤의 含炭層을 교란시켰다.

本域의 變形作用은 3段階에 걸쳐 일어났으며 첫번째 段階(D1)가 가장 강력하였고 D2, D3로 가면서 약화되었는데 두번째 단계에서 衝上斷層作用이 진행되어 첫번째 단계에 발달된 粘板劈開 및 褶曲을 切斷한다.

本域 含石英岩石의 微構造를 발달시킨 變形作用의 機構는 初期에는 轉位航行이 우세하게 作用하였고 여기에 粒子의 細粒化에 따른 粒子境界 미끄럼이 첨가 되었으며 後期에는 壓力溶解가 우세하게 作用하였다.

本域에서의 變形크기는 구성광물 및 조직, 變形作用 機構의 差異에 의해 朝鮮層群 分布地域에 비해 平安層群 分布地域이 높게 나타나고 平安層群 分布地域에서는 朝

鮮層群과의 境界로부터 멀어질수록 낮아지는 경향이 있으며 이들은 모두 扁平形의 變形型을 보여준다.

本域에서의 沃川層群과 朝鮮層群의 境界부는 衝上斷層의 가능성을 강력하게 보여주고있고 따라서 沃川層群이 朝鮮層群의 下位地層으로 판단된다.

參考文獻

- 김동학, 이병주(1986) 靑山圖幅 地質報告書(1:50,000). 韓國動力資源研究所
- 김동학, 장태우, 김원영, 황재하(1978) 韓國地質圖 沃川圖幅(1:50,000). 資源開發 研究所
- 金玉準,李大聲,李河榮(1977) 韓國地質圖 報恩圖幅(1:50,000). 資源開發 研究所
- 대한광업진흥공사(1986) 단전지질 및 시추조사 보고, 제11호
- 島村新兵衛(1927) 靑山及永同圖幅(1:50,000)
- 資源開發 研究所(1978) 報恩炭田 精密地質調査 報告書
- 張泰雨(1987) 沃川帶 西南部地域 變成砂質岩의 變形作用. 고려대학교 대학원 박사학위논문, 198p
- Boyer, S.E. and Elliott, D.(1982) Thrust systems, Am. Asso. Petrol. Bull., v.66, p.1196-1230
- Compton, R.R.(1985) Geology in the field. John Wiley & Sons, Inc., 398 p.
- Dahlstrom, C.D.A.(1970) Structural geology in the eastern Margin of the Canadian Rocky Mountains. Bull. Can. Pet. Geol., v.18, p.332-406
- Elliott, D.(1976) The energy balance and deformation mechanisms of thrust sheets. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A, 283, p.289-312.
- Gray, D.R.(1978) Cleavage in deformed psammitic rocks from southeastern Australia; Their nature and origin. Geol. So. Am. Bull., v.89 p.577-590.
- Hobbs, B.E., Means, W.D. and Williams, P.F(1976) An outline of structural geology. John Wiley and Sons, Inc., 571p.
- Kerrich, R. and Allison, I.(1978) Flow mechanisms in rocks: Microscopic and mesoscopic structures, and their relation to physical conditions of deformation in the crust. In: Stauffer, M.R. (editor) Fabric of ductile strain. Hutchinson Ross Publishing Company, p.93-102
- McCly, K.R. and Insley, M.W.(1986) Duplex structures in the Lewis thrust sheet, Crowsnest Pass, Rocky Mountains, Alberta, Canada. J. Str. Geol., v.8, p.911-922.
- Shimamoto, T. and Ikeda, Y.(1976) A simple algebraic

- method for strain estimation from deformed ellipsoidal objects, 1, Basic theory, Tectonophysics, v.36, p.315-337
- Spry, A. (1969) Metamorphic textures. Pergamon Press, 350p.
- Uemura, T. (1981) Deformation Facies, series and grades. J.Geol. Soc. Japan, v.87, p.297-305
- White, S (1973) Syntectonic recrystallization and texture development in quartz. Nature, v.244, p.276-278.
- White, S. (1976) The effects of strain on the microstructures, fabrics, and deformation mechanisms in quartzites. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 283, p.69-86.

1991년 7월 11일 원고접수

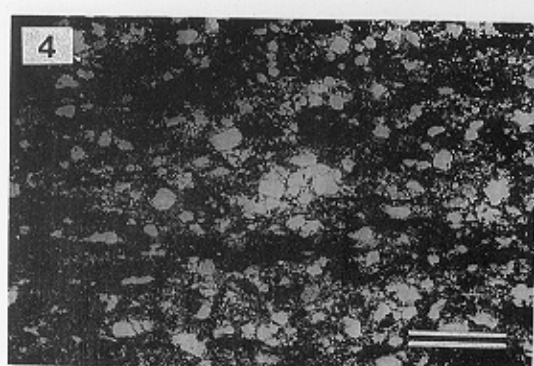


Fig. 4. Photomicrograph showing the microstructures of C1 group in calcareous quartz schist of Choson group, containing fine-grained quartz with weak undulose extinction and a lot of matrix. Scale bar is 0.5 mm.

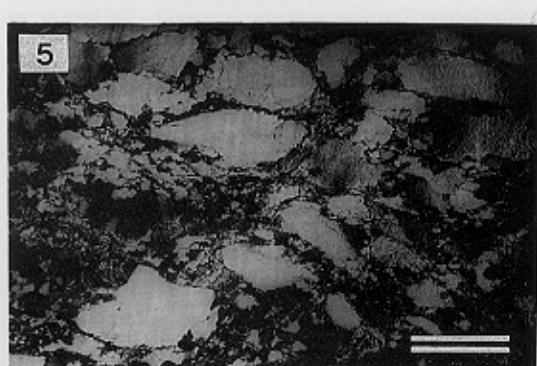


Fig. 5. Photomicrograph showing the microstructures of C2 group in calcareous quartz schist of Choson group, containing coarse-grained quartz with intense undulose extinction and elongate shape. Scale bar is 0.5 mm.

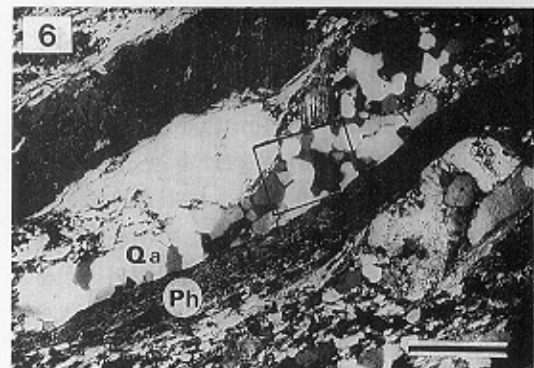


Fig. 6. Photomicrograph of quartz aggregate(Qa) which consists of recrystallized, strain-free, new grains in P1 group schist of Pyongan group, showing a planar truncated boundary by phyllosilicate domain(Ph). Scale bar is 0.5 mm.

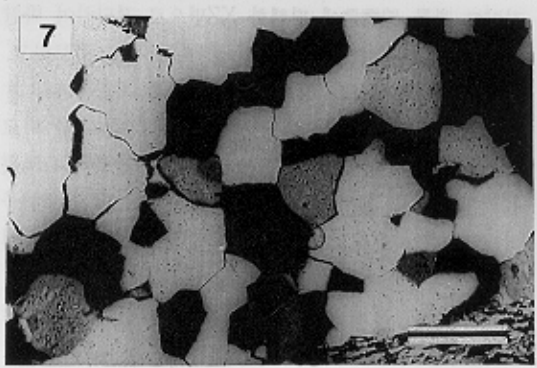


Fig. 7. Photomicrograph of strain-free, new grains of quartz, having slightly curved to straight boundary morphology with triple junction. Magnification of boxed area in Fig.6. Scale bar is 0.2 mm.

