

地下 石炭層 構造를 이용한 道溪 지역의 단층과 습곡구조의 특징

李東雨* · 禹卿植** · 徐光洙*

Characteristics of Faults and Folds by Using Subsurface Structural Data in Dogye Area, Korea

Dong-Woo Lee*, Kyung-Sik Woo** and Kwang-Soo Seo*

ABSTRACT: Structural interpretation by using subsurface attitude of coal seam and outcrop patterns of folds and faults shows that wrench and thrust tectonics took place simultaneously in the study area. From the interference patterns of fold axes, three generations of folding are suggested: F₁ (NE-SW), F₂ (N-S), and F₃ (E-W). Differential displacement of rock mass from north to south yields to E-W fold and Osypcheon Fault. Geometry of subsurface coal seam show different patterns comparing to those of surface outcrop because of shallow-depth crustal shortening which took place post Cretaceous.

서 론

질구조를 모델화 한다.

강원도 道溪邑 남동부 일원에는 캄브리아기에서 백악기에 이르는 암석이 분포하며, 소위 삼척 탄전 동부에 해당하는 곳이다. 고생대 초에서 말에 이르는 동안 다양한 지각운동과 이에 수반되는 구조현상이 상호 누침되어 대단히 복잡한 구조 형태를 보인다. 특히 변형작용(주로 취성변형)과 화산활동의 결과로 기존의 지질 구조가 일부는 파쇄되고 일부는 화산퇴적물에 의하여 피복되어 고생대 以前 지층의 노두 상태는 대단히 복잡하다. 이 지역의 지질은 태백산지구 지질도(1962), 徐海吉 외(1979), 임순복 외(1994) 및 탄전 지질 및 시추조사보고서(대한 광업진흥공사, 1988, 1989)에 보고되어 왔다.

이 연구의 대상지역은 대한석탄공사 도계광업소, 慶東탄광 上德광업소, 韓寶탄광 桶里 광구가 교차하는 곳으로 이번 연구에서는 五十川 단층 동부 대한석탄공사 광구 지역을 해석하며, 이는 그림 1에서 북서부에 해당한다. 이 연구는 지표조사, 향내조사 및 석탄 개발시 수집된 지하 지질조사 자료를 이용하여 평안계에 발달하는 습곡과 단층의 구조적인 특징을 규정짓고 선후관계를 규명하여 지

지표지질

삼척탄전에는 수많은 층상단층과 습곡 및 주향이동 단층이 기존 연구자에 의하여 보고되어 왔다(임순복 외, 1994, 강필종 외, 1989; 최동수, 1986; Kim et al., 1986). 연구지역은 조선계를 기저로 하여 평안계 퇴적암류가 이를 다시 부정합으로 피복하고 있다. 평안계를 경사 부정합으로 피복하는 백악기 퇴적암류 즉 赤角里層의 하부는 주로 저색 기질에 역을 포함한 역암이며 지역에 따라 박층의 세립질 사암이 이에 협재한다. 층의 상위로 향하며 응회암질 사암이 역암과 교호하며 곳에 따라 화산쇄설성 퇴적물이 우세한 곳도 다수 관찰된다. 일반적으로 층상상으로 향하면서 화산쇄설성물질보다 응회암이 자주 교호되면서 이보다 층상상위에는 응회암 즉 興田層이 발달한다. 이 화산쇄설물과 응회암을 퇴적시킨 화산활동의 잔재물은 연구지역 곳곳에서 나타나는데, 유문암조각 및 유문암질 응회암 형태로 나타나며 백병산 화산암으로 명명 제안되었다(임순복 외, 1994).

연구지역 서단에 위치하는 오십천 단층(Fig. 1-B)에 대한 조사는 북으로는 삼척군 川其里 부근부터 남으로는 태백시 栢山洞까지 실시하였다. 오십천 단층의 좌우에는

* 公州大學校 地質科學科 (Dept. of Geological Sciences, Kongju National Univ., Choongnam 314-701, Korea)

** 江原大學校 地質學科 (Dept. of Geology, Kangwon National Univ., Kangwondo 200-701, Korea)

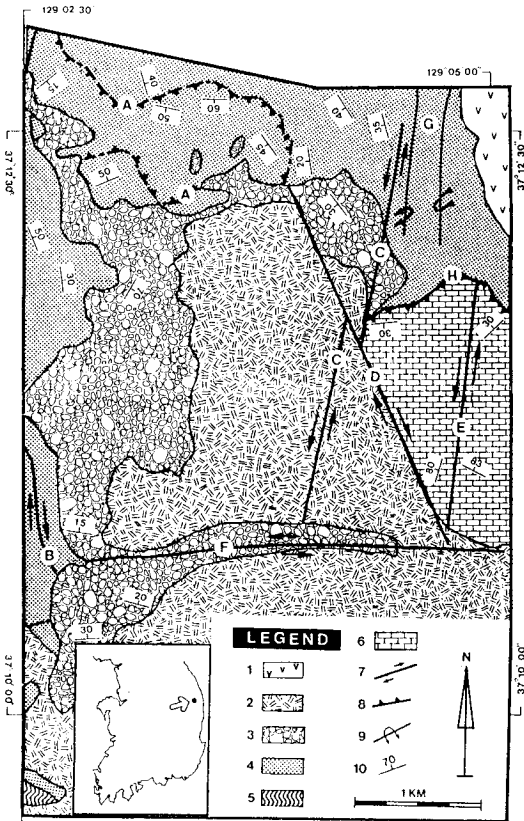


Fig. 1. Geological map of the study area. 1; Late Cretaceous quartz porphyry, 2; Syn- to post-depositional Cretaceous tuff and rhyolite, 3; Jeoggagri Formation (Cretaceous), 4; Permian sedimentary sequence, 5; Carboniferous sedimentary sequence, 6; Cambro-Ordovician limestone, 7; Fault with slip direction, 8; Thrust fault, 9; Overturned fold with attitude, 10; Dip and strike of strata. A; Mukjeom klippe, B; Osypcheon fault, C; Tongri fault, D; Shilobong fault, E; Dongjeom fault, F; Shinri fault, G; Sangdeok fold, H; Soboochi thrust.

동-서 방향의 층상 단층이 다수 발달하며 (서해길 외, 1979), 항공사진의 판독에 의하면 북측의 연장은 최소한 삼척시 胎峰山까지 이르며 완전한 직선으로 인지된다. 삼척군 도계리 두수골 입구에서 노두로 나타나는 이 단층의 단층점토의 폭은 근 1.5 m에 이르며 단층조선은 전반적으로 수평에 가까운 경사를 보이나, 곳에 따라 고각의 조선도 관찰된다 (Fig. 2). 삼척탄전 지질도 (서해길 외, 1979), 이종혁 외 (1992) 및 지하 석탄층 등고선도 (Fig. 3)에 의하면 운동형은 우수향이다. 연구지역내 층상단층으로는 목점클리페 (Fig. 1-A)와 소부치 층상단층 (Fig. 1-H) 등이 보고되었다 (임순복 외, 1994; 서해길 외, 1979; 최



Fig. 2. Vertical-slip sense of Osypcheon fault near Magyori (Korea Nat'l Grid: Lat.; 416.10, Long.; 204.08).

동수, 1986).

경동탄광 상덕광업소에서 굴진한 동-서 방향의 “ㄷ”자형 신리갱의 일천분의 일 축척 향내 지질조사시 나타나는 단층의 예인방향, 단층 조선과 인장절리 및 공액절리의 조사결과 통리단층 (Fig. 1-C)은 좌수향 주향이동성 단층으로, 도계읍 구사리에서도 인지된다. 단층각력을 수반하는 이 단층은 道溪邑 上德里 전나무골에서도 나타나며 적각리층의 변위 양상으로 보아 시루봉단층의 간섭을 받는다 (Fig. 1). 그림 4는 道溪邑 上德里 전나무골에서 촬영한 단층 각력 노두로 그 폭은 최소한 10 m 이상이다. 이 각력은 평안계 사암으로만 구성되고 백악기에 해당하는 암석은 거의 없다. 각력과 각력 사이는 치밀하게 고결되어 있어 풍화에도 매우 강하며 현미경 관찰에서는 재결정이 확인된다 (Fig. 5). 이와같은 단층대는 도계읍 구사리에서도 똑같은 양상으로 파쇄대가 발견된다. 백악기에 해당하는 암편이 없는 것으로 보아 통리 단층의 발생 시기는 최소한 적각리층의 퇴적 이전으로 추정된다.

단층 주변의 평안계 및 조선계 지층의 변위 결과는 동점단층이 좌수향임을 보이며 단층 조선의 피치 (pitch)는 5도 내외로 측정되었다. 이 단층은 시루봉 부근을 지나며 소부치 층상단층과 접하나 북향 연장성은 미확인된 상태이다. 북북동-남남서 내지는 남-북 주향의 이 두 단층은 향내 조사결과 해발 -200 m에서도 인지되며, 시루봉 단층과 상호 간섭 관계로 보아 발생시기가 시루봉 단층보다 상대적으로 선행한다.

시루봉 단층은 (Figs. 1, 6) 조선계 석회암과 백악기 화산암류를 경계짓는 단층으로서 일부지역에서 적각리층과 화산암류를 접촉시킨다. 이 단층은 경동탄광 통리지역에서 노두로 관찰할 수 있으며, 적각리층과 조선계 석회암을 N25°W, 65°NE의 주향과 경사로 단층 접촉시킨다. 단층

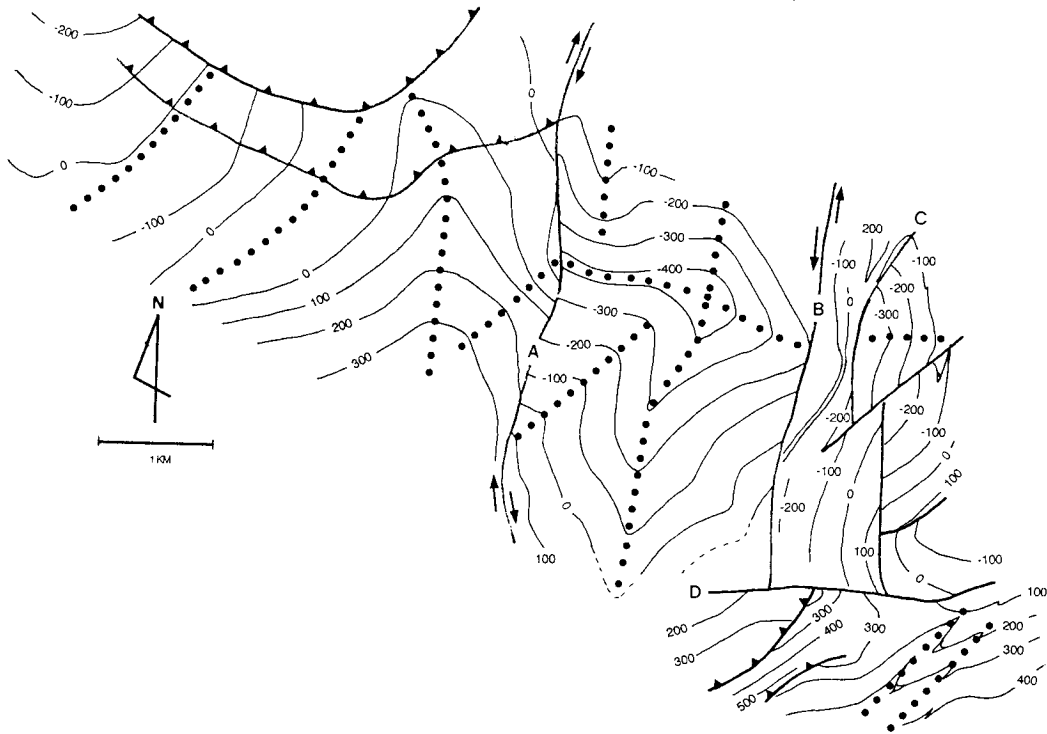


Fig. 3. Regional sub-surface coal-contour map and faults around study area. Dot-line shows axial traces of folds. A; Osypcheon fault, B; Tongri fault, C; Dongjeom fault, D; Shinri fault.

면에는 방해석 결정으로 나타는 단층 조선이 $N5^{\circ}W, 10^{\circ}$ 로 발달되어 있다. 시루봉 단층 주변에는 $N5^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ 의 주향과 경사를 가지는 인장절리가 양호하게 발달하며, 적각리층의 층리가 단층 주변에서는 $EW, 80^{\circ}S$ 로 변형되어 발달한다. 석회암 층의 층리는 주향과 경사가 $N18^{\circ}W, 80^{\circ}SW$ 로 적각리층과는 고각으로 접촉되어 있다. 시루봉 단층은 지표 및 지하 조사에서도 우수향으로 측정되었으며, 상덕단층(임수복 외, 1994)과 일부 지역에서 동일하게 인지되나 이 연구에서는 위와 같이 측정된 자료에 입각하여 해석을 달리 하였다.

동점 단층이 지나는 석회암 지역은 (Figs. 1-E, 6-E) 지질도에 생략하였으나 실제 많은 단층대가 발달하며 석회암 이외에 평안계 및 백악계 퇴적암류가 산발적으로 분포한다. 그림 7은 그림 1에서 석회암으로 도시된 지역의 일부 노두사진으로 조선계 석회암이 백악기 응회암내 화산각력으로 포획된 것을 나타낸다. 이러한 증거는 구사리 지역에서도 자주 관찰할 수 있으나 그림 1에서는 이를 간략히 석회암으로 도시하였다. 충상 단층이 충상암판 (thrust sheet)상으로 발달하는 이 석회암의 상하부에는 조선계 석회암을 각력으로 포획하는 백악계 화산암이 분포

한다 (Fig. 7, 대한광업진흥공사, 1988, 1989). 이 화산암은 연구자에 따라 홍전층 또는 백병산 화산암체로 명명되고 있다 (임수복 외, 1994; 서해길 외 1979).

상덕 습곡은 탄전지질도 (서해길 외, 1979)를 인용 도시한 것이다. 신리 단층은 서측으로는 통리역 부근에서 시작하여 동측으로는 九十里까지 확인되었다 (Figs. 1, 8). 이 단층은 지표 및 지하에서도 인지가 되며, 좌수향 주향이동 단층으로 (임수복 외, 1994; 이종혁 외, 1992) 야외에서는 美人瀑布 부근부터 인지된다. 신리 단층 파쇄대에는 적각리층의 암편이 4~5 m 크기로 나타난다. 신리 단층은 적각리층과 조선계 석회암을 단층접촉시키며, 적각리층은 시대 미상의 화강암을 부정합으로 피복한다 (그림 8). 이로부터 구사리 지역에서는 적각리층이 조선계 석회암을 관입한 화강암을 피복하며, 신리 단층에 의하여 조선계 석회암과 접한다. 따라서 신리 단층은 상기 모든 단층을 간섭하며 남북 방향의 오십천 단층과, 이번 연구에서 북동방향으로 계속적인 연장을 확인한 연구지역 남동부에 발달하는 기존의 文曲 斷層과 접하며 통리역 부근에 광범위한 파쇄대를 형성한다.

지하지질

단층계

지하에 인지되는 단층은 오십천 단층을 비롯하여 남북방향이 주를 이룬다 (Fig. 9). 그림 9는 탄층을 위주로 하여 도시한 것으로 이를 근거로하여 제반 단층의 특징은 지하에 나타나는 탄층의 형태로부터 기재한다. 단층 B는 탄층의 불연속성으로부터 해발 -200 m에 위치하는 지하 단층을 표시한 것이며 (Fig. 9-B), 이 단층이 지표에 나타나는 위치가 통리 단층이다 (Figs. 1-C, 9-C). 그림 1과 9로부터 지하 및 지표의 공간적인 수직거리와 수평거리로부터 구한 통리 단층의 주향은 거의 남-북이고 경사는 서쪽으로 약 70도 경사되어 있는 비교적 고각의 단층이다.

단층 D도 (Fig. 9-D) 탄층의 불연속 형태로부터 도시한 지하단층으로서 이의 지표 단층이 동점 단층이다 (Figs. 1-A, 9-E). 통리 단층의 경우와 같은 방법으로 구한 동점 단층의 주향과 경사는 남-북에 60~70도 서경사한다. 동점 단층을 따라 일부 탄층 (-110 m와 -160 m 탄층)이 예인되어 있다 (Fig. 9). 이와함께 통리 단층과 동점 단층사이에서 발달하는 雁行形 (en echelon) 예인 습곡 (drag fold), 지하 동점 단층 동측에 나타나는 “-”형 탄층, 동-서 방향의 습곡축의 변위 및 이들 두단층 좌우에 나타나는 단층등고의 변위 양상 등으로 보면 이들 단층의 전체적인 운동형은 좌수향이다.

지하 통리 단층과 (Fig. 9-D) 동점 단층 (Fig. 9-B) 좌우에 분포하는 탄층을 단층에 의한 예인효과를 배제하고, 탄층의 동-서 습곡축을 지하 동점 단층 동측에 있는 동-서 방향의 습곡축과 일치시키면 두 단층에 의한 탄의 수직 낙차는 약 450 m가 되며 상반기 올라온 좌수향 역단층 (sinistral reverse-slip fault)이 된다. 동-서 습곡축의 수평 변위량은 약 250 m가 되며, 변위 방향은 좌수향이 된다. 그러므로 두 단층에 의한 층의 변위는 주향과 경사가 NS, 70°W이고 선 구조가 N30°W인 좌수향 역단층을 따라 이동하였다. 따라서 동점 단층과 통리 단층의 주향과 경사는 오십천 단층의 주향과 경사와 대동소이하나, 오십천 단층과 상대적인 크기에 있어 소규모 단층에 해당하며 통리 단층과 동점 단층의 전반적인 운동성질은 오십천 단층의 이동방향과 상반되어 나타난다.

습곡계

이 연구지역에 나타나는 대소규모 습곡축의 선방향과 선경사를 하반구에 투영하면 경사는 20° 내외이며 방향은



Fig. 4. Outcrop of paleo-fault breccia. All of the breccias are composed of sandstone of Paleozoic age (Korea Nat'l Grid: Lat.; 410.48, Long.; 206.05).

남-북, 북동-남서, 동-서 및 북서-남동으로 분산되어 나타난다 (Fig. 10). 이는 이 지역에 최소한 2회 이상의 습곡을 형성시키는 구조운동이 존재하였음을 나타낸다. 입체 투영도에서는 대소규모 습곡의 방향성을 볼 수 없으나, 지하단층의 분포를 이용하면 그림 9에 도시한 바와 같이 이 지역에 발달하는 습곡계는 습곡축이 남-북 방향, 동-서 방향 및 북동-남서 방향이 아주 우세하다 (Figs. 3, 9).

지하 통리 단층과 동점 단층을 따라 탄층의 일부가 예인된 것으로 추측되는 소규모 습곡이 단층과 평행하게 발달하며, 지하 동점 단층 우측의 습곡은 동경사하며 역전되어 있다 (cross-section of X-X' in Fig. 9). 따라서 이 지역에는 광범위한 동-서 방향의 비대칭 습곡이 형성된 후 남-북 방향의 단층 작용이 있었던 것으로 사료된다. 지하 동점 단층과 인접하여 발달하는 해발 -300 m의 타원체형 탄층은 동점 단층의 낙차 및 운동 방향을 고려하면 예인된 것으로 사료되나, 역단층에 의한 인형형 단층전파습곡 (fault-propagation folding)의 가능성도 있어 (e.g. Dahlstrom, 1970, Jamison, 1987) 이에 대한 확인이 필요하다. 이 외에 연구지역 남부에 북서-남동 방향의 소규모 습곡이 발달하고 있으나 국부적이기 때문에 큰 의미가 없는 것으로 본다. 따라서 이 연구의 습곡계는 이 습곡을 제외한 상기 세방향 습곡을 위주로 기재한다.

남-북 방향의 습곡은 연구지역 남부에서는 경사각 11°로 북경사를, 북부에서는 경사각 21°로 남경사하며, 습곡축의 방향은 일부 변하나, 연장이 3 km 이상되는 대규모 습곡이다. 이 습곡은 동-서 방향의 습곡에 의하여 간섭된 형태를 보인다. 동-서 방향의 습곡축은 동점 단층 동측에서는 15° 서경사를 통리 단층 서측에서는 14° 서경사를 하나 서향하며 오십천 단층에 근접하면서 거의 수평으로 변하는

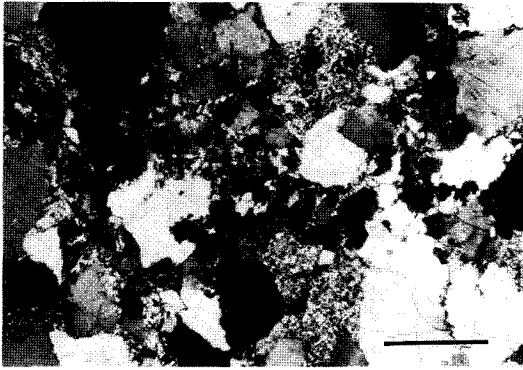


Fig. 5. Photomicrograph of fault breccia (crossed nicol). Note recrystallization at detrial quartz grain boundaries, weak fracture patterns within detrial quartz grains, pressure solution contact between quartz grains and inter-granular authigenetic quartz cement. Scale bar is 0.5 mm long.

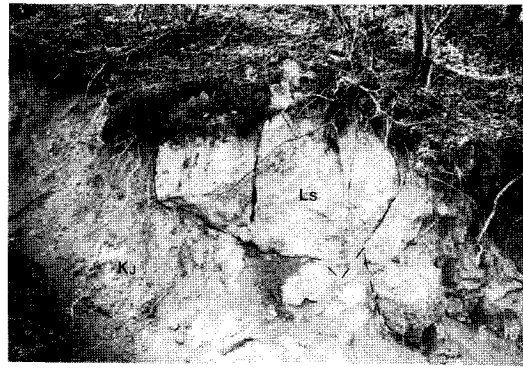


Fig. 7. Breccia of Cambro-Ordovician limestone (L) surrounded by Cretaceous volcanic sediments, Jeoggagri Fm (K).

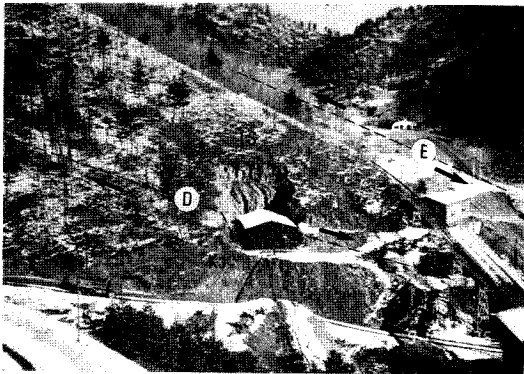


Fig. 6. Local view of dextral strike-slip Shilobong fault (D) and sinistral strike-slip Dongjeom fault (E) in Fig. 1. Cambro-Ordovician limestone contact with Cretaceous gravelstone by Shilobong fault. Viewed towards the north.

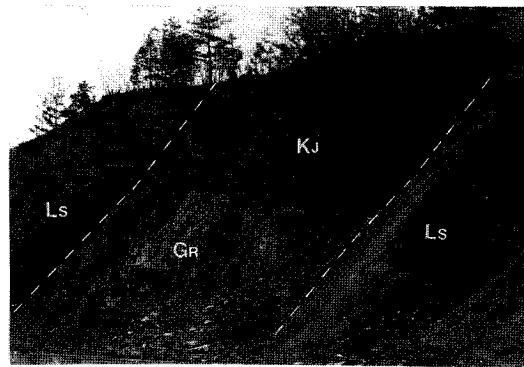


Fig. 8. Outcrop of Shinri fault near Koosari (Korea Nat'l Grid: Lat.; 4-8.90, Long.; 207.47). Irregular black dashed-line stands for unconformity. White broken-lines refer to faults. Viewed towards the west. L; Cambro-Ordovician limestone, Gr; Age-unknown gneissos granite, Kj; Cretaceous gravelstone (Jeoggagri Fm.).

同傾斜 형태를 보인다. 동-서 방향의 습곡축이 일치하지 않는 이유를, 첫째 습곡의 휨에 그 원인이 있으며, 둘째 단층에 의한 변위의 영향으로 볼 수 있다. 그러나 동-서 습곡을 간섭하는 또 다른 습곡이 최소한 이 연구지역 주변에서는 나타나지 않고, 동점 단층과 통리 단층 좌우에 분포하는 탄층의 발달 상태가 유사한 등고를 형성하고 있는 것으로 보아 변위현상을 이들 두 단층에 의한 것으로 해석하는 것이 타당하다. 따라서 이 연구의 주변 지역에는 동-서 방향의 습곡이 오십천 단층 동부에만 존재하며, 이 연구지역을 동-서로 횡단하는 이 비대칭 향사 습곡은 시루봉 단층과 통리 단층에 의하여 좌수향으로 변위되었다.

오십천 단층 주변을 제외하고는 익간각이 일정한 북동-남서 방향의 습곡축은 북동방향으로 15° 경사하며 발달한다. 동-서 및 남-북 방향의 습곡에 비하면 연장성은 불량하나, 오십천 단층 주변을 제외하고는 익간각이 일정하다. 이 습곡은 오십천 단층 서부 지역에도 발달하며, 이곳에서의 습곡축은 오십천 단층을 따라 우수향의 변위를 보인다 (Fig. 3).

토 의

동-서 방향의 습곡이 140°의 익간각과 열림습곡 (open fold) 형태를 보이며 (Fig. 9) 습곡축이 동에서 서로 향하면서 경사각이 감소되어 오십천 단층 부근에 이르러 수

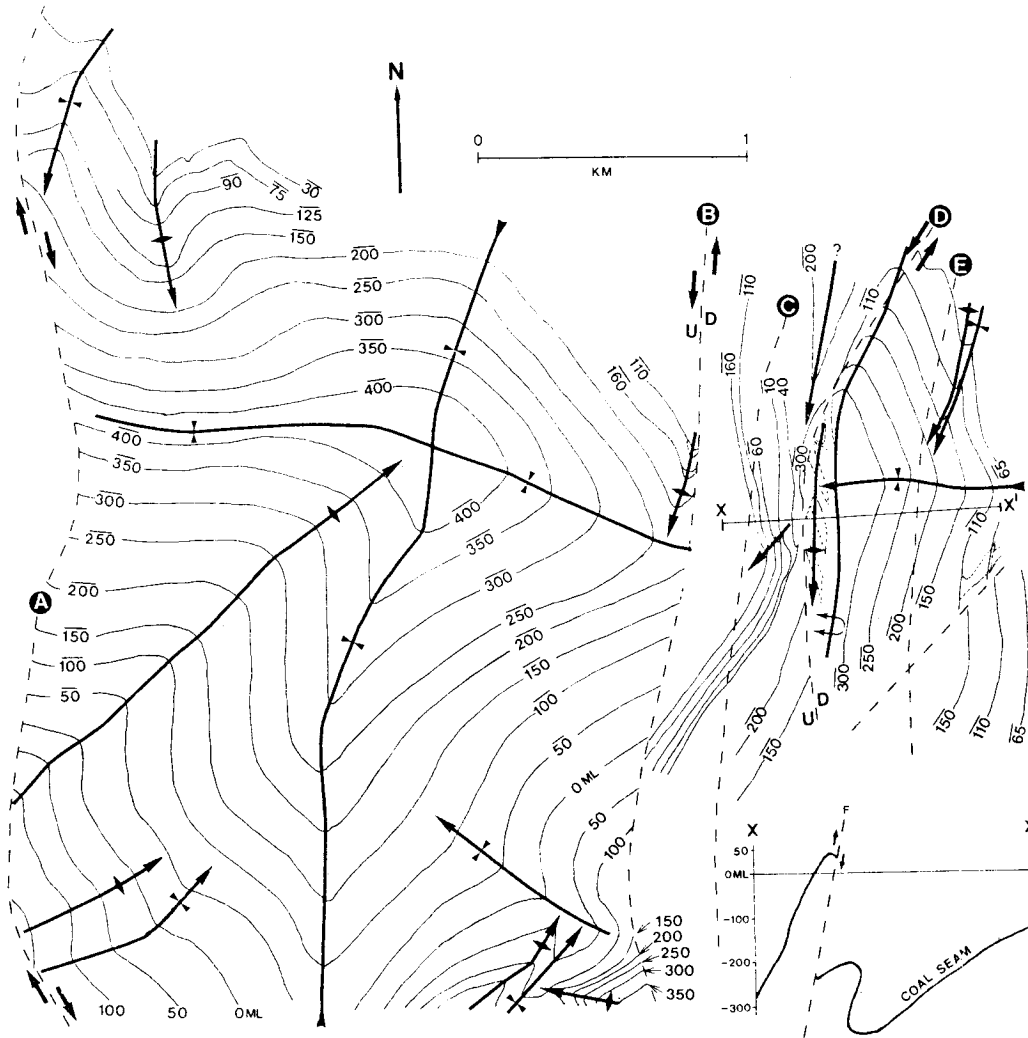


Fig. 9. Subsurface coal-contour map of the study area. A; Osypcheon fault, B; Tongri fault, C; Surficial trace of Tongri fault, D; Dongjeom fault, E; Surficial Trace of Dongjeom fault.

평으로 발달하는 점, 지하석탄층의 분포 (Fig. 3)에 의하면 오십천 단층과 지하 통리 단층 사이에는 동-서 방향의 층상 단층이 발달하지 않는 점, 특히 오십천 단층의 단층조선의 방향과 경사가 지역마다 상이한 점 등으로 보아 (Fig. 2, 이종혁 외, 1992) 동-서 방향의 습곡은 층상단층계에 수반되는 구조로 보기에는 어려운 점이라고 본다. 그러므로 이 지역에 나타나는 동-서 방향의 습곡은 그림 11에서 보는 것과 같이 오십천 단층의 좌우 암괴가 상호 이동시 이동량 차이에 의하여 발생하는 국부적인 습곡으로 보는 것이 타당하다.

동-서 방향의 습곡과 남-북 방향의 향사 습곡은 상호

축의 간섭상으로 보아서, 동-서 방향이 남-북 방향의 향사 습곡을 간섭하며 후기에 발달한 것으로 해석된다. 이들 두 습곡의 간섭은 연구지역 중앙부에 탄층의 "Basin" 모양 (전형적인 형태는 아님)을 형성 시켰다.

남-북 방향의 습곡은 오십천 단층과 주향이동 같은 이유로 이 연구지역에서는 오십천 단층과의 간섭상이 나타나지 않는다. 이 습곡은 비교적 큰 규모이며, 습곡의 축방향 및 형태로 보아 주향이동 단층 작용시 수반되는 주변구조로 해석하기 어렵다. (e.g. Aydin & Page, 1984; Christie-Blick & Biddle, 1985; Sylvester, 1988). 이 습곡은 오십천 단층 좌우에 걸쳐 상기 두 습곡보다 광역적으로 발달하고 있다.

이러한 광역적인 습곡은 이 지역의 대규모 구조운동과 관련이 있는 것으로 추정되며 습곡의 생성 시기는 이 연구 지역의 백악기 지층에 남-북 방향 습곡이 없는 것으로 보아 백악기 이전으로 사료된다.

이 연구 지역내에서는 북동-남서 방향의 습곡과 남-북 방향의 습곡이 상호 간섭되는 증거를 찾지 못하여 이들의 상대적인 생성 시기를 알 수 없으나, 북동-남서 방향의 습곡이 "Basin" 형태가 발달한 지역을 지나지 못하는 점, 연구지역 주변 전역에 발달하는 점 (Fig. 3), 남-북 방향의 습곡을 간섭 못하는 점으로 보아 북동-남서 방향의 습곡이 남-북 방향의 습곡형성 이전에 생긴 것으로 본다. 습곡축의 방향도 오십천 단층을 주 파쇄대로 보았을 때 주향이동 단층 운동에서 횡 압력 지역에 발생할 수 있는 습곡축의 방향 (Harding, 1974)과 전혀 다르다. 상기와 같은 점을 고려하면, 이 습곡은 일반적으로 주향이동성 단층 주변에 발생하는 2차 습곡 (Christie-Blick & Biddle, 1985; Harding et al., 1985)이 아니며 오십천 단층의 운동에 의한 수평 변위가 발생하기 이전에 형성된 습곡이다. 북동-남서 방향의 습곡은 오십천 단층에 의하여 간섭을 받으므로 이들의 생성 시기는 최소한 오십천 단층이 이 지역에서 대규모 수평 변위 운동을 시작하기 이전이다

지하 동점 단층과 통리 단층 (Fig. 9-B, 9-D) 사이 파쇄대내 존재하는 -200 m와 -150 m의 탄의 등고는 동점 단층 동부에 위치하는 동일 등고의 탄층이 동점 단층에 의하여 변위된 것이다. 이로부터 동점 단층의 운동방향은 좌수향으로 되며 그 변위량은 지하 동점 단층을 기준으로 하였을 때 수평으로 약 650 m에 이르며, 수직낙차는 약 200 m에 달한다. 이로부터 구한 단층 조사의 방향은 북으로 약 15~20°이며 이는 동점 단층 서측 암괴가 위로 볼록한 단층면을 따라 사교 운동을 하면서 북에서 남으로 이동시 일부 암괴가 동점 단층 동측 암괴 상부에 위치하는 결과를 초래하였다.

동점 단층과 통리 단층에 의한 전체적인 운동성질을 종합하면 동점 단층은 좌수향으로 이동하였다. 그러나 통리 단층의 경우 부분적으로 운동 결과가 우수향으로 인지되기도 한다. 이에 반하여 지하 석탄층의 변위 양상으로 보면 좌수향으로 나타나, 현재로서는 운동방향의 선후 관계는 확실치 않으나 좌수향과 우수향으로 운동하였음이 확실하다.

한편 이들 두 단층의 주향과 경사의 방향이 상호 유사한 점, 전단대를 형성하면서 탄층에 예인 습곡을 형성시킨 점, 주향이동에 의한 국부적인 층서의 역전을 유발시킨 점 등으로 보아 두 단층은 동일 파쇄대가 지표에 나타난 것으로 본다. 전형적인 주향이동 단층계에 수반되는 꽃구

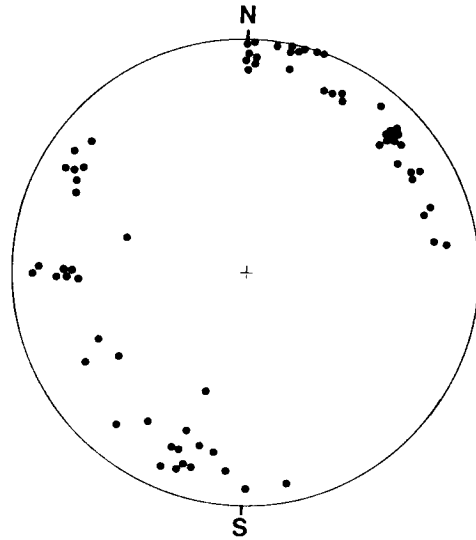


Fig. 10. Stereographic projection (lower hemisphere) of fold axes of the study area.

조에서는 개개의 소규모 단층은 주단층의 운동형과 동일하며 (Harding, 1990), 간혹 파쇄대가 안행형으로 발달하면서 전체적인 꽃구조를 보이는 곳도 다수 보고되었지만 이경우 역시 꽃구조를 수반하는 단층의 운동형은 주단층의 운동형과 일반적으로 동일한 것으로 알려져 있다 (e.g. Christie-Blick & Biddle, 1985; Harding, 1984; Harding et al., 1983; Harding & Lowell, 1979; Sylvester, 1988; Wilcox et al., 1973). 연구지역 서측 2 km에 위치한 오십천 단층은 대규모 우수향 단층으로서 통리 및 동점 두 단층의 운동 방향과 반대이므로 이들 두 단층을 오십천 단층에 수반되는 전형적인 꽃구조라고 보는 것은 무리가 있다고 본다. 그러므로 오십천 단층과 상기 두 단층은 오십천 단층 작용과, 그림 11 및 12와 같은 디테치먼트 (detachment) 구조 운동과, 연구지역 주변에 광범위하게 발달하는 층상 단층 작용시 수반되는 각 암괴의 이동량 차이에 의한 지층변형이 계속해서 발생된 소규모 단층으로 사료된다.

그림 6에서 시루봉 단층 (D)과 이에 수반되는 탁월인장 절리의 방향 및 시루봉 단층과 통리 단층의 공액상으로부터 구한 주응력은 최대주응력축이 남-북 방향에서 저각으로, 중간 주응력축이 74°로, 최소 주응력축이 24°로 나타나며, 이는 연구지역 주변의 동-서 방향의 층상 단층의 형성 기구와 관련이 있는 것으로 사료된다. 한편 시루봉 단층과 동점 단층의 발달 심도가 통리 단층에 비하여 깊고 통리 단층이 공액상으로 시루봉 단층에 의하여 변위된 점, 시루봉 단층이 지하 200 m 이하에서 발견되지 않는 점은

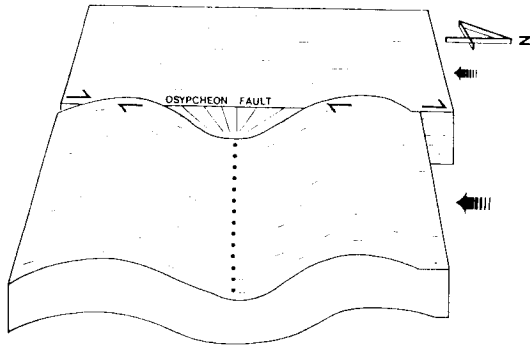


Fig. 11. Spatial relation between two blocks along Osypcheon fault and development of E-W trend fold (dotted line). Lines on fault plane simulate slickenside lineation. View is west.

이들 단층중 시루봉 단층이 후기에 생성된 비교적 소규모의 박피 단층임을 암시한다. 이들 단층이 적각리층과 조선계 석회암을 절단하는 것으로 보고되어 (임순복 외, 1994) 백악기 이후까지 운동한 것으로 보인다.

연구지역의 단층대에 인접한 함탄층은 오십천 단층이 우수향으로 통리와 동점 단층이 좌수향으로 운동한 결과 simple shear를 받았다. 계속해서 동점과 통리 단층의 동측 파쇄대가 상승하고 서측 파쇄대가 하강을 하였고, 동시에 시루봉과 시루봉 단층의 좌수향운동에 의하여 기존 동-서 방향의 습곡축은 이미 발달한 서경사가 보다 큰 경사를 이루게 된 것으로 본다. 이와 같은 단층의 영향으로 습곡축의 방향도 남남서 방향으로 회전한 것으로 사료된다.

이 지역내 발달하는 동-서 방향의 습곡생성 원인과 오십천 단층과 시루봉 및 통리 단층의 운동형이 다르고 통리 단층의 경우 운동형이 좌수향과 우수향으로 나타나는 것은 다음과 같이 해석된다. 기반암을 부정합으로 피복하는 조선계 및 평안계 지층은 디테치먼트로 (detachment fault) 접촉하며 북에서 남으로 이동할 때 횡압력을 받아 동-서 방향의 국부적인 습곡이 수반된 것으로 추정된다. 이와 동시에 각 암괴의 상대적인 이동량 차이에 따라 주 단층의 주향 및 이동 방향과 평행한 방향으로 소규모로 통리 및 동점 단층이 형성되었으며 이때 이들 단층의 운동방향은 남으로 향하는 암괴의 상대적인 이동거리의 차이에 따라 운동형이 우수향에서 좌수향으로 변하게 되었다 (Fig. 12). 그후 북-남 방향으로 계속하여 작용하는 주응력에 의하여 통리 단층이 시루봉 단층과 공액상을 이루며 형성되었다. 그림 12에 도시된 디테치먼트는 동-서 방향의 습곡을 발생시킨 암괴의 이동 및 조선계 석회암, 평안계 함탄층 및 백악계 퇴적암류를 간섭하는 현상을 도시한 것이다.

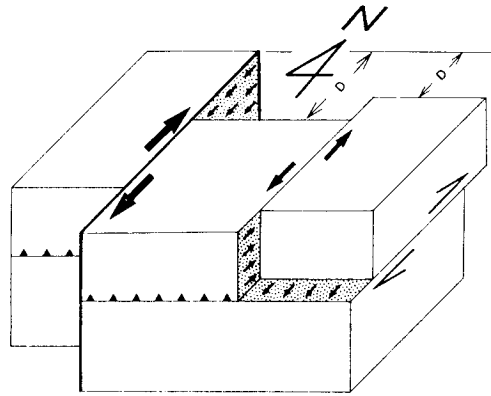


Fig. 12. Schematic block diagram suggesting possible way of accommodating strike-slip faults. Note the direction of relative displacement on the faults, and the opposite shear-sense between middle block and eastern one. "D"s with arrows show lateral net-slip on each block. Central block contacts with Osypcheon fault (heavy line) and Tongri-Dongjeom fault set. Horizontal line with closed triangle represents subsurface inferred thrust.

연구지역 동단부 석회암 분포지역 내 시추결과 (대한 광업진흥공사, 1989, SC346 및 SC446)에 의하면 백악계 퇴적암류 (화산 퇴적물포함)가 조선계 석회암 층서 상하부에 각각 위치한다. 이와 동시에 경동탄광 통리갱 지역 조선계 석회암의 대부분이 백악계 퇴적암류로 피복되어 야외에서도 쉽게 인지된다 (Fig. 7, 이종혁 외, 1992). 이 연구지역 지표에는 동-서 방향의 층상 단층이 다수 보고되었다 (임순복 외, 1994). 그러나 그림 7과 같은 화산각력이 연구지역에 분포하고 있고, 단층의 조선이 저각으로 발달하고 있어 층상단층에 의한 지층의 역전도 일부는 인정되나 주향이동 단층대에서 발생하는 지층의 역전도 배제할 수 없다. 이들 층상단층과 주향이동 단층의 선후 관계는 미해결 과제로 남아있다.

결 론

연구지역에 나타나는 습곡은 크게 세방향이며 상대적인 발생시기는 북동-남서 및 남-북 방향 그리고 동-서 방향의 순서이다. 이들중 전자 두 습곡은 광역적인 응력장에 의하여 발생된 것이며, 동-서 방향의 습곡은 연구지역과 주변에 발달하는 층상단층계 및 오십천 단층의 영향으로 발생한 국부적인 습곡이다. 습곡이 형성된 후 북에서 남으로 이동하는 암괴의 상호 이동량 차이에 따라 주이동 방향과 평행한 남-북 방향의 주향이동성 단층이 발생하

였다. 강원도 통리 지역에 발달하는 지하 석탄층의 구조 및 단층의 발달상이 지표에 나타나는 암상의 분포 및 지질구조 양상과 상당한 차이를 보인다. 이는 도계일원에 발달하는 동-서 방향의 층상단층운동 이후에 발달한 다른 디테치먼트가 이 지역에 지표부근에만 발달하였음을 의미한다.

사 사

이 연구의 일부는 한국과학재단 (KOSEF 88-113-01) 학술연구비에 의하여 이루어졌다. 항내조사시 안내와 자료를 제공하여 주신 대한석탄공사 도계광업소 지질과 과장, 임양하 계장과 박동수 계장께 깊은 사의를 표합니다. 아울러 경동탄광 주병용 과장 및 조사과 여러분과, 한보탄광 朴利淳 차장께 감사사를 드립니다. 야외조사와 실내정리에 많은 도움을 준 趙頤洲군에게 사의를 표한다.

참고문헌

강필중, 조민조, 이봉주, 지광훈 (1989) 원격탐사 자료에 의한 삼척탄전 동부지역 (도계-철암) 지질구조 연구. 연구보고서 (KR-86-1A-2), 한국동력자원연구소, p. 45.
 대한광업진흥공사 (1988) 탄전지질 및 시추조사보고. 12호, 426 p.
 대한광업진흥공사 (1989) 탄전지질 및 시추조사보고. 13호, 422 p.
 大韓地質學會 (1962) 太白山地區 地質圖.
 徐海吉, 金東淑, 朴爽煥, 林淳福, 曹民肇, 裴斗鍾 (1979) 삼척탄전 지질도. 자원개발연구소.
 이종혁, 원종관, 박수인 (1992) Geotectonical and Petrographic Studies Sedimentary, Igneous and Metamorphic Rocks of Taebaek Area, Kwangweon-Do. KOSEF 88-1113-01, 402 p.
 임순복, 이창범, 김동숙, 김유봉 (1994) 석탄자원조사 제 15호, 삼척탄전 백병산-시루봉지역 지질도 (1:10,000). 한국자원연구소.
 최동수 (1986) 강원도 도계 일대의 지질구조에 관한 연구. 미발간 석사 학위 논문, 서울대학교 대학원, 64p.
 Aydin, A. and Page, B. M. (1984) Diverse Pliocene-Quaternary tectonics in a transform environment, San Francisco Bay region, California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 95, p. 1303-1317.
 Christie-Blick, N. and Biddle, K. T. (1985) Deformation and

basin formation along strike-slip faults. In Biddle, K. T. and Christie-Blick, N. (eds.), *Strike-slip deformation basin formation, and sedimentation*. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Pubs. No. 37, p. 1-34.
 Dahlstrom, C. D. A. (1970) Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. *Bull. Can. Petrol. Geol.* v. 18, p. 332-406.
 Harding T. P. (1974) Petroleum traps associated with wrench faults. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 58, p. 1290-1304.
 Harding, T. P. (1984) Graven hydrocarbon occurrences and structural style. *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. 68, p. 333-362.
 Harding, T. P. (1990) Identification of Wrench Faults Using Subsurface Structural Data: Criteria and Pitfalls. *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. 74, No. 10, p. 1590-1609.
 Harding, T. P., Gregory, R. F. and Stephens, L. H. (1983) Convergent wrench fault and positive flower structure, Ardmore Basin, Oklahoma. In Bailey, A. W., (ed.), *Seismic Expression of Structural Styles*. Am. Assoc. Petrol. Geologists Studies in Geol., Series 15, 3, p. 4.2-13 to 4.2-17.
 Harding, T. P. and Lowell, J. D. (1979) Structural styles, their plate tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces. *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. 63, p. 1016-1058.
 Harding, T. P., Vierbuchen, R. C. and Christie-Bkucj, N. (1985) Structural styles, plate-tectonic settings, and hydrocarbon traps of divergent (transtensional) wrench faults. In Biddle, K. T. and Christie-Blick, N., (eds.), *Strike-slip deformation basin formation and sedimentation*. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Pubs. No. 37, p. 52-77.
 Jamison, W. E. (1987) Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Jour. Struct. Geol.*, v. 9, no. 2, p. 207-219.
 Kim, B. K., Cheong, C. H., Paik, K. H., Kim, J. H. and Kim, J. Y. (1986) Crustal evolution of the Korean Peninsula in the eastern part of Mt. Taebaeg area. Part 1: stratigraphy, paleontology and structural geology in the eastern part of the Samchog coalfield. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 22, p. 21-39.
 Kobayashi, T. (1953) *Geology of South Korea: With Special Reference to the Limestone Plateau of Kogendo, the Cambro-Orodoevician Formations and the Faunas of South Chosen*. Tokyo University, 293p.
 Sylvester, A. G. (1988) Strike-slip faults. *Geol. Soc. Am. Bull.* v. 100, p. 1666-1703.
 Wilcox, R. E., Harding, T. P. and Seely, D. R. (1973) Basic tectonics. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 57, p. 74-96.

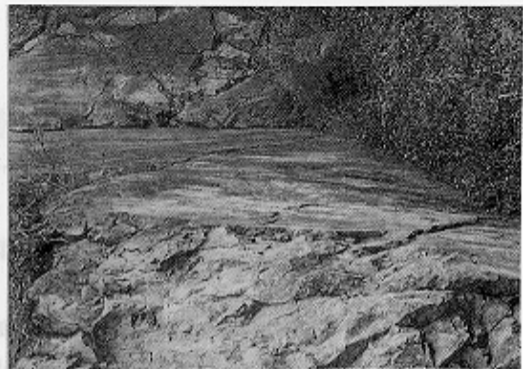


Fig. 2 Vertical-slip sense of Osypcheon fault near Magyori (Korea Nat'l Grid: Lat.; 416.10, Long.; 204.08).



Fig. 4. Outcrop of paleo-fault breccia. All of the breccias are composed of sandstone of Paleozoic age (Korea Nat'l Grid: Lat.; 410.48, Long.; 206.05).

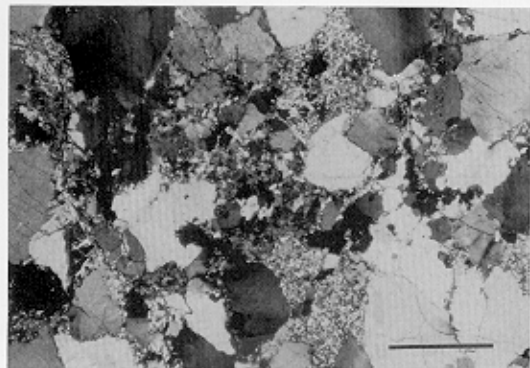


Fig. 5. Photomicrograph of fault breccia (crossed nicol). Note recrystallization at detrital quartz grain boundaries, weak fracture patterns within detrital quartz grains, pressure solution contact between quartz grains and inter-granular authigenetic quartz cement. Scale bar is 0.5 mm long.

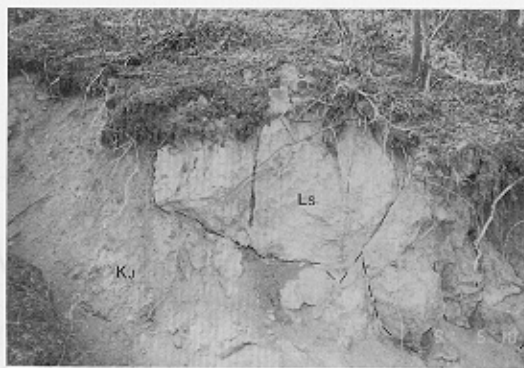


Fig. 7. Breccia of Cambro-Ordovician limestone (Ls) surrounded by Cretaceous volcanic sediments, Jeoggagri Fm (Kj).



Fig. 6. Local view of dextral strike-slip Shilobong fault (D) and sinistral strike-slip Dongjeom fault (E) in Fig. 1. Cambro-Ordovician limestone contact with Cretaceous gravelstone by Shilobong fault. Viewed towards the north.

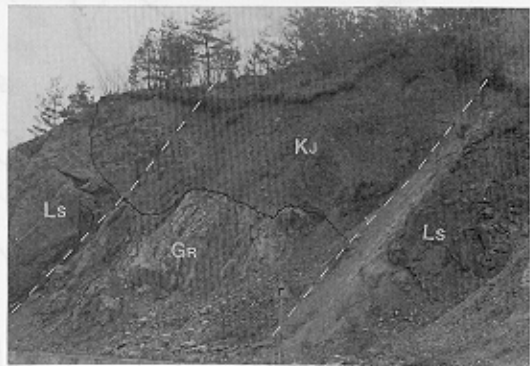


Fig. 8. Outcrop of Shinri fault near Kosari (Korea Nat'l Grid: Lat.; 4-8.90, Long.; 207.47). Irregular black dashed-line stands for unconformity. White broken-lines refer to faults. Viewed towards the west. Ls; Cambro-Ordovician limestone, Gr; Age-unknown granite, Kj; Cretaceous gravelstone (Jeoggagri Fm).