

三陟炭田 太白-下長地域の 地質構造

金 貞 煥* · 金 榮 奭*

Geological Structures of the Taebaek-Hajang Area, Samcheog Coalfield, Korea

Jeong Hwan Kim* and Young Seok Kim*

Abstract: Taebaek-Hajang area, in the northern part of Taebaek city, comprises of Paleozoic sedimentary sequences and Cretaceous intrusive and volcanoclastic rocks. The rocks in the area are affected by folding and thrusting during the Bulgugsa Orogeny. In Taebaek area, geologic structures related with thrust movement are dominant. These structures are small scale of klippe and window, back thrust, and asymmetric folds related with blind thrust. Tear fault or compartment fault due to differential movement of thrust sheets have "en echelon" arrays. Small scale transpression effects occurred along these faults and produced the flower structure. According to strain measurement using by ooids from limestone and quartz grains from quartzite, strain ratios are very low and strain ellipsoids are apparent oblate type.

서 언

연구지역은 강원도 태백시 북부-삼척군 하장면 남부일대의 지역으로 태백시 북부에 위치하며 (Fig. 1a), 백운산항사의 북익부, 그리고 혈암 드러스트 단층의 상반에 해당되는 지역이다. 연구지역내에는 유용한 지하자원이 많지 않아 일부광상에 대한 조사·연구가 이루어졌을 뿐이며 (이두성, 방기열, 1978; 김수영 등, 1983; 대한광업 진흥공사, 1983; 장병욱, 1989), 이 지역에 대한 전반적인 지질구조 연구는 이루어진 바 없다.

이 연구의 목적은 연구지역내의 고생대 지층들을 규제하고 있는 지질구조요소들의 특성과 상호관계를 비교하여, 연구지역내의 지질구조와 변형작용과의 관계를 밝히는데 있다.

지 질

연구지역내에는 캄브리아기의 풍촌석회암층을 기저로 하

여 그 상부에 화절층, 동점규암층, 두무골층, 막골석회암층과 평안누층군의 만항층과 금천층, 그리고 백악기의 적각리층, 석영반암, 석영안산암이 분포하며, 이들 모든 지층들을 총적층이 덮고 있다 (Fig. 1b). 연구지역내의 조선누층군은 세송세일층, 직운산세일층 및 두위봉석회암층의 발달이 단속적이고 불량하므로 태백산지구 지하자원조사단 (1962) 에서 사용한 지층명을, 그리고 평안누층군의 지층명은 서해길 등 (1979) 의 것을 사용하였다. 연구지역내에 분포하는 지층들을 개괄적으로 설명하면 다음과 같다.

캄브리아기의 지층들

연구지역내에 분포하는 캄브리아기의 지층들로는 풍촌석회암층과 화절층만이 분포하고 있다. 연구지역내의 최하부층인 풍촌석회암은 원동 드러스트 단층의 상반을 따라서 분포하며, 북동쪽으로 향하면서 점차적으로 침멸한다. 구성암석은 유백색, 암회색, 담회색 및 담홍색의 괴상석회암으로 구성되며, Ooids (Fig. 2a), oncolite, pisolite 를 포함하기도 한다. 원동의 대기부근에서는 유백색 괴상석회암이 채굴되고 있으며, 단층파쇄대를 따라서는 공동이 발달하고 있다.

* 서울대학교 지질과학과 (Dept. of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

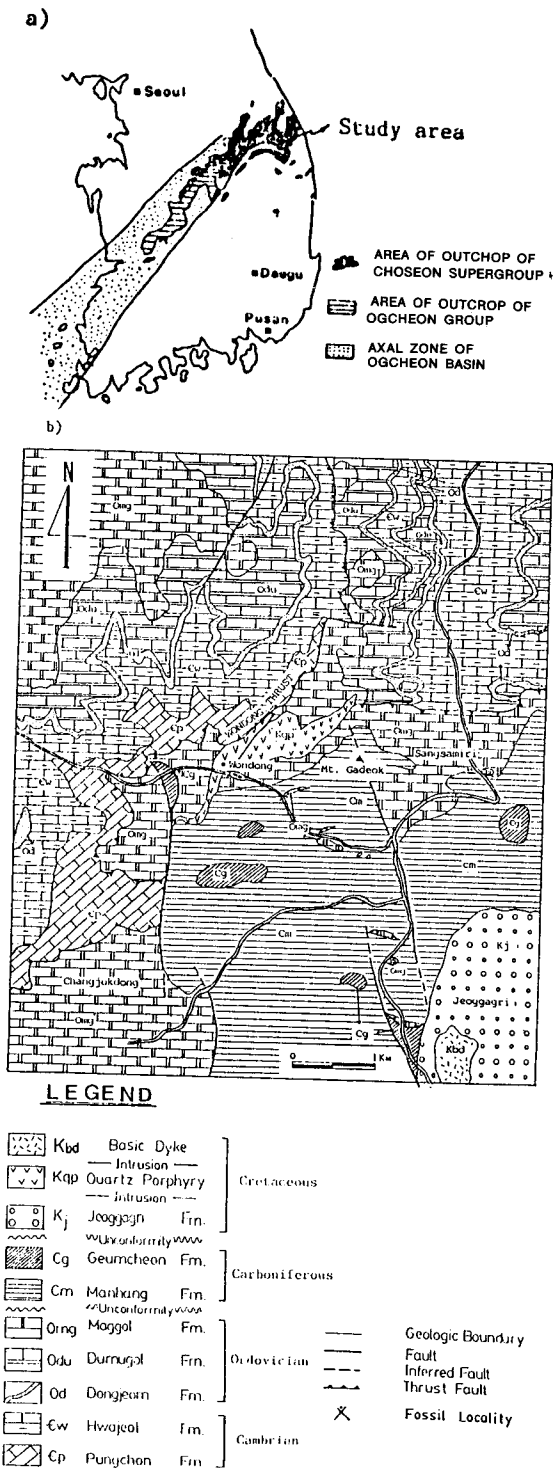


Fig. 1. Index map (a) and geological map (b) of the Taebaeg-Hajang area.

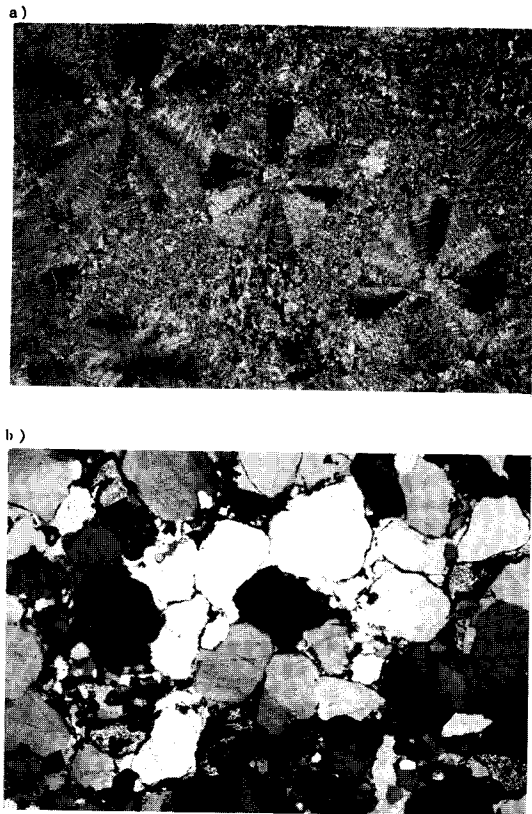


Fig. 2. (a) ; Microphotograph of oolitic limestone, upper part of the Pungchon Formation. Inner part of ooids are replaced by calcite and (b) ; Microphotograph of the Dongjeom Quartzite Formation. Sutured grain boundaries and weakly overgrowth of quartz grains are shown.

화절층은 풍춘석회암층 상위에 놓이며, 비교적 완만한 경사를 가지며 넓은 분포를 보여준다. 구성암석은 암회색 사질세일, 호층을 이루는 석회암과 세일로 구성되며, 암상의 차이로 인한 차별 침식을 보인다. 연구지역내에서는 특징적으로 암회색 세일과 석회암의 호층이 우세하게 발달하며 층간역암이 부분적으로 협재된다.

오도비스기의 지층들

오도비스기 지층들은 하부로부터 동점규암층, 두무골층 및 막골석회암층으로 구성되어 있다.

동점규암층은 화절층 상부에 정합적으로 놓이며 구성암석의 견고성으로 인하여 건축으로 이용되기도 하지만 층후

가 얇아서 야외에서 인지하기가 어렵다. 구성암석은 암회색, 회색 또는 유백색의 중립 내지 조립질 사암으로 규암화되어 있으며, 구성광물은 주로 석영으로 구성되고 소량의 방해석, 불투명 광물이 포함된다. 원마도는 아각형-아원형이며 (Fig. 2b), 분급은 비교적 양호하며, 사층리가 관찰되기도 한다.

동점규암층의 상위의 두무골층은 세일, 석회질 세일 및 석회암으로 구성되며, 일반적으로 서로 호층을 이룬다. 하부에서는 세일층이 두꺼우며, 세일층의 협재 빈도수가 많으나, 상부로 갈수록 석회암의 협재 빈도수와 층의 두께가 증가하는 경향을 보여준다.

조선누층군의 최상부층인 막골석회암층은 주로 석회암으로 구성되며, 녹회색의 세일이 협재된다. 상부에 해당되는

부분에서는 복족류, 두족류 및 완족류 등의 화석이 산출된다(Fig. 3a).

석탄기의 지층들

석탄기 지층들은 평안누층군의 하부 지층들인 만항층과 금천층만이 연구지역 중남부 일대에 넓게 분포하고 있다.

만항층은 연구지역내에 넓게 분포하며 막골석회암층과는 부정합관계를 가지지만 곳에 따라서는 단층접촉을 하며, 동남부에서는 적각리층에 의하여 부정합으로 피복되기도 한다. 구성암석은 저색 사암과 세일, 녹색 사암과 세일, 회색 사암등 다양한 암상을 보이며, 하부에서는 Granule 역암이 분포하기도 한다. 곳에 따라서는 유백색의 석회암이 1-5m의 두께를 가지며 2-4 매가 협재되기도 하며, 담적색 또

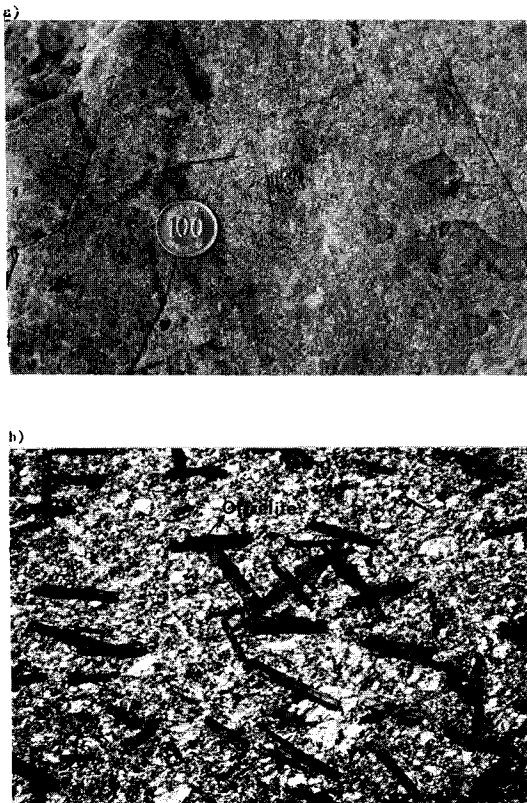


Fig. 3. (a) ; Cephalopods in the upper part of the Maggol Formation and (b) ; Microphotograph of siltstone of the Manhang Formation. Black prismatic minerals of otremites are commonly seen.

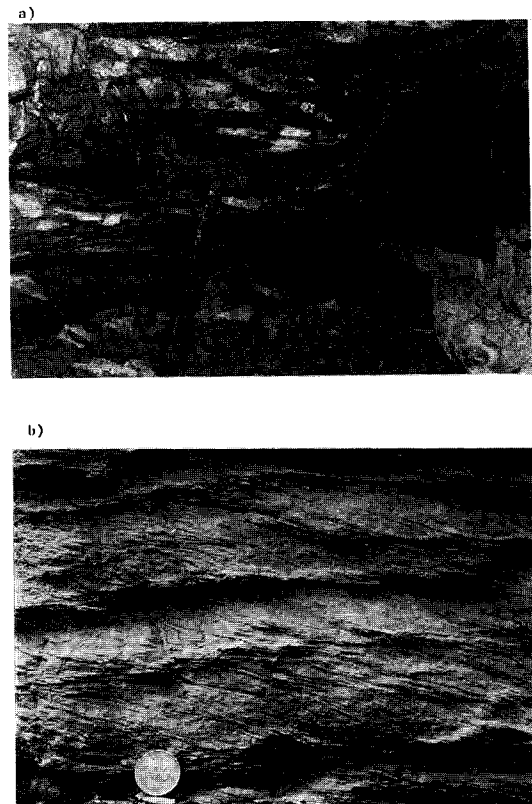


Fig. 4. (a) ; Fluxion structure and fault gouge along the fault and (b) ; relationship between bedding (S_0) and cleavage (S_1) of the Whajeol Formation.

는 담록색 세일내에서는 변성광물인 Ottrelite가 관찰된다 (Fig. 3b). 연구지역내에는 만향층이 넓게 분포하는데, 이는 지층들이 완만한 경사각을 가지고 완사습곡을 이루며, 소규모의 드러스트단층들이 여러 번 반복되기 때문이라고 생각된다 (Fig. 4a).

만향층 상위의 금천층은 향사구조의 축부에 따라서 소규모로 분포하며, 대기부근에서는 주향이동 단층운동에 의하여 형성된 Exotic duplex 의 형태로 소규모로 분포한다. 금천층은 암회색의 사암과 세일로 구성되며, 암회색의 석회암이 협재되기도 하며 석회암내에서는 두족류로 보이는 화석이 관찰된다. 금천층내에는 박층의 탄층이 협재되기도 한다.

백악기 지층들

백악기 지층들은 연구지역 동남부에 분포하는 적각리층

과 염기성암, 중앙부에 분포하는 석영반암등이 있다.

적각리층은 연구지역 동남부에 소규모로 분포하지만, 이는 도계읍까지 연장 분포된다. 구성암석은 적색 기질에 다양한 성분의 역으로 구성된 역암과 사암으로 이루어지며, 역의 최대직경은 1 m 가까이 되는 것도 있다. 일반적으로 층리면의 발달은 매우 불량하지만 대략 N 30°~40° E 의 주향과 40°~50° SE 의 경사를 갖는다.

연구지역 중앙의 원동을 중심으로 비교적 넓은 분포를 보이는 화성암류는 석영반정을 포함하고 있는 석영반암류와 미약한 유동구조를 보이고 있는 유문암류로 구성된다. 이들에 대한 Norm 광물에 의한 화산암 분류에 의하면 알카리 유문암-유문암질 안산암과 유문암-유문암질 안산암에 해당된다 (김수영 등, 1983). 이들은 주변 암체에 스퀴콘 광상을 형성시켰으며 이와 수반된 맥암류가 여러 곳에 분포하고 있다.

염기성암류는 연구지역 동남부에 적각리층을 관입하고

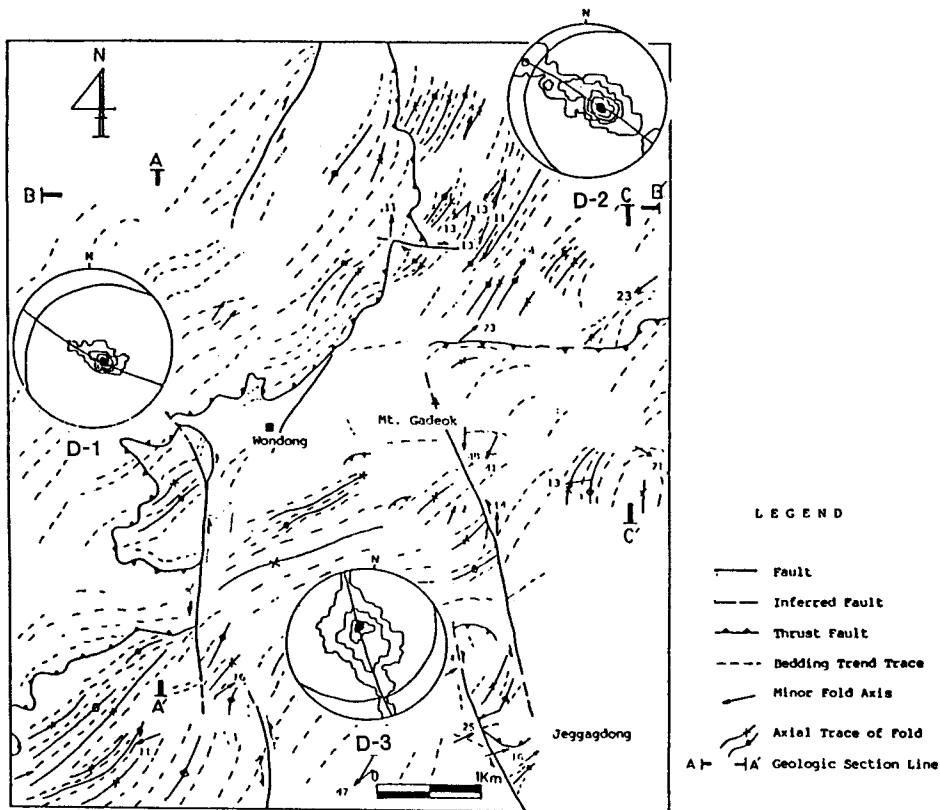


Fig. 5. Structural map of bedding traces, axial trace of folding and streoplots of pole to beddings (D: domain)

있으며 암상은 부분적으로 분출상의 특징을 보여주기도 한다.

지질구조

연구지역내의 지층들을 규제하고 있는 지질구조요소들은 북동방향으로 발달하고 있는 원동 드러스트단층과, 북동 또는 남북방향으로 발달하고 있는 단층들, 그리고 습곡 구조등이다. 원동 드러스트는 태백산 지하자원 조사단 (1962)에 의하여 연구지역내의 원동리-상사미리 사이의 만항층과 화절층을 경계로 하여 설정하였으나, 김수영 등 (1983) 과 장병욱 (1989) 은 풍촌석회암층과 막골석회암층의 경계선을 따라서 드러스트단층을 설정하였다. 이 연구에서는 원동 드러스트단층을 추적하여 새로운 지질도를 작성하였다. 연구지역내의 지질구조의 특성을 설명하기 위하여 지질구조도 (Fig. 5) 와 지질단면도 (Fig. 6) 를 작성하였으며, 각 구조구별로 지질구조의 특성을 설명하고자 한다.

구조구 (D-1)

구조구 1 지역은 원동드러스트의 상반에 해당하는 지역으로 조선누층군이 주로 분포하고 있다. 원동드러스트 상반 지층들은 단층면 부근에서는 고각도를 가지지만 드러스트에서 멀어지면서 거의 수평층을 이루어, 이들이 상반 배사구조 (Hanging wall anticline) 를 이루고 있음을 암시하고 있다. 구조구 1의 남서쪽, 즉 원동 서쪽에서는 풍촌 석회암층이 Klippe와 window (Fig. 6, A-A') 의 형태를 보여주면서 반복하여 분포한다. 구조구 1의 북동부에 발달한 북동 방향의 단층은 좌수이동의 주향이동단층으로서 지층의 주향과 거의 평행하게 미끄러져 지질도상에서는 이동거리가 짧게 표시되며 (Sylvester, 1988), 곳에 따라서 Hinge fault 또는 회전단층 (Davies, 1984)의 성격을 보여주며, 이 단층의 주향방향에 따라서 두꺼운 방해석맥이 연속성있게 발달하고 있다.

구조구 1의 층리면에 대한 구조도와 극점에 대한 투영도

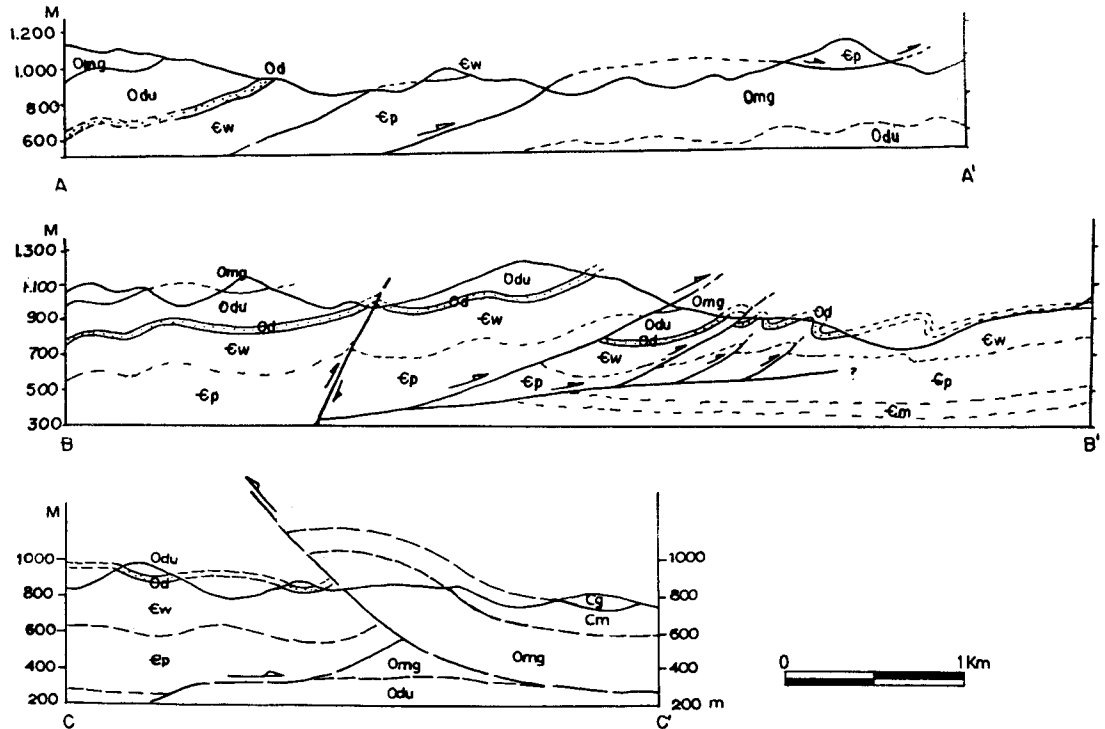


Fig. 6. Geologic cross sections along A-A', B-B' and C-C' lines from Fig. 5.

(Fig. 5) 에서 층리면은 일반적으로 $N 40^{\circ} \sim 50^{\circ} E$ 의 주향과 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} NW$ 의 경사를 가지며 흔히 등사습곡을 형성하기도 한다. 이차적인 면상구조로는 측면벽개 또는 점판벽개가 잘 발달하고 있으며 (Fig. 4b), 연구지역내의 벽개구조의 주향 방향을 이용한 지질구조도 (Fig. 7) 에서 벽개면의 주향방향은 층리면의 주향과 작은 각도를 가지면서 발달하고 있으며, 일반적으로 $N 20^{\circ} \sim 30^{\circ} E$ 의 주향과 $30^{\circ} \sim 40^{\circ} NW$ 의 경사를 갖는다. 습곡구조의 축적이나 광물선구조의 방향도 $010^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 의 방향을 가지며, 비교적 낮은 각도로

기울어져있다(Fig. 8). 이 지역내에는 드리스트단층과 관련하여 소규모의 Forelimb thrust (Dahlstrom, 1970; Butler, 1982) 와 측면엽리가 매우 잘 발달하고 있으며 (Fig. 9b), 이러한 소규모 구조들은 구조구 1과 2지역을 통하여 거의 유사하게 발달하고 있다. 이들은 거의 NE-SW 방향의 습곡축과 측면엽리, 교차선구조등이 발달하며, 비대칭 습곡구조의 형태를 갖는다. 습곡축의 침강각과 습곡측면과의 관계를 도시한 Fleuty 도표에 의하면 (Fig. 8), 습곡측면은 경사각이 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 에 이르는 Moderately inclined 영역에,

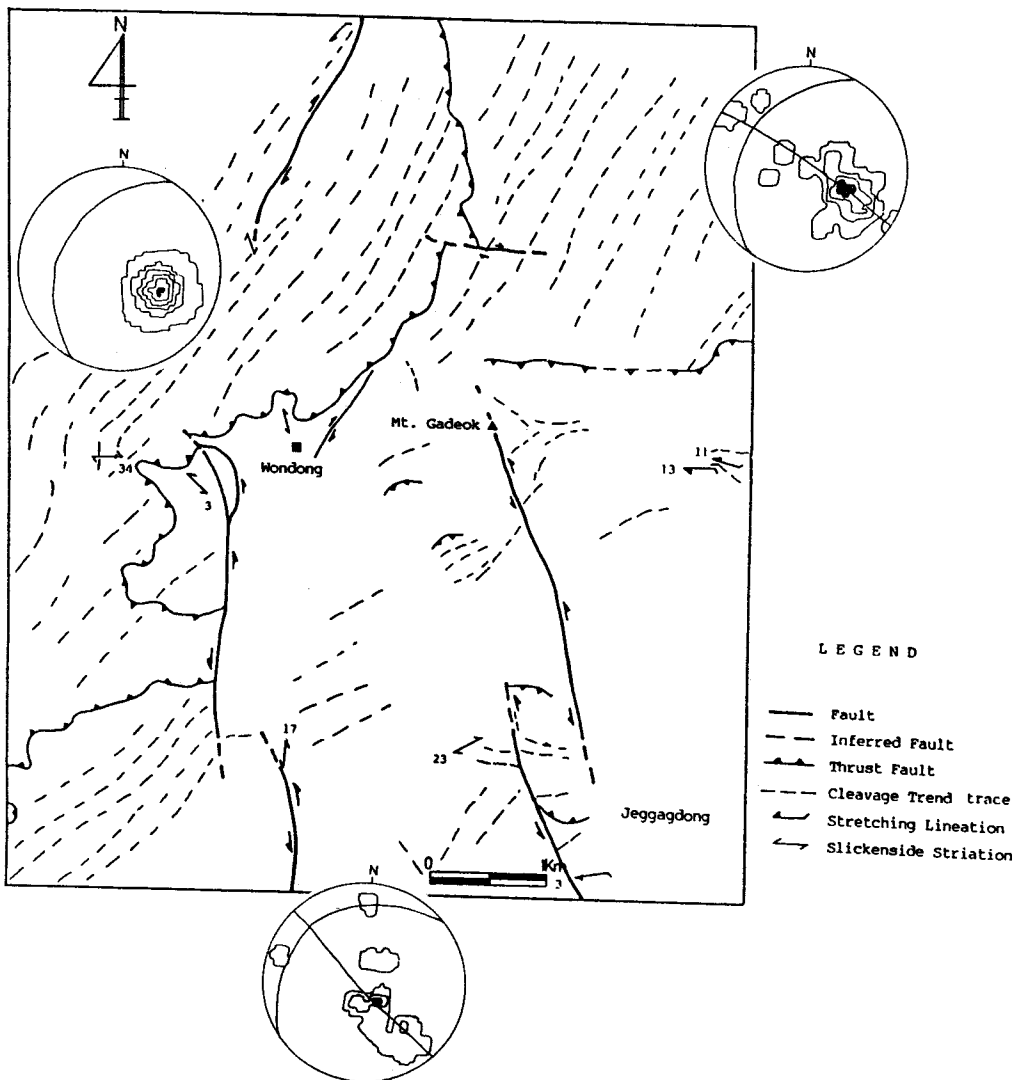


Fig. 7. Structural map of the study area showing trace of cleavage planes and stereoplots of pole to cleavage.

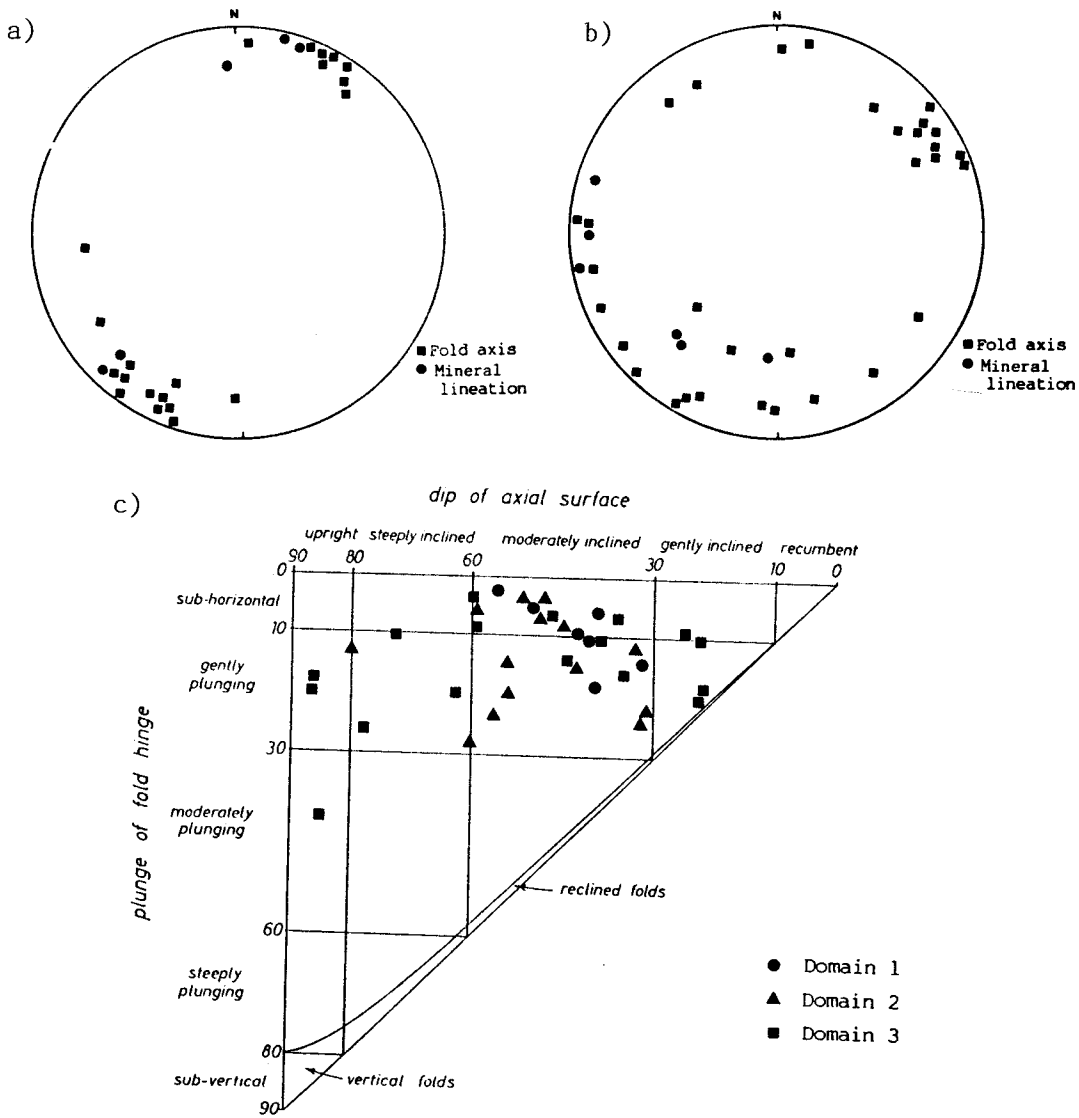


Fig. 8. Streoplots of minor fold axes and stretching lineations associated with thrusts. (a) ; domain 1 and 2, (b) ; domain 3, and (c) ; Fleuty diagram. Most of fold hinge lines have subhorizontal to gently plunging and axial surface dip at moderately.

침강각은 1°~10°에 이르는 Subhorizontal에서 10°~30°의 Gently plunging에 속함을 보여주고 있다. 이 지역내의 절리구조는 N 60° W의 주향이 우세하며 단층들은 N 20° E의 방향이 우세하다.

구조구 (D-2)

구조구 2 지역은 원동 드러스트단층의 하반지역과 상사미리에 발달하고 있는 Back thrust 의 하반에 해당하는 지역으로 화질층을 하부층으로 하여 막골석회암층 까지 주로 조선누층군이 분포하고 있으며, 층리면들은 N 20°~30° E



Fig. 9. Geologic structures related with thrust faults, (a); small scale of hanging wall anticline and footwall syncline and (b); asymmetric fold, and dyke (Bd) intruded along the small thrust fault.

의 주향에 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ NW의 경사를 가지며 (Fig. 5), 투영장에서 극점의 분포가 Girdle를 형성하고 있어서 지층들이 습곡작용을 받았음을 암시하고 있다. Girdle에 대한 π -pole은 $210^{\circ}/02^{\circ}$ 로서 습곡축의 방향을 암시하고 있다. 이들 습곡구조들은 동편 익부가 짧고 경사가 급하며, 서편 익부는 경사가 완만하고 긴 비대칭 습곡구조로서 드러스트 단층대에서 흔히 볼 수 있는 비대칭 습곡구조들이다. 이 습곡구조에 의하여 절골에서는 동점암층이 5회 반복하여 분포하고 있다. 이 습곡구조들은 원동 드러스트단층의 동편에 분포하는 점으로 미루어, 드러스트단층에서 멀어질수록 드러스트단층운동의 힘이 약해져서 지표에 나타나지 않는 Blind thrust의 영향으로 생각된다 (Fig. 6).

구조구 2와 3의 경계부는 화질층과 막골석회암층에 접하고 있으며, 이는 일견 정단층같이 보이기도 하지만 실제로

는 Passive back thrust (Banks and Warbarton, 1986)의 성격을 가지고 있다 (Fig. 6). 원동드러스트는 연구지역내에서는 북동방향의 주향을 갖지만 서쪽으로 향하면서 동-서 방향의 주향을 갖게되어 일종의 Arcuate 형태를 가지며, 드러스트판들의 운동방향은 북에서 남으로 향하여 이동되었다. 이러한 것은 황지지역 (김정환, 원종호, 1987)에서나 도계지역에서도 이미 보고된 바 있으며 (김정환 등, 1985), Back thrust에 관해서는 최근에 증산-사북지역에서도 보고된 바 있다 (김정환, 최원학, 1990).

이 지역내의 벽개구조는 N $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ E의 주향과 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ NW의 경사를 가지며 (Fig. 7), 습곡축이나 선구조의 방향도 대체로 구조구 1과 유사한 분포를 보여준다 (Fig. 8). 이 지역내의 습곡구조들은 Class C~2에 가까운 Similar fold의 형태를 갖는다 (Ramsay, 1967).

절리구조들은 N 24° W와 N 78° W의 두 방향이 우세하게 발달하고 있다.

구조구 (D-3)

구조구 3은 원동 드러스트단층 하반과 Back thrust의 상반에 해당하는 지역으로 대부분이 만항층으로 구성되며, 막골석회암층, 금천층과 적각리층이 분포한다. 지층들은 일반적으로 경사가 완만하며 습곡구조가 발달하여 지층들이 반복하여 분포하고 있다.

이 지역내에는 동편과 서편에 각기 두조의 단층들이 발달하고 있는데 (Fig. 1), 이들 단층들은 주향이동단층의 성격을 가지고 있어서 주향이동단층대에서 볼 수 있는 모든 지질 구조들이 잘 발달하고 있음이 특징이다. 구조구 3의 동편지역에는 두 조의 주향이동단층이 거의 서로 평행하게 발달하고 있는데, 두 단층이 끝나는 부분에서는 Bridge 구조 (Ramsay and Huber, 1987; Gamond, 1987), 또는 Steppover 구조 (Sanderson and Marchini, 1984; Harland, 1971; McCoss, 1986)에 의하여 소규모의 드러스트단층과 습곡구조가 형성되어 막골석회암층이 만항층 상위로 층상되어 있으며, 이 구조는 드러스트단층대에서 볼 수 있는 Pop-up구조 (Butler, 1982)의 형태 (Fig. 6. C-C')와도 매우 유사하다. 이러한 주향이동단층운동의 영향으로 인하여 미동국민학교에서 원동리 사이의 도로변에서는 막골석회암층과 만항층이 수회 반복하여 나타난다. 이러한 현상은 Positive flower 구조로서 (Fig. 10), 미동국민학교 뒤편에서는 만항층과 막

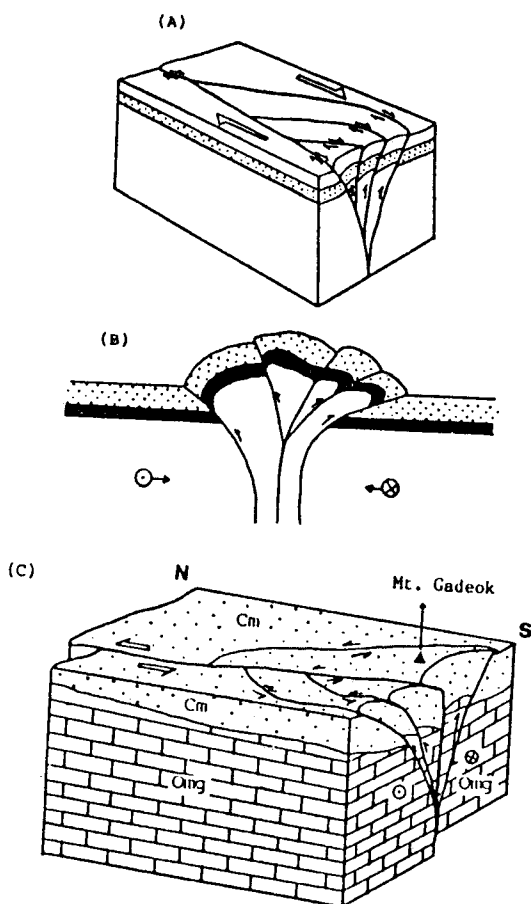


Fig. 10. Various models of flower structure produced by convergent strike-slip fault (transpression). (a); contractional duplex(Woodcock and Fisher, 1966), (b); a positive flower structures(Park, 1988) and (c); schematic diagram of flower structures in the Weondong area.

골석회암층이 각기 서로 다른 경사방향을 가지며 주향이동 단층으로 접하고 있다. 이러한 주향이동단층 운동의 영향으로 상사미리 부근에서는 막골석회암층과 기존의 Passive back thrust 또는 Passive roof duplex 를 따라서 이동되어 막골석회암층내에서 Triangle zone (Butler, 1982) 을 형성시켰으며 (Fig. 6), 만항층과 금천층은 주향이동단층의 활동 기간 동안에 거의 상부층으로서만 존재하여 완만한 경사를 가지고 습곡구조만을 형성하면서 넓은 분포를 이루고 있는 것으로 생각된다.

구조구 3의 서편에도 서로 평행한 두조의 단층이 안행상

으로 배열하여 발달하고 있으며, 이들은 각기 단층의 운동 방향이 서로 달라서 두 단층이 끝나는 연결부분에 일종의 Bridge 구조만 형성시켰다. 이 단층들은 풍촌석회암층을 상반에 두고 있는 원동드러스트 단층의 위치를 변위시켰으며, 대기부근에서는 금천층이 단층에 따라서 Exotic duplex(Woodcock and Fisher, 1986; Park, 1988) 의 형태로 나타나므로 이 단층의 운동방향이 좌수향임을 암시하고 있다.

연구지역 남서부, 안창죽 일대는 황지-석포간 약 22km 이상의 연장을 가지며 우수향의 운동성을 갖는 함백산 대 단층이 종료 또는 침멸되는 지역으로, 막골석회암층내에서는 습곡구조의 간섭형태인 Mushroom type의 습곡구조와 Box형 습곡구조들이 발달하고 있으며, 부분적으로는 더 심한 변형을 받은 곳도 있다. 이와 같은 현상으로 미루어 보아 함백산 대단층은 더 연장되지않고 침멸되는 것은 석회암내에서의 변형작용인 습곡작용에 의한 것으로 보인다. (Crowell, 1974; Reading, 1980; Miall, 1984).

구조구 3지역내의 지층들은 일반적으로 N 40°~50° E의 주향과 20°~30° SE의 경사를 갖는 것이 우세하지만, 투영 망에서 층리면에 대한 극점들의 분포는 Girdle을 형성하면서 넓게 분포하며 (Fig. 5), Girdle에 대한 π -pole 은 065°/05°의 매우 완만한 경사를 보여준다. 절리구조는 일반적으로 N 60° W/88° SW와 N 2° E/86° NW의 값을 가지는 공액조로 발달하며 이에 따른 최대 응력치의 방향은 327°/02°를 보여주고 있다. 이 지역내의 소습곡축과 선구조의 방향은 북동-남서 방향이 우세하게 분포한다 (Fig. 7).

변형량분석

암석내에 포함되어 있는 화석, 광물입자 그리고 역과 같은 물체들은 암석이 변형작용을 받을 때에 암석과 함께 변형작용을 받게된다. 본 연구에서는 규암이나 사암내의 석영입자를 이용하여 Lisle (1985) 과 Shimamoto and Ikeda (1976)에 의하여 수정된 R_f/Φ 법을 이용하여 Strain parameter 들을 구하고, 변형타원체의 형태를 구하여 연구지역내의 지질구조와 관련지어 해석하였다.

변형량 측정방법은 야외에서 정향표품을 채취하고, 암석내에 뚜렷한 엽리구조나 선구조가 미약하기 때문에 서로 수직인 임의의 세면에 대한 박편을 제작하여, Slide projector를 이용하거나 현미경 사진을 이용하여 석영입자들의 장

Table 1. Strain ratios, strain parameters, orientation of long axes of strain ellipsoids and strain markers in the Taebaeg-Hajang area.

Number	Principal axis of Strain Ellipsoid $\sqrt{\lambda_1} : \sqrt{\lambda_2} : \sqrt{\lambda_3}$	Strain Parameters			Orientation of long axis ($\sqrt{\lambda_1}$)	Rock type-Strain marker
		Fiinn's k	Lode's ν	ϵ_s		
1	1.040 : 1.026 : 1.000	0.53	0.30	0.03	274°/42°	Sandstone-Quartz grains
2	1.085 : 1.070 : 1.000	0.20	0.67	0.06	294°/48°	Sandstone-Quartz grains
3	1.084 : 1.065 : 1.000	0.28	0.56	0.06	159°/29°	Sandstone-Quartz grains
4	1.391 : 1.262 : 1.000	0.39	0.41	0.24	314°/74°	Sandstone-Quartz grains
5	1.109 : 1.079 : 1.000	0.35	0.48	0.08	044°/35°	Sandstone-Quartz grains
6	1.121 : 1.097 : 1.000	0.23	0.61	0.09	055°/11°	Sandstone-Quartz grains
7	1.169 : 1.099 : 1.000	0.64	0.21	0.11	293°/17°	Sandstone-Quartz grains
8	1.068 : 1.059 : 1.000	0.15	0.73	0.05	056°/31°	Limestone-Ooids
9	1.229 : 1.164 : 1.000	0.34	0.47	0.15	082°/32°	Quartzite-Quartz grains
10	1.163 : 1.080 : 1.000	0.96	0.02	0.11	020°/27°	Sandstone-Quartz grains
11	1.083 : 1.068 : 1.000	0.20	0.65	0.06	220°/41°	Quartzite-Quartz grains

$\sqrt{\lambda_1} > \sqrt{\lambda_2} > \sqrt{\lambda_3}$; three principal axes of finite strain
 $\sqrt{\lambda} = a/b$, a=long axis, b=short axis
 $k = (R_{xy}-1)/(R_{xy}+1)$, $R_{xy} = \sqrt{\lambda_1} / \sqrt{\lambda_2}$, $R_{yz} = \sqrt{\lambda_2} / \sqrt{\lambda_3}$
 $\nu = (1-K)/(1+K)$
 $\epsilon_s = [(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2]^{1/2} / \sqrt{3}$
 $\epsilon_1 = I_n(1 + e_1) = I_n(\sqrt{\lambda_1})$

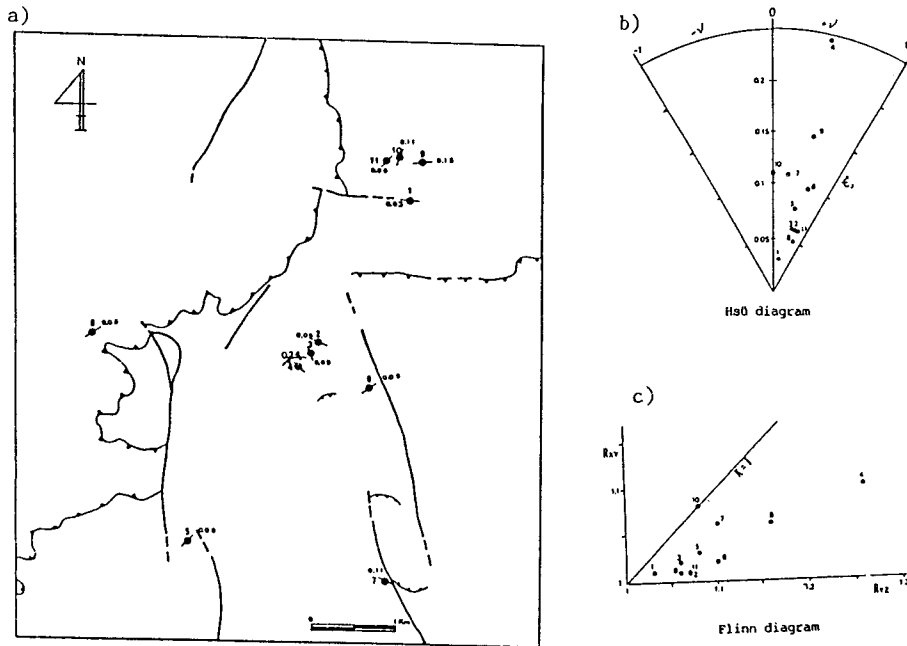


Fig. 11. (a); Strain localities, strain intensities and orientation of long axis of strain ellipse. Hsu' (b) and Flinn plots (c) of strain data.

축과 단축, 그리고 기준선과 입자의 장축이 이루는 Φ 각을 측정하였다. 이렇게 측정된 자료들은 Shimamoto와 Ikeda (1976) 에 의해서 고안된 대수적 방법을 수정한 FTELAN fortran program (Dayan, 1981) 을 이용하여 변형타원체의 각축의 방향으로 strain parameter 들을 각각 구하고, 등면적 투영망을 이용하여 변형타원체의 주축방향을 구하였다. 이렇게 구한 변형량에 관한 자료들은 Table 1에 표시하였다.

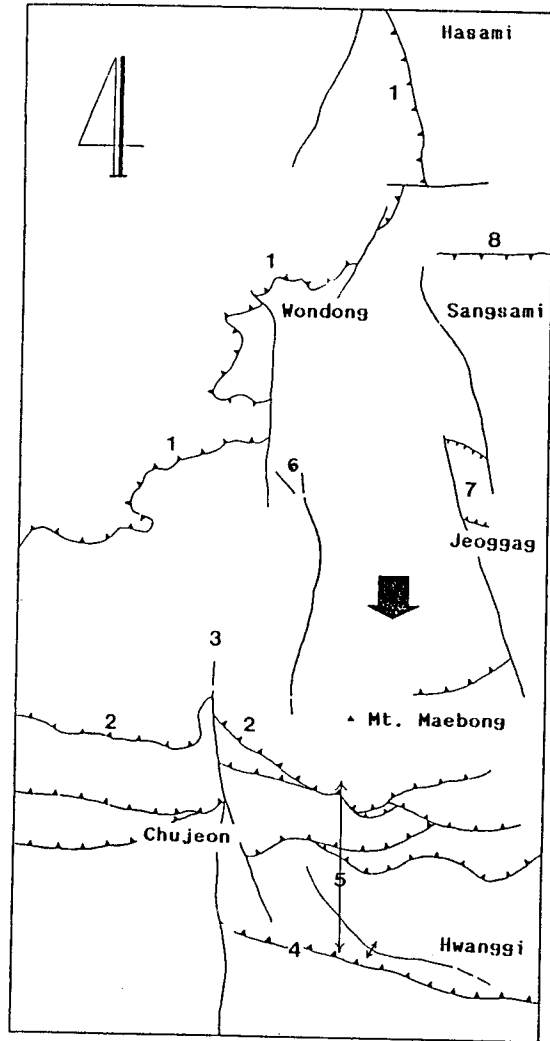
일반적으로 xz면 상에서 $\sqrt{\lambda_1 I} : \sqrt{\lambda_3 I}$ 의 비율은 1.391~1.040 : 1로써 이 지역의 습곡작용, 드러스트 운동이나 주향이동단층 운동이 있었음에 비하면 변형비는 매우 낮은 편으로, 연구지역 남부의 황지지역에서의 $\sqrt{\lambda_1 I} : \sqrt{\lambda_3 I}$ 의 비율이 6.69~3.69 : 1과 비교할 때 매우 낮은 값을 보여준다 (김정환, 원종호, 1987).

변형타원체의 장축의 방향과 ϵ_s 를 지질도상에 표시하면 일반적으로 드러스트단층의 상·하반에 접근할수록 장축의 방향이 드러스트 단층의 주향방향과 평행하게 배열되며, 변형타원체의 형태도 미약하나마 Oblate strain의 형태를 보여준다 (Fig. 11). 그외의 지역에서는 장축의 방향이 여러 방향으로 분산되어 나타나고 있다. 연구지역내의 변형작용의 특성을 알아보기 위하여 변형량 측정자료들을 이용하여 Hsú 도표와 Flinn 도표에 투영하여 보면 (Fig. 11b, c). 변형타원체의 형태는 대부분이 Apparent oblate type에 속하며, Hsú도표에서 Lode's value (ν)는 0.02~0.173으로 전반적으로 Oblate type에 속함을 보여주고 있음이 특징이다. 이러한 점은 황지지역에서는 Plain strain에 해당되는 것에 비하여 매우 상이한 것이다.

토론 및 고찰

태백산 지역의 지질구조나 특성에 관하여는 山城不二磨 (1926) 에 의하여 인편상구조가 보고된 이래로 많은 연구들이 이루어져 왔지만, 대부분의 연구자들은 백운산 향사구조의 형성시기와 북동-남서 방향의 습곡구조의 형성시기에 대하여 관심이 집중되어 있었다. 이후에 태백산지역의 드러스트단층의 존재에 관하여는 정창희 (1976) 에 의하여 보고된 바 있으며, 그 후 서해길 등 (1979) 에 의하여 함탄층을 협재하고 있는 평안누층군에 대한 삼척탄전 정밀지질조사가 수행되고, 드러스트단층들이 보고 되었다.

연구지역내의 지질구조의 특성을 고찰하기 위하여 연구지역에서 태백시까지의 지역을 확대하고 각 지질구조들의



0 1 2 Km

LEGEND

- ▲▲▲ Thrust fault
- Strike-slip fault
- ↗ Anticline

Fig. 12. Structural map of the Hajang-Hwanggi area.

1. Wondong thrust,
2. Hyulam thrust,
3. Hambaegsan great fault,
4. Hwanggi thrust,
5. Hwanggi imbricate zone,
6. bride structure,
7. transpression zone, and
8. back thrust.

특성을 살펴보고자 한다(Fig. 12). 연구지역내의 주요 지질 구조로서는 연구지역내의 원동 드러스트, 태백시 북부의 혈암 드러스트와 황지 드러스트, 그리고 남-북 방향으로 발달하고 있는 단층들이다. 태백산지역내의 드러스트 단층들은 일반적으로 사북-에미 지역에서는 거의 동-서 방향을 가지지만 고한 이동부 지역에서는 북동 방향의 주향방향을 가지고 있어서 일종의 호상(arcuate)의 형태를 가진다. 태백-하장지역에서 원동 드러스트의 주향방향이 북동 방향을 가지는 것은 이러한 연유이던지, 또는 지형적인 특징에 따라서 지표에 노출된 드러스트 판(sheet)의 Lateral tip line (Butler, 1982) 으로 생각된다.

드러스트의 운동방향은 Dahlstrom (1970)이나, "Bow and Arrow Rule" (Elliot, 1976), Cadell (1889) 의 clay model 에 의하면 드러스트판들은 거의 북에서 남으로 이동하였다. 그리고 드러스트 대(帶)에서 각 드러스트 판의 생성순서는 뒤에서 앞으로 미는 힘의 근원에서 가까운 곳에 위치한 드러스트 판일 수록 후기에 생겼다는 Cadell (1889) 의 실험에 의하면, 이 지역에서 드러스트 판의 생성순서는 황지 드러스트, 혈암 드러스트, 원동 드러스트이며, 원동 드러스트가 가장 후에 형성되었다. 드러스트 판위의 암체를 규모가 작은 것은 Klippe, 그리고 규모가 큰 것은 Nappe라고 하며 이에 따라 황지 드러스트 상반-혈암 드러스트 하반의 지역은 황지 Nappe, 혈암 드러스트 상반-원동 드러스트 하반지역은 혈암 Nappe, 그리고 원동드러스트 상반지역은 원동 Nappe가 되며, 이후 본문에서는 이 용어를 사용하겠다. 각각의 드러스트 판들은 드러스트 운동중에 서로 다른 특성을 보여줄 수 있기때문에 각각의 Nappe구조의 특성을 설명하고 드러스트판 운동에 대해서도 설명하고자 한다.

황지 Nappe

황지 드러스트 단층은 평안누층군 최하부지층인 만항층이 최상부지층인 동고층 상위로 충상한 특성을 보여주며, 황지 드러스트 단층 상반에서는 드러스트대(帶)에서 전형적으로 볼 수 있는 상반 배사구조를 형성하고 있다. 배사구조의 남익부는 경사가 급하고 그 길이가 짧지만, 그 북익부는 완만한 경사와 긴 익부를 가지고 있다. 이 배사구조의 축부에는 조선누층군의 최상부 지층인 막골석회암층이 위치하고 있다. 황지 배사구조는 백운산 향사구조와 마찬가지로 대략 동-서 방향의 습곡축을 갖는 배사구조이

다. 황지 배사구조의 북쪽에는 여러조의 소규모 드러스트 단층들이 서로 갈라지기도하고 다시 만나기도 하는데, 이러한 소규모 드러스트단층들은 일종의 인편상구조를 형성하고 있으며, 이들은 혈암 드러스트 하반에서 분기된 인편상구조(Footwall imbrication) 로 해석되고 있다 (Fig. 12). 황지 Nappe의 구성지층들은 황지 배사의 축부에 분포하는 막골석회암층을 기저로하여, 주로 평안누층군의 지층들이 분포하고 있으며, 소규모의 드러스트단층들은 주로 함탄층을 협재하고 있는 장성층의 상·하부에서 발달하고 있는데, 이는 지층들이 힘을 받을때 가장 미끄러운 층인 함탄층에 따라서 Slip운동이 일어나기 때문이라 생각된다. 원래 동-서 방향의 축을 갖고 있던 황지 배사구조는 혈암 드러스트판의 남쪽으로 향한 점진적인 운동에 의하여 재구성되어 지질도 상에서도 간섭습곡구조의 형태인 Refolded fold의 형태를 보여준다.

혈암 Nappe

혈암 Nappe는 조선누층군 최상부 지층인 막골석회암층과 평안누층군의 하부 지층들인 만항층과 금천층 그리고 백악기의 적각리층과 화성암류로 구성되어있다. 옥동단층(김정환 외. 1989) 이동부의 태백산 지역내에서 평안누층군은 주로 백운산 향사구조의 축부인 중앙에 따라서 분포하지만, 백운산 향사구조외의 지역에서는 태백-원동간에서만 노출되어 있다. 특히 평안누층군의 장성층보다 그 상부 지층들은 백운산 향사구조의 북익부의 북쪽 지역에서는 분포하고 있지 않다.

혈암 Nappe 에서 주요한 지질구조로는 주향이동단층들과 소규모의 드러스트단층들이다. 드러스트대(帶)내에는 드러스트판의 이동방향에 평행한 주향이동단층들이 드러스트 운동중에 생성되며, 이러한 단층들을 Transfer fault, 또는 compartment fault 라고 부르기도 한다. 드러스트대 내에서의 이러한 주향이동단층들은 드러스트판들의 차별적인 운동에 의하여 형성된다 (Coward and Kim, 1981). 드러스트판들은 주향이동단층들에 의하여 절단되어져서, 어느 한 부분은 다른 부분보다도 더 밀려있기도하며 이러한 예는 국내에서도 도계지역에서 보고된 바 있다(김정환 등, 1985).

Fig. 12에서 혈암 Nappe지역내에 굵은 화살표가 있는 부분이 드러스트판들의 차별운동에 의하여 앞으로 더 밀려나간 부분인데 이러한 운동때문에 화살표 양편의 단층들이

형성되고 이러한 힘에 의하여 혈암 드리스트의 Leading edge 부근에서 황지 Imbricate zone이 형성된 것으로 생각된다. 드리스트판이 앞으로 이동할 때에 앞부분(Leading branch line)에서는 수축작용이 발생하고 드리스트판의 뒤편에서는 확장운동(Extensional movement)이 일어나므로(Coward and Kim, 1981) 앞부분에서는 지각이 두꺼워져 습곡구조나 인편상구조가 형성되고, 뒷부분에서는 지각이 얇아지고 정단층이 발달한다.

변형량과 드리스트 운동과 관련지어 보아도 황지 인편상구조대에서는 변형량이 증가하고, 드리스트 상반과 하반에서의 변형량을 비교하면 상반쪽이 더 높다(김정환, 원종호, 1987). 그러나 드리스트판의 중앙에 위치한 암석들은 단순히 콘베이어벨트상에서 이동되어지는 것처럼 드리스트판 위에서 이동되어지기 때문에 변형작용의 영향을 거의 받지않게 된다. 그렇기때문에 태백-하장지역에서의 변형량은 매우 낮은 것이다. 드리스트판의 차별운동에 의하여 드리스트대내에 주향이동단층이 생성되며, 이러한 주향이동단층들이 서로 평행하게 발달하면, 안정상배열을 하는 대규모 주향이동 단층대에서 형성될 수 있는 각종의 특이한 지질구조들이 형성될 수도 있다(Fig. 12).

Fig. 12에서 매봉산 북서편에 발달하는 두 주향이동단층대내에서는 두 단층의 운동방향이 각기 서로 다르며 두 단층의 연결부분에서는 Bridge구조와 습곡구조가 발달하게 된다. 또한 적각리 북부에서는 주향이동 단층들이 발달하고 있으며 이들은 운동성이 좌수향으로 서로 동일하다. 이러한 지역에서는 계속적인 단층운동으로 수축작용을 받게되어, 분지내의 지층들이 분지 밖으로 밀려나오게 되면서 소규모의 드리스트구조를 이루며 Flower구조(Fig. 10)를 형성한다. 드리스트 판위에서 주향이동단층 운동과 관련된 지질구조들은 국내에서 처음 보고되는 것이다.

연구지역 북부, 상사미리 북방에서는 일련의 Back thrust가 관찰되고 있는데 드리스트 판의 앞으로 미는 힘에 의하여 정단층이 형성되는 구역에 Back thrust가 형성된 것으로 생각된다.

원동 Nappe

원동 드리스트 상반에 분포하며, 풍촌석회암을 기저로하여 조선누층군의 최상부 지층인 막골석회암층이 분포하고 있다. 원동 드리스트는 원동리에 분포하는 화산암체 위로

충상되므로 원동 드리스트의 운동시기는 화산암의 관입·분출 시기보다는 후기일 것으로 생각된다. 원동 드리스트는 북동방향의 주향이동단층에 의하여 변위되고 있는데 지형적인 특성에 의하여 소규모의 Klippe와 Window structure를 보여주고 있다(Fig. 6). 하사미리 서편에서 원동 드리스트는 북서방향으로 발달하고 있는데 여기에는 드리스트 단층과 주향이동단층이 중첩된 것이 아닌가하는 생각을 갖게 한다.

결 론

삼척단전 태백-하장일대는 캄브리아기의 풍촌석회암층을 기저로하여 그 상부에 화절층, 오도비스기의 동점규암층, 두무골층, 막골석회암층, 석탄기의 만항층과 금천층, 백악기의 적각리층, 관입 또는 분출상을 보여주는 염기성 암류와 석영반암, 유문암질암으로 구성되어 있다.

이 지역내의 지층들을 규제하고 있는 지질구조로서는 불국사 조산운동시의 습곡구조와 불국사조산운동과 관련된 드리스트 단층계와 주향이동단층 등이다. 지질시대를 각기 달리 하지만 지층들은 대체로 북동방향의 주향에 북서 방향으로 저 각도로 경사하고 있다. 지층내의 변형작용의 결과로 형성된 면상구조는 축면엽리 또는 집판벽개구조가 우세하지만 곳에 따라서는 파랑벽개 구조도 관찰된다. 소습곡구조의 축방향이나 층리면과 벽개면의 교차에 의해 형성된 교차 선구조도 일반적으로 북동-남서의 방향에 저각도로 침강하고 있지만, 이들의 집중도는 만항층 내에서 분포 범위가 더 넓음이 특징이다.

연구지역내의 지질구조의 특성을 비교하기 위해서 연구지역을 원동 드리스트 상반, Back thrust 하반, 그리고 만항층 분포지역으로 분할하여 각 구조구내의 층리면과 벽개면 그리고 습곡축과 선구조의 방향을 비교하였다.

구조구 1지역은 원동 드리스트의 상반지역으로 드리스트 단층 직상반에서는 층리면의 경사가 급하지만 단층에서 멀어짐에 따라서 완만한 경사를 보여주고 있어서 드리스트 단층대내에서의 상반 배사구조의 특성을 보여준다. 원동 드리스트 단층은 지형적인 특성에 의하여 소규모의 Window와 Klippe구조를 보여준다.

구조구 2지역은 원동 드리스트 하반 그리고 Back thrust의 하반에 해당하는 지역으로 주로 조선누층의 상부지층들이 분포하고 있다. 지역에 따라서는 경사가 급하고 동이부

의 길이가 짧고, 경사각이 완만하고 서익부의 길이가 긴 비대칭 습곡구조가 발달하며 동점규암층이 여러번 반복되고 있는데, 이는 Blind thrust의 영향으로 생각된다. 구조구 2와 3의 지역을 구분하는 드러스트 단층은 Back thrust로 해석하였다.

구조구 3의 지역은 막골석회암층, 만항층과 금천층 그리고 백악기 퇴적암과 화성암류가 분포하고 있다. 금천층은 비교적 소규모로 여러곳에 산재하여 분포하고 있는데, 이는 만항층내에 발달하고 있는 습곡구조의 향사의 축부에 따라서 분포하기 때문이다. 구조구 3 지역내에는 각 2조의 주향이동단층이 동쪽과 서쪽에 발달하고 있는데, 서쪽에서는 두 단층들의 연결부에 Bridge 구조와 습곡구조만 발달하고 있는 반면에, 동쪽에서는 Transpression zone 이 형성되어 Flower 구조를 형성시키고 있음이 특징이다.

규암과 사암내의 석영입자를 이용한 변형량 해석 결과는 변형비가 매우 낮는데, 이는 지역남부의 혈암 드러스트판 위에서 큰베이어 벨트상에서 움직인것과 같은 효과로 변형비가 낮은것으로 해석되었다. 연구지역내의 변형타원체는 Apparent flattening type에 해당된다.

謝 辭

본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 대한광업진흥공사 이정균 과장, 한성광업소 이종현 과장, 대한석탄공사 도계광업소 전태욱 계장, 대성산업(주) 박환구 과장, 강원산업(주) 서정해 부장께 감사를 드린다. 그리고 여러과정의 작업을 도와주신 서울대학교 구조지질학 연구실 여러분께도 감사를 드린다.

본 연구는 과학재단 목적기초 연구(KOSEF 87-0609-4)에 힘입어 이루어졌다. 이에 깊은 감사를 드린다.

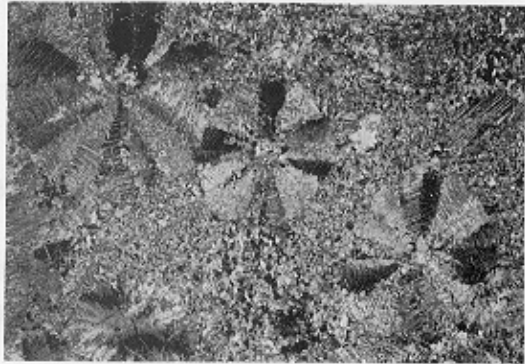
참고문헌

- 김수영, 김선익, 임무택, 조동행, 구본성, 최중호(1983) 태백산지역 원동 광화대, Pb-Zn-Fe-Mo 광화작용에 대한 지질광상 조사연구. 금속광상 조사연구 (82-광물자원-1-12), p. 201-258, 한국동력자원연구소.
- 김정환, 교회재, 기원서(1989) 옥동단층. 광산지질, 22권, p. 285-291.
- 김정환, 서정해, 최동수 (1985) 상덕드러스트에 대하여. 지질학회지, 21권, p. 322.
- 김정환, 원중호(1987) 삼척탄전 황지일대의 지질구조 연구. 지질학회지, 23권, p. 136-144.
- 김정환, 최원학 (1990) 삼척탄전 증산-사북지역의 지질구조, 지질학회지. 26권, p. 154-164.
- 대한광업진흥공사 (1983) 삼척탄전 기본조사도.
- 서해길, 김동숙, 박석환, 임순복, 조민조, 배두중, 이돈영, 유양수, 박정서, 장윤환 (1979) 삼척탄전 정밀지질조사보고서. 자원개발연구소, p. 50.
- 이두성, 방기열 (1978) 태백산 광화대 원동지역 물리탐사 연구보고, 조사연구보고. 3권, p. 195-214.
- 장병욱 (1989) 원동 스킨 광상의 암석학적, 지구화학적 특성 (미발간), 이학석사 학위논문, 서울대학교, p. 56.
- 정창희 (1976) 삼척탄전의 지질구조. 학술원논문집, p. 247-277.
- 태백산지구 지하자원조사단 (1962) 태백산 지구 지질도.
- Banks, C. J. and Warbarton, J. (1986) Passive-roof duplex geometry in the frontal structures of the Kirthar and Sulaiman mountain belt, Parkistan. J. Struct. Geol., v. 8, p. 229-237.
- Butler, R. W. H. (1982) The terminology of structures in thrust belts. J. Struct. Geol., v. 3, p. 239-245.
- Cadell, H. M.(1889) Experimental researches in mountain building. Trans. Royal Soc. Edinburgh, v. 35, p. 337-357.
- Coward, M. P. and Kim, J. H. (1981) Strain within thrust sheets. In: McClay, K. R. and Price, N. J. (eds), Thrust and Nappe Tectonics. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., no. 9, p. 275-291.
- Crowell, J. C. (1974) Origin of late Cenozoic basins in Southern California. In: Dickinson, W. R. (ed), Tectonics and Sedimentation. SEPM, Spec. Publ., no. 22, p. 190-204.
- Dahlstrom, C. D. A. (1970) Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. Can. Petrol. Geol. Bull., v. 18, p. 332-406.
- Davis, G. H. (1984) Structural geology of Rocks and Regions. John Wiley & Sons, New York, p. 492.
- Elliot, D. (1976) Energy balance in thrusts and deformation mechanisms of thrust sheets. Proc. Roy. Soc. Lond., A283 : 289-312.
- Gamond, J. F. (1987) Bridge structures as sense of displacement criteria in brittle shear zones. J. Struct. Geol., v. 9, p. 609-620
- Lisle, R. J. (1985) Geological Strain analysis. Pergamon Press, Oxford, p. 99.
- Maill, A. D. (1984) Principles of Sedimentary Basin Analysis. p.490.
- McCoss, A. W. (1986) Simple construction for deformation in transpression/transension zone. J. Struct. Geol., v. 8,

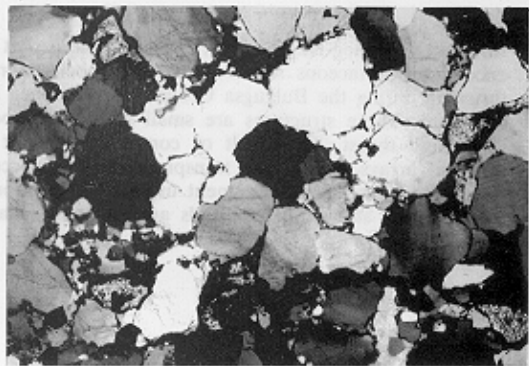
- p. 715-718.
- Park, R. G. (1988) Geological structures and moving plates, Blackie, Glasgow and London, p. 337.
- Ramsay, J. G. (1967) Folding and Fracturing of rocks. McGraw Hill, New York, p.569.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I. (1987) The techniques of modern structural geology. Academic Press, London, v. 2, p. 700.
- Reading, H. G. (1980) Characteristics and recognition of strike-slip fault system. In: Ballance, B. F. and Reading, H. G.(eds.), Sedimentation in oblique-slip mobile zone. Int. Assoc. Sedimentologists Spec. Publ., v 4, p. 7-26.
- Sanderson, D. J. and Marchini, W. R. D. (1984) Transpression. J. struct. Geol, v. 6, p. 449-458.
- Shimamoto, T. and Ikeda, Y. (1976) A simple algebraic method for strain estimation for deformed ellipsoidal objects. Tectonophysics, v. 60, p. 89-105.
- Sylvester, A. G. (1988) Strike-slip faults. Geol. Soc. Am. Bull., v. 100, p. 1666-1703.
- Woodcock, N. H. and Fisher, M. (1986) Strike-slip duplexes. J. Struct. Geol., v. 8, p. 725-735.

1990년 8월 16일 원고접수

a)



b)



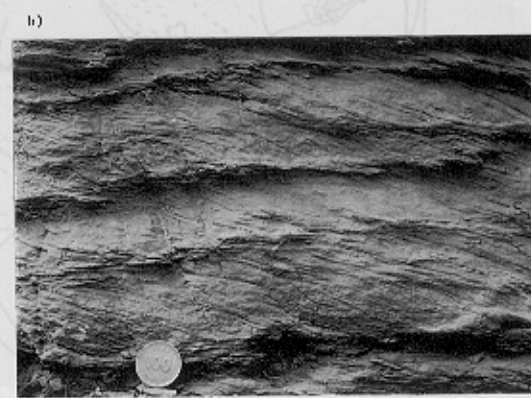


Fig. 3. (a) ; Cephalopods in the upper part of the

