

## 미원-보은지역에서 옥천변성대의 지질구조

강지훈\* · 이철구

안동대학교 지구환경과학과

## Geological Structure of Okcheon Metamorphic Zone in the Miwon-Boeun area, Korea

Ji-Hoon Kang\* and Chul Gu Lee

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University,  
Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea

**요약:** 옥천변성대의 중북부에 위치하는 미원-보은지역은 주로 규암(미동산층), 변성 탄산염질암(대향산층, 화전리층), 변성사질암(운고리층), 변성이질암(문주리층), 변성역질암(황강리층) 등으로 구성된 옥천누층군과 이를 관입하는 중생대 청주 및 보은 화강암류로 구성되어 있다. 이들 옥천누층군은 북동 방향의 대상 분포를 보이고 이들의 방향성은 남북 내지 북서 방향의 고각 단층 주변부에서 국부적으로 남북 내지 동서 방향으로 변화한다. 미원-보은지역 옥천누층군에 대한 변형단계별 암석구조를 연구한 결과, 이 지역에 분포하는 옥천누층군의 지질구조는 적어도 네 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알게 되었다. (1) 첫 번째 변형은 상부-남동-이동의 연성 전단변형작용 하에서 발생하여 칼집습곡 내지 A형 습곡, 비대칭 등사습곡, 북서-남동 방향의 신장선구조를 형성시켰다. (2) 두 번째 변형은 북서-남동 방향의 압축작용 하에서 발생하여 그 전기 단계에는 준 수평적인 습곡축을 갖는 북동 방향의 밀착된 직립습곡을 형성시켰고, 그 후기 단계에는 상부-남동-이동의 반취성 충상단층(구룡산 충상단층)과 이에 수반된 뱀-머리 습곡을 형성시켰다. (3) 세 번째 변형은 지각두께의 팽창화와 중력적 불안정에 기인하는 중력적 내지 신장성 붕괴작용에 의해 발생하여 준 수평적인 습곡축을 갖는 횡와 개방습곡을 형성시켰다. (4) 네 번째 변형은 고각 단층운동과 관련하여 중첩강, 급경사의 킥 습곡을 형성시켰으며, 고각 단층의 주변부에서 북동 방향의 광역 엽리가 국부적으로 남북 내지 동서 방향으로 변화함은 네 번째 변형과 밀접한 관련성이 있다.

**핵심어:** 옥천변성대, 미원-보은지역, 지질구조, 구룡산 충상단층

**Abstract:** The Miwon-Boeun area in the central and northern part of Okcheon metamorphic zone, Korea, is composed of Okcheon Supergroup and Mesozoic Cheongju and Boeun granitoids which intruded it. The Okcheon Supergroup consists mainly of quartzite (Midongsan Formation), meta-calcareous rocks (Daehyangsan Formation, Hwajeonri Formation), meta-psammitic rocks (Unkyori Formation), meta-pelitic rocks (Munjuri Formation), meta-conglomeratic rocks (Hwanggangni Formation) in the study area, showing a zonal distribution of NE trend. Its general trend is locally changed into NS to EW trend in and around high-angle fault of NS or NW trend. This study focused on deformation history of the Okcheon Supergroup, suggesting that the geological structure was formed at least by four phases of deformation. (1) The first phase of deformation occurred under ductile shear deformation of top-to-the southeast movement, forming sheath fold or A-type fold, asymmetric isoclinal fold, NW-SE trending stretching lineation. (2) The second phase of deformation took place under compression of NW-SE direction, forming subhorizontal, tight upright fold of NE trend in the earlier phase, and formed semi-brittle thrust fault (Guryongsan Thrust Fault) of top-to-the southeast movement and associated snake-head fold in the later phase. (3) The third phase of deformation formed subhorizontal, open recumbent fold through gravitational or extensional collapses which might be generated from crustal thickening and gravitational instability. (4) The fourth phase of deformation formed moderately plunging, steeply inclined kink fold related to high-

\*Corresponding author: Tel. 82-54-820-5474, E-mail. jhkang@andong.ac.kr

angle faulting, being closely connected with the local change of NE-trending regional foliation into NS to EW direction of strike in the vicinity of the high-angle fault.

**Key words:** Okcheon metamorphic zone, Miwon-Boeun area, geological structure, Guryongsan Thrust Fault

## 서론

옥천변성대의 중북부에 위치하고 보은도폭(김옥준 외, 1977)의 북부와 미원도폭(이종혁 외, 1980)의 남부 일부 영역을 점하고 있는 충청북도 미원-보은지역(Fig. 1)은 옥천변성대의 주요 구성암류에 해당하는 석영 사질암, 탄산염질암, 사질암, 이질암 그리고 역질암 기원의 옥천변성암류로 주로 구성되어 있다.

미원-보은지역에서 옥천변성대의 지질구조는 지금까지 이들 도폭 조사자들을 포함하여 몇몇의 연구자들에

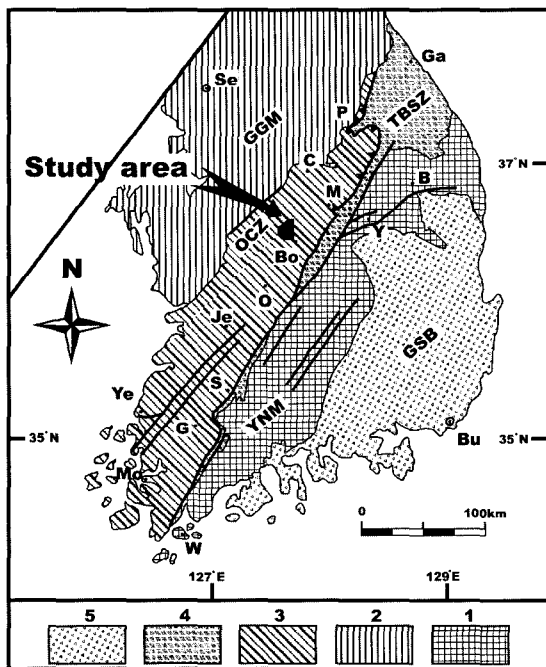
의해 수행된 바가 있다. 이들 연구결과는 충상단층론(김옥준 외, 1977; Cluzel *et al.*, 1990, 1991)과 북배사-북향사 습곡론(김옥준 외, 1977; 이종혁 외, 1980) 등으로 구분된다. 이들 연구결과에 따르면 미원-보은지역의 지구조영역은 국사봉층의 상부를 기저부로 하는 충상단층대(김옥준 외, 1977), 대규모 북향사 습곡의 북서 날개부에 해당하는 역전위의 습곡구조대(이종혁 외, 1980), 정상위의 단사구조대(박봉순과 소철섭, 1980), 미동산층의 하부를 기저부로 하는 충상단층대(Cluzel *et al.*, 1990, 1991) 등에 해당한다. 그러나, 지금까지 변형단계별 암석구조를 바탕으로 지질구조를 연구한 결과는 거의 없다.

본 연구는 미원-보은지역에서 옥천변성대의 지질구조를 파악하기 위해 다른 암상과 구분이 아주 용이한 변성 탄산염질암과 변성역질암을 주 건축으로 하는 상세한 야외지질조사를 실시하여 암석구조와 우세한 암상단위 구분에 의한 새로운 지질도를 작성하였고, 다변형작용에 의해 중첩된 암석구조들의 선후관계로부터 변형단계별 지질구조를 연구하였다. 따라서 본 논문에서는 암석구조와 암상단위 구분에 의해 작성된 지질도와 변형단계별 지질구조들의 특성으로부터 미원-보은지역에서 옥천변성대의 지질구조를 파악하여 옥천변성대의 지구조 발달과정을 해석하기 위한 정보를 제공하고자 한다.

## 지질개요

미원-보은지역은 주로 규암(미동산층, 향산리층의 중부멤버), 변성 탄산염질암(대향산층, 화전리층 상부대), 변성사질암(운교리층, 문주리층), 변성이질암(화전리층 하부대, 구룡산층, 국사봉층, 창리층, 문주리층), 변성 역질암(이원리층, 황강리층) 등으로 구성되어 있다. 이들 주 구성암류는 옥천변성대의 일반적인 방향성과 평행한 북동-남서 방향의 대상 분포를 보이며, 북서부와 남동부에 각각 분포하는 중생대 청주 반상 흑운모화강암 및 보은 흑운모화강암[ $171.7 \pm 1.4$  Ma(U-Pb 스피인 연대: Ree *et al.*, 2001)]에 의해 관입되어 있다(Fig. 2).

이 지역 구성지층에 대한 층서와 층명에 관하여 보은도폭(김옥준 외, 1977)과 미원도폭(이종혁 외, 1980)



**Fig. 1.** Tectonic province map of the southern part of Korean Peninsula with the locality of study area (arrow mark) [adapted from Kang (1994) and KIGAM (1995)]. 1: Yeongnam massif (YNM), 2: Gyeonggi massif (GGM), 3-4: Okcheon belt [3: Okcheon zone (OCZ), 4: Taebaek-san zone (TBSZ)], 5: Gyeongsang basin (GSB). B: Bonghwa, Bo: Boeun, Bu: Busan, C: Chungju, G: Gwangju, Ga: Gangneung, Je: Jeonju, M: Mungyeong, Mo: Mokpo, O: Okcheon, P: Pyeongchang, S: Suncheon, Se: Seoul, Y: Yecheon, Ye: Yeonggwang, W: Wando.

은 서로 의견을 달리한다. 김옥준 외(1977)는 탄층을 포함하는 흑색 점판암층(국사봉층)을 평안누층군으로 해석하여 시대미상의 옥천누층군이 국사봉층을 충상하는 충상단층론과 옥천누층군의 층서적 상하관계를 향산리층-문주리층-창리층-부정합-황강리층 등으로 설정하여 북배사와 북향사 등사습곡작용에 의한 동일 지층의 반복을 제안하였다. 이종혁 외(1980)은 탄질 셰일을 협재하는 흑색 점판암층을 옥천누층군의 구성지층(구룡산층)으로 간주하고, 변성역질암을 기질암상 차이에 의한 이원리층과 황강리층으로 구분하여 이 지역의 층서적 상하관계를 하부로부터 백봉리층군(미동산층-운교리층)-부정합-옥천누층군(화전리층-구룡산층-이원리층-문주리층-부정합-황강리층) 등으로 설정하여 최소한 2회의 중첩된 습곡작용을 기술하였다. 본 연구는 이들 도폭 연구자들의 연구결과와 기존 연구결과(Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994; Koh, 1995)를 참조로 하여 이 지역 구성지층에 대한 상세한 야외지질조사와 암석구조 및 우세한 암상단위 구분에 의한 지질도를 작성하였다. 그 결과, 이 지역의 옥천누층군은 6개의 지층으로 구분되었다. 기존 층명을 사용하여 이 지역 구성지층들의 분포를 설명하면 다음과 같다.

연구지역의 북서부에 분포하며 옥천누층군의 최하위층에 해당하는 미동산층(Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994; Koh, 1995)은 주로 석영 사질암 기원의 규암과 석영 편암 등으로 구성되어 있고 부분적으로 사질암과 이질암 기원의 천매암이 협재된다(Fig. 2). 미동산층은 풍화에 강해 지형적으로 돌출된 높은 산릉을 형성하며 미동산-국사봉-피반령을 따라 분포하고 보은도폭의 향산리층 중부 규암멤버로 연장된다. 대향산층은 주로 탄산염질암 기원의 회색 내지 암회색의 결정질 석회암으로 구성되어 있으며 미동산층의 상부에 약 30 m의 폭을 갖고 단속적으로 분포한다(Fig. 2). 운교리층은 연구지역의 북서부에서 주로 미동산층의 상부와 구조적 하부에 분포하고, 이 지역의 중앙부에서는 문주리층의 하부에서 습곡작용에 의해 2조 대상으로 반복 분포한다(Fig. 2). 운교리층은 주로 암녹색 내지 암회색의 변성사질암으로 구성되어 있고, 이질암 기원의 천매암 내지 편암, 규질 엽층과 호층을 이루는 유백색 내지 암회색 결정질 석회암, 각섬암 등이 부분적으로 협재된다. 북서부 운교리층의 사질암은 일반적으로 중앙부 운교리층의 사질암 보다 조립질인 경향을 보인다. 북서부 운교리층은 보은도폭 향산리층의 하부 및 상부 변성암 멤버로 연장되며, 중앙부 운교리층은 보은도폭 창리층의 중앙부와 국사봉층 상위의 문주리층으로 연장된다.

연구지역의 중앙부와 남동부에서 습곡작용에 의해 반복되어 산출되는 문주리층(Fig. 2)은 주로 이질암 기원의 암회색, 녹회색, 흑색의 점판암 내지 천매암 그리고 셰일의 암회색 내지 흑색 변성사질암 등으로 구성되어 있으며, 부분적으로 탄질 셰일과 조립질 내지 중립질 변성사질암이 소량 협재된다. 미원도폭의 화전리층 하부 셰일 우세대, 구룡산층, 문주리층 그리고 보은도폭의 문주리층, 창리층의 일부, 국사봉층 등은 본 지층에 포함된다. 화전리층은 연구지역의 중앙부에 주로 분포하고, 남동부에서는 황강리층의 하부에 매우 협소하게 대상으로 산출한다(Fig. 2). 미원도폭의 화전리층 상부 석회암 우세대와 보은도폭의 창리층에 협재된 석회암대에 대비되는 이 지층은 주로 탄산염질암 기원의 결정질 석회암으로 구성되어 있고 부분적으로 이질암과 사질암 기원의 변성암류를 협재한다.

연구지역의 최상위층에 해당하는 황강리층(Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994; Koh, 1995)은 연구지역의 남동부에 2조-4조 대상으로 반복 산출한다(Fig. 2). 미원도폭의 이원리층과 황강리층 그리고 보은도폭의 황강리층을 포함하는 이 지층은 주로 함역 사질암과 함역 이질암 내지 함역 석회질암 기원의 점판암과 천매암 등으로 구성되어 있다. 역은 주로 석영립, 규암, 결정질 석회암 등으로 구성되며, 부분적으로 이질변성암, 사질변성암, 편마암 등이 관찰된다. 역의 크기는 수 mm에서 수 십 cm까지 다양하게 나타난다.

야외에서 인지되는 주요 암석구조는 칼집습곡, 비대칭 등사습곡, S-C 구조, 신장된 광물과 역들의 정향배열에 의해 인지되는 신장선구조, 파랑습곡을 수반하는 밀착 직립습곡, 뱀-머리 습곡(snake-head fold)(Suppe, 1983; 1985), 개방 횡와습곡 그리고 취성 단층대를 따라 발달하는 키크 침강, 경사습곡 등이 있다. 칼집습곡과 비대칭 등사습곡의 측면엽리에 해당하는 벽개 엽리는 암석의 종류에 관계없이 탁월하게 발달한다. 밀착 직립습곡의 측면엽리에 해당하는 파랑 엽리는 변성 이질암과 변성 탄산염질암에서는 일반적으로 탁월하게 발달하는 반면에 규암, 변성사질암 그리고 변성역질암 등에서는 미약하게 발달하거나 거의 발달하지 않는다.

연구지역의 주요 충상단층으로는 미동산층의 기저부에 보은 지구조단위와 피반령 지구조단위를 구분하는 경계 충상단층(Cluzel *et al.*, 1990, 1991)과 화전리층의 구조적 하부에 분포하는 문주리층 기저부에 비탈과 평탄(ramp and flat) 기하의 단층면을 갖는 충상단층(구룡산 충상단층) 등이 인지되며, 주요 고각 단층으로는 이 지역의 중앙부에 남북 방향의 아곡 단층(이종혁 외, 1980)과 북북서 방향의 엄둔리 단층(이종혁 외, 1980)

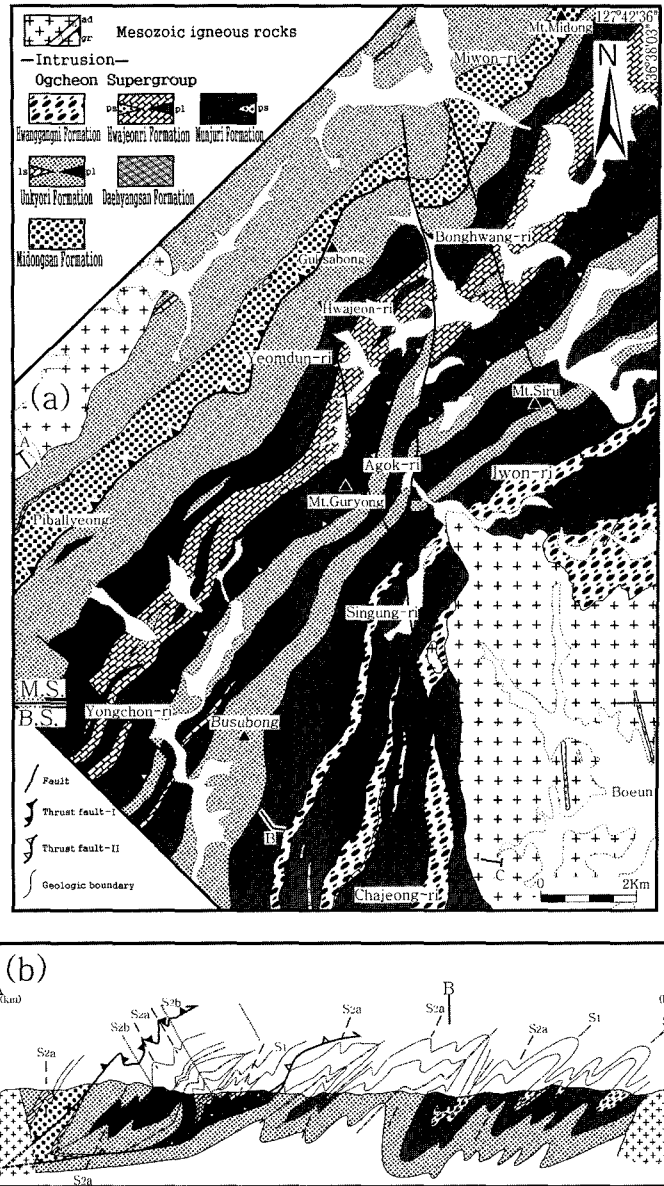


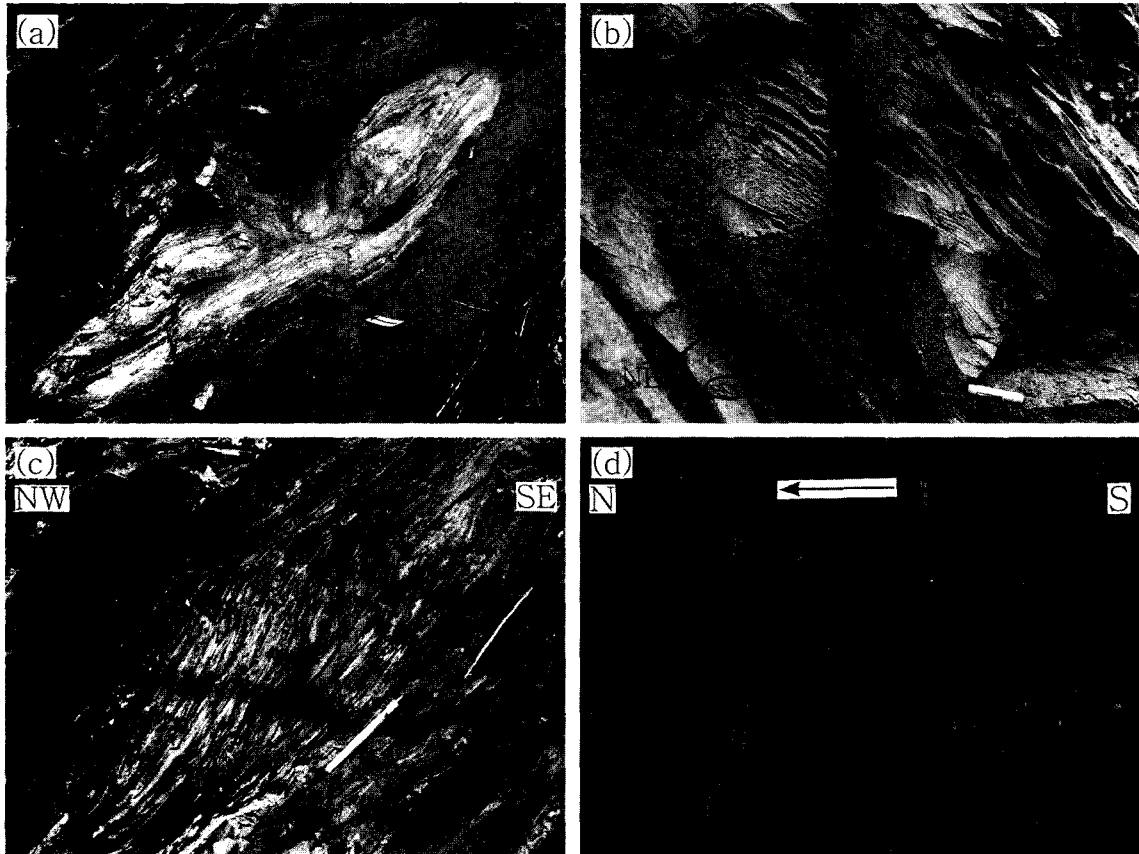
Fig. 2. (a) Geological map of the study area [modified from 1 : 50,000 Boeun sheet (B.S.) (Kim *et al.*, 1977) and Miwon sheet (M.S.) (Lee *et al.*, 1980)] and (b) its major cross section. ad: acidic dyke, gr: granite, ps: meta-psammitic rocks, pl: meta-pelitic rocks, ls: meta-calcareous rocks, A-B-C: cross-section line. Thrust fault-I: boundary fault of Piballyeong and Boeun units (Cluzel *et al.*, 1990, 1991). Thrust fault-II: Guryongsan Thrust Fault.

그리고 북동부와 남서부 지역에 각각 발달하는 북서 방향의 봉황리 단층과 용촌리 단층 등이 있다(Fig. 2). 이들 고각 단층은 구성지층들 뿐만 아니라 층상단층들의 연장성을 단절시키고 있으며, 구성지층과 층상단층들의 일반적인 북동 방향성을 국부적으로 남북 내지

동서 방향으로 변화시킨다.

### 지질구조

옥천변성대의 지질구조는 여러번의 변형작용에 의해



**Fig. 3. Outcrop photographs of major rock structures related to D1 deformation in the study area.** (a-c) F1 folds [(a) sheath fold developed in siliceous layers(S0) embedded in the meta-calcareous rocks (Hwajeonri Formation), (b) A-type fold in the fine-grained meta-psammitic rocks (Munjuri Formation), (c) asymmetric isoclinal fold with S-C-C' structure in the meta-pelitic rocks (Munjuri Formation)]. A.P.: fold axial plane, A.X.: fold axis. (d-e) L1 stretching lineations (S.L.) defined by (d) elongated pebbles in the meta-conglomeratic rocks with pelitic matrix (Hwanggangni Formation) and by (e) elongated minerals in the meta-pelitic rocks (Munjuri Formation). The L1 lineation is oriented into dip of S1 foliation. (f-h) Major indicators showing the top-to-the (south)east sense of shear [(f-g)  $\sigma$ -type asymmetric tails in the (f) meta-calcareous rocks (Hwajeonri Formation) and (g) meta-conglomeratic rocks (Hwanggangni Formation), and (h) S-C structure in the meta-pelitic rocks (Munjuri Formation)].

형성된 것으로 보고되어 있다(장태우 외, 1988; Cluzel *et al.*, 1991; Kang *et al.*, 1993; Koh and Kim, 1995; 강지훈과 류충렬, 1997; 강지훈, 2001). 옥천변성대의 지구조 발달사를 규명하기 위해서는 이들을 각각의 변형단계별로 구분할 필요가 있다. 이에, 본 연구는 미원-보은지역에서 옥천변성대의 지구조 발달사를 파악하기 위하여 여러번의 변형작용을 경험한 중첩된 암석구조들의 선후관계로부터 변형단계별 지질구조를 조사한 결과, 미원-보은지역 옥천누층군의 지질구조는 적어도 네 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구는 이러한 네 번의 변형작용을 그 상대적인 발생순서에 따라 D1 변형, D2 변형, D3

변형, D4 변형 등으로 구분하여 이 지역의 변형단계별 지질구조의 특성을 기재한다.

#### D1 변형

D1 변형구조로는 층리면(S0)이 습곡되어 형성된 칼집습곡(Fig. 3a)과 A-형 습곡(Fig. 3b) 그리고 뿌리 없는 비대칭 등사습곡(Fig. 3c)(F1), F1 습곡의 측면엽리에 해당하는 벽개 엽리(S1), S1 엽리면상에서 신장된 역들(Fig. 3d)과 광물들(Fig. 3e)의 정향 배열에 의해 정의되는 신장선구조(L1) 등이 인지된다.

칼집습곡은 이 지역의 중앙부에 분포하는 화전리층의 변성 탄산염질암에서 그리고 A-형 습곡은 이 지층

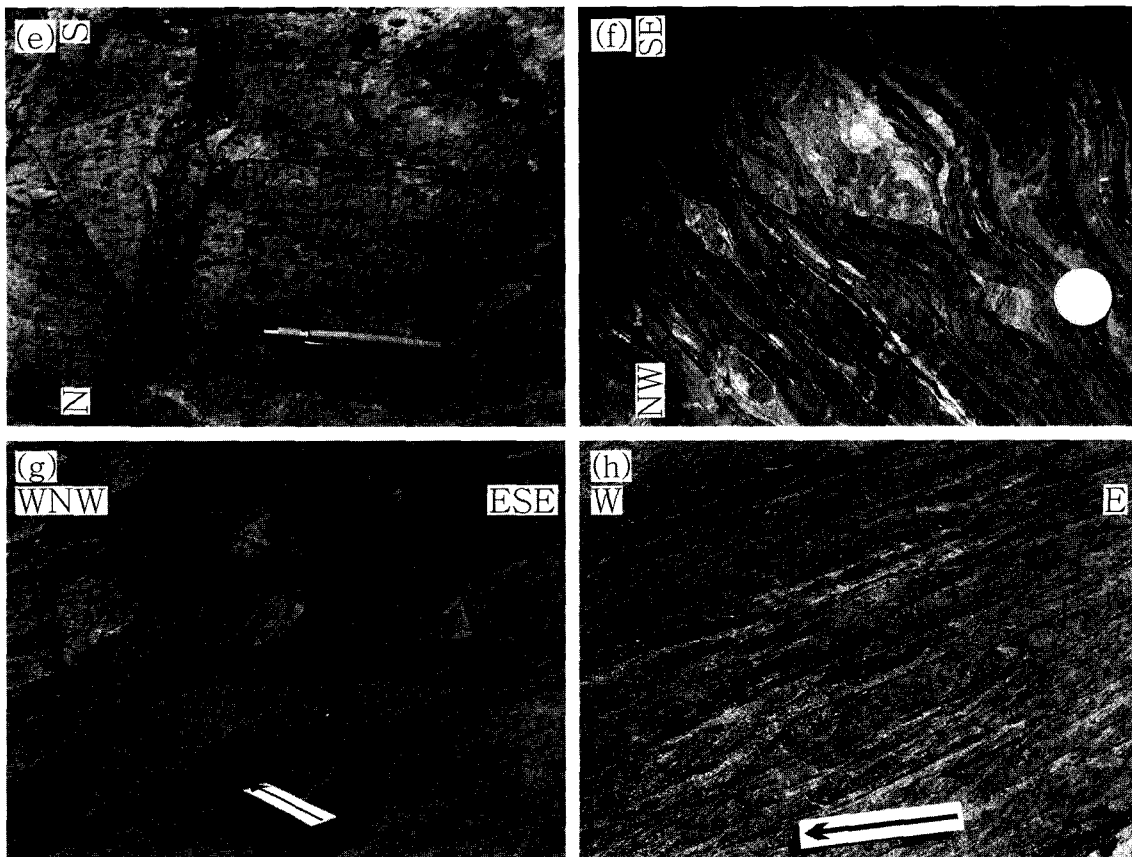


Fig. 3. Continued.

의 구조적 하부에 분포하는 문주리층의 흑색 내지 암회색 세립 변성사질암에서 빈번히 관찰된다. 이들 습곡축은 S1 엽리면의 경사 방향과 L1 선구조의 선주향에 거의 평행하게 나타난다(Fig. 3a, 3b). 비대칭 등사 습곡은 이 지역의 남동부에 분포하는 문주리층에서 빈번히 관찰되고, 화전리층의 변성 탄산염질암에서도 종종 관찰된다. 그의 습곡축은 S1 엽리면의 주향 방향에 거의 평행하게 발달한다(Fig. 3c). 역과 광물들의 신장된 선구조는 비대칭 등사습곡이 빈번히 관찰되는 이 지역 남동부 구성지층들에서 특히 탁월하게 인지된다.

S1 엽리의 방향성은 구성지층들의 분포 방향과 유사하며, 북동 주향에 북서쪽으로 증가 경사하는 집중된 방향성을 보인다(Fig. 4a, 4b, 4c). 피반령 지구조단위에서 S1 엽리는 주로 북동 주향에 북서 내지 남동 방향으로 고각 경사하는 반면에 보은 지구조단위에서 S1 엽리는 북동 주향에 다양한 경사각을 보이며 북서 방향으로 경사한다. 북동 주향의 S1 엽리는 고각 단층

들의 주변부에서 국부적으로 남북 내지 동서 방향으로 변화한다. 이러한 S1 엽리의 극점 배열은 북동 방향으로 저각 침강하는  $\pi$ -축과 서북서 방향으로 증가 침강하는  $\pi$ -축을 형성한다(Fig. 4b, 4c).

S1 엽리면의 경사방향으로 주로 침강하는 L1 신장 선구조(Fig. 4a)는  $280^{\circ}\text{-}320^{\circ}/30^{\circ}\text{-}40^{\circ}$  방향에 집중된 방향성을 보인다(Fig. 4d, 4e). S1 엽리면에 수직하고 L1 신장선구조에 평행한 단면상에서는 S1 엽리면의 상부가 동쪽 내지 남동쪽으로 이동하는 전단운동감각을 지시하는 구조요소들이 거의 모든 암상에서 관찰되는데, 대표적인 전단운동감각 지시자로서는 비대칭 등사습곡(Fig. 3c)과  $\sigma$ 형 비대칭 압영구조(Fig. 3f, 3g) 그리고 S-C 구조(Fig. 3h) 등이 있다.

**D2 변형**

S1 엽리를 습곡시키는 F2 습곡은 두 가지 습곡형태로 인지된다. 하나는 (서)북서-(동)남동 방향의 압축작

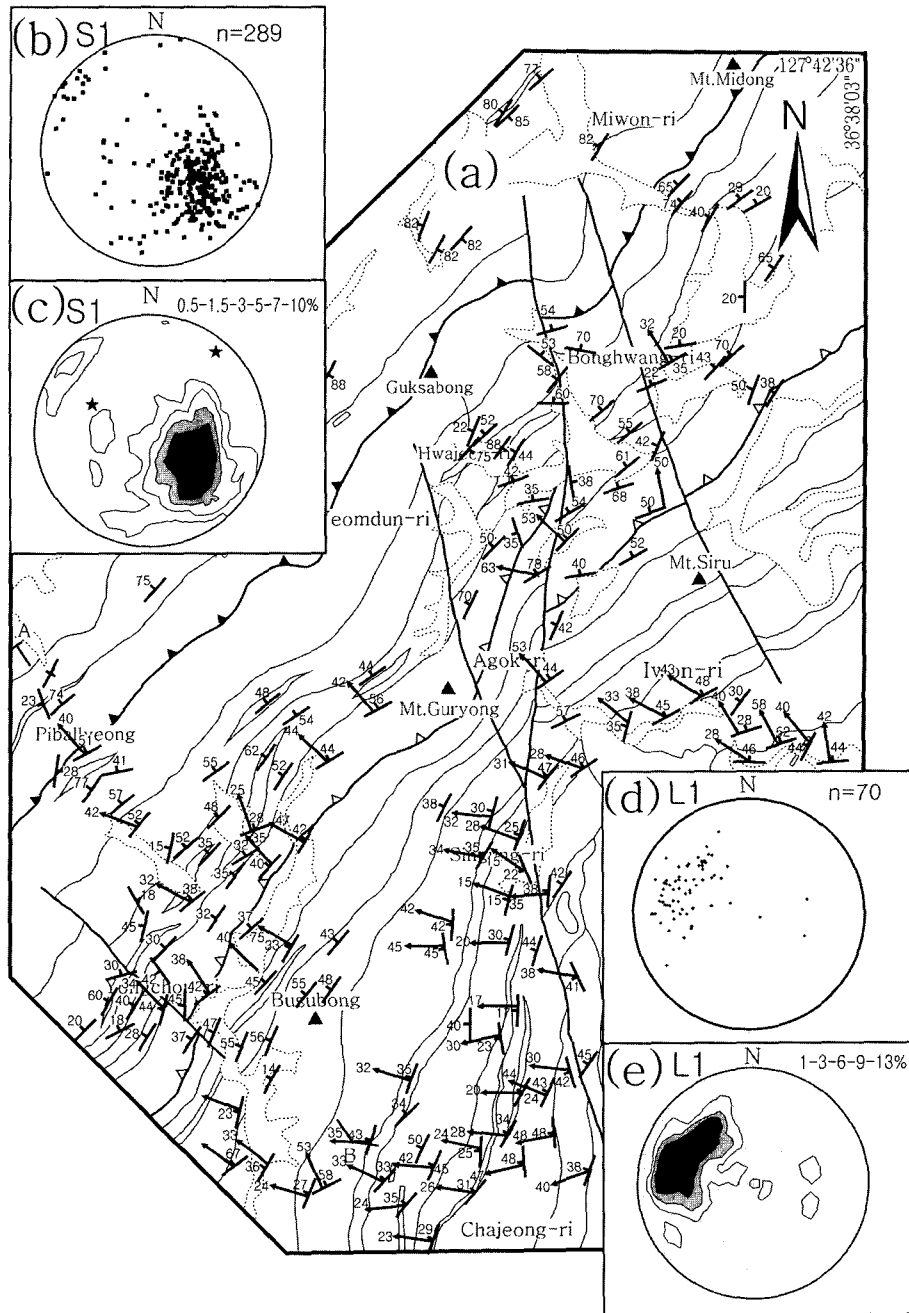
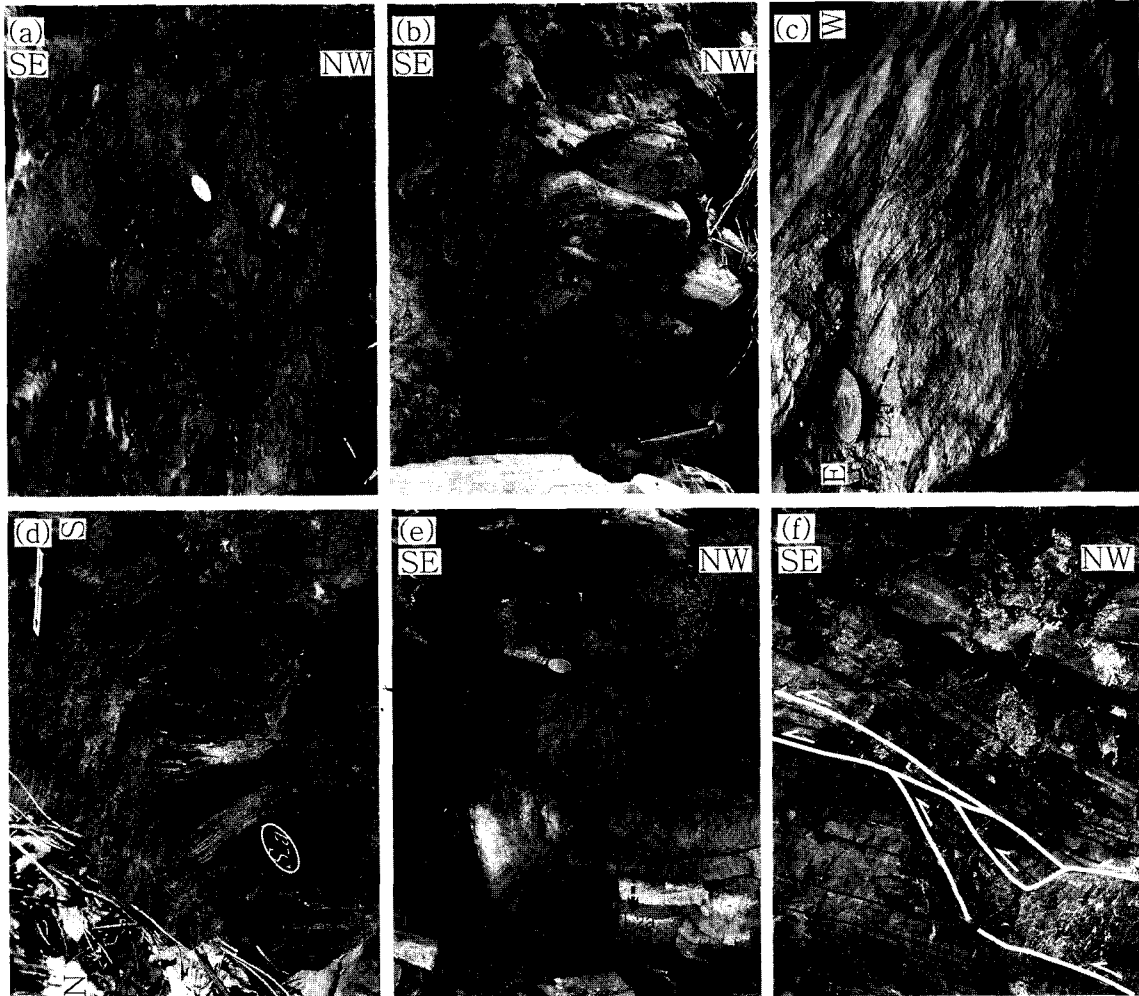


Fig. 4. (a) Orientations of S1 foliation and L1 lineation. (b) Stereoplot and (c) density map of poles to S1 foliation (stars:  $\pi$ -axes). (d) Stereoplot and (e) density map of L1 lineation. Lower-hemisphere equal-area projection.

용과 관련하여 플렉슈얼-슬립 습곡작용(flexural-slip folding)에 의해 형성된 밀착 급경사 내지 직립습곡(F2a)(Fig. 5a, 5b)이고, 다른 하나는 (서)북서-(동)남동

방향의 압축작용과 관련된 상부-남동-이동 반취성 층상 단층운동에 수반되어 나타나는 뱀-머리 습곡(F2b)으로 인지된다(Fig. 5e).

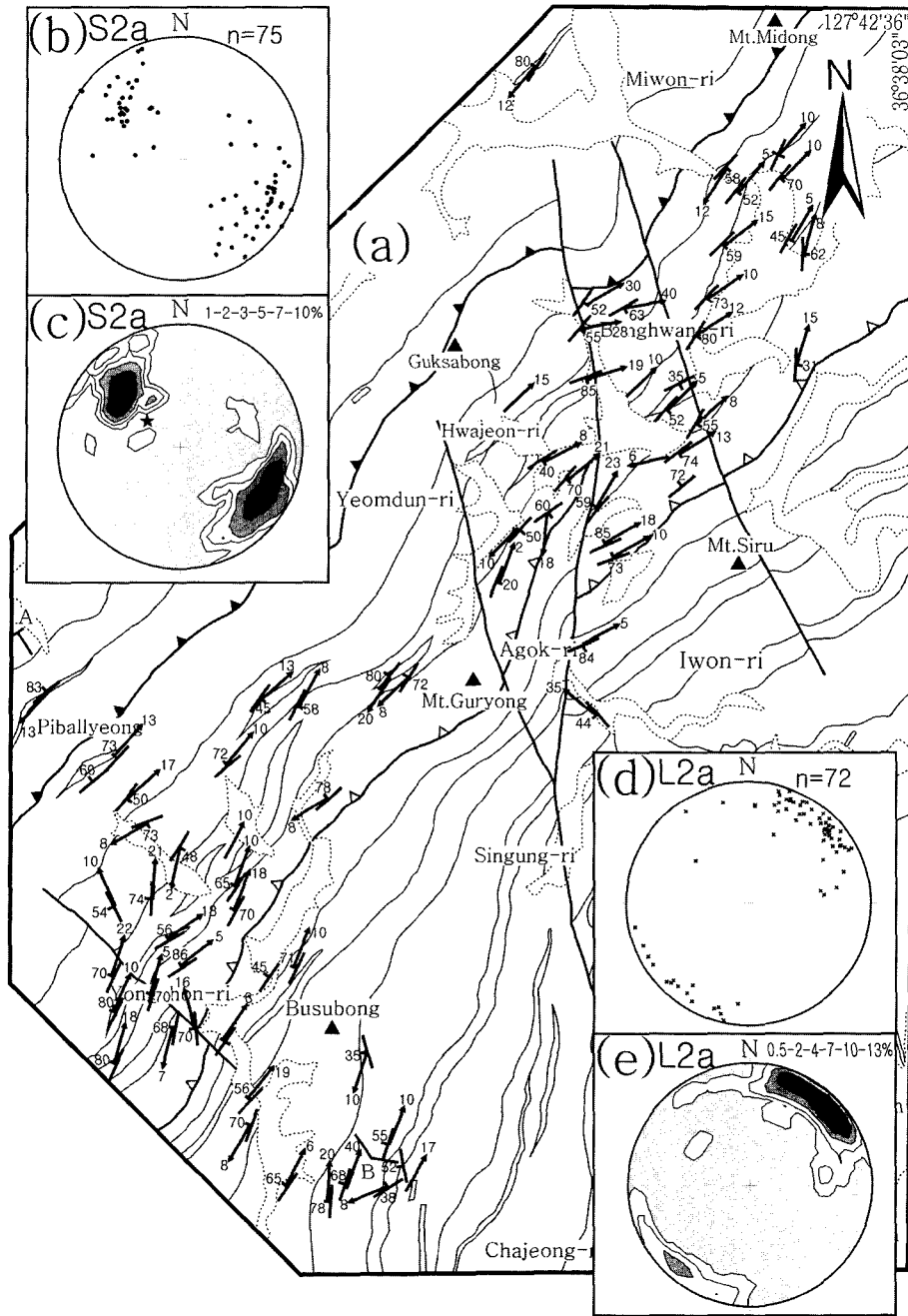


**Fig. 5. Outcrop photographs of major rock structures related to D2 deformation in the study area.** (a-d) D2a phase: (a-b) F2a folds formed by flexural-slip folding (Unkyori Formation) [(a) tight upright fold in the meta-calcareous rocks, (b) open, steeply inclined fold in the coarse-grained meta-psammitic rocks]. (c) Crenulation cleavage (S2a) and crenulation lineation (L2a) formed by microfolding of S1 foliation in the meta-pelitic rocks (Munjuri Formation). (d) S1 foliation completely transposed into S2a foliation in the more tight F2a fold of meta-pelitic rocks (Munjuri Formation). (e-f) D2b phase: (e) snake-head fold (F2b fold) in the meta-pelitic rocks (Munjuri Formation), (f) thrust fault with ramp-flat fault plane (F.P.) in the meta-calcareous rocks (Hwajeonri Formation).

F2a 습곡은 일반적으로 S1 엽리가 주름져 형성된 파랑습곡(Fig. 5c)과 날개부와 축부에 각각 S자형 및 Z자형 비대칭 기생 소습곡과 M자형 대칭 기생 소습곡(Fig. 5a)을 수반하며 광역적으로 산출한다(Fig. 6a). F2a 습곡축면에 해당하는 파랑 엽리면(S2a)은 주로 (북)북동 주향에 (서)북서 내지 (동)남동 방향으로 고각 내지 중각 경사하고, (북)북동 주향의 S2a 엽리는 역시 고각 단층의 주변부에서 극부적으로 북북서 내지 동북동 주향으로 변화한다(Fig. 6a, 6b, 6c). 이러한 S2a 엽리의

분산된 극점 배열은 서북서 방향으로 중각 침강하는  $\pi$ -축을 형성한다. F2a 습곡축에 해당하는 파랑 선구조(L2a)는 주로 S2a 엽리면의 주향 방향으로 저각 침강하며(Fig. 6a),  $040^{\circ} - 060^{\circ} / 10^{\circ} - 20^{\circ}$  방향에 집중된 방향성을 보인다(Fig. 6d, 6e). 이러한 집중된 방향성은 S1 엽리의 극점 배열로부터 인지된  $\pi$ -축 방향과 거의 일치한다. 또한, 양 날개부가 보다 밀착된 F2a 습곡에서 S1 엽리는 축부를 제외하고는 S2a 엽리와 거의 평행하게 나타나고, S2a 엽리가 S1 엽리보다 더 탁월한





**Fig. 6.** (a) Orientations of S2a foliation and L2a lineation. (b) Stereoplot and (c) density map of poles to S2a foliation (star:  $\pi$ -axis). (d) Stereoplot and (e) density map of L2a lineation. Lower-hemisphere equal-area projection.

엽리로 인지되는 노두는 야외에서 빈번히 관찰된다(Fig. 5d). 이는 미원-보은지역에서 S1 엽리는 주로 북동 내지 남서 방향으로 저각 침강하는 습곡축을 갖는 F2a

습곡작용에 의해 재배열 내지 분산되었음을 지시한다.

F2b 습곡은 S2a 엽리가 주로 남동 방향으로 경사하는 구룡산 층상단층 상반 구조영역의 화진리층과 문주

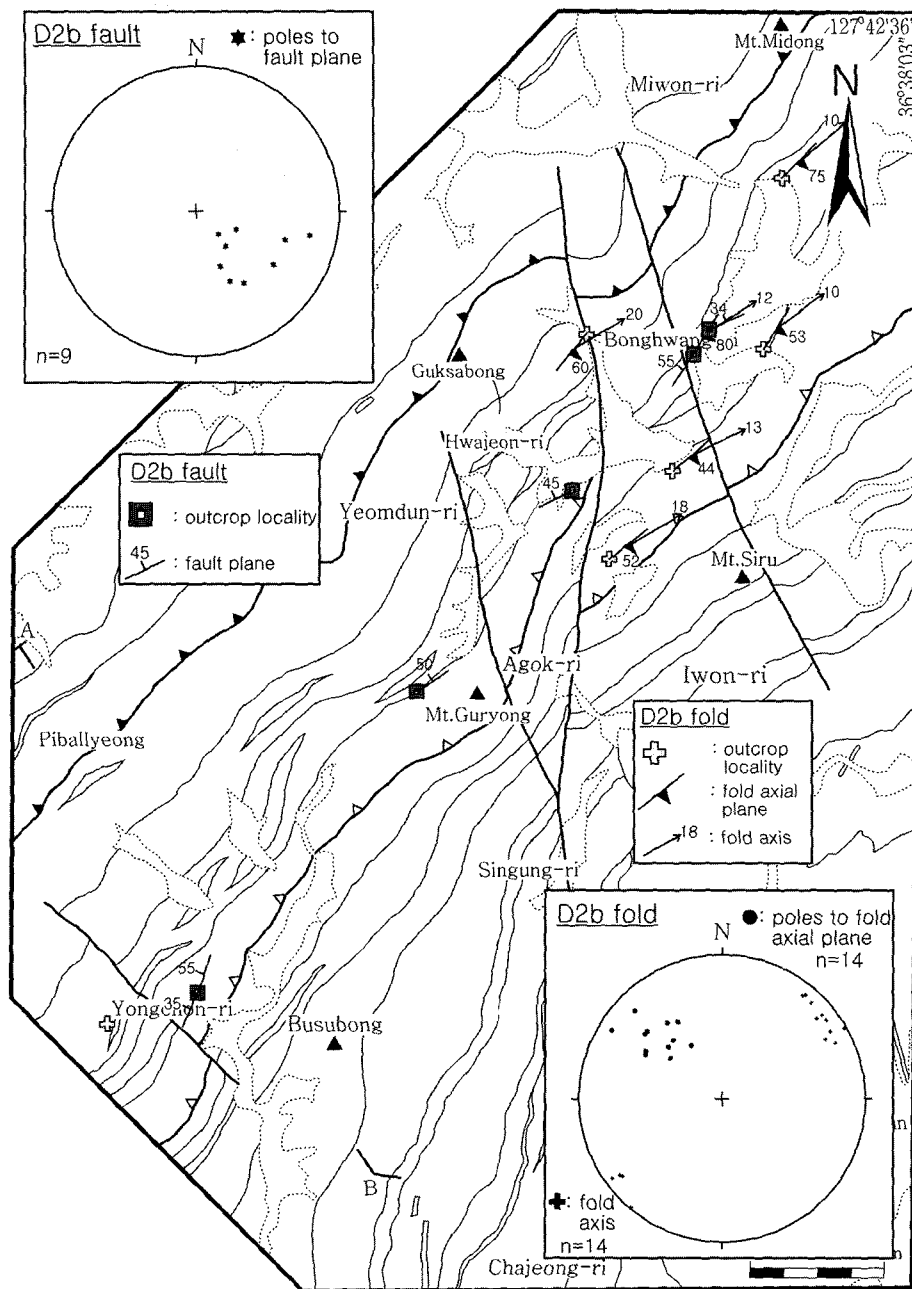


Fig. 7. Diagram showing the outcrop locality and orientation of thrust fault with ramp-flat geometry and snake-head fold related to D2b deformation in the study area. Lower-hemisphere equal-area projection.

리층 등에서 주로 관찰된다(Fig. 6a, 7). F2b 습곡축면(S2b)은 주로 북동 주향에 남동 방향으로 증가 경사하고, F2b 습곡축(L2b)은 북동 내지 남서 방향으로 저각 침강하며 F2a 습곡축과 거의 동일한 방향성을 보인다

(Fig. 7). F2b 습곡의 힌지부와 날개부에는 S1 엽리가 주름져 형성된 그리고 F2b 습곡의 밀착도로서 도저히 형성될 수 없는 탁월한 F2a 파랑습곡들이 종종 관찰된다(Fig. 5e). S2a 엽리면의 방향성은 F2b 습곡축면과 같

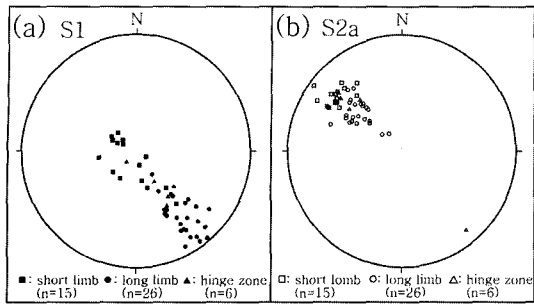


Fig. 8. Stereoplots of poles to (a) S1 foliation and (b) S2a foliation measured in the F2b snake-head fold of outcrop-scale. Lower-hemisphere equal-area projection.

이 북동 주향에 남동 방향으로 경사한다. 그러나, S2a 엽리는 S1 엽리가 저각으로 경사하는 날개부에서는 고각으로 경사하고 S1 엽리가 고각으로 경사하는 다른 날개부에서는 저각으로 경사하는 등 S1 엽리와 거의 일정한 사이각을 갖고 F2b 습곡작용에 의해 분산되어 나타난다. 분산된 이러한 S1 엽리(Fig. 8a)와 S2a 엽리(Fig. 8b)의 극점 배열은 각각 구룡산 층상단층 상반의 S1 엽리(Fig. 4a, 4b)와 S2a 엽리(Fig. 6a, 6b)의 극점 배열과 거의 유사하다. 그리고 북동 주향에 북서 방향으로 경사하는 비탈-평탄 기하의 단층면을 갖고 상부가 남동쪽으로 이동하는 반취성 층상단층들은 F2b 습곡이 빈번히 출현하는 구룡산 층상단층 상반의 구조영역에서 노두규모로 빈번히 관찰된다(Fig. 5f, 7).

D3 변형

S1 엽리와 S2 엽리를 습곡시키는 F3 습곡은 준 수평적인 습곡축을 갖는 횡와 개방 내지 키크습곡으로 인지된다(Fig. 9). F3 습곡측면은 주로 북동 주향에 북서 내지 남동 방향으로 저각 경사하나, 그 외 방향으로 저각 경사하는 것도 관찰된다(Fig. 10a, 10b). F3 습곡축은 F2 습곡축과 유사한 북동-남서 방향으로 저각 침강하나(Fig. 10a, 10c), F3 횡와습곡은 F2 습곡형태 및 방향성에서 명확한 차이를 보인다(Fig. 5, 9). 미원-보은지역에서 이러한 F3 습곡은 주로 구룡산 층상단층의 상반 구조영역에서 인지된다(Fig. 10a).

D4 변형

D4 변형에 의해 형성된 F4 습곡은 S1 엽리와 S2 엽리를 습곡시키는 싱글싱(Fig. 11a) 내지 공액성(Fig. 11b) 키크형 침강 경사습곡으로 인지된다. 이들 F4 습

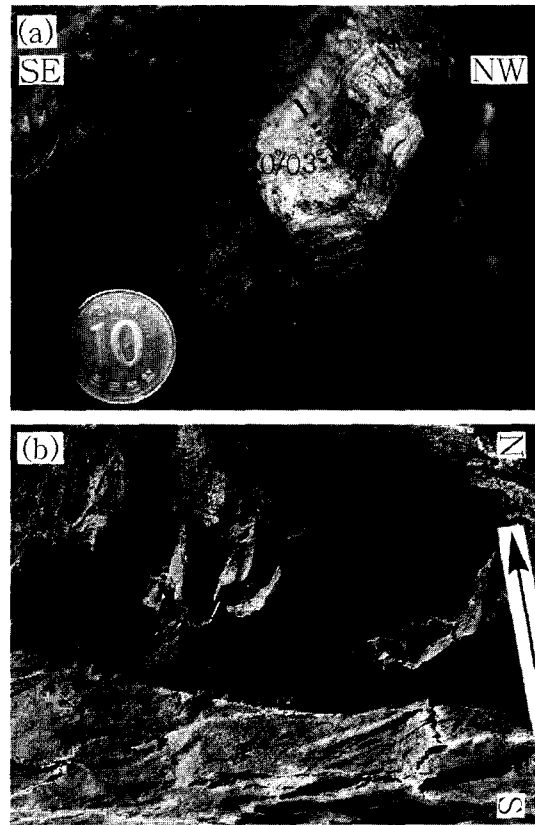


Fig. 9. Outcrop photographs of F3 fold (Munjuri Formation) in the study area. (a) Recumbent kink fold defined by the folding of S1-2 composite foliation in the meta-pelitic rocks. (b) Recumbent open fold in the fine-grained meta-psammitic rocks inferred to be formed by gravitational collapse.

곡은 남북 방향과 (북)북서 방향으로 발달하는 고각 단층의 주변부에서 주로 관찰된다(Fig. 12a). D4 변형을 강력하게 경험한 변성이질암에서는 광역 엽리가 주름져 형성된 F4 파랑습곡을 수반하는데(Fig. 11c), 이들 L4 파랑 습곡축은 광역 엽리면의 경사 방향으로 주로 발달하고 광역 엽리면의 주향 방향으로 발달하는 이전의 파랑 선구조를 굴곡시킨다.

F4 습곡측면은 주로 북서 주향에 고각으로 경사하고 부분적으로 동서 주향과 남북 주향에 고각으로 경사하는 공액적인 방향성을 보인다(Fig. 12b). F4 습곡축은 주로 북서 방향으로 중각 침강하는데(Fig. 12c), F4 습곡축의 집중된 방향성은 전술된 S1 엽리와 S2a 엽리의 극점 배열로부터 인지된 북서 방향의  $\pi$ -축 방향성과 거의 일치한다.

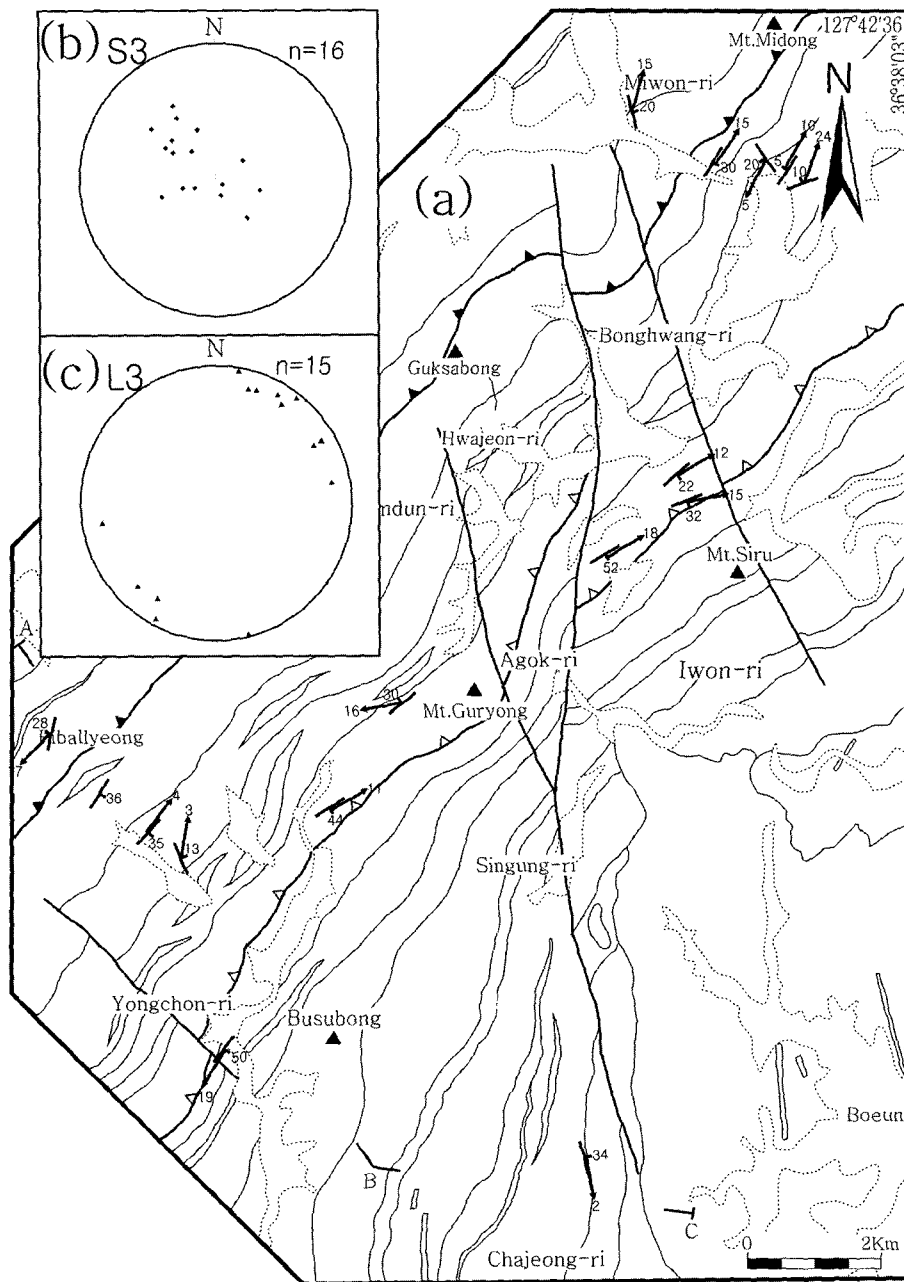


Fig. 10. (a) Orientations of S3 foliation and L3 lineation. (b) Stereoplot of poles to S3 foliation. (c) Stereoplot of L3 lineation. Lower-hemisphere equal-area projection.

해석 및 토의

Cluzel *et al.*(1990, 1991)은 옥천대의 지체구조론적인 연구를 통하여 북서부 옥천변성대의 주요 지질구조는 남동 방향으로 이동하는 연속적인 D1-2 전단운동과 서

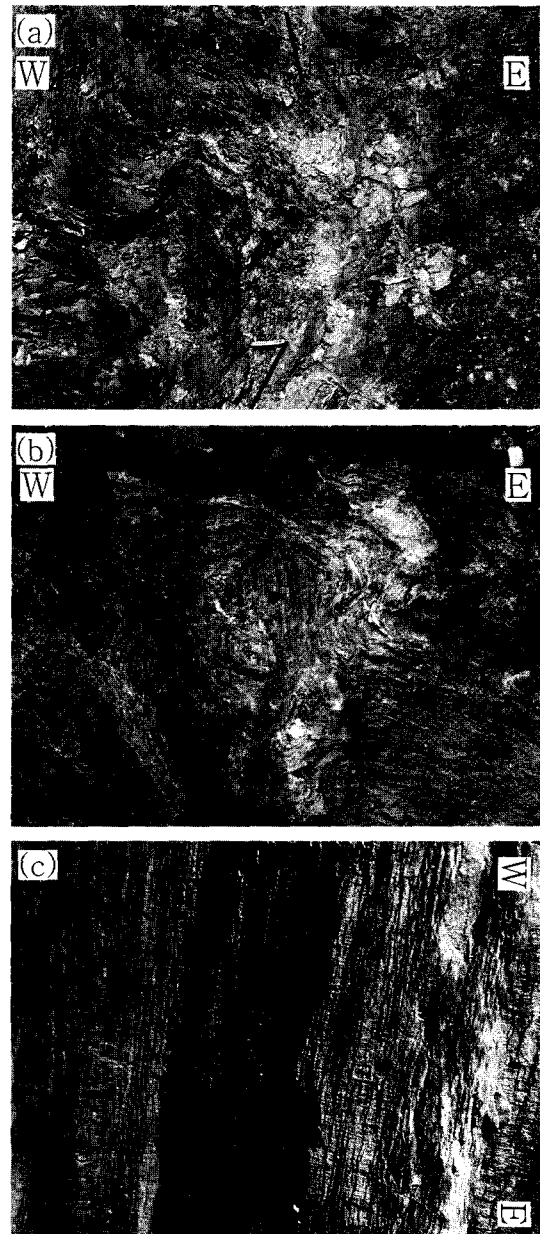
북서 방향으로 이동하는 D3 전단운동에 의해 형성되었음을 보고하고, D1 변형에 의해 칼집습곡과 A-형 습곡이, D2 변형에 의해 피반경과 보은 지구조단위들을 구분하는 경계 층상단층과 북서 방향으로 경사하는 습곡축면을 갖는 남동-버전스의 밀착습곡이, D3 변형에

의해서는 이들 경계 층상단층의 습곡작용과 관련된 동남동 방향으로 경사하는 습곡축면을 갖는 서북서-버전스의 개방 내지 밀착습곡이 각각 형성되었음을 주장한 바가 있다.

본 연구결과, 미원-보은지역 옥천누층군의 지질구조는 2회의 층상 단층운동을 수반하는 적어도 4회의 변형작용에 의해 형성되었음을 알게 되었다. 층리면이 습곡되어 형성된 첫 번째 습곡구조는 신장선구조에 평행한 습곡축을 갖는 칼집습곡(Fig. 3a) 내지 A-형 습곡(Fig. 3b)과 신장선구조에 수직인 습곡축을 갖는 매우 밀착된 뿌리 없는 비대칭 등사습곡(Fig. 3c) 등으로 인지된다. 이들 습곡축면에 수직하고 신장선구조에 평행한 단면상에서는 S1 엽리면의 상부가 남동쪽으로 이동하는  $\sigma$ 형 비대칭 압영구조와 S-C-C' 구조 그리고 비대칭 등사습곡 등 비동축 전단운동감각을 지시하는 구조요소들이 빈번히 관찰된다(Fig. 3c, 3f, 3g, 3h). 이러한 비동축 전단변형과 관련된 D1 변형은 Cluzel *et al.* (1990, 1991)의 D1과 D2 변형들에 대비될 것으로 판단되며, 피반령과 보은 지구조단위들을 구분하는 경계 층상단층(Cluzel *et al.*, 1990, 1991)의 형성과 미동산층을 최하위층으로 하고 황강리층을 최상위층(이종혁 외, 1980; Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994; Koh, 1995)으로 하는 이 지역 구성지층들의 반복된 등사습곡작용은 D1 변형과 밀접한 관련성이 있는 것으로 해석된다(Fig. 2b).

(서)북서-(동)남동 방향의 압축작용에 의해 형성된 F2 습곡은 이미 언급된 바와 같이 북동-남서 방향으로 저각 침강하는 동일한 방향의 습곡축을 갖는 플렉슈얼-슬립 습곡작용에 의해 형성된 F2a 밀착 직립습곡(Fig. 5a, 5b)과 상부-남동-이동 반취성 층상 단층운동과 관련하여 형성된 F2b 뺨-머리 습곡(Fig. 5e) 등 두 가지 습곡형태로 인지되고, 전자는 광역적으로 관찰되는 반면에 후자는 구룡산 층상단층 상반의 구조영역에서만 관찰된다.

광역적으로 발달하는 S2a 엽리는 구룡산 층상단층을 경계로 하반의 구조영역에서는 주로 북서 방향으로 경사하는 반면에 상반의 구조영역에서는 S2b 엽리의 방향성과 같이 주로 남동 방향으로 경사하고(Fig. 6a, 7), 노두규모의 F2b 습곡에서 F2b 습곡작용에 의해 분산된 S1 엽리(Fig. 8a)와 S2a 엽리(Fig. 8b)의 극점 배열은 각각 상반의 구조영역에서 측정된 S1 엽리(Fig. 4a, 4b)와 S2a 엽리(Fig. 6a, 6b)의 분산된 방향성과 거의 일치한다. 또한, 노두규모의 F2b 습곡에서 측정된 S1 엽리와 S2a 엽리의 사이각은 F2b 습곡의 현지부와 날개부에 상관없이 60°에서 80° 사이의 일정한 범위를



**Fig. 11.** Outcrop photographs of major rock structures (Munjuri Formation) related to D4 deformation in the study area. (a-b) F4 moderately plunging, steeply inclined kink fold frequently observed in the meta-pelitic rocks around the high-angle faults [(a) single, (b) conjugate]. (c) Dip-orientation crenulation lineation. L.P.: lower plane of S1 foliation.

유지하며 F2b 습곡작용에 의해 분산되어 있고, 이러한 사이각의 범위는 상반의 구조영역에서 측정된 이들 엽

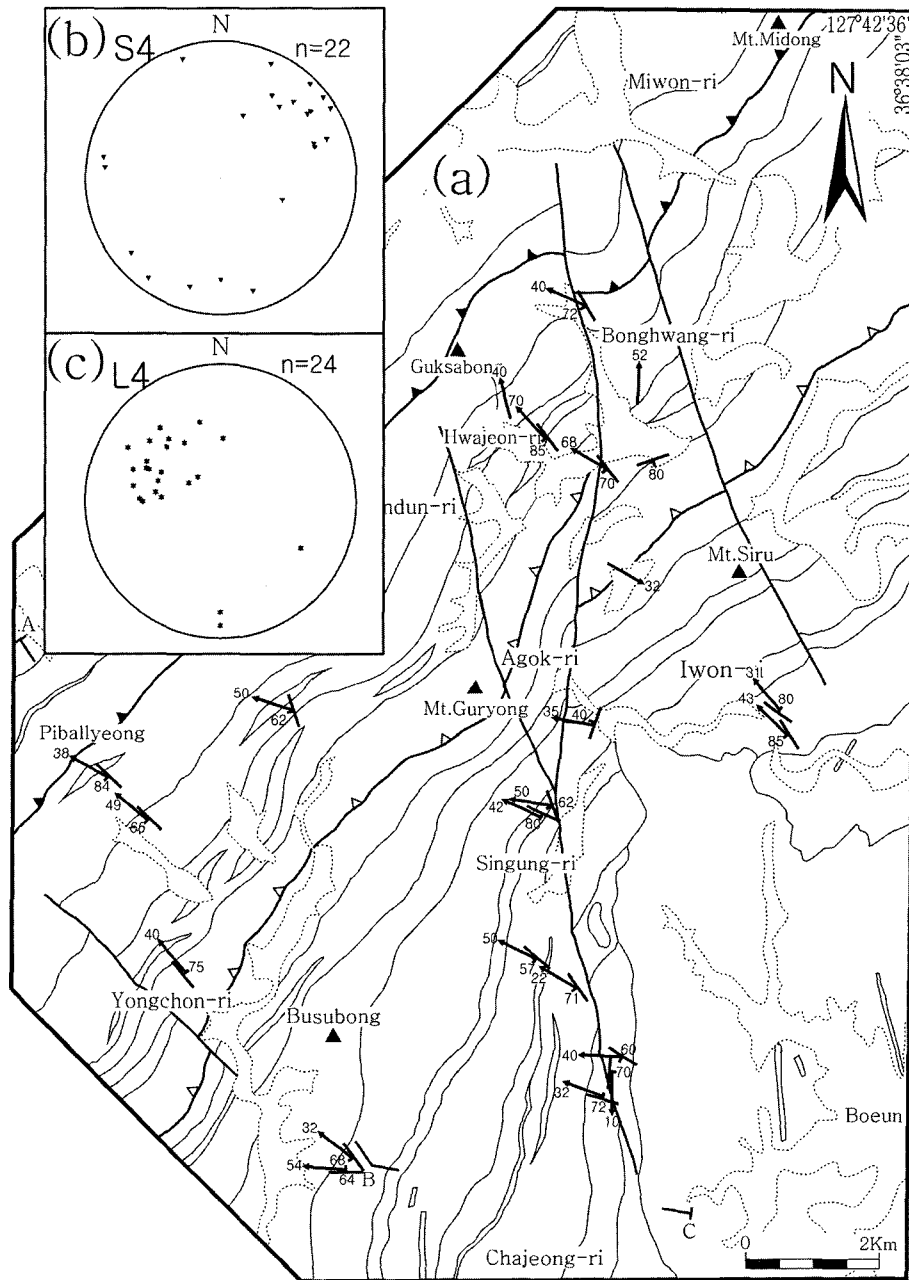


Fig. 12. (a) Orientations of S4 foliation and L4 lineation. (b) Stereoplot of poles to S4 foliation. (c) Stereoplot of L4 lineation. Lower-hemisphere equal-area projection.

리의 사이각의 범위와 유사하게 나타난다(강지훈과 이철구, 준비중). 이는 F2a 밀착 직립 습곡작용 이후 내지 직후에 F2a 습곡작용과 동일한 지구조환경하에서 S1 엽리와 S2a 엽리의 방향성을 부분적으로 분산 내

지 재배열시키는 변형작용(F2b 뱀-머리 습곡작용)이 구룡산 충상단층의 상반 구조영역에서 발생하였음을 의미한다. 뱀-머리 습곡은 비탈-평탄 기하의 단층면을 갖는 충상단층을 따라 지층들이 전위될 때 단층면의 기

하에 어울려서 형성되는 일종의 단층-어울림 습곡(fault-bend fold)(Suppe, 1983; 1985)으로서 이러한 뱀-머리 습곡(Fig. 5e)과 비탈-평탄 기하의 단층면을 갖는 충상 단층(Fig. 5f)들은 구룡산 충상단층의 상반 구조영역에서 빈번히 관찰된다(Fig. 7).

따라서, 미원-보은지역에서 두 번째 변형작용은 동일한 (서)북서-(동)남동 방향의 압축작용 하에서 그 전기 단계에는 준 수평적인 습곡축을 갖는 (북)북동 방향의 F2a 밀착 직립습곡을 형성시켰으며, 그 후기 단계에는 비탈-평탄 기하의 단층면과 뱀-머리 습곡구조를 수반하는 상부-남동-이동의 반취성 충상단층(구룡산 충상단층)을 형성시켰다고 해석된다(Fig. 2b). 이러한 2 단계 D2 변형작용은 괴산지역에서 Koh(1995)와 Koh and Kim(1995)에 의해 제안된 상부-남동-이동의 취성 내지 반취성 충상 단층운동과 관련된 2단계 D3 변형 모델(전기 단계: F3a 개방 직립 습곡작용, 후기 단계: F3a 습곡의 밀착화와 횡화화와 관련된 F3b 밀착 횡와 습곡작용과 충상 단층운동 동안에 전단 압축면으로 S3 엽리면의 형성)과 다르다. 그리고 본 연구를 통해서 Cluzel *et al.*(1990, 1991)의 D3 변형과 관련된 상부-(서)북서-이동의 전단운동과 서북서-버전스의 F3 개방 내지 밀착습곡은 관찰할 수 없었다.

세 번째 변형구조로는 주로 구룡산 충상단층 상반의 구조영역에서 인지되는 F3 개방 내지 키크 횡와습곡으로 이러한 F3 습곡은 D2 변형 이후 지각두께의 팽창화에 의한 중력적 불안정을 해소하는 중력적 내지 신장성 붕괴작용에 의해 형성된 것으로 해석되나(Lee, 2000), 그 변형강도는 북동부 연장지역인 괴산지역에 비해 강하지 못한 것으로 판단된다(강지훈과 이철구, 2002; 심사중). 네 번째 변형구조는 주로 고각 단층의 주변부에서 관찰되는 F4 중침강, 급경사의 키크습곡으로 인지되고 이러한 F4 습곡축의 집중된 방향성이 S1 엽리와 S2a 엽리의 극점 배열로부터 인지된 북서 방향의  $\pi$ -축 방향성과 거의 일치함을 고려해 볼 때, 이 지역의 S1 엽리와 S2a 엽리는 F4 습곡작용에 의해 부분적으로 재배열 내지 분산되었음을 알 수 있고, 북동 방향의 S1과 S2a 광역 엽리가 고각단층의 주변부에서 국부적으로 남북 내지 동서 방향으로 변화함은 F4 습곡 작용과 밀접한 관련성이 있는 것으로 해석된다.

## 결 론

미원-보은지역에 분포하는 옥천누층군에 대한 상세한 야외지질조사와 다변형작용에 의해 중첩된 암석구조들의 선후관계로부터 미원도폭과 보은도폭의 접경지

에서 불일치하였던 주요 구성지층들의 연장이 확인되었으며, 이 지역 옥천누층군의 지질구조는 기존 연구결과와 달리하는 2회의 충상단층 운동이 수반된 적어도 4회의 변형작용에 의해 형성되었음을 알게 되었다. 각 변형단계별 지질구조의 특성은 다음과 같다.

(1) D1 변형은 상부-남동-이동의 연성 전단변형작용 하에서 발생하여 괴반령과 보은 암상 지구조단위들을 구분하는 경계 충상단층, 북서-남동 방향의 신장선구조, 신장선구조에 거의 평행한 습곡축을 갖는 칼집습곡과 A-형 습곡, 신장선구조에 거의 수직인 비대칭 등사습곡 등을 형성시켰으며, 지질도 규모에서 동일 지층을 반복 분포시킨 등사습곡작용은 D1 변형과 밀접한 관련이 있다.

(2) D2 변형은 동일한 (서)북서-(동)남동 방향의 압축 지구조환경 하에서 그 전기 단계에는 준 수평적인 습곡축을 갖는 (북)북동 방향의 밀착 직립습곡을 형성시켰고, 그 후기 단계에는 북동-주향에 북서-경사의 비탈-평탄 기하의 단층면을 갖는 상부-남동-이동의 반취성 충상단층(구룡산 충상단층)과 이에 수반된 북동-주향에 남동-경사의 습곡축면과 북동 내지 남서 방향으로 지각 침강하는 습곡축을 갖는 뱀-머리 습곡을 형성시켰다.

(3) D3 변형은 D2 변형의 결과로 형성된 지각두께의 팽창화와 중력적 불안정을 해소하는 중력적 내지 신장성 붕괴과정에 의해 발생하여 준 수평적인 습곡축을 갖는 개방 내지 키크 횡와습곡을 형성시켰다.

(4) D4 변형은 남북 내지 북서 방향의 고각 단층운동과 관련하여 중침강, 급경사의 키크습곡을 형성시켰으며, 고각 단층의 주변부에서 (북)북동 방향의 광역 엽리들이 국부적으로 남북 내지 동서 방향으로 변화함은 D4 변형과 밀접한 관련이 있다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2000-000-00053-0)지원으로 수행되었으며 이에 대하여 감사한다. 본 논문을 심사하여 여러 가지 의미있는 지적을 해 주신 경북대학교 장태우 교수님과 한국지질자원연구원 고희재 박사님께 감사드린다.

## 참고문헌

- 강지훈, 류충렬, 1997, 충주 계명산지역 옥천변성대의 화성 활동과 지질구조. 암석학회지, 6, 151-165.  
강지훈, 2001, 부산지역에서 옥천변성대의 지질구조: 하트

- 상 부산 편마암복합체에 대한 새로운 지구구조모델. 암석학회지, 10, 106-120.
- 강지훈, 이철구, 2002, 괴산지역에서 옥천변성대의 지질구조. 지질학회지, 심사중
- 김옥준, 이대성, 이하영, 1977, 한국지질도(1:50,000), 보은도폭 및 설명서, 자원개발연구소, 35p.
- 박봉순, 소칠섭, 1980, 한반도 옥천대에 분포하는 함우라늄층의 지질구조 규제 및 조성광물과 우라늄 분포와의 상호관계 연구. 광산지질, 13, 215-227.
- 이종혁, 이민성, 박봉순, 1980, 한국지질도(1:50,000), 미원도폭 및 설명서, 자원개발연구소, 23p.
- 장태우, 이재영, 윤선, 1988, 옥천대 남부지역 옥천층군의 지질구조 및 층서. 지질학회지, 24, 340-355.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Okcheon belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P., 1991, Early middle Paleozoic intraplate orogeny in the Okcheon belt (S. Korea): a new insight on the Paleozoic buildup of east Asia. Tectonics, 10, 1130-1151.
- Kang, J.H., Hara, I., Hayasaka, Y., Sakurai, Y., Shiota, T. and Umemura, H., 1993, Time-relationship between deformation and metamorphism of the Okcheon Zone in the Okcheon district, South Korea. Mem. Geol. Soc. Japan, 42, 63-90.
- Kang, J.H., 1994, Geological structure and tectonics of the Okcheon zone in the Chungju-Jangseonri area, South Korea. Jour. Sci. Hiroshima University, Series C (Earth and Planetary Science), 10, 1-23.
- KIGAM, 1995, Geological map of Korea(1:1,000,000), Korea Institute of Geology, Mining and Materials.
- Koh, H.J., 1995, Structural analysis and tectonic evolution of the Okcheon Supergroup, Goesan, Central part of the Okcheon belt, Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, 282p.
- Koh, H.J. and Kim, J.H., 1995, Deformation sequence and characteristics of the Okcheon Supergroup in the Goesan area, Central Okcheon belt, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 31, 271-298.
- Lee, H.W., 2000, Signification of systematic change in crenulation asymmetric within metasediments across the Okcheon Supergroup in the Goesan area, southern Korea. Geosci. Jour., 4, 115-134.
- Ree, J.H., Kwon, S.H., Park, Y.D., Kwon, S.T. and Park, S.H., 2001, Pre-tectonic and post-tectonic emplacements of the granitoids in the south central Okchon belt, South Korea: Implications for the timing of strike-slip shearing and thrusting. Tectonics, 20, 850-867.
- Suppe, J., 1983, Geometry and kinematics of fault-bend folding. Amer. Jour. Sci., 283, 684-721.
- Suppe, J., 1985, Principles of structural geology. Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 537p.

---

(2002년 11월 5일 접수, 2002년 12월 13일 채택)