

봉화군 상운면지역에서 북부 소백산육괴의 지질구조 해석

강지훈 · 김형식¹

안동대학교 지구환경과학과, ¹고려대학교 지구환경과학과

요약 : 예천전단대가 통과하고 북동-남서 방향의 구조선과 동-서 방향의 구조선이 발달하고 있는 경북 봉화군 상운면지역에서 북부 소백산육괴의 지질구조를 규명하기 위해 이 지역의 주 구성암류인 선캠브리아기 원남층과 중생대 각섬석 화강암에 대한 암석구조를 연구하였다. 이 지역의 지질구조는 원남층의 편마면 내지 편리면이 형성된 이후 적어도 네 번의 변형단계(예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형 이전에 한 번의 변형작용과 이후에 적어도 두 번의 변형작용)를 걸쳐 형성되었다. 북동-남서 방향의 구조선과 동-서 방향의 구조선은 하나의 거대한 완사 내지 개방형 F4 습곡작용에 의해 형성되었으며, D4 변형 이전에 이들 구조선은 F4 습곡축부의 방향과 평행한 동북동-서남서 방향이었던 것으로 해석된다. D4 변형 이전의 각 변형단계별 구조적 특성 및 상대적인 발생시기는 다음과 같다: D1 변형-준 수평적인 습곡축과 고각으로 경사하는 습곡축면을 갖는 동북동 방향의 등사습곡과 부딩구조 형성기; D2 변형-북쪽으로 경사하는 원남층의 우세한 엽리면의 상부가 동북동쪽으로 이동하는 대규모의 우수 주향 이동성의 연성전단운동에 의한 압쇄구조면과 신장선구조 그리고 Z자형 비대칭 습곡형성기(중생대 각섬석 화강암이 관입된 이후); D3 변형-원남층의 우세한 엽리면의 상부가 경사 방향(북북서 방향)으로 떨어지는 정전단운동에 의한 준 수평적인 습곡축과 습곡축면을 갖는 동북동 방향의 S자형 비대칭 습곡 형성기. 이러한 연구결과는 신동-봉화 연결선을 경계로 지구구조선의 방위가 북동-남서 방향에서 동-서 방향으로 전환되는 북부 소백산육괴와 옥천대 북동부의 지구조 발달과정을 해석하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 북부 소백산육괴, 예천전단대, 구조선, 지구조 발달과정

서 론

옥천대의 북동부와 소백산육괴의 북부지역에 발달하는 지구조의 우세한 방향성은 신동-봉화를 잇는 선을 경계로 북동-남서 방향에서 동-서 방향으로 전환된다(cf. Reedman and Um, 1975; Lee, 1987)(Fig. 1a). 이러한 지구조의 방향성 변화와 관련된 연구는 고생대 지층군이 주로 분포하는 옥천대 북동부 지역을 중심으로 많은 연구자들에 의해 수행된 바가 있다(김옥준, 1970; 강필중 외, 1976; 정창희, 1976; 이재영과 박봉순, 1982; 김봉균 외, 1986; 김정환과 최원학, 1990). 그러나, 이들 지구조의 선후관계와 형성시기는 아직까지도 논쟁의 대상이 되고 있다. 한편, 소백산육괴 북부지역에서 이러한 지구조의 방향성 변화와 관련된 연구는 지금까지 수행된 바가 거의 없다.

한반도 호남지방을 중심으로 수 개의 우수 주향 이동성 연성전단대(호남전단대; 순창전단대, 광주전단대, 전주전단대, 영광전단대)가 발달되어 있다(Yanai et al., 1985; 장태우와 한영민, 1989; 이병주 외,

1990; Cluzel et al., 1991; 김정환과 기원서, 1991; 이병주, 1992; 장태우, 1994)(Fig. 1b). 이들 중 북동-남서 방향의 순창전단대는 연장성이 우세하여 단양 부근까지 이어지고, 점촌 부근에서 동북동-서남서 방향의 우수 주향 이동성 예천전단대(Chang, 1991)로 분리된다. 예천전단대는 본 연구지역인 봉화군 상운면지역에서 그 방향성을 북동-남서 방향에서 동-서 방향으로 전환되어 본 연구지역의 동쪽 연장부에 해당하는 장군봉지역까지 연장된다. 장군봉지역에서 동-서 방향의 지구조 형성과 관련된 변형작용의 특성과 각 변형단계별 상대적인 발생시기는 강지훈 외(1997, 1998)에 의해 최근 보고된 바가 있다.

북부 소백산육괴의 중남부와 신동-봉화 연결선의 남동부에 위치한 경상북도 봉화군 상운면지역(Fig. 1)은 북부 소백산육괴의 주요 구성지층인 선캠브리아기 원남층, 중생대 화성암류 및 퇴적암류 등이 분포한다(Fig. 2). 본 연구는 예천전단대가 통과하고 북동-남서 방향의 구조선과 동-서 방향의 구조선이 발달하고 있는 상운면지역에서 북부 소백산육괴의

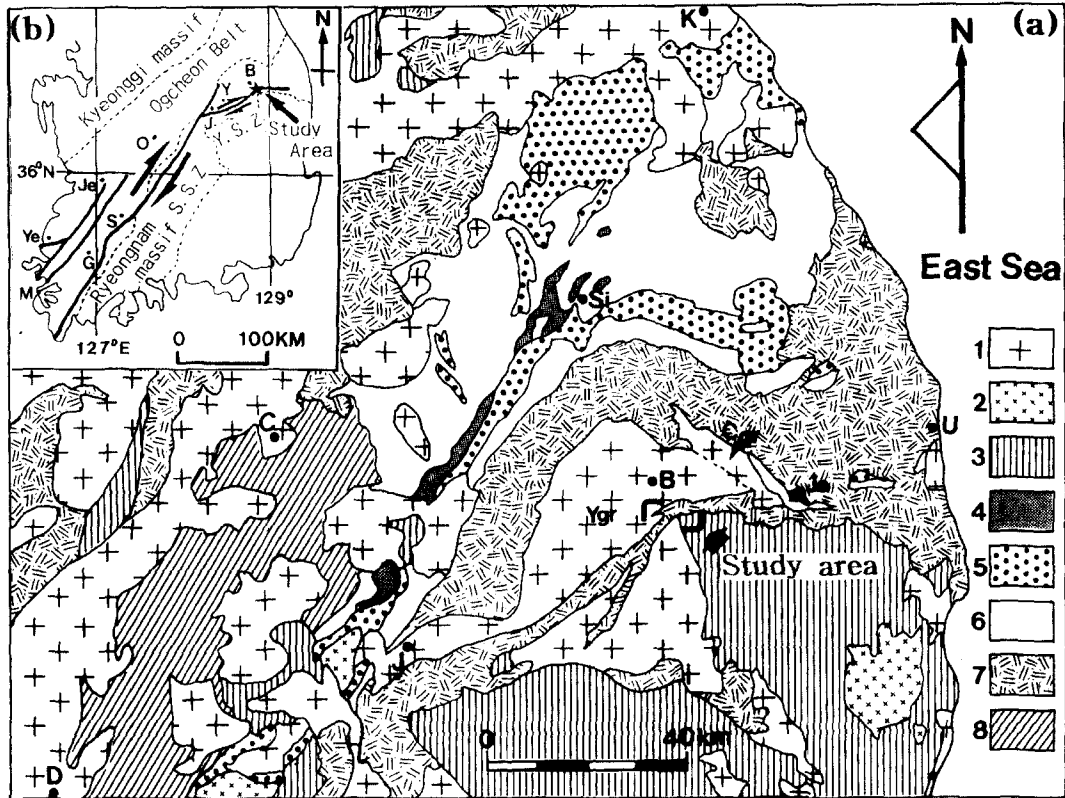


Fig. 1. Geological map(a) of the Northeast Ogcheon Belt and North Sobaegsan Massif and the locality of the study area(b)[adapted from Chwae *et al.*(1995)]. 1: Mesozoic granitoid, 2: Paleozoic granitoid, 3: Kyeongsang Supergroup, 4: Daedong Group, 5: Pyeongan Supergroup, 6: Joseon Supergroup, 7: Precambrian rocks, 8: Ogcheon Supergroup. B: Bonghwa, C: Chungju, D: Daejeon, G: Gwangju, J: Jeumchon, Ja: Janggunbong, Je: Jeonju, M: Mokpo, K: Kangneung, O: Ogcheon, S: Sunchang, Si: Sindong, U: Uljin, Y: Yecheon, Ye: Yeonggwang. S.S.Z.: Sunchang Shear Zone, Y.S.Z.: Yecheon Shear Zone, Cgr: Chunyang granite, Ygr: Yeongju granite.

지구조 발달과정을 규명하기 위해 이들 주요 구성 암류에 대한 상세한 야외지질조사를 실시하였다. 그 결과, 원남층에는 여러번의 변형작용에 의해 형성된 다양한 습곡형태와 중첩된 습곡이 관찰되었다. 본 논문에서는 이들 주요 변형구조로부터 상운면지역 북부 소백산육괴의 암석 및 지구구조 발달사를 밝히고, 이를 바탕으로 북부 소백산육괴와 북동부 옥천대에 발달하는 북동-남서 방향과 동서 방향 구조선 형성과 관련된 지구조운동의 특성을 논의하고자 한다.

지질개요

춘양도폭(손치무와 김수진, 1963)의 남서부와 예안도폭(이대성과 이하영, 1963)의 북서부 일부를 접하고 있는 본 연구지역에는 신캠브리아기 변성암류

(원남층), 중생대 화성암류(섬록암과 각섬석 화강암) 및 퇴적암류(주로 회백색 알코즈질 사암층과 적색 이암층으로 구성된 동화치층과 주로 녹회색 이회암으로 구성된 가송동층) 등이 분포한다(Fig. 2). 원남층의 북부 경계부와 남부 경계부는 중생대 화성암류에 의해 관입되어 있으며, 남부 경계부의 일부는 중생대 퇴적암류에 의해 부정합으로 피복되어 있다. 원남층은 탄산염질암 기원의 결정질 석회(규산염)암, 석영 사질암 기원의 백운모-석영 편암, 이질암 내지 사질암 기원의 편(마)암류 등으로 주로 구성되어 있다. 이들 주요 구성암류는 연구지역의 남서부(이하, NE-방향의 구조영역)에서는 북동-남서 방향, 중앙부(이하, ENE-방향의 구조영역)에서는 동북동-서남서 방향 그리고 동부(이하, E-방향의 구조영역)에서는 동서 방향의 대상분포를 보인다(Fig. 2). 고회석과 방해석으로 주로 구성된 원남층의 석회

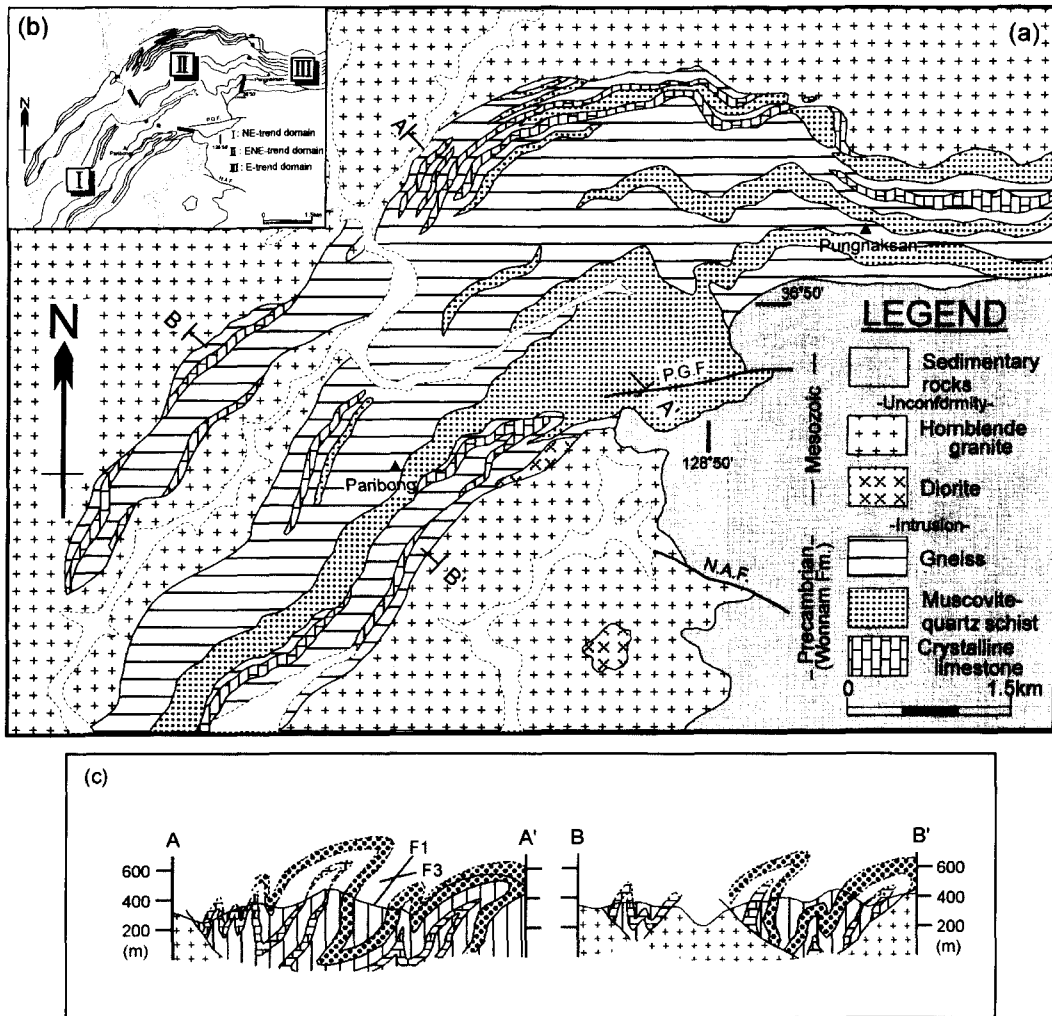


Fig. 2. Geological map[modified from Son and Kim(1963), Lee and Lee(1963)](a), domain division(b) and profile sections(c) of the study area. P.G.F.: Pukgok fault, N.A.F.: Namae fault.

암은 곳에 따라 부분적으로 노출이 결핍되어 있지만, 비교적 양호한 연장성을 갖고 이 지역의 남부와 중북부에서 박층으로 수 매 나타난다(Fig. 2). 풍화에 강해 비교적 높은 지형을 형성하고 있는 백운모-석영 편암은 이 지역의 중남부에서 광범위한 산출 양상을 보이고, 중북부에서는 부분적인 결핍을 보이지만 양호한 연장성을 보이며 박층으로서 수 매 분포한다(Fig. 2). 이 암상의 암석규모에서는 신장된 석영의 정향배열에 의해 인지되는 신장선구조와 우세한 엽리면이 흔히 관찰되고, 박편규모에서는 연성전단변형과 관련되어 형성된 물고기형 운모구조와 리본 석영립이나 세립 재결정 석영립들의

형태 신장방향에 의해 정의되는 S-C 구조(Berthé *et al.* 1979; Lister and Snoke, 1984) 등이 종종 관찰된다. 원남층의 대부분을 차지하는 이질암 내지 사질암 기원의 편(마)암류(Fig. 2)는 안구상 편마암, 석영-장석 편암, 호상 편마암 등으로 주로 구성되어 있으며, 석류석-흑운모 편암, 각섬석 편암, 화강암질 편마암 등을 부분적으로 협재한다. 이들 편(마)암류의 구성광물은 정장석, 사장석, 미사장석, 석영, 석류석, 적갈색의 흑운모, 백운모 등을 주로 하고, 규선석, 저어콘, 녹니석 그리고 불투명광물 등도 소량 관찰된다. 주 구성광물인 장석과 석영들의 입도 세립화와 함께 압쇄된 조직은 경하에서 일반적으로

관찰되고, 주 구성광물의 신장된 정향배열에 의해 인지되는 신장선구조와 압쇄구조면은 암석규모에서 흔히 관찰된다. 주로 장석 잔쇄반정들이 안구상으로 나타나는 안구상 편마암은 장석의 입도가 세립화하면 석영-장석 편암과 유사한 암석조직을 보인다. 사질 내지 이질 성분층과 장석질 성분층이 주로 호층을 이루는 호상 편마암에서는 장석질 성분층들이 습곡되어 형성된 등사 습곡구조와 장석질 성분층의 부딩 구조가 관찰된다.

각섬석과 사장석으로 주로 구성된 암회색 조립질 섬록암은 괴상의 형태로 남부지역에 분포하는 각섬석 화강암의 연변부를 따라 소규모 산출한다(Fig. 2). 석영, 사장석, 미사장석, 각섬석, 흑운모, 불투명 광물 등으로 주로 구성되어 있는 중생대 각섬석 화강암은 연구지역의 북부와 남부에 광범위하게 분포하고, 남서부에 소규모로 나타난다(Fig. 2). 남서부지역에 분포하는 화강암에는 주로 장석과 석영의 신장배열에 의한 탁월엽리면과 신장선구조가 일반적으로 관찰된다. 반면에 북부와 남부지역에 분포하는 화강암에는 주로 석영들의 신장배열에 의한 미약한 엽리면만이 관찰된다. 연구지역에서 각섬석

화강암과 섬록암 사이의 접촉 관계는 직접 관찰할 수 없으나, 이들 화성암류는 동원 마그마의 분화상으로서 그 관입 관계가 섬록암, 각섬석 화강암 순으로 설정된 바가 있다(손치무와 김수진, 1963; 이대성과 이하영, 1963). 그리고, 연구지역의 각섬석 화강암(영주화강암)과 장군봉지역의 춘양화강암으로부터 측정된 Rb-Sr 동위원소 자료는 이들 화강암체의 관입 또는 정치연대가 $220 \pm 27\text{Ma}$ 를 나타낸다(진명식과 장보안, 1999).

야외에서 인지되는 원남층의 주요 습곡 형태들은 준 수평적인 습곡축과 고각-경사 습곡축면을 갖는 등사습곡, 우세한 엽리면의 주향 방향으로 이동하는 전단운동에 의해 형성된 Z-자형 비대칭 습곡, 우세한 엽리면의 경사 방향으로 이동하는 전단운동에 의해 형성된 S-자형 비대칭 습곡, 고각의 습곡축을 갖는 완사 내지 개방형 습곡 등으로 구분된다. 구성광물들의 재배열에 의해 정의되는 새로운 엽리면의 발달은 암석의 종류에 따라 크게 좌우되나, 일반적으로 등사 습곡작용 이외의 다른 습곡작용에 의해 형성된 새로운 엽리면은 거의 인지되지 않는다.

연구지역에 발달하고 있는 주요 단층들로서는 동

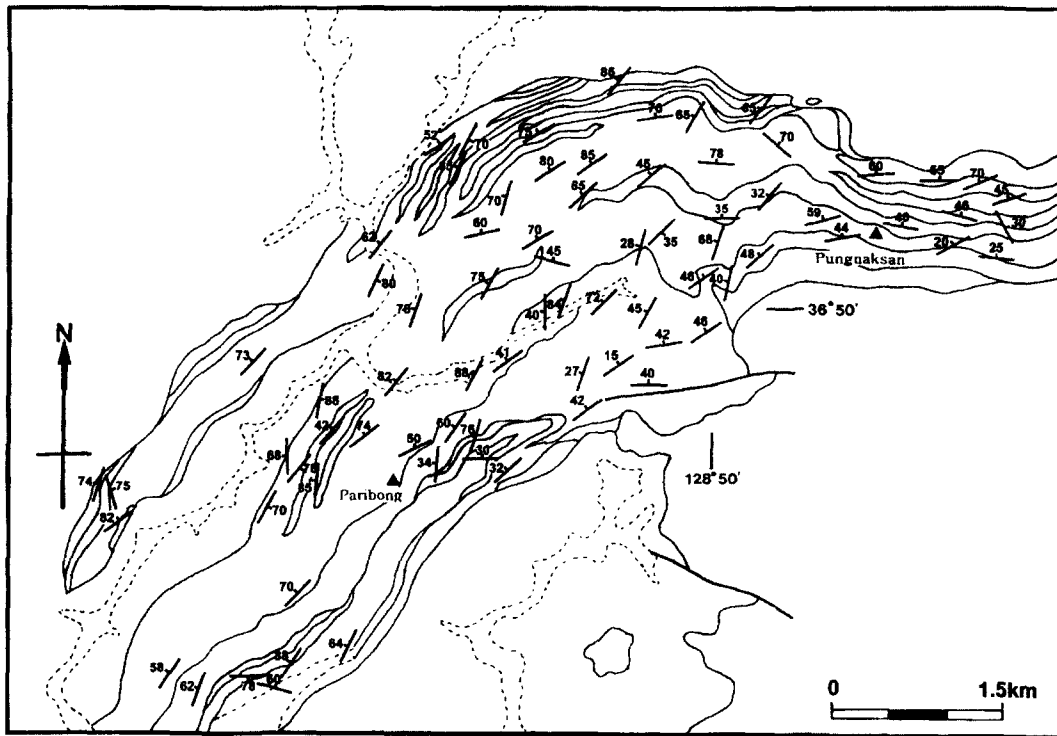


Fig. 3. Orientation of S0 foliation of the Wonnam Formation in the study area.

서 방향의 북곡단층과 서북서-동남동 방향의 남애 단층(이대성과 이하영, 1963) 등이 있다(Fig. 2). 이들은 수직단층의 성격을 가지며 선캠브리아기 원남층과 중생대 화성암류 및 퇴적암류를 절단한다(Fig. 2). 그러나, 원남층의 암석구조들이 보이는 방향성과 변형양식에 의해 판단할 때, 이러한 수직단층은 원남층에서 나타나는 암석구조의 방향성에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 해석된다.

암석 및 지질구조

여러번의 변형작용을 겪은 원남층의 변형단계별 구조요소에 대한 본 연구는 선발생 변형작용에 의해 형성된 구조요소들은 후발생 구조요소들에 의해 절단되거나 습곡되어진다는 기초적인 구조해석 방법에서 출발하였다. 그 결과, 연구지역의 암석 및 지질구조는 원남층의 편마면 내지 편리면이 형성된 이후 적어도 네 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음이 해석된다. 따라서, 이 연구에서는 원남층의 편마면 내지 편리면을 편의상 S0 엽리면이라 표현하고, 이러한 네 번의 변형단계를 상대적인 발생순서에 따라 D1 변형, D2 변형, D3 변형, D4 변형으로, 이들 각 변형단계 동안에 형성된 습곡구조들을 F1 습곡, F2 습곡, F3 습곡, F4 습곡으로 구분하여 이 지역의 변형단계별 암석 및 지질구조를 기재하고자 한다.

S0 엽리면

원남층의 편마면 내지 편리면으로 정의되는 연구지역의 S0 엽리면은 저각에서 고각까지 다양한 경사각을 보이며, 여러번의 변형작용에 의해 매우 분산된 방향성을 보여준다(Fig. 3). S0 엽리면의 극점들을 등면적망의 하반구에 투영해 보면, S0 엽리면은 주로 남-북과 동-서 사이의 주향 영역(이하 북동-남서 구간 주향 영역)에서 서쪽 내지 북쪽으로 경사하는 것이 우세하게 나타나고 동쪽 내지 남쪽으로 경사하는 것이 부수적으로 나타난다(Fig. 4a). 영역별 S0 엽리면은 NE-방향의 구조영역에서는 N15°-45°E/60°-75°NW 방향의 우세한 방향성과 분산된 극점 배열로부터 17°/020° 북동-구간 방향계의 π -축과 60°/315° 북서-구간 방향계의 π -축이 인지된다(Fig. 4b). ENE-방향의 구조영역에서는 N45°-55°E/40°-50°NW 방향의 우세한 방향성과 분산된 극점 배열로부터는 두 개의 가장 적합한 π -축(25°/030° 북동-구간 방향계의 π -축과 55°/335° 북서-구간 방향계의

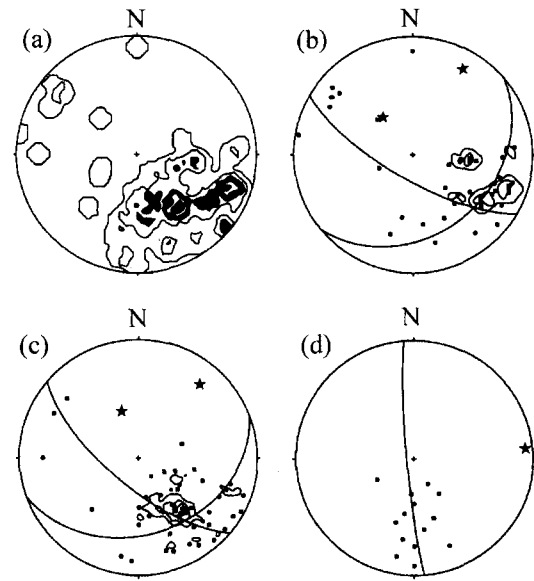


Fig. 4. Stereoplots of poles of S0 foliation in the Wonnam Formation. (a) All of S0 data: n=99(number of data) and contours at 1-3-5-7-9% per 1% of area. (b-d) S0 data in each domain marked in Fig. 2b (star: π -axis) [(b) NE-trend domain (n=39), (c) ENE-trend domain (n=45), (d) E-trend domain (n=15)]. See text for detailed explanation.

π -축)이 인지된다(Fig. 4c). E-방향의 구조영역에서는 동-서 주향에 북쪽으로 50°-60° 경사하는 미약한 우세 방향성과 분산된 극점 배열로부터 03°/085° 북동-구간 방향계의 π -축이 인지된다(Fig. 4d). 이러한 영역별 S0 엽리면의 극점 분포 및 우세 방향성 그리고 π -축의 방향은 NE-방향의 구조영역에서 E-방향의 구조영역으로 갈수록 시계방향으로 변화함을 알 수 있다. 또한, ENE-방향의 구조영역에서 S0 엽리면의 극점 배열은 전체 S0 엽리면의 극점 배열과 유사하고, S0 엽리면의 경사각은 저각에서 고각까지 다양하게 나타난다(Figs. 4a, 4c). 이들 중 저각 및 중각 경사의 S0 엽리면은 백운모-석영 편암이 광범위하게 산출되는 남부지역에서 우세하게 나타나고, 고각 경사의 S0 엽리면은 백운모-석영 편암과 석회암이 박층으로서 수 매 산출되는 북부지역에서 우세하게 나타난다(Figs. 2, 3).

D1 변형

원남층 구성암류의 편마면 내지 편리면이 형성된 이후 최초의 변형(D1 변형) 구조는 S0 엽리면이 습곡되어 형성된 F1 등사 습곡구조와 F1 습곡축에 평

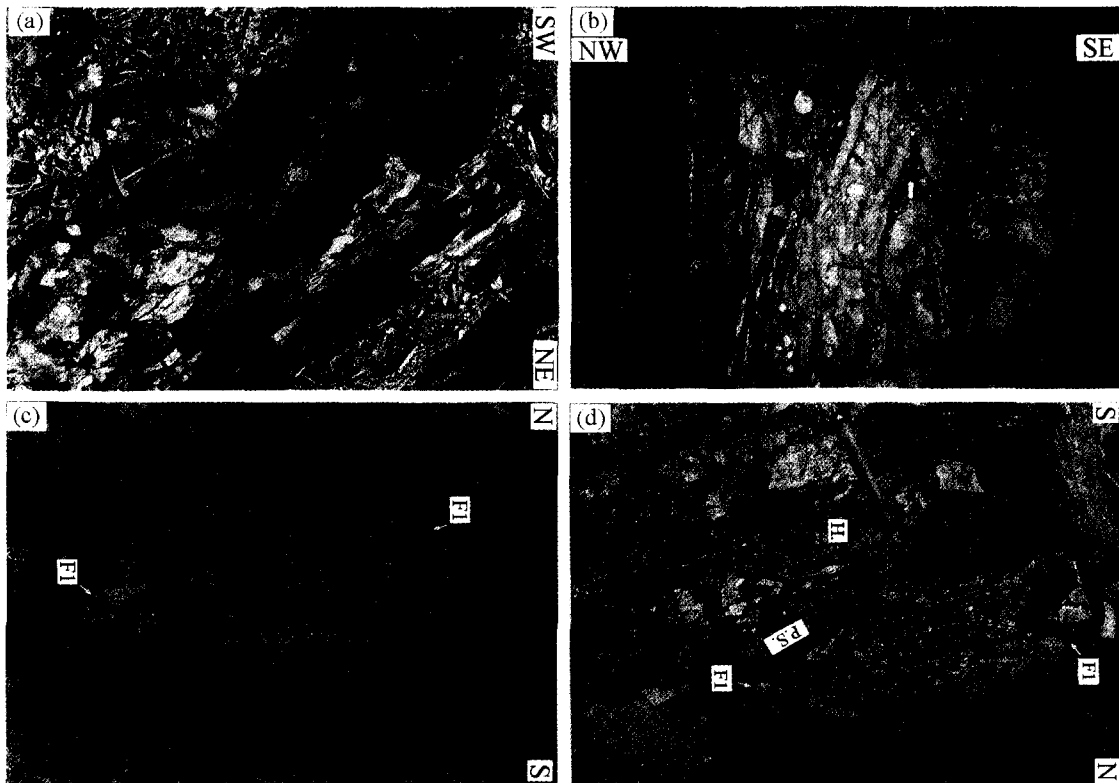


Fig. 5. Photographs of rock structures related to D1 deformation in metapelitic or metapsammitic rocks of the Wonnam Formation. (a) Boudin structure. (b-d) Isoclinal F1 fold(hinge point: arrow F1)[(b) less tight form, (c-d) more tight form]. The S0 foliation in the more tight form is completely transposed into its axial plane(H.: hook type of intrafolial fold, P.S.: pinch and swell structure). See text for detailed explanation.

행한 신상배열을 보이는 부딩구조로 인지된다(Fig. 5).

부딩구조는 이질 내지 사질 성분층에 둘러싸인 장식질 성분층에서 주로 관찰되며, 부딩 형태는 호층들 사이의 연성도 차이가 비교적 작은 변형환경에서 형성되는 렌즈상으로 나타난다(Ghosh, 1993) (Fig. 5a). F1 등사습곡은 일반적으로 준 수평적인 습곡축과 고각으로 경사하는 습곡측면을 갖고(Fig. 5b), 양 날개부의 S0 엽리면이 F1 습곡측면으로 완전히 전위된 밀착 등사습곡 형태도 빈번히 관찰된다(Fig. 5c). 이러한 F1 습곡의 기하학적인 양상은 연구지역의 F1 습곡측면이 S0 엽리면과 거의 일치함을 지시한다. 또한, 이질 내지 사질 성분층이 보다 풍부한 호상 편마암에서 등사습곡된 장식질 성분층의 축부에서는 갈고리 모양의 층간 습곡(intrafolial fold)이, 날개부에서는 수축-팽창 구조(pinch and swell structure)가 종종 관찰된다(Fig. 5d). F1 등사습곡 날개부의 이러한 수축-팽창 구조는 덜 강인한 층(incompetent layer) 사이에 위치하는 보다 강인

한 층(competent layer)이 층면에 수직으로 작용한 수축작용에 의해 형성되는 부딩구조(Ramsay, 1967) (Fig. 5a)와 밀접한 관련성 있는 것으로 생각된다. 그리고 노두규모의 이러한 F1 등사습곡은 S0 엽리면이 고각으로 경사하고 석회암과 백운모-석영 편암이 수 매 산출되는 북부지역의 변성암류에서 빈번히 관찰된다(Fig. 6a).

F1 등사습곡의 구조요소를 등면적망의 하반구에 투영해 보면, F1 습곡축은 주로 북동-남서 구간 선주향 영역에서 저각 내지 중각 침강한다(Fig. 6b). 영역별 F1 습곡축은 NE-방향의 구조영역에서 북북동-남남서 선주향 성분이, E-방향의 구조영역에서는 동-서 선주향 성분이 각각 우세하게 나타나고, ENE-방향의 구조영역에서는 전자와 후자 사이의 점이적인 방향성을 보인다(Fig. 6b). 그리고, F1 습곡측면(Fig. 6c)은 S0 엽리면의 방향성(Fig. 4a)과 거의 일치한다.

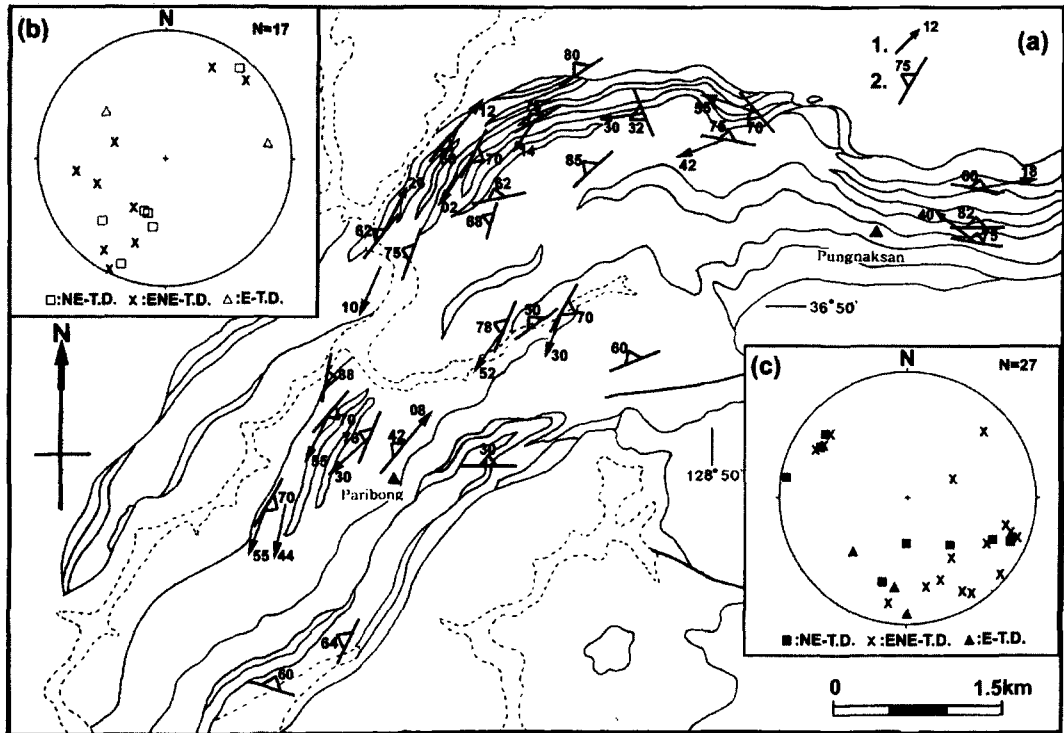


Fig. 6. (a) Orientation of the hinge lines(1) and the axial planes(2) of F1 folds in the Wonnam Formation. (b-c) Stereoplots of the hinge lines(b) and poles of the axial planes(c) of F1 folds in the Wonnam Formation.

D2 변형

D2 변형구조는 신장선구조, 압쇄구조면, S0 엽리면의 주향 방향으로 이동하는 전단운동에 의해 형성된 Z자형 비대칭 습곡 등으로 인지된다.

S0 엽리면상에서 주로 신장된 석영(집합체)과 장석(집합체)들의 정향배열에 의해 정의되는 신장선구조(Fig. 7a)의 선주향은 주로 S0 엽리면의 주향과 약 30° 이내의 저각을 이루며 S0 엽리면과 함께 분산된 방향성을 보인다(Fig. 8a). 주로 북동-남서 구간 선주향 영역에서 저각으로 침강하는 신장선구조의 영역별 방향성은 NE-방향의 구조영역에서 북북동-남남서 선주향 성분이 E-방향의 구조영역에서는 동북동 선주향 성분이 각각 우세하게 나타나고, ENE-방향의 구조영역에서는 전자와 후자 사이의 점적인 방향성을 보여준다(Fig. 8b). 신장선구조의 이러한 영역별 방향성은 전술된 F1 습곡축의 영역별 방향성과 유사하다(Fig. 6b). 또한, NE-방향의 구조영역에서 E-방향의 구조영역으로 갈수록 역시 시계방향으로 회전한다(Fig. 8).

연성전단변형에 의해 형성된 압쇄구조면은 선캠

브리아기 원남층과 중생대 각섬석 화강암에서 관찰된다. 화강암에서 발달하는 압쇄면은 주 구성광물인 석영과 장석이 신장 배열한 면에 의해 정의된다. 변형된 주 구성광물이 아원 형태로 나타나고 압쇄면의 발달이 미약한 저 변형 화강암(Fig. 7b)은 원남층을 둘러싸고 있는 북부와 남부지역의 화강암에서 관찰된다. 저 변형 화강암에 발달된 압쇄면의 방향성은 NE-방향의 구조영역에서는 남북-주향에 서쪽-경사, E-방향의 구조영역에서는 북동-주향에 북서-경사를 보인다(Fig. 8a). 주 구성광물이 신장된 납작타원 형태로 나타나고 압쇄면과 신장선구조의 발달이 탁월한 고 변형 화강암(Fig. 7c)은 남서부지역에 분포하는 화강암에서 관찰된다. 고 변형 화강암에 발달하는 압쇄면과 신장선구조는 각각 주변 원남층의 S0 엽리면과 신장선구조의 방향성과 거의 일치한다(Fig. 8a).

원남층에서 압쇄된 흔적은 일반적으로 관찰된다. 장석 잔쇄반정의 납작 타원형 신장, 석영 입자들의 침상 신장, 기질부의 구성광물이 거의 인지될 수 없을 정도로 압쇄화되어 있는 고 변형 편마암류(Fig. 7d)에서는 장석 잔쇄반정의 입도 세립화와 함께 장

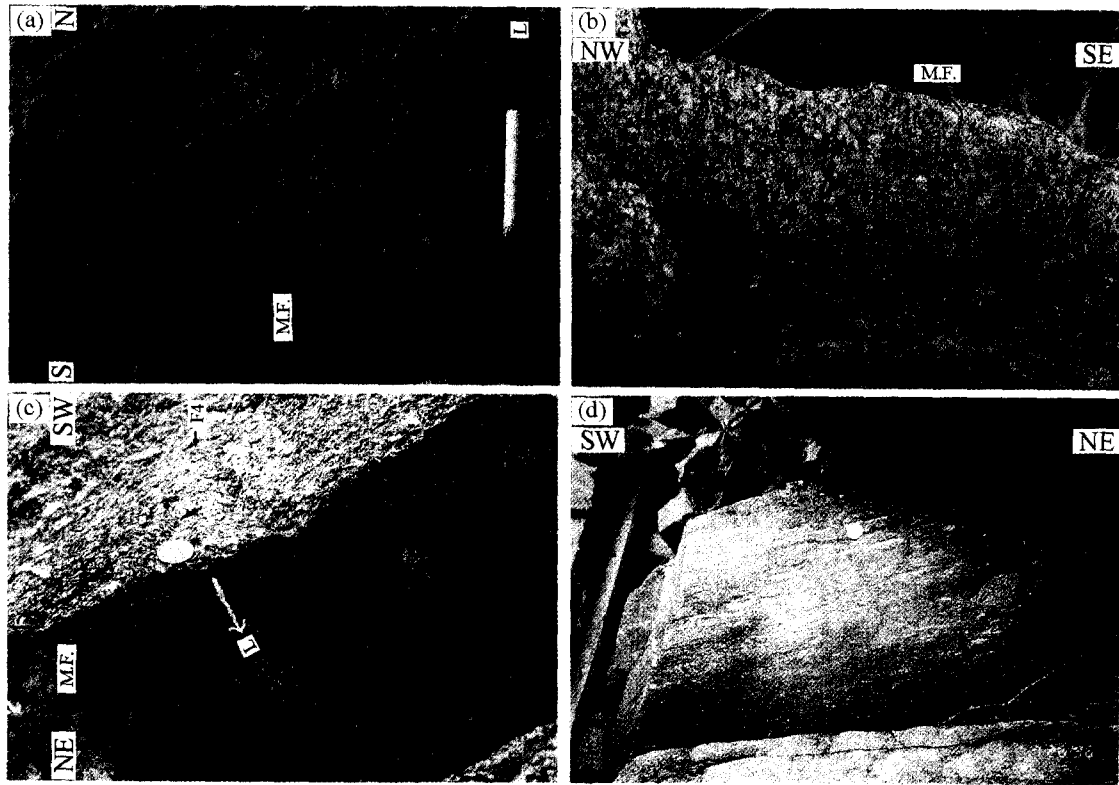


Fig. 7. Photographs of stretching lineation(L.) and mylonitic foliation(M.F.) of D2 deformation in the Wonnam Formation(a and d) and Hornblende Granite(b and c). (a) Metapelitic rock. (b) Less deformed rock. (c) More deformed rock. (d) Metapsammitic rock.

석 잔쇄반정의 함량 감소와 기질 광물의 함량 증가가 인지된다. 장석 잔쇄반정과 기질 석영 입도의 세립화와 함께 호상 편마암과 안구상 편마암의 S0 엽리면이 편마상에서 편리상으로 전이하는 암석구조는 야외에서 종종 관찰된다. 원남층의 편마암류에서 일반적으로 관찰되는 신장선구조는 이러한 편리상 엽리면상에서 보다 뚜렷하게 인지된다(Fig. 7a). 신장선구조에 평행하고 S0 엽리면에 수직한 단면상에서는 신장선구조가 연성전단변형과 관련되어 형성된 증거들과 연성전단변형 동안에 전단운동감각을 지시하는 많은 증거들이 관찰된다. 대표적인 전단 운동감각 지시자로서는 신장성 파랑엽리(Platt and Vissers, 1980) C면과 함께 물고기형 백운모의 꼬리방향에 의해 정의되는 전단엽리 C면과 백운모(001)벽개면 배열이나 세립 재결정 석영립의 형태 신장배열에 의해 정의되는 압쇄엽리 S면을 갖는 S-C 구조(Fig. 9a), 리본 석영립의 형태 신장배열 C면과 세립 재결정 석영립의 형태 신장배열 S면에 의해 인지되는 S-C 구조(Fig. 9b) 등이 있다. 이러한

미구조들과 저각으로 침강하는 신장선구조의 방향성으로부터 전단엽리 C면은 S0 엽리면과 거의 평행함을 알 수 있고, 원남층의 S0 우세 엽리면의 상부가 북쪽 내지 동쪽으로 이동하는 우수 주향의 전단 운동감각이 결정된다.

F1 등사습곡을 재습곡시키는 F2 습곡은 S0 엽리면의 주향 방향으로 그 상부가 북쪽 내지 동쪽으로 이동하는 우수 주향의 전단운동에 의해 형성된 Z자형 비대칭 습곡 형태로 관찰된다(Fig. 10). 이러한 F2 습곡의 흔적은 석회암과 백운모-석영 편암이 수매 산출되는 연구지역의 중북부에서 지질도 규모로도 인지된다(Fig. 2). 주로 북서-구간 선주향 영역에서 저각에서 고각으로 침강하는 F2 습곡축 65°/330° 부근에 보다 집중된 방향성을 보인다(Fig. 11b). 이러한 F2 습곡축의 방향은 신장선구조의 방향(Fig. 8b)과 고각을 이루고 있으며, 집중된 방향성은 분산된 S0 엽리면의 극점 배열로부터 인지된 북서-구간 방향계의 π -축 방향성(Fig. 4)과 거의 일치한다. 주로 북동-남서 구간 주향 영역에서 서쪽으로 경사하

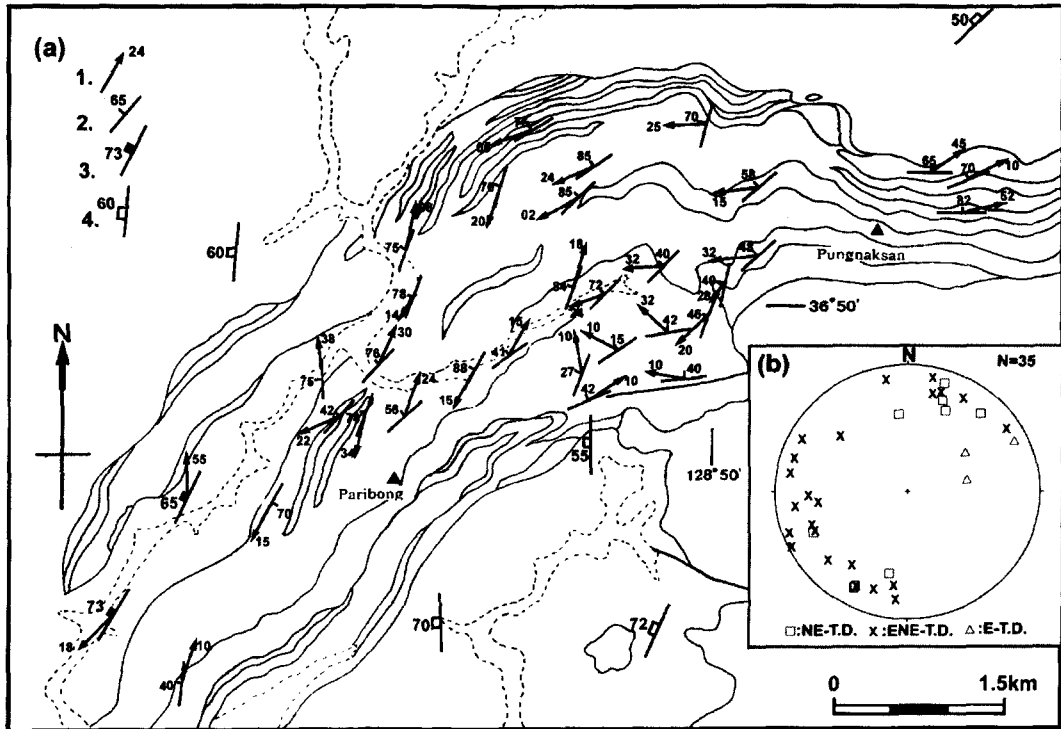


Fig. 8. (a) Orientations of stretching lineation(1) on the S0 foliation(2) of the Wonnam Formation and of mylonitic foliations in the more deformed(3) and in the less deformed Hornblende Granite(4). (b) Stereoplots of the stretching lineation in the Wonnam Formation.

는 F2 습곡축면은 N15°-20°E/55°-60°NW 부근에 우세한 방향성이 인지된다(Fig. 11c). F2 습곡축면의 이러한 주향 영역은 F1 습곡축면의 주향 영역(Fig. 6c)에 대해 반시계방향으로 약 35° 회전된 주향 영역에 해당한다. 그리고 NE-방향의 구조영역에서 E-방향의 구조영역으로 갈수록 F2 습곡축(NE-방향의 구조영역: 북서-구간 선주향 성분, E-방향의 구조영역: 북동-구간 선주향 성분)(Fig. 11b)과 F2 습곡축면(NE-방향의 구조영역: 북북서-주향 성분, E-방향의 구조영역: 동북동-주향 성분)(Fig. 11c)의 시계방향으로의 방향성 변화는 F2 구조요소 방향도에서 보다 용이하게 인지된다(Fig. 11a).

D3 변형

D3 변형구조는, D2 변형구조와 달리, S0 엽리면의 상부가 경사 방향으로 떨어지는 정전단운동에 의해 형성된 경사-이동 전단대(Fig. 12a)와 S자형 비대칭 습곡(Figs. 12b, 12c)으로 인지된다.

F1 등사습곡을 재습곡시키는 F3 습곡은 일반적

으로 준 수평적인 습곡축과 습곡축면을 갖는 개방형 횡외습곡의 형태로서 야외에서 종종 관찰된다. F1 습곡과 F3 습곡의 중첩구조에서 F3 습곡축면은 F1 습곡축면과 고각으로 사교하고 F3 습곡축과 F1 습곡축은 거의 평행하게 나타나며, F3 습곡작용에 의한 F1 습곡의 양 날개부를 구성하는 S0 엽리면의 경사 방향과 경사각의 변화가 인지된다(Figs. 12b, 12c).

Fig. 12c는 F1 등사습곡을 재습곡시키는 F2 습곡과 F3 습곡이 함께 관찰되는 원남층 석회암의 노두 사진으로서, F2 습곡과 F3 습곡은, 전술된 바와 같이, 각각 S0 엽리면의 주향-이동에 의해 형성된 Z자형 비대칭 습곡 형태와 경사-이동에 의해 형성된 S-자형 비대칭 습곡 형태에 의해 구분된다. 중첩구조가 관찰되는 노두에서 F3 습곡은 F2 습곡에 비해 보다 개방된 습곡형태를 보이고, F3 습곡축은 F2 습곡축과 고각으로 사교함이 인지된다.

F3 습곡축은 북동-남서 구간 선주향 영역에서 주로 저각으로 침강하는 방향성을 보인다(Figs. 13a, 13b). F3 습곡축면은 북동-남서 구간 주향 영역에서

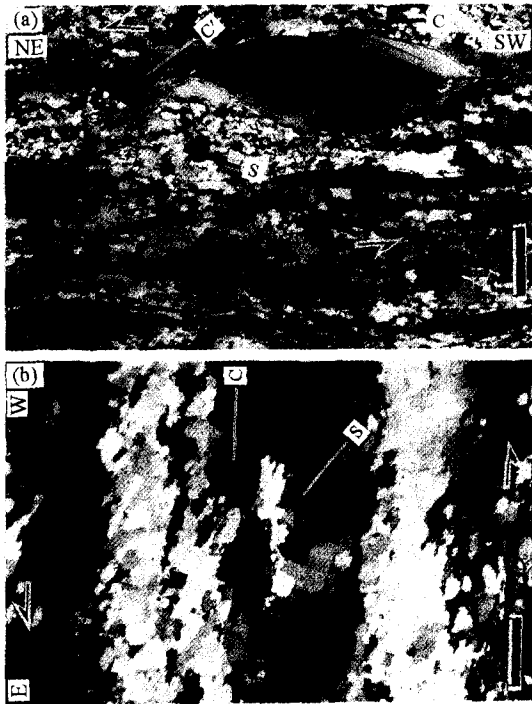


Fig. 9. Photomicrographs of microstructures related to D2 deformation in the Wonnam Formation. All are cross polars(scale bars: 0.5 mm). (a) Muscovite fish of S-C microstructure and extensional crenulation cleavages(C) indicating top-to-the-northeast sense of shear in muscovite-quartz schist. (b) S-C microstructure indicating top-to-the-east sense of shear in the quartz pools of metapelitic gneiss.

주로 북서쪽으로 지각 경사하는 방향성을 보인다(Figs. 13a, 13c). 이러한 F3 습곡축의 방향은 F2 습곡축의 방향(Fig. 11b)과 고각을 이루고, 분산된 S0 엽리면의 극점 배열로부터 인지된 북동-구간 방향계의 π -축 방향성(Fig. 4)과 거의 일치한다. 그리고 F3 습곡축의 영역별 방향성(NE-방향의 구조영역: 북동-남서 선주향 성분, E-방향의 구조영역: 동서 선주향 성분)은 전술된 F1 습곡축의 영역별 방향성(Fig. 6b)과 거의 일치하고, F3 습곡축 방향 역시 NE-방향의 구조영역에서 E-방향의 구조영역으로 갈수록 시계방향으로 점이적으로 변화한다(Figs. 13a, 13b).

D4 변형

D4 변형에 의해 형성된 F4 습곡은 각섬석 화강암의 압쇄면(Fig. 7c)과 원남층의 S0 엽리면을 습곡시키는 완사 내지 개방형 경사습곡 내지 키크형 습

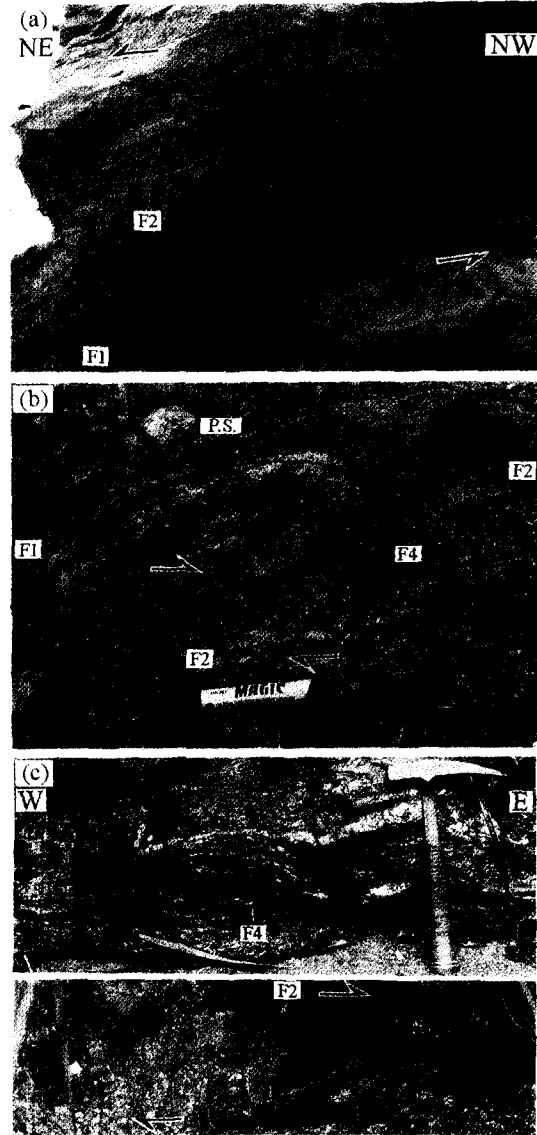


Fig. 10. Photographs of Z-shaped asymmetric F2 fold(hinge point: arrow F2) in the Wonnam Formation. (a) F2 fold superposed on F1 fold(hinge point: arrow F1) in metacarcaceous rock. (b-c) F2 folds in metapelitic(b) and metapsammitic(c) rocks. The F1 folds are refolded by open-type(b) and gentle-type(c) F4 folds(hinge point: arrow F4). PS.: pinch and swell structure developed in the limb part of F1 fold.

곡으로 인지된다(Fig. 14). 이러한 완사 내지 개방형 F4 습곡 형태는 원남층의 주요 구성암류가 대상으로 분포하는 양상과 유사하다(Fig. 2). F4 습곡축면과 F4 습곡축에는 북동과 북서 두 방향의 주향과 선주향이 각각 인지된다(Fig. 13a). 야외관찰 결과에

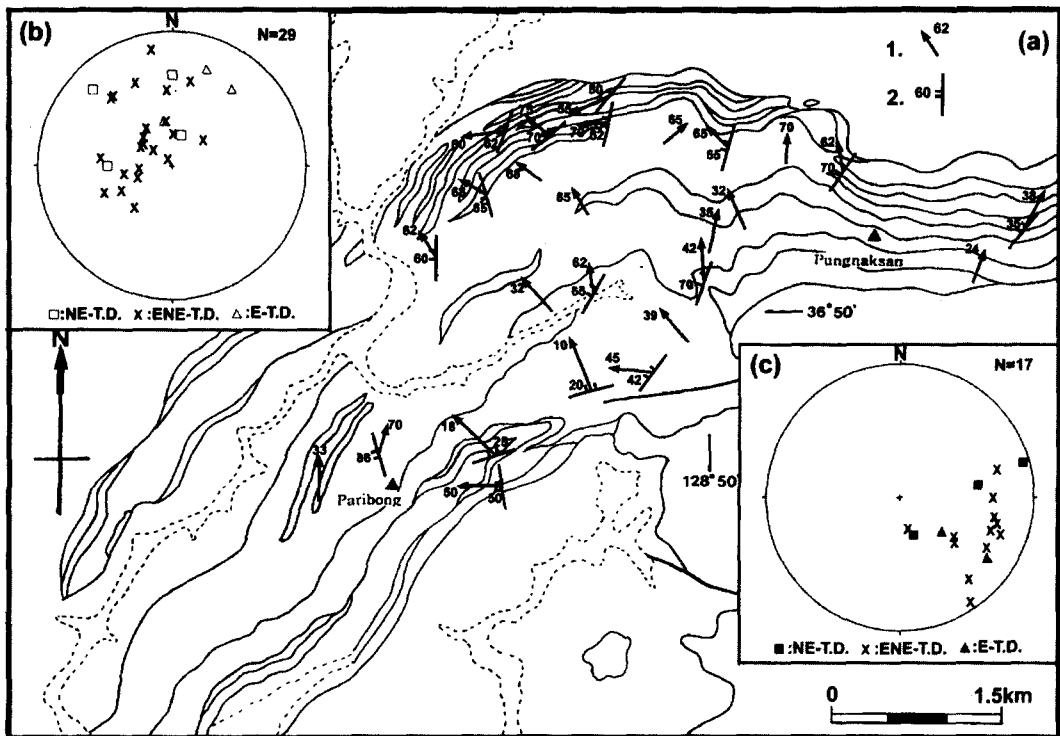


Fig. 11. (a) Orientation of the hinge lines(1) and the axial planes(2) of F2 folds in the Wonnam Formation. (b-c) Stereoplots of the hinge lines(b) and poles of the axial planes(c) of F2 folds in the Wonnam Formation.

의하면, F4 습곡은 NE-방향의 구조영역과 E-방향의 구조영역의 전이 영역에 해당하는 ENE-방향의 구조영역에서 우세하게 나타나나, 노두규모에서 F4 습곡에 의해 채습곡된 F2 습곡과 F3 습곡은 거의 관찰되지 않는다.

해 석

지질구조 발달사

경북 봉화군 상운면지역 북부 소백산육괴의 암석 및 지질구조는 원남층의 편마면 내지 편리면이 형성된 이후 적어도 네 번의 변형단계[(1) 등사습곡과 부딩구조(D1 변형), (2) 신장선구조와 압쇄구조 그리고 S0 엽리면의 주향 방향으로 이동하는 우수 전단운동에 의해 형성된 Z자형 비대칭 습곡(D2 변형), (3) S0 엽리면의 상부가 경사 방향으로 떨어지는 정전단운동에 의해 형성된 경사-이동 전단대와 S자형 비대칭 습곡(D3 변형), (4) 완사 내지 개방형 경사습곡 내지 키크형 습곡(D4 변형)]를 거쳐 형성

되었다.

F1 등사습곡은 일반적으로 준 수평적인 습곡축과 고각으로 경사하는 습곡측면을 가지며 하나의 층이 반복하여 습곡된 양상을 보인다(Fig. 5b-5d). 또한 S0 엽리면이 고각으로 경사하고 박층의 석회암과 백운모-석영 편암이 수 매 산출하는 조사지역의 중북부에서 빈번히 관찰된다(Fig. 6a). 중북부 지역에 산출되는 수 매의 석회암과 백운모-석영 편암이 단사구조로 여러개의 층이 나타난다는 해석이 있다(손치무와 김수진, 1963; 이대성과 이하영, 1963). 그러나, 이번의 연구결과는 F1 등사 습곡작용에 의해 하나의 층이 반복된 가능성을 제시한다. 또한, F1 등사습곡을 형성하는 S0 엽리면은 양 날개부에서 고각으로 경사하나 축부에서는 저각으로 경사하고(Fig. 5b-5d), 양 날개부의 S0 엽리면과 거의 평행한 고각 경사의 F1 습곡측면은 F3 개방형 횡습곡에 의해 중각 경사로 변화한다(Figs. 12b, 12c). 이러한 F1 습곡과 F3 습곡의 중첩구조는 조사지역의 중남부에서 S0 엽리면이 저각 및 중각의 경사를 보이는 백운모-석영 편암의 광범위한 산출 양상(Fig. 3)과

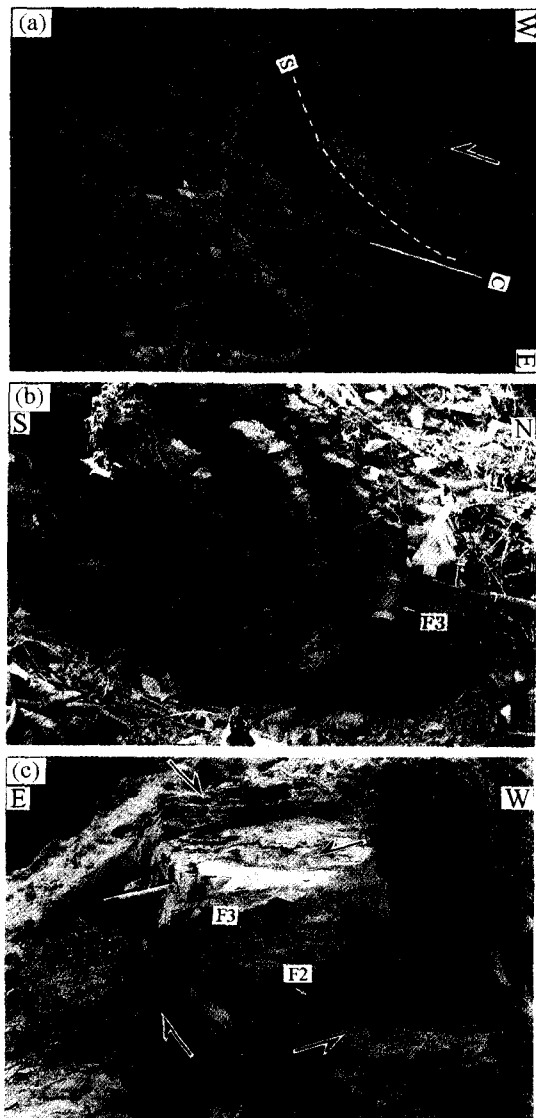


Fig. 12. Photographs of rock structures related to D3 deformation in the Wonnam Formation. (a) Normal-slip shear zone in metabasic rock. (b-c) S-shaped asymmetric F3 folds(hinge point: arrow F3) formed by normal-slip on S0 foliation in metapsammitic(b) and metacalcareous(c) rocks. Note: In the metacalcareous rock(c), the F2 fold(hinge point: arrow F2) is the same as that of Fig. 10a.

밀접한 관련성이 있는 것[F1 배사형 등사습곡의 측부 노출(저각-경사 S0 엽리면)과 F3 개방형 횡와습곡에 의해 재습곡된 F1 등사습곡의 날개부 노출(중각-경사 S0 엽리면)](Fig. 2c)으로 해석되며, 이러한 F3 횡와 습곡작용은 F1 습곡축면과 평행한 S0 엽

리면의 경사 성분을 분산시켜 S0 엽리면의 극점들을 F3 습곡축과 일치하는 북동-구간 방향계의 π -축을 갖는 π -원상에 배열시킨 것으로 해석된다(Fig. 4).

원남층 편마암류의 S0 엽리면상에는 주로 신장된 석영(집합체)과 장석(집합체)들의 정향배열에 의한 신장선구조가 발달되어 있고, 이들 신장선구조는 F1 등사 습곡축과 거의 일치하는 방향성을 보여준다(Figs. 6, 8). 그러나, 이 지역에서 빈번히 관찰되는 F1 등사습곡은 열린 납작 타원 형태로서 신장선구조의 방향이 습곡축과 거의 평행하게 나타나는 것으로 알려진 닫힌 납작 타원 형태의 칼집형 습곡(sheath-type fold)(Park, 1988; Skjerna, 1989; Goscombe, 1991)은 이 지역에서 발견되지 않는다. 또한, 신장선구조에 평행하고 S0 엽리면에 수직한 단면상에서는 예천전단대 형성과 관련된 우수 주향 이동성 전단운동감각(Chang, 1991)을 지지하는 S-C 구조들이 많이 관찰된다(Fig. 9). 이는 F1 등사 습곡축과 거의 평행한 원남층의 신장선구조가 F1 등사 습곡작용과 관련되어 형성된 변형구조이라기 보다는 예천전단대 형성과 관련된 변형구조임을 지시한다.

남서부 지역에 분포하는 고 변형 화강암의 압쇄면과 신장선구조는 주변 원남층의 S0 엽리면과 신장선구조의 방향성과 각각 일치한다(Fig. 8a). NE-방향의 구조영역에서 저 변형 화강암의 압쇄면(남북-주향, 서쪽-경사)과 고 변형 화강암의 압쇄면(북동-주향, 북서-경사)의 방향성이 사교하는 관계와 E-방향의 구조영역에서 저 변형 화강암의 압쇄면(북동-주향, 북서-경사)과 원남층의 S0 엽리면(동서-주향, 북쪽-경사)의 방향성이 사교하는 관계(Fig. 8a)로부터는 중생대 화강암의 압쇄면 형성과 관련된 우수 주향 이동성 전단 운동감각이 해석되는데, 이러한 전단운동감각은 신장선구조 형성과 F1 등사습곡을 재습곡시키는 Z자형 비대칭 F2 습곡 형성과 관련된 전단운동감각과 일치한다. 이는, 연구지역에서 예천전단대 형성과 관련된 우수 주향 이동성 연성전단변형은 F1 등사습곡이 형성된 이후에 F1 습곡축면과 평행한 S0 엽리면을 전단면으로 발생하였음을 지시한다. 또한, 연구지역의 D2 연성전단변형은 중생대 화강암과 원남층에 압쇄면, 신장선구조, F1 습곡축과 고각으로 사교하는 습곡축과 F1 습곡축면에 대해 약 35° 반시계방향의 습곡축면을 갖는 Z자형 비대칭 F2 습곡 등을 형성시켰으며, 이러한 F2 습곡작용은 S0 엽리면의 주향 성분을 분산시켜 S0 엽리면의 극점들을 F2 습곡축과 일치하는 북서-구간 방향계의 π -축을 갖는 π -원상에 배열시킨 것

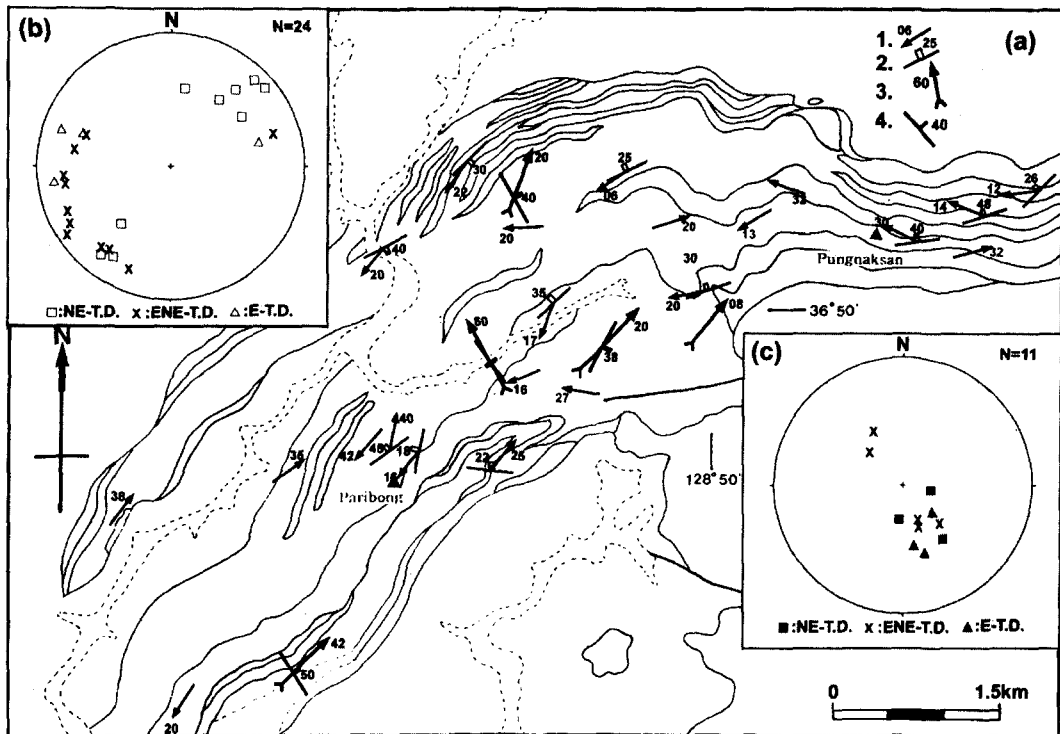


Fig. 13. (a) Orientation of F3 fold(1 and 2) and F4 fold(3 and 4) in the Wonnam Formation(1 and 3: hinge lines, 2 and 4: axial planes). (b-c) Stereoplots of the hinge lines(b) and poles of the axial planes(c) of F3 folds in the Wonnam Formation.

으로 해석된다(Fig. 4).

지질도 규모의 원남층 대상분포 양상은 NE-방향의 구조영역과 E-방향의 구조영역을 양 날개부로 하고 ENE-방향의 구조영역을 습곡축부로 하는 하나의 거대한 완사 내지 개방형 습곡 형태를 보인다(Fig. 2). 이러한 습곡 형태는 암석규모의 F4 습곡 형태(Fig. 14)와 유사하다. 이는, 원남층의 대상분포 양상이 F4 습곡작용과 밀접한 관련성이 있음을 지시한다. 또한, F1 습곡축과 평행하고 F2 습곡축과 고각으로 사교하는 준 수평적인 F3 횡와 습곡축은 NE-방향의 구조영역(북동-남서 선주향)과 E-방향의 구조영역(동-서 선주향)에서는 비교적 일정한 방향성을 보여주는 반면에 ENE-방향의 구조영역에서는 전자와 후자 사이의 접이적인 방향성을 보여준다(Fig. 13b). 이러한 영역별 방향성 특성은 D3 변형 이전의 면구조 와 선구조 요소들에서도 인지된다(Figs. 4, 6, 8, 11). D1-D3 변형 구조요소들의 이러한 영역별 방향성 특성은 역시 D3 변형 이후에 발생한 ENE-방향의 구조영역을 습곡축부로 하는 F4 습곡작용의 결과로 해석된다. 비록 F4 습곡작용과

관련된 동력학적인 방향은 지금까지의 연구자료에 의해서는 정확히 파악할 수 없으나, 일반적으로 완사 내지 개방형 습곡작용에서 습곡축부의 방향성은 변형 이전의 방향성과 가장 근접한 방향성을 유지한다는 점을 고려해 볼 때, 이 지역의 NE-방향 구조영역과 E-방향 구조영역은 F4 습곡작용에 의해 형성되었으며, D4 변형 이전에 이들 방향의 구조영역은 F4 완사 내지 개방형 습곡의 축부에 해당하는 ENE-방향의 구조영역과 평행하였음을 지시한다. 지금까지 논의한 연구지역의 지질구조 발달사를 모식도로 도시해 보면 Fig. 15와 같다.

각 변형단계의 발달시기

최근, 강지훈 외(1997)와 Kang *et al.*(1998)은 이 지역의 동쪽 연장부에 해당하고 동-서 방향의 예천 전단대가 통과하는 장군봉지역에서 선캠브리아기 원남층과 고생대 변성퇴적암류에 대한 암석구조를 포함한 미세구조 연구를 통하여 장군봉지역의 동-서 방향 구조선은 고생대 퇴적암류가 형성된 이후,

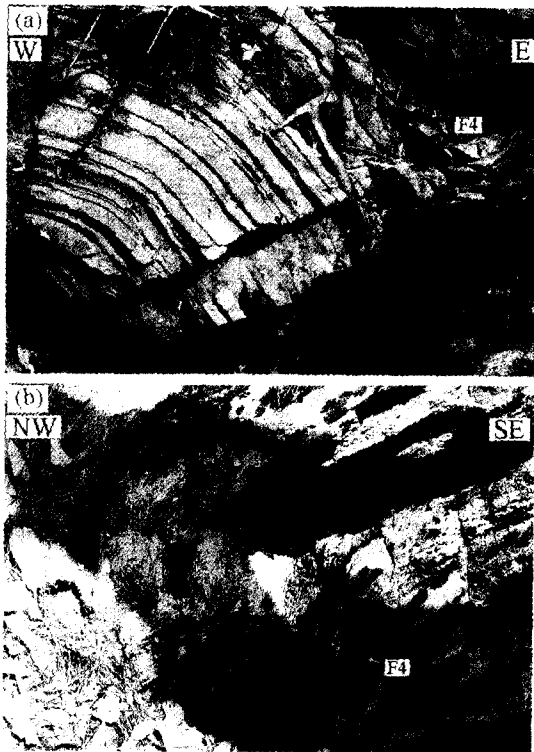


Fig. 14. Photographs of rock structures related to D4 deformation in the Wonnam Formation. (a) Open-type F4 fold in metacalcareous rock. (b) Kink-type F4 fold in quartz schist.

새 번의 변형단계(D1 변형: 동-서 방향의 준 수평적인 습곡축과 북쪽으로 고각 경사하는 습곡축면을 갖는 등사 습곡작용, D2 변형: 동-서 방향의 신장선 구조와 예천전단대 형성과 관련된 연성전단변형, D3 변형: 동-서 방향의 준 수평적인 습곡축과 북쪽으로 저각 내지 중각 경사하는 습곡축면을 갖는 개방형 횡와 습곡작용)를 걸쳐 형성되었음을 제시하고, 이러한 동-서 방향의 구조 요소는 북서쪽으로 침강하는 습곡축과 남서쪽으로 경사하는 습곡축면을 갖는 키크형 습곡작용에 의해 부분적으로 재배열되었음을 언급하였다. 이번 조사지역의 지질구조 발달사도 앞서의 연구결과와 거의 일치한다.

또한, 강지훈 외(1998)는 장군봉지역의 중생대 춘양화강암에서 동-서 방향의 예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형의 흔적은 찾아 볼 수 없고, D2 연성전단변형에 의해 재결정된 세립 석영립들이 춘양화강암의 접촉부로 갈수록 열변성작용에 의해 조립화되어 그들의 형태 신장방향은 거의 인지할 수 없음을 지적하고, 장군봉지역에서의 D2 연성

전단변형은 춘양화강암의 관입 이전에 발생하였음을 제한한 바가 있다. 이러한 연구결과는, D2 변형을 겪은 연구지역의 각섬석 화강암과 장군봉지역의 춘양화강암은 동시대 화강암이라기 보다는 각각 예천전단변형 이전과 그 이후의 화강암이었음을 지시한다. 이는, 각섬석 화강암과 춘양화강암이 동시대 화강암이라는 가정하에 이들 화강암체로부터 측정된 각각의 Rb-Sr 전암 동위원소 자료를 구분함이 없이 함께 접시한 등시선으로부터 해석된 이들 화강암체의 관입 또는 정치연대[$224 \pm 10\text{Ma}$ (주승환, 1988); $220 \pm 27\text{Ma}$ (진명식과 장보안, 1999)]는 재고되어야 함을 의미한다. 그리고, 춘양화강암에 의한 접촉변성광물의 맨틀부가 전기 F3 미습곡 자취를 포획하나 후기 F3 미습곡 자취에 의해 포획되는 미세구조로부터 장군봉지역 D3 개방형 횡와 습곡작용의 상대적인 발생시기를 춘양화강암의 관입 후기 단계로 설정된 바가 있다(강지훈 외, 1998).

따라서, 연구지역의 지질구조 발달사와 장군봉지역의 지질구조 발달사가 거의 일치함을 고려해 볼 때, 비록 호남전단대의 발달시기에 대한 다양한 연구결과[$228\text{-}211\text{Ma}$ (트라이아스기 말기), $183\text{-}176\text{Ma}$ (จู라기 중기), $\pm 160\text{Ma}$ (จู라기 말)](cf. 권성택과 이진한, 1997; 진명식과 장보안, 1999)와 함께 순창전단대로부터 분리된 예천전단대의 절대적인 발달시기는 아직까지 불확실하나, 연구지역의 D1 변형은 장군봉지역 평안층군의 동수곡층이 퇴적된 폐륜기 이후, D2 변형은 각섬석 화강암이 관입된 이후, 춘양화강암이 관입되기 이전, 그리고 D3 변형은 춘양화강암의 관입 후기단계에 각각 발생되었음을 유추할 수 있다. 그리고, 이러한 변형단계별 상대적인 발생시기와 함께 연구지역의 동-서 방향 구조선과 북동-남서 방향 구조선이 D3 변형 이후 완사 내지 개방형 습곡작용에 의해 형성되었음을 지시하는 이번의 연구결과는 이 지역과 유사한 구조선 방향을 보이는 북동부 옥천대에서 동-서 방향 구조선과 북동-남서 방향 구조선의 선후관계와 형성시기[선동-서방향(트라이아스기), 후북동-남서방향(จู라기) 습곡구조선 형성론(김옥준, 1970; 강필중 외, 1976; 김정환과 최원학, 1990)과 선북동-남서방향(จู라기) 후동-서방향(백악기) 습곡구조선 형성론(정창희, 1976; 김봉균 외, 1986; 이재영과 박봉순, 1982)] 등의 논의와 비교 검토해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

예천전단대가 통과하고 북동-남서 방향의 구조선

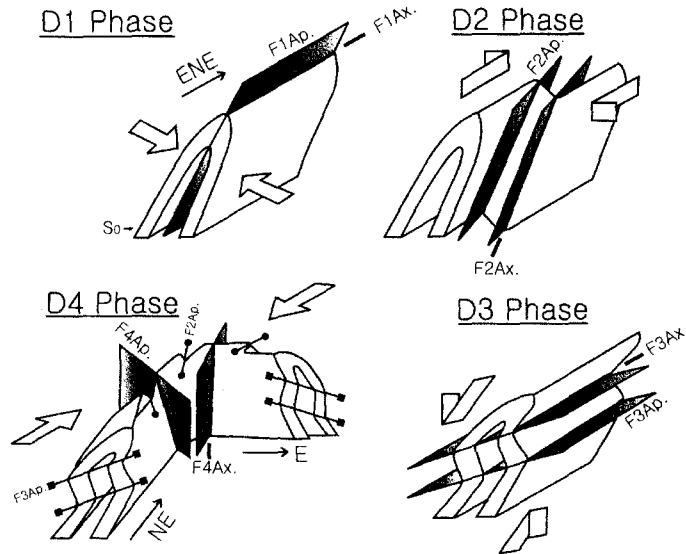


Fig. 15. Schematic diagram illustrating rock structures and deformation history in the study area.

과 동-서 방향의 구조선이 발달하고 있는 경상북도 봉화군 상운면지역에서 북부 소백산육괴의 지구조 발달과정을 규명하기 위해 선캠브리아기 원남층과 중생대 각섬석 화강암에 대한 상세한 야외지질조사를 실시하였다. 그 결과, 연구지역의 암석 및 지질 구조는 원남층의 편마면 내지 편리면이 형성된 이후 적어도 네 번의 변형단계(예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형 이전에 한 번의 습곡작용과 D2 연성전단변형 이후에 적어도 두 번의 습곡작용)를 걸쳐 형성되었고, D4 변형 이전 동북동-서남서 방향으로 추정되는 이 지역의 북동-남서 방향의 구조선과 동-서 방향의 구조선은 동북동-서남서 방향의 구조선을 습곡축부로 하는 하나의 거대한 완사 내지 개방형 F4 습곡작용에 의해 형성되었음을 알게 되었다. D1-D3 변형작용에 의해 형성된 연구지역의 암석 및 지질구조의 특성과 연구지역의 동쪽 연장부에 해당하는 장군봉지역에서의 기존 연구 결과(강지훈 외, 1997, 1998)를 비교 종합하여 이들 각 변형작용의 상대적인 발생시기를 요약하면 다음과 같다.

1. D1 변형은 준 수평적인 습곡축과 고각-경사하는 습곡축면을 갖는 F1 등사습곡과 F1 습곡축에 평행한 선상배열을 보이는 부딩구조 형성과 관련된 변형작용으로서, 이러한 변형작용은 장군봉지역 평안층군의 동수곡층이 퇴적된 폐름기 이후에 발생하여 이 지역에 광역적인 동북동-서남서 방향의 지질 구조 형성과 원남층 구성암류의 반복된 산출양상을

초래하였다.

2. D2 변형은 원남층의 우세한 엽리면을 전단면으로 하여 전단면의 상부가 동북동쪽으로 이동하는 우수 주향 이동성 대규모 연성전단운동 발생기(연구지역의 각섬석 화강암이 관입된 이후-장군봉지역의 춘양화강암이 관입되기 이전)로서, 이러한 변형작용에 의해 압쇄구조면과 신장선구조 그리고 F1 습곡축과 고각으로 사교하는 습곡축과 F1 습곡축면에 대해 약 35° 반시계방향의 습곡축면을 갖는 주향 이동성 Z자형 비대칭 습곡이 형성되었다.

3. D3 변형은 원남층의 우세한 엽리면의 상부가 경사 방향으로 떨어지는 정전단운동에 의해 경사-이동 전단대 및 F1 습곡축과 평행한 습곡축과 준 수평적인 습곡축면을 갖는 S자형 비대칭 습곡을 형성시켰다. 이러한 변형작용은 춘양화강암의 관입 후기단계에 발생하였으며, F1 등사습곡에 중첩된 S자형 비대칭 F3 습곡은 연구지역의 중남부에 원남층의 백운모-석영 편암의 광범위한 산출양상을 초래하였다.

사 사

논문을 세심하게 심사하여 여러 가지 지적과 도움 말씀을 주신 한국자원연구소의 류충렬 박사님과 고희재 박사님에게 깊은 감사를 드린다. 야외조사와 실내작업에 도움을 준 안동대학교 구조지질학 실험실의 학부생과 대학원생들에게 깊은 사의를 표

한다. 이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 학술연구비(BSRI-98-5422)에 의하여 지원되었다.

참고문헌

강지훈, 김형식, 오세봉, 1997, 장군봉지역 선캠브리아 대-고생대 변성퇴적암류의 지질구조-북부 소백산육괴의 중앙부 지역의 지각진화와 환경지질. 암석학회지, 6, 244-259.

강지훈, 오세봉, 김형식, 1998, 장군봉지역 북부 소백산육괴의 고생대 변성퇴적암류에 대한 변형작용과 변성작용 사이의 상대적인 시간관계. 암석학회지, 7, 190-206.

강필중, 김의홍, 임정웅, 1976, Landsat-1 영상에 의한 태백산지역 지질구조와 암석분포 상태에 관한 연구 (1). 지질학회지, 13, 53-70.

권성택, 이진환, 1997, 호남전단대의 운동시기에 관한 소고. 지질학회지, 33, 183-188.

김봉균, 정창희, 백광호, 김정환, 김정률, 1986, 한반도 지각의 진화에 관한 연구(태백산 동부지역을 중심으로) 1편: 삼척탄전 동부의 층서, 고생물 및 지질구조. 지질학회지, 22, 21-39.

김옥준, 1970, 남한 중부지역의 지질과 지구조. 광산지질, 2, 73-90.

김정환, 최원학, 1990, 삼척탄전 증산-사북지역의 지질구조. 지질학회지, 26, 154-164.

김정환, 기원서, 1991, 화순탄전에 발달된 순창전단대의 구조적 특성. 지질학회지, 27, 642-655.

손치무, 김수진, 1963, 한국지질도(1: 50,000), 춘양도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 28p.

이대성, 이하영, 1963, 한국지질도(1: 50,000), 예안도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 22p.

이병주, 김동학, 전경석, 1990, 한반도 남서부 영광읍부근 연성전단대의 변형특성 연구. 지질학회지, 26, 304-312.

이병주, 1992, 화순탄전 북부지역에서 우수향 연성주향 이동운동에 관련된 변형작용. 지질학회지, 28, 40-51.

이재영, 박봉순, 1982, 백운산 향사 서단부의 구조계층과 습곡작용의 과정. 광산지질, 15, 41-47.

장태우, 한영민, 1989, 전주 부근 화강암의 연성변형작용에 관하여. 지질학회지, 25, 164-174.

장태우, 1994, 광주 전단대내 석영 분쇄암의 미구조에 관한 연구. 지질학회지, 30, 140-152.

주승환, 1988, 영남육괴 Rb/Sr연대측정 연구 (IV) (목포 지구 화강편마암, 태백지구 울리통 및 화강암류). 한국동력자원연구소, KR-87-27, 1-49.

진명식, 장보안, 1999, 소백산육괴 동북부 영주-춘양지역의 트라이아스기말-유라기초 화강암체의 열사 및 그 지구구조적인 의의. 지질학회지, 35, 189-200.

정창희, 1976, 삼척탄전의 지질구조. 학술원 논문집, 247-277.

Berth, D., Choukroune, P. and Jegouzo, P., 1979, Orthogeneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: the example of the South Armorican

Shear Zone. Journal of Structural Geology, 1, 31-42.

Chang, T.W., 1991, On the microstructures of mylonitic rocks -with special reference to Yecheon shear zone, Korea-. Journal of the Geological Society of Korea, 27, 177-190.

Chwae, U. C. et al., 1995, Geological map of Korea(1: 1,000,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials.

Cluzel, D., Lee, B. J. and Cadet, J. P., 1991, Indosinian ductile dextral fault system and synkinematic plutonism in the southwest of Ogcheon belt (S. Korea). Tectonophysics, 194, 131-151.

Ghosh, S. K., 1993, Structural geology: fundamentals and modern developments. Pergamon press, Oxford, 598 p.

Goscombe, B., 1991, Intense non-coaxial shear and the development of mega-scale sheath folds in the Arunta Block, Central Australia. Journal of Structural Geology, 13, 299-318.

Kang, J. H., Kim, H. S. and Oh, S. B., 1998, Geological and rock structures of the North Sobaegsan Massif in the Janggunbong area, Korea. In: Koh, H.J. and Lee, B.J.(eds.), Tectonic Evolution of East Asia, First Joint Meeting of Japanese and Korean Structure and Tectonic Research Groups, Seoul, 147-153.

Lee, D. S., 1987, Geology of Korea. Geological Society of Korea, Kyohaksa, Seoul, 514 p.

Lister, G.S. and Snoke, A.W., 1984, S-C mylonite. Journal of Structural Geology, 6, 617-638.

Park, A.F., 1988, Geometry of sheath folds and related fabrics at the Luikonlahti mine, Svecokarellides, eastern Finland. Journal of Structural Geology, 10, 487-498.

Platt, J.P. and Vissers, R.L.M., 1980, Extensional structures in anisotropic rocks. Journal of Structural Geology, 2, 397-410.

Ramsay, J. P., 1967, Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill company, New York, 560 p.

Reedman, A. J. and Um, S. H., 1975, Geology of Korea. Korea Institute of Energy and Resources, Seoul, 139p.

Skjerna, L., 1989, Tubular folds and sheath folds: definitions and conceptual models for their development, with examples from the Grapesvare area, northern Sweden. Journal of Structural Geology, 11., 689-703.

Yanai, S., Park, B. S. and Otoh, S., 1985, The Honam shear zone (S. Korea): deformation and tectonic implication in the Far East. Scientific Papers of the College of Arts and Sciences, University of Tokyo, 35, 181-210.

(책임편집: 류충렬)
(2000년 11월 10일 접수, 2000년 12월 5일 수리)

Structural Analysis of the North Sobaegsan Massif in the Sangun-myeon area, Bonghwa-gun, Korea

Ji-Hoon Kang and Hyung Shik Kim¹

Department of Earth and Environmental Sciences, College of Natural Science,
Andong National University, Andong 760-749, Korea,
Department of Earth and Environmental Sciences, College of Science,
Korea University, Seoul 136-701, Korea

Abstract : To clarify the geological structure of North Sobaegsan Massif in the Sangunmyeon area, Bonghwagun, Korea, where the Yecheon Shear Zone passes and the NE-SW and E-W trending structural lineaments are developed, the rock-structures of its main constituent rocks(Precambrian Wonnam Formation and Mesozoic Hornblende Granite) were examined. In this area, the geological structure was formed at least by four phases of deformation after the formation of gneissosity or schistosity of the Wonnam Formation: one deformation before D2 ductile shearing related to the formation of the Yecheon Shear Zone and two deformations after that. The NE-SW and E-W trending structural lineaments were formed by a giant open or gentle type of F4 fold, and their trends before D4 deformation are interpreted to be parallel to the orientation(ENE-WSW trend) of folded surface in the F4 hinge zone. The structural features of D1-D3 deformations and their relative occurrence times are as follows. D1 deformation is formative period of the boudin structures and ENE-WSW trending isoclinal folds with sub-horizontal hinge lines and steeply inclined axial surfaces. D2 deformation is that of the mylonite foliation, stretching lineation and Z-shaped asymmetric folds related to top-to-the ENE dextral strike-slip shearing on the distinct foliations of Wonnam Formation(after intrusion of Mesozoic Hornblende Granite). D3 deformation is that of the ENE trending S-shaped asymmetric folds with sub-horizontal hinge lines and axial surfaces related to normal-slip shearing on the distinct foliations. It is expected that the result will be contributed to as valuable data for interpreting the tectonic evolution of the North Sobaegsan Massif and the Northeast Ogcheon Belt whose tectonic lineaments are changed from NE-SW to E-W trends at the Sindong-Bonghwa line.

Key words : North Sobaegsan Massif, Yecheon Shear Zone, structural lineament, tectonic evolution