

충주 계명산지역 옥천변성대의 화성활동과 지질구조

강지훈 · 류충렬¹

안동대학교 지구환경과학과, ¹한국자원연구소 환경지질연구부

요 약 : 옥천변성대의 북동부에 위치하고 있는 충주 계명산지역은 옥천누층군(대항산 규암층, 향산리 돌로마이트층, 계명산층)과 이들을 관입하고 있는 중생대 충주화강암으로 주로 구성되어 있다. 계명산층의 주요 구성암류는 역질암, 염기성질암, 산성질암, 이질암 그리고 사질암 기원의 다양한 변성도를 보이는 변성암류로 되어 있고, 염기성질암과 산성질암을 교호 내지 설상으로 산출한다. 이는 염기성질암과 산성질암이 열곡환경의 바이모달(bimodal)형 화성활동의 산물이었음을 제안한다. 또한, 열린 납작 타원형 분포를 보이는 역질암의 외곽부에는 주로 화산암형 산성질암이 분포하고 그의 중심부에는 화산암형 산성질암과 함께 심성암형 산성질암이 분포한다. 이는 역질암 형성 이전의 산성질암 화성활동은 역질암 형성과 동시기 내지 이후의 산성질암 화성활동과 그의 산상에서 차이점이 있음을 의미한다. 충주 계명산지역 옥천변성대의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성되었다. 첫 번째 변형(D1 변형)은 북북서 내지 북서 주향에 서남서 내지 남서 방향으로 경사하는 습곡축면(S1)과 서쪽으로 침강하는 습곡축을 보이는 동쪽으로 닫힌 하나의 거대한 칼집형(sheath-type)습곡(F1 습곡)을 형성시켰다. 그 결과, 서쪽으로 침강하는 신장선구조(L1)가 형성되었다. 두 번째 변형(D2 변형)은 북북동 내지 북동 주향의 습곡축면(S2)과 20~45°/210~230° 방향의 습곡축(L2)을 보이는 동남동 내지 남동 버전스(vergence)의 비대칭 습곡(F2 습곡)을 형성시켰다. 그 결과, 서쪽으로 침강하는 원래의 L1 방향은 F2 습곡의 하위 날개(역전된 날개)부에서 북서쪽으로 침강하는 L1으로 재배열되었다. 세 번째 변형(D3 변형)은 45°/265° 방향의 습곡축을 갖는 세브론(chvron)형 습곡(F3 습곡)으로, 남북 방향의 압축작용에 의해 형성된다. 그 결과, 원래의 L2 방향(20~45°/210~230° 방향)은 주로 35~45°/260~280° 방향과 부수적으로 30~45°/135~165° 방향의 L2로 재배열된다. D3 변형 이후, 동서 방향의 압축작용으로 형성된 남북 주향에 고각 경사의 습곡축면과 준 수평적인 습곡축을 갖는 열린(open)습곡이 관찰된다.

핵심어 : 충주 계명산지역, 화성활동, 구조해석, 칼집형 습곡, 비대칭 습곡, 세브론형 습곡

서 론

한반도 중남부 지역에 북동-남서 방향으로 발달하고 있는 옥천대는 주로 선캠브리아기 편마암 복합체로 구성된 경기육괴와 영남육괴에 의해 각각 그의 북서부와 남동부가 경계져 있다(Fig. 1a). 옥천대에 대한 지체구조론적 연구는 한반도를 포함한 동북 아시아의 지질 및 지체구조를 이해하고 해석하는데 매우 중요함으로 지금까지 많은 국내·외 연구자들에 의해 수행되어져 왔다(김옥준, 1970; Lee, 1973; Reedman *et al.*, 1973; Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994; Koh and Kim, 1995). 그러나, 다변성-다변형 작용을 겪은 옥천누층군(장태우 외, 1988; Chang, 1988; Cluzel *et al.* 1990, 1991; Kang *et al.*, 1993; Kang, 1994; Koh and Kim, 1995; 김현철 외, 1995; 오창환 외, 1995; Oh *et al.*, 1995)에서의 유사암상류에 대한 기존 층명의 다양함은 옥천변성대의 구성암

상류에 대한 지역별 층서대비(최위찬과 김동학, 1981) 및 구조해석(Kang *et al.*, 1993; Kang, 1994)에 많은 혼란을 가져왔으며, 나아가 옥천(변성)대의 지체구조 형성과 관련된 지구조운동을 이해하는데 많은 어려움을 주고 있는 실정이다.

옥천변성대의 북동단부에 위치하는 충주 계명산 지역(본 연구지역)(Fig. 1)은 계명산 일대를 표식지로 하여 명명된 계명산층과 향산리 돌로마이트층 그리고 대항산 규암층 등의 지층군과 이들을 관입한 중생대 충주 화강암으로 구성되어 있다(김기완과 이흥규, 1965; 이민성과 박봉순, 1965; 박봉순과 여상철, 1971). 이들 지층군에 대한 시대 및 층서적 상하관계는 충주도폭(김기완과 이흥규, 1965)과 황강리도폭(이민성과 박봉순, 1965)에서 옥천계와 조선계 사이에 위치한 시대미상의 역전된 지층군(구조적 상위층이 층서적으로 하위층을 나타냄)으로 해석된 이래 여러 연구자들에 의해 다양한 의견이

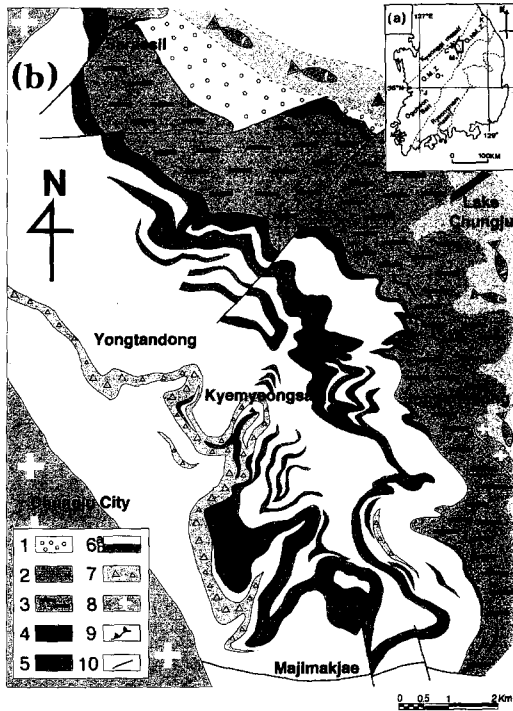


Fig. 1. (a) Index map of the Kyemyeongsan area, Chungju. O.M.Z. : Ogcheon metamorphic zone, O.N.M.Z. : Ogcheon non-metamorphic zone, K : Kangneung, C : Chungju, M : Mungyeong, O : Ogcheon, J : Jeonju, Mo : Mogpo, thick arrow : Fig. 1b (study area). (b) Geological map of the Kyemyeongsan area, Chungju. 1 : quartzites, 2 : pelitic rocks, 3 : calcareous rocks, 4 : conglomeratic rocks, 5 : basic rocks, 6 : acidic rocks(a : volcanic-type, b : plutonic-type), 7 : unclassified psammitic, pelitic and acidic rocks, 8 : Mesozoic Chungju granites, 9 : nappe boundary, 10 : faults.

제시되어 왔다(손치무, 1970; 김옥준, 1970; 이대성 외, 1972; 이종혁, 1972). 그러나, 이들 지층군에서 나타나는 사층리 및 점이층리(Reedman *et al.* 1973; 최위찬과 김동학, 1981) 그리고 층리면과 1차 엽리면 사이의 경사관계(임명혁 외, 1991)에 의해 하부로 부터 대향산 규암층, 향산리 돌로마이트층 그리고 계명산층 순으로 되어 있는 구조적 층순이 곧 층서적 층순임이 제안된 바가 있다. 연구지역의 남서 연장부에 위치한 향산리지역의 향산리 돌로마이트층에서는 이대성 외(1972)에 의해 전기-중기 캄브리아기의 아케오사이아타(Archaeocyatha)화석이 발견된 바 있다.

나기창(1981)에 의해 기존의 계명산층은 보다 다양한 주요 암종들(합철 규암, 사질편마암 · 편암 · 천매암, 변질화산암, 사질 천매암질암, 변성화산암,

고기 각섬암 등)로 구성되어 있음이 보고된 바 있다. Cluzel 외.(1990)는 옥천누층군을 고생대 초기 열곡 환경의 화산암 및 퇴적암의 변성 · 변형작용의 산물임을 제안하고 그들의 상부 두 번째 단위인 충주 지구조단위(본 연구지역)에서는 열곡운동에 수반되는 바이모달(bimodal)형 화성활동 산물이 다량 산출된다고 보고한 바가 있다. 또한, Kang(1994)은 충주-장선리 지역(본 연구지역의 일부를 포함한 그 북동부 일대)에서 암상단위 구분에 바탕을 둔 지질 및 지체구조 해석에 있어서 옥천누층군의 상위층서단위의 대표적인 구성암상인 산성질암은 구조적 최상부 단위에 해당하는 계명산 지구조단위(본 연구지역)로 향해 그 산출량이 증가하고, 보다 하위 지구조 단위들에서 산출되는 산성질암은 거의 화산암인 반면에 계명산 지구조단위의 산성질암은 화산암과 심성암이 동시에 산출됨을 지적하여 옥천퇴적분지에서 계명산 지구조단위는 산성암질 화산암-심성암형 화성활동의 중심부이었음을 제안한 바가 있다.

이와 같이 연구지역을 구성하고 있는 옥천누층군은 구조적 상부가 층서적 상부임이 제안되고(Reedman *et al.*, 1973; 최위찬과 김동학, 1981; 임명혁 외, 1991), 향산리 돌로마이트층에서 캄브리아기 화석이 발견되었으며(이대성 외, 1972), 연구지역의 계명산층에는 옥천퇴적분지의 고환경이 열곡환경이었음을 지시하는 바이모달형 화성활동의 산물이 다량으로 산출되는(나기창, 1981; Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994) 등 옥천변성대에서 연구지역에 대한 지질 연구는 최근 상당한 속도로 진행되어 왔다. 그럼에도 불구하고 지금까지 연구지역에서 옥천변성대의 지질구조에 관한 연구는 거의 이루어지고 있지 못한 실정이다. 이는 나기창(1981)에 의해 이미 언급된 바와 같이, 연구지역의 계명산층에 산출되는 다양한 주요 암종에 대한 암상구분 없이 충주도폭에서 명명된 하나의 지층명을 그대로 사용하여 지질구조를 해석하려는 경향에서 비롯된 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구는 충주 계명산지역(Fig. 1)에서 기존의 계명산층에 대한 상세한 야외지질조사를 통하여 구성암상류의 분포를 파악하고, 암석구조와 암상단위 구분에 의한 상세한 지질도를 작성함으로써 옥천변성대의 지구조 발달과정을 파악하기 위해 절대적으로 수행되어야만 한다고 생각되는 충주 계명산지역의 지질구조 발달과정을 밝히고자 한다.

암석기재

충주도폭(김기완과 이홍규, 1965)의 북동부와 황

강리도폭(이민성과 박봉순, 1965)의 북서부 그리고 목계도폭(박봉순과 여상철, 1971)의 남동부 일부를 접하고 있는 연구지역은 대향산 규암층과 향산리 돌로마이트층 그리고 계명산 일대를 표식지로 하여 명명된 계명산층으로 주로 구성되어 있다. 이들 옥천 변성암류는 중생대 충주화강암에 의해 관입되어 있다(Fig. 1b). 그러나, 이미 서론부에서 언급된 바와 같이, 계명산층은 단일 암층으로 구성된 것이 아니라 암상을 달리하는 여러 주요 암석들로 구성되어 있고(나기창, 1981; Cluzel *et al.* 1990; Kang, 1994), 종래와 같은 층단위 구분보다는 암상단위 구분에 의한 지질도 작성이 연구지역의 지질구조를 보다 명료하게 해석할 것으로 판단되어, 상기의 층단위(특히 계명산층)에 대한 암상단위 구분을 시도하였다. Fig. 1b는 암상단위 구분에 의해 작성된 지질도이며, 본 연구자들이 구분한 암상에 대해 기재하고자 한다.

대향산 규암층은 석영사질암 기원의 유백색 규암

내지(운모)석영 편암으로 주로 구성되어 있고 연구지역의 북단에 분포한다(Fig. 1b). 규암은 석영 입자들의 모자이크 구조가 특징적이며 약간의 운모를 협재한다. (운모)석영 편암은 석영, 흑운모, 백운모, 녹니석 등으로 주로 구성되어 있다. Reedman 외.(1973)와 최위찬과 김동학(1981)은 이들 암석에서 사층리 및 접이층리에 의해 그 층서가 정상위임을 밝힌 바가 있다.

향산리 돌로마이트층은 이질암 기원의 운모 편암, 염기성질암 기원의 녹색암(greenstone) 그리고 탄산염질암 기원의 결정질 석회암으로 주로 구성되어 있고 연구지역의 북동부에서 북서-남동 방향으로 대상 분포한다(Fig. 1b). 탄산염질암 기원의 결정질 석회암은 고회석과 석회석을 주로 하는 암석으로서 우백색 내지 담홍색을 띄며 종종 규질 엽층(lamina)과 호층을 이루고 있다. 구조적 상부와는 후술할 계명산층의 염기성질암 혹은 산성질암과 접하고 구조적 하부와는 염기성질암과 대향산 규암층

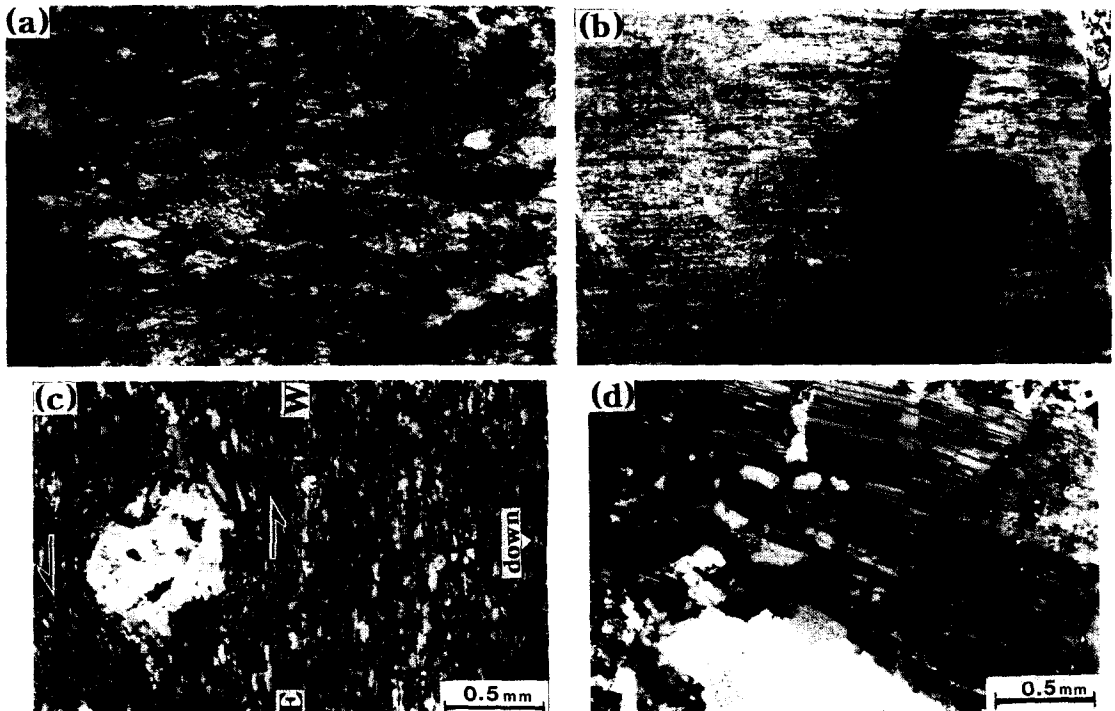


Fig. 2. Photographs(a-b) and photomicrographs(c-d) of characteristic rock types in the Kyemyeongsan area. (a) Conglomeratic rocks which mainly contain pebbles of acidic rocks with basic matrix. (b) Acidic rocks(white) alternating with thin layers of basic rocks(black). (c) Volcanic-type acidic rock with fine-grained matrix(quartz, feldspar, biotite, etc.). Cross polars. The K-feldspar porphyroblast with asymmetric tails indicates sinistral(top-to-the-east) shear sense. The thin section was made perpendicular to S1 foliation and parallel to mineral lineation. The foliation is parallel to the side of the photomicrograph. (d) Plutonic-type acidic rocks with coarse-grained plagioclase and dynamically recrystallized fine-grained feldspars. Cross polars.

의 석영사질암 기원의 변성암류와 접하고 있으며 렌즈상의 염기성질암을 곳곳에 협재하고 있다.

계명산층은 역질암, 산성질암, 염기성질암, 이질암 그리고 사질암 기원의 변성암류로 주로 구성되

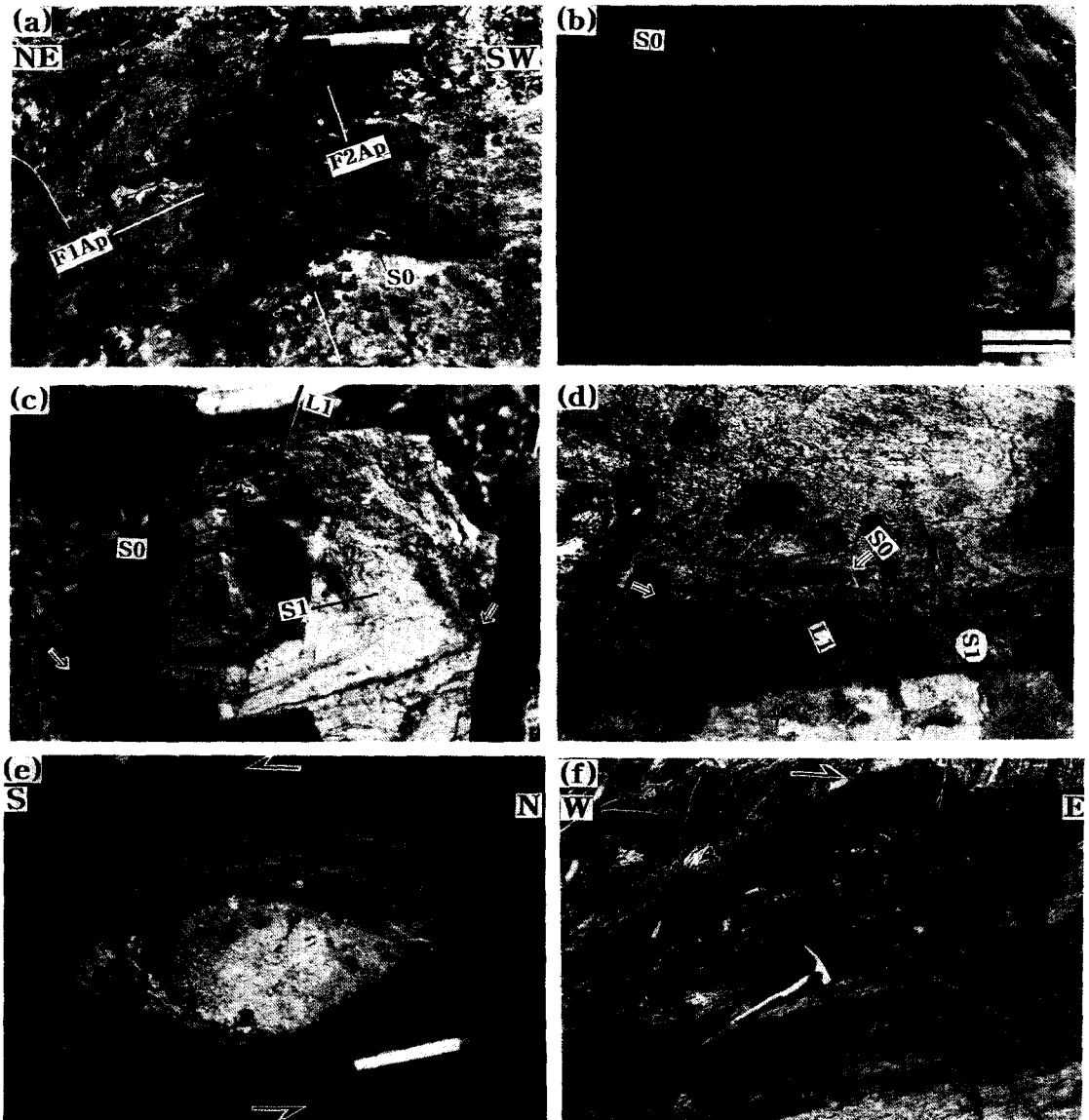


Fig. 3. Photographs of rock structures related to D_1 deformation in the Kyemyeongsan area. (a) F1 tight isoclinal fold with subhorizontal axial plane(F1Ap) formed by the siliceous layers(S0) embedded in the calcareous rocks. The F1 fold is refolded by the following F2 fold with northeastward vergence. F2Ap: the axial plane of F2 fold. (b) Minor sheath-type folds often found in the calcareous rocks. Scale bar: 30 cm. (c-d) Minor sheath-type folds in the plutonic type(c) and in the volcanic type(d) of acidic rocks. Note: the stretching mineral lineation(L1) is at large angle to fold axis(arrow marks) in the zone of conical closure(c), but the L1 is parallel to fold axis(arrow marks) in the zone of cylindrical closure(d). (e) Stretching lineation defined by elongated pebble in the conglomeratic rocks with acidic matrix. The pebbles with asymmetric tails indicate sinistral(top-to-the-south) shear sense. (f) Thrust and boudin structures. Lower block: plutonic type of acidic rocks, upper block: basic rocks. Thrust movement indicates top-to-the-east shearing.

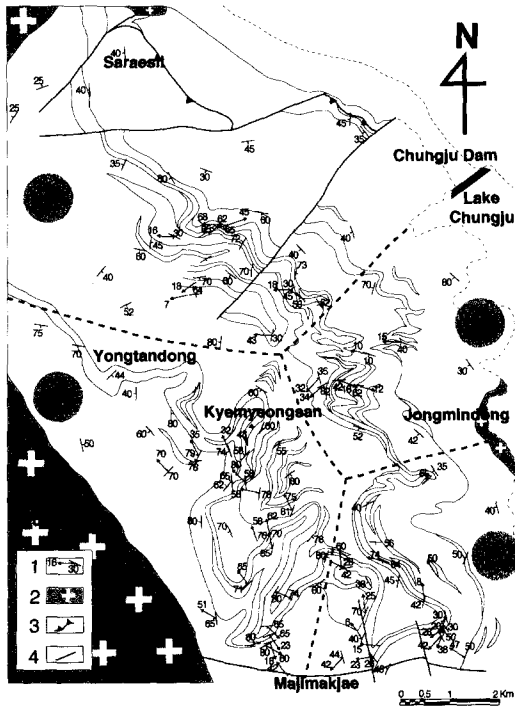


Fig. 4. Orientation of S1 and L1 in the Kyemyeongsan area. 1: S1 schistosity and mineral and pebble stretching lineations(L1), 2: Mesozoic Chungju granites, 3: nappe boundary, 4: faults. Division of structural domain(D.) (I: northern D., II: central D., III: western D., IV: southern D.).

어 있다. 계명산층내에 산출되는 역질암은 주로 탄산염질암을 역으로 하는 황강리형 역질암(이민성과 박봉순, 1965)과 달리 산성질암을 주 구성역으로 하며 소량의 염기성질암, 탄산염질암, 이질암 그리고 석영립 등의 역을 포함한다(Figs. 2a, 3e and 7d). 이들 역의 원마도는 아각상 내지는 아원상을 보이며 매우 신장되어 있고, 그 크기는 대체로 20 cm 이내이나 최대 30 cm 이상에 달하는 거력도 종종 관찰된다. 곳에 따라서는 역들이 전단운동을 받아 역들 주위에 비대칭의 압력음지(pressure shadows)가 형성되어 있으며, 이들은 전단감각의 지시자로서 이용된다(Fig. 3e). 기질부의 암상은 역질암과 접촉하고 있는 주변 암상에 따라 극히 다양하게 나타나는데, 즉 계명산을 중심으로 동부에 산출되는 역질암의 기질암상은 주로 염기성질암으로 구성되어 있으며(Figs. 1b and 2a) 북부와 남부는 산성질암(Figs. 1b and 3e)으로, 그리고 서부는 이질암 내지 사질암(Figs. 1b and 7d)으로 구성되어 있다.

그리고 이들 역질암은 풍화에 강해 지형적으로 돌출되어 있고, 다른 암상들과의 구분이 아주 용이하며, 기존의 연구결과와 달리 연속성이 탁월하여 본 연구에서는 첫 번째 습곡의 기하학적인 형상을 파악하기 위해 본 암상을 건층(key bed)으로 하여 추적하였다. 그 결과, 역질암은 전체적으로 열린 납작 타원형 분포와 부분적으로 닫힌 납작 타원형(연구지역의 북부와 남부의 일부 영역) 분포를 하고 있으며(Fig. 1b), 주로 첫 번째 습곡작용 이후 중첩된 두 번째 습곡작용에 의해 복잡하게 분포되어 있음이 인지된다.

염기성질암은 그 암형이 주로 현무암질암과 휘록암질암이며 부분적으로 반려암질암로 구성되어 있고, 주로 향산리 돌로마이트층의 탄산염질암과 후술할 심성암형 산성질암의 구조적 상부 접촉면을 따라 다소 단속적이거나 연속성을 유지하며 분포하며, 후술할 화산암형 산성질암내 렌즈상으로 협재되거나 다소 연속성을 유지하면서 분포한다(Fig. 1b). 경하에서의 본 암석은 사장석, 각섬석, 녹염석, 석영, 불투명광물 등으로 주로 구성되어 있고, 흑운모, 석류석, 침정석, 휘석, 녹니석, 방해석 등이 소량 관찰된다. 각섬석은 부분적으로 무질서한 거정의 형태로도 관찰되나 주로 탁월한 엽리면에 평행하게 배열되어 있음이 경하에서 관찰되고, 야외에서는 탁월한 엽리면상에서의 광물 선구조를 정의하기도 한다.

산성질암은 심성암형과 화산암형으로 주로 구분된다. 화산암형 산성질암은 담회색 내지 암회색을 띠고 주로 조면암질암과 유문암질암으로 인지되고, 후술할 심성암형 산성질암과 같이 지질도규모와 암석규모에서 염기성질암과 교호하거나 설상으로 산출되며(Figs. 1b and 2b), 연구지역내의 소위 계명산층의 대부분을 차지한다(Fig. 1b). 경하에서의 본 암석은 주로 반상조직을 보이는데, 반정은 주로 알카리 장석과 부분적으로 사장석으로 구성되어 있으며, 이들 잔쇄반정(porphyroclasts)은 전단운동을 받아 반정주위에 비대칭 압력음지를 형성시키고 있다(Fig. 2c). 석기는 주로 세립질 장석과 석영으로 구성되어 있고 부분적으로 불투명광물, 운모, 녹니석 등으로 되어 있으며, 종종 석기부에는 주상형(lath-shaped) 장석들이 평행배열하는 조면암질 조직도 관찰된다. 또한, 이들 산성질암내에서 크기가 5 cm 이내인 석류석이 종종 야외에서 발견되며, 이들 석류석은 경하에서 보통 패치상으로 관찰된다. 그러나, 이 암석은 야외에서 이질암이나 사질암과 혼재되어 암상구분이 모호한 경우가 종종 관찰되는데, 이러한 암층들은 사질, 이질 및 산성질암의 미

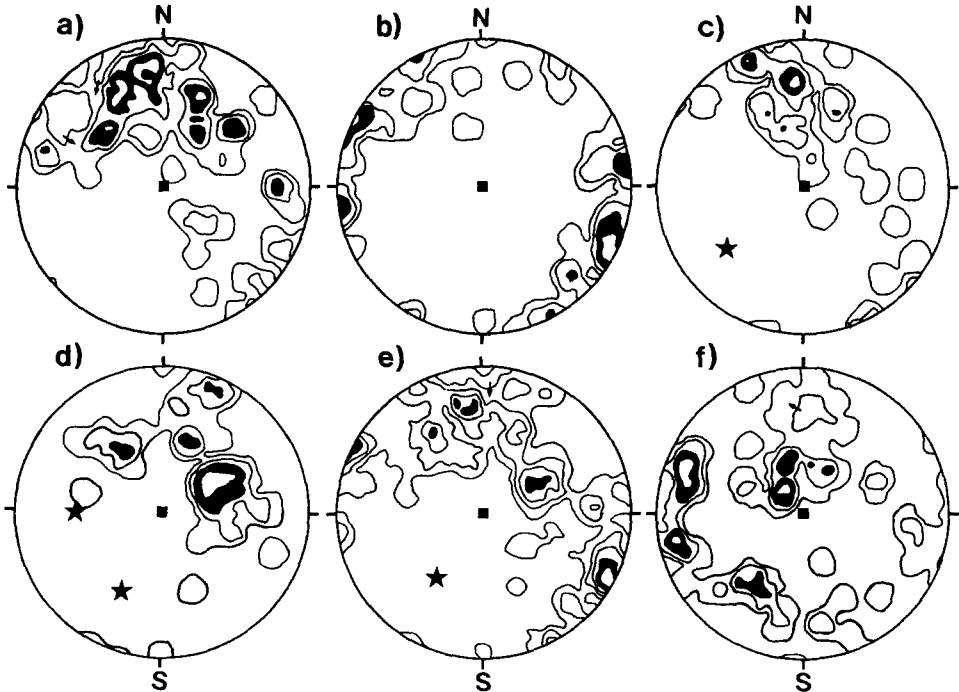


Fig. 5. Stereoplots(equal-area, lower-hemisphere projections) of S1 and L1 in the Kyemyeongsan area. (a-d) S1 data in domains marked in Fig. 4, [(a) northern domain : n=67(number of data) and contours at 1-2.5-4.0-5.5% per 1% of area, (b) western domain : n=54 and 1-3-6-12%, (c) central domain : n=30 and 1-4-9-12% (star mark : π -axis), (d) southern domain : n=46 and 1-3-6-12% (star marks : π -axes)]. (e) All S1 data : n=185 and 1-2-3-4-5% (star mark : π -axis). (f) All L1 data : n=61 and 1-2.5-4-6%. For detailed explanation see text.

분류암으로 지질도상에 기재하였다(Fig. 1b).

심성암형 산성질암은 다소 핑크색의 암색을 띠며, 주로 섬장암질암과 몬조나이트질암으로 인지된다. 열린 타원상 분포를 보이는 역질암의 내부에 주로 분포하며 역질암과 접하는 부분을 따라 다소 단속적이나 연속성을 유지하며 산출되고, 전술한 염기성질암과 화산암형 산성질암과 교호하거나 설상으로 나타나기도 한다(Fig. 1b). 따라서, 본 연구에서 건층으로 주로 사용한 역질암과 구조적 상·하위에 놓이는 이러한 층위적 상관관계로부터, 이 암석을 역질암의 추적 및 지질구조 해석을 위한 부수적인 건층으로 이용하였다. 경하에서의 본 암석은 주로 중립 내지 조립의 알카리 장석(주로 미사장석)과 사장석 그리고 불투명광물로 구성되어 있고 석영, 운모, 각석 등 소량 관찰된다. 이들 장석들은 킹(kink)되어 있거나 변형쌍정(deformation twin)들이 발달하고 있으며 단열대(fracture zone)를 따라 세립질 장석들이 재결정되어 있다(Fig. 2d). 또한, 이 암석은 탁월한 엽리면을 형성시킨 변형작용 동안에 심하게 압쇄화되어 압쇄엽리를 형성하고 있는

데(Kang, 1994의 Fig. 6b 참조), 그 압쇄엽리는 장석류들의 동력재결정작용에 의해 형성되었음이 현미경하에 관찰된다(Kang, 1994의 Fig. 15d 참조).

충주 화강암은 연구지역의 서부와 동부에 분포하며 본 화강암의 K-Ar 흑운모 연대는 183 ± 9 Ma (민경원 외, 1995)로서 전형적인 대보화강암의 연대를 보인다.

지질구조

육천변성대에서의 지질 및 암석구조는 여러번의 변형작용에 의해 형성된 것으로(장태우 외, 1988; Chang, 1988; Cluzel *et al.* 1990, 1991; Kang *et al.*, 1993; Kang, 1994; Koh and Kim, 1995; 김현철 외, 1995), 이들을 각각의 변형단계별로 구분할 필요가 있다. 이에, 본 연구는 충주 계명산지역 육천변성대의 지질구조를 파악하기 위해 다른 암상과 구분이 아주 용이하고 연속성이 탁월한 역질암을 주 건층으로 하여 상세한 야외지질조사를 실시하였다. 그 결과, 연구지역의 주요 지질구조는 적어도

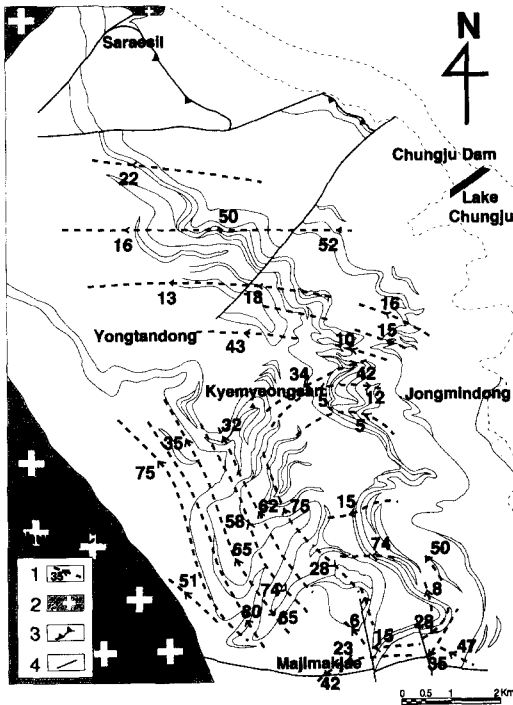


Fig. 6. L1 trajectories based on the L1 data of Fig. 4. 1: L1 traces. 2, 3, 4 are the same as defined in Fig. 4.

세 번 이상의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구는 이러한 세 번의 변형단계를 그 상대적인 발생순서에 따라 D1 변형, D2 변형, D3 변형 등으로 구분하고, 이들 각 변형단계 동안에 형성된 습곡구조를 F1, F2, F3 등으로, 이들 각 습곡구조와 관련되어 형성된 면구조를 S1, S2, S3 그리고 선구조를 L1, L2, L3 등으로 표시하여 연구지역의 지질구조를 기재한다. 또한 연구지역에서 D1 변형과 D2 변형은 광역적으로 발생한 변형 작용이었음을 알 수 있었는데, D2 변형에 의한 L1 선구조의 방향성 변화를 고려하여 연구지역을 네 개의 영역으로 구분하였다(Figs. 4 and 6).

D1 변형

D1 변형에 의해 형성된 F1 습곡의 기하학적인 형태를 파악하기 위해, 이미 언급된 바와 같이, 다른 암상들과 구분이 아주 용이하고 연속성이 탁월한 역질암을 추적하였다. 그 결과, 역질암은 전체적으로 지질도상에 그려지는 뚜렷한 크기의 열린 납작 타원형 분포와 부분적으로 닫힌 납작 타원형 분포(연구지역의 북부와 남부의 일부 영역)를 하고

있음이 확인된다(Fig. 1b). 역질암의 이러한 분포는 기존 엽리면(S0)이 습곡되어 형성된 암석규모의 F1 열린 납작 타원형의 밀착 등사습곡(Fig. 3a)과 닫힌 납작 타원형 습곡(Figs. 3b~3d) 형태와 유사하게 나타난다.

D1 변형에 의해 형성된 S1 엽리면은 F1 밀착 등사습곡과 닫힌 납작 타원형 습곡의 축의 자취를 연결한 면의 자취(Figs. 3a~3d)와 신장된 역의 최대 신장 방향과 중간 신장 방향으로 이루어진 XY 면으로 인지된다(Figs. 2a, 3e and 7d). 이러한 S1 엽리면상에는 신장된 광물(Fig. 3d)과 역(Figs. 2a, 3e and 7d)들의 정향배열(preferred orientation)에 의해 정의되는 신장선구조(L1)가 관찰된다. 이러한 신장선구조와 암석규모의 F1 닫힌 납작 타원형 습곡의 축의 자취가 이루는 각도 관계를 야외에서 주의깊게 관찰한 결과, 그 습곡의 머리 부분(zone of conical closure)에서는 이들 관계가 고각으로 나타나고(Fig. 3c) 그의 몸통 부분(zone of cylindrical closure)에서는 서로 평행하게 나타남을 알 수 있었다(Fig. 3d).

S1 엽리면에 수직하고 신장선구조에 평행한 단면상에서는 신장된 광물들이나 역들 주변에 비대칭적인 압력음지들이 일반적으로 관찰된다(Figs. 2c and 3e). 이러한 비대칭성 압력음지는 이들 신장선구조가 연성전단변형과 관련되어 형성되었음을 지시하는 것으로(Simpson and Schmid, 1983), 이러한 비대칭 압력음지가 지시하는 연성전단변형 동안의 전단감각은 일반적으로 S1 엽리면의 상부가 동쪽으로 이동한 전단운동(top-to-the-east shearing)(Fig. 2c)과 S1 엽리면의 상부가 남쪽으로 이동한 전단운동(top-to-the-south shearing)(Fig. 3e)을 보이고 있다.

Fig. 4에는 D1 변형과 관련되어 형성된 S1 엽리면과 신장선구조 L1의 방향성을 도시하였고, 이들 D1 구조 요소들에 대한 등면적망 투영 그림은 Fig. 5와 같다. 북부 영역(Figs. 4 and 5a)에서의 S1 방향은 다소 분산되어 있으나 동북동 주향에 남남동으로 고각의 경사를 보이는 것이 가장 우세하게 나타나고, 서북서 주향에 남남서로 북동 주향에 남동으로 각각 약 45° 경사하는 것들이 두 번째로 우세하며, 북북동 주향에 고각으로 경사하는 것이 부수적으로 나타난다. 서부 영역(Figs. 4 and 5b)에서의 S1 방향은 북북동 주향에 고각의 경사를 보이는 것이 가장 우세하게 나타난다. 중부 영역(Figs. 4 and 5c)에서는 동북동 주향에 남남동 방향으로 고각의 경사를 가지는 것이 우세하게 나타나나, S1 극점

(pole) 배열은 $30^{\circ}/230^{\circ}$ 방향의 π -축을 갖는 하나의 π -서클 상에 놓임을 알 수 있다(Fig. 5c). 또한, 남부 영역(Fig. 4)에서의 S1 극점 배열(Fig. 5d)은 다소 복잡한 양상을 보이나 그 S1 극점들은 두개의 π -서클 상에 놓인다고 해석할 수 있는데, 그 중 하나는 $40^{\circ}/210^{\circ}$ 방향의 π -축을 갖는 탁월한 π -서클을, 다른 하나는 $40^{\circ}/270^{\circ}$ 방향의 π -축을 보이는 다소 미약한 π -서클을 이루고 있다. 이들 두 π -서클의 방향은 후술할 본 영역에서의 L2 우세 방향과 거의 일치한다. 연구지역 전체 S1 극점들에 대한 등면적망 투영 결과(Fig. 5e), S1 옆리면의 방향은 역질암의 분포와 일치하는(Fig. 1b) 북북서 주향에 서쪽으로 약 40° 경사하는 것과 북북동 주향에 고각으로 경사하는 것 그리고 동북동 주향에 남쪽으로 고각으로 경사하는 것이 우세하게 나타나며 분산된 극점 배열을 보인다. 그러나, 이들 극점은 $45^{\circ}/215^{\circ}$ 방향의 π -축을 갖는 하나의 탁월한 π -서클상에 배열됨을 알 수 있다

(Fig. 5e). 이러한 π -축의 방향은 후술할 연구지역에서의 F2 습곡축에 해당하는 L2 탁월 우세 방향과 거의 일치한다.

D1 변형에 의해 형성된 신장선구조 L1 방향 역시 S1 방향과 같이 매우 분산된 양상을 보이고 있는데(Fig. 4), Fig. 6에는 이러한 L1 방향성의 변화를 용이하게 인지하기 위해 Fig. 4의 자료를 바탕으로 L1의 연결도(trajjectory)를 작성하였다. 그 결과, 영역별 L1의 세부적인 방향은 북부와 서부에서는 각각 동-서 방향과 북서-남동 방향이 우세하게 나타나고, 중부와 남부에서는 주변 영역의 그 우세 방향과 함께 북동-남서 방향이 부수적으로 관찰된다(Figs. 4 and 6). L1 전체에 대한 등면적망 투영 결과(Fig. 5f), L1은 두개의 우세 방향군(서부 영역의 우세 방향성에 해당하는 북서 방향으로 $30\sim 70^{\circ}$ 로 침강하는 것과 북부와 남부 영역들의 우세 방향성에 해당하는 서쪽으로 $10\sim 40^{\circ}$ 로 침강하는 것)과

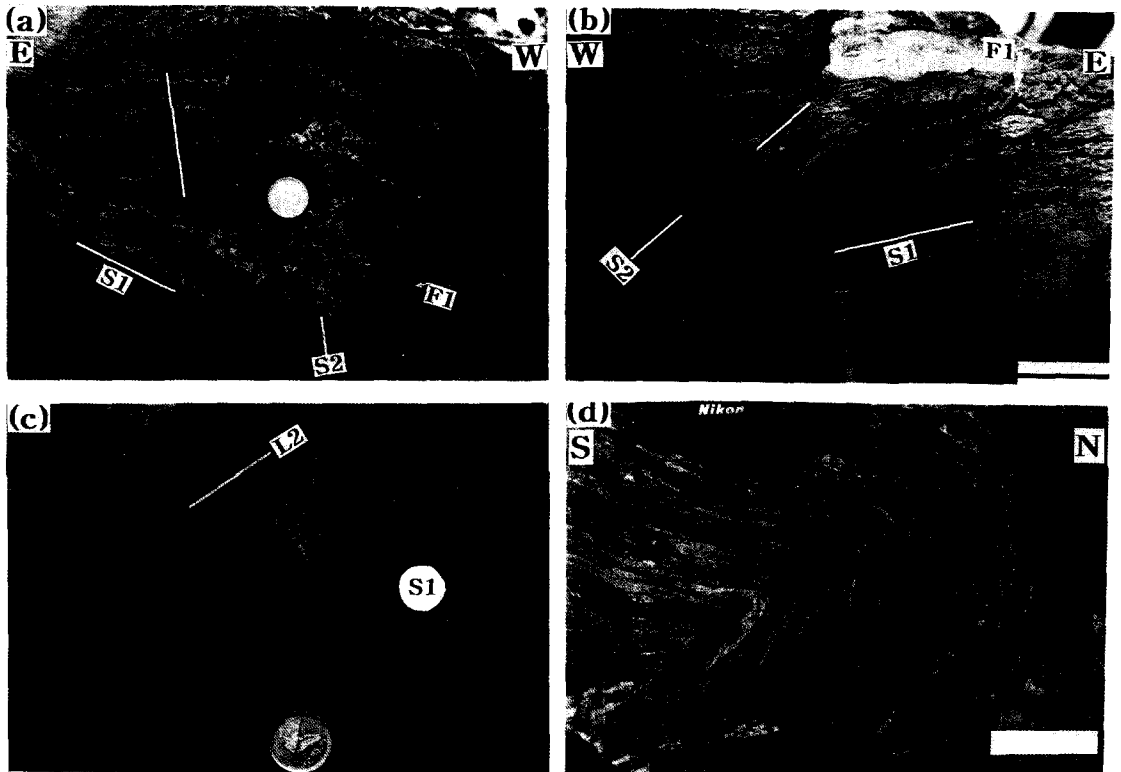


Fig. 7. Photographs of rock structures related to D2(a-c) and post-D2(d) deformations in the Kyemyeongsan area. (a-b) F2 asymmetric fold with eastward vergence in the alternating basic and acidic rocks(a) and in the acidic rocks(b). Note: the F2 fold superimposes the isoclinal recumbent fold(F1). Scale bar in (b): 20 cm. (c) Crenulations(L2) on S1 schistosity in the acidic rocks. (d) F3 chevron-type fold in the conglomerate rocks with pelitic matrix which contains pebbles(acidic, pelitic, calcareous rocks).

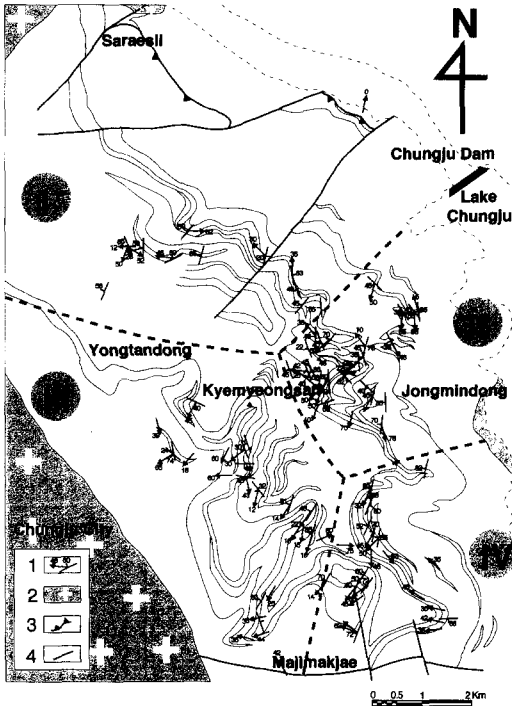


Fig. 8. Orientation of S2 and L2 in the Kyemyeong-san area. 1 : S2 schistosity and L2 lineation. 2, 3, 4, I, II, III, IV are the same as defined in Fig. 4.

하나의 부수적인 우세 방향군(중부와 남부 영역들에서 관찰되는 남서 방향으로 20~50°로 침강하는 것)이 인지된다(Figs. 4 and 6).

D2 변형

연구지역에서의 D2 변형은 광역적이고 뚜렷한 변형으로 연구지역내의 지질구조를 이해하는 데에 중요한 부분을 차지한다. D2 변형에 의해 형성된 F2 습곡은 야외에서 F1 밀착 등사습곡을 재습곡시키고 일반적으로 동쪽 버전스(vergence)를 보이는 비대칭 습곡(Figs. 3a, 7a and 7b)으로 인지된다. 이러한 F2 비대칭 습곡은 일반적으로 S1 엽리면이 주름져 형성된 파랑습곡(crenulated fold)을 수반한다(Figs. 7a and 7b). 본 연구에서는 이들 파랑습곡의 측면에 해당하는 면구조를 엽리면 S2라고 하였고(Figs. 7a and 7b), 이들 파랑 습곡축과 S1, S2 엽리면의 교차선에 해당하는 선구조를 선구조 L2라고 하였다(Fig. 7c).

Fig. 8에는 야외에서 측정된 S2 엽리면과 L2 선

구조의 방향성을 도시하였고, Fig. 9는 이러한 S2와 L2의 방향성의 변화를 용이하게 인지하기 위해 Fig. 8의 자료를 바탕으로 작성된 S2와 L2의 연결도에 해당한다. 영역별 S2 엽리면의 우세 방향은 중부와 서부(중앙부)를 제외한 두 영역에서 일반적으로 인지된다(Figs. 8 and 9a). 즉, 북부와 남부 영역들에서는 주로 서쪽으로 경사하는 북북동 내지는 북동 방향이 우세하게 나타나고, 그 중앙부에서는 주변 영역의 그 우세 방향과 함께 북북서 주향에 서쪽, 서북서 주향에 남쪽 그리고 동북동 주향에 북쪽 등으로 경사하는 것들이 부수적으로 관찰된다(Figs. 8 and 9a). 그리고 이러한 S2 엽리면의 우세 방향(북북동 내지 북동 주향에 서쪽으로 경사)과 분산된 방향성은 전체 S2 극점들의 등면적망 투영 결과에서도 잘 나타난다(Fig. 10a).

영역별 L2의 우세 방향성은 S2 엽리면의 방향성과 같이 연구지역의 중앙부를 제외한 북부와 남부 두 영역에서 인지된다(Figs. 8 and 9b). 북부에서는 동서 방향이 우세하게 나타나고, 남부에서는 남남서 방향으로 20~40°로 침강하는 것이 우세하며 서쪽 방향으로 약 30~40° 침강하는 것이 부수적으로 우세하게 나타난다(Figs. 8 and 9b). 남부 영역에서 이러한 L2의 두 방향은 이미 D1 변형에서 언급된 본 영역내에서의 S1 엽리면의 두 개 π-축 방향(40°/210° 및 40°/270° 방향)과 거의 일치한다(Fig. 5d). 중앙부에서 L2의 방향은 남남서 내지 남서 방향과 남남동 내지 남동 방향 그리고 동서 방향 등으로 다양하게 나타난다(Figs. 8 and 9b). 이러한 L2 방향의 다양성은 전체 L2의 등면적망 투영 결과에서도 잘 나타난다(Fig. 10b).

D3 변형

D3 변형에 의해 형성된 F3 습곡은 일반적으로 북쪽으로 경사하는 습곡측면과 서쪽으로 침강하는 습곡축을 갖는 세브론형(chevron-type) 습곡 형태(Fig. 7d)로 관찰된다. 전체 S2 엽리면의 극점들에 대한 등면적망 투영 결과, S2 엽리면의 방향은 북북동 내지 북동 주향에 서쪽으로 약 60~80° 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고, 북북서 주향에 서쪽으로 약 40° 경사하는 것들이 두번째로 우세하며 서북서 주향에 남쪽으로 약 45° 경사하는 것과 동북동 주향에 북쪽으로 약 60° 경사하는 것이 부수적으로 나타나는 등 다소 분산된 방향성을 보인다(Fig. 10a). 이러한 분산된 S2 극점들이 이루는 가장 적합한 대원을 그리면, 이들은 45°/265° 방향의 π-축

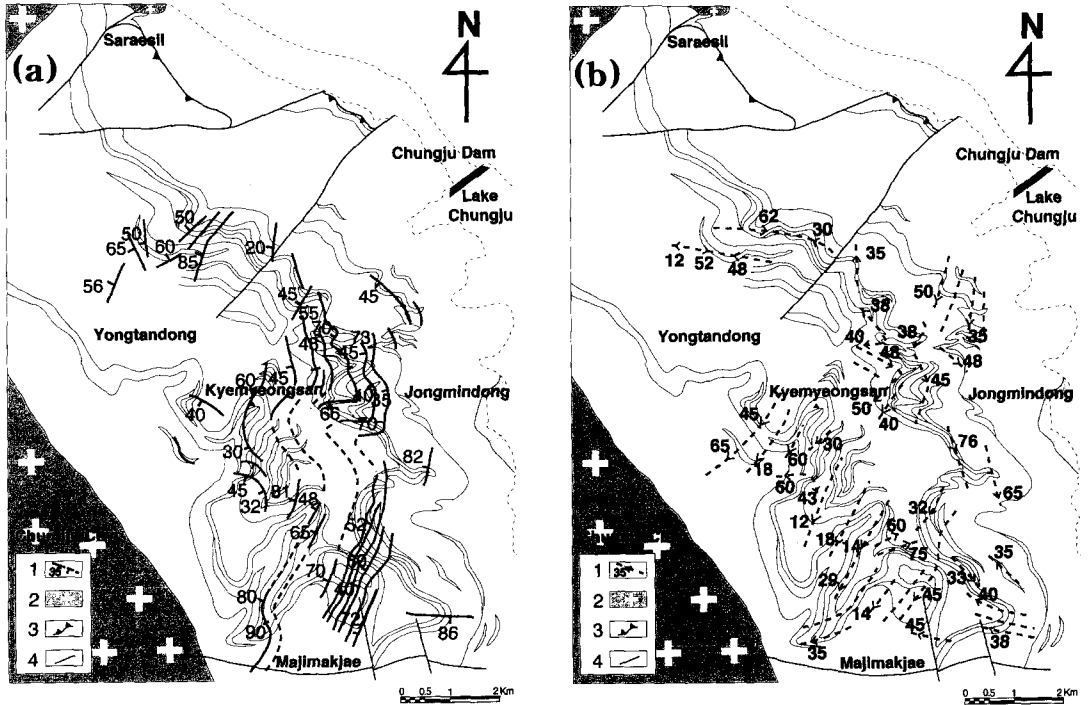


Fig. 9. S2(a) and L2(b) trajectories based on the data from Fig. 8. 1 in Fig. 9a : S2 traces, 1 in Fig. 9b : L2 traces. 2, 3, 4 are the same as defined in Fig. 4.

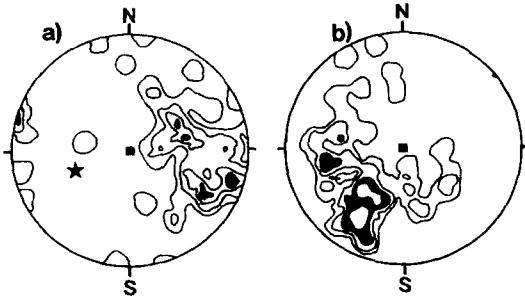


Fig. 10. Stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) of S2 and L2 in the Kyemyeongsan area. (a) All S2 data : n=58 (number of data) and contours at 1-3-6-8% per 1% of area. (b) All L2 data : n=60 and 1-3-5-8%. For detailed explanation see text.

을 갖는 다소 미약한 π -서클을 이루고 있음을 알 수 있다(Fig. 10a).

L2 선구조의 등면적망 투영 결과, 20~45°/210~220° 방향이 가장 우세하게 나타나고 35~45°/260~280°의 방향이 두번째로 우세하며 30~45°/135~165° 방향이 부수적으로 나타나는(Fig. 10b) 등 그 L2의 방향성은 S2 방향성과 같이 분산되어 있음을

알 수 있다. 그리고 연구지역에서 L2 선구조의 탁월 우세 방향(20~45°/210~220°)(Fig. 10b)은 이미 D1 변형에서 언급된 바와 같이 전체 S1 엽리면의 극점 배열로부터 인지되는 π -축의 방향(45°/215°)과 일치함을 알 수 있다(Fig. 5e).

해석 및 토의

최근, Cluzel 외.(1990)는 옥천변성대내에 나타나는 염기성질암류에 대한 지화학적 분석을 통해 옥천퇴적분지의 고환경이 대륙판 내부의 열곡 환경이었음을 제안하고, 그 열곡운동과 관련된 바이모달형 화성활동을 제안하였으며, 옥천누층군의 층서를 하부에서 상부로 향해 열곡운동 이전의 안정대 지상 퇴적물(주로 석영사암질암과 탄산염질암), 열곡운동에 수반되는 바이모달형 화성활동 산물, 그리고 경동운동과 관련된 플리쉬상(flysch-type) 퇴적물(주로 역질암) 순으로 설정한 바가 있다.

본 연구 결과, 계명산층은 주로 역질암, 산성질암, 염기성질암, 이질암 그리고 사질암 기원의 변성암류로 구성되어 있고, 계명산층의 대부분을 차지하는 산성질암은 지질도 규모에서 염기성질암과 교

호하거나 설상으로 주로 산출되며(Fig. 1b), 이러한 산출양상은 노두 규모에서도 빈번히 관찰된다(Fig. 2b). 이는 계명산층내에 산출되는 산성질암과 염기성질암은 Cluzel 외.(1990)에 의해 제시된 열곡환경의 바이모달형 화성활동의 산물임을 지지한다. 그러나, 인접하는 암상과 유사한 기질 암상을 보이며 탁월한 연속성을 보이는 역질암의 층준은 이러한 바이모달형 화성활동 산물 사이에 위치하고, 지질도 규모에서 열린 납작 타원형 분포를 보이는 역질암의 외곽부에 산출되는 산성질암은 거의 화산암형인 반면에 그의 중심부의 산성질암은 화산암형과 심성암형이 동시에 산출되는 특징을 보인다(Fig. 1b). 이는, 역질암의 형성 이전과 역질암의 형성 동시기 내지 그 이후 동안 연구지역에서 옥천퇴적분지의 산성질암형 화성활동은 그의 산상에서 차이점이 있음을 제안한다.

연구지역의 구성암류에는 신장된 광물(Fig. 3d)과 역(Figs. 2a, 3e and 7d)들의 정향배열에 의해 정의되는 신장선구조 L1이 기존 엽리면 S0가 습곡되어 형성된 F1 납작 타원형 습곡(Figs. 3a~3d)의 축면엽리에 해당하는 S1 엽리면에 발달되어 있다. 신장선구조에 평행하고 S1 엽리면에 수직한 단면상에서는 이들 신장선구조가 연성전단변형과 관련되어 형성되었음을 지지하는 비대칭 압력음지(Simpson and Schmid, 1983)가 암석규모와 박편 규모에서 관찰되는데(Figs. 2c and 3e), 이러한 신장선구조와 F1 닫힌 납작 타원형 습곡의 축의 자취가 이루는 각도 관계는 그 머리 부분에서는 고각을 보이거나(Fig. 3c) 그 몸통 부분에서는 평행하게 나타나며(Fig. 3d) 그 축의 자취를 연결한 면의 자취는 하나의 엽리면(S1)을 형성하고 있음이 인지된다(Figs. 3c and 3d). 이는, 연구지역의 F1 납작 타원형 습곡은 대규모 연성전단운동과 관련되어 형성되는 신장선구조의 방향이 머리 부분을 제외한 몸통 부분에서 습곡축과 거의 평행하게 나타나는 칼집형 습곡(sheath-type fold)(Park, 1988; Skjerna, 1989; Goscombe, 1991)이었음을 시사하고, S1 엽리면상에서 관찰되는 신장선구조(L1)은 F1 칼집형 습곡과 동시기에 형성되었음을 의미한다. 또한 암석규모의 F1 납작 타원형 습곡 형태는 지질도 규모에서 전체적인 분포 방향이 북북서 내지 북서 방향을 보이는 역질암의 납작 타원형 분포와 유사하다(Fig. 1b). 따라서, 이러한 역질암의 분포와 상기된 암석구조로부터 판단할 때 연구지역에서의 D1 변형은 북북서 내지 북서 방향의 습곡축면을 갖는 하나의 거대한 칼집형 습곡을 형성시킨 것으로 해석된다. 옥천변성대에서 F1

습곡이 칼집형 습곡임은 금산도폭의 지질도(홍승호와 최위찬, 1978)에 대한 구조적 해석(Cluzel *et al.*, 1991) 그리고 옥천지역에서 신장선구조와 S0와 S1이 이루는 교차 선구조 사이의 각도 변화에 근거하여(Kang *et al.*, 1993) 이미 제시된 바가 있다. 그러나 충주 계명산지역에서 암석구조와 역질암의 분포 양상으로부터 F1 습곡이 칼집형 습곡에 해당함은 지금까지 언급된 바가 없다.

신장선구조 L1에 평행하고 S1 엽리면에 수직한 단면상에서 관찰되는 광물이나 역들 주변의 비대칭 압력음지는 일반적으로 S1 엽리면의 상부가 동쪽으로 이동한 전단운동(top-to-the-east shearing)(Fig. 2c)과 S1 엽리면의 상부가 남쪽으로 이동한 전단운동(top-to-the-south shearing)(Fig. 3e)을 보이고 있는데, 이는, F1 칼집형 습곡 형성과 관련된 전단운동이 동쪽으로 이동한 전단운동, 아니면 남쪽으로 이동한 전단운동이었음을 지지하는 것으로 이에 대한 보다 상세한 연구가 차후에 수행되어야만 한다고 생각한다. 그러나, 북부와 남부 영역들에서 지질도상에 그려지는 역질암의 닫힌 납작 타원형 분포 방향 그리고 서부와 남부 영역들에서 동서 방향의 암상 분포(Fig. 1b) 등을 고려해 볼 때, 연구지역에서의 D1 연성전단변형은 북북서 내지 북서 방향의 습곡축면을 갖고 동쪽으로 이동한 전단운동에 의해 동쪽으로 닫히는 하나의 거대한 칼집형 습곡을 형성시킨 것으로 추정되며, 현재의 역질암의 분포는 이러한 거대한 칼집형 습곡의 상부 몸통과 머리 부분이 소실된 결과로 해석된다. Fig. 11a에는 이러한 F1 칼집형 습곡의 기하학적 형상을 모식도로 도시하였다. 그리고 야외에서 동쪽으로 이동한 전단운동의 드러스트(thrust)운동과 이에 수반된 부딩(boudin)구조가 관찰되는데(Fig. 3f), 이러한 구조 역시 대규모 연성전단운동에 의해 형성되는 F1 칼집형 습곡과 밀접한 연관성이 있는 것으로 생각된다.

연구지역에서 D2 변형에 의해 형성된 F2 습곡은 F1 납작 타원형 습곡을 재습곡시키고 일반적으로 동쪽 머전스의 비대칭 습곡형태로 S1 엽리면이 주름져 형성된 파랑습곡을 수반한다(Figs. 7a and 7b). 파랑습곡의 축면에 해당하는 S2 엽리면(Figs. 7a and 7b)은 D2 이후의 변형에 의해 다소 분산된 방향성을 보이고 있으나, 일반적으로 북북동 내지 북동 주향에 서쪽으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타난다(Figs. 9a and 10a). 이러한 S2 엽리면의 우세 방향은 D2 변형 당시에 형성된 원래의 F2 습곡축면의 방향인 것으로 해석된다. 파랑습곡의 축

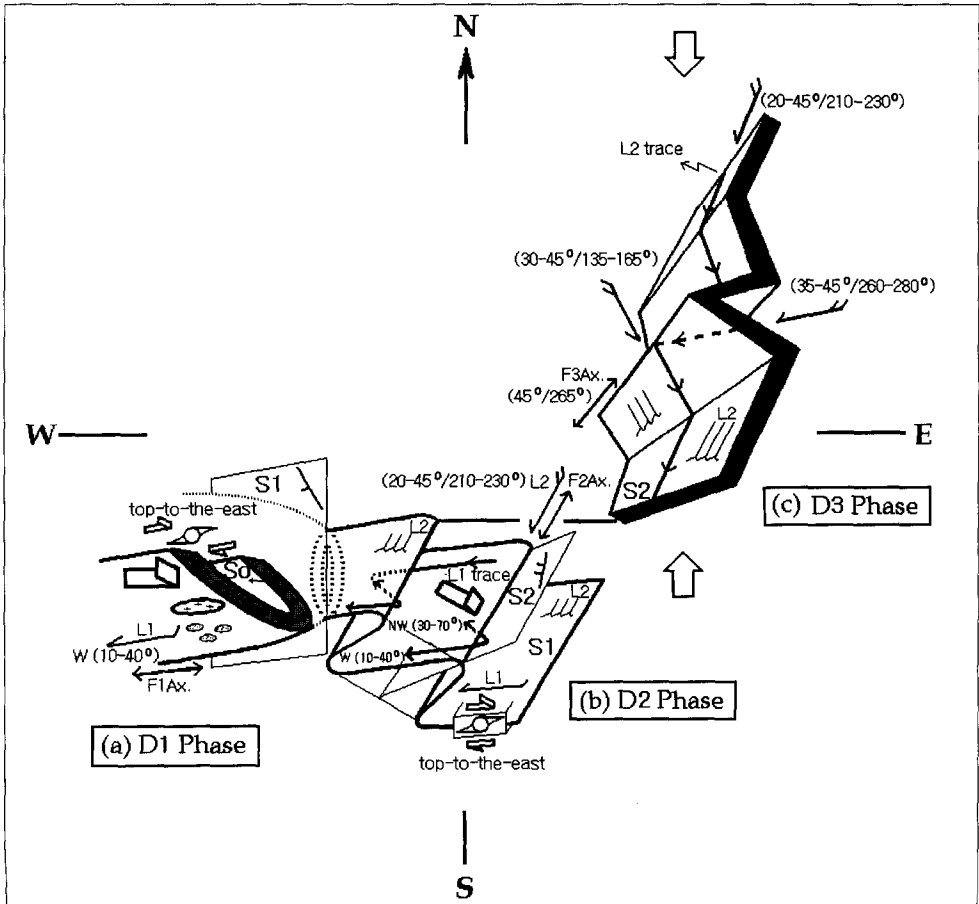


Fig. 11. Schematic diagram illustrating the types of rock structures and the deformation history of the Ogcheon Supergroup in the Kyemyeongsan area, Chungju.

에 해당하는 L2 선구조(Fig. 7c) 역시 D2 이후의 변형에 의해 다소 분산된 방향성을 보이고 있으나 $20\sim 45^\circ/210\sim 230^\circ$ 방향이 가장 우세하게 나타난다(Figs. 9 and 10b). 이러한 L2 우세 방향 역시 F2 습곡축의 원래의 방향인 것으로 해석된다. Fig. 11b에는 D2 변형에 의해 형성된 이러한 F2 비대칭 습곡의 기하학적 형상을 모식도로 도시하였다.

연구지역에서 S1 엽리면의 전체 극점 배열은 $45^\circ/215^\circ$ 방향의 π -축을 갖는 하나의 탁월한 π -서클을 형성한다(Fig. 5e). 이러한 S1 엽리면의 π -축 방향은 L2의 가장 우세 방향($20\sim 45^\circ/210\sim 220^\circ$ 방향)(Fig. 10b)으로부터 해석된 원래의 F2 습곡축의 방향과 거의 일치한다. 이는, 연구지역에서 F1 습곡축면에 해당하는 S1 엽리면은 $20\sim 45^\circ/210\sim 230^\circ$ 방향의 습곡축을 갖는 D1 변형 이후에 형성된 F2 비대

칭 습곡에 의해 주로 재배열되었음을 지지하고, 연구지역에서 F2 습곡작용은 광역적으로 발생하였음을 의미한다.

신장선구조 L1의 방향성은 두 개의 우세 방향군 즉 북서 방향으로 $30\sim 70^\circ$ 로 침강하는 우세 방향군과 서쪽으로 $10\sim 40^\circ$ 로 침강하는 우세 방향군이 인지된다(Fig. 5f). 이들 중, 서쪽으로 침강하는 것은 역질압의 분포로부터 추정된 F1 칼집형 습곡형성과 관련된 전단운동방향과 일치하는 것으로서 D1 변형 당시 형성된 원래의 L1 방향인 것으로 해석된다(Fig. 11a). 이들을 영역별로 살펴보면, 서쪽으로 침강하는 것은 북부와 남부 영역들에서 우세하게 나타나고 북서 방향으로 침강하는 것은 서부 영역에서 우세하게 나타난다(Fig. 6). 신장선구조 L1 방향의 영역별 이러한 조화적인 변화는 역시 D1 변형

이후에 광역적으로 발생된 $20\sim 45^\circ/210\sim 230^\circ$ 방향의 습곡축을 갖는 F2 비대칭 습곡작용에 기인한 것으로 해석된다(Fig. 11b). 즉, F2 습곡의 기하학적인 형태를 고려해 볼 때, 북부와 남부 영역에서 인지되는 서쪽-침강-우세 방향군은 잔류된 원래의 L1 방향으로 F2 습곡의 상위 날개(정상 날개; normal limb)부에서 주로 관찰될 것으로 생각되며, 서부 영역에서 인지되는 북서-침강-우세 방향군은 F2 습곡에 의해 재배열된 L1 방향으로 F2 습곡의 하위 날개(역전된 날개; overturned limb)부에서 주로 관찰될 것으로 해석된다(Figs. 6 and 11b).

그러나, 연구지역에서 이러한 F2 습곡의 기하학적인 형태는 연구지역의 북동부에 해당하는 관모봉과 산저터 지역들에서 Kang(1994)이 구분한 F2 습곡의 기하학적인 형태와 다소 차이점을 보인다. 관모봉과 산저터 지역들에서의 Kang(1994)에 의해 기재된 F2 비대칭 습곡은 그의 측면이 북북동 주향에 동쪽으로 경사하며 서쪽 버전을 보이는 반면에 연구지역에서의 F2 비대칭 습곡은 그의 측면이 북북동 주향에 서쪽으로 경사하며 동쪽 버전을 보이고 있다는 점이다. 따라서, 앞으로 이에 대한 종합적이고 광역적인 해석이 요구된다.

연구지역에서의 S2 엽리면과 L2 선구조는 D2 이후의 변형 결과로 다소 분산된 방향성을 보인다(Figs. 9 and 10). 분산된 S2 극점 배열은 $45^\circ/265^\circ$ 방향의 π -축을 갖는 하나의 미약한 π -서클을 형성한다(Fig. 10a). 이러한 π -축의 방향은 일반적으로 북쪽으로 경사하는 습곡측면을 갖는 암석규모의 세브론형 습곡의 축의 방향과 유사하다(Fig. 7d). 이는, 연구지역에서 D2 변형 이후에 형성된 F3 세브론형 습곡은 원래의 S2 엽리면의 방향(S2 우세 방향: 북북동 내지 북동 주향에 서쪽 경사)(Figs. 10a and 11b)을 부분적으로 북북서 주향에 서쪽, 서북서 주향에 남쪽 그리고 동북동 주향에 북쪽 경사 등으로 재배열시켰으며(Fig. 9a), 또한 원래 L2 선구조의 방향(L2 우세 방향: $20\sim 45^\circ/210\sim 230^\circ$ 방향)(Figs. 10b and 11b)을 부분적으로 서쪽과 남동 침강방향들로 재배열시킨 것으로 해석된다(Fig. 9b). 그리고 D2 구조요소의 이러한 분산된 방향성은 연구지역의 중앙부 영역에서 국부적으로 탁월하게 인지된다(Fig. 9). 이는 연구지역에서의 D3 변형은 D2 변형과 같이 광역적으로 발생하였다기 보다는 국부적으로 발생하였음을 의미하고 이러한 D3 변형은 원래의 S2 엽리면과 L2 선구조의 방향성을 국부적으로 재배열시킨 것으로 해석된다(Fig. 9). F3 세브론형 습곡에 의해 분산된 D2 구조요소의 방향성

을 모식도로 도시하면 Fig. 11c와 같다.

그 외, D3 이후의 변형에 의한 결과로 남북 주향에 고각으로 경사하는 습곡측면과 거의 수평인 습곡축을 갖는 노두규모의 열린 습곡이 종종 관찰된다. 이러한 열린 습곡은 동서 방향의 압축작용의 결과 형성된 것으로 이러한 변형 이전에 서쪽 침강 방향을 보이는 L1과 L2 방향은 열린 습곡작용의 영향으로 동쪽 침강 방향으로 재배열되는 것으로 해석된다. 이러한 변형 효과는 연구지역의 북부 영역에서 주로 관찰되나(Figs. 6 and 9b), 연구지역에서의 지질구조 해석에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 본다.

결론

충주 계명산지역에서 옥천변성대의 지질구조를 파악하기 위해 기존 층단위(특히 계명산층)에 대한 암상 구분을 시도하고, 다른 암상과 구분이 용이하고 연속성이 탁월한 역질암을 주 건층으로 하여 상세한 야외지질조사를 실시하였다. 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 계명산층의 주요 구성 암상은 역질암, 산성질암, 염기성질암, 이질암 그리고 사질암으로 되어 있고, 산성질암과 염기성질암의 교호 내지 설상으로 산출되는 양상은 이들이 열곡환경의 바이오달형 화성활동의 산물이었음을 제안한다. 또한, 인접하는 암상과 유사한 기질 암상을 갖고 열린 남작 타원형 분포를 보이는 역질암의 외곽부에는 주로 화산암형 산성질암이 분포하고, 그의 중심부에는 화산암형-심성암형 산성질암이 분포한다. 이는 역질암 형성 이전의 산성질암 화성활동은 역질암 형성과 동시기 내지 이후의 산성질암 화성활동과 그 산상에서 차이점이 있음을 제안한다.

2) 충주 계명산지역에서 옥천변성대의 지질구조는 적어도 세 번 이상의 변형단계를 거쳐 형성되었다. 첫 번째 변형(D1 변형)은 북북서 내지 북서 주향에 서쪽으로 경사하는 습곡측면(S1)을 갖고 기존 엽리면(S0)의 상부가 동쪽으로 밀리는 단순 전단운동 결과 동측에서 닫히는 거대한 칼집형 습곡(F1 습곡)을 형성시켰다. 이는 역질암의 열린 남작 타원형 및 닫힌 남작 타원형 분포와 암석구조로부터 해석되었다. 그 결과, 서쪽으로 침강하는 신장 선구조(L1)가 형성되었다.

3) 두 번째 변형(D2 변형)은 북북동 내지 북동 주향에 서북서 내지 북서 방향으로 경사하는 습곡측면(S2)과 $20\sim 45^\circ/210\sim 230^\circ$ 방향의 습곡축(L2)을 갖는 동남동 내지 남동 버전선의 비대칭 습곡(F2 습

곡)을 형성시켰다. 그 결과, 서쪽으로 침강하는 L1 방향 즉 원래의 L1 방향은 F2 습곡의 하위 날개(역전된 날개)부에서 북서쪽 침강 방향의 L1으로 재배열되었다.

4) 세 번째 변형(D3 변형)은 남북 방향의 압축작용으로 형성된 45°/265° 방향의 습곡축을 갖는 세브론형 습곡(F3 습곡)으로 인지된다. 그 결과, 20~45°/210~230° 방향의 L2 즉 원래의 L2 방향은 주로 35~45°/260~280° 방향과 부수적으로 30~45°/135~165° 방향의 L2로 재배열되었다. 이러한 D3 변형은 D2 변형과 같이 광역적으로 발생하였다기 보다는 국부적으로 발생되어 원래 D2 구조요소의 방향성을 부분적으로 재배열시킨 변형작용이었다.

이후의 습곡으로는 동서 방향의 압축작용으로 형성된 남북 주향에 고각으로 경사하는 습곡축면과 거의 수평인 습곡축을 가지는 열린 습곡이 인지되나, 이러한 열린 습곡은 연구지역의 지질구조에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 여겨진다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구(96-0703-07-01-3)에 의해 지원받았다. 논문의 초고에 대한 건설적인 비평을 해 주신 고려대학교 지구환경과학과 김형식 교수님과 익명의 심사자들에게 깊은 감사를 드립니다. 야외 및 실내 작업에서 도움을 준 안동대학교 지구환경과학과 대학원의 오세봉 군에게 감사하는 바이다.

참고문헌

- 김기완, 이흥규, 1965, 한국지질도(1:50,000) 충주도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 35p.
- 김옥준, 1970, 남한 중부지역의 지질과 지구조. 광산지질, 2, 73-90.
- 김현철, 조문섭, 고희재, 1995, 증평-덕평 지역에 분포하는 중부 옥천 변성대의 변성 지구조적 진화. 지질학회지, 31, 299-314.
- 나기창, 1981, 충주층군의 시대에 관한 연구. 충북대학교 논문집, 21, 49-56.
- 민경원, 조문섭, 권성택, 김인준, K. Nagao, E. Nakamura, 1995, 충주 지역에 분포하는 변성암류의 K-Ar 연대: 원생대 말기 (675 Ma)의 옥천대 변성작용. 지질학회지, 31, 315-327.
- 박봉순, 여상철, 1971, 한국지질도(1:50,000) 목계도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 24p.
- 손치무, 1970, 옥천층군의 지질시대에 대하여. 광산지질, 3, 9-15.
- 이대성, 장기홍, 이하영, 1972, 옥천대내 향산리돌로마이트층에서의 Archaeocyatha의 발견과 그 의의. 지질학회지, 8, 191-197.
- 이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도(1:50,000) 황강리도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 43p.
- 이종혁, 1972, 옥천지향사내 기저지질에 관한 연구. 지질학회지, 8, 25-36.
- 임명혁, 김영엄, 장태우, 1991, 충주지역 대항산 규암층 주변일대의 변형량 분석 및 변형작용사. 지질학회지, 27, 191-199.
- 오창환, 김선태, 이정후, 1995, 옥천변성대 남서부 지역에서의 변성진화과정. 지질학회지, 31, 21-31.
- 장태우, 이재영, 윤선, 1988, 옥천대 남부지역 옥천층군의 지질구조 및 층서. 지질학회지, 24, 340-355.
- 최위찬, 김동학, 1981, 옥천지향사대 종합연구(I) (옥천 Belt 동북부를 중심으로 하여). 한국동력자원연구소 조사연구보고, 11, 19-43.
- 홍승호, 최위찬, 1978, 한국지질도(1:50,000) 금산도폭 및 설명서. 자원개발연구소, 29p.
- Chang, T.W., 1988, Time-relationships between the growth of biotite porphyroblast and deformation and the development of slaty cleavage in the metamorphic rocks of Ogcheon group. Jour. Geol. Soc. Korea, 24, 127-139.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of Ogcheon belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P., 1991, Early middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon belt (S. Korea): a new insight on the Paleozoic buildup of east Asia. Tectonics, 10, 1130-1151.
- Goscombe, B., 1991, Intense non-coaxial shear and the development of mega-scale sheath folds in the Arunta Block. Central Australia. Jour. Struct. Geol., 13, 299-318.
- Kang, J.H., Hara, I., Hayasaka, Y., Sakurai, Y., Shiota, T. and Umemura, H., 1993, Time-relationship between deformation and metamorphism of the Ogcheon Zone in the Ogcheon district, South Korea. Mem. Geol. Soc. Japan, 42, 63-90.
- Kang, J.H. 1994, Geological structure and tectonics of the Ogcheon zone in the Chungju-Jangseonri area, South Korea. Jour. Sci. Hiroshima Univ. Series C, 10, 11-23.
- Koh, H.J. and Kim, J.H., 1995, Deformation sequence and characteristics of the Ogcheon Supergroup in the Goesan area, central Ogcheon belt, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 31, 271-298.
- Lee, S. M., 1973, Application of metamorphic facies and facies series to Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 9, 11-23.
- Oh, C.W., Kim, S.T., Lee, J.H., 1995, The P-T condition and timing of the main metamorphism in the southwestern part of the Okcheon metamorphic belt. Jour. Geol. Soc. Korea, 31, 343-361.

- Park, A.F., 1988, Geometry of sheath folds and related fabrics at the Luikonlahti mine, Svecokare-lides, eastern Finland. *Jour. Struct. Geol.*, 10, 487-498.
- Simpson, C. and Schmid, S., 1983, An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in shear-ed rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 94, 1281-1288.
- Skjerna, L., 1989, Tubular folds and sheath folds : definitions and conceptual models for their development, with examples from the Grapesvare area, northern Sweden. *Jour. Struct. Geol.* 11., 689-703.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeon, S.H. and Park, J.N., 1973, Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangri area, Chungcheongbukdo. *Geol. Min. Inst. Korea. Rept. Geol. Min. Explor.*, 1, pt2, 1-119.

(책임편집 : 김형식)

Igneous Activity and Geological Structure of the Ogcheon Metamorphic Zone in the Kyemyeongsan area, Chungju, Korea

Ji Hoon Kang and Chung Ryul Ryoo¹

*Department of Earth and Environmental Science, College of Natural Science,
Andong National University, Andong 760-749, Korea*

¹*Environmental Geology Division, Korea Institute of Geology Mining and
Materials(KIGAM), Taejon 305-350, Korea*

ABSTRACT : The Kyemyeongsan area of Chungju in the NE part of the Ogcheon metamorphic zone, Korea, consists mainly of the Ogcheon Supergroup(Taehyangsan Quartzite, Hyangsanri Dolomite and Kyemyeongsan Formation) and the Mesozoic Chungju granite. The Kyemyeongsan Formation is composed mainly of metamorphic rocks of various grades derived from conglomeratic, basic, acidic, pelitic and psammitic rocks. The basic and acidic rocks show alternated or interfingered appearance, indicating that they were derived from bimodal type of magmatism in rift environment. Conglomeratic rocks overlie acidic volcanic rocks in general, but are underlain by both acidic plutonic and volcanic rocks. This indicates that the acidic magmatism before the formation of conglomeratic rocks was different from that during or after the formation of conglomeratic rocks in its occurrence mode. The geological structure of the Ogcheon metamorphic zone in the Kyemyeongsan area, Chungju was formed at least by three phases of deformation. The first phase deformation(D1) formed a regional-scale sheath-type fold(F1) closed into the east. Its axial plane(S1) strikes NNW to NW and dips WSW to SW. The stretching lineation(L1), related to the sheath-type fold, plunges westward. The second phase deformation (D2) formed asymmetric fold(F2) of ESE-to SE-vergence with NNE to NE striking axial plane(S2) and 20-45°/210-230° plunging axis(L2). The F2 fold reoriented the original westward plunging L1 into northwestward plunging L1 in its lower limb(overturned limb). The third phase of deformation(D3) was recognized as chevron-type fold(F3) with 45°/265° plunging axis. The F3 fold was formed by the compression of N-S direction, resulting in the reorientation of the original 20-45°/210-230° plunging L2 into mainly 35-45°/260-280° and subsidiarily 30-45°/135-165° plunging L2. After this deformation, open fold with NS striking and steeply E or W dipping axial plane is formed by the compression of E-W direction.

Key Words : Kyemyeongsan area of Chungju, igneous Activity, structural analysis, sheath-type fold, asymmetric fold, chevron-type fold