

장군봉지역 북부 소백산육괴의 고생대 변성퇴적암류에 대한 변형작용과 변성작용 사이의 상대적인 시간관계

강지훈 · 오세봉 · 김형식'

안동대학교 지구환경과학과, '고려대학교 지구환경과학과

요 약: 북부 소백산육괴의 중남부에 위치한 장군봉지역의 고생대 변성퇴적암류(조선누층군과 평안층군)에 대한 미구조와 변형작용과 변성광물들 성장(변성작용) 사이의 상대적인 시간관계를 연구하였다. 첫 번째 변성작용은 스테크상 클로리토이드 및 조립 흑운모와 안구상 홍주석 광물들의 결정화작용과 관련된 저압형 변성작용으로 인지된다. 이러한 변성작용은 동-서향의 등사 향사습곡(장군봉 습곡)과 그 측면엽리에 해당하는 S1 엽리면 형성과 관련된 D1 변형 이전의 비변형조건하에서 발생하여 고생대 변성퇴적암류에 광역적인 동-서향의 광물분대를 형성시켰다. 두 번째 변성작용은 직선 내지 곡선 형태의 내부엽리 S₂를 갖는 십자석과 석류석 반상변정들의 성장과 관련된 중압형 변성작용이다. 이러한 변성작용은 장군봉 습곡 구성지층들의 부분적인 절손을 초래하는 동-서향 드러스트들의 발달과 관련된 D1 변형 이후의 비변형조건하에서 발생하였고, 동-서향의 예천전단대 형성과 관련된 D2 변형 동안에 계속 발생하여 고생대 변성퇴적암류에 역시 광역적인 동-서향의 광물분대를 형성시켰다. 세 번째 변성작용은 팻치상 홍주석과 주상 내지 섬유상 규석 그리고 조립 석류석 광물들의 성장과 관련된 주라기 춘양화강암에 의한 접촉변성작용이다. 이러한 접촉변성작용은 S3 파랑엽리면 형성과 관련된 D3 변형 이전의 비변형조건하에서 발생하였고, D3 변형의 전기단계 동안에 계속 발생하여 춘양화강암체의 근접부에 제한된 남-북향의 광물분대를 형성시켰다.

핵심어: 고생대 변성퇴적암류, 미구조, 변성광물들의 성장, 변성작용사, 광물분대

서 론

한반도 호남지방을 중심으로 발달하고 있는 수메의 우수 주향 이동성 연성전단대들중에 북동-남서향의 순창전단대는 연장성이 우수하여 단양 부근까지 연장되고 점촌 부근에서 동북동-서남서향의 우수 주향 이동성 예천전단대로 분리되며, 예천전단대는 봉화 부근에서 그 방향성을 동-서향으로 전환하여 연구지역인 장군봉지역까지 연장되는 것으로 알려져 있다(KIGAM, 1995)(Fig. 1a). 북부 소백산육괴의 중남부지역에 위치한 경상북도 봉화군 장군봉지역은 북부 소백산육괴의 주요 구성암류에 해당하는 선캠브리아대 편암 및 편마암 복합체와 고생대 변성퇴적암류 그리고 중생대 화강암 등으로 구성되어 있다(김옥준 외, 1963; Reedman and Um, 1975; 황덕환과 Reedman, 1975; 이현구, 1980; Imai *et al.*, 1982; 이상만과 김형식, 1984; Na, 1987; 이현구 외, 1992; 안건상 외, 1993; 양판석과 조문섭, 1995; 강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998)(Fig. 1). 이러한 구성암류의 분포는 연구지역의 지

질 및 지체구조가 광역변성작용, 조구조운동, 화성활동 등과 밀접한 연관성을 가지고 있음을 의미하고 이러한 구성암류 사이의 지질학적인 관계를 직접 조사할 수 있는 장군봉지역은 북부 소백산육괴의 지구조-변성 진화과정을 파악하기 위한 중심지역이라고 생각된다.

광역변성작용, 조구조운동, 화성활동 등을 수반하는 조산대에서 지질 및 지체구조 형성과 관련된 지구조-변성 진화과정을 충분히 이해하기 위해서는 조산대의 주요 구성암류들이 분포하고 이들 사이의 지질학적인 관계를 직접 조사할 수 있는 지역에서 지질 및 암석구조 발달사(변형작용사), 변성광물의 성장(변성작용)과 변형작용 사이의 상대적 시간관계(지구조-변성사), 각 변성단계와 변형단계의 온도-압력조건 그리고 지구조-변성사와 화성활동사 사이의 상대적 시간관계 등이 명백히 결정될 필요가 있다. 지금까지 연구지역에서 구성암류의 주요 변성작용 특성과 온도-압력 조건에 관한 연구는 다수의 연구자들에 의해 수행되었으며(이현구, 1980; Imai *et al.*, 1982; 이현구 외, 1992; 안건상 외, 1993; Yang

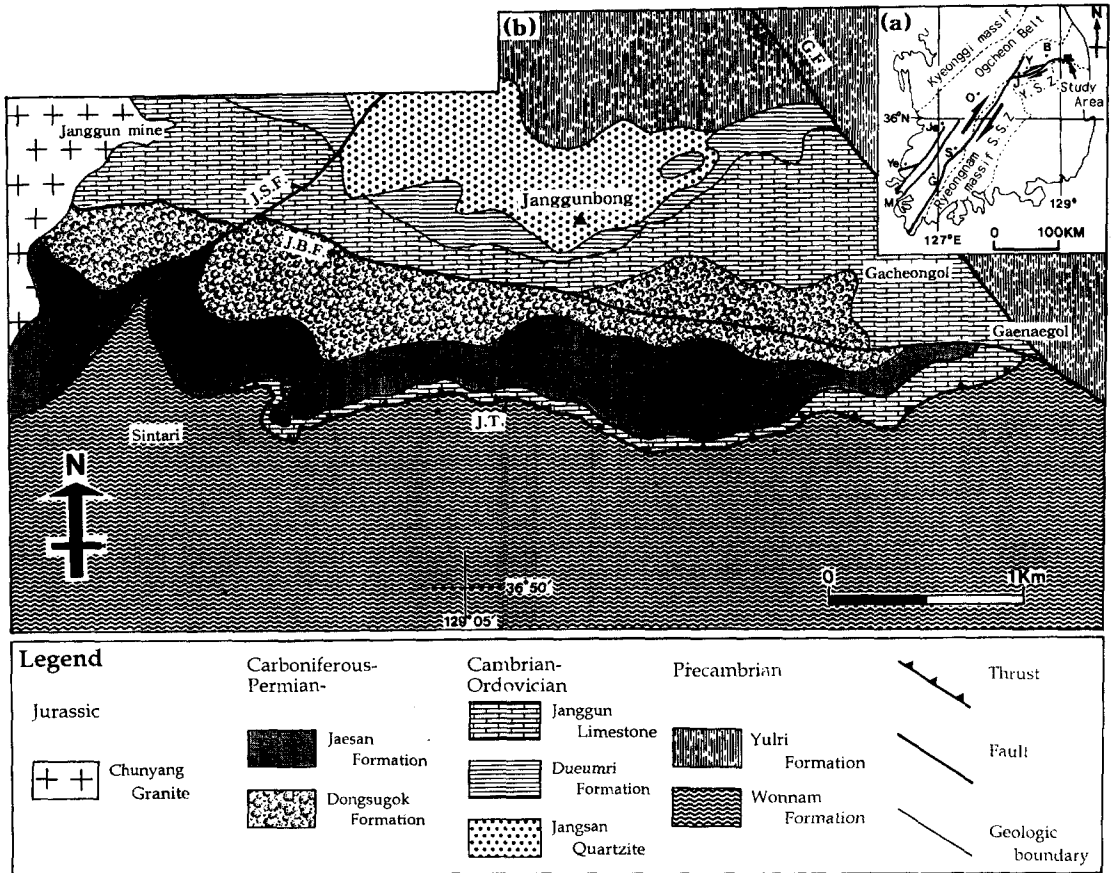


Fig. 1. (a) Index map showing the locality(arrow mark) of the study area. B: Bonghwa, G: Gwangju, J: Jeumchon, Je: Jeonju, M: Mokpo, O: Ogcheon, S: Sunchang, Y: Yecheon, Ye: Yeonggwang, S.S.Z.: Sunchang shear zone, Y.S.Z.: Yecheon shear zone[adapted from KIGAM(1995)]. (b) Geological map of the study area [modified from Kang *et al.* (1998)]. J.S.F.: Jaesan fault, J.B.F.: Janggunbong fault[Janggun thrust: Yang and Cho(1994)], J.T.: Jaesan thrust. G. F.: Gaenogol fault.

and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996), 고생대 변성퇴적암류는 적어도 3회의 변성작용(2회의 광역변성작용과 1회의 접촉변성작용)을 경험한 것으로 알려져 있다(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996). 그러나, 고생대 변성퇴적암류가 경험한 3회의 변성작용 발생 순서[Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995): 저압형-중압형-접촉형 변성작용, 김기영 외(1996): 저압형-접촉형-중압형 변성작용]와 고생대 변성퇴적암류에 중요한 영향을 미친 지배적인 변성작용의 종류[접촉형 변성작용(이현구, 1980; Imai *et al.*, 1982; 이현구 외, 1992; 안건상 외, 1993; Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995), 저압형 변성작용(김기영 외, 1996)]에 관해서는 연구

자들 사이에 견해를 달리하고 있으며, 이들 연구는 주로 고생대 변성퇴적암류의 특징적인 변성광물의 출몰 상태와 변성암석학적인 광물 공생관계에 바탕을 두고 수행되었다.

조산대 지역에서 반상변정의 성장시기는 변형작용의 발생시기와 밀접한 연관성이 있다. 변형작용과 관련되어 형성 내지 변형된 반상변정의 내부(Si)·외부(Se)면구조 자취와 변성작용과 관련되어 성장한 반상변정들 사이의 기하학적인 양상은 변형작용에 대한 반상변정의 성장[전구조(pre-tectonic), 동구조(syntectonic), 후구조(postectonic) 성장]시기에 좌우되어 다양하게 나타나므로, 이들 사이의 기하학적인 양상은 조산대 지역에서 변형작용과 변성작용 사이의 상대적인 시간관계 뿐만 아

나라 변성작용의 종류 및 발생순서를 연구하는데 유용한 것으로 알려져 왔다(Zwart, 1962; Vernon and Ryde, 1978; Toteu and Macaudiere, 1984; Passchier and Trouw, 1996의 p. 153-196).

최근, 강지훈 외(1997)와 Kang *et al.*(1998)은 북부 소백산육괴의 지구조-변성 진화과정을 파악하기 위한 선행 연구로서 본 역의 선캠브리아대 원남층과 고생대 변성퇴적암류에 대한 암석구조 연구를 통하여 본 역의 지질구조는 고생대 퇴적암류가 형성된 이후 적어도 네 번의 변형단계(동-서향의 예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형 이전에 한 번의 변형작용과 D2 연성전단변형 이후에 적어도 두 번의 변형작용)를 거쳐 형성되었음을 제안하고 변형단계별 암석구조를 상세히 기재한 바가 있다. 따라서, 본 연구는 강지훈 외(1997)과 Kang *et al.*(1998)에 의한 연구 결과를 바탕으로 고생대 변성퇴적암류의 특징적인 변성광물들에 대한 상세한 미구조 연구를 수행하였으며, 본 논문에서는 이들 변성광물과 이들 변성광물의 Si · Se 면구조 자취 사이의 특징적인 미구조로부터 고생대 변성퇴적암류가 경험한 변성작용의 종류 및 발생순서 그리고 변성작용과 변형작용 사이의 상대적인 시간관계를 해석하여 장군봉지역에서 북부 소백산육괴의 지구조-변성 진화과정을 논의하고자 한다.

지질개요

북부 소백산육괴의 중남부지역에 위치하고 삼근리도폭(김옥준 외, 1963)의 남부 일부 영역을 접하고 있는 본 연구지역은 선캠브리아대(원남층과 울리층)-고생대[조선누층군(장산규암층, 두음리층, 장군석회암층)과 평안층군(동수곡층과 재산층)] 변성퇴적암류와 중생대 화강암류(춘양화강암) 등으로 구성되어 있다(황덕환과 Reedman, 1975; 이현구, 1980; Imai *et al.*, 1982; 안건상 외, 1993; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996)(Fig. 1). 선캠브리아대-고생대 변성퇴적암류는 일반적으로 동-서향의 대상 분포를 보이고 북쪽으로 경사하고 있으며, 이들 구성암류는 본 역의 중서부에 분포하는 주라기 춘양화강암[136 ± 4.2 - 147 ± 4.5 Ma(K-Ar 백운모 연대: 이현구 외, 1992)]에 의해 관입되어 있다(Fig. 1b). 지질도상에서 인지될 수 있는 주요 단층들은 북동-남서향의 재산 단층(김옥준 외, 1963), 북서-남동향의 개내골 단층(김기영 외, 1996; 강지훈 외, 1997), 그리고 동-서향의 장군봉 단층(김옥준 외, 1963)[장군 드러스트: Yang and Cho(1994),

양판석과 조문섭(1995)]과 재산 드러스트(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996) 등이 있으며, 재산 단층과 개내골 단층은 장군봉 단층과 재산 드러스트를 절단하고 있다(Fig. 1b).

본 역의 중앙부에는 구조적 상부로부터 석탄기 지층인 동수곡층과 사동통에 대비되는(김옥준 외, 1963; 이현구, 1980) 페름기 지층인 재산층으로 구성된 평안층군이 분포하고, 재산층의 구조적 하위에 소규모로 그리고 동수곡층의 구조적 상위에 다량으로 분포하는 조선누층군은 구조적 상부로부터 장산규암층, 두음리층, 장군석회암층으로 구성되어 있다(Fig. 1b). 이현구(1980)는 장산규암층과 두음리층에서 나타나는 일차적 퇴적구조(역들의 분포와 분급층리)로부터 조선누층군의 구조적 상부층이 층서적 하부층에 해당함을 제안한 바가 있다. 본 역의 북부와 동부에는 울리층(김옥준 외, 1963)과 태백산 편암 복합체(이상만과 김형식, 1984)에 대비되는 울리층이 분포한다(Fig. 1b). 북부 울리층은 다른 암상과 구분이 용이한 장산규암층의 연속성을 절단하며 북부 조선누층군의 구조적 상위에 놓여 있고, 동부 울리층은 조선누층군과 개내골 단층으로 접하고 있다(Fig. 1b). 본 역의 남부에는 원남통의 최하부층(윤석규와 신병우, 1963)과 태백산 편암 복합체(이상만과 김형식, 1984)에 대비되는 원남층이 분포하며, 구조적 상위에 놓여 있는 남부 조선누층군(장군석회암층)은 원남층과 재산 드러스트로 접하고 있다(Fig. 1b). 강지훈 외(1997)과 Kang *et al.*(1998)은 평안층군(재산층)의 구조적 하부에 소규모로 산출되는 것으로 알려진 개내골 부근의 장군석회암층(김옥준 외, 1963)이 재산층과 원남층 사이에서 신타리 부근까지 연장성 있게 분포됨을 확인하고(Fig. 1b), 재산 단층과 개내골 단층 사이의 구성지층군의 대칭적인 분포로부터 중앙부에 분포하는 평안층군을 축부로 하고 그 양측에 분포하는 조선누층군과 선캠브리아대 지층들을 양 날개부로 하는 동-서향에 북쪽으로 고각 경사하는 하나의 역전된 향사(장군봉 향사)구조를 제안한 바가 있으며, 장군봉 향사의 축부와 하위 날개부(장산규암층, 두음리층, 부분적인 장군석회암층)를 구성하는 지층들의 부분적인 소실은 각각 장군봉 단층 운동과 재산드러스트 운동에 의해 발생되었음을 제안한 바가 있다.

한편, 강지훈 외(1997)과 Kang *et al.*(1998)은 구성암류에 대한 암석구조와 미구조 연구로부터 선캠브리아대 원남층의 편마면과 고생대 변성퇴적암류의 층리면이 형성된 이후 적어도 네 번의 변형작용

을 정의한 바가 있다. D1 변형은 동-서향의 준 수평적인 습곡축(L1)과 동-서 주향에 북쪽으로 고각 경사하는 습곡축면(S1)을 갖는 F1 등사습곡 형성기에 해당하고, D2 변형은 동-서 선주향의 신장선구조(L2) 형성과 관련된 우수 주향 이동성 대규모 연성전단운동 발생기에 해당하며, D3 변형은 동-서향의 준 수평적인 습곡축(L3)과 동-서 주향에 북쪽으로 저각 내지 중각 경사하는 습곡축면(S3)을 갖는 F3 열린 경사습곡 형성기에 해당한다. 그리고 D4 변형은 북북서 내지 북서 방향으로 침강하는 습곡축(L4)과 남서 방향으로 경사하는 습곡축면(S4)을 갖는 F4 키크형 습곡 형성기로서, 이러한 습곡작용에 의해 D4 변형 이전의 일반적인 동-서향의 구조 요소들은 부분적으로 남-북 방향성으로 재배열되었고 이러한 D4 변형 효과는 고생대 변성퇴적암류에서 주로 인지된다고 하였다.

암석 및 구조기재

본 역의 남부에 분포하는 원남층(Fig. 1b)은 주로 이질암 내지 사질암 기원의 화강암질 편마암, 호상 편마암, 안구상 편마암 등으로 구성되어 있다. 이들 편마암류는 주로 정장석, 사장석, 미사장석, 석영, 석류석, 흑운모, 백운모 등으로 구성되어 있으며 소량의 규선석, 인회석, 저어콘, 녹니석, 불투명광물 등을 함유한다. 야외에서 탁월하게 인지되는 암석구조로는 F1 등사습곡과 F3 열린 경사습곡 그리고 주로 신장된 석영 및 장석 집합체의 정향배열에 의해 정의되는 L2 신장선구조 등이 있다. 신장선구조는 F1과 F3 습곡축의 방향성과 거의 일치하는 준 수평적인 동-서 방향성을 보여준다. 신장선구조에 평행하고 S1 엽리면에 수직한 일반적인 동-서 단면상에서는 우수 주향 이동성 전단운동감각을 지시하는 많은 증거(비대칭 σ 형 압영구조, 신장성 파랑엽리, 물고기형 운모구조, 책시렁 미끄럼구조, Type I S-C 구조 등)들이 암석 및 박편규모에서 관찰된다(강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998). 이러한 전단운동감각은 우세 방향성인 북쪽 경사 S1 엽리면상에서는 상부-동쪽-이동을 보여주는 반면에 D2 연성전단변형 이후에 발생한 F3 습곡작용으로 재배열된 부수적인 방향성인 남쪽 경사 S1 엽리면상에서는 상부-서쪽-이동을 보여준다(강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998). S1 엽리면의 경사 방향에 좌우되어 상대적인 이동 방향이 서로 반대로 나타나는 이러한 전단운동감각은 D2 연성전단변형에 의해 재결정된 석영립들의 c-축 배열 비대칭성으로

부터도 역시 인지된다(Fig. 2). 본 역의 북부와 동부에 분포하는 울리층(Fig. 1b)은 주로 사질암 내지 이질암 기원의 천매암과 편암으로 구성되어 있다. 이들 암석의 주 구성광물은 백운모, 석영, 녹니석, 흑운모, 불투명광물 등으로 되어 있으며 기상 내지 잔류반정의 홍주석, 석류석, 십자석 등이 반상 변정으로 종종 관찰된다.

조선누층군의 최하부층에 해당하는 장산규암층은 주로 석영 사질암 기원의 우백색 내지 담황색의 규암과 석영 편암으로 구성되어 있다. 두음리층은 이질암 기원의 암갈색 내지 담황색의 천매암과 편암으로 주로 구성되어 있으며 변성사질암과 결정질 석회암 등을 협재한다. 조선누층군의 최상부층에 해당하는 장군석회암층은 주로 결정질 석회암으로 구성되어 있고 변성이질암, 변성사질암, 변성염기성질암 등을 부분적으로 협재한다. 조선누층군의 변성이질암류와 변성사질암류는 주로 흑운모, 십자석, 석류석, 홍주석, 규선석, 녹염석 백운모, 석영 등으로 구성되어 있고 녹니석, 전기석, 불투명광물 등을 소량 포함한다. 압영구조와 함께 S1 엽리면을 따라 형태 정향배열을 보이는 스택그(stack)상 조립 흑운모는 조선누층군의 변성이질암류와 변성사질암류에서 빈번히 관찰된다. 십자석과 석류석은 주로 중립 내지 세립으로 주로 신장된 석영 포유물로 정의되는 곡선 내지 직선 형태의 내부엽리 Si를 포함한다. 홍주석은 조립 패치(patchy)상으로서 섬유상의 규선석과 함께 춘양화강암체의 근접부에서 주로 관찰된다.

평안층군의 동수곡층은 주로 이질암 기원의 암갈색 내지 담갈색의 편암으로 구성되어 있으며 변성사질암과 변성염기성질암을 부분적으로 협재한다. 재산층은 주로 암회색 내지 담회색의 운모편암과 석영편암으로 구성되어 있고 흑색 세일과 변성사질암을 부분적으로 협재한다. 석영, 견운모, 클로리토이드 등으로 주로 구성된 재산층의 석영편암에는 주로 신장된 석영(집합체)의 정향배열에 의해 정의되는 L2 신장선구조가 탁월하게 인지된다. 신장선구조에 평행하고 S1 엽리면에 수직한 일반적인 동-서 단면상에서는 우수 주향 이동성 전단운동감각을 지시하는 증거(클로리토이드의 물고기형 구조, 신장성 파랑엽리, Type I S-C 구조)들이 종종 관찰된다(강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998). 평안층군 변성이질암류와 변성사질암류는 주로 흑운모, 클로리토이드, 홍주석, 십자석, 석류석, 규선석, 석영, 백운모 등으로 구성되어 있으며 소량의 녹염석, 녹니석, 전기석, 불투명광물 등이 관찰된다. 흑운모는

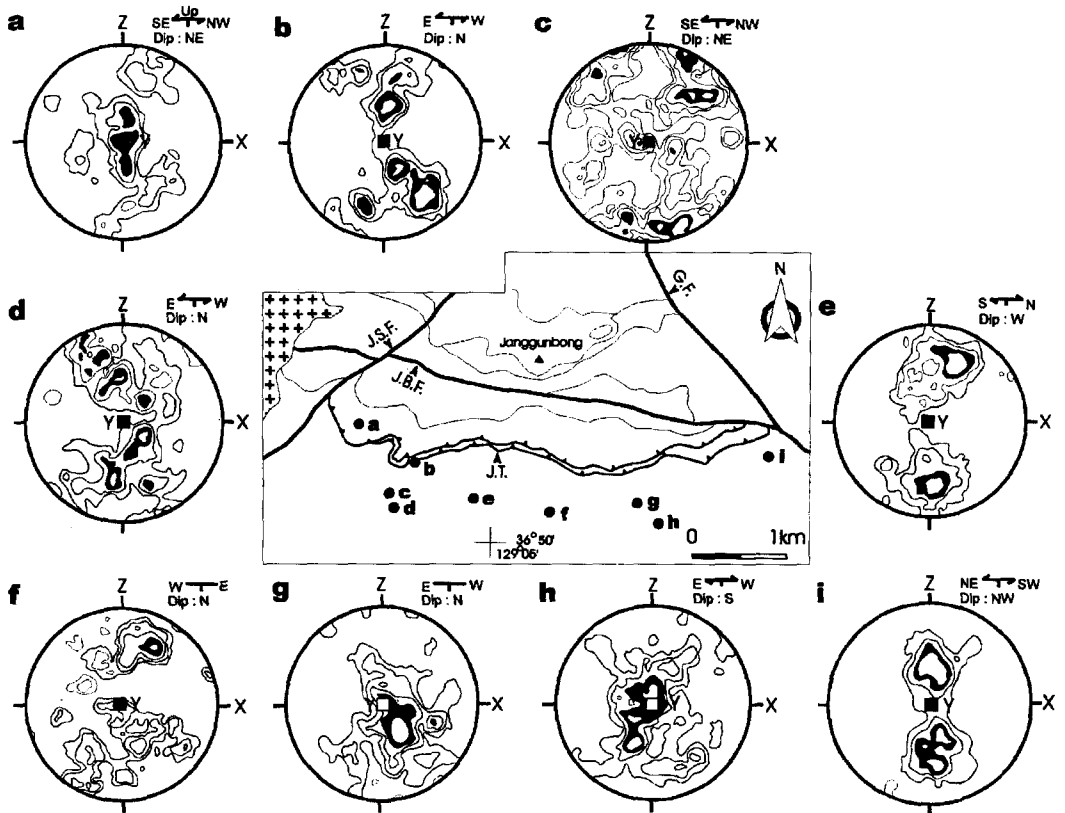


Fig. 2. Quartz c-axis fabrics(equal-area, lower-hemisphere projections) in the Paleozoic rocks(a) and Precambrian Wonnam Formation(b-i). X, Y, Z: principal axes of strain ellipsoid($X>Y>Z$). (a) n(number of grain)=200 and contours at 1-3-4-5% per 1% of area, (b) n=200 and 1-2-3-4-5%, (c) n=144 and 1-2-3-4-5%, (d) n=200 and 1-2-3-4-5%, (e) n=235 and 1-2-4-5%, (f) n=200 and 1-1.5-2-3-4%, (g) n=200 and 1-2-3-4-5%, (h) n=200 and 1-2-3-5%, (i) n=200 and 1-2-3-5%.

주로 S1 엽리면에 평행한 격자 정향배열을 보이는 세립 흑운모로 산출되며 조선누층군 변성이질암류와 변성사질암류의 스택크상 조립 흑운모는 드물게 관찰된다. 클로리토이드는 주로 물고기상 내지 S1 엽리면에 포획된 스택크상으로 관찰된다. 홍주석은 S1 엽리면에 포획된 안구상 홍주석과 일반적으로 S1 엽리면을 포유하는 패치상 홍주석으로 산출한다. 직선 내지 곡선 형태의 Si를 포유하는 십자석과 석류석에는 신장성 미세단열이 관찰된다. 춘양화강암체 주변의 저 변성도 석영-운모 천매암이나 흑색 세일에서도 관찰되는 섬유상 규선석은 패치상 홍주석과 함께 춘양화강암체의 근접부에서 주로 관찰된다. 야외에서 인지되는 고생대 변성퇴적암류의 암석구조로는 F1 등사습곡, F3 열린 경사습곡 그리고 F4 킹크형 습곡 등이 있다. 특히 고생대 변성이질암류에서 F3 습곡은 S1 엽리면이 주름져 형성된 파

랑습곡을 동반하고 S3 파랑엽리면과 L3 파랑선구조를 형성시킨다. 이러한 D3 구조요소는 F4 킹크형 습곡작용에 의해 부분적으로 재배열되어 있으나 일반적으로 동-서 방향성을 보이므로(강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998), S1 엽리면 내지 S3 파랑엽리면과 L3 파랑선구조에 수직한 일반적인 남-북 단면상에서는 D1, D3, D4 변형들의 중첩구조가 잘 관찰된다.

변성광물의 성장과 변형작용

고생대 변성퇴적암류가 경험한 적어도 네 번의 변형작용은 고생대 변성이질암류에서 용이하게 인지된다. 고생대 변성이질암류와 변성사질암류의 특징적인 변성광물들로는 클로리토이드, 흑운모, 석류석, 십자석, 홍주석 그리고 규선석 등이 관찰된

다. 여기서는, S1 엽리면에 수직하고 L2 신장선구조에 평행한 일반적인 동-서향 박편들과 S1 엽리면 내지 S3 파랑엽리면과 L3 파랑선구조에 수직한 일반적인 남-북향 박편들에서 관찰되는 이들 변성광물과 이들 변성광물의 Si·Se 면구조 자취 사이의 특징적인 미구조로부터 고생대 변성퇴적암류가 경험한 네 번의 변형작용과 이들 변성광물들 성장 사이의 상대적인 시간관계를 기재한다(Zwart, 1962; Vernon and Ryde, 1978; Toteu and Macaudiere, 1984; Passchier and Trouw, 1996의 p.153-196). 그리고 이들 변성광물의 분포 양상과 특징적인 미구조들로부터 해석되는 고생대 변성퇴적암류가 경험한 변성작용 종류 및 발생순서 그리고 장군봉지역에서 북부 소백산육괴의 지구조-변성진화 과정 등에 관해서는 본 논문의 해석과 토의 부분에서 논의하고자 한다.

클로리토이드와 흑운모

열은 녹색-열은 노란색의 다색성과 간혹 다색성이 없는 무색으로 관찰되는 클로리토이드는 일반적으로 석영과 탄질물을 소량 포유하며 (001)벽개면이 S1 엽리면에 대해 다양한 각도로 사교하는 스택크상(Passchier and Trouw, 1996의 p.153-196)(Fig. 3a)과 (001)벽개면이 꼬리방향에 의해 정의되는 전단엽리 C면에 준 평행하게 배열된 물고기상(Lister and Snoke, 1984)(Fig. 3b)으로 산출한다. S1 엽리면에 포획되어 있고 S1 엽리면을 따라 압영구조를 보이는 이러한 스택크상의 미구조로부터는 클로리토이드가 S1 엽리면이 형성되기 이전에 출현하였음을 알 수 있고(Craig *et al.*, 1982; Woodland, 1985; Gregg, 1986), 전단엽리 C면 형성과 관련된 전단변형을 겪는 동안에 이미 존재하는 클로리토이드가 결정-소성과정(crystal-plastic process)과 미세단열작용에 의해 형성되는 것으로 알려진 물고기상 미구조(Lister and Snoke, 1984)로부터는 S1 엽리면이 형성된 이후에 발생된 D2 전단변형에 의해 기존의 클로리토이드가 물고기상으로 형성되었음을 알 수 있다(클로리토이드 출현-S1 엽리면 형성-D2 전단변형작용). 이러한 미구조들을 보이는 클로리토이드는 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보이며 평안층군의 변성이질암류와 변성사질암류에서 우세하게 나타난다(Fig. 4).

흑운모에는 포유하는 광물없이 (001)벽개면이 S1 엽리면에 평행한 격자 정향배열을 보이는 세립 흑운모와 무질서하고 비신장된 소량의 포유물(주로

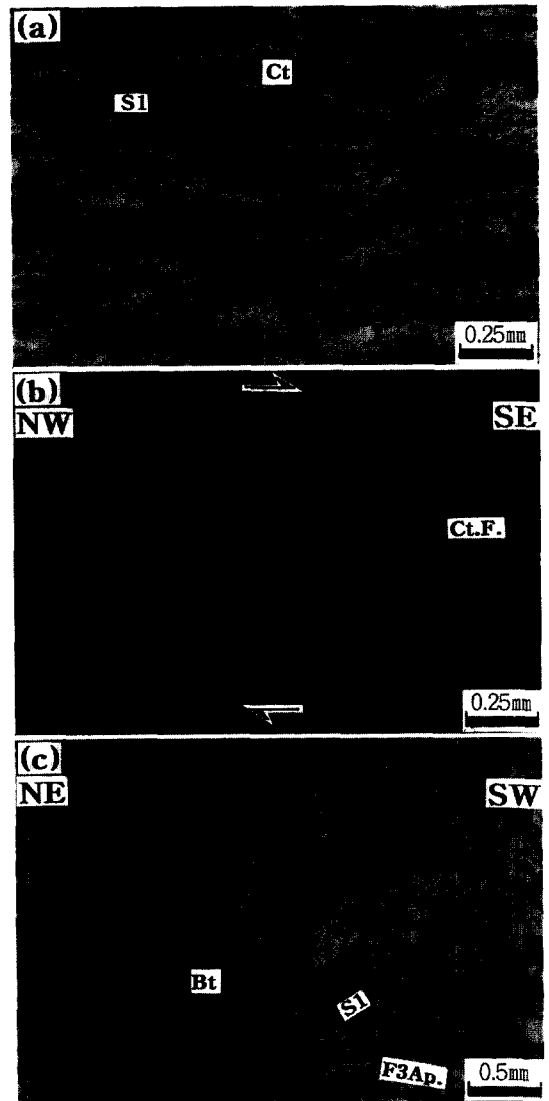


Fig. 3. Photomicrographs showing characteristic microstructures of chloritoid and biotite in the Paleozoic rocks of the Janggunbong area. (a) Chloritoid stacks(Ct) with (001) plane at various angles to S1 foliation(Jaesan Formation, 9724 in Fig. 4). (b) Chloritoid fish(Ct.F.) indicating top-to-the-southeast shear sense(Jaesan Formation, 9713). (c) Biotite stacks(Bt) showing preferred shape orientation with pressure shadows along S1 foliation(Dueumri Formation, 9689). F3Ap: axial surface of F3 microfold.

석영)을 갖고 (001)벽개면이 S1 엽리면에 대해 다양한 각도로 사교하는 스택크상 조립 흑운모가 관찰된다(Fig. 3c). S1 엽리면에 포획되어 있고 압영구조와 함께 S1 엽리면에 평행한 형태 정향배열을

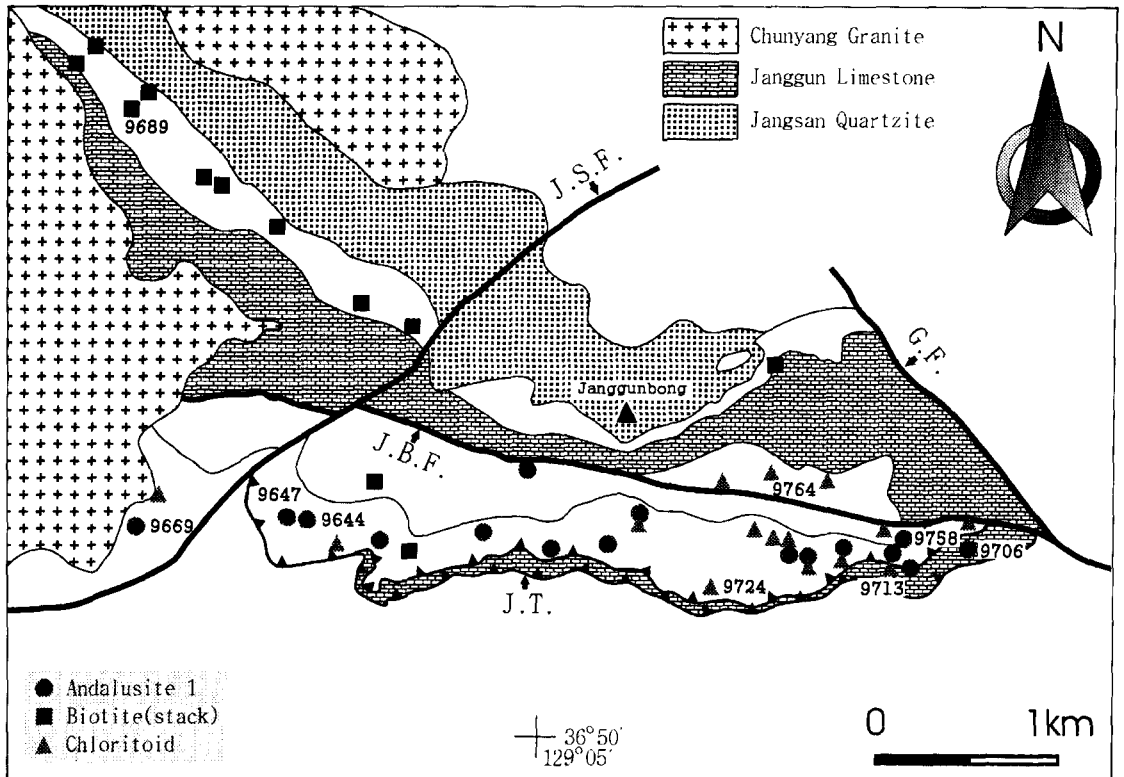


Fig. 4. Diagram showing distribution of chloritoid, stack biotite, augen andalusite(low-pressure type metamorphic minerals) in the Paleozoic metapelitic and metapsammitic rocks of the Janggunbong area. Note: these minerals are regionally distributed and show mineralogical zoning of E-W trend.

보이는 이러한 조립 혹은모 역시 클로리토이드와 같이 S1 엽리면이 형성되기 이전에 출현하였다고 할 수 있으므로, 본 역의 고생대 변성퇴적암류에는 S1 엽리면 형성과 관련된 D1 변형 이전에 스택상 클로리토이드 및 조립 혹은모의 결정화작용이 인지된다. 그리고 조립 혹은모는 조선누층군의 두 음리층에서 우세하게 나타나고 평안층군에서는 더 물게 산출되며 클로리토이드와 같이 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보인다(Fig. 4).

십자석과 석류석

고생대 변성퇴적암류에는 클로리토이드로부터 성장한 십자석들이 종종 관찰되고(Fig. 5a), 일반적인 동-서 박편상에서는 주로 신장된 석영 포유물로 정의되는 직선(Fig. 5b) 내지 곡선(Fig. 5c) 형태의 내부엽리 Si를 갖는 십자석 반상변정들이 관찰된다. 직선 Si는 외부엽리 Se와 사교하면서 연속성을 유지하는데(Fig. 5b), 이러한 미구조로부터 고생대

변성퇴적암류의 십자석 반상변정은 직선 Si 형성과 관련된 D1 변형과 십자석을 회전시키는 D2 전단변형 사이의 비변형조건하에서 성장하였음을 알 수 있다. 또한, 곡선 Si는 비대칭 습곡 형태(일반적인 동-서 박편상에서 나타나는 이러한 비대칭 습곡은 후술할 일반적인 남-북 박편상에서 관찰되는 파랑 습곡과 다름)로 외부엽리 Se와 연결되어 있으며, 외부엽리 Se가 전단엽리 C면에 해당함을 지지하는 신장성 파랑엽리 C'면은 외부엽리 Se에서 관찰되고, 비대칭 습곡 형태의 곡선 Si로부터 인지되는 전단운동감각은 C'면 형성과 관련된 전단운동감각과 일치한다(Fig. 5c). 이러한 미구조로부터 십자석 반상변정은 S1 엽리면을 전단면(S1-2)으로 하여 S1 엽리면을 비대칭 습곡 형태로 습곡시키는 D2 전단 변형과 동시기에 성장하였음을 알 수 있다. 그리고 십자석 반상변정의 이러한 특징적인 미구조들은 일반적인 동-서 박편상의 석류석에서도 관찰된다[직선 Si를 갖는 석류석(Fig. 5d), 곡선 Si를 갖는 석류석(Fig. 5e)]. 따라서, 이러한 특징적인 미구조들로

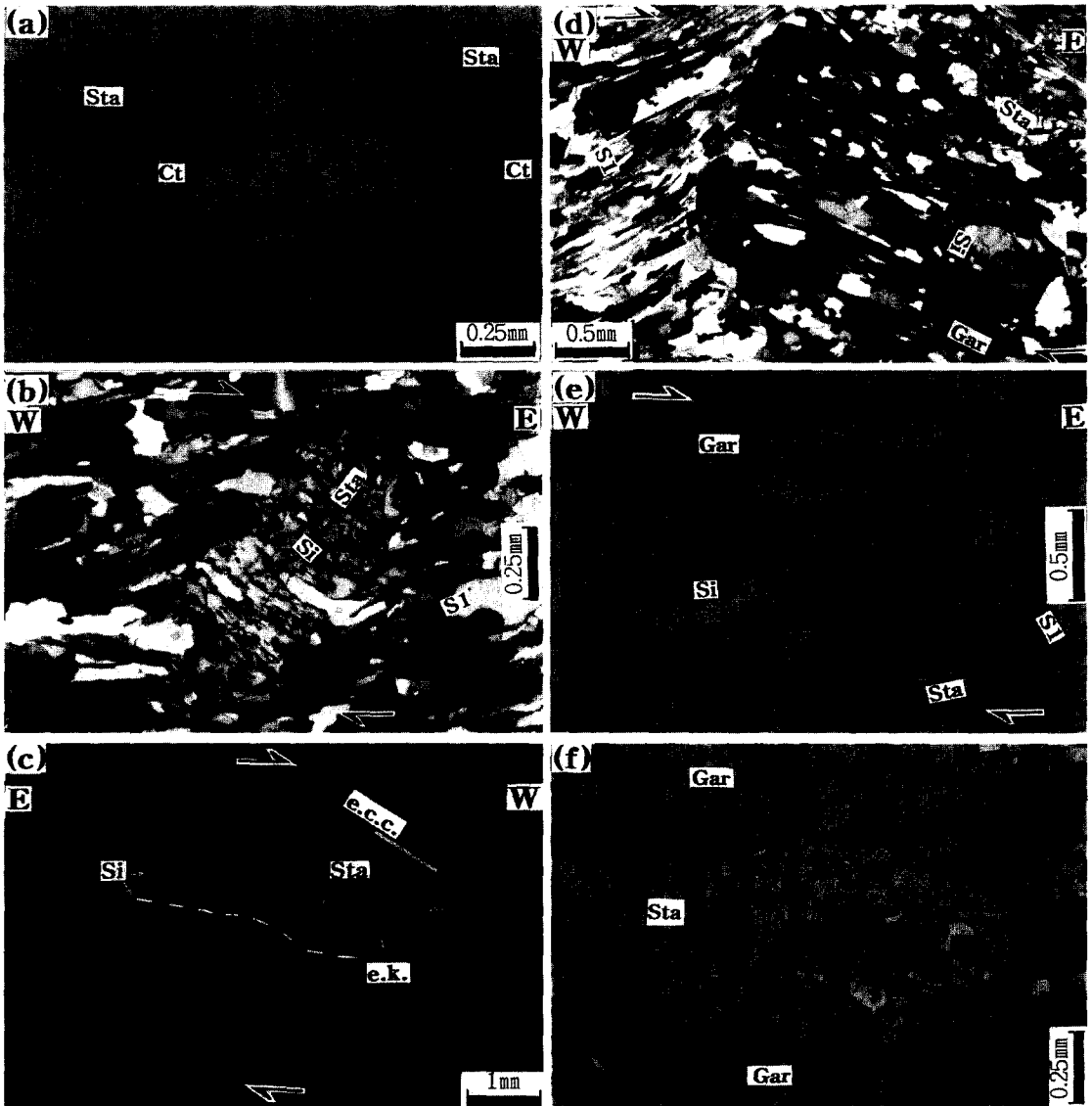


Fig. 5. Photomicrographs showing characteristic microstructures of staurolite(Sta) and garnet(Gar) in the Paleozoic rocks of the Janggunbong area. Thin-sections are cut perpendicular to the S1 foliation and parallel to the L2 stretching lineation. (a) Staurolite growing from chloritoid(Ct)(Dongsugok Formation, 9764 in Fig. 6). (b) Intertectonic staurolite porphyroblast grown under non-deformational condition between D1 and D2 deformations (Dongsugok Formation, 9658). Note: straight Si is oblique to and continuous with Se. (c) Syntectonic staurolite porphyroblast with respect to D2 deformation (Jaesan Formation, 9654)[note: the continuity of Si and Se, the sigmoidal Z-shaped Si indicating top-to-the-west shear sense, extensional crenulation cleavage(e.c.c.) in Se indicating top-to-the-west shear sense, the Se dips south]. e.k.: extensional crack. (d) Intertectonic garnet porphyroblast grown under non-deformational condition between D1 and D2 deformations(Dongsugok Formation, 9658). (e) Syntectonic garnet porphyroblast with respect to D2 deformation showing top-to-the-east shearing[the Se dips north](Dongsugok Formation, 9658). (f) Coarse-grained garnet containing medium-grained staurolite [Jaesan Formation, 9668(near Chunyang granite)].

부터 본 역의 고생대 변성퇴적암류의 십자석과 석류석 반상변정들은 S1 열리면 형성과 관련된 D1

변형 이후의 비변형조건하에서 출현하여 D2 전단 변형작용동안에 계속 성장하였음을 알 수 있다. 이

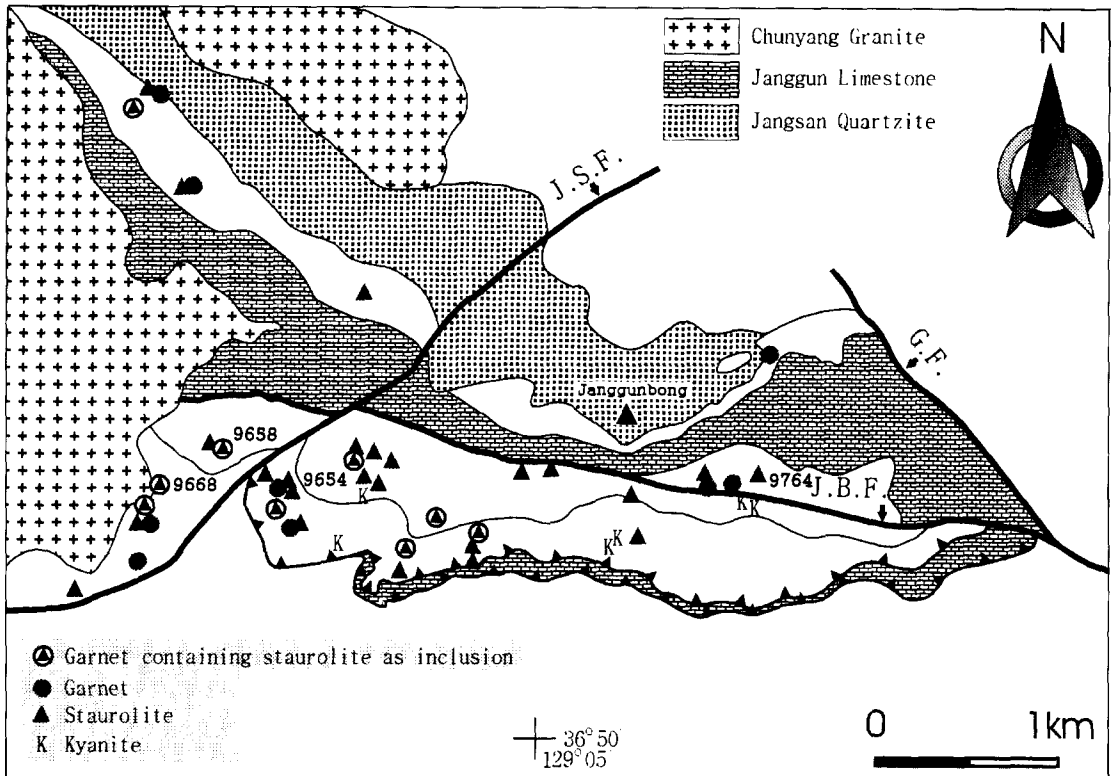


Fig. 6. Diagram showing distribution of staurolite and garnet porphyroblasts in the Paleozoic metapelitic and metapsammittic rocks of the Janggunbong area. Note: these minerals are regionally distributed and show mineralogical zoning of E-W trend. For detailed explanation see text.

들 광물의 분포도를 작성해 보면, 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보이며 구조적 하부로 갈수록 이들 광물의 산출량은 증가하고 고생대 변성퇴적암류에 광역적으로 분포하고 있음을 알 수 있다(Fig. 6). 조립 석류석이 중립 십자석을 포유하는 조직이 종종 관찰되는데(Fig. 5f), 이러한 조립 석류석은 춘양화강암체의 근접부에 제한되어 산출한다(Fig. 6).

홍주석과 규선석

S1 엽리면 내지 S3 파랑엽리면과 L3 파랑선구조에 수직한 일반적인 남-북 박편상에서 관찰되는 S3 파랑엽리(F3 파랑습곡의 측면엽리)는 벽개영역과 마이크로리손(microlithon)으로 구성된 간격엽리(spaced foliation)에 해당하고, 세부적으로는 마이크로리손에서 벽개영역으로의 변화가 불연속(discrete)(Figs. 7b and 7c) 내지 점이적(gradational)(Fig. 8a)인 양상을 보이는 대상 파랑엽리(zonal crenulation cleavage)로 분류된다(Powell, 1979;

Borradaile *et al.*, 1982). 이러한 S3 파랑엽리를 습곡시키는 미소규모 F4 킹크형 습곡은 고생대 변성이질암류에서 종종 관찰된다(Figs. 7b and 8d).

고생대 변성이질암류의 홍주석에는 일반적으로 안구상 홍주석과 팻치상 홍주석 두 가지 산출양상이 인지된다. 안구상 홍주석은 상기된 스택스상 클로리토이드-조립 흑운모와 같이 무질서하고 비신장된 소량의 석영 포유물을 갖고 S1 엽리면에 포획되어 산출하고(Fig. 7a), 일반적인 남-북 박편상에서 안구상 홍주석은 S3 파랑엽리에 포획되어 산출한다(Figs. 7b and 7c). 춘양화강암체로부터 멀리 떨어져 산출되는 안구상 홍주석에는 압축작용 동안 가용성 물질의 용해 및 운반으로 불가용성 물질이 잔류되어 형성되는 것으로 알려져 있는 벽개 라멜라(cleavage lamellae)(cf. Borradaile *et al.*, 1982)가 관찰된다(Figs. 7b and 7c). 이러한 벽개 라멜라의 자취는 일반적으로 두 방향으로 인지된다. 하나는 F3 습곡작용에 의해 파랑습곡된 S1 엽리와 동일한 방향성을 보이고(Fig. 7b), 다른 하나는 안구상

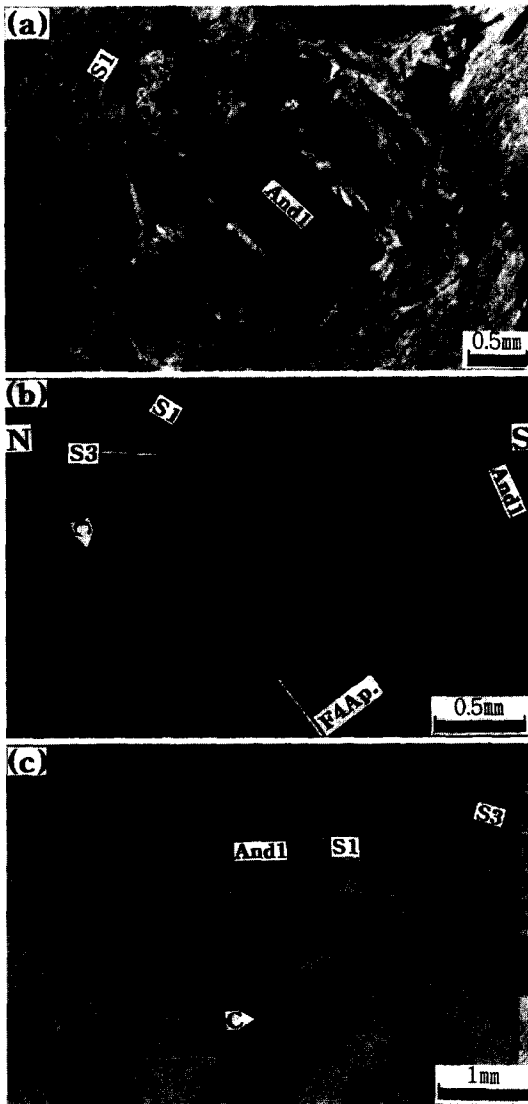


Fig. 7. Photomicrographs showing characteristic microstructures of old(augen) andalusite(And 1) porphyroblasts in the Paleozoic rocks of the Janggun-bong area. Thin-sections are cut perpendicular to the S1 foliation or S3 foliation and the L3 crenulation lineation. (a) Pretectonic andalusite porphyroblast with respect to S1 foliation[Jaeson Formation, 9647 in Fig. 4(near Chunyang granite)]. It shows strong S1 foliation deflection and minor inclusions. (b-c) Pretectonic andalusite porphyroblasts with respect to S3 foliation(discretely zonal crenulation cleavage)(b): Dongsugok Formation, 9758(away Chunyang granite), (c): Jaeson Formation, 9706(away Chunyang granite)]. They show cleavage lamellae(C) which correspond to the traces of microfolded S1 foliation in Fig. 7b and is parallel to the S3 foliation in Fig. 7c. F4Ap.: axial surface of F4 microfold.

홍주석을 포획하는 S3 파랑엽리와 동일한 방향성을 보인다(Fig. 7c). 따라서, 이러한 특징적인 미구조를 보이는 안구상 홍주석 역시 전술한 스테크상 클로리토이드 및 조립 흑운모와 같이 S1 엽리면이 형성되기 이전에 출현하였다고 할 수 있으므로, 본 역의 고생대 변성퇴적암류에는 S1 엽리면 형성과 관련된 D1 변형 이전의 비변형조건하에서 이들 광물 성장과 관련된 변성작용이 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 특징적인 미구조를 보이는 안구상 홍주석은 클로리토이드-조립 흑운모와 같이 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보이며 평안충군의 변성 이질암류에서 우세하게 나타난다(Fig. 4).

일반적인 남-북 박편상에서 팻치상 홍주석은 주로 신장된 석영 포유물과 조립·세립 흑운모, 클로리토이드, 전기석, 백운모, 불투명광물 등으로 정의되는 직선 형태의 내부엽리 Si를 보유하고 일반적으로 S3 파랑엽리에 의해 포획되어 산출한다(Fig. 8a). 팻치상 홍주석내에 포유된 직선 형태 내부엽리 Si는 마이크로리손에 포함된 F3 미소습곡의 양쪽 날개부를 이루고 있는 S1 엽리와 연속성을 유지하고(Fig. 8a), 이러한 팻치상 홍주석은 미소규모 F4 키크형 습곡에 의해 변형되어 소광위치를 달리한다(Fig. 8d). 이러한 미구조로부터 고생대 변성퇴적암류의 팻치상 홍주석은 직선 Si에 해당하는 S1 엽리면이 형성된 이후-S3 파랑엽리면이 형성되기 이전의 비변형조건하에서 출현하였음을 알 수 있다. 또한, 일반적인 남-북 박편상에서는 직선 형태의 내부엽리 Si를 갖는 코아부와 전기 파랑엽리를 포획하고 후기 파랑엽리에 의해 포획된 최외각 맨틀부를 갖는 팻치상 홍주석이 종종 관찰되는데(Figs. 8b and 8c), 이러한 미구조로부터 D3 변형 이전의 비변형조건하에서 출현한 팻치상 홍주석은 D3 변형의 전기과정까지 그 성장을 계속하였음과 D3 변형은 팻치상 홍주석의 결정화작용보다 오래 동안 지속되었음을 알 수 있다.

규선석은 일반적으로 주상 내지 섬유상으로 산출된다. 안구상 홍주석(Fig. 9a)과 십자석 반상변정(Fig. 9b)들이 규선석으로 전이하는 조직은 춘양화강암체의 근접부에서 종종 관찰되며, 일반적인 남-북 박편상에서 섬유상 규선석이 F3 습곡작용에 의해 변형되는 미구조는 고생대 변성이질암류에서 종종 관찰된다(Fig. 9c). 이러한 특징적인 미구조들을 보이는 팻치상 홍주석과 주상 내지 섬유상 규선석 광물들의 분포도를 작성해 보면, 지금까지 기재된 고생대 변성이질암류와 변성사질암류의 특징적인 변성광물들의 일반적인 동-서 방향성과 달리(Figs.

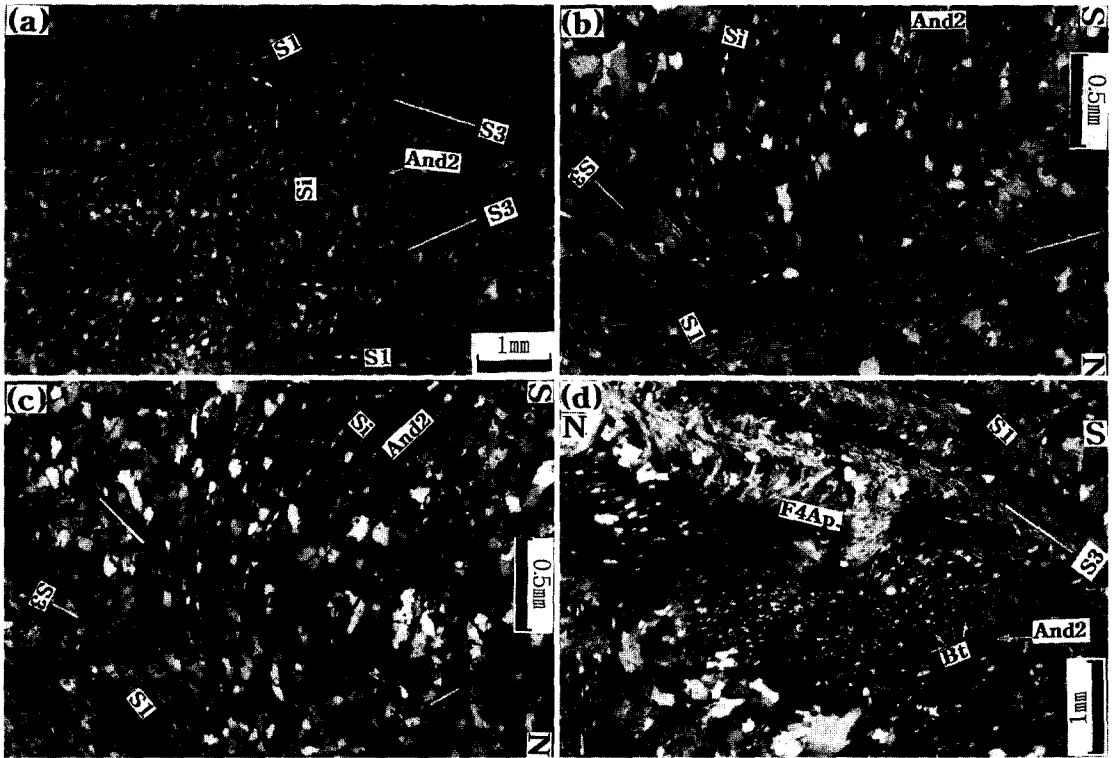


Fig. 8. Photomicrographs showing characteristic microstructures of young(patchy) andalusite(And 2) porphyroblasts in the Paleozoic rocks of the Janggunbong area. Thin-sections are cut perpendicular to the S1 foliation or S3 foliation and the L3 crenulation lineation. (a) Pre-tectonic andalusite porphyroblast with respect to S3 foliation(gradationally zonal crenulation cleavage)(Dueumri Formation, 9853 in Fig. 10). It has straight Si which is continuous with microfolds Se(S1) foliation and shows strong S3 foliation deflection. (b-c) Microstructures in the mantle parts of andalusite porphyroblasts which include the trace(Si) of early crenulation cleavage and show strong late crenulation cleavage(S3) deflection[(b): Dueumri Formation, 9689, (c): Dueumri Formation, 9845]. (d) Andalusite porphyroblast deformed by F4 microfold(Dueumri Formation, 9688). F4Ap.: axial surface of F4 microfold, Bt: stack biotite. For detailed explanation see text.

4 and 6), 이들 광물은 쥬라기 춘양화강암체의 외각선과 유사한 남-북 방향성의 규선석대와 홍주석대를 형성하고 춘양화강암체의 근접부에 제한되어 산출됨을 알 수 있다(Fig. 10). 그리고 이들 광물의 산출영역은 이전에 언급된 중립 십자석을 포유하는 조립 석류석의 산출영역과 거의 일치한다(Fig. 6).

해석 및 토의

본 역의 변성작용에 대한 연구는 지금까지 다수의 연구자들에 의해 수행된 바가 있다. 안건상 외(1993)는 고생대 변성이질암류에 대한 변성 광물조합과 변성광물의 출몰 상태를 근거로 4개의 변성분대(녹니석대, 십자석대, 홍주석대, 규선석대)로 구분하고, 춘양화강암체를 향해 고온의 광물조합이

나타나며 변성분대들의 경계선이 춘양화강암체의 외각선과 유사한 점을 고려하여 이러한 4개의 변성분대는 춘양화강암체의 접촉변성작용에 의한 것으로 해석한 바가 있다.

Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995) 그리고 김기영 외(1996)는, 변성작용의 발생 순서와 지배적인 변성작용의 종류에 대한 해석은 서로 달리하나, 본 역의 고생대 변성퇴적암류에는 2회의 광역변성작용과 1회의 접촉변성작용을 제안한 바가 있다. Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)의 첫 번째 변성작용은 가상 및 잔류 광물들(석류석, 홍주석, 클로리토이드)의 산출로 추정된 녹색편암상-각섬암상의 전이대에서 발생한 저압형 변성작용이고, 두 번째 변성작용은 장군 드러스트 하반에서 저압형 홍주석이 남정석으로 전이하는 중압형

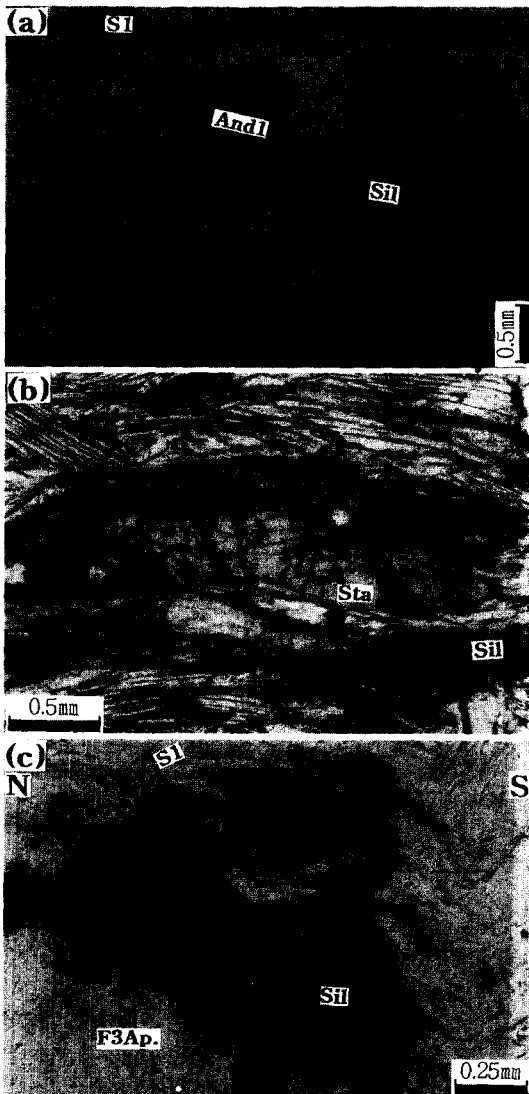


Fig. 9. Photomicrographs showing characteristic microstructures of sillimanite(Sil) in the Paleozoic rocks of the Janggunbong area. (a) Prismatic or fibrous sillimanite growing from augen andalusite porphyroblast(And 1) which shows strong S1 foliation deflection(Jaesan Formation, 9669 in Fig. 10). (b) Fibrous sillimanite growing from staurolite porphyroblast (Sta)(Jaesan Formation, 9668). (c) Fibrous sillimanite deformed by F3 microfold(Jaesan Formation, 9650). F3Ap.: axial surface of F3 microfold.

변성작용이며, 세 번째 변성작용은 주라기 춘양화강암의 관입에 의한 접촉변성작용으로서 이러한 접촉변성작용에 의해 본 역의 고생대 변성퇴적암류에는 남-북향의 경계선을 갖는 5개의 주 변성분대(혹

운모대, 석류석대, 십자석대, 홍주석대, 규선석대)가 형성되었다고 하였다. 한편, 김기영 외(1996)는 춘양화강암에 의한 접촉변성작용은 춘양화강암의 접촉부에만 제한된 변성작용이며 고생대 변성퇴적암류의 지배적인 변성작용은 첫 번째 변성작용에 해당하는 저압형 변성작용으로서 이러한 변성작용에 의해 본 역의 고생대 지층에는 북동-남서향의 경계선을 갖는 5개의 주 변성분대(클로리토이드대, 십자석대, 석류석대, 십자석+흑운모대, 홍주석+흑운모대)가 형성되었다고 하였다. 또한, 그들은 춘양화강암체내에 발견되는 소규모 단층대가 재산 드러스트운동과 관련되어 형성되었을 것으로 해석하고, 두 번째 변성작용은 춘양화강암체에 의한 접촉변성작용(홍주석, 규선석, 십자석, 석류석 등)이며 세 번째 변성작용은 재산 드러스트운동과 관련되어 저압형 홍주석이 남정석으로 전이하는 중압형 변성작용(남정석, 십자석, 흑운모 등)으로 해석한 바가 있다. 김기영 외(1996)의 이러한 연구결과(변성작용의 발생순서: 저압형-접촉형-중압형 변성작용, 지배적인 변성작용: 저압형 변성작용)는 상기된 Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)의 연구결과(변성작용의 발생순서: 저압형-중압형-접촉형 변성작용, 지배적인 변성작용: 접촉형 변성작용)와 다르며, 이들의 연구결과는 고생대 변성퇴적암류의 특징적인 변성광물의 출현과 소멸, 변성암석학적인 광물 공생관계에 의해 주로 수행되었다.

고생대 퇴적암류가 형성된 이후 적어도 네 번의 변형작용(강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998)과 고생대 변성이질암류와 변성사질암류의 특징적인 변성광물의 성장(변성작용) 사이의 상대적인 시간관계에 대한 본 연구결과, 본 역의 고생대 변성퇴적암류에는 기존 연구자들의 연구결과(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996)와 같이 적어도 3회의 주요 변성작용이 인지된다.

첫 번째 변성작용은 무질서하고 비신장된 소량의 포유물(주로 석영)을 갖고 일반적으로 S1 엽리면에 포획된 스택크상 클로리토이드(Fig. 3a) 및 조립 흑운모(Fig. 3c)와 안구상 홍주석(Figs. 7a-7c) 성장과 관련된 저압형 변성작용으로 해석된다. 일반적으로 스택크상 변성광물은 비변형조건하의 저 변성 조건에서 속성엽리(diagenetic foliation) 형성과 관련되어 출현하는 변성광물로서 알려져 있고(Craig *et al.*, 1982; Woodland, 1985; Gregg, 1986; Passchier and Trouw, 1996의 p.153-196), S1 엽리면에 포획된 이들 저압형 변성광물의 미구조는 본 역의 저압형 변성작용이 S1 엽리면 형성과 관련된 D

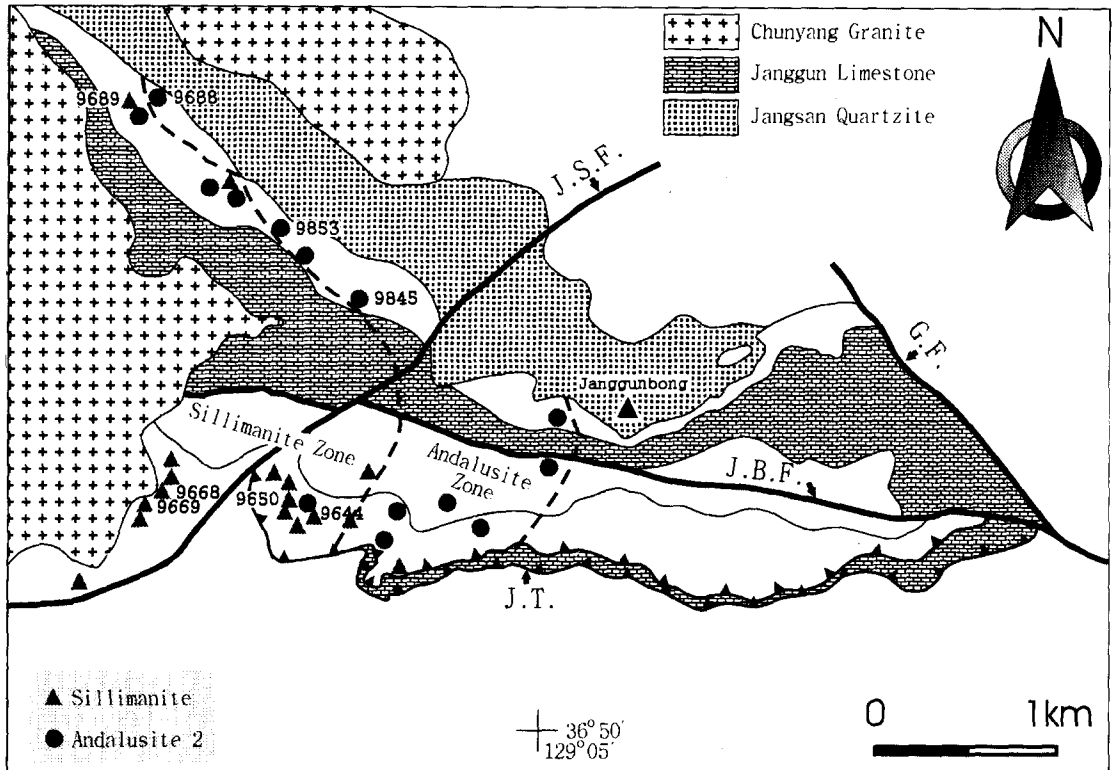


Fig. 10. Diagram showing distribution of fibrous sillimanite and patchy andalusite porphyroblast produced by contact metamorphism of Jurassic Chunyang granite and their mineralogical zones in the Paleozoic metapelitic rocks of the Janggunbong area.

Table 1. Diagram illustrating time-relationship between deformation and growth of metamorphic minerals (metamorphism) in the Paleozoic rocks of the Janggunbong area. D.P.: deformation phases, M.M.: metamorphic minerals, (s): stack type, And 1: old andalusite, And 2: young andalusite, ND: non-deformational phase. <D1: non-deformational phase before D1 deformation (First phase metamorphism=low-pressure type metamorphism), ND1-D2: Second phase metamorphism=medium-pressure type metamorphism, ND2-early phase of D3 deformation: Third phase metamorphism=contact metamorphism by Jurassic Chunyang granite

M.M.	D.P.	<D1	D1	ND1	D2	ND2	D3	D4
chloritoid		—	—					
biotite(s)		—	—					
andalusite		And1	—			And2		
staurolite				—	—			
garnet							—	
sillimanite							—	
Chunyang granite							—	

1 변형 이전의 비변형조건하에서 발생되었음을 의미한다(Table 1). 그리고 이들 저압형 변성광물은 일반적인 동-서향의 대상분포를 보이며 고생대 변성퇴적암류에 광역적으로 산출되는데(Fig. 4), 이러한 대상분포 양상은 본 역의 중앙부에 분포하는 평안층군을 축부로 하고 그 양측에 분포하는 조선누층군과 선캠브리아대 지층들을 양 날개부로 하는 장군봉 향사의 방향성과 거의 일치한다(Fig. 1b). 따라서, S1 엽리면에 포획된 저압형 변성광물의 미구조, 저압형 변성광물들의 동-서향 분포 양상 그리고 D1 변형에 의해 형성된 장군봉 향사의 방향성 등을 고려해 볼 때, 본 역의 고생대 변성퇴적암류의 첫 번째 변성작용은 고생대 퇴적암류가 형성된 이후-장군봉 향사작용에 의해 동-서향의 S1 엽리면이 형성되기 이전(장군봉 향사가 형성되는 과정)에 발생한 저압형 매몰 변성작용(burial metamorphism)으로 해석되며, 이러한 저압형 변성작용은 고생대 변성퇴적암류의 지배적인 변성작용으로서 고생대 변성퇴적암류에 광역적인 동-서향의 광물분대를 형

성시킨 것으로 해석된다(Fig. 4).

두 번째 변성작용은 일반적인 동-서 박편상에서 외부엽리 Se와 연속성을 보이는 직선(Figs. 5b and 5d) 내지 곡선(Figs. 5c and 5e)형태 내부엽리 Si를 갖는 십자석-석류석 반상변정들의 성장과 관련된 변성작용으로 해석된다. 이러한 미구조들로부터 고생대 변성퇴적암류의 두 번째 변성작용은 D1 변형 이후의 비변형조건하에서 발생하여 S1 엽리면을 전 단면으로 하는 D2 연성전단운동 동안 계속 진행된 것으로 해석된다(Table. 1). 그리고, 이들 광물은 기존 연구자들(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996)에 의해 중압형 남정석(Fig. 6의 K)이 발견된 장군봉 단층과 재산 드러스트 사이의 고생대 변성퇴적암류에서 다량 산출되는데(Fig. 6), 이는 이들 광물 성장과 관련된 본 역의 두 번째 변성작용은 남정석이 안정된 영역에서 발생한 중압형 변성작용이었음을 지시한다.

김기영 외(1996)는 저압형 홍주석이 중압형 남정석으로 전이하는 조직과 중압형 남정석이 재산 단층 주변의 평안층군에서만 산출됨을 인지하고, 본 역의 중압형 변성작용은 재산 드러스트 하반에 제한된 변성작용으로서 원남층이 평안층군으로 충상하는 재산 드러스트운동에 의한 하반의 압력 증가와 상반의 하부에서 하반으로 전달되는 열의 제한된 공급으로 발생하였다고 해석한 바가 있다. 그러나, 동-서 주향에 북쪽으로 경사하는 재산 드러스트의 자세(상반: 평안층군, 하반: 원남층)를 고려해 볼 때, 남정석은 재산 드러스트의 상반에 한정되어 산출되므로 김기영 외(1996)에 의한 재산 드러스트운동으로 평안층군의 중압형 변성작용은 설명될 수 없다(cf. 김기영 외(1996)의 Fig. 9]. 한편, Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)은 저압형 홍주석으로부터 성장한 중압형 남정석이 삼거리 도폭(김옥준 외, 1963)의 장군봉 단층[Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)의 장군 드러스트] 남쪽 영역의 평안층군에서만 산출됨과 장군 드러스트 하반(4.8 ± 0.7 kbar)과 상반(3.5 ± 0.5 kbar) 사이의 변성압력(석류석-사장석-흑운모-백운모 지압계) 차이를 인지하고, 본 역의 중압형 변성작용은 장군 드러스트 하반에 제한된 변성작용으로서 평안층군이 퇴적된 이후 조선누층군이 평안층군으로 충상하는 장군 드러스트운동(트라이아스기 조산운동)에 의해 발생하였다고 해석한 바가 있다. 본 연구결과, 본 역의 십자석-석류석 반상변정들은 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보이고 중압형 남정석이 발견되는 장군 드러스트 하반의 평안층군에

다량 산출함을 알 수 있었다(Fig. 6). 이는 동-서향의 장군 드러스트에 의한 지구조적인 지각 두께 증가로 본 역의 중압형 변성작용이 발생하였다는 Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)의 해석결과를 지지한다. 그러나, 이들 광물은 장군 드러스트의 하반 영역에서만 산출하는 것이 아니라 구조적 하부인 남쪽 영역으로 갈수록 산출량이 증가하는 경향을 보이며 고생대 변성퇴적암류에 광역적으로 산출한다(Fig. 6). 이러한 분포양상은 본 역의 중압형 변성작용이 장군 드러스트 하반에 제한된 변성작용이라기 보다는 구조적 하부로 갈수록 지구조적인 지각 두께 증가의 영향을 크게 받은 고생대 변성퇴적암류의 전역에서 발생한 변성작용이었음을 지시하는 것으로서, 이러한 중압형 변성작용은 고생대 지층이 선클램브리아대 원남층으로 충상하는 재산 드러스트(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 강지훈 외, 1997; Kang *et al.*, 1998), 조선누층군이 평안층군으로 충상하는 장군 드러스트(Yang and Cho, 1994; 양판석과 조문섭, 1995), 다른 암상과 구분이 아주 용이한 장산규암층의 연속성을 절단하며(Fig. 1b) 선클램브리아대 북부 울리층이 조선누층군으로 충상하는 드러스트(울리 드러스트) 등 장군봉 향사의 축부와 양쪽 날개부를 절단하고 남쪽으로 충상하는 이들 동-서향의 드러스트에 의해 발생되었을 가능성을 제시한다. 그리고 십자석-석류석 반상변정들이 일반적으로 동-서향의 대상분포를 보이며 구조적 하부인 남쪽 영역으로 갈수록 산출량이 증가함은 이들 동-서향의 드러스트 운동에 의한 지각 두께 효과가 남쪽 영역으로 갈수록 크게 나타난 결과로 해석되고, 기존 연구결과 저압형 홍주석으로부터 성장한 중압형 남정석이 남쪽 영역의 평안층군에서만 산출됨은 이러한 지각 두께 효과와 함께 저압형 홍주석에 해당하는 안구상 홍주석이 이들 영역에서만 산출되기 때문인 것으로 해석된다(Figs. 4 and 6).

세 번째 변성작용은 일반적인 남-북 박편상에서 외부엽리 Se와 연속성을 보이는 직선 형태의 내부엽리 Si(Fig. 8a)와 전기 S3 파랑엽리를 포획하고 후기 S3 파랑엽리에 의해 포획된 최외각 맨틀부를 갖는 팻치상 홍주석(Figs. 8b and 8c)과 F3 파랑습곡작용에 의해 변형된 섬유상 규선석(Fig. 9c) 광물들의 성장과 관련된 변성작용으로 해석된다. 이러한 미구조들로부터 고생대 변성퇴적암류의 세 번째 변성작용은 D3 변형 이전의 비변형조건하에서 발생하여 D3 변형의 전기단계 동안 계속 진행된 것으로 해석된다(Table 1). 이들 광물의 분포도를 작

성해 보면, 저압형 변성광물들(Fig. 4)과 중압형 변성광물들(Fig. 6)의 일반적인 동-서향 대상분포와 달리, 이들 광물은 춘양화강암체를 향해 춘양화강암체의 외각선과 유사한 일반적인 남-북향의 홍주석대와 규선석대를 형성시키고 있다(Fig. 10). 따라서, 이들 광물 성장과 관련된 고생대 변성퇴적암류의 세 번째 변성작용은 유라기 춘양화강암에 의한 접촉변성작용으로서 이러한 접촉변성작용은 김기영 외(1996)의 연구결과와 같이 춘양화강암의 접촉부에 제한된 변성작용으로 해석되고, 십자석을 포유하는 조립 석류석 역시 이들 광물의 산출영역내에서만 관찰되므로(Figs. 6 and 10) 조립 석류석 역시 유라기 춘양화강암에 의한 접촉변성작용의 산물로 추정된다. 또한, 춘양화강암체내에서는 국부적인 소규모 단층대가 인지되나, 본 역의 중압형 변성작용의 발생기인 동-서향 드러스트운동과 관련된 대규모 동-서향의 단층대나 동-서향 예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형의 흔적은 거의 찾아볼 수 없고, D2 연성전단변형에 의해 재결정된 세립 석영립들은 춘양화강암체 접촉부로 갈수록 조립화되어 그들의 형태신장방향을 거의 인지할 수 없다. 따라서, 본 역의 중압형 변성작용이나 중압형 변성장에서 발생한 D2 연성전단변형은 유라기 춘양화강암체의 관입 이전에 발생하였으며, 춘양화강암체에 의한 접촉변성작용은 D2 변형 이후의 비변형조건하에서 발생하여 일반적인 남-북 단면상에서 직선 형태의 내부엽리 Si를 갖는 팻치상 홍주석(Fig. 8a)을 형성시킨 것으로 추정된다. 저압형 클로리토이드로부터 성장한 중압형 십자석 조직(Fig. 5a), 저압형 홍주석(Fig. 9a)과 중압형 십자석(Fig. 9b)으로부터 성장한 섬유상 내지 주상의 접촉형 규선석 조직으로부터도 인지되는 본 역의 고생대 변성퇴적암류의 변성작용 발생 순서(저압형-중압형-접촉형 변성작용)는 Yang and Cho(1994), 양판석과 조문섭(1995)의 연구결과와 일치한다고 할 수 있다.

결 론

지금까지 기재된 장군봉지역에서 북부 소백산육괴의 고생대 변성퇴적암류에 대한 지구조-변성사는 다음과 같다.

1. 첫 번째 변성작용은 스택크상 클로리토이드 및 조립 흑운모와 안구상 홍주석 광물들의 성장과 관련된 저압형 변성작용으로서, 이러한 변성작용은 평안충군의 동수곡층이 퇴적된 페름기 이후-D1 변

형(동-서향의 장군봉 향사에 의한 S1 엽리면의 형성기) 이전의 비변형조건하에서 발생하여 고생대 변성퇴적암류에 광역적인 동-서향의 광물분대를 형성시켰다.

2. 두 번째 변성작용은 직선 내지 곡선 형태의 내부엽리 Si를 갖는 십자석-석류석 반상변정들의 성장과 관련된 중압형 변성작용으로서 이러한 변성작용은 D1 변형(장군봉 향사 구성지층들의 부분적인 결손을 초래하는 동-서향 드러스트들 형성기) 이후의 비변형조건하에서 발생하였고, 동-서향의 예천전단대 형성과 관련된 D2 연성전단변형 동안에 계속 발생하여 고생대 변성퇴적암류에 역시 광역적인 동-서향의 광물분대를 형성시켰다.

3. 세 번째 변성작용은 팻치상 홍주석과 섬유상 내지 주상 규선석 그리고 십자석을 포유하는 조립 석류석 광물들의 성장과 관련된 유라기 춘양화강암에 의한 접촉변성작용으로서, 이러한 변성작용은 S3 파랑엽리면 형성과 관련된 D3 변형 이전의 비변형조건하에서 발생하여 D3 변형의 전기단계 동안 계속 진행되었다.

4. 저압형 변성작용과 중압형 변성작용은 고생대 변성퇴적암류에 중요한 영향을 미친 지배적인 변성작용으로서 고생대 지층에 광역적인 동-서향의 광물분대를 형성시킨 반면에, 유라기 춘양화강암체에 의한 접촉변성작용은 춘양화강암체의 근접부에 제한된 변성작용으로서 춘양화강암체 근접부의 고생대 지층에 춘양화강암체의 외각선과 유사한 일반적인 남-북향의 광물분대를 형성시켰다.

사 사

본 연구는 교육부 1997년도 기초과학 학술연구 조성비(BSRI-97-5422)에 의해 수행되었다. 본 논문의 심사를 맡아 유익한 조언과 비평을 해주신 충북대학교 지구환경과학과 나기창 교수님과 전북대학교 지구환경과학과 오창환 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 강지훈, 김형식, 오세봉, 1997, 장군봉지역 선캄브리아대-고생대 변성퇴적암류의 지질구조-북부 소백산육괴의 중앙부 지역의 지각진화와 환경지질-. 암석학회지, 6, 244-259.
- 김기영, 김형식, 오창환, 박찬수, 강지훈, 류영복, 1996, 장군봉 일대 선캄브리아대-고생대 변성퇴적암류의 다변성 작용-북부 소백산육괴의 중앙부 지역의 지각진화와 환경지질-. 암석학회지, 5, 168-187.

- 김옥준, 홍단섭, 김기태, 박희인, 1963, 한국지질도 (1:50,000) 삼근리 도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 36p.
- 안건상, 정현희, 이현구, 1993, 장군광산 주변의 변성 이질암에서의 누진 변성반응 계열. 광산지질, 26, 473-478.
- 양판석, 조문섭, 1995, 춘양 화강암체 주변 두음리층에 산출하는 십자석-흑운모-홍주석-석류석 광물 조합: 대수학적 분석. 암석학회지, 4, 49-60.
- 윤석규, 신병우, 1963, 한국지질도(1:50,000) 울진 도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 23p.
- 이상만, 김형식, 1984, 소위 울리층군 및 원남층군의 변성 암석학적 연구-태백산 일대를 중심으로. 지질학회지, 20, 169-188.
- 이현구, 1980, 한국 장군광산에 있어서 복합 유화물, 유염 광석의 광상학적 및 광물학적 연구. 일본 조도전 대학 박사 학위논문, 329p.
- 이현구, 박노영, 이마이나오야, 1992, 장군광산 주변의 지질과 변성 작용. 이석 남기상 선생 논문집, 21-44.
- 황덕환과 A.J. Reedman, 1975, 삼한 장군광산 조사 보고서. 한국 지질 광물 연구소, 지질 광물조사 보고서, 9-30.
- Borradaile, G.J., Bayly, M.B. and Powell, C.M.A., 1982, Atlas of deformational and metamorphic rock fabrics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 551p.
- Craig, J., Fitches, W.R. and Maltman, A.J., 1982, Chlorite-mica stacks in low-strain rocks from Central Wales. Geol. Mag., 119, 243-256.
- Gregg, W.J., 1986, Deformation of chlorite-mica aggregates in cleaved psammitic and pelitic rocks from Islesboro, Maine, USA. Jour. Struct. Geol., 8, 59-68.
- Imai, N., Park, N.Y., Lee, H.K., Machida, M. and Higashihara, Y., 1982, Geology and metamorphic rocks in the environs of the Janggun Mine, Republic of Korea. With some comments relating to the Unazuki metamorphic rocks in Japanese. Island Arc. In Geology of Japan Sea, 227-255.
- 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 Tectonic Evolution of East Asia: the First Joint Meeting of Japanese and Korean Structure and Tectonic Research Group(eds. Koh, H.J. and Lee, B. J.), Seoul, 147-153.
- KIGAM, 1995, Geological map of Korea(1:1,000,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials.
- Na, K.C., 1987, Metamorphic complexes of Sobaek-san Massif (or Ryeongnam Massif). In Geology of Korea(ed. Lee, D. S.), Geol. Soc. Korea, Kyohaksa, Seoul, 34-45.
- Lister, G.S. and Snoke, A.W., 1984, S-C mylonite. Jour. Struct. Geol., 6, 617-638.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 1996, Microtectonics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 289p.
- Powell, C.M.A., 1979, A morphological classification of rock cleavage. Tectonophysics, 58, 21-34.
- Reedman, A.J. and Um, S.H., 1975, Geology of Korea, Korea Insti. Ener. Resour., Seoul, 139p.
- Toteu, S.F. and Macaudiere, J., 1984, Complex synkinematic and postkinematic garnet porphyroblast growth in polymetamorphic rocks. Jour. Struct. Geol., 6, 669-677.
- Vernon, R.H. and Ryde, N., 1978, Porphyroblast-matrix microstructural relationships in deformed metamorphic rocks. Geol. Rdsch., 67, 288-305.
- Woodland, B.G., 1985, Relationship of concretions and chlorite-muscovite porphyroblasts to the development of domainal cleavage in low-grade metamorphic deformed rocks from north-central Wales, Great Britain. Jour. Struct. Geol., 7, 205-216.
- Yang, P. and Cho, M., 1994, Polymetamorphism of the Precambrian-Paleozoic metapelites in the Janggunbong area, Southeastern Sobaeksan massif, Korea. In IGCP 321 Abstract Volume(eds. Cho, M. and Kim, J.H.), Harn Lim, Seoul, 139.
- Zwart, H.J., 1962, On the determination of polymetamorphic mineral associations and its application to the Bosost area(central Pyreneces). Geol. Rdsch., 52, 38-65.

(책임편집 : 나기창)

(1998년 11월 2일 접수, 1998년 12월 10일 수리)

Time-relationship between deformation and metamorphism of the Paleozoic metasedimentary rocks of the north Sobaegsan massif in the Janggunbong area, Korea

Ji Hoon Kang, Seo Bong Oh and Hyung Shik Kim¹

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

*¹Department of Earth and Environmental Sciences, College of Science,
Korea University, Seoul 136-701, Korea*

ABSTRACT : The microstructures and time-relationship between deformation and growth of metamorphic minerals (metamorphism) of the Paleozoic metasedimentary rocks (Joseon Supergroup and Pyeongan Group) in the Janggunbong area at the central-south part in the North Sobaegsan Massif, Korea, have been analyzed in this paper. The first phase metamorphism (low-pressure type metamorphism), recognized as the crystallization of stack-type chloritoid and biotite and augen-type old andalusite, occurred under non-deformational condition before D1 deformation related to the formation of an E-W trending isoclinal-synclinal fold (Janggunbong fold) and associated its axial plane S1 foliation, and produced regional mineralogical zoning of E-W trend in the Paleozoic rocks. The second phase metamorphism (medium-pressure type metamorphism), related to the growth of staurolite and garnet porphyroblasts with straight or curved internal foliations (Si), occurred under non-deformational condition after D1 deformation related to the formation of E-W trending thrusts modifying the Janggunbong fold and during D2 deformation related to the formation of E-W trending Yecheon shear zone. This metamorphism also produced regional mineralogical zoning of E-W trend. After D2 deformation occurred the intrusion of Jurassic Chunyang granite and associated its contact metamorphism which crystallized patchy-type young andalusite and prismatic- or fibrous-type sillimanite and coarse-grained garnet. This metamorphism occurred under non-deformational condition before D3 deformation related to the formation of S3 crenulation cleavage and during early phase of D3 deformation, and formed narrow mineralogical zoning of N-S trend near Chunyang granite.

Key words : Paleozoic metasedimentary rocks, microstructures, growth of metamorphic minerals, metamorphic history, mineralogical zoning