

## 강원 지역에 분포하는 석회석 자원의 특성과 부존환경: 영월읍 북부 지역의 중기 석탄기 요봉층을 중심으로

박수인\* · 이희권 · 이상현

강원대학교 지구과학부, 200-701 강원도 춘천시 효자 2동 192-1

### Characteristics and Distribution Pattern of Carbonate Rock Resources in Kangwon Area: The Middle Carboniferous Yobong Formation in the Northern Part of Yeongwoleup, Kangwon, Korea

Soo-In Park\* · Hee-Kwon Lee · Sang-Hun Lee

School of Earth Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

**Abstract:** The Middle Carboniferous Yobong Formation with North-South trending is distributed in the Yeongheungri and Samokri of Yeongwoleup, Kangwon Province, Korea. A light gray thick and massive pure limestone is developed in the middle part of the Yobong Formation and it has been exploited for a long time. This study was carried out to investigate the lithological characteristics and geochemical compositions of the limestones and to figure out how geologic structures control the distribution of the limestones of the formation.

The limestones of the Yobong formation are characterized by the fine and dense textures and the light gray to light brown in color. The limestones are composed of crinoid fragments, small foraminifers, fusulinids, gastropods, ostracods, etc. Based on the amount of grains and matrix, the Yobong Limestone can be classified as fine packstones and wackestones. The chemical analysis of limestones of the Yobong Formation was carried out to measure the contents of CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>. The content of CaO ranges from 48.12 to 59.31% and its average is about 54.52%. The average content of MgO is about 0.32% and the contents of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> are relatively low. The amounts of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> of the limestones vary according to the kinds of limestone and their stratigraphical horizons in the formation. Generally, the CaO content of the limestones of the Yobong Formation decreases towards the top of the formation.

Using geometric and structural analysis, we determined five progressively overprinted phases of deformation recorded in the study area. The anticline and syncline formed during the first and fourth deformation had controlled the distribution pattern of the Yobong Limestone of the Yobong Formation. The structures of deformation D<sub>1</sub> consist of F<sub>1</sub> isoclinal folds and foliations. The D<sub>2</sub> deformation had formed the isoclinal interstratal F<sub>2</sub> folds and axial plane cleavages which are locally developed within mudstones. The structural elements of deformation D<sub>3</sub> are axial plane cleavages associated with recumbent F<sub>3</sub> folds. These structures are overprinted by meso-scale and regional F<sub>4</sub> folds which are regionally dominant. Finally, the structures of D<sub>5</sub> consist of the thrust faults and folds associated with the thrust faults.

Key words: Yobong Formation, limestone, geologic structure, chemical composition, Yeongwol, Kangwon

**요약:** 강원도 영월읍 북부 지역의 영흥리 물암골, 속골 및 삼옥리 일대에는 중기 석탄기의 요봉층이 남북 방향으로 길게 분포한다. 특히, 요봉층 내에는 품위가 높은 석회암이 발달되어 있어 석회석 자원으로 활발히 개발되고 있다. 이 연구는 요봉층 내의 석회암의 구성 입자와 조직 및 지화학적 특징, 그리고 석회암의 부존 상태를 규제하는 지질구조를 파악하기 위해 수행되었다.

요봉층의 석회암은 대체로 담회색 또는 담갈색의 세립 팩스톤(packstone)과 와케스톤(wackestone)으로 구성된다. 석회암의 구성 입자는 해백합, 유공층, 방추층, 개형층, 복족류 등의 다양한 생물 파편으로 이루어진다. 연구 지역의 요봉층 내 석회암의 CaO 함량은 48.12~59.31% 범위이며, 평균 함량은 54.52%로 높다. MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SiO<sub>2</sub>의 평균 함량은 0.32%, 0.05%, 0.20% 및 0.05%이다. 화학성분을 고려할 때 요봉층 석회암은 비교적 품위가 높은 석회암이다. 석회암의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

\* E-mail: sweenp@cc.kangwon.ac.kr

및  $\text{SiO}_2$ 의 함량은 석회암의 암상, 층리의 발달 정도, 그리고 세일층의 협재 등에 따라 변화 양상을 보이는 것이 특징적이다. 일반적으로 연구 지역에서 요봉층 석회암의  $\text{CaO}$  함량은 층의 상부로 갈수록 감소하는 경향을 나타낸다.

연구 지역에 분포하는 요봉층은 적어도 5회의 변형작용을 받은 것으로 밝혀졌으며, 이 중 첫 번째와 네 번째 변형작용 중에 생성된 습곡구조에 의해 요봉석회암의 부존상태가 크게 지배되는 것으로 파악되었다. 첫 번째 변형작용은 등사습곡과 열리구조를 발달시켰다. 두 번째 변형작용에 의해 형성된 지질구조 요소인 노두 규모의 등사습곡은 조사 지역 전역에 걸쳐 발달되어 있지 않고 오직 요봉층의 녹색 이암 및 밤치층의 암회색 이암에만 발달되어 있다. 세 번째 변형작용에 의해 형성된  $\text{F}_3$  횡외습곡과 이와 관련된  $\text{S}_3$  열리구조 및 네 번째 변형작용 중에 생성된 노두 규모 및 지질도 규모의  $\text{F}_4$  습곡구조, 그리고 다섯 번째 변형작용 중에 형성된 충상단층 및 이와 관련된 습곡구조가 연구 지역 전역에 걸쳐 연속적으로 인지된다.

주요어: 요봉층, 석회석, 지질구조, 지화학적 성분, 영월, 강원

## 서론

석회암은 석회석 원료로서 국내 부존이 풍부하고 자급이 가능한 광물자원으로서 내수 수요가 지속적으로 증가하고 있다(곽영훈, 1997; 오종기, 1997). 특히, 국내 제철과 중화학공업의 발달은 석회석의 수요를 크게 증대시켰을 뿐만 아니라 광물의 품질도 양질의 것을 요구하게 되었다(김용욱 외, 1982; 박수인 외, 2000). 강원도 영월읍 북부 지역에는 후기 고생대의 평안누층군이 남북 방향으로 길게 대상으로 분포하고 있다. 이 누층군의 최하부를 이루는 중기 석탄기의 요봉층 내에는 품위가 매우 높은 석회암층(=요봉석회암이라 불림)이 발달되어 있어 오래 전부터 석회석 자원으로 활발히 개발되고 있다. 연구 지역의 요봉층 내에 부존된 석회석의 품위와 부존 양상 및 두께는 층의 분포 지역과 석회석의 발달 층수에 따라 매우 다양하다. 또한 이 지역의 요봉층은 심한 변형작용을 받아 지질구조가 매우 복잡할 뿐만 아니라 습곡과 단층에 의해 요봉층과 요봉층 석회암층의 분포가 반복되어 요봉석회암의 노출 면적은 실제 석회암층의 두께보다 훨씬 두껍게 나타난다(김용욱 외, 1982).

이 연구의 목적은 강원도 영월읍 영흥리와 삼옥리 일대에 분포하는 요봉층 내에 발달된 고품위 석회암의 구성 입자의 종류와 암상(microfacies), 지화학적 특징 및 석회암의 분포를 규제하는 지질구조를 자세히 조사하는 데 있다.

## 연구 방법

영월군 영월읍 영흥리와 삼옥리 일대에 분포하는 요

봉층과 이 층 내에 발달된 석회암의 분포와 특징을 조사하기 위해 연구 지역에 대한 정밀한 야외조사를 실시하고 실내연구용 표품을 채취하였다. 또한, 요봉층 석회암의 품위를 알아보기 위해 영월읍 물암골 지역의 구채 석장과 속골 지역에서 실내 연구용 석회암 표품을 채취하였다. 채취한 석회암의 박편을 제작하여 석회암의 조직과 구성입자의 종류 및 기질을 조사하였다. 석회암의  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  및  $\text{SiO}_2$ 의 함량은 기초과학지원연구소 서울분소에 있는 X-선 형광분석기(XRF(모델: Philips PW 1480))를 이용하여 분석하였다.

또한, 연구 지역의 요봉석회암의 분포 양상을 명확히 파악하기 위하여 습곡, 열리, 단층, 절리 등의 지질구조 요소와 암석분포를 야외에서 자세하게 조사하였으며, 이 자료를 등면적투영도를 이용하여 분석하였다. 각각의 지질구조의 특성 및 간섭관계와 미구조 연구를 통하여 변형작용의 순서를 결정하였다.

## 지질 개요

연구 지역은 영월군 영월읍 북부 지역으로서 물암골, 속골, 삼옥리 지역에 이르는 지역이다. 이 지역에는 전기 고생대의 영월층군과 후기 고생대의 평안누층군이 남북 방향으로 분포한다(Fig. 1).

### 하부 고생대층

연구 지역의 하부 고생대층은 Table 1과 같이 영월층군으로 이루어져 있으며, 이 층군은 하부로부터 상부로 캄브리아기의 삼방산층, 마차리층, 와곡층과 오르도비스기의 문곡층 및 영흥층으로 구성된다(Choi, 1999). 연구 지역의 전기 고생대의 영월층군의 명칭은 최근 Choi

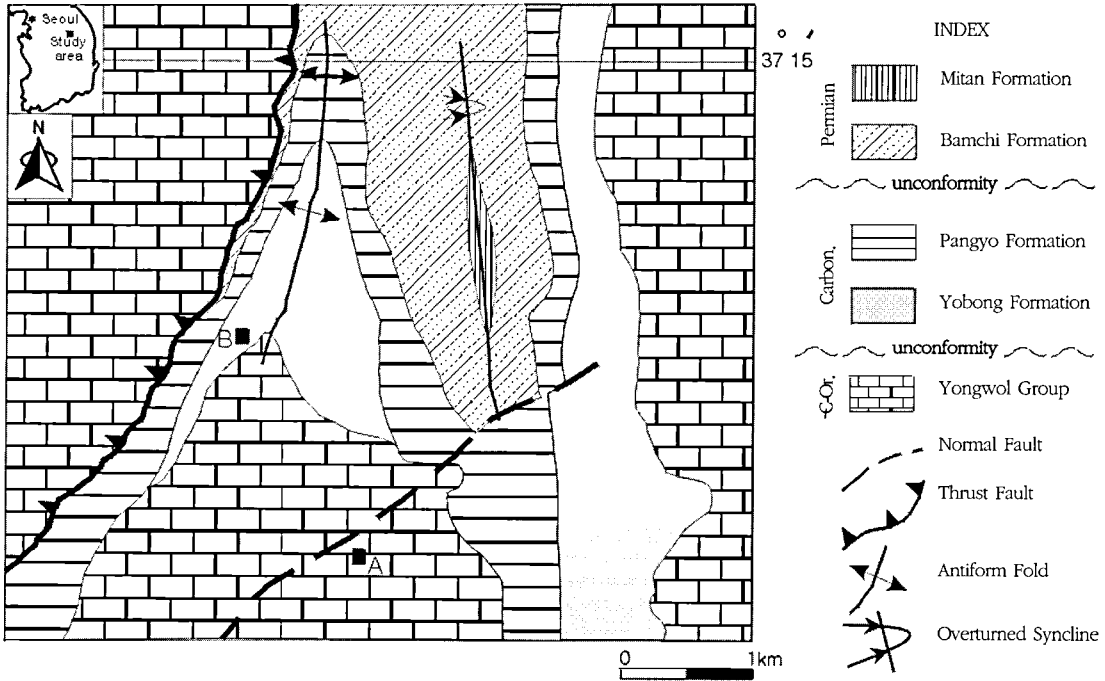


Fig. 1. Geologic map of the northern part of Yeongwoleup, Yeongwol (after Lee and Na, 1999). A, Sokgoli; B, Mulamgol.

(1999)에 의해 제안되었다. 삼방산층은 주로 녹회색 및 담갈색의 세립 사암과 적색 및 녹색의 세일로 구성된다. 삼방산층에서는 중기 캄브리아기를 지시하는 삼엽층이 산출된다(Kim *et al.*, 1985). 마차리층은 삼방산층을 정합으로 덮는다. 연구 지역에서 마차리층은 중기 석탄기의 판교층과 물암골에서 충상단층으로 접한다. 이 층의 하부는 암회색의 석회 이암, 괴상의 입자암 및 팩스톤으로 구성되며, 중부는 얇은 돌로마이트질 석회암이 드물게 협재된 암회색 내지 흑색의 세일로 구성된다(Choi, 1999). 마차리층의 상부는 회색의 돌로마이트질 석회암과 흑색 세일의 호층으로 구성된다. 마차리층에서는 중기와 후기 캄브리아기를 지시하는 삼엽층과 코노돈트가 산출된다(Lee, 1995; Lee *et al.*, 1991). 이 층의 두께는 약 200m이다. 마차리층 위에 정합적으로 놓인 외곡층은 주로 괴상의 돌로마이트로 이루어졌다.

외곡층을 덮는 문곡층은 주로 회색 및 암회색 석회암, 평력 석회암(flat pebble conglomerate), 리본암(ribbon rock), 석회질 돌로마이트, 돌로마이트 등으로 구성된다(Park *et al.*, 1994). 이 층의 석회암은 해백합, 개형층, 삼엽층, 완족류 등의 파편으로 구성된다. 원문주·이하영(1977)은 문곡층에서 산출된 코노돈트에 근거하여 이

층의 지질시대가 전기 오르도비기의 트레마독(Tremadoc) 시기임을 밝혔다. 단양과 갑산 지역에 분포하는 문곡층 내에 협재된 석회암은 석회석 원료로 개발된 바 있으나 영월 북부 지역에 분포하는 문곡층의 석회암은 아직 개발되고 있지 않다. 앞으로 보다 자세하고 체계적인 조사와 연구를 하면 이 층의 석회암도 석회석 자원으로서 그 잠재력이 매우 높을 것으로 생각된다.

문곡층 위에 정합적으로 놓이는 영흥층은 영월읍 영흥리 일대와 삼옥리 일대에 넓게 분포한다. 영월읍 물암골 지역의 구채석장에는 영흥층의 최상부 돌로마이트가 드러스트 단층에 의해 요봉층 위로 올라와 있다.

Table 1. Stratigraphic sequence of the study area(after Lee, 1984 and Choi, 1999).

Geologic Time	Formation
Permian	Mitan Formation
	Bamchi Formation
	~ ~ ~ unconformity ~ ~ ~
Carboniferous	Pangyo Formation
	Yobong Formation
	~ ~ ~ unconformity ~ ~ ~
Cambro-Ordovician	Yongwol Group

영흥층의 주구성 암석은 회색 내지 암회색의 세립 돌로마이트, 생물 교란 돌로마이트, 돌로마이트질 석회암 및 석회암으로 구성된다. 특히, 영흥층 내에 협재된 회색 석회암은 그 품위가 매우 높아 석회석 자원으로서 가치가 높으나 석회암의 폭이 좁고 연장성이 좋지 않아 석회석의 매장량은 많지 않은 것으로 생각된다. 물암골 지역의 사슴 목장 부근에 분포하는 영흥층의 석회암의 구성 입자는 해백합 파편 등의 회색 파편으로 구성되며, 기질은 미립의 석회질 머드(mud)로 되어 있다. 김유봉(1982)은 영월읍 삼소리 일대에 분포하는 영흥층에서 중기와 후기 오르도비스기를 지시하는 코노돈트가 산출됨을 보고하였다.

### 상부 고생대층

연구 지역의 상부 고생대층은 중기 석탄기의 요봉층과 판교층, 그리고 전기 페름기의 밤치층과 미탄층으로 구성된다(Table 1), 특히, 미탄층 내에는 석탄이 풍부하게 부존되어 있어 오래 전부터 이 지역의 지질은 비교적 자세히 연구되었다(Reinemund, 1957).

요봉층은 오르도비스기 영흥층을 부정합으로 덮으며, 판교층에 의하여 정합적으로 덮인다. 요봉층의 하부는 적색 내지 담갈색의 중립~조립 사암과 역암 호층대, 적색 또는 담녹색의 세일과 담녹색의 중립 사암 호층대로 구성된다. 이 층의 중부는 약 30m 두께의 담회색 석회암층(요봉석회암)으로 이루어진다. 요봉층의 상부는 적자색 내지 담녹색의 세일과 담녹색의 중립 사암 및 담회색 석회암 호층대로 구성된다. 요봉층의 상한은 요봉층 상부의 적색 세일 또는 백색 내지 담회색의 석회암층과 판교층 하부의 회색 중립 사암이 접하는 층준이다.

요봉층의 사암의 구성 입자는 대부분 석영 입자들이며, 이들의 원마도는 비교적 양호하다. 요봉층 중부에 협재된 두께가 30m 내외의 요봉석회암층은 영흥리 물암골 맞은 편 구체석장으로 부터 남북으로 연속적으로 발달되어 있으며, 습곡과 단층 작용에 의해 실제 두께보다 훨씬 두껍게 노출된다. 요봉석회암의 하부와 중부는 직경 0.1~0.4mm의 직경을 가진 원시형 방추층, 유공층, 해백합 파편 등으로 된 바이오미크라이트(biomicrite)로 구성되어 있으며, 상부로 갈수록 생물 파편들의 크기가 커지는 경향이 있다(이창진·나기왕, 1999). 이 요봉석회암은 연속성이 좋고 뚜렷한 특징을

가지고 있어서 건층(key bed)으로 이용되고 있다. 또한, 이 석회암층은 충북 제천의 가창산과 갑산 지역에 분포하는 갑산층의 30m 두께의 석회암과 잘 대비된다. 요봉층의 석회암에서는 중기 석탄기의 모로완(Morrowan)과 아토칸(Atokan) 조를 지시하는 방추층과 코노돈트가 풍부하게 산출된다(이창진 외, 1988). 요봉층의 평균 두께는 약 110m이다.

판교층은 요봉층을 정합적으로 덮으며, 페름기 밤치층에 의하여 부정합으로 덮인다. 판교층은 상부로 회색의 중립 내지 세립 사암, 회색의 세일, 회색 석회암 등으로 구성된다. 판교층의 석회암에서는 중기 석탄기의 더모이네시안(Desmoinesian) 조를 지시하는 방추층과 코노돈트가 풍부하게 산출된다(이창진 외, 1988). 판교층의 두께는 약 130m이다.

밤치층은 판교층을 부정합으로 덮으며 미탄층에 의해 정합으로 덮인다. 밤치층은 암회색의 세일, 석회암 및 회색 세립 내지 중립 사암으로 구성된다. 특히, 밤치층 내의 석회암에는 충상 내지 단괴상의 암회색 처트가 많이 발달되어 있다. 밤치층의 석회암에서는 하부 페름기를 지시하는 방추층과 코노돈트가 풍부하게 산출된다(정창희·박용안, 1987; Cheong et al., 1983; Lee, 1984; Park, 1993). 밤치층의 두께는 약 85m이다(Lee, 1984).

미탄층은 밤치층을 정합으로 덮으며, 이 층의 상한은 캄브리아기의 마차리층과 충상단층으로 접한다. 미탄층은 회색의 중립 사암과 암회색 세일로 구성되며 3개의 단층을 포함한다. 미탄층의 상부가 단층에 의해 잘리고 심한 습곡 구조를 보이고 있어 미탄층의 정확한 두께를 파악하기가 어려우나 약 300m로 추정된다(Lee, 1984).

### 요봉층 석회암의 특징

요봉층 내에는 수매의 석회암이 얇게 렌즈상으로 협재된다. 석회석 자원으로 개발되고 있는 석회암은 요봉층 중부에 발달된 연장성이 좋은 약 30m 두께의 석회암이다. 요봉층 석회암의 가장 뚜렷한 특징은 치밀한 세립질의 괴상 조직이며, 다양한 종류의 생물 파편들을 풍부하게 포함하고 있다. 요봉층의 석회암은 구성 입자와 기질의 양에 따라 분류해보면 대부분 팩스톤(packstone)과 와케스톤(wackestone)에 해당된다(Fig. 2). 생물 파편 중 해백합 줄기의 파편이 가장 많이 관찰되며, 소형 유공층과 방추층도 비교적 풍부하게 포함된다. 요

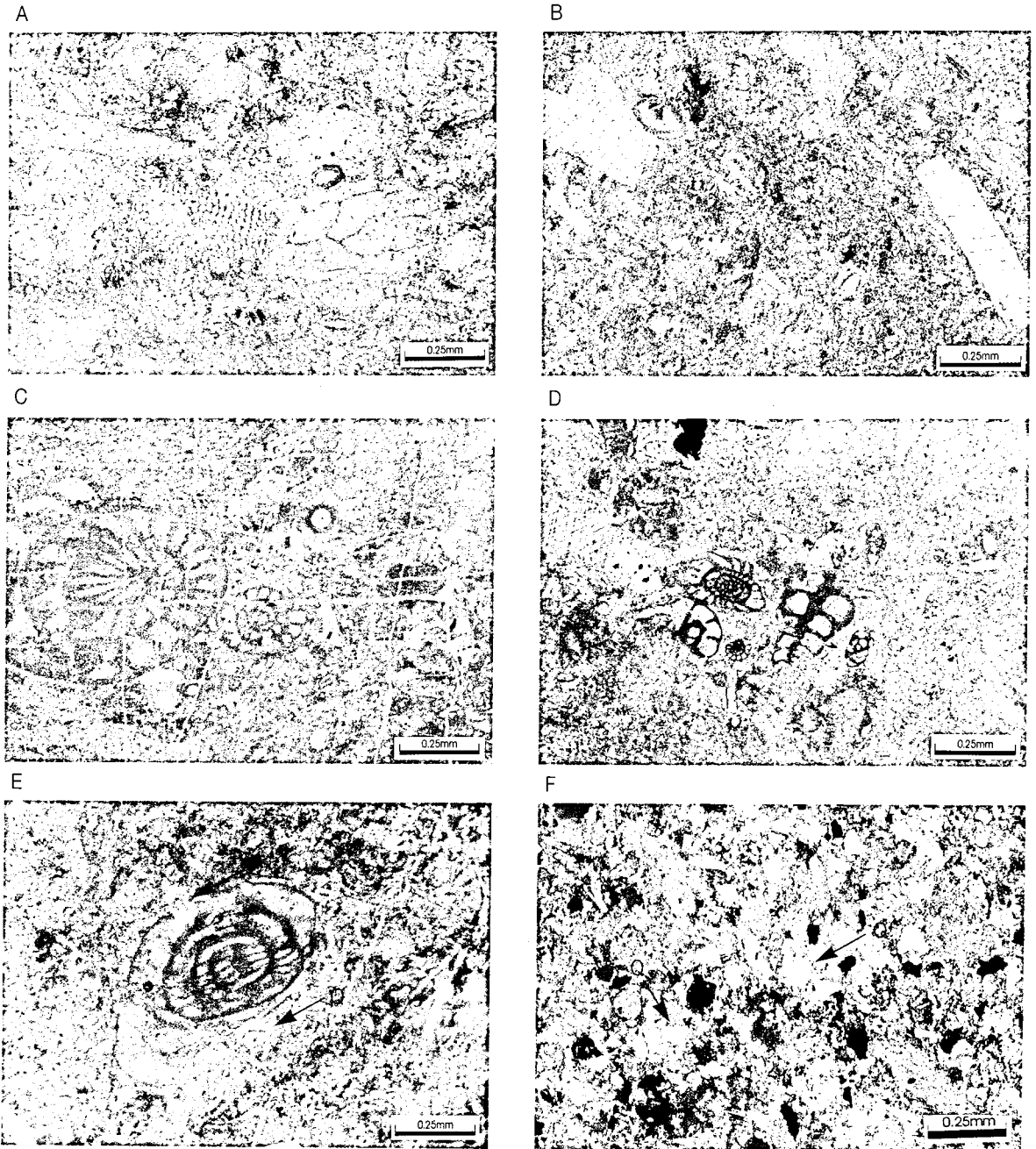


Fig. 2. Photomicrographs of the thin sections of limestones of the Yobong Formation, A, Packstone composed of algal and bryozoa fragments; B, Packstone containing crinoid fragments; C, Packstone containing fusulinids; D, Packstone containing small foraminifers, fusulinids, and crinoid fragments; E, Packstone containing authigenic quartz grains(Q); F, Packstone containing detrital quartz grains(Q). A, B, C, D, Plane polarized light; E, F, Cross polarized light.

봉층 석회암의 색깔은 백색, 담회색, 담갈색, 회색 등 매우 다양하며, 담회색이 가장 우세하다. 요봉층의 석회암은 담회색의 색깔과 생물 파편을 풍부하게 포함하

고 있는 점에서 요봉층 하부에 놓인 문곡층의 석회암, 또는 영흥층의 석회암과 확연하게 다르다. 요봉층의 석회암은 지역에 따라 부분적으로 재결정 작용을 받아

세립의 결정질 방해석으로 이루어지기도 한다.

박편 관찰을 통해 밝혀진 요봉층 석회암의 특징은 다음과 같다. 첫째, 영월읍 물암골 일대에 두껍게 분포하는 석회암은 유공층, 방추층, 해백합 파편 등의 여러 종류의 생물 파편으로 이루어져 있고(Fig. 2A, 2B, 2C, 2D), 화학 분석값에서도 CaO 함량이 54% 이상으로 매우 높게 나타나(Table 2) 석회석 원료로서 가치가 높은 것으로 생각된다. 특히 이러한 석회암은 부가가치가 높은 신소재 원료로 매우 적합한 것으로 믿어진다. 둘째, 일부 지역의 요봉층 하부 석회암의 박편에서는 속성변질과정에서 생성된 자생 석영(authigenic quartz)이 상당량 관찰된다(Fig. 2E). 또한, 일부 석회암 내에는 쇄설성 석영 입자들도 관찰된다. 이러한 석회암의 화학 분석값에서는 SiO<sub>2</sub> 값이 비교적 높게 나타난다(Table 2). 석회석 자원을 개발할 때 이러한 석영들이 포함된 석회암이 가능한 한 포함되지 않도록 주의하여야 한다. 세 번째 석회암의 종류는 요봉층 내에 1~2m의 두께로 세 일 내에 협재된 석회암으로서 이러한 석회암은 조립의 생물 파편과 각상의 쇄설성 석영을 많이 포함하고 있다(Fig. 2F). 각상의 쇄설성 석영을 많이 포함하고 있는 점은 이 석회암이 육상에서 비교적 가까운 천해에서 쌓인 것으로 생각된다.

연구 지역에서 석회석을 조사하고 개발할 때 유의할 점은 지질구조에 의해 규제되어 분포하는 요봉석회암과 영흥층의 돌로마이트이다. 예를 들면, 물암골 부근의 구채석장에서는 드러스트가 관찰되며, 이 드러스트에 의하여 약 85cm 내외의 영흥층 최상부의 돌로마이트가 요봉석회암의 중앙부에 협재되어 있다.

이러한 상황에서 만약 석회석을 대규모로 개발할 때 많은 돌로마이트가 순수한 석회암과 섞이므로써 전체 석회암의 품위를 떨어뜨릴 수 있으므로 정밀 야외조사, 고생물학적 연구 및 지질구조에 관한 체계적이고 종합적인 조사가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### 요봉층 석회암의 지화학적 특징

연구 지역의 석회암의 지화학적인 특징과 품위를 알아보기 위하여 강원도 영월읍 속골과 물암골 일대에 분포하는 요봉층의 석회암 표품을 채취하여 CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SiO<sub>2</sub>의 함량을 분석하였다(Table 2).

요봉층 석회암의 CaO의 함량은 48.12~59.31% 범위

이며, 평균 함량은 54.52%이다. 속골 지역의 요봉석회암은 2개를 제외한 모든 표품이 56% 이상의 매우 높은 CaO 값을 나타내며, 속골 지역의 석회암들이 물암골 지역의 석회암들보다 CaO의 함량이 더 높게 나타난다. 속골 지역에서 석회암의 CaO의 함량은 층의 상부로 감에 따라 감소하는 양상을 나타낸다. 이러한 양상은 물암골 지역에서도 층의 상부로 갈수록 CaO의 함량이 감소하는 동일한 양상을 보인다. MgO의 함량 범위는

**Table 2.** Chemical compositions of limestones of the Yobong Formation(wt %).

Sample	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	L.O.I.*	Total
M-1**	46.50	0.47	0.41	1.67	6.73	34.64	90.42
M-2	47.55	0.66	0.23	0.17	3.19	36.06	87.86
M-3	50.56	0.06	0.11	-	0.12	36.58	87.43
M-4	49.38	0.18	0.06	0.08	1.56	41.60	92.86
M-5	49.75	0.22	0.09	0.25	0.41	42.41	93.13
M-6	49.65	0.18	0.10	0.03	0.19	42.65	92.8
M-7	48.21	0.14	0.12	0.07	0.43	42.60	91.57
M-8	49.69	0.05	0.09	-	0.11	42.74	92.68
M-9	47.42	0.10	0.05	-	-	42.51	90.08
M-10	47.45	0.16	0.60	-	0.02	42.53	90.76
M-11	45.16	0.26	0.29	1.08	3.14	40.46	90.39
M-12	43.67	0.09	0.04	-	0.02	42.64	86.46
M-13	43.10	0.23	0.21	0.65	1.96	41.52	87.67
S-1	54.29	0.19	0.41	0.07	0.81	32.70	88.47
S-2	51.99	0.26	0.32	0.41	2.99	30.97	86.94
S-3	53.42	0.15	0.18	0.22	1.64	34.49	90.1
S-4	54.11	0.11	0.12	0.03	0.70	35.47	90.54
S-5	53.10	0.08	0.12	0.01	1.72	34.09	89.12
S-6	54.19	0.14	0.07	0.03	0.08	34.09	88.6
S-7	54.19	0.14	0.07	0.03	0.13	33.89	88.45
S-8	52.43	0.23	0.10	0.17	1.59	35.55	90.07
S-9	52.95	0.80	0.26	-	-	37.01	91.02
S-10	47.45	0.16	0.11	-	0.62	42.32	90.66
S-11	43.80	0.12	0.16	0.08	1.14	41.83	87.13
S-12	54.29	0.19	0.41	0.07	0.81	32.70	88.47
S-13	51.99	0.26	0.32	0.41	2.99	30.97	86.94
S-14	48.15	0.18	0.07	-	0.25	42.32	90.97
S-15	44.28	0.68	0.18	0.01	6.35	39.18	90.68
S-16	49.59	0.17	0.11	-	-	42.65	92.52
S-17	48.04	0.24	0.18	0.20	2.55	41.30	92.51
S-18	48.50	0.27	0.08	-	0.40	42.47	91.72
S-19	48.55	0.12	0.09	-	-	42.46	91.22
S-20	49.95	0.15	0.04	-	0.02	42.73	92.89

\* L.O.I., Loss on ignition

\*\* M-samples collected from Mulamgol area and S-samples from Sokgol area.

0.14~0.89%이며, 평균 함량은 0.32%이다. MgO 함량은 CaO 함량과 같이 지역이나 층준에 따른 어떤 뚜렷한 변화양상을 나타내지 않는다. 다만 석회암 표품 M-11(0.89%), M-1(0.56%), M-2(0.75%) 등은 다른 석회암 표품에 비하여 비교적 높은 값을 갖는다.

SiO<sub>2</sub>의 함량은 최대 6.79%(S-9)에서 최소 0.04%로 함량의 변화가 크며, 대부분 석회암의 SiO<sub>2</sub> 함량은 3% 미만으로 비교적 낮다. SiO<sub>2</sub> 함량은 석회암의 분포 지역 및 분포 층준에 따른 뚜렷한 변화 양상을 나타내지 않는다. 일반적으로 SiO<sub>2</sub>의 함량은 세일층 내에 협재되어 있거나 또는 얇은 세일층이 석회암층 내에 협재되어 있는 경우 높은 경향을 보인다. 예를 들면, 표품 S-1(1.78%), S-8(1.65%), M-1(6.79%) 및 M-11(3.20%) 등은 다른 표품에 비해 SiO<sub>2</sub>가 매우 많이 함유되어 있다. 또한, 층리면이 잘 발달된 것보다 괴상의 석회암에서 대체로 SiO<sub>2</sub>의 양이 많은 경향을 보인다. 예를 들면, 물암골 지역의 요봉층의 석회암 표품 M-2(3.25%)와 M-1(6.79%)에서 이러한 양상을 잘 볼 수 있다. 동일 층준이나 또는 매우 가까운 거리에 있는 석회암 사이에서도 SiO<sub>2</sub>의 함량에 차이가 많이 나는 경우가 있다. 층준이 서로 다르며 석회암 사이에 얇은 세일층이 협재되어 있는 속골 지역의 석회암 표품 S-1, S-2 및 S-3에서 SiO<sub>2</sub> 함량은 각각 0.87%, 13.05% 및 1.70%로 변화의 폭이 크게 나타났다. 상기한 바와 같이 SiO<sub>2</sub> 함량은 석회암의 암상이나 산출 상태에 따라 차이를 보이거나 지역적인 어떤 경향성을 나타내지는 않는다.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 0.05~0.61% 범위이며, 대부분의 함량은 0.30% 이하이다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 석회암의 분포 지역이나 층준에 따라 어떤 뚜렷한 변화양상을 보이지 않는다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0.30% 이상 포함한 석회암은 세일층 내에 협재되어 있거나 또는 얇은 세일층이 협재되어 있는 경우이다. 이것은 SiO<sub>2</sub> 함량의 경우와 비슷하다.

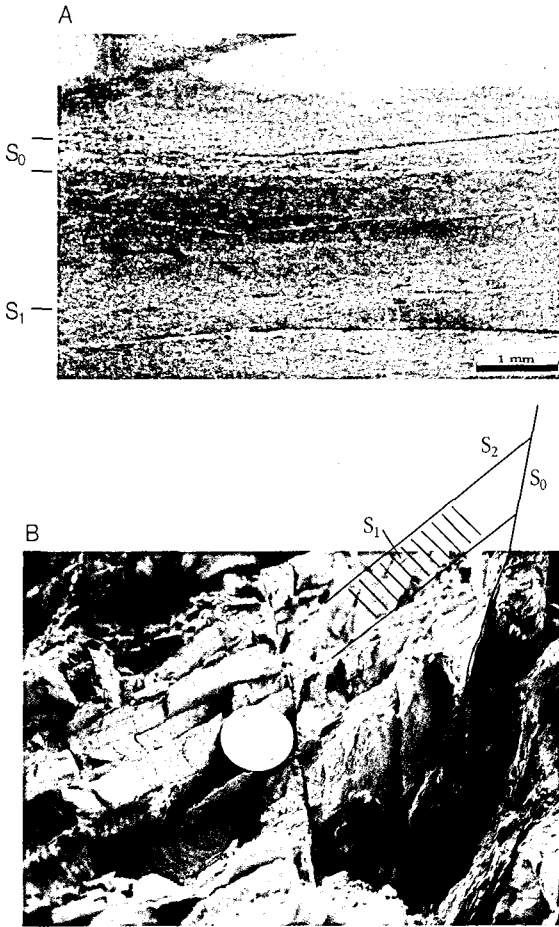
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량 범위는 0.01~1.67%이다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 S-1, M-3, M-11 및 M-13 등 4개의 시료에서 0.41~1.67%이며, 이들을 제외한 모든 석회암에서 0.20% 미만이다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 석회암의 분포 지역 및 층준에 따른 어떤 뚜렷한 차이나 특별한 변화양상을 보여주지 않는다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 높은 4개 시료의 석회암의 암상은 모두 괴상의 석회암이다.

## 지질구조

김용욱 외(1980)는 영월읍 영흥리 일대의 석회석 광상에 대한 연구를 수행하였으며, 이들에 의하면 요봉층은 NNE 방향의 습곡축 자취를 가지는 향사 및 배사에 의해 반복 분포한다. 이들은 당시 습곡 이외의 다른 지질 구조 요소들은 분석하지 않았기 때문에 변형작용의 선후관계 및 변형사를 밝히지 못하였다. 이번 연구에서 정밀 야외지질조사를 통해 얻어진 자료를 이용하여 지질 구조를 해석하였다. 연구 지역에 분포하는 요봉층, 판교층 및 밤치층에는 습곡구조 및 이와 관련된 엽리구조, 선구조, 절리구조 등의 지질구조 요소들이 여러 번에 걸친 변형작용에 의해 발달되었음이 밝혀졌다. 변형작용의 순서를 밝히기 위해 지질구조 요소들이 비교적 잘 발달된 지역(요봉층의 석회암과 사암, 이암의 호층대)에서 각각의 지질구조 요소의 형태적 특징과 방향, 선후관계, 간섭관계 등을 조사하였으며, 최소한 5회 의 변형작용이 일어났음이 확인되었다.

D<sub>1</sub>의 변형작용은 지질도 규모의 등사습곡 및 엽리를 발달시켰다. D<sub>2</sub>의 변형작용에 의해 형성된 층간등사습곡 및 측면엽리들은 연구 지역 전역에 걸쳐 발달되어 있지 않고 요봉층의 녹색 이암과 밤치층의 암회색 이암에만 발달되어 있다. F<sub>3</sub> 횡외습곡과 이와 관련된 S<sub>3</sub> 엽리구조를 형성시킨 D<sub>3</sub>의 변형작용, F<sub>4</sub> 습곡을 형성시킨 D<sub>4</sub>의 변형작용과 층상단층 및 이와 관련된 습곡구조를 발달시킨 D<sub>5</sub>의 변형작용이 연구 지역 전역에 걸쳐 연속적으로 인지되며, 암석 분포와 지질구조를 규제한 변형작용이다.

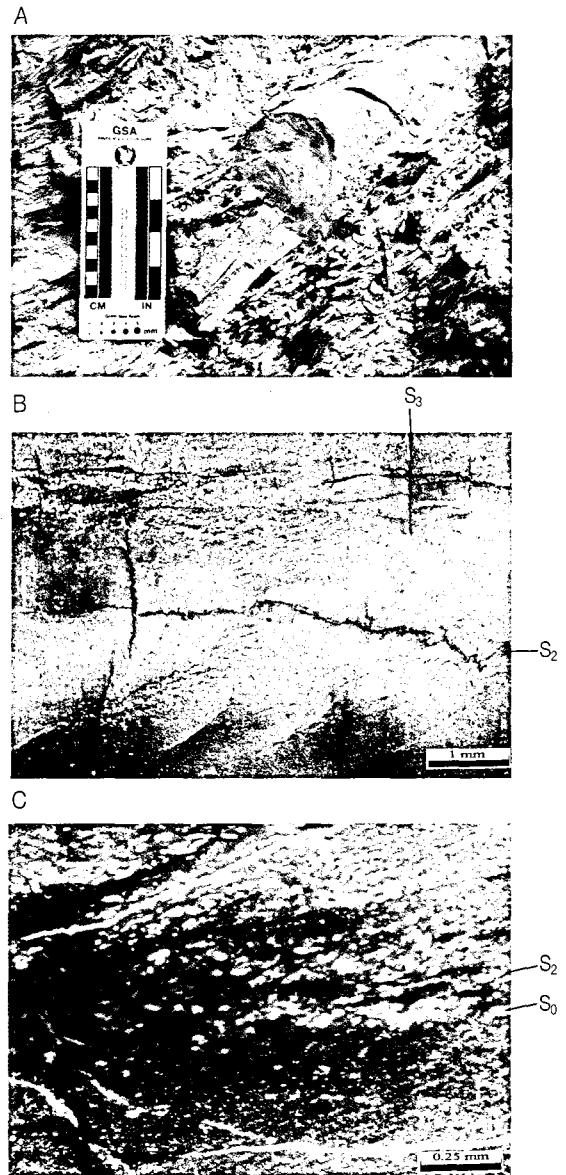
첫 번째 변형작용은 엽층리(lamination)와 평행한 엽리를 발달시켰으며, 박편의 현미경 관찰에 의해 인지된다. Fig. 3A 에서 석영입자로 구성된 엽층리와 평행하게 발달되어 있는 S<sub>1</sub>엽리를 관찰할 수 있다. 이 S<sub>1</sub>엽리는 Powell(1979)의 엽리의 형태적 분류에 의하면 연속엽리에 속한다. 석영입자들이 대부분 타원형으로 되어 있어, 쇄설성 석영입자가 소성 변형작용(plastic deformation)을 받아 모양 변화를 일으킨 것으로 생각된다. 타원형의 석영입자는 엽리면에 평행하게 선택 배향을 하고 있다. 노두에서 관찰되는 S<sub>1</sub> 엽리는 물암골 입구 도로 절개면에 분포하는 약 20cm 두께의 요봉층 연녹색 이암에 지층면과 거의 직각 방향으로 발달되어 있다. 이 S<sub>1</sub> 엽리를 절단하는 S<sub>2</sub> 엽리는 지층면과 약 40°의 각을 이



**Fig. 3.** Structures formed by  $D_1$  deformation. A, Continuous cleavage( $S_1$ ) parallel to lamination( $S_0$ ) on thin section scale defined by preferred orientations of elliptical quartz grains and clay minerals; B,  $S_1$  foliation (near vertical in the picture) is cut by  $S_2$  foliation(from upper right to lower left). The diameter of the coin is 2.2cm.

루며, Powell(1979)의 엽리의 형태적 분류에 의하면 불연속 파랑벽개(discrete crenulation cleavage)에 해당된다. 엽리간의 간격은 약 1~2cm이다(Fig. 3B).  $F_1$  습곡구조는 등사습곡이며, 힌지부분은 대림탄광 주변에서 인지되며 각 층의 분포를 지배한다.

두 번째 변형작용은 노두 규모(Fig. 4A) 및 현미경 규모(Fig. 4B)의 등사습곡을 발달시켰으며, 주로 뿌리없는 습곡(rootless fold)으로 되어있다.  $S_2$  엽리는 층간 등사습곡의 측면엽리로 발달되었으며, 대부분 층리면 및  $S_1$  엽리와 거의 평행하다. Fig. 4B에서  $F_2$  습곡작용에 의한 측면엽리( $S_2$ )를 관찰할 수 있으며 습곡의 날개 부분에



**Fig. 4.** Structures formed by  $D_2$  Deformation. A, Field photograph of  $F_2$  isoclinal fold; B,  $F_2$  fold on thin section scale. Development of stylolitic foliation( $S_2$  subhorizontal) was accompanied by pressure solution effects resulting in the offset of fold limbs in quartz-rich layer. Discrete crenulation cleavage( $S_3$  vertical) overprint both the quartz rich layer( $S_0$ ) and stylolitic foliation( $S_2$ ). C,  $S_2$  foliations defined by preferred orientations of quartz grains are developed oblique to the bedding plane( $S_0$  horizontal).

서는  $S_1$  엽리와 평행하여 구분이 어렵다.

힌지부분에서는 엽층리의 층리면과 약 20°의 각을



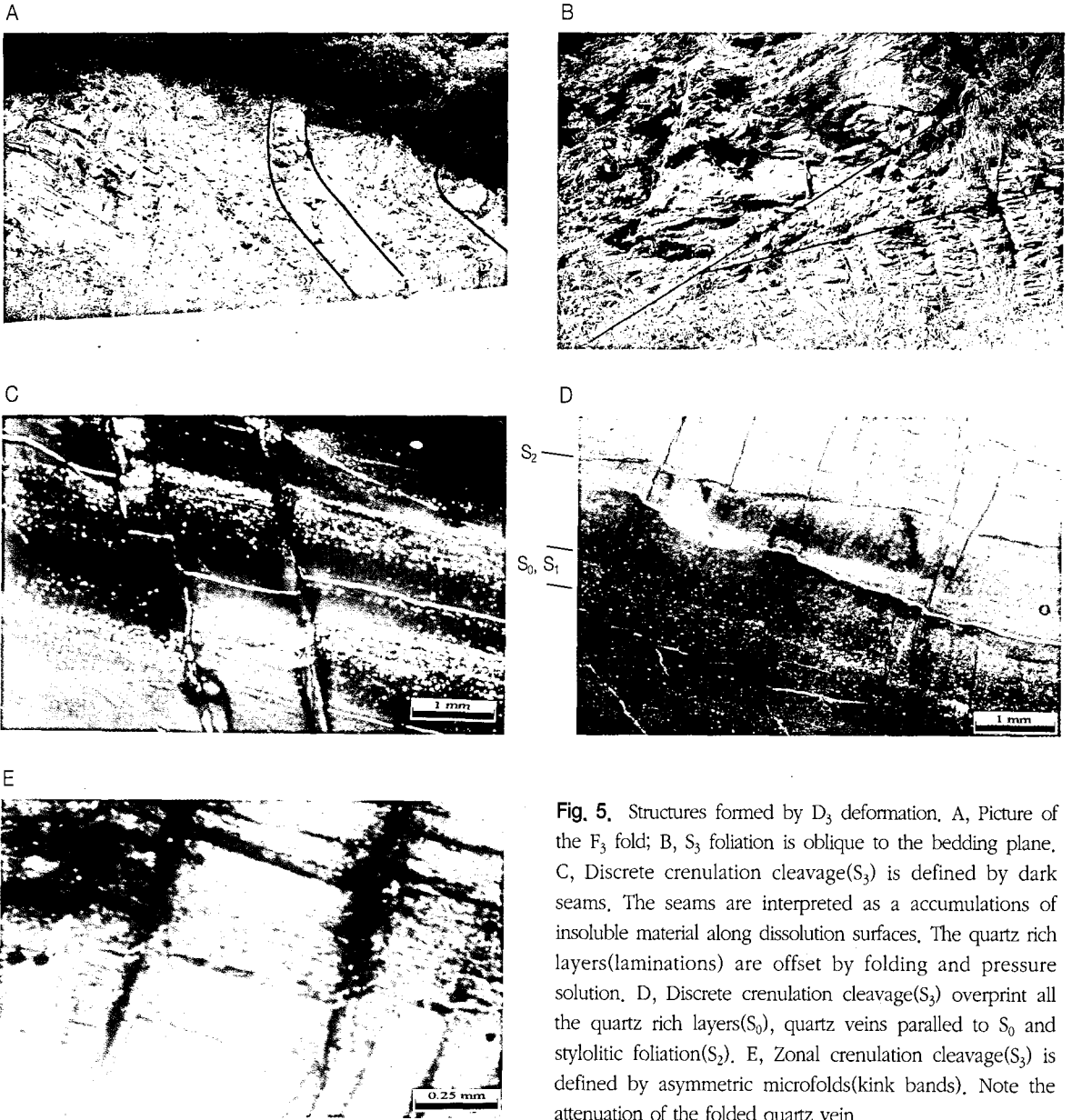


Fig. 5. Structures formed by D<sub>3</sub> deformation. A, Picture of the F<sub>3</sub> fold; B, S<sub>3</sub> foliation is oblique to the bedding plane. C, Discrete crenulation cleavage(S<sub>3</sub>) is defined by dark seams. The seams are interpreted as a accumulations of insoluble material along dissolution surfaces. The quartz rich layers(laminations) are offset by folding and pressure solution. D, Discrete crenulation cleavage(S<sub>3</sub>) overprint all the quartz rich layers(S<sub>0</sub>), quartz veins paralled to S<sub>0</sub> and stylolitic foliation(S<sub>2</sub>). E, Zonal crenulation cleavage(S<sub>3</sub>) is defined by asymmetric microfolds(kink bands). Note the attenuation of the folded quartz vein.

보이며 타원형의 석영입자들이 배열되어 S<sub>2</sub> 엽리를 형성하고 있다(Fig. 4C). S<sub>2</sub> 엽리의 일부는 치아엽리로서 압력용해작용에 의해 형성되었다. 특히 Fig. 4B에서는 습곡되어 있는 엽층의 날개 부분이 어긋나 있다.

세 번째 변형작용은 노두 규모의 횡와습곡 구조(F<sub>3</sub>)와 이에 수반된 측면엽리(axial plane cleavage)인 S<sub>3</sub> 엽리구조를 발달시켰다. F<sub>3</sub> 횡와 습곡구조는 날개 사잇각에 의하면 완만습곡(gentle folds) 또는 개방습곡(open

folds)에 해당된다(Fig. 5A). F<sub>3</sub> 습곡구조의 ힹ지대는 물암골 및 속골 일대에서 발견되며, 층리면과 엽리면은 고각도로 만난다. 물암골 입도의 노두에서 발견된 F<sub>3</sub> 습곡구조의 날개부에서는 S<sub>3</sub> 엽리가 지층면과 거의 평행하게 발달되어 있다(Fig. 5B). S<sub>3</sub> 엽리의 엽리영역(cleavage domain)에는 용해되지 않는 물질이 많이 모여있으며, S<sub>3</sub> 엽리가 형성될 때, 습곡작용 및 압력용해작용에 의해 석영입자로 구성되어 있는 엽층리 및 석

영 세맥이 어긋나 있다(Fig. 5C). Fig. 5D는 지층면 및 S<sub>3</sub> 엽리면에 직각인 방향으로 만든 박편 사진이다. 엽층리와 석영 세맥은 거의 평행하고, S<sub>2</sub> 엽리면은 엽층리와 저각도로 만나며, S<sub>3</sub> 엽리는 엽층리 및 S<sub>2</sub> 엽리를 절단하고 있어서 면구조의 생성순서를 잘 보여주고 있다. Powell(1979)의 형태에 따른 엽리구조의 분류에 의하면 S<sub>3</sub> 엽리구조는 대부분 연속엽리(continuous foliation)에 해당되며, 부분적으로는 S<sub>2</sub> 엽리구조의 파랑습곡에 의해 불연속 파랑벽개(discrete crenulation cleavage; Fig. 5C)와 대상파랑벽개(zonal crenulation cleavage; Fig. 5E)가 형성되었다. 물암골 입구 도로 절개면 노두에서 관찰된 지층면과 S<sub>3</sub> 엽리면과 만나 이루어진 교차선구조(L<sub>3</sub><sup>0</sup>)는 347°/10°이다.

네 번째 변형 작용에 의해 형성된 F<sub>4</sub> 습곡구조는 연구 지역에 지질도 규모로 발달되어 각층의 분포를 지배하고 있으며(Fig. 1), 특히 물암골 입구에서 NE 방향으로 250m 지점 임도의 절개면 노두에 배사습곡의 힙지(hinge) 부분이 나타나 있다. F<sub>4</sub>는 완만습곡에 해당되며 측면 엽리구조의 발달은 매우 미약하다. 층리면의 주향과 경사로부터 구한 배사습곡축의 방향은 002°/23°로서 북쪽으로 경사하고 있다(Fig. 6A). 물암골 입구 도로 절개면에 노두 규모의 배사 습곡구조가 있으며(Fig. 6B), 습곡의 핵 부분에 압축력에 의해 형성된 소규모의 드러스트 듀플렉스(thrust duplex) 단층과 습곡구조가 많이 발달되어 지층면이 심하게 교란되어 있다(Fig. 6C). 물암골과 속골 일대에 북북동 방향의 습곡축을 가지는 배사구조 및 향사구조가 발달되어 있으며 이 지역의 암석분포를 지배한다.

다섯 번째 변형작용은 지질도 규모 및 노두 규모의 층상단층(thrust fault)을 발달시켰다. 마차리 드러스트와 주향 방향이 거의 평행하며, 형성시기도 거의 같은 것으로 생각된다. 물암골 입구 길 건너편의 과거 석회석 채석장의 노두에 발달된 층상단층의 상반에는 약 85cm 두께의 영홍층의 암회색 백운암과 부정합 관계에 있는 요봉층 석회암이 분포한다. 단층의 하반에는 요봉층의 담회색 석회암이 분포한다. 단층암의 두께는 약 22cm이고 파쇄엽리가 잘 발달되어 있다. 단층면 방향은 N30E/29NW이고, 단층암에 발달되어 있는 파쇄엽리의 방향은 N27E/45NW로서 P-전단방향으로 발달되었음을 알 수 있다. 이 드러스트 단층면의 주향과 경사는 주변 지역의 층리면의 방향과 거의 평행하므로

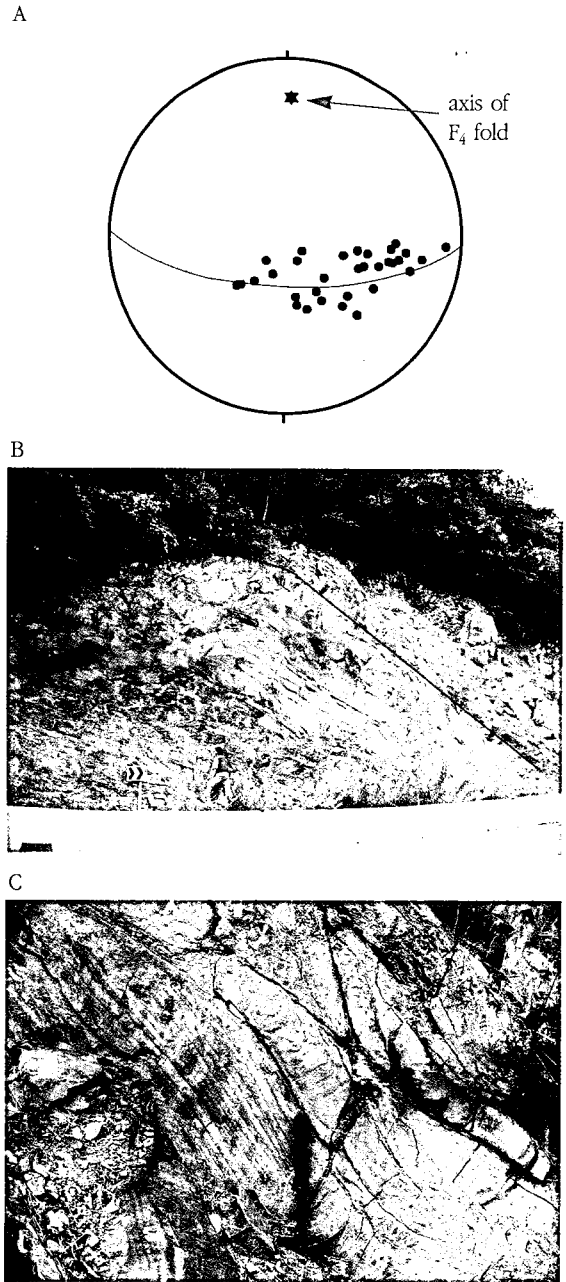


Fig. 6. Structures formed by D<sub>4</sub> structures. A, Lower hemisphere stereoplot of the bedding plane and fold axis; B, Picture of the F<sub>4</sub> fold; C, Exposure of a small thrust duplex in the core of the F<sub>4</sub> fold.

단층이 층리면을 따라 발달되어 있음을 알 수 있다.

물암골에서 NE 방향으로 250m 지점의 임도의 절개면의 노두에서 관찰되는 노두 규모의 드러스트 단층들의 상반에는 배사구조가 발달되어 있으며 하반에는 향



Fig. 7. Exposure of the thrust fault developed during  $D_3$  deformation. Note the anticline in the hanging wall and the syncline in the footwall.

사구조가 발달되어 있어, 이러한 단층주변의 습곡구조는 예인습곡(drag fold)이 아니라 단층전파습곡(fault propagation fold)으로 해석된다(Fig. 7). 네 번째 변형작용과 다섯 번째 변형작용은 거의 같은 시기에 동일한 응력환경하에서 일어났으며 습곡작용 후기에 습곡구조를 절단하는 드리프트 단층운동이 발생한 것으로 생각된다.

## 결론

강원도 영월읍 영흥리 물암골, 속골 및 삼옥리 일대에는 중기 석탄기의 요봉층이 남북 방향으로 길게 분포한다. 특히, 요봉층 내에는 품위가 높은 석회암이 발달되어 있어 석회석 자원으로 활발히 개발되고 있다. 이 연구는 요봉층 내의 석회암의 구성 입자와 조직 및 지화학적 특징, 그리고 석회암의 부존 상태를 규제하는 지질구조를 파악하기 위해 수행되었다.

요봉층의 석회암은 대체로 세립의 담회색 또는 담갈색의 팩스톤과 와케스톤으로 구성된다. 석회암의 구성 입자는 해백합, 유공층, 방추층, 개형층, 복족류 등의 다양한 생물 파편으로 이루어진다. 특히, 생물 파편을 많이 포함한 석회암일수록 품위가 높은 것으로 밝혀졌다.

연구 지역의 요봉층 석회암은 CaO의 함량의 범위는 48.12~59.31%이며, 평균 함량은 54.52%이다. MgO,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  및  $SiO_2$  등의 함량은 비교적 낮다. 따라서, 연구 지역의 요봉층의 전체적인 석회암의 품위는 매우 높다. 석회암의  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  및  $SiO_2$ 의 함량은 석회암

의 암상과 구성입자의 종류, 그리고 세일층의 협재 등에 따라 변화한다. 일반적으로 요봉층 석회암의 CaO 함량은 층의 상부로 갈수록 감소하는 경향을 나타낸다.

연구 지역의 요봉층은 적어도 5회의 변형작용을 받은 것으로 밝혀졌으며, 이중 첫 번째와 네 번째 변형작용 중에 생성된 습곡구조에 의해 요봉층 중부의 요봉석회암의 부존상태가 크게 지배되는 것으로 파악되었다. 첫 번째 변형작용은 지질도 규모의 등사습곡과 그와 연관된 엽리구조를 발달시켰다. 두 번째 변형작용에 의해 형성된 지질구조 요소인 노두 규모의 등사습곡은 조사지역 전역에 걸쳐 발달되어 있지 않고 요봉층의 녹색 이암과 받치층의 암회색 이암에만 발달되어 있다. 세 번째 변형작용에 의해 형성된  $F_3$  횡외습곡과 이와 관련된  $S_3$  엽리구조 및 네 번째 변형작용 중에 생성된  $F_4$  습곡구조, 충상단층 및 이와 관련된 습곡구조를 발달시킨  $D_3$ 의 변형작용이 연구지역 전역에 걸쳐 연속적으로 확인되었다. 5회의 변형작용 중 첫 번째 변형작용과 네 번째 변형작용이 30m 두께의 요봉석회암의 분포와 연구 지역의 지질구조를 규제한 중요 변형작용이다.

## 사사

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었다(KRF-97-005-E00059). 야외지질조사와 실내작업을 도와준 강원대학교 대학원 선승대군과 화석연구실, 구조지질연구실 및 광상학연구실 학생들에게 감사를 표한다.

## 참고문헌

- 곽영훈, 1997, 국내 광물자원의 잠재력과 탐사 방향. 광업진흥, 68, 126-134.
- 김용욱·문희수·김종환·조한익, 1982, 영월도폭 동남부 지역 석회석 광상조사연구. 한국동력자원연구소 조사연구보고, 14, 185-206.
- 김유봉, 1982, 강원도 영월군 삼옥-거울리 일대에 분포된 영흥층의 생층서와 미고생물학적 연구. 연세대학교 석사학위 논문, 70 p.
- 대한지질학회·태백산지구지하자원조사단, 1962, 태백산지구 지질도
- 박수인·이희권·이상헌, 2000, 강원 지역에 분포하는 석회석 자원의 특성과 부존환경: 충북 가창산 지역의 갑산층을

- 중심으로. 한국지구과학회지, 21(4), 437-448.
- 오종기, 1997, 석회석의 활용 방안. 광업진흥, 68, 148-162.
- 원문주 · 이하영, 1977, Conodont 화석군에 의한 문곡층(삼태산층)의 시대와 층서대비. 지질학회지, 13(2), 97-107.
- 이창진 · 나기왕, 1999, 영월군 대립탄광-접산 부근 요봉석회암의 방추충 생층서와 계통발생. 한국지구과학회지, 20(5), 469-475.
- 이창진 · 박수인 · 백인성, 1988, 강원도 미탄부근 석탄-폐름계에 관한 생층서학적 연구. 한국지구과학회지, 9(2), 163-173.
- 정창희 · 박용안, 1997, 영월탄전 해성 퇴적암(석탄기)의 퇴적환경 및 방추충에 관한 연구. 지질학회지, 13(3), 15-178.
- Cheong, C.H., Kim, B.K., and Lee, C.Z., 1983, Permian fusulinids from the limestones of the Bamchi Formation, Yeongweol coalfield, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 19(4), 203-226.
- Choi, D.K., 1999, The Yongwol Group(Cambrian-Ordovician) redefined: a proposal for the stratigraphic nomenclature of the Choson Group. Geoscience Journal, 2(4), 220-235.
- Kim, I.S., Cheong, C.H., and Lee, H.Y., 1985, Trilobites from the Sambangsan Formation in the eastern side of the Pyeongchang area, Kangweon-do, South Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 21(1), 45-49.
- Lee, C.Z., 1984, Biostratigraphic study of Permo-Carboniferous strata in the Yeongweol coal field, Korea. Unpublished Ph. D. thesis, Seoul National University, 225 p.
- Lee, B.S., Choi, D.K., and Lee, H.Y., 1991, Conodonts from the Machari Formation(Middle? - Upper Cambrian) in the Yeongweol area, Kangwon-do, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 27(4), 394-408.
- Lee, J.G., 1995, Late Cambrian trilobites from the Machari Formation, Yeongweol, Korea. Unpublished Ph.D. thesis, Seoul National University, 418 p.
- Park, K.H., Choi, D.K., Kim, J.H., 1994, The Mungog Formation(Lower Ordovician) in the northern part of the Yeongweol area: Lithostratigraphic subdivision and trilobite faunal assemblages. Journal of the Geological Society of Korea, 30(2), 168-181.
- Park, S.I., 1993, Conodont fauna and its biostratigraphy of the Bamchi Formation(Lower Permian) in Yobong-Bamchi area, Yeongweolgun, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 29(4), 360-374.
- Powell, C. McA., 1979, A morphological classification of rock cleavage. Tectonophysics, 58, 21-34.
- Reinemund, J.A., 1957, Geology of Machari coalfield. U.S. Geological Survey Bulletin, 1041-C, 11-46.

---

2000년 7월 24일 원고 접수  
 2000년 8월 10일 수정원고 접수  
 2000년 10월 7일 원고 채택