The Korean Journal of Quaternary Research
Vol. 3. No. 1. 69~85 (1989)

한국 고생대 후기의 평안층군 퇴적암(해성기원 및 육성기원)에 관한 퇴적작용과 퇴적환경 연구

박 용 안·최 강 원·김 진 호
서울대학교 해양학과

Deposition and Sedimentology of the Marine and Nonmarine Sedimentary Rocks of the Pyung-Ahn Group, Kangweondo, Korea

Yong Ahn Park, Kang Won Choi and Jin Ho Kim
Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

요 약

강원도 정선 일대의 평안층군 퇴적암(만항층, 금천층, 장성층 및 옥갑산층에 대한 퇴적환경이 연구되었다.

본 연구의 중요 결과는 평안층군의 퇴적암상이 오늘의 제4기적 현세 퇴적환경과 유사한 천해적 퇴적환경에서 육지분지적 퇴적환경으로 전이되는 그러한 환경변화를 나타낸다는 사실이다. 즉, 평안층군의 하부는 전형적 해성퇴적환경이며 장성층과 옥갑산층은 전형적인 육성퇴적환경으로 변화된 퇴적상을 나타낸다. 특히 만항층과 금천층의 쇄설사암이 현 환경의 해저 사립퇴적층과는 다르게 장석광물성분을 가지고 있지 않다는 사실이 국내에서는 처음으로 제시되고 토의되었다.

ABSTRACT

The depositional environments of the Pyung-Ahn Group sedimentary rocks, Jeongseon-Kun, Kangweondo, Korea are investigated. The environments are understood to be characteristic transitional from a typical shallow marine to a typical continental environment. Such transitional conditions are also understood in various parts of Quaternary and modern environment on the earth. In particular, the absence of detrital feldspar sand grains in the Manhang and Keumcheon Formation Sandstone body is described firstly in Korea, and the fact and possible mechanism are discussed.

서 론

1950년대에서 1960년대 중반에 이르는 15-16여년 동안은 국제적인 지질과학계가 화성암과 변성암에 대한 연구를 지구화학적이며 실험 광물학적인 기초 연구에 따라 실시하므로써 좀 더 발전적 연구결과를 나타냈다고 할 수 있다면, 퇴적 암석학 연구와 층서 퇴적학적 연구 분야는 현재의 지구퇴적 환경, 즉 호수, 하천, 해빈, 대륙붕 등의 퇴적분지와 퇴적작용에 대한 연구가 더욱 중요함을 인식하는 원리(현재는 과거의 열쇠)가 제4기학적 현상 연구에서 비롯된다고 본다. 그런데 우리나라의 경우, 퇴적학적인 층서연구가 고기 퇴적층(ancient sedimentary rocks)의 암상, 기재, 층서적 경계 설정 및 층서 대비의 관점에서 야외적 관찰과 광역적 조사 연구가 1970년대까지 지배적이었다. 그런데 고생대 초·중기의 조선누층군에 대한 석회암의 퇴적환경 연구가 1970년대 후반부터 비교적 활발하게 실시되었고, 현재의 탄산염 퇴적환경과 비교되는 환경재현의 요소를 연구 내용으로 다루기 시작하였다.

한편, 우리나라의 석탄 에너지 공급원이 되는 평안층군의 함탄대(coal bearing sedimentary rocks)에 대한 층서학적 연구가 20-30여년 동안 여러기관과 연구팀에 의하여 실시되어 온 바 있으나, 현재의 제4기학적 지구환경과 연관시켜 해석하는 퇴적학적 연구의 요소를 강하게 나타내는 연구가 비교적 미약하였고, 지난 15여년 (1975-1988) 동안의 국제적 연구 추세와는 약간 차이를 나타냈다고 본다.

우리 나라 반도의 대륙 지각을 구성하고 있는 지층의 대부분이 화성기원 또는 광역변성기원 암층이며, 비교적 좁은 면적(약 36%)이 퇴적기원 암층으로 구성되어 있다. 그러나, 고생대에서 중생대 및 신생대에 이르는 지질 시간의 범위를 가지며 발달하고 있는 이들 퇴적암 지층은 해성기원과 육성기원으로 대분되어 연구되어 왔다. 지난 30여년 동안의 퇴적암의 연구는 암상적 층서설정, 고생물학적 층서단위 설정 및 퇴적암석 기재적 연구 등에 집중되었으며, 퇴적분지의 분석(basin analysis)과 퇴적환경 요소, 즉 퇴적상 분석, 퇴적 당시의 수심, 퇴적층 몸체 규모, 퇴적물 이동 기작 및 퇴적 당시의 기후등을 규명하는 제4기적인 현생 퇴적학적 연구가 평안 누층군의 중요 지층에 대하여 고환경 퇴적학적 관점으로 수행된 바가 비교적 미약한 것으로 본다. 그런데, 현재의 바다에서 진행되고 있는 여러가지 퇴적 현상과 과정이 자세하게 연구되고 해석된 지난 20여년간의 중요한 결과와, 또한 내륙의 여러 퇴적기작과 퇴적과정은 "현재는 과거의 열쇠"라는 절실한 원리가 퇴적학자에게 호소력을 갖게 되었다.

본 연구는 고생대 후기의 소위 평안계(평안층군)의 흥점층(만항층)과 사동층의 하부(금천층)을 이루고 있는 해성기원 퇴적암의 퇴적환경(퇴적장소, 퇴적할 당시의 바다수심, 퇴적기작과 퇴적할 때의 물리적 힘 및 퇴적시기의 기후 등)과 퇴적암의 특징을 고해양지질학(paleo-marine geology)적인 모든 내용으로 연구하는데 있어 오늘의 해양학적 환경과 퇴적 특성 및 퇴적 요소를 비교 유추하므로써 어느 정도의 정확한 퇴적분지 조건을 규명하는데, 연구의 주요 목적이 있다.

본 연구의 해양지질학적인 측면의 중요 목적은 동일과정 이론의 내용을 실제로 연구 대상 지역(강원도 정선군의 평안층군, 즉 만항층, 금천층 및 장성층 또는 옥갑산층)에 적용하여 고퇴적환경(paleo depositional environments)의 복원 또는 재현을 현생 퇴적학적 관점에서 연구 분석하여 당시의 퇴적학적 과정을 합리적으로 유추 해석하는데 있다.

본 연구의 일부 결과를 이번 제4기학회지에 발표하는 뜻은 제4기학적 현상과 고생대 중후기의 현상을 비교하는데 있다. 본 연구의 수행이 가능했던 것은 한국과학재단의 목적기초연구(KOSEF 86-0718-05) 과제에 따른 연구비의 지원이 있었기 때문이며, 야외조사와 실내연구에 많은 협조를 아끼지 않은 대학원 실험실의 여러분께 감사드린다.

연구방법

현생의 여러 퇴적환경(연근해, 조간대, 대륙붕 및 삼각주, 또는 하성 하구환경 등)을 연구하는 방법에서 가장 효율적으로 적용될 수 있는 그러한 방법을 토대로 하여 야외조사를 가장 면밀히 수행하면서 퇴적층서의 주된 퇴적암이 나타내는 일차적 퇴

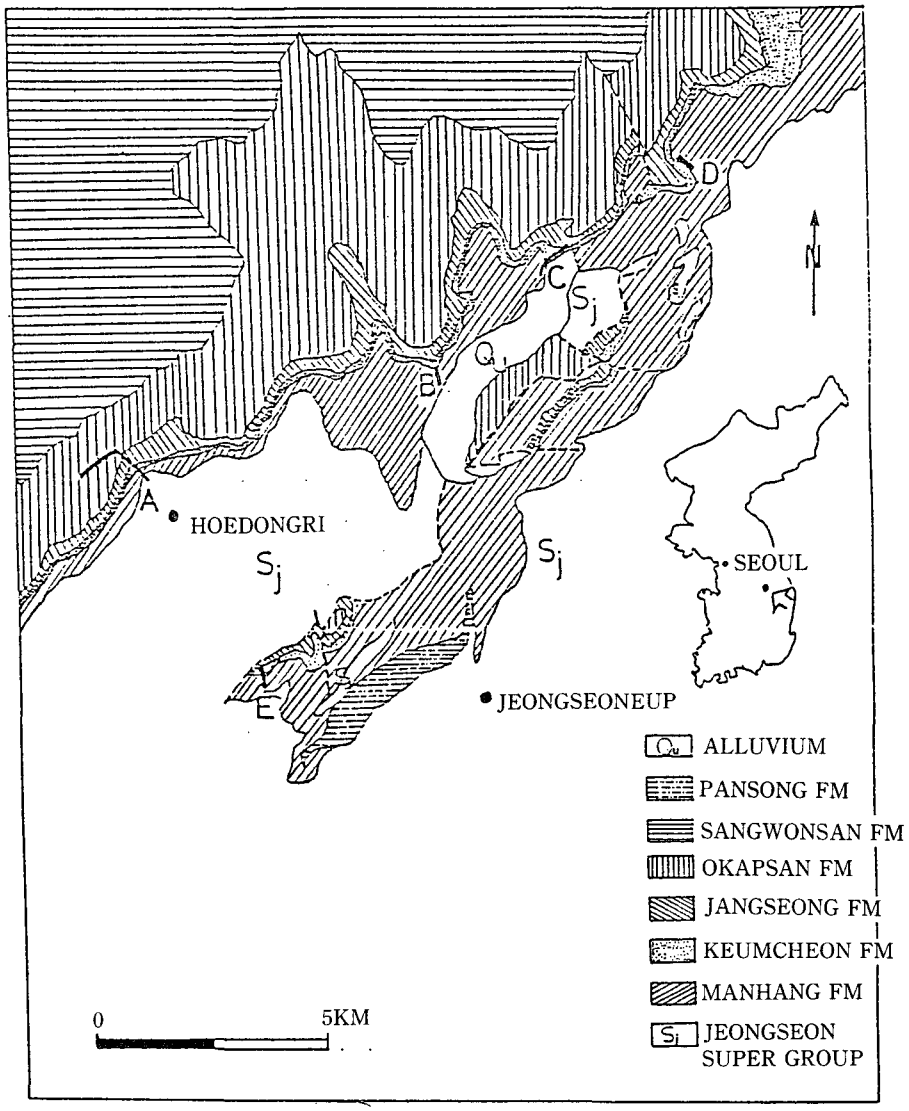

Fig. 1. Geologic map of the study area and major observed sections (A,B,C and D).

적구조의 파악과 제도, 퇴적층의 경계구조 및 특징, 측방 퇴적상 변화와 기하학적 면체 규모(geometry)를 규명하는 방법을 우선하였고 지하퇴적층(subsurface sedimentary rocks)의 시추 표품과 자료(대한광업진흥공사의 자료 제공과 협조)를 분석하였다.

야외에서의 기본적 조사 연구 방법에 따른 표품 채취가 실시되었고, 표품의 실내연구가 실내의 분석 연구 장비에 의하여 수행되었다. 주된 실내연구의 방법에는 퇴적구조 규명을 위한 슬랩이 제작되었고, X-선 촬영장비(High Tech System)로 미세퇴적구조(물리적 구조 및 생물기원 구조 등)를 조직적으로 연구하였다. 퇴적 입자의 입도분석, 퇴적 입자의 광물조성, 퇴적후의 속성작용 등을 고찰하고 세밀한 조직 성질을 종합하였다.

위의 여러 가지 연구 방법에 따른 결론적 재료를 종합적으로 분석하고 현생의 퇴적환경 연구 결과에 따른 퇴적상 모델과 퇴적양상(Walker, 1984 외 다수 논문)을 비교하는 유추방법이 중요하게 실시되었다.

야외조사 단면지역(A, B, C, D)을 표시하면 그림-1과 같다.

결 과

만항층의 암상과 퇴적환경

만항층은 과거 홍점통으로 부르던 지층으로 본 연구 지역에서의 조사 연구 결과에 의하면 석회암, 세일, 사질 세일 및 약간의 사암으로 구성되는 암상적 특징을 나타낸다. 역질 사암과 역암의 발달이 대단히 미약하고 두꺼운 세일과 사질 세일의 암색이 주로 녹색, 녹회색 또는 짙은 암색을 나타냄이 만항층의 암상을 뚜렷하게 한다. 만항층의 석회암은 유백색 결정질 석회암으로서 우세하나 담회색의 석회암도 협재한다. 그런데 이들 석회암이 대부분 세일의 노듈형 쇄설편(nodule type fragment)을 함유하는 경우가 있으며, 편광 현미경적 관찰에 따른 해백합(crinoid)의 줄기 파편 존재가 이들 석회암의 암상을 특이하게 한다.

세일 암상은 만항층 하부에서 우세하고 상부로 가면서 미약하여지며 세일층의 두께도 상부로 가면서 얇아지는 추세를 나타낸다. 사암 암상(sandstone facies)은 석회암, 세일 및 사질 세일에 비하여 미약한 발달을 보이고 녹색, 담녹색을 띠며 수평층리, 괴상(massive) 또는 탁상 사층리를 나타낸다. 또한 현미경 관찰과 X-선 회절분석의 결과에 의하면 일반적으로 사암의 주요 구성성분의 하나인 장석이 전혀 포함되지 않는 것으로 나타났다.

그림-2는 만항층 하부의 암상을 나타내는 것으로 녹색이 우세한 세일과 우백색과 담회색의 석회암 발달을 나타낸다. 그림-3은 결정질 석회암에 함유된 해백합의 파편(줄기)을 뚜렷히 나타낸다.

만항층의 하부와 중부에 이르는 층서적 퇴적체 중의 석회암은 퇴적학적으로 만항층의 퇴적환경 과정을 제시하는 것으로, 당시의 퇴적 분지는 해침되는 과정의 얕은 수심을 가지며 쇄설성 퇴적 입자물질의 유입이 빈약하며, 반면에 탄산염 세립 물질의 퇴적이 우세한 현재의 지구상의 아열대성 해역의 탄산염 바다(carbonate marginal sea)를 추정케 한다.

더구나 석회암층에서 발견되는 녹색 세일의 쇄설편 등은 당시의 퇴적 지역에서 세립질 쇄설물질이 국부적으로 재동되어 석회암 퇴적지로 유입된 것을 의미한다. 본 연구 지역의 만항층이 녹색과 회색의 암색을 우세하게 나타내는 것은 퇴적 과정의 전반적 진행이 산화 상태(free O_2)의 조건이 아니며 오늘의 해양 퇴적환경(연근 해역)과 유사한 연근 해역 환원적 상태를 의미한다. 즉 Fe^{++} mole fraction이 $mFe^{++}/mFe^{++}+$

mFe^{+++}의 관계에서 0.6−0.9에 가까운 값을 가지고 유기 탄소(organic carbon)가 0.3% 미만인 퇴적 조건을 의미한다고 해석된다.

금천층의 암상과 퇴적환경

금천층은 과거 사동통 하부의 석회암과

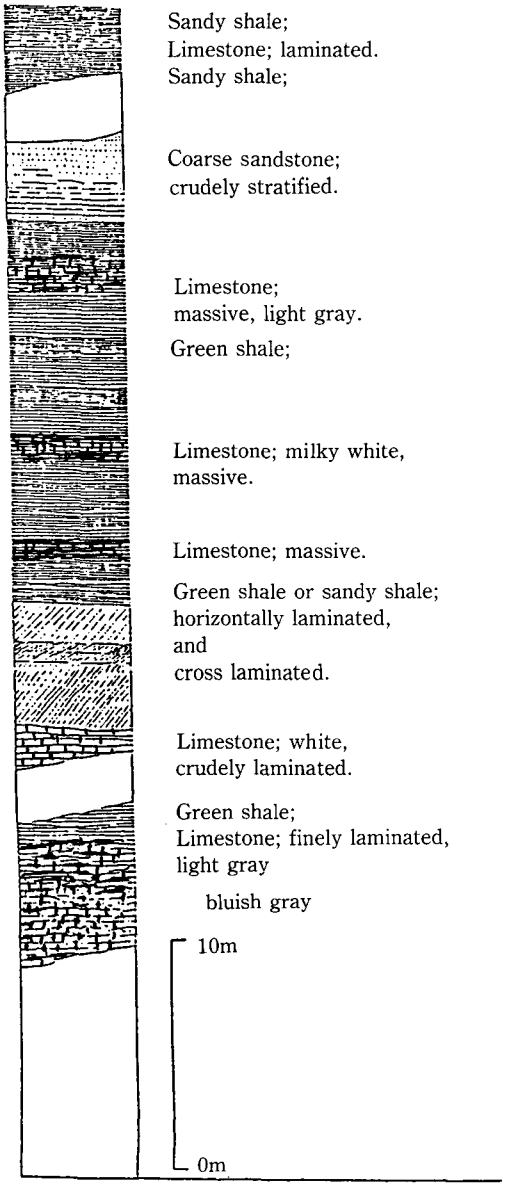

Fig. 2. The lower part of the Manhang Formation

흑색 세일이 우세한 층서적 암상부분을 지칭하는 것으로, 본 연구 지역의 금천층의 암상은 주로 흑색 세일, 흑색 사암과 암회색 석회암이 우세한 것이 특징적인 것으로 해석된다. 흑색 내지 암회석 사암퇴적상(sandstone facies)은 수평층리, 괴상 또는 사층리의 퇴적구조를 양호하게 나타내며 퇴적체의 규모가 수평방향으로 지속적인 것이 아니며 수직방향으로도 최대 20m이내이다. 흑색 세일과 석회암이 우세한 부분의 암상은 전술한 만항층의 것과 유사하나, 암색(color)에 있어 차이가 나며, 국부적으로 흑색 세일대에 얇은 석탄질 세일과 얇은 층의 석탄층이 협재하는 것이 특징이다. 흑색 세일의 퇴적암상은 강한 환원상태의 퇴적조건(poor O_2)을 나타내는 것으로, 이차 기원의 황철석(FeS_2) 결정편을 협재하는 부분을 나타낸다. 흑색 석회암으로서의 퇴적암상은 해류기원적 방향 지시를 나타내는 퇴적구조를 가지고 있지 아니하며 대체로 약한 층리구조와 괴상적 구조를 나타낸다. 그러나, 석회암의 구성 물질은 퇴적 당시의 생물기원 탄산염 물질이 미약한 운동성퇴적지, 즉 저 에너지(low energy) 환경의 퇴적조건에서 집적된 것으로 해석된다. 사층리를 나타내는 중립(medium grained) 또는 조립(coarse grained) 사암 퇴적암상은 세일층과 교호하며, 한편으로는 세일층 내에 렌즈 형태의 퇴적체로서 협재되는 경우도 있다. 이러한 사암으로서의 퇴적암상은 상부 세립화(fining upward)의 층서 단위를 이루는 경우가 빈번하며, 세일층과의 상조합(facies association)은 석회암 퇴적암상과 연관되어 연근해적 천해분지이며, 만항층의 퇴적환경보다는 육지 방향(landward marginal facies)에 더 가까운 삼각주 퇴적상의 프로델타(pro-delta) 상부부분, 즉 삼각주 분기 수로(deltaic distributary channel)로 해석되었다.

그림−4는 금천층의 사암 퇴적체가 나타

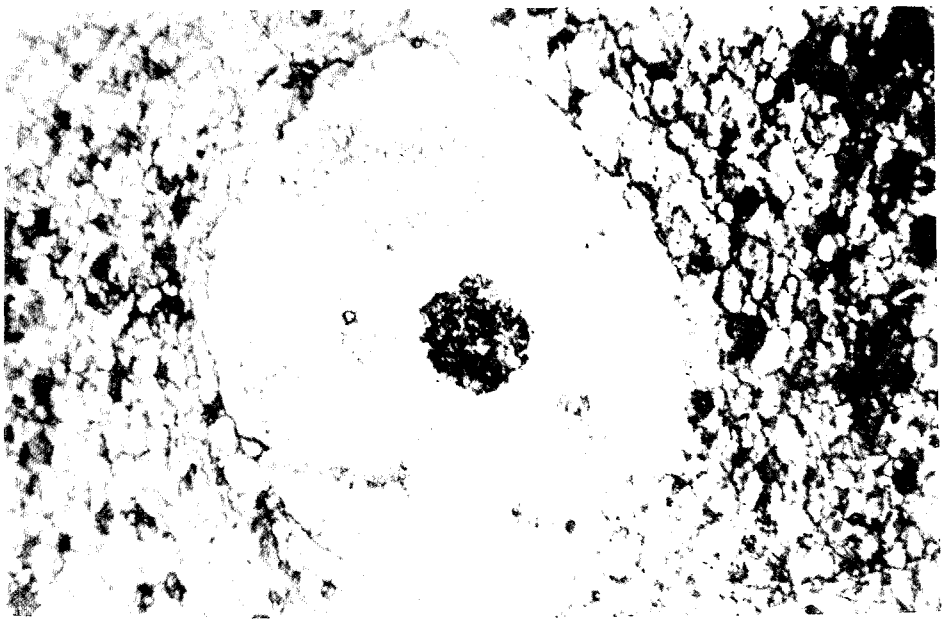

Fig. 3. The Manhang Formation limestone containing crinoid fragment.

Fig. 4. A channel sandstone observed in the Keumcheon Formation.

내는 수로 퇴적상(channel sandstone facies)을 나타내는 것이며, 그림-5는 금천층의 중상하부에서 우세한 사암과 세일 퇴적상의 교호적 구조를 나타낸다. 이상의 연구 결과 내용에 따르면, 만항층과 금전층은 모두 연근해역의 천해 퇴적분지에서 집적된 해성기원 쇄설 퇴적암과 탄산염퇴적암(석회암)으로 해석되며, 두 지층의 퇴적환경이 시간과 공간적인 관점에서 차이를 나타낸다고 보며, 층서적 하위층인 만항층은

상위층인 금천층보다 세립질(fine-grained) 퇴적암으로 우세한 것이 규명되었다. 이러한 내용을 기술하면, 만항층은 사암 4%, 세일 45% 및 석회암 25% 비율로 구성된 것으로 밝혀지는 반면, 금천층은 사암 62%, 세일 13% 및 석회암 25%의 비율과 구성된다고 규명되었다. 그림-6은 만항층과 금천층을 주로 구성하는 암층 단위의 상대적 비율을 나타낸다. X-선 회절분석결과, 금천층의 사암이 또한 장석쇄설입자성분을 가지고 있지 않는다는 사실이 본 연구결과로 밝혀졌다. 따라서 만항층과 금천층의 사암은 장석 부재의 특성을 나타낸다. 이에 관한 논의가 본 논문의 고찰에서 설명된바, 평안 누층군 하부 사암조성에 관한 최초의 장석부재 사실 판단이며 기재이다.

그림-7은 금천층 하부의 전형적 지질 주

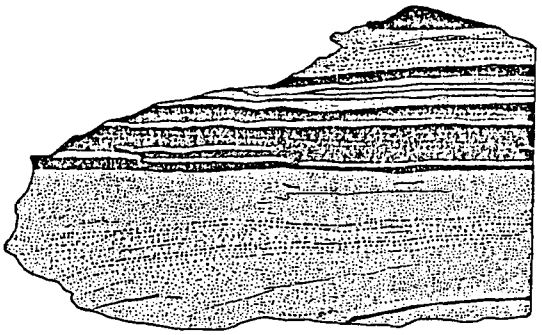

Fig. 5. Alternation of sandstone and shale unit dominant in the middle part of the Keumcheon Formation.

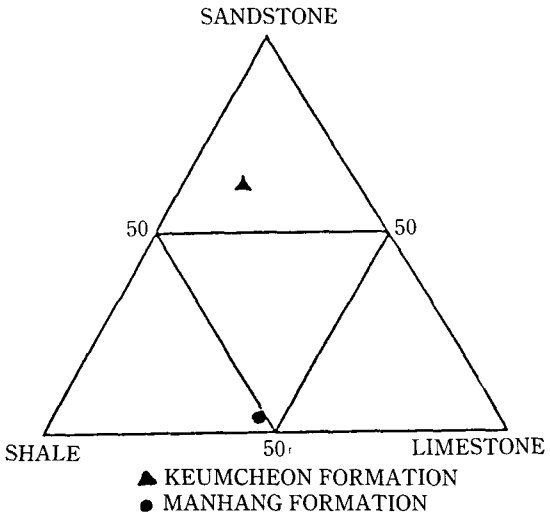

Fig. 6. The relative ratio of the three major rock types in the Manhang and Keumcheon Formation.

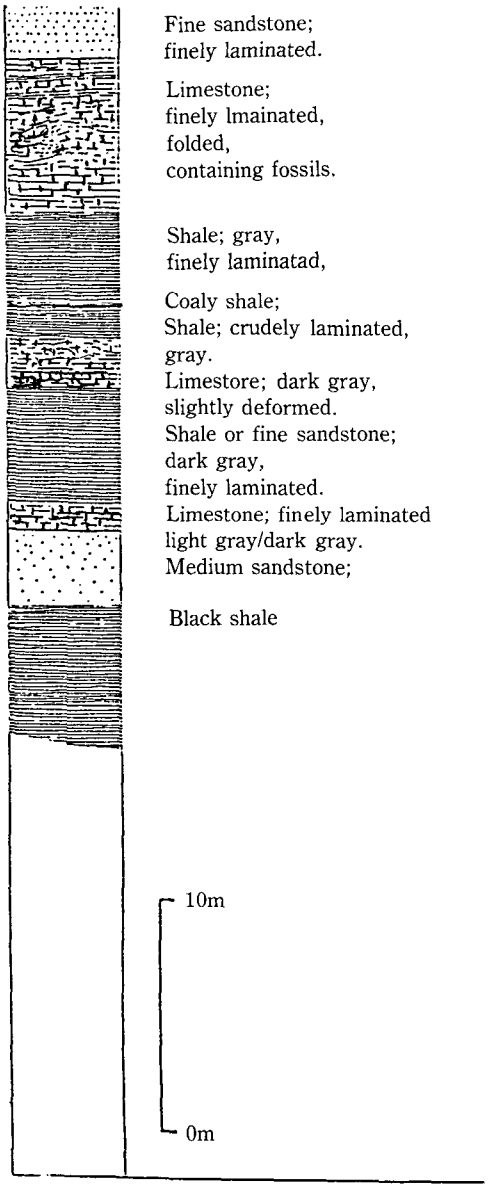

Fig. 7. The geologic columnar section showing the lower part of the Keumcheon Formation.

상도를 나타낸다.

장성층의 암상과 퇴적환경

장성층은 과거 사동통의 주된 함탄대(coal bearing part)로 지칭되었던 것으로 층서적 하위층인 금천층과 정합적인, 또는 평행부정합적인 것으로 해석되고 있는데, 본 연구에 따른 주된 결과로 5개의 퇴적암상으로 구분되는 장성층은 층서적 하위층인 만항층과 금천층과는 다르게 석회암 퇴적암상을 가지고 있지 않다. 즉 장성층 전체가 쇄설성 퇴적암과 석탄층(유기물 퇴적층)으로 구성되며, 특히 사암 퇴적체 자체의 퇴적구조가 비교적 다양함이 특징이다.

흑색 세일 또는 탄질 세일 퇴적암상(A)은 10%의 사립자와 실트입자를 함유하며 미세 층리의 퇴적구조를 나타내는 것이 특징이다. 이 퇴적암상의 수평적 방향으로 소위 머드 볼(mud ball)의 쇄설편이 협재되는 것이 본 연구 지역에서 규명된 바, 세일층 내의 머드 볼의 성인은 니질(mud) 세립 퇴적층이 건조된 후 건열편으로 존재하면서 유수의 운동성 재동에 의하여 이동되어 집적되는 것으로 해석되었다. 비교적 수평적인 연속성을 나타내는 이러한 퇴적상은 건조되고 건열의 기회가 있는 범람원적 삼각주 평야 세립질 퇴적분지로 해석되었다. 그림-8은 머드 볼의 야외 노두 사진이다.

사질 세일 퇴적암상(B)은 암회색을 나타내며 미세한 사립입자를 40% 이하로 함유하는 퇴적암으로 렌즈, 파동 및 사층리(lenticular, wavy and cross bedding)를 가진다. 이 퇴적암상에도 머드 볼이 협재하며 사질 입자가 우수한 렌즈형 층리의 부분과 세립 입자의 세일 발달은 이 퇴적암상이 밑짐과 뜬짐의 교호적 퇴적작용이 가능한 퇴적지에서 형성됨을 유추하게 하며, 본 연구 결과는 조수적 층리(tidal bedding)로 해석하였고, 삼각주적 평야이면서 간만의 차가 있는 조수환경으로 분석되었다.

세일과 세립사암의 호층 퇴적암상(C)은 세일과 세립사암이 호층을 뚜렷히 이루는 암상으로 사립입자는 석영입자로 구성되어

Fig. 8. Mud-ball fragments in the shale and fine-grained sandstone of Jangseong Formation.

있으며 비교적 분급이 우수하다. 세일은 암회색이며 호층을 이루는 두께는 일정하지 않으며 평행층리를 이룬다. 세일에서 세립사암으로 바뀌는 경계는 침식작용에 의한 침식증거를 가지는 뚜렷한 경계를 나타내는 경우가 많다. 사질층리(sandy bedding)내에 rip-up clast 또는 mud ball이 협재하는 현상은 유수의 간헐적 운동을 의미한다. 유수의 흐름이 조류세곡(tidal gully)의 사행(meandering)이 위에 설명된 퇴적구조와 연관된다고 보며, 연흔구조(약 5cm의 파장)의 발달이 이 퇴적암상에서 우세한 것도 중요한 내용이다. 본 암상(sedimentary facies)은 하부에 사립질 퇴적물이 우세하며 상부로 갈수록 니질(mud) 퇴적물이 증가하는 상부 세립화 경향(fining upward)을 나타낸다. 본 암상은 상향 세립화의 퇴적단위를 반복하면서 층서단위를 이룬다.

세립사암 퇴적암상(D)은 70% 내외의 사립 퇴적물을 가지며 기질(matrix)은 탄진물질로 이루어져 있다. 본 암상은 흑색 내지 암회색을 띠며 두꺼운 석탄층의 하반 사암층을 이루는 경우가 많다. 퇴적구조가 잘 나타나지 않으며 X-Ray 촬영에도 구조가 뚜렷하지 않다.

중조립 사암 퇴적암상(E)은 주로 석영입자로 구성되어 있으며, 분급(sorting)이 비교적 양호한 퇴적단위와 운모 등의 쇄설 성분이 함유된 분급 불양한 퇴적단위로서의 사암으로 구성된다. 본 암상은 유기 탄질물의 색소로 인한 암회색의 짙은 색을 띠며, 뚜렷한 셋트(set) 경계를 갖는 탁상형 사층리(tabular cross-bedding)가 중첩되어 발달한다. 사층리는 대개 20, 40cm 또는 10cm 두께의 셋트 두께를 가지며 경계면을 따라서는 머드 볼의 쇄설편이 존재하기도 한다. 본 암상에는 5cm 내외의 파장을 나타내는 연흔구조가 발달하며 세립질 암상의 경우에는 청어뼈형사층리(herring-bone cross-bedding)가 발달한다. 중조립 사암의 퇴적환경은 위에 설명된 연구 결과 내용의 암상조합에 따라 유추되는 바, 석탄층과 세일 암상, 세일 암상과 사암 퇴적체와의 연계적 암상조합 및 퇴적구조(청어뼈형 사층리) 등의 퇴적요인을 종합하여 본 암상은 삼각주 톱셋트(delta topset)의 델타 후론트(delta front) 부근 및 삼각주 습지(deltaic

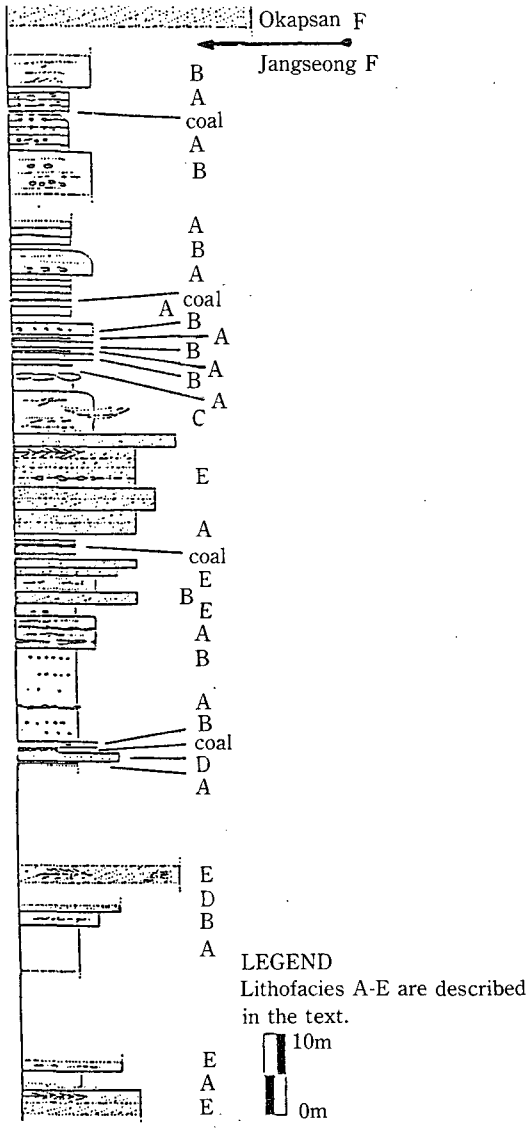

Fig. 9. The geologic columnar section showing major sedimentary facies (A-E) in the Jangseong Formation.

marsh)의 분기수로(distributary channel)에서의 퇴적체 또는 바 핑거(bar finger)로서의 퇴적체로 해석되었으며, 삼각주적 연안 습지로서의 퇴적지가 석탄의 근원 물질인 수목의 성장 발달에 결정적 요인이었고, 이에 조수적 영향에 따른 퇴적작용의 증거가 수반된다고 해석된다. 따라서, 퇴적환경 전반은 육성 퇴적환경이 우세하면서 일부의 조수 흐름(tidal current)이 존재하는 분기수로의 발달이 혼합되는 퇴적환경으로 유추되었다. 이러한 장성층이 후기부터 완전한 육성 퇴적분지로 전이(transition)되는 사실이 본 연구의 주요 결과로 규명되었다.

그림-9는 장성층의 퇴적 암상을 나타내는 주상도이다. 이 주상도에서 장성층을 구성하는 주요 퇴적암상(A~E) 및 석탄층의 층서적 단위 발달 순서로 암상 조합을 이해할 수 있다.

옥갑산층의 암상과 퇴적환경

옥갑산층은 본 연구 지역의 평안누층군의 표식 지역인 옥갑산의 지리 명칭을 인용한 것으로 과거 고방산통에 해당하는 지층이다. 옥갑산층은 전반적으로 연회색, 유백색 및 암회색의 세설 사암과 세일로 구성되며

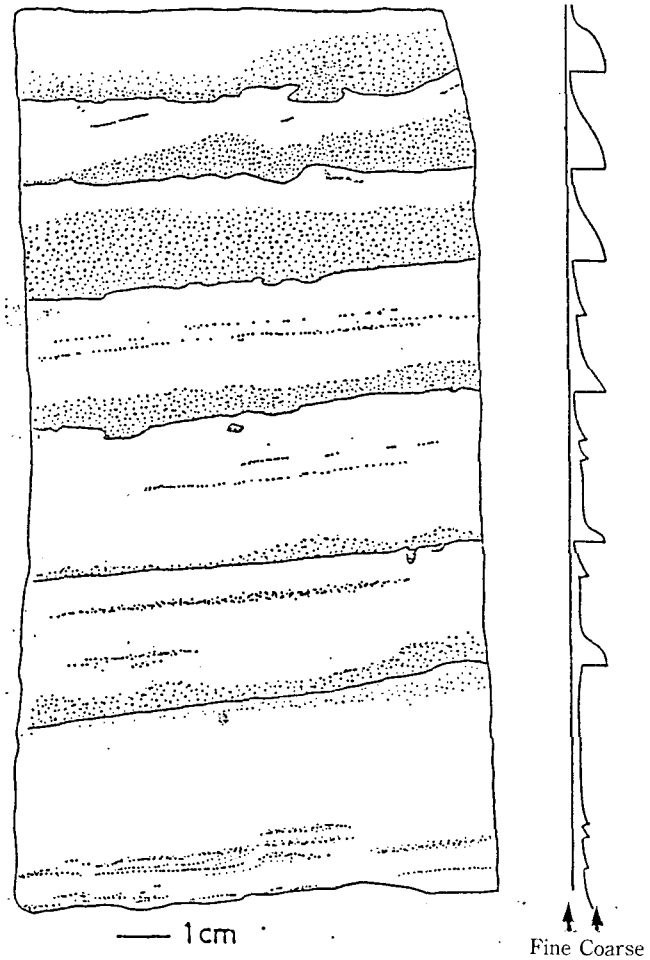

Fig. 10. Repeat of graded beddings in the Okapsan Formation.

석회암과 같은 탄산염 퇴적층이 전혀 발견되지 않는다. 옥갑산층의 퇴적 암상은 본 연구에 따라 중·조립질 사암이 웨지(wedge)형의 퇴적체(body)를 가지며 사층리를 나타내며 연혼구조를 가지는 것과 조립 사암으로서 수평 또는 탁상 사층리를 가지는 사암 및 점이적 층리를 우세하게 나타내는 암상으로 크게 분류되었다. 특히 점이적 층리를 나타내는 암상이 그림-10의 내용과 같은 바, 육성기원 쇄설 퇴적암으로의 이러한 반복적 점이층리 발달기작(mechanism)은 내륙호수 내의 저탁류 발생과 연관된다고 본 연구 결과는 유추하고 있다. 사층리의 셋트 두께(set thickness)와 퇴적체의 연관성 및 규모로 보아 옥갑산 퇴적층은 층서적 하위층인 장성층을 피복하는 지층으로서, 육지 내륙 브레이디드 하천(braided stream)과 대소규모의 호수적 분지가 상호 교호하는 전형적 육성층으로 규명되었다.

그림-11은 옥갑산층의 층서적 퇴적단위의 최하부를 나타내는 것으로 사층리를 가지는 사암 퇴적암상과 점이층리를 가지는 암상의 층서적 관계를 예시한다.

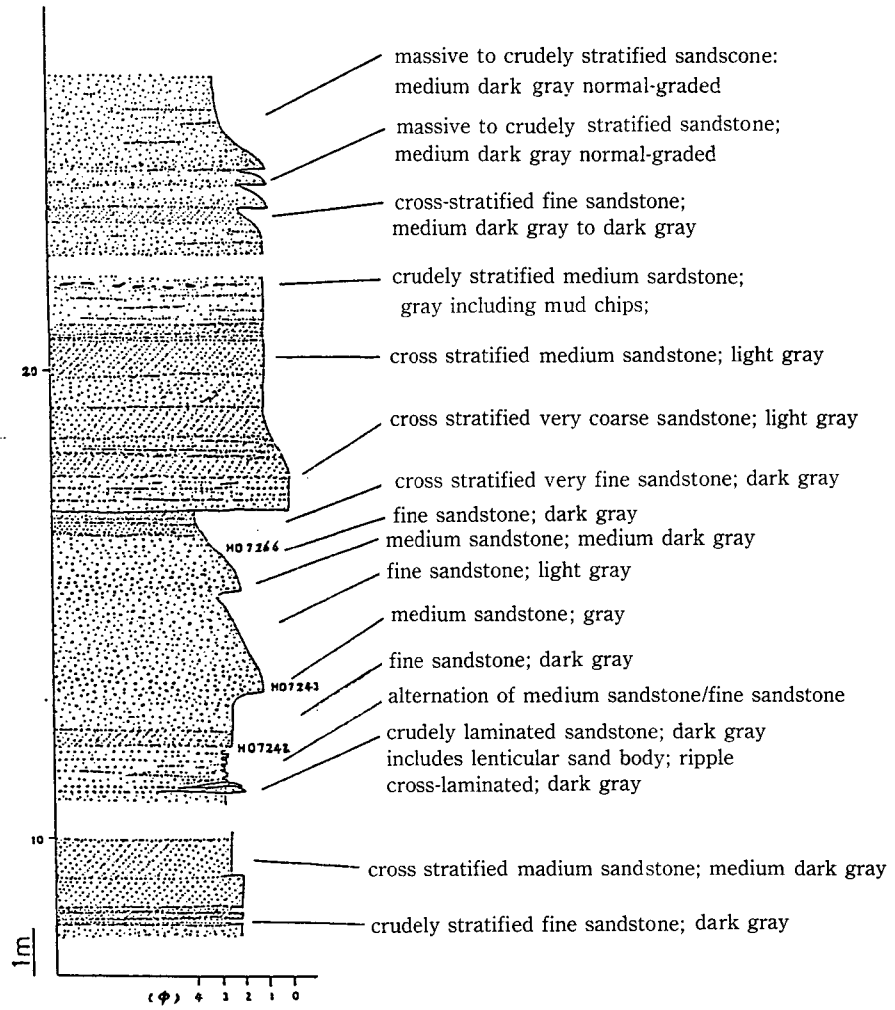

Fig. 11. The lower part of the Okapsan Formation.

퇴적환경 모델

연근 연해의 퇴적과정

만항층과 금천층의 퇴적암상과 퇴적조건 요소가 위에 설명된 바와 같이 탄산염 물질의 생산과 해양적 생태 환경이 밀접히 관련되고 있음을 본 연구의 암상 분석으로 이해되었다. 즉 만항층의 경우 석회암이 우세한 층서 단위 부분은 해양적 생태 조건이 해백합과 유공충 등의 생물 번성이 가능한 퇴적의 시기였고, 쇄설 퇴적물의 유입과 이동의 조건이 생물의 번성과 유해의 퇴적에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 해석되었다. 만항층의 세일층과 사암의 퇴적구조가 천해적 조건과 관련된 퇴적과정을 나타냄을 해석하게 되었다.

따라서, 만항층은 평안누층군의 최하위 층서 단위이고 조선누층군을 부정합적으로 피복하는 당시의 퇴적분지는 해수면의 상승과 밀접한 관계의 연안 퇴적환경이고, 탄산염 퇴적이 가능한 오늘의 아열대적 천해와 같다는 모델를 설정하게 되었다. 만항층과 같이 금천층도 석회암을 퇴적할 수 있는 천해적 연안 환경이며, 금천층의 암상에서 볼 수 있는 사암의 퇴적구조와 만항층 및 금천층의 사립 성분의 내용으로 보아 해침(해수면 상승)이 진행되는 연근해적인 퇴적환경이다. 그림-12는 만항층과 금천층의 퇴적과정을 나타내는 표식적 단면이다.

삼각주적(해성 퇴적환경이 육성 퇴적환경으로 전이) 습지 퇴적과정

장성층은 흑색과 암회색의 세일, 탄질 세일 및 암회색 사암층의 퇴적단위 암상으로 구성되는 암상 조합(lithofacies association)의 특성을 가지고 있으며, 청어뼈형 사층리, 머드 볼, 수로형 퇴적체(channel sandbody)의 발달 및 석탄의 퇴적체 등은 삼각주 톱셋트(topset)의 삼각주적 습지 퇴적분지로서 해석되며, 청어뼈형사층리의 퇴적구조와 사암 퇴적체의 규모 등으로 보아 분지수로(distributary channel)가 간만 차이를 가지는 조류로(tidal channel)로서 규정된다. 전체적으로는 삼각주적 습지 분지와 삼각주 후론트(deltaic front)를 이루는 해성환경과 육상환경의 전이(transition)적 퇴적환경으로 해석된다. 그림-13은 장성층

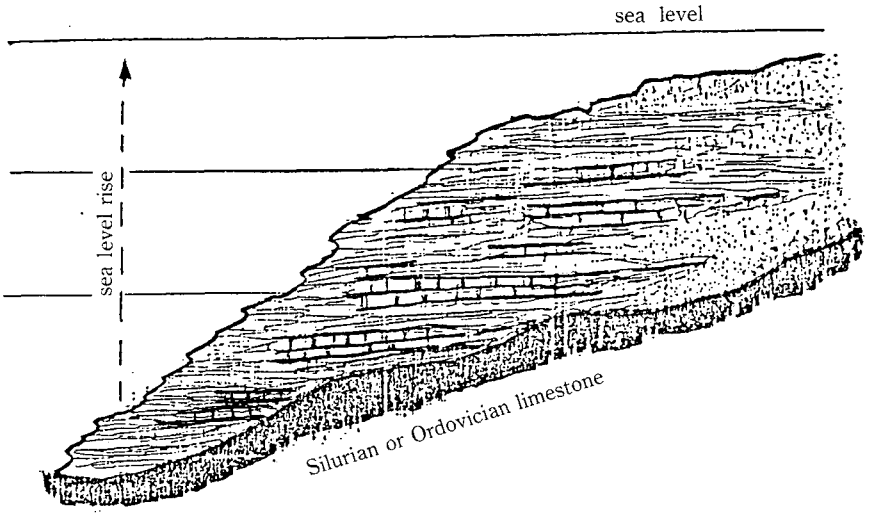

Fig. 12. Transgressive marine depositional model for the Manhang and Keumcheon Formation.

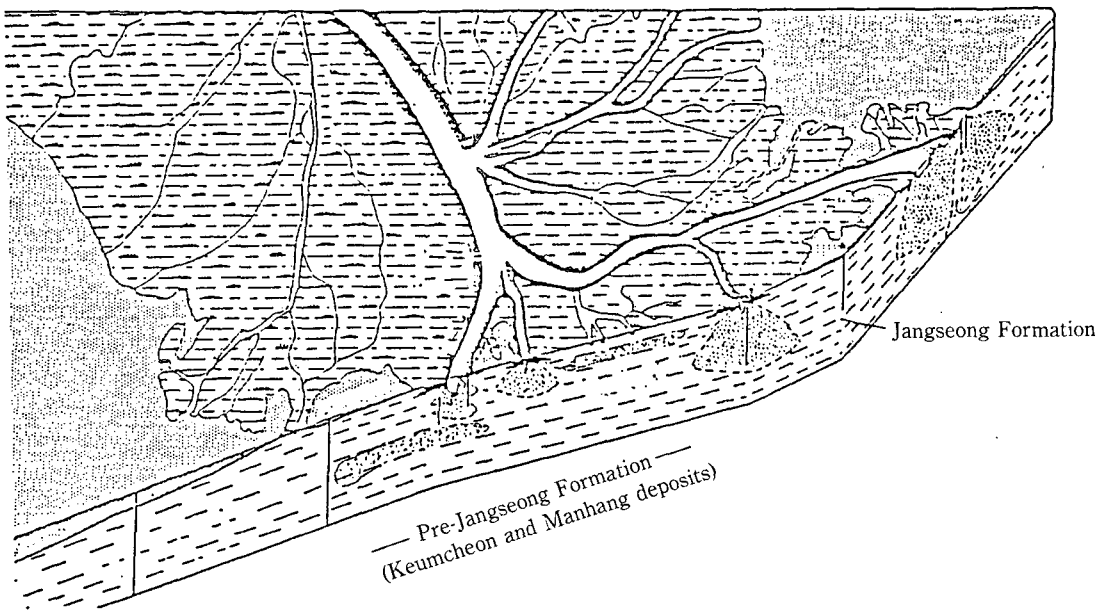

Fig. 13. Marsh and deltaic swamp depositional setting for the Jangseong Formation.

의 퇴적환경을 유추한 모식도이다.

해성기원 퇴적층인 만항층과 금천층이 육성 퇴적환경과 해성 퇴적환경과의 점이적 퇴적조건을 나타내는 삼각주 습지 평야 퇴적층(석탄층 함유)인 장성층에 의하여 피복되는 현상은 상대적 퇴적기원 해퇴(relative depositional regression)에 의한 것으로 해석된다.

육성 퇴적분지와 퇴적과정

장성층을 층서적 상위층으로 피복하는 옥갑산층은 육성기원 쇄설암으로서, 중조립 사암 퇴적암상과 점이층리 퇴적암상 및 사층리 퇴적암상으로 브레이디드(braided) 하천과 호수적 분지 퇴적작용을 나타내는 층서적 퇴적단위라고 해석된다. 그림-10과 같은 점이종리의 반복 암상등은 내륙 호수적 분지에서의 저탁류 발생을 뚜렷하게 유추케 한다. 따라서 평안누층군의 퇴적분지(basin) 일생은 연근해적 천해분지(shallow marine basin)에서 내륙적 육성 퇴적분지(continental fluvial-lake basin)로 변하는 것으로 보아야 하며, 본 연구의 주된 내용은 앞으로의 분지 분석(basin analysis)의 연구를 촉구할 수 있는 가능성을 나타냈다.

고 찰

고생대 초기의 바다에 의하여 평남분지와 옥천계의 북동쪽이 연결되었으며, 이 시기에 옥천계의 북동지역이 침강되면서 옥천 신지향사를 형성하였다. 옥천 신 지향사를 형성시킨 바다는 북동쪽에서 남동쪽으로 발달하면서 해성층을 퇴적시켰다(Kim, 1970)

이러한 퇴적 분지들이 사일루리아기 후기부터 융기되어 석탄기초기까지 육지로 존재하였다. 만항층과 금천층이 퇴적된 석탄기 바다는 전 세계적으로 해수면이 상승했던 시기이며, 석탄기 중기와 말기의 자세한 해수면 변동은 북아메리카의 Mid Continent Outcrop Belt(Iowa to Oklahoma)에서 연구되었는 바, 이 연구에 의하면 최소한 55번의 해침과 해퇴가 반복되었다(Heckel,

1986). 또, 북서유럽과 러시아지역 및 미시시피 계곡의 유공충 연구로부터 석탄기에서 페름기까지 약 50차례 이상의 해침과 해퇴가 전세계적(synchronous worldwide)으로 나타난 현상이었음을 알 수 있다(Ross and Ross, 1985). 이 시기의 기후는 온난 습윤하여 수목 성장에 적합하였으며, 본 연구 지역의 만항층과 금천층은 이러한 해수면 변동(sea level change)과 기후의 영향을 받아 퇴적된 것으로 사료된다. 그런데, 본 연구 지역의 만항층과 금천층을 구성하는 사암은 그레이와케와 사브그레이와케(graywacke and subgraywacke)에 밀집되어 분포하는데, 현미경 관찰 결과, 이러한 사암들은 주로 석영과 녹리석(chlorite) 및 일라이트(illite) 등의 점토 기질로 구성되며 장석이 발견되지 않는 암석학적 특징을 나타냈다. X-선회절분석에 의하면, 석영의 양이 압도적으로 우세하며, 녹리석(chlorite)과 일라이트(illite)의 양이 상당한 반면, 28.2. 24.8. 21.8(2θ degree)에서 나타날 것으로 기대되는 장석의 피크(peak)는 나타나지 않는다(그림-14). 이러한 "사암에서의 장석부재" 현상은 대단히 중요한 고찰 요인으로 국내에서는 처음으로 보고되는 것이며 앞으로 그 원인을 규명하기 위한 논의가 활발하게 계속되기를 기대한다. 한편, 이러한 "사암에서의 장석부재"의 원인으로 다음의 네가지 기작을 제안한다.

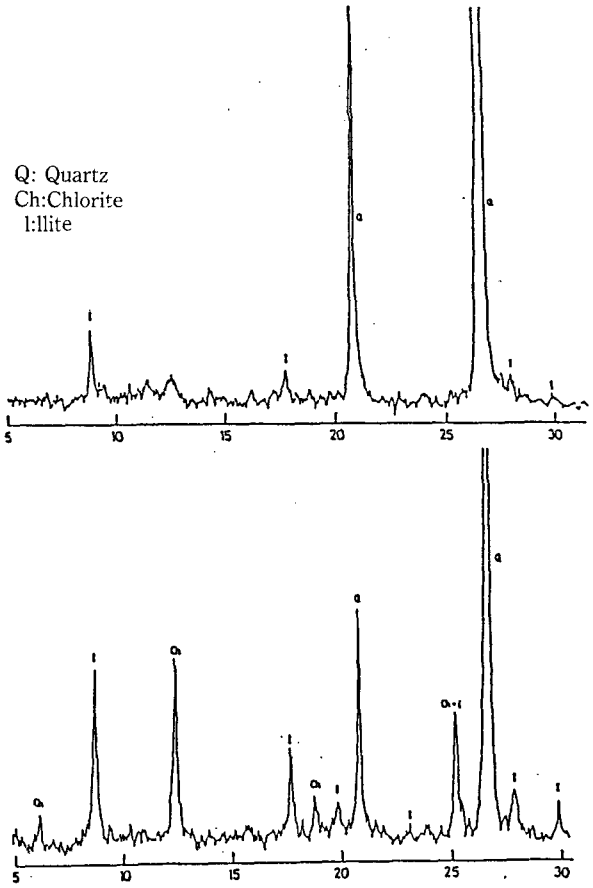

Fig. 14. X-Ray diffractogram of the sandstones from the Manhang and Keumcheon Formation.

첫째, 퇴적물 공급원에서의 장석 결여.

둘째, 장석이 아열대 기후에 의하여 화학적으로 강하게 풍화되어 점토 광물화 됨.

세째, 퇴적당시 또는 그 직후에 일어날 수 있는 장석의 제거 및 붕괴.

네째, 퇴적후의 암석화 과정중에 또는 그 후에 일어날 수 있는 장석의 치환 및 붕괴.

이러한 기작들이 만항층과 금천층의 "사암에서의 장석부재"에 기여하는 정도를 판단하기 위해서는 정밀한 현미경 관찰과 X-선 회절분석이 필요하며 앞으로 필수적인 연구과제라고 할 수 있다.

한편, 장석이 붕괴되어 석영과 점토 기질로 치환되는 지화학적 과정(geochemical process)은 다음과 같이 크게 4가지로 볼 수 있다.

(1) low pH

$KAlSi_3O_8 + 4H^+ =$
(microcline)
$3SiO_2 + Al^{3+} + K^+ + 2H_2O$
(quartz)

(2) large ratio a_K^+/a_H^+

$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ =$
(microcline)
$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + 6SiO_2 + 2K^+$
(illite) (quartz)
·····(Morad and Aldahan, 1987)

(3) Early diagenesis

$2KAlSi_3O_8 + H_2O + 2H^+ =$
(microcline)
$Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2K^+$
(kaolinite) (quartz)

(4) Kaolinite $\xrightarrow{Fe^{++}}$ Chlorite

(Muffler and White, 1967)

그러므로 해양환경에서 퇴적된 만항층과 금천층에서 장석(feldspar)이 없는 이유는 암석화(lithification) 과정이 진행되는 동안 장석이 석영과 점토기질 등으로 치환 가능성이 있는 것으로 사료되며(Wallace, 1976 ; Boles and Franks, 1979 ; Morad, 1984 ; Morad and Aldahan, 1987) 또 만항층과 금천층이 퇴적될 당시의 기후가 온난습윤하였을 것으로 추측되므로, 기후의 영향으로 장석(만약에 근원지로부터 유래한 경우)들이 화학적 풍화 과정동안 점토로 변화하였을 것으로 사료된다.

만항층과 금천층의 석회암에서 발견된 화석은 방추충(fusulinids)과 해백합(crinoids)으로, 본 연구 지역의 만항층과 금천층이 해성 퇴적층임을 지시한다.

금천층 최상부에서부터 석탄층(anthracite coal)이 발견되는데, 이는 장성층의 발달과 함께 삼각주적 퇴적분지가 바다쪽으로 성장 발달(seaward progradation)하면서 삼각주 상부(upper delta plain)에 삼각주 습지(delta swamp)를 형성시킨 것으로 사료된다(Shannon and Dahl, 1971 ; Budai and Cummings, 1986).

장성층의 석탄은 그림-13은 모델에 제시된 습지(swamp)의 내륙쪽에 발달하였다고 보며, 바다쪽의 크고 작은 분기 수로의 유수 움직임은 미약한 조류(tidal current)에 의하여 영향 받았으므로, 장성층의 사암 퇴적구조에서는 청어뼈형 사층리와 머드 볼 등의 조수기원(tidal origin) 구조가 발견되는 것으로 토의할 수 있다. 이러한 사실은 미국 텍사스 삼각주 퇴적층과 퇴적암상에서도 본 연구 지역의 연구 내용과 유사한 결과가 대비될 수 있게 제시되기도 하였다(Muzzullo, 1978).

결 론

본 연구 지역인 정선지역의 평안누층군의 퇴적암에 대한 고해양학적이며 퇴적학적 연구는 "현재는 과거의 열쇠"라는 제임스 허튼(J. Hutton) 독트린에 입각한 고환경 재현에 있었는 바, 분지분석(basin analysis)

에 도달할 수 있는 결론을 가지고 금번의 연구 중요 내용을 약술하면 다음과 같다.

만항층은 소위 고생대 중초기에서 말기 초반부터 전 세계적인 해수면 상승에 따른 해침(해수면 상승)의 층서 퇴적학적인 환경에서 연근해 천해적인 분지 주변을 이루며 석회암(탄산염암 물질의 생성)이 집적될 수 있는 퇴적단위 환경을 지속하면서 형성되었다. 만항층의 퇴적단위 기간은 비교적 세립질이 우세한 퇴적시기와 탄산염암 물질 생성이 가능한 바다의 조건이 교호하는 환경이었으며, 만항층 상위의 금천층과도 연계적인 해양 조건을 지속하였다. 해양 퇴적의 여러 요인 중에서도 연근해적 퇴적이 진행되면서 퇴적기원 해퇴(depositional regression)가 일어나게 되어 연안 해역으로의 삼각주적 퇴적층(delatic topset deposit)이 바다쪽 전진, 즉 프로그레딩(prograding)하였다고 해석되었다. 따라서, 해성층으로서의 만항층과 금천층이 육성 퇴적환경으로 지배되는 퇴적분지로 전이하여 장성층 함탄 퇴적층으로의 퇴적 체계로 변하게 되었다.

그런데 평안누층군의 하부인 만항층과 금천층의 사암에서 쇄설 모래 입자로서의 장석 광물이 존재하지 않는다는 사실이 퇴적암석적으로 밝혀졌다. 이러한 장석 부재의 원인에는 고찰에서 제시된 메카니즘 중 첫째 원인을 우선적으로 제의할 수있으며 또한 둘째 및 네째의 원인 중에서 어떤 하나의 dominant factor를 차기 연구의 결과에 따라 제안할 수 있다고 결론 짓는다.

이에 따른 연구 내용이 본 연구의 퇴적상 분석과 퇴적암상 조합으로 증거됨에 따라 앞으로의 퇴적분지(basin analysis) 해석 연구가 가능하게 되었다. 옥갑산층 전체가 호수와 브레이디드 하천(braided stream)의 상호 교호작용으로 인한 내륙적 육성 퇴적환경이라는 층서적 퇴적체계가 밝혀졌다.

REFERENCES

Boles, J.R. and Franks, S.G., 1979. Clay diagenesis in Wilcox sandstones of southwest Texas: Implications of smectite diagenesis of sandstone cementation. J. Sed. Pet., **49:** 55-70.

Budai, C.M. and Cummings, M.L., 1986. A Depositional Model of the Antelope Coal Field, Power River Basin, Wyoming. J. Sed. Pet., **57:** 30-38.

Duke, W.L., 1985. Hummocky stratification, tropical hurricanes and intnse winter storms. Sedimentology, **32:** 167-194.

Heckel, P.H., 1986. Sea-level curve for Pennsylvanian eustatic marine transgressive-regressive depositional cycles along midcontinent outcrop belt, North America. Geology, **14:** 330-334.

Kim, O.J., 1970. Geology and tectonics of the mid-central region of south Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., **2:** 73-90.

Mazzullo, S.J., 1978. Early Ordovician tidal flat seimentatio. J. Sedi. Pet., **48:** 44-62.

Morad, S. and Aldahan, A.A., 1987. Diagenetic replacement of feldspars by quartz in sandstones. J. Sed. Pet., **57:** 488-493.

Muffler, L.J.P. and White, D.E., 1969. Active metamorphism of Upper Cenozoic sediments in the Salton Sea geothermal field and the Salton Trough, Southeastern California. Geol. Soc. Am. Bull., **80:** 157-182.

Moard, S., 1984. Diagenetic matrix in Proterozoic graywackes from Sweden. J. Sed. Pet., **54:** 1157-1168.

Ross, C.A. and Ross, J.R.P., 1985. Late Paleozoic Depositional Sequences are Synchronous and Worldwide. Geology, **13:** 194-197.

Shannon, J.P., Jr. and Dahl, A.R., 1971. Deltaic stratigraphic traps in West Tuscola field, Taylor County, Texas. Am. Assoc. Pet. Geol., **55:** 1194-1205.

Thorez, J. & Dreesen, 1986. A model of a regressive depositional system around the Old Red Continent in Belgium. In: Bless, M.J.M. & Steel, M. Symposium on the Old Red Continent, Aachen 1986.

Ann. Soc. Geol. Belgique 109, p. 285-323.

Wallace, C.A., 1976. Diagenetic replacement of feldspar by quartz in the Unita mountain group, Utah and its geochemical implications. J. Sed. Pet., **46:** 847-886.

(Revised and Accepted: November 15, 1989)