

고생대 우각호의 퇴적층 강원도 정선군 회동리

최강원* · 박용안**

*서울대학교 부속 해양연구소

**서울대학교 해양학과

Ancient Ox-bow Lake Deposits Hoedong-ri, Jeongseon-gun, Gangweondo

Kang Won Choi* and Yong Ahn Park**

* Research Institute of Oceanography, Seoul National University

** Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

요 약

고생대(페름기)의 육성 퇴적층(옥갑산층) 일부분이 고기 우각호(ox-bow lake)에서 퇴적된 것으로 해석된다. 옥갑산층의 하부 층서의 일부분은 암회색 이암/담회색 사암의 호층단위가 평균 5.1cm 두께로 약 80회 반복하는 암상을 나타낸다. 이 암상의 퇴적환경은 층서적 상하 암상의 연합에 근거하면 해안 평야로서 하천 범람원 분지의 쇠설성 퇴적환경의 일부이면서 사행천과 연관된 우각호 퇴적환경으로 해석된다.

ABSTRACT

Parts of the Paleozoic non-marine deposits(the Oggapsan Formation) are interpreted to have resulted from ox-bow lake sedimentation. Couplets of dark gray mudstone and light gray sandstone repeated more than 80 times with average thickness of 5.1cm in the lower part of the Oggapsan Formation. On the basis of stratigraphic consideration, this unique sedimentary facies are interpreted as ox-bow lake deposits of meandering channel system in a coastal plain.

서 론

지질시대를 통하여 계속된 지각 변동과 화산 작용은 광역적으로 지표의 기복을 크게 하며 이러한 지표 변화의 메커니즘은 20세기에 이르러 판구조론(plate tectonics)으로 효과적으로 설명되고 있다. 지형은 풍화작용, 침식작용 및 운반작용 등에 의한 삭 평형 작용(degradation)에 의해 끊임없이 변화한다. 이러한 지표 평탄화 작용에 가장 중요한 영력(營力)은 유수이며 이러한 유수의 작용은 현재의 지형을 변화시킬 뿐 아니라 과거 지질시대의 지표에서도 끊임없이 같은 작용을 해왔다.

“현재는 과거의 열쇠”라는 제임스 허튼의 ‘동일과정설(Uniformitarianism)’은 현재의 퇴적환경을 연구함으로써 과거 지질시대의 퇴적환경을 이해할 수 있게 한다. 또한 제4기에 진행되고 있는 지표면의 변화가 퇴적층에는 어떻게 기록될 것인지에 대한 의문은 퇴적암에 과거의 퇴적환경이 어떻게 기록되어 있는지를 연구함으로써 해결될 수 있을 것이다.

경사가 완만하고 세립 퇴적물의 공급이 많은 해안 평야의 하천은 자연제방의 형성과 함께 곡류하는 특징을 보인다. 이때 하천에 의해 운반되는 퇴적물의 일부는 측방 집적(lateral accretion)과 수직 집적(vertical accretion)으로 층적평야를 형성하며, 나머지는 강 하구를 통하여 연안 퇴적환경으로 유입된다. 해수준의 큰 변화가 없으면 이러한 하성 퇴적층은 바다 쪽으로 성장하여 연안의 퇴적층과 해성 퇴적층을 차례로 덮어, 결과적으로 해퇴(regression)층서가 형성된다.

평안누층군은 주로 후기 고생대의 퇴적층으로 하부는 해성층이고 대부분의 중부와 상부는 육성층으로 이러한 해성층과 육성층의 퇴적환경 변이에 따른 소위 혼합퇴적환경과 연계될 수 있는 해안과 해안평야의 하성퇴적분지의 발달과 퇴적체의 분포가 하나의 퇴적계(depositional system)을 이룬다고 해석될 수 있는 바, 본 논문에서는 평안누층군 하부의 연안 퇴적층을 덮고 있는 옥갑산층에서 암회색 이암과 담회색 사암의 반복으로 나타나는 특징적인 암상의 퇴적환경을 퇴적조직, 퇴적구조 및 층서적

상하 암상의 연합에 근거하여 현재의 하천과 범람원 평야 퇴적환경에 대비하고 소위 우각호 퇴적층을 규명하고자 한다.

연구 지역 및 연구 방법

강원도 정선군 회동리는 평안누층군(Pyeongan Supergroup)이 분포하는 지역으로 이 지역의 평안누층군은 북동-남서의 방향을 갖는 정선대향사의 축을 중심으로 그 남동익과 북서익에서 대칭의 분포를 갖는다(그림 1).

Park and Cheong(1976)은 평안누층군에 대한 암석학적인 연구를 통하여 퇴적물의 기원 암이 산성화성암, 저변성 내지 고변성의 변성암, 퇴적암 등으로 구성됨을 밝힌 바 있으며, Chough and Kim(1983)은 정선군 구절리의 옥갑산층에서 사층리등 퇴적구조를 중심으로 5개의 암상을 구분하고, 암상전이를 고찰하여 사주(braided bar)에 의한 퇴적층으로 해석한 바 있다. 이밖에 평안누층군의 전반적인 퇴적작용 및 퇴적환경에 대한 고찰(박 등, 1989)이 있었다.

본 연구의 대상인 이암/사암 호층은 옥갑산층과 장성층과의 경계로부터 약 120m 상위에서 관찰할 수 있다(그림 2a). 야외의 노두에서 암색, 석회질입자의 포함 여부를 기록하고 퇴적구조, 속성작용에 의해 형성된 구조 등을 1:10의 비율로 주상도에 기재하였으며, 핸드렌즈를 이용하여 최대 입도, 최빈 입도, 평균 입도를 측정하였다.

표본은 야외에서 확인하기 어려운 퇴적조직과 미세구조 및 조성의 분석을 위해 채취하였다. 실험실에서는 채취한 표본으로 스텍(slab)을 제작하여 X-선 사진으로 야외조사에서 확인되지 않은 퇴적구조, 퇴적조직 및 미세구조 등을 분석하였다. 2~3mm의 두께 스텍을 성층면, 즉 층리면 또는 사층리의 단위경계면에 대하여 평행한 방향과 수직인 방향으로 각각 제작하여 X-선을 주사하여 촬영하면 육안으로는 보이지 않거나 불분명하던 미세구조, 생흔 구조 등을 관찰할 수 있다.

한편, 정선지역에서 지질조사를 위해 시추된 200개 이상의 시추지점중, 회동리 주변에 위치한 47개를 선정하여 이암/사암 호층의 공간적

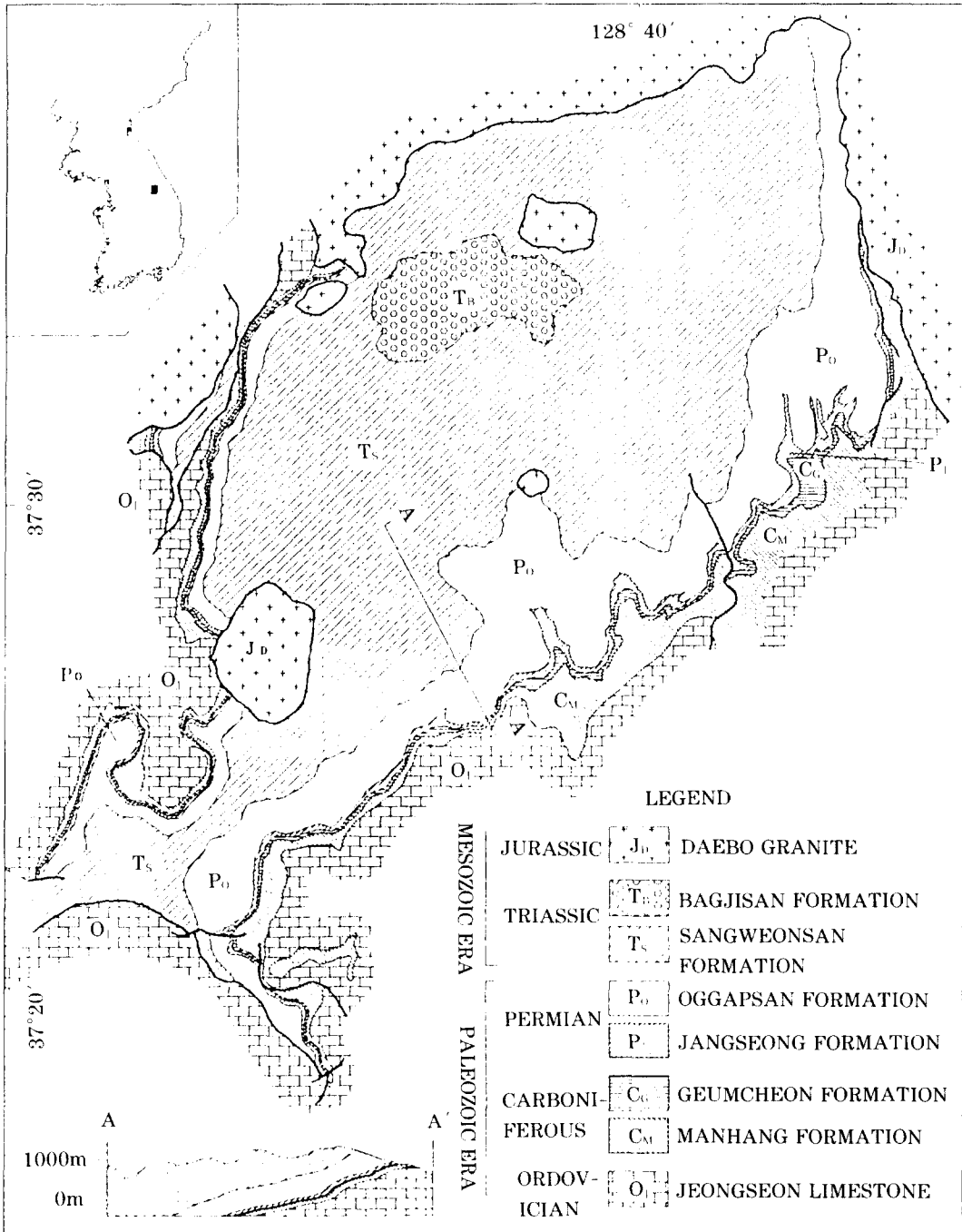


Fig. 1. Geologic map of the study area.

형태를 추정하는데 이용하였다. 이들은 대체로 반경 5km내에 있으며 총 시추깊이는 15,729m이다. 시추주상도에 기재된 암석명, 암색, 경사도 및 특이사향의 심도에 따른 변화와

시추시료의 관찰결과를 근거로 인접한 시추지점과 대비하고 이를 노두에서의 관찰 결과와 비교함으로써 각 퇴적층별로 삼차원적인 형태를 파악하였다.

연구 결과

옥갑산층의 하부는 사암, 이암 및 역암으로 구성된 2가지의 우세한 암상조합, 즉 '조립퇴적층'과 '세립퇴적층'으로 이루어져 있다. '조립퇴적층'들은 5~10m의 두께를 갖으며 기저의 역암 내지 극조립 사암으로부터 위쪽으로 갈

수록 입자의 크기가 점차로 작아져서 중립 내지 세립의 사암으로 전이되는 상향세립화 경향을 갖는다. 옥갑산층의 하부에는 이러한 '조립퇴적층'이 7~10회 이상 반복되며 이들의 사이에는 2m~10m정도의 두께를 갖는 '세립퇴적층'이 있다. '조립퇴적층'에서 나타나는 조직과 구조의 일관된 특징들, 즉 하위의 침식면과 상향세립화의 경향, 그리고 '세립퇴적층'으로의

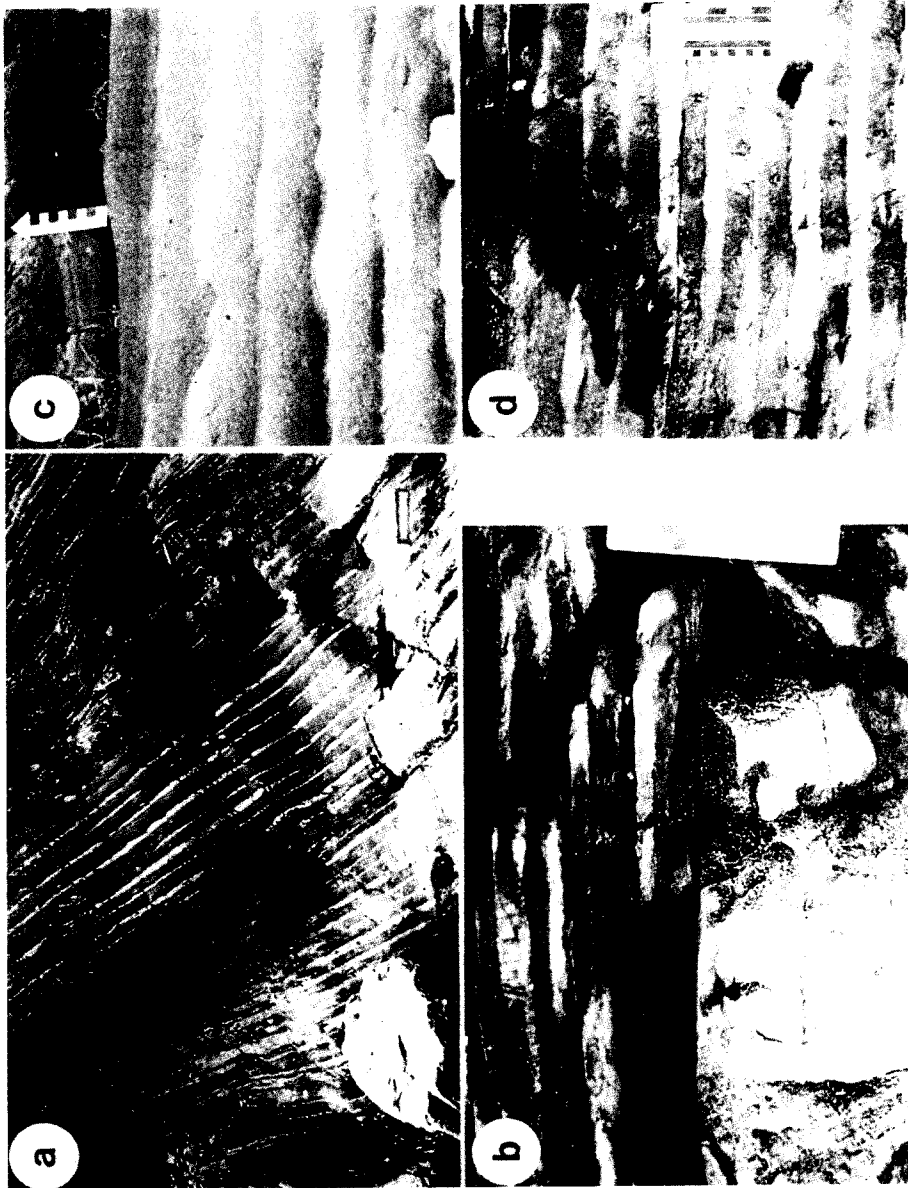


Fig. 2. Photographs of the mudstones/sandstones couplets.

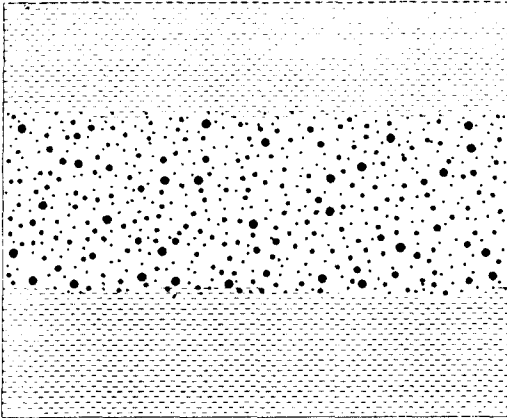
a) Panoramic view (bar is 30cm long). b) close-up view of the lower part of (a).
c) close-up view of the upper part of (a). d) close-up view of the middle part of (a).

전이 등은 제4기(Harms et al, 1963; Ray, 1976; Nanson, 1980; Crowley, 1983) 및 과거 지질시대(Kirk, 1983; Blakey and Gubitosa, 1984)의 곡류하천(meandering river) 퇴적층에서 공통적으로 나타난다. 이러한 퇴적층은 비교적 평탄하고 경사가 작은 하성평원에서 하천이 곡류함에 따라 수로 바닥의 자갈 또는 극조립 모래로부터 하성평야의 세립 퇴적물까지 측방 성장에 의해 형성된 것이다.

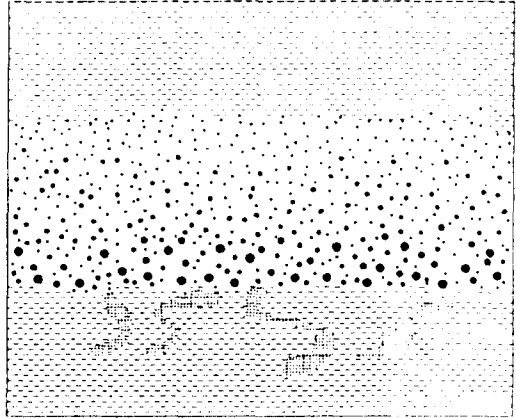
한편 '세립퇴적층'은 하천주변의 범람평원에서 수직 성장에 의해 형성된 것이다(최, 1993).

호층을 이루는 사암은 담회색으로 0.1cm에서 5.5cm의 두께(평균 1.5cm)를 가지며 이암은 암회색으로 0.6cm에서 8cm의 두께(평균 3.6cm)를 가진다(그림 2). 이들은 80회 이상 규칙적으로 반복되어 약 4m 두께의 퇴적층을 이루며 수평적으로 적어도 10m이상 큰 변화없이 연장되고(그림 2. a) 상하에는 각각 탁상형의

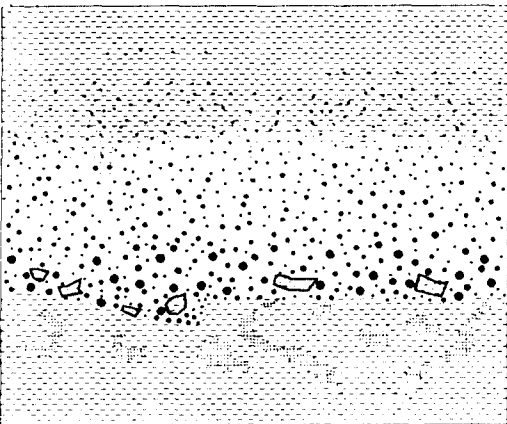
(a)



(b)



(c)



(d)

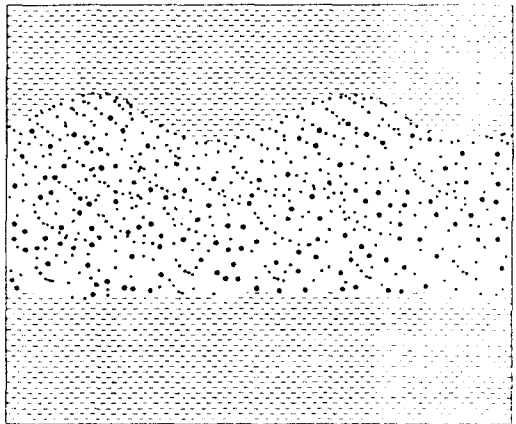


Fig. 3. Four major couplet(sand/mud) types:

(a) sand layer showing uniform in grain size and bounded by sharp contact of mud layer, (b) sand layer showing graded bedding texture and bounded by sharp contact of mud layer(in particular, underlying mud layer seems to be bioturbated), (c) sand layer showing sharp erosional contact containing granule particles bounded bioturbated underlying mud layer and gradual contact bounded by overlying mud layer, (d) sand layer showing sharp contact with underlying mud layer and peculiar very small ripple bounding contact with overlying mud layer. Note sand layer 1.5cm in average.

사층리를 갖는 조립 사암이 있다(그림 2. b). 각각의 사암층과 이암층사이의 경계와 퇴적 구조는 그림 3과 같은 몇가지 유형으로 나눌 수 있다. 사암의 상, 하경계면은 대체로 뚜렷하고 사암층 내에는 균일한 입도 분포를 보이기도 하지만(그림 3. a) 점이층리를 보이기도 한다(그림 3. b와 3. c). 하경계면에서는 침식의 흔적이(그림 3. c). 상경계면에서는 연흔의 단면이 관찰되기도 한다(그림 2. c와 그림 3. d). 사암을 구성하는 입자는 입경이 0.125mm 이상인 중립 내지 조립의 모래이며 그림 3. b와 그림 3. c과 같이 점이층리(graded bedding)를 갖기도 한다. 하경계면에 침식의 흔적이 있고 조립인 경우, 이암의 조각이 수 mm 규모의 모난 형태로 포함되기도 한다(그림 3. c). 이러한 입자들은 수 10cm/sec 이상의 유속을 갖는 수류에 의해 운반될 수 있으며, 상경계면에서 연흔의 단면이 관찰되는 점으로 보아 비교적 빠른 수류에 의해 모래입자들이 밑집으로 운반되어 형성된 퇴적층임을 알 수 있다.

이암층은 전체적으로 암회색을 띠며, 담회색의 조립 실트 입자가 우세한 얇은 층이 평균 0.2~0.5mm의 간격으로 끼어 있어 박층리(thin lamination)를 이룬다(그림 4. a~i). 이암층의 박층리에서 상대적으로 조립된 담회색 박층의 두께는 0.5mm 미만으로 상부로 갈수록 얇아지며 층리 사이의 간격도 상부로 갈수록 좁아진다(그림 4. a~d). 이러한 박층리는 매우 느린 수류에서 또는 거의 정지된 수중에서 뜬집으로 운반된 세립 퇴적물이 침전하여 형성된다.

이암층이 사암층에 비하여 어두운 암회색을 띠는 것은 퇴적물중에 비교적 많은 유기물질이 포함되어 있기 때문이다. 이암이 퇴적되는 시기에는 유속이 작고 따라서 수중에는 용존 산소의 함량이 적으므로 유기물질이 효과적으로 산화되거나 물리적으로 제거되지 못한다. 이러한 입도와 암색의 규칙적인 변화는 육상의 호소 퇴적층인 varve 등에서 보고된 바 있다. 이암의 박층리는 층리면에 수직인 방향(그림 4. a~c, f~i)뿐 아니라 층리면과 평행인 방향으로 제작된(그림 4. d, e) 스랩에서도 확인되는 다양한 생흔구조(trace fossils)에 의해 교란되기도 하는데, 이는 이암층에 많은 유기물질이 포함되어

있었으며 유속이 느려 저서생물 좋은 서식처가 되었음을 뜻한다. 또한, 이암중에 생흔 구조는 많지만 건열(dessication crack)의 흔적이 없는 점으로 보아 이암층이 퇴적된 후에도 공기중에 노출되지 않는 환경이었다. 즉, 이암/사암 호층의 퇴적환경은 범람평원이 아니라 홍수가 끝난 후에도 공기중에 드러나지 않는 호수였다.

한편, 노두에서 관찰되는 이암/사암의 호층은 인접한 지점의 시추 자료에서도 나타나며 이로써 호수의 규모를 알 수 있다. 노두로부터 100~200m의 범위에 있는 시추자료에서는 이암/사암의 호층이 두께의 큰 변화 없이 나타나지만 약 700m의 거리에 위치한 시추자료에서는 그 연장을 볼 수 없다. 즉, 이암/사암 호층이 퇴적된 호수는 수평적으로 수 백 m 정도의 규모를 가진 것임을 추정할 수 있다.

이상과 같은 이암/사암의 호층은 옥갑산층의 하부로부터 7번째와 8번째의 '조립퇴적층'의 위에서 각각 관찰된다. 7번째와 8번째의 조립퇴적층은 그 밖의 조립퇴적층과는 달리 상향세립화의 중간 단계인 탁상형의 사층리를 갖는 조립사암까지만 나타난다. 즉, 이암/사암 호층은 미완성인 조립퇴적층의 위를 덮고 있다(그림 2. b). 즉, 하천이 곡류하면서 측방 성장에 의해 상향세립화 경향을 갖는 조립퇴적층이 형성되는 도중에 충열(沖裂, avulsion) 또는 'chute-cut', "neck-cut" 등 의해 수로가 갑자기 변경되었으며 이렇게 만들어진 호수에서 이암/사암의 호층이 퇴적되었다(그림 5). 이러한 우각호(ox-bow lake)에는 간헐적인 홍수에 의해 조립 퇴적물이 공급되어 호수의 바닥에는 담회색의 사암층이 퇴적되었으며 홍수가 끝난 후에는 유기물을 많이 포함한 암회색의 세립퇴적물이 천천히 퇴적되면서 생물의 준동시적 교란 작용을 받았다.

토 의

일반적으로 하성평야에서 사질 퇴적물은 주로 하천을 따라 이동되며, 범람평원(flood plain)에는 간헐적인 홍수에 의해 자연제방을 넘는 흐름에 의해 사질 퇴적물이 공급된다. Sanders(1989)는 전기 페름기의 하성 퇴적층

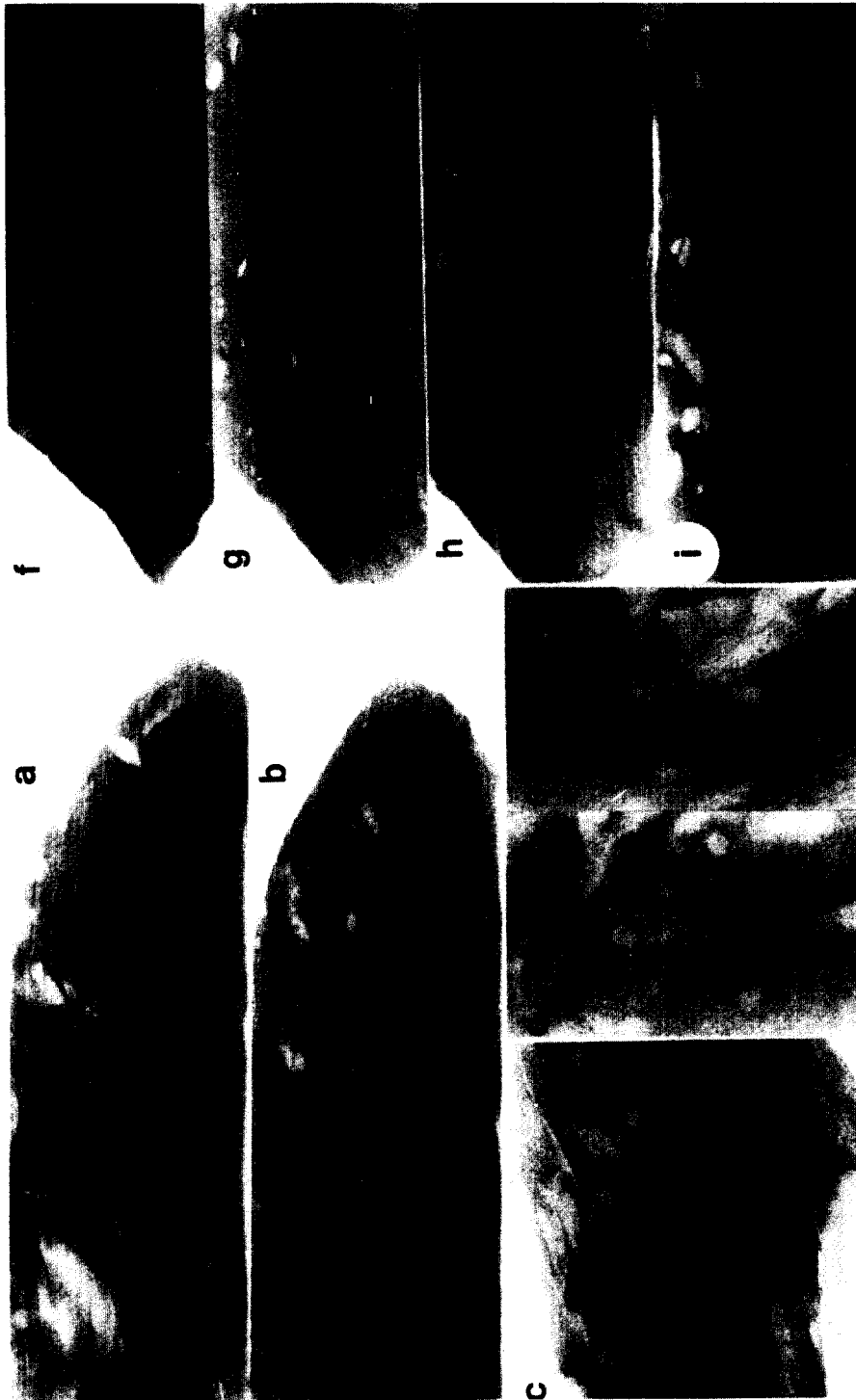


Fig. 4. X-radiographs showing thin laminations and trace fossils of the mudstones.

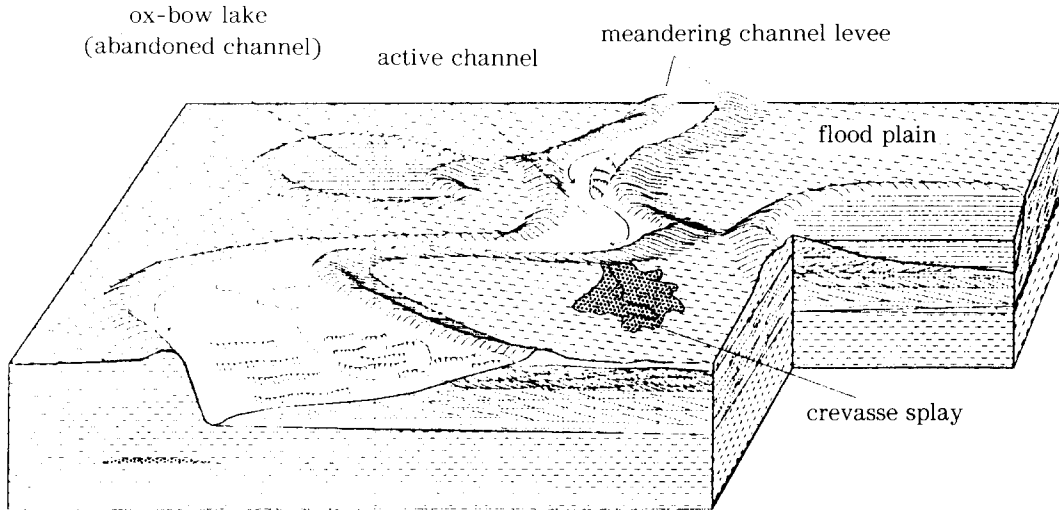


Fig. 5. Block diagram showing the proposed depositional system with a meandering channel and ox-bow lakes over a floodplain

에서 사암과 이암의 교호층을 관찰하고 크레바스 스프레이(crevasse splay)에 의한 퇴적층으로 해석한 바 있다. 자연제방(natural levee)을 범람한 급류는 급격한 유속의 감소로 부채꼴의 사질 퇴적층을 형성하며, 이런 경우 퇴적층의 수평적인 두께의 변화가 크게 나타난다(Farrell, 1987). 1973년 홍수에 의해 미시시피강의 범람평원에는 2개월 동안 자연제방 주변에서는 평균 53cm의 두꺼운 층이 퇴적되었으나 400m 떨어진 곳에는 겨우 2cm 두께의 퇴적층이 형성된 것이 보고된 바 있다(Kesel, et al., 1974). 옥갑산층 하부의 이암/사암 호층에서는 노두에서 확인할 수 있는 약 10m까지 두께의 변화가 거의 없으며 100~200m 떨어진 시추자료에서도 두께의 큰 변화가 없는 점으로 보아 이런 가능성은 배제할 수 있다.

Smith(1987)는 제4기층에서의 하천퇴적층과 미국의 Willapa강과 에쿠아도르의 Daule, Babahovo강 등의 하천에서 옥갑산층 하부의 이암/사암 호층과 유사한 암상을 관찰하고 조석의 영향을 받는 하천 하류의 포인트바(pointbar) 퇴적상으로 해석한 바 있다. 그의 연구에서 사암층과 이암층은 일반적인 성층면과 12°내외의 각을 갖는 엡실론(Epsilon)형의 사층리를 이루며 상부로 갈수록 사암의 평균 입도는 세립화하며, 생물에 의한 교란이 심해지

고, 이암층의 두께는 두꺼워지며 사암층의 두께는 얇아진다. 또한 패각, 또는 그 파편은 관찰되지 않으며 유기물의 양은 상부로 갈수록 많아진다. 또한, 하류 쪽으로 갈수록 사암층의 평균 입도가 감소하고 이암층의 수가 증가한다. 한편, 옥갑산층에서 관찰된 호층은 사암층과 이암층이 비교적 규칙적으로 반복되는 등의 유사성을 보이지만, 각 층들의 두께나 입도가 크게 변하지 않으며 상,하층과 거의 같은 주향과 경사를 갖는 등의 현저한 차이를 보여 Smith(1987)의 연구 결과와 유사한 퇴적환경으로 볼 수 없다.

옥갑산층의 하부에서 나타나는 이암/사암 호층의 퇴적환경은 층서적 상하 암상의 연함에 근거하면, 세립퇴적물이 퇴적되는 범람평원에 부분적으로 발달한 호수가 아니라, 하천의 곡류가 갑자기 중단된 후에 형성되어 간헐적으로 퇴적물이 공급되는 호수였다(그림 5). 퇴적물을 간헐적으로 그리고 비교적 주기적으로 공급했던 흐름은 현재의 미시시피 강과 같은 곡류 하천에서 홍수 시에 자연제방을 넘어 흐르는 홍수류(Ray, 1976)에 유추될 수 있다. 홍수류에 의해 범람된 호수의 바닥에서 고화되지 않은 이질 퇴적물이 침식되고 사질 퇴적물이 사암층으로 퇴적되었으며 실트와 점토는 홍수가 멈춘 후에 퇴적되었다.

결 론

“현재는 과거의 열쇠”라는 지질학의 대 명제에 근거하여 지질시대의 퇴적환경은 현재의 퇴적환경에 유추하여 해석할 수 있다. 본 연구에서는 고생대의 육성 퇴적층인 옥갑산층의 하부에서 관찰되는 암회색의 이암과 담회색 사암의 호층이 퇴적된 환경을 다음과 같이 규명하였다.

해안 평야의 곡류하천과 범람원의 퇴적층으로 구성된 옥갑산층 하부에서 관찰된 이암/사암 호층은 침식의 흔적을 보이는 담회색 사암과 그 위를 덮는 암회색 이암의 퇴적이 80회 이상 규칙적으로 반복되어 이루어진다. 이들의 퇴적 구조와 퇴적 조직에 의하면 사암은 비교적 강한 홍수류에 의해 밀집으로 운반되어 퇴적된 것이며 이암은 뜬짐으로 운반된 세립질 퇴적물이 매우 약한 흐름, 또는 흐름이 정지된 상태에서 천천히 퇴적되면서 준 동시적인 생물 교란 작용을 받은 것이다. 이러한 퇴적 기구(mechanism)는 하천의 수로로부터 비교적 가까운 곳에 형성되어 간헐적인 홍수에 의해 퇴적물이 공급되는 호수에서 적용된다. 한편, 이암/사암 호층이 미완성의 포인트바 퇴적층의 위에 퇴적된 점으로 보아, 충열 또는 ‘chute-cut’, ‘neck-cut’ 등 의해 수로가 갑자기 변화하여 형성된 폐수로(abandoned channel) 즉 우각호에서 형성된 퇴적층임을 알 수 있다.

후기 고생대의 함탄층의 덮고 있는 옥갑산층 하부의 퇴적환경은 평탄하고 경사가 작은 해안 평야로써, 하천의 곡류와 자연제방의 형성이 수반된 수로환경(channel environment)과 범람평원(floodplain)으로 이루어져 있으며 이러한 환경은 제4기의 준평원에 발달한 곡류하천에 유추될 수 있다. 곡류하천의 수로 변경으로 우각호가 형성되고, 우각호에는 간헐적으로 범람하는 홍수에 의해 퇴적물이 공급되어 얇은 담회색 사암층이 호수 바닥에 퇴적되었다. 홍수가 끝난 후에는 뜬짐으로 운반된 세립 퇴적물이 천천히 침전하여 암회색 이암층을 형성하여, 결과적으로 담회색 사암과 암회색 이암이 수 cm의 두께로 반복되는 우각호 퇴적층이 형성되었다.

참고문헌

- 박용안, 최강원, 김진호, 1989. 한국 고생대 후기의 평안누층군 퇴적암(해성기원 및 육성기원)에 관한 퇴적작용과 퇴적환경 연구: 제4기학회지, 제3권, 69~86.
- 최강원, 1993. 강원도 정선군 회동리-숙암리 일대에 분포한 평안누층군의 옥갑산층의 퇴적환경: 서울대학교 박사학위논문, pp.164.
- Blakey, R. C. and Gubitosa, R., 1984, Controls of sandstone body geometry and architecture in the Chinle formation(Upper Triassic), Colorado Plateau: Sedimentary Geology, v.38, 51~86.
- Chough, S. K. and Kim S. C., 1983, Sandstone member of Oggapsan formation(Permian), Gujeol-ri area, Gangweon Province: Deposition in Braided Bars: Proc. Coll. Natur. Sci, SNU., 8(2) p. 191~200.
- Crowley, K. D., 1983, Large-scale bed configurations(macroforms), Platte River Basin, Colorado and Nebraska: Primary structures and formative process: Geol. Soc. Am. Bull., v.94, 117~133.
- Farrell, K. M., 1987, Sedimentology and facies architecture of overbank deposition of the Mississippi River, Fales River Region, Louisiana, in Ethridge, F. G., Flores, R.M. and Harvey, M.D., eds., Recent developments in fluvial sedimentology: Soc. Econo. Paleontol. Mineral. Spec. Pub., No.39, 111~120.
- Harms, J. C., Machenzie, D. B. and McCubbin, D. G., 1963, Stratification in modern sands of the Red River, Louisiana: Jour. Geol., v.71, 556~580.
- Kesel, R. H., Dunne, K. C., McDonald, R. C., Allison K. R., and Spicer, B. E., 1974, Lateral erosion and overbank deposition on the Mississippi River in Louisiana caused by 1973 flooding: Geology, V. 2, p. 461-464.
- Kirk, M., 1983, Bar development in a fluvial sandstone (Westphalian'A'), Scotland: Sedimentology, V.30, 727~742.
- Nanson, G. C., 1980, Point bar, and

- floodplain formation of the meandering Beatton River, northeastern British Columbia, Canada : *Sedimentology*, V.27, 3~29.
- Park, Y. A., Cheong, C. H., 1976, Study on the Major Sandstone types from the so-called Pyeongan Group : *Proc. Coll. Natur. Sci, SNU.*, 1(1) p. 181~194.
- Ray, P. K., 1976, Structures and sedimentological history of the overbank deposits of a Mississippi River point bar : *Jour. Sed. Petrol.*, v.46, 788~801.
- Sanders, P. M., 1989, Early Permian depositional environments and Pond Bonebeds in Central Archer County, Texas : *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, v.69, 1~21.
- Smith, D. G., 1987, Meandering river point bar lithofacies models : Modern and ancient examples compared, in Ethridge, F. G., Flores, R.M. and Harvey, M.D., eds., *Recent developments in fluvial sedimentology : Soc. Econo. Paleontol. Mineral. Spec. Pub.*, No.39, 83~92.

Received: December 7, 1994

Accepted: December 30, 1994