

한국 서해 천수만 선현세 간월도 퇴적층의 퇴적환경

임동일* · 정희수 · 엄인권
한국해양연구원 해양환경기후연구본부

Sedimentary Environments of Pre-Holocene Kanweoldo Deposit in Cheonsu Bay, Western Coast of Korea

DONG IL LIM*, HOI SOO JUNG AND IN KWON UM
*Marine Environment and Climate Change Lab. Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

한국 서해 천수만 조간대 퇴적체는 약 20 m 두께에 달하며, 지난 빙하기동안 노출되어 형성된 부정합면을 경계로 상위의 현세 조간대 퇴적층(Unit M1)과 하위의 후기 플라이스토세 간월도층(Unit M2)으로 구성된다. 퇴적단위 M1은 간월도층을 하부층으로 하는 부정합면 위로 니질의 상부 조간대층과 사니질 또는 니사질의 혼합 조간대층이 순차적으로 발달하는 상향조립화의 해침층서를 갖는다. 퇴적단위 M2 퇴적층은 그 두께가 약 14 m에 이르며, 퇴적 후 노출에 의한 풍화의 정도에 따라 상부 산화대층과 하부의 비산화대층으로 구분된다. 전반적으로 퇴적물은 니질 또는 사니질 입자로 구성되며, 조수 리듬 퇴적구조, 플라저층리, 엽층리, 게 구멍 화석, 천해성 외편모조류 등과 같은 조수퇴적 기원의 증거들을 함유하고 있다. 이러한 결과들은 퇴적단위 M2의 간월도 퇴적층이 상대적으로 해수면이 높았던 선현세 간빙기 동안 퇴적된 조간대 퇴적층임을 지시한다. 한편, 퇴적단위 M2의 상부 3~4 m는 퇴적 후 초기 현세까지 계속되는 저해수면 동안 대기중에 노출되어 풍화 및 산화작용으로 인하여 퇴적물의 특성이 변질된 층으로 해석되며, 이는 서해 연안 퇴적층에서 현세와 선현세를 구분해주는 뚜렷한 층서적 건층으로 제시된다.

The late Quaternary deposit of Cheonsu Bay, up to 20 m in thickness above the Jurassic granite basement, consists of two sedimentary units: an upper Holocene mud and sandy mud deposit (Unit M1), and a lower late Pleistocene sand and mud deposit (Unit M2; "Kanweoldo Deposit"). Unit M1 is a typical Holocene tidal-flat deposit of Cheonsu Bay, showing a coarsening upward, retrogradational facies trend. This retrograding facies trend is probably due to a relative low sedimentation rate during Holocene transgression. Overlain unconformably by Unit M1, Unit M2 deposit reaches up to 14 m in thickness and is mainly composed of muddy sediment with yellow to gray color. This unit is characterized by a variety of tide-influenced signatures such as rhythmic bedding, flaser bedding, crab burrow fossil, marine dinoflagellate assemblage and authigenic glauconite mineral, indicating very similar depositional environment to those of Unit M1 deposit. It suggests that Unit M2 was probably accumulated under the tidal-flat environment during a pre-Holocene sea-level highstand. In particular, the uppermost 3-4 m of Unit M2 appears to have undergone subaerial exposure and subsequent weathering during the sea-level lowstand after deposition. Therefore, stratigraphic unconformity between Holocene and late Pleistocene sediments is highlighted by the desiccated and weathered surface of Unit M2.

서 론

한반도 서해 연안은 전형적인 리아형 해안으로 경사가 완만하고 큰 조차(대조차 환경)로 인하여 수 십 km의 광활한 조수 퇴적분지를 형성하고 있다. 서해의 조수 퇴적분지들은 세립 퇴적물의 최종적인 퇴적지(depocenter)로서 제공되며, 최대 10~20 m에 이르는 두꺼운 퇴적층을 형성하고 있다(최, 1987; Choi, 2001; Lim, 2001). 서해 연안의 퇴적층은 뚜렷한 침식 경계면을 기준으로 상

위의 현세 조수 퇴적층(Holocene tidal deposit)과 하위의 선현세 퇴적층(pre-Holocene deposit)으로 구분되어 왔다(김, 1988; Park *et al.*, 1991; 박 등, 1995; 박 등, 1997; Park and Choi, 1998). 선현세 퇴적층은 천수만 조간대에서 최초로 발견되어 "간월도층"으로 명명되었으며, 황색의 반고화 니질 퇴적물로 구성되어 있어 상위의 암회색 현세 퇴적층과 뚜렷이 구분된다(김과 박, 1988). 이러한 선현세 산화대층이 경기만(Frey *et al.*, 1989; Park and Choi, 1998), 남양만(박 등, 1995; Park and Lim, 1996), 근흥만(김과 박, 1992), 함평만(박 등, 1997), 해남만(Park *et al.*, 1998) 등 서해의 여러 조간대에서 광범위하게 발견되고 있으며, 퇴적물 색, 조직,

*Corresponding author: oceanlim@kordi.re.kr

지반공학적 요소 등 일차적인 암상 특성이 천수만의 선현세 간월도층과 서로 대비되는 것으로 보고되고 있다(Lim, 2001). 최근 연구결과에 의하면, 이들 선현세 퇴적층은 지난 최대 빙하기(LGM) 동안 대기중의 노출에 의한 풍화 및 토양화 작용으로 인하여 퇴적물의 성분이 산화되고, 변질된 것으로 해석된다(오 등, 1995; Park et al., 1998). 특히, 선현세 산화대층의 상부에 잘 발달된 엽리형태의 동토구조(cryoturbated structure)는 빙하기 동안 한반도가 지금보다 더 건조하고 추운 기후였음을 지시해 주는 중요 지시자로 인지된다(오 등, 1995). 따라서 선현세 퇴적층들은 서해 연안의 고환경을 해석하는데 있어서 뿐만 아니라, 현세와 선현세를 구분하는 중요한 부정합적 기준면으로 간주된다. 그러나 지금까지 보고된 선현세 퇴적층은 대부분 5 m 미만의 두께를 갖는 상부층(산화대층)에 국한되어 수평·수직적인 분포양상, 층후, 전체적인 층서 및 퇴적물의 특성에 대한 자세한 퇴적학적 연구가 미흡했다.

본 연구의 목적은 첫째, 천수만 조간대에서 심부시추기(deep coring equipment)를 이용하여 기반암까지의 전체적인 시료를 채취하여 선현세 퇴적층(간월도층)의 하부 경계면을 파악하고, 기반암까지의 완전한 층서를 설정하는 것이다. 둘째, 선현세 퇴적물의 퇴적학적 및 미고생물학적 특성 등을 조사하고, 이를 토대로 퇴적

환경과 시기를 해석하여 선현세 간월도층을 재정립하고자 한다. 이러한 선현세 퇴적층에 대한 연구는 한반도 서해 조간대 퇴적체의 수직적 층서 관계를 규명하고, 제 4기 동안의 진화역사를 밝히는 중요한 연구로 사료된다.

연구지역

한국 서해 천수만은 길이 약 37 km, 폭 8~13 km의 대조차 환경(평균조차 5.0 m)으로 만의 중앙에는 주조류로(main tidal channel)가 남북방향으로 발달하고 있다. 주조류로를 중심으로 좌우에 폭 1~5 km에 달하는 넓은 조간대(tidal flat)가 발달하고 있다(Fig. 1). 대조시 주조류로에서 측정된 창조류의 최대 유속은 약 110 cm/sec, 낙조류의 최대 유속은 약 80 cm/sec로 유속의 비대칭 현상이 관찰된다(국립지리원, 1977). 천수만 주변에는 낮은 구릉과 충적층이 넓게 발달하고 있으며, 유량이 적은 소규모의 하천들이 만 내로 유입된다. 천수만 퇴적분지의 주요 기반암과 주변 암석은 선캄브리아기의 서산군층에 속하는 운모편암과 규암으로 구성된 변성퇴적암류와 조립질에서 중립질의 흑운모 화강암체로 구성된 유라기 대보화강암이다(국립지질광물연구소, 1973). 천수만은 서해안 간

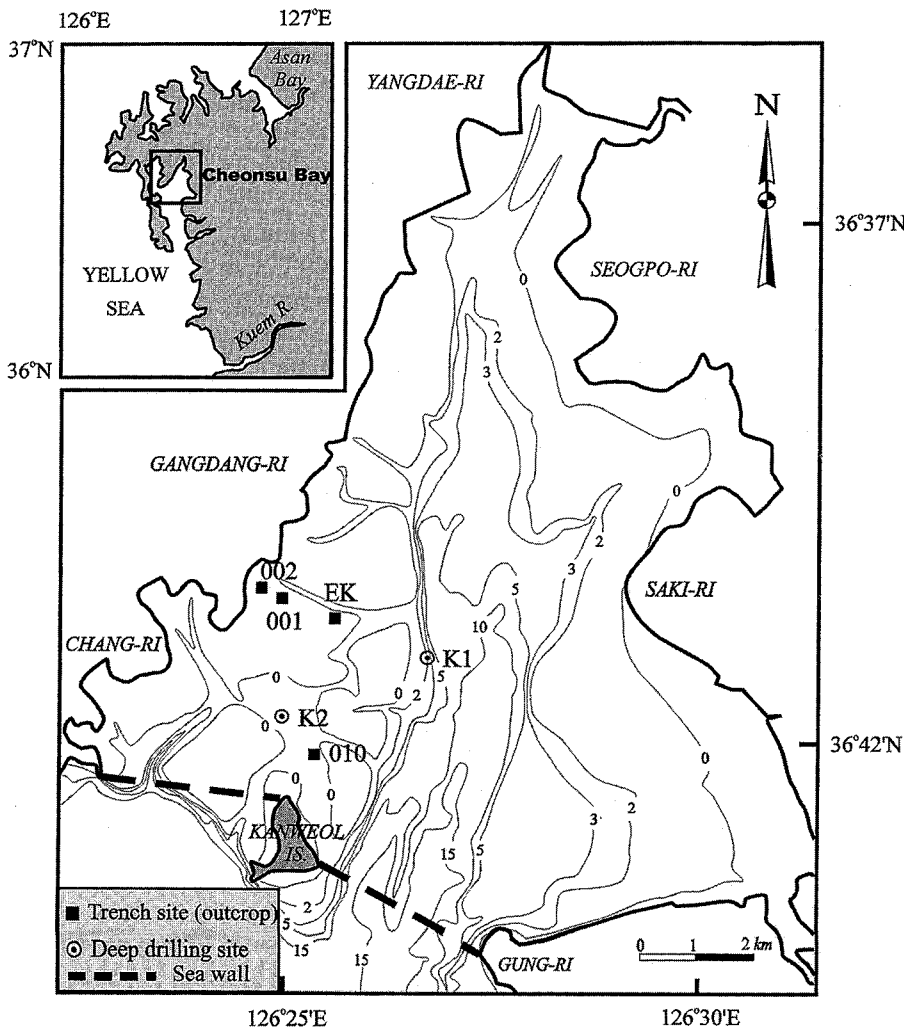


Fig. 1. Location map of Cheonsu Bay (insert) showing bathymetry (in meter) and sampling sites (trenches and deep-drilling) on the tidal flat of the bay.

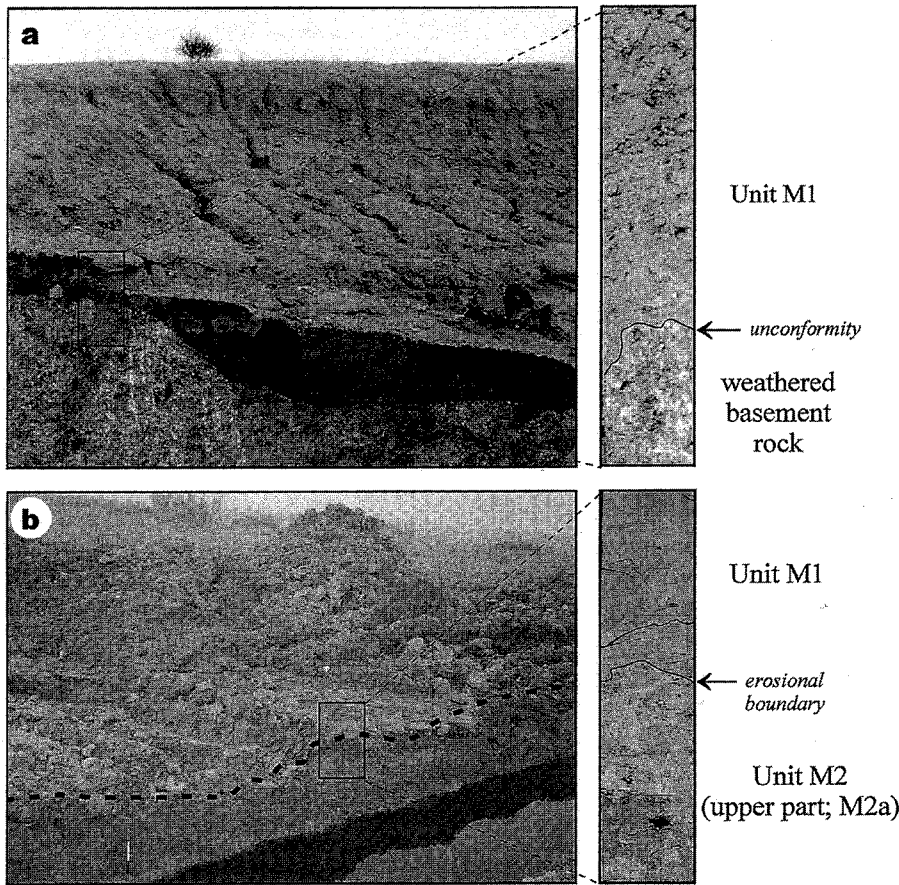


Fig. 4. Close up of sharp erosional boundaries. (a) Unconformity between Unit M1 and basement rock near the hightidal flat. (b) A sharp erosional boundary between Units M1 and M2, which can be trace in the entire bay.

층을 구성하는 물질 일부가 풍화됨으로서 배출된 철분 및 망간 성분이 산화되고 결정화된 결과이다(오 등, 1995). 실제로 현미경 관찰에 의하면 대부분의 석영과 장석의 입자들이 붉은색으로 철산화물의 피복양상이 뚜렷하게 나타난다. 적갈색에서 황갈색에 이르는 다양한 퇴적물색의 바탕 위에 강도가 일정하지 않은 회백색 부분인 얼룩 및 반점 등이 부분적으로 관찰되는데, 이는 철, 망간, 점토, 탄화된 유기물들이 토양수 작용으로 용탈, 이동, 집적되면서 단면내에 재배치된 것으로 “gleyzation” 및 “pseudo-gleyzation”과 관련이 있는 것으로 해석된다(Duchaufour, 1982). 오 등 (1995)에 의하면 이러한 지화학적 과정은 기후가 다소 건조하거나 최소한 긴 건기를 포함한 기후 환경에서 나타날 수 있는 현상이다. 대조적으로 하부의 암회색 또는 녹회색 퇴적물은 대기중의 노출에 의한 퇴적환경 변화가 없었음을 의미한다.

상부 황갈색 퇴적층에서 관찰되는 대표적인 암상 특성은 약 1 mm 두께의 검은 줄무늬들이 규칙적으로 배열된 파형적 엽리구조(wavy lamella structure)의 존재이다(Fig. 5a). 이차적 구조로 해석되는 검은 파형의 엽리들은 탄화된 유기물질이 미세한 틈을 따라 흘러 들어가서 형성된 것으로 사료된다(오 등, 1995; Park *et al.*, 1998). 실제로 전자현미경(SEM) 분석에 의하면, 1 mm 이하의 두께를 가지는 검은 줄무늬 엽리는 매우 세립한 준토립(discrete aggregate)들로 치밀하게 배열되어 있으며, 입자의 표면과 공극은 점성이 있는 콜로이드 상태의 세립 물질에 의해 둘러 쌓여 있거나 채워져 있어 주위와 뚜렷이 구분되어 관찰된다(Fig. 6). 이러한

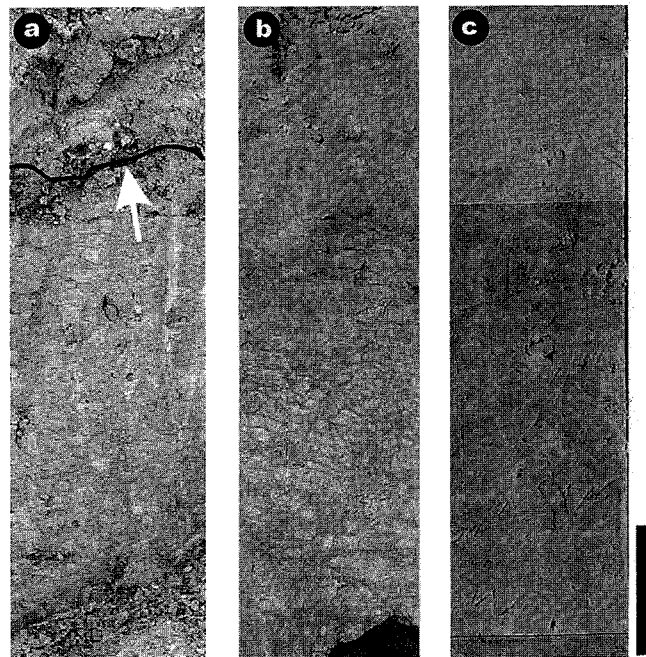


Fig. 5. Photographs of representative core sediment samples selected from each unit. (a) A sharp erosional boundary (arrow) between Units M1 and M2. (b) Cryoturbated, oxidized mud facies of upper part (subunit M2a) of Unit M2. (c) Greenish gray, mud facies of lower part (subunit M2b) of Unit M2. Scale bar is 5 cm.

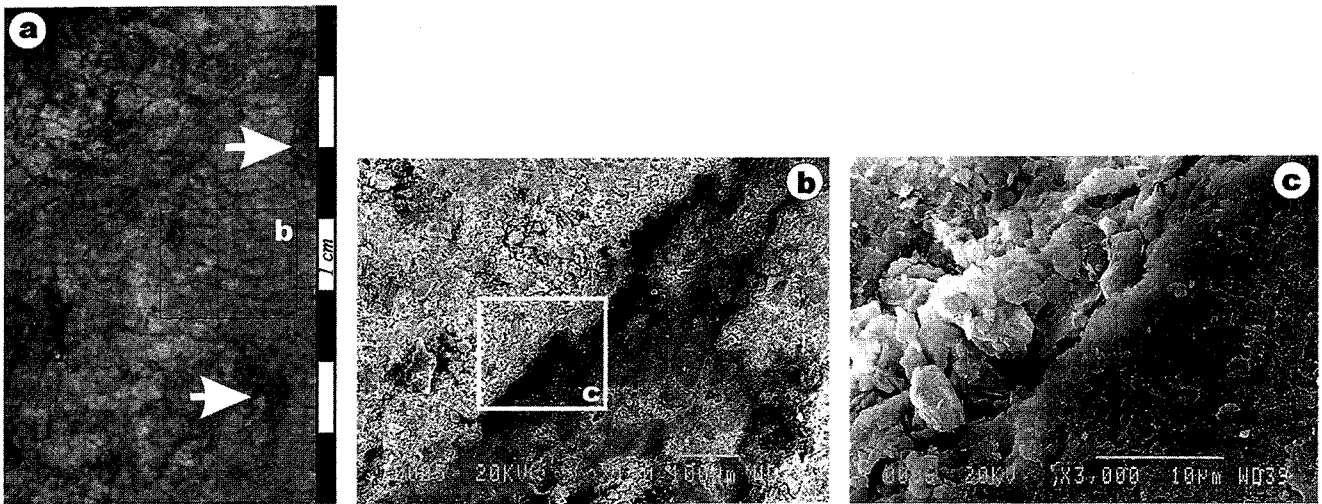


Fig. 6. Photograph (a) and photomicrographs (b and c) showing a detailed texture of cryoturbated structure observed under scanning electron microscope. A black stripe (lamella) consists of extremely fine-grained clay particles bonding by organic compounds. It may be due to clay illuviation during the sea-level lowstand.

엽리구조들은 한랭·습윤 기후에서 반복적인 토양 결빙에 의해 형성되는 동토구조(cryogenic structure)로 해석된다(Butrym, *et al.*, 1964; 오 외, 1995).

퇴적물 조직, 함수율, 전단응력

Unit M2의 상부 퇴적물은 실트와 점토 함량이 우세한 니질 퇴적상으로 평균입도는 6~8φ의 범위이다(Fig. 7a). 모래의 함량은 대부분 20% 미만이며, 실트와 점토의 평균 함량은 각각 50%와 35%이다. 또한 Unit M2의 상부 퇴적층은 Unit M1이나 Unit M2의 하부층과 비교하여 상대적으로 고화된 퇴적물 특성을 나타낸다. Unit M1의 퇴적물은 함수율과 전단응력이 각각 30~60%와 2.0~6.0×10⁻¹ kg/cm²의 범위인 반면, Unit M2의 상부 퇴적층은 20% 미만의 낮은 함수율과 최대 13×10⁻¹ kg/cm²의 높은 전단응력 값을 갖는다. 낮은 함수율과 높은 전단응력 값은 Unit M2의 상부 퇴적층이 오랫동안 대기중에 노출되어 상대적으로 고화되고 건조 되었음을 지시한다. 반면, 녹회색의 하부 퇴적층은 전체적으로 니질과 사니질 퇴적물로 구성된다. 퇴적물의 평균입도는 전체적으로 6~8 phi 범위이며, 모래의 함량은 30% 미만이다(Fig. 7a). 함수율은 20~30% 범위이며, 전단응력은 4~7×10⁻¹ kg/cm²의 범위로 Unit M1 퇴적물과 비슷한 값을 가지며, 상부 산화대층과 비교하여 뚜렷이 낮다. K-2의 7~11 m 구간은 평균입도가 0~4 phi 범위인 조립한 사질층이 협재한다(Fig. 7a). 이들 사질입자들은 대부분 석영(평균함량 50%), 운모(평균함량 35%), 장석(평균함량 7%) 그리고 압편(평균함량 4%)으로 구성되며, 특징적으로 해양성 자생광물인 해록석(1~4%) 입자들을 함유하고 있다(Fig. 7b).

퇴적구조

시추시료 K-2에서 분석된 Unit M2 퇴적층은 전체적으로 괴상(massive)의 퇴적구조가 우세하나 부분적으로 두께 1 mm 이하의 얇은 실트질 엽리구조가 발견된다(Fig. 8a). 그러나 여러 곳의 조류로 단면의 노두에서는 니질과 사질층이 교호하는 교호층리, 렌

즈상 층리 그리고 플라저층리 등 다양한 일차 퇴적구조들이 관찰된다(김, 1988; 김과 박, 1988). 교호층리들은 약 5 cm 간격으로 층리들의 두께가 변화하는 바, 상대적으로 조립한 실트층은 그 두께가 하부에서 상부로 갈수록 3 mm에서 1 mm 이하로 감소하고, 세립한 니질층은 1 mm에서 3 mm 이상으로 두꺼워지는 경향을 보인다(Fig. 8b). 층리의 두께변화는 반복적이고 규칙적인 유수의 운동에 따른 퇴적물 입자의 차별적 침강과 퇴적에 기인한 것으로 조수 리듬층(tidal rhythmite)으로 해석된다(Archer and Johnson, 1997; Park and Choi., 1998). 반복적인 층리 두께의 변화와 층리의 교호는 조석변화에 따른 유속의 변화를 반영하는 바, 두꺼운 엽리들은 사리(spring tide)를, 얇은 두께의 엽리들은 조급(neap tide)을 나타낸다(Dalrymple and Makino, 1989; Archer, *et al.*, 1997). 또한, Unit M2의 퇴적층에서 관찰되는 얇은 실트질 엽리구조나 렌즈상 층리 구조 등도 한 조석 주기 동안에 나타나는 조류의 유속 감소에 따른 퇴적작용에 의해 형성되는 퇴적구조로서 현생의 Unit M1의 퇴적층에서 흔하게 관찰된다(Fig. 8c). 이들 퇴적구조들은 조류의 유속이 낮은 조건하에서 뜬짐 이동에 의해 실트 층리를 형성하고, 정조시와 그 전후 동안 점토 층리를 형성하는 것으로 해석된다(Klein, 1977; Reineck and Singh, 1980; Park *et al.* 1996).

생흔화석

퇴적층 내에 보존되어 있는 생흔화석은 생물의 종류에 따라 특징적인 형태를 갖는다. Unit M2의 퇴적층에는 같은 형태의 생흔 구조 화석이 다량으로 발견되며, 원기둥, U 자형 모양이 우세하지만, Y형이 발견되기도 한다(Fig. 9). 직경 1~3 cm에 달하는 생흔 화석은 황색(10YR 6/6)과 갈색(10YR 4/2)을 띠고, 특징적으로 표면에는 그물 모양의 잔주름(scratch mark)이 발달하고 있다. 또한 표면에는 2차 분지의 흔적으로 여겨지는 가지(branch)들이 다수 존재한다. 이들 생흔화석들은 변산반도 격포리 해안 조간대의 제 4기 퇴적층(선현세 퇴적층)에서 보고된 *Spongiomorpha* 화석과

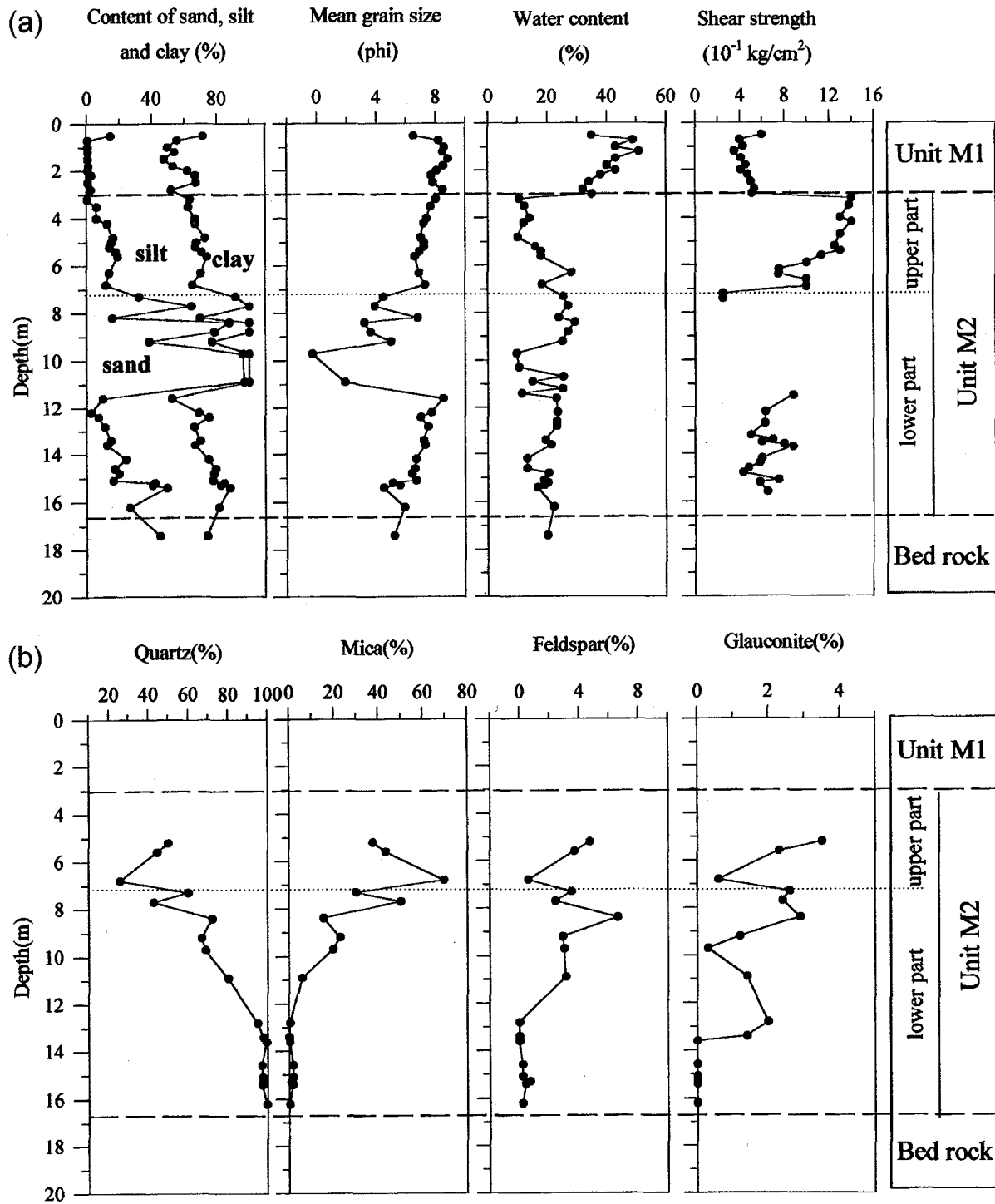


Fig. 7. (a) Vertical variations of mean grain size, texture, water content, and shear strength and (b) major mineral compositions of sand fractions in deep-drilled core K2.

매우 유사하다(Kim *et al.*, 1995). 특히 위에서 서술된 형태와 표면에서 관찰된 갑각류에 의한 스크레치 마크는 *Spongliomorpha*의 대표적인 특징으로 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1995). 일반적으로 *Spongliomorpha* 흔적화석은 스크레치 마크를 나타낼 수 있는 견고한 기반을 지시하는 것으로 알려져 있으나 본 시료에서의 스크레치

마크가 예리한 선을 보이지 않는 점으로 볼 때 약간 견고한 연결 기반에서 형성되었을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구 지역에서 다량으로 발견되는 생흔화석은 게(crab)와 같은 갑각류에 의한 생흔구조로 판단되며, 생흔구조가 형성된 후 장시간의 대기 노출에 의해 산화되고, 고화되어 화석으로 보존되어 나타나는 것으로 해석된다.

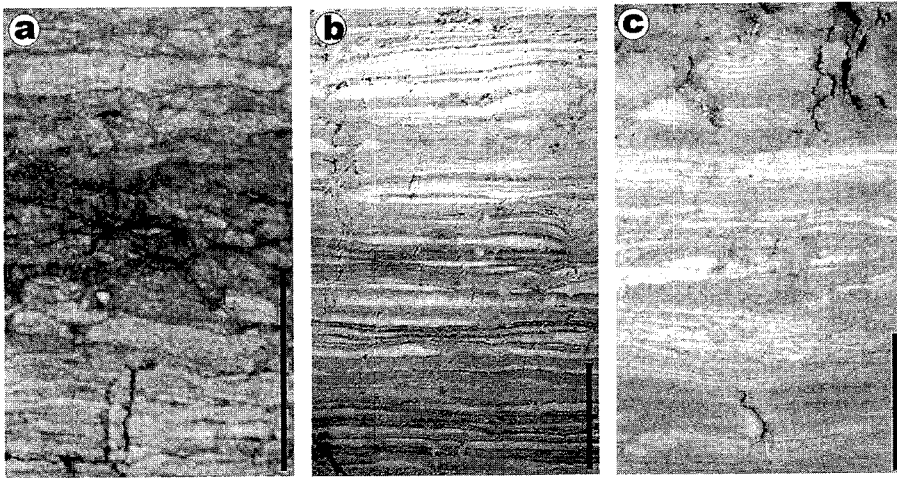


Fig. 8. (a) Cryoturbated structure (upper part of photograph) and silt lamination (lower part of photograph) from subunit M2a. (b) Rhythmic sand/silt lamination from Unit M2 (after Kim, 1988). (c) Parallel lamination showing rhythmic pattern from Unit M1 (modern tidal flat; after Kim, 1988).

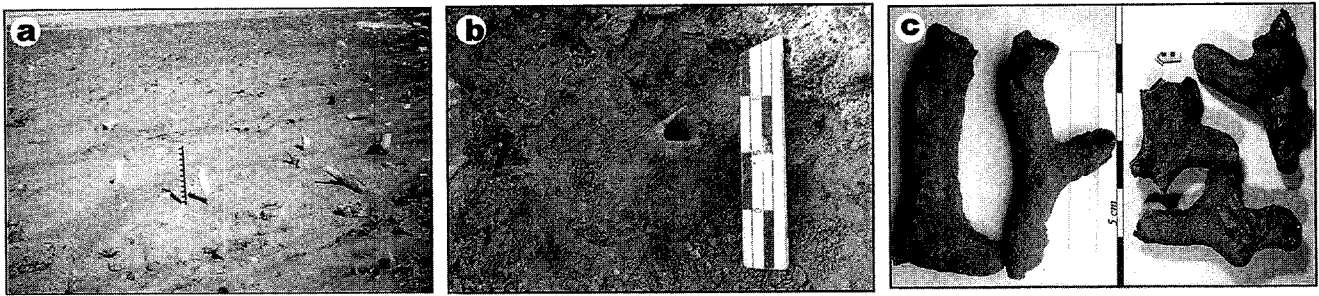


Fig. 9. (a) and (b) Photographs of *in situ* crab fossil furrows on the surface of Unit M2 when Unit M1 deposits were removed. Scale bar is 20 cm. (c) Close up of fossils. Scale bar is 10 cm.

와편모조류의 군집 특성

와편모조류(dinoflagellate)의 군집 분석은 시추시료 K-1과 K-2로부터 약 10 cm 간격으로 채취된 총 41개의 시료에서 실시되었다. Unit M1의 퇴적층에서 산출되는 와편모조류는 총 26종으로, *Spiniferites ramosus ramosus*가 전체의 50~70%을 차지하는 우점종으로 확인되었다(Fig. 10). 그 외에 *Operculodinium centrocarpum*이 모든 깊이에서 지속적으로 산출되었으며, *Lingulodinium machaerophorum*, *Operculodinium longispinigerum*, *Spiniferites belerius*, *Spiniferites bendorii truncatum* 등도 몇몇 깊이를 제외하고는 비교적 높은 산출을 나타내었다. 높은 산출량과 다양도, *Spiniferites ramosus ramosus* 단일종이 우점하는 특성은 전형적인 천해 해양환경을 지시하는 바(Harland, 1983; 추, 1999), 고 에너지 혹은 짙은 염도 변화에 적응된 종들이 전체 군집을 이루는 매우 특이한 환경조건을 반영한다. 또한 담수성 조류인 *Pediastrum boryanum*이 양적으로는 적으나 지속적으로 산출되는 점등을 고려해 볼 때 퇴적단위 Unit M1은 담수의 영향을 어느 정도 받는 저염분의 내만성 연안에서 퇴적된 퇴적층임을 알 수 있다(Wall *et al.*, 1977; Harland, 1983).

퇴적단위 Unit M2의 상부 퇴적층(산화대층)은 와편모조류가 전혀 산출되지 않는 무화석 구간이다. 일반적으로 퇴적물내에서 미화석이 산출되지 않은 경우는 (1) 환경적 요인 및 생태적 요인이 조류의 서식과 생식에 부적합하였을 경우, (2) 퇴적된 미화석들이 화학적 또는 물리적 작용으로 인하여 파괴 또는 용해되었을 경우,

(3) 퇴적후 노출에 의한 강한 토양화 작용에 의한 미화석들의 파괴 등 여러 가지 요인과 이들의 복합적인 작용에 의한 것으로 추정된다. 퇴적물의 변질된 암상의 특징들에 근거할 때, Unit M2의 상부퇴적층에서 미화석의 무산출은 대기중의 노출 동안 풍화작용과 토양화 작용으로 인한 미화석들의 파괴와 환경변화에 의한 강한 산성수(acidic water)에 의한 용해 등이 주요 원인으로 추정된다(Mayer *et al.*, 1991; Yim *et al.*, 1997). 퇴적단위 Unit M2의 하부 암회색 사질 또는 사니질 퇴적층에서는 극히 빈약한 산출상태로 해성 와편모류가 발견되었으며, *Spiniferites ramosus ramosus* 종이 대표적이다(Fig. 10). 이외에도 *Operculodinium centrocarpum*과 *Spiniferites cf. belerius*등이 빈약하게 산출된다. 이러한 종 구성은 상위의 현세 퇴적층(Unit M1)과 유사하며, 연안 퇴적환경(neritic condition)을 지시한다. 그러나 매우 빈약한 산출과 무화석층준의 협재는 이 퇴적층이 퇴적되는 동안 환경 변화가 빈번하게 있었으며, 매우 불안정한 수괴를 형성하고 있었던 것으로 해석되어지나, 좀더 자세한 연구가 요구된다.

선현세 간월도 퇴적층(Unit M2)의 퇴적환경과 퇴적시기

선현세 Unit M2 퇴적층은 최대 약 14 m 두께로 대부분의 코아에서 발견되며, 니질과 사니질의 세립한 퇴적물로 구성되어 있

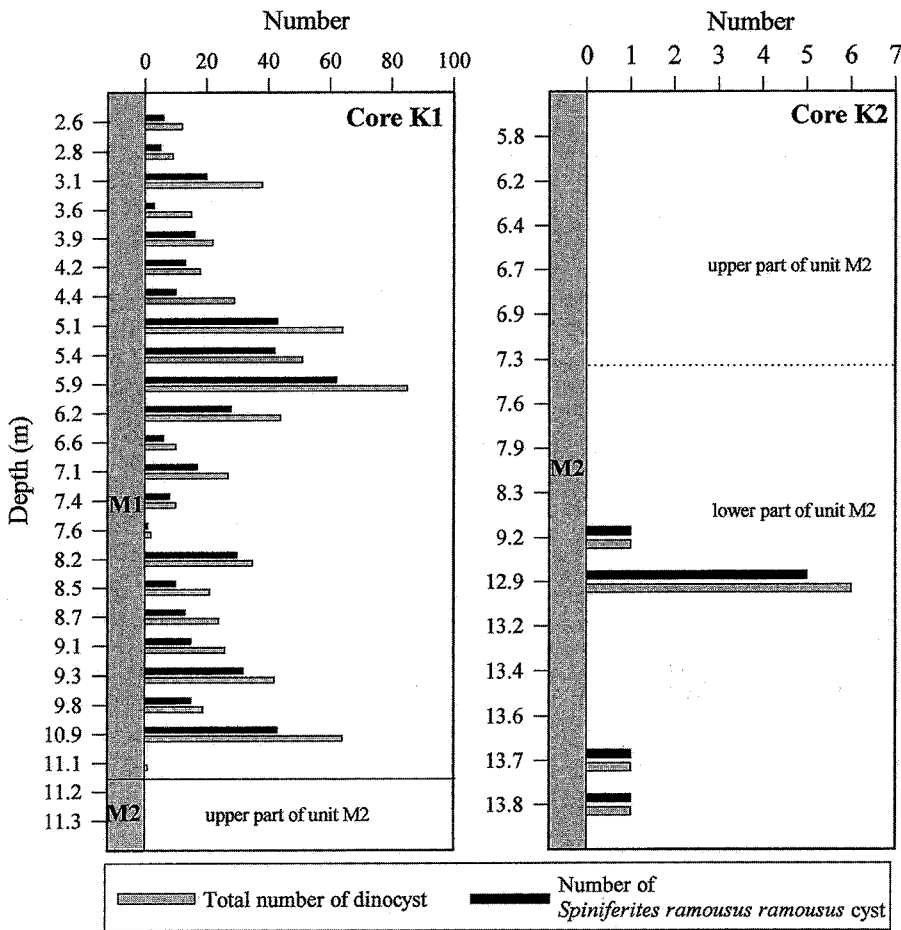


Fig. 10. Total number of dinoflagellate cysts and number of *Spiniferites ramosus ramosus* cyst in cores K1 and K2.

다. 김(1988)의 연구결과에 의하면, 이 선현세 퇴적층은 천수만의 서부와 동부의 모든 조간대 지역에서 대비 가능한 연속성을 보이며, 특히 탄성과 자료는 이 퇴적층이 평균해수면 약 1~25 m 아래에 광범위하게 분포하고 있음을 보여준다. 이러한 두꺼운 층후와 광역적 분포는 Unit M2의 퇴적층이 과거 천수만내에 국부적으로 발달한 호수(lake)나 늪지(swamp) 퇴적층이 아니라, 천수만 전역의 광범위한 영역에서 매우 낮은 물리적 에너지를 갖는 환경에서 퇴적되었음을 의미한다. 물리적 퇴적구조는 잔류 엽층리 구조가 대표적이나, 전체적으로 물리적 퇴적구조가 발달하지 않는 것은 생물교란작용(bioturbation)이 매우 심했음을 반영한다. 비록 상부 퇴적층이 산화작용에 의해 변질되었지만, Unit M2의 전체적인 암상 특성이 상위의 현세 조간대 퇴적층과 매우 유사하고, 몇몇 노두에서 관찰되는 조수 리듬 퇴적구조(tidal rhythmic bedding) 들은 퇴적당시의 반복적이고 규칙적인 유수 운동을 지시한다. 더욱이 선현세 퇴적층에서 산출되는 *Spiniferites ramosus ramosus* 는 상위의 현세 조간대층에서 뿐만 아니라 다른 조간대 퇴적층에서도 우점종으로 흔히 출현하는 연안성 구조종으로서(추, 1999), Unit M2 퇴적층이 조수환경하에서 집적된 해상 퇴적층임을 뒷받침한다. 계구명 혼적화석과 함께 해록석 자생 광물 또한 Unit M2의 퇴적환경을 해석하는데 중요한 자료로 제시된다. 일반적으로 대륙붕 퇴적물에서 산출되는 해록석이 Unit M2의 사질 퇴적물에서 높은 함량(최대 5%)으로 발견되는 것은 이들 사질 퇴적물이 해

침 동안 서해 연근해역으로부터 천수만 조수 퇴적분지로 이동·퇴적된 것임을 반영한다(Lim *et al.*, 2000). 결론적으로 Unit M2 퇴적층의 공간적 분포, 층후, 퇴적물 유형, 퇴적구조, 광물성분, 혼적화석, 미고생물 군집 특성 등에 의하면 간월도층으로 명명된 Unit M2는 선현세 조간대 퇴적층으로 해석된다.

한편 3~4 m 두께로 발달하는 황색의 반고화(높은 전단응력과 낮은 함수율) 산화대층(Unit M2의 상부층)은 현세 해침 이전 오랫동안 대기중에 노출 되었음을 지시하며, 동토구조는 매우 한랭한 기후조건에서 형성되는 이차적인 것으로 Unit M2 퇴적층의 노출이 지난 마지막 최대 빙하기까지 계속되었음을 반영한다. 따라서 Unit M2 상부와 하부 퇴적층의 암상 차이는 대기중 노출시 산화되는 깊이의 정도에 의한 퇴적물의 색과 지반공학적 요소 등의 차이에 의한 것으로 해석할 수 있다. 연구지역의 탄성과파사 자료에 의하면 평균 해수면 아래 약 10 m에서 나타나는 뚜렷한 음향반사면은 선현세 조간대 퇴적층(Unit M2)의 상부 침식 경계면과 일치하는 것으로 확인되었다(김과 박, 1988). 이러한 경계면은 서해 및 남해 연안에서 나타나는 음향반사면과도 대비될 수 있으며(송과 조, 1978; Kang and Chough, 1982; Park *et al.*, 1991), 현세와 선현세를 구분하는 부정합면(uconformable boundary)으로 제시된다.

암회색의 현세 조간대 퇴적층(Unit M1)의 최하부에서 획득한 유기물의 탄소동위원소 연대측정값은 $7,200 \pm 390$ yr BP(김, 1988)와 7860 ± 290 yr BP이다. 노두 010지점에서 Unit M2의 퇴적층

과 상부 현세 조간대층과의 경계면은 뚜렷한 침식면에 의해 표시되고, Unit M2의 최상부 산화대층에서 획득한 유기물의 연령은 $16,300 \pm 130$ yr BP(박 외, 1995)과 $21,470 \pm 150$ yr BP(Fig. 2)이다. 이것은 Unit M2 퇴적층의 퇴적시기가 지난 마지막 빙하기(last glacial)나 아간빙기(interstadial)임을 지시하지만, 이러한 탄소동위원소 연대 측정값에 근거하여 퇴적시기를 해석하는데 몇 가지 문제점이 제기된다. 첫째, 유기물의 탄소동위원소 연령은 해수면이 현재 보다 최소한 30 m 아래에 위치하고 있는 아간빙기(interstadial period)를 지시하는데(Shackleton and Opdyke, 1973; Chappell *et al.*, 1996), 이는 평균 해수면 아래 약 1~2 m 깊이에서부터 발견되는 Unit M2의 층서적 위치와 일치하지 않는다. 즉 아간빙기 동안 천수만은 대기중에 완전히 노출되어 침식활동이 활발한 환경으로 Unit M2의 퇴적층이 퇴적되는 것은 불가능한 것으로 추정된다. 둘째, 만약 이들 탄소동위원소의 연령을 받아드린다면, 서해 연안이 현세(Holocene)동안 최소한 30 m 이상 융기하는 지구조적 특성을 가정해야 한다. 그러나 아직까지 서해 연안이 융기했다는 증거가 제시되지 않아 측정된 연령을 그대로 받아드리는 데는 어려움이 있다. 결론적으로 연령 분석에 사용된 식물들이 노출된 Unit M2층을 저질(substrate)로 하여 약 20,000년 전에 서식했거나, 노출되는 동안 새로운 탄소의 유입에 의한 오염이 식물의 탄소동위원소 연령을 낮추었을 것으로 추정된다(Yim *et al.*, 1990). 비록 선현세 조간대 퇴적층(Unit M2)의 정확한 퇴적시기는 더 많은 연구가 필요하나, 위에서 기술된 퇴적환경과 층서적 위치, 그리고 해수면 변화 곡선을 종합적으로 고려할 때 선현세 간월도 조간대 퇴적층의 퇴적시기는 현재와 해수면 상승 높이가 비슷한 약 125,000년 전의 "Eemian" 간빙기(oxygen isotope stage 5e)로 제안된다.

결 론

천수만 현세 조간대층(Unit M1) 하위에 부정합적으로 놓이는 선현세 간월도 퇴적층(Unit M2)은 퇴적분지의 기반암을 부정합적으로 피복하고 있으며, 두께는 최소 14 m에 달한다. 이 퇴적층은 퇴적후 대기중 노출에 의한 황색의 고화된 산화대층과 하부의 노출되지 않은 비고화된 암회색층으로 세분된다. 퇴적층 전체에서 나타나는 퇴적물의 세립한 입자조직 특성, 퇴적물의 색 그리고 퇴적층의 지반공학특성 등이 상위의 현세 조간대 퇴적층과 일치하며, 조수 리듬 퇴적구조 등의 조수기원 퇴적구조와 외편모조류 군집 특성은 선현세의 Unit M2 퇴적층이 조간대 퇴적층임을 지시한다. 현재 평균 해수면 1~2 m 아래에서 발견되는 층서적 위치와 퇴적환경을 고려할 때 간월도층(Unit M2)은 해수면 상승 높이가 현재와 비슷한 "Eemian 간빙기"에 퇴적된 것으로 제안된다. 이러한 후기 플라이스토세의 조간대 퇴적층은 최대 빙하기까지 계속되는 해수면 하강과 함께 대기 중에 노출되었으며, 그 결과 상부 퇴적층은 오랜 동안 침식과 풍화작용을 받은 것으로 해석된다.

감사의 글

야외조사와 실내분석을 도와준 서울대 해양학과의 황선영과 김수정 대학원생에게 감사드리며, 논문의 심사와 유익한 조언을 주신 두 분의 심사위원과 편집위원께 감사 드립니다.

참고문헌

- 국립지리원, 1977. 연안해역 지형측량 보고서(천수만 해역). 56 pp.
- 국립지질광물연구소, 1973. 서산 지질도, 1:25000.
- 김여상, 1988. 한국 서해 천수만 사장포해안의 조간대층의 퇴적환경과 진화. 서울대학교 박사학위논문, 169 pp.
- 김여상, 박수철, 1992. 한국 서해안 근흥만의 조간대 퇴적층 연구: 층서 및 형성과정. 한국지구과학회지, 13: 41-52.
- 김여상, 박용안, 1988. 한국 서해 천수만 북동부에 발달한 제4기 현세 조간대층 하위의 퇴적층의 간월도층 연구. 한국제4기학회지, 2: 13-24.
- 박용안, 최진용, 임동일, 최강원, 이영길, 1995. 한국 서해 남양만 조수퇴적분지의 제4기 퇴적층서와 부정합. 한국해양학회지, 30: 332-341.
- 박용안, 임동일, 최진용, 이영길, 1997. 한국 서남해 함평만의 조간대 퇴적층의 제4기 층서 연구. 한국해양학회지-바다, 2: 138-150.
- 송무영, 조규장, 1978. 탄성과 탐사로 본 거제도-남해도간의 해저 지층 구조. 한국해양학회지, 13: 1-8.
- 오경섭, 박용안, 김여상, 1995. 천수만 간월도층의 퇴적후 변형상(cryoturbation)으로 해석되는 제4기 최후빙기의 한반도 서해안의 고환경. 한국제4기학회지, 9: 43-60.
- 추승환, 1999. 한국 서해 해남만 조간대의 신생대 제4기 외편모조류. 충남대학교 석사학위논문, 95 pp.
- 최강원, 1987. 한국 서해안(경기만, 아산만) 조간대 퇴적층의 층서, 퇴적학적 연구. 서울대학교 석사학위논문, 70 pp.
- Archer, A.W. and T.W. Johnson, 1997. Modelling of cyclic tidal rhythmites (Carboniferous of Indiana and Kansas, Precambrian of Utah, USA) as a basis for reconstruction of intertidal positioning and paleotidal regimes. *Sedimentology*, 44: 991-1010.
- Butrym, J., J. Cegla, W. Dzulynski and S. Nakonieczny, 1964. New interpretation of "Periglacial Structures". *Folia Quat.*, 17: 1-34.
- Chappell, J., A. Omura, T. Esat, M. McCulloch, J. Pandolfi, Y. Ota and B. Pillans, 1996. Reconciliation of late Quaternary sea levels derived from coral terraces at Huon Peninsula with deep sea oxygen isotope records. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 141: 227-236.
- Choi, K.S., 2001. Late Quaternary Stratigraphy and evolution of tidal deposits in Kyunggi Bay, west coast of Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul, 223 pp.
- Dalrymple, R.W. and Y. Makino, 1989. Description and genesis of a tidal bedding in the Cobequid Bay-Salmon River estuary, Bay of Fundy, Canada. In: *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, edited by Taira, A. and F. Masuda, Terra Scientific Publication, Tokyo, 151-177.
- Duchauffour, P., 1982. *Pedology: Pedogenesis and classification* (translated by Paton, T.R.), George Allen and Unwin, London.
- Evitt, W.R., 1984. Some techniques for preparing, manipulating and mounting dinoflagellates. *J. Micropaleont.*, 3: 11-18.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphil publishing, 57 pp.
- Frey, R.W., J.D. Howard, S.J. Han and B.K. Park, 1989. Sediments and sedimentary sequences on a modern macrotidal flat, Inchon, Korea. *J. Sediment. Petrol.*, 59: 28-44.
- Harland, R., 1983. Distribution maps of recent dinoflagellate cysts in

- bottom sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Paleontology*, **26**: 43–48.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In: Procedures in sedimentary petrology, edited by Carver, R.E., Willey-Inter science, 49–67.
- Kang, H.J. and S.K. Chough, 1982. Gamagyang Bay, southern coast of Korea: sedimentation on a tide-dominated rocky embayment. *Mar. Geol.*, **48**: 197–214.
- Kim, J.Y., C.H. Cheong, C.J. Lee and B.S. Kang, 1995. Spongeliomorpha ichnosp. From the Quaternary deposits, Kyokpori, south-west coast of Korea. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **16**: 437–441.
- Kim, Y.H., H.J. Lee, S.K. Chough, S.S. Chun, and S.J. Han, 1999. Holocene transgressive stratigraphy of macrotidal flat in the southeastern Yellow Sea: Gomso Bay, Korea. *J. Sediment. Res.*, **A64**: 886–893.
- Klein, G. deV., 1977. Clastic tidal facies. Continuing Education Publication Company, Illinois, 149 pp.
- Lim, D.I., 2001. Late Quaternary stratigraphy and sedimentology of tidal-flat deposits, western coast of Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul, 304 pp.
- Lim, D.I., Y.A. Park, J.Y. Choi, J.W. Choi and B.K. Khim, 2000. Glauconite grains in continental shelf sediment around the Korean Peninsula and their depositional implications. *Geo-Mar. Lett.*, **20**: 80–86.
- Mayer, L.M., J. Jorgensen and D. Schnitker, 1991. Enhancement of diatom frustule dissolution by iron oxides. *Mar. Geol.*, **99**: 263–266.
- Park, S.C., Y.S. Kim and S.K. Hong, 1991. Shallow seismic stratigraphy and distribution pattern of late Quaternary sediments in a macrotidal bay: Gunhung Bay, west coast of Korea. *Mar. Geol.*, **98**: 135–144.
- Park, Y.A. and K.S. Choi, 1998. Silty tidal rhythmites from the upper Pleistocene sedimentary sequence, western coast of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **33**: 71–79.
- Park, Y.A., D.I. Lim, B.K. Khim, J.Y. Choi and S.J. Doh, 1998. Stratigraphy and subaerial exposure of late Quaternary tidal deposits in Haenam Bay, Korea (South-eastern Yellow Sea). *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, **47**: 523–533.
- Park, Y.A., J.T. Wells, B.W. Kim and C.R. Alexander, 1996. Tidal lamination and facies development in the macrotidal flats of Namyang Bay, west coast of Korea. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, **24**: 183–191.
- Park, Y.A. and D.I. Lim, 1996. Sedimentology and stratigraphy of the Holocene and pre-Holocene tidal deposits, Namyang Bay, west coast of Korea. In: abstract of “Tidalites ‘96”, International Conference on Tidal Sedimentology, 126 pp.
- Reineck, H.E. and I.B. Singh, 1980. Depositional sedimentary environment (2nd Ed). Springer-Verlag, Berlin, 455 pp.
- Shackleton, N.J. and N.D. Opdyke, 1973. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 105 year and 106 year scale. *Quat. Res.*, **3**: 39–55.
- Wall, D., B. Dale, G.P. Lohmann and W.K. Smith, 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the north and south Atlantic and adjacent seas. *Mar. Micropaleont.*, **2**: 121–200.
- Yim, W.W.-S., M. Ivanovich, K.F. Yu, 1990. Young age bias of radiocarbon dates in pre-Holocene marine deposits of Hong Kong and implications for Pleistocene stratigraphy. *Geo-Mar. Lett.*, **10**: 165–172.
- Yim, W.W.-S., K.F. Yu, P. Catt, 1997. Quaternary paleobiogeography of Hong Kong: evidence from marine borehole WB7. In: N.G. Jablonski, (Editor) The changing face of east Asia during the Tertiary and Quaternary. Proc. 4th Conf. on The evolution of the East Asian environment. Centre of Asian Studies, The University of Hong Kong, Hong Kong, pp. 383–399.

2002년 1월 4일 원고접수

2002년 2월 8일 수정본 채택

담당편집위원: 최진용