

대한해협 대륙붕 해역의 홀로세 해수면 상승과 고환경변화

남 승 일 · 장 정 해 · 공 기 수 · 김 성 필 · 유 동 근
한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

Holocene sea-level rise and paleoenvironmental changes in Korea Strait shelf

Nam Seung-Il, Chang Jeong-Hae, Kong Gee-Soo,
Kim Seong-Pil, Yoo Dong-Geun

Petroleum & Marine Resources Division,
Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

요 약

대한해협 북서연안의 내대륙붕(약 40m 수심)에서 약 31m의 심부 코아 SSDP-102를 시추하여, 고해상의 층서를 확립하고 홀로세 해침에 의한 고환경 변화를 복원하기 위하여 퇴적상과 유기지화학 분석을 수행하였다. 시추 코아의 층서는 6점의 AMS ^{14}C 연대측정 자료를 이용하였으며, 약 12.1 ka BP 이후의 퇴적환경 변화가 기록되어 있다. 단성과 탐사자료와 퇴적물 암상 그리고 유기지화학 자료에 의하면 코아 SSDP-102는 음향 기반암 위에 쌓인 3개의 퇴적 단위 (Unit III, II, I)로 나뉘어 지며, 각 Unit에는 해침이 시작된 이후 3회에 걸쳐 뚜렷한 퇴적환경변화가 기록되어 있다. (1) Unit III은 12.1에서 6.2 ka BP까지 해침이 시작된 염하구 환경; (2) Unit II는 6.2에서 5.1 ka BP까지 해수면 상승이 둔화된 연안환경; (3) Unit I은 5.1 ka BP 이후 현재까지 연안 및 외해 환경에서 퇴적되었다. 특히 대마난류의 영향을 받는 현재의 퇴적환경은 약 5.1 ka BP 이후 점진적으로 형성된 것으로 보인다.
주요어: 홀로세, 해수면 상승, 해침, 대한해협, 고해상 층서, 고해양 환경변화

ABSTRACT

A 31m-long sediment core (SSDP-102) was taken from the inner shelf (about 40m water-depth) off the northwestern coast of the Korea Strait. Detailed lithofacies and organic-geochemical analyses were performed to establish a high-resolution stratigraphy in the Korea Strait shelf and to reconstruct the paleoenvironmental changes associated with the Holocene marine transgression. The stratigraphic framework of the core was primarily established using 6 AMS ^{14}C ages. The sedimentary record of the core SSDP-102 allows for the reconstruction of the paleoenvironmental changes during the last 12.1 ka BP. According to the high-resolution seismic reflection profiles, lithofacies and organic-geochemical data, the core SSDP-102 can be divided into three units (III to I in ascending order) above the acoustic basement. The three units reflect distinct changes of depositional environments resulted from the post-glacial marine transgression. Therefore, it is suggested that three phases of sea-level change have occurred within the inner shelf of the Korea Strait following the Holocene marine transgression. (1) estuarine environments from ca. 12.1 to 6.2 ka BP; (2) near-shore environments with a period of decreased rising of sea level between 6.2 and 5.1 ka BP; (3) near-shore to modern marine environments after 5.1 ka BP. In particular, the present marine conditions influenced by the warm Tsushima Current have been gradually established after ca. 5.1 ka BP.

Key words: Holocene, sea-level rise, marine transgression, Korea Strait, high-resolution stratigraphy, paleoenvironmental changes

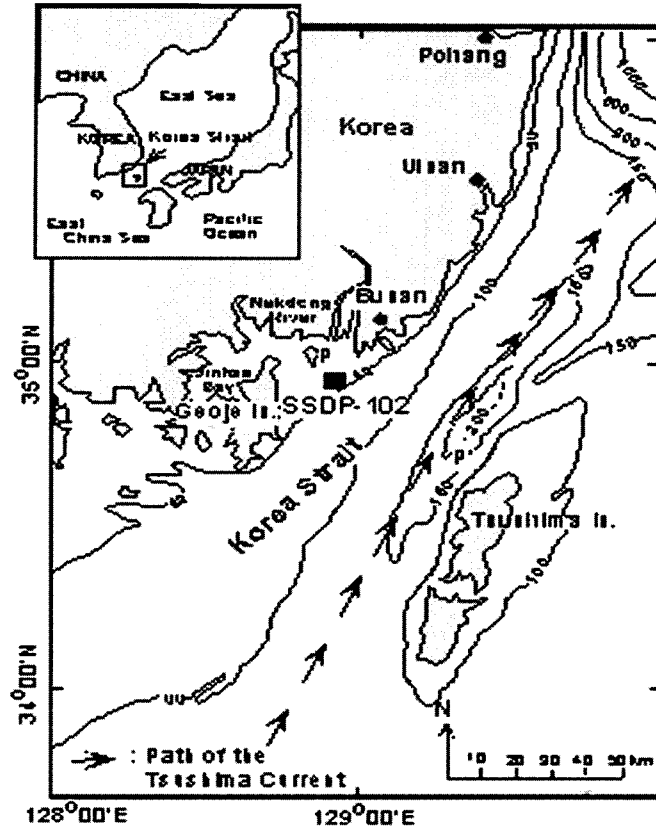


Figure 1. Locality map of the Korea Strait showing bathymetry (m) and core site. Arrows mark the warm and saline Tsushima Current.

서론

대륙주변해의 대륙붕 해역은 제 4기의 전지구적인 해수면 변화에 매우 민감하기 때문에, 이러한 해역에 발달한 퇴적층은 해수면 변화와 관련된 퇴적환경 변화가 잘 기록되어 있다(e.g., Posamentier and Vail, 1988). 동해와 서태평양을 연결하는 천해의 좁은 수로인 대한해협(Fig. 1)은 제 4기 빙하기-간빙기 동안에 일어난 해수면 변화에 많은 영향을 받는 해역이다(Yoo and Park, 1977, 2000; Park *et al.*, 2000). 특히 대한해협의 대륙붕에 형성된 퇴적층은 해수면 변화와 낙동강에서 유입되는 육성기원 퇴적물 공급과 밀접한 관계가 있다(e.g., Chough *et al.*, 1991; Park and Chu, 1991; Choi *et al.*, 1997). 따라서 대한해협에 분

포하는 후기 제4기 퇴적층에는 빙하기-간빙기 동안 해수면 변동에 의해 일어난 전지구적이며 지역적인 고해양환경 변화가 잘 보존되어 있다(Park and Yoo, 1988; Yoo and Park, 1997, 2000; Park *et al.*, 2000).

지난 20년 동안 대한해협 주변의 표층 및 천부 퇴적물의 퇴적학, 퇴적물 물성, 미화석 및 지화학 연구를 통하여 퇴적작용과 퇴적환경에 관한 해석과 함께 정밀 단성과 탐사자료를 이용한 시퀀스 층서연구가 수행되었다(e.g., 김길영 등, 1996; Lee and Park, 1985; Park and Han, 1985; Park *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 1988; Chough *et al.*, 1991; Park and Chu, 1991; Choi and Park, 1993; Cho *et al.*, 1999; Kim and Ha, 2001). 특히 Yoo and Park (1997, 2000)은 대한해협 주변

해역에는 저해수면 퇴적계열(LST), 해침 퇴적계열(TST)과 고해수면 퇴적계열(HST)의 퇴적층이 분포하고 있음을 밝혔다. 그러나 대한해협 내 대륙붕과 같이 퇴적물이 높은 곳에서 얻은 수m 이내의 천부 퇴적물 코아와 탄성과 탐사자료를 이용하여 마지막 최대 빙하기 이후 해수면이 상승하는 동안에 일어난 퇴적환경을 정확히 해석하는데 한계가 있었다. 현재까지 연구해역을 포함한 남해 대륙붕에서 퇴적물의 퇴적학 및 지화학 분석자료를 이용한 해수면 변동과 관련된 고환경 변화에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다 (e.g., Park *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 1988; Chough *et al.*, 1991; Park *et al.*, 2000). 따라서 본 연구에서는 퇴적물이 매우 높은 대한해협 내대륙붕의 니질퇴적층에서 시추한 심부 퇴적코아(약 31m)의 정밀한 퇴적학 및 유기지화학 분석과 AMS ^{14}C 연대측정 결과를 이용하여 대한해협 대륙붕 해역에서 고해상의 층서를 밝히고, 홀로세 이후 해수면 상승에 따른 연구해역의 퇴적환경과 고해양 환경변화를 해석하는데 목적이 있다.

재료 및 연구 방법

입도분석

시추 퇴적물을 수직 절개하여 사진 촬영을 한 후, 육안으로 색상과 암상의 변화 및 퇴적구조를 기술하였고, 퇴적물 슬랩(30cm×5cm×1cm)을 제작하여 X-radiograph를 촬영하여 보다 상세한 퇴적구조를 관찰하였다(한국자원연구소, 2000). 퇴적물의 입도는 시료에 포함된 유기물과 염분을 제거한 후 63 μm 체를 이용한 습식 체질방법과 Stockes의 침전속도를 이용한 피펫방법으로 분석하였다(Folk, 1968; McBride, 1971).

유기 지화학 분석

유기 지화학 분석에 필요한 약 5g의 시료를 채취하여 약 24시간 냉동시킨 다음, 냉동 건조기

(freeze dryer)에 넣고 약 24시간 동결 건조시킨 후, 균질하게 분말로 만들었다. 총 탄소(TC, total carbon)와 총 질소(TN, total nitrogen) 함량은 약 2-3mg의 분말시료를 취하여 CHN-Analyzer (Leco CHN-900)로 분석하였다. 총 유기탄소(TOC, total organic carbon)와 탄산염(CaCO_3) 함량을 측정하기 위하여 균질한 분말시료(약 2g)에 10% 염산을 첨가하여 탄산염을 제거한 후 증류수로 pH 5정도가 될 때까지 희석시킨 다음 오븐에 24시간 건조시켰다. 건조된 시료는 다시 균질하게 분말로 만든 후 약 2-3 mg의 시료를 취하여 무기탄소(IC, inorganic carbon) 함량을 측정하였다. 유기탄소와 탄산염 함량은 다음의 식[1.1]과 [1.2]로 계산하였다(Stein, 1991).

$$\text{TOC}(\%) = [100 - (8.333 \times \text{TC})] / [(100/\text{IC}) - 8.333] \quad [1.1]$$

$$\text{CaCO}_3(\%) = (\text{TC} - \text{TOC}) \times 8.333 \quad [1.2]$$

해양 퇴적물에서 유기물 성분과 육상/해양 기원 유기물 함량을 평가하기 위하여 C/N 비(total organic carbon/total nitrogen ratio)를 계산하였다(Mueller, 1977; Stein 1991). 일반적으로 C/N 비가 7-8 이하의 값을 보이면 해양성 기원의 유기물이 우세하며, 10-15의 값은 해양과 육성기원이 혼합되어 있음을 지시하고, 15 이상의 값은 육성기원 유기물이 우세하게 퇴적되어 있음을 의미한다(Stein, 1991). 또한 시추 퇴적물의 유기물 특성과 기원을 추정하기 위하여 Rock-Eval pyrolysis 분석방법이 이용되었다. 약 70mg의 bulk 분말시료를 취하여 유정 분석기(Rock Eval VI)를 이용하여 Hydrogen index(HI)와 Oxygen Index(OI)를 측정하였다. 유기물의 탄소동위원소($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)는 탄산염을 제거한 분말시료를 이용하여 Finnigan MAT Delta-S 질량분석기(AWI, Potsdam)로 분석하였다. 분석 자료의 오차범위는 약 $\pm 0.2\%$ 이다.

AMS ^{14}C 연대측정 및 퇴적물

홀로세 층서를 확립하고 퇴적환경을 해석하기

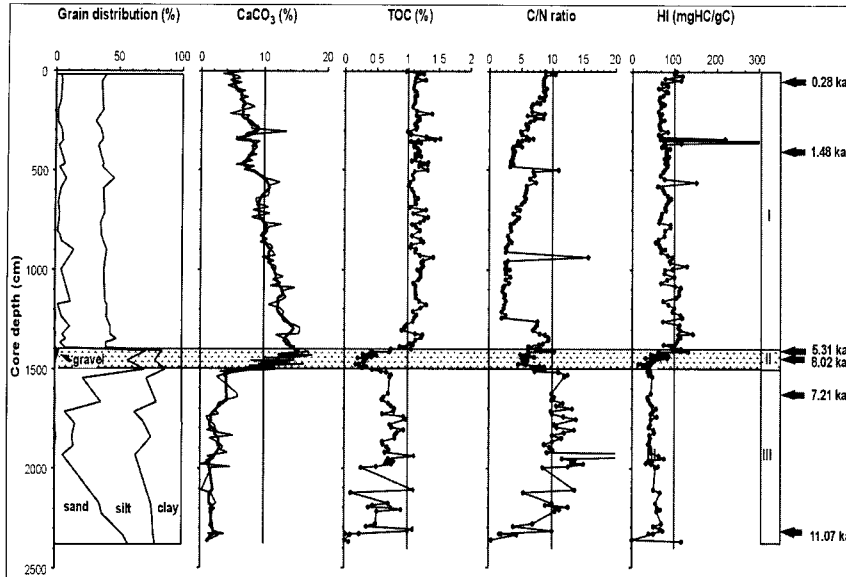


Figure 2. Grain distribution (gravel, sand, silt and clay), content of CaCO_3 (%) and TOC (%), C/N ratio and hydrogen index (HI) values (mgHC/gC) of core SSDP-102. Roman numbers indicate Units (III to I in ascending order) based on the high-resolution seismic reflection profiles and lithofacies. Arrows with numbers mark AMS ^{14}C -age dated samples.

위하여 시추 코아에서 AMS ^{14}C 연대측정을 수행하였다. AMS ^{14}C 연대측정에는 6점의 시료에서 저서성 유공층과 이매패류가 이용되었다. 4점의 AMS ^{14}C 연대 측정에는 뉴질랜드 Nuclear Science 연구소의 Rafter Radiocarbon 연구실의 가속질량 분석기(EN Tandem Van de Graaff Accelerator)를 이용하여 수행되었고, 다른 2점은 독일 Kiel 대학의 Leibniz AMS ^{14}C 연대 측정실험실에서 수행되었다. 모든 연대는 global reservoir effect인 400년을 보정하여 ^{14}C ka BP로 나타내었다(Stuiver *et. al.*, 1998). 퇴적율(LSR; linear sedimentation rate)은 AMS ^{14}C 연대측정 자료를 이용하여 계산하였다.

연구 결과

퇴적상과 탄성과 층서의 비교

총 31m의 시추 코아에서 최하부에 위치하는 약 7m 이상의 두께를 갖는 음향 기반암 (acoustic

basement)을 제외한 약 24m의 시추 코아는 탄성과 탐사 자료를 기초로 하부층에서 상부층으로 향하면서 Unit III, II, I로 뚜렷하게 구분되며 퇴적물의 암상과 잘 대비된다(한국자원연구소, 1999, 2000). 최하부 음향 기반암 위에 부정합으로 쌓인 탄성과 단위 III(24-15m)는 희미한 평행층리를 포함하는 반투명 또는 투명음향상을 보인다. 퇴적단위 Unit III의 퇴적상은 균질한 사질니, 교호하는 사질니 또는 균일한 점토층의 특징을 보이며, 평균 입도는 5.6-7.3 ϕ 값을 나타내고, 분급도는 2.5-3.5 ϕ 로 매우 불량하다(한국자원연구소, 2000). 탄성과 단위 II(15-14m)는 hummocky 또는 chaotic한 음향상을 보이며, 하부의 Unit III 구간과 뚜렷한 반사면이 보인다. 퇴적단위 Unit II의 암상은 사질(60-70%)이 우세한 층으로 하부와 구분되는 뚜렷한 경계면으로 나타나는 침식면(RS; ravinement surface)이 존재한다. 탄성과 단위 최상부인 Unit I은 뚜렷한 내부구조가 나타나지 않는 투명한 음향상의 특징을 보이며, 균일한 니질 퇴적물로 이루어졌다(Fig. 2).

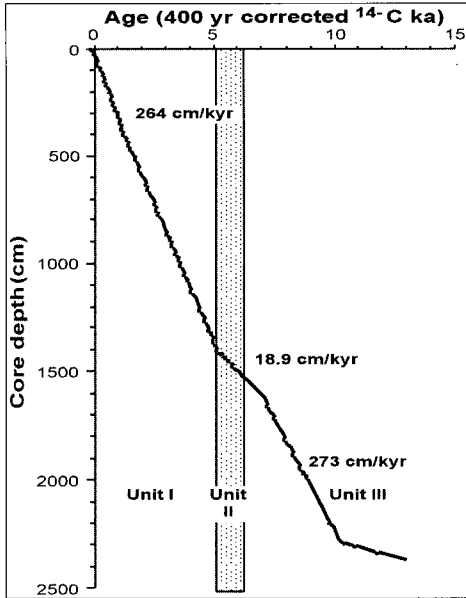


Figure 3. Linear sedimentation rate (LSR, cm/kyr) calculated based on 6 AMS ¹⁴C ages. Reservoir corrected ¹⁴C ages of 400 years after Stuiver et al.(1998).

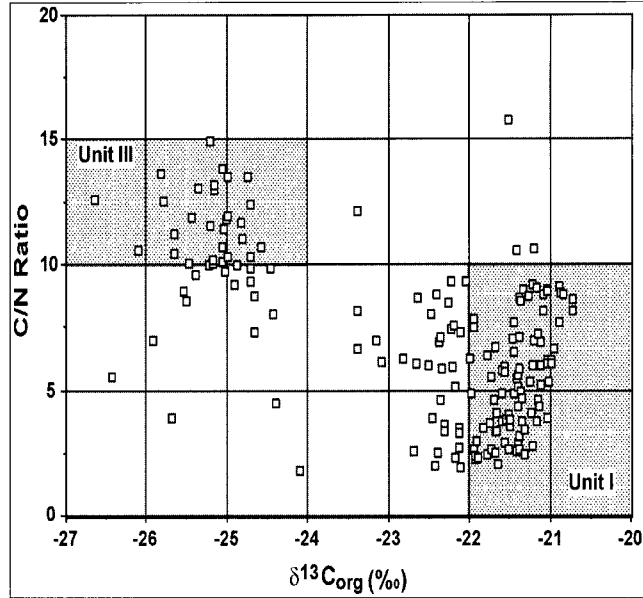


Figure 4. Comparison of C/N ratios of bulk sediment with $\delta^{13}C_{org}$ (‰) values. Stippled area, referred as to Unit I, marks relatively dominant marine organic matter, whereas Unit III is characterized by terrestrial organic matter.

유기 지화학 분석

각 Unit에서 탄산염 함량은 0에서 20% 범위에서 뚜렷한 변화를 보인다(Fig. 2). Unit III의 탄산염은 5% 이하로 낮은 값을 보이며, Unit II의 경계에서 급격히 증가한다. Unit II의 하부에서 탄산염 값이 10%에서 Unit I의 경계에서는 20% 정도로 증가한다. 탄산염 함량이 15%의 값을 보이는 Unit I의 하부에서부터 표층으로 향하면서 5% 이하로 점차 감소하는 경향을 보인다. 유기탄소 함량은 시추 퇴적물을 구성하는 압상의 특징에 따라 뚜렷한 값의 차이를 보이며, 각 Unit마다 0에서 1.5%의 범위에서 변화한다(Fig. 2). 균일한 사질니 층으로 이루어진 Unit III에서 유기탄소의 함량은 0에서 1.2%의 범위에서 변화하며, 사질이 우세한 Unit II에서는 0.5% 이하의 낮은 값을 보인다. 균일한 니질 층으로 이루어진 Unit I의 유기탄소 함량은 비교적 높은

1.0에서 1.5% 값을 나타낸다. C/N 비는 Unit III에서 10 이상의 값을 나타내며, Unit II에서는 5 정도의 낮은 값을 보이는 반면 Unit I에서 C/N 비는 10 이하의 값을 나타낸다(Fig. 2). HI(hydrogen index; mgHC/gC) 값은 350cm 부근에 나타나는 최대 값(200-300 mgHC/gC) 이외는 대체적으로 100 mgHC/gC 이하의 값을 보인다(Fig. 2). 그러나 Unit I의 하부 층과 최상부 층에서 100 mgHC/gC 이상의 값을 보인다. 특히 van Krevelen diagram (HI vs. OI type diagram)에서 보는 바와 같이 퇴적물에 쌓인 유기물은 대부분 Type III에 속한다(Fig. 5). HI(mgHC/gC) 값은 각 구간에서 다소 변화를 보이지만, 전 구간에서 100 mgHC/gC 이하의 값을 보이는 것으로 보아 대부분 육성기원의 퇴적물들이 우세하게 퇴적되었음을 지시한다(Tissot and Welte, 1984). 유기물의 탄소동위원소(¹³C_{org}) 비는 -27에서 -20.5‰의 범위에서 변화한다. 특히 Unit III에서는 -24‰ 이하의 매우 가

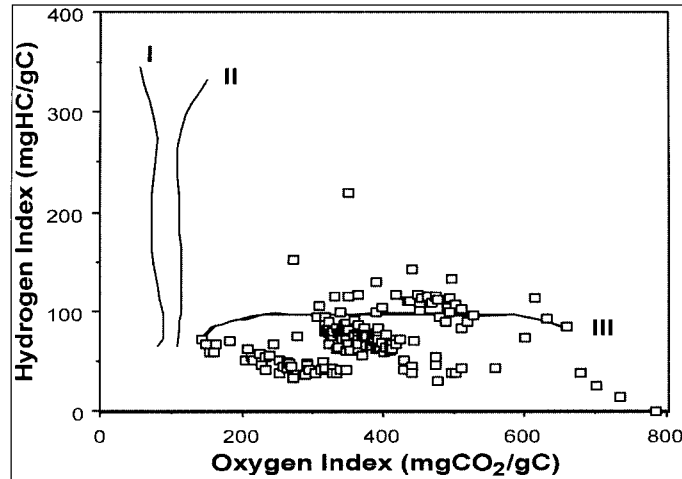


Figure 5. Results of Rock-Eval pyrolysis on core SSDP-102. HI (mgHC/gC) and OI (mgCO₂/gC) values are plotted in a van Krevelen diagram which is used to distinguish between the various types of (immature) organic matter. Type 1 indicates marine, type II mixed, type III terrigenous organic matter.

벼운 값을 보이며, Unit II에서는 -24.5에서 -21%로 증가하며 Unit I에서는 -23에서 -20.5%로 무거운 값을 갖는다(Fig. 4).

높은 퇴적율을 보이는 반면, Unit II의 퇴적율은 18.9 cm/kyr로 급격히 감소한다(Fig. 3).

AMS ¹⁴C 연대측정 자료 및 퇴적율

코아 SSDP-102에서 분석한 AMS ¹⁴C 연대측정 결과에 의하면 코아 하부 23.1m의 연대는 11.1 ka BP이며, 음향 기반암 위에 놓인 Unit III의 하부는 약 12.1 ka BP 이후부터 퇴적된 것으로 추정된다. Unit II의 14.56m 깊이에서 얻은 연대(약 8.0 ka BP)는 Unit III 상부(16.23m)에서 얻은 연대(약 7.2 ka BP)보다 약 800년 오랜 된 값을 보이는 것을 제외하면 퇴적물은 교란 없이 퇴적된 것으로 보인다(Fig. 2). Unit II와 I의 경계(14.05m)의 연대는 해수면 상승이 둔화되었을 때인 5.3 ka BP로 나타났으며, 상부 0.47m의 연대는 약 280년으로 추정되었다. 대기와 해양 사이에 존재하는 CO₂ reservoir 영향을 보정한(Stuvier *et al.*, 1998) 연대 측정결과를 기초로 각 Unit 구간의 퇴적율을 계산하였다(Fig. 3). Unit III와 I은 각각 273 cm/kyr와 264 cm/kyr의 비교적

토의 및 결론

홀로세 이후 남해 대륙붕 해역에서의 퇴적 및 고환경 변화

AMS ¹⁴C 연대측정 결과에 의하면 대한해협 내대륙붕에서 시추된 코아 SSDP-102에는 마지막 최대 빙하기 이후 전지구적인 해수면 상승에 관련된 기록이 잘 보존되어 있다. 특히 6점의 연대 측정 자료와 탄성과 탐사자료 그리고 시추 퇴적물의 암상에 의하면 연구해역은 3회에 걸쳐 뚜렷한 퇴적환경변화가 있었으며, 이는 홀로세 이후 해수면 상승과 밀접한 관계가 있다(e.g., Yoo and Park, 1997, 2000). Unit III 하부 아래에 퇴적된 음향 기반암에 해당되는 괴상의 자갈층은 고 에너지를 받은 환경에서 퇴적된 것으로 보이며, 이러한 괴상 자갈층은 가덕도 주변에서 시추된 다른 심부코아 하부에서 발견되는 하상기원 퇴적층과 일치한다(Lee and Chung, 2000). 음향 기

반암층 위에 쌓인 균일한 세립 사질 퇴적물로 구성된 Unit III은 12.1 ka BP에서 6.2 ka BP 동안에 퇴적되었으며, 조립질 사질 퇴적물로 이루어진 Unit II는 6.2 ka BP부터 해수면 상승이 둔화되고 현재의 높이에 이른 5.1 ka BP까지 퇴적된 것으로 보인다. 반면 균일한 니질 퇴적층을 이루는 Unit I은 5.1 ka BP 이후 고해수면 환경에서 퇴적되었다.

염하구 퇴적환경(Unit III, 12.1 - 6.2 ka BP)

Unit III의 퇴적층은 마지막 빙하기 이후 전지구적인 해수면 상승이 급격히 일어나면서(Fairbanks, 1989) 대한해협에 해침이 시작되는 시기부터 형성되었다. 층리니 또는 균일한 사질 퇴적상의 특징을 갖는 Unit III은 5% 이하의 매우 낮은 탄산염 함량을 보인다(Fig. 2). 일반적으로 퇴적물의 탄산염 함량은 탄산염 패각을 형성하는 해양생물의 공급에 영향을 받는 동시에 육지에서 유입되는 쇄설성 퇴적물에 의해 희석된다(Gardner, 1975). Unit III가 퇴적될 당시 주변의 낙동강을 통해 운반된 쇄설성 퇴적물의 유입이 증가되어 탄산염이 희석되어 낮은 값을 보인다. 또한 굴 껍질 파편이 높게 포함된 Unit II보다 탄산염 값이 매우 낮은 것은 Unit III가 염분도가 낮은 기수(brackish) 환경에서 형성이 되었음을 지시한다. 이 시기에는 기수 환경에 대표적으로 출현하는 저서성 유공충인 *A. beccarii*, s.l. 종이 우세하게 산출되며, 특히 *A. beccarii*, s.l.의 패각에서 얻은 산소와 탄소 안정동위원소 값도 매우 낮은(가벼운) 값을 보이는데, 이는 퇴적당시 담수의 영향이 지속되었음을 지시한다(Nam *et al.*, 2001). 또한 총 유기탄소 함량은 0.5% 이상의 비교적 높은 값을 보이지만, C/N 비는 10 이상의 값을 나타내는 동시에 HI는 50 mgHC/gC 이하의 낮은 값을 보인다. 이는 유기물이 대부분 육성기원으로 주변 해역의 강, 특히 낙동강을 통해 운반되어 쌓였음을 지시한다. 특히 유기물에서 측정된 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 값이 Unit III에서 -27에서 -24%의 값

을 보이는 것은 Unit III이 퇴적될 당시 급격한 해침이 진행되었지만, 담수의 영향이 매우 강한 전형적인 염하구(estuary) 환경에서 퇴적되었음을 지시한다(Tan *et al.*, 1991)(Fig. 4). 이는 한반도 남동부에 인접한 형산강에서 연일만으로 유입되는 육성기원의 입자성 유기물(POM; particulate organic matter)에서 측정된 $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 값(-26.5에서 -24.2‰)과 양쯔강 영향을 받는 동중국 해역의 퇴적물에서의 $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 분포양상과도 잘 일치한다(Tan *et al.*, 1991; Kang *et al.*, 1999). 더욱이 Unit III이 퇴적된 시기에 산출되는 화분 포자 양상을 살펴보면 이 시기에 담수 조류가 매우 우세하게 출현한다(한국자원연구소, 2000). 이는 Unit III이 퇴적될 당시에는 담수 영향이 큰 염하구 환경에서 형성되었음을 뚜렷하게 뒷받침한다.

해수면 상승의 둔화에 의한 연안 환경(Unit II, 6.2 - 5.1 ka BP)

정밀탄성파(3.5 kHz) 자료에 의하면 Unit III과 II의 경계에 침식면 특성을 갖는 불규칙한 중간 반사면(RS; ravinement surface)이 존재하며, 전반적으로 남해 대륙붕 해역의 결과와 잘 대비된다(Choi *et al.*, 1997; Yoo and Park, 1997, 2000; Lee and Chung, 2000). 약 1m 두께의 박층인 Unit II는 균질니 또는 점이층리의 특징을 보이며 니질을 포함한 사질 퇴적상의 특징을 갖는다. 특히 6.2 ka BP 이후 해수면 상승이 급격히 둔화되면서 표층 퇴적물은 조류와 파도의 영향으로 재동되고 침식을 받아 세립질 입자는 쉽게 씻겨나간다. 따라서 Unit II에서 퇴적물이 급격히 감소한 것은 이 시기에 주로 침식이 일어난 결과로 해석된다. 약 14.56m 깊이에서 얻은 저서성 유공충에서 측정된 연대는 약 8.02 ka BP로 하부 층인 Unit III의 16.23m에서 측정된 연대(7.21 ka BP)보다 오래된 것은 Unit II에 퇴적된 유공충을 포함한 사질 퇴적물이 재동되었음을 의미한다(Fig. 2). 유기물에서 분석된 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 값도 Unit II 초기에는 해양환경이 비교적 우세하

였지만(Nam *et al.*, 2001)(Fig. 4), 세립질 입자와 함께 유기물이 부유되어 씻겨나간 결과 매우 낮은 유기탄소 함량(<0.3%)을 보인다. 이 후 해수면 상승이 더욱 둔화되면서 인접한 낙동강에서 유입되는 담수의 영향은 지속되고, Unit II와 고해수면 경계(Unit I)에서 최대수침면(MFS, maximum flooding surface)이 형성되었다(Yoo and Park, 1997, 2000). 이 시기에는 10이하의 낮은 C/N 비에도 불구하고 HI 값이 100 mgHC/gC 이하의 값을 보이는 것은 육성기원 유기물이 우세하게 퇴적되었음을 지시한다(Fig. 2). 탄산염 함량이 Unit II의 후기에 뚜렷하게 증가하는 것은 염호 환경에서 변성한 굴 껍질과 이매패류의 잔해의 영향에 의한 것을 해석된다.

연안성 해양 환경(Unit I, 5.1 ka BP- 현재)

5.1 ka BP 이후 해수면이 안정된 시기에 퇴적된 Unit I은 균질한 니질 퇴적물로 1% 이상의 비교적 높은 유기탄소 값을 보인다(Fig. 2). C/N ratio는 전 구간에서 10 이하의 값을 보여 해양기원 유기물이 우세하게 퇴적된 것으로 생각되지만, HI 값은 대체로 100 mgHC/gC 이하의 값을 보이기 때문에 육성기원의 유기물이 상당부분 퇴적되어 있음을 의미한다. 일반적으로 유기물 함량이 낮은 퇴적물에서는 무기질소(inorganic nitrogen)가 Illite와 같은 점토 광물의 층간(interlayers)에 암모니아 이온으로 흡착되어 높은 TN 값의 원인이 되어 C/N ratio 값이 실제보다 낮게 나타난다(Mueller, 1977). 따라서 비교적 1% 이상의 높은 유기탄소 함량에도 불구하고 C/N 비가 10 이하의 값을 보이는 것은 대한해협 대륙붕에 퇴적된 니질층에 50% 이상 높게 분포하는 점토광물인 Illite(Park and Han, 1985; Kim and Ha, 2001)에 그 원인이 있는 것으로 해석된다. 특히 HI 값이 100 mgHC/gC 이상 나타나는 Unit I의 초기(5.1 - 3.6 ka BP)는 해수면이 거의 안정되는 시기로 어느 정도 표층생산력에 의한 해양기원 유기물이 부분적으로 쌓인 것으로 생각되지만,

유기물에서 분석한 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 값(-23~-22.5‰)에 의하면 낙동강에서 유입되는 담수의 영향이 미치는 연안환경에서 육성기원 유기물과 혼합되어 퇴적된 것으로 보인다(Nam *et al.*, 2001). 그러나 약 3.6 ka BP 이후 점차 해수면이 현재의 위치에 이르면서 연안환경에서 대마난류의 영향을 받는 외해환경으로 변화한다. 담수의 영향을 받는 불안정한 연안환경에서는 패각류와 굴 껍질 잔해 함량이 증가되기 때문에 높은 탄산염 함량을 나타내지만, 이후 탄산염 함량이 지속적으로 감소하는 것은 퇴적환경이 변화하였음을 의미한다(Fig. 2). 해양환경에서 탄산염이 감소하여 현재 5%의 최소 값을 보이는 것은 연안이나 기수성 환경에서 서식하는 패각이 급격히 감소된 결과이다. 같은 시기에 유기물에서 분석한 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 값이 현재의 외해환경으로 변하면서 점진적으로 무거워(-21.5에서 -20.5‰)진다(Nam *et al.*, 2001)(Fig. 4). 이는 연구해역의 해수면이 현재의 위치에 도달한 이후에 낙동강에서 공급되는 육성기원 유기물의 유입이 점차 감소하는 반면, 대마난류의 영향으로 해양환경이 안정되면서 표층생산력이 증가되어 해양기원의 유기물 퇴적이 증가되었음을 지시한다. 또한 대마난류의 영향으로 수괴에 변화가 일어나고 표층생산력이 증가된 사실은 저서성 유공충에서 분석한 산소탄소 동위원소 값에도 잘 나타난다(Nam *et al.*, submitted). Unit I의 환경이 형성된 5.1 ka BP 이후 약 1.6 ka BP까지 *E. advenum*의 산소와 탄소 동위원소 비 역시 Unit I의 환경이 담수의 영향이 감소된 반면 해양환경이 우세하게 변화하였음을 지시한다(Nam *et al.*, submitted). 또한 1.6 ka BP 이후 대한해협 내대륙붕 해역에 비교적 대마난류의 영향이 증가되어 표층생산력이 증가하며, 이러한 증거는 HI(>100 mgHC/gC) 값이나 유기물에서 분석한 $\delta^{13}\text{C}$ 값에도 잘 나타난다(Fig. 4).

참고 문헌

김길영, 김대철, 박수철, 유동근, 최진혁, 김정창,

1996. 한국 남동해역 사질퇴적물의 물리적 성질. 한국수산학회지, 29: 663-676.
- 한국자원연구소, 1999. 남해 제4기 층서 및 퇴적 환경 연구. '99 기관고유연차보고서.
- 한국자원연구소, 2000. 남해 제4기 지층 및 퇴적 환경 연구. '00 기관고유연차보고서. (KR-00(B)-02.
- Cho, Y.-G., Lee, C.-B. and Choi, M.-S., 1999. Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea. *Marine Geology*, 159: 111-129.
- Choi, J.Y. and Park, Y.A., 1993. Distributions and textural characters of the bottom sediments on the continental shelves, Korea. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 28: 259-271.
- Choi, D.-L., Oh, J.-K., Lee, C.-W. and Woo, H.-J., 1997. High-resolution seismic characteristics of the Holocene mud deposits in the Southeast inner shelf, Korea. *The Journal of the Korean Society of Oceanography [The Sea]*, 2: 8-13.
- Chough, S.K., Lee, H.J. and Han, S.J., 1991. Sedimentation on the southeastern part of the continental shelf off the East coast of Korea. *Continental shelf Research*, 11: 183-195.
- Fairbanks, R.G., 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates in the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342: 637-642.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's Austin, Texas, 170 pp.
- Gardner, J. V., 1975. Late Pleistocene carbonate dissolution cycles in the Eastern Equatorial Atlantic. In: Sliter, W.V., Be, A.W.H. and Berger, W.H. (Eds), *Dissolution of deep-sea carbonates: Cushman Found. Foram. Res., Spec. Pub. no. 13*: 129-141.
- Kang, C.-K., Lee, W.-C., Park, J. I., Choi, W.-J., Kim, Y.S. and Lee, P.-Y., 1999. Isotopic detection of utilization of terrestrial food sources by a brackish water clam *Corbicula japonica* PRIME in an estuarine system of Youngil Bay, Korea. *Proceedings of the Fall Meeting of the Korean Society of Oceanography*, pp. 68.
- Kim, S.-Y. and Ha, J.-S., 2001. Sedimentary facies and environmental changes of the Nakdong River estuary and adjacent coastal area. *J. Korean Fish. Soc.*, 34: 268-278.
- Lee, S.-S. and Park, S.-C., 1985. The distribution of planktonic foraminifera in the bottom sediments of the continental shelf, Korea Strait. *Chungnam Journal of Sciences*, 12: 185-192.
- Lee, H. J., Chough, S. K. and Han, S. J., 1988. Recent sedimentation in the South Sea, Korea. *Proceedings of the First International Conference on Asian Marine Geology Shanghai, China* Ocean Press, Beijing, 397-416.
- Lee, C. S. and Chung, Y. H., 2000. Late Quaternary sedimentation in the Kadeok region, Korea. *Geo-Marine Letters*, 20: 72-79.
- McBride, E. F., 1971. Mathematical treatment of size distribution data. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* (Edited by Carver, R.E.), Wiley-Interscience, 109-127.
- Mueller, P., 1977. C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41: 765-776
- Nam, S.-I., Chang, J. H., Kong, G. S., Kim, S. P., Yoo, D. G., Mackensen, A. and Wand, U., 2001. Paleoenvironmental changes in the Korea Strait during the sea-level rising. 7th International Conference on Paleooceanography (ICP VII), 229 pp.
- Nam, S.-I., Chang, J. H., Kong, G. S., Kim, S. P., Mackensen, A. and Wand, U., 2001. Paleoenvironmental changes in the Korea Strait during the Holocene

- sea-level rise. Submitted to *Marine Geology*.
- Park, B.-K. and Han, S.-J., 1985. The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait. *Sedimentary Geology*, 41: 173-184.
- Park, S.-C. and Yoo, D.-G., 1988. Depositional history of Quaternary sediments on the continental shelf off the southeastern coast of Korea (Korea Strait). *Marine Geology*, 79: 65-75.
- Park, S. C and Chu, K. S., 1991. Dispersal patterns of river-derived fine-grained sediments on the inner shelf of Korea Strait. In : *Oceanography of Asian Marginal Seas* (edited by K. Takano), Elsevier Oceanography Series, 54: 231-240.
- Park, S.-C., Yoo, D.-G., Lee, C.-W. and Lee, E.-I., 2000. Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Marine Letters*, 20: 64-71.
- Park, Y.A., Kim, K.R., Park, S.C. and Bak, S.-Y., 1987. Characteristics of the bottom sediments from the continental shelf of Korea Strait and some geochemical aspects of the shelf fine-grained sediments. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 22: 43-56.
- Posamentier, H. W. and Vail, P. R., 1988. Eustatic control on clastic deposition II - sequence and systems tract models. In: *Sea-Level Changes - An integrated Approach* (edited by Wilus, C.K. and Hasting B.S.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 42: 125-154.
- Stein, R., 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. *Lecture Notes in Earth Sciences* 34, Springer, Heidelberg, 217 pp.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McComac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M., 1988. INTCAL98 Radiocarbon age calibration, 24000-0 cal BP. *INTCAL98: calibration issue. Radiocarbon*, 40: 1041-1083.
- Tan, F. C., Cai, D. L. and Edmond, J. M., 1991. Carbon Isotope Geochemistry of the Changjiang Estuary. *Estuarine, Coastal and Continental Shelf Science*, 32, 395-403.
- Tissot, B. P. and Welte, D. H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Berlin: Springer-Verlag, 699 pp.
- Yoo, D. G. and Park, S. C., 1997. Late Quaternary lowstand wedges on the shelf margin trough region of the Korea Strait. *Sedimentary Geology*, 109: 121-133.
- Yoo, D.-G. and Park, S.-C., 2000. High-resolution seismic study as a tool for sequence stratigraphic evidence of high-frequency sea-level changes: Latest Pleistocene-Holocene example from the Korea Strait. *J. Sedimentary Geology*, 70: 296-309.