

한국 남동해역 홀로세 해침퇴적층의 탄성파층서 및 퇴적역사

유동근^{1*} · 김성필¹ · 이치원¹ · 박수철²

¹한국지질자원연구원 석유해저연구본부, ²충남대학교 해양학과

Seismic Stratigraphy and Depositional History of Holocene Transgressive Deposits in the Southeastern Continental Shelf, Korea

Dong-Geun Yoo^{1*}, Seong-Pil Kim¹, Chi-Won Lee¹ and Soo-Chul Park²

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

²Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Analysis of high-resolution seismic profiles from the southeastern continental shelf of Korea reveals that the Holocene transgressive deposits consist of five sedimentary units characterized by retrograding or backstepping depositional arrangements. Unit I, forming a linear sediment body along the shelf margin, is an ancient beach/shoreface deposit formed during the early stage of transgression. During the transgression, the paleo-channels were backfilled with fluvial or coastal-plain sediments, forming Unit II as an incised-channel fill deposit. The near-surface sediment was reworked and eroded by shoreface erosion, forming a thin lag of sands (Unit III) on the mid-shelf. During the middle stage of the transgression, the shoreline may have stabilized at around 70 - 80 m below the present sea level for some period of time to allow the formation of sand ridge systems (Unit IV). Unit V in the inner shelf was deposited in an estuarine environment during the middle to late stage of transgression. Such transgressive stratigraphic architecture is controlled by a function of lateral changes in the balance among rates of relative sea-level rise, sediment input and marine processes at any given time.

Key words : Holocene sea-level rise, transgressive systems tract, seismic stratigraphy, Korea Strait

한국남동해역에서 취득된 탄성파 탐사자료의 분석에 의하면 연구해역에 분포하는 홀로세 해침퇴적층은 육지쪽으로 향하면서 후퇴퇴적층서를 보여주는 5개의 퇴적단위로 구성 된다. 대륙붕단을 따라 길게 발달하는 퇴적단위 I은 홀로세 해침초기에 연안환경 하에서 형성된 고해빈/연안퇴적층에 해당된다. 해침이 진행되는 동안 고수로는 하성 혹은 연안퇴적물에 의해 충진 되기 시작하였으며 대륙붕을 가로질러 분포하는 퇴적단위 II인 수로충진퇴적층을 형성하였다. 해침이 진행되면서 기존 퇴적층의 침식 및 재동에 의한 박층의 사질퇴적물이 퇴적되었으며 중간대륙붕에 넓게 분포하는 퇴적단위 III를 형성하였다. 해침중기 동안 현해수면수심 70~80 m 수준에서 해수면 상승속도가 둔화 내지 정체되면서 퇴적단위 IV를 구성하는 사퇴퇴적체가 생성되었다. 내대륙붕에 분포하는 퇴적단위 V는 해침 중기 및 후기에 하구환경 하에서 퇴적된 염하구퇴적단위에 해당된다. 상기특징을 갖는 해침퇴적체의 형성은 해침 기간 동안 상대적 해수면 상승 속도, 퇴적물 공급 및 시기에 따른 해양 퇴적기작의 상호 영향에 의해 조절되었다.

주요어 : 홀로세 해수면 상승, 해침계열, 탄성파 층서, 대한해협

1. 서 론

지난 마지막 빙하기가 끝나고 진행된 해수면 상승은 대륙붕에서의 퇴적작용에 가장 큰 영향을 준 요인 중

의 하나로 보고되고 있다(Swift, 1968; Demarest and Craft, 1987; Nummedal and Swift, 1987; Trincardi *et al.*, 1994). 해침이 진행되는 동안 연안환경이 육지 쪽으로 이동함에 따라 연안침식 및 퇴적작용에 의해

*Corresponding author: dgwoo@kigam.re.kr

다양한 형태의 퇴적체가 대륙붕 지역에 발달하게 된다 (Swift, 1968; Trincardi *et al.*, 1994). 이와 같이 해수면 변화와 연계되어 발달하는 퇴적층의 층서 및 퇴적작용의 이해를 위해 고해상 탄성파자료를 이용한 순차층서(sequence stratigraphy)개념의 도입이 필요시 된다 (Vail, 1987; Posamentier *et al.*, 1988; Van Wagoner *et al.*, 1988; Hunt and Tucker, 1992; Catuneanu, 2006). 이러한 순차층서 개념은 Boyd(1989) 등에 의해 천부층서 연구에 처음으로 적용된 이래 최근까지 대륙붕에서의 제4기 층서 연구에 활발하게 적용되고 있다 (Tesson *et al.*, 1990; Diaz and Ercilla, 1993; Ercilla *et al.*, 1994; Saito, 1994; Trincardi *et al.*, 1994; Morton and Suter, 1996; Tortora, 1996; Tesson *et al.*, 2000; Karisiddaiah *et al.*, 2002; Labaune *et al.*, 2005; Lobo *et al.*, 2005; Rabineau *et al.*, 2005; Zecchin *et al.*, 2008).

연구지역은 한반도의 남동쪽에 위치한 대륙붕으로 현재 낙동강 및 섬진강으로부터 다량의 퇴적물이 공급되고 있으며 외해쪽에는 최대수심이 230 m에 달하는 해곡이 위치하고 있다(Fig. 1). 기존 연구에 의하면 지난 후기 제4기 동안 연구지역 대륙붕에서의 퇴적작용은 해수면 변화에 의해 크게 지배되었으며 그 결과 퇴적상과 층서구조 역시 다양하게 발달한 것으로 알려졌다(Park and Choi, 1986; Park and Yoo, 1988;

Min, 1994; Yoo and Park, 1997, Lee and Chung, 2000; KIGAM, 2000). 특히 홀로세 해침동안 해안선이 육지쪽으로 후퇴하면서 해수면 변화의 영향으로 형성된 다양한 형태의 해침 퇴적단위가 분포하는 것으로 보고되고 있다(Yoo *et al.*, 1996; KIGAM, 2000). 이와 같이 형성된 각 퇴적단위는 해침과 연계된 침식 및 퇴적작용에 대한 다양한 정보를 가지고 있으며 이들의 연구를 통하여 후기 제4기 동안의 퇴적작용 및 퇴적역사의 이해가 가능할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 고해상 탄성과 자료 및 퇴적물 주상시료 분석을 통하여 주로 중간대륙붕을 중심으로 분포하는 홀로세 해침퇴적층의 탄성과 특성 및 암상에 대하여 알아보고, 이들의 발달과정을 해수면 변화와 연계하여 규명하고자 한다.

2. 연구지역 개관

우리나라 남동부에 위치하고 있는 연구지역은 폭이 약 60 km정도 되는 좁은 대륙붕이다(Fig. 1). 연구지역은 해저퇴적물 분포 및 해저지형 특성에 따라 3지역으로 대별되는 바, 연안으로부터 수심 80 m까지의 내대륙붕지역, 수심 80 m-120 m 사이의 중간대륙붕 그리고 최대수심 230 m에 달하는 한국해곡이 위치하는 외대륙붕으로 구성된다(Fig. 1; Park and Choi, 1986; Park and Yoo, 1988). 내대륙붕은 주로 현생니질 퇴적물이 분포하며 완만한 경사를 가지고 외해를 향하면서 수심이 점차 증가한다. 대체로 특정 표면구조가 없는 평탄한 해저면의 특성을 보여준다. 퇴적물의 평균 입도는 7-8 ϕ 에 해당되며 암상변화가 없는 균질한 니질로 구성된다. 탄성파자료에 의하면 이러한 니질퇴적물은 연안근처에서 최대 약 30 m 두께에 달하며 외해로 향하면서 두께가 점차 감소하는 췌기형태로 분포하는 것으로 알려졌다(Park and Yoo, 1988). 중간대륙붕은 수심변화가 거의 없는 완만한 경사를 가지며 해저표면에는 모래파(sand wave), 모래구릉(sand ridge) 등이 발달한다. 내대륙붕과는 달리 이 지역에는 사질퇴적물이 주로 분포하며 다량의 역과 패각편을 함유한다. 특히 사질입자 중에는 석영의 함량이 높고 석영입자의 표면에는 산화철에 의해 피복된 특성을 갖는 경우를 흔히 볼 수 있다. 이와 같은 특성은 사질퇴적물이 대기 중에 노출되었음을 시사해주며 이는 외 대륙붕에서 흔히 볼 수 있는 “잔류퇴적물(relict sediment)”로 해석된다(Park and Choi, 1986). 외대륙붕에는 북동-남서 방향으로 발달하는 한국해곡이 위치하고 있다. 최대 수

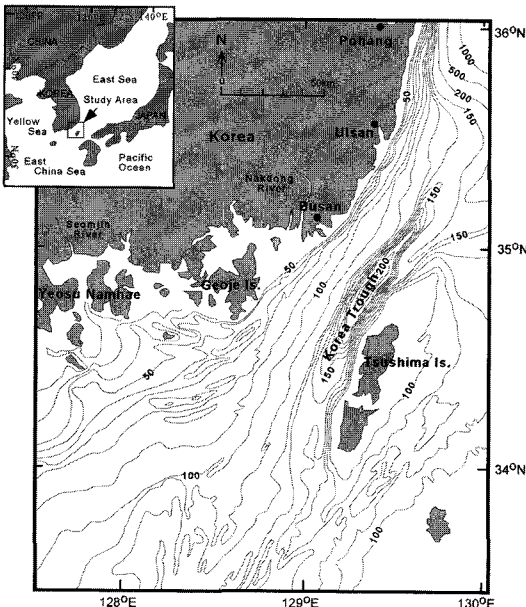


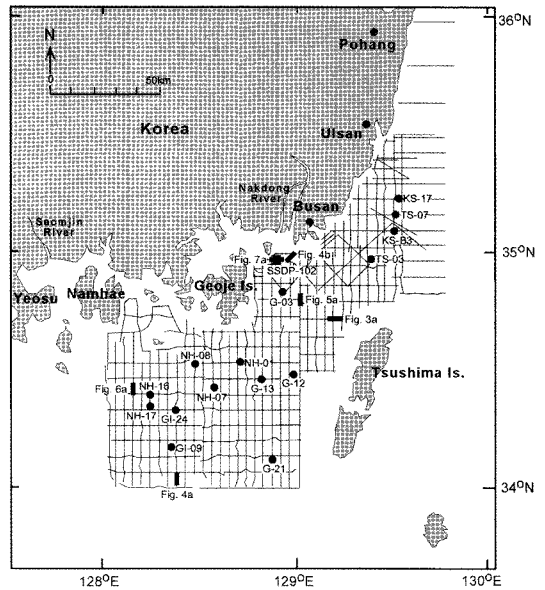
Fig. 1. Detailed bathymetry of the study area (contour intervals, 10 m).

심이 230 m에 달하는 해곡은 쓰시마단층선을 따라 발달한 것으로 보고된 바 있다. 해곡을 중심으로 하는 외대륙붕에는 역을 포함하는 사질퇴적물과 니질 함량이 높은 사질퇴적물이 분포한다. 해곡지역에 분포하는 퇴적물은 중간대륙붕과는 달리 니질 함량이 높으며 해곡 중앙부에는 다량의 패각편을 함유한다.

연구지역의 해황을 보면 쿠로시오의 한 지류인 쓰시마난류의 서측지류인 동한난류가 대한해협을 통과하여 북상하며, 연안역에는 서에서 동쪽으로 흐르는 연안류가 발달한다(Korea Hydrographic Office, 1982). 쓰시마난류의 표층유속은 30-90 cm/sec 정도의 범위를 가지며 높은 수온과 염분의 수괴를 동해로 운반하는 역할을 하고 있다. 연구지역의 조류는 반일주조가 우세하며 북동-남서 방향을 가지고 흐른다. 연구지역의 해안에는 다량의 쇄설성 퇴적물을 유출시켜 남동해역의 퇴적작용에 영향을 미치고 있는 낙동강과 섬진강이 위치하고 있다. 섬진강은 연간 7.2×10^8 톤의 담수와 0.8×10^6 톤에 달하는 부유물을 공급하는 것으로 보고되고 있다(Korea Ministry of Construction, 1978). 낙동강은 유역면적이 23,860 km²에 달하며 연간 담수 유출량은 6.3×10^{10} 톤에 이르며, 그 중 약 60-70% 이상이 홍수기인 7, 8월에 집중된다(Kim *et al.*, 1986). 또한 낙동강에서는 연간 1.0×10^7 톤에 달하는 퇴적물이 연구지역에 유입되고 있으며 이러한 쇄설성 퇴적물 중 조립한 퇴적물의 대부분은 강하구를 중심으로 퇴적되며 다양한 형태의 모래시주를 포함하는 넓은 삼각주를 형성하고 있다(Kim *et al.*, 1986).

3. 재료 및 방법

본 연구를 위해 천부탄성과 자료(스파커, 유니폼, 3.5 KHz)를 활용하였다(Fig. 2). 스파커자료는 전기충격을 주 음원으로 사용하는 seismic system이며, 한국지질자원연구원에 의해 취득되었다. 음파발생장치는 EG&G사의 모델 462-7의 3-electrode sparkarray로서 500-1000 J의 에너지를 사용하였다. 음파를 수신하기 위해 24개의 수신자가 병렬로 연결되어 있는 Benthos사의 MESH 50/24P hydro-streamer를 사용하였으며 선미에서 30 m 후방에 예인하였다. 수신된 음파는 200-1000 Hz의 band-pass filter를 거쳐 EPC사의 모델 3200 기록계를 이용하여 음파탐사자료 단면을 얻었다. 3.5 kHz 지층탐사자료는 미국 O.R.E.사와 Data Sonic의 정밀저층음파 탐사기(Subbottom Profiling System)로서 주파수가 2-7 kHz의 음원을 사용함에 따라 분해



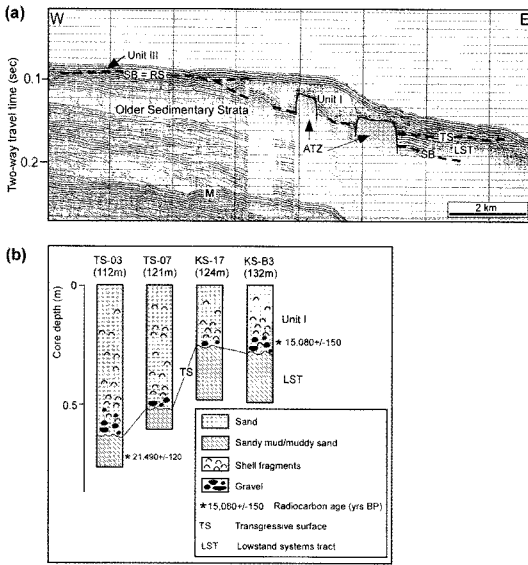


Fig. 3. (a) High-resolution seismic profiles collected from the shelf margin of the study area, showing two sedimentary units (I and II) and (b) cores (for location, see Fig. 2). Core description is based on photographs and X-radiographs with sediment grain size. LST; lowstand systems tract, ATZ; acoustically turbid zone, SB; sequence boundary, TS; transgressive surface, RS; ravinement surface.

위로 세분된다(Figs. 3-7). 현생 퇴적층에 의해 파복되어 있는 퇴적단위 V를 제외 한 각 퇴적단위의 분포도는 Fig. 8과 같다.

4.1. 퇴적단위-I(Ancient Beach/shoreface Deposits)

퇴적단위-I은 수심 120-150 m 사이 해역인 대륙붕 단을 따라 북동-남서방향으로 길게 대상으로 분포하는 것이 특징적이다(Figs. 8 and 9). 이러한 퇴적단위 I은 탄성과 자료(스파커)상에서 특정 내부층리를 보여주지 않는 허모키(hummocky) 혹은 반투명(semi-transparent) 음향상을 가진다(Fig. 3a). 부분적으로는 외해쪽으로 경사진 약한 층리구조를 보여주며, 하부 경계면에서 다운랩핑(downlapping)형태가 나타난다. 외부형태는 외해쪽으로 경사가 가파른 뱅크(bank)형태를 보여준다. 본 퇴적단위는 외해쪽에서는 저해수면계열 퇴적층(lowstand systems tract)의 상부에 놓이는 반면 육지쪽으로 향하면서 고기 퇴적층의 상부에 직접 놓인다(Fig. 3a). 본 퇴적단위는 대부분 해역에서 10-15 m 내외의 두께로 발달하며 일부 지역에서는 최대 25 m 이상에 달한다(Yoo and Park, 1997). 폭은 2-5 km정도가 되며 북동쪽으로 향하면서 퇴적체의 폭과 두께가 점차 감소하

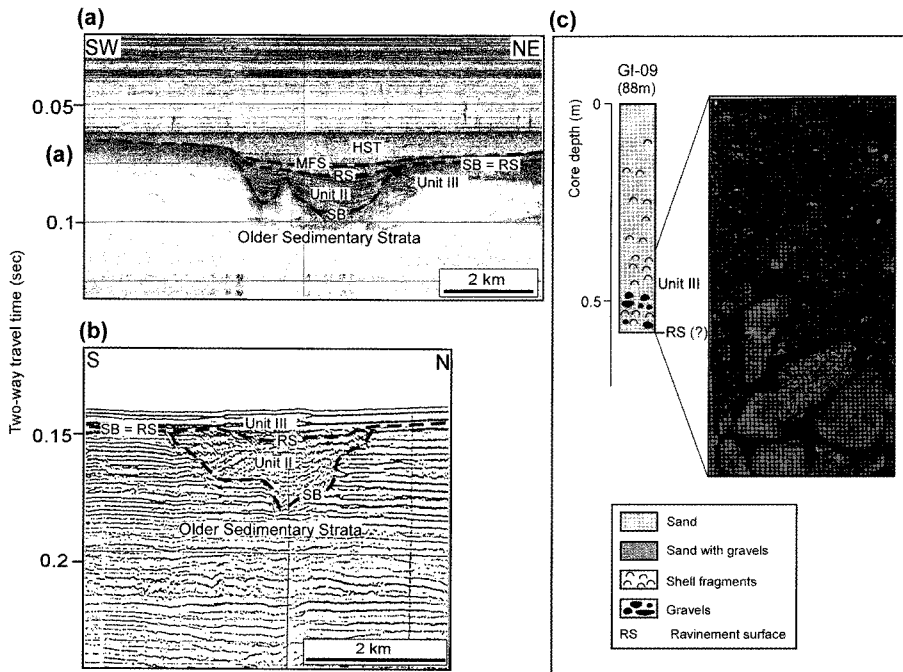


Fig. 4. High-resolution seismic profiles, showing two sedimentary units (II and III) and (c) cores (for location, see Fig. 2). Core description is based on photographs and X-radiographs with sediment grain size. HST; highstand systems tract, SB; sequence boundary, RS; ravinement surface, MFS; maximum flooding surface.

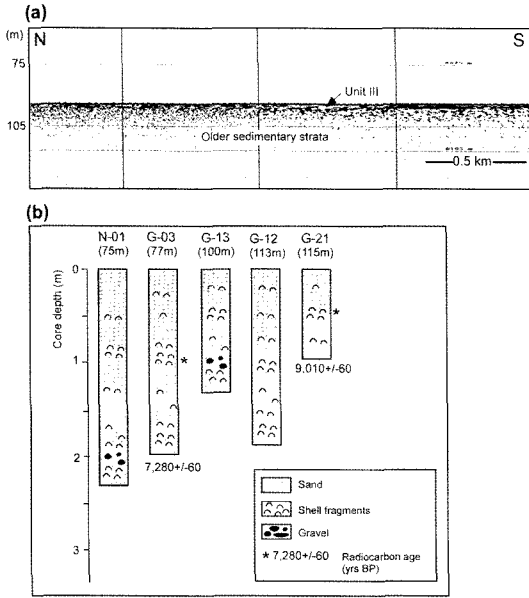


Fig. 5. (a) High-resolution seismic profiles and (b) cores, showing Unit III (for location, see Fig. 2). Core description is based on photographs and X-radiographs with sediment grain size.

는 경향을 보여준다.

퇴적단위 I은 다량의 역과 패각을 함유하는 사질퇴적물로 구성되어 있으며, 하부의 저해수면 퇴적층과 뚜렷한 경계면을 보여준다(Fig. 3b). 퇴적단위 I은 중립내지 조립의 사질로 구성되며 부분적으로 상향 세립화 경향을 보여주는 반면, 하부의 저해수면 퇴적층은 평균입도 4Φ미만의 사질나 혹은 니질사로 구성된다. 퇴적단위 I에 포함된 역은 최대 지름이 5 cm에 달하며 대체로 원마도가 양호하고 검은색 혹은 회색을 띠고 있다. 역의 함량은 10% 내의 정도이며 하부에서는 최대 30% 이상에 달하기도 한다. KS-B3 코어의 패각을 이용한 탄소연대측정에 의하면 15,080 ± 150 yrs BP로 나타났다(Fig. 3b).

4.2. 퇴적단위-II(Incised-channel Fill Deposits)

퇴적단위-II는 하부의 고기퇴적층을 침식시키면서 발달하는 침식수로를 충진 하는 형태로 발달한다. 수로의 횡단면상에서 측방누적(lateral accretion) 또는 수직누적(vertical aggradation) 형태로 수로를 충진 하는 음향상을 보여준다(Fig. 4a and b). 이러한 퇴적단위-II는 침식수로를 따라 제한적으로 분포하며 대부분의 경우 5-10 m의 두께를 가지며 수로 중심부에서는 최대 20 m에 달한다. 이러한 침식수로충진 퇴적단위는 현재의

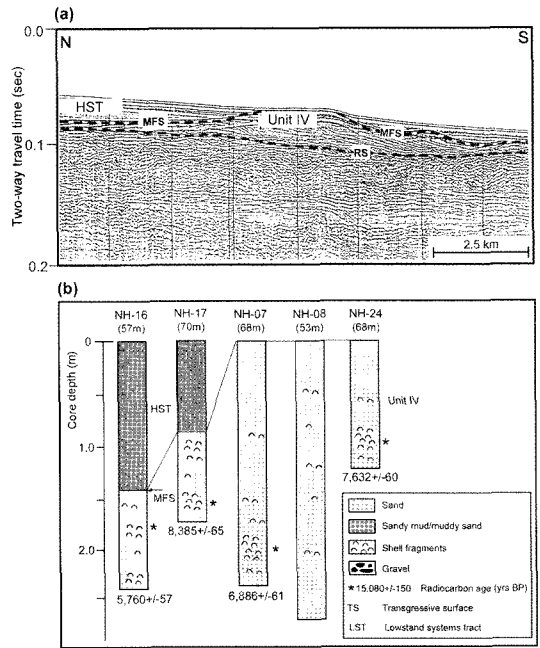


Fig. 6. (a) High-resolution seismic profiles and cores, collected from the mid-shelf of the study area, showing Unit IV (for location, see Fig. 2). Core description is based on photographs and X-radiographs with sediment grain size. HST; highstand systems tract, RS; ravinement surface, MFS; maximum flooding surface.

강 하구로부터 대륙붕단까지 대륙붕을 가로질러 분포한다(Fig. 8). 이와 같은 침식수로는 지난 마지막 빙하기 동안 해수면의 하강으로 대륙붕이 대기 중에 노출됨에 따라 현재의 낙동강 및 섬진강이 대륙붕단까지 연장되어 흐르면서 형성된 것으로 해석된다. 대륙붕단에 이르러 여러 개의 분지형 수로형태를 보여주고 있다(Yoo and Park, 1997).

퇴적단위-II는 코어퇴적물 분석에 의하면 주로 다량의 역과 소량의 니질 퇴적물을 포함하는 조립사 혹은 사질 역 퇴적물로 구성된다(Fig. 4c). 퇴적물중에 포함된 역은 최대함량이 70%이상에 달하기도 하며 최대 크기가 7 cm에 달한다. 또한 대부분의 역은 원마도가 양호하며 검은색 혹은 회색을 띠고 있다. 낙동강 하구 외해역 시추자료에서도 원마도가 양호한 육상 하천기원의 자갈층이 보고된 바 있다(KIGAM, 2000; Lee and Chung, 2000).

4.3. 퇴적단위-III(Transgressive Sand Sheet)

퇴적단위-III은 연구해역 전반에 걸쳐 광범위하게 분포하며 특히 중간대륙붕 지역의 해저 표면에 노출된

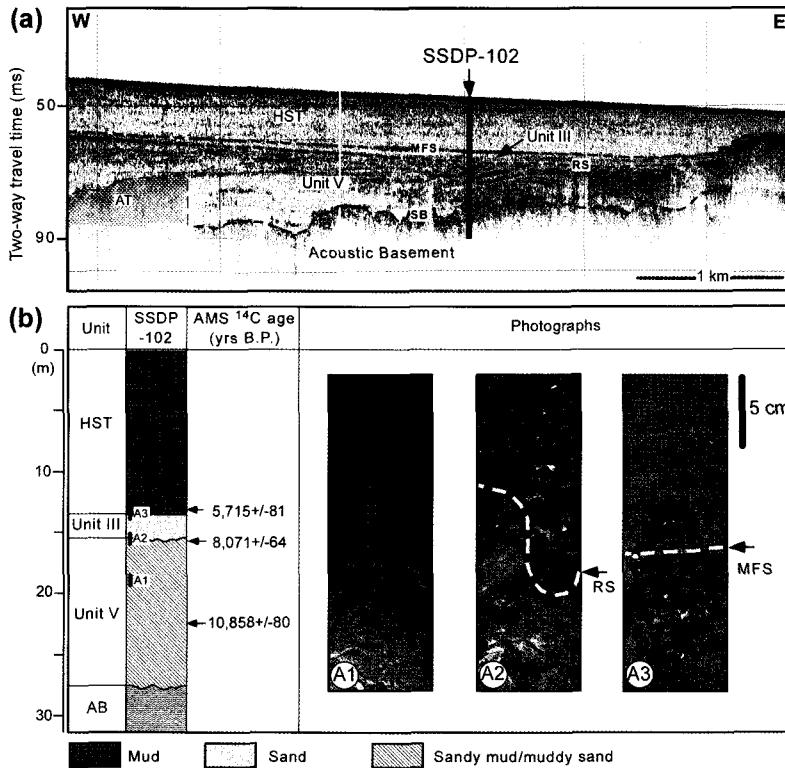


Fig. 7. (a) High-resolution seismic profiles collected from the inner shelf of the study area, showing two sedimentary units (III and V) and (b) core sediments (for location, see Fig. 2). Core description is based on photographs and X-radiographs with sediment grain size. HST; highstand systems tract, RS; ravinement surface, MFS; maximum flooding surface.

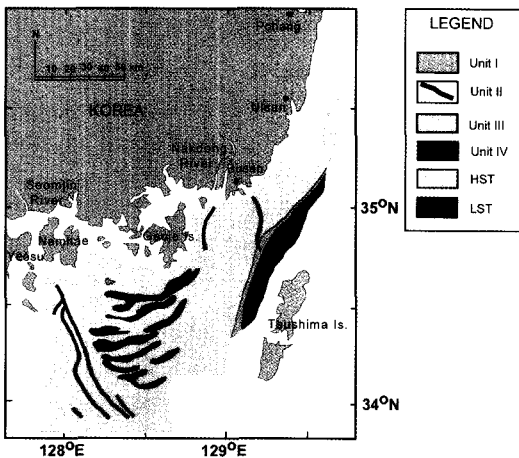


Fig. 8. Distribution of sedimentary units. (modified from Yoo and Park, 2000). Note that Unit V in the inner shelf are completely covered by recent muds (HST). HST; highstand systems tract, LST; lowstand systems tract.

상태로 분포한다(Figs. 8 and 9). 이러한 퇴적단위-III은 중간대륙붕 대부분 해역에서는 시퀀스경계면 상부

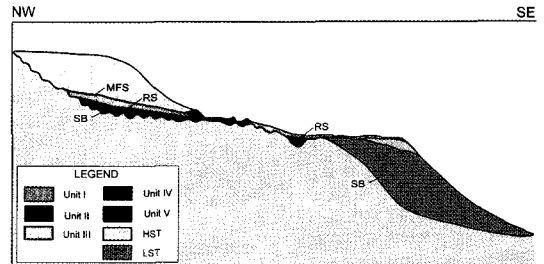


Fig. 9. Schematic diagram showing five sedimentary units.

에 직접 놓이지만(Fig. 5a), 내대륙붕 일부 지역에서는 퇴적단위-V의 상부에 위치한다(Fig. 7). 본 퇴적단위는 탄성과 단면(3.5 kHz)상에서 허모키(hummocky), 준평행상(sub-parallel) 또는 평행상(parallel)의 음향상을 보여주거나 부분적으로 반투명(semi-transparent) 음향 특징을 가진다(Figs. 5a and 7a). 퇴적단위-III은 하부 퇴적층을 피복하는 형태(sheet drape)의 특징을 가진다. 이 퇴적단위는 대부분 해역에서 수 m 미만의 박층으로 분포한다.

코어퇴적물 시료의 분석 결과에 의하면 퇴적단위-III은 다량의 패각편과 잔자갈을 포함하는 온전한 사질퇴적물로 구성되며(Fig. 5b), 다른 퇴적단위 구성퇴적물에 비해 분급이 양호한 편이다. 퇴적물 중에는 산화철에 의해 피복된 석영입자가 다량 포함되어 있어 과거에 대기 중에 노출되었음을 시사하고 있다. 본 퇴적단위에서 채취된 코어시료 중의 패각에 의한 탄소연대는 7,280 \pm 60, 9,010 \pm 60 yrs BP로 나타났으며, 기존 연구에서도 대부분의 경우 12,000~7,000 yrs BP의 범위에 포함되는 것으로 밝혀졌다(Fig. 5b), (Suk, 1989; Min, 1994).

4.4. 퇴적단위-IV(Transgressive Sand Ridge)

퇴적단위-III이 넓은 지역에 광범위하게 분포하는 반면, 본 퇴적단위는 연구 해역중 남해도 및 거제도 남쪽의 중간대륙붕에 제한적으로 분포 한다(Fig. 8). 탄성과 단면(스커퍼)상에서 퇴적단위-IV는 전반적으로 외해를 향하면서 전진구축 하는 형태의 내부구조를 가지며 부분적으로 허모기 혹은 캐오틱 음향특성을 보여 준다(Fig. 6a). 외부형태는 외해 쪽으로 경사진 뱅크(bank) 형태로 발달해 있다. 이러한 퇴적단위-IV는 사퇴의 정상부(crest)에서 최대 약 20 m의 두께를 가지며 곡(trough)으로 향하면서 두께가 감소하는 경향을 보여준다. 중간대륙붕에서 해저면에 노출된 상태로 분포하는 본 퇴적단위는 내대륙붕으로 향하면서 현생 고해수면 퇴적물에 의해 피복된 상태로 존재한다(Fig. 6a).

코어퇴적물 분석에 의하면 퇴적단위-IV는 주로 사질퇴적물로 구성되며 수직적인 암상변화가 거의 없다(Fig. 6b). 분급도는 대체로 양호하며 다량의 패각편과 부분적으로 잔자갈을 함유하고 있다. 대체로 퇴적단위의 정상부에서는 사질함량이 90% 이상에 달하는 분급이 양호한 사질입자로 구성되는 반면 곡 부근으로 향하면서 사질 함량이 증가하고 분급도가 불량해지는 경향을 보여준다. 본 퇴적단위에서 채취된 코어시료중의 패각에 의한 탄소연대측정에 의하면 각각 8,358 \pm 65, 6,886 \pm 61, 7,632 \pm 60, 5,760 \pm 57 yrs BP로 측정되었다(Fig. 6b).

4.5. 퇴적단위-V(Transgressive Estuarine Deposits)

퇴적단위-V는 불규칙한 기복을 갖는 음향기반 상부에 직접 놓이며 하부 퇴적층이 심하게 침식된 지역에서 두껍게 분포한다(Fig. 7a). 이러한 퇴적단위-V는 주로 거제도과 낙동강 하구역 사이의 내대륙붕과 섬진강과 연계되는 여수해만 외해쪽의 내대륙붕에 제한적으

로 분포하며 현생 퇴적층 및 퇴적단위-III에 의해 피복된 상태로 존재한다. 탄성과 자료(3.5 kHz)상에서 보면 특정한 내부 층리구조를 보여주지 않는 투명상(transparent) 혹은 반투명상(semi-transparent)의 음향 특성을 보여준다. 퇴적단위의 기저부에는 부분적으로 약한 평행층리(weakly stratified)가 발달하기도 한다(Fig. 7a). 간혹 층 내에는 하부 퇴적단위의 내부구조를 가리는 음향흔탁층이 나타나기도 한다. 이러한 음향흔탁층은 기존의 연구(Min, 1994)에 의하면 퇴적층 중에 가스가 존재함에 따라 음파 에너지가 산란 혹은 흡수되어 나타나는 것으로 알려지고 있다. 퇴적단위의 외부형태는 불규칙한 층 경계면의 침식에 의해 형성된 소규모의 분지 혹은 반폐쇄된 형태의 지형을 채워주는 형태를 보여준다. 대부분 해역에서 5-10 m의 두께로 분포하며 거제도 동부해역에서는 최대 약 15 m에 달한다. 여수해만 외해쪽에서는 하부층 경계면의 요철에 의해 층후 두께 변화가 매우 심하다.

낙동강 하구 외해역에서 취득한 시추 코어에 의하면 퇴적단위 V는 갈회색(brownish gray, 5YR 4/1)을 띠는 니질사 혹은 사질니로 구성되며(평균입도 5.6 - 7.3 ϕ) 분급은 2.5 - 3.5 ϕ 로 불량한 것으로 보고된 바 있다(KIGAM, 2000). 니질 함량은 30-90%로 변화폭이 크다. 다양한 퇴적상과 퇴적구조가 나타나는데(Fig. 7b) 특히, 사질니 또는 니질사 퇴적물에서는 렌즈상(lenticular) 엽리, 우상(flaser) 엽리, 파상(wavy) 엽리, 교호엽리 구조가 우세하게 나타나며, 경사엽리 구조와 생흔혈(burrows)이 일부 구간에서 분포한다(Fig. 7b). X-선 사진에서도 이와 같은 다양한 형태의 퇴적구조가 발견된다(KIGAM, 2000). 일부 구간에서는 패각편과 목편, 이토역(mud ball)이 포함 되어있다. 본 퇴적단위의 하부에서 얻어진 AMS ^{14}C 연대측정 결과는 각각 10,858 \pm 80, 8,017 \pm 64 yrs BP로 밝혀졌다(Fig. 7b).

5. 퇴적역사

연구해역은 지난 마지막 빙하기 동안 해수면이 최대 약 120-130 m 이상 하강한 것으로 알려지고 있다(Fig. 10; Suk, 1989; Min, 1994; Park *et al.*, 2000). 지난 15,000 yr BP 전후로 빙하기가 끝나고 해침이 시작되어 지난 약 6,000 yr BP 경까지 해침이 지속되었다. 그러나 해침동안 해수면 상승이 일정 속도로 진행되기보다는 시기에 따라 다른 상승속도를 갖는 것으로 나타났다. 즉, 해침초기에는 일정속도로 상승하였으나 11,000 yr BP를 전후로 상승속도가 둔화 내지는 정체

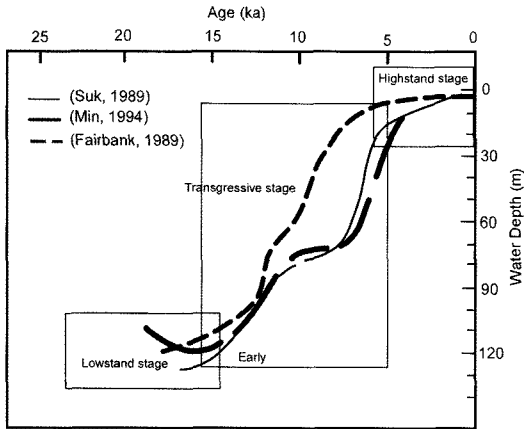


Fig. 10. Comparison of sea-level curve of the study area since the last glacial period indicates a three distinct stages of lowstand, transgression and highstand.

되었으며 지난 약 8,000 yr BP 경부터 빠른 속도로 해침이 진행되어 6,000 yr BP 경에 이르러 거의 현 수준까지 해수면이 상승한 것으로 보고되었다(Fig. 10; Min, 1994; Suk, 1989; Park *et al.*, 2000). 따라서 홀로세 해침과정에서 형성된 각 퇴적단위의 퇴적과정을 해수면 상승과 연계하여 해석하였다.

저해수면 후기 혹은 해침 초기인 15,000 yr BP 경에 연구해역은 해수면이 현재보다 120-130 m 정도 낮았으며 해안선은 현재의 대륙붕단 부근에 위치하고 있었던 것으로 보고되었다(Park and Yoo, 1988; Min, 1994). 결과적으로 일정기간 해빈연계 연안환경이 대륙붕단 주변에 머물러 있었을 것으로 해석된다(Yoo and Park, 2000). 이러한 조건하에서 층서적으로 하위에 위치하는 퇴적단위-I이 형성된 것으로 해석된다. Fig. 8에서 볼 수 있는 것처럼 본 퇴적단위가 수심 120-150 m 사이인 대륙붕단을 따라 길게 대상으로 발달해 있는 사실이 이러한 해석을 뒷받침 해주고 있다. 또한 코아 시료의 분석 결과에 의하면 주로 역과 패각을 다량 함유하는 사질퇴적물로 구성 되어있으며 일부 탄소동위원소 분석 결과에서도 15,000년 전후의 시기를 보여준다(Park and Yoo, 1992; Min, 1994; Yoo and Park, 1997). 따라서 대륙붕단에 제한적으로 분포하는 퇴적단위 I은 지난 마지막 빙하기 후기 및 홀로세 해침초기 동안 고해안선과 연계되어 형성된 고해빈/연안퇴적단위(ancient beach/shoreface deposits)인 것으로 해석된다. 이와 유사한 형태의 퇴적단위는 이미 다른 지역에서도 보고 된 바 있다(Tesson *et al.*, 1990; Trincardi *et al.*, 1994; Totoro, 1996).

지난 마지막 빙하기 동안 연구지역에는 낙동강 및 섬진강과 연계된 고수로(paleo-channel)가 대륙붕을 가로 질러 발달하였다(Fig. 8). 마지막 빙하기가 끝나고 해침이 진행되면서 해안선이 육지쪽으로 이동하게 되고 저해수면 기간 동안 형성된 고수를 중심으로 해침퇴적물이 채워지기 시작했으며 수로충진퇴적단위(incised channel-fill deposits)로 해석되는 퇴적단위 II가 형성 되었다. 이와 유사한 퇴적단위는 연구지역 주변 해역에서 이미 보고 된 바 있다(Min, 1994; KIGAM, 2000; Yoo and Park, 1997). 이러한 수로충진퇴적체는 대륙붕단으로부터 현재의 낙동강 및 섬진강 하구쪽으로 분포하고 있다(Fig. 8). 연구해역의 중간 대륙붕은 수심변화가 거의 없는 완만한 경사를 가지고 있다. 따라서 해침이 진행 되는 동안 해안선의 후퇴 속도가 매우 빨랐을 것으로 추정된다(Park *et al.*, 2000). 즉, 수평적 퇴적가능공간(lateral accommodation)의 증가속도가 퇴적물 공급 속도를 압도하게 되어, 두꺼운 퇴적층의 형성보다는 대부분 지역에서 수 m 미만의 박층이 광역적으로 분포하게 된 것으로 해석된다(Fig. 5a). 결과적으로 중간 대륙붕 넓은 지역에 걸쳐 광범위하게 분포하는 퇴적단위 III이 형성 되었으며 이는 이미 다른 지역에서 보고 된 바 있는 해침사질퇴적체(transgressive sand deposits)로 해석된다(Trincardi *et al.*, 1994; Saito, 1994; Totoro, 1996).

홀로세 해침의 중간시기인 지난 11,000 yr BP를 전후로 해수면 상승속도가 둔화 내지 정체되었으며 이와 같은 조건은 7,000 yr BP까지 지속된 것으로 보고 되고 있다(Fig. 10; Suk, 1989; Min, 1994). 이러한 조건에서 하천을 통하여 유입된 다량의 육성퇴적물은 고수로 및 강어귀를 중심으로 집중적인 퇴적작용이 진행 된 것으로 추정되며 결과적으로 해안선에 평행하게 발달하는 사퇴(sand ridge)형태의 퇴적단위 IV가 퇴적된 것으로 해석된다(Park *et al.*, 2003). 해수면 정체 시기가 끝나고 또다시 해침이 진행 되면서 중간대륙붕에 분포하는 퇴적단위 IV는 해저면에 노출 된 상태로 분포하게 되었으며, 내대륙붕으로 향하면서 현생퇴적물에 의해 피복된 상태로 존재한다(Fig. 6a).

해침 중기에서 후기로 향하면서 해수면이 보다 빠른 속도로 상승하기 시작하였으며 지난 6,000 yr BP 경에 거의 현 수준까지 도달하였다(Fig. 9; Suk, 1989; Min, 1994). 이 시기에 접어들면서 거제도 동부지역과 남해도 부근해역은 하구역 환경 하에 놓이게 된 것으로 해석된다. 결과적으로 퇴적공간은 고하구를 중심으로 우선적으로 형성 되었고 육상으로부터 유입되는 퇴

적물이 하구를 중심으로 집적되기 시작하였으며 퇴적단위 V를 형성하게 되었다. 퇴적단위 V를 구성하는 퇴적물이 염하구 조건하에서 퇴적되었다는 사실은 시추시료의 분석 결과에서도 나타난다. 즉 유공충 분석에 의하면 퇴적단위 V의 경우 저서성 유공충이 거의 나타나지 않으며 *A. beccarii*, *E. advenum* and *Q. seminulum* 과 같은 염하구 서식종의 유공충을 다수 포함하고 있다(KIGAM, 2000; Nam *et al.*, 2003). 또한 $\delta^{13}C_{org}$ 의 분석결과 역시 퇴적단위 V가 담수의 영향을 우세하게 받았음을 시사해주고 있다(KIGAM, 2000). 따라서 이 시기 동안 하천으로부터 유입되는 다량의 퇴적물이 하구환경 내에 퇴적 되었으며 해침하구퇴적체로 해석 되는 퇴적단위 V를 형성한 것으로 해석된다. 홀로세 해침과정에서 형성되는 퇴적단위 V와 유사한 퇴적단위에 대하여는 이미 다른 지역에서도 보고 된 바 있다(Mitchum and Van Wagonor, 1991; Saito, 1994; Trincardi *et al.*, 1994; Tortora, 1996).

6. 결 론

남동해역 대륙붕에 분포하는 홀로세 해침퇴적층은 특성을 달리하는 5개의 퇴적단위로 구성된다. 퇴적단위 I은 대륙붕단을 따라 대상으로 분포하며 역과 패각편을 포함하는 사질퇴적물로 구성된다. 이러한 퇴적단위 I은 마지막 빙하기 후기 및 홀로세 해침초기에 형성된 해빈/연안연계 퇴적상으로 해석된다. 다량의 역을 포함하는 사질 및 니질사로 구성되며 대륙붕단으로부터 현재의 강 어귀쪽으로 대륙붕을 가로질러 분포하는 퇴적단위 II는 해침이 진행되면서 고수로를 따라 수로충진형태로 발달하였다. 넓은 지역에 걸쳐 박층으로 분포하며 주로 패각편을 포함하는 사질퇴적물로 구성되는 퇴적단위 III은 해침과정에서 파랑에 의한 재동 및 걸름작용(winnowing)에 의해 형성된 박층의 해침사질퇴적층(transgressive sand sheet)으로 해석되며 중간대륙붕 해저 면에 노출된 상태로 존재한다. 중간대륙붕에 제한적으로 분포하는 퇴적단위 IV는 홀로세 해침 중 해수면 상승속도의 일시적인 둔화 혹은 정체 기간 동안 형성된 해침사질사퇴(transgressive sand ridge)로 해석되며 주로 분급이 양호한 사질퇴적물로 구성된다. 강어귀의 바깥쪽을 중심으로 내대륙붕에 제한적으로 분포하는 퇴적단위 V는 해침 중기 이후에 주로 하구 환경에서 형성된 하구퇴적단위(estuarine deposits)로 해석된다.

사 사

본 연구는 지식경제부의 연구비 지원(해저지질도 작성)에 의해 수행되었다. 자료 취득에 도움을 준 탐해2호 승조원께 감사드린다. 논문의 심사를 맡아 유익한 조언을 해주신 유인창 교수님, 윤석훈 교수님, 익명의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

- Boyd, R., Suter, J. and Penland, S. (1989) Sequence stratigraphy of the Mississippi delta, Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., v.39, p.331-340.
- Catuneanu, O. (2006) Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, Amsterdam, 375p.
- Demarest, D.J. and Craft, J.C. (1987) Stratigraphic record of Quaternary sea levels: implications for more ancient strata. In: Nummedal, D., Pilkey, O.H., Howard, J.D. (Eds.), Sea-level Fluctuation and Coastal Evolution. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., v.41, p.223-239.
- Diaz, J.I. and Ercilla, G. (1993) Holocene depositional history of the Fluvia-Muga prodelta, northwestern Mediterranean Sea. Marine Geology, v.111, p.83-92.
- Ercilla, G., Alonso, B. and Baraza, J. (1994) post-Calabrian sequence stratigraphy of the northwestern Alboran Sea (southwestern Mediterranean). Marine Geology, v.120, p.249-265.
- Fairbanks, R.G. (1989) A 17000 year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the younger dryas event and deep-ocean circulation. Nature, v.342, p.637-642.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos river bars, a study in the significance of grain size parameters. J. Sedi. Petrol., v.27, p.3-27.
- Hunt, D. and Tucker, M.E. (1992) Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract deposition during base-level fall. Sedimentary Geology, v.81, p.1-9.
- Karisiddaiah, S.M., Veerayya, M. and Vora, K.H. (2002) Seismic and sequence stratigraphy of the central western continental margin of India: late-Quaternary evolution. Marine Geology, v.192, p.335-353.
- Labaune, C., Jouet, G., Berne, S., Gensous, B., Tesson, M. and Delpeint, A. (2005) Seismic stratigraphy of the Deglacial deposits of the Rhone prodelta and of the adjacent shelf. Marine Geology, v.222-223, p.299-311.
- Lee, C.S. and Chung, Y.H. (2000) Late Quaternary sedimentation in the Kadeok region, Korea. Geo-Marine Letters, v.20, p.72-79.
- Lobo, F.J., Fernandez-Salas, L.M., Hernandez-Molina, F.J., Gonzalez, R., Dias, J.M.A., Diaz del Rio, V. and Somoza, L. (2005) Holocene highstand deposits in the Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula: A high-resolution record of hierarchical environmental changes. Marine Geology, v.219, p.109-131.
- Kim, M.S., Chu, K.S. and Kim, O.S. (1986) Investigation of some influence of the Nakdong River water on

- marine environment in the estuarine area using Landsat imagery. Rpt. Korea Ministry Sci. Technology, 93-147p.
- Korea Hydrographic Office (1982) Marine environmental atlas of Korean waters. Korea Hydrogr. Off., Inchon, Korea, 38p.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) (2000) Study on Quaternary Stratigraphy and Environmental Changes. Report of Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Taejon, Korea, 677p.
- Korea Ministry of Construction (1978) Report on the Seomjin River investigation. Tech. Rept., 233p.
- Min, G.H. (1994) Seismic stratigraphy and depositional history of Pliocene- Holocene deposits in the south-eastern shelf, Korean Peninsula. PhD Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea, 196p.
- Mitchum Jr. R.M. and Van Wagoner, J.C. (1991) High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. *Sedi. Geol.*, v.70, p.131-160.
- Morton, R.A. and Suter, J.R. (1996) Sequence stratigraphy and composition of late Quaternary shelf-margin deltas, Northern Gulf of Mexico. *AAPG Bull.*, v.80, p.505-530.
- Nam, S.L., Chang, J.H., Kong, G.S., Kim, S.P. and Yoo, D.G. (2003) Holocene sea-level rise and paleoenvironmental changes in the Korea Strait shelf. *The Korean Journal of Quaternary Research*, v.17, p.7-16.
- Nummedal, D. and Swift, D.J.P. (1987) Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: Some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In: Nummedal, D., Pilkey, O.H., and Howard, J.D., (eds.), *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution*. *SEPM Spec. Publ.*, v.41, p.241-260.
- Park, Y.A. and Choi, J.Y. (1986) Factor analysis of the continental shelf sediments of the southeast coast of Korea and its implication of the depositional environments. *J. Oceanol. Soc. Korea*, v.21, p.34-45.
- Park, S.C., Han, H.S. and Yoo, D.G. (2003) Transgressive sand ridges on the mid-shelf of the southern sea of Korea (Korea Strait): formation and development in high-energy environments. *Marine Geology*, v.193, p.1-18.
- 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*, v.79, p.65-75.
- Park, S.C. and Yoo, D.G. (1992) Deposition of coarse-grained sediments in the Korea Strait during late Pleistocene low sea level. *Geo-Marine Letters*, v.12, p.19-23.
- Park, S.C., Yoo, D.G., Lee, C.W. and Lee, E.L. (2000) Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Mar. Lett.*, v.20, p.64-71.
- Posamentier, H.W., Jervey, M.T. and Vail, P.R. (1988) Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. In Wilgus, C.K., Posamentier, H., Ross, C.A. and Kendall, C.G.St.C. eds., *Sea-Level changes: an integrated approach*. *S.E.P.M. Spec. Pub.*, v.42, p.109-124.
- Rabineau, M., Berne, S., Aslanian, D., Olivet, J., Joseph, P., Guillocheau, F., Bourillet, J., Ledrezen, E. and Granijeon, D. (2005) Sedimentary sequences in the Gulf of Lion: A record of 100,000 years climatic cycles. *Marine and Petroleum Geology*, v.22, p.775-804.
- Saito, Y. (1994) Shelf sequence and characteristic bounding surface in a wave-dominated setting : Latest Pleistocene-Holocene examples from Northsea Japan. *Marine Geology*, v.120, p.105-127
- Suk, B.C. (1989) Quaternary sedimentation processes, structures and sea level changes in the East China Sea, the Yellow Sea and the Korea-Tsushima Strait Regions. PhD Thesis, Univ. Tokyo, Japan. 246p.
- Swift, D.J.P. (1968) Coastal erosion and transgressive stratigraphy. *Journal of Geology*, v.7, p.444-456.
- Tesson, M., Gensous, B., Allen, G.P. and Ravenne, C.H. (1990) Late Quaternary deltaic lowstand wedges on the Rhone Continental Shelf, France. *Marine Geology*, v.91, p.325-332.
- Tesson, M., Posamentier, H.W. and Gensous, B. (2000) Stratigraphic organization of late Pleistocene deposits of the western part of the Golfe du Lion Shelf (Languedoc Shelf), western Mediterranean Sea, using high-resolution seismic and core data. *American Association of Petroleum Geologists*, v.84, p.119-150.
- Tortora, P. (1996) Depositional and erosional coastal processes during the last postglacial sea-level rise: An example from the central Tyrrhenian continental shelf (Italy). *J. Sedi. Res.*, v.66, p.391-405.
- Trincardi, F., Correggiari, A. and Roveri, M. (1994) Late Quaternary transgressive erosion and deposition in morden epicontinental shelf: the Adriatic Semien-closed Basin. *Geo-Mar. Lett.*, v.14, p.41-51.
- Vail, P.R. (1987) Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. *AAPG Stud. Geol.*, v.27, p.1-10.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S. and Hardenbol, J. (1988) An overview of the fundamental of sequence stratigraphy and key definitions. In: C.K. Wilgus and B.S. Hasting (eds.), *Sea-level Changes-An Integrated Approach*. *SEPM Spec. Publ.*, v.42, p.39-46.
- Yoo, D.G., Park, S.C., Shin, W.C. and Kim, W.S. (1996) Near-surface seismic facies at the Korea Strait shelf margin and trough region. *Geo-Marine Letters*, v.16, p.49-56.
- Yoo, D.G. and Park, S.C. (1997) Late Quaternary lowstand wedges on the shelf margin and trough region of the Korea Strait. *Sedimentary Geology*, v.109, p.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 shelf. *Journal of Sedimentary Research*, v.70, p.296-309.
- Zecchin, M., Baradello, L., Brancolini, G., Donda, F., Rizzetto, F. and Tosi, L. (2008) Sequence stratigraphy based on high-resolution seismic profiles in the late Pleistocene and Holocene deposits of the Venice area. *Marine Geology*, v.253, p.185-198.