Article

마산만 퇴적층서 발달 특성

최동림* · 이태희

한국해양연구원 남해연구소
(656-830) 경상남도 거제시 장목면 장목리 391Development of Sedimentary Sequence in the Masan Bay,
South Sea of Korea

Dong-Lim Choi* and Tae-Hee Lee

South Sea Research Institute, KORDI
Geoje 656-830, Korea

Abstract : We studied the bottom morphology and sedimentary environments of the Masan Bay using high-resolution Chirp seismic profiles and sediments data. According to deep-drilled core samples (up to 20 m thick) penetrated into the weathered rock basement, the sediments consist largely of three sediment types: the lower sandy gravel facies (Unit I) of 1-4 m in thickness, the middle sandy mud and/or muddy sand facies (Unit II) of 1-2 m thick and the upper mudfacies (Unit III) of over 10 m in thickness. The sedimentary column above the acoustic basement can be divided into two major sequences by a relatively strong mid-reflector, which show the lower sedimentary sequence (T) with parallel to subparallel internal reflectors and the upper sedimentary sequence (H) with free acoustic patterns. Acoustic basement, the lower sedimentary sequence (T), and the upper sequence (H) are well correlated with poorly sorted massive sandy gravels (Unit I), the sand/mud-mixed sediment (Unit II), and the muddy facies (Unit III), respectively. The acoustic facies and sediment data suggest that the Masan bay is one of the most typical semi-enclosed coastal embayments developed during the Holocene sea-level changes. The area of the Masan Bay reduced from about 19 km² in 1964 to about 13 km² in 2005 by reclamation, and its bottom morphology changed as a result of dredging of about 2×10⁷ m³.

Key words : Masan Bay, deep-drilled core, Chirp seismic data, sedimentary sequence

1. 서 론

마산만을 포함하는 진해만은 한반도 남해안의 리아스식 해안에 발달한 대표적 반 폐쇄형만으로서 지리적으로 북쪽의 육지연안과 남쪽의 거제도과 가덕도 등의 섬으로 둘러 쌓여 있고, 가덕수로를 통해 외해와 연결된다(Fig. 1). 마산만 퇴적층은 유사한 지형적 특성을 가진 남해안의 가막만과 광양만 해역들과 같이 기반암 위로 후기 제4기 동안 형성된 연안퇴적환경에서 형성되었다(최 등 2003;

Kang and Chough 1982; Park *et al.* 1995). 만에 분포하는 빨질 퇴적층은 현재의 해수면에 도달한 후기 홀로세동안 대부분 강으로 부터 공급된 부유퇴적물의 퇴적작용에 의해 형성된 것으로 해석되고 있다(박 등 1984; 최 등 2003). 특히 진해만의 현생 퇴적물은 홍수기동안 대부분 낙동강에서 공급된 부유퇴적물이 조류운동에 의해 가덕수로를 통해 유입된 것으로 보고되고 있다(Park *et al.* 1995).

마산만의 폐쇄적 지형 특성과 주변의 도시와 산업시설로부터의 오폐수 유입은 수질과 퇴적물 오염 및 생태계 변화를 가속화시키고 있다(마산시 1994; 한국해양연구원

*Corresponding author. E-mail : dlchoi@kordi.re.kr

Fig. 1. Map of the study area with bathymetry. Contours are in meter.

1999, 2003). 또한 항만과 공장부지 확보를 위한 해안 매립 그리고 항로개발과 오폐수 처리를 위한 해저토 준설로 인하여 최근 마산만의 해안 및 해저 지형은 급격히 변화하고 있다(마산시 1994). 이러한 측면에서 마산만을 포함한 진해만에 대한 체계적 수질 및 저질 그리고 생태계에 대한 화학적 및 생물학적 연구 조사가 진행되어 왔으나(마산시 1994; 우 등 1999, 2003), 마산만내의 퇴적분지의 형태와 퇴적층 분포양상, 퇴적물 구성, 그리고 퇴적환경 변화 등에 대해 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구의 목적은 반폐쇄 지형 특성을 가진 마산만의 지형과 퇴적환경 발달특성을 분석하는 것이다.

2. 연구해역

남해안 동서쪽에 발달하고 있는 마산만은 진해만내의 북쪽에 위치하는 작은 반폐쇄형 만이다(Fig. 1). 마산만은 강으로부터 직접적인 퇴적물 유입이 없는 반폐쇄된 지형 특성으로 퇴적물의 대부분이 외해로부터 공급되는 것으로 추정된다. 또한 연구해역은 주변에 위치한 산업시설과 도시로부터 유입되는 많은 양의 유·무기 오염물질로 인하여 다른 해역과 비교할 때 심각한 오염이 우려되는 해역이다. 마산만은 남-북 방향으로 약 10 km, 동-서 방향으로

Fig. 2. Map of ship's track for obtaining high-resolution Chirp seismic data. Heavy lines with numbers represent the location of seismic profiles shown in figures. Black dots indicate locations of surface sediment sampling. Insert box represents stations of deep-drilled core.

약 2 km의 좁은 폭으로 발달하고 있으며, 만의 총 면적은 13 km²이다. 만내로 유입되는 주요 하천은 만의 북쪽에 위치한 봉암천과 산호천이며, 이와 함께 소규모 지류 하천들이 존재한다. 연구해역의 해저지형은 소모도 협수로의 최고 32 m 깊이의 해저곡을 경계로 마산만 내만은 수심 약 15 m에서 북쪽 해안을 향해 서서히 얕아지며, 외만은 10-15 m의 수심 분포를 보인다. 마산만의 조석특성은 반일주조이며, 대조차는 약 1.9 m, 소조차는 약 0.7 m, 그리고 평균 조차는 1.2 m이다. 마산만내에서 창조와 낙조류의 최강속도는 모두 15-30 cm/sec이고, 소모도 서측 협수로에서 창조·낙조류는 45 cm/sec의 최강속도를 보인다.

3. 재료 및 방법

마산만 표층퇴적물의 입도 분포특성을 파악하기 위해 그랩 샘플러(grab sampler)를 이용하여 총 51개 정점에서 퇴적물을 채취하였다(Fig. 2). 퇴적물의 입도분석은 퇴적물에 과산화수소와 묽은 염산을 넣어 유기물과 탄산염을

제거한 후 습식체질(wet sieving)를 이용하여 4Φ 이하와 그 이상으로 분리하여 4Φ 보다 조립한 사질 퇴적물은 건식체질 그리고 4Φ 보다 세립한 니질 퇴적물은 자동입도분석기(Sedigraph 5100D)를 이용하여 분석하였다. 진해만에서는 동서 방향을 가로지르는 7개의 심부시추 코아 자료는 현대건설(주)(2001)로부터 획득·분석하였다(Fig. 2). 고해상 탄성과 탐사는 한국해양연구원의 올림픽 5호(16톤)를 이용하여 동-서와 남-북방향의 격자형태로 이루어졌으며, 총 130 km 거리의 자료를 획득하였다(Fig. 2). 고해상 탄성과 자료 획득을 위해 음파의 위상과 진폭이 일정한 비율로 변조된 주파수변조방식의 복합 주파수 2-7 kHz 음원의 Chirp II 시스템을 사용하였다. 음파의 음원은 예인용 센서를 사용하였으며, 자료 획득시 조사선 우측 중간에 해수면하 약 2 m 깊이에서 예인하였다. 음파발신은 초당 4회로 고정하여 지층탐사자료를 획득하였다. 자료획득시 항해속도는 약 5-6노트를 유지하였고, 위치정보는 DGPS 시스템은 이용하였다. 퇴적층 두께는 퇴적층의 음파속도를 1,500 m/s로 환산하여 구하였다.

4. 결 과

퇴적물 특성

연구해역의 마산만의 표층퇴적물은 전반적으로 평균입도 $7.0-8.5\phi$ 사이의 니질 퇴적물이 우세하게 분포한다(Fig. 3). 마산만 내해역의 퇴적물 평균입도는 $7.0-8.5\phi$ 의 범위로

분포한다. 마산만 외해역의 퇴적물은 $7.5-8\phi$ 범위의 세립한 니질 퇴적물이 분포하며, 서모도 서측해역에서는 소량의 자갈을 포함한 빨질 퇴적물이 부분적으로 분포한다. 마산만 내해역에서 동-서 방향으로 가로지르는 7개의 심부시추 코아 퇴적물을 분석한 결과 풍화기반암은 평균해수면 아래 약 33 m 깊이에 발달하고 있으나 전체적으로 동쪽으로 갈수록 약간 깊어지는 비대칭형 분지 형태를 보인다(Fig. 4). 이들 심부시추 코아는 퇴적물의 조직 특성에 따라 하부에서 상부로 갈수록 크게 3개의 퇴적층으로 뚜렷이 구분된다. 최하부 퇴적층(Unit I)은 암회색 또는 암갈색의 모래질 자갈(sandy gravel or gravelly sand)로 구성되며, 1-4 m 범위(평균 약 2.3 m)의 두께로 기반암과 부정합적 경계면을 가지고 발달하고 있다. 퇴적층 Unit I의 상 위에는 암회색의 모래질 니(sandy mud) 또는 모래(sand) 퇴적층(Unit II)이 발달하고 있으며, 퇴적층의 두께는 3 m 이상의 두께를 갖는 서쪽과 동쪽 끝단에 위치한 코아 P3-2와 P5-1을 제외하면 전반적으로 0.4-1.8 m 범위(평균 약 1.1 m)로 얇다. 한편 코아의 최상부 퇴적층(Unit III)은 약 11-15 m 두께로 발달하고 있으며, 암회색의 연약한 니질(mud) 퇴적물로 구성된다.

고해상 탄성과 자료 해석

강한 반사면의 음향특성을 보이는 음향기반암은 마산만 내해역에서 해수면아래 약 20 m 정도의 깊이로 발달해 있으며, 남쪽으로 가면서 서서히 깊어져 소모도 협수로 해역

Fig. 3. Distribution of sediment types (left) and mean grain size (right) at surface sediment. M: mud, (g)M: slightly gravelly mud, gM: gravelly mud.

Fig. 4. Schematic diagram illustrating three sedimentary units in the Masan Bay.

에서 약 36m까지 깊어진다(Fig. 5). 이어서 외해역의 진입지역에서 약 33 m 정도로 얕아진 후 다시 조사지역의 남단에서 최대 약 57 m까지 깊어지는 경사지형이 발달한다. 마산만 내해역은 음향기반암위로 2개의 탄성과 퇴적층 T와 H층으로 구분되며(Fig. 6, 7), 외해역은 T층의

내부 음향반사면 특성에 따라 T-1과 T-2로 세분된다(Fig. 8). 마산만 내해역의 최하위 퇴적층 T는 비교적 연속적인 진폭이 큰 반사층리를 보이며, 약 2-3 m의 두께로 음향기반암위에 얇게 분포한다. 이러한 T층은 마산만 외해역에서는 T-1과 T-2로 세분되며, 하부의 T-1의 탄성과 퇴적상은 무층리 투명(transparent) 음파특성을 보이며 음향기반암과 강한 반사면을 보이는 상부경계면 사이에 분포한다. 상부경계면은 비교적 평탄한 지형과 V자 형태의 움푹 파인 지형을 보이는 불규칙한 지형으로 특징된다. 이 경계면의 깊이는 해저면 아래 30-38 m 사이에서 나타난다. 퇴적층의 두께 분포는 해안에서 분지중심지역으로 가면서 약 10m까지 두꺼워지는 썸기 형태의 외형을 보인다. 탄성과 층서 T-2는 T-1층의 상부 평탄한 지형 위에만 지역적으로 발달하고 있으며, 침식된 저지대에는 분포하지 않는다. T-2층의 내부 탄성과 퇴적상은 약간의 층리와 함께 전체적으로 반투명 반사특성(semi-transparent)을 보인다. 퇴적층 발달은 최대 3 m 두께의 판상으로 발달해 있다. 이 퇴적층서의 분포양상은 마산만 외해역 내에서 북서-남동방향의 장축을 갖는 타원 형태로 나타난다.

Fig. 5. Seismic profile showing two sedimentary units (H and T) in the Masan inner Bay and three sedimentary units (H, T1 and T2) in the Masan outer Bay above acoustic basement (AB). Location of profile is shown in Fig. 2. ATZ: acoustic turbidity zone.

Fig. 6. Seismic profile showing two sedimentary units (H and T) above acoustic basement (AB) and dredged section in the Masan inner Bay. Dashed line is original sea-bottom. Location of profile is shown in Fig. 2.

Fig. 7. Seismic profile showing the acoustic turbidity facies by gases in the sediment. Location of profile is shown in Fig. 2. ATZ: acoustic turbidity zone, AB: acoustic basement.

Fig. 8. Seismic profile showing three sedimentary units (T1, T2, and H) above acoustic basement (AB) in the Masan outer Bay. Location of profile is shown in Fig. 2. ATZ: acoustic turbidity zone.

탄성과 T층 위에 발달하고 있는 최상부 탄성과층서 H층은 마산만과 진해만지역에 동시에 분포한다. 우선 마산만 지역에 발달한 H층의 탄성과 퇴적상은 투명하며, 일부 연속성이 좋은 약한 반사층리가 나타난다(Fig. 5, 6). 이 퇴적층의 분포는 소모도 부근의 골 지역에서 약 5 m 미만으로 얇게 분포하나, 마산만 내해역으로 가면서 10 m 이상으로 점차 두꺼워진다(Fig. 9). 마산만 내해역에서 H층은 전반적으로 10-15 m의 범위로 일정한 두께로 발달하고 있으나, 저도의 북쪽에서 나타나는 이 퇴적층의 상부는 해안을 따라 항로 개발을 위한 준설로 인하여 상당량 침식된 상태이다(Fig. 5, 6). 탄성과 H층에는 강한 반사층리(bright spot), 포물선 형태의 반사음향(hyperbolic echo), 음향 혼탁(acoustic turbid) 상등의 다양한 형태의 음향특성을 보이는 가스층(gas layer)이 발달하고 있다(Fig. 5, 7). 마산만 외해역에서 나타나는 H층은 15-35 m 두께의

범위를 보이며, 소모도 부근에서 5 m 미만으로 얇고 남쪽으로 가면서 두꺼워져 약 30 m에 달한다(Fig. 9). 마산만 외해역에서도 H층의 탄성과 퇴적상은 투명한 퇴적상이 우세하나 연속적인 강한 반사층리와 함께 천부가스층의 존재를 지시하는 음향 혼탁상이 나타난다(Fig. 5, 8).

5. 토 의

마산만 퇴적환경 발달

기존의 연구자료(우 등 1999; 한국해양연구원 1999, 2003)와 본 연구에서 획득된 탄성과 단면자료와 심부시추 코아 퇴적물의 퇴적물 분포특성을 통해 마산만의 퇴적환경을 해석하였다. 마산만 내해역에서 획득된 심부시추 코아 퇴적물은 기반암의 부정합적 경계면위로 모래질 자갈층 Unit I, 니질 모래층 Unit II 그리고 니질층의 Unit III

로 구성된다. 한편 탄성과 단면도는 음향기반암위에 비교적 연속성이 좋은 강한 음향층리의 얇은 하부의 T층서와 투명 퇴적상의 두꺼운 상부의 H층서로 크게 구분된다(Fig. 5, 6). 심부시추 코아 퇴적물 퇴적상과 탄성과 음향특성의 발달양상에 근거할 때, 마산만 퇴적체의 최하위 조립질 퇴적물의 Unit I층은 음향기반암, Unit II층은 탄성과 T층, 그리고 Unit III층은 탄성과 H층과 각각 상호 대비된다. 한편 마산만 외해역에서 구분되는 탄성과 T1과 T2 층은 직접적인 시추퇴적물이 없어 탄성과 음향특성에 의해 해석하였다. 최하위에 발달한 T-1 퇴적층은 Park *et al.* (1995)에 의하여 대기노출 환경하의 조립질 퇴적물로 추정·해석한 탄성과 층서 B와 잘 대비된다. 그러나 이번 연구에 사용된 양질의 고해상 Chirp 탄성과 단면도상에서 분명하게 보여주는 음향 기반암까지 약 10 m 두께의 퇴적층을 쉽게 투과하는 탄성과 에너지 투과력과 투명한 내부 음향퇴적상 등의 탄성과 특성에 근거할 때 T-1층은 균질한 세립질 퇴적물로 해석된다. T-1층을 덮고 있는 얇은 판상의 중간층 T-2층은 탄성과 단면상에서 희미한 평행한 반사층리들이 확인되며, 전체적으로 반투명 퇴적상을 보인다. 이는 세립질의 T-1층보다 조립한 퇴적물로 구성되어 있음을 지시한다. 최상부의 H층은 마산만 내해역의 같은 층서에서 발달한 투명한 내부 반사형태와 외형적 발달특성 등의 음파 퇴적상과 매우 잘 일치함에 따라 뿔질 퇴적층으로 구성된 것으로 판단된다. 한국해양연구원(2003)의 코아자료에서도 해저면하 3.6 m까지 평균 10 μ m의 미세 뿔질 퇴적물이 분포하는 것으로 확인되었다.

마산만 내해역은 기반암위의 모래질 자갈 퇴적물로 구성된 Unit I층이 마지막 빙기의 저해수면 동안 하천환경에서 형성된 후, 점차 해수면 상승에 따라 모래와 니질의 혼합 퇴적물층(Unit II)인 T층서가 조간대(조하대 또는 조수) 환경하에서 발달한 것으로 해석된다. 마산만 외해역에 발달한 음향기반암위에 분지 중심부를 향해 두꺼워지는 쇄기형 T-1층, 그 위의 얇은 판상의 T-2층, 그리고 상부경계면의 침식지형은 조간대 퇴적환경에서 발달한 해침퇴적체인 조간대층, 사주(sand bar), 그리고 조수로(tidal channel) 등의 환경 요건을 잘 보여주고 있다(Reineck and Singh 1980; Reading 1996). 이러한 유사한 층서가 서해안 곰소만의 홀로세 해침 조간대 퇴적층서에서 나타나는 바, 연안에서 외해로 향하면서 두꺼워지는 니질 퇴적층과 사주 그리고 조수로가 잘 발달해 있다(Kim *et al.* 1999; Chang and Choi 2001). 그러나 본 연구의 T층은 Park *et al.* (1995)이 홀로세 해침 이전에 대기노출 환경하에서 발달한 퇴적층으로 해석한 진해만의 B층과 대비된다. 또한 반폐쇄성 만인 서해안의 건흥만(Park *et al.* 1991)와 남해안 가막양만(Kang and Chough 1982)의 퇴적층서에서도 중간 반사면의 불규칙지형은 조간대 수로 또한 하천구조로

해석하였고, 하부 퇴적층은 홀로세 이전의 대기노출 환경하에서 형성된 조간대 퇴적층서로 해석되었다. 만약 이들 퇴적층이 대기에 노출되었다면 Fig. 5에서와 같이 잘 보존된 퇴적층서와는 다르게 심하게 변형된 침식구조가 발달했을 것으로 되었을 것으로 사료된다. 더욱이 대기 노출 환경하에서 형성된 후 해침 이후 상부퇴적층에 덮였다면, 딱딱하게 반고화되어 고해상 Chirp 탄성과 음파에너지가 기반암까지 투과가 어려웠을 것으로 추정된다. 이러한 결과에 근거할 때 연구 지역에 발달한 T, T-1, T-2 층서는 홀로세 해침과정에서 형성된 조간대 퇴적층으로 해석된다.

마산만에 발달한 니질의 최상부 H층은 전체적으로 하부 퇴적층위에 누적퇴적양상(aggradation)을 보인다(Fig. 5). 그러나 소모도 부근의 협수로 해역에 발달한 함몰지형의 해저 골은 강한 조류에 의한 침식작용에 의해 형성된 것으로 판단된다. 서해와 남해안에 발달한 만의 입구에 발달한 협수로에서도 유사한 함몰구조들이 확인된다(Kang and Chough 1982; Park *et al.* 1991). 연구지역의 니질의 H층은 Park *et al.*(1995)의 투명 퇴적상의 A층과 대비되며, 낙동강에서 공급된 부유퇴적물이 현재의 위치에 해수면이 도달하였던 약 5,000년 전부터 퇴적된 후기 현세 고해수면 퇴적층으로 해석된다.

Fig. 9. Distribution map of total thickness of unit H. Contour intervals are 5 m.

Fig. 10. Seismic profile showing dredged area. Dashed line is original sea-bottom. Location of profile is shown in Fig. 2. ATZ: acoustic turbidity zone, AB: acoustic basement.

Fig. 11. Distribution map of dredging thickness in the dredged area. Contours are in meter.

지형변화

후기 현세 H층은 산업지 개발과 항로 개발을 위해 매립과 준설로 인해 부분적으로 심하게 교란을 받고 있다(Fig. 6, 10). 준설지역은 선박 항해의 안전수심 확보를 위해 주로 마산만 안쪽의 봉암천 하구역과 항만 부두 해역에서 분포한다(Fig. 11). 또한 퇴적물의 중금속 오염에 따라 환경 정화를 위해 오염 해저토의 준설공사도 있었다(마산시 1994). 마산만 항계 지역은 산업단지과 항만부두확보를 위한 해안 매립으로 1964년에 약 19.52 km²에서 2005년 현재 12.78 km²로 6.74 km²의 면적이 줄어들어 그동안 34% 감소하였다. 그리고 준설지역에 대해 탄성과 단면상에서 보여주는 현재의 지형과 준설전의 지형을 추정하여 그동안의 퇴적물 준설지역과 준설량을 계산하였다. 준설에 의해 퇴적층이 제거된 면적은 7.5 km²이고, 평균 준설 깊이

는 2.8 m로서 총 준설량은 2.1×10^7 m³로 계산되었다. 마산만 항계내에 쌓인 H층의 총 부피는 약 1.7×10^8 m³으로서, 준설로 인해 약 12% 퇴적물이 인위적으로 감소되었다.

6. 결 론

마산만에 분포하는 표층 퇴적물은 대략 7에서 8.5 ϕ 범위의 평균입도를 갖는 펄질이다. 마산만 내해역의 퇴적층은 기반암위에 평균 약 2.3 m 두께의 모래질 자갈(sandy gravel)층(I), 1.1 m의 모래와 펄 혼합층(II), 그리고 약 13.6 m의 펄질층(III)이 나타난다. 마산만의 탄성과 퇴적층서는 모래질 자갈층(I)을 포함하는 음향기반암위에 모래와 펄질(II)의 T과 펄질(III)의 H층서가 발달해 있다. T층서는 강한 반사층리의 음향특성을 보이며 약 2 m 정도의 두께로 분포한다. H층서는 투명 퇴적상을 보이며 평균 약 10-15 m 범위의 두께로 발달해 있다. 그리고 마산만 외해역층서는 음향기반암위에 T-1, T-2, 그리고 H층서가 차례로 분포한다. 하부 퇴적층서 T-1의 탄성과 퇴적상은 투명 음향특성의 최대 10 m 두께로 발달하며 불규칙한 침식지형의 상부경계면이 나타난다. 중간 퇴적층서 T-2는 희미한 평행 반사층리와 함께 전체적으로 반투명 반사특성을 보이며 3 m 두께의 판상으로 분포한다. 상부 퇴적층서 H는 마산만 내해역과 같이 투명 퇴적상이 나타나며, 최대 35 m의 퇴적층이 분포한다. 연구지역 퇴적환경 발달 특성은 마산만 하부층의 최빙기 저해수준동안 하천 퇴적환경에서 해수면 상승 동안 조간대 퇴적환경 그리고 현재의 고수해준동안 형성된 만 퇴적환경으로 해석된다. 마산만의 고수해준 펄질 퇴적체는 내만지역에 주로 집중적으로 준설되어 심한 변형을 받고 있다. 준설면적은 약 7.5 km², 평균 준설 깊이는 2.8 m, 그리고 총 준설량은 2×10^7 m³로 계산되었다. 또한 마산만 항계지역내의 해안매립은 1964년의 약 19.52 km²에서 2005년 12.78 km²로 6.74

km²의 면적이 줄었다.

사 사

본 연구는 2006년도 “남해특별관리해역의 환경위해성 평가연구 (I)마산연안 중심연구(BSPE97104-1868-3)”와 2007년도 한국해양연구원 정책사업 “연안해역 건강도 평가 기술 개발을 위한 예비연구(PE97904)” 사업의 지원을 받아 수행된 연구이다. 본 논문을 검토해 주신 심사위원님들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- 마산시. 1994. 마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링 보고서. 264 p.
- 박용안, 이창복, 최진혁. 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. *한국해양학회지*, 19, 82-88.
- 우한준, 김효영, 정갑식, 천종화, 김성은, 추용식. 1999. 마산만 퇴적환경 오염에 따른 저서성 유공충분포 변화. *한국해양학회지 「바다」*, 4, 144-154.
- 우한준, 조진형, 정갑식, 정창수, 권수재, 박성민. 2003. 중금속 원소와 유공충을 이용한 마산만 퇴적물의 오염역사에 관한 연구. *한국지구과학회지*, 24(7), 635-649.
- 최동림, 현상민, 이태희. 2003. 한반도 남해안 광양만의 최근 지형변화 및 후기 제4기 퇴적 층서 발달. *한국해양학회지 「바다」*, 8(1), 35-43.
- 한국해양연구원. 1999. 진해 마산만 수질환경 관리모텔 개발(II). BSPE98703-01-1147-2. 395 p.
- 한국해양연구원. 2003. 연안역에서의 육지와 해양 상호작용 연구 (I)남해 동부연안역의 영양 물질 유입과 생물 생산력 개발 환경조성 기반기술. BSPE827-01-1493-4. 505 p.
- 현대건설(주). 2001. 마창대교 가설공사 보고서. 107 p.
- Chang, J.H. and J.Y. Choi. 2001. Tidal flat sequence controlled by Holocene sea-level rise in Gomso Bay, west coast of Korea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 52, 391-399.
- Folk, R.L. 1954. The distribution between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.*, 62, 334-359.
- 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, Y.H., H.J., Lee, S.S., Chun, S.J., Han, and S.K. Chough. 1999. Holocene transgressive stratigraphy of a macrotidal flat in the south-eastern yellow sea: Gomso Bay, Korea. *J. Sed. Res.*, 69, 328-337.
- Park, S.C., K.W. Lee, and Y.I. Song. 1995. Acoustic characters and distribution pattern of modern fine-grained deposits in a tide-dominated coast bay: Jinhae Bay, Southeast Korea. *Geo-Mar. Lett.*, 15, 77-84.
- 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.
- Reading, H.G. 1996. Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy, 3rd ed., Blackwell Science, 688 p.
- Reineck, H.-E. and I.B. Singh. 1980. Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics. Springer-Verlag, 549 p.

Received Nov. 1, 2007

Accepted Dec. 13, 2007