

## 한국 남동해역 내대륙붕 세립퇴적물의 분포 및 퇴적작용

유동근\* · 김길영<sup>1</sup> · 이호영 · 서영교<sup>2</sup> · 박수철<sup>3</sup> · 김대철<sup>2</sup>  
한국지질자원연구원 석유해저연구부, <sup>1</sup>한국해양대학교 해양과학기술연구소  
<sup>2</sup>부경대학교 환경탐사공학과, <sup>3</sup>충남대학교 해양학과

## Sedimentation and Distribution Pattern of the Fine-grained Sediments in the Southeastern Inner Shelf of Korea

Dong Geun YOO\*, Gil Young KIM<sup>1</sup>, Ho Young LEE, Young Kyo SEO<sup>2</sup>,  
Soo Chul PARK<sup>3</sup> and Dae Choul KIM<sup>2</sup>

*Petroleum and Marine Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea*

<sup>1</sup>*Research Institute of Marine Science & Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Environmental Exploration Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

<sup>3</sup>*Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

Sedimentation and depositional pattern of the fine-grained sediments in the southeastern inner shelf of Korea were studied using a very high-resolution seismic profiles and sediment data. The recent mud deposits up to 45 m thick are distributed in the inner shelf forming a nearshore belt from the eastern part of Geoje Island to off the Pohang along the coast. The sediment in this area consists of homogeneous mud with mean grain size between 8.6 to 5.3  $\phi$  and does not show any distinct variability. It gradually becomes finer and well sorted northeastward along the coast. Sediments normally appear as structureless massive mud, but X-radiographs show that some bioturbation and faint lamination are present. The sediments accumulate at a rate of 0.18-0.44 cm/yr and the rate coincides well with the long-term (a 1000-year scale) accumulation based on very high-resolution seismic data. Distribution of wet bulk density and velocity shows a gradual increase from the southeastern part of Ulsan to off Pohang, whereas porosity shows a reverse pattern. Correlations between velocity and porosity/mean grain size are different from other regions compared, due to the difference of sediment texture and sedimentary environment. The recent shelf deposits are seismically characterized by three distinct facies: 1) well-stratified (near the river mouth), 2) semi-transparent (eastern part of Geoje Island), and 3) transparent (off Ulsan). The results suggest that fine-grained sediment derived from rivers, forming a nearshore mud belt, have been transported northeastward by the northeastward-flowing coastal current.

Key words: Sedimentation and depositional pattern, High resolution seismic profile, Physical properties, Southeastern inner shelf of Korea

### 서 론

한국 남동해역은 해수면이 상승한 지난 홀로세 이후 낙동강에 의해 유입되는 다량의 육성퇴적물이 해류 및 조류의 영향을 받으면서 퇴적작용이 활발히 진행되고 있는 지역이다. 그동안 연구지역에서는 퇴적작용 및 퇴적환경의 이해를 위해 많은 연구가 수행되어 왔다 (Jang, 1990; Min, 1994; Choi et al., 1997; Park and Choi, 1986; Park and Chu, 1991; Park et al., 1990, 1999; Yoo and Park, 1997, 2000; Yoo et al., 1996, 2002, 2003). 이들의 연구에 의하면 연구지역에 분포하는 표층 퇴적물은 크게 니질퇴적물과 사질퇴적물로 구분된다. 즉 연안 근처의 내 대륙붕에는 현생 니질퇴적물이 분포하는 반면, 중

간대륙붕 및 외대륙붕에는 잔류퇴적물인 사질이 우세하게 분포하는 것으로 밝혀졌다 (Park and Choi, 1986; Yoo et al., 1996). 외대륙붕의 사질퇴적물은 다량의 역과 폐각을 포함하고 있으며 부분적으로는 수리동력학적인 영향에 의해 끊임없이 재분포되고 있는 것으로 보고된 바 있다 (Park and Choi, 1986). 고해상 탄성파탐사자료의 분석에 의하면 이러한 사질 퇴적물은 대부분 해역에서 수 미터 미만의 박층으로 존재하는 반면 내대륙붕의 니질퇴적물은 주로 낙동강 기원으로 최대 약 45 m 두께에 달하며 외해를 향하면서 감소하는 썩기형태로 분포하는 것으로 보고되었다 (Park et al., 1990). Park and Han (1985)은 점토광물을 이용하여 연구해역에 분포하는 퇴적물의 기원에 대하여 고찰하였고, Park et al. (1987)은 연구해역에 분포하는 표층퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성을 연구하였다. Jang (1990)은 <sup>210</sup>Pb 동위원소를 이용하여

\*Corresponding authors: dgyoo@kigam.re.kr

연구해역에서의 현생퇴적속도를 추정하였다. Park and Chu (1991)는 탄성파자료, 인공위성자료 및 퇴적물 분석자료를 이용하여 연구해역에 분포하는 세립퇴적물의 이동양상 및 세립퇴적물의 수급에 대하여 보고하였다. Kim et al. (1996, 1999)은 연구해역 외대륙붕에 분포하는 사질퇴적물을 대상으로 물리적 성질에 대하여 고찰하였다. 그들의 연구에 의하면 조사지역으로 유입되는 세립퇴적물의 대부분이 조류 및 연안류의 영향으로 진해만 및 연안을 따라 북동방향으로 이동되는 것으로 알려졌다. 이와 같이 기존의 연구 대부분이 낙동강 하구역을 중심으로 하는 거제도 동부 해역을 대상으로 제한적으로 수행되었으며 (Jang, 1990; Park et al., 1990) 현생 퇴적물이 두껍게 발달해 있는 울산-포항 간 내대륙붕에 관한 연구는 미비한 실정이다. 특히 거제도 동부해역으로부터 포항 연안에 이르는 내대륙붕에 걸쳐 대상으로 분포하는 현생퇴적층의 음향특성, 층후분포, 물리적 성질 및 퇴적속도에 관한 연구는 아직 많지 않다 (Choi et al., 1997; Park et al., 1999; Kim et al., 2001). 본 연구는 거제 동부에서 포항해역사이에서 취득된 고해상 탄성파탐사자료와 코어퇴적물의 분석을 통하여 이 지역에 분포하는 세립퇴적층의 분포범위, 음향특성 및 내부구조를 알아보고, 코어퇴적물의 물리적 성질, 퇴적학적 특성 및 퇴적속도 분석을 통하여 현생퇴적작용을 파악하였다.

## 연구 지역

연구지역은 한반도의 남동부에 위치한 거제에서 포항에 이르는 대륙붕지역이다 (Fig. 1). 연구지역의 등심선은 대체로 해안선에 평행한 남-북 혹은 북동-남서 방향으로 발달해 있으며 연구지역의 북쪽해역은 대륙붕의 폭이 20 km 미만으로 매우 좁게 발달하며 급경사의 대륙사면을 지나 울릉분지로 연결된다. 반면 연구 지역의 남쪽으로 향하면서 대륙붕의 폭이 넓어지며 경사 구배도 완만해진다. 연구지역의 남쪽 해안에는 다량의 쇄설성 퇴적물을 공급하여 연구해역의 퇴적작용에 많은 영향을 주고 있는 낙동강이 위치하고 있다. 낙동강은 유역면적이 23,860 km<sup>2</sup>에 달하며 연간 담수유출량은 630억톤에 이르고 그중 약 60-70% 이상이 홍수기인 7, 8월에 집중된다 (Kim et al., 1986). 또한 연간 460만 톤에 달하는 세립퇴적물이 부유상태로 연구지역에 유입되고 있으며 조립퇴적물의 대부분은 강 하구를 중심으로 퇴적되며 다양한 형태의 모래사주를 포함하는 넓은 삼각주를 형성하고 있다 (Kim et al., 1986).

연구해역의 해황특성을 보면 북동 방향의 해류가 우세하다. 연구해역에는 쿠로시오의 지류인 대마난류가 대한해협을 통과하여 동해로 유입된다. 대마난류의 표층유속은 30-90 cm/s 정도의 범위를 가진다 (KHO, 1982). 대한해협을 통과한 대마난류의 서측지류는 동한난류가 되어 연안을 따라 북상하게 된다. 특히 연구해역 중 포항동부 해역에서는 가파른 대륙사면을 따라 상승하는 국지적인 용승류가 발생하는 것으로 알려지고 있으며 영양염이 풍부한 저층수를 표층으로 운반하는 역할을 하고 있다. 연구지역의 조류는 반일주조가 우세하며

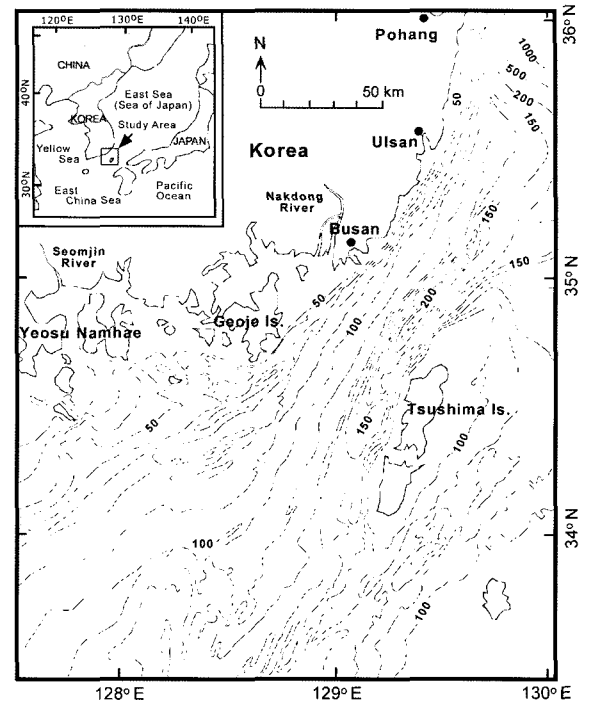


Fig. 1. Detailed bathymetry of the study area. Contours in meters.

북동-남서 방향으로 흐른다 (Shim et al., 1984). 조류의 최대 유속은 90 cm/sec에 달하며 연안류와 함께 내대륙붕에서의 퇴적작용에 중요한 역할을 하고 있다 (Kim et al., 1986; Park and Chu, 1991).

## 재료 및 방법

해저퇴적층의 층후 및 음향특성의 파악을 위해 고해상 천부 탄성파 탐사자료를 활용하였다 (Fig. 2). 탐사에 사용된 기종은 미국 O.R.E.사와 DataSonic의 정밀저층음파탐사기 (Subbottom Profiling System)로서 주파수가 2-7 kHz 의 음원을 사용함에 따라 분해력이 매우 양호하여 연구지역과 같이 현생세립퇴적물이 분포하는 해역의 정밀층서 및 음향특성 연구에 적합하다. 탄성파탐사자료의 분석은 Mitchum et al. (1977)에 의해 제시된 기준에 따랐으며 퇴적층의 두께 계산을 위해 Kim and Suk (1985)에 의해 제시된 음파전달속도인 1,500 m/sec를 적용하여 현생퇴적층의 등층후도를 작성하였다.

탄성파자료와 함께 총 16개의 주상퇴적물 시료가 채취되었다 (Fig. 2). 시료채취를 위한 야외조사는 부경대학교 실습선 부산 403호 및 탐양호를 이용하였다. 코어시료의 퇴적구조를 관찰하기 위하여 연 X-선 사진촬영을 실시하였다. 사용된 기종은 SOFTEX M-1005이며, 가로 5 cm, 세로 20 cm, 높이 1 cm의 퇴적물 슬랩을 만들어 전압 50-60 Kv, 전류 3-4 mA, 노출 시간 40-60초의 조건 하에서 촬영하였다. 촬영 후 20 cm 간격으로 부시료를 채취하여 건식체질과 피펫팅 방법에 의해 입도

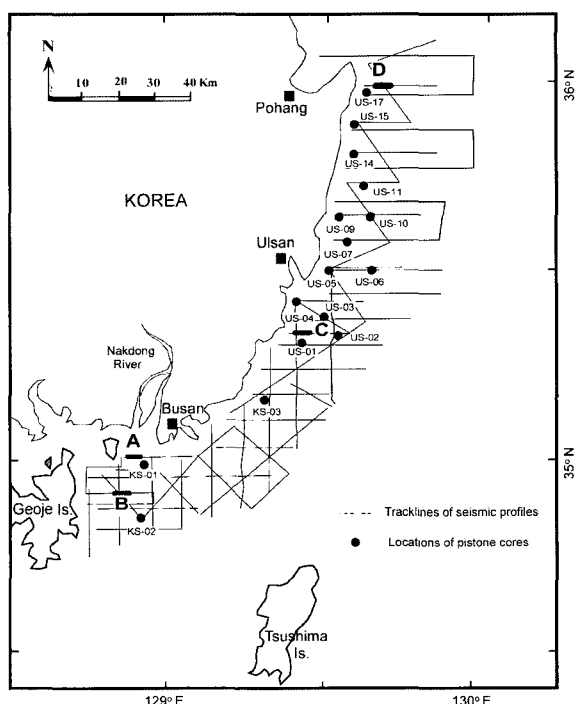


Fig. 2. Core locations and track lines of high-resolution seismic data. Heavy lines denote position of selected profiles shown in Fig. 6.

분석을 실시한 후 Folk and Ward (1957)에 의해 제시된 방법으로 조직표준치를 구하였다. 총 6개의 코어에서 실시된  $^{210}\text{Pb}$  동위원소 분석은 분말화된 시료 2-4 g을 취하여 추적자로서 이미 방사능량을 알고 있는  $^{208}\text{Po}$ 를 첨가한 후, 14 N  $\text{HNO}_3$ , 6 N  $\text{HCl}$ , 0.3 N  $\text{HCl}$ 을 이용하여 퇴적물입자에 흡착되어 있는  $^{210}\text{Po}$ 를 분리시켰다. 원심분리기를 이용하여 퇴적물에서 분리된  $^{210}\text{Po}$ 를 포함하는 상층용액을 분리시켰다. 상층용액에 한쪽 면을 무정전 페인트로 칠한 얇은 은판위에  $^{208}\text{Po}$ 과  $^{210}\text{Po}$ 을 12시간 동안 흡착되도록 하였다. 흡착된 은판은 기초과학연구원 연구소의 알파계측기인 Silicon Surface Barrier를 이용하였다. 습윤전압도 및 공극율과 같은 퇴적물의 물리적 성질은 습윤 및 건조무게, 습윤부피 및 건조부피를 측정하여 계산하였다. 시료의 부피는 자동밀도측정기를 이용하여 측정하였다. 건조무게와 건조부피는 건조기에서 110°C 조건으로 24시간 건조시킨 후 데시케이터에서 4시간 동안 냉각시킨 후 측정하였다. 물리적 성질의 계산은 Boyce (1976)의 방법에 따라 계산하였다. 퇴적물의 음파전달속도는 Birch (1960)에 의해 제안된 방법을 기초로 1 MHz의 압전변환기를 이용하여 측정하였다.

## 결 과

### 퇴적구조 및 암상

연구지역 내대륙붕은 주로 니질퇴적물로 구성되어 있다. Folk and Ward (1957)의 방법에 따라 계산된 조직표준치는 평균입도 6.82-8.48 $\phi$ , 분급도 2.16-3.35 $\phi$ 의 범위에 속한다

(Table 1). 그러나 사질퇴적물 분포해역에서 채취된 US-06 코어의 경우 평균입도 2.60 $\phi$ , 분급도 2.16 $\phi$  값을 갖는다. 대부분의 시료는 니질 함량이 90% 이상을 차지하며, 사질함량은 낙동강 하구역 인접 정점인 KS-01에서 12.64%를 가지는 것을 제외하고는 5% 미만을 보여준다. US-06의 경우는 니질 분포 해역 바깥쪽에서 채취하였으며 사질함량이 90.8%에 달한다. 입도분포에 의하면 대체로 낙동강 하구역으로부터 외해 쪽으로 향하면서 점차 세립화하는 경향을 보이며 울산 앞에서 포항쪽으로 향하면서 세립화한다. 분급도 역시 외해쪽과 북동쪽으로 향하면서 양호해지는 경향을 가진다. 조직분석에 의하면 대부분 코어에서 실트 함량이 40% 이상을 차지한다.

육안관찰 및 연 X-선 사진 그리고 조직표준치의 분석결과에 의하면 코어시료는 수직적인 암상변화를 보이지 않는다 (Fig. 3). 일부 코어에는 소량의 패각편이 코어 진 구간에 걸쳐 분포하나 대부분의 경우 특징적인 퇴적구조를 갖지 않는 균질한 특성을 보여준다 (Fig. 3). 그러나 거제도 동부에서 채취한 코어의 경우 일부 깊이에서 약한 평행엽리가 제한적으로 발견되며, 특히 울산해역에서 채취된 US-05 코어는 일부 구간에서 평행층리의 발달이 양호하며 생물에 의해 형성된 생흔구조가 발견된다 (Fig. 3).

조직분석에 의하면 대부분의 경우 수직변화가 거의 없으며, 평균입도는 US-06을 제외하면 7-8.5 $\phi$  범위에 속한다. 분급도의 경우는 울산해역의 코어시료가 1-2 $\phi$  정도로 수직적인 변화가 없는 반면에 거제도 동부외해역의 KS-01 및 KS-02 코어에서는 1.4 $\phi$  범위로 수직적 변화폭이 크며 분급이 약간 불량함을 보여준다.

### 퇴적속도

전체 코어 중 8개의 시료에 대하여  $^{210}\text{Pb}$  동위원소를 이용한 퇴적속도가 측정되었다. 측정된 과잉  $^{210}\text{Pb}$  방사능량은 깊이에 따라 지수 함수적으로 감소하게 되고, 이때의 1차 회귀직선의 기울기는 퇴적속도와 입자 혼합정도에 따라 달라지게 된다. 따라서 입자혼합이 없다고 가정하게 되면 기울기로부터 퇴적속도를 구할 수 있으며 이 퇴적속도는 실제 퇴적속도 보다 과추정된 겉보기 퇴적속도 (apparent accumulation rate)에 해당된다. 그 결과에 의하면 조사지역 시료 중에서 정점 US-09에서 최대 값인 0.44 cm/yr이고, 정점 US-15에서 최소치인 0.18 cm/yr를 보였다 (Fig. 4). 코어시료 중에서 US-10을 제외한 코어에서는 표면혼합층이 나타나지 않는다. 울산해역의 경우 시료수가 많지는 않지만 탄성과 자료의 분석결과와 비교할 때 퇴적층이 두껍게 발달해 있는 육지부근의 정점에서는 퇴적속도가 높게 나타나고 층후가 얇아지는 외해 쪽의 정점에서는 퇴적속도가 낮아지는 경향을 보여준다. 연구지역 중 퇴적층후가 가장 두껍게 발달해 있는 울산부근 시료인 정점 US-06, 07에서도  $^{210}\text{Pb}$ 의 활성도를 측정하였으나 활성도가 지수 함수적으로 감소하는 층이 나타나지 않아 퇴적속도를 측정하지 못하였다.

### 물리적 성질

Table 1. Sediment composition, type, mean, sorting, velocity, and porosity of the surface sediments of the study area

Station No.	Composition (%)			Sediment Type	Mean ( $\phi$ )	Sorting ( $\phi$ )	Velocity (m/s)	Porosity (%)
	Sand	Silt	Clay					
KS-01	12.64	44.16	43.19	Mud	6.82	3.35	-	-
KS-02	1.41	33.88	64.71	Mud	7.99	2.25	-	-
KS-03	3.58	33.67	62.77	Mud	7.80	2.36	-	-
US-01	0.72	33.82	65.46	Mud	8.31	1.49	-	-
US-02	6.44	31.19	62.38	Mud	7.96	2.06	1,627	70
US-03	1.24	60.01	38.75	Mud	7.86	1.39	1,562	76
US-04	1.84	61.40	36.76	Mud	7.72	1.56	1,564	76
US-05	1.97	36.89	61.14	Mud	8.12	1.58	1,578	79
US-06	90.81	0.82	8.36	Sand	2.60	2.16	1,605	69
US-07	0.11	34.82	65.07	Mud	8.48	1.17	1,578	81
US-09	0.11	49.50	50.40	Mud	7.86	1.61	1,579	74
US-10	0.26	46.08	53.66	Mud	8.10	1.39	1,572	76
US-11	0.21	40.80	58.99	Mud	8.01	1.61	1,578	77
US-14	0.13	38.90	60.98	Mud	8.04	1.58	1,580	81
US-15	0.21	44.72	55.07	Mud	8.13	1.27	1,574	72
US-17	2.01	40.23	57.76	Mud	8.21	1.54	1,579	78

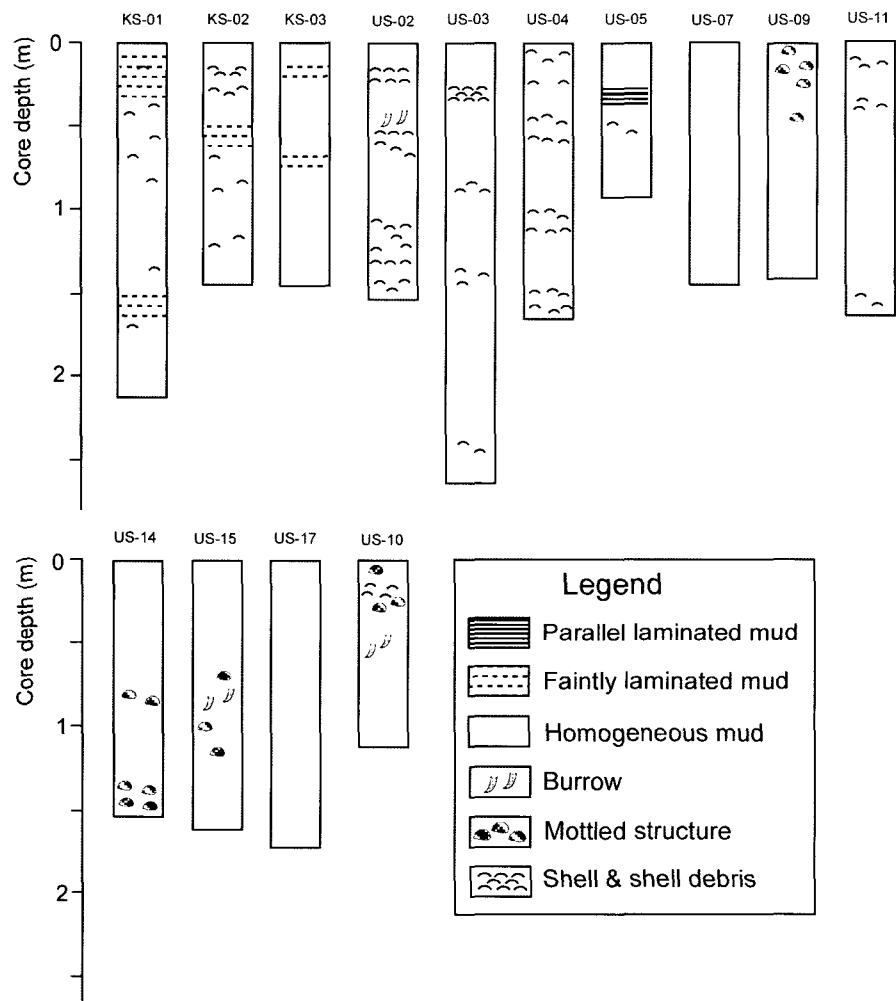


Fig. 3. Core lithology based on sediment textures, sedimentary structures and compositions.

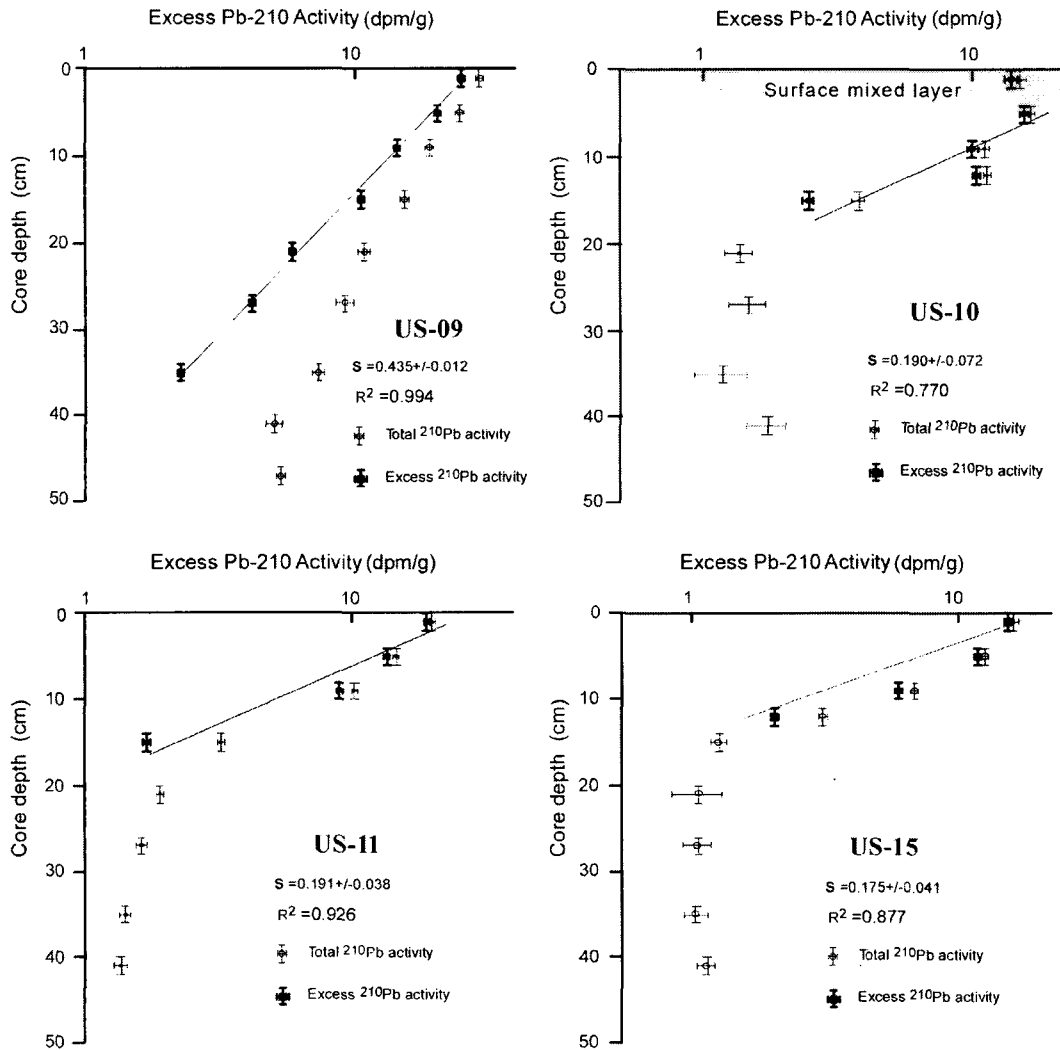


Fig. 4. Total and excessive activity (dpm/g) of <sup>210</sup>Pb profiles in core sediments. Sedimentation rate: apparent sedimentation rate, R-squared: goodness-of-fit.

연구해역에 분포하는 퇴적물의 평균입도, 습윤전밀도, 공극율 및 음파전달속도는 주상시료 채취시 발생하는 교란의 영향을 고려하여 10 cm 깊이의 자료를 이용하였다. 평균입도는 연안지역의 북쪽 및 연안쪽으로 갈수록 세립해지며 (4.5φ에서 8.1φ로 감소) 해안선 및 등수심선과 거의 평행한 대상분포를 잘 보여준다 (Fig. 5a). 습윤전밀도는 1.4 g/cm<sup>3</sup>에서 1.8 g/cm<sup>3</sup>의 범위를 가지며 대체로 연안쪽 및 북쪽 방향으로 향하면서 점차 감소하는 경향을 보여준다(Fig. 5b). 울산 남동쪽 일부지역을 제외하면 연구지역 대부분에서 1.5 g/cm<sup>3</sup> 미만의 값이다. 공극율은 60%에서 80%의 범위로 (Fig. 5c) 습윤전밀도와는 반대로 연안 및 북쪽으로 향하면서 점차 증가하는데 이는 퇴적물의 조직특성에서 본 바와 같이 점토함량의 증가에 의한 것으로 생각된다. 음파전달속도는 1,560 m/sec에서 1,669 m/sec의 범위를 보여준다 (Fig. 5d). 울산항 외해쪽에 위치한

정점 US-02에서 최대값인 1,699 m/sec를, 가장 북쪽에 위치한 정점 US-17에서 최소값인 1,560 m/sec를 보여준다 (Fig. 5d). 대체로 다른 물성특징과 유사하게 연안쪽 및 북쪽으로 향하면서 점차 감소하는 경향을 가진다. 이러한 물성값의 변화경향은 퇴적물의 조직, 물성 및 음파전달속도가 서로 연관성을 가지고 있음을 지시한다.

#### 음향특성

고해상 탄성파자료에 의하면 연구해역에 분포하는 세립퇴적물은 평행층리 음향상 (well-stratified seismic facies), 반투명 음향상 (semi-transparent seismic facies), 그리고 투명 음향상 (transparent seismic facies) 등 3가지 유형의 음향특성을 보여준다 (Fig. 6). 낙동강 하구역 부근에서는 주로 연속성이 양호한 평행층리 음향상을 보여준다 (Fig. 6a). 내부의 평행층리면

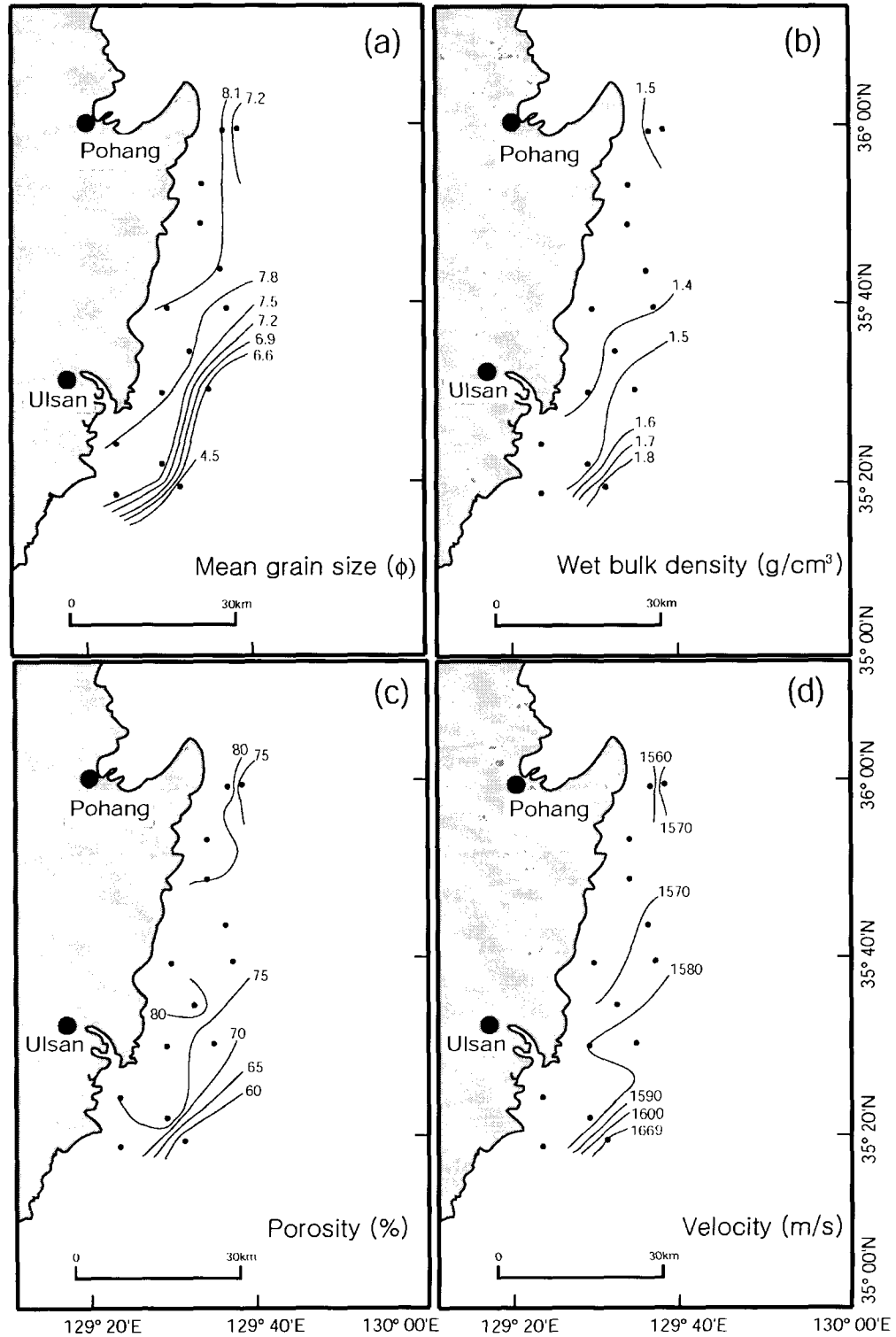


Fig. 5. Distribution map of mean grain size (a), wet bulk density (b), porosity (c), and velocity (d) at 10 cm depth.

은 해저면과 대체로 평행하고 연속성이 매우 양호하다. 불연속적인 약한 평행층리를 부분적으로 포함하는 반투명 음향상은 주로 낙동강 하구역 바깥쪽인 거제도 동부에서 부산에

이르는 내대륙붕 지역에 분포한다 (Fig. 6b and c). 낙동강 하구에서 멀어지면서 평행층리의 연속성이 점차 불량해지고 반사면의 강도가 약해지면서 반투명 음향상으로 변화한다.

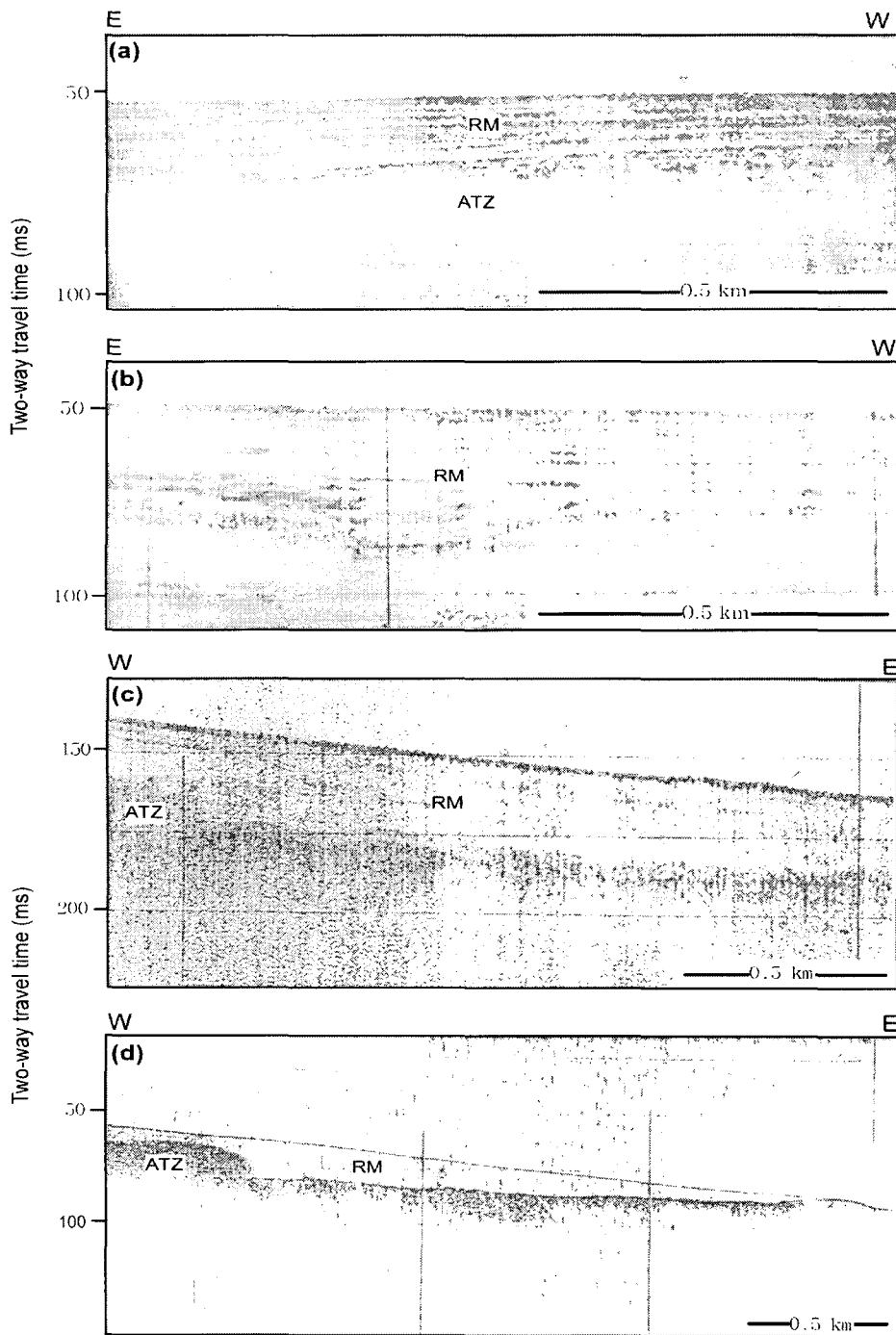


Fig. 6. High-resolution seismic profiles showing three distinct seismic facies; well-stratified facies (a), semi-transparent with faintly stratified (b and c), and transparent facies with no other internal reflector (d). RM: Recent mud deposits; ATZ: acoustically turbid zone. See Fig. 2 for track lines.

특정 내부구조를 볼 수 없는 투명 음향상의 경우는 울산에서 포항에 이르는 넓은 해역에 분포한다 (Fig. 6d). 이러한 사실은 이 지역에 분포하는 퇴적물 대부분이 균질한 물질로 구성되어 있음을 암시해주고 있으며 실제 코어시료의 분석에 의하면 수직적인 입도 변화가 거의 없는 균질한 니질퇴적물로 구성되어

있음을 알 수 있다.

### 고찰

연구지역인 남동 해역에서의 퇴적물 분포 및 퇴적작용은 지난 후기 제4기 동안의 해수면 변동과 밀접한 관계를 가지고

있으며 (Min, 1994; Park and Choi, 1986; Park et al., 2000), 그 결과로 중간 및 외대륙붕 넓은 지역에는 사질로 구성된 잔류퇴적물이 분포 하는 반면, 연안 근처의 내 대륙붕에는 현생 세립퇴적물이 분포하고 있다. 연안을 따라 대상으로 길게 분포하고 있는 세립퇴적물은 해수면이 거의 현 수준까지 상승한 지난 6000년 이후의 홀로세 동안에 형성된 현생퇴적층이다. 이러한 현생퇴적층은 최대두께가 약 50 m에 달하며, 평균입도가 6.82-8.48 $\phi$  사이의 균질한 니질로 구성된다. 코어 시료에서 평균입도와 분급도의 상관관계를 보면 낙동강 부근 해역에 비해 울산동부가 세립한 것을 보여주며 분급도 역시 양호한 것을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 울산동부해역 코어가 수직적 암상변화가 거의 없고 탄성과 자료에서도 특정내부 구조가 없는 투명한 음향상을 보여 균질한 세립물질로 구성되어 있음을 시사해 주고 있다.

$^{210}\text{Pb}$  동위원소에 의해 추정된 겉보기 퇴적속도는 정점 US-09에서 최대 값인 0.44 cm/yr이고, 정점 US-15에서 최소치인 0.18 cm/yr를 보였다 (Fig. 4). 탄성과 자료의 분석결과와 비교 할때 퇴적층이 두껍게 발달해 있는 부근의 정점에서 높게 나타나고 층후가 얇아지는 외해쪽의 정점에서는 퇴적속도가 낮아지는 경향을 보여준다. 낙동강이 인접해 있는 내 대륙붕에서도 비록 2개 정점에 불과 하지만 하구 쪽에서 높고 외해 쪽에서 낮게 나타난다. Jang (1990)의 거제도 동부 내대륙붕 지역의 연구에서도 퇴적층이 두꺼운 지역의 정점에서 겉보기 퇴적속도가 높게 나타나며 평균 퇴적속도가 0.31 cm/yr로 보고 된바 있다. 또한 연구해역에서 가장 두꺼운 층후를 보여주는 울산 인접 해역에서 측정된 자료에 의하면 15 cm를 경계로 상부층

에서 0.6 cm/yr, 하부층에서 1.1 cm/yr로 퇴적속도가 매우 높게 나타나는 반면 층후가 얇아지는 정점에서 퇴적속도가 감소하는 경향을 보여주어 탄성과 자료분석 결과와 일치하고 있음을 보여주고 있다 (Jang, 1990; Park et al., 1999).

표층퇴적물의 물리적 성질 및 음파전달속도는 기존의 연구에서 보고 된 바와 같이 입도분포와 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다 (Kim et al., 1996; 2001; Kim and Kim, 2001). 습윤전밀도의 경우 평균입도가 감소하는 외해 쪽을 향하면서 증가하는 경향을 보여주며 함수율과 공극율의 경우도 입도분포의 영향을 크게 받는 것으로 보여 진다. 이와 같은 결과는 한반도 주변 니질퇴적물에서 측정된 기존의 연구에서 보고 된 바 있는 퇴적물조직 특성이 물리적 성질 및 음향학적 성질에 영향을 준다는 사실과 일치한다 (Kim et al., 1994, 1996, 2001; Kim and Kim, 2001).

퇴적물의 음파전달속도에 대한 공극율 및 평균입도와와의 상관관계를 Kim et al. (2001)이 제시한 남해, 부산, 울산 부근해역에 대한 자료와 동시에 도시함으로서 낙동강을 비롯한 남해 지역에서 공급되어 부산, 울산, 포항으로 이동하면서 발생하는 퇴적물의 이동현상에 따른 각 조직 및 물성간의 상관성을 알아보았다 (Figs. 7 and 8). 이러한 상관관계그래프로부터 각각의 물성값이나 퇴적물의 조직값을 이용하여 연구지역에 대한 모델을 제시함으로서 향후 분석된 조직이나 물성값을 이용하여 알려지지 않은 다른 물성 및 조직값을 모델을 이용하여 유추가 가능하기 때문이다.

해양퇴적물의 음파전달속도는 다양한 종류의 물성값에 의하여 영향을 받고 있으나 평균입도나 공극율에 따라 더 민감

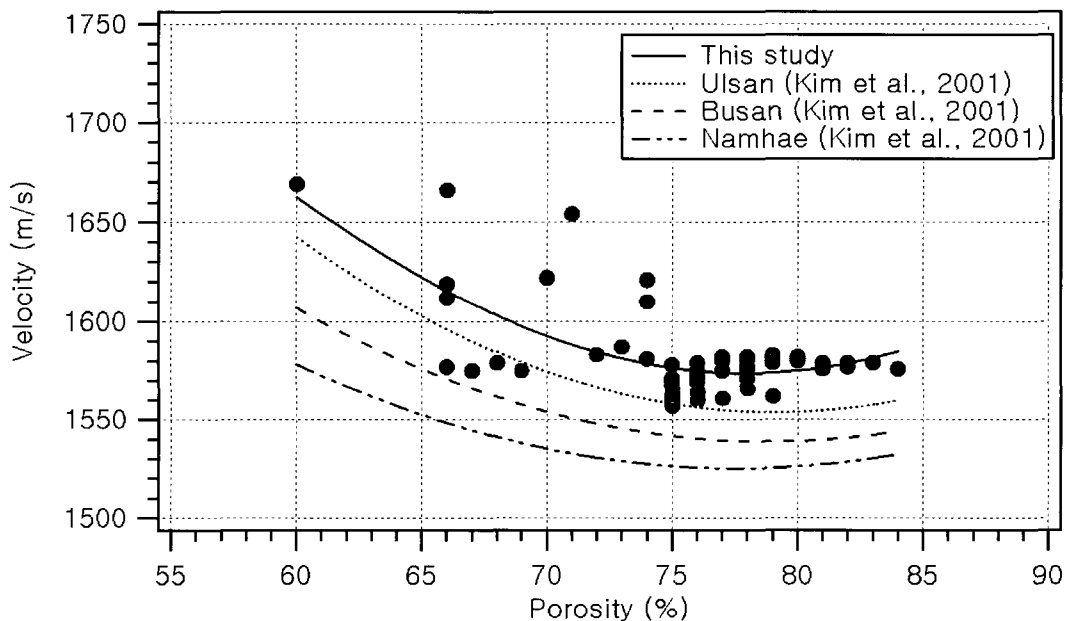


Fig. 7. Velocity (m/s) versus porosity (%). The data is also compared with the results predicted by Kim et al. (2001). Each curve indicates polynomial fit to the data. Note that the curves show a gradual pattern from southward to northward in the study area.



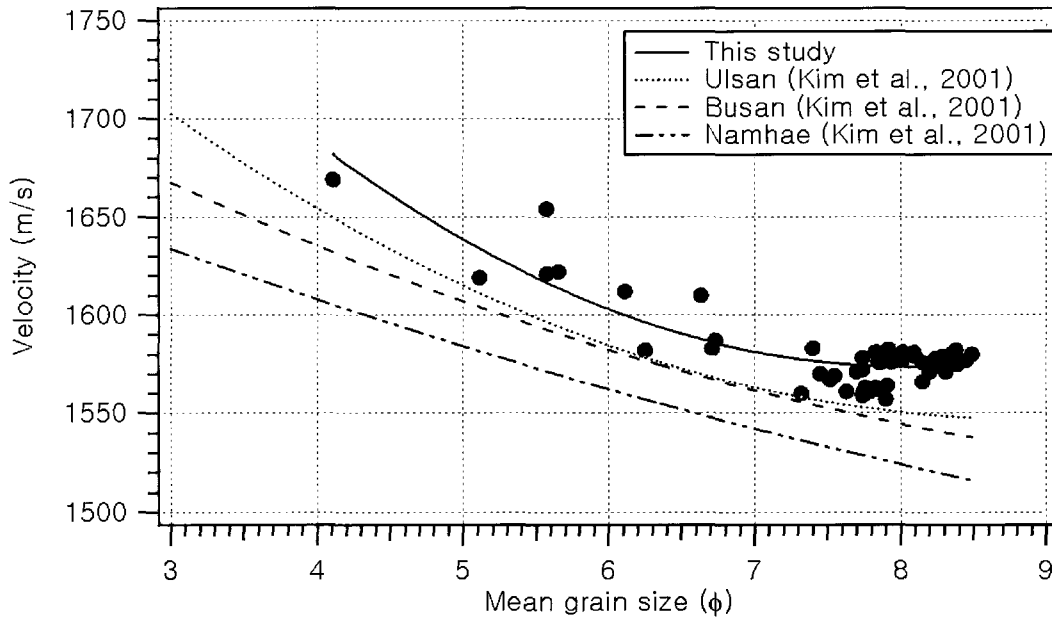


Fig. 8. Velocity (m/s) versus mean grain size ( $\phi$ ). Symbols and lines are the same as in Fig. 7.

한 반응을 보이기 때문에 속도를 예측하는데 널리 이용되고 있다 (Hamilton, 1970; Anderson, 1974; Hamilton and Bachman, 1982). 특히 공극율은 광물입자의 형태, 크기, 조성, 그리고 퇴적구조와 다짐작용에 의한 입자의 배열 (fabric)에 영향을 받게 되며 따라서 속도에 영향을 미친다. 점토광물의 경우 침강하면서 형성하는 특징적인 퇴적구조로 인하여 일반적으로는 입도가 감소할수록 공극율이 증가한다 (Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982). 연구지역에서의 속도와 공극율과의 상관관계 (Fig. 7)를 회귀곡선을 이용하여 분석한 자료를 보면 공극율이 증가할수록 속도값이 감소하는 경향을 보이다 공극율이 75-80% 부근에서부터 다시 속도값이 증가하는 경향을 보인다. 이러한 양상은 대부분의 니질퇴적물에서 나타나는 현상이며 높은 공극율을 가지는 니질퇴적물이나 거의 부유상태로 이루어진 퇴적물의 경우, 밀도 및 체적탄성율의 차이로 인하여 속도값이 증가하게 된다 (Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982). 속도와 평균입도와의 상관관계 (Fig. 8)는 입도값이 감소할수록 속도값이 감소하는 일반적인 경향을 잘 보여주고 있어 퇴적물의 입도가 공극율에 큰 영향을 끼치고 있음을 잘 지시해 준다. 이러한 관계는 Kim et al. (2001)이 제시한 한반도 남해 및 남동해의 결과와 함께 특징적인 상관성을 잘 보여준다. 즉, 남해→부산→울산→포항의 순으로 각 회귀선의 값이 잘 구분이 되고 있음을 알 수 있다. 이는 낙동강 및 남해지역에서 기원한 퇴적물이 부산 및 울산을 지나 포항으로 이동하면서 분급화 되어 세립화되는 경우와는 상반된 현상이다. 이러한 이유는 포항부근의 퇴적물의 조직이 다른 지역보다 유사한 평균입도에서 점토에 비해 실트함량이 더 많기 때문으로 보이며 (Kim et al., 2001), 또한 퇴적환경의

차이에 의한 퇴적물의 특성의 차이도 존재할 것으로 보인다.

고해상도 탄성파자료에 의하면 낙동강 하구부근에서는 연속성이 양호한 평행층리가 잘 발달하는데 이는 사질과 니질이 교호하면서 나타나는 특징으로 해석되며 델타 퇴적층의 상부 쪽 (topset)에서 잘 발달하는 음향특성이다 (Michum et al., 1977). 하구에서 멀어질수록 내부층리구조의 발달이 점차 약화되면서 반투명음향상으로 변화한다. 이와 같은 사실은 하구역에서 멀어질수록 사질과 실트함량이 감소하는 반면 점토의 함량이 증가하는 입도분석 결과와 잘 일치한다 (Jang, 1990). 따라서 거제도 동부해역에 분포하는 현생퇴적층의 경우 낙동강 기원의 육성퇴적물이 프로델타 (prodelta) 환경 하에서 형성된 것으로 해석된다. 또한 외해 쪽을 향하면서 퇴적속도가 감소하는  $^{210}\text{Pb}$  연구결과도 이와 같은 사실을 뒷받침해 주고 있다.

울산에서 포항동부에 이르는 넓은 해역에 분포하는 투명음향상의 퇴적물은 이 퇴적층이 균질한 세립퇴적물로 구성되었음을 시사해 주고 있으며 코어시료 분석결과와도 일치한다. 이러한 세립퇴적층 내에서 볼 수 있는 또 다른 음향특성으로는 하부층리 구조를 볼 수 없는 음향혼탁층 (acoustically turbid zone)을 들 수 있다. 이와 같은 특징은 거제도 동부해역에서는 소규모로 분포하고 있는 반면 주로 퇴적층이 두껍게 발달해 있는 포항-울산 연안해역에서는 연안을 따라 길게 대상으로 분포한다 (Fig. 9). 연구지역의 현생 니질퇴적층은 거제 동부에서 포항에 이르는 내대륙붕에 제한적으로 분포하는 연안니질대를 형성하며 대체로 연안에서 외해쪽으로 향하면서 두께가 감소하는 썩기형태로 발달하고 거제 동부와 울산지역에서 2개의 퇴적중심을 갖는다. 거제동부의 경우 10-20 m 두께로

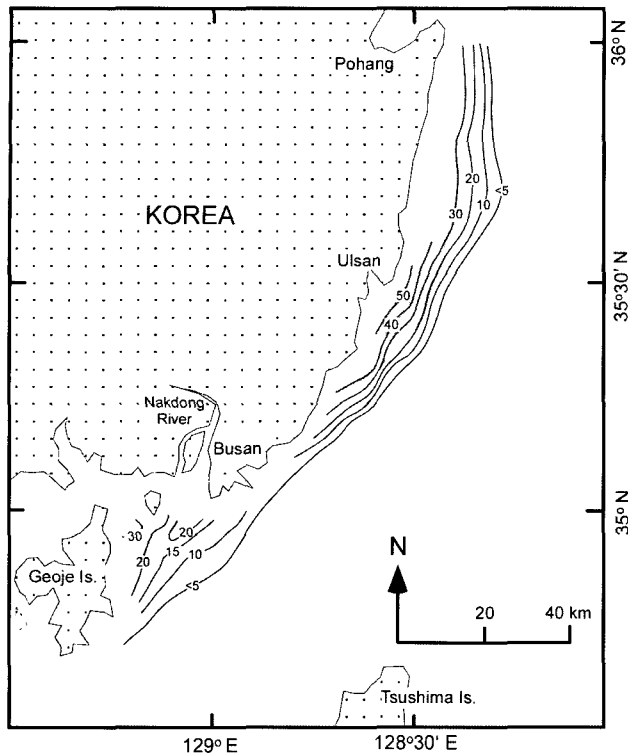


Fig. 9. Isopach map (Park et al., 1999) showing the total thickness of Holocene fine-grained sediments (contours in meters). Shadow areas indicate acoustically turbid zone.

분포하며 진해만 입구에서 최대 30 m 이상에 달한다 (Fig. 9). 울산-포항 해역의 경우 10-30 m 두께로 분포하며 울산 인접해역에서 최대 50 m 이상으로 발달해 있다. 부산인접 해역에는 기반암이 부분적으로 노출되어 있으며 박층의 현생 퇴적물에 의해 피복된 채로 해저면에 노출되어 있다. 또한 세립질 퇴적물에서 나타나는 음향특징 중 음향혼탁층은 퇴적물 내에 포함된 유기물의 분해에 의해 형성된 가스에 기인하는 현상으로 유기물 함량이 높은 현생 세립퇴적물에서 이미 많은 보고가 있었다 (Park et al., 1990). 즉 유기물을 다량 함유하는 세립퇴적물이 빠른 속도로 퇴적되면서 내부의 유기물이 분해되어 가스가 형성되어 음파에너지를 분산 및 감쇠시킴에 따라서 탄성파 자료상에서 하부구조를 볼 수 없는 혼탁층의 형태로 나타나게 된다. 결과적으로 이 지역에 분포하는 세립퇴적물의 대부분이 거제도 동부로부터 유래했을 것으로 생각된다. Park and Chu (1991)의 연구에 의하면 낙동강에서 유래하는 퇴적물중 14%가 낙동강 하구 역 주변 내대륙붕에, 약 21% 정도가 진해만에 퇴적되며, 나머지 65% 정도가 다른 해역으로 이동되는 것으로 보고된 바 있으며 주로 북동방향으로 확산될 것으로 추정하였다. Kim et al. (1986)에 의한 연구에서도 남동해역은 조류와 연안류의 영향으로 낙동강으로부터 유입되는 세립퇴적물이 북쪽으로 이동할 것으로 추정하였다. 따라서 낙동강으로부터 유입되는 부유퇴적물중 상당량이 연안을 따라 북쪽으로 향하는 조류 및 연안류 등의 영향으로 울산동부

해역으로 뜬짐의 형태로 운반 퇴적되는 것으로 해석된다.

## 사 사

이 논문은 지질자원연구원의 연구비와 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-050-C00017). 시료채취에 도움을 준 부산 403호 및 탐양호의 승무원들과 논문심사에 유익한 도움을 주신 익명의 심사위원들에게 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

- Anderson, R.S. 1974. Statistical correlation of physical properties and sound velocity in sediments. In: *Physics of Sound in Marine Sediment*, Hampton, L., ed. Plenum. New York, pp. 481-457.
- Birch, F. 1960. The velocity of compressional waves in rocks up to 10 kilobars. *J. Geophys. Res.*, 65, 1083-1102.
- Boyce, R.E. 1976. Definition and laboratory techniques of compressional sound velocity parameter and wet-water, wet bulk density, and porosity parameter by gravimetric and gamma ray attenuation Zion techniques. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 33, Washington, DC, U.S. Government Printing Office, pp. 931-958.
- Choi, D.L., J.K. Oh, C.W. Lee and H.J. Woo. 1997. High resolution seismic characteristics of the Holocene mud deposits in the southeast innershelf, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 2, 8-13.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bars, a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedi. Petrol.*, 27, 3-27.
- Hamilton, E.L. 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, *J. Geophys. Res.*, 75, 4423-4446.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman. 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, 72, 1891-1904.
- Jang, K.M. 1990. Sedimentation of fine-grained sediments on the inner shelf off the southeastern coast of Korea. MS Thesis, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Korea, pp. 113. (in Korean)
- KHO (Korea Hydrographic Office). 1982. *Marine environmental atlas of Korean waters*, pp. 38.
- Kim, D.C., J.Y. Sung, S.C. Park, G.H. Lee, J.H. Choi, G.Y. Kim, Y.K. Seo and J.C. Kim. 2001. Physical and acoustic properties of shelf sediments, the South Sea of Korea. *Mar. Geol.*, 179, 39-50.
- Kim, G.Y., D.C. Kim, S.C. Park, D.G. Yoo, J.H. Choi and J.C. Kim. 1996. Physical properties of sandy

- sediment in the southeastern coast of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 29, 663-676. (in Korean)
- Kim, G.Y., D.C. Kim, Y.K. Seo, S.C. Park, J.H. Choi and J.C. Kim. 1999. Physical properties of mudbelt sediments in the southeastern inner shelf of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4, 338-348. (in Korean)
- Kim, G.Y. and D.C. Kim. 2001. Comparison and correlation of physical properties from the plain and slope sediments in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *J. Asian Earth Sci.*, 19, 669-681.
- Kim, M.S., K.S. Chu and O.S. Kim. 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, 93-147.
- Kim, S.Y. and B.C. Suk. 1985. The sound velocity and attenuation coefficient of the marine surface sediments in the nearshore area. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 20, 10-21. (in Korean)
- Min, G.H. 1994. Seismic stratigraphy and depositional history of Pliocene-Holocene deposits in the southeastern shelf, Korean Peninsula. Ph.D. Thesis, Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea, pp. 196. (in Korean)
- Mitchum, R.M., P.R. Vail and S. Thompson. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Payton, C.W. ed. AAPG Mem., 26, 53-62.
- Park, B.K. and S.J. Han. 1985. The distribution of clay minerals in the recent sediments of the Korea Strait. *Sedi. Geol.*, 41, 173-184.
- Park, Y.A., K.R. Kim, S.C. Park and S.Y. Bak. 1987. Characteristics of the bottom sediments from the continental shelf of the Korea Strait and some geochemical aspects of the shelf fine-grained sediments. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 22, 43-56.
- Park, S.C. and K.S. Chu. 1991. Dispersal pattern of river-derived fine grained sediments on the inner shelf of Korea Strait, In: *Oceanography of Asian Marginal Sea*, Takano, T., ed. Elsevier Oceanography Series, 54, pp. 231-240.
- Park, S.C., K.M. Jang and S.D. Lee. 1990. High-resolution seismic study of modern fine-grained deposits: inner shelf off the southeastern coast of Korea. *Geo-Mar. Lett.*, 10, 195-205.
- Park, S.C., D.G. Yoo, K.W. Lee and H.H. Lee. 1999. Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). *Cont. Shelf Res.*, 19, 589-608.
- Park, S.C., D.G. Yoo, C.W. Lee and E.L. Lee. 2000. Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Mar. Lett.*, 20, 64-71.
- Park, Y.A. and J.Y. Choi. 1986. Factor analysis of the continental shelf sediments of the southeast coast of Korea and its implication of the depositional environments. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 21, 34-45.
- Shim, T.W., J. Wiseman Jr., O.K. Huh and W.S. Chung. 1984. A test of geostrophic approximation in the Western Channel of the Korea Strait. In: *Ocean Hydrographic Dynamics of the Japan Sea and East China Sea*, Ichiye, T., ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 263-272.
- Yoo, D.G., S.C. Park, W.C. Shin, and W.S. Kim. 1996. Near-surface seismic facies at the Korea Strait shelf margin and trough region. *Geo-Mar. Lett.*, 16, 49-56.
- Yoo, D.G. and S.C. Park. 1997. Late Quaternary lowstand wedges on the shelf margin and trough region of the Korea Strait. *Sediment. Geol.*, 109, 121-133.
- Yoo, D.G. and S.C. Park. 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. Sedimentol. Res.*, 70, 210-223.
- Yoo, D.G., H.Y. Lee, S.P. Kim, K.O. Kim, N.H. Ku and Y.G. Kim. 2002. Seismic stratigraphy and depositional history of late Quaternary deposits on the Korea Strait inner shelf, Korea. *J. Kor. Geophys. Soc.*, 5(4), 271-281.
- Yoo, D.G., C.W. Lee, J.Y. Choi, S.C. Park and J.H. Choi. 2003. Sequence stratigraphy of Late Quaternary deposits in the southeastern continental shelf, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 8, 369-379. (in Korean)

---

2004년 1월 10일 접수

2004년 4월 21일 수리