

남해 및 남동해역 대륙붕 퇴적물의 지음향 특성

김대철* · 서영교¹ · 정자현¹ · 김길영²

부경대학교 환경탐사공학과, ¹부경대학교 응용지질학과, ²한국해양대학교 해양과학기술연구소

Geoacoustic Characteristics of Shelf Sediment in the South Sea and Southeastern Sea of Korea

Dae Choul KIM*, Young Kyo SEO¹, Ja Hun JUNG¹ and Gil Young KIM²

Department of Environmental Exploration Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Department Applied Geology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Research Institute of Marine Science & Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Physical and geoacoustic properties of inner shelf sediment in the South and Southeastern Seas of Korea have been studied based on six piston core samples. The sediments are largely composed of homogeneous mud except the core from the southeasternmost part of the area. Both physical and geoacoustic properties and mean grain size are relatively uniform with sediment depth, suggesting little effect of sediment compaction and/or consolidation. Mean grain size appears to be the most important variable to determine the physical and acoustic properties. In contrast, the attenuation shows more or less fluctuations. Correlations between physical properties and sediment texture show slight deviations from those of the compared data, caused by the difference of sedimentary processes, mineral composition, and the difference of measurement system. In particular, the velocity is lower (approximately 20-30 m/s) than that of the previous data measured in the same area. This is probably due to the difference in velocity measurement system (particularly, error by a length of sample). We propose new relationships for physical and geoacoustic characteristics of shelf sediment in the study area.

Key words: Physical and geoacoustic properties, South Sea, Shelf sediment, Attenuation

서론

해저 퇴적물의 물성 및 음향학적 특성은 그 자체로도 중요한 의미를 가지고 있지만 탄성과 층서분야의 관점에서 보면 기존에 이미 알려진 암상이나 퇴적층과의 대비에 매우 유용한 연구수단으로 활용된다. 또한 미고결퇴적물의 물성은 퇴적물의 기원지, 침식과정, 퇴적시의 해양 및 기후조건, 고화작용과 같은 퇴적후의 속성작용 등에 의해 변화될 수 있는 퇴적물의 조성 (composition)의 지시자로서도 이용된다 (Mayer, 1991; Bassinot, 1993). 특히 검층 (core logging)과 같이 빠르고 쉽게 측정이 가능한 고해상도의 퇴적물의 물리적 성질은 고환경의 해석이나 퇴적과정을 유추할 수 있는 수단으로도 활용되고 있다 (Weber et al., 1997).

심해저시추기구 (Deep Sea Drilling Project)나 그 후속 프로그램인 해저지각굴착프로그램 (Ocean Drilling Program)에서는 시추된 모든 코어에 대하여 공극율, 함수율, 전밀도, 입자밀도, 열전도도 및 음파전달속도 등을 측정하고 있으며, 연속적인 자료획득을 위해 다중검침기 (Multi-Sensor Core Logger)를 이용하여 시추코어에 대한 공극율 (gamma ray attenuation porosity evaluation), 대자율 (magnetic susceptibility), 음파전달속도 (P-wave velocity) 및 자연감마선 (natural gamma ray)까지도 측정하고 있다. 이러한 퇴적물의 물성자료들은 모든 시추

공에 대하여 실시하는 물리검층 자료와 더불어 퇴적물의 미세 구조 (microstructure) 해석에 이용되고 궁극적으로는 퇴적과정, 퇴적환경, 속성작용 등을 규명하는데도 응용된다.

한반도 주변 퇴적물의 물성 및 음향에 관한 연구는 탄성과 자료로부터 음파전달속도를 계산하는 방식 (Cho, 1985; Kim and Suk, 1985)을 효시로 시작되었으며, 그 후 80년대 후반부터 실험실에서 시추코어를 이용한 직접측정 방식 (Kim, 1989)으로 대체되면서 남해 및 동해 주변 지역에 대한 연구 (Kim and Kim, 1991; Kim et al., 1992, 1994, 1996, 1999, Kim and Kim, 2001)가 본격화되고 있다. 그러나 한반도 남해-거제-부산을 잇는 해역의 사질퇴적물에 대한 음파전달속도 자료나 공극율, 함수율, 전밀도, 입자밀도와 같은 물리적 성질에 대한 자료는 측정기법상의 문제로 인해 연구가 많이 제한되어 왔으며 연구결과 역시 아주 미흡한 실정이다. 특히 본 연구지역과 거의 동일한 지역에서 측정된 Sung (1994) 및 Kim et al. (2001)의 자료에 의하면 음파전달속도 측정시 시료의 길이를 측정하는데 있어서 방법상의 문제점이 발생하였으며 이로 인하여 기 제시된 음파전달속도값을 보정해야 할 필요성이 제기되었다.

본 연구는 한반도 남해 및 남동해역 퇴적물에 대한 물리적 성질 및 음파전달속도의 수직적인 분포양상을 밝히고, 이를 범용 지음향모델 (geoacoustic model)인 Hamilton (1970)이 제

*Corresponding author: dckim@pknu.ac.kr

시한 북태평양의 대륙붕 및 사면자료와 본 연구지역의 기존의 자료인 Sung (1994)과 Kim et al. (2001)의 자료와 비교분석하여 새로운 관계식을 제시하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

연구 지역

한반도 남해역의 대륙붕에는 비교적 두꺼운 현생 점토퇴적층이 해안선과 평행하게 발달되어 있다 (Park, 1983). 대체로 수심 70-80 m를 경계로 내대륙붕과 외대륙붕으로 나뉘어 질 수 있으며 연구지역은 내대륙붕 지역에 포함되는 수심 70-80 m 이내의 남해도 및 거제도 부근 지역이며 연구주변지역의 퇴적물 분포는 섬진강과 낙동강 등 하천의 직접적인 유입과 외대륙붕 지역의 빙하기 해수면 하강과 관련있는 잔류퇴적물로 분류될 수 있다 (Park and Yoo, 1988; Kim et al., 1992) (Figs. 1, 2). 섬진강에서의 퇴적물 유입은 $5.8-8.7 \times 10^6$ ton/year (Korea Ministry of Construction, 1976)이며 낙동강에서의 퇴적물 유입은 63×10^6 ton/year (Kim and Park, 1980)로 알려져 있다. 낙동강은 유역 면적이 23,860 km²에 달하며 연간 담수 유출량은 630억톤에 이르고 그중 약 60-70% 이상이 홍수기인 7, 8월에 집중된다 (Korea Ministry of Construction, 1976). 또한 연간 1000만톤에 달하는 퇴적물이 연구지역에 유입되고 있으며, 이러한 쇄설성 퇴적물 중 조립한 사질퇴적물의 대부분은 강하구를 중심으로 퇴적되며 다양한 형태의 모래사구를 포함하는 넓은 삼각주를 형성하고 있다 (Kim et al., 1986).

남해 대륙붕해역은 대마난류수와 남해연안수의 세력에 의해 크게 영향을 받으며 연안 해류의 경우는 계절적인 영향이 크지만 일반적으로 동-서 방향이 우세하다 (Huh, 1982; KHO,

1982). 일반적으로 조류는 해저지형에 많은 영향을 받는데 연구지역의 조류는 비교적 강한 편이며, 특히 창조류보다 낙조류의 유속이 더 빠르게 나타난다. 섬진강 하구에서는 창조류가 최대 1.5노트이고 낙조류가 최대 2.5노트이며 지형이 복잡한 몇 군데를 제외하고는 외해로 갈수록 줄어든다. 삼천포수로의 경우 창조류의 방향은 북서이고 낙조류의 방향은 남동이다 (Kim, 1967). 거제도에서 부산간의 창조류의 유속은 지형적인 영향을 받는 지역들을 제외하면 0.5-2.2노트이고 낙조류의 유속은 1.3-2.8노트 방향은 연안에서는 해안선과 평행하고 외해에서는 북동-남서 방향이 우세하다 (Korea Hydrographic Office, 1982).

측정 방법

연구지역 퇴적물에 대한 물리적 성질 및 지음향분석을 위해 총 6개의 정점 (Fig. 1, Table 1)에서 피스톤 시추기 (Piston corer)를 이용하여 주상시료를 획득하였으며 정점별 위치는 배에 장착된 GPS (Global Positioning System)를 이용하였다. 채취된 코어시료는 실험실로 옮긴 후 각각의 퇴적물 특성에 대한 분석을 실시하였다. 채취된 코어 중 가장 긴 코어의 길이는 353 cm이고 짧은 코어는 191 cm이며 평균길이는 296 cm이다 (Table 1). 채취한 코어시료를 실험실에서 반으로 절개한 후 한쪽 코어에서는 음파전달속도 및 감쇠를 측정하고, 다른 한쪽 코어에서는 퇴적물의 조직, 공극율, 함수율, 습윤전밀도, 입자밀도, 건조밀도, 전단응력을 측정하였으며, 분석이 끝난 시료에 대해서는 입도분석을 실시하였다. 각 코어의 측정 간격은 퇴적상 및 퇴적구조 변화 양상에 따라 조절하였으며 보통 10-30 cm 이내에서 측정하였다.

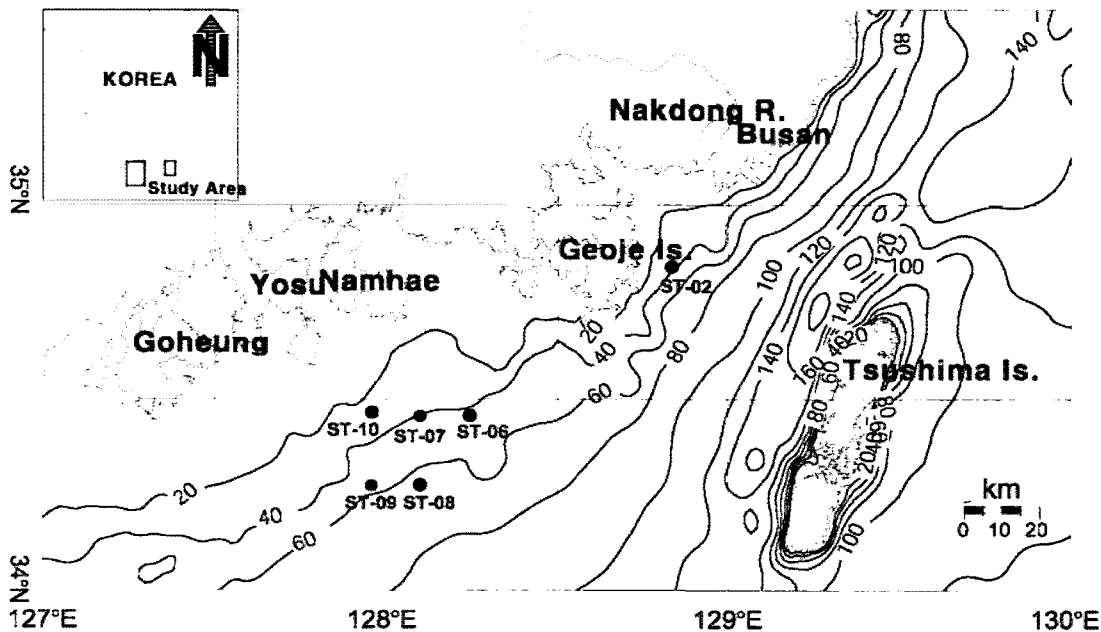


Fig. 1. Bathymetry of the study area and piston core locations. Contours in meters.

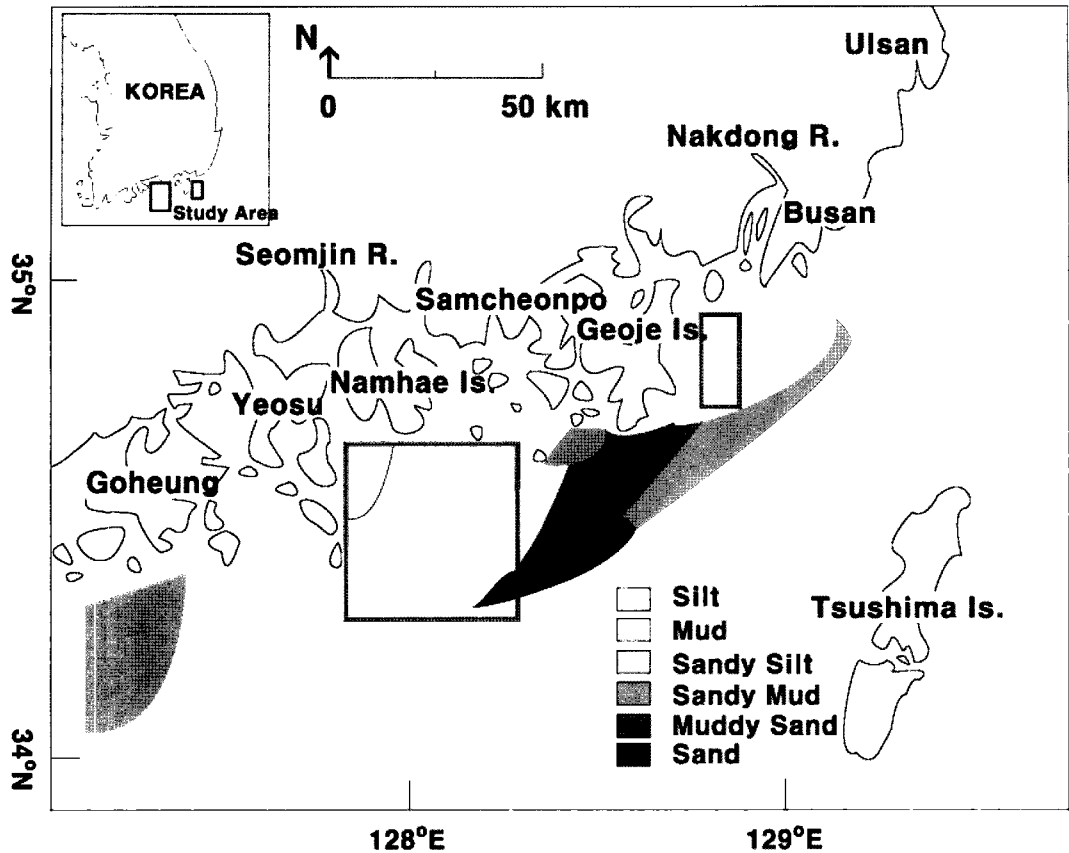


Fig. 2. Sediment type distribution map in the South Sea and Southeastern Sea of Korea (modified after Sung, 1994 and Kim et al., 2001). Study areas are marked by boxes.

Table 1. GPS location, water depth, and core length for all core sediments in the study area

Station No.	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Core Length (cm)
ST-02	34°50'470	128°50'070	56	194
ST-06	34°27'290	128°14'660	51	271
ST-07	34°27'260	128°06'020	43	353
ST-08	34°16'520	128°06'030	74	191
ST-09	34°16'500	127°57'510	64	304
ST-10	34°27'840	127°57'560	34	350

퇴적물의 음파전달속도 및 감쇠는 자동속도측정장치 (Kim et al., 1999)를 사용하여 측정하였다. 자동속도측정장치는 컴퓨터와 오실로스코프를 GPIB (General Purpose Interface Bus, IEEE488.2, IOtech)를 통해 연결하여 오실로스코프상의 신호를 컴퓨터에 디지털 및 아날로그 데이터로 저장되며 후처리가 가능하다. 본 연구에서는 측정 시료의 길이의 차이에서 기인하여 속도값의 오차가 발생하였던 기존의 방법 (Sung, 1994; Kim et al., 2001)을 개선하여 정확한 시료의 길이를 유지시킬 수 있도록 함으로써 측정오차도 줄이고 음파전달속도 및 감쇠에 대한 신뢰성 높은 측정값을 취득할 수 있었다. 음파감쇠는 Toksoz et al. (1979)의 spectral ratio 방법을 이용하였고 표준파

형으로는 시료와 같은 크기 (dimension)를 갖는 알루미늄시료를 이용하였다. 사질퇴적물에서의 음파전달속도 측정은 속도 측정기 (Otronix Model 93-M: Sediment Sound Velocimeter)를 이용하였다. 이 장치의 가장 큰 장점은 직접 코어에 삽입하기 때문에 사질퇴적물처럼 비교적 쉽게 교란될 수 있는 시료의 경우에도 속도측정이 용이하다는 점이다.

물리적 성질 (습윤전밀도, 건조전밀도, 입자밀도, 함수율, 공극율)은 습윤무게 (wet sample weight), 건조무게 (dry sample weight), 습윤부피 (wet sample volume), 건조부피 (dry sample volume)를 측정하여 계산하였다. 시료의 무게는 전자저울 (Mettler AJ 100, accuracy ±0.01 g)을 사용하였고, 시료의 부피는 밀도측정기 (Micromeritics: Pycnometer 1030)를 이용하여 측정하였다. 밀도측정기는 원자크기가 작고 (1 Å) 불활성이며 아주 작은 공극이나 틈에도 침투 가능한 헬륨가스를 사용하였고, 가스의 압력은 21 psi를 유지하였다. 건조무게와 건조 부피는 건조기에서 110°C에 24시간 건조시킨 다음 테시케이터에서 4시간 동안 냉각시킨 후 각각 측정하였다. 염분보정은 35%에 대한 해수의 밀도 1.0245를 보정하였다 (Boyce, 1976; Shipboard Scientific Party, 1991).

비배수전단응력 (undrained shear strength)은 일정한 강도로 지속적으로 베인 (vane)을 회전시킬 수 있는 자동응력측정장

치 (Motorized shear vane, Geotest Model 23500)를 사용하였고 니질 퇴적물에 대해서만 측정하였다.

퇴적물의 조직은 Ingram and Galehouse (1971)의 방법에 따라 일정량의 시료를 취하여 10% 염산(HCl)으로 탄산염을 제거한 후 6%의 과산화수소수 (H₂O₂)로 유기물을 제거하고 증류수를 이용하여 용해성 염분을 제거한 후 4φ (0.062 mm) 체로 습식체질을 하여 분석하였다. 4φ 이상의 조립질부는 건조시킨 후 로탭요동기 (Ro-tap Sieve Shaker)를 사용하여 1φ 간격으로 체분석하여 입도의 중량백분율을 구하였다. 세립질부는 퇴적물입도 자동측정기(Model: Sedigraph 5100)를 사용하여 분석하였고, Folk and Ward (1957) 및 Folk (1968)의 모멘트 방법에 따라 조직값을 구하였다.

결과 및 고찰

시추코어의 특징 기재

시추코어는 먼저 색도표 (color chart)를 이용한 육안관찰을 통해 깊이별 퇴적물의 색, 퇴적구조 및 생흔작용 (bioturbation)과 같은 특징적인 사항을 관찰하였다. 또한 입도분석 결과를 통하여 얻어진 조직표준치 및 퇴적물 유형 (sediment type)을 결정하였다. 분석된 코어중 정점 8을 제외한 대부분의 코어는 거의 균질한 니질 (homogeneous mud)로 구성되어 있으며 (Fig. 3), 퇴적물의 색은 Grayish olive green (5GY 3/2)이 우세하게 나타났다. 정점 2, 6 및 10은 부분적으로 2.5-9 cm 크기의 패각편과 탄화가 진행중인 피트 (peat) 조각들이 관찰되었다. 정점 8은 코어깊이 0-14 cm에서는 니, 14-33 cm에서는 모래, 그리고

33-166 cm까지는 패각편을 함유한 니질사가 우세하게 분포하였다 (Fig. 3).

수직적인 입도, 음향특성 및 물리적 성질 변화

분석된 코어시료 중 수심에 따른 퇴적물 유형이 다른 정점과 위치가 서로 다른 네 개 정점 (정점 2, 6, 8, 10)에 대한 수직적인 입도, 음향특성 및 물리적 성질에 대한 자료를 단면도를 작성하여 서로 비교하였다 (Figs. 4, 5). 또한 각각의 정점에 대한 자료를 평균하여 Table 2에 제시하였다.

평균입도는 정점 8를 제외하고는 대부분의 정점에서 8-9φ 사이의 니질퇴적물로 구성되고 퇴적층 깊이에 따른 변화가 거의 없다 (Fig. 4, Table 2). 이에 비해 정점 8의 경우는 3-4φ로 매우 조립하게 나타났다. 정점 8은 수심이 약 74 m로 중간대륙붕 (mid-shelf)지역으로 지역에 따라서 상부 표층에서는 아주 얇은 현생퇴적층이 피복되어 있고 바로 그 하부에는 조립질의 잔류퇴적물이 분포하는 지역에 속한다 (Fig. 2). 이러한 잔류퇴적물의 존재는 기존의 많은 연구결과 (Park and Yoo, 1988; Sung, 1994; Kim et al., 2001)에서 이미 밝혀진 바 있다.

음파전달속도는 니질퇴적물이 우세한 대부분 정점에서 1497-1512 m/s 범위를 보였고, 조립질퇴적물이 우세한 정점 8에서의 음파전달속도는 상대적으로 높은 1525-1655 m/s로 깊이에 따라서 속도값이 크게 증가하였다 (Fig. 4). 이들 음파전달속도 값은 지역적으로 인접하며 유사한 조직에 대해 측정된 기존의 결과 (Sung, 1994; Kim et al., 2001)와 비교해 볼 때 약 20-30 m/s의 절대값 차이를 보이는데 이는 각각의 연구에서

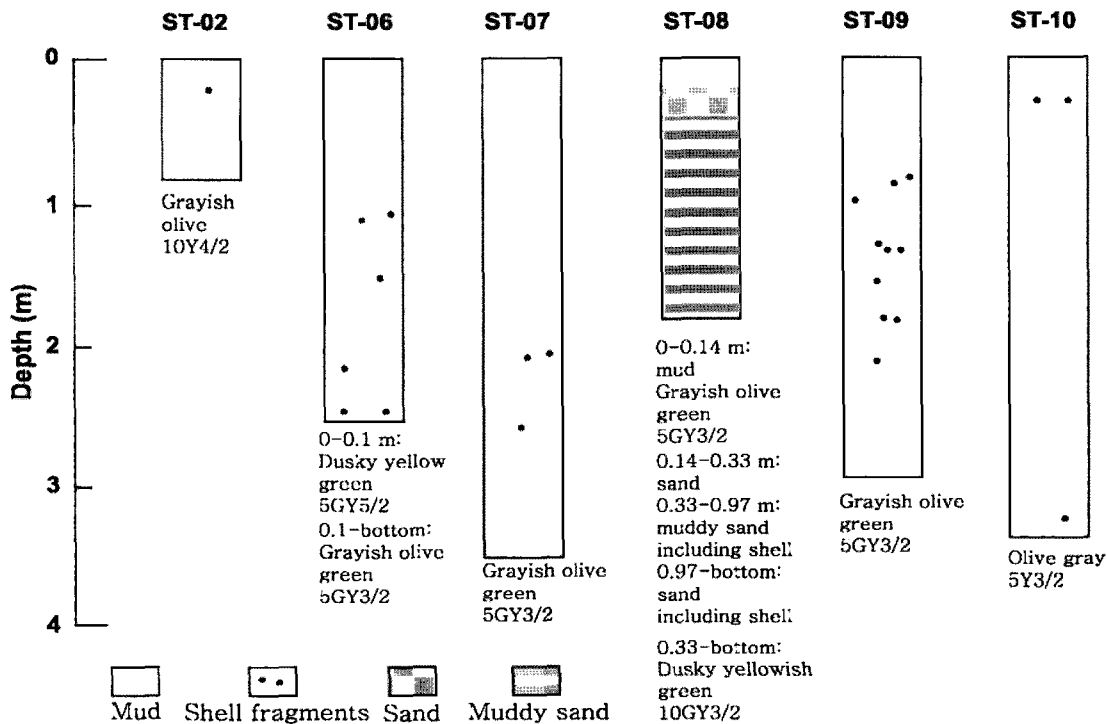


Fig. 3. Core lithology based on sediment texture, sedimentary structures and compositions.

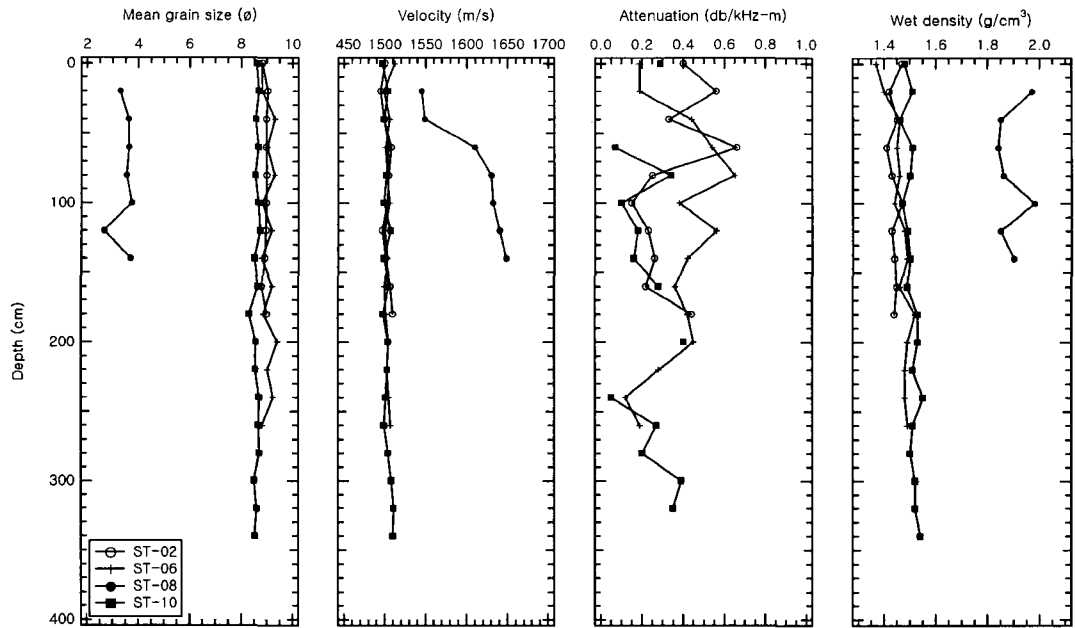


Fig. 4. Profiles of mean grain size, velocity, attenuation, and wet density at ST-02, 06, 08, and 10. Note that the values at ST-08 are significantly different from those of other stations.

Table 2. Average values of mean grain size, physical and geoaoustic properties for six cores

Station No.	Mean grain size (φ)	Velocity (m/s)	Attenuation (dB/m/kHz)	Wet density (g/cm ³)	Grain density (g/cm ³)	Porosity (%)	Water content (%)	Shear strength (kPa)
ST-02	8.95	1503	0.35	1.44	2.72	75	55	2.90
ST-06	9.05	1504	0.37	1.46	2.69	74	54	2.68
ST-07	8.31	1412	0.19	1.47	2.51	70	51	2.81
ST-08	3.45	1608	ND	1.89	2.74	49	28	ND
ST-09	8.49	1509	0.21	1.49	2.58	70	50	2.99
ST-10	8.61	1503	0.24	1.51	2.74	72	51	3.05

이용한 속도측정 시스템의 차이로 해석된다. 일반적으로 실내 음파전달속도 측정 시스템의 경우 획득된 시료의 길이를 얼마나 정확히 측정하느냐에 따라 속도 값에 많은 영향을 끼친다.

물론 시스템의 기계적인 차이, 측정주파수 그리고 측정시의 온도 등 다양한 요인이 속도에 영향을 주지만 이와 같은 조건이 유사할 경우는 측정시 시료의 길이를 얼마나 정확하게 측정하느냐도 중요한 요인 중 하나다. 실제로 Sung (1994)이나 Kim et al. (2001)의 측정방법은 트랜스듀서(transducer)사이 시료의 길이를 측정하는데 있어서 약간의 오차가 존재하였다. 하지만 본 연구에 사용된 시료길이 측정 장치의 경우 시료채취 및 속도측정시 길이의 변형을 방지하기 위해 시료와 접촉되는 변환기의 두께를 고려하여 제작된 stainless steel 재질을 사용함으로써 시료변형의 오차를 최소화하면서 보다 정확한 속도를 측정할 수 있었다.

연구지역에서 획득된 음파감쇠계수 값의 범위는 0.05-0.65 db/kHz-m로 측정되었다. 사질퇴적물이 우세한 점점 8에서는 속도측정기를 이용해서 속도측정이 이루어져서 음파감쇠 값

을 획득하지 못했다. 음파감쇠의 경우 니질퇴적물의 함량이 높고 입도가 감소할수록 크게 나타났다 (Fig. 4). 또한 깊이에 따른 속도값의 변화에 비해 음파감쇠의 변화는 크게 나타났다. 측정된 음파감쇠계수는 Shumway (1960)가 silty clay에 대해서 제시한 값인 0.07 db/kHz-m와 Hamilton (1972)이 Medium sand에 대해 제시한 값인 0.47 db/kHz-m와 유사한 범위의 값에 속한다. 음파감쇠의 경우는 입도의 변화와 직접적인 상관성이 없으며 공극율이 약 60%인 very fine sand에서 가장 높은 음파감쇠값을 보이고 silty clay에서 가장 낮은 감쇠값을 보여주는 것으로 알려져 있다 (Hamilton, 1970). 특히 감쇠의 경우는 측정주파수에 의한 차이가 존재하기 때문에 기존의 자료와 직접적인 비교를 위해서는 동일한 주파수에서 측정된 값과 비교되어야 할 것으로 본다.

습윤전밀도는 퇴적물의 조성이 같을 경우 다짐작용이나 고화작용에 영향을 받으며, 팽물의 조성이 유사한 경우 퇴적물의 조직에 의해 일반적으로 세립질보다 조립질 퇴적물에서 높게 나타난다 (Shepard et al., 1979). 연구지역의 경우 니질퇴

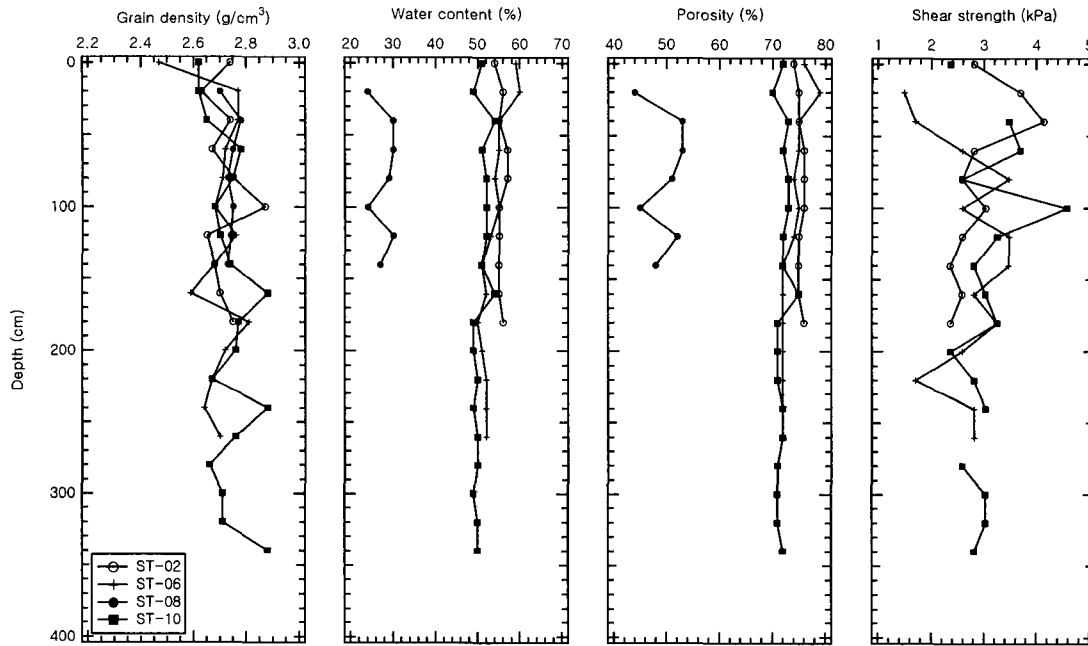


Fig. 5. Profiles of grain density, water content, porosity, and shear strength at ST-02, 06, 08, and 10.

적물이 우세한 정점에서 1.37-1.54 g/cm³ 범위로서 Kim et al. (1992)의 남해도 남부지역의 연구결과인 1.41-1.57 g/cm³ 과거의 유사하며 사질퇴적물이 우세한 정점 8은 Seo and Kim (2000)의 mid-shelf 지역의 값인 1.60-2.00 g/cm³의 범위에 포함된다. 입자밀도의 경우 2.46-2.90 g/cm³로 정점에 관계없이 변화폭이 다양하게 나타나고 수직적인 변화양상도 다른 물성값과의 유사성이 뚜렷하지 않다 (Fig. 5). 연구지역은 대부분 육성기원 쇄설성 퇴적물이 유입되는 지역으로 일반적인 육성기원 퇴적물의 평균입자밀도 2.67 g/cm³ 전후의 값을 가지며 평균 값 이상의 높은 입자밀도는 퇴적물내에 포함된 패각편이나 중광물의 함량에 나타나는 것으로 생각된다.

함수율은 퇴적물의 평균입도와 상관성이 높게 나타나는데 정점 8을 제외하고는 대부분 50% 이상의 값을 보이고 있다. 공극율도 수직적인 변화양상은 함수율과 유사하며 평균 70% 이상의 값을 보여 준다 (Fig. 5). 전단응력도 다른 물성값과 유사하게 깊이에 따라 큰 변화를 보여주지 않는다 (Fig. 5). 일반적으로 해양퇴적물의 경우 퇴적된 이후의 다짐 및 고화작용에 의해 함수율과 공극율이 감소하고 깊이에 따른 전단응력이 증가하는 것이 일반적인 현상이나 코어의 길이가 비교적 짧고 퇴적물이 높을 경우 이러한 경향을 보여주지 않는 경우도 많다 (Mosher et al., 1994). 따라서 본 연구지역의 경우에도 깊이에 따른 물성변화가 크게 나타나지 않는 것으로 보아 퇴적이후의 속성작용에 의한 영향이 크게 작용하지 않았던 것으로 보인다.

각 물성간의 상관관계

본 연구에서 측정된 모든 자료를 이용하여 각 물성간의

상관관계를 알아보기 위해서 각각의 값에 대하여 상관성을 비교하였다. 또한 속도 및 각물성간의 상관관계식을 기존에 제시한 자료와 동시에 제시하였다 (Table 3). 각 물성간의 상관성에 대한 연구로는 Hamilton (1970)이 북태평양 대륙붕 및 대륙사면 퇴적물의 음향학적 연구 결과를 토대로 퇴적물의 물리적 성질에 영향을 주 조직, 광물조성, 퇴적속도 등이 유사할 경우 일반적으로 전 해양 대륙붕 퇴적물에서 자신의 음향모델을 적용할 수 있음을 제시한 이후 많은 연구에서 이러한 자료를 이용하여 그 결과를 비교한 바 있다. 즉 Hamilton (1970)에 따르면 퇴적물의 조성이 유사할 경우 퇴적물의 조직을 이용하여 속도와 다른 물성값을 계산하고 또한 역으로 속도와 물성값을 이용하여 퇴적물의 조직을 알 수 있는 전지구적 모델화가 가능하다는 것이다. 그러나 최근에 와서는 이

Table 3. Regression equations for the relationships between velocity and physical properties of sediments in the study and adjacent areas. TS; This study; N; Namhae (Kim et al., 2001); B; Busan (Kim et al., 2001)

Equations	
Velocity (Vp) versus mean grain size (ϕ)	(TS) $Vp=1749.9-50.452Mz+2.5511Mz^2$ (N) $Vp=1723.1-32.7Mz+0.98Mz^2$ (B) $Vp=1787.4-45.7Mz+1.92Mz^2$
Velocity (Vp) versus porosity (% , η)	(TS) $Vp=2197-17.744\eta+0.11279\eta^2$ (N) $Vp=2572.6-27.0\eta+0.174\eta^2$ (B) $Vp=2745.5-30.6\eta+0.194\eta^2$
Velocity (Vp) versus wet bulk density (g/cm^3 , ρ)	(TS) $Vp=1763-490.7\rho+213.92\rho^2$ (N) $Vp=2727.4-1725\rho+617.16\rho^2$ (B) $Vp=2429.3-1314.3\rho+487.33\rho^2$

러한 모델의 경우 지역에 따른 퇴적조건, 퇴적환경 및 광물 조성 등의 차이에 의해 그 모델이 완전하게 적용될 수 없으며 따라서 지역에 따른 새로운 모델이 제시되어야 한다는 연구가 제시되고 있다 (Kim et al., 1996, 2001).

따라서 본 구에서는 연구지역 퇴적물의 조직, 실험실음파전달속도, 물리적 성질 등을 분석하여 기존의 Hamilton (1970)

자료와 Sung (1994), Kim et al. (2001)의 자료와 비교하여 그 상관성을 알아보았다. 퇴적물내의 공극율은 여러 가지 복잡하고 상호 관련된 요인들 (구성 광물 입자의 형태, 크기, 조성, 퇴적구조, 다짐작용에 의한 배열상태 차이)에 의해 영향을 받으며 일반적으로 입도가 감소할수록 공극율은 증가한다. 본 연구지역의 퇴적물에서도 공극율이 증가함에 따라 크지는

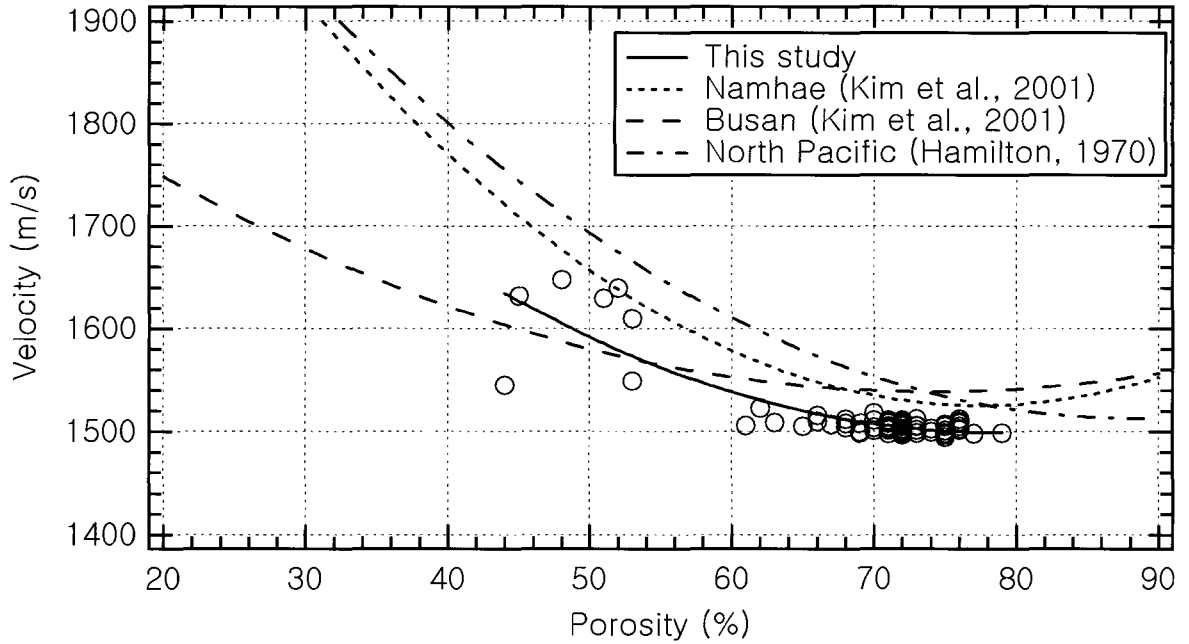


Fig. 6. Velocity versus porosity. Regressions from the previous studies are also displayed.

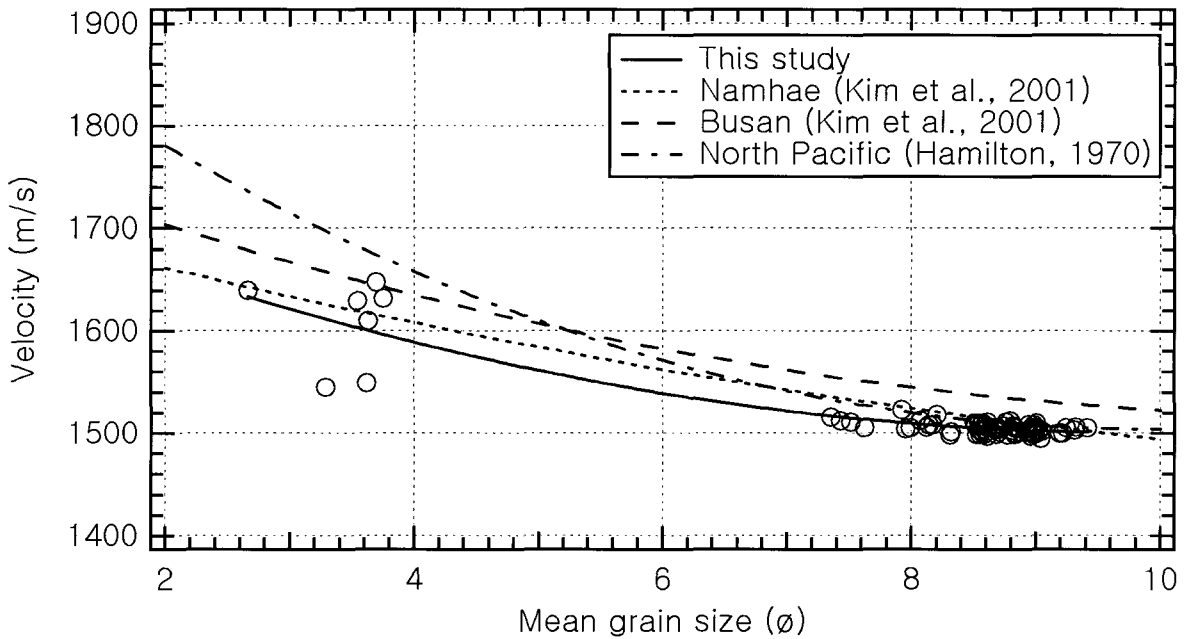


Fig. 7. Velocity versus mean grain size. Regressions from the previous studies are also displayed.

않지만 속도가 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, 절대값의 차이는 있지만 Hamilton (1970)과 Sung (1994), 그리고 Kim et al. (2001)의 자료와 유사성을 잘 보여준다 (Fig. 6). Hamilton (1970)이 제시한 북태평양자료와의 차이는 퇴적환경이나 퇴적과정 그리고 광물성분등에 의한 차이로 해석되며, 연구지역이 유사한 Sung (1994) 및 Kim et al. (2001)의 자료와 차이는 앞서 언급한 바와 같이 음파전달속도 측정방법에서 기인하는 요인 때문으로 보인다. Kim et al. (2001)의 부산지역의 자료 중 공극율이 40-50% 구간은 본 연구자료에 비해 낮은 기율기를 가지는데 이것 역시 본 연구의 경우 사질퇴적물에서는 속도측정기 (Velocimeter)를 이용하여 측정하였고 Kim et al. (2001)은 수은기동법을 이용한 자료이기 때문으로 생각된다. 따라서 본 연구지역의 지음향모델을 보다 정확하게 제시하기 위해서는 기존의 상관관계식을 수정한 새로운 관계식 (Table 3)을 이용하여야 할 것으로 사료된다.

Hardin and Richart (1963)를 비롯한 그 이후의 많은 연구자료에 의하면 음파전달속도와 물성에 관한 실험에서 입도가 감소할수록 음파전달속도가 감소하는 경향을 보여준다. 입도의 경우 공극율과 밀도변화를 좌우하기 때문에 속도에 영향을 주며 평균입도는 속도결정에 중요한 변수로 알려져 있다 (Horn et al., 1968). 그러나 본 연구지역을 비롯한 비교모델에서 그 상관성이 미약하게 보이는 것 (Fig. 7)은 조립질의 퇴적물에 의한 영향이 전체적인 회귀선에 영향을 주기 때문으로 생각된다. 평균입도가 속도에 크게 영향을 주는 경우는 실트나 점토의 함량이 높은 세립질 퇴적물에서 훨씬 우세하다.

전밀도는 탄성방정식에서 음파전달속도를 결정하는 변수 중의 하나로 일반적으로 전밀도가 증가함에 따라 체적 탄성율

(bulk modulus)과 강성율 (shear modulus)이 증가하므로 속도는 이에 비례하여 증가한다 (Hamilton, 1970). 퇴적물의 전밀도는 광물성분, 속성작용, 원양성 퇴적물에 의해 영향을 받으며 미고생물의 종류 및 함량 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Hamilton, 1970). 본 연구지역에서도 밀도가 증가함에 따라 속도가 증가하는 일반적인 경향을 잘 보여준다 (Fig. 8). 또한 비교자료로 제시한 값들과의 절대값 차이는 존재하나 그 변화 경향은 아주 유사하다. 공극율과 평균입도는 서로 밀접한 관계를 가지는데 일반적으로 입도가 감소함에 따라 증가하는 점토의 특징적인 퇴적구조 때문에 공극율은 증가한다 (Hamilton, 1970). 본 연구지역에서도 이러한 일반적인 양상을 잘 보여주고 있다 (Fig. 9). 뿐만 아니라 전밀도는 퇴적물의 광물조성에 좌우되며 원양성 퇴적물의 경우 생물기원 퇴적물에 의해 많은 영향을 받게 된다. 일반적으로 전밀도는 입도의 증가에 따라 증가하는 양의 상관관계를 가지는데 연구지역의 경우도 이러한 경향을 잘 보여준다 (Fig. 10).

결론적으로 연구지역의 각 조직 및 물성간의 상관관계에서 제시한 자료 (Table 3)를 보면 지역적으로 거의 유사함에도 불구하고 Sung (1994) 및 Kim et al. (2001)의 자료와 절대값의 차이가 존재하는 것은 속도측정에 있어서 시료의 길이 측정시 발생한 오차 때문에 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 개선된 측정방법에서 도출된 결과를 이용하여 연구지역의 물성 및 지음향 특성자료를 새로이 제공하며 (Table 3), 더불어 향후 본 연구지역을 포함한 남해지역의 지음향모델 구축 시 요구되는 물성 및 지음향특성간 새로운 관계식을 제시하고자 한다.

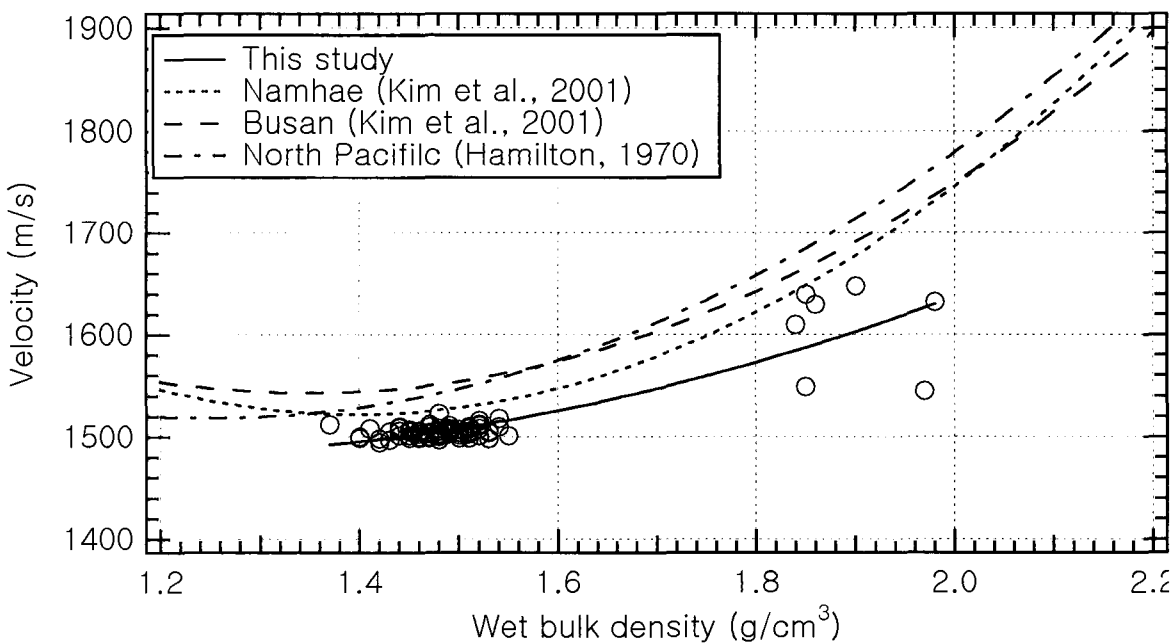


Fig. 8. Velocity versus wet bulk density. Regressions from the previous studies are also displayed.

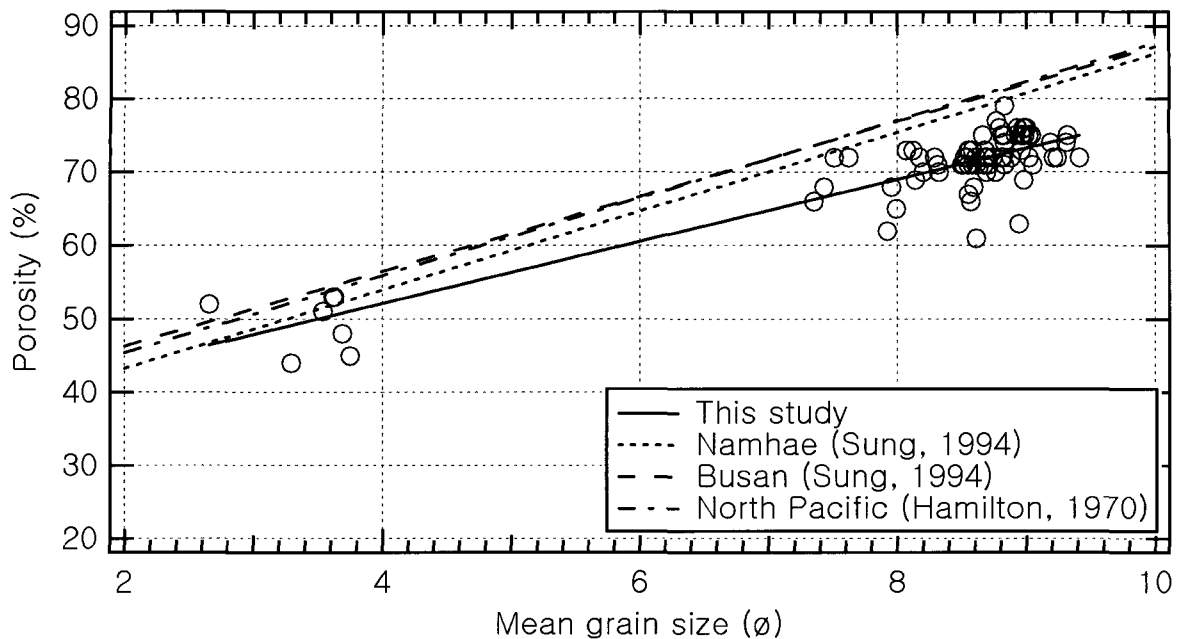


Fig. 9. Porosity versus mean grain size. Regressions from the previous studies are also displayed.

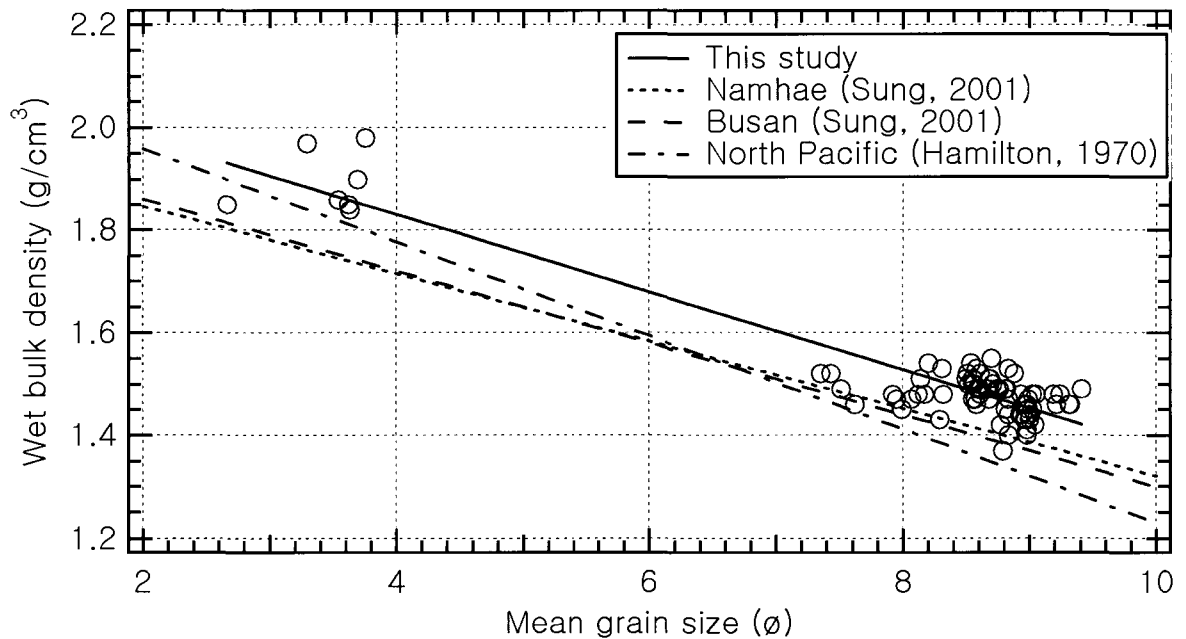


Fig. 10. Wet bulk density versus mean grain size. Regressions from the previous studies are also displayed.

사 사

이 논문은 2001학년도 부경대학교 기성회 학술연구조성비에 의하여 연구되었음. 시료채취를 위해 도움을 주신 탐양호 승무원들께 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

Bassinot, F.C. 1993. Sonostratigraphy of tropical Indian

Ocean giant piston cores: Toward a rapid and high-resolution tool for tracking dissolution cycles in Pleistocene sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 120, 327-344.

Boyce, R.E. 1976. Definitions and laboratory techniques of compressional sound velocity parameters and wet-water content, wet-bulk density, and porosity parameters by gravimetric and gamma ray attenuation

- techniques. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 33, Washington D.C., U.S. Government Printing Office, pp. 931-958.
- Cho, W.H. 1985. A study on sedimentary structure and compressional wave velocity of marine sedimentary layers around the southern coast of Yeosu, Korea. M.S. Thesis, Pusan National University, Pusan, Korea, pp. 76. (in Korean)
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sedi. Petrol.*, 27, 3-27.
- Folk, R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hamphill's, Austin, Texas, pp. 170.
- Hamilton, E.L. 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *J. Geophys. Res.*, 75, 4423-4446.
- Hamilton, E.L. 1972. Compressional wave attenuation of marine sediments. *J. Geophys.*, 37, 620-646.
- Hardin, B.O. and F.E. Richart, Jr. 1963. Elastic wave velocities in granular soil. *J. Soil Mech., Found. Div., Am. Soc. Civil Eng.*, 89(SM-1), 33-65.
- Horn, D.R., B.M. Horn, and M.N. Delach. 1968. Correlation between acoustical and other physical properties of deep sea cores. *J. Geophys. Res.*, 73, 1939-1957.
- Huh, O. 1982. Satellite observations and the annual cycle of surface circulation in the Yellow Sea, East China Sea and Korea Strait. *La Mer.*, 20, 210-222.
- Ingram, F.L. and J.S. Galehouse. 1971. Sieve analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology*, Carver. R.E., ed. Wiley-Interscience, pp. 69-74.
- Kim, D.C. 1989. Laboratory determination of compressional wave velocity of unconsolidated marine sediment. *J. Kor. Fish. Soc.*, 22, 147-153. (in Korean)
- Kim D.C. and G.Y. Kim. 1991. Physical and acoustic properties of unconsolidated sediment in the Kwangyang Bay: In comparison with the continental terrace sediment in the North Pacific. *J. Kor. Fish. Soc.*, 24, 289-302. (in Korean)
- Kim, D.C. Y.A. Park, C.B. Lee, H.J. Kang, and J.H. Choi. 1992. Sedimentation and physical properties of innershelf sediment, South Sea of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 28, 604-614. (in Korean)
- Kim, D.C., G.Y. Kim, Y.K. Seo, D.H. Ha, I.C. Ha, Y.S. Yoon, and J.C. Kim. 1999. Automated velocity measurement technique for unconsolidated marine sediment. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4, 400-404. (in Korean)
- 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., J.Y. Sung, D.C. Kim, and J.C. Kim. 1994. Physical and acoustic properties of sediment around the Yeosu Sound. *J. Kor. Fish. Soc.*, 27, 434-444. (in Korean)
- Kim, G.Y., D.C. Kim, S.C. Park, D.G. Yoo, J.H. Choi, and J.C. Choi. 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 Minist. Sci. Technol.*, 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, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 20, 10-21. (in Korean)
- Kim, H.W. and Y.A. Park. 1980. Microbiogenic sediments in the Nagdong estuary, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 15, 34-48. (in Korean)
- Kim, S. 1967. Tidal current at Smacheonpo Hang and in the vicinity. *IBIE*, pp. 165-182.
- KHO (Korea Hydrographic Office). 1982. *Marine Environmental Atlas of Korean Waters*. Korea Hydrographic Office, pp. 38. (in Korean)
- Korea Ministry of Construction. 1976. Report on the Nakdong Estuary: Industrial site investigation. *Tech. Rept.*, 1, pp. 1-56.
- Mayer, L.A. 1991. Extraction of high-resolution carbonate data for paleoclimate reconstruction. *Nature*, 352, 148-150.
- Mosher, D.C., K. Morgan and R.N. Hiscott. 1994. Late Quaternary sediment, sediment mass flow processes and slope stability on the Scotian Slope, Canada. *Sedimentology*, 41, 1039-1061.
- Park, S.C. and D.G. Yoo. 1988. Depositional history of Quaternary sediments on the continental shelf off the Southeastern coast of Korea (Korea Strait). *Mar. Geol.*, 79, 65-75.
- Park, Y.A. 1983. The nature of Holocene sedimentation

- and sedimentary facies on the continental shelves of Korea. Summer Conference for Domestic and Foreign Scholars of Science and Technology, The Korean Federation of Science and Technology Societies, pp. 72-80.
- Seo, Y.K. and D.C. Kim. 2000. Acoustic property of sandy sediment in the Korea Strait using sediment sound velocimeter. *J. Acoust. Soc. Korea*, 19, 77-85. (in Korean)
- Shepard, L.E., W.R. Bryant and W.A. Dunlap. 1979. Geotechnical properties and their relation to geologic processes in South Pass outer continental shelf lease area Blocks 28, 47 and 48, offshore Louisiana, Texas A&M Univ. Technical Report 79-5-T, pp. 125.
- Shipboard Scientific Party. 1991. Ocean Drilling Program: Ancient oceanclimate links (ODP Leg 138), *Nature*, 353, 304-305.
- Shumway, G. 1960. Sound speed and absorption studies of marine sediments by a resonance method, 1 and 2. *Geophysics*, 25, 451-477.
- Sung, J.Y. 1994. Sedimentary environment and geoaoustic modeling of the shelf sediment, South Sea of Korea. M.S. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, pp. 114. (in Korean)
- Toksoz, M.N., D.H. Johnston and A. Timur. 1979. Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements, *Geophysics*, 44, 681-690.
- Weber, M.E., F. Niessen, G. Kuhn and M. Wiedicke. 1997. Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger. *Mar. Geol.*, 136, 151-172.

2004년 6월 30일 접수
2004년 8월 27일 수리