

한국 남동해역 내대륙붕 이토대 퇴적물의 물리적 성질

김길영 · 김대철 · 서영교¹ · 박수철² · 최진혁³ · 김정창⁴

부경대학교 탐사공학과, ¹부경대학교 응용지질학과
²충남대학교 해양학과, ³국방과학연구소, ⁴부경대학교 실습선

Physical Properties of Mudbelt Sediments in the Southeastern Inner Shelf of Korea

GIL YOUNG KIM, DAE CHOUL KIM, YOUNG KYO SEO¹, SOO CHUL PARK²
JIN HYUK CHOI³ AND JEONG CHANG KIM⁴

Department of Exploration Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea
¹Department of Applied Geology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea
²Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea
³Agency for Defence Development, Chinhae 645-600, Korea
⁴Department of shipboard Training, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

한국 남동해역 내대륙붕 이토대(mudbelt) 퇴적물의 물리적 성질을 연구하기 위하여 이토대지역 총 14개 정점에서 파스톤시추기를 이용하여 해저 퇴적물을 채취하였다. 시추퇴적물은 실험실에서 각 코어별 일정한 깊이로 퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 음파전달속도를 측정하였다. 표층퇴적물의 조직 중 평균입도는 연구지역의 남쪽지역인 울산 앞바다에서 북쪽으로 갈수록 등수심선과 거의 평행하게 감소하는 경향을 보인다. 물리적 성질인 습윤전밀도와 공극율 그리고 속도 등의 분포 형태도 평균입도 분포와 유사하게 변화하는 경향을 뚜렷하게 보여주어 퇴적물의 입도가 물성에 큰 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 이러한 퇴적물의 조직 및 물성의 분포특성은 낙동강 및 한반도 주변에서 공급된 세립질 퇴적물이 연안류나 대만난류 등에 의해 해안선을 따라 북동쪽으로 이동하면서 분급화되어 북쪽으로 갈수록 점진적으로 조립질에서 세립질로 변해가는 퇴적과정을 보여주는 것으로 해석된다. 퇴적물의 조직, 물성 및 속도등의 수직적인 변화도 퇴적후의 다짐작용보다는 퇴적물의 조직에 의해 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 조직 및 물성간의 상관관계를 보면 비교모델로 사용한 북태평양 대륙붕 및 사면퇴적물은 물론 남해대륙붕 퇴적물과 전반적인 경향은 유사하나 절대값의 차이가 있다. 즉 같은 조직 및 물성값에 대해 본 연구지역의 속도가 더 높다. 이러한 결과는 퇴적물의 기원에 기인한 광물조성 및 퇴적환경의 차이와 본 연구지역에 비교적 흔한 가스함유퇴적층의 존재로 인한 가스의 방출로 퇴적물의 공극비가 감소하여 높은 속도값을 보이는 것으로 사료된다.

Physical properties of mudbelt sediments in the southeastern inner shelf of Korea are studied from 14 cores. Physical properties, compressional wave velocity, and sediment texture for core sediments are analyzed. The major source of sediment in the study area is the Nakdong River. Fine-grained sediments from the river are transported northeastward by coastal circulation and the Tsushima Current, resulting in a gradual northeastward increase in porosity and a decrease in wet bulk density and velocity. The trend matches well with the bathymetry. The mean grain size appears to be the most important variable to determine the physical properties and velocity. The variations of physical properties with burial depth are dependent more strongly on sediment texture than compaction and/or consolidation. Correlations between the physical properties and the sediment texture show slight deviations from those of the continental terrace sediment in the North Pacific and inner shelf sediment in the South Sea of Korea. The velocity is higher than that of the North Pacific and the South Sea sediments between these areas. This is probably due to differences in sedimentary environment and mineral compositions. The higher sediment velocity in the study area may also be attributed to the escape of gas from pore space which decreases void ratio.

서 론

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 퇴적물 조성의 지시자로서

도 이용된다(Mayer, 1991; Bassinot, 1993). 특히 검층(core logging)과 같이 고해상도의 퇴적물의 물리적 성질은 빠르고 쉽게 측정이 가능하기 때문에 고환경의 해석이나 퇴적과정을 유추할 수 있는 수단으로도 활용되고 있다(Weber *et al.*, 1997).

심해저시추기구(Deep Sea Drilling Project: DSDP)나 그 후속 프로그램인 해저지각골작프로그램(Ocean Drilling Program: ODP)에서는 시추된 모든 코어에 대하여 공극율, 함수율, 전밀도, 입자밀도, 열전도도 및 음파전달속도 등을 측정하고 있으며, 연속적인 자료획득을 위해 전코어를 MST(Multi-Sensor Track)라는 장치에 주사(scanning)하여 시추코어에 대한 연속적인 공극율(Gamma Ray Attenuation Porosity Evaluation: GRAPE), 대자율(Magnetic Susceptibility), 음파전달속도(P-wave velocity) 등을 측정하고 있다. 이러한 퇴적물의 물성자료들은 모든 시추공에 대하여 실시하는 물리검층 자료와 더불어 퇴적물의 미세구조(microstructure) 해석에 이용되고 궁극적으로는 퇴적과정, 퇴적환경, 속성작용 등을 규명하는데도 응용된다.

한반도 주변 퇴적물의 물성 및 음향에 관한 연구는 탄성파자료로부터 음파전달속도를 계산하는 방식(조, 1985; 김과 석, 1985)을 효시로 시작되었으며, 그 후 80년대 후반부터 실험실에서 시추코어를 이용한 직접측정 방식(김, 1989)으로 대체되면서 남해 및 동해 주변 지역에 대한 연구(김과 김, 1991; Kim *et al.*, 1992; 김등, 1994; 김등, 1996; Kim and Kim, 1998)가 본격화되고 있다. 그러나 한반도 주변 이토대중 한반도 남동 내대륙붕대의 이토대 지역에 대한 퇴적학적인 연구는 있으나 퇴적물의 물리적 성질에 관한 본격적인 연구결과는 거의 없다. 특히 고해상도탄성과 탐사를 이용한 최근의 연구결과(최등, 1997; Park *et al.*, 1999)를 보면 본 연구지역은 음향혼탁층이 흔히 나타나는 지역으로서 한반도 주변 다른 이토대 지역에 비해 물성의 차이가 나타날 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 한반도 남동 내대륙붕 이토대 퇴적물의 조직 및 물리적 성질에 대한 자료를 제시하고, 이를 범용 지음향모델(geoacoustic model)인 Hamilton (1970)이 제시한 북태평양의 대륙붕 및 사면자료와 비교 분석하여 유사성을 밝히는데 그 목적이 있다.

연구지역

본 연구지역은 동해 울릉분지 및 한반도 남해가 서로 연결되는 해역에 위치하며, 남쪽으로는 대한해협이 북쪽으로는 대륙붕 및 대륙사면으로 이어져 수심 1000 m 이상의 울릉분지로 연결된다(Fig. 1). 또한 이 지역은 한반도 주변(주로 낙동강)에서 기원한 홀로세 니질퇴적물들이 부산앞 연안에서부터 북쪽 해안을 따라서 대상으로 발달하여 이토대를 이루고 있는 것으로 보고되어 있다(박등, 1987; 최와 박, 1993, 최등, 1997; Park *et al.*, 1999). 이러한 니질퇴적물들의 이동은 주로 조류 및 동해로 흐르는 대마난류에 의해 크게 지배를 받는다. 해저지형은 북동-남서의 해안선과 평행한 방향으로 등수심선이 발달하며 남쪽으로 향하여 비교적 평탄하고 넓은 대륙붕이 존재한다. 외대륙붕 및 대한해협 지역은 많은 부분이 사질의 잔류퇴적물에 의해 덮혀 있고 수심 70~100 m 이하의 천해지역에서는 현생 홀로세의 니질 퇴적물들이 우세하게 분포하고 있다(Park and Choi, 1986; Park

and Yoo, 1992; 김등, 1996; Park *et al.*, 1999).

연안지역에서의 조류의 방향은 만조시 서-남서방향과 간조시 동-북동방향으로 흐르며 조류의 최대속도는 100 cm/s 보다 강하다(Korea Hydrographic Office, 1982). 한반도 남동해역에는 한국연안수, 대마난류수, 북한한류수, 동해고유수 등의 수괴가 존재하는 것으로 보고되어 있으며, 본 연구지역의 북부지역은 국지적인 냉수대 현상인 연안용승이 나타나는 것으로 알려져 있다(이등, 1998). 따라서 이런 용승현상 및 해상풍 등에 의한 수괴의 순환작용은 저층퇴적물의 퇴적작용에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

재료 및 방법

본 연구지역 이토대 퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질에 관한 연구를 위하여 1995년 5월 부경대학교 탐사선 탐양호를 이용하여 총 14개 지점에서 피스톤 시추기를 이용하여 코어시료를 채취하였다(Fig. 1). 채취된 코어의 길이는 40~200 cm(평균 130 cm)이다. 시추지점의 위치는 탐양호에 부착된 위공위성항법장치(Global Positioning System)를 이용하였고 채취된 코어시료는 실험실로 옮긴 후 퇴적물의 조직, 음파전달속도, 물리적 성질 등을 일정한 깊이별(10~30 cm 간격)로 측정하였다.

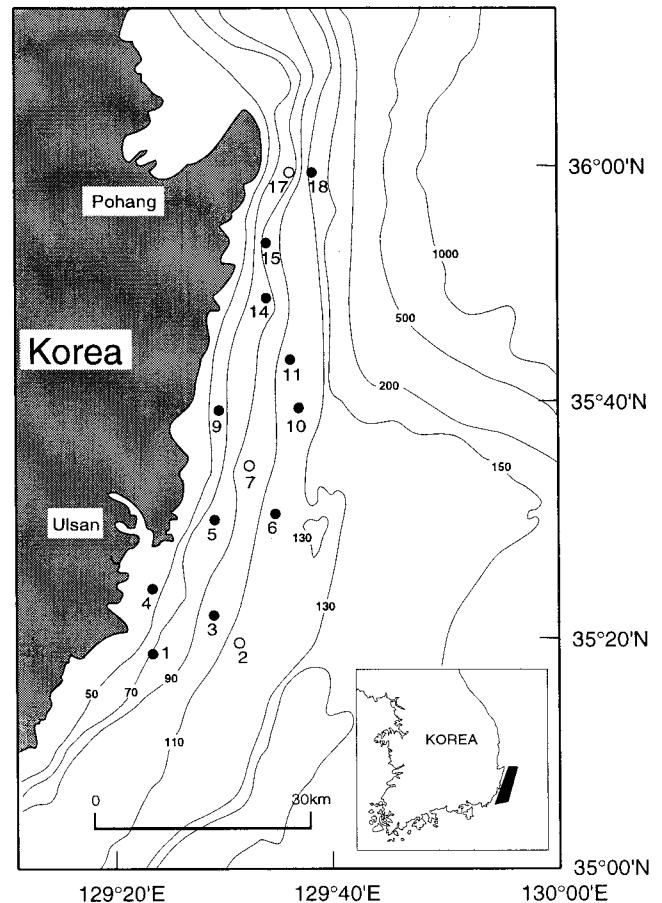


Fig. 1. Bathymetry of the study area and piston core locations. Open circles indicate the stations discussed for vertical variations of sediment physical properties.

퇴적물조직 측정을 위하여 Folk(1968) 및 Galchouse(1971)의 방법에 따라 체질분석과 피펫방법을 병행하였고, Folk and Ward(1957)의 모멘트 방법에 따라 조직값을 구하였다.

물리적 성질(습윤전밀도, 함수율, 공극율)은 자동밀도측정기(Quantachrome: Ultracycrometer 1000)를 이용하여 측정하였다. 자동밀도측정기에 사용된 가스는 정확한 부피를 구하기 위해서 불활성이며 원자크기가 작아($1 \text{ \AA}: 10^{-10} \text{ m}$) 아주 작은 공극 및 틈에도 침투 가능한 헬륨가스를 사용하였고, 압력은 21 psi를 유지하였으며, 각 시료당 5번씩 측정하여 평균값을 구하였다. 건조무게는 건조기에서 $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 에 24시간 건조시킨 다음 데시케이터에서 4시간 동안 냉각시킨 후 각각 측정하였다. 염분보정은 해수의 평균밀도 1.0245 g/cm^3 값을 기준으로 계산하였다(Boyce, 1976).

퇴적물의 음파전달속도는 수은기동 방법(Mercury Delay Line Method)을 사용하여 측정하였고(Birch, 1960; 김, 1989), 각 시료별로 수평성분과 수직성분 속도를 측정하여 평균값을 택하였다. 수은기동에는 1 MHz Barium Titanate Transducer를 시료에는 동일주파수의 PZT-4 Transducer가 사용되었다. 비배수전단 응력(undrained shear strength)은 자동응력측정장치(Motorized shear vane, Geotest Model 23500)를 사용하여 측정하였다.

결 과

14개 정점(Fig. 1)에서 채취한 코어퇴적물에 대해 퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 음파전달속도를 일정한 깊이간격($10 \sim 30 \text{ cm}$)에 따라 측정하여 각각의 코어에 대해 평균값으로 표시하여 Table 1에 제시하였다. 또한 본 연구지역 퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 음파전달속도를 알아보기 위해서 분포도, 단면도 및 상관관계 그래프를 작성하였다.

표층퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 음파전달속도 분포

코어채취시 발생하는 교란현상을 고려하여 코어길이 10 cm에서 측정된 조직 및 물성의 값으로 연구지역의 표층퇴적물의 조직, 물성 및 음파전달속도등의 분포도를 작성하였다.

연구지역의 북쪽 및 연안쪽으로 갈수록 평균입도가(4.5ϕ 에서

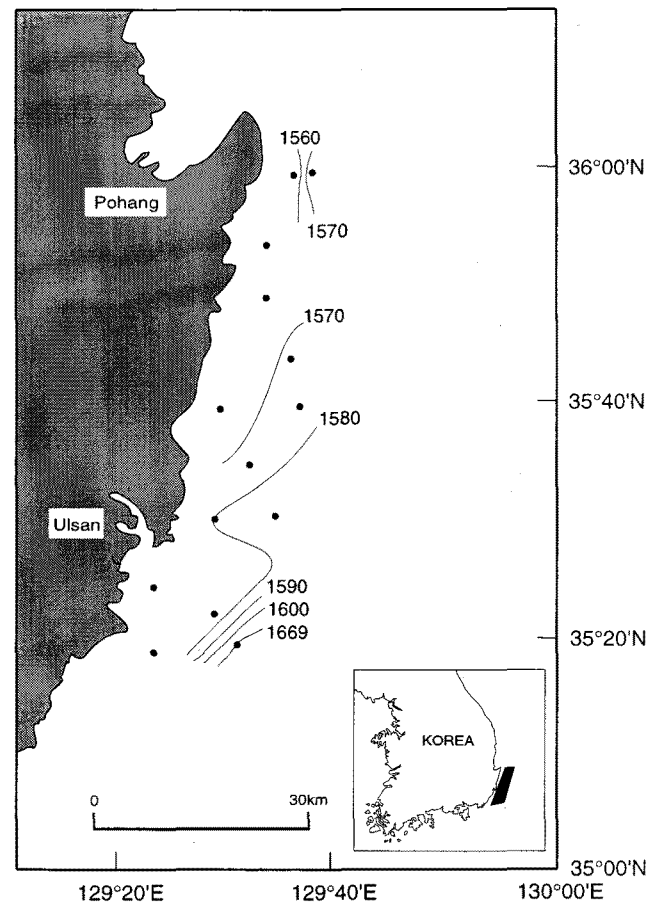


Fig. 2. Mean grain size(ϕ) distribution at 10 cm subbottom depth. Note that the mean grain size decreases from south to north.

8.1ϕ) 세립해지며 해안선 및 등수심선과 거의 평행한 대상분포를 보인다(Fig. 2). 습윤전밀도는 외대륙붕쪽에서 연안쪽 및 북서방향으로 갈수록 1.80 g/cm^3 에서 1.40 g/cm^3 로 점진적으로 감소한다(Fig. 3). 공극율은 습윤전밀도와는 반대로 연안 및 북서방향으로 갈수록 점토함량의 증가에 기인하여 60%에서부터 80%

Table 1. Average values of sediment textures, physical properties and velocity for all the cores

Station	Water depth (m)	Porosity (%)	Water content (%)	Wet bulk density (g/cm^3)	Velocity (m/s)	Shear strength (kPa)	Mean size (ϕ)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
1	73						6.60	4.1	36.5	42.1
2	118	70	45	1.62	1627	3.81	5.82	34.3	33.1	32.6
3	102	76	52	1.50	1562	4.44	7.71	1.7	53.1	45.1
4	44	76	52	1.50	1564	3.22	7.75	2.5	54.6	42.8
5	80	79	56	1.43	1578	1.85	7.98	1.0	49.7	49.1
6	125	69	44	1.61	1605	3.32	4.93	53.4	22.1	24.4
7	100	81	57	1.47	1578	2.48	7.94	0.5	52.7	46.8
9	64	74	58	1.30	1579	2.07	8.01	0.3	49.5	50.2
10	120	76	57	1.38	1572	3.76	8.05	0.6	50.7	48.8
11	117	77	58	1.36	1578	2.96	8.22	0.1	46.5	53.4
14	80	81	58	1.43	1580	3.48	7.89	0.2	43.8	51.2
15	101	72	54	1.37	1574	3.43	8.28	0.2	43.9	55.9
17	84	78	55	1.45	1579	3.26	7.96	2.5	48.5	49.1
18	130	66	40	1.70	1630	5.36	3.68	63.9	17.9	18.1
Average	96	75	53	1.47	1585	3.34	7.20	11.8	43.1	43.6

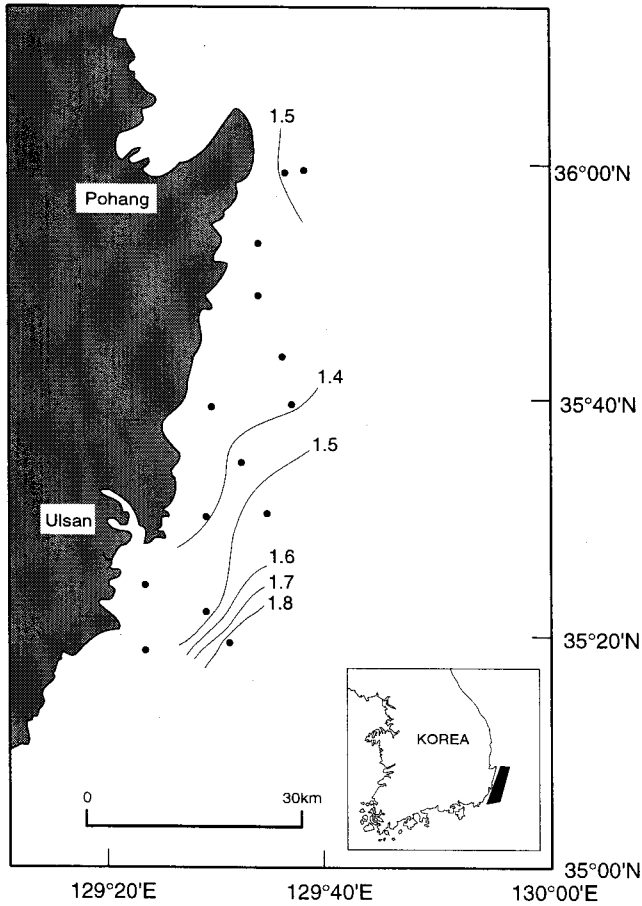


Fig. 3. Wet bulk density (ρ) distribution at 10 cm subbottom depth.

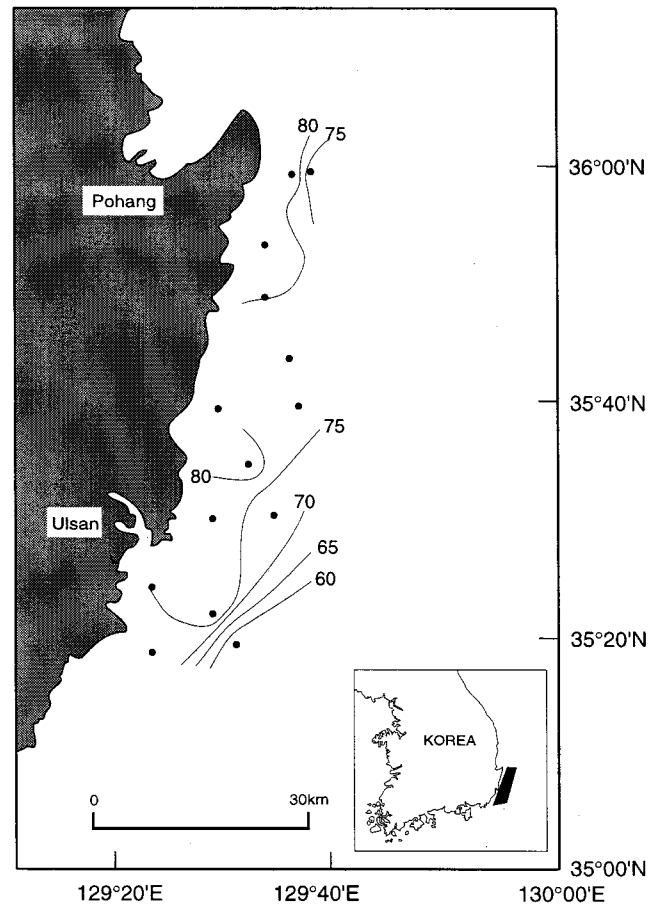


Fig. 4. Porosity (%) distribution at 10 cm subbottom depth.

까지 증가한다(Fig. 4). 음파전달속도 역시 다른 물성값의 변화양상과 유사하게 외대륙붕쪽에서 1669 m/s로 높은 값을 보이다 연안 및 북서방향으로 갈수록 세립질 퇴적물의 증가로 인하여 속도가 1560 m/s까지 감소한다(Fig. 5).

깊이에 따른 조직, 물리적 성질 및 음파전달속도

본 연구지역 코어중 코어의 길이와 위치 등을 고려하여 전 연구지역을 대표 할 수 있을 것으로 생각되는 3개 정점(정점 2, 7, 17; Fig. 1)을 택하여 퇴적물의 조직 및 물성에 대한 각각의 단면도를 작성하였다.

정점 2번은 수심 118 m로 연구지역의 최남단부에 해당한다(Fig. 1). 조직 및 물성값의 수직적인 변화를 보면 10 cm 깊이에서 모래의 함량이 59.4%로 높은 반면 실트와 점토의 함량은 17.5% 및 23.0%로 낮은 함량을 보인다(Fig. 6). 그 이하 깊이에서는 모래의 함량은 감소하고 점토 및 실트의 함량은 전반적으로 증가한다. 그 결과 평균입도 역시 퇴적층 깊이 10 cm에서 약 4 ϕ 로 최대값을 갖고 깊이에 따라 세립질 함량이 증가한다. 습윤전밀도 역시 조직값의 영향을 받아 퇴적층깊이 10 cm에서 1.80 g/cm³로 높은 값을 보이며, 그 하부층으로 갈수록 점진적으로 감소하고 평균값은 1.62 g/cm³이다. 함수율과 공극율의 변화양상도 깊이에 따라 세립화하는 조직에 영향을 받아 하부로 갈수록 전반적으로 증가한다. 속도는 모래의 함량이 높은 10 cm

깊이에서 1669 m/s로 최대값을 보이며, 실트함량이 약간 높은 50 cm 깊이에서도 비교적 높지만 전반적으로는 깊이에 따라 감소하는 형태를 보여 조직의 수직적인 변화양상과 유사하다. 전단응력은 깊이에 따른 변화가 심하며 평균 3.81 kPa이며 140 cm 깊이를 제외하고는 조립질 함량이 높은 곳에서 증가한다(Fig. 6).

정점 7번은 수심 100 m로 연구지역의 중심부에 위치한다(Fig. 1). 깊이에 따른 조직 및 물성의 변화는 적고 미미하다(Fig. 7). 모래함량은 평균 0.4%로 아주 적고, 실트와 점토는 평균값이 각각 52.6%, 46.8%로 거의 비슷하며 깊이에 따른 변화도 크지 않다. 입도 역시 평균 7.94 ϕ 로 깊이에 따른 변화가 거의 없다. 습윤전밀도는 80 cm 깊이에서 약간 높은 1.51 g/cm³으로 최대값을 보이나, 평균값은 1.47 g/cm³으로 깊이에 따른 변동폭은 거의 없다. 함수율과 공극율도 각각 평균 57%, 81%로 수직적인 변화가 없다. 속도는 평균 1578 m/s로 하부층에서 약간 높으나 그 차이는 측정오차에 해당할 정도로 미미하다. 전단응력은 코어 깊이 50 cm에서 3.04 kPa로 약간 높은 값을 보이며, 평균 2.48 kPa로 전반적으로 깊이에 따라 약간 증가하는 형태다.

정점 17번은 수심 84 m로 연구지역의 북쪽인 포항 연안에 위치한다(Fig. 1). 각 물성값의 깊이에 따른 변화(Fig. 8)를 보면 모래함량은 평균 2.4%로 낮고 수직적인 변화가 거의 없으며 실트와 점토함량은 각각 48.4%, 49.1%로 거의 비슷하다. 그러나 코어깊이 20 cm에서부터 140 cm까지는 실트함량은 약간 감소

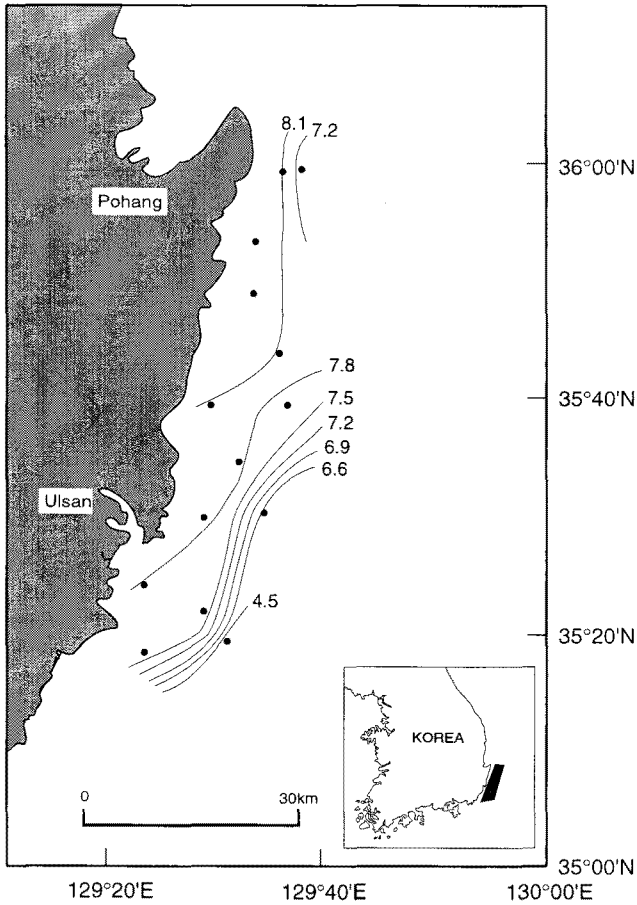


Fig. 5. Velocity (m/s) distribution at 10 cm subbottom depth.

하고 점토함량은 미세하게 증가하는 양상을 보인다. 평균입도는 7.71 ϕ 로 깊이에 따라 거의 일정하다. 습윤전단도는 평균 1.45

g/cm^3 이며 코어깊이 10 cm에서 특이하게 1.51 g/cm^3 로 최대값을 보이며, 그 이하깊이에서는 약간 증가한다. 함수율과 공극율은 각각 평균 55%, 78%로 깊이에 따른 큰 변화가 없다. 속도 역시 평균 1579 m/s로 깊이에 따른 변화를 거의 보이지 않는다. 전단응력은 평균 3.26 kPa이며 하부층에서보다 실트함량이 비교적 높은 상부층에서 더 높은 값을 가진다(Fig. 8). 이러한 전단응력값은 평균입도가 비슷한 남해 내대륙붕지역 이토대의 니질 퇴적물 3.40 kPa(Kim *et al.*, 1992), 동해 울릉분지 중심부 니질 퇴적물의 2.60 kPa(Kim, 1998) 값과 유사하지만 침식환경이 우세한 울릉분지 사면지역에서의 6.05 kPa 값과는 차이가 많다. 본 연구지역의 비배수전단응력 값은 현생퇴적층인 남해 이토대의 특성을 잘 반영하고 있으며 음파전달속도와는 달리 거의 유사하다.

조직 및 물성간의 상관관계

본 연구지역 퇴적물의 조직, 물성 및 음파전달속도와와의 상관관계를 알아보기 위해서 상관관계 그래프를 작성하였다. 또한 Hamilton(1970)이 지음향모델로 제시한 북태평양의 대륙붕 및 사면퇴적물과도 비교하였다. Hamilton(1970)은 북태평양 대륙붕 및 사면퇴적물에 대한 퇴적물의 물성 및 음향학적 연구결과를 바탕으로 퇴적물의 물리적 성질에 영향을 주는 요소들인 조직, 광물 조성, 퇴적속도 등이 유사할 경우에 자신이 제시하는 지음향모델이 적용된다고 주장하였다. 즉 퇴적물의 조성이 유사할 경우 퇴적물의 조직을 이용하여 속도와 다른 물성값들을 계산할 수 있으며, 그 역의 경우도 가능하다는 전지구적인 모델을 제시한 바 있다. 그러나 이 모델이 한반도 주변지역 퇴적물에 적용가능한지의 여부는 아직까지 확실치 않으며 다만 지금까지 연구되어온 결과를 보면 절대값의 차이는 있으나 내대륙붕의 세립질 퇴적물에서는 비교적 Hamilton(1970)의 모델과 유사한 경향을 보이는 것

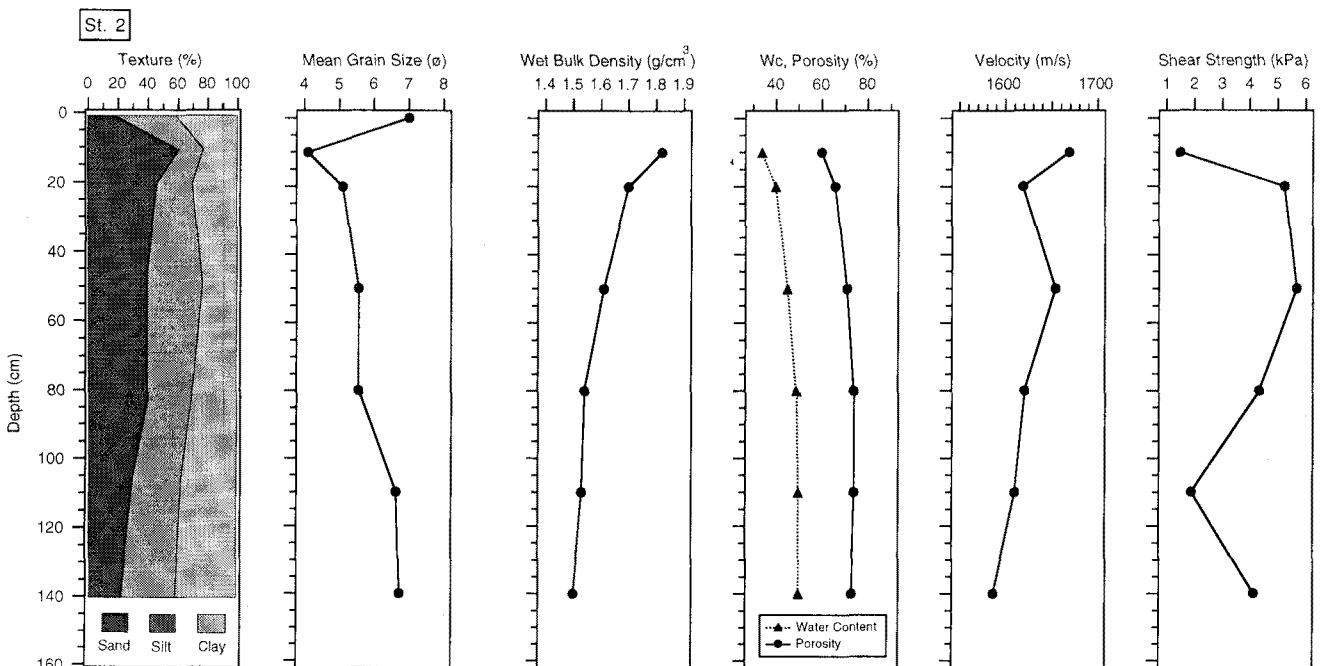


Fig. 6. Profiles of sediment texture, physical properties (wet bulk density, water content, porosity, and shear strength), and velocity at Station 2.

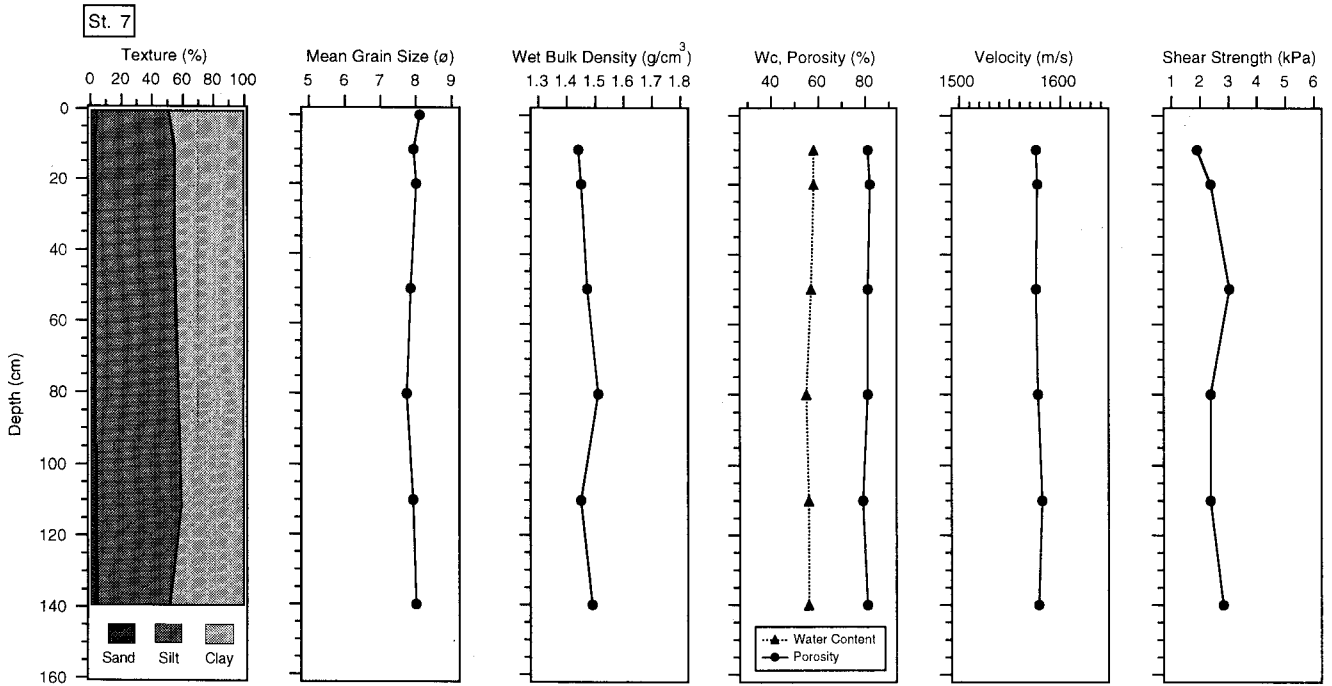


Fig. 7. Profiles of sediment texture, physical properties (wet bulk density, water content, porosity, and shear strength), and velocity at Station 7.

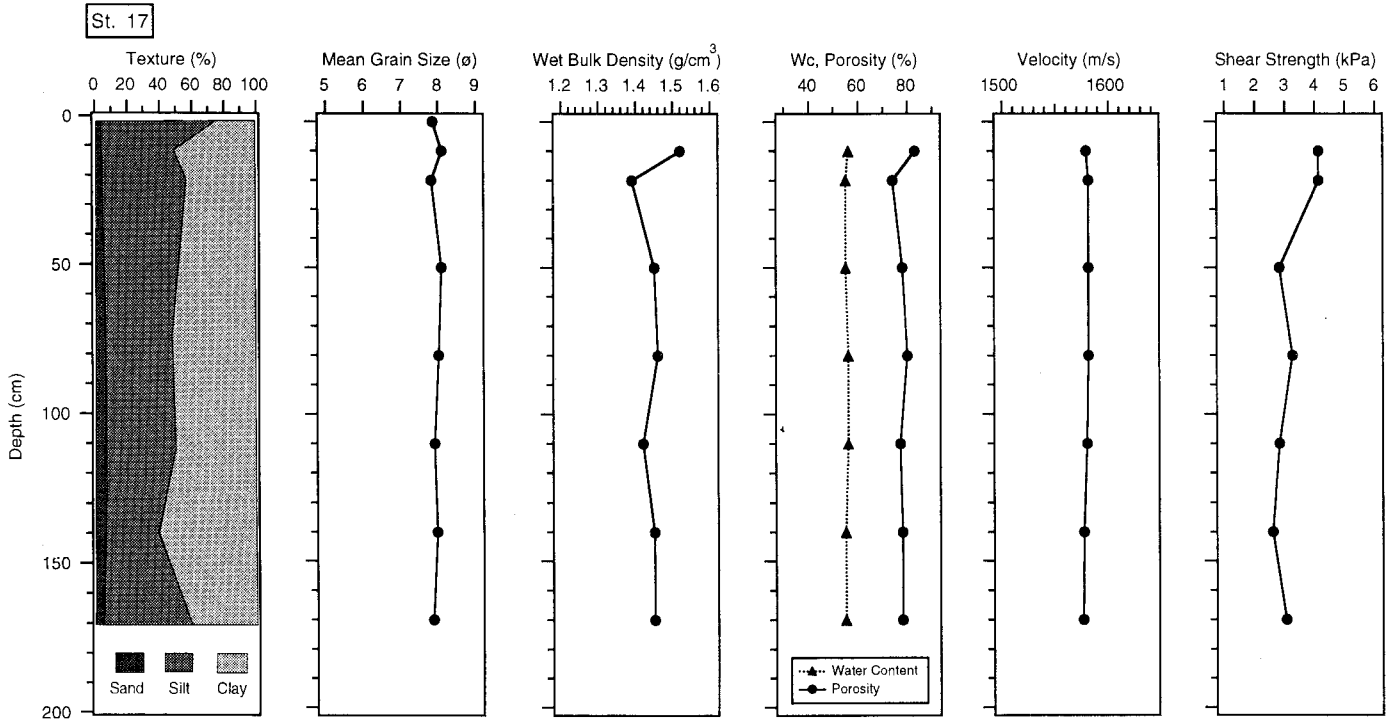


Fig. 8. Profiles of sediment texture, physical properties (wet bulk density, water content, porosity, and shear strength), and velocity at Station 17.

으로 보고한 바 있다(김과 김, 1991; Kim *et al.*, 1992; 김등, 1994; 성, 1994; Kim and Kim, 1998). 본 연구에서는 Hamilton(1970)의 모델과 남해 내대륙붕 퇴적물에 대한 Kim *et al.*(1992)의 결과와 동시에 도시하여 그 상관성을 비교하였다.

해양퇴적물의 속도에 영향을 미칠 수 있는 각종계수 중 일반적으로 공극율이 가장 적은 오차를 가지고 속도를 예측할 수 있는 것으로 보고되어 있다(Hamilton, 1970; Anderson, 1974;

Hamilton and Bachman, 1982). 공극율과 밀도는 일차적인 상관 관계를 가지는 밀집한 계수이지만 밀도보다 공극율이 속도를 예측하는데 더 적절한 계수로서, 공극율은 광물입자의 형태, 크기 및 조성, 그리고 퇴적구조와 다짐작용에 의한 입자의 배열상태 등에 영향을 받는다. 일반적으로는 공극율은 입도가 감소할수록 증가하고 공극율이 증가할 수록 속도는 감소한다. 그러나 공극율은 75~90% 범위내에서 속도변화는 거의 없거나 오히려 퇴적한

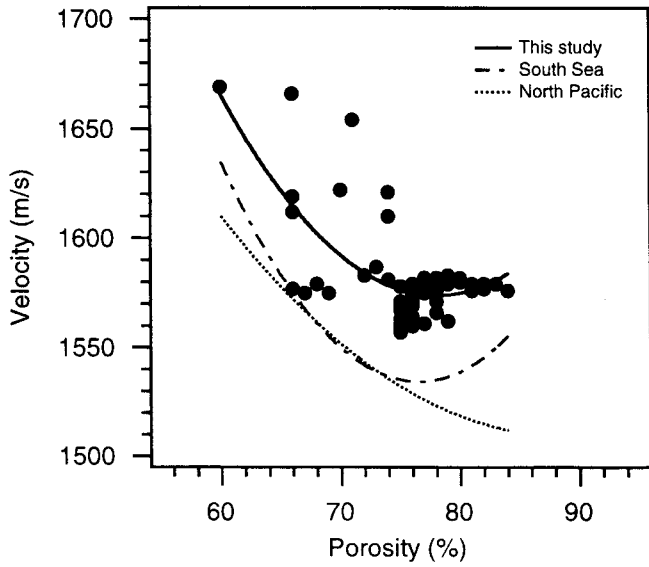


Fig. 9. Velocity versus porosity. For comparison, regressions in both the North Pacific (Hamilton, 1970) and the South Sea (Kim *et al.*, 1992) sediments are displayed simultaneously.

경에 따라서는 약간 증가하는 경향을 보이고 있으나 75~80%를 최저점으로하여 공극율이 감소함에 따라 속도는 빠르게 증가하는 것이 일반적인 현상이다(Wood, 1941; Laughton, 1954; Nafe and Drake, 1963; Schreiber, 1968; Hamilton, 1970; Kim *et al.*, 1992; 김등, 1994). 본 연구지역의 속도와 공극율과의 관계를 보면 공극율 약 75%를 최저점으로하여 공극율이 감소할 수록 속도가 빠르게 증가하는 경향을 보인다. 또한 비교모델로 사용한 Hamilton(1970)의 회귀선과 남해 내대륙붕 지역의 Kim *et al.*(1992)에 의한 회귀선도 절대값의 차이는 있으나 전체적으로 유사하다(Fig. 9). 본 연구에 인용한 비교모델(Hamilton, 1970; Kim *et al.*, 1992)들을 포함한 각 계수간의 상관관계 회귀선을 부록에 수록하였다.

퇴적물의 입도 그 자체는 탄성계수를 결정하는 변수는 아니지만 공극율과 밀도를 좌우하기 때문에 결국 속도 결정에 영향을 준다. 퇴적물의 조직표준치를 대표할 수 있는 값으로 평균입도를 선택하였는데, 그 이유는 평균입도가 중앙값보다 속도결정에 더 중요한 변수이기 때문이다(Horn *et al.*, 1968). 본 연구지역에서의 속도값과 평균입도값과의 상관관계를 보면(Fig. 10) 평균입도가 증가할 수록 속도값이 증가하는 일반적인 경향과 잘 일치한다. 그리고 절대값의 차이는 있지만 Hamilton(1970) 및 Kim *et al.*(1992)의 결과와 유사하게 두 값의 중간위치에 속하고 오히려 속도와 공극율과의 상관관계의 경우보다 Hamilton(1970)의 모델에 더 가깝다.

습윤전밀도는 속도에 영향을 미치는 변수중의 하나로 해양퇴적물의 경우는 전밀도가 증가함에 따라 체적탄성율의 증가로 속도도 증가한다. 퇴적물의 전밀도는 광물성분이나 속성작용 등에도 영향을 받으며 미고생물에 의해서도 차이가 날 수 있다(Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982). 본 연구지역의 속도와 습윤전밀도의 상관관계도 습윤전밀도가 증가할 수록 속도값이 증가하며 북대평양(Hamilton, 1970)이나 남해대륙붕(Kim *et*

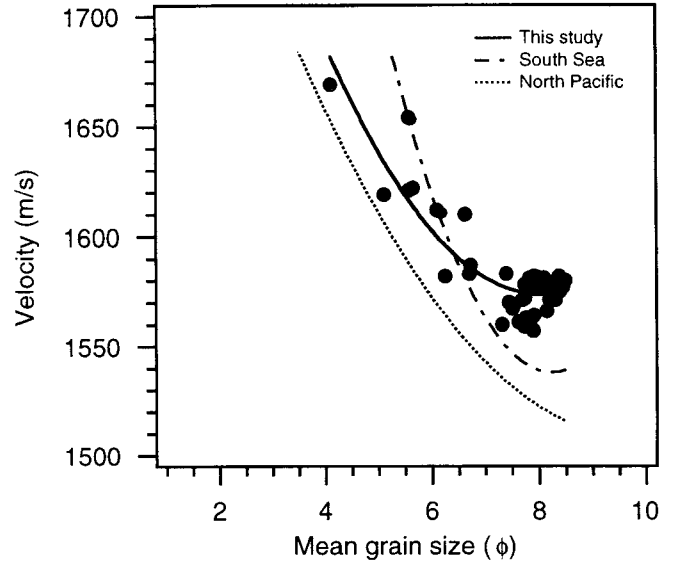


Fig. 10. Velocity versus mean grain size.

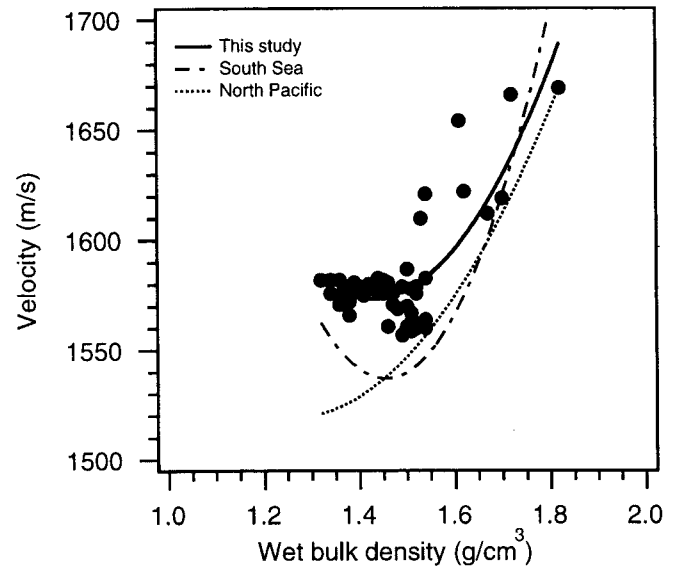


Fig. 11. Velocity versus wet bulk density.

al., 1992)에 비해 전밀도 1.30 g/cm³~1.60 g/cm³ 범위내에서 속도의 절대값이 더 크다(Fig. 11).

공극율과 평균입도는 서로 밀접한 관계를 가지는데 일반적으로 입도가 감소할수록 공극율은 증가하지만 점토함량에 따라 공극율의 차이가 있다. 점토광물의 독특한 구조인 카드집(card-house) 및 벌집구조(honeycomb structure) 등의 영향으로 점토의 함량이 증가하면 공극율이 증가하게 된다(Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982). 연구지역의 경우도 평균입도가 감소할 수록 공극율이 크게 증가한다. 그리고 세립질 일수록 비교모델로 선택한 지역과 더 잘 일치하는 경향을 보인다(Fig. 12).

전밀도는 퇴적물의 광물조성에 좌우되며 원양성일 경우는 생물기원 퇴적물에 의해 많은 영향을 받으며 일반적으로 전밀도는 입도가 감소할수록 감소하는 양의 상관관계를 가진다. 본 연구지역의 습윤전밀도와 평균입도의 상관관계도 이러한 일반적인 경

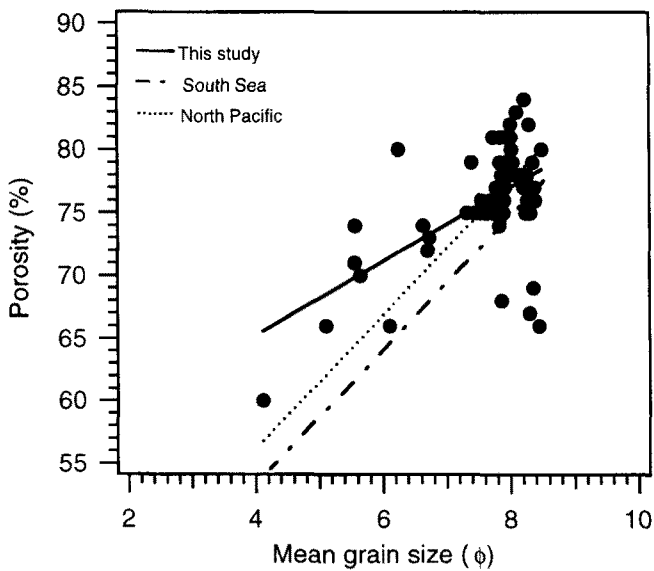


Fig. 12. Porosity versus mean grain size.

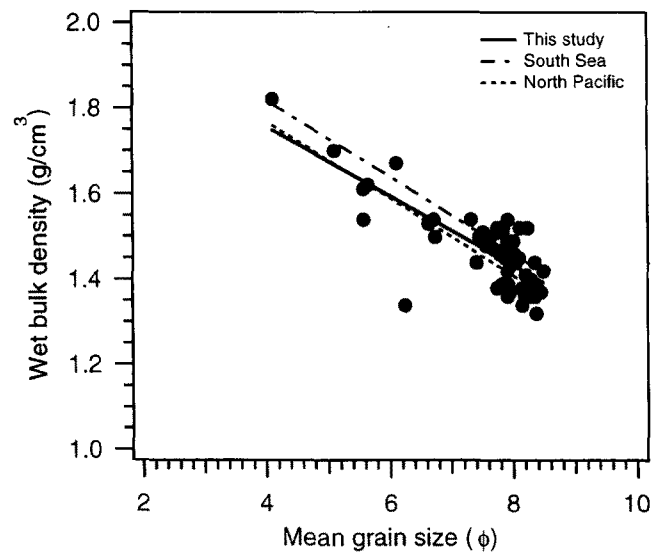


Fig. 13. Wet bulk density versus mean grain size.

향을 잘 따르고 있다(Fig. 13). 또한 다른 물성간의 상관관계에 비해 비교 모델로 선택한 지역들과 상관성이 아주 뚜렷하게 나타나며 특히 북태평양의 자료와는 거의 일치하는 경향을 보인다.

고 찰

본 연구지역 표층퇴적물의 조직, 물리적 성질 및 속도분포를 보면 조립질의 함량이 높은 남동지역 및 외대륙붕지역에서부터 세립질 함량이 증가하는 북서방향 및 연안쪽으로 갈수록 속도가 감소하고 공극율이 증가하는 양상을 보여주고 있다(Figs. 2, 3, 4, and 5). 이와같은 경향은 연구지역 남쪽지역의 사질퇴적물에서 측정된 김등(1996)에 의한 연구결과와도 잘 일치한다. 이런 분포특성은 잔류퇴적물이 분포하는 외대륙붕 지역에서의 퇴적상과 한반도에서 기원한 세립질 퇴적물이 대마난류에 의해 이동 퇴

적되면서 분급화되고 세립화되는 퇴적상의 변화양상과 유사한 분포형태를 보여주고 있어, 연구지역의 물리적 성질 및 속도는 조직값의 변화에 유관한 분포형태를 보여주고 있음을 알 수 있다.

본 연구지역을 포함하는 한반도 남동해안의 내대륙붕지역에는 등수심선에 대상으로 홀로세 퇴적층이 한정되어 분포하고 있는 것으로 보고되어 있다(Park, 1983; 최등, 1997; Park *et al.*, 1999). 탄성과 탐사자료를 이용하여 측정된 한반도 남동해역 홀로세 퇴적층의 두께는 낙동강 하구 근해역에 최대 20 m 이상이며, 부산에서 울산쪽으로 갈수록 그 폭은 좁아져 약 10 m 정도로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 울산근해역에서부터 포항까지의 퇴적층은 연안에서 가장 두껍고 외해쪽으로 갈수록 점차 얇아지는 썩기형태를 이루며 본 연구지역의 중심부에 해당하는 곳에서는 약 70 m 이상의 홀로세 퇴적층이 존재하는 것으로 알려져 있다. 또한 이 지역은 많은 유기물이 분해되면서 가스가 형성되어 퇴적층 간극 사이에 가스공들에 의해 탄성과 에너지의 분산 및 감쇠를 일으켜 탄성과 단면상에서 음향혼탁층이 나타나는 지역으로 잘 알려져 있다(최등 1997; Park *et al.*, 1999).

깊이에 따른 조직 및 물성의 수직적 변화는 조직값의 변화양상과 유사한 형태로 변하는 것으로 나타났다(Figs. 6, 7, and 8). 한반도 주변지역 니질퇴적물의 다른 연구(김과 김, 1991; Kim *et al.*, 1992; 김등, 1994; 김등, 1996; Kim and Kim, 1998)에서도 코어의 길이가 짧은 현생 니질퇴적물의 경우에는 조직값이 물리적 성질 및 음향학적 성질에 직접적인 영향을 주는 것으로 밝혀진 바 있다. 일반적으로 해양 퇴적물은 퇴적층 깊이에 따라 상부퇴적층의 영향으로 인한 다짐작용(compaction)과 고화작용(consolidation)의 결과로 전단응력은 증가하게 되고, 따라서 함수율과 공극율은 수직적으로 감소하는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 홀로세 동안에 퇴적된 현생 퇴적물은 퇴적물의 감소와 생흔작용(bioturbation)의 영향으로 정상적인 고화작용을 보여주지 않는 경우가 많은데(Mosher *et al.*, 1994) 본 정점들의 경우도 이런 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 깊이에 따른 단면도 중 정점 2 및 17번(Figs. 6 and 8)은 깊이에 따라 전단응력값이 오히려 감소하는 것으로 나타난다. 물론 일차적인 요인은 조직값에 영향을 받겠지만 생흔작용 및 퇴적작용의 차이에 기인한 영향도 있을 것으로 사료된다. 특히, 2번 정점의 경우는 다른 지역에 비해 깊이에 따른 조직 및 물성의 변화가 크다. 이는 후기 플라이오세 빙하기 때 퇴적된 잔류퇴적물과 현생 니질퇴적물이 재동 및 재퇴적작용에 의해 서로 혼합되어 조직 및 물리적 성질에 큰 영향을 준 것으로 보인다. 반면 정점 7번과 17번 지역은 한반도에서 기원한(주로 낙동강) 현생 니질퇴적물이 두껍게 존재하는 이토대로 깊이에 따른 조직 및 물성의 변화가 크게 나타나지 않는 것으로 보아 대부분이 퇴적환경이 크게 다르지 않는 홀로세 동안에 퇴적된 퇴적층으로 사료된다. 이와 같은 결과는 섬진강의 세립질 퇴적물이 피복된 남해도 남쪽의 현생퇴적물에서도 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1992).

각 조직 및 물성간의 상관관계를 보면 Hamilton(1970)이 제시한 북태평양의 대륙붕 및 사면퇴적물과 한반도 남해 내대륙붕의 퇴적물의 값(Kim *et al.*, 1992)과 절대값의 차이를 보이고 있으며, 특히 속도값이 비교모델로 사용한 두 지역보다 약 20~30 m/s 정도 더 높게 나타났다. 유사한 결과로서 성(1994)의 자료를

보던 부산, 남해 및 울산지역에 대한 퇴적물의 물성 및 속도분 석결과 부산 및 남해지역에 비해 울산지역의 속도값이 같은 조직값의 범위내에서 더 높은 것으로 보고하였으나 정확한 원인은 밝혀지지 않았다. 이런 현상이 나타나는 이유는 여러 가지가 있으나 광물성분 및 퇴적환경의 차이에서 기인하는 요인이 가장 크게 작용할 것으로 보인다. Kim *et al.*(1992)이 제시한 남해 내 대륙붕 지역의 퇴적물은 주로 섬진강을 통해 유입된 니질퇴적물에 대한 자료이며, Hamilton(1970)의 자료 역시 북태평양 지역의 육성기원 퇴적물로서 퇴적물의 근원지 퇴적환경의 차이 혹은 음향혼탁층의 존재와 연관된 물성의 차이가 큰 것으로 보인다.

일반적으로 음향혼탁층이 나타나는 지역에서의 현장 속도값은 분기공(gas bubbles)의 영향으로 속도가 감소하는 것으로 알려져 있고, 특히 퇴적층내 포함되어 있는 가스의 함량 변화가 아주 적은 경우에도 현장의 속도값의 변화는 나타나는 것으로 보고되어 있다(Wilkens and Richardson, 1998). 또한 분기공의 존재 유무는 현장에서의 진단응력값을 조절하는 것으로 알려져 있다. 분기공이 존재할 경우 퇴적물내의 입자와 입자와 입자의 접촉(grain to grain contact)을 줄임으로 인해 현장의 진단응력값은 감소하게 된다(Whelan *et al.*, 1977). 그러나 분기공들이 빠져나갈 경우는 그 공간을 채우기 위해 주위의 공극수가 빠져나간 분기공들의 공동안으로 채워짐으로서 전체적인 공극비가 감소하여 진단응력값은 증가될 수 있고(Briggs and Richardson, 1996), 이럴 경우 속도 값은 증가될 수 있다. 음향혼탁층이 산재하는 본 연구지역의 코어에서 측정된 속도값도 비교모델로 선택한 다른 지역에 비해 높게 나타났다. 본 자료는 현장측정 값이 아니고 시추한 후 시간이 경과한 후에 실험실에서 코어를 개봉하였기 때문에 이러한 개연성은 존재한다.

본 연구지역을 포함한 남동해역에는 음향혼탁층이 거의 해저면까지 올라온 지역도 많이 있으나(최등, 1997; Park *et al.*, 1999) 본 시추지점과의 연관성은 아직 밝혀진바 없으므로 차후 연구시에는 반드시 고려하여야 할 과제다. 일반적으로 가스가 많이 포함된 포크마크(pockmark)와 같은 퇴적층의 경우 해저면에서 불과 수십 cm 부근까지 분기공이 존재하는 것으로 확인된 연구는 많다(Anderson and Abegg, 1994; Lyons *et al.*, 1994). 따라서 본 연구지역의 경우도 그럴 가능성은 충분하며, 특히 니질 퇴적물의 경우는 분기공의 존재유무가 퇴적물의 물성 및 음향에 결정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에 음향혼탁층에 대한 물성값의 변화와 일반 니질퇴적층내의 물성값의 변화에 대한 구체적인 차이는 더 많은 연구조사를 행하여야 밝혀질 것으로 사료된다.

결 론

한국 남동해역 내대륙붕 이토대 퇴적물의 조직 및 물리적 성질을 연구한 결과 평균입도 분포는 연구지역의 남쪽지역인 울산 앞바다에서 북쪽으로 갈수록 등수심선과 거의 평행하게 감소하는 경향을 보인다. 물리적 성질인 습윤전단도, 공극률 및 속도분포도 평균입도 분포와 유사한 형태로 변화하는 경향을 뚜렷하게 보여주어 퇴적물의 입도가 물성에 큰 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 이러한 퇴적물의 조직 및 물성의 분포특성으로부터 낙

동강 및 한반도 주변에서 공급된 세립질 퇴적물이 연안류나 대마난류 등에 의해 해안선을 따라 북동쪽으로 이동하면서 분급화되어 북쪽으로 갈수록 점진적으로 조립질에서 세립질로 변해가는 퇴적과정을 보여 주고 있음을 확인할 수 있다. 깊이에 따른 퇴적물의 조직, 물성 및 속도단면도에서도 깊이에 따른 다짐작용이나 고화작용보다는 퇴적물의 조직에 의해 더 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 각 조직 및 물성간의 상관관계를 보면 비교모델로 사용한 북태평양 대륙붕 및 사면퇴적물과 남해대륙붕 퇴적물과 상관성의 형태는 유사하지만 지역별로 절대값의 차이가 존재한다. 특히, 같은 조직 및 물성값에 대해 본 연구지역의 속도가 더 높다. 이것은 광물조성 및 퇴적환경의 차이가 근본적인 원인으로 생각되지만 본 연구지역 퇴적물에 비교적 흔한 음향혼탁층의 분기공의 존재도 물성에 영향을 줄 수 있는 요소의 하나로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의 '94 대학부설 연구소지원 프로그램에 의해 수행되었습니다. 자료분석의 일부는 서울대학교 수중음향특화연구센터(UARL)의 지원에 의한 것임을 밝힙니다. 시료 채취에 도움을 준 탐양호 직원들과 부경대학교 퇴적물 음향학 실험실의 천희정, 정자현, 김양은 대학원생들에게 감사를 표합니다.

Appendix

Regression equations for this study (T), the South Sea (S: Kim *et al.*, 1992) and North Pacific (P: Hamilton, 1970) are listed. The limiting values in the equations are as follows: porosity, 40–80%; wet bulk density, 1.35–2.00 g/cm³; mean grain size, 4–9 φ.

- 1) Velocity (Vp) versus porosity (η), Fig. 9.

$$(T) Vp=3288.2-43.9\eta+0.281\eta^2$$

$$(S) Vp=3687.9-56.3\eta+0.368\eta^2$$

$$(P) Vp=2475.5-21.8\eta+0.123\eta^2$$

- 2) Velocity (Vp) versus mean grain size (φ), Fig. 10.

$$(T) Vp=1711.4-18.53\phi+0.17\phi^2$$

$$(S) Vp=2649.6-270.0\phi+16.40\phi^2$$

$$(P) Vp=1936.2-87.33\phi+4.45\phi^2$$

- 3) Velocity (Vp) versus wet bulk density (ρ), Fig. 11.

$$(T) Vp=3075.1-2108.7\rho+740.3\rho^2$$

$$(S) Vp=4162.5-3635.0\rho+1258\rho^2$$

$$(P) Vp=2270.9-1194.4\rho+474.6\rho^2$$

- 4) Porosity (η) versus mean grain size (φ), Fig. 12.

$$(T) \eta=53.44-2.95\phi$$

$$(S) \eta=32.74-5.18\phi$$

$$(P) \eta=38.84-5.28\phi$$

- 5) Wet bulk density (ρ) versus mean grain size (φ), Fig. 13.

$$(T) \rho=2.08-0.08\phi$$

$$(S) \rho=2.18-0.09\phi$$

$$(P) \rho=2.13-0.09\phi$$

참고문헌

- 김길영, 성준영, 김대철, 김정창, 1994. 여수해만 주변해역퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질. *한국수산학회지*, **27**: 434-444.
- 김길영, 김대철, 박수철, 유동근, 최진혁, 김정창, 1996. 한국 남동해역 사질퇴적물의 물리적 성질. *한국수산학회지*, **29**: 663-676.
- 김대철, 1989. 미고결 퇴적물의 음파전달속도측정에 관한 연구. *한국수산학회지*, **22**: 147-153.
- 김대철, 김길영, 1991. 광양만 미고결퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질: 북태평양 대륙붕 및 사면자료와의 비교. *한국수산학회지*, **24**: 289-302.
- 김성렬, 석봉출, 1985. 한반도 연근해저 표층퇴적물에서의 음파전달속도와 감쇠계수. *한국해양학회지*, **20**: 10-21.
- 박용안, 김경렬, 박수철, 박상윤, 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성. *한국해양학회지*, **22**: 43-56.
- 성준영, 1994. 남해 대륙붕 퇴적물의 퇴적환경과 음향모델. 석사학위논문, 부산수산대학교, 114 pp.
- 이동규, 권재일, 한상복, 1998. 감포-울기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계. *한국수산학회지*, **31**: 359-371.
- 조운현, 1985. 여수 남해 해저 지층내의 탄성과 전달속도와 지층구조에 관한 연구. 석사학위논문, 부산대학교, 76 pp.
- 최동립, 오재경, 이치원, 우한준, 1997. 한국 남동 내대륙붕해역의 홀로세 빨질 퇴적층의 고해상도 탄성과 특성. *한국해양학회지*, **2**: 8-13.
- 최진용, 박용안, 1993. 한반도 대륙붕 퇴적물의 분포와 조직특성. *한국해양학회지*, **28**: 259-271.
- Anderson, R.S., 1974. Statistical correlation of physical properties and sound velocity in sediments. In: *Physics of Sound in Marine Sediment*, edited by Hampton, L. Plenum. New York, pp. 481-517.
- Anderson, A.L. and F. Abegg, 1994. Measurement of gas bubble concentration and distribution in the seafloor at Eckernf rde Bay, Germany, *EOS*, **75**: 159.
- 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.
- 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 techniques. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **33**: 931-958.
- Briggs, K.B. and M.D. Richardson, 1996. Variability in in situ shear strength of gassy muds. *Geo-Marine Letters*, **16**: 189-195.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's Austin, Texas, 170 pp.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos River. A study in significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrol.*, **25**: 3-27.
- Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*, edited by Carver, R.E., Wiley-Interscience, 69-74.
- 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.
- 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.
- Kim, D.C., Y.A. Park, and C.B. Lee, 1992. Sedimentation and physical properties of inner shelf sediment, South Sea of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, **28**: 604-614.
- Kim, G.Y., 1998. Geotechnical Property and Paleoceanographic Characteristics of the late Quaternary Ulleung Basin Sediment, the East Sea, Korea, Ph.D. thesis, Pukyong National University, 247 pp.
- Kim, G.Y. and D.C. Kim, 1998. Correlations between sound velocity and related properties of marine sediment from the Ulleung Basin, East Sea, *Marine Nature*, **6**: 25-36.
- Korea Hydrographic Office, 1982. Tidal Current Chart (No. 1420). Pusan to Yeosu, 20 pp.
- Laughton, A.S., 1954. Laboratory measurements of seismic velocities in ocean sediments. *Proc. Roy. Soc. London, A*, **222**: 336-341.
- Layons, A.P., M.E. Duncan, J.A. Hawkins, and A.L. Anderson, 1994. Predictions of the acoustic response of free-methane bubbles in muddy sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, **96**: 3217-3218.
- Mayer, L.A., 1991. Extraction of high-resolution carbonate data for paleoclimate reconstruction. *Nature*, **352**: 148-150.
- Mosher, D.C., K. Moran, and R.N. Hiscott, 1994. Late Quaternary sediment, sediment mass flow processes and slope stability on the Scotian Slope, Canada. *Sedimentol.*, **41**: 1039-1061.
- Nafe, J.E. and C.L. Drake, 1963. Physical properties of marine sediments in the sea. In: *The Sea*, edited by Hill, M.N., Interscience, New York, pp. 794-815.
- Park, S.C. and D.G. Yoo, 1992. Deposition of coarse-grained sediments in the Korea Strait during late Pleistocene low sea level. *Geo-Marine Letters*, **12**: 19-23.
- 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, Y.A. and J.Y. Choi, 1986. Factor analysis of the continental shelf sediments off the southeast coast of Korea and its implication to the depositional environments. *J. Ocean. Soc. Korea*, **21**: 34-45.
- 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, KOFST, pp. 72-80.
- Schreiber, B.C., 1968. Sound velocity in deep-sea sediments. *J. Geophys. Res.*, **73**: 1259-1268.
- 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.
- Whelan, T., J.M. Colaman, J.N. Suhayda, and H.H. Roberts, 1977.

- Acoustical penetration and shear strength in gas-charged sediment. *Marine Geotechnol.*, **2**: 147–159.
- Wilkins, R.H. and M.D. Richardson, 1998. The influence of gas bubbles on sediment acoustic properties: in situ, laboratory, and theoretical results from Eckernforde Bay, Baltic Sea. *Cont. Shelf Res.*, **18**: 1859–1892.
- Wood, A.B., 1941. *A Textbook of Sound*. G. Bell, London, 578 pp.
-
- 1999년 7월 12일 원고 접수
1999년 10월 12일 수정본 채택