

광양만 미고결 퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질 : 북태평양 대륙붕 및 사면 자료와의 비교

김대철 · 김길영

부산수산대학교 응용지질학과

Physical and Acoustic Properties for Unconsolidated Sediment in the Kwangyang Bay: In Comparison with the Continental Terrace Sediment in the North Pacific

Dae-Choul KIM and Gil-Young KIM

Department of Applied Geology, National Fisheries University of Pusan

Pusan 608-737, Korea

Laboratory determination of acoustic property for unconsolidated sediment of Kwangyang Bay was carried out. The compressional wave velocity was correlated to other physical properties and sediment textures to establish a geoacoustic model of the bay. The model was compared to the North Pacific continental terrace sediment. Velocity of the bay is systematically lower(0.02~0.04km/s) than that of the North Pacific. Average velocity of the bay is 1.521km/s. The lowest velocity is measured at the southwestern part of the bay. This area coincides with high amount of fine-grained sediment related to slower circulation. The overall tendency is, however, similar to the North Pacific continental terrace sediment.

서 론

해양퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질과 각 조직표준치와의 상관관계에 대한 연구는 수중음향학의 측면에서 많은 연구가 되어 왔고 실제로 geoacoustic modeling이라는 주제로 많은 성과가 있었다. 이러한 연구들의 주안점은 주로 음파전달속도, 감쇠계수, 공극율, 전밀도, 입자크기, 배열, 구성성분 등과의 상관관계에 맞추어져 있다(Hamilton, 1980; Milholland et al., 1980).

한반도 주변 해저퇴적물의 음향학적 특성 연구는 비교적 드물어 조(1985), 김·석(1985), 김(1989) 등이 있으나 시추코어를 이용한 직접측정은 매우 드물다(김, 1989; 김외, 1991). 본 연구에서는 한반도 주변 대륙붕 퇴적물의 음향학적 특성 연구의 일환으로 광양만에서 채취한 코어시료의 입도 및 물리적 성질(전밀도, 함수율, 공극율, 속도)을 측정

하여 각 계수간의 상관관계를 유도하였다.

· 광양만은 남쪽의 여수반도 및 남동부의 남해도로 둘러싸여 있으며, 만내의 수심은 묘도 남수로와 북수로를 제외하면 5m 이하로 낮다(Fig. 1). 만내는 빈번한 준설, 객토, 해안매립 등 많은 인공적인 요소가 가하여졌으며 표층퇴적물(약 40cm 깊이까지)은 이런 영향을 받은 것으로 보고되어 있다(조, 1991).

광양만의 해저지형을 관찰하기 위하여 경도 127°34'~127°50', 위도 34°49'~34°56' 사이의 해도상에 표시되어 있는 수심 및 해발표고를 400m 간격으로 총 2100개 지점의 지표를 기준으로 하여 3차원 해저지형도를 도시하였다(Fig. 2). 기존자료상에서 수심은 최대 40m이며 해발표고는 약 400m이었지만 해저지형을 증점적으로 관찰하기 위하여 해수면 이상의 지형은 전부 해수면과 동일하게 처리하였다. 본 지형도에 도시된 광양만 일대의 해저

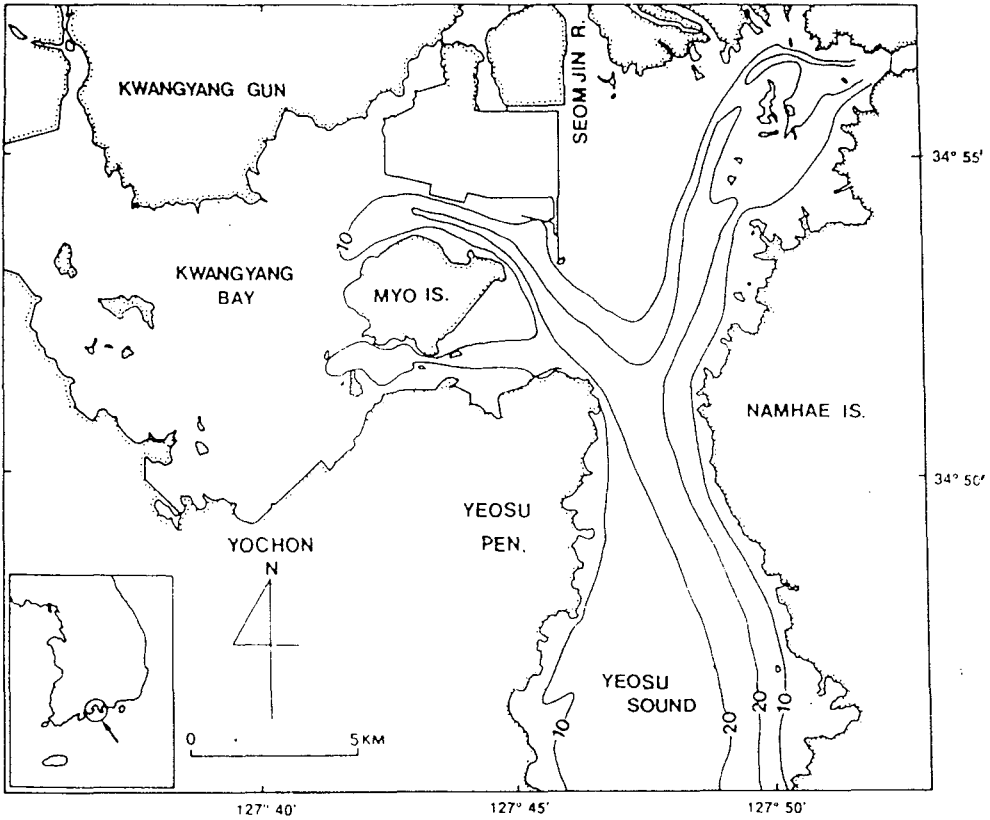


Fig. 1. Physiographic map of the Kwangyang Bay. Contours in meters.

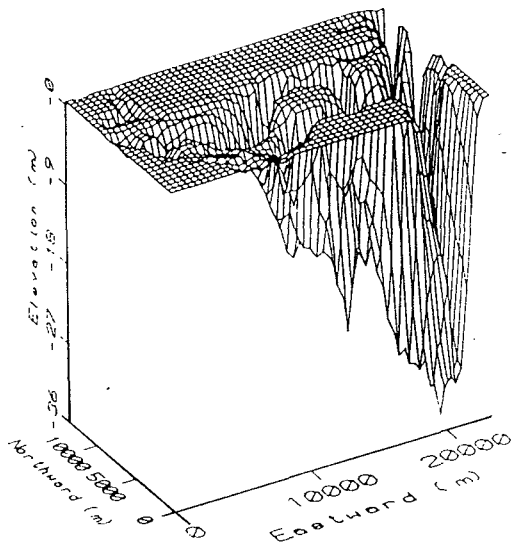


Fig. 2. Three dimensional topography of the Kwangyang Bay. Vertical exaggeration is about 600. Note the deep channels around the Myo Island.

지형상 특징은 묘도 주위 및 동쪽지역이 수심이 깊어 수로를 형성하고 묘도 서쪽이 매우 낮아서 조류의 유속이 감소한다(Lee, 1991).

본 연구는 광양만 퇴적물의 물리적 성질 및 음파전달 속도 분포를 밝히는 것과 더불어, 각 계수들간의 상관성을 비교하여 Hamilton(1970)이 제시한 북태평양 대륙붕 퇴적물의 성질과의 유사성을 밝히는데 주안점을 두었다.

재료 및 방법

중력시추기(gravity corer)를 사용하여 17개 지점에서 평균 약 70cm 깊이까지의 코어를 채취하였고 체니기를 이용하여 35개 지점에서 표층퇴적물을 채취하였다(Fig. 3). 입도분석 및 물리적 성질 측정 은 10cm 간격으로 하였다. 분석은 Ingram(1971) 및 Galehouse(1971)의 방법에 따라 체질분석과 피펫 방법을 병행하였고 입도분석 결과는 Folk and Ward(1957) 및 Folk(1968)의 방법에 따라 통계처

리 하였다.

정육면체 형태(8cm³)의 시료추출기를 사용하여 코어로부터 시료를 추출하여 물리적 성질(전밀도, 함수율, 공극율)을 측정하였다. 각 값의 계산에는 다음 공식을 사용하였다.

$$\text{전밀도}(R_o) = W_w/V_w$$

W_w = 포화된 시료의 무게

V_w = 시료의 체적

$$\text{함수율}(W_c) = C\{(W_w - W_d)/W_w\} \times 100(\%)$$

$$\text{공극율}(n) = C\{(W_w - W_d)/V_w\}$$

W_d = 건조된 시료의 무게

여기서 W_d 는 시료를 110°C에서 24시간 가열한 후 건조기에서 2시간 이상 건조시킨 후의 무게이다. 상수 C 는 염분보정을 하기 위한 것으로 염분도 35‰에 해당하는 보정계수값 1.0363을 사용하였다(Boyce, 1976).

음파전달속도 측정장치는 기본적으로 해밀튼식 측정기(Hamilton frame)를 응용한 방법으로 펄스를 압전변환기(piezoelectric transducer)로 변환시켜 시료를 통과한 신호를 증폭하여 기준 물질의 통과신호와 비교하는 원리로 되어 있다(Boyce, 1976). 이 방법은 Birch(1960)가 처음 고안한 방법이지만 미고결 해저퇴적물에 적용시키기 위하여

변형시켜서 사용되었다. 본 연구에서 음파전달속도 측정은 Birch(1960)의 수은기둥(Mercury Delay Line)을 이용한 방법과 디지털 오실로스코프(Digital Processing Oscilloscope)를 이용한 시간차 방법(Kim, 1985) 두 가지 모두가 사용되었다. 수은기둥에는 1MHz Barium Titanate Transducer가 사용되었고 시료에는 동일주파수의 PZT-4 Transducer가 사용되었다. 측정오차는 모두 2% 내외이다.

Birch(1960)의 방법은 동일한 펄스를 시료와 수은기둥에 통과시켜 이 중 제일 먼저 도착한 신호를 오실로스코프 상에서 서로 교차시키고 이때의 수은기둥의 길이를 측정하여 속도를 계산하는 방법인데 계산식은

$$V_p = L_s \times V_m / L_m$$

이다. 여기서

V_p = 시료의 음파전달속도

L_s = 시료의 길이

V_m = 수은의 음파전달속도(25°C에서 1.450km/s)

L_m = 수은의 길이

Kim(1985)의 방법은 수은기둥 대신 음파전달속도를 이미 알고 있는 순수한 알미늄($V_p=6.244\text{km/s}$)을 표준재료로 사용한다. 시료와 표준재료를 통과한 신호를 디지털 오실로스코프에 입력시킨후

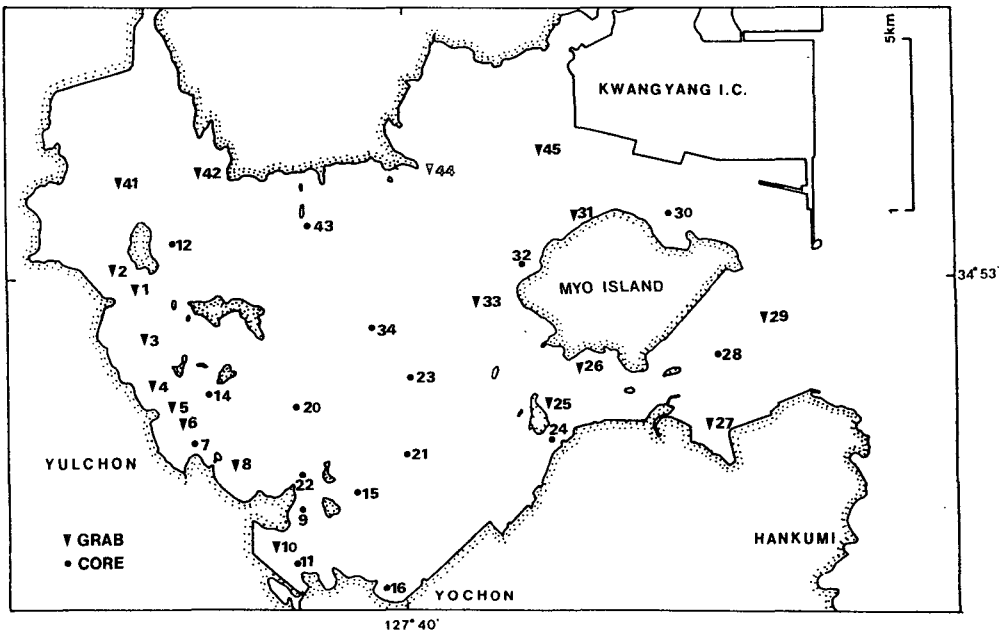


Fig. 3. Sampling stations of the study area. Solid circles represent coring and solid triangles indicate grab sampling.

각 신호의 첫번째 피크에 대한 시간차(Δt)를 측정 한 후 속도계산을 한다. 이론적으로는 첫번째 피크 보다는 최초도착 신호(first arrival)를 이용하는 방법이 정확하지만, 실험상의 잡음방해로 인한 정확한 위치 선정의 문제점을 극복하기 위해 첫번째 피크를 택하였다. 음파전달속도 측정에 사용된 계산식은

$$V_p = L_s(\Delta t + L_r/V_r)$$

이다. 여기서

Δt = 시료와 표준재료 사이의 통과시간 차

L_r = 표준재료의 길이

V_r = 표준재료의 음파전달속도

결과 및 고찰

입도분포

표층퇴적물은 전반적으로 실트와 점토로 구성된 세립질퇴적물로 되어 있으나(Table 1) 만의 북부 지역이 남서부 지역보다 평균입도가 상대적으로 크다(Fig. 4). 만의 입구에 해당하는 묘도 주변의 sandy mud는 수로를 따라 흐르는 강한 조류와 관계있는 것으로 생각된다. 이와 같이 만의 입구에서 내부로 갈수록 유속의 감소로 인하여 입도가 감소하는 현상은 부근의 가막양에서도 보고된 바 있다

(Kang, 1981).

점토함량은 만의 내부로 갈수록 증가하는데 (Table 1) 이런 점토질 퇴적물은 부분적으로 섬진강 및 주변의 소규모 하천이 주 공급원으로 생각되나 일부는 외해로부터 공급되었을 것으로 생각된다(박외, 1984). Kim and Kang(1991)은 여수해만과 광양만 입구의 부유퇴적물 함량 분석을 통하여 광양만 내의 부유퇴적물 수지균형을 계산하여 표층부근에서 썰물이 강하나 저층에서는 오히려 밀물이 강한 유속의 비대칭 현상을 보여 만의 내부로 세립질 퇴적물의 이동이 있으며 순수 유입량은 약 $5.56 \times 10^8 g/day$ 인 것으로 보고하였다. 만내의 조류유동으로 보아 유입된 세립질퇴적물이 묘도 서쪽에 활발하게 퇴적되고 있는 것으로 사료된다 (Lee, 1991).

물리적 성질 및 음파전달속도 분포와 상관관계

광양만의 코어시료에 대한 물리적 성질 및 속도 측정 결과를 Table 2에 수록하였다. 광양만 지역의 음파전달속도 측정은 본 조사가 처음이고 다른 지역도 직접 측정에 의한 결과는 드물기 때문에 자료의 비교 및 검증상 지역은 다르더라도 본 지역과 유사한 조직(주로 평균입도)을 가진 퇴적물을 모델로 정하는 것이 필요하였다. 모델로서는 Hamilton의 자료중 북태평양 대륙붕 퇴적물을 선택하였

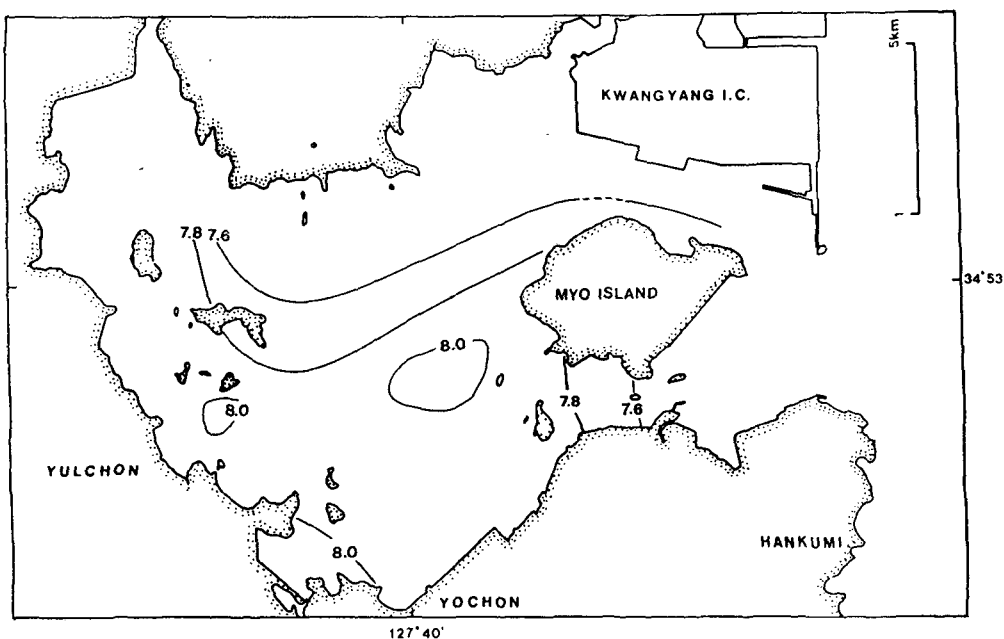


Fig. 4. Mean grain size(ϕ) distribution for superficial sediments.

Table 1. Textural Parameters of Superficial Sediment in the Kwangyang Bay

Station	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Md (ϕ)	Mz (ϕ)	Sk	So (ϕ)	Kg	Sediment Type
1	1.00	52.60	46.40	8.01	8.11	0.04	1.55	0.77	M
2	0.60	41.30	58.00	8.39	8.33	-0.12	1.61	0.82	M
3	2.00	44.80	53.20	8.16	8.18	-0.06	1.74	8.81	M
4	0.00	44.10	55.90	8.28	8.30	-0.04	1.61	0.79	M
5	5.50	43.60	50.90	8.06	8.06	-0.15	2.05	0.93	M
6	1.40	49.80	48.80	7.93	8.03	0.01	1.80	0.74	M
7	4.20	48.60	47.30	7.81	7.81	-0.06	2.01	0.83	M
8	0.20	41.70	58.10	8.44	8.37	-0.12	1.65	0.72	M
9	5.90	43.80	50.30	8.02	8.05	0.14	2.04	0.97	M
10	0.28	51.58	48.14	7.94	8.10	0.07	1.68	0.76	M
11	0.00	44.90	55.10	8.25	8.32	0.00	1.57	0.80	M
12	1.20	50.00	49.10	7.97	8.00	-0.04	1.86	0.79	M
14	4.20	41.20	54.60	8.25	8.18	-0.16	1.90	0.80	M
15	1.50	46.75	51.74	8.11	8.09	0.08	1.87	0.71	M
16	1.00	48.10	51.00	8.02	8.18	-0.06	1.66	0.90	M
20	0.40	48.40	51.30	8.07	8.09	-0.04	1.76	0.74	M
21	4.30	45.80	49.90	7.98	7.94	-0.12	2.03	0.83	M
22	0.10	45.90	54.00	8.22	8.22	-0.06	1.66	0.79	M
23	0.70	54.80	44.50	7.63	7.83	0.08	1.87	0.78	M
24	2.10	51.30	45.90	7.78	7.74	-0.08	2.05	0.82	M
25	1.20	45.00	53.80	8.22	8.16	-0.13	1.91	0.71	M
26	65.90	10.90	16.90	1.37	3.19	0.59	3.77	0.86	mS
27	3.40	48.40	47.90	7.87	7.79	-0.11	2.09	0.80	M
28	5.80	47.90	46.30	7.72	7.56	-0.16	2.38	0.86	M
29	3.30	46.00	49.80	7.95	7.92	-0.09	2.01	0.74	M
30	9.90	52.60	37.00	7.11	7.29	0.01	2.36	0.88	sM
31	1.40	50.20	48.40	7.91	7.92	-0.04	1.87	0.77	M
32	0.80	61.80	37.30	7.39	7.73	0.19	1.80	0.85	M
33	1.50	53.00	45.50	7.72	7.78	0.01	1.94	0.79	M
34	0.80	48.30	50.90	8.05	8.05	-0.05	1.84	0.79	M
41	28.80	35.80	35.30	6.79	6.25	-0.25	3.38	0.75	sM
42	15.60	49.10	35.30	6.81	6.97	-0.01	2.71	0.84	sM
43	1.80	61.40	36.80	6.60	7.16	0.32	2.13	0.64	M
44	13.20	60.50	26.30	5.82	6.41	0.33	2.31	0.77	sS
45	29.90	43.50	26.50	5.85	6.12	0.14	2.63	0.72	sM

Md: median, Mz: mean, Sk: skewness, So: sorting, Kg: kurtosis, M: mud, mS: muddy sand, sM: sandy mud, sS: sandy silt

Table 2. Physical Property and Clay Content of Core Sediment

Station	Depth (cm)	Mz	n	Wc	Vp	Ro	C	Sediment Type
7	10	7.84	72.1	51.6	1.509	1.45	44.78	M
	20	7.59	65.0	43.8	1.527	1.54	41.01	M
	30	6.46		35.0	1.564	1.55	33.89	sM
	40	7.82	66.7	46.2	1.502	1.50	44.79	M
	50	7.72	69.1	48.0	1.516	1.49	40.30	M
	60	7.51	69.5	48.7	1.511	1.48	37.50	M
	70	7.70	68.5	47.9	1.507	1.48	40.28	M
9	10	8.00	71.2	52.3	1.507	1.41	47.14	M
	20	7.83	70.6	50.2	1.521	1.46	43.17	M
	30	6.39	65.7	44.4	1.591	1.53	30.53	sM
	40	7.07		41.0	1.549	1.40	37.47	sM
11	10	8.29	74.8	56.5	1.502	1.37	52.09	M
	20	7.90	68.2	46.8	1.497	1.51	44.85	M
	30	6.52	66.4	45.2		1.52	42.51	M
	40	8.17	68.0	47.3	1.494	1.49	51.90	M
	50	8.15	70.7	51.0	1.492	1.44	49.72	M
	60	8.23	71.2	52.2	1.487	1.41	52.51	M
12	10	7.91	72.8	53.1	1.519	1.42	46.94	M
	20	7.97	70.5	49.9	1.519	1.46	47.78	M
	30	8.04	69.4	48.9	1.519	1.47	48.91	M
	40	7.17	68.7	48.2	1.519	1.48	41.35	M
	50	7.79	67.3	46.0	1.531	1.52	43.44	M
	60	7.96	67.7	46.8	1.524	1.50	49.79	M
	70	7.96	65.7	45.1	1.522	1.51	49.10	M
14	10	8.01	71.1	52.0	1.504	1.42	49.93	M
	20	7.53	65.5	44.1	1.512	1.54	39.08	M
	30	7.32	67.8	46.4	1.536	1.51	37.00	sM
	40	7.59	71.2	51.6	1.502	1.43	41.25	M
	50	7.95	73.3	54.2	1.500	1.40	45.64	M
	60	8.01	71.9	52.4	1.496	1.42	46.19	M
	70	7.94	71.7	52.3	1.492	1.42	45.06	M
15	10	7.73	69.0	47.9	1.541	1.49	41.88	M
	20	7.67	70.0	49.2	1.527	1.47	31.81	M
	30	7.85	70.5	50.6	1.510	1.44	43.98	M
	40	7.74	71.2	50.9	1.519	1.45	42.27	M
	50	7.66	70.0	50.4	1.525	1.44	40.65	M
	60	7.63	68.5	47.2	1.539	1.50	40.91	M
	70	7.58	70.7	50.7	1.513	1.44	39.72	M
	80	7.90	69.3	49.5	1.520	1.45	45.35	M
	90	7.88	72.1	52.3	1.510	1.43	44.45	M

Table 2. Continued

Station	Depth (cm)	Mz	n	Wc	Vp	Ro	C	Sediment Type
16	10	7.95	75.7	58.2	1.516	1.35	48.09	M
	20	7.99	75.2	57.4	1.517	1.36	49.13	M
	30	8.07	71.9	53.2	1.516	1.40	48.95	M
	40	8.11	71.2	51.5	1.515	1.43	51.54	M
	50	7.63	69.0	48.1	1.532	1.48	40.62	M
	60	7.11	62.8	40.7		1.60	43.16	sM
20	10	7.92	67.6	46.7	1.517	1.50	45.71	M
	20	7.93	67.9	47.2	1.514	1.49	45.40	M
	30	7.88	68.6	47.7	1.526	1.49	44.28	M
	40	7.63	69.6	48.9		1.48	42.12	M
	50	7.61	70.6	50.2	1.523	1.46	42.62	M
	60	7.78	71.3	50.4	1.508	1.46	44.07	M
21	10	7.64	66.8	45.2	1.529	1.53	40.94	M
	20	7.68	67.3	45.9	1.556	1.52	42.31	M
	30	7.79	71.1	51.2	1.538	1.44	43.38	M
	50	7.63	71.0	51.8	1.528	1.42	43.60	M
	60	7.68	72.5	53.0	1.528	1.42	41.33	M
	70	7.77	71.5	52.4	1.518	1.42	42.30	M
22	10	7.56	67.4	45.8	1.597	1.53	44.03	sM
	20	7.70	67.2	44.9	1.523	1.55	43.12	sM
	30	6.66	61.8	40.0	1.558	1.60	37.89	sM
	40	7.02	64.7	44.0	1.514	1.52	33.36	M
	50	7.67	72.2	52.1	1.510	1.43	43.54	sM
	60	7.59	68.3	46.6	1.517	1.52	40.66	M
	70		65.2	44.6	1.556	1.51	34.70	sM
23	10	8.04	70.6	50.2	1.512	1.46	48.05	M
	20	7.99	70.6	49.4	1.508	1.48	45.97	M
	30	8.01	69.4	48.5	1.512	1.48	47.15	M
	40	8.02	70.3	49.8	1.516	1.46	48.23	M
	50	7.89	70.4	50.0	1.526	1.46	44.95	M
	60	7.84	70.8	49.6	1.519	1.48	44.62	M
24	10	7.90	73.0	52.7	1.515	1.44	42.02	M
	20	7.72	68.7	47.9	1.522	1.49	41.85	M
	30	7.12	65.4	43.1	1.553	1.57	37.86	sM
	40		64.1	41.7	1.552	1.59	29.77	sM

Table 2. Continued

Station	Depth (cm)	Mz	n	Wc	Vp	Ro	C	Sediment Type
28	10	6.65	62.9	40.8	1.562	1.60	34.74	sM
	20	6.97	65.2	43.2	1.558	1.56	38.30	sM
	30	7.14	65.2	43.5	1.538	1.55	36.43	sM
	40	7.14	69.3	47.7	1.526	1.51	33.05	sM
	50	7.53	68.8	48.7	1.518	1.47	43.34	M
	60		69.5	48.6	1.521	1.48		
30	10	7.66	66.3	45.0	1.526	1.53	41.02	M
	20	7.59	66.7	45.4	1.524	1.52	41.23	M
	30	7.42	65.3	43.7	1.527	1.55	39.86	M
	40	7.62	64.0	42.4	1.528	1.56	40.56	M
	50	7.54	64.8	43.5	1.533	1.54	41.09	M
	60	7.61	66.1	44.5	1.529	1.54	41.29	M
	70	7.71	66.1	44.7	1.524	1.53	42.65	M
	80	7.36	65.7	44.6	1.540	1.53	37.54	M
32	10	7.96	70.7	50.2	1.513	1.46	47.49	M
	20	8.01	69.1	49.0	1.516	1.46	49.46	M
	30	8.02	69.8	49.3	1.515	1.47	48.32	M
	40	7.98	69.0	48.1	1.527	1.49	48.36	M
	50	7.97	71.8	51.9	1.521	1.43	48.56	M
	60	7.97	71.9	52.9	1.515	1.41	47.51	M
34	10	7.86	67.1	46.1	1.530	1.51	45.27	M
	20	7.16	67.2	46.0	1.527	1.52	30.64	Si
	30	7.96	70.0	49.1	1.518	1.48	46.72	M
	40	7.94	70.0	49.6	1.529	1.46	47.47	M
	50	7.92	67.4	46.3	1.529	1.51	46.86	M
	60	7.90	66.8	45.9	1.523	1.51	45.47	M
43	10	7.17	61.3	38.8	1.540	1.64	32.38	M
	20	7.45	65.8	43.8	1.546	1.56	37.60	M
	30	7.33	65.5	44.0	1.536	1.54	36.02	M
	40	6.89	61.7	38.7	1.565	1.65	37.08	sM
	50	7.07	61.9	39.6	1.567	1.62	34.26	sM
	60	7.36	69.0	48.1	1.533	1.49	35.73	M

n: porosity(%), Wc: water content(%), Vp: velocity(km/s), Mz: mean grain size(ϕ), Ro: bulk density(g/cm^3), C: clay content(%) M: mud, sM: sandy mud, Si: silt

다(Hamilton, 1970). 물론 그 후의 Hamilton and Bachman(1982)과 Orsi and Dunn(1990)의 결과도 있으나 결과가 대동소이하고 특히 Orsi and Dunn (1990)의 경우는 그들의 연구지역(브라질 대양저)

이 Hamilton(1970)의 지역과는 상당한 지리적인 차이가 있음에도 불구하고 Hamilton(1970)과 Hamilton and Bachman(1982)을 모델로 삼아 비교 하였는데 상당히 유사한 결과를 얻었다.

광양만 퇴적물(퇴적층 깊이 40cm 이하)의 속도는 평균이 1.522km/s로서 김(1989)의 부산 앞바다 코어시료(1.540~1.635km/s)의 속도보다는 다소 낮은 값을 보인다. 부산 앞바다 퇴적물의 경우는 모래의 함량이 높고 밀도가 높는데 반해 광양만의 퇴적물은 mud로서 모래가 거의 없고 밀도도 낮고(평균 1.481g/cm³) 이에 따라 탄성계수도 낮은 때문으로 생각된다. 그의 한반도 주변 해저퇴적물에서 간접적으로 계산한 값을 보면 남해도 남쪽 현생 세립질 퇴적물의 평균속도는 1.494km/s(조, 1985)로 나타났고, 김·석(1985)에 의해 부산항 부근의 해저면에 철제 구조물을 설치하여 측정된 값은 1.444~1.461km/s 정도로 나타났는데 생물교란 등에 의한 효과를 감안하여 실제의 음파전달속도는 1.480~1.540km/s 정도일 것으로 추정하였다. 각 코어에서 40cm 이상의 속도는 1.528km/s로서 전반적으로 약간 빠른데 이는 양식장의 객토작업 등 인위적인 요소에 의한 결과로 생각된다. 조(1991)의 조석에 의한 해수면 변동의 퇴적층에 미치는 수치해석 결과에 의하면 광양만의 경우 퇴적물층의 모래질 입자가 현장유효능력(quick sand condition)에 의해 약 40cm 깊이까지 하강한다고 보고되어 있다. 따라서 40cm 이하층에서는 인위적으로 첨가된 모래가 없는 자연퇴적 상태로 간주된다.

광양만의 경우 40cm 깊이에서의 속도분포를 보면 전반적으로 만의 남서부로 갈수록 속도가 감소하는 경향을 보이며 묘도 남수로지역에서 높은 값을 보인다(Fig. 5). 전밀도의 분포(Fig. 6)도 속도와 유사하게 만의 남서부지역의 값이 낮다. 함수율(Fig. 7)은 전반적으로 만의 남서부로 갈수록 증가하며 전밀도, 공극율 및 점토함량과 관련이 있음을 지시하고 있다(Table 2). 이런 현상은 전반적으로 광양만퇴적물의 주 공급원으로 생각되는 섬진강과 여수해만을 통한 퇴적물의 유입 경로와 만내에서의 조류순환 양상과 연관된 것으로 보여진다. 즉 유속이 감소하는 만의 남서부쪽에 세립질 퇴적물의 양이 증가하는 현상과 관계있다.

분석 결과에서 나온 계수들과의 상관관계를 회귀분석을 통해 북태평양 자료와 비교하였다. 각 상관관계식은 40cm 이하 자료를 모두 포함시켜 만들었으며 Hamilton(1970)의 관계식과 함께 별첨해 수록하였다.

퇴적층 40cm를 기준으로 상부층과 하부층 각각에 대한 속도, 공극율, 전밀도, 평균입도, 점토함량의 평균값과 표준편차값을 Table 3에 수록하였다. 평균값은 각 변수 모두 깊이에 따른 변화는 거의 없으나 표준편차는 40cm 이상되는 퇴적층의 값이 전반적으로 높다. 특히 평균입도의 경우 2배 이상

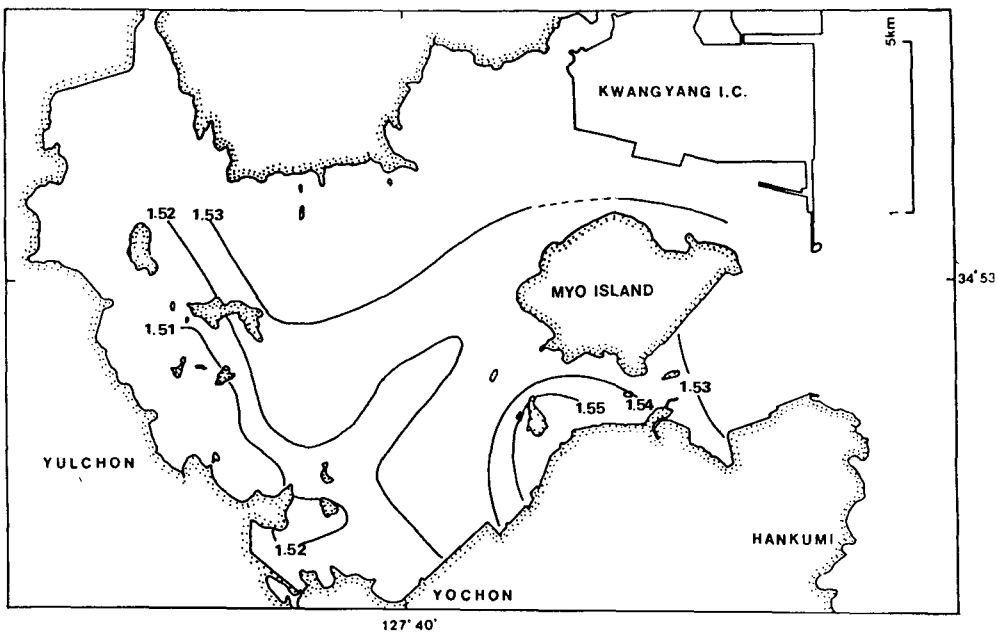


Fig. 5. Compressional wave velocity (km/s) distribution at 40cm subbottom depth. Note decreasing velocity toward the southwest of the bay.

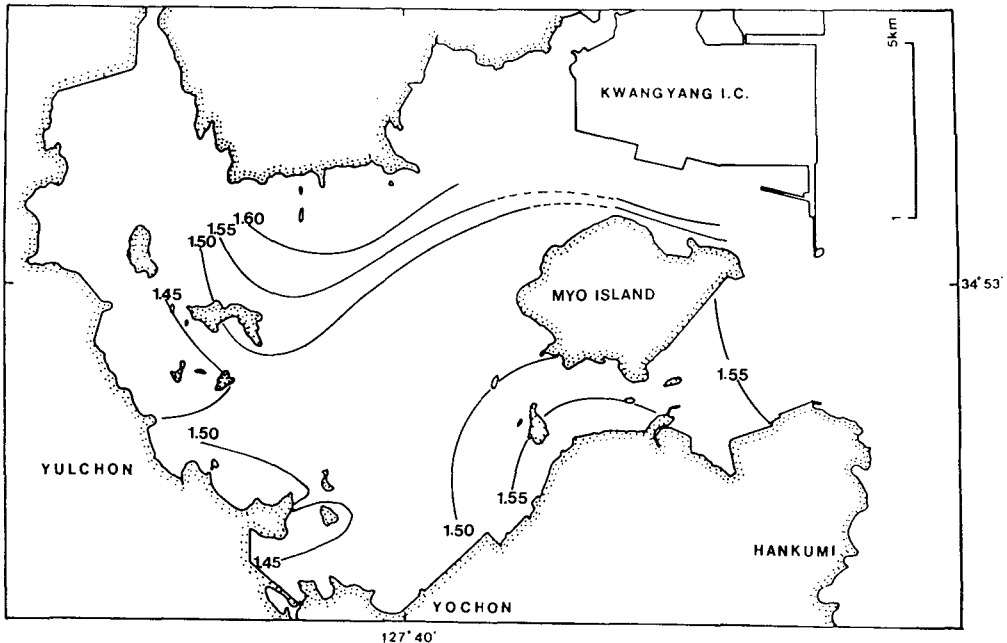


Fig. 6. Bulk density (g/cm^3) distribution at 40cm subbottom depth.

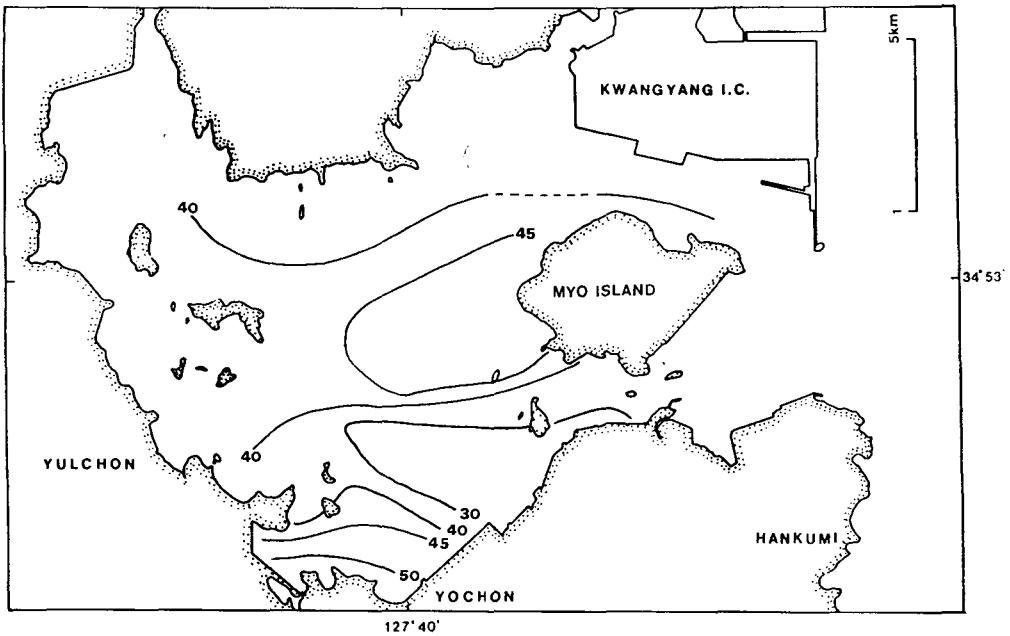


Fig. 7. Water content (%) distribution at 40cm subbottom depth.

Table 3. Average(Avg.) and standard deviations(S.D) of velocity(Vp), porosity(n), density(Ro), mean grain size (Mz) and clay content(C) for above and below 40cm subbottom depth(Z).

Z(cm)	Vp(km/s)		n(%)		Ro(g/cm ³)		Mz(φ)		C(%)	
	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.	Avg.	S.D.
<40	1.528	0.021	68.2	3.88	1.49	0.06	7.50	1.09	42.53	5.42
>40	1.522	0.017	68.5	3.46	1.48	0.06	7.64	0.40	42.76	4.94

Vp(km/s): velocity n(%): porosity Ro(g/cm³): bulk density Mz(φ): mean grain size C(%): clay content

이어서 객토 등 인위적인 변화에 의한 것임을 지시하고 있다.

전밀도-속도

해양 퇴적물의 전밀도는 탄성방정식에서 속도를 결정하는 변수중의 하나로서 일반적으로 전밀도가 증가함에 따라 탄성계수의 증가폭이 더 커지기 때문에 속도는 증가한다. Fig. 8은 광양만퇴적물의 전밀도와 속도와의 관계를 Hamilton(1970)의 대륙붕 및 사면 퇴적물(continental terrace) 회귀곡선과 비교한 것이다. 광양만퇴적물의 회귀곡선 값은 북태평양 퇴적물 보다 전반적으로 0.02~0.04km/s 정도 낮은데 그 이유는 퇴적환경면에서도 차이가 있고 퇴적물의 평균입도가 보다 조립질인 clayey silt에 해당하여 속도가 더 큰 것으로 생각된다.

공극율-속도

해양 퇴적물의 속도에 영향을 미칠 수 있는 각종 계수(밀도, 공극율, 전단응력, 함수율, 입도 등)중 일반적으로 공극율이 가장 적은 오차를 가지고 속

도를 예측할 수 있는 것으로 보고되어 있다(Anderson, 1974). 공극율과 밀도는 일차적인 상관 관계를 가지는 밀접한 계수이지만 밀도보다 공극율이 속도를 예측하는데 더 적절한 계수로서, 공극율은 광물입자의 크기, 형태, 배열상태, 광물성분, 퇴적구조, 고체입자의 다짐 등에 의해 좌우되며 일반적으로 입도가 감소할수록 공극율은 증가한다.

일반적으로 공극율 75~90% 범위에서는 속도변화는 거의 없거나 오히려 퇴적환경에 따라서는 약간 증가하는 경향을 보이고 있으나 75~80%를 최저점으로 하여 공극율이 낮아짐에 따라 속도는 빠르게 증가하는 것이 일반적인 현상이다(Wood, 1941; Laughton, 1957; Nafe and Drake, 1963; Schreiber, 1968; Hamilton, 1970). 광양만에서의 상관 관계(Fig. 9)를 보면 회귀곡선이 Hamilton(1970)의 곡선과 유사한 경향을 보이지만 전밀도와와의 상관 관계에서와 마찬가지로 전반적으로 속도가 느리다.

평균입도-속도

입도 자체는 탄성계수를 결정하는 변수는 아니지만 공극율과 밀도를 좌우하기 때문에 결국 속도

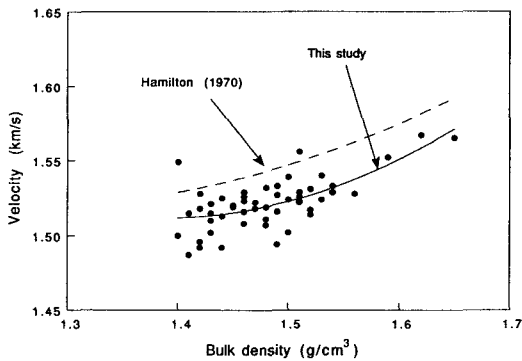


Fig. 8. Velocity versus bulk density below 40cm sub-bottom depth. Solid curve represents a polynomial regression for this study (Kwangyang Bay) and dotted curve indicates Hamilton's (1970) North Pacific continental terrace sediment data.

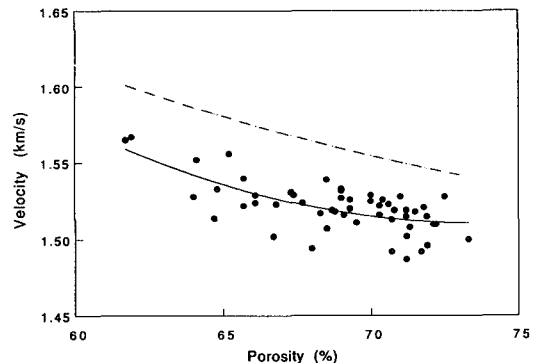


Fig. 9. Velocity versus porosity below 40cm sub-bottom depth. Regressions and symbols are the same as in Fig. 8.

결정에 영향을 준다. 퇴적물의 조직 표준치를 대표할 수 있는 값으로 평균입도를 선택하였는데 그 이유는 평균값이 중앙값 보다 속도 결정에 더 중요한 변수이기 때문이다(Horn et al., 1968).

광양만에서 입도와 속도와의 관계를 보면 입도가 증가할수록 속도도 증가하는 일반적인 현상과 잘 일치하지만 전반적으로 Hamilton(1970)의 자료와는 차이가 많은데(Fig. 10) 퇴적환경의 차이가 주원인으로 생각되나 정확한 원인은 입자배열의 방향성 등 더욱 자세한 연구가 진행되어야 밝혀질 것으로 사료된다.

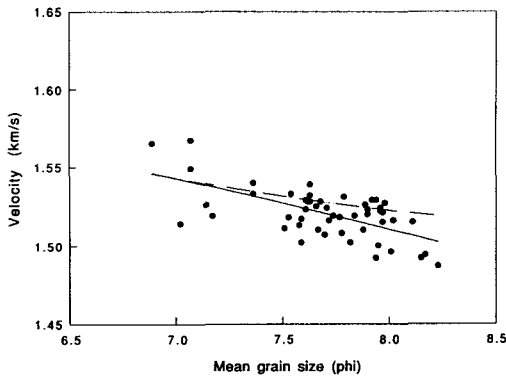


Fig. 10. Velocity versus mean grain size below 40cm subbottom depth. Regressions and symbols are the same as in Fig. 8.

점토함량-속도

퇴적층에 존재하는 모래함량이 증가할 경우 전 밀도의 증가와 각 입자 사이의 접촉성의 증가로 속도를 증가시키며 반대로 점토의 함량이 많으면 공극율의 증가와 밀도의 감소로 속도는 감소하게 된다(Kim and Kim, 1988). 점토질 퇴적물의 대부분을 차지하는 점토광물은 이른바 벌집구조(honey-comb)나 카드집 구조(cardhouse)를 갖는 배열을 하게 되고 이 결과 공극율은 증가하고 전밀도와 속도는 감소한다(Hamilton, 1970). 퇴적암속에 포함된 점토도 유사한 결과를 보인다(Tosaya, 1982). 점토함량은 속도를 결정하는 중요한 변수중의 하나로 평균입도와 마찬가지로 자료의 분산이 심하다(Fig. 11).

요 약

광양만 미고결 퇴적물의 음향학적 특성을 밝히

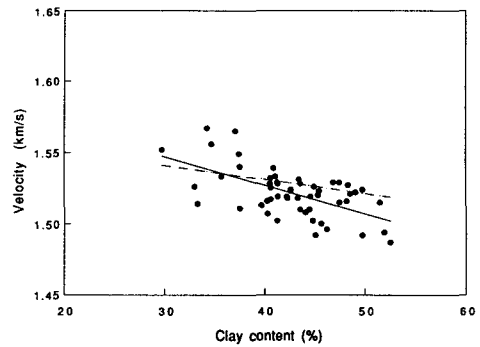


Fig. 11. Velocity versus clay content below 40cm subbottom depth. Regressions and symbols are the same as in Fig. 8.

기 위해서 음파전달속도와 물리적 성질 및 퇴적물의 조직과의 상관관계를 알아 보았다. 비교 모델은 Hamilton(1970)의 북태평양 대륙붕 및 사면 퇴적물로 하였다. 광양만 퇴적물(40cm 깊이 이하)의 음파전달속도는 평균 1.521km/s로서 북태평양 대륙붕 퇴적물 보다 약 0.02~0.04km/s 느리다. 광양만 지역 퇴적물의 속도가 전반적으로 느린 이유는 모델로 사용한 Hamilton(1970)의 북태평양 대륙붕 및 대륙사면 지역과는 퇴적환경도 다른데다가 세립질 퇴적물의 함량이 더 많기 때문으로 생각된다.

원래의 퇴적환경으로 믿어지는 코어 40cm 이하층에서의 각 조직표준치 및 물리적 계수간의 상관관계는 Hamilton(1970)의 자료와 비교적 잘 일치한다. 입도분석 결과 광양만의 표층퇴적물은 만의 북부 지역은 sandy mud가, 남부 지역에는 mud가 우세한 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 지원(KOSEF, 881-0505-011-2)에 의한 것임을 밝힙니다. 시료채취에 도움을 준 부산수산대학교 한영호 교수, 조태진 교수, 성준영 군에게도 감사를 포함합니다. 논문 개선에 크게 도움을 준 익명의 심사위원들께도 감사를 드립니다.

Appendix: Regressions for the Kwangyang Bay (KB) and North Pacific(NP) Sediments

Velocity(V_p , km/s) versus bulk density(ρ , g/cm^3),

Figure 8

$$V_p = 3.1699 - 2.3901(\rho) + 0.8613(\rho)^2 : \text{KB}$$

$$V_p = 2.2709 - 1.1944(\rho) + 0.4746(10\rho)^2 : \text{NP}$$

Velocity(V_p , km/s) versus porosity(n, %),

Figure 9

$$V_p = 0.0003(n)^2 - 0.0502(n) + 3.3594 : \text{KB}$$

$$V_p = 0.0001(n)^2 - 0.0217(n) + 2.4755 : \text{NP}$$

Velocity(V_p , km/s) versus mean grain size(M_z , ϕ),

Figure 10

$$V_p = 1.6473 - 0.0001(M_z) + 0.0021(M_z)^2 : \text{KB}$$

$$V_p = 1.9362 - 0.0873(M_z) + 0.0044(M_z)^2 : \text{NP}$$

Velocity(V_p , km/s) versus clay content(c, %),

Figure 11

$$V_p = 1.6069 - 0.00199(c) : \text{KB}$$

$$V_p = 1.5703 - 0.00098(c) : \text{NP}$$

참 고 문 헌

- 김대철, 1989. 미고결 해저퇴적물의 음파전달속도 측정에 관한 연구. 한국수산학회지, 22(3), 147~153.
- 김성렬, 석봉출, 1985. 한반도 연근해저 표층퇴적물에서의 음파전달속도와 감쇠계수. 한국해양학회지, 20, 10~21.
- 김성렬, 이용국, 석봉출, 신동혁, 1991. 동해심해분지 시추퇴적물의 음속과 감쇠계수. 한국해양학회지, 26(1), 59~66.
- 박용안, 이창복, 최진혁, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, 19(1), 82~88.
- 조운현, 1985. 여수남해 해저지층내의 탄성파 전달속도와 지층구조에 관한 연구. 부산대학교 석사학위논문. 79p.
- 조태진, 1991. 광양만 조석해수면 변동의 미고결 퇴적층에 대한 영향. 한국수산학회지, 24(1), 9~20.
- Anderson, R. S. 1974. Statistical correlation of physical properties and sound velocity in sediments, In Physics of Sound in Marine Sediment p. 481~517. Edited by L. Hampton, Plenum. N. Y.
- Birch, F. 1960. The velocity of compressional waves in rocks up to 10 kilobars. 1. J. Geophys. Res. 65, 1083~1102.
- 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, U. S. Government Printing Office, 931~958.
- Folk, R. L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's Austin, Texas, 170p.
- Folk, R. L. and W. C. Ward. 1957. Brazos River. A study in the significance of grain-size parameters. J. Sed. Petrology 27, 3~27.
- Galehouse, J. S. 1971. Sedimentation analysis. In Procedures in Sedimentary Petrology p. 69~74. Edited by R. E. Carver, Wiley-Interscience.
- Hamilton, E. L. 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments. North Pacific. J. Geophys. Res. 75(23), 4423~4446.
- Hamilton, E. L. 1980. Geoacoustic models of the sea floor. J. Acoust. Soc. Am. 68, 1313~1340.
- 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.
- Ingram, F. L. 1971. Sieve analysis. In procedures in sedimentary petrology. Edited by R. E. Carver, Wiley-Interscience.
- Kang, H. J. 1981. Late Quaternary sedimentary processes in the Gamagyang Bay, southern coast of Korea: M. S. Thesis, Seoul National University, 102p.
- Kim, D. C. 1985. Diagenetic factors controlling physical, acoustic and electrical properties of deep-sea carbonate sediments. Ph.D. Dissertation, Univ. Hawaii, Honolulu, Hawaii, U. S. A., 202p.
- Kim, D. C. and K. H. Kim. 1988. Compressional wave velocity and electrical resistivity in hemipelagic clay-rich sediment, Northwestern Pacific. J. Ocean. Soc. Korea. 23(3), 146~157.
- Kim, D. C. and H. J. Kang. 1991. Suspended sediment budget in Gwangyang Bay through the Yeosu Sound. Bull. Korean Fishes Soc. 24(1), 31~38.
- Laughton, A. S. 1957. Laboratory measurements of seismic velocities in ocean sediment. Proc.

- Roy. Soc. London. A. 222. 336~341.
- Lee, M. J. 1991. Estimation of the eddy diffusivity suitable from numerical dispersion models of the coastal area. M. S. Thesis, National Fisheries University of Pusan, 49p.
- Milholland, P. D., M. H. Manghnani, S. O. Schlanger, and G. H. Sutton. 1980. Geoacoustic modeling of deep-sea carbonate sediments. J. Acoust. Soc. Am. 68, 1351~1360.
- Nafe, J. E. and C. C. Drake. 1963. Physical properties of marine sediments. In the Sea p. 794~815. Edited by M. N. Hill. Interscience. N. Y.
- Orsi, T. H. and D. A. Dunn. 1990. Sound velocity and related physical properties of fine-grained abyssal sediments from the Brazil Basin(South Atlantic Ocean). J. Acoust. Soc. Am. 88(3), 1536~1542.
- Schreiber, B. C. 1968. Sound velocity in deep-sea sediments. J. Geophys. Res. 73, 1259~1268.
- Tosaya, C. A. 1982. Acoustical properties of clay-bearing rocks. Ph.D. Dissertation, Stanford Univ. California, U. S. A., 136p.
- Wood, A. B. 1941. A textbook sound. London(G, Bell and Sons).
-
- 1991년 9월 8일 접수
1991년 9월 18일 수리