

## 동해 심해분지 시추퇴적물의 음속과 감쇠계수

김성렬 · 이용국 · 석봉출 · 신동혁  
한국해양연구소

### Sound Velocity and Attenuation Coefficient in the Core Sediment of Deep-Sea Basin, East Sea of Korea (Sea of Japan)

SEONG-RYUL KIM, YONG-KUK LEE, BONG-CHOO LEE AND DONG-HYEOK SHIN  
Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

동해 심해분지 시추퇴적물(수심, 1,850 m)에서 수평(H), 수직(V) 방향에 대한 음속( $V_p$ )과 감쇠계수( $Q_p$ )가 실내분석방법으로 측정되었다. 채취된 시추퇴적물의 길이는 약 250 cm이었으며, 측정 음원은 중심주파수 500 kHz의 초음파 변환기(ultrasonic p-wave transducer)가 사용되었다. 1,480~1,500 m/sec 정도의 변화를 보이는  $V_p$ 의 비등방성( $A_p$ )은  $\pm 1.0\%$  이내로써, 수평 또는 수직 그 어느쪽이 빠르다고 판단하기는 어렵다. 이는 시료의 대부분이 균질(homogeneous)한 니질퇴적상이며, 심한 생물교란(bioturbation)과 함께 높은 공극율(80% 이상)에 따른 다량의 해수 함유에 기인하는 것으로 판단된다.  $Q_p$ 의 분포범위는 5~10 정도이며 전반적으로 퇴적물 하부로 내려갈수록 감소하는 경향은 탄산염( $\text{CaCO}_3$ )과 유기물 함량의 증가와 함께 silt가 증가하고 clay가 감소하는 퇴적물 입도(texture)의 변화로 해석된다. 그러나 화산재(volcanic ash)가 나타나는 최하부층에서는 14.9의 높은  $Q_{PH}$ 값도 보이고 있다.  $V_{PH}$ 와  $Q_{PH}$ 의 역상관계는 퇴적물 물성변화 뿐만 아니라 높은 함수율로 인한 해수특성(높은  $Q_p$ , 낮은  $V_p$ )의 영향도 크게 작용하고 있음을 시사한다.

Laboratory studies were carried out to measure the sound velocity ( $V_p$ ) and quality factor ( $Q_p$ , inverse attenuation) in the horizontal (H) and vertical (V) direction on the core sampled sediment of deep-sea basin (1,850 meter water depth), East Sea of Korea (Sea of Japan). Sampled core was about 250 cm long and 500 kHz ultrasonic p-wave transducer was used for a sound source.  $V_p$  varies from 1,480 m/sec to 1,500 m/sec, it is not clear which direction is faster,  $V_{PH}$  or  $V_{PV}$ , within  $\pm 1.0\%$  anisotropy ( $A_p$ ). It is thought because the core sediment facies is highly (or slightly) bioturbated homogeneous mud with very high porosity (more than 80%). The general trend of  $Q_p$  is decreasing 10 to 5 with the buried depth, it is strongly affected by the variation of sediment texture (increasing silt, decreasing clay) with increasing of  $\text{CaCO}_3$  and organic matter content. But  $Q_{PH}$  is jumping up to 14.9 near the bottom of core sediment as including volcanic ash richly. The relationship between  $V_{PH}$  and  $Q_{PH}$  shows the mirror image nearly, it is interpreted that not only the geotechnical properties and texture but also sea-water characteristics (high  $Q_p$ , low  $V_p$ ) according to rich water content affect strongly in the upper part of the unconsolidated deep-sea basin sediment.

## 서 론

해저퇴적물에서 음속과 감쇠계수를 측정한다는 것은 퇴적물의 음향학적 물성을 밝힌다는 입장에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 대부분의 해양지구물리

탐사장비는 음파를 이용하고 있기 때문에 해저퇴적물에 대한 음향 특성을 알고 있으면, 정보전달자로 작용하는 음파의 회신반응(return response)을 분석함으로써, 간접적으로 퇴적물의 물성해석을 가능케 하기 때문이다. 이러한 목적에서 해저퇴적물의

음속과 감쇠 특성에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으며(Hamilton *et al.*, 1956 ; Shumway, 1960 ; Nafe and Drake, 1963 ; Buchan *et al.*, 1967 ; Akal, 1972 ; Hamilton, 1972 ; Smith, 1974 ; Hamilton and Bachman, 1982), 퇴적물의 물성자료로부터 음향학적 성질을 역으로 예측해 보고자 하는 지질음향 모델링(geoacoustic modelintg)도 하나의 연구분야로 제시되고 있다(Hamilton, 1971, 1974, 1980 ; Richardson and Young, 1980 ; Dicus and Anderson, 1982).

일반적으로 해저퇴적물에서 음속과 감쇠계수를 측정하는 방법은 해양조사 현장에서 직접 분석자료를 얻는 방법과 채취된 시추퇴적물을 이용하는 실내분석방법이 있다. 전자의 경우는 일부 해역에서 측정된 국내자료가 발표된 바 있으나(김·석, 1985 ; 김 등 1990), 깊은 수심에서는 측정시스템의 개선이 요구된다. 후자는 적은양의 퇴적물 시료를 사용하기 때문에 높은 주파수 대역의 초음파를 이용해야 하는 제약성이 있고, 상온 상압하에서 측정함으로 실지의 온도와 압력조건을 만족시키지 못하는 문제점은 있으나, 동일한 시료에서 물성분석자료를 함께 얻을 수 있으며 해저 퇴적환경의 수직 단면을 관찰할 수 있는 장점이 있다.

김·석(1985)의 분석방법은 하나의 음원으로부터 거리가 서로 다른 3개의 수신기에서 동시에 도달한 음파신호의 진폭 스펙트럼 최대값을 구하여 그 비율로 감쇠계수를 산출하였다. 그리고 김 등(1990)은

동일한 자료를 재처리하면서 음파신호를 대역 필터링한 다음 전달손실의 기하학적 보정분계를 체계적으로 보완하는 진폭 스펙트럼 비율(amplitude spectral ratio) 방법을 적용한 연구결과를 제시하였다.

실내분석방법으로 감쇠계수를 구하는 경우는 일반적으로 음파감쇠가 가장 적은 알루미늄을 표준시료로 사용하여 이에 대한 분석시료의 상대적인 진폭 스펙트럼의 비율을 계산한다. 이러한 분석방법은 Toksöz *et al.*(1979)이 암석시료에 적용한 후, Sears and Bonner(1981)가 암염에서, Kim *et al.*(1983)이 태평양 심해저 시추퇴적물에서, 그리고 최근에는 O'Brien *et al.*(1989)이 일본해구 DSDP 시추퇴적물에서 각각 적용된 바 있다. 본 연구는 실내분석 방법으로 음속과 감쇠계수 측정을 시도한 분석과정을 소개하고 측정된 결과를 시추퇴적물 물성과의 상관성을 검토하는 데 목적을 두었다.

## 시료준비

시추퇴적물 시료는 piston corer를 사용하여 포항 북동동 방향 약 80마일 해상에서 채취된 동해 심해분지(수심 약 1,850 m) 퇴적물이다. 음속과 감쇠계수 측정에 사용된 퇴적물은 정방형(4 cm)의 아크릴 용기를 제작하여 표층에서부터 약 40 cm 간격으로 실험실내에서 재채취하였다.

Table 1은 여러 가지 매질에 대한 음속과 quality factor Q 값들을 요약 정리한 자료이다(Johnston,

Table 1. Q and velocity for reference materials modified after Johnston (1981).

Material	Q	V(Km/sec)	Mode	Frequency Range
Aluminum	200,000	5.00	Longitudinal resonance	1 to 200 kHz
Copper				
Unannealed	2,180	3.81	Longitudinal resonance	2.5 to 30 kHz
Annealed	5,830	5.01	P-wave pulse	25 to 75 MHz
Lead	36	1.21	Longitudinal resonance	1.6 to 15 kHz
Magnesium	965	5.77	P-wave pulse	7 to 76 kHz
Nickel	980	4.90	Flexural resonance	12 to 33 Hz
Steel	1,850	5.20	Flexural resonance	2 to 8 Hz
Glass (Pyrex)	1,860	5.17	Longitudinal resonance	10 kHz
Air				
Dry	3,485	0.343	Resonance	10 kHz
Humidity(100%)	1,434	0.345	Resonance	10 kHz
Water				
Fresh (17°C)	210,000	1.48	Resonance	100 kHz
Salt (36 ppm)	63,000	1.52	Resonance	150 kHz

1981). Q값이 클수록 전달에너지의 감쇠량이 적은 물질을 의미하며, 반대로 Q값이 작으면 에너지가 많이 감쇠되는 물질이다. 순수한 물 다음으로 알루미늄이 200,000 정도의 가장 큰 Q값을 보이고 있음을 알 수 있다. 순수한 물이 해저퇴적물과 음속도 비슷하고 Q값도 높아서 표준시료로 적합하지만, 액체이기 때문에 취급하기가 어렵고 온도에 민감할 뿐만 아니라, 분석시료와 동일한 모양의 조건하에서 신호파형을 구하기가 쉽지 않다. 따라서 고체인 알루미늄을 표준시료로 사용하게 된다. 본 실험에서도 순도 99.82%의 인도산(Nalco) 알루미늄 괴를 4 cm 정방형으로 제작하여 표준시료로 사용하였다.

### 분석방법

분석장비는 SONICVIEWER 170 (Model 5228, OYO)와 중심주파수 500 kHz의 변환기(p-wave transducer)가 사용되었다. 수치화된 음파신호는 200 nsec의 sampling 간격으로 2,048개씩이었으며, 자료처리는 개인용컴퓨터를 이용하였다.

음속은 시간과 거리의 함수이므로, 정밀한 시료의 길이측정과 음파신호가 처음으로 도달하기 시작하는 첫신호점(first break point)의 정확한 선택이 측정 오차의 관건이다. 분석시료의 양쪽면에 변환기를 완전히 밀착시킨 상태에서 측정기(caliper)를 사용하여 분석시료의 길이를 재확인 한 후, 첫신호점까지의 주행시간을 측정하여 음속을 산출하였다.

에너지가 어떤 매질을 통과할 때 거리에 따른 에너지의 감소를 전달손실(transmission loss, TL)이라고 정의되며, 그 요인은 기하학적 손실(geometrical loss)과 매질의 구성물질 및 조직에 따라 달라지는 흡수, 산란 등의 그 밖의 손실효과로 구분하여(Kinsler *et al.*, 1982) 식 (1)과 같이 표현된다.

$$TL = TL(\text{geom}) + TL(\text{losses}) \quad (1)$$

특히 후자에 의한 손실을 감쇠량으로 구분하여, 어떤 특정한 주파수에 대한 감쇠량을 감쇠계수(attenuation coefficient, dB/m)로 정의한다. 진폭 스펙트럼 비율법을 실내분석방법으로 적용할 경우, 두 시료의 모양이 같으므로 기하학적인 효과를 동일량으로 취급하여 계산하게 된다. 감쇠효과에 의한 진폭은

$$A_1(f) = G_1(f, z) \cdot \exp(-\alpha_1(f)z) \quad (2)$$

$$A_2(f) = G_2(f, z) \cdot \exp(-\alpha_2(f)z) \quad (3)$$

로 표현되며, 여기서 A는 진폭, f는 주파수, z는 시료의 길이, G(f, z)는 geometrical factor, 그리고  $\alpha$ 는 주파수에 따른 감쇠계수이다. 첨자 1과 2는 각각 표준시료와 분석시료를 의미한다. 식 (2)를 식 (3)으로 나누어 진폭의 비율로 표현하면

$$\ln(A_1/A_2) = (\alpha_2 - \alpha_1)z + \ln(G_1/G_2) \quad (4)$$

로 정리되며, 여기서 ln은 자연대수이다. 그리고 감쇠계수  $\alpha$ 와 주파수의 관계는

$$\alpha(f) = \gamma f \quad (5)$$

와 같이 1차식으로 표현되며,  $\gamma$ 는 감쇠계수와 관련된 상수로서 Q와는 아래와 같은 관계식을 갖는다.

$$Q = \pi/\gamma V \quad (6)$$

여기서 V는 매질의 음속이다. 식 (4)와 (5)를 다시 정리하면

$$\ln(A_1/A_2) = (\gamma_2 - \gamma_1)zf + \ln(G_1/G_2) \quad (7)$$

과 같이 최종적인 관계식을 얻게 된다. 여기서  $\ln(G_1/G_2)$ 는 기하학적 보정량으로서 상수로 남게 되고, 시료의 길이 z 역시 상수이다. 따라서 식 (7)은 일반적인 일차함수

$$Y = AX + B \quad (8)$$

의 형태를 취하게 된다. 진폭 스펙트럼을 구하여 그 비율에 대한 자연대수를 취한 값  $\ln(A_1/A_2)$ 와 주파수 f의 관계를 최소자승법에 의한 1차회기방정식인 식 (8)을 구하면  $(\gamma_2 - \gamma_1)$ 값이 계산된다.

특히  $\gamma_1$ 은 알루미늄을 사용하고 있으므로 Q값은 200,000이고 음속은 5,000 m/sec이다(Table 1). 식 (6)을 이용하여  $\gamma_1$ 을 계산해 보면 약  $3.0 \times 10^{-9}$  정도이다. 그러나 해저퇴적물의 경우 감쇠계수값의 분포범위는, 500 kHz 주파수 대역에서 약 100~350 dB/m 정도이므로(Hamilton, 1980; Stoll, 1985),  $\gamma_2$ 는  $(2.0 \sim 7.0) \times 10^{-4}$ , Q는 10.5~3.0 정도의 값이 계산된다. 따라서 표준시료에 대한 분석시료의  $\gamma$  비율은 약  $10^{-5}$  이므로 표준시료를 알루미늄으로

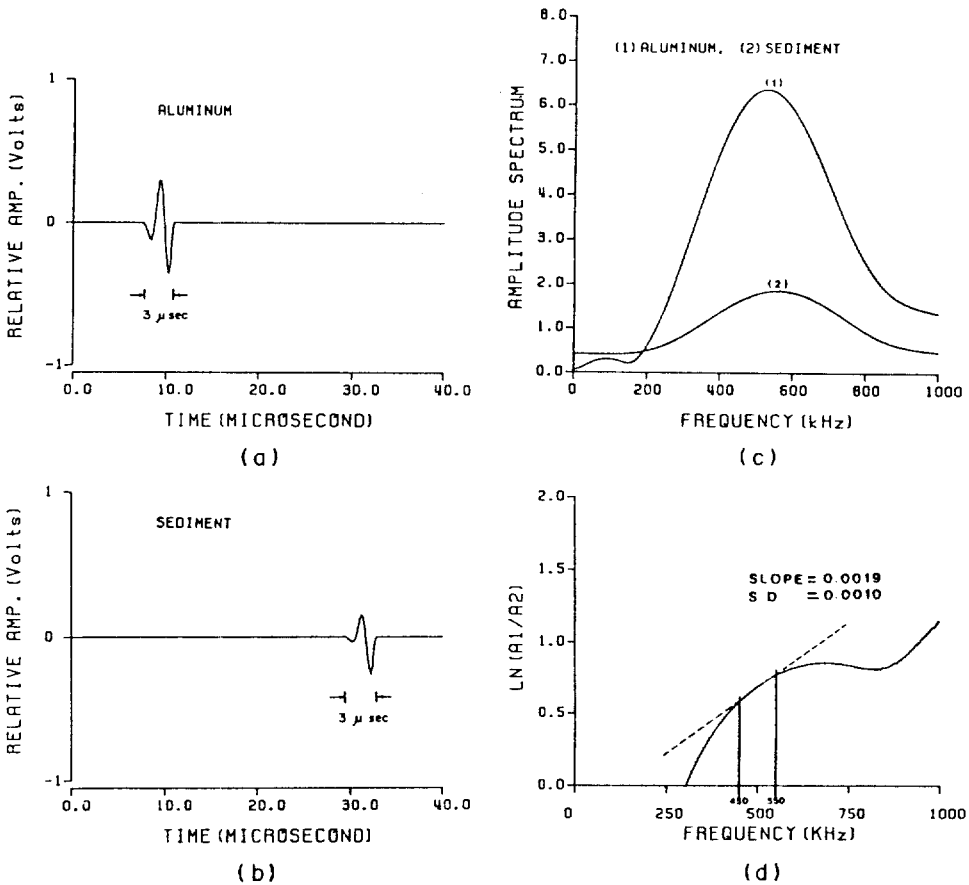


Fig. 1. Digitized p-wave time and frequency domain data. (a) and (b) 3  $\mu$ sec gated 500 kHz ultrasonic pulse for aluminum and sediment, respectively. (c) Amplitude spectrum magnitude of FFT. (d) Spectral amplitude ratio of aluminum and sediment. The quality factor Q is calculated from the slope of linear fitting line at the selected frequency range, 450 to 550 kHz.

사용할 경우  $\gamma_1$ 은 0으로 처리하여도 무관함을 알 수 있다(Toksöz *et al.*, 1979 ; Sears and Bonner, 1981).

진폭 스펙트럼을 구하는데 있어서 음파신호의 첫 신호점에서 어느 부분까지의 신호를 사용해야 할 것인가를 결정하여야 한다. 두 변환기 사이의 정방형 퇴적물내에서 에너지의 전달은 여러번 반사와 굴절을 반복할 것이므로 일정시간 이후의 음파신호는 모두 잡음이 섞이거나 변형된 상태일 것이다. 변환기의 음원을 점원(point source)으로 간주하고 알루미늄의 음속이 약 5,000 m/sec이면(Table 1), 시료의 길이가 4 cm이므로 도달하는 첫 신호점은 약 8  $\mu$ sec 부근이다. 그리고 정방형 가장자리 면에 부

딛혔다가 반사(또는 굴절)되어 가장 빨리 도착할 수 있는 최단거리는  $4\sqrt{2}$  cm이므로 약 11.3  $\mu$ sec이다. 따라서 첫 신호로부터 교란 직전까지의 시간차이는 약 3.3  $\mu$ sec가 된다. 주파수가 500 kHz이면 한 파장의 주기 T는 2  $\mu$ sec이므로 진폭 스펙트럼 분석에 사용할 수 있는 음파신호의 길이는  $1\frac{1}{2}$  파장이 된다. 분석할 수 있는 파장수가 많으면 많을수록 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 이유에서, 소량의 시료를 가지고 실내분석방법으로 감쇠계수를 측정하는 경우, 고주파쪽의 초음파(ultrasonic wave)를 음원으로 사용하게 된다.

Fig. 1의 (a)와 (b)는 감쇠계수 계산에 적용된 표준시료 알루미늄과 퇴적물 분석시료 각각에 대한

Table 2. Experimental results of p-wave velocity ( $V_p$ ) and quality factor ( $Q_p$ ) with core sediment texture and facies classifications.

Core Depth(cm)	$V_p$ (m/sec)		$Q_p$		$A_p$ (%)*	Texture(%)			Sediment Facies**
	H	V	H	V		sand	silt	clay	
9	1500	1486	8.6	9.4	0.94	0.0	17.5	82.5	M <sub>1</sub> b
49	1496	1504	10.3	8.6	-0.53	0.0	15.4	84.6	M <sub>1</sub> b
99	1496	1493	9.3	7.3	0.20	0.0	30.0	70.0	M <sub>1</sub> a
135	1500	1486	6.5	5.8	0.94	0.0	32.7	67.3	M <sub>2</sub>
180	1486	1500	9.4	5.4	-0.94	2.8	36.0	61.2	M <sub>1</sub> b'
235	1476	1482	14.9	6.4	-0.41	0.0	41.7	58.3	M <sub>2</sub> '

\*p-wave velocity anisotropy,  $A_p$ (%) =  $200 \cdot (V_{PH} - V_{PV}) / (V_{PH} + V_{PV})$

\*\*M<sub>1</sub>b: highly bioturbated homogeneous mud, M<sub>1</sub>a: slightly bioturbated homogeneous mud, M<sub>2</sub>: laminated and/or crudely layered mud, M<sub>1</sub>b': M<sub>1</sub>b with ash rich, M<sub>2</sub>': M<sub>2</sub> with stratified ash layers

첫신호점에서 3  $\mu$ sec 동안의 500 kHz 음파신호를 보여주고 있으며, 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT) 방법으로 진폭 스펙트럼을 구한 결과가 (c)이다. 퇴적물에서 보다 알루미늄에서 훨씬 큰 진폭 스펙트럼값을 보이고 있으며, 중심 주파수가 500 kHz 부근임을 알 수 있다. 식 (7)을 적용하여 주파수 변화에 따른  $\ln(A_1/A_2)$ 의 관계곡선과, 500 kHz를 중심으로 약 450 kHz부터 550 kHz까지 비교적 선형적 관계를 보이는 부분에서 1차회기방정식을 구한 결과가 (d)이다. 여기서 구한 기울기는 식 (7)의  $(\gamma_2 - \gamma_1)z$ 에 해당된다. 앞에서 언급했듯이  $\gamma_1$ 은 거의 무시할 수 있고, 시료의 길이  $z$ 를 소개하면  $\gamma_2$ 값을 얻게 되는데, 이것은 진폭 스펙트럼의 비율을 자연대수를 취한 결과로서 neper 단위이다. dB/m로 환산하기 위하여  $20 \cdot \log(e)$  즉 8.686을 곱한 다음 식 (5)에서 감쇠계수  $\alpha$ 를, 측정된 음속과 함께 식 (6)에서  $Q$ 값을 각각 얻게 된다.

### 결과 및 토의

#### 1. 음속

수평방향으로 측정된 음속( $V_{PH}$ )의 변화는 시추퇴적물 깊이 135 cm까지는 1,500 m/sec 정도로서 변화가 없으나 그 이하에서는 1,476 m/sec까지 감소한다. 수직방향( $V_{PV}$ )은 1,482~1,504 m/sec의 분포 범위를 보이고 있다(Table 2).

Hamilton(1970)은 평행층리 구조가 있는 해저퇴적물에서는 수직방향에서 보다 수평방향에서 다소 빠르면서 퇴적물 깊이(burial depth)에 따라 음속의

비등방성(anisotropy,  $A_p$ )은 증가 할 것으로 예측하였고, Bachman(1979)은 1959년부터 1978년까지 세립질 해저퇴적물 및 퇴적암에서 측정된 음속자료들을 총정리하여  $V_{PH}$ 와  $V_{PV}$ 의 관계식을 구해본 결과,  $A_p$ 는 해저면에서 거의 0%이며 퇴적물 깊이가 증가함에 따라 약 8~14%로 증가하고 있음을 확인하였다.

본 측정결과에서는  $V_{PH}$ 가  $V_{PV}$ 보다 더 빠른 경향은 없으며  $A_p$ 도  $\pm 1.0\%$  미만으로 나타나고 있다(Table 2). 시료의 대부분이 균질(homogeneous)한 니질퇴적상이고 심하게 생물교란(bioturbation)된 상태이라는 점을 감안할 때(Table 2), 수평과 수직의 음속차이는 기대하기 어렵다. 특히 생물교란이 음속에 미치는 영향은 상당히 크다는 Richardson and Young(1980)의 연구결과도 이를 뒷받침 한다. 시추퇴적물은 깊이 135 cm와 235 cm에서 평행층리 구조를 보이지만(Table 2), 음속의 양상은 다르게 나타나고 있다(Fig. 2). 135 cm에서 빠른  $V_{PH}$ 는 일반적인 것으로 해석할 수 있으나, 235 cm에서는 오히려  $V_{PV}$ 가 빠르다. 그리고  $V_{PH}$ 는 135 cm까지는 변화가 없으나, 그 이하에서 급속한 감소는 층리구조의 영향보다 구성퇴적물의 변화에 기인한다고 판단된다. 특히 구성퇴적물은 180 cm 이하에서부터 clay에서 화산재(volcanic ash)로 바뀌고 있으며(Table 2), 탄산염( $\text{CaCO}_3$ ) 함량의 급격한 증가를 보이고 있다(Fig. 2).

$V_{PV}$ 는 공극율의 변화와 비교적 잘 일치하여 음속은 공극율과 역상관관계를 갖는다는 일반적인 현상(Akal, 1972; Hamilton, 1974, 1982; 김·석, 19

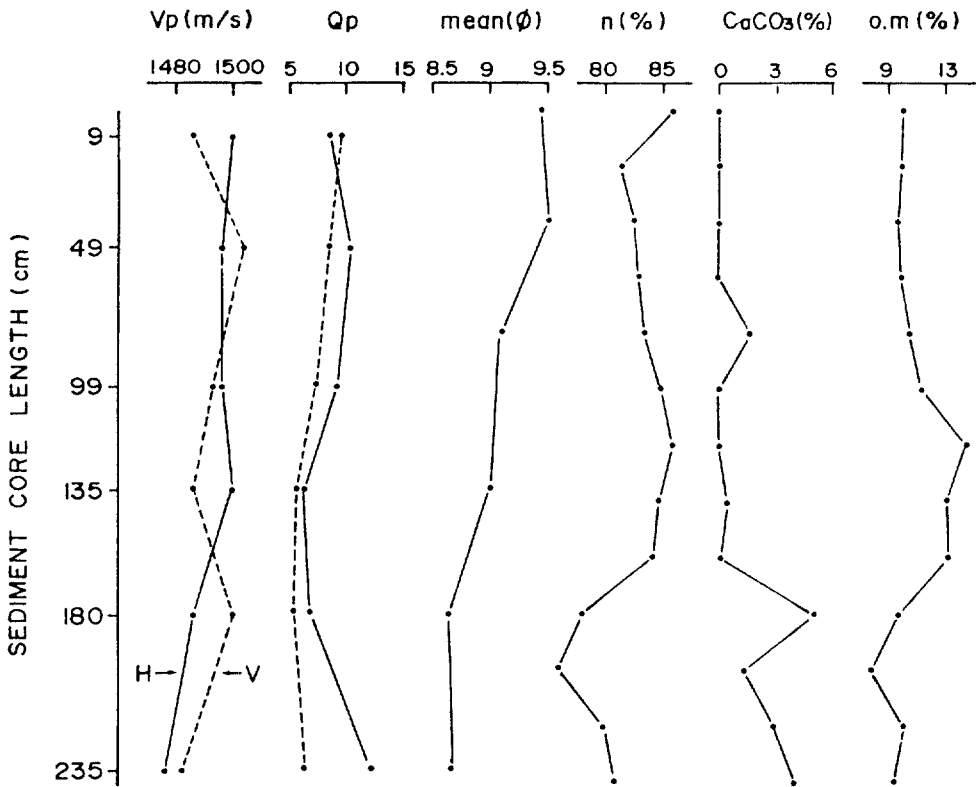


Fig. 2.  $V_p$  and  $Q_p$  measured in horizontal (H) and vertical (V) direction, physical properties of mean grain size ( $\phi$ ) and porosity (n), and content of  $\text{CaCO}_3$  and organic matter (o.m) on the core sediment samples.

85; 김 등, 1990)을 잘 보여주고 있다. 특히 49 cm와 180 cm에서 빠른 음속에 비해 비교적 낮은 공극율 값을 보여주고 있으며, 표층과 135 cm에서 85% 이상의 높은 공극율과 함께 낮은 음속값을 보이고 있다(Fig. 2). 이는 다량의 해수를 함유함에 따라 퇴적물에 비해 상대적으로 낮은 음속을 갖는 해수의 영향이 강하게 작용하기 때문이다. 그러나 최하부인 235 cm에서 수평과 수직방향 모두 낮은 음속이 나타나는 것은 화산재 함유에 따른 영향일 것으로 판단된다.

## 2. 감쇠계수

감쇠계수는 일반적으로  $\alpha(\text{dB/m})$  또는  $\gamma(\text{dB/m} \cdot \text{kHz})$ 로 정의되며,  $Q$ 와는 역비례 관계에 있다. 기존의 연구결과에서 대부분이  $Q$ 값으로 제시하고 있기 때문에 본 연구에서도 이에 따랐다.

$Q_p$ 값의 분포범위는 5~10 정도이지만 시추퇴적물 깊이가 235 cm의 수평방향에서 14.9의 높은 값도 보

이고 있으며, 표층을 제외하고는 전부 수평측정값( $Q_{PH}$ )이 수직측정값( $Q_{PV}$ )보다 다소 높게 나타나고 있다(Table 2). Kim *et al.*(1983, 1985)은 DSDP 시추퇴적물 383~914 m와 597~1,167 m에서 모두  $Q_{PH} > Q_{PV}$ 로 제시하였으며, O'Brien *et al.*(1989)은 DSDP 시추퇴적물을 이용하여 100~600 m까지는  $Q_{PH} < Q_{PV}$ 로, 600~700 m까지는  $Q_{PH} = Q_{PV}$ 로, 그리고 그 이하에서는  $Q_{PH} > Q_{PV}$ 로 제시하였다. 그러나 여기서 문제는 비교해 볼 수 있는 시추퇴적물의 최상부 측정결과가 없다는 점이다. 본 연구에서 사용된 시료와 같이 거의 표층에 준하는 심해분지 시추퇴적물의 경우,  $Q_{PH} > Q_{PV}$ 의 측정결과를 얻었지만 일반적인 경향은 아닐 것으로 생각되며, 좀 더 많은 측정자료와 연구결과가 요구된다.

변화폭의 차이는 있지만 전반적으로 135 cm와 180 cm에서 가장 심한 감쇠현상을 보이는데 (Fig. 2), 이는 탄산염과 유기물의 함량 증가에 의한 결과로 볼 수 있다. 인천항 남서해역에서 현장관측방

법으로 측정된 연구결과(해양연구소, 1986)에 의하면 탄산염 함량과 감쇠계수의 지역적인 분포양상은 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 235 cm에서  $Q_{PH}$ 의 급격한 증가는 평행층리 구조를 갖는  $M_2$  퇴적상과 함께 다량의 화산재 함유가 탄산염의 영향보다 우세하게 증가요인으로 작용한다고 판단된다(Table 2).

음파감쇠는 평균입도  $4\phi$ 를 전후하는 퇴적물에서 가장 심하며(Stoll, 1974; 김·석, 1985), 그 이상의 세립질 퇴적물에서는 감쇠계수 역시 작아진다. Fig. 2에서 평균입도의 분포는 표층에서 180 cm까지 8.6으로 감소하다가 다시 증가하고 있다. 변화폭은 작지만  $Q_{PV}$ 는 평균입도와 좋은 관계를 보여주고 있으며, 하부로 내려갈수록 clay 감소, silt 증가와 함께 소량의 sand도 나타나는 퇴적물입도(sediment texture)의 변화와 잘 일치하고 있다(Table 2).

### 3. 음속과 감쇠계수

음속과 감쇠계수의 일반적인 관계는 1,550~1,600 m/sec에서 음파감쇠가 가장 심하며, 1,550 m/sec 이하에서는 음속이 증가함에 따라 음파감쇠량도 증가하지만, 1,600 m/sec 이상에서는 다시 감소하는 경향이 있다(Shumway, 1960; 김·석, 1985; 김 등, 1990). 분석된 퇴적물 역시 음속이 1,550 m/sec 이하로서 clay~silty clay 퇴적상이고(Table 2),  $V_{PH}$ 와  $Q_{PH}$ 의 비교적 양호한 역상관관계(Fig. 2)에서 기존의 연구결과를 다시한번 확인 할 수 있다. 그리고  $V_p$ 의 분포범위가 해수의 음속과 비슷하고, 80% 이상의 공극율을 갖는다는 것은 상당량의 해수를 포함하고 있음을 의미하며, 낮은 음속에 높은  $Q$ 값을 갖는 해수특성을 감안할 때,  $V_{PH}$ 와  $Q_{PH}$ 의 역상관관계는 해수의 영향도 무시할 수 없는 요인으로 사료된다.

## 결 론

동해 심해분지 시추퇴적물에서 실내분석방법으로 측정된 음속 및 감쇠계수 결과를 퇴적물 물성분석 자료와 함께 검토해 본 과정에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 심해분지 퇴적물의 경우 퇴적물 깊이(burial depth)가 250 cm 정도 된다하더라도 표층과 하부

층의 뚜렷한 음속 및  $Q$ 값의 변화는 없었으며, 높은 함수율로 인한 해수특성(높은  $Q$ , 낮은 음속)의 영향을 크게 받고 있다.

2. 음속의 분포범위는 1,480~1,500 m/sec 정도이며, 비등방성은  $\pm 1.0\%$  이내이다.

3.  $Q$ 값의 분포범위는 5~15 정도로서  $Q_{PH} > Q_{PV}$ 의 측정결과를 얻었지만 국부적인 현상일 것이며, 화산재가 함유될 경우  $Q$ 값은 증가한다.

4. 탄산염 및 유기물의 함량 증가는 음속과  $Q$ 값의 감소 요인으로 작용한다.

5.  $V_{PH}$ 와  $Q_{PH}$ 는 좋은 역상관관계를 보이고 있다.

이상의 몇 가지로 정리할 수 있지만 한반도 주변해역에 대한 보다 신뢰성 있는 해저퇴적물의 음향특성 구명을 위해서는 지속적인 연구결과와의 축적과 함께 여러 가지 주파수 대역에서 다양한 방법으로 측정이 시도되어야 할 것으로 본다.

## 감 사

본 연구는 한국해양연구소 1990년도 기본연구사업인 동해 울릉분지의 지구물리학적 연구(PE00198) 및 수탁사업(PI00118)의 일부 연구비 지원에 의해 수행되었다. 고순도의 알루미늄 과외 분석치를 제공해 주신 삼보비철금속(주) 이용근 부장님의 협조에 감사드린다. 본 논문을 검토하고 조언해 주신 한국해양대학 강효진 교수님과 진해기계창 김재수 박사님께 감사드린다. 그리고 부산수산대학교 김대철 교수님의 실험실을 방문하여 표준 시료와 분석 시료의 설계에 관한 아이디어를 얻게 되었음을 밝혀둔다.

## 참고문헌

- 김성렬, 석봉출, 1985. 한반도 연근해저 표층퇴적물에서의 음파전달속도와 감쇠계수. 한국해양학회지, 20(2): 10-21.
- 김한준, 석봉출, 김성렬, 한상준, 1990. 한반도 주변해역 해저표층퇴적물의 음파감쇠계수와 생물기원 기체함량. 한국해양학회지, 25(1): 26-35.
- 해양연구소, 1986. 인천항 남서해역 저질음향특성과 지구 자기장 조사연구(미발간). 국방과학연구소, 174 p.
- Akal, T., 1972. The relationship between the physical properties of underwater sediments that affect bottom reflection. Mar. Geol., 13: 251-266.
- Bachman, R.T., 1979. Acoustic anisotropy in marine se-

- diments and sedimentary rocks. *J. Geophys. Res.*, **84**: 7661-7663.
- Buchan, S., F.C.D. Dewes, D.H. McCann and D.T. Smith, 1967. Measurements of the acoustic and geotechnical properties of marine sediment cores. IN: *Marine Geotechnique*, A.F. Richard ed., University of Illinois Press, 65-92.
- Dicus, R.L. and R.S. Anderson, 1982. Effective low-frequency geoacoustic properties inferred from measurements in the northeast Atlantic. *Naval Ocean Research and Development Activity*, NORDA Report 21, 139 p.
- Hamilton, E.L., G. Shumway, H.W. Menard and C.J. Shipek, 1956. Acoustic and other physical properties of shallow-water sediments off San Diego. *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**: 1-15.
- Hamilton, E.L., 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *J. Geophys. Res.*, **75**: 4423-4446.
- Hamilton, E.L., 1971. Prediction of in-situ acoustic and elastic properties of marine sediments. *Geophysics*, **36**: 266-284.
- Hamilton, E.L., 1972. Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, **37**: 620-646.
- Hamilton, E.L., 1974. Geoacoustic models of the sea floor. IN: *Physics of Sound in Marine Sediments*, L. Hampton ed., Plenum Press, New York, 181-221.
- Hamilton, E.L., 1980. Geoacoustical modeling of the sea floor. *J. Acoust. Soc. Am.*, **68**(5): 1313-1340.
- Hamilton, E.L., and R.T. Bachman, 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, **72**(6): 1891-1904.
- Johnston, D.H. 1981. Attenuation: A state-of-the-art summary. IN: *Seismic Wave Attenuation*, Toksöz, M.N. and D.H. Johnston ed., Geophysics Reprint Series, No 2, Society of Exploration Geophysicists, 123-135.
- Kim, D.C., K.W. Katahara, M.H. Manghnani and S.O. Schlanger, 1983. Velocity and attenuation anisotropy in deep-sea carbonate sediments. *J. Geophys. Res.*, **88**: 2337-2343.
- Kim, D.C., M.H. Manghnani and S.O. Schlanger, 1985. The role of diagenesis in the development of physical properties of deep-sea carbonate sediments. *Mar. Geol.*, **69**: 69-91.
- Kinsler, L.E., A.R. Frey, A.B. Coppens and J.V. Sanders, 1982. *Fundamentals of Acoustics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 480 p.
- Nafe, J.E. and C.L. Drake, 1963. Physical properties of marine sediments. IN: *The Sea*, Vol. 3, M.N. Hill ed., Interscience Publishers, New York, 794-502.
- O'Brien, D.K., M.H. Manghnani and T.J. Tribble, 1989. Irregular trends of physical properties in homogeneous clay-rich sediments of DSDP Leg 87 Hole 584, mid-slope terrace in the Japan Trench. *Mar. Geol.*, **87**: 183-194.
- Richardson, M.D. and D.K. Young, 1980. Geoacoustic models and bioturbation. *Mar. Geol.*, **38**: 205-218.
- Sears, F.M. and B.P. Bonner, 1981. Ultrasonic attenuation measurements by spectral ratios utilizing signal processing technique. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE-19: 95-99.
- Shumway, G., 1960. Sound speed and absorption studies of marine sediment by a resonance method, part I and part II. *Geophysics*, **25**: 451-467 and 659-682.
- Smith, D.T., 1974. Acoustic and mechanical loading of marine sediments. IN: *Physics of Sound in Marine Sediments*, L. Hampton ed., Plenum Press, New York, 41-61.
- Stoll, R.D., 1974. Acoustic waves in saturated sediments. IN: *Physics of Sound in Marine Sediments*, L. Hampton ed., Plenum Press, New York, 19-39.
- Stoll, R.D., 1985. Marine sediment acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, **77**(5): 1789-1799.
- Toksöz, M.N., D.H. Johnston and A. Timur, 1979. Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements. *Geophysics*, **44**: 671-690.

---

Received January 25, 1991

Accepted February 22, 1991