

韓半島 周邊海域 海底表層堆積物の 音波減衰係數와 生物起源 氣體含量

金漢俊 · 石奉出 · 金聖烈 · 韓相俊
韓國科學技術研究院, 海洋研究所

Sound Attenuation Coefficients and Biogenic Gas Content in the Offshore Surficial Sediments Around the Korean Peninsula

HAN-JOON KIM, BONG-CHOO SUK, SEONG-RYUL, KIM AND SANG-JOON HAN
Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

韓半島 주변 4개 해역(포항, 부산, 여수, 군산)의 海底表層堆積物에서 얻은 音響資料로부터 音速과 音波減衰係數를 구하여 物性과의 상관성을 검토하고, 氣體 함량을 추정함으로써 音波減衰의 기계적 원인을 분석하였다.

音速 및 音波減衰係數의 범위는 각각 1470~1616 m/sec 및 0.0565~0.6604 dB/kHz-m로서 퇴적물의 유형에 밀접하게 관련된다. 音波減衰는 coarse silt에서 최대이며 표층퇴적물내 기체 함량의 추정값은 8 ppm 이하로서 퇴적물의 입자가 작을 수록 증가한다. Fine sand보다 입자가 큰 퇴적물에서는 마찰손실이 절대적인 音波減衰의 요인으로 작용하며, 점성손실은 무시할 수 있을 뿐만 아니라 퇴적물의 物性에 따라 변하지 않는다. Coarse silt에서 音波減衰가 최대인 것은 마찰손실 뿐만 아니라 silt 입자 사이에 존재하는 더 작은 입자들간의 결합력이 동시에 작용하기 때문이며 fine 및 medium silt를 경계로 입자가 작아짐에 따라 입자간 결합력이 주된 減衰요인으로 작용한다.

Sound velocities and attenuation coefficients of marine surface sediments were calculated from in-situ acoustic experiments on 4 nearshore areas off Pohang, Pusan, Yeosu, and Kunsan around the Korean Peninsula. The relationship between these values and physical properties of sediments was examined and attenuation mechanism was analysed using the estimated gas content.

Sound velocities and attenuation coefficients ranging from 1470 to 1616 m/sec and 0.0565 to 0.6604 dB/kHz-m, respectively, are well related to sediment types. The attenuation coefficient is maximum in coarse silts, and the sound velocity increases with density. The gas content estimated less than 8 ppm increases with the decreasing sediment grain size. When the sediment size is greater than fine sand, sound attenuation is mostly due to friction losses, and probably negligible viscous loss remains unchanged with the varying physical properties of sediments. The maximum attenuation in coarse silts result from both friction loss and cohesion of finer sediments between the contacts of silt grains. The cohesion begins to be the dominant dissipative process with decreasing grain size from medium and fine silts.

序 論

海底堆積物 내에서 발생하는 音波의 減衰현상은 堆積物의 物理的 性質과 밀접한 관계를 가지며, 이 관계는 音波減衰의 원인을 결정하는 것 외에도 堆積物을 적절하게 非彈性 模型으로 나타내는데 있어서도 매우 중요하다.

海底堆積物의 音波減衰特性에 대해서는 많은 연구가 수행되고 있으며 (Hamilton *et al.*, 1956; Hamilton, 1972; Shumway, 1960 등) 堆積物의 特性을 音響學的으로 분류, 표현하는 地質音響 모델링 (geoacoustic modeling)의 한 분야로도 제시된 바 있다 (Hamilton, 1972; Stoll, 1974). 현재까지 알려진 減衰의 원인은 크게 堆積物의 결

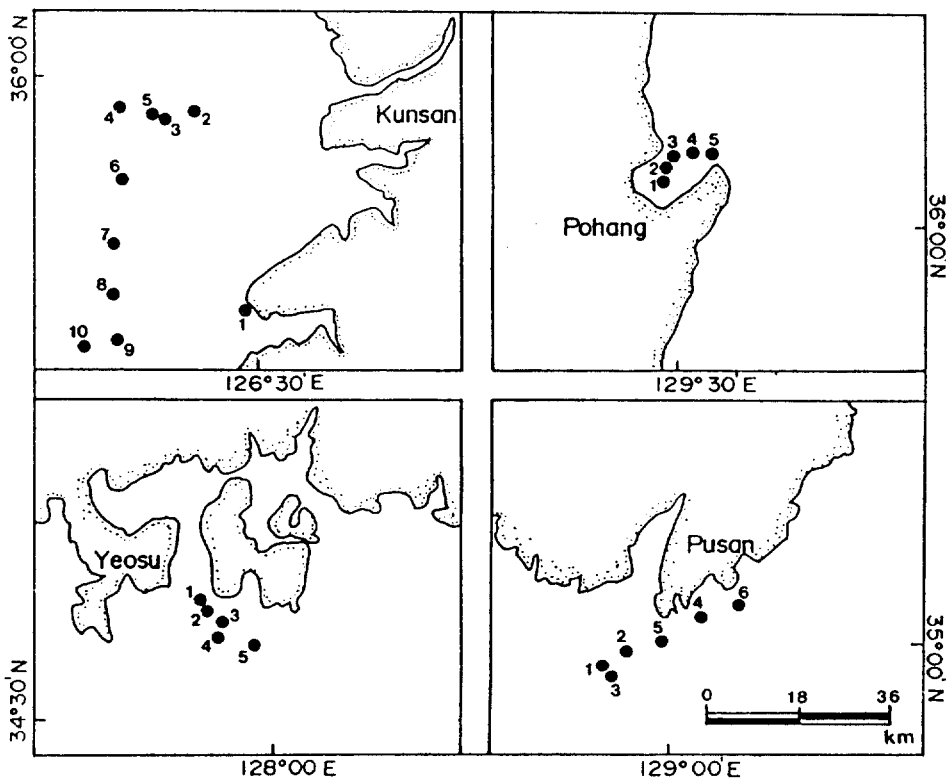


Fig. 1. Location map of four study areas.

합구조에 관계되는 粒子間 접촉面에서의 마찰손실 및 결합구조에 상대적으로 움직이는 海水의 粘性에 의한 粘性손실로 생각되고 있으며, sand 및 sandy silt와 같이 粒子가 큰 堆積物에서의 減衰는 일차적으로 마찰손실에 의한 것이며 clay와 같은 細粒堆積物에서의 減衰는 입자간의 電氣化學的 (electrochemical) 결합 때문인 것으로 추정되고 있다 (Stoll, 1974).

지금까지는 堆積物에 대한 대부분의 減衰特性이 10 kHz 이상의 고주파대역에서 측정되었으나 최근에는 저주파 및 지진파대역에서의 연구도 활발히 시도되고 있다. 音波減衰는 주파수에 비례하므로 이론적으로는 고주파대역의 측정결과를 이용하여 저주파대역에서의 값을 예측할 수도 있으나 실제로 주파수에 따라 매우 복잡한 변화를 나타낸다 (Stoll, 1974). 따라서 비교적 저주파인 10 kHz 이하에서의 音波減衰는 이에 상응하는 주파수에서 독립적으로 실험되는 것이 바람직하다.

이 논문에서는 浦項, 釜山, 麗水, 그리고 群山

近海인 4개 海域에서 (Fig. 1) 表層 未固結堆積物에 대해 저주파인 3.5 kHz의 音波를 이용한 현장실험을 통해 얻은 音響資料로부터 音波減衰係數 (attenuation coefficient)를 계산하여 堆積物의 物性과 상관성을 파악하고 기존의 資料 (Akai, 1972; Hamilton, 1972; Shumway, 1960)와 비교, 분석하였다. 또한 측정된 音波의 速度를 이용하여 表層堆積物 내에 존재하는 生物起源 (biogenic)의 氣體 含量을 추정함으로써 이에 의한 減衰효과도 고찰하였다.

여기에서 처리한 資料는 이전의 연구자료 (金石, 1985)와, 1989년 8월 해양연구소 조사선 (인천 801호)을 사용하여 획득한 현장자료를 보완한 것으로서 音波減衰係數의 계산시 보다 타당한 값을 얻기 위해 SRM (spectral ratio method, Pilant, 1979)으로 이들을 재처리하였다. 音源에서 발신된 音波의 중심주파수는 3.5 kHz 이므로, 거리에 따라 수신된 音波의 스펙트럼비가 3.5 kHz를 중심으로 가장 線形的인 값을 갖는 주파수

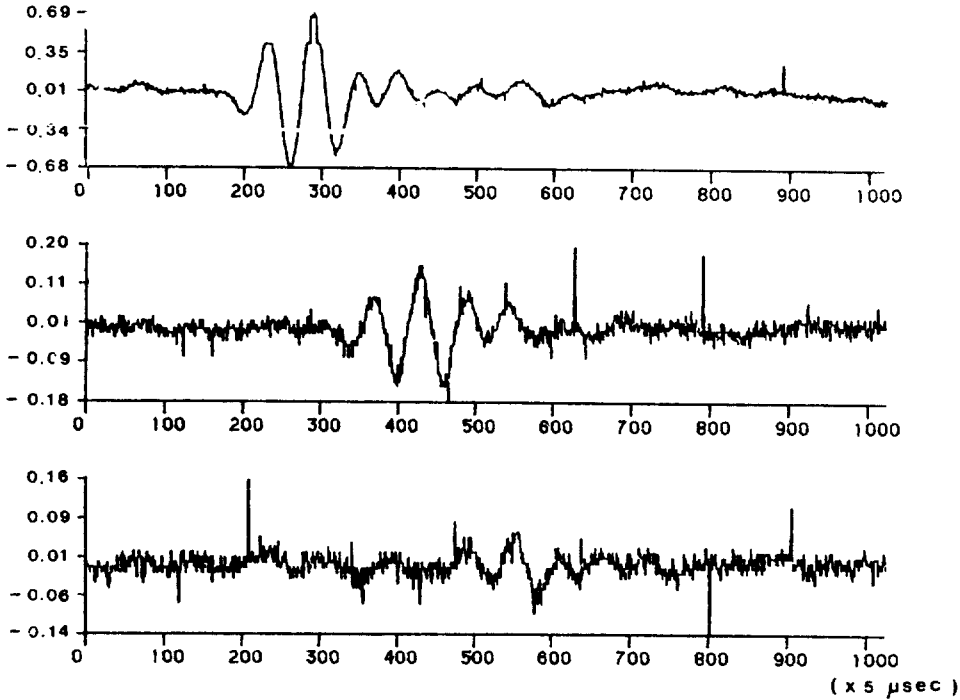


Fig. 2. Recorded signals at 1, 2, and 3 m from a sound source. The signals are scaled to the same magnitude to demonstrate S/N ratio.

대역에서 dB/kHz-m 단위의 減衰係數를 구하였다.

音響資料의 處理

처리하고자 하는 音響資料는 堆積物의 表層에서 1m 간격으로 세 곳에서 얻은 중심주파수 3.5 kHz의 波形으로서 획득방법은 金·石(1985)에 자세히 설명되어 있다. 堆積物의 平均粒度, 密度, 그리고 孔隙率은 金·石(1985)의 값을 사용하였다.

減衰係數의 계산

현장에서 획득한 音響波形은 수신거리가 멀 수록 진폭이 작아져서 信號對雜音比(S/N ratio)가 상대적으로 감소한다(Fig. 2). 기록된 音響信號에서 볼 수 있는 雜音은 고주파의 무작위雜音(random noise)이므로 上限 주파수가 6.8 kHz로 설계된 FIR(finite impulse response) filter로써(金漢俊 등, 1988) low-pass filter 한 후(Fig. 3) 동일한 位相을 갖는 波形要素만 추출하여

(Fig. 4) 분석하였다.

減衰係數의 計算을 위해 널리 사용되는 技法은 스펙트럼의 比를 이용하는 SRM으로서 波源으로부터 거리 a와 b에서 시간 t에 따라 수신된 波形 $A_a(t)$ 및 $A_b(t)$ 의 진폭 스펙트럼을 이용하는 것이다(Pilant, 1979). $A_a(t)$ 및 $A_b(t)$ 의 진폭 스펙트럼을 각각 $A_a(f)$ 및 $A_b(f)$ 로 나타내면 다음 관계를 얻을 수 있다(Edrington and Calloway, 1984).

$$20 \log [A_a(f) / A_b(f)] = k(b-a)f + h_{ab}. \quad (1)$$

여기에서 k는 dB/kHz-m 단위의 減衰係數, f는 주파수, 그리고 h_{ab} 는 기하학적 減衰요인 및 수신기간의 동일반응보정(calibration) 오차를 나타내는 상수이다.

이와 같은 방법이 이 연구에서 획득한 현장자료의 분석에 유용한 이유는 다음과 같다. 먼저, 측정용 frame을 海底面에 내릴 경우 波源과 수신기들은 보통 海底面下 얕은 깊이의 堆積物 內에 위치하게 되는데 이 때에는 수신기까지 전파되는 음파

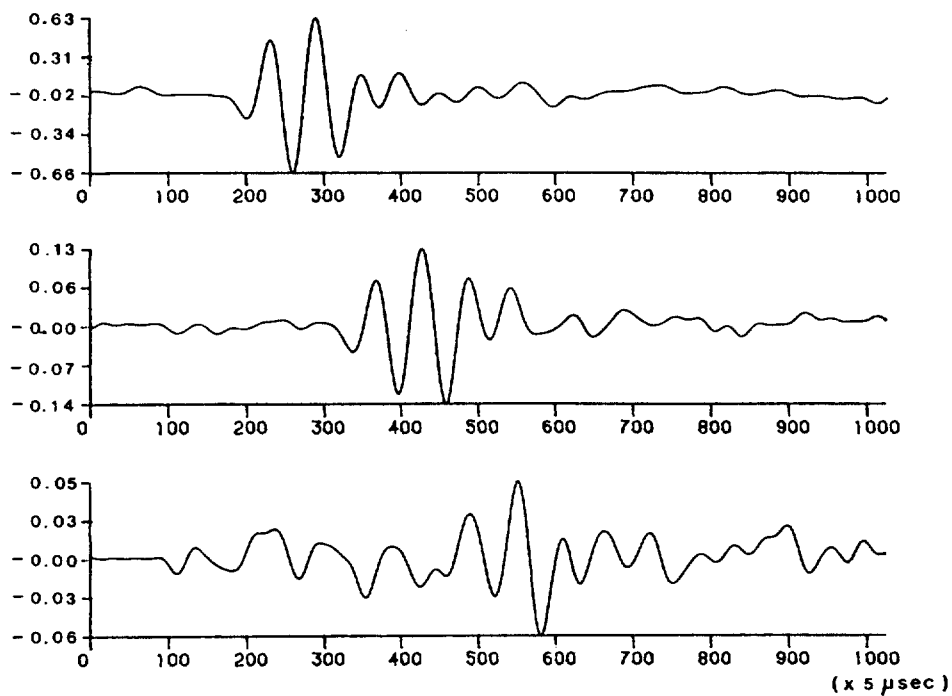


Fig. 3. Low-pass filtered signals of Fig. 2.

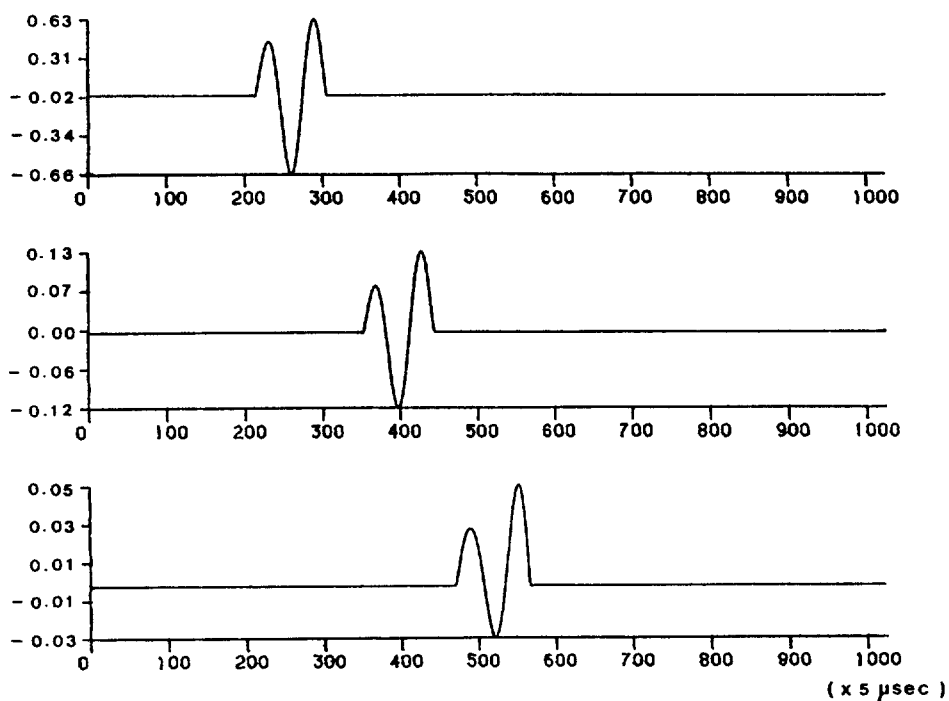


Fig. 4. Extracted wavelets with the same phase for spectral analysis.

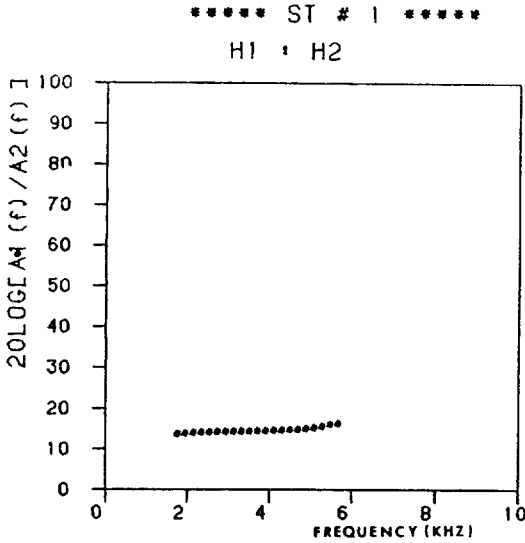


Fig. 5. Logarithmic ratio of amplitude spectra of wavelets at 1 and 2 m from a sound source.

가 球面波(spherical wave)의 특성을 갖는지, 혹은 柱面波(cylindrical wave)의 특성을 갖는지 불분명하다. 따라서 기하학적 감쇠의 적절한 보정이 힘들게 된다. 둘째, 수신기들간의 利得反應(gain response)이 다르므로 이에 대한 보정이 필요하다. 하지만 (1)식과 같이 $20 \log[A_a(f)/A_b(f)]$ 를 주파수에 대한 1次式으로 근사화시키면, 이상의 두 가지 요인이 절편 h_{ab} 가 되므로 직선의 기울기로부터 구하는 減衰係數 k 값에 영향을 미치지 않는다.

수신 波形的 진폭 스펙트럼비 $20 \log[A_a(f)/A_b(f)]$ 는 音波의 중심주파수 3.5 kHz 를 중심으로 일정한 대역에서 선형적으로 증가하므로 (Fig. 5) (1)식의 관계를 적용할 수 있으며 減衰係數가 주파수에 비례함을 지시한다.

生物起源 氣體 함량의 추정

堆積物의 shear modulus가 bulk modulus에 비해 매우 작고 堆積物에 존재하는 氣體가 bulk density에 거의 영향을 미치지 않을 만큼 소량이라고 가정하면 堆積物 내 生物起源 氣體의 체적 함량은 다음 관계로부터 얻을 수 있다(Edrington and Calloway, 1984).

$$V/V_0 = [1 + (nE_0) / (\gamma P_0)]^{-1/2} \quad (2)$$

여기에서 V는 조사지점의 堆積物에 대해 측정된 音速, V_0 및 E_0 는 각각 기체를 포함하지 않는 동일유형의 堆積物의 音速 및 bulk modulus, P_0 는 水深에 따른 정수압(hydrostatic pressure), n은 氣體의 체적 함량 그리고 γ 는 比熱의 변수로서 生物起源 氣體의 경우 통상 1.3의 값을 갖는다. (2)식의 계산시, E_0 및 V_0 는 Hamilton(1971, Table 1; 1972, Table 4a)에서 조사대상과 동일유형인 堆積物에 대한 값을 취하여 결정하였다. V는 이전의 연구(金·石, 1985)에서 이용한 상호상관법 대신, 전파거리를 受信波形的 최초도착시간 차이로 나누어 구하였다. 이는, 減衰가 발생하는 媒質에서 音波는 전파거리에 따라 고주파성분이 더 많이 흡수될 뿐만 아니라 波의 位相變位(phase shift)가 발생하므로, 音波가 전파함에 따라 波形이 길어지면서 零位相(zero-phase) 내지는 혼합位相(mixed-phase)의 波形으로 변하기 때문에 (Fig. 4) 상호상관법을 적용할 경우 원래보다 더 낮은 音速값이 산출되기 때문이다.

結 果

조사해역 表層堆積物의 物性(堆積相, 平均粒度, 孔隙率), 音速, 減衰係數, 그리고 氣體 함량을 구한 결과는 Table 1에 정리되어 있다.

堆積物의 物性간의 상관성은 이전의 연구(金·石, 1985)에 설명되어 있다. 다만 여기에서는 密度(d, g/cm³)對 孔隙率(p)의 관계가 Akal(1972)이 제시한 관계식:

$$d_s = d_w \times (2.604 - 1.606 p) \quad (3)$$

을 따르는지 검토하여 조사해역 堆積物의 物성과 기존 연구결과(Akal, 1972; Bachman, 1985; Hamilton, 1971, 1972)와의 상관성을 파악하였다. 여기에서 d_s 및 d_w 는 각각 堆積物 및 海水의 密度이다. Fig. 6은 密度와 孔隙率을 圖示한 것으로 이들간의 뚜렷한 線形的인 상관성은 Akal(1972)이 제시한 (3)式으로 표현됨을 볼 수 있다.

堆積物의 音響減衰係數는 최소 0.0565에서 최대 0.6604 dB/kHz-m의 범위에서 堆積物의 입자크를 수록 증가하다가 Hamilton(1972)이 제시한 대로 平均粒度 3.0~5.0 ϕ 범위에서 최대로 된 후

Table 1. Physical properties, sound velocities, attenuation coefficients and gas content of surface sediments.

	St #	WD (m)	MZ (φ)	p (%)	d (g/cm ³)	¹ V (m/sec)	² V _o (m/sec)	k (dB/KHz-m)	³ E _o (N/m ²)	n (ppm)
POHANG	01	21	6.82	62.4	1.56	1507	1525	0.2022	3.70	1.26
	02	24	7.17	60.6	1.60	1503	1525	0.2520	4.15	2.22
	03	24	2.52	44.3	1.84	1520	1540	0.5270	5.70	1.45
	04	27	-0.07	35.0	1.85	1616	1680	0.6604	7.00	4.05
	05	34	2.29	40.0	1.85	1512	1540	0.4529	6.80	2.43
PUSAN	01	25	8.82	73.0	1.42	1481	1505	0.1049	3.15	3.37
	02	24	8.89	70.0	1.43	1475	1505	0.1948	3.40	3.77
	03	20	8.74	71.0	1.46	1479	1505	0.1557	3.38	2.73
	04	20	7.03	69.4	1.53	1494	1525	0.1196	3.40	3.21
	05	20	7.02	70.0	1.46	1492	1525	0.1975	3.40	3.42
	06	19	8.00	68.0	1.52	1481	1525	0.2005	3.47	4.29
YEOSU	01	20	7.47	72.6	1.46	1477	1525	0.0796	3.30	4.94
	02	19	7.50	74.1	1.49	1470	1525	0.1406	3.20	5.88
	03	19	7.52	74.4	1.51	1476	1525	0.1237	3.20	5.21
	04	20	7.50	75.3	1.54	1472	1525	0.0565	3.20	5.96
	05	26	7.60	75.6	1.54	1472	1525	0.0826	3.15	7.87
KUNSAN	01	12	3.12	40.5	1.83	1515	1540	0.3659	6.30	0.82
	02	25	2.77	46.5	1.83	1515	1540	0.4683	5.30	2.04
	03	35	3.80	60.4	1.84	1524	1540	0.4562	4.00	2.40
	04	30	2.25	47.1	1.89	1520	1540	0.6509	5.20	1.99
	05	31	2.75	60.3	1.84	1521	1540	0.5265	5.30	1.91
	06	35	2.57	48.9	1.80	1518	1540	0.4825	5.00	2.66
	07	25	4.74	42.1	1.63	1496	1525	0.5866	6.00	2.12
	08	22	4.97	58.4	1.68	1501	1525	0.5667	6.70	1.38
	09	17	6.58	43.7	1.78	1476	1525	0.2049	5.60	2.66
	10	19	5.70	58.0	1.74	1481	1525	0.3476	4.20	3.55

WD: water depth, MZ: mean grain size, p: porosity, d: density, n: gas content E_o: bulk modulus × 10⁻⁹, V & V_o: sound velocity, k: attenuation coefficient

¹measured values

²estimated for non-gassy sediments from Hamilton (1972) and Shumway(1960)

³estimated from Hamilton (1971)

다시 감소하는 경향을 보인다(Fig. 7). Table 2에서 보듯이 이번 연구의 결과가 이전의 결과(金石, 1985)에 비해 堆積物 유형에 따라 분류한 減衰係數값의 범위에 더욱 일치함을 알 수 있다. 여기에서 퇴적물의 분류는 Folk (1968)을 따랐다.

孔隙率은 平均粒度(φ)와 거의 線形的인 상관성을 가지므로(Bachman, 1985) 孔隙率에 따른 減衰係數의 거동(Fig. 8)은 平均粒度에 대한 것(Fig. 7)과 유사하다.

堆積物の 密度는 1.42~1.89g/cm³의 범위로서 粒子가 클 수록 증가한다. 減衰係數는 密度에 따라 증가하지만 密度 1.6~1.7g/cm³ 범위에서 최

대가 된 후 다시 감소한다. 減衰係數 對 密度의 관계는 2次式 :

$$k \text{ (dB/kHz-m)} = -14.3 + 17.3 \cdot d - 5.04 \cdot d^2 \quad (4)$$

로 나타낼 수 있지만 減衰係數값의 편차가 심하므로 상관성은 좋지 않다(Fig. 9). 堆積物の 音速(v)은 최저 1470 m/sec에서 최고 1616 m/sec의 범위에서 密度와 마찬가지로 堆積物の 粒子가 클 수록 증가한다. 音速과 密度의 관계는 2次式 :

$$v \text{ (m/sec)} = 1730 - 378 \cdot d + 142 \cdot d^2 \quad (5)$$

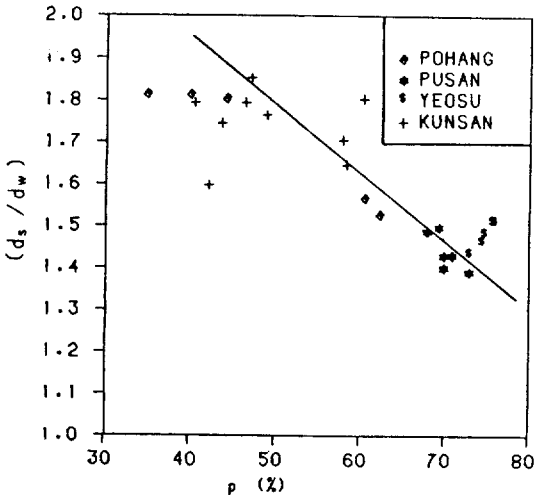


Fig. 6. Relationship between density ratio of sediment (d_s) to sea water (d_w) and porosity (P). The straight line is the regression from Akal (1972).

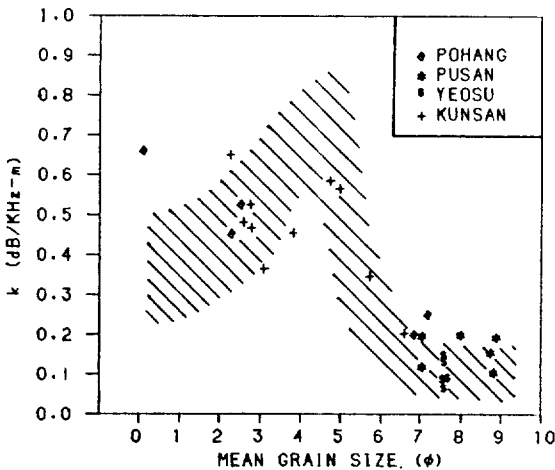


Fig. 7. k (dB/KHz-m) versus mean size (ϕ). The shaded area represents Hamilton (1972)'s measurement.

로 나타낼 때 양호한 상관성을 갖는다(Fig. 10).

減衰係數 對 音速의 분포는 Shumway(1960)가 측정된 값들과 일치하는데(Fig. 11) 音速에 따라 증가하다가 1550~1600 m/sec의 범위에서 최대가 된 후 다시 감소하는 경향을 보인다. 減衰係數가 최대인 音速 1550~1600 m/sec 범위에 해당하는 堆積相은 fine sand에서 coarse silty sand까지로서 이들의 剛性率(rigidity)이 다른 유형의 堆積物보다 큰 사실(Hamilton, 1972)과 잘 관련된

Table 2. Comparison of attenuation coefficients with Kim and Suk (1985) and Hamilton (1972) according to sediment type.

		k(dB/kHz-m)		
		A	B	C
Sand	coarse	0.66	0.52	0.23-0.51
	medium	—	—	0.25-0.60
	fine	0.52	0.81	0.29-0.71
	very fine	0.41	0.89	0.35-0.83
Silt	coarse	0.58	0.82	0.22-0.84
	medium	0.35	0.75	0.08-0.82
	fine	0.20	0.70	0.05-0.33
Clay	very fine	0.13	0.48	0.04-0.21
		0.16	0.31	0.02-0.17

A: this study

B: Kim and Suk (1985)

C: Hamilton (1972)

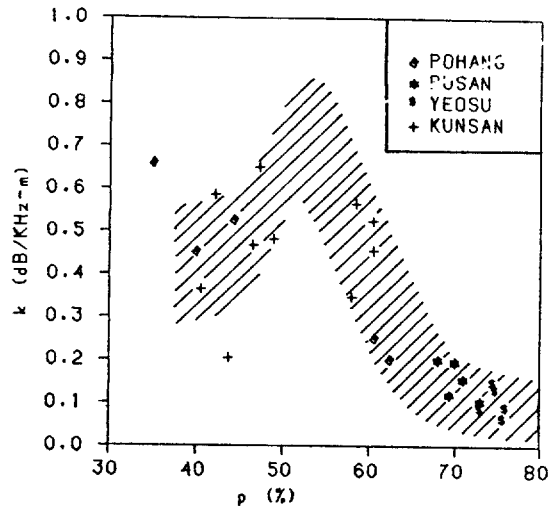


Fig. 8. k (dB/KHz-m) versus porosity(%). The shaded area represents Hamilton(1972)'s measurement.

다.

지금까지의 결과에서, 孔隙率이 감소할 수록, 密度가 증가할 수록, 그리고 粒子가 커짐에 따라 減衰係數의 변화양상은 대체로 일치하는데 이것은 이들 세가지 物性이 거의 線形的으로 높은 상관성을 가지기 때문이다. 音速 또한 密度에 거의 비례하므로 減衰係數와 音速의 관계도 이들 物性에 대한 것과 유사하다.

일반적으로 生物起源의 氣體 함량은 表層에서

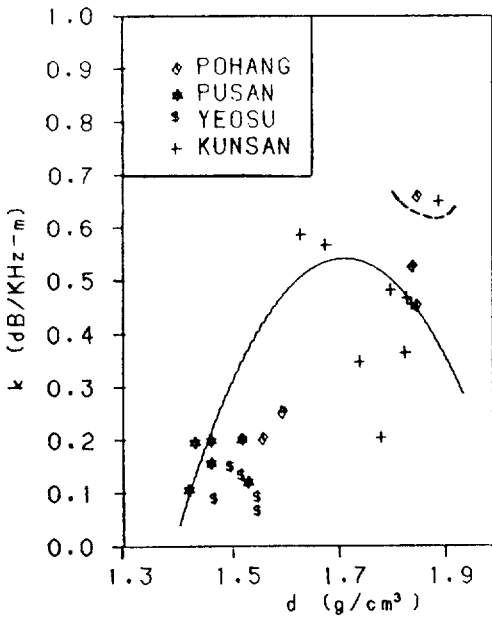


Fig. 9. k (dB/kHz-m) versus wet density(d , g/cm^3). The fitted curve is: $k = -14.3 + 17.3d - 5.04d^2$.

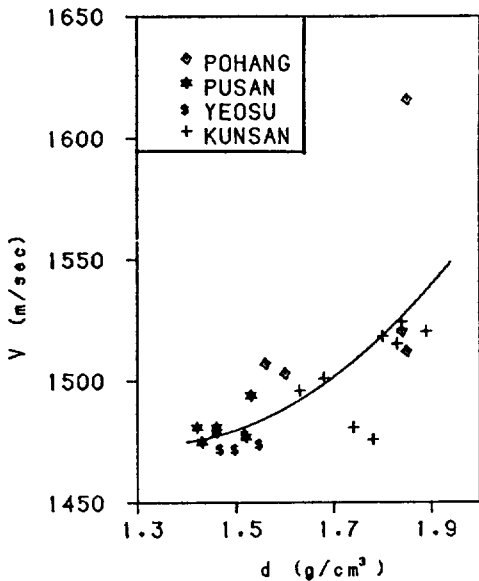


Fig. 10. Sound velocity (m/sec) versus density (d , g/cm^3). The fitted curve is: $v = 1730 - 378d + 142d^2$.

극히 작고 하부로 내려갈 수록 많아진다(Reeburgh and Heggie, 1977). 氣體가 많을 때는 氣體 자체가 傳播매질로서 작용하므로 音波減衰가 심하게 증가하지만 表層에서와 같이 극소량이 존재할

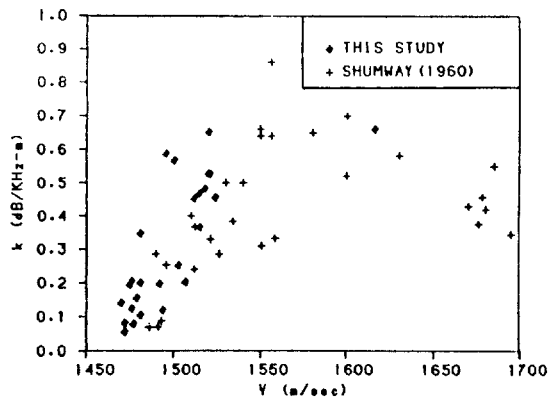


Fig. 11. Sound velocity (m/sec) versus k (dB/kHz-m). The relation is well correlated with Shumway (1960).

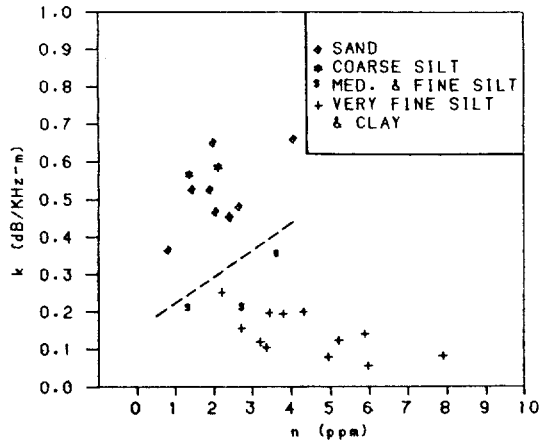


Fig. 12. Gas contents(n , ppm) versus k (dB/kHz-m).

때는 간접적으로 音波減衰에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

調査海域 堆積物の 氣體 含量(n)은 8 ppm 이하로서 극히 작지만 전체적으로 입자가 작을 수록 높게 나타난다(Table 1). 특히 麗水海域의 堆積物이 가장 높게 나타나는데 이 지역은 彈性波 調査결과 다량의 氣體를 함유하는 것으로 보고되어 있다(曹 等, 1984). 氣體 含量 對 減衰係數의 관계(Fig. 12)에서 흥미있는 점은 very fine silt 및 clay에서 氣體 含量이 10 ppm 정도까지 증가함에 따라 減衰係數가 감소한다는 사실이다. Sand의 경우는 減衰係數와 氣體 含量과의 상관성을 찾아 볼 수 없다. 입자가 큰 sand나 silt에서 減衰는

일차적으로 입자간 접촉면에서 발생하는 마찰손실에 의한 것으로 해석된다. 하지만 clay 나 silty clay 와 같은 세립매질에서의 減衰는 입자간의 물리화학적 응집력(cohesion)에 관련되며 입자의 크기가 작아짐에 따라 응집력, 剛性率, 그리고 減衰가 동시에 감소한다(Hamilton, 1972).

堆積物 내의 海水가 氣體를 포함할 때 粘性이 다소 감소한다는 것을 감안하면 sand 와 같이 입자간 물리적인 결합구조만으로 剛性率을 갖는 堆積物에 대해 氣體 함량이 減衰에 영향을 미치지 않는 것은 sand 에서도 粘性손실이 상당할 수 있다는 Hovem(1980)의 理論보다 마찰손실이 절대적이라는 Hamilton(1972)의 論議를 뒷받침해 준다. 하지만 입자들간의 물리화학적 혹은 전기화학적 힘에 의해 결합되는 very fine silt 나 clay 의 경우, 透水性이 낮아서 孔隙를 통한 海水의 움직임은 없을 것이므로 氣體 함량이 높을수록 減衰係數가 감소하는 것은 氣體의 존재에 의한 결합력 및 剛性率의 감소 때문으로 해석되며 氣體 함량도 減衰에 상당한 영향을 미친다고 볼 수 있다.

Fig. 12에서, 마찰손실과 응집력의 두 가지 減衰작용의 경계부는 medium 및 fine silt 임을 알 수 있다. 堆積物 중 very fine sand 가 최대인 剛性率을 갖지만(Hamilton, 1971; 1972) 減衰는 coarse silt 에서 최대인 점을 감안하면 very fine sand 보다 입자가 큰 堆積物에서는 마찰손실이 절대적이며, coarse silt 에서는 마찰손실 뿐만 아니라 coarse silt 입자 사이에 존재하는 더 작은 입자들간의 결합력도 減衰에 기여함을 예측할 수 있다. 堆積物의 입자가 이보다 더 작아짐에 따라 마찰손실은 줄어들면서 입자들간의 결합력이 주된 減衰원인으로 작용하기 시작한다고 보아야 할 것이다.

4. 結 論

본 연구에서는 韓半島 주변 浦項, 釜山, 麗水, 그리고 群山の 4개 沿近海域의 表層堆積物에 대해 현장에서 얻은 音響資料로부터 音速, 音波減衰係數, 그리고 氣體함량을 구하여 堆積物 物性과의 상관성을 분석하였다.

전체 26개 지점 중 23개 지점의 音響資料는 이

전의 연구(金·石, 1985)에서 減衰係數를 계산할 때 사용된 바 있으나 여기에서는 이들을 재처리하여 직접 dB/kHz-m 단위의 정확한 減衰係數를 구하였다. 본 연구에서 구한 減衰係數는 기존의 결과에 대비할 때 堆積物의 物性에 대해 매우 타당한 값을 갖는다.

表層堆積物의 物性, 音速, 減衰係數, 그리고 氣體 함량의 분석에 의한 이 연구의 結論은 다음과 같다.

1. 音速 및 音波減衰係數의 분포범위는 각각 1470~1616 m/sec 및 0.0565~0.6604 dB/kHz-m로서 堆積物의 유형에 밀접하게 관련된다.
2. 音波減衰係數는 堆積物의 密度, 粒度 및 音速이 커질 수록, 孔隙率이 작아질 수록 증가하다가 전체적으로 coarse silt 가 갖는 物性 범위에서 최대가 된 후 감소하는 일치된 거동을 보인다.
3. 氣體 함량은 대부분 1~8 ppm 으로서 堆積物의 입자가 작을 수록 높아진다.
4. Clay 와 very fine silt 에서 氣體 함량의 증가는 堆積物의 결합력을 약화시켜 音波減衰를 감소시킨다.
5. 입자의 크기가 fine sand 이상인 堆積物에서는 마찰손실이 音波減衰의 절대적인 요인으로 작용하나, 粘性손실은 무시할 수 있으며 堆積物의 物性변화에 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.
6. Coarse silt 에서 音波減衰가 최대인 것은 마찰손실 뿐만 아니라 silt 입자 사이에 존재하는 더 작은 입자간의 결합력이 동시에 작용하기 때문이며 fine 및 medium silt 를 경계로 입자간의 결합력이 주된 減衰요인으로 작용하기 시작한다.

謝 辭

퇴적물 내 기체 함량에 대해 조언을 주신 해양연구소 화학연구실의 홍기훈 박사께 謝意를 드린다. 도면제작(Fig. 1)을 해주신 동연구소 지구물리연구실의 주용서, 그리고 원고정리를 도와준 동연구실의 김창렬, 주형태, 홍종국 연구원께도 감사드린다. 아울러 현장측정장비의 제작에 도움주신 동연구소 기기실의 박건태 선임기술원께도 감사드린다.

참고문헌

- 金聖烈, 石奉出, 1985. 韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 音波傳達速度와 減衰係數. *한국해양학회지*, 20: 10-21.
- 金漢俊, 曹哲鉉, 崔東林, 安忠鉉, 1985. 3.5kHz 音響斷面 探查資料의 處理에 관한 研究. *海洋研究*, 10: 29-33.
- 曹圭張 外, 1984. 海洋物理探查研究 (麗水, 白島一帶海域). 沿近海底地質研究, 한국동력자원연구소, p. 146
- Akal, T., 1972. The relationship between the physical properties of underwater sediments that affect bottom reflection. *Marin Geology*, 13: 251-266.
- Bachman, R.T., 1985. Acoustic and physical property relationships in marine sediment. *J. Acoust. Soc. Am.*, 78: 616-621.
- Edrington, T.S. and T.M. Calloway, 1984. Sound speed and attenuation measurements in gassy sediments in the Gulf of Mexico. *Geophysics*, 49: 297-299.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rock. Hemphill's, The Univ. Texas, U.S.A. p. 170.
- Hamilton, E.L., 1971. Elastic properties of marine sediments. *J. Geophys. Res.*, 76: 579-604.
- Hamilton, E.L., 1972. Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, 37: 620-646.
- Hamilton, E.L., G. Shumway, H.W. Menard, and C.J. Shippek, 1956. Acoustic and other physical properties of shallow-water sediments off San Diego. *J. Acoust. Soc. Am.*, 28: 1-15.
- Hovem, J.M., 1980. Attenuation of sound in marine sediments. In: "Bottom-interacting ocean acoustics", Jensen ed., Plenum Press, New York, 1-14.
- Pilant, W.L., 1979. Elastic waves in the earth. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, p. 493.
- Reeburgh, W.S. and D.T. Heggie, 1977. Microbial methane consumption reactions and their effect on methane distributions in fresh water and marine environments. *Limnology and Oceanography*, 22: 1-9.
- Shumway, G., 1970. Sound speed and absorption studies of marine sediments by a resonance method, Part I. *Geophysics*, 25: 451-467.
- 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.

Received February 9, 1990

Accepted March 13, 1990