

Reverberation 측정에 의한 해저에서의 음파 산란강도 Reverberation-derived Bottom Backscattering Strength in the Shallow Sea

*안 상 환 (Ahn, Sang Hwan)

(요 약)

음속 기울기가 부(-)의 약한상태와 강한상태에 있는 천해의 두 해역에서 단일주파수의 지향성음원과 광대역 충격음원 두 종류에 의하여 측정을 하였다.

음파가 처음 해저에 부딪치는 가까운 거리에서의 Reverberation은 ray tracing에 의하여 입사각에 따라 power spectrum analyzer에 의하여 분석되었으며 원거리의 경우 이론모델로 계산된 값과 비교되었다. 이때의 산란은 지향성(sine squared dependence)에 산란상수 -24dB 였다.

또한, 산란강도는 주파수의 증가에 따라 완만한 증가($3\text{dB}/\text{Oct.}$)를 나타내었다.

(Abstract)

Measurement was carried out at two locations in shallow sea in a weak and a strong negative sound-velocity gradient using two sources of explosive charges and a directional transducer, respectively.

Bottom reverberation level at short ranges, which originate from the first bottom impingement of the sound wave, was analyzed by the power spectrum analyzer versus grazing angle with the aid of ray tracing.

For long range, theoretical bottom reverberation level computed for a sine squared dependence for a value of $10 \log u = -24\text{dB}$ fit the data.

The result for the bottom back scattering strength also scattering strength also show a moderate increase with frequency according to the about 1.0 power ($3\text{dB}/\text{Oct.}$).

1. 서 론

수중에서 능동소나를 운용할때 반드시 규명되어야 하는것이 Reverberation이다. 이는 음파가 음원을 떠난 이후 시간에 따라 계속 감소하면서 수신기에 되돌아오는 것으로 실제 필요한 신호인 표적반사음을 묻어버리게 된다.

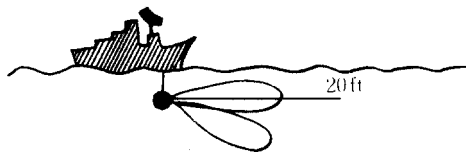
이것은 음파가 수중을 진행할때 매질 자체와 수중생물체, 또는 수면및 해저에 부딪칠때 후방 산란에 의한 것으로 이의 크기는 운용소나와 수중환경 그리고 해역특성에 의하여 결정된다.

Reverberation은 매질의 체적 자체와 경계면에 의한 것으로 나눌 수 있고 경계면에 의한 것은 다시 수면과 해저에 의한 것으로 나눌 수 있

는데 본 논문은 bottom reverberation에 대한 것이다.

해저에서의 rev. 에 관한 연구는 2 차대전 중에 시작되어 그동안 Urick²⁾, Mackenzie³⁾, McKinney and Anderson⁴⁾, 등의 많은 사람들에 의하여 연구되어 왔고 산란에 대한 정상적인 이해는 충분히 정리가 되었지만 사용주파수, 지질, 입사각, 등의 변수변화에 따른 정량적, 실험적인 연구가 계속 뒤따르고 있다.

Reverberation을 측정함으로써 후방 산란강도를 산출하는데는 거리에 따른 전달손실이 측정되어야 하지만 본 논문에서는 음파가 해저에 처음 부딪치는 가까운 거리의 전달손실에는 구형확산을 적용하였고 원거리에서는 ray theory에 의하여 computing하였는데 이 경우 randomphase를 가정하여 incoherent summation을 하였다.



Station I (B. D. 100m)

Fig. 1 Experiment Geometry

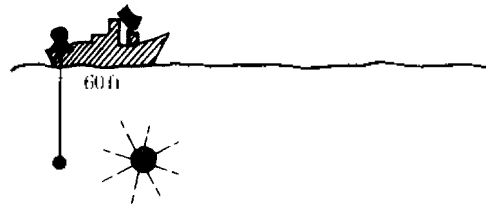
mic level recorder (B&K 2307)로 분석시 정확히 수신신호의 진폭에 감응할 수 있으나 충격음원의 경우 pen의 writing speed가 수신 신호에 감응할 수 없으므로 storage oscilloscope의 time scale을 20msec~2sec/div. 까지 변화시키면서 scope camera와 polaroid film으로 촬영하였다. (Fig. 3)

Bottom Backscattering strength를 구하기 위하여 지향성 음원의 경우 음파가 처음 해저에 부딪칠때의 신호를, 충격음원의 경우에는 1초후의 신호를 각각 Tape signal gate를 사용하여 Fig. 2

2. 측정 및 분석

측정도 Fig. 1에서 보는바와 같이 시험해역 I에서는 정지한 측정선에서 지향성 음원 (5KHz, 30msec CW, 120msec CW, normalized $\theta = 0.4$, $\Phi = 0.13$)을 수평경사각 0° 와 20° 로 송신하고 동일 음압기로써 수신하였다. 수신대역폭 500Hz로 수신된 신호는 17.95KHz로 변조되어 중심주파수 16KHz의 1 Oct. Band-Pass filter를 통한 다음 녹음기 (B&K 7004)에 audio mode, 15ips로 녹음하였다. 해역 II에서는 충격음원 (explosive charge)을 수심 60ft에서 터뜨리고 동일함상에서 수신기 (Hydrophone B&K 8100)로 수신함으로써 해역 I의 경우와 같이 monostatic의 경우로 측정하였다.

지향성 음원의 경우 CW 신호이므로 logarithm-



Station II (B. D. 130m)

와 같이 $t = 0$ 에서 delay t , gate 30msec, 120 msec (CW), 10msec (충격음원)로 각각 신호를 추출한 다음 이 신호를 power spectrum analyzer (B&K 2131)로 분석 하였는데 추출신호가 충분히 들어가게 averaging time (T)을 크게 잡은 후 분석하고 $10 \log T$ 를 보정하였으며 이때 전달손실에는 short range로써 구형확산을 적용하였다. Long range에 대한 reverberation level의 decay curve는 CW의 경우에는 logarithmic level recorder에 나타난 신호 (Fig. 4)를 직접 이용하였고 scope film은 다시 logarithmic scale로 환

산하였다.

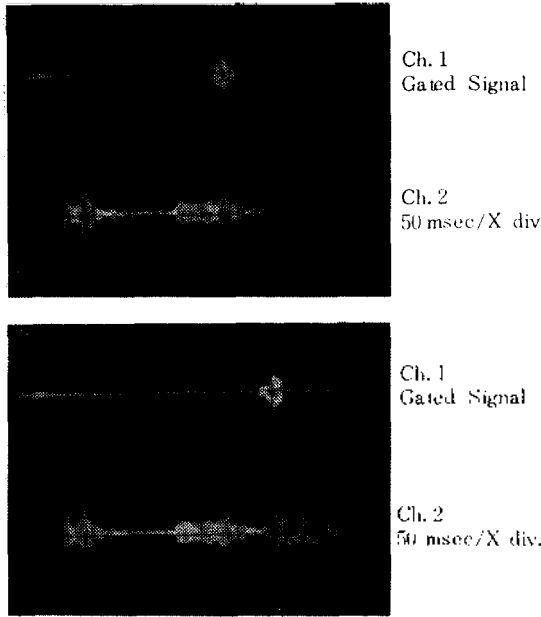


Fig. 2 Reverberation Level at short ranges which show surface, volume, bottom backscattering, and gated signal

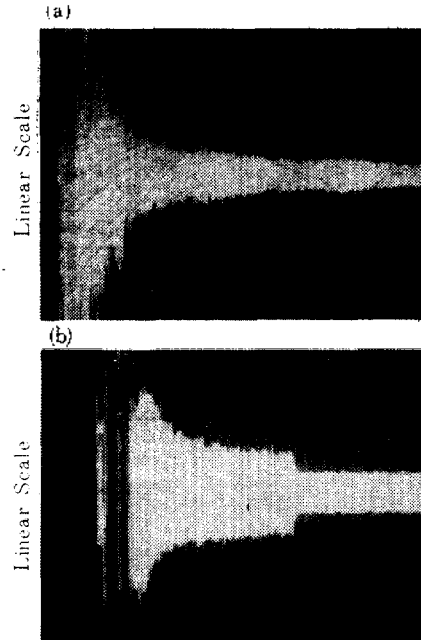


Fig. 3 Oscillogram of Reverberation Level
 a) Measured with 5 KHz directional transducer (1.0 sec. /X div.)
 b) Measured with explosive charge and filtered to 1 Oct. band centered at 250 Hz (0.5 sec. /X div.)

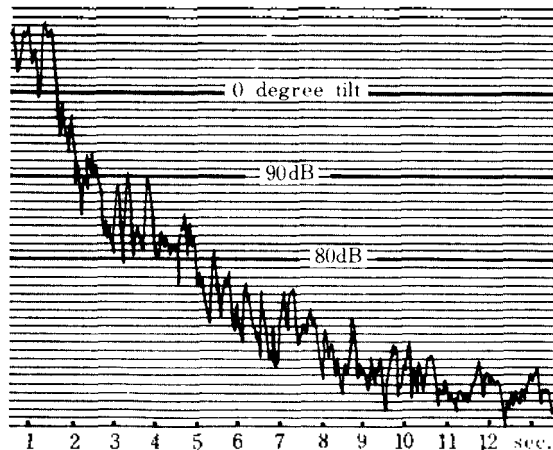


Fig. 4 Reverberation level measured with 5 KHz directional transducer and analyzed by logarithmic level recorder.

Fig. 5는 해역 I에서 측정 한 온도수직분포에 의하여 나타난 ray tracing으로써 0° ray와 -20° ray는 수평송신과 20° 경사송신 각각의 경우에 대한 center ray로써 이때 해저입사각은 8.5°와

22.5°이다. 산출된 scattering strength는 Fig. 6과 같다. 충격음원의 경우 분석된 reverberation level을 Fig. 7에 나타내었으며 그림8은 grazing angle 15°에 대한 주파수별 산란강도이다.

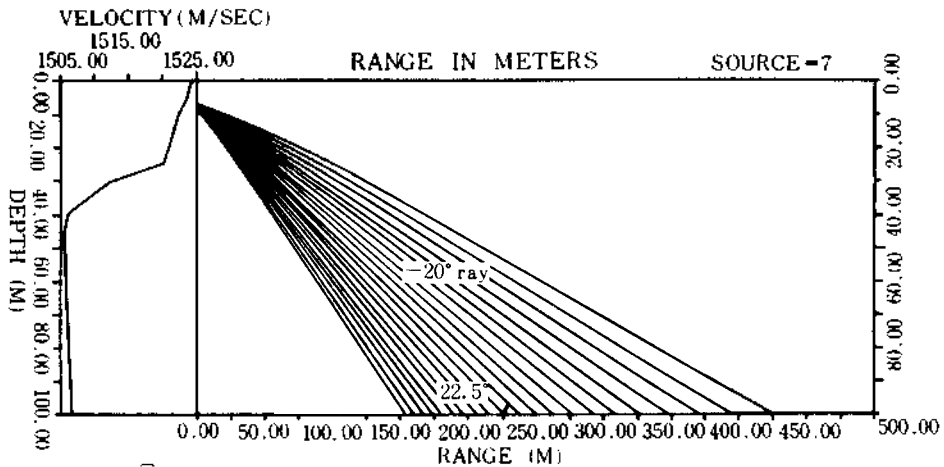
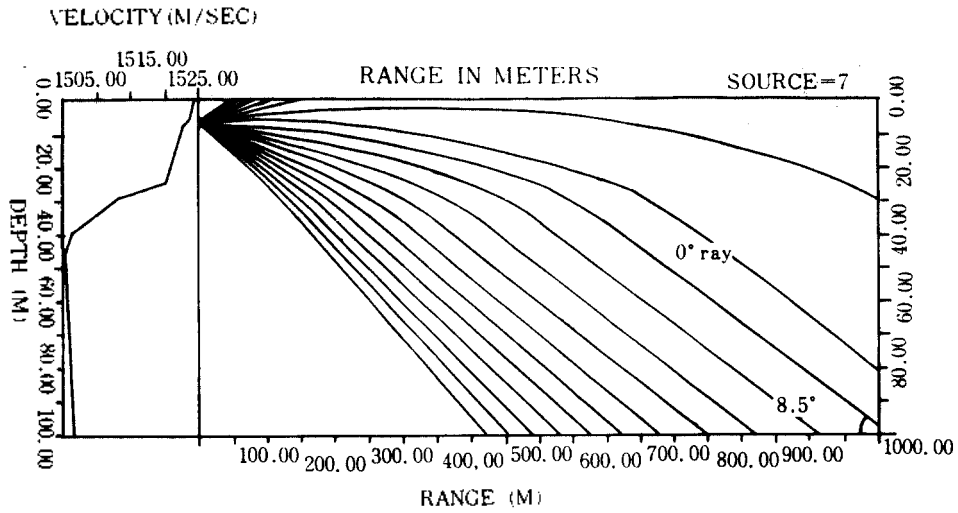


Fig. 5 수경송선과 20° 경사송선에 대한 ray tracing

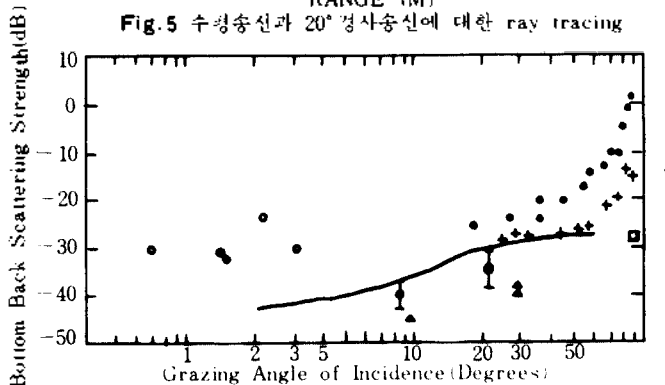


Fig. 6 Bottom backscattering strength vs. grazing angle of incidence for medium sand bottom:
●, Urick (55, 60 KHz); □, Mackenzie (530, 10 (530, 1030 KHz); -, Urick; △, UCDWER (10, 20, 24 KHz); ○, McKinney and Anderson; ⊙, How-Kin Wong and W. D. Chesterman; ⊕, Present Data

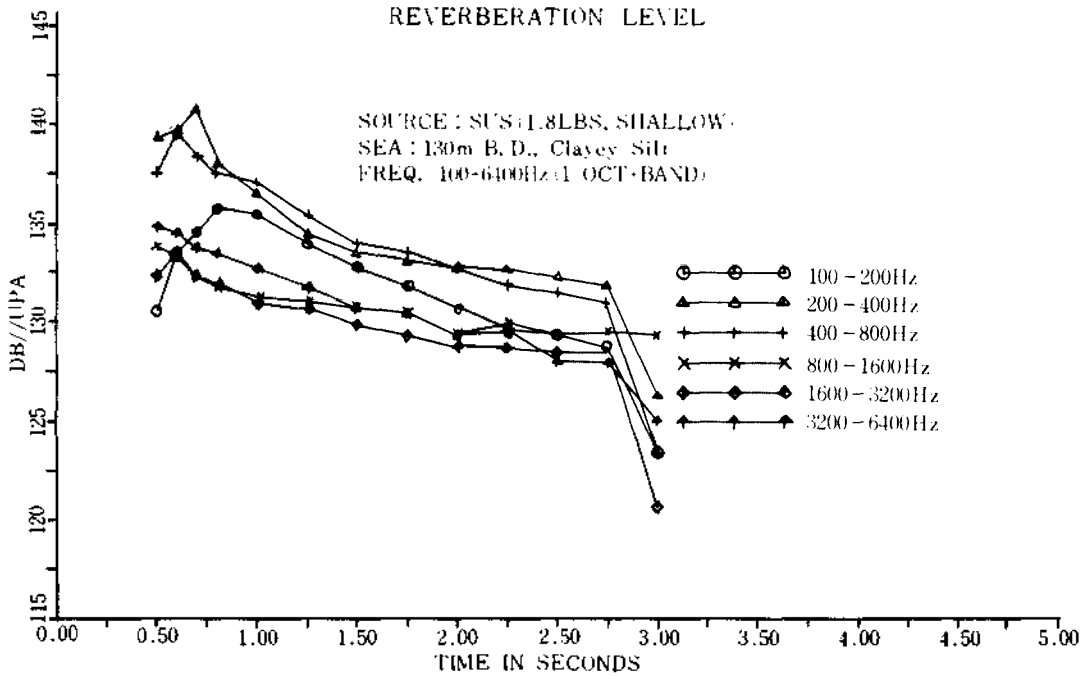


Fig.7 Analyzed reverberation level measured with SUS and filtered to 1 Oct. band.

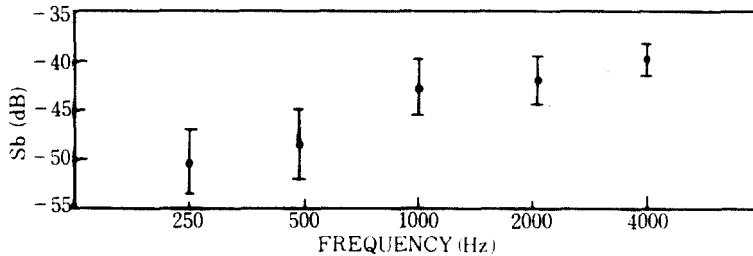


Fig.8 Bottom backscattering strength vs. grazing angle of 15deg. for clayey silt bottoms.

3. 이론 모델^{8,9)}

능동소나 방정식에서 Reverberation level(RL)을 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$RL = I_s - 2TL + S_b + 10 \log A \dots\dots\dots (1)$$

I_s : 음원에서 1yd 떨어진 곳에서의 음파강도

2TL : 왕복 전달손실

S_b : 해저에서의 후방산란강도
($10 \log I_s / I_r$)

A : 해저에서의 산란면적

(1) 식의 각항을 소나의 특성과 수중환경 특성이 포함되게 분해하고 다시 이것을 음속분포가 등속도인 경우와 기울기를 가지는 경우로 나누면 즉, 등속분포일 경우

$$RL = I_s - 40 \log R - 2A' - 2aR/1000 + S_b + 10 \log (\phi RC \tau^2 \cdot \sec \theta) + 20 \log b(\theta) \dots\dots\dots (2)$$

a : 해수에서의 흡수계수 ($3.3 \times 10^{-3} f^2$)
dB/kyd

τ : 펄스길이

ϕ : 수평 빔폭 (Radian)

θ : 해저입사각

R : 음파전달경로상의 거리
 C : 수중에서의 음파 전달속도
 A' : Non-absorptive transmission anomaly

b(θ) : 수직송신 beam pattern

음속분포가 기울기를 가질경우,

$$RL = I_0 - 20 \log R - 20 \log |(\partial \ell / \partial \theta) \sin \theta| - 2aR/1000 + S_0 + 10 \log (\Phi C \cdot \tau / 2 \cdot R \sec \theta) + 20 \log b(\theta) \dots \dots \dots (4)$$

여기서 20log |(∂ℓ/∂θ) sin θ| 항은 음파의 굴절에 의한 확산손실을 나타내며 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$10 \log R + 10 \log |(\partial \ell / \partial \theta) \sin \theta| = 20 \log R + A' \dots \dots \dots (4)$$

$$A' = 10 \log (D/R) - 10 \log \sum_{j=0}^N \cos \theta_{m,j} \cdot \Delta \theta_{m,j} \cdot K_{m,j} \cdot r_{m,j} \dots \dots \dots (5)$$

cos θ · Δθ : weighting factor

K : 음원과 영상음원과의 쌍에 의한 지향특성 또는 해저산란시의 산란지향특성

r : Rayleigh-Morse의 해저반사계수^{9, 10}

m+j : Ray mode와 해저반사회수를 나타내는 고유번호

위에서 해저산란시의 산란지향특성을 주는 K에 대하여 Urlick, Saling, Mackenzie 등에 의하여 제시된 관계식은 다음과 같다.

$$S_0 = S_0 + 10 \log \sin^k \theta \dots \dots \dots (6)$$

K = 0 : 해저산란강도가 입사각에 무관

K = 1 : 무지향성 산란

K = 2 : 지향성 산란으로 Lambert의 난반사 법칙에 해당

앞의 식(5)를 Computing 할때 필요한 해저저질자료를 표 1¹¹에 나타내었는데 표 중의 α/β는 해저에서의 compressional wave attenuation을 나타내는 것으로 저질에서의 wave number(k)를 복소수로 둘때, 즉 K = β + iα로 정의되는 값이다.

시험해역 II의 경우 long range ray tracing (Fig. 9)에서 보는바와 같이 거의가 bottem rev.으로 볼 수 있으며 surface rev.은 chapman-Harris, Marsh-Schulkin-Kneal의 실험식¹²에 의하여 계산하면 산란강도가 -65dB 이하의 무시할 수 있는 작은 값을 나타낸다.

Table 1. Values of α/β for two station-sediments¹¹

STATION	BOTTOM DEPTH	SEDIMENT	α/β at 5KHz (α ∝ f ^{1/2})	α/β at all freq. (α ∝ f ¹)
I	130m	Clayey silt c ₂ /c ₁ = 0.9919 ρ ₂ /ρ ₁ = 1.5617	0.0104	0.0043
II	100m	Medium sand c ₂ /c ₁ = 1.1658 ρ ₂ /ρ ₁ = 1.9522	0.0386	0.0158

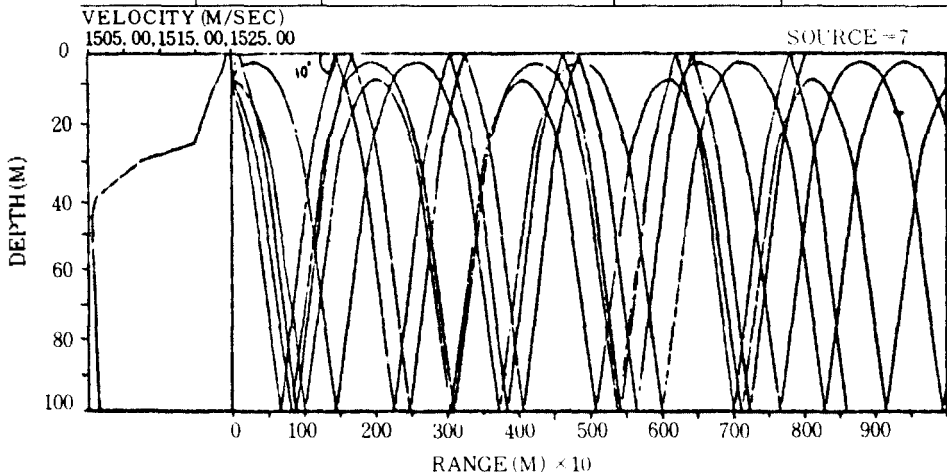


Fig. 9 Long range ray tracing at station II

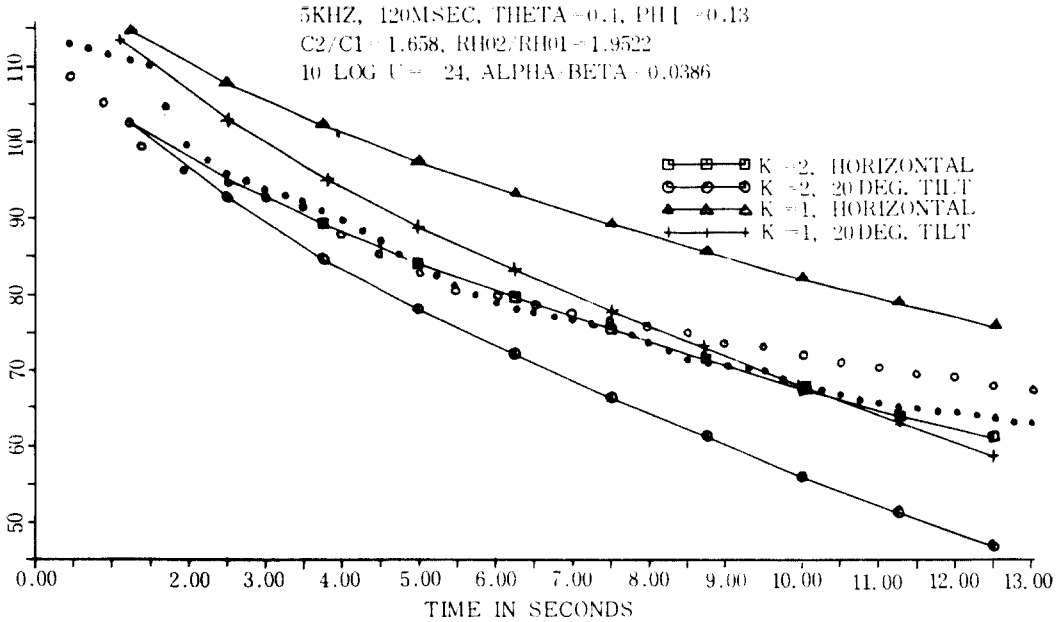


Fig. 10 Superposition of the theoretical and experimental time decay of the reverberation level

Fig. 10은 시험해역 II에서의 지향성 음원에 의한 측정 rev. level에 앞의 식 (3)(4)(5)(6)에 의하여 computing된 이론곡선을 중첩시킨 것으로 수평송신의 경우 $K=2$, $10\log \mu = -24\text{dB}$ 로 들 때 실측치와 잘 일치하고 있으며 20° 경사송신의 경우 많은 차이를 나타내는 것은 해저에 입사하는 각이 커서 수면에서 큰 입사각을 가지게 되어 앞의 식(5)에서 ray mode $m+j$ 와 이의 limiting range 사이의 큰 오차에 의한 것으로 생각된다.

4. 고찰 및 결론

음파가 해저에 첫번째로 부딪쳐서 산란된 신호를 분석한 결과 산란형태는 지향성의 Lambert의 경우에 따랐으며 이때 이론식에 의하여 계산된 rev. decay curve는 수평송신의 경우에 잘 일치하였고 이때 산란 상수는 -24dB 였다.

주파수에 따른 해저산란강도는 $100\text{Hz}\sim 6400\text{Hz}$ 의 주파수 범위에 있어, 근사치 $3\text{dB}/\text{Oct}$. 즉 주파수의 1승에 비례하는 것으로 나타났다.

그리고 또한 연구되어야 할 것은 저질 입자의 크기와 해저의 기복이 산란강도에 주는 영향이다. 이들 두 요소가 서로 독립적인지 아니면 상관도를 가지는지 즉, 해류가 충분히 강하여 해저에 물결모양의 기복을 형성할 수 있다면 또한 그 에너지는 거친 입자를 남겨두고 미세한 입자를 쓸어갈 수 있기 때문이다. Fig. 4와 같이 decay 중에 변화하는 신호형태는 저질의 거칠음도(roughness)와 기복(relief)을 나타낸다고 할수 있다.

참 고 문 헌

1. R. J. Urick, Principles of Underwater sound for Engineers, Ch. 5, 6, 8, Mc Graw-Hill(1975).
2. R. J. Urick, Reverberation-Derived Scattering Strength of the Shallow Sea, Bed, J. Acoust. Soc. Am. (JASA)48, 392(1970)
3. K. V. Mackenzie, Long-Range Shallow-Water Bottom Reverberation, JASA 34, 62(1962)

1. C. M. McKinney and Anderson, Measurement of Backscattering of Sound from the Ocean Bottom, *JASA* 36, 158 (1964)
5. How-Kin-Wong and W. D. Chesterman, Bottom Backscattering near Grazing Incidence in Shallow Water, *JASA* 44, 1713 (1968)
6. H. M. Merklinger, Bottom Reverberation Measured with Explosive Charges Fired Deep in the Ocean, *JASA* 44, 508 (1968)
7. S. Blanc, J. C. Novarini and A. L. Nunez, Bottom Reverberation-derived scattering strengths in shallow water off the Argentinian Coast, *JASA* 63, 1342 (1978)
8. K. V. Mackenzie, Bottom Reverberation for 530 and 1030-CPS Sound in Deep Water, *JASA* 33, 1498 (1961)
9. K. V. Mackenzie, Long-Range Shallow-Water Transmission, *JASA* 33, 1505 (1961)
10. C. S. Clay and H. Medwin, *Acoustical Oceanography*, Ch. 8, John Wiley & Sons (1977)
11. E. L. Hamilton et al., Acoustic and Other Physical Properties of Shallow-Water Sediments off San Diego, *JASA* 28, 1 (1956)