

특정 주파수 모의신호 발생을 통한 수중음파의 전달손실 측정

나영남, 장덕홍, 김성일, 한정우  
(국방과학연구소)

요 약

수심 100m 이하 천해에서 저주파 대역 음파의 전달손실 양상을 규명하기 위해 한국 동해 남부해역 3개 정점에서 특정 주파수 모의신호 발생을 통한 전달손실을 측정하였다. 10개의 특정 주파수에 대해서 연속파(Continuous Wave)를 발생시킬 수 있는 저주파 음원기를 5 kts의 속도로 예인하고, 3개 정점에 고정 설치된 DIFAR 센서를 통하여 이 신호를 수신한 후, 다시 육상으로 무선전송하여 각 센서에서의 수신준위를 정확하게 보정하였다. 음원으로부터 DIFAR 센서까지의 전달손실은 거리에 대한 Log 함수로 표시할 수 있었으며, 주파수별 전달손실을 비교, 분석한 결과 동해 남부해역에서의 최적 주파수는 800Hz 내외에서 존재하는 것으로 추정된다.

I 서론

천해에서 음파가 전달될 때 주파수에 따라서 손실되는 양이 다르고, 따라서 최소의 전달손실을 갖는 소위 "최적 주파수(Optimum Frequency)"가 존재한다[1-4]. 이 최적 주파수는 여러 실험 결과와 수학적 모델을 통해서 주어진 해역의 해양/음향학적 환경 변수(수심, 음속구조, Shear Wave Coupling Loss, 퇴적물의 유형, 퇴적물의 음속변화등)와 관련되어 있는 것으로 알려져 있다. 그러므로 최적 주파수는 특정 해역에서의 해양/음향학적 특성에 따라서 다를 수 밖에 없다.

Fig.1은 천해에서 음파의 전달손실을 좌우하는 주요 인자들을 요약하여 표시하고 있다. 고주파 대역에서의 전달손실은 주로 수중에서의

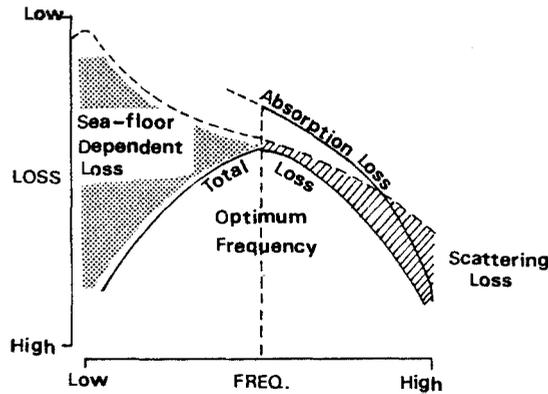


Fig.1. Diagrammatic summary of the major factors that control propagation loss in shallow water[after Akai,5]

체적 감쇄(Volume Attenuation)와 표층, 해저면에서의 산란(Scattering)에 의해서 일어남을 알 수 있다. 주파수가 감소함에 따라 두가지 기작(Mechanism)에 의한 영향은 점차 감소하게 되고 퇴적층에서의 감쇄가 가장 큰 요인으로 된다. 그리하여 Fig.1에서와 같이 고주파와 저주파의 사이에 최소의 전달손실을 보이는 최적 주파수가 존재한다.

본 실험에서는 한국 동해 남부해역에서 최적 주파수를 규명하기 위해 10개의 주파수에 대해 각각 다른 음원준위 신호를 발생할 수 있는 음원기(HX-29)를 이용하여 전달손실을 측정하였다.

## II 실험 방법 및 자료 분석

### 2.1 실험 방법

Fig.2는 수중음파의 전달손실 측정을 위한 개략적인 모식도이다. 수상함이 5 kts의 속도로 음원기를 예인할 때 해저에 설치된 DIFAR 센서가 음원기로부터의 신호를 수신한 후 해상의 안테나를 통해 육상에 무선전

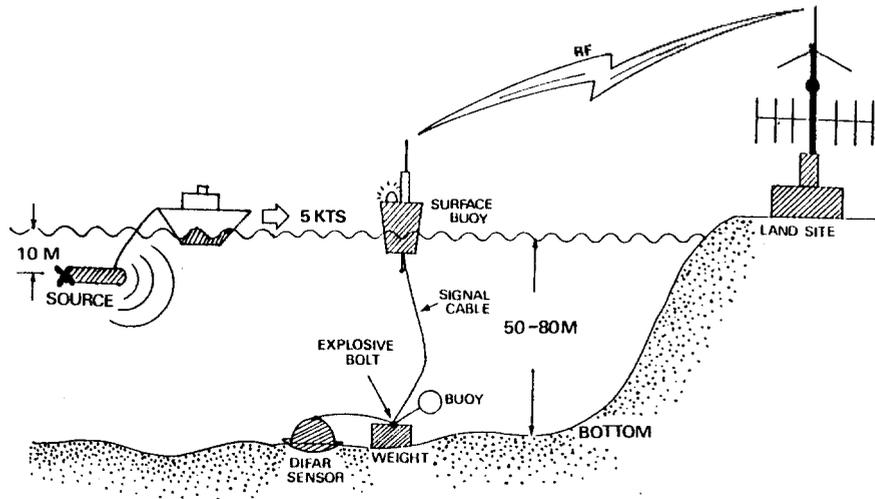


Fig.2. Schematic diagram of the measurement of propagation loss using low-frequency source maker.

송하게 된다. 육상에서는 수신된 음향신호를 녹음하고 분석하여 음원과 수신기(Receiver) 사이의 전달손실을 최종적으로 계산하게 된다. 수신기인 DIFAR 센서 ①, ②, ③은 각각 수심 55m, 40m, 75m에 설치하였다.

한편, 저주파 음원기에서 발생하는 음원의 각 주파수별 음원준위는 Table 1과 같다. 또한 음원기로부터 3m 거리에 Hydrophone을 설치하여 정확한 음원준위의 유지 여부를 점검하였다.

Table 1. Source levels of each frequency.

Freq.(Hz)	Source Level (dB re 1 $\mu$ Pa/m)	Freq.(Hz)	Source Level (dB re 1 $\mu$ Pa/m)
100	166.74	320	162.11
130	169.45	405	157.49
165	168.54	505	153.06
205	159.54	635	156.23
255	157.76	805	144.06

## 2.2 자료 분석

Fig.3과 같이 DIFAR 시스템을 통해 수신된 음향신호는 육상의 수신기 (AN/ARR-75)를 통해 녹음기(TEAC-5000)에 녹음된 다음, 스펙트럼 분석기 (HP-3562A)로부터 Hydrophone 음압준위(Sound Pressure Level) SPL이 구해진다.

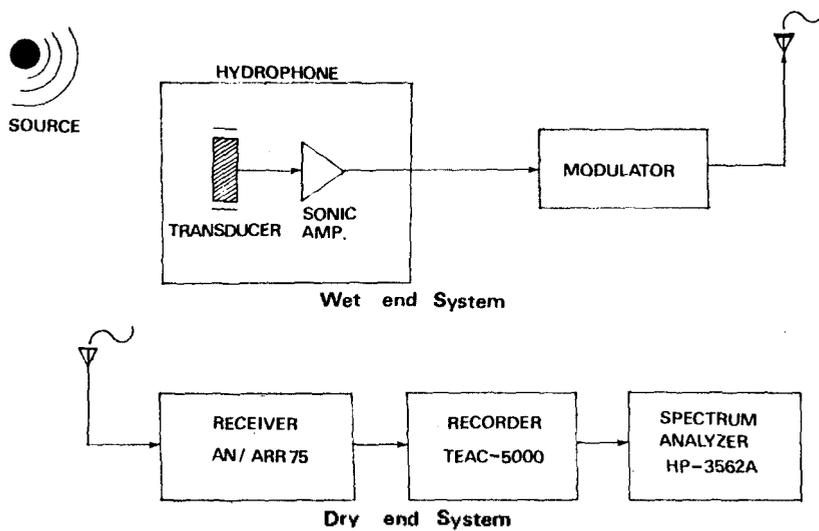


Fig.3. Block diagram of the measured acoustic signal flow.

한편, 음원과 Hydrophone 사이의 전달손실(Propagation Loss) PL은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$PL = 10\log(I_s/I_r) = SL - SPL \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

여기에서  $I_s$  = 기준거리에서의 음원의 음향강도,

$I_r$  = Hydrophone에서의 음향강도,

SL = 음원준위,

SPL = Hydrophone에서의 음압준위이다.

식 (1)에서 PL을 계산하기 위해서는 음원준위 SL과 Hydrophone에서의 음압준위 SPL을 알아야 하는데, SL은 Table 1에서와 같이 주파수별로 시간에 따라 일정하므로 결국 DIFAR 센서로부터의 음향신호를 분석하여 SPL 값을 알면 PL을 계산할 수 있다.

스펙트럼 분석기에서 측정된 전압준위로부터 SPL을 구하면,

$$SPL = 20\text{Log}(V_s) - H \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

여기에서  $V_s$  = 스펙트럼 측정치 (Volts),

$H$  = 측정 시스템의 감도응답(Sensitivity Response)이다. 측정 시스템의 주파수별 감도는 Fig.4에 나타난 곡선을 이용하여 구하였는데, 기준점은  $-137 \text{ dB re } 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$  (at 100 Hz)이다.

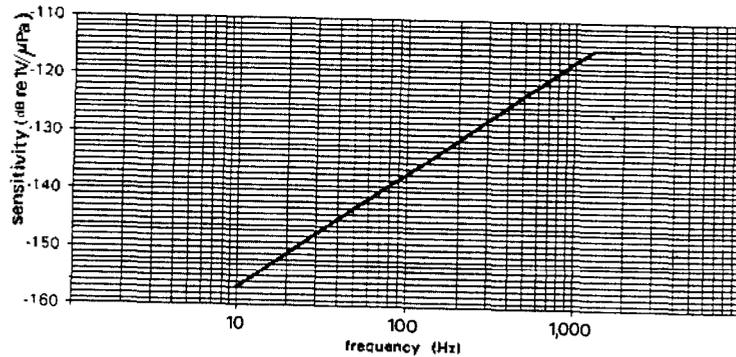


Fig.4. Receiving sensitivity response vs frequency.

### III 결과 및 토의

Fig.5는 DIFAR 센서 ① 정점에서 수신된 음향신호를 분석하여 구한 시간별 전달손실중 505 Hz인 경우를 나타내고 있다. 매 1분 간격으로 GPS를 통해 음원의 위치를 파악하였으며 이 자료를 바탕으로 음원과 수

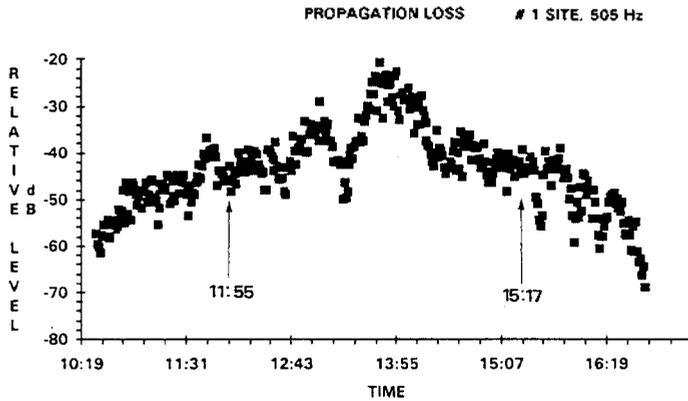


Fig.5. Relative propagation loss vs time for the frequency of 505 Hz at site ①.

신기 사이의 거리를 계산하였다. 그림에서 전달손실은 편의상 상대적인 양으로 나타내었다.

그림에서 볼 수 있듯이 1991.9.2, 11:55까지는 계속해서 음원이 수신기로부터 멀어져 가는 경우이고 16:17부터는 계속해서 가까워지는 경우이다. 음원의 예인속도가 거의 일정하고 또한 예인 경로가 거의 직선에 가까운 10:30 - 11:55의 경우를 살펴보면 시간에 따라 거의 Log 함수에 가깝게 전달손실이 증가하고 있음을 볼 수 있다. 15:17 - 16:46 구간은 음원이 수신기에 가까워지는 경우인데, 이 경우도 역시 Log 함수에 가까움을 알 수 있다.

Fig.6은 각각 ①, ③ 정점의 DIFAR 센서로부터 얻은 음향신호를 분석하여 거리에 따른 전달손실을 구한 뒤, 주파수별로 Curve Fitting한 Log 함수들을 나타내고 있다. 각각의 곡선들은 거리별 전달손실 자료로부터 전달손실  $PL = A \log R + B$  ( $R$  in m)의 형태로 구한 것이다. 그림에서 전달손실은 편의상 상대적인 양으로 표시하였다. Fig. 6 (a)는 DIFAR 센서 ① 정점의 결과로서 음원기가 수신기로 접근하는 경우인 15:

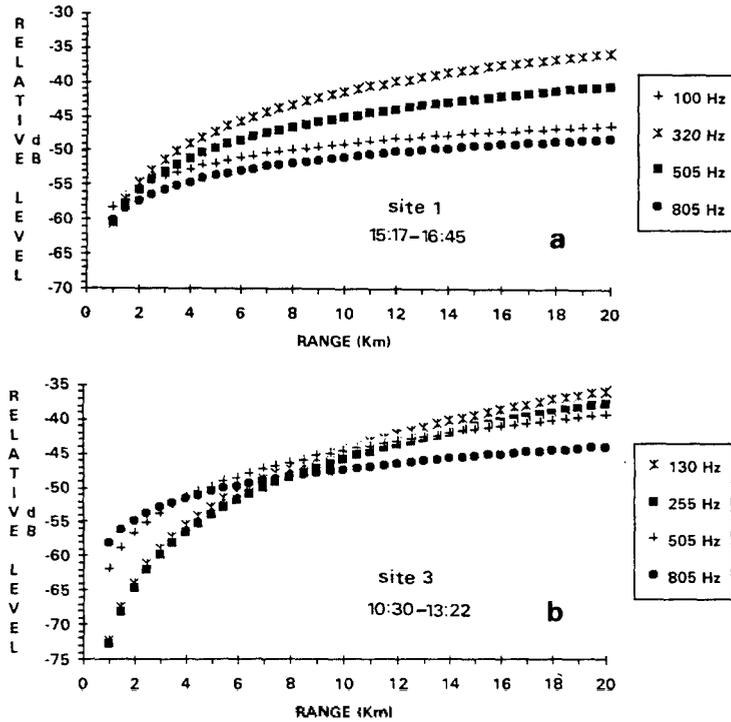


Fig.6. Relative propagation loss curves vs range(Km) obtained from the DIFAR data of site ① (a) and ③ (b).

17 - 16:46 시간대의 분석 결과이다. 가장 작은 전달손실로 전달될 수 있는 최적 주파수는 805 Hz 임을 알 수 있다. Fig.6 (b)는 DIFAR 센서 ③ 정점의 결과로서 음원기가 수신기로 접근하는 경우인 10:30-13:22 시간대의 분석결과이다. 거리 4-5 Km까지는 805 Hz의 음파가 가장 전달손실이 크나 8 Km 이상에서는 가장 작아짐을 볼 수 있다.

이상의 결과에서 10 Km 이상의 거리에서 최적 주파수는 805 Hz 인데, 이 결과는 Jensen 과 Kuperman [1] 의 결과와도 어느 정도 일치한다. 즉, Fig.7은 수심과 계절에 따라 관측된 최적 주파수의 변화를 보여주고 있는

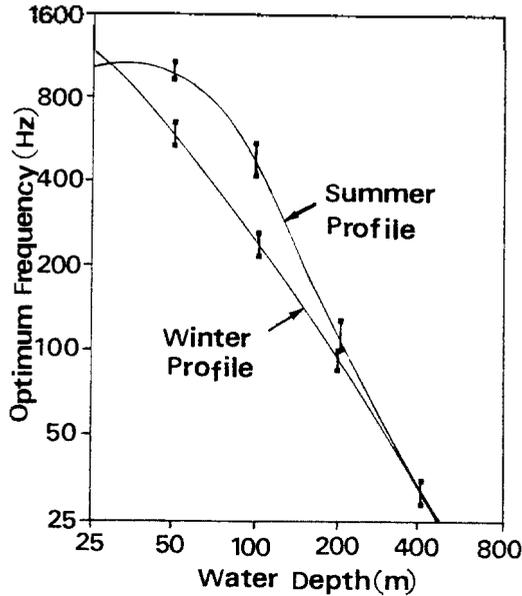


Fig.7. Optimum frequency as a function of water depth. Bars indicate observed variation with bottom type [after Jensen and Kuperman,1].

데, 수심이 50-80 m, 음속구조가 여름철의 것일 경우에 최적주파수가 800 Hz 내외에 존재함을 확인할 수 있다.

최근에는 천해의 저주파 대역에서 최적 주파수를 결정하는 해저 감쇄 손실 계수가 주파수에 선형으로 비례하기보다는 비선형적으로 비례함이 밝혀지고 있으므로[6,7,8], 앞으로 동해 남부해역 퇴적물 특성(퇴적물 유형, 입자 크기, 밀도, 음속등)과 관련하여 보다 심층적인 연구를 기울일 때 최적 주파수에 대한 완전한 규명이 이뤄지리라 여겨진다.

## REFERENCES

1. F. B. Jensen and W. A. Kuperman, "Optimum frequency of propagation in shallow water environments," *J. Acoust. Soc. Am.* 73, 813-819, 1983.
2. A. I. Eller and D. A. Gershfeld, "Low-frequency acoustic response of shallow water ducts," *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 622-631, 1985.
3. D. A. Gershfeld and A. I. Eller, "Geometric consideration in determining the optimum frequency of acoustic propagation in shallow water wave guide," *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 632-641, 1985.
4. P. W. Smith, "Low-frequency rolloff in the response of shallow water channels," *J. Acoust. Soc. Am.* 79, 71-75, 1986.
5. T. Alkal, "Sea floor effects on shallow-water acoustic propagation," in *bottom-interfacing ocean acoustic*, edited by W. A. Kuperman and F. B. Jensen, Plenum, New York, 1980.
6. J. Zhou and X. Zhang, "Effect of frequency dependence of sea-bottom attenuation on the optimum frequency for acoustic propagation in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.* 82(1), 287-292, 1987.
7. R. D. Stoll and R. E. Houtz, "Attenuation measurement with sonobuoys," *J. Acoust. Soc. Am.* 73, 163-172, 1983.
8. R. D. Stoll, "Marine sediment acoustics," *J. Acoust. Soc. Am.* 77, 1789-1799, 1985.