

Deconvolution 방법을 이용한 수중폭발성음원의 해저면반사 연구

Study on the bottom reflection of underwater explosive charges by using deconvolution method

문형필, 하성훈, 나정열

(Hyung-Pil Moon, Sung-Hoon Ha, Jung-Yul Na)

요 약

수중폭발성음원인 SUS(signal underwater sound)는 수중에서의 폭발과 동시에 충격파와 기포파들이 연속적으로 발생한다. 이러한 신호는 광범위한 주파수대역을 가지고 전파거리가 길어지면서 굴절과 반사등의 다중경로 전파효과에 의한 신호의 변형까지 생긴다(1,2,3).

본 연구에서는 deconvolution 방법을 이용하여 수신 신호중에서 기포파효과를 최소화시켜 충격파의 수신기 도달시간을 파악하고, 각 충격파들의 전파경로를 추정하여 이 중 직접경로와 해저면 반사경로의 신호를 이용하여 해저면 반사계수를 계산하였다.

ABSTRACT

The SUS(signal underwater sound) used as underwater explosive sound source produce the shock wave and a series of pressure pulses called bubble pulses when it fired in the water. These pulses have a broad frequency band and the signature is changed by multipath-propagation effects such as refraction and reflection at longer ranges.

This study is performed to minimize the bubble pulse effects and to determine arrival time of the shock waves by using deconvolution method and then estimate paths of each rays.

Consequently reflection coefficient is calculated by using direct and reflect-path signals

1. 서 론

본 연구에서 사용된 폭발성 수중음원은 음압준위가 높은 광대역 저주파 음원특성을 갖고 있어 원거리까지 전파가 가능하고 고속선박이나 항공기를 이용하여 투하할 경우 빠른 시간에 관측하고자 하는 해역을 탐사할 수 있다. 또한 음원의 주파수 범위가 넓고 무지향성이기 때문에 많은 자료를 수집 분석할 수가 있다는 장점이 있으므로 현장실험에서 SUS를 음원으로 사용하게 되면 실시간 해양탐사가 가능하고, 광역의 해양을 빠른 시간에 관측할 수 있다.

그러나 SUS는 한 번의 폭발에 의해 음파를 방사하기 때문에 신호를 반복해서 관측할 수 없고, 신호의 지속시간이 짧기 때문에 신호식별이 매우 어렵다. 또한 SUS 신호는 폭발에 의한 충격파와 이에 따른 기포파들로 구성되기 때문에 신호가 원거리를 전파하는 경우 굴절과 반사등의 다중경로 전파효과에 의해 신호식별이 더욱 어려워진다.

그러므로 다중경로를 통한 수신신호로부터 충격파와 기포파를 분리하여 충격파의 수신기 도달시간을 추정하고, 각각의 신호들의 전파경로를 규명하여 실측신호로부터 해저면 반사계수를 산출하는데 본 연구의 목적이 있다(5).

II. 기본이론

1. Deconvolution 방법을 이용한 기포파성분의 제거

수중음향에 사용되는 폭발성 음원의 경우에 기포파의 영향 때문에 신호를 분석하는데 많은 어려움이 따르게 되는데 linear system인 경우에는 이러한 기포파의 영향을 deconvolution 또는 inverse filtering 기법을 이용하여 제거할 수 있다.

Deconvolution 과정을 살펴보기 위해 먼저 입력신호, 출력신호, 그리고 impulse response를 다음과 같이 정의한다.

Impulse response $h(t) \Rightarrow$ transfer function $H(f)$
 Input signal $x(t) \Rightarrow$ Fourier transform $X(f)$
 Output signal $y(t) \Rightarrow$ Fourier transform $Y(f)$

이러한 관계를 시간영역과 주파수영역에서 표현하면

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau$$

$$Y(f) = H(f)X(f)$$

이다. 이때 입력신호와 출력신호를 안다면 impulse response 또는 전달함수(transfer function)를 구할 수 있다. 주파수영역에서 이 문제를 풀기 위해서는 Fourier transform을 계산해야 한다.

$$H(f) = Y(f)/X(f)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{j2\pi ft} df$$

전달함수는 제한된 주파수대역에서만 결정될 수 있고 잡음성분이 항상 존재하는데 이것은 system과는 상관 없는 출력성분이므로 손실로 간주할 수 있다. 앞의 과정에서 $X(f)$ 가 작은 값인 경우에 상대적으로 잡음성분이 증폭되는 결과가 생기게 되는 것이다. 그러므로 제한된 주파수대역과 잡음성분의 제거를 고려하여 식을 다시 쓰면

$$H'(f) = H(f)G(f) = [Y(f)/X(f)]G(f)$$

로 표현되어지고 여기서 $G(f)$ 는 filter의 impulse response $g(t)$ 의 inverse Fourier transform이다

이제 $H'(f)$ 를 시간영역으로 보내서 $h'(t)$ 를 구하면 이것이 우리가 구하려는 impulse response가 된다.

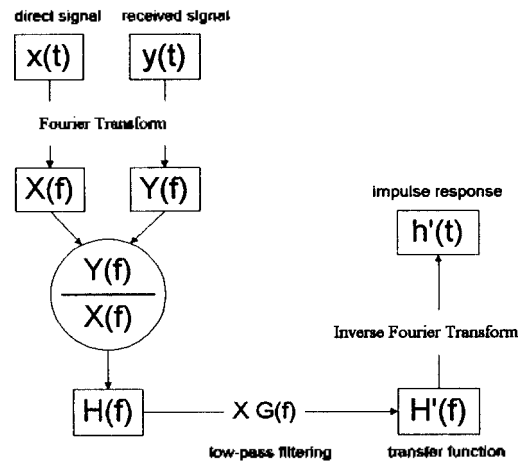


Fig. 1 Impulse response를 계산하는 분석 흐름도

2. 해저면 반사계수의 계산

밀도가 각각 ρ_1, ρ_2 , 그리고 음속이 각각 c_1, c_2 인 서로 다른 두 매질(해수-해저면)이 있다. 입사파가 수평 입사각(grazing angle) θ_1 으로 해저면에 입사될 때, 일부는 θ_1 으로 반사되고, 일부는 또다른 수평입사각 θ_2 로 투과하게 된다.

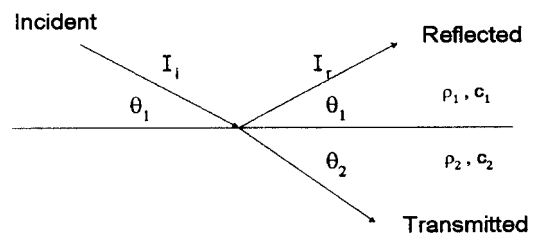


Fig. 2 경계면에서의 반사와 투과

이때 m 과 n 을 $m = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, 그리고 $n = \frac{c_1}{c_2}$ 라고 할 때 m 과 n 그리고 입사각에 따른 반사계수는 여러 가지 양상을 보인다.

일반적으로 해저면 반사계수는 다음의 식으로 계산할 수 있다(7).

$$R_{12} = \left[\frac{m \sin \theta_1 - n \sin \theta_2}{m \sin \theta_1 + n \sin \theta_2} \right]^2$$

$$= \left[\frac{m \sin \theta_1 - (n^2 - \cos^2 \theta_1)^{1/2}}{m \sin \theta_1 + (n^2 - \cos^2 \theta_1)^{1/2}} \right]^2$$

III. 현장실험

본 연구는 국방과학연구소와 공동으로 1997년 6월 동해에서 실시하였던 해양음향 토모그래피 실험에서 확보한 자료들을 근거로 실행되었다.

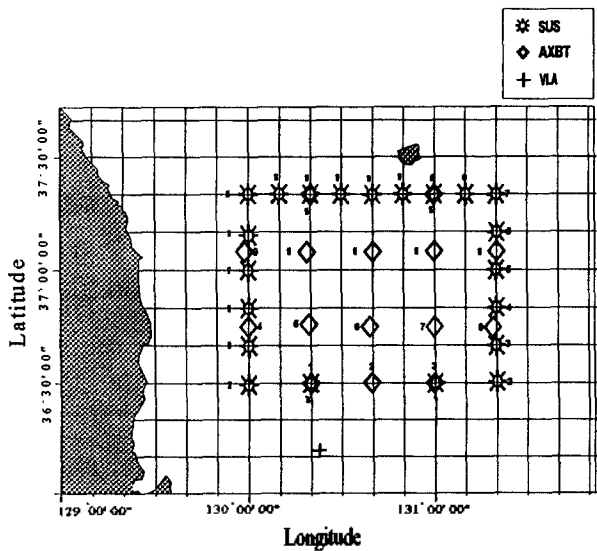


Fig. 3 실험해역 및 SUS·AXBT 투하위치

송신단은 MK61 mod 0 SUS를 음원으로 사용하여 일정한 고도와 항속을 유지할 수 있는 항공기를 이용하여 21개의 음원위치에 투하하였고, 음원은 각 지점 240m 수심에서 주위 압력을 감지하여 작동하도록 설정하였다. 그러나 음원의 작동수심은 여러 가지 원인에 의하여 $\pm 10\%$ 의 오차를 가지므로, 정확한 수심은 수신된 신호를 분석하여 충격파와 기포파의 시간간격을 구하고 이 시간간격을 이용하여 역으로 결정하였다. 그리고 각 음원의 투하위치로부터 수신단까지의 전파거리는 최소 31.6km에서 최대 148.6km의 분포를 가졌다.

수신단은 엔진이나 발전기소리등의 자체 소음원을 완전히 제거한 선박이 공해상에 표류하면서 지향성을 가진 수직선배열(vertical line array, VLA)된 수신기를 내려 수신하였고, 표류에 의한 수신단의 위치변화는 GPS(global positioning system)를 이용하여 계속 확인

하였다. VLA는 모두 25개의 수중청음기가 수직으로 연결되어 있다.

이와 동시에 AXBT나 XBT를 투하하여 수온을 측정하였고, 실험해역 전반에 걸친 수직수온분포와 수평수온분포를 이 자료로부터 예측할 수 있었다.

IV. 신호분석결과

수신된 신호(Fig. 3)로부터 deconvolution 방법을 이용하여 첫 번째 그룹에 대하여 파악한 충격파들의 위치는 Fig. 4와 같다.

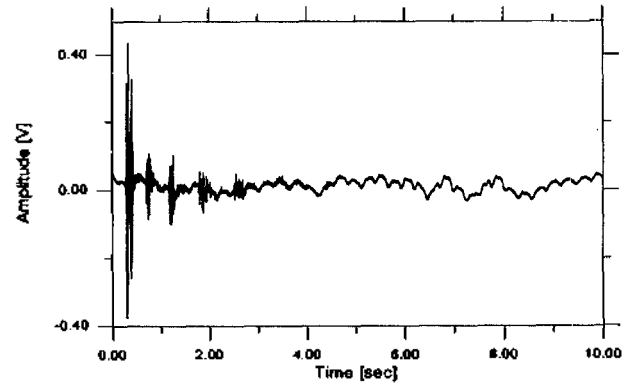


Fig. 4 실측신호 (SD:240m, RD:150m, Range:89km)

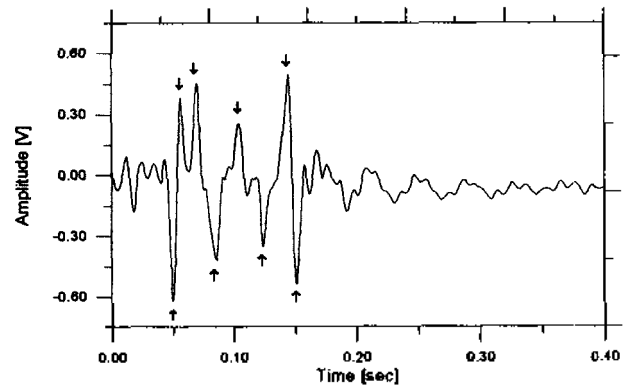


Fig. 5 Deconvolution 방법으로 추정된 충격파의 위치

이렇게 선택한 충격파들의 위치를 실측신호에서 확인하기 위해 다음식(Urick, 1983)을 이용하여 구한 기포파와 충격파의 시간간격은 19.5msec로, 실측신호에서도 이 시간간격을 가지고 기포파들이 각각의 충격파 뒤에 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

$$T = \frac{Kw^{\frac{1}{3}}}{(d+33)^{\frac{5}{6}}}$$

K : 비례상수

w : 폭약의 무게 [lb]

d : 해수면으로부터 폭발지점까지의 수심 [ft]

관측지역의 해저면은 울릉분지 하부 대륙사면으로서 거의 평탄한 해저면이고 코어링 분석 결과에 의하면 mud 퇴적층임을 알 수 있다(6).

Deconvolution 방법에 의한 충격파들의 amplitude와 거리 비중속 해양모델에 의한 전파경로로부터 해저면 반사경로의 신호를 선택하여 해저면 반사계수를 계산하고, 실측된 환경변수를 사용한 이론적 해저면 반사계수를 비교하였다.

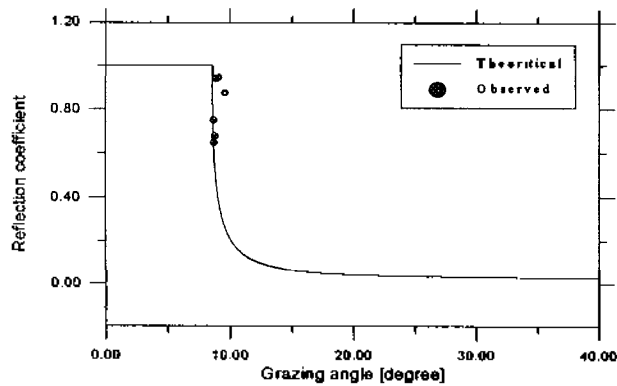


Fig. 6 실측치와 이론치의 반사계수

수신기에 도달한 충격파들에 대한 수평입사각의 범위가 제한적이기 때문에 전체 입사각 범위에 대한 비교는 할 수 없었다. 그러나 일부 입사각들에 대해서는 비교적 이론치와 실측치가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결론 및 토의

수중폭발성음원은 서로 특성이 비슷한 충격파와 기포파들로 이루어져 있기 때문에 원거리를 전파한 신호인 경우에 기포파성분을 제거한다거나 충격파의 도달시간을 정확히 추정하는데 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 deconvolution 방법을 이용하여 수신신호로부터 기포파의 효과를 제거하여 수신신호중 충격

파의 위치와 충격파들의 수신기 도달시간을 확인하였고 이렇게 찾아낸 충격파중에서 직접경로파와 해저면 반사경로파를 찾아내어 각각의 amplitude를 이용하여 반사계수를 구해보았다.

Deconvolution 방법은 고주파영역의 잡음성분이 우세해지는 현상을 제거하기 위하여 저역통과필터와 유사한 전달함수를 사용하였다. 본 연구에서는 절단주파수가 100Hz인 전달함수를 사용하여 고주파영역의 잡음성분을 효과적으로 제거할 수 있었고, 그 결과 deconvolution 방법을 이용하여 기포파효과를 제거하여 수신신호중의 충격파 판별이 가능하였다.

Deconvolution 방법으로 파악한 충격파들은 거리비중속 해양모델에 의한 고유음선정보와 비교한 결과 굴절경로의 신호에 이어 경계면 반사경로의 신호들이 수신되고 있음을 알 수 있었다.

직접경로와 해저면 반사경로를 가지는 충격파들의 amplitude의 비(ratio)를 이용하여 입사각에 따른 반사계수를 계산한 결과 이론치에 근접하는 결과를 보였다.

VI. 참고문헌

1. Cole, R. H., "Underwater Explosions," Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1948.
2. Urick, R. J., "Principles of Underwater Sound," 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, 1983.
3. Herring, C., "Physics of Sound in the Sea," Peninsula Pub., California, 1981
4. Chapman, N. R., "Measurement of the waveform parameters of shallow explosive charges", J. Acoust. Soc. Am. 78. 672-681. 1985.
5. S. Winokur and J. C. Bohn, "Sound Reflection from a Low-velocity Bottom," J. Acoust. Soc. Am. 44. 1130-1138. (1968)
6. 한국해양연구소, 1997, "동해분지의 해양환경 변화와 지구조 진화 연구(1차년도)," 한국해양연구소 보고서, MECBES-97.
7. Brekhovskikh, L. M. "Waves in Layered Media," Academic Press Inc., Niw York, 1960.