

폭발성 음원의 음향신호 전파특성에 관한 고찰

최복경, 김봉채, 김병남
해양기후환경연구본부 한국해양연구원

A Study on the Propagation Characteristics of Acoustic Signals radiated by Explosive Charges

Bok Kyoung Choi, Bong-Chae Kim, Byoung-Nam Kim
Ocean Climate Environment Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute
bkchoi@kordi.re.kr

요약

해양에서 연구목적으로 저주파 음원으로 사용하고 있는 폭발성 음원(SUS: Signals, Underwater Sound)의 신호특성을 파악하기 위해 1999년 9월에 동해의 대륙사면에서 1마일에서 80 마일까지 약 1에서 5마일의 정해진 간격으로 SUS를 투하하여 발생된 음향신호를 거리 및 수신수심별로 수신하였다. 주파수 필터를 사용하여 분석한 결과, 1 kHz 이상의 고주파수 성분이 폭발시에 먼저 방출되며, 저주파수 신호는 뒤이어 발생됨을 확인하였다. 이것은 폭약이 폭발시에 일어나는 메카니즘과 관련이 있는 것으로 사료된다. 거리의 증가에 따라 잔향의 영향을 받아 뒤이어 수신되는 파속(wave packet)들을 확인할 수 있었으며, 신호에 많은 영향을 주고 있었으나 잔향 분석은 여기서는 제외하였다. 본 연구는 실험해역에서의 SUS신호에 관한 많은 자료를 분석한 것으로서 그 신호특성에 관한 이번 고찰은 해양음파전달사 사용하는 SUS 음향신호 해석에 많은 도움을 줄 것으로 기대한다.

1. 서론

해수중에서 SUS라고 불리우는 폭발성 음원은 고출력의 광대역 주파수를 발생하기 때문에 유용한 음파전달 실험 방식의 하나이다. 폭발성 음원은 폭약의 양에 따라 그 발생된 음파의 출력이 결정되며, 종류에 따라 다양하다. 본 실험에서는 1.8 파운드의 양을 가지는 폭발성 음원을 사용하였다.

SUS로부터 발생된 음파의 특성에 관한 연구는 1970년

대부터 본격적으로 이루어졌으며[1-4], 경사면을 가지는 대륙사면에서의 음파전달특성 연구[5], 음원레벨 측정에 대한 실험[6] 그리고 해수중 해표면산란특성과 체적산란특성을 유추하는 기법[7,8]으로도 연구되어 왔다. 최근에는 수중폭발에 의해 발생하는 대형기포진동 특성에 대한 연구가 새롭게 연구되고 있다[9,10].

본 연구에서는 최근 동해에서 실험한 SUS를 이용한 장거리 음파전달측정자료를 이용하였으며, 근거리에서 수신된 신호를 중심으로 신호특성을 살펴보고 그 특성을 논의하였다.

2. 실험 환경

실험해역은 동해중부에서 대륙사면을 따라 동해 중심부까지 약 80 마일에 이르는 장거리 정선으로서, 그림 1에 해역도를 나타내었다. 해저수심은 그림 2에 나타내었으며, 연안에서부터 대륙사면을 이루고 있는 해저형태를 보이고 있다.

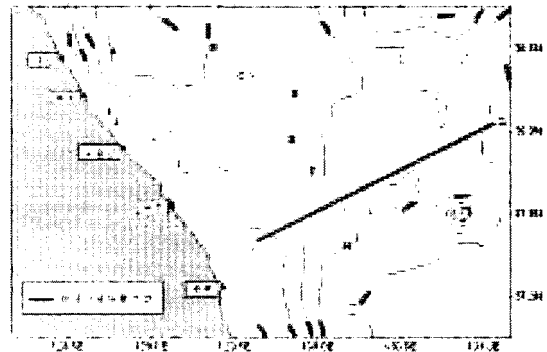


그림 1. 음파전달실험 정선의 해역도.

그림 2에 나타난 실험 모식도와 같이 G9에서 연구선이 수중청음기 배열을 수중에 내린 상태에서 항공기가 G9부터 G18방향으로 약 1에서 5 마일의 간격으로 SUS를 투하하였으며, 연구선에서 계속적으로 음파를 수신하였다. SUS의 폭발수심은 18 m와 240 m의 두 경우였으며, 수중청음기 각 센서의 수심은 20, 50, 150, 250 m에 위치되었다.

실험정선상에서 관측한 수직 음속분포를 그림 3에 나타내었다. 연안쪽에 위치한 G10에서는 수온약층이 약 150 m까지 형성되었으며, 외해쪽인 G18에서는 깊어져서 약 200 m까지 층이 두껍게 형성되어 있었다.

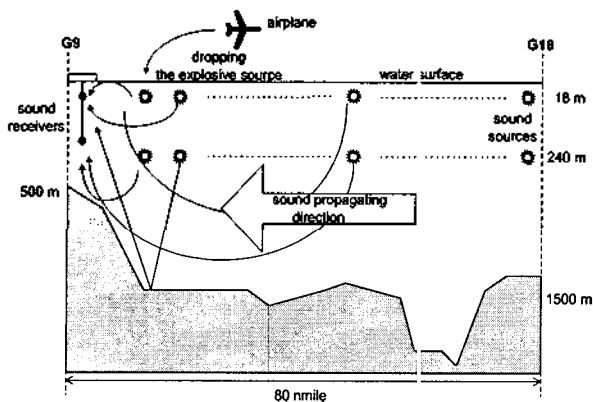


그림 2. 폭발성 음원에 의한 음파전달실험 모식도.

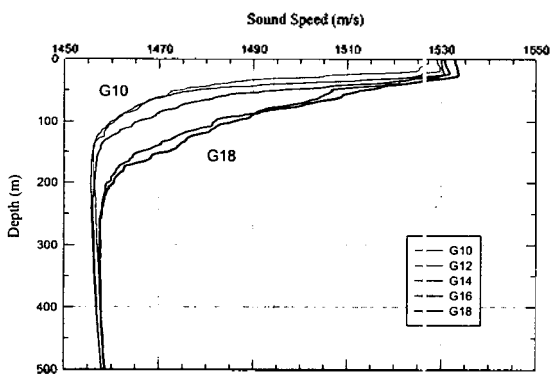


그림 3. 음파전달실험 정선상의 각 정점에 따른 수직음속분포(1999년 9월).

3. 폭발성 음원의 신호 특성

폭발성 음원에 의한 충격음파 발생 및 기포발생 개념도를 그림 4에 나타내었다[11]. 폭발시 충격음파가 발생되며, 뒤이어 음원부근의 압력변화가 부력에 의해 해표면으로 상승하면서 기포진동(bubble pulse)이 잇따라 발생하는 것으로 이해할 수 있다.

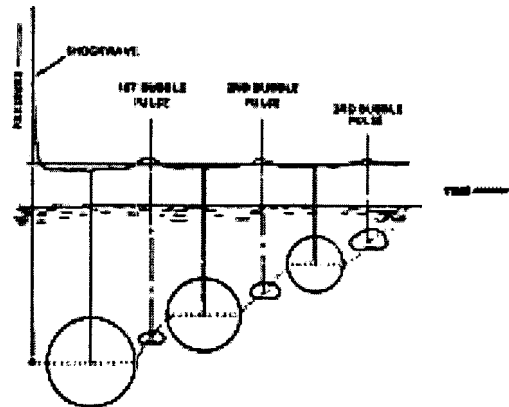


그림 4. 폭발성 음원에 의한 충격음파 발생 및 기포발생 개념도(Urick, 1983).

아래의 그림 5와 6에 수심별로 수신된 음파의 시계열 신호를 나타내었다. 수신수심에 따라 음파의 도달시간이 차이가 남을 알 수 있다.

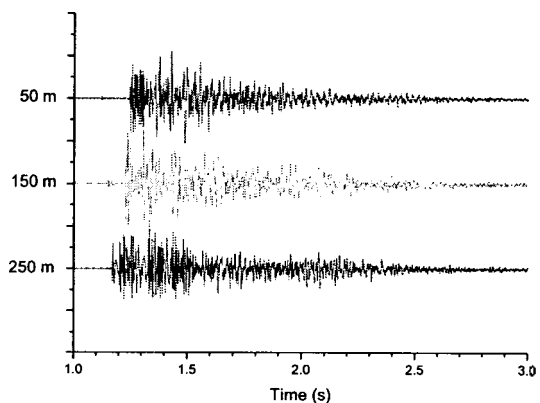


그림 5. 수심별 수신음파의 시계열 신호 (음원수심: 18 m, 음원과 수신기 사이의 거리: 0.4 마일).

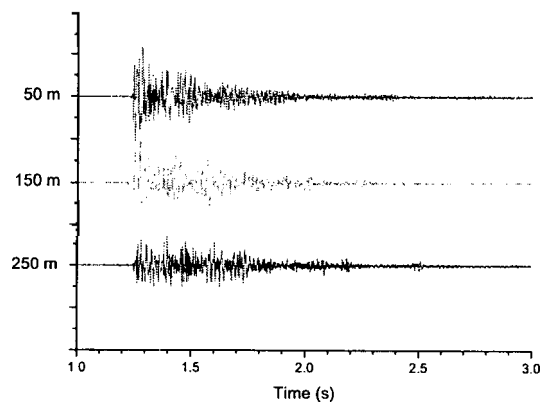


그림 6. 수심별 수신음파의 시계열 신호 (음원수심: 240 m, 음원과 수신기 사이의 거리: 1.0 마일).

3.1 음원수심이 18 m인 경우

수심 50 m에서 수신된 음파를 저역통과필터(< 100 Hz)와 고역통과 필터(> 1.6 kHz)를 이용하여 처리한 후, 그 결과를 그림 7의 위쪽 그림에 나타내었다. 고주파 성분은 폭발시점에 발생하였으며, 뒤이어 저주파 성분이 발생되었음을 알 수 있다. 그 시간차는 약 0.1 초로 나타났다. 중간과 아래그림은 수신수심이 150 m와 250 m의 경우로써 같은 결과를 보이고 있다.

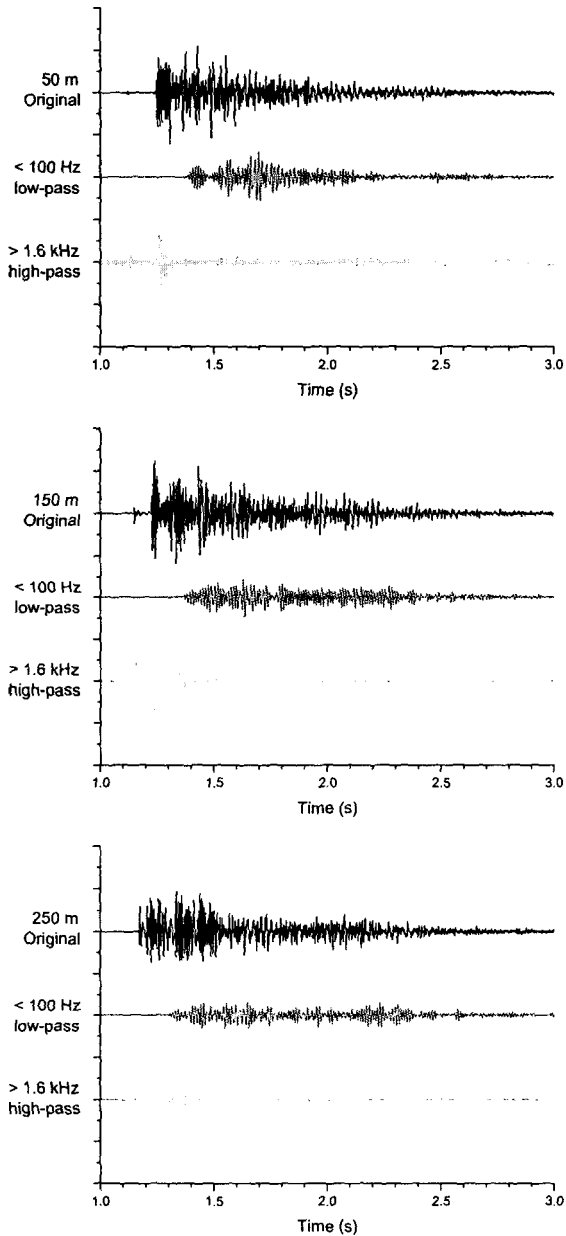


그림 7. 음파 시계열 신호와 필터링한 신호와의 비교 (음원수심: 18 m, 음원과 청음기 간의 거리: 0.4마일), (위) 청음기 수심 50 m, (중간) 150 m, (아래) 250 m.

3.2 음원수심이 240 m인 경우

음원수심이 240 m인 경우에 대해서 같은 방식으로 그림 8에 필터링 결과를 나타내었다. 음원수심이 18 m인 경우와 같은 결과를 보였다. 이것은 음파전달경로에 따른 차이가 아니라 음원의 폭발 메커니즘과 관련성이 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 또한 고역통과필터 신호로부터 해수면과 해저면에 반사된 신호의 상태를 더욱 뚜렷하게 볼 수 있으며, 자세한 분석을 요한다.

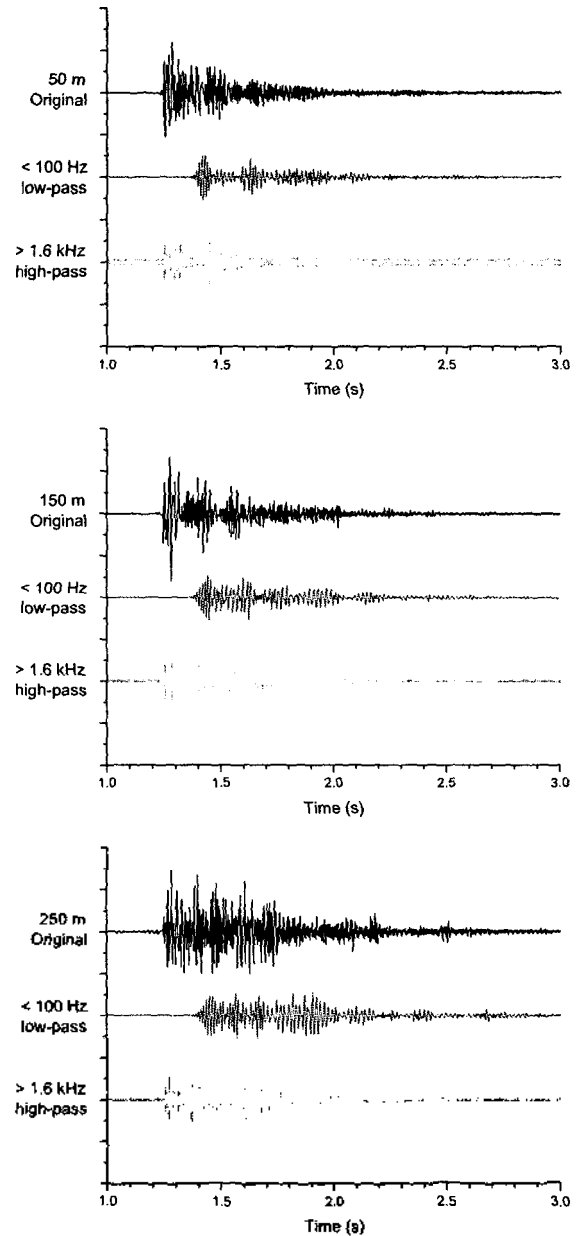


그림 8. 음파 시계열 신호와 필터링한 신호와의 비교 (음원수심: 240 m, 음원과 청음기 간의 거리: 1.0마일), (위) 청음기 수심 50 m, (중간) 150 m, (아래) 250 m.

4. 결론

해양에서 연구목적으로 저주파 음원으로 사용하고 있는 폭발성 음원(SUS)의 신호특성을 파악하기 위해 1999년 9월에 동해의 대륙사면에서 1마일에서 80 마일까지 SUS를 투하하여 실험하였다. 주파수 필터를 사용하여 분석한 결과, 1 kHz이상의 고주파수 성분이 폭발시에 먼저 방출되며, 저주파수 신호(bubble pulse)는 뒤이어 발생됨을 확인하였다. 이것은 폭약이 폭발시에 일어나는 메카니즘과 관련이 있는 것으로 사료된다. 추후에 음선을 이용한 음파도달 양상에 대한 연구와 해수층 음파간향에 관한 분석을 추가할 예정이다.

참고문헌

1. J.M.Hoven, "Deconvolution for Removing the Effects of the Bubble Pulses of Explosive Charges," J.Acoust.Soc.Am. vol.47(1), pp.281-284 (1970).
2. R.A.Wentzell, "Depth Dependence of Bubble Pulse Periods of Point and End-Fired Line Charges," J.Acoust.Soc.Am. vol.48(5), pp.1283-1286 (1970).
3. J.B.Gaspin, J.A.Goertner, and I.M.Blatstein, "The determination of acoustic source levels for shallow underwater explosions," J.Acoust.Soc.Am. vol.66(5), pp.1453-1462 (1979).
4. R.L.Dicus, "Impulse response estimation with underwater explosive charge acoustic signals," J.Acoust.Soc.Am. vol.70(1), pp.122-133 (1981).
5. S.E.Dosso and N.R.Chapman, "Measurement and modeling of downslope acoustic propagation loss over a continental slope," J.Acoust.Soc.Am. vol.81(2), pp.258-268 (1987).
6. N.R.Chapman, "Source levels of shallow explosive charges," J.Acoust.Soc.Am. vol.84(2), pp.697-702 (1988).
7. P.M.Ogdin and F.T.Erskine, "Surface scattering measurements using broadband explosive charges in the Critical Sea Test experiments," J.Acoust.Soc.Am. vol.95(2), pp.746-761 (1994).
8. P.M.Ogdin and F.T.Erskine, "Surface and volume scattering measurements using broadband explosive charges in the Critical Sea Test " experiments," J.Acoust.Soc.Am. vol.96(5), pp.2908-2920 (1994).

9. T.L.Geers and K.S.Hunter, "An integrated wave-effects model for an underwater explosion bubble," J.Acoust.Soc.Am. vol.111(4), pp.1584-1601 (2002).
10. K.S.Hunter and T.L.Geers, "Pressure and velocity fields produced by an underwater explosion," J.Acoust.Soc.Am. vol.115(4), pp.1483-1496 (2004).
11. R.J.Urik (1983). *Principles of Underwater Sound* [McGraw-Hill, NewYork], 3rd ed.