

실린더 배열을 이용한 체적산란강도의 방향 특성

김은혜, 나정열, 강돈혁
한양대학교 과학기술대학 지구해양과학과

Directional Characteristics on Acoustic Volume Scattering by Cylindrical Line Array

Eunhye Kim, Jungyul Na, Donhyug Kang

* Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University

Email : ehkim@ihanyang.ac.kr

요 약

해수 체적에 의한 산란 특성을 이해하기 위해 방향 특성(directional response)에 대한 연구를 실시하였다. 이를 위해 공기로 채워진 PVC(polyvinyl-chloride) 재질의 실린더를 등 간격으로 설치하여 일정한 체적을 기하학적으로 배열하였다. 동일한 체적에 대한 산란강도의 방향 특성 모의로부터 수중의 표적 탐지 및 수산 자원량 조사의 중요 변수인 체적 산란강도의 음원 방향에 대한 고찰이 필요함을 알 수 있다.

1. 서론

해수에 존재하는 여러 산란체(생물 군집, 부유물질 등)에 의한 체적 산란(volume scattering) 특성은 시공간적인 변동성이 크게 나타나고 있다. 또한 임의의 공간 내에 체적이 형성되었을 때, 음향 센서의 방향 및 음원 특성에 따라 서로 다른 체적 산란 특성을 보여주고 있다[1]. 저주파 음원으로 많이 사용하는 폭발성 음원(SUS signal)에 대해 임의의 산란체로부터 수신되는 신호는 동일한 체적임에도 불구하고 다양한 입사각에 의한 산란 신호 정보를 지니게 되며 이로 인해 체적 잔향음의 시변동성을 나타내고 있다[2]. 또한 고주파 음원을 이용한 어류 군집 조사에서 이러한 변동성을 보여주고 있다[3].

매질에 대한 입사각의 중요성은 해저면, 해수면 산란 특성에 주로 나타나고 있으나 표적 탐지 및 수산 자원량 측면에서도 고려해야 할 변수이므로 이에 대한 연구가 필요하다. 체적에 대한 산란 신호의 특성은 확률 밀도함수(PDF)로 나타내는데 이러한 신호의 변동성을 파악하기 위해서는 입사각에 대한 산란 특성 파악이 선행되어야 한다. 또한 입사 각도에 따른 산란 신호의 변동성 파악은 고정 센서가 설치된 환경에서 산란체의 움직임에 따른 음향 특성을 역으로 파악할 수 있으므로 산란체의 시공간 변동성을 알 수 있는 기본 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구는 체적에 대한 입사각의 변화에 따른 특성 파악을 위하여 임의의 가상 체적을 만든 후에 입사각의 각도와 펄스 길이를 다양하게 변경시킴으로써 수신 신호의 변동성을 알아 보았다.

2. 실험 개요

1m 길이의 공기로 채워진 PVC(polyvinylchlorid) 실린더를 센서면을 기준으로 평행하게 9줄, 수직으로 11 줄로 배열하였으며, 이때 각 실린더 사이의 거리는 10cm씩 등 간격으로 분리시킨 가상 체적을 형성하였다. 이 가상 체적을 수조(5m×5m×5m) 중앙에 위치시킨 후 126 kHz 음원을 이용하여 입사파의 각도 변화에 따른 단상대 신호를 수신 하였다(그림 1). 실험 당시 수조 환경은 수온 6.8°C, 음속 1434 m/s였다.

첫 번째 산란 실험 (A)에서 음원은 실린더 체적의 중앙에 위치하였다. 중앙의 음원에서 체적을 바라볼 때를 0°라 설정하고, 기준 위치에서 센서의 왼쪽 방향을 음의 각도로, 오른쪽 방향을 양의 각도로 가정하였다. 입사파의 방향을 양 방향으로 각각 5°씩 증가시키면서 -30° ~ +30° 범위 내의 신호로부터 균일 공간(uniform spaced) 내의 체적에 의한 산란 신호를 수신하였다.

두 번째 실험 (B)는 입사 각도의 변화를 좀 더 고려하기 위하여 음원의 위치를 실린더 체적의 오른쪽 끝 부분에 위치시켰다. 이때 입사파와 실린더면이 이루는 각도가 수직일 때를 0°라 놓고 실린더 체적의 중앙쪽으로 5°씩 증가시키면서 최대 40° 범위까지의 신호를 수신하였다.

세 번째 실험 (C)는 위 (A) 실험에서 센서면과 수직으로 10 cm 간격으로 배열한 실린더 체적을 5 cm 간격으로 줄여 동일한 주빔 폭에 많은 실린더가 들어오게 설치하였다. 이러한 가상 체적은 동일한 음원의 입사 각도에서 산란체의 밀도가 높게(dense) 형성되었을 때의 산란 효과를 파악할 수 있다. 실험에서 실린더 체적 내의 개개 실린더에 의한 다중 산란 및 회절 효과는 고려하지 않고 임의의 시간 내에 수신되는 산란 신호의 음압만을 고려하였다.

(A), (B), (C) 실험에서 사용된 음원은 sinusoidal 신호로 펄스 길이(τ)는 0.08 ms, 0.16 ms, 0.3 ms, 0.6 ms 였으며, 음원 신호 길이 별로 1 ping 당 1.5초 간격으로 수신한 총 50 pings의 측정 신호를 평균(ensemble averaging)을 취하였다(그림 2).

표 1. Polyvinylchloride의 물리적 특성

Polyvinylchloride	$[-CH_2CHCl-]_n$, n:중합도
Inner diameter (mm)	12
Outer diameter (mm)	16
Density (g/cm ³)	1.22 - 1.26

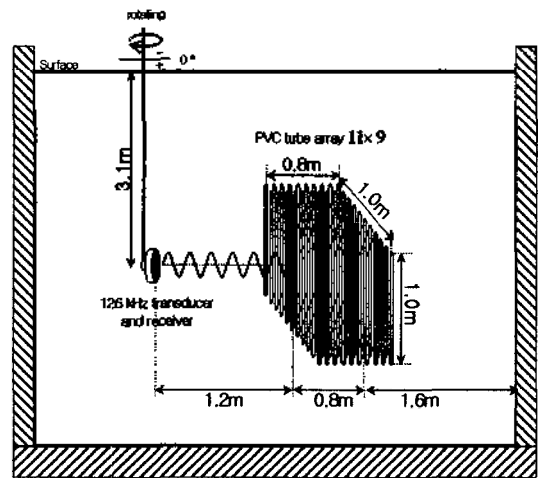


그림 1. 가상 체적을 구현한 실험 모형.

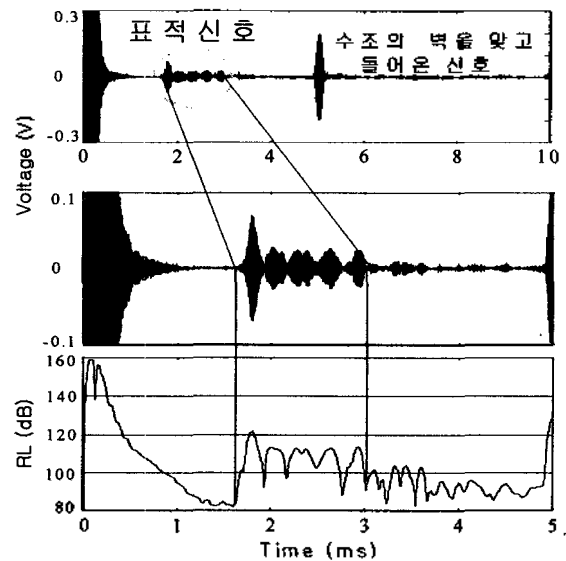


그림 2. 음원 신호의 길이가 0.08ms, 입사 각도가 0° 일 때를 고려한 실험 A에서의 수신 신호의 특성과 센서의 수신 감도를 고려한 수신 신호 준위.

3. 신호 분석 및 결과

3.1 수신 신호를 이용한 체적 산란강도 계산

그림 2와 같이 표적을 맞고 산란된 신호는 수신감도 (Receiving Voltage Sensitivity)를 고려하여 수신 신호 준위(RL_v)를 계산하였다. 계산되어진 수신 신호 준위를 이용하여 아래의 식으로부터 체적에 의한 후방산란 강도 (volume backscattering strength, S_v)를 구하였다[4].

$$S_v = RL_v - SL + 40 \log r - 10 \log V$$

where,

$$V = \frac{c\tau}{2} \Psi r^2$$

$$10 \cdot \log(\Psi) = 10 \cdot \log \frac{\lambda}{2\pi a} + 6.9$$

3.2 음원의 방향에 따른 체적 산란강도 특성

동일한 체적에 대해 센서면을 체적의 중앙에 위치시킨 후, 입사파의 각도 범위를 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 로 좌우 대칭 시키면서 수신한 신호의 산란강도를 최대 값을 이용한 표준화 시키는 방법(normalization)으로 입사 각도와 τ 값의 변화에 따른 양상을 알아보았다(실험 A, 그림 3). τ 가 0.16ms일 때를 제외하고는 전체적으로 음원의 입사 각도 0° 을 중심으로 대칭형의 산란 특성을 보였으며, 펄스 길이와 무관하게 입사파의 각도가 $\pm 15^\circ$ 일 때 높은 산란 특성을 보여주고 있다. 등 간격으로 배열되어 균일한 매질 특성을 보여주고 있는 환경에서 입사파의 각도가 좌우 대칭일 때, 산란 특성 또한 음원을 중심으로 같게 나타나는 형태를 보여야 한다. 그러나 본 실험의 결과에서는 전체적인 경향은 보여주고 있으나 음의 각도에서 상대적으로 높게 나타나는 특성을 보여주고 있다. 이러한 비대칭성은 음향 센서의 빔 패턴에 기인한 것으로 나타났다.

입사 각도 0° 에서 τ 가 0.08ms, 0.16ms로 상대적으로 작을 때는 작은 차이지만 산란강도가 높게 나타나고 있으나, 입사파의 펄스 길이가 길어지면 산란강도가

낮아지는 펄스 길이의 특성을 보여주고 있다. 그러나 입사 각도가 변하여 입사파에 반응하는 실린더의 개수가 증가하면 펄스 길이가 커질수록 산란강도는 증가하게 된다.

이 같은 이유는 주 빔 내에 존재하는 실린더의 개수와 송신 펄스 길이의 상호관계로 설명할 수 있다. 실험에서 맨 앞의 실린더에 도달하는 주 빔폭 내에는 3개의 실린더가 포함된다. 펄스 길이가 짧게 되면 개개 실린더에 의한 에너지 반응이 커져 산란 신호에 영향을 주게 되나 실험 A에서는 펄스 길이에 따른 변화보다는 입사 각도에 따라 입사파에 반응하는 실린더의 개수에 의한 특성이 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 $\pm 20^\circ$ 를 중심으로 입사 각도가 커질수록 상대적 산란강도의 급격히 낮아지는 이유는 주 빔 내에 들어오는 실린더의 개수가 줄어들기 때문이었다.

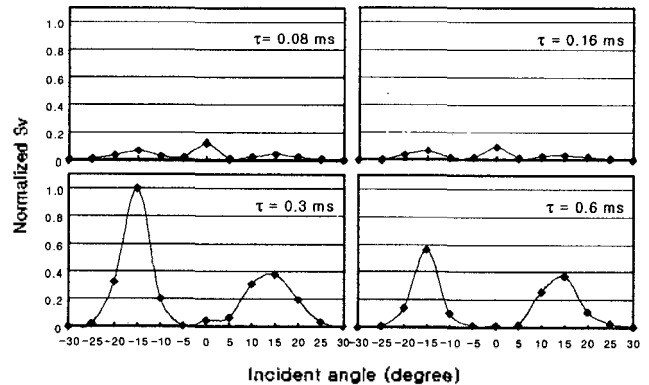


그림 3. 실험 (A)에서 음원의 입사 각도와 펄스 길이에 따른 산란강도 변화.

실험 (A)의 센서 배열에서 입사 각도의 최대 폭을 $\pm 30^\circ$ 로 하였으나 실험 결과에서는 $\pm 20^\circ$ 이내의 산란 특성만을 보여주고 있다. 입사 각도를 증가시키기 위한 실험 (B)에서는 펄스 길이에 따른 변동성과 입사 각도의 변동에 따른 영향을 좀 더 뚜렷이 나타내고 있다(그림 4). 펄스 길이가 작을 때의 산란 특성은 입사 각도의 증가에 따른 영향을 미약하게 보여주고 있으나, 펄스 길이가 증가하는 경우에는 입사파에 의

한 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 입사 각도가 20 ~ 30°일 때의 산란강도는 입사 각도가 10°일 때 보다 산란강도가 6 ~ 9배 정도 크게 나타나는 입사파의 강한 종속성을 나타내 주고 있다.

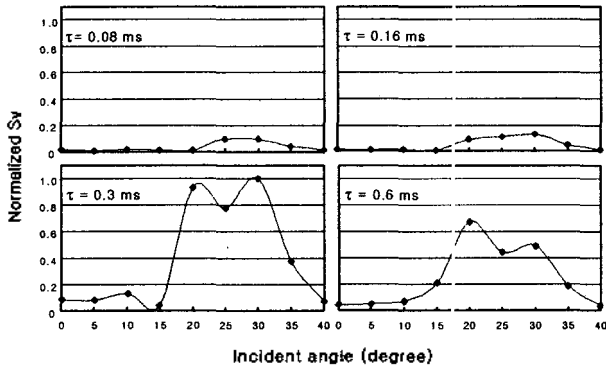


그림 4. 실험 (B)에서 음원의 입사 각도와 펄스 길이에 따른 산란강도 변화.

3.3 체적 밀도의 증가에 따른 산란강도 특성

실린더면에 도달하는 주 빔 내의 실린더 개수를 증가시키기 위해 센서면과 수직인 배열의 간격을 실험 (A) 보다 절반으로 줄였다. 이러한 가상 채적은 동일한 음원의 입사 각도 및 펄스 길이에서 산란체의 밀도가 높게(dense) 형성되었을 때의 산란 효과를 파악할 수 있다.

입사 각도에 따른 산란 신호의 변동은 펄스 길이와 무관하게 -5° 부근에서 가장 크게 나타나고 있다. 실험 (A)에서는 최대 산란강도가 -15°에서 나타났으나 입사 각도가 감소한 이유는 실린더의 간격을 줄임으로써 -5°에서 가장 많은 실린더가 송신 신호에 반응하였기 때문이다.

펄스 길이에 의한 산란 신호의 변동성은 실린더 간격이 매우 넓은 실험 (A)와는 상반된 결과를 보이고 있다. 즉 펄스 길이가 짧을 때 산란강도의 크기가 더 강하게 나타나고 있다. 이러한 변동성은 주 빔 내에 들어오는 실린더의 개수가 증가하였고 이에 따른 짧은 펄스 길이에 의해 개개 실린더에 의한 에너지 반응이 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

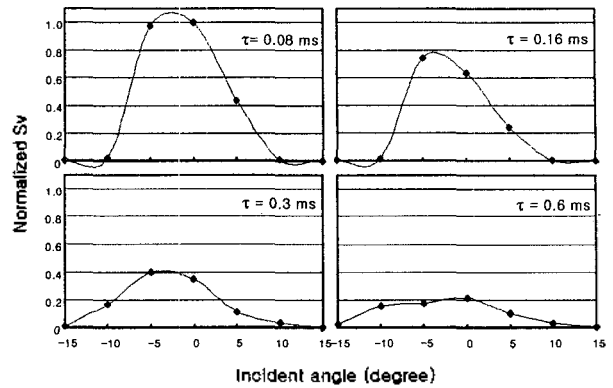


그림 5. 실험 (C)에서 체적 밀도 증가에 따른 음원의 입사 각도와 펄스 길이에 따른 산란강도 변화.

4. 결 론

임의의 체적에 대한 입사 각도와 펄스 길이에 따른 영향을 알아보기 위하여 실린더를 이용한 모의 체적 실험을 하였다. 입사 각도에 의한 영향은 수직인 입사파 보다는 실린더와 일정한 각도를 형성하여 실린더의 개수가 최대인 곳에서 나타나 입사 각도의 강한 종속성을 보여주고 있었다. 한편, 펄스 길이의 변동에 따른 효과는 주 빔 내에 들어오는 실린더의 수와 상관성을 보여주고 있는데 실린더의 수가 작으면 펄스 길이가 클 때, 실린더 수가 많으면 짧은 펄스에서 강한 산란 특성을 나타내고 있었다.

참고문헌

1. Medwin H. and C. S. Clay. 1998. *Fundamental of Acoustical Oceanography*, Chap. 9., Academic Press.
2. Akal, T., R. K. Dullea, G. Guidi and J. H. Stockhausen. 1993. Low-frequency volume reverberation measurements. J" *J. Acoust. Soc. Am.* **93**(5): 2535-2548
3. Stanton, T. K. 1985. Density estimates of biological sound scatters using sonar echo peak PDFs. " *J. Acoust. Soc. Am.* **78**: 1868-1873.
4. Urlick, R. J. 1983. *Principles of underwater sound / 3d edition*, Chap. 7., McGraw-Hill.