

# 전구 음원 특성 분석과 지음향 파라미터 역산

오택환\*, 김영신\*, 나정열\*, 오선택\*\*, 전호경\*\*\*, 이창원\*\*\*, 김성일\*\*\*\*, 박정수\*\*\*\*

\*한양대학교 지구해양과학과, \*\*STX 레이더시스

\*\*\*신양기술, \*\*\*\*국방과학연구소(제2체계 진해)

## Investigating the acoustic properties of the light bulb source and inversion for geo-acoustic parameters

Taekhwan Oh\*, Youngshin Kim\*, Jungyul Na\*, Suntaek Oh\*\*, Hokyung Jun\*\*\*,

Changwon Lee\*\*\*, Seongil Kim\*\*\*\*, Joung-Soo Park\*\*\*\*

\*Dept. Earth & Marine Sciences, Hanyang University

\*\*STX RadarSys Co., Ltd., \*\*\*Shinyang Tech. Co

\*\*\*\*Agency for Defense Development(Chinhae)

booster@ihanyang.ac.kr

### 요약

본 논문은 천해에서의 전구 음원 특성 연구를 수행하였다. 일반적으로 전구 음원의 특성은 수심에 따라 달라지며, 크기와 같은 물리적인 요인에 의해서도 달라지는 것으로 알려져 있다. 최근 전구 음원의 저주파 광대역 음원으로써의 사용 가능성에 관한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 해상 실험 자료 분석을 통해 전구 음원 특성을 분석하였으며, 연구 결과 전구 음원이 천해에서 저주파 광대역 음원으로써 사용 가능함을 확인 하였다.

### 1. 서론

최근 해양에서 발생하는 물리해양학적 현상은 deterministic 하다는 관정보다는 stochastic 한 개념으로 이해하고 설명하는 추세이다. 해양 현상을 보다 잘 이해하기 위해 시공간적인 변동성(수온 구조, 염분 구조, 지음향 특성, 해류 변화 특성, etc.)을

파악해야 한다. 이를 위해 해양음향 토모그래피(Ocean Acoustic Tomography, OAT)와 같이 음파를 이용한 원격 탐사 방법을 사용해 각 환경 파라미터를 역산하는 연구가 수행되고 있다.[1][2] 최근 기존 OAT의 단점을 보완하기 위해 선박 소음, 주변 소음 및 전구 음원을 사용해 천해 음향 파라미터 추정을 위한 연구가 진행되고 있다.[3][4]

전구 음원을 사용한 환경 파라미터 역산은 전구 음원의 광대역 특성을 사용해 수중 음속 구조뿐만 아니라, 퇴적층내 지음향 파라미터 역산도 가능하다.

본 논문은 동해항 부근에서 수행된 해상 실험 자료를 사용해 전구 음원의 특성에 관한 연구를 수행하였다.

### 2. 해상실험

2004년 5월 동해항 부근 천해 해양환경에서 정합장치라 기술 개발을 위한 해양 환경 조사 및 음향 자료 수집을 목적으로 MAPLE04(Matched Acoustic

Properties & Localization Experiment 2004) 해상 실험이 수행되었다. MAPLE04 해상실험에서 사용된 음원은 저주파 에인형 음원과 전구 음원이 사용되었다. 본 논문에서는 전구 음원을 사용한 해상 실험 자료를 사용하여 천해 전구 음원의 음향학적 특성에 관한 연구를 수행하였다.

실험 해역의 해양 환경 조사를 위해 CTD와 XBT를 사용해 수온과 염분의 시-공간적 변화를 관측하였으며, 음향 측정기를 사용해 공간적 수심 변화를 관측하였다. 전구 음원 신호는 24 채널 수직 선배열 수신기를 사용해 획득되었으며, 또한 음원 신호 특성(신호 파형, 최고 음원 준위, 주 공진 주파수 등) 분석을 위한 청음기(B&K 8101, B&K 8104 hydrophone)를 음원 주변에 설치 운용하였다. 선배열 수신기에 수신된 신호는 RF(radio frequency)를 사용해 시험선에 전송하였으며, 디지털 레코더(digital recorder)를 사용하여 A/D 변환 후 저장하였다.

MAPLE04 해상 실험에서 사용된 전구의 유리 벽 두께는 약 0.5mm이며, 전구 부피는 약 125mL로 Garry J. Heard(1997)에 의해 연구된 전구 중 SPECTRO(A19) 형태의 전구와 유사한 전구이다. 음원 수심과 음원 주변 수온은 음원에 설치된 SBE39 센서를 사용해 관측하였다.

표 1). 사용 전구의 물리적 특성 비교

Bubl type	Wattage(W)	Volume(mL)	Glass Thickness (mm)
SYLVANIA(A19)	60	150	0.56
SPECTRO(A19)	100	150	0.76
GE-Line	580	1350	0.51
MAPLE04	100	125±25	0.5±0.25

실험 해역의 해양 환경 특성 파악을 위해 CTD와 XBT에 의해 관측된 수온과 염분 자료를 분석하였다. 분석 결과 표층 부근에 혼합층(mixed layer)이 존재하며, 수심 10~20m 부근에 수온 약층이 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 천해 장거리 음파 전달시 표층 부근에 형성된 수온 약층은 음원으로부터 방사된

음파를 해수면 부근에서 굴절시켜 해저면에 의한 음압 손실을 증대시킨다. 실험 해역의 평균 수심은 약 123m이다.

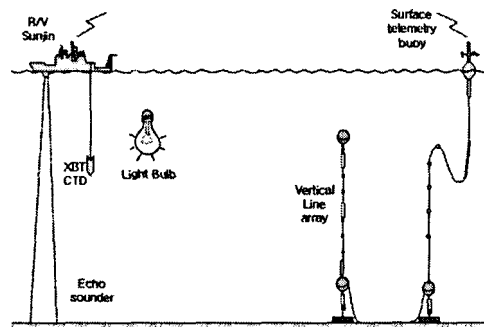


그림 1). 해상 실험 장비 설치 개요도

### 3. 자료분석 및 결과

음원 주변에 설치된 청음기로부터 획득된 수신 신호를 사용해 전구 음원 신호의 특성을 시간 영역과 주파수 영역에서 분석하였으며, 과거 발표되었던 기술 문헌과 비교하였다. 일반적으로 전구 음원의 특성은 음원 수심, 전구의 반경, 전구 유리의 두께 및 진공 상태 등에 따라 달라지며, 최고 음원 준위(peak source level; peaks SL)와 주 공진 주파수(primary resonant frequency)는 음원 수심에 의해 변화한다. 수중 음원으로서 전구는 폭발성 수중 음원인 SUS(signals underwater sound)에 비해 음원 준위는 작지만, 신호의 파형이 일정하며 주파수 영역에서 광대역 스펙트럼 특성을 나타내는 장점이 있다. 또한 펄스 길이가 짧아 천해 해양 환경에서도 다중 경로에 의한 음선 경로를 분해할 수 있다.

본 논문에서는 수심 변화에 따라 음원 주변에 설치된 청음기로부터 획득된 115 개의 수신 신호 중 비교적 수신 상태가 양호한 35 개의 수신 신호를 사용해 음원 신호 특성(신호 파형, 최고 음원 준위, 주 공진 주파수 등)을 분석하였다. 본 논문에 사용된 수신 신호의 음원 수심과 획득 수신 신호 수는 표 2에 나타내었다.

표 2) 수심에 따른 획득 수신 신호 수

ID	30m	40m	50m	55m	70m	계
K003		3				3
K004				3		3
K010					1	1
K015			2			2
K016					2	2
K020	2					2
K021			2			2
K022			3			3
K024					2	2
K026			1			1
K027			3			3
K028					2	2
K029	2					2
K030					1	1
K031			1			1
K032	3					3
K033			2			2
계	7	3	14	3	8	35

음원 주변 청음기 수심 35m 와 유사한 수심(음원 수심 40m, 3 개 수신신호)에서 폭발한 전구의 수신 신호의 특성 분석 결과 작은 음 압력(negative pressure)의 파형이 수신된 후 강한 양 압력(positive pressure)의 파형이 수신되었으며, 신호 파형이 안정적인 것을 알 수 있다. 음원 수심 40m에서 획득된 수신 신호로부터 계산된 시간 영역에서의 최고 음원 준위는 약 200.4 dB//1μPa 이며, 주 공진 주파수는 약 433.0Hz 이다. 주파수 스펙트럼 분석 결과 주 공진 주파수 약 433.0Hz 를 기준으로 주파수가 감소-증가함에 따라 음압이 감소함을 알 수 있으며, 전구 음원에 의한 주파수 밴드는 약 100~600Hz 사이인 것으로 판단된다.

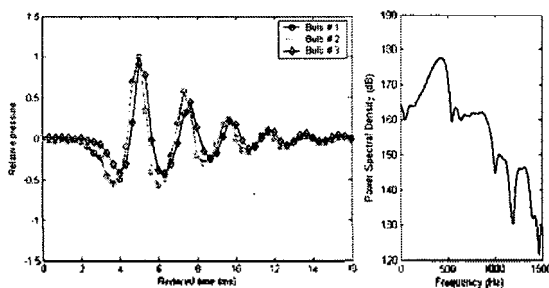


그림 2). 전구 음원 신호 파형(좌)과 파워스펙트럼(우)

수심에 따른 음원 특성 변화 분석을 위해 음원 수심 30m, 40m, 50m.. 55m, 70m 에서 수신된 35 개 신호를 사용해 최고 음원 준위와 주 공진 주파수를 계산하였다. 음원 수심 40m 와 55m 의 수신 신호는 B&K 8101

청음기에 의해 수신된 신호이며, 음원 수심 30m, 50m, 70m 의 수신 신호는 B&K 8104 청음기에 의해 수신되었다.

음원 수심 30m 에서의 평균 최고 음원 준위는 약 197 dB//1μPa 이며, 음원 수심 40m 와 55m 에서의 평균 최고 음원 준위는 약 200 dB//1μPa 이다. 음원 수심 30m, 50m, 70m 에서 계산된 최고 음원 준위의 편차가 음원 수심 40m 와 55m 에서 계산된 최고 음원 준위의 편차보다 큰 것은 B&K 8104 청음기의 수신감도가 균일하지 못했기 때문이라 판단된다.

수심에 따른 전구 음원의 특성 변화에 관한 연구는 Garry J. Heard(1997)와 Alessandro Ghiotto(2000)에 의해 수행되었다.[5][6] 두 논문의 연구 결과 전구 음원의 최고 음원 준위는 식(1)의 경향을 따르며, 주 공진 주파수는 식(2)의 경향을 나타낸다.

$$\alpha + \beta \log(h) \quad (1)$$

$$a(g(h+10))^{5/6} \quad (2)$$

여기서  $\alpha, \beta, a$  는 실험 식에 의해 결정된 상수이며,  $g$  는 중력 가속도,  $h$  는 전구 음원의 수심이다. MAPLE04 에서 사용된 전구 음원 특성 분석결과 최고 음원 준위는  $192.3 + 3.7 \log(h)$  의 경향을 나타내며, 주 공진 주파수는  $2.54 \times (g(h+10))^{5/6}$  을 따르는 것으로 분석되었다.

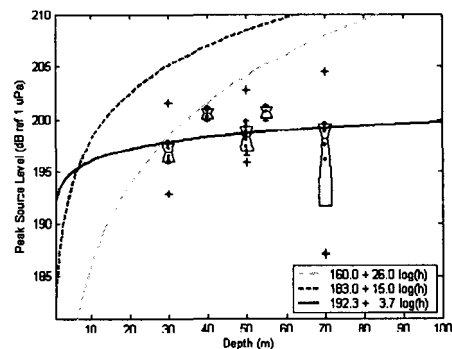


그림 3). 수심에 따른 전구 음원의 peak SL, 160.0+26.0log(h) by Garry J. Heard(1997), 183.0+15.0log(h) by Alessandro

Ghiotto(2000),  $192.3 + 3.7 \log(h)$  by  
MAPLE04

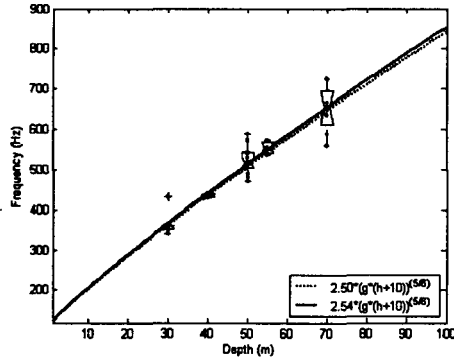


그림 4). 수심에 따른 전구 음원의 주 공진 주파수,  $2.50 \times (g(h+10))^{5/6}$  by Garry J. Heard(1997) & Alessandro Ghiotto(2000),  $2.54 \times (g(h+10))^{5/6}$  by MAPLE04

분석 결과 주 공진 주파수는 기존 연구 논문의 결과와 매우 유사함을 알 수 있으며, 최고 음원 준위의 경우는 기존 연구 논문에 비해 작은 음원 준위를 나타냈다. 이는 기존 연구 논문과 유사한 전구를 사용했지만 전구의 격발 형태와 전구 유리 벽 두께의 차이 때문이라 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 동해항 부근에서 수행된 MAPLE04 해상 실험 자료를 사용해 전구 음원의 신호 파형과 수심에 따른 최고 음원 준위와 주 공진 주파수의 변화 특성을 분석하였다. 분석 결과 신호 파형이 안정적인 것으로 판단되며, 수심에 다른 최고 음원 준위는  $192.3 + 3.7 \log(h)$ 의 경향을 따르며, 주 공진 주파수는  $2.54 \times (g(h+10))^{5/6}$ 을 나타냈다. 또한 동일 수심에서의 연속 측정 자료 분석 결과 같은 수심에서의 신호 특성 역시 안정적인 것으로 나타났다. 따라서 천해에서 음향 파라미터 역산을 위한 저주파 광대역 음원으로 사용 가능할 것으로 판단된다. 그러나 음원 격발 방법, 유리 벽의 두께와 크기에 따라 특성이

변화함으로 음원으로 사용하기 전 충분한 특성 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 오선택, 나정열, 오택환, 박정수, 나영남, 김영규, "한국 동해에서 토모그래피용 신호를 이용한 음파 도달시간의 시변동성", 한국음향학회지, 제 20 권, 5 호, pp.93-99, 2001.
2. 오택환, 오선택, 나정열, 유승기, 김영신, "해양음향 토모그래피를 위한 개선된 빔형성 역산 기법", 한국음향학회지, 제 22 권, 8 호, pp.645-651, 2003.
3. Taekwan Oh, Suntaek Oh, Jungyul Na, Joung-Soo Park, "Acoustic Tomography of Coastal Ocean(ATCO)", The 32<sup>nd</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Eng., Inter-noise 2003.
4. Patrick Pignot and N. Ross Chapman, 2001, "Tomographic inversion of geoacoustic properties in a range-dependent shallow-water environment", *J. Acoustic. Soc. Am.* 110(3), pp. 1338-1348, 2001.
5. Garry J. Heard, M. McDonald, N. R. Chapman, and L. Jashke, "Underwater light bulb implosions- a useful acoustic source", IEEE Ocean '97, 1997.
6. Alessandro Ghiotto, J. D. Penrose, "Investigating the acoustic properties of ther underwater implosions of liht globes and evacuated spheres", Australian Acoustical Society conference, 2000.