

동해에서 SUS-해양음향 토모그래피를 이용한 수직단면 역산

오선택, 나정열, 최지웅
한양대학교 지구해양학과
심태보, 최진혁, 정문섭, 박정수
국방과학연구소

Inverting Vertical-Slice Tomography Measurements in the East Sea using Explosive Charges

Suntaek Oh, Jungyul Na and Jee Woong Choi

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang university, Korea

Taebo Shim, Jin Hyuk Choi, Mun Sub Jurng and Joungsoo Park

Agency for Defense Development

본 논문은 수중음향특화연구센터 연구비 지원에 의한 결과임.

동해 울릉분지에서 1998년 8월 수중 폭발성 음원인 SUS를 이용하여 수온구조를 파악하기 위하여 해양음향 토모그래피 실험을 수행하였다. 실험은 관측해역 중앙에 수직선배열 수신기(수심 270-360m, 10개)를 설치하고 수신기를 중심으로 반경 30km와 60km에서 항공기를 이용하여 SUS charge(244m)를 36개 지점에 투하하였다. 역산결과와 비교하기 위해 AXBT를 이용하여 각 지점에 대한 수직 수온관측이 동시에 수행되었다. 도달시간 계산을 위해 폭발 수심 및 시간은 실험식을 이용하였으며 이를 이용하여 음선경로별 도달시간을 관측하였다. 수직단면 수층을 여러 층으로 나누어 격자별 음선 전파거리를 계산, 표준해양에 대한 도달 시간 차이를 이용한 역산 결과는 관측결과와 비교했을 때 각각의 결과는 차이가 있었으나 전반적인 경향은 유사하게 나타났다.

1. 서론

해양 음향 토모그래피는 과학적 측면에서 수중음향 신호를 이용하여 해양의 다양한 규모(대규모/중규모/소규모)의 현상을 파악하고자 함이며, 군사적 측면에서 해군 작전 운용상 다양한 해황에 따른 신호의 변형효과를 파악함으로써 대상해역의 신호변형 특성을 효과적으로 제거하여 용이하게 원하는 신호를 수신하기 위함이다. 토모그래피 기술은 대상해역에 대한 신호의 도달

시간 차이 등을 이용하여 수평 및 수직단면에 대한 환경변수를 역추정할 수 있다. 해양음향 토모그래피 기술을 이용하여 대양의 해양내부 수온변화 관측 및 이를 이용한 지구온난화 등의 연구가 진행되고 있으며 해수면 및 해저면 상태 역추정과 같은 응용단계로 접근해 가는 수준에 이르고 있다. 동해에서 실시간 해양탐사를 위한 방법으로 송신기와 수신기를 고정 설치하는 방법보다 폭발성 음원인 SUS(Signal Underwater

Sound)를 이용한 해양음향 토모그래피 방법을 제시한 바 있다[1]. 최근 SUS-OAT 실험은 지중해와 동해에서 성공적인 실험결과를 보고한 바 있다[2][3][4][5]. 본 논문에서는 98년 8월 SUS-OAT 실험에 의한 도달시간 관측자료를 이용 분석하여 울릉분지에서의 수직단면에 대한 역산을 하여 실관측 결과와 비교하였다.

2. OAT 실험

실험은 동해의 울릉분지 해역에서 1998년 8월 11일에 수행되었다(Fig. 1). 이 해역은 수심이 약 2000m 내외로 실험시 평균 수직 음속구조는 표층의 음속이 가장 빠르며 수심 m에서 최소음속을 나타낸다(Fig. 2). 실험을 위해 항공기를 이용하여 음원인 SUS를 원형으로 투하하였고 수신선박을 이용하여 수직선배열 수신기를 설치하였다. SUS(MK64 Mod 0)의 폭발수심은 244m(800feet)이며 외원의 경우 수신기를 원점으로 약 15도 간격으로 24개, 내원은 약 30도 간격으로 12개를 투하하였고 수신기는 수심 270~360m까지 10m 등간격으로 설치되었다(Fig. 1). 또한 OAT에 의한 계산결과와 비교하기 위하여 16개의 AXBT(airborne expandable bathythermograph)를 실험구역에 투하하여 수온구조를 관측하였다.

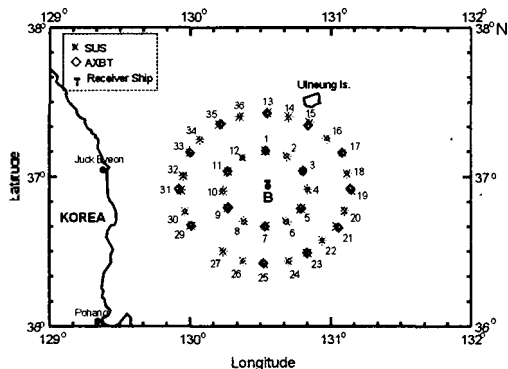


Fig. 1. Location maps of the SUS-OAT experiment (Aug. 11, 1998). The positions of the SUS, AXBT drops are marked with "*" and "O", respectively.

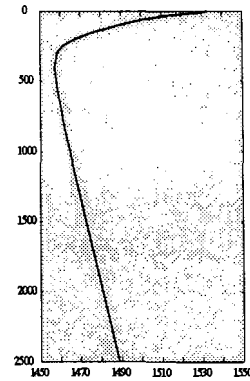


Fig. 2. Reference sound speed profile of the Ulleung Basin of the East Sea.

3. 분석

해양음향 토모그래피 수행을 위해 우선적으로 해결해야 하는 것은 수신신호에 대한 식별이다. 일반적으로 SUS 신호는 광대역 신호로서 충격파와 기포파로 구성되며 음파의 굴절, 반사 및 다중경로 효과에 의해 신호의 식별에 어려움이 있다(Fig. 3)[6]. 이를 해결하기 위해 주파수 대역에 따른 신호의 특징을 이용 웨이블릿 방법을 이용하여 충격파와 기포파를 분리하였다. Fig. 3은 1개의 SUS 신호에 대한 VLA의 수신신호를 나타낸 것으로 왼쪽축의 채널번호는 수심 270~360m까지의 10간격의 각 센서번호를 나타낸다.

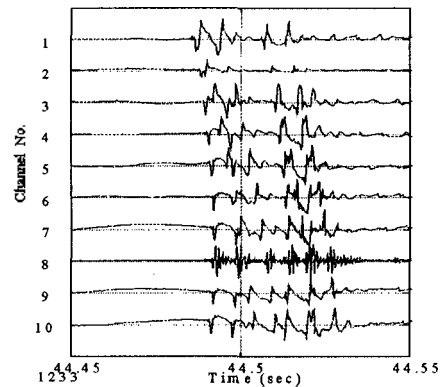


Fig. 3. Received acoustic signals(shot 1)

SUS 신호에서 수신기까지의 도달시간을 계산하는 과정에는 여러가지 오차가 포함될 수 있다. 음원 및 수신기에서 GPS 에 의한 위치오차, 폭발 수심 오차, 공중투하 및 하강 시간 오차 등에 의한 도달시간의 불확실성은 역산시 영향을 미친다. 이러한 오차를 최소화하기 위해 수신된 신호에서 가장 먼저 도달한 신호와 표준해양에서의 음선경로중 가장 먼저 도달한 음선의 도달시간을 같다고 가정하고 이후에 도달한 신호는 음속 구조가 표준해양과 비교할 때 변화가 있는 층을 통과한 것이므로(Fig. 3의 음선번호 1) 이들 수신 신호와 각 음선경로의 상대적인 도달시간차이를 이용하여 역산을 시도하였다(Fig. 3).

수직단면 역산을 위해 수직적으로 해수면 ~100m, 100~150m, 150~200m, 200~250m, 250~300m, 300~350m, 350~400m, 400~1000m, 1000~해저면까지 9 개의 층을 나누어 격자를 구성하였다. 역산은 각 SUS 투하지점과 수신기사이의 음파도달시간과 음향모델에 의한 고유음선(eigenray) 정보 및 각 층의 음선경로 길이를 이용하여 실시하였다. 역산은 SVD(singular value decomposition) 방법을 이용하였다.

4. 수직역산 결과

수직단면에 대해 9 개의 격자를 구성하여 역산한 결과, 해수면에서 100m 사이의 층을 지나는 음선은 없었으므로 역산결과는 표준해양의 음속으로 계산되었고 100m 이하의 계산결과는 SUS와 수신기 사이의 AXBT 측정자료와 비교할 때 전반적으로 유사한 결과를 나타냈다(Fig. 5.) Fig. 5의 a)와 b)는 수신기를 기준으로 약 30km 위치의 SUS 신호에 대한 역산 결과이며 c)와 d)는 동일한 방향의 약 60km 위치의 SUS에 대한 역산결과를 표시한 것이다. AXBT에 의한 관측자료는 수심 약 350m 까지 수집되었으며 그 이하 수심은 표준해양의 자료를 표시하였다. AXBT의 분해능은 약 0.28°이고 수심 200m 이하에서 AXBT 자체오차를 포함하고 있다. 역산결과에서 수심 250m 이하층에서는 관측자료와의 차이가 매우 작게 나타난 반면 수심 100~250m 층에서는 다소 차이가 나타났다. 이는 상부층을 통과하는 음선 정보가 적어 매질정보가 충분하지 않은 문제에서 기인한 것으로 판단된다. 그러나 역산결과는 음원과 수신기 사이의 수평층에 대한 평균 분포를 계산한 것이므로 전반적인 경향은 잘 일치한다고 할 수 있다. 상층부의 오차를 최소화하기 위해 음원의 수심을 변경하여 상층을 통과하는 음선의 수를 증가시켜 역산모델에 사용하는 방

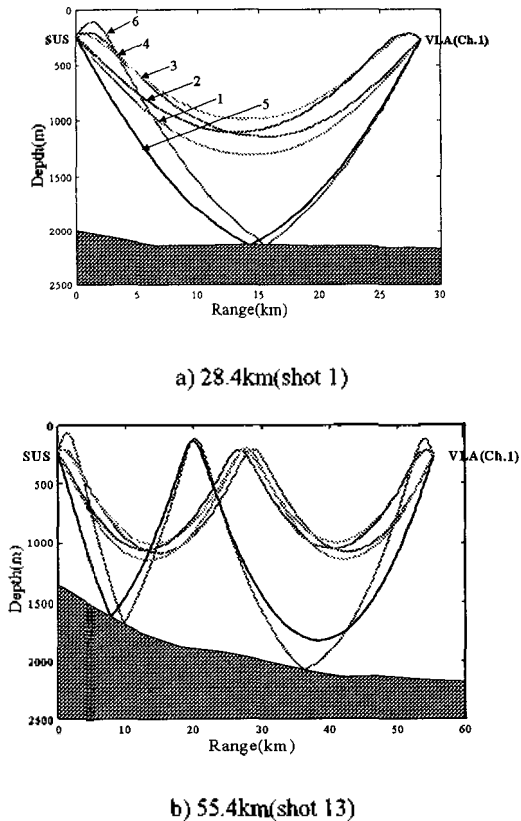


Fig. 4. Eigenray trace between SUS and VLA (Ch.1, 244m) constructed for the canonical ocean.

법을 제시할 수 있다.

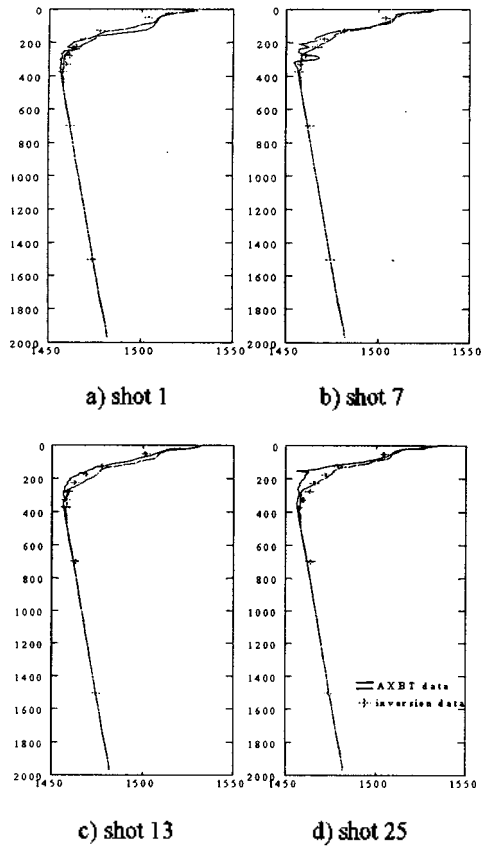


Fig. 5. Comparison of tomographic and AXBT data.

5. 결론 및 토의

본 논문은 동해 울릉분지에서 SUS 롤 이용하여 수행된 해양음향 토모그래피 실험자료를 이용하여 수직단면에 대한 음속구조를 역산하였다. 수신기를 중심으로 약 30, 60km의 원형으로 SUS 롤 투하하여 수신된 신호의 도달시간과 표준해양에 대한 고유음선의 도달시간 차이를 이용하여 수직단면에 대한 음속구조를 추정하였다. 수심이 깊은 경우 역산결과는 잘 일치하였으나 상층부의 경우 다소 차이를 나타냈다. 이는 실험 특성상 음원의 위치에 의해 상층부에 전달되는 음선이 적었기 때문으로 판단된다. 역산에 필요

한 도달시간차이를 추출하기 위한 방법으로 지금까지 절대적인 도달시간 차이를 이용하는 방법이 아닌 기준음선에 대한 상대적인 도달시간 차이를 이용하였다. 역산결과에 의하면 이러한 방법은 SUS와 같이 많은 실험오차를 포함하고 있는 경우 사용할 수 있다고 판단된다.

6. 참고문헌

- [1] 나정열, 1996, 해양음향 토모그래피를 이용한 해양탐사 기술 연구, 한국과학재단 연구보고서 93-0700-04-01-3, 135pp.
- [2] J. K. Lynch, von der Heydt, C. Eck, D. Peters, C.-S. Chiu, K. Smith and J. Miller, 1997, Acoustics Portion of the New England Shelfbreak Front PRIMER Experiment, Internet web site, <http://www.oal.whoi.edu/AO/topics/Primer>.
- [3] S. K. Han and J. Y. Na, 1997, Ocean acoustic tomography to observe the mesoscale variability of temperature fields in shallow water, WESTPRAC IV, 19-21 Nov. 1997, Hong Kong, 430-435.
- [4] J. Y. Na, S. K. Han and T. Shim, 1998, Ocean acoustic tomography using explosive charges to observe the submerged mesoscale oceanic variability in the East Sea of Korea, 16th ICA and 135th ASA, 20-26 Jun., 1998, Seattle, 389-390.
- [5] 한상규, 나정열, 이성욱, 심태보, 최진혁, 정문섭, 박정수, 1998, 동해에서 SUS-해양음향 토모그래피를 적용한 해양내부 수온관측 : 예비결과, 한국음향학회학술발표회 논문집, Vol. 17, No.2(s), 141-146.
- [6] J. M. Hovem, 1970, Deconvolution for removing the effects of the bubble pulses of explosive charges, *J. Acoust. Soc. Am.*, 47, 281-284.