

수직선배열센서를 이용한 정합장처리에서 음속분포 오정합에 의한 음원 위치추정에 관한 연구

변양현, 박재은, 김재수

한국해양대학교 해양공학과

A Study on the Mismatch of Sound Speed Profile in Source Localization Based on MFP

Yang-Hun Byun, Jae-Eun Park, Jea-Soo Kim

Dept. of Ocean Engineering, Korea Maritime Univ.

E-mail : k981068g@hanbada.kmaritime.ac.kr

요약

수동소나체계에서 음원의 위치와 관련된 매개변수를 산출하기 위해 정합장처리(Matched Field Processing)가 이용된다. 본 연구에서는 수직선배열센서를 이용한 정합장처리에서 음원 위치추정에 영향을 미치는 다양한 요인 중, 수직음속분포 오정합(mismatch)에 의한 영향을 MV 프로세서(Minimum Variance Processor)를 이용하여 모의 실험함으로써 그 결과를 분석하였다. 천해 모의 환경에서 동일한 기울기로 증감하는 수직음속분포 오정합은 음원 위치추정에서 거리성분의 오차를 가지며, 상이한 기울기를 갖는 수직음속분포 오정합은 거리와 수심 성분의 오차가 유발됨을 확인할 수 있었다. 심해 모의 환경에서 수직음속분포 오정합은 거리와 수심 성분의 오차가 유발되고, 거리추정의 전반적인 경향은 천해의 동일한 기울기를 가지는 경우와 유사함을 확인할 수 있었다.

I. 서론

정합장처리에서 음원의 위치추정은 선배열센서

에서 측정된 음장과 예상되는 모든 음원의 위치에 대한 replica 음장의 상관관계를 이용한다. 이러한 Replica는 환경 매개변수가 지배적으로 작용하는데, 이런 매개변수는 음속분포(Sound-speed profile), 해수면의 거칠기와 해저면 특성, 즉 압축속도, 전단속도, 음속구배, 층의 수심, 거칠기 등이 포함된다.

본 연구에서는 수직선배열센서를 이용한 음원 위치추정에 영향을 미치는 요소 중, 수직음속분포라는 환경요소에 대하여 음원 위치추정 결과를 MV(Minimum Variance) 프로세서를 이용하여 모의 실험함으로써 정합장처리에서 수직음속분포가 음원의 위치추정 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 이론적 배경

1. 음속분포 오정합에 대한 연구동향

정합장처리에서 오정합을 유발하는 요인으로는 음속분포, 수심, 해저면의 음향특성, 수직선배열센서의 tilt 등으로 크게 구분되며, 그 중에서도 음속분포 오정합에 의한 영향이 우세하다.

을 저하시킴을 보였고[2], Porter는 음속분포의 오차가 MV 프로세서에 미치는 영향을 분석하여 음원이 원거리에 위치할수록 음속 오정합의 영향이 큼을 보였다.[3] Tolstoy는 음속분포 오정합에 따른 위상 오차와 진폭 오차를 거리-수심별로 나타내고 이것에 근거한 선배열센서 배치방법에 대하여 연구하여, 위상과 진폭 오차가 큰 지역에 선배열센서를 배치할 경우 정합장처리 성능이 저하됨을 보였고,[4] Feuillade는 계절에 따른 음속분포의 오정합에 의해 음속의 불연속성(discontinuity)이 정합장처리에 미치는 영향을 분석하여 여름의 음속분포 오정합이 겨울보다 큰 영향을 받는 것을 확인하였다.[5]

2. MV 프로세서

일반적으로 정합장처리에 사용되는 프로세서는 배열에서 측정된 음장과 replica를 어떠한 방법으로 상관시키는가에 의해 Bartlett 프로세서, MV 프로세서, Matched Mode 프로세서 등으로 나누어진다.

본 연구에 사용한 MV 프로세서는 정합장처리에서 이용되는 여러 프로세서 중에서 Bartlett 프로세서와 함께 가장 널리 사용되는 것으로서 Bartlett 프로세서와 비교하여 sidelobe 성분을 억제하여 해상도(resolution)를 향상시키는 특성을 갖는다.

표준화된 MV 프로세서는 다음과 같다.

$$Z_{MV}(r, z) = \frac{d(r, z) + d(r, z)^+}{d(r, z) + R^{-1}d(r, z)} \quad (1)$$

여기에서 $d(r, z)$ 은 replica 벡터, $+$ 는 conjugate transpose이고, R 은 음원의 위치정보를 포함하고 있는 공분산행렬(covariance matrix)이다. 공분산행렬 R 은 다음과 같은 식에 의해 구할 수 있다.

$$R = \frac{1}{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} x_n x_n^+ \quad (2)$$

여기에서 x_n 은 배열에서 측정된 음장이고, N_s 는 snapshot의 갯수이다.

MV 프로세서에서 공분산행렬 R 을 역변환할 때, 행렬의 안정성을 높이기 위해 음원 위치정보를 가지고 있는 R 의 대각성분에 일정한 값을 더한 R_I 을 다음과 같이 사용하였다.[1]

$$R_I = R + \epsilon I \quad (3)$$

여기에서 I 는 단위행렬이고, ϵ 은 대각성분의 첨가 요소인데, 본 연구에서는 $\epsilon = 0.01$ 을 사용하였다.

III. 모의 실험

본 연구에서는 음원 위치추정에 영향을 미치는 해양환경요소 중에서 수직음속분포의 오정합이 위치추정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모의 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 모의 환경은 거리에 독립적인 환경으로서 천해와 심해, 두 가지 경우로 정하였다.

천해 모의 환경은 수심 100m, 해저면 매질은 밀도가 $2.0g/cm^3$, 감쇠계수가 $0.1dB/\lambda$, 수직음속분포는 1800m/s로 고정된 음향학적 반공간(halfspace)으로 정하였고, 사용한 음원의 주파수는 250Hz, 수심 70m이고 수직선배열센서로부터 8km 떨어진 것으로 가정하였다.(그림 1)

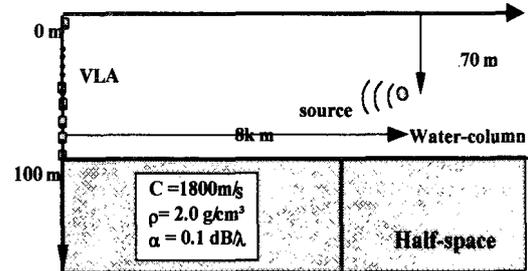


그림 1. 천해 모의 환경

심해 모의 환경은 수심 1000m, 해저면 매질은 천해 모의 환경과 동일하고, 사용한 음원의 주파수는 50Hz, Case I의 경우는 수심 100m, Case II의 경우는 수심 240m, Case III은 수심 60m이고 각각의 경우 모두 선배열센서로부터 16km 떨어진 것으로 가정하였다. 그림 2는 Case I에 대한 모의 환경을 나타낸 것이다.

각 환경에서 사용한 센서의 수는 천해의 경우 0m에서 100m까지 10m 간격으로 21개를 사용하였고, 심해의 경우 Case I은 0m에서 250m까지 10m 간격으로 26개, Case II, III은 0m에서 300m까지 12m 간격으로 26개를 사용하였다.

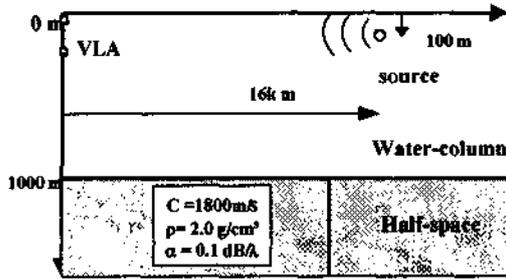


그림 2. 심해 모의 환경(Case I)

실험 방법은 먼저, 각 환경에 대하여 기준이 되는 수직음속분포를 정하고, 전달손실모델 중에서 정상모드모델인 Kraken 전달손실모델을 이용하여 각 환경에 대한 replica를 구한 다음, 음원의 위치 정보를 가진 공분산행렬과 replica를 MV 프로세서에 적용하여 결과를 산출하였다. 다음으로 음속 분포를 변화시키면서 변화된 음속분포에 대한 replica를 구하고, MV 프로세서에 적용하여 산출된 결과를 기준 음속분포를 사용하여 산출된 결과와 비교하여 수직음속분포 오정합에 대한 음원 위치추정 결과를 분석하였다.

그림 3, 4는 각 모의 환경에 사용된 음속분포이다.

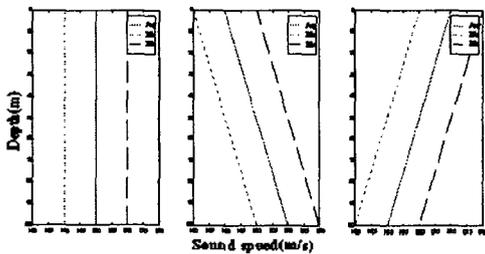


그림 3. 천해 모의 환경에 사용된 음속분포

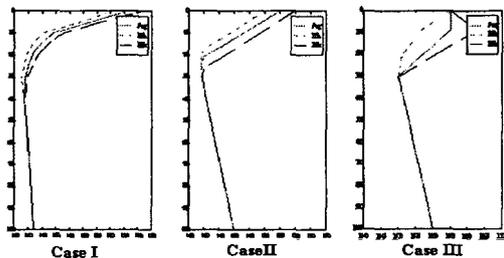


그림 4. 심해 모의 환경에 사용된 음속분포

IV. 실험 결과 분석

모의 실험 결과 수직음속분포 오정합이 음원 위치추정에 미치는 영향은 천해의 경우, 동일한 기울기를 갖는 오정합에 대한 영향과 상이한 기울기를 갖는 오정합에 대한 영향으로 구분된다.

표1은 천해 모의 환경에서 동일한 기울기를 갖는 음속분포 오정합의 음원 위치추정 결과를 나타낸 것이다. 음원 위치추정 결과 음원 환경의 음속보다 음속이 감소하는 환경의 replica를 적용한 위치추정에서 실제 음원이 위치한 거리보다 원거리를 추정하였다. 그리고 음속이 증가하는 환경의 replica를 적용한 위치추정은 거리추정에서는 음속이 감소하는 환경과는 달리 실제 음원이 위치한 거리보다 근거리를 추정하였다.

구분	모의 음원 음속분포 (%)	Replica 음속분포 (%)	추정 거리 (km)	추정 수심 (m)
등음속분포	1500	1490	8.05	70
		1500	8	70
		1510	7.95	70
양음속분포 (해수면-해저면)	1490-1510	1480-1500	8.05	70
		1490-1510	8	70
		1500-1520	7.95	70
부음속분포 (해수면-해저면)	1510-1490	1500-1480	8.05	70
		1510-1490	8	70
		1520-1500	7.95	70

표1. 천해 모의 환경에서 동일한 기울기를 갖는 음속분포 오정합의 음원 위치추정결과

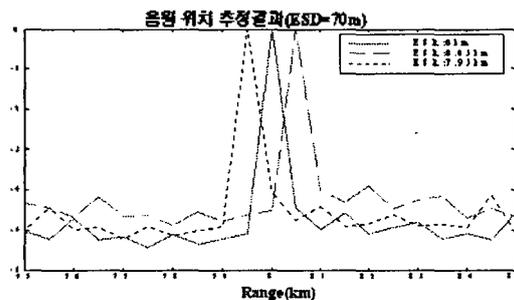


그림 5. 천해 모의 환경에서 음원 위치추정 결과

표2는 천해 모의 환경에서 상이한 기울기를 갖는 음속분포 오정합의 음원 위치추정 결과를 나타낸 것이다. 동일한 기울기를 갖는 음속분포 오정합의 음원 위치추정 결과와는 다르게 음원의 수심추정과 거리추정, 모두 오차가 발생함을 확인할 수 있다.

모의 음원 환경 음속분포 (%)	Replica 음속분포 (해수면-해저면) (%)	추정거리 (km)	추정수심 (m)
1500	1490-1510	8.45	55
	1510-1490	6.15	80
1490-1510 (해수면-해저면)	1500	9.35	70
	1510-1490	7.51	80
1510-1490 (해수면-해저면)	1490-1510	2.85	25
	1500	1.7	95

표2. 천해 모의 환경에서 상이한 기울기를 갖는 음속분포 오정합의 음원 위치추정결과

표3은 심해 모의 환경에서 음속분포 오정합의 음원 위치추정 결과를 나타낸 것이다. 수심과 거리추정 모두 오차가 있으나, 거리추정은 천해의 동일한 기울기를 가지는 경우와 같이 음속분포 증감에 따라서 실제 음원의 위치보다 각각 근거리, 원거리로 추정하였다.

구분	모의 음원 환경 음속분포 (%)	Replica 음속분포 (%)	추정거리 (km)	추정수심 (m)
Case I	Avg.	Min.	16.08	100
		Avg.	16	100
		Max.	15.96	100
Case II	Avg.	Min.	16.36	72
		Avg.	16	240
		Max.	15.64	72
Case III	Avg.	Min.	16	60
		Avg.	16	60
		Max.	15.64	72

표3. 심해 모의 환경에서 음속분포 오정합의 음원 위치추정 결과

V. 결론

본 연구에서는 수직선배열센서를 이용한 음원 위치추정에 영향을 미치는 요인 중, 수직음속분포 오정합에 의한 음원 위치추정 결과를 MV 프로세서를 이용하여 모의 실험하였다. 모의 실험 결과 천해 모의 환경에서 음속분포가 동일한 기울기를 갖는 오정합은 음원 위치추정에서 거리추정에 대한 오차가 있으나 음속분포의 증감에 따라 각각 근거리, 원거리로 위치를 추정하였고, 상이한 기울기를 갖는 오정합은 수심과 거리추정에 각각 영향이 있음을 확인하였다. 심해 모의 환경에서는 복잡한 음속분포의 오차에 의하여 음원의 위치추정에서 수심과 거리추정 모두가 지배적으로

작용함을 확인하였고, 거리추정은 천해의 동일한 기울기를 가지는 경우와 유사함을 확인할 수 있었다.

VI. 참고문헌

- [1] A.Tolstoy, "Matched field processing for underwater acoustics", World Scientific (1993)
- [2] Bucker. H.P., "Use of calculated sound fields and matched-field detection to locate sound source in shallow water", J. Acoust. Soc. Am. 59, 368-373.(1976)
- [3] Porter. M.B., R.L. Dicus, and R.G. Fizell, "Simulations of Matched-Field Processing in a Deep-Water Pacific Environment", IEEE J. Oceanic Eng. 12, 173-181.(1987)
- [4] Tolstoy. A., "Sensitivity of matched field processing to sound speed profile mismatch for vertical array in a deep-water Pacific environment", J. Acoust. Soc. Am. 85, 2394-2404.(1989)
- [5] Feuillade, C., D.R. DelBalzo, and M.M.Rowe, "Environmental mismatch in shallow water matched field processing : Geoacoustic parameter variability", J. Acoust. Soc. Am.85, 2354-2364.(1989)
- [6] Donald F. Gingras, "Methods for predicting the sensitivity of matched-field processors to mismatch", J. Acoust. Soc. Aml. 86, 1940-1949 (1989)
- [7] E.C. Shang and Y.Y. Wang. "Environmental mismatching effects on source localization processing in mode space", J. Acoust. Soc. Am. 89, 2285-2290 (1991)