

# 무인잠수정의 위치추정을 위한 동적단기선 방식의 수중초음파 위치추적시스템 개발

김준영\*, 변승우\*

\*제주대학교 해양시스템공학과  
e-mail:jkim@jejunu.ac.kr

## Development of Slowly moving Short Baseline Underwater Acoustic Positioning System for Estimating the Position of Unmanned Underwater Vehicle

Joon-Young Kim\*, Seung-Woo Byun\*

\*Dept of Ocean System Engineering, Jeju National University

### 요 약

본 논문에서는 수중에서 이동하는 무인잠수정 및 수중이동체의 위치를 측정하는 방법 중의 하나인 동적 단기선 방식(SBL)에 의한 무인잠수정의 위치추정에 대한 방법을 하이드로폰과 DAQ(Data Acquisition) 시스템을 이용하여 수조에서 테스트를 수행하였고, 실 해역에서의 실험을 실시하였다. 실험을 위해서 4개의 센서가 수조의 벽면에 고정되어 있으며, 이동체와 고정된 4개의 센서가 신호를 송수신함으로써 상호간의 위치추적이 가능하게 하는 시뮬레이션을 실시하였으며, 제안하는 SBL시스템과 장기선 방식(Long baseline)을 비교하기 위한 시뮬레이션을 실시하여 두 시스템을 비교하였다. 측정된 신호는 DAQ 시스템을 이용하여 데이터를 취득하였고, Labview 프로그램을 이용하여 실시간으로 무인잠수정의 위치를 추정하였다. 위치추정에 사용된 알고리즘은 삼각측량법에 의한 방법을 사용하였으며, X, Y방향에 대해서는 비교적 오차가 적은 추정 결과를 나타내었으나 Z방향에 대하여서는 큰 오차를 보여 데이터로 사용할 수 가 없었다. 이는 수중이동체의 수심측정 센서를 이용하여 보완할 수 있을 것으로 본다. 향후 연구로는 위치추정 알고리즘을 보완하여 실제 선박 선저부에 센서가 부착되었을 경우에 대한 적용연구를 진행할 예정이며, 위치추정 알고리즘을 발전시켜 3차원에서의 정확한 위치 추적을 가능하게 할 예정이다.

### 1. 서론

육상 자원의 고갈과 더불어 해양 광물자원의 가치가 커지고 있다. 그러나 해양 광물자원은 대부분 심해에 부존해 있기 때문에 자원조사 및 채굴에 있어 많은 어려움이 따른다. 국내의 심해저 광물자원 개발의 경우 최종 개발광구 선정을 위해 대부분의 조사는 수중 비디오카메라에 의존해 왔다. 효율적인 해저 유전 발굴과 수중병기 또는 잠수함의 수중 거동 등을 수상에서 관찰하기 위한 군사적 목적으로 수중탐사에 대한 기반 요소기술이 급격히 발전하면서, 선박 또는 석유시추선의 수상위치뿐만 아니라 수중에서

실제 활동하는 장비 및 사람의 수중위치 파악이 가능한 시점에 와 있다. 또한 다방면 관련 기술들이 상업 및 과학용으로 확산되면서 다양한 기법 및 장비들이 폭 넓게 개발되고 있다.

수중 환경 보호 및 자원 개발을 위하여 수중 작업용 로봇 및 무인 잠수정 등 많은 장비들이 개발되었거나 연구가 진행 중에 있다. 이러한 연구에 발맞추어 장비들의 수중에서 장비의 위치를 정확하게 파악할 수 있는 기술 개발 또한, 작업 수행 능력 향상 및 장비의 보호 차원에서 꼭 필요한 기술이다. 수중환경에서의 위치추적 기술은 3차원 공간상에서 얼마만큼

이동체의 위치를 정확하게 추정할 수 있는가하는 신뢰성 있는 좌표의 추정이 관점인 것이다[1,2,3].

수중운동체의 위치를 실시간으로 추적하는 방식은 크게 세가지 형태로 구별된다. 가장 먼저 고안되고 사용되어 그 신뢰도가 검증된 방식이 LBL(Long Baseline) System으로 해저에 수개의 고정된 기준점을 설치한 후 그 영역 내에서 이동하는 물체의 위치를 추적하는 방식이다. 이 방식은 수심에 관계없이 정밀하게 위치정보를 취득할 수 있는 반면 최대 수중통신 거리의 제약 때문에 이동체의 허용범위에 제한된다. 따라서 이 방식은 광역탐사에는 다소 부적합하지만 심해저 우선채광지역의 정밀조사 등 좁은 영역의 정밀 위치추적에는 권장할 수 있는 방식이라 할 수 있다. 두 번째 방식은 SBL(Short Baseline) System인데 이는 심해저에 고정된 기준점으로 인한 이동영역의 제약을 없애기 위해 해저에 설치했던 수개의 기준점을 수상에 위치한 선박으로 옮겨 넓은 해역의 탐사를 지속적으로 빠르게 수행하려는 방식이다. 이 방식을 채택하는 경우 수상선과 수중이동체는 일정 거리 범위 내에서 함께 이동해야 하고, 선박의 운동을 별도로 고려하여야 한다. 이러한 SBL방식을 응용한 세 번째 방식이 SSBL(Super Short Baseline)인데, 수상선에 설치되는 기준점의 상대거리(Baseline)를 10~50cm로 좁혀 설치 및 운영을 좀 더 용이하게 개량한 방식이다. 이 방식은 현재 세계적으로 상용화 되어 유전개발지역에 활용되고 있으나 짧은 baseline으로 인해 운용 수심에 제약이 있는 상태이다.

본 연구에서는 SBL System을 이용하여 수중 이동체의 위치를 파악하고자 하며, 삼각측량법을 이용하여 수중이동체의 위치를 계산하였다[5]. 본 논문의 구성은 2장에서 위치 추정에 사용된 방법을 설명하고, 3장에서는 SBL System의 하드웨어 구성을 다룬다. 4장에서는 수조에서의 성능시험 결과를 보여주고, 5장에서는 결론 및 향후 과제에 관한 내용을 다룬다.

**2. 위치추정 알고리즘**

본 연구에서는 4개의 센서가 고정되어 있으며 이동체와 고정된 센서가 신호를 송수신함으로써 상호간의 위치추적이 가능하게 하였다. 본 연구에서 사용한 SBL의 위치추적의 기하학적 구조는 그림 1과 같다.

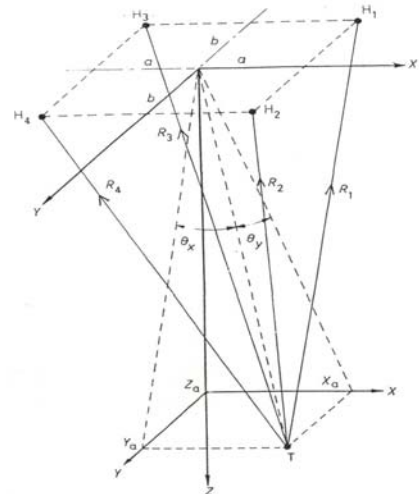
수중운동체에서 신호를 전송하고 고정체에서 신호를 수신하여 이동체와 고정체 사이의 시간지연을 측정하였을 때 이동체와 고정체 i 사이의 시간지연(TOA, Time of Arrival)  $t_i$  와 i 번째 고정체에서

수중운동체까지의 거리  $R_i$ 의 관계는 다음과 같다.

$$R_i = ct_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} \tag{1}$$

위 식(1)에서 (x,y,z)는 이동체의 좌표를 의미하며,  $(X_i, Y_i, Z_i)$  는 i번째 고정체의 좌표값을 나타내며, c는 음속(Sound Velocity)을 의미한다. 음속은 여러 요소에 의하여 변화하지만 일반적으로 1500m/s이다.

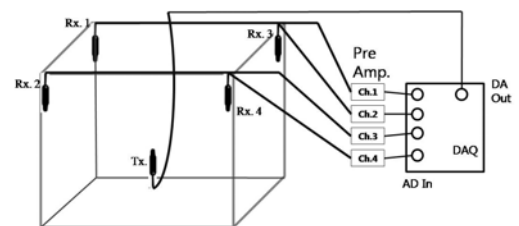
$$\begin{aligned} x &= [(R_3^2 - R_1^2) + (R_4^2 - R_2^2)]/8a & (2) \\ y &= [(R_1^2 - R_2^2) + (R_3^2 - R_4^2)]/8b \\ z &= < [R_1^2 - (x-a)^2 - (y+b)^2]^{1/2} \\ &+ R_2^2 - (x-a)^2 - (y-b)^2]^{1/2} \\ &+ R_3^2 - (x+a)^2 - (y+b)^2]^{1/2} > /4 \end{aligned}$$



[그림 1] Symmetrical planar hydrophone array for position estimation [5]

**3. 위치추적 시스템의 구성**

본 연구에서는 2장에서 제시된 위치추적 알고리즘의 성능 검증 및 실제 수조에서의 테스트를 위하여 NI사의 DAQ시스템을 이용하여 하드웨어를 설계하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 위치추적 시스템의 개념도를 나타낸다.

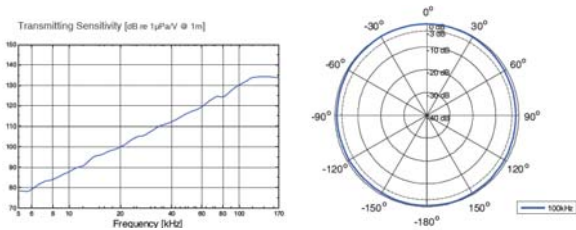


[그림 2] Schematic design of SBL system

본 연구에서 사용된 센서는 RESON사의 TC4013 모델을 사용하였으며, 그림 3의 왼쪽과 같으며, 신호의 증폭을 위해 사용된 Pre Amp.는 그림 3의 오른쪽 그림과 같다. TC4013의 Transmitting Sensitivity는 그림 4의 왼쪽의 그림과 같으며, 본 실험에서는 100kHz로 신호를 내보냈다. Horizontal directivity pattern은 그림 4의 오른쪽 그림과 같이 전방향성을 갖는 센서이다.



[그림 3] TC4013 Hydrophone and Pre-Amp.



[그림 4] TC4013 Hydrophone Sensitivity and directivity

본 실험에서 사용된 DAQ 시스템은 다음의 그림 5와 같으며, National Instrument 사의 NI USB-6251 BNC 모델이다. Labview 프로그램과의 최적화된 시스템이며, 8개의 Analog Input을 가지고 1.25MS/s의 Sampling rate을 가지고 있다. 또한, 2개의 Analog output 단자를 가지고 있으며, 2.86MS/s의 sampling rate을 갖는다. ±10V의 입출력 범위를 가지며, 24개의 Digital I/O를 갖고 있다.



[그림 5] NI USB-6251 BNC

앞에서 언급한 Hydrophone과 Pre-Amp. 및 DAQ를 이용하여 구성한 시스템은 그림 6과 같다.

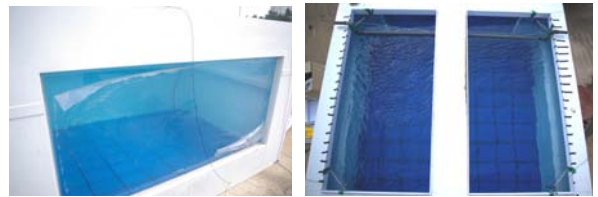
**4. 수조내 실험 결과**

본 연구에서는 구현된 위치추적 시스템의 성능을 검증하기 위하여 제주대학교 해양과 환경 연구소 내에

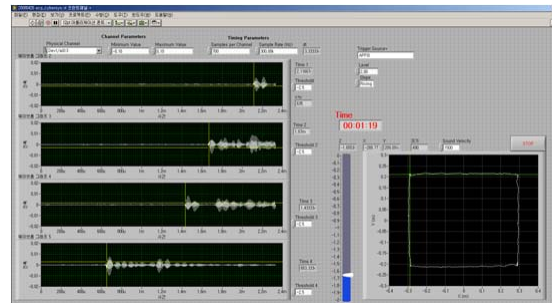
설치된 3m×3m× 1.7m의 수조에서 실험을 수행하였다. 실험에서는 함수발생기를 이용하여 100kHz의 Burst신호를 발생하였으며, 이 신호를 DAQ와 동조하였으며, 고정된 4개의 하이드로폰으로 신호를 받아들이며 300kHz의 샘플링 비율로 A/D변환을 하고, Stockton and McLennan (1975)에 의하여 제안된 위치추적 알고리즘을 통하여 수중이동체의 위치를 추정하였으며, DAQ 시스템과 LabView 프로그램을 이용하여 화면상에 위치를 나타내었다.



[그림 6] SBL System for basin test



[그림 7] Water basin for SBL test (3m×3m×1.7m)



[그림 8] LabView program of SBL system

그림 8에서와 같이 4개의 수신기로부터 얻은 신호를 대역통과 필터를 통과한 후 Stockton and McLennan 에 의해 제안된 위치 추적 알고리즘을 통하여 그림 8의 오른쪽 하단에 보이는 것과 같은 X, Y평면상에서의 위치를 나타내었다[7]. 3차원 위치는 Z방향의 측정 결과가 이동체의 이동에 따라 오차를 많이 나타내어 이에 대한 보정이 필요하며, 실제 수중이동체에는 수심측정센서를 포함하고 있기 때문에 이를 통한 값의 보정이 필요할 것으로 판단된다.

다음의 그림 9-11은 실제 실험을 통해서 얻어진 X, Y평면상에서의 송신센서의 이동에 따른 위치추정 결과를 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 수중에서 이동하는 무인잠수정 및 수중이동체의 위치를 측정하는 방법 중의 하나인 동적 단기선 방식(SBL)에 의한 이동체의 위치측정에 대한 방법을 하이드로폰과 DAQ 시스템을 이용하여 수조에서 테스트를 수행하였다. 위치추정에 사용된 알고리즘은 X, Y방향에 대해서는 비교적 오차가 적은 추정 결과를 나타내었으나 Z방향에 대하여서는 큰 오차를 보여 데이터로 사용할 수 가 없었다. 이는 수중이동체의 수심측정 센서를 이용하여 보완할 수 있을 것으로 본다. 현재의 측정신호는 AD sampling rate가 장비의 한계로 인해 작음으로 sampling되고 있고 송신신호가 미약해 측정에 오차가 있게 되므로 추후 이를 보완하고자 한다.

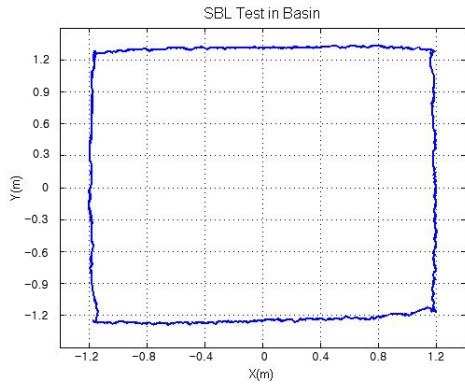
또한, 향후 연구로는 위치 추정 알고리즘을 보완하여 실제 선박 선저부에 센서가 부착되었을 경우에 대한 연구를 진행할 예정이며, 위치 추정알고리즘을 발전시켜 3차원에서의 위치 추적을 가능하게 할 예정이다.

후기

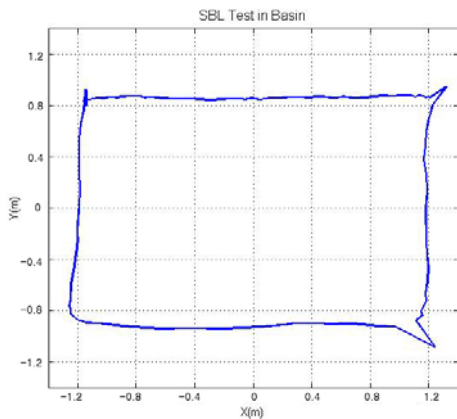
본 연구는 방위사업청/국방과학연구소에 의해 설치된 수중운동체특화연구센터(UVRC)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

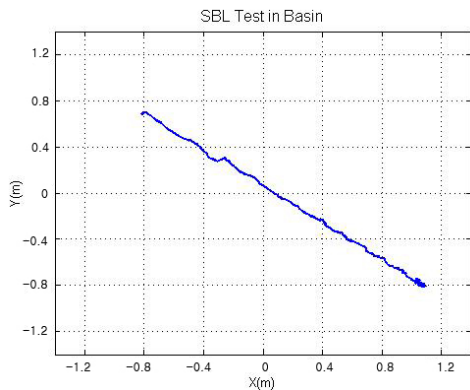
- [1] 신민섭, 김기훈, 최항순, "수중음향을 이용한 수중체 위치 추적 시스템 개발", 2003 대한조선학회 추계학술대회, 2003.10.30-31, pp464, 2003.
- [2] 이덕환, 고헌림, 임용곤, "수중환경에서 위치추적 시스템의 DSP 구현", 한국음향학회지, 제26권, 제1호, pp 48-54, 2007.
- [3] 이용희, "LBL과 심도계를 결합한 천수역 수중위치 추정시스템 개발", 서울대학교 조선해양공학과 석사학위 논문, 2006.
- [5] P.H. Milne, "Underwater Acoustic Positioning System", E. & F.N. SPON, London, 1983.
- [6] S.M. Smith and D. Kronen, "Experimental Results of an Inexpensive Short Baseline Acoustic Positioning System for AUV Navigation", Oceans '97. MTS/IEEE Conference, pp 714-720, 1997.
- [7] Stockton T.R. and McLennan M.W, "Acoustic Position Measurement, an Overview", Proc. 7th Ann. Offshore Technology Conference, pp 255-264, 1975.



[그림 9] Basin test case1 of SBL system



[그림 10] Basin test case2 of SBL system



[그림 11] Basin test case3 of SBL system

그림 9와 10은 송신센서의 이동속도를 다르게 하여 수행한 위치측정 결과 이며, 그림 10의 경우 송신센서의 이동속도를 그림 9의 경우 보다 2배정도 빠르게 이동하였을 때도 비교적 정확하게 위치를 측정하고 있음을 보여주고 있으며, 그림 11처럼 대각선으로 이동하는 경우에도 적은 오차 범위 내에서 위치를 측정하고 있음을 확인 할 수 있었다.

본 연구에서 구현한 단기선 방식의 위치추적 방식은 X, Y평면에 대해서는 비교적 정확한 위치를 나타내었으나 Z방향에 대한 위치 측정은 측정오차가 심해 실제로 사용하기에는 무리가 있었으며, 차후 수중이동체의 수심측정센서를 이용하여 해결할 수 있을 것이다.