

碩士學位論文

단기선방식(SBL)의 수중초음파  
위치추적시스템 개발



濟州大學校 大學院

海洋情報시스템工學科

具 兌 熙

2010년 2월

# 단기선방식(SBL)의 수중초음파 위치추적시스템 개발

指導教授 金 俊 榮

具 兌 熙

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 2月

구태희의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 이 중 현

委 員 팽 동 국

委 員 김 준 영



濟州大學校 大學院

2010年 2月

Development of a Underwater Acoustic Positioning  
System using SBL

Tae-Hee Koo

(Supervised by Professor Joon-Young Kim)

A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master  
of Engineering

2010. 2

Department of Oceanic Information and System Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

## SUMMARY

In this paper we have implemented a 3 dimensional position location system to estimated the 3-dimensional position of ROV(Remotely Operated Vehicle) in underwater environments. This system can help to estimate the location of underwater vehicle by the operator who is on the deck or platform. For the underwater explorations, lots of underwater systems use equipments and sensors. Theses equipments and sensors are very expensive, so 3-D location system is necessary in order to keep the safety of equipments and sensors. In this research, we developed low-cost SBL(Short BaseLine) system for measure real-time 3-D location when using the underwater vehicles. We let 4 hydrophones in different positions and moving sensor(pinger) to communicate with each other to find the 3-D positions for both the fixed and moving vehicles. This system implement  $3 \times 3 \times 1.7$ (m) basin and each sensors connected with NI(National Instrument) DAQ(Data Aquisition) board and LabView program. In order to calculate 3-D position used geometrical position estimate method. To verify the performance of designed position estimate system, experiments were done in a water basin. Hereafter, we will test in the ocean using designed SBL system.

# 목 차

SUMMARY .....	i
목 차 .....	ii
List of Figures .....	iv
List of Tables .....	vi
1. 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구동향 .....	2
1.3 연구내용 .....	3
2. 수중위치추적 시스템 .....	6
2.1 수중위치추적 시스템 .....	6
2.2 수중위치추적 시스템의 분류 .....	9
2.2.1 장기선 방식(Long Base Line) .....	12
2.2.2 단기선 방식(Short Base Line) .....	14
2.2.3 초단기선 방식(Ultra Short Base Line) .....	17
3. 수중위치추적 시스템 시뮬레이션 .....	21
3.1 수중위치추적 시스템 시뮬레이션 .....	21
3.2 시뮬레이션 결과 .....	22
4. 수중위치추적 시스템 구성 .....	24

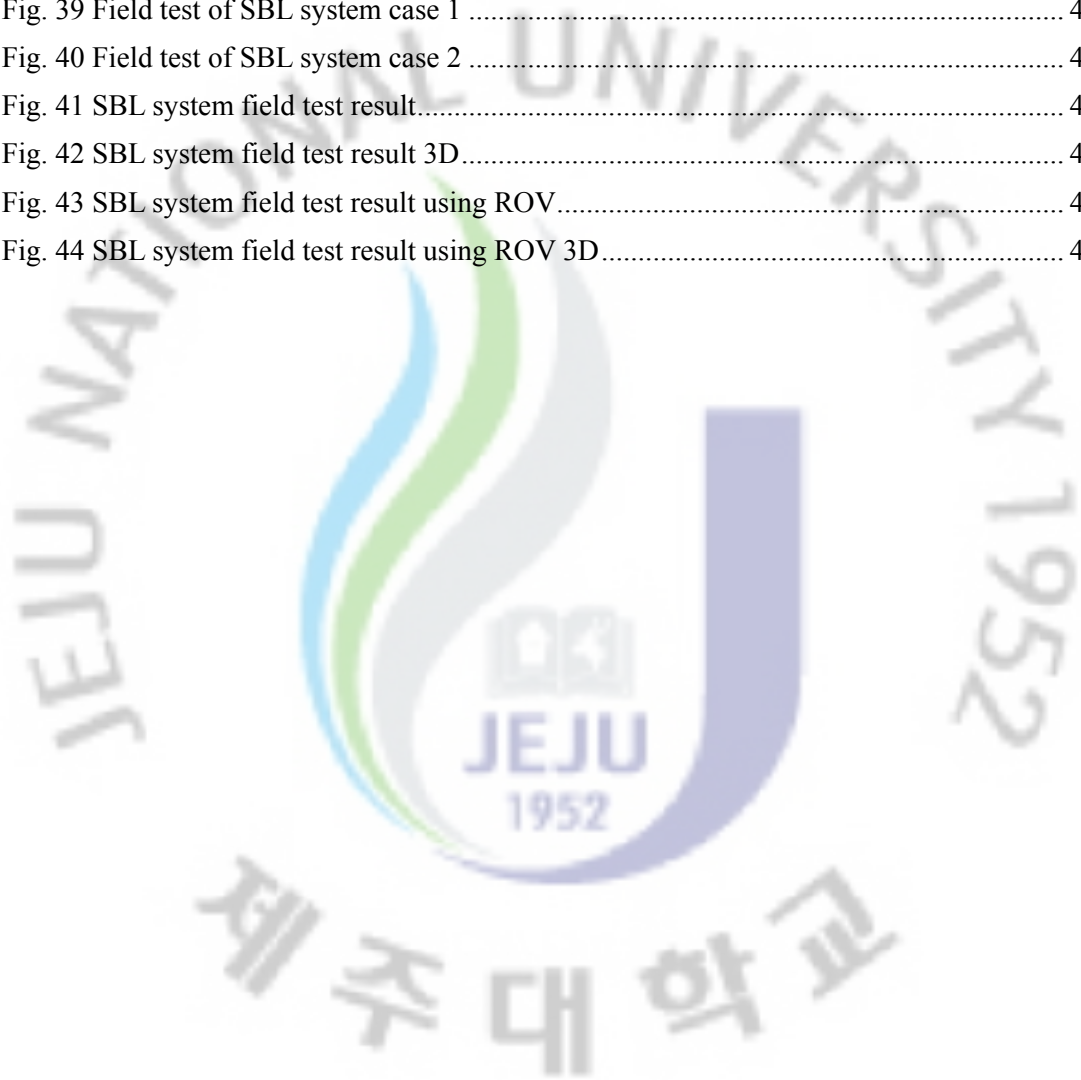
4.1	위치추적 알고리즘.....	24
4.2	위치추적 시스템의 구성.....	26
4.3	Hydrophone.....	26
4.4	Pre Amplifier.....	29
4.5	Data Acquisition Board.....	30
5.	수조실험.....	32
5.1	X-Y Positioner.....	35
5.2	ROV를 이용한 실험.....	40
6.	실 해역실험.....	43
7.	결론.....	48
	참고문헌.....	50
	감사의 글.....	52



## List of Figures

Fig. 1 Primary types of acoustic positioning systems .....	10
Fig. 2 Long Base Line System .....	13
Fig. 3 Short Base Line System .....	14
Fig. 4 Beacon type Short Base Line System Configuration .....	16
Fig. 5 Ultra Short Base Line System .....	17
Fig. 6 Geometry of the beacon/transponder position referencing problems .....	18
Fig. 7 Phase delay of acoustic wave as a function of mechanical angle of incidence at the hydrophone .....	19
Fig. 8 SBL Simulation Condition .....	21
Fig. 9 SBL Transponder Simulation Condition .....	22
Fig. 10 X Position in SBL Simulation .....	22
Fig. 11 Y Position in SBL Simulation .....	23
Fig. 12 3D Position in SBL Simulation .....	23
Fig. 13 Symmetrical planar hydrophone array for position estimate .....	24
Fig. 14 Schematic design of SBL system .....	26
Fig. 15 TC4013 Hydrophone(RESON) .....	27
Fig. 16 TC4013 Hydrophone Sensitivity .....	27
Fig. 17 TC4013 Hydrophone directivity .....	27
Fig. 18 TC4013 Hydrophone initial test .....	28
Fig. 19 Pre Amplifier(EC6061) .....	29
Fig. 20 DAQ Board (NI USB-6251 BNC) .....	30
Fig. 21 Experimental Basin(3m×3m×1.7m) .....	32
Fig. 22 SBL system installation for basin test .....	33
Fig. 23 LabView program front panel for SBL system .....	33
Fig. 24 LabView program block diagram for SBL system .....	34
Fig. 25 Basin for SBL system (Side View) .....	35
Fig. 26 Basin for SBL system (Upper View) .....	35
Fig. 27 Basin test case1 of SBL system .....	37
Fig. 28 Basin test case1 of SBL system .....	37
Fig. 29 Basin test case3 of SBL system .....	38
Fig. 30 Basin test case4 of SBL system .....	38
Fig. 31 Basin test case5 of SBL system .....	39

Fig. 32 Basin test case6 of SBL system.....	39
Fig. 33 ROV with hydrophone for basin test .....	40
Fig. 34 SBL test in basin using ROV .....	41
Fig. 35 SBL test in basin using ROV (XY).....	42
Fig. 36 SBL test in basin using ROV (3D).....	42
Fig. 37 JNU training ship ARA2 .....	43
Fig. 38 SBL system Field test installation.....	44
Fig. 39 Field test of SBL system case 1 .....	44
Fig. 40 Field test of SBL system case 2 .....	45
Fig. 41 SBL system field test result.....	46
Fig. 42 SBL system field test result 3D.....	46
Fig. 43 SBL system field test result using ROV.....	47
Fig. 44 SBL system field test result using ROV 3D.....	47





## List of Tables

Table 1	Scientific and Commercial Use of Acoustic Positioning Systems .....	8
Table 2	Classification of Acoustic Positioning System .....	9
Table 3	Characteristics of Underwater Acoustic Positioning Systems .....	11
Table 4	TC4013 Specifications .....	28
Table 4	EC6061 Specifications .....	29
Table 4	NI USB6251 BNC Specifications .....	31



# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

현재 전 세계적으로 육상 자원의 고갈과 더불어 해양 광물자원의 가치가 커지고 있다. 그러나 해양 광물자원은 대부분 심해에 존재하기 때문에 자원조사 및 채굴에 있어 많은 어려움이 따른다. 현재의 과학기술의 발전은 해저의 혹독한 환경조건에 견딜 수 있는 수중장비의 개발로 이어져 현재는 광물, 에너지 자원의 개발뿐만 아니라 심해생물 조사, 좌초된 선박의 인양, 해양환경 모니터링, 해저 케이블 포설, 기뢰 제거, 해양환경의 보전 및 안전 등 다양한 목적을 위한 수중작업 및 연구가 진행되고 있다. 이렇게 다양한 수중작업 및 연구를 위해서는 다양한 수중탐사 및 작업용 장비들이 필요하다. 또한 효율적이고 원활한 작업 및 연구를 위해서는 이러한 작업용 장비들의 위치를 추적하는 것이 중요하다[1,2,7,9,12]. 그러나 깊은 바다 속에서 작업을 하는 장비들을 모니터링 하는 것은 쉬운 일이 아니다. 수중 이동체의 위치추적을 위해서는 장비와의 통신이 불가피하지만 공기중과는 달리 수중에서는 광파나 전자파의 급격한 신호 감쇠현상으로 인하여 초음파가 유일한 통신 전달 매체로 사용되고 있다. 물론 유선통신을 이용할 경우 높은 전송속도로 먼 거리의 데이터 전송이 가능할 수 있지만 먼 거리의 케이블에 걸리는 해류 및 고압의 영향으로 이동성의 한계를 갖는 단점이 존재한다. 국내의 심해 광물자원 개발의 경우 최종 개발광구 선정을 위해 대부분의 조사는 수중 비디오카메라에 의존해 왔다. 효

울적인 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 관련 기술들이 상업 및 과학용으로 확산되면서 다양한 기법 및 장비들이 폭 넓게 개발되고 있다[8,11,13,18,19].

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서 해양 개발은 필수적인 요소이고, 현재 이를 위해 다양한 수중작업 및 연구가 행해지고 있으며, 이때 사용되는 장비의 위치추적을 위해 비싼 장비들이 수입되어 사용되고 있다. 현재 가장 대표적으로 사용되고 있는 Link Quest사의 LBL과 USBL 제품들은 중소형의 AUV 및 ROV의 가격과 비슷한 정도의 고가의 장비이므로 쉽게 구입하기 어려운 실정이며 빠른 시일 내 국산의 저가형 위치추적 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다[18]. 따라서 이러한 고가의 장비를 국산화하고 나아가 수중에 대한 조사, 탐색, 작업 등을 필요로 하는 연구원, 기업들이 더 적극적으로 활동하기 위해서는 국내에서 개발된 실용성 있는 위치추적 시스템이 필수적일 것이다. 따라서 본 연구에서는 수중 이동체의 위치제어, 탐사 및 관측 등의 수중작업을 수행하기 위한 필수적 기술인 실시간 위치추적 시스템을 설계하고 제작하여 실 해역에서 성능테스트를 수행하는 것을 목표로 한다.

## 1.2 연구동향

수중 환경 보호 및 자원 개발을 위하여 수중 작업용 로봇 및 무인 잠수정 등

많은 장비들이 개발되었거나 연구가 진행 중에 있다[10]. 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 있는가 하는 신뢰성 있는 좌표의 추정이 관점인 것이다[4]. ROV와 AUV등의 무인잠수정 연구에서뿐만 아니라 해저작업이 이루어지는 곳에서 수중위치추적 시스템은 필수적인 요소로 사용되고 있다. ROV의 작업 시 위치를 알려주기 위한 용도와 AUV의 항법에 위치추적 시스템이 이용되고 있으며[4,5,6], 해저작업에서는 정확한 위치 정보가 필요하게 되므로 필수불가결한 요소로 사용되고 있다[9,12].

### 1.3 연구내용

본 연구에서는 수중 이동체의 위치를 실시간으로 추적하기 위한 시스템을 설계 및 제작 하여 실 해역에서 테스트 하는 것을 목적으로 하고 이것을 통해 수중 초음파를 이용한 위치추적 기술의 국산화 및 실용화를 이루고자 한다. 본 연구를 수행하기 위하여 다음과 같은 3단계의 연구목표를 설정하였고, 6가지 연구내용으로 과제를 수행하고자 한다.

1단계 : 수중 초음파 위치추적 시스템의 이론 연구

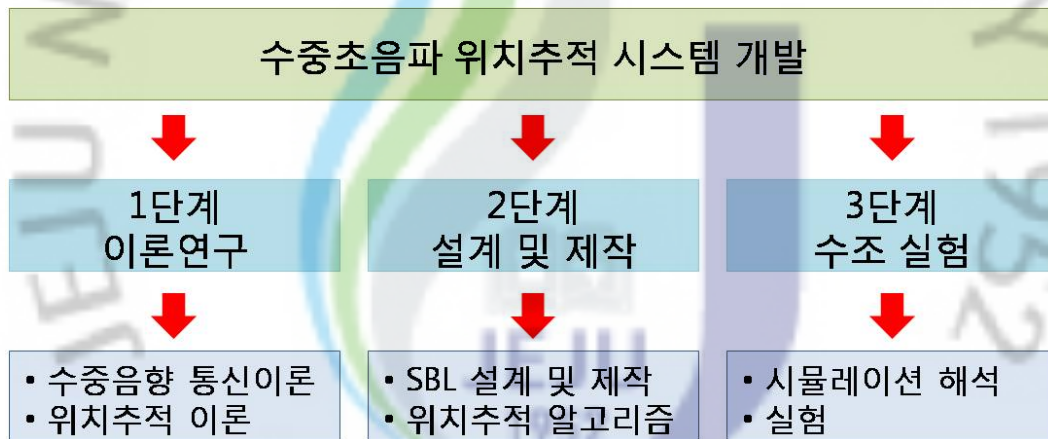
- 수중음향 통신이론, 위치추적 이론

2단계 : 수중 초음파 위치추적 시스템의 설계 및 제작

- Short BaseLine (SBL) 설계 및 제작
- 위치추적 알고리즘 개발

3단계 : 수중 초음파 위치추적 시스템의 실험

- 시뮬레이션 해석
- 실험



본 논문의 구성은 2장에서 수중위치추적 시스템에 대한 설명과 종류에 대해서 서술하고, 3장에서는 제안하는 단기선 방식의 수중위치추적 시스템에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 4장에서는 단기선방식의 수중위치추적 시스템의 구성에 대해서 서술하고 각 하드웨어에 대해 기술하였고, 5장에서는 설계된 시스템을 이용하여 수조내에서 실험을 실시 하였다. 6장에서는 시스템을 실 해역에서 실험한 내용을

기술하였고 마지막으로 7장 결론에서는 수중위치추적 시스템의 실험 결과를 요약하고 추후 연구에 대해서 기술하였다.



## 2. 수중위치추적 시스템

### 2.1 수중위치추적 시스템

수중 작업을 위한 운동체가 다른 해역으로 이동할 경우나 잠수기기로 수중에서 작업할 경우 또는 각종의 해양조사를 수행하는 경우에 모두 현재 위치를 측정하는 일은 절대적으로 중요한 일이다. 현재 위치를 알지 못한다면 작업이나 조사작업에 대한 신뢰도가 매우 떨어질 뿐만 아니라 작업 자체의 의미가 없다고 해도 과언이 아닐 것이다.

1960년대 후반에 이르러, 효율적 해저 유전 발굴 등을 목적으로 수중탐사 기술(Underwater Survey Technique)이 급속히 발전하면서, 선박 또는 석유 시추선의 수상위치뿐만 아니라 수중에서 실제 활동하는 장비 및 사람의 위치 파악에 대한 필요성이 절실하게 요구되었다. 이에 앞서, 수중병기 또는 잠수함의 수중 거동을 수상에서 관찰하기 위한 군사목적의 수중운동 추적 시스템이 미국에서 개발되었고, 여러 가지 관련 기술들이 상업 및 과학용으로 확산되면서 다양한 기법 및 장비들이 폭 넓게 개발되어 왔다. 이와 같이, 해상 또는 수중에서 운동하는 물체의 위치와 위치변화 및 속도 등을 지속적으로 관찰하는 장비가 수중운동 추적 시스템(Underwater Tracking System)이다.

수중운동 추적 시스템은 과학 및 상업적 목적으로 Table 1과 같이 이용된다. 과학 및 상업적 목적의 수중운동 추적 시스템에서는 트랜스듀서 또는 하이드로폰

등의 수신센서가 관찰하고자 하는 표적 운동체에 설치된다.

군사적으로는 수중병기 및 잠수함의 수중운동을 일정시간 추적함으로써 대상 무기체계의 시험평가 및 운용훈련을 수행하고자 수중운동 추적 시스템이 이용된다. 군사용에서는 표적 운동체에 대한 지속적 관찰이 필요하므로, 약속된 음향신호를 발생하는 장치가 표적 운동체에 부착된다. 해저에 부설된 하이드로폰들이 신호를 수신하고 신호처리부에서 표적 위치와 속도를 계산해낸다. 그러므로 과학 및 상업용과는 달리 군사용에서는 주로 수중추적이라 부른다. 과학 및 상업용에 비하여 군사용은 규모가 크고 정확도가 높을 뿐만 아니라 고속 운동체에 대한 추적 기술면에서 상당 수준 앞서 나가고 있다.



Table 1 Scientific and Commercial Use of Acoustic Positioning Systems

항 목	용 도	사용예
해저측량	구역별 해저 측량 시 탐사소나 및 대상해역의 위치확인	해저 수심 측량 해저 지도제작 해저 채광
수중운동체 운용	무인 및 유인잠수정의 위치파악	해저 유실물 발견 및 인양 해저 오염물 제거 수중작업 해저탐사
구조물 설치 및 보수	수중구조물의 부설 또는 매설 시 목표하는 해저위치 정밀 파악 부설 또는 매설될 수중 구조물 위치 정밀 파악 수중 구조물간의 접합부 위치 관찰 작업 후 구조물 등의 위치 파악 고장부위 발견 및 위치파악	플랫폼 타켓 송유관, 가스관 해저 케이블 기타 해저 또는 수중 설치 구조물
정밀항해	수중 설치된 구조물과의 일정거리 또는 방위를 유지하며 정밀 항해하기 위한 자기 위치 및 수중 구조물 위치 동 시 관찰	해저탐사 해상시험 수중항해
수영자 위치 파악	수중 작업자의 위치 확인	수중작업
자기위치 고정	원하는 좌표 설정 , 자기 위치를 파악하여 목적하는 좌표 에 위치하도록 자동조정(Dynamic Positioning)	석유 탐사선, 시추선 구조물 설치를 위한 작업선 원격 수중운동체 운용

## 2.2 수중위치추적 시스템의 분류

수중위치추적 시스템은 수신센서 배열간격, 센서설치 수심, 센서설치 방식, 음향신호의 동기화 및 전송방식에 따라 Table 2와 같이 다양하게 분류된다. 위치추적을 비롯한 수중운동 추적기법은 이와 같이 수중운동 추적 시스템 종류에 의해 달라진다. 특히 수신센서 배열간격 및 송신신호 동기화 방식에 따라 추적기법은 크게 달라질 수 있다.

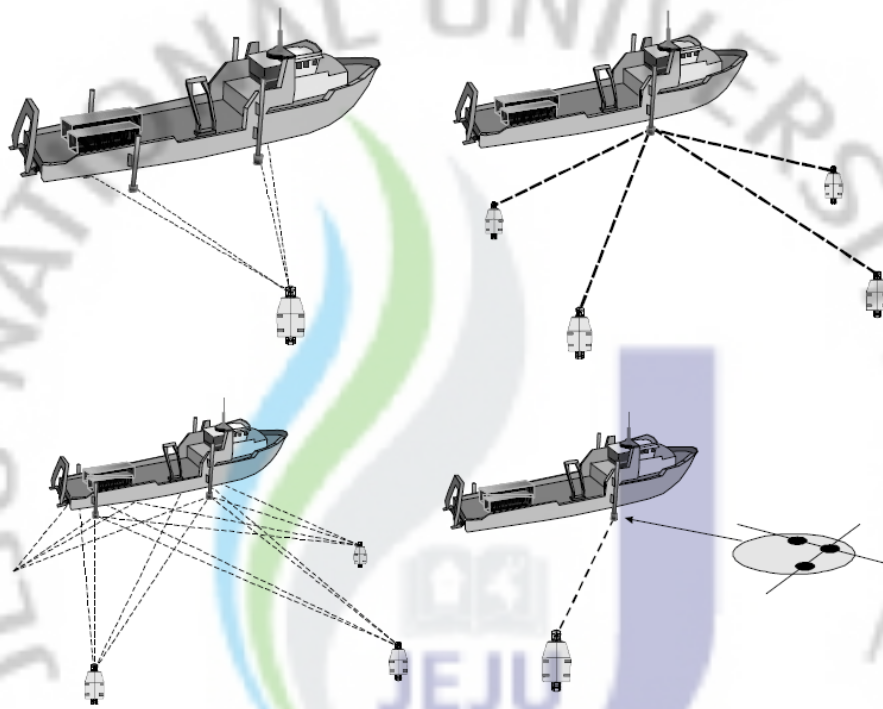
Table 2 Classification of Acoustic Positioning System

분류기준	종 류
수신센서의 배열간격	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 장거리 배열 (Long Base Line; LBL)</li> <li>● 단거리 배열 (Short Base Line; SBL)</li> <li>● 초단거리 배열 (Ultra Short Base Line; USBL)</li> </ul>
설치해역 수심	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 천해용 (Shallow Water)</li> <li>● 심해용 (Deep Water)</li> </ul>
신호동기 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 사전동기식 (Synchronous Type)</li> <li>● 비동기식 (Asynchronous Type)</li> </ul>
수신센서 설치 및 신호전송 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 선저 고정형 (Hull Mounted Type)</li> <li>● 해저 고정형 (Seabed Fixed Type)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저 유선형 (Underwater Cabling)</li> <li>- 수상 유선형 (Surface Cabling)</li> </ul> </li> <li>● 이동형 (Portable Type)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유선형 (Cable Type)</li> <li>- 무선형 (RF Link Type)</li> </ul> </li> </ul>

특히 수신센서의 배열 간격에 따라 수중 운동체의 위치를 실시간으로 추적하는

방식은 Fig. 1처럼 크게 세 가지 형태로 구별된다[12].

- Long Base Line (LBL)
- Short Base Line (SBL)
- Ultra Short Base Line (USBL)



**Fig. 1 Primary types of acoustic positioning systems**

위의 세 가지 방식 중에서 가장 먼저 고안되고 사용되어 그 신뢰도가 검증된 방식이 LBL(Long Base Line) System으로 해저에 수개의 고정된 기준점을 설치한 후 그 영역 내에서 이동하는 물체의 위치를 추적하는 방식이다[5,6]. 이 방식은 수심에 관계없이 정밀하게 위치정보를 취득할 수 있는 반면 최대 수중통신 거리의 제약 때문에 이동체의 허용범위에 제한된다. 따라서 이 방식은 광대역의 해양 탐사에는 다

소 부적합하지만 심해저 우선채광지역의 정밀조사 등 좁은 영역의 정밀 위치추적에는 권장할 수 있는 방식이라 할 수 있다. 두 번째 방식은 SBL(Short Base Line) System인데 이 방식은 심해저에 고정된 기준점으로 인한 이동영역의 제약을 없애기 위해 해저에 설치했던 수 개의 기준점을 수상에 위치한 선박으로 옮겨, 넓은 해역의 탐사를 지속적으로 빠르게 수행하려는 방식이다[8]. 이 방식을 채택하는 경우 수상선과 수중 이동체는 일정 거리 범위 내에서 함께 이동해야 하고, 선박의 운동을 별도로 고려하여야 한다. 이러한 SBL 방식을 응용한 세 번째 방식이 USBL(Ultra Short Base Line)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. 위에서 언급한 3가지 방식의 장, 단점을 Table 3에 요약하였다.

**Table 3 Characteristics of Underwater Acoustic Positioning Systems**

종 류	장 점	단 점
Long Base Line(LBL)	수심에 관계없이 정밀하게 위치정보를 취득	수중이동체의 허용 이동범위가 제한
Short Base Line(SBL)	기준점으로 인한 이동영역의 제약이 없음	수상선과 수중이동체는 일정 범위 내에서 함께 이동
Ultra Short Base Line(USBL)	설치 및 운영이 용이	짧은 Baseline으로 인해 운용 수심에 제약

### 2.2.1 장기선 방식(Long Base Line)

장기선 방식은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 해저에 3개의 트랜스폰더 (Transponder)를 해저에 설치하고 트랜스폰더를 기준으로 하는 좌표계상에서 자신의 위치를 구하는 방식이다. 트랜스폰더는 선저에 부착된 송신기로부터 발신된 질문 신호를 수신하여, 이것과 다른 주파수의 응답신호를 발신하는 음향신호장치이다. 이 방식은 측위의 기준이 되는 트랜스폰더 간의 거리가 길기 때문에 장기선방식 (Long Base Line, LBL)이라 불린다. 이 방식에서는 우선 선저의 송신기로부터 트랜스폰더에 질문신호를 보낸다. 이 신호를 수신한 트랜스폰더는 질문신호와 다른 주파수의 응답신호를 발신하고(응답신호의 주파수는 각 트랜스폰더마다 다르다) 이것을 선저의 수신기에서 수신한다. 질문신호의 발신으로부터 응답신호를 수신하기까지의 시간 간격으로부터 본선과 각 트랜스폰더까지의 거리(Slant Range)를 구하여 그로부터 잠수정의 위치를 계산한다. 장거리 배열형은 센서 간격이 적어도 수 km인 추적 시스템이다.

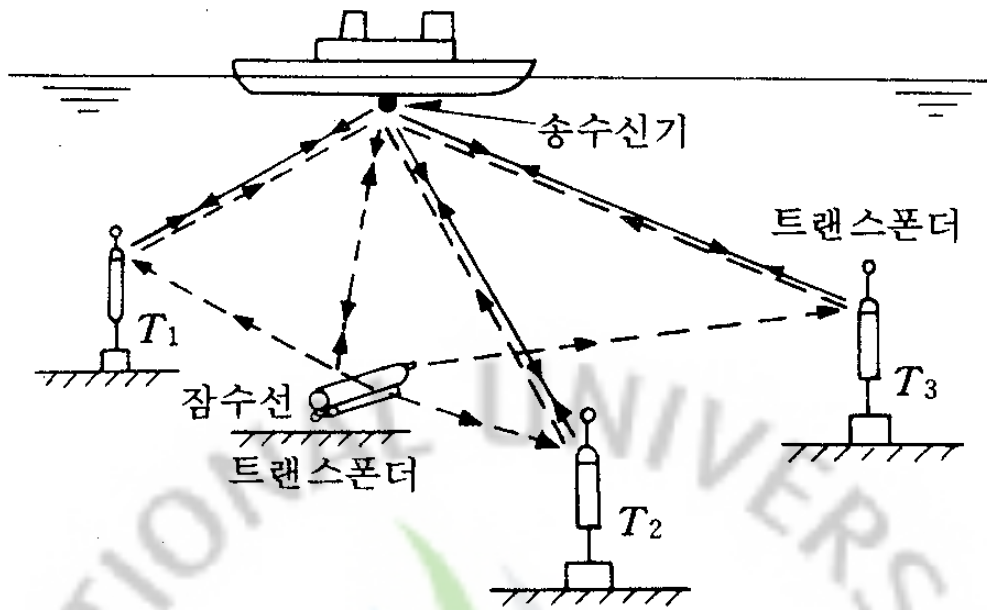


Fig. 2 Long Base Line System

1964년 계획 수립된 하와이 KAUAI의 BARSTUR 시험장은 센서 37개가 800m~2000m 수심에 설치된 세계 최초의 LBL 시험장으로 기록되고 있다. 이후 LBL은 경제 및 과학용으로 응용 개발되면서 주로 대규모 수중운동 추적 시스템에 운용되었다. SBL과 USBL에서는 수신센서 배열의 선저 부착이 가능한 반면, LBL에서는 하나의 센서만이 선저에 부착되고 다수의 센서가 해저에 장거리 배열된다.

LBL에서는 해저에 배열된 센서의 위치 및 간격을 먼저 알아야 한다. 이를 교정 (Calibration)이라 부른다. 교정은 센서 간 상호 송수신에 의하여 수행되고, GPS(Global Positioning System)를 통하여 절대좌표를 확인한다[5].

### 2.2.2 단기선 방식(Short Base Line)

Fig. 3에 나타난 바와 같이 선저에 3~4개의 수신기와 1개의 송신기(수신기 하나를 공용하는 경우도 있음)을 장치하고 해저에는 트랜스폰더 또는 비이콘(Beacon) 1개를 설치한다. 이 방식에서는 선저의 수신기 간의 간격이 베이스라인이 되기 때문에 SBL(Short Base Line) 방식이라 불린다.

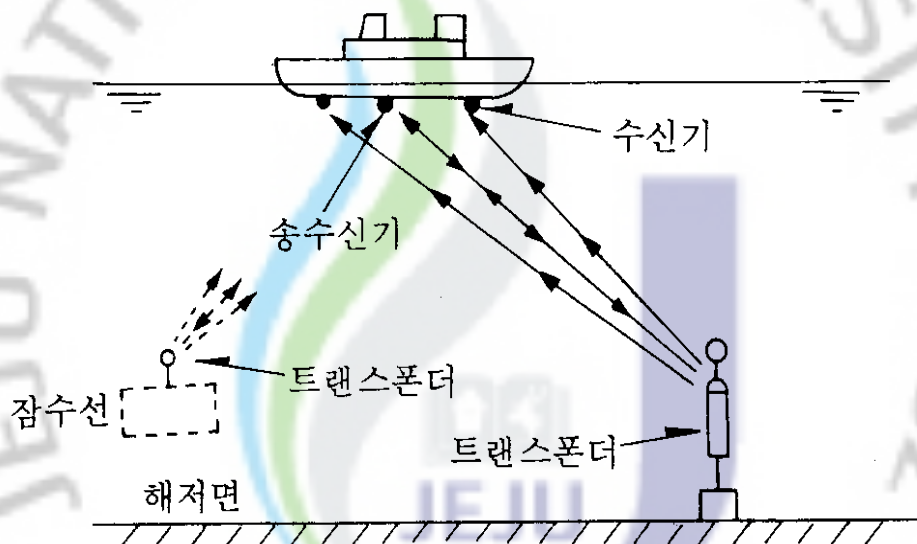


Fig. 3 Short Base Line System

1963년 4월에 2500m 수심해역에서 실종된 미국 핵 잠수함 Thresher의 수색을 목적으로 최초로 사용된 단기선 방식(Short Base Line, SBL)은 수신 센서 간 간격이 5~20m인 수중위치 추적 시스템이다. 그 해 여름에 미해군의 Mizar함은 자신의 위치 확인을 목적으로 3개의 하이드로폰을 선저에 부착하여 실종 잠수함을 수색하였다.

해저에 비이콘을 부설한 SBL의 위치추정은 Fig. 3과 같다. 이 방식은 송신기와

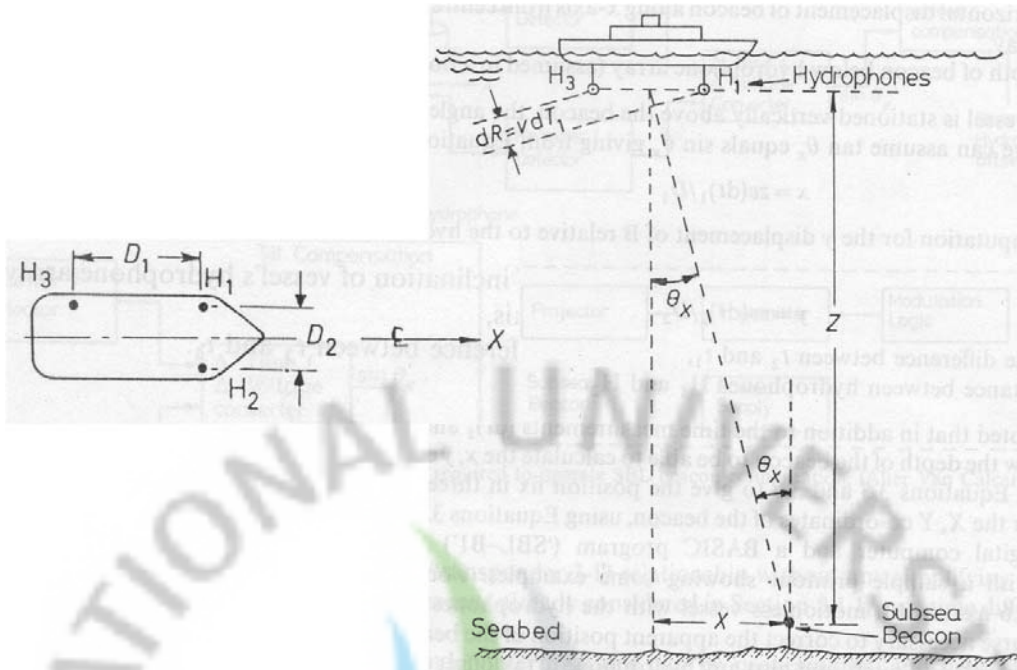
비이콘 간의 슬랜트레인지와 각 수신기에서의 응답신호를 수신하는 때의 상호 시간 차로부터 얻어지는 신호음파의 도달 방향을 계측함으로써 본선의 위치를 측정한다. 해저 비이콘의 송신신호가 선박에 부착된  $H_1, H_2, H_3$ 에 도달하는 경과시간을 각각  $t_1, t_2, t_3$ 라면 수중음파 전달속도를  $c$ 라 할 때, 비이콘과 선박과의 길이 방향 거리  $x$ 와 폭 방향 거리  $y$ 는 다음 식으로 구한다.

$$x = z \cdot c(t_3 - t_1) / D_1 \quad (1)$$

$$y = z \cdot c(t_2 - t_1) / D_2 \quad (2)$$

위의 식에서 수심  $z$  는 측심기로 측정하고, 센서 간 간격  $D_1$  과  $D_2$  는 미리 알고 있는 거리이다. 경과시간  $t$  의 측정을 위하여는 비이콘의 음향송신 시각을 알아야 한다. 이는 비이콘의 송신시각과 선박 수신센서의 신호처리 시각을 서로 동기화 시킴으로써 해결한다.





**Fig. 4 Beacon type Short Base Line System Configuration**

Fig. 4의 비이콘 방식의 SBL시스템은 해저 기점으로부터의 선박 또는 잠수정의 위치 파악에 이용되므로 수신센서는 선저에 부착된다. 그러나 고속 기동하는 운동체를 추적하는 경우, 수신센서는 해저에 부설하고 비이콘이나 핑거는 추적하고자 하는 운동체에 설치된다. SBL은 가격이 저렴하고 좁은 해역에서 적은 수의 센서로도 운용 가능한 장점을 갖는 반면, 다중경로 및 불규칙 해저면에서 운용하는 경우 정확도가 저하되는 단점이 있으며, 이 방식의 정확도는 수심의 1~3%로 알려져 있다.

### 2.2.3 초단기선 방식(Ultra Short Base Line)

다음의 Fig. 5에서 보는 바와 같이 선저에 다수의 수신소자를 하나의 용기에 담은 수신기와 송신기를 장치하고, 해저에는 트랜스폰더 1개를 설치한다. 이 방식에서는 베이스라인이 수신기의 각 소자간의 간격이 된다. 이 방식은 송신기와 트랜스폰더 간의 슬랜트레인지와 수신기의 각 소자에서 수신하는 응답신호의 위상차로부터 얻어지는 신호음파의 도착 방향을 계측함으로써 본선의 위치를 측정한다.

초단기선 방식(Ultra Short Base Line, USBL)은 수중운동 추적 시스템의 단순화를 목적으로 1970년대에 개발되었다. 수신센서 간격이 수십 cm 이내이므로 SSBL(Super Short Base Line)이라 부르기도 한다.

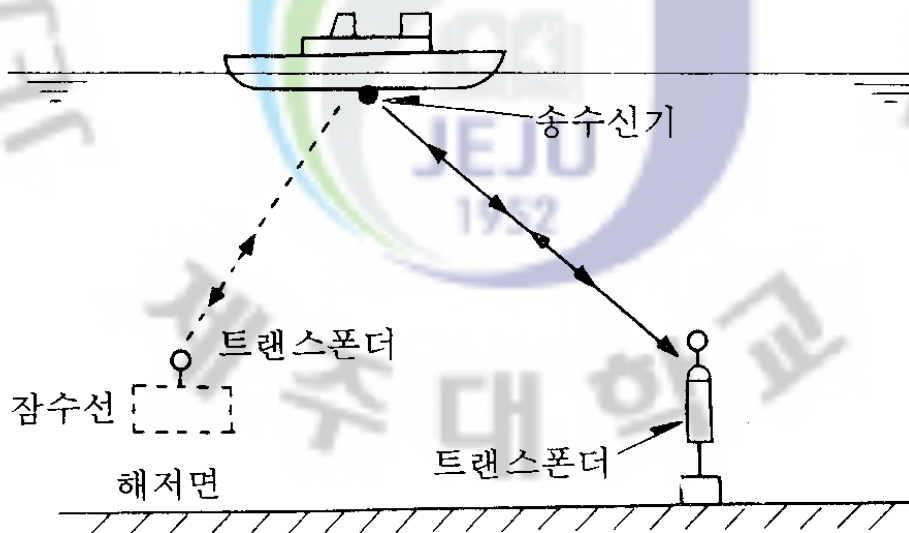


Fig. 5 Ultra Short Base Line System

Fig. 5는 송신센서를 해저에 설치한 경우의 USBL이다. 선박에 부착된 수신센서는 3개 이상의 배열로 구성된다. USBL에서는 수신센서 간격이 매우 좁기 때문에 음

향의 위상차를 이용한다. 예를 들어 2개의 센서가 Fig. 6과 같이 인접배열 되었다면

입사각  $\theta_m$ 은 다음 식으로 구해진다.

$$\theta_m = \cos^{-1} \left( \frac{dT}{2\pi fb/c} \right) \quad (3)$$

여기서  $dT$ 는 전기적인 위상차,  $f$ 는 음향신호의 반송 주파수,  $b$ 는 센서 간격이고  $c$ 는 음파전달 속도이다.

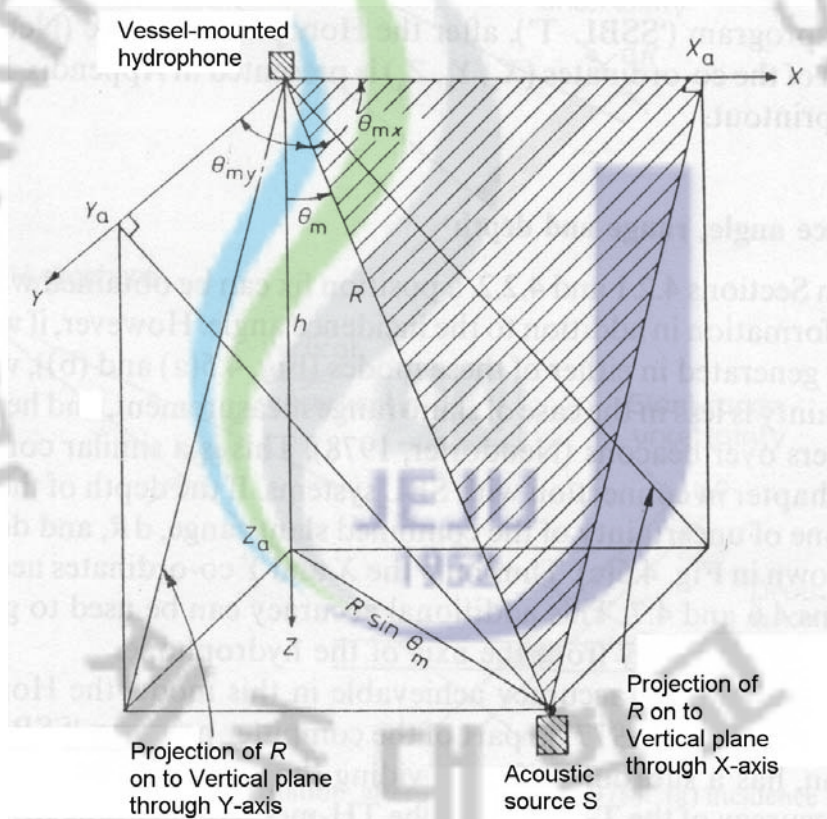
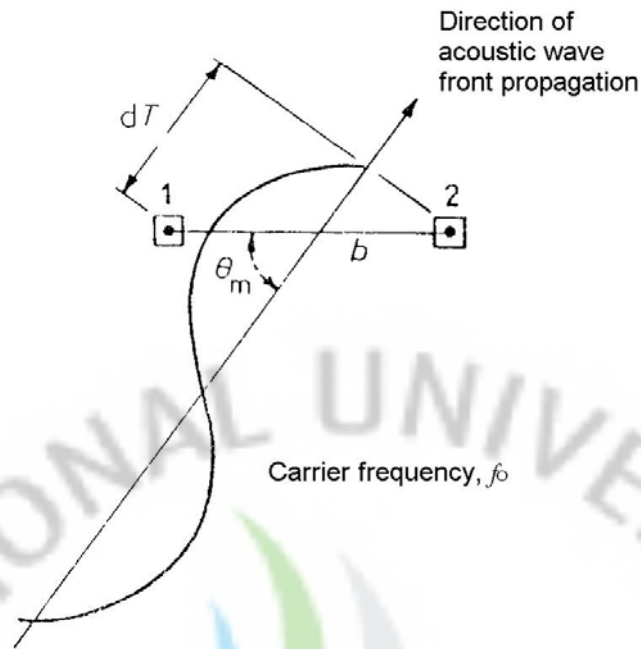


Fig. 6 Geometry of the beacon/transponder position referencing problems



**Fig. 7 Phase delay of acoustic wave as a function of mechanical angle of incidence at the hydrophone**

Fig. 6에서 해저 부설 센서가 트랜스폰더라면, 선박의 센서에서 음향이 송신된 후 트랜스폰더로부터 되돌아오기까지의 시간을  $t$ 라 할 때, 선박과 트랜스폰더 사이의 거리는  $R = ct / 2$ 이다. 그러므로 선박의 위치는 아래 식과 같이 구한다.

$$X = R \cos \theta_{mx}, Y = R \cos \theta_{my}, Z = R(1 - \cos^2 \theta_{mx} - \cos^2 \theta_{my})^{1/2} \quad (4)$$

Fig. 6에서 해저 부설 센서가 비이콘이라면 경과시간  $t$ 를 알 수 없으므로  $R$ 역시 계산하기 어렵다. 이 경우에는 수심  $h$ 를 측심기를 통하여 측정할 다음, 다음의 식에 의해서 위치를 찾는다.

$$X = \frac{h \cos \theta_{mx}}{(1 - \cos^2 \theta_{mx} - \cos^2 \theta_{my})^{1/2}}$$

$$Y = \frac{h \cos \theta_{my}}{(1 - \cos^2 \theta_{mx} - \cos^2 \theta_{my})^{1/2}} \quad (5)$$

SBL과 마찬가지로 고속 기동하는 선박 또는 운동체의 위치와 속도를 추적하기 위해서 수신센서가 해저에 부설된다. USBL은 단독으로 사용되기 보다는 SBL이나 LBL 등과 함께 활용되는 예가 많다. 이는 USBL을 좁은 해역에서 간편하게 운용하기는 좋으나, 다중경로에 의해 정확도가 저하되고, 불규칙 해저에서 운용되는 경우 방위오차에 대한 편향(Bias)이 발생하기 때문이다. 이 방식의 정도는 SBL 방식과 거의 같은 정도로 수심의 1~3%이다.

잠수정의 위치를 수상의 지원선으로부터 측정할 경우도 위와 같은 방식이 사용되고 있는데 트랜스폰더 대신 핑어(Pinger, 일정한 주파수의 신호를 발신하는 장치)를 사용하는 경우도 있다. 이 때는 신호음의 시간차를 측정하기 위해 수상의 지원선과 잠수정 시계의 시간을 정확하게 맞출 필요가 있으며 이 때문에 이 방식을 동기(Synchronous) 핑어 방식이라 한다.

### 3. 수중위치추적 시스템 시뮬레이션

#### 3.1 수중위치추적 시스템 시뮬레이션

본 연구에서는 SBL System을 이용하여 수중 이동체의 위치를 파악하고자 하며, 삼각측량법을 이용하여 수중이동체의 위치를 계산하였다. 수중에서 이동하는 물체의 위치를 파악하기 위해서는 수중통신(Underwater Communication)을 이용한 방법을 이용해야 하므로, 수중통신에 대한 기본적인 이론이 필요하다. 수중에서는 초음파를 이용한 통신이 사용되며, 수중에서의 초음파는 진행하면서 회절과 굴절이 일어나고 수온과 수심에 의한 영향이 많이 작용한다. 이러한 영향을 최소화하기 위하여 사용되는 초음파의 주파수 선택이 중요한 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 Fig. 8에서와 같이 4개의 센서가 고정되어 있으며, 이동체와 고정된 4개의 센서가 신호를 송수신함으로써 상호간의 위치추적이 가능하게 하는 시뮬레이션을 실시하였다.

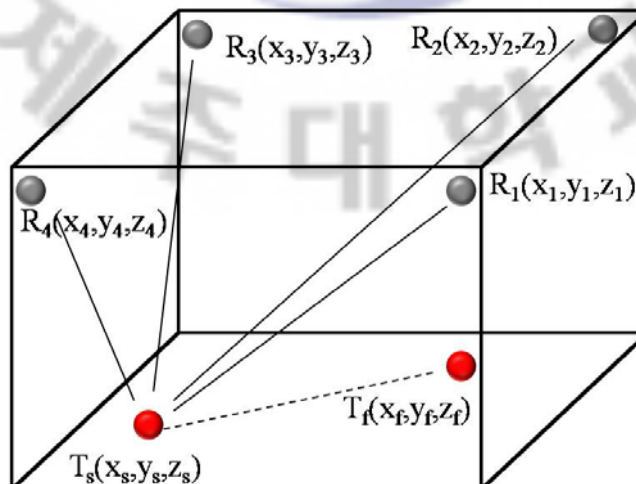
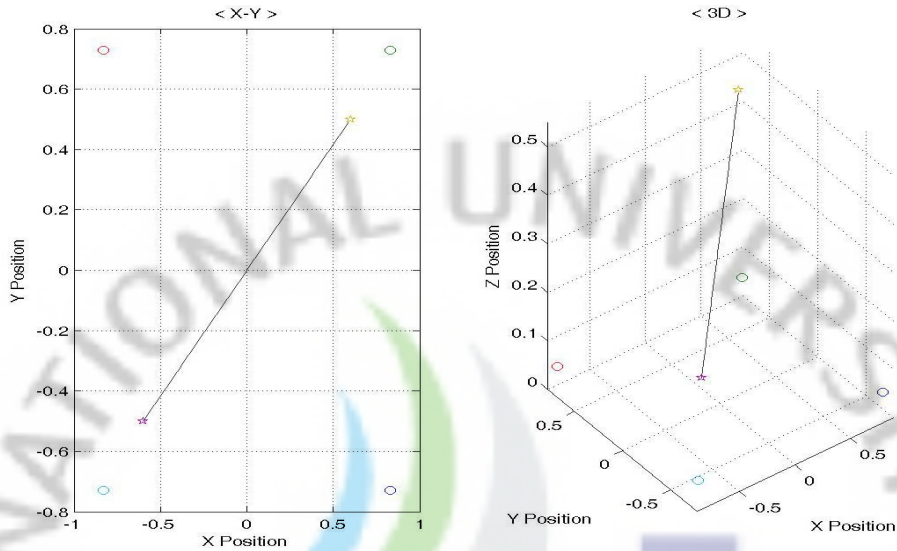


Fig. 8 SBL Simulation Condition

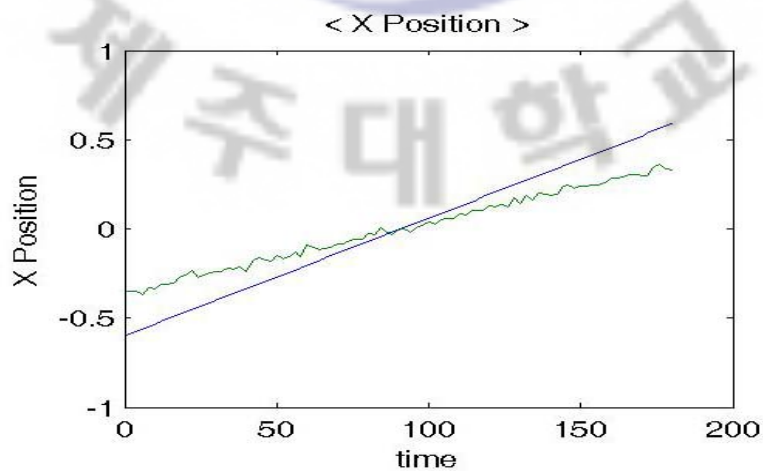
### 3.2 시뮬레이션 결과

SBL 시스템의 시뮬레이션 조건은 다음의 Fig. 9와 같다.

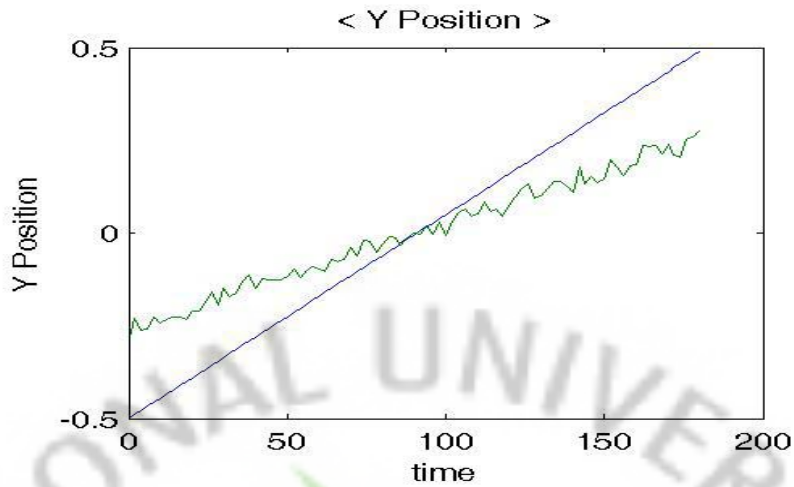


**Fig. 9 SBL Transponder Simulation Condition**

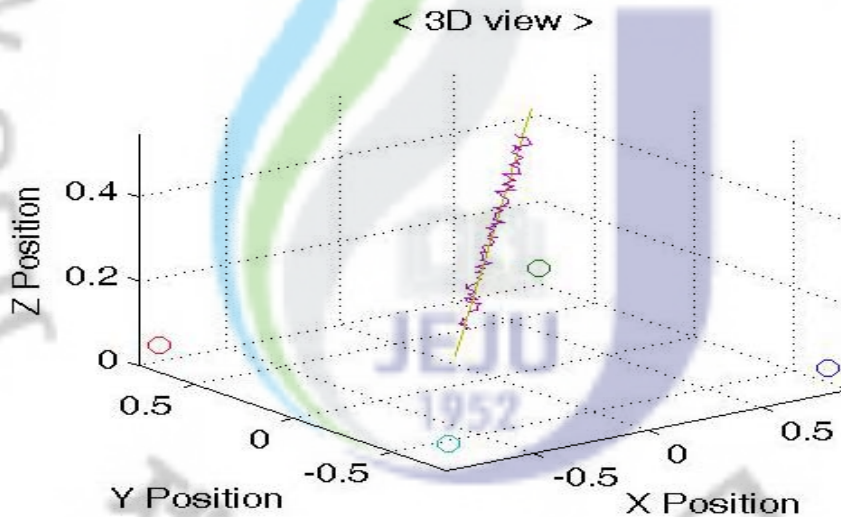
초기 위치인 [-0.6 -0.5 0.2]에서 최종위치인 [0.6 0.5 0.5]까지 송신기가 이동하는 조건을 주었을 때의 시뮬레이션 결과는 다음의 Fig. 10-12와 같다. 이 때 이상시간의 10% 이내에서 분산이 1인 랜덤신호를 더해 시간지연 조건을 부가하였다.



**Fig. 10 X Position in SBL Simulation**



**Fig. 11 Y Position in SBL Simulation**



**Fig. 12 3D Position in SBL Simulation**

위의 Fig. 10 – 12에서 보면 SBL 시스템의 시뮬레이션 결과 X, Y 방향에 대해 오차가 발생하였지만 출발지점에서 종료지점까지 트랜스폰더가 움직이는 경로에 따라 SBL시스템이 위치를 추적해가는 양상을 보이는 것을 확인할 수 있었다.



## 4. 수중위치추적 시스템 구성

### 4.1 위치추적 알고리즘

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 사용될 SBL시스템을 위한 위치추적 알고리즘은 4개의 하이드로폰 센서가 선박 또는 수조의 윗부분에 고정되어있으며, 이동체와 고정된 센서가 신호를 송수신함으로써 상호간의 위치추적이 가능하게 하였다. 본 연구에서 사용한 위치추적 시스템의 기하학적 구조는 Fig. 13과 같다.

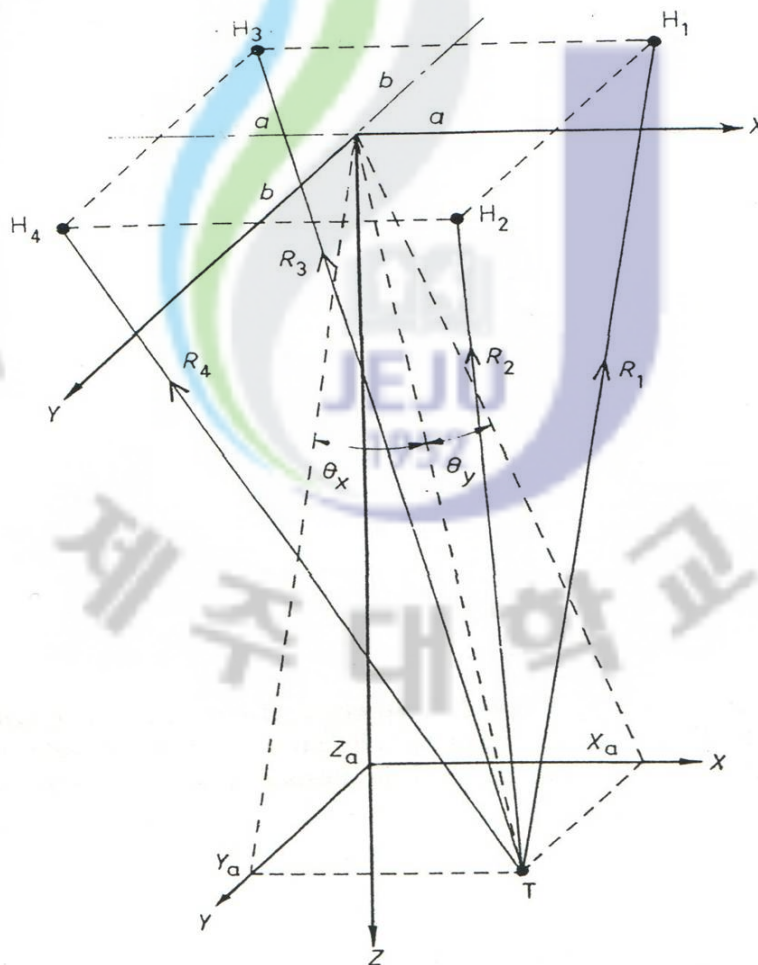


Fig. 13 Symmetrical planar hydrophone array for position estimate

무인잠수정에서 신호를 전송하고 고정체에서 신호를 수신하여 잠수정과 고정체 사이의 시간지연을 측정하였을 때 잠수정과 고정체  $i$  사이의 시간지연(TOA, Time of Arrival)  $\tau_i$  와  $i$  번째 고정체에서 잠수정까지의 거리  $R_i$ 의 관계는 다음과 같다[6].

$$R_i = c\tau_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x &= [(R_3^2 - R_1^2) + (R_4^2 - R_2^2)] / 8a \\ y &= [(R_1^2 - R_2^2) + (R_3^2 - R_4^2)] / 8b \\ z &= \{ [R_1^2 - (x-a)^2 - (y+b)^2]^{1/2} \\ &\quad + [R_2^2 - (x-a)^2 - (y-b)^2]^{1/2} \\ &\quad + [R_3^2 - (x+a)^2 - (y+b)^2]^{1/2} \\ &\quad + [R_4^2 - (x+a)^2 - (y-b)^2]^{1/2} \} / 4 \end{aligned} \quad (7)$$

위 식(1)에서  $(x,y,z)$ 는 이동체의 좌표를 의미하며,  $(X_i, Y_i, Z_i)$  는  $i$ 번째 고정체의 좌표 값을 나타내며,  $c$ 는 음속(Sound Velocity)을 의미한다. 음속은 여러 요소에 의하여 변화하지만 일반적으로 1500m/s으로 나타내며, 본 실험에서도 1500m/s를 기준으로 하여 실험을 실시하였다. 식(6)에 의해 기준점에서 각 센서 사이의 거리  $a$ ,  $b$ 와 각 센서로부터 잠수정까지의 거리  $R_i$ 를 이용해 식(7)에서처럼 잠수정의 좌표를 구할 수 있다.

## 4.2 위치추적 시스템의 구성

본 연구에서 제시된 위치추적 알고리즘의 성능 검증 및 실제 수조에서의 테스트를 위하여 NI(National Instrument)사의 DAQ(Data Acquisition)시스템을 이용하여 실제 SBL시스템의 하드웨어를 설계하였다. Fig. 14는 본 연구에서 사용한 위치추적 시스템의 개념도를 나타낸다.

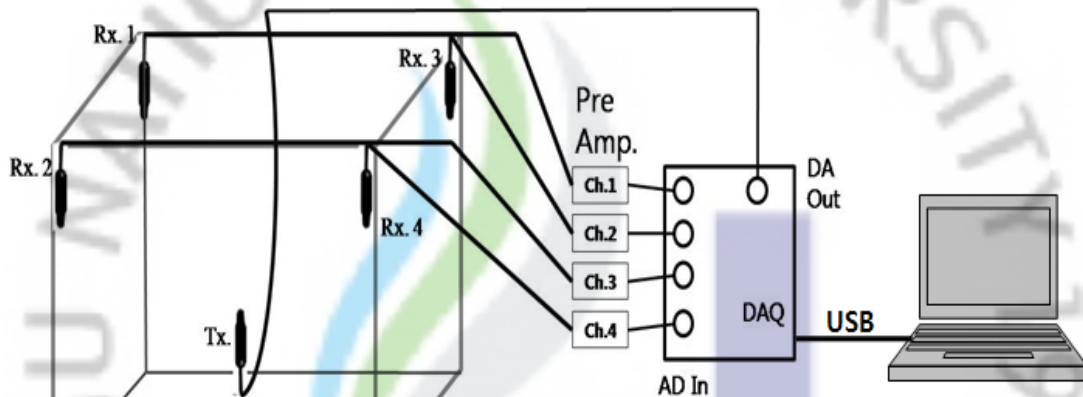


Fig. 14 Schematic design of SBL system

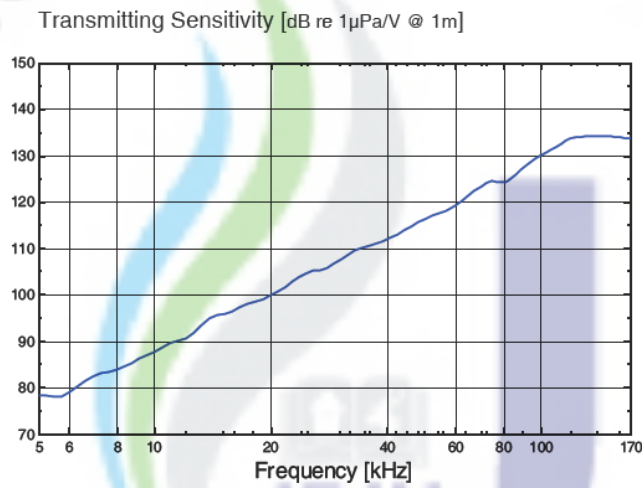
## 4.3 Hydrophone

본 연구에서 사용된 초음파센서는 RESON사의 TC4013 모델을 사용하였으며 Fig. 15와 같다. TC4013의 사양은 Table 3에 나타내었다. TC4013의 전달감도 (Transmitting Sensitivity)는 Fig. 15와 같으며, 본 실험에서는 100kHz로 신호를 내보냈다. TC4013 hydrophone의 horizontal directivity pattern은 Fig. 17과 같이 전방향성 (Omnidirectional)을 갖는 센서이다. 위치추적 시스템을 구성하기 전에 각 하이드로폰의 특성을 파악하고 신호특성을 파악하기 위하여 Fig. 18과 같이 X-Y 포지셔너가 장착되

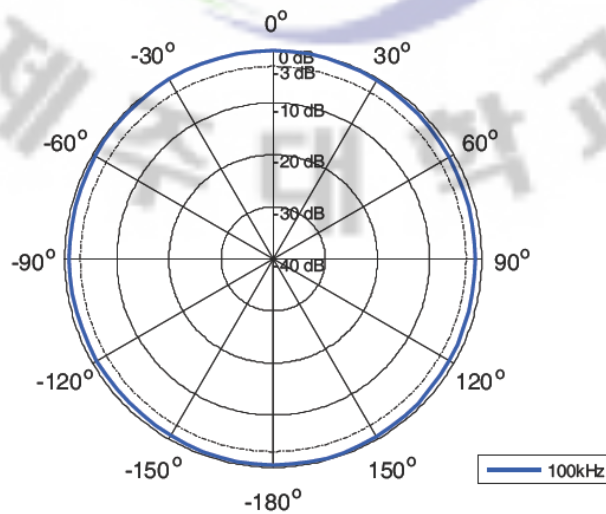
어있는 수조에서 기초테스트를 수행하였다.



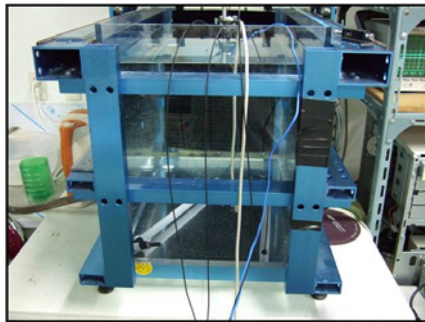
**Fig. 15 TC4013 Hydrophone(RESON)**



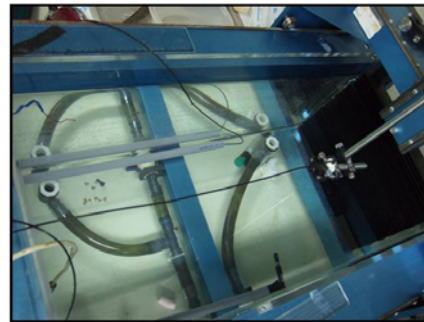
**Fig. 16 TC4013 Hydrophone Sensitivity**



**Fig. 17 TC4013 Hydrophone directivity**



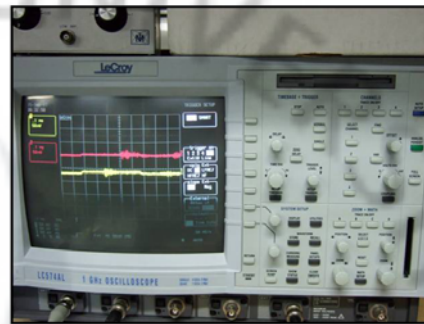
< 실험 환경 >



< 실험 셋팅 >



< Tx - Function Generator >



< Rx - Oscilloscope >

**Fig. 18 TC4013 Hydrophone initial test**

**Table 4 TC4013 Specifications**

<b>Frequency Range</b>	1Hz to 170kHz
<b>Receiving Sensitivity</b>	-211dB±3dB re 1V/μPa
<b>Transmitting Sensitivity</b>	132dB±3dB re 1μPa/V @ 1m @ 100kHz
<b>Horizontal Directivity Pattern</b>	Omnidirectional ± 2dB @ 100kHz
<b>Vertical Directivity Pattern</b>	270° ± 3dB @100kHz
<b>Operating Depth</b>	700m
<b>Survival Depth</b>	1000m
<b>Weight in air</b>	75g

#### 4.4 Pre Amplifier

수신되는 신호의 증폭을 위해 사용된 Pre Amplifier는 Fig. 19와 같다. 고정된 4개의 수신기로부터 들어오는 신호를 증폭시키기 위해 사용되며 6단계로 게인(Gain)을 조절할 수 있으며, 1Hz에서 1MHz까지의 고역통과 필터(High Pass Filter)가 달려있다.



Fig. 19 Pre Amplifier(EC6061)

Table 5 EC6061 Specifications

<b>Input Impedance</b>	100M $\Omega$ /2.5pF
<b>Input Max. Level</b>	2.8Vrms @ 12V supply
<b>Output Impedance</b>	10 $\Omega$ /100 $\mu$ F
<b>Output Max. Level</b>	2.8Vrms @ 0dB gain
<b>Gain Setting</b>	0, 6, 12, 20, 26, 32dB
<b>Gain Tolerance</b>	$\pm$ 0.5dB
<b>Hi-Pass Filters -3dB @ Hz</b>	5k, 10k, 20k, 50k
<b>Hi-Pass Filters -12dB @ Hz</b>	0.1

## 4.5 Data Acquisition Board

본 실험에서 Data Acquisition을 위해 사용된 AD/DA 보드는 National Instrument사의 NI USB-6251 BNC 모델이며, 다음의 Fig. 20과 같다. AD/DA 보드의 사양은 Table 5에 나타내었다. DAQ시스템은 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.  $\pm 10V$ 의 입출력 범위를 가지며, 24개의 Digital I/O를 갖고 있다.



Fig. 20 DAQ Board (NI USB-6251 BNC)

**Table 6 NI USB6251 BNC Specifications**

<b>Analog Input</b>	Number of Channels	16 Differential
	ADC resolution	16bits
	Sampling rate	1.25MS/s single channel 1.00MS/s multichannel
	Input coupling	DC
	Input range	$\pm 10V, \pm 5V, \pm 2V, \pm 1V$ $\pm 0.5V, \pm 0.2V, \pm 0.1V$
<b>Analog Triggers</b>	Functions	Start Trigger Reference Trigger Pause Trigger Sample Clock Convert Clock Sample Clock Timebase
	Modes	Analog edge triggering, Analog edge triggering with hysteresis, Analog window triggering
	Resolution	10bits, 1 in 1,024
<b>Analog Output</b>	Number of Channels	2
	DAC resolution	16bits
	Maximum update rate	1 channel – 2.86MS/s 2 channel – 2.00MS/s
	Output range	$\pm 10V$
	Output coupling	DC
	Output Impedance	0.2 $\Omega$



## 5. 수조실험

앞에서 언급한 하이드로폰과 프리앰프 및 DAQ Board를 이용하여 Fig. 14에서 구성한 수중위치추적 시스템의 성능을 검증하기 위하여 제주대학교 해양과환경연구소 내에 설치된 Fig. 21과 같은 크기  $3\text{m} \times 3\text{m} \times 1.7\text{m}$ 의 수조에서 실험을 수행하였다.

실험을 위해 구성된 시스템은 Fig. 21과 같다. 위치추적시스템을 운영하기 위한 LabView 프로그램이 설치된 노트북을 이용하여 시스템을 구성하였다. 실험에서는 함수발생기를 이용하여 100kHz의 Tone Burst신호를 발생하였으며, 이 신호를 DAQ와 동조하였으며, 고정된 4개의 하이드로폰으로 신호를 받아들여 300kHz의 샘플링 비율로 A/D변환을 하고, 식(6)과 식(7)에 의하여 제안된 위치추적 알고리즘을 통하여 수중이동체의 위치를 추정하였으며, DAQ 시스템과 LabView 프로그램을 이용하여 화면상에 위치를 나타내었다.



Fig. 21 Experimental Basin( $3\text{m} \times 3\text{m} \times 1.7\text{m}$ )



Fig. 22 SBL system installation for basin test

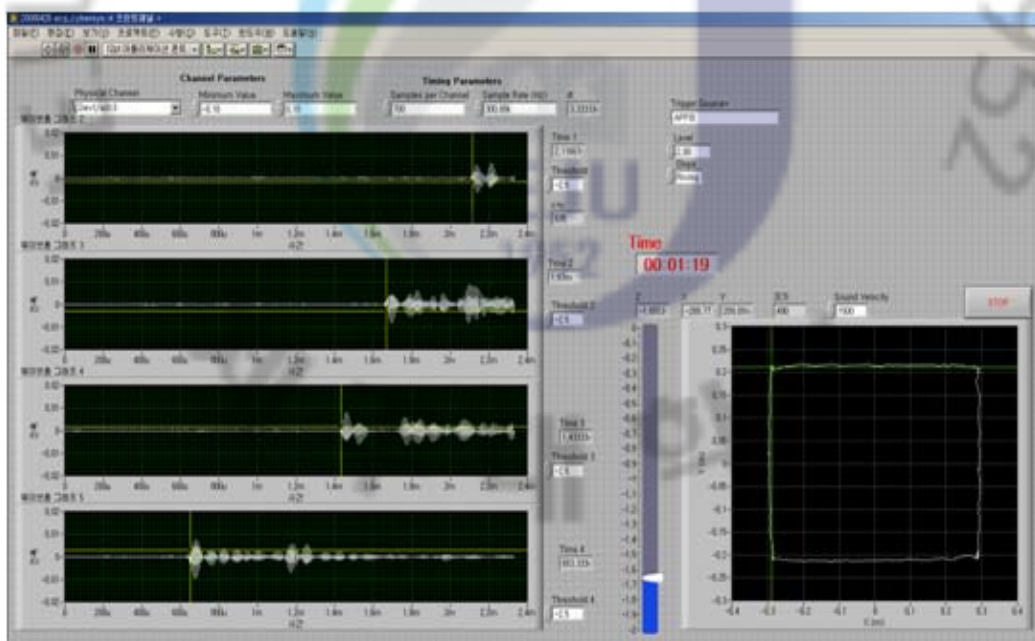


Fig. 23 LabView program front panel for SBL system

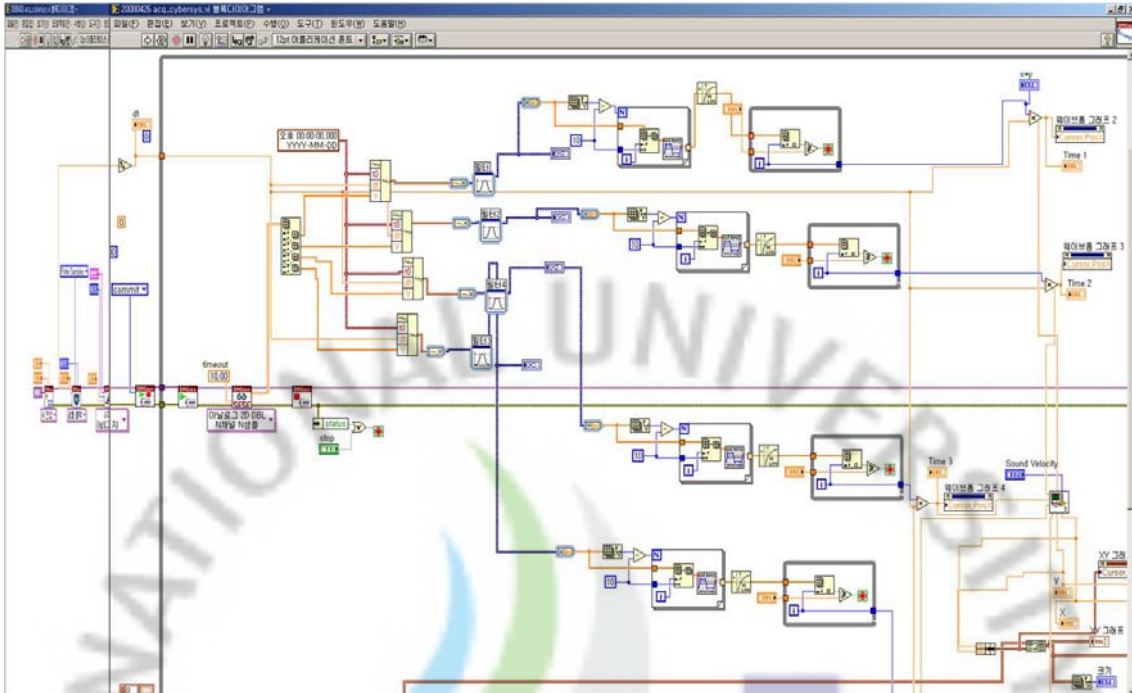


Fig. 24 LabView program block diagram for SBL system

Fig. 23에서와 같이 4개의 수신기로부터 얻은 신호를 대역통과 필터를 통과한 후 식(6)과 식(7)에 의해 제안된 위치 추적 알고리즘을 통하여 Fig. 23의 오른쪽 하단에 보이는 것과 같은 X, Y평면상에서의 위치를 나타내었다. 3차원 위치는 Z방향의 측정 결과가 이동체의 이동에 따라 오차를 나타내어 이에 대한 보정이 필요하며, 실제 수중이동체에는 수심측정센서를 포함하고 있기 때문에 이를 통한 값의 보정이 이루어질 것으로 판단된다. Fig. 24는 LabView 프로그램의 블록다이어그램을 나타내고 있다.

수조실험은 5.1의 X-Y Positioner를 이용한 경우와 송신센서를 ROV에 장착한 5.2의 두 가지 경우에 대해서 실험을 실시하였다.

## 5.1 X-Y Positioner

제작된 SBL 위치추적 시스템의 성능을 확인하고 정확도를 파악하기 위하여 다음의 Fig. 25와 Fig. 26처럼 수조 바닥면에 위치측정을 위한 격자를 그려 송신센서의 위치를 측정하였다.

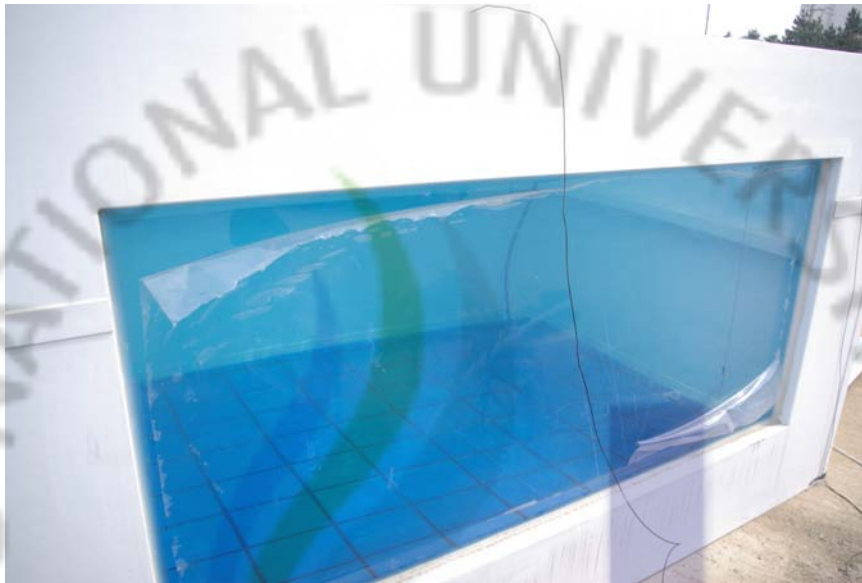


Fig. 25 Basin for SBL system (Side View)



Fig. 26 Basin for SBL system (Upper View)

다음의 Fig. 27-32는 X-Y포지셔너를 이용하여 얻어진 결과이며, 그림 Fig. 27과 Fig. 28은 송신센서의 이동속도를 다르게 하여 수행한 위치측정 결과 이며, Fig. 28의 경우 송신센서의 이동속도를 Fig. 27의 경우 보다 2배정도 빠르게 이동하였을 때도 비교적 정확하게 위치를 측정하고 있음을 보여주고 있으며, Fig. 29처럼 대각선으로 이동하는 경우에도 적은 오차 범위 내에서 위치를 측정하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 30의 경우는 Fig. 27과 같은 속도로 움직일 때 시간에 따른 Z방향의 값의 변화를 측정하였고, Z방향의 측정치는 약간의 오차를 포함하여 일직선이 아닌 아크형의 곡선을 그리고 있음을 볼 수 있었다. 이는 수중운동체의 수심센서를 이용하여 충분히 보정을 할 수 있을 것이다. Fig. 31과 Fig. 32의 경우에도 수조 내 멀티패스(Multipath)에 의한 영향으로 약간의 오차를 확인할 수 있지만 비교적 궤적을 잘 그리고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 32는 Fig. 31의 경우에 대한 3차원 궤적을 나타내고 있으며, Fig. 30에서 보인 것과 같이 Z방향의 측정값이 곡선 형태로 나타나고 있는 모습을 보여주고 있다.

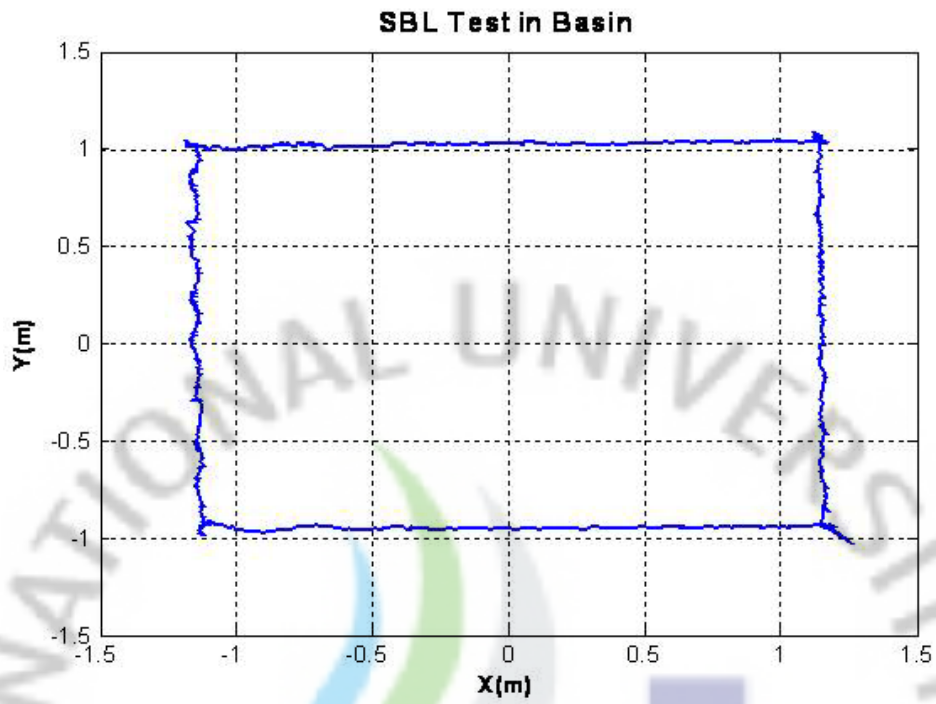


Fig. 27 Basin test case1 of SBL system

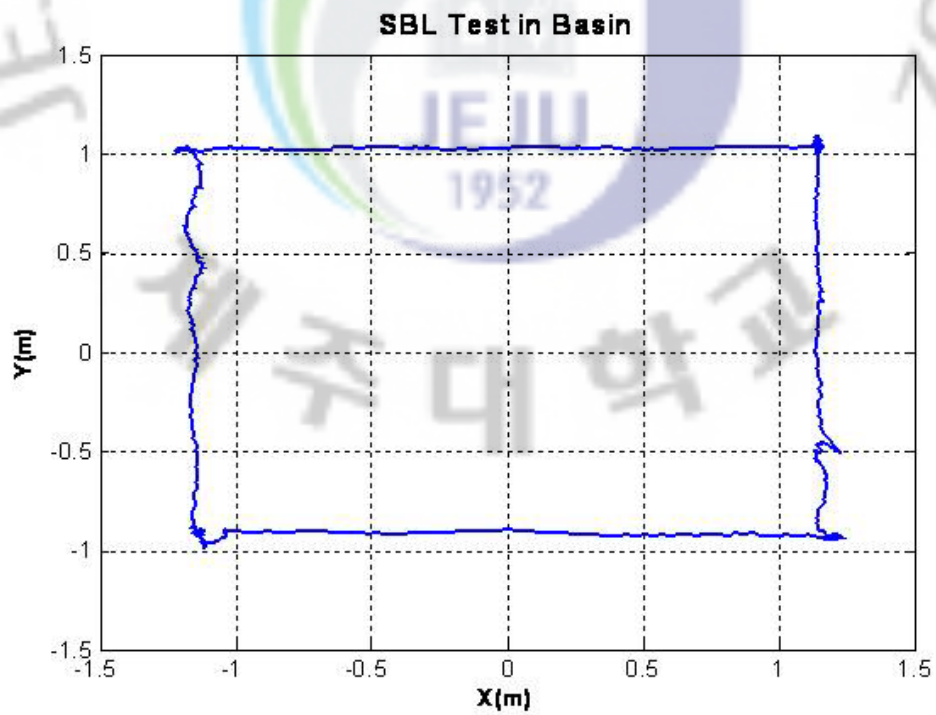
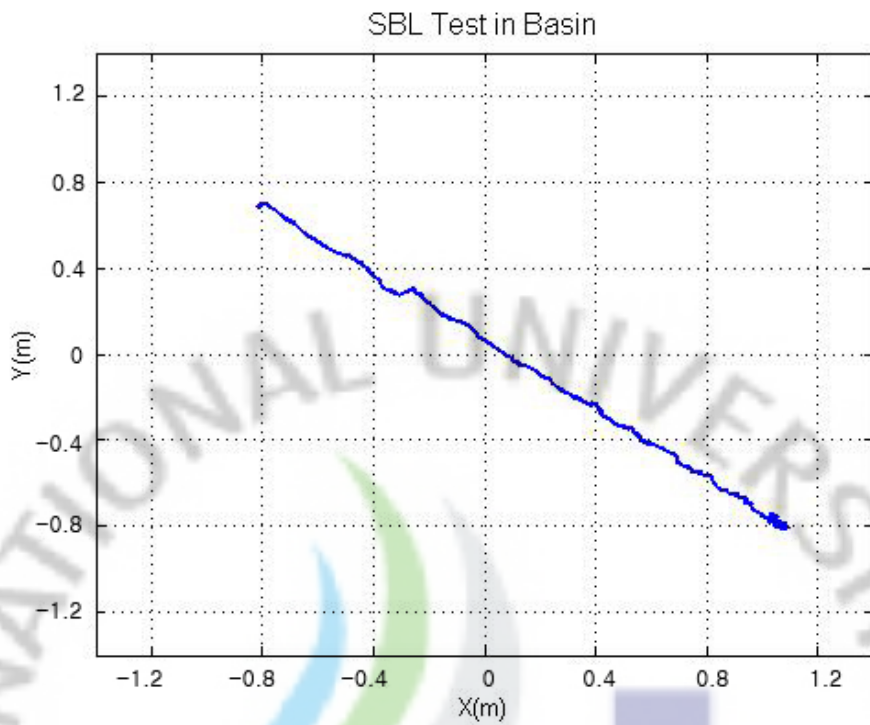
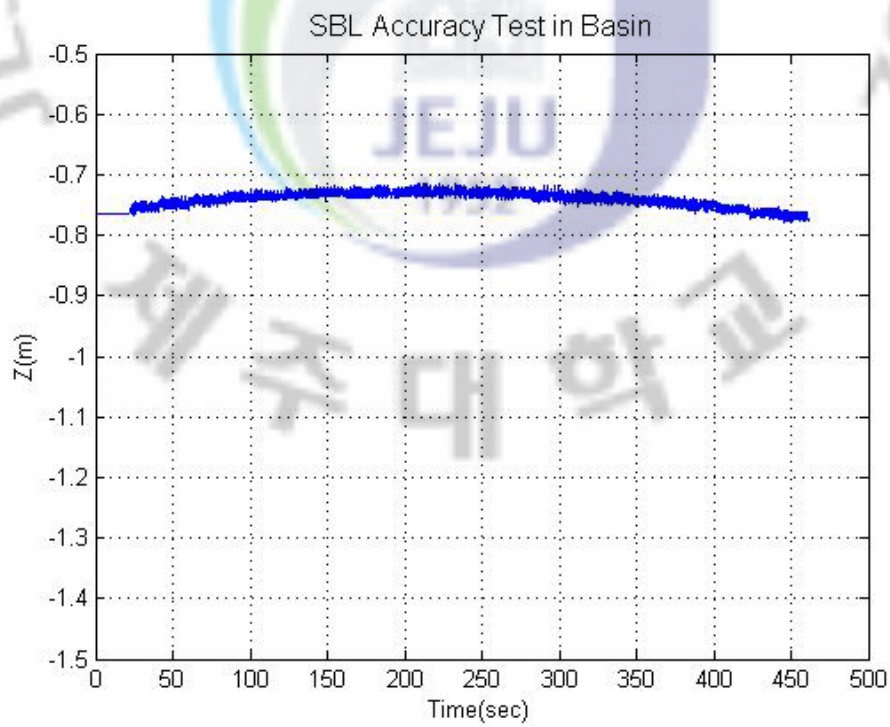


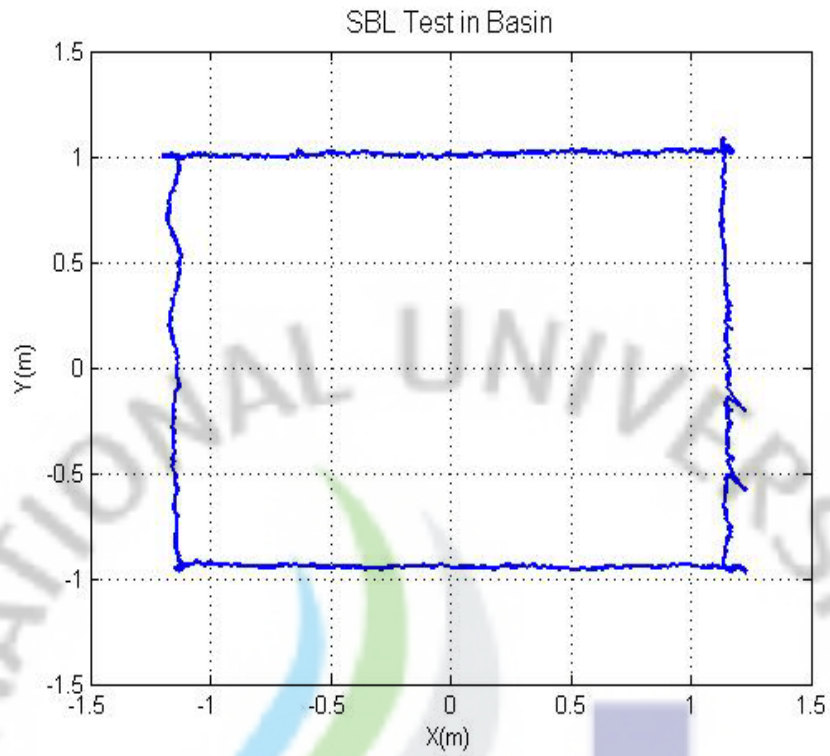
Fig. 28 Basin test case1 of SBL system



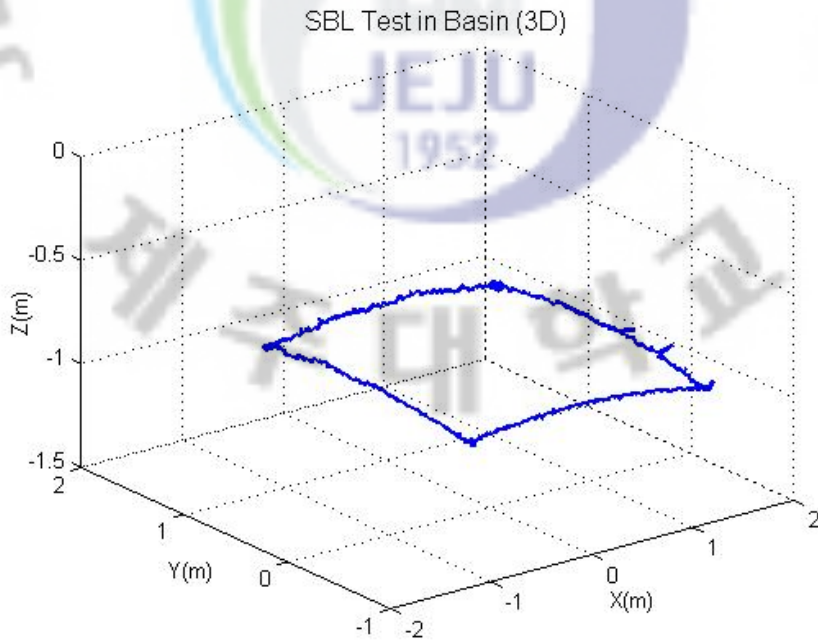
**Fig. 29 Basin test case3 of SBL system**



**Fig. 30 Basin test case4 of SBL system**



**Fig. 31 Basin test case5 of SBL system**



**Fig. 32 Basin test case6 of SBL system**

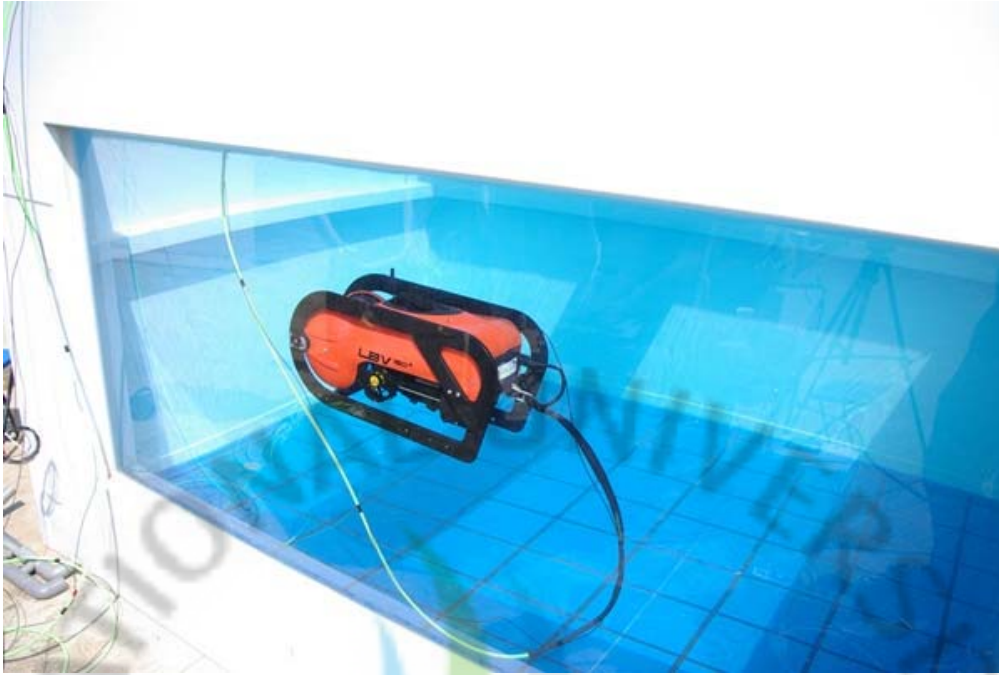


## 5.2 ROV를 이용한 실험

앞의 5.1에서 X-Y포지셔너를 이용하여 설계된 위치추적 시스템의 정밀도를 확인하였고, 실제 사용환경과 비슷한 조건하에서 실험을 하기 위하여, 보유하고 있는 ROV (Remotely Operated Vehicle)를 이용하여 위치추적시스템의 성능을 확인하고자 하였다[17]. 송신 센서는 Fig. 33과 같이 ROV에 장착하여 수조 벽면을 따라 이동하도록 움직이게 하여 위치추적시스템에 적용하였다. 송신기는 추진기의 작동 시에 발생하는 노이즈의 영향을 덜 받게 하기 위하여 추진기의 영향이 최소화 되도록 ROV의 앞쪽에 장착하였다. 잠수정은 Fig. 34와 같이 일정수심을 유지하도록 하고 수조 벽면을 따라 수조를 한 바퀴 돌아 오도록 운용하였다.

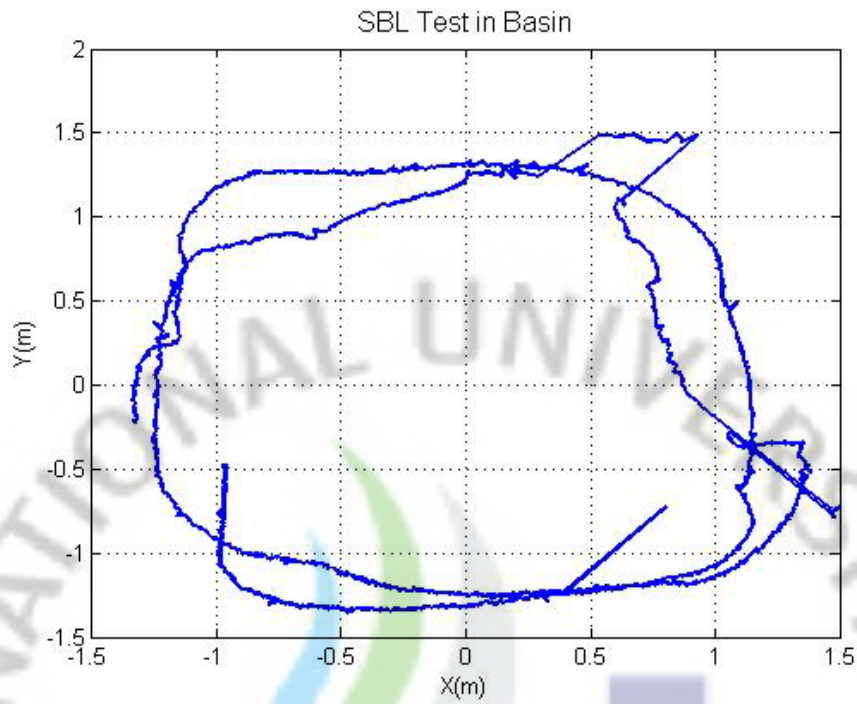


Fig. 33 ROV with hydrophone for basin test

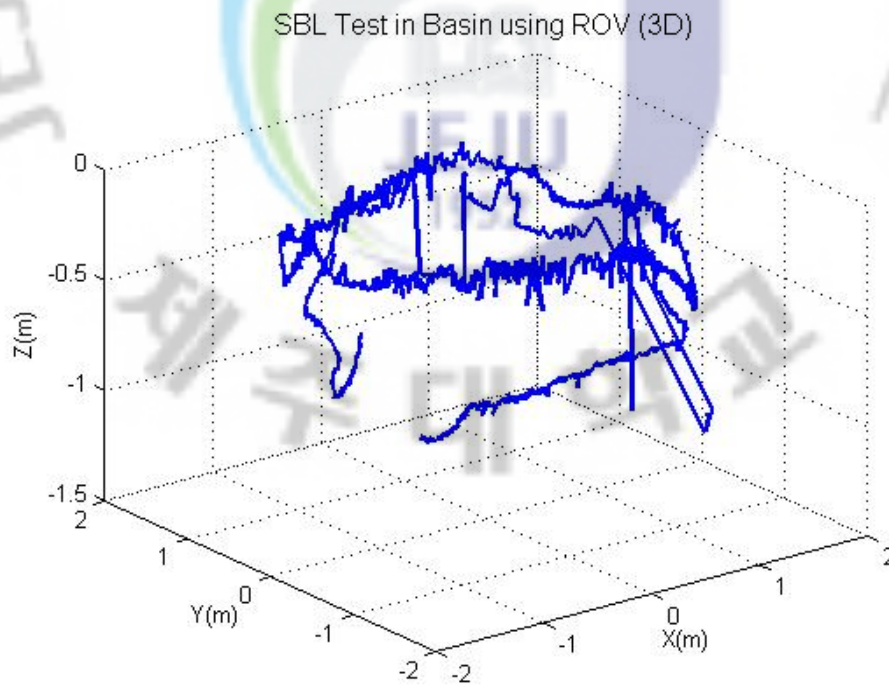


**Fig. 34 SBL test in basin using ROV**

실제 송신센서를 ROV에 장착하여 이동한 경우에는 ROV가 수조벽면에 가까이 접근했을 경우 멀티패스(Multipath)에 의한 영향과 자체 추진기 작동 소음에 의한 영향을 받아 X-Y포지셔너를 사용한 경우 보다 조금 더 많은 잡음성분을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 34에서 보면 X, Y의 위치는 수조 벽면에 의한 멀티패스의 영향이 발생하는 지점을 제외하면 비교적 정확하게 추정하고 있으며, 무인잠수정의 수평방향 위치제어용 데이터로 사용하기에 충분한 정도를 갖고 있다. 그러나 Fig. 35에서 보면 수직방향 위치는 오차가 커서 수직방향 위치제어용으로 사용하기에는 부적절하다고 판단된다.



**Fig. 35 SBL test in basin using ROV (XY)**



**Fig. 36 SBL test in basin using ROV (3D)**

## 6. 실 해역실험

수조에서의 성능시험을 거쳐 실 해역에서 시스템의 성능을 확인하기 위하여 제주 연안에서 ROV를 이용한 단기선 방식의 수중위치추적시스템에 대한 성능시험을 실시하였다.

실 해역 실험은 Fig. 37의 제주대학교의 실습선인 아라2호를 이용하여 실시하였으며, 아라2호는 총톤수 17톤의 연구조사선이다.

실 해역에서의 실험은 Fig. 38과 같이 선박에 시스템을 구성하여 두 가지 방식으로 센서를 설치하여 실험을 수행하였다. Fig. 39과 같이 4각의 방형구 구조물을 수면에 띄운 경우와 Fig. 40처럼 선체에 4개의 센서를 고정하여 실험한 경우 두 가지 방식에 대해 실험을 실시하였다.



Fig. 37 JNU training ship ARA2



**Fig. 38 SBL system Field test installation**

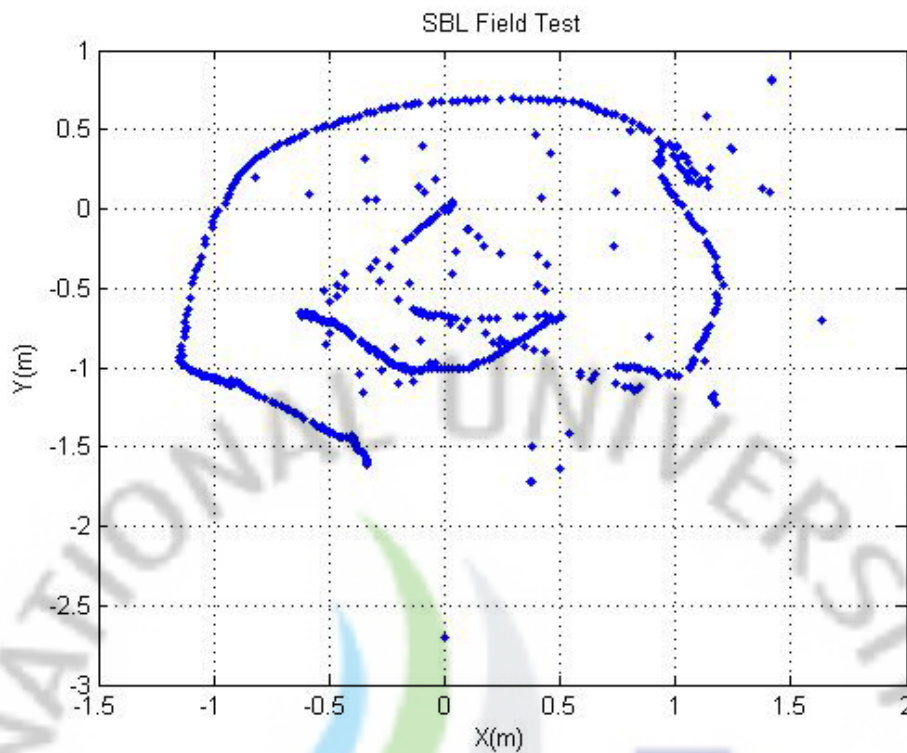


**Fig. 39 Field test of SBL system case 1**

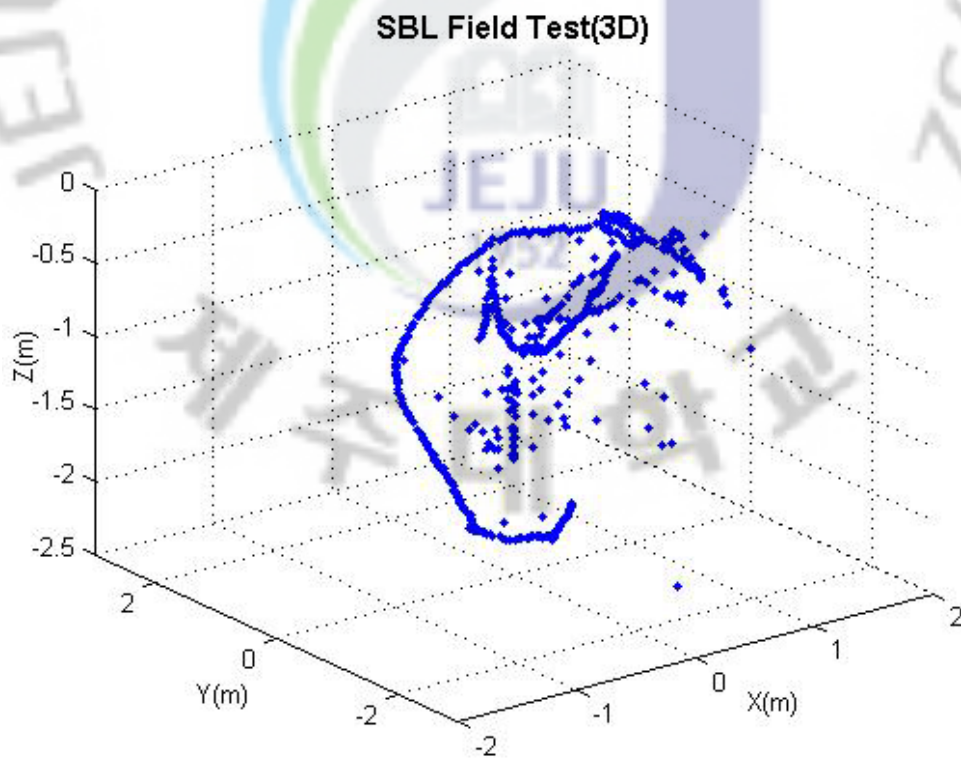


**Fig. 40 Field test of SBL system case 2**

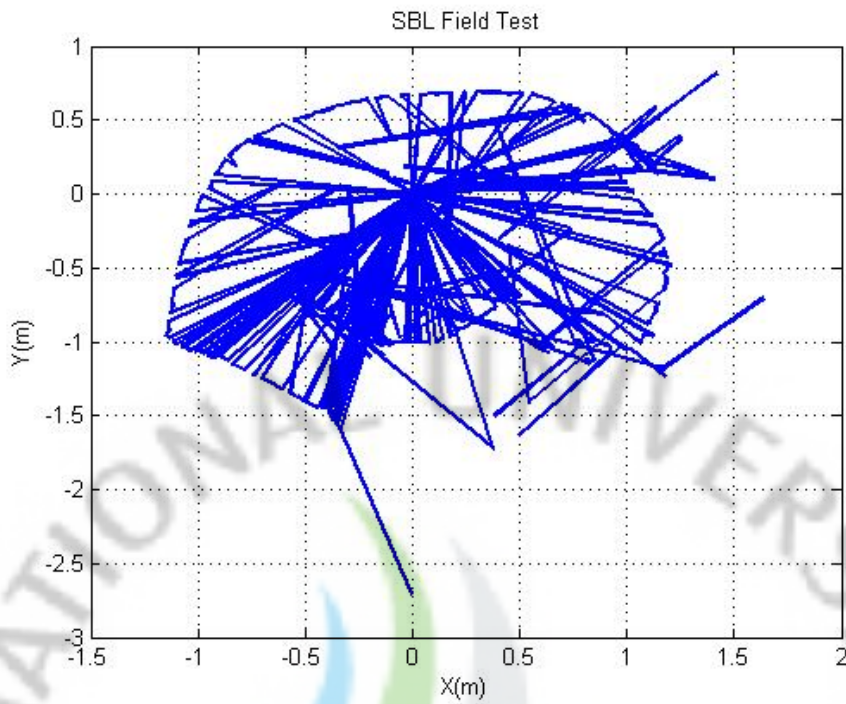
실 해역에서의 실험에서는 그다지 좋은 결과를 얻지 못하였는데, 수중의 주변 환경에 의한 소음 (Ambient Noise), 선저부와 항만의 벽, 그리고 물고기들의 영향으로 인해 다양한 외란이 발생하였을 것으로 판단된다. 또한 배와 사각격자가 파도에 의해서 움직이는 구조물의 경우에는 파도에 의해서 구조물이 고정되어있지 않아서 센서가 계속 움직이다 보니 정확한 위치를 측정하지 못하는 결과를 나타내었다. Fig. 41-42는 사각형의 방형구를 이용한 실 해역 실험 결과이고, Fig. 43-44는 선박의 선수와 선미에 수신센서를 설치하여 실험한 결과이다.



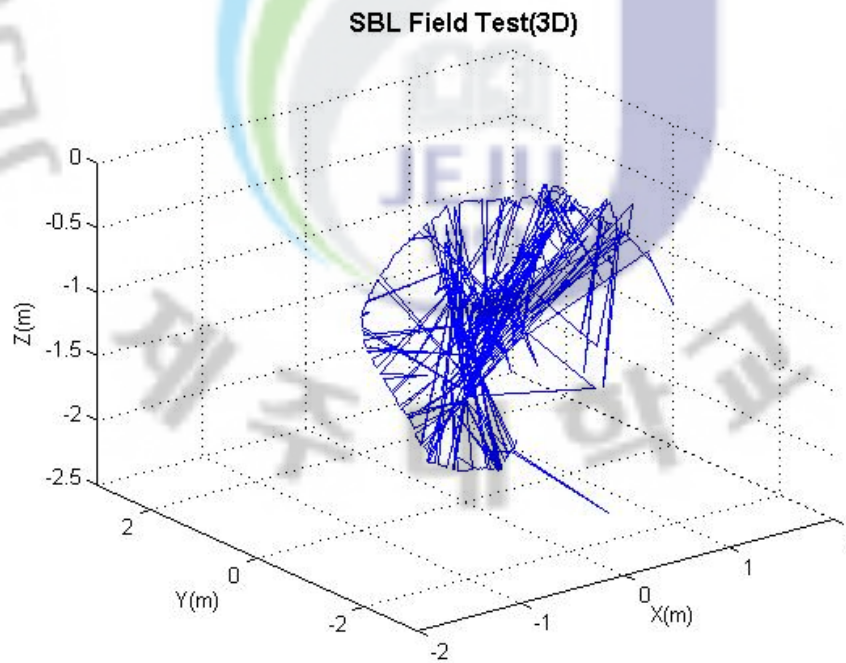
**Fig. 41 SBL system field test result**



**Fig. 42 SBL system field test result 3D**



**Fig. 43 SBL system field test result using ROV**



**Fig. 44 SBL system field test result using ROV 3D**



## 7. 결 론

본 논문에서는 수중에서 이동하는 무인잠수정(ROV)의 위치를 측정하는 방법 중의 하나인 단기선 방식(SBL)을 이용하여 잠수정의 위치측정을 수행하였고, 실제로 하이드로폰과 DAQ 시스템을 이용하여 수조에서 테스트를 수행하였다.

입력된 신호를 이용하여 위치 계산방식으로 삼각측량법을 이용하였고, LabView 프로그램을 이용하여 실시간으로 무인잠수정의 위치를 계산하여 출력하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 X, Y방향에 대해서는 비교적 정확한 추정 결과를 나타내었고 이를 이용하여 무인잠수정의 수평방향 위치제어용 데이터로 사용하기에 충분하다고 판단된다. 그러나 Z방향에 대하여서는 오차를 포함하고 있어 수직방향 제어용 데이터로 사용하기 힘들다고 판단된다. 이는 무인잠수정의 수심측정 센서를 이용하여 보완할 수 있을 것으로 본다.

또한, 실 해역 실험을 통하여 설계된 시스템의 성능을 파악하고자 하였으나, 환경적인 외란 및 다양한 소음이 존재하여 이에 대한 강인한 측정 알고리즘의 개발이 필요함을 확인하였다. 추후, 이러한 실 해역 운용상의 문제들을 해결하고자 한다.

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. 무인잠수정 또는 수중운동체의 위치 추적에 사용되는 수중위치추적 시스템은 종합적인 수중음향 처리 기술이

요구되고, 해저 탐사와 채광을 비롯하여 해상 구조물 설치 및 제반 수중작업에 필수적이다. 그러므로 해양과학의 발전 측면에서 수중위치추적시스템의 운용 및 개발에 대한 더욱더 폭 넓은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.



## 참고문헌

- [1] 구태희, 변승우, 김준영, 주영석, 우종식, “동적 단기선 방식(SBL)의 수중초음파 위치추적 시스템 설계”, 2008년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, pp.2300-2303, 2008.
- [2] 김응범, 송준태, “수중운동 추적체계 현황과 발전방향”, 한국음향학회지, 11권, 5호, pp. 59-69, 1992.
- [3] 박해훈, 윤갑동, “2단 칼만필터를 이용한 초단기선(SSBL) 음향위치 시스템”, 한국음향학회지, 11권, 5호, pp.12-17, 1992
- [4] 이덕환, 고학림, 임용곤, "수중환경에서 위치추적 시스템의 DSP 구현", 한국음향학회지, 제26권, 제1호, pp. 48-54, 2007.
- [5] 이용희, "LBL과 심도계를 결합한 천수역 수중위치추정시스템 개발", 서울대학교 조선해양공학과 석사학위 논문, 2006.
- [6] 조경남, 서동철, 최항순, "SNU-LBL 시스템의 구성 및 이론적 전개", 한국수중로봇연구회 2005년 춘계워크샵, pp. 63-71, 2005.
- [7] P.H. Milne, "Underwater Acoustic Positioning System", E. & F.N. SPON, London, 1983.
- [8] 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.
- [9] Stockton T.R. and McLennan M.W, "Acoustic Position Measurement, an Overview", Proc. 7th Ann. Offshore Technology Conference, pp. 255-264, 1975.

- [10] J. Yuh, "Development in Underwater Robotics," Robotics and automation 1995 IEEE International Conference, Vol. 2, pp. 1862-1867, 1995.
- [11] Neudoefer M.L., "An Acoustic Position Reference System Integrating Long and Short-Baseline Operation", Proc. 11th Ann. Offshore Technology Conference, pp. 1721-1730, 1979.
- [12] Keith Vickery, "Acoustic Positioning Systems 'A Practical Overview of Current Systems'", Dynamic Positioning Conference 1998
- [13] Matos A., Cruz N., Martins A., and Pereira F.L., "Development and Implementation of a Low-Cost LBL Navigation System for an AUV", Proc. OCEANS 99 MTS/IEEE, Vol2, pp.774-779, 1999.
- [14] DAQ board specifications <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ko/nid/203865>
- [15] Hydrophone specifications <http://www.reson.com/sw233.asp>
- [16] Pre-Amplifier specifications  
<http://www.reson.com/sw4531.asp?sType=Accessory&sModel=s&product=Hydrophones>
- [17] ROV Specification [http://www.seabotix.com/products/lbv150be\\_overview.htm](http://www.seabotix.com/products/lbv150be_overview.htm)
- [18] LinkQuest Inc. <http://www.link-quest.com/>
- [19] Kongsberg <http://www.km.kongsberg.com/>

## 감사의 글

“가장 먼저 마지막 기회와 도움을 주신 모든 분들께 감사의 말을 드립니다.”

대학원 면접을 위해 제주도를 방문한 그 날에는 눈이 내렸습니다.

2년 남짓한 연구실 생활을 통해 많은 것을 배우고 느꼈습니다. 감사의 글을 쓰려니 그 시간 속에 녹아 있는 행복했던 일, 힘들었던 일, 부끄러웠던 일들이 주마등처럼 스쳐 지나 갑니다. 제주도라는 낯선 땅에서 모든 분들로부터 많은 배움과 사랑을 받았던 것을 회상해 보면, 저의 부족하고 부끄러운 행동들은 한없이 초라하게 보입니다.

많이 부족한 저에게 구원의 손길을 내밀어 주신 김준영 교수님께 먼저 감사의 말을 드립니다. 1년 동안 저를 단련시켜 주신 이종현 교수님, 수중음향학이라는 무시무시한 학문을 부드럽게 전달해 주신 팽동국 교수님, 항상 대학원 생을 생각해 주시는 배진호 교수님, 조일형 교수님께도 진심으로 감사 드립니다.

처음 대학원 생활을 시작하고 마칠 때까지, 그리고 현재까지도 많은 도움을 주신 승우형께 진심으로 감사의 말을 전하고 싶습니다. 연구실 생활을 같이 하면서 함께 즐거웠고, 함께 힘들었던 태훈이형, 혁준이형, 정훈이형, 정희형, 잉, 마노에게 고마움을 전합니다. 항상 긍정적인 생각과 밝은 미소로 응원해 주신 남권호 선생님, 전공은 달랐지만 생활과 학문 모든 분야에서 도움을 준 관석이 형께도 감사의 말을 전합니다.

감사를 드려야 할 분들이 너무나 많은데 그분들을 감사의 글에 일일이 적지 못하여 죄송합니다. 저를 도와주신 모든 분들께 항상 감사하는 마음으로 생활하며, 그 은혜에 보답할 수 있도록 노력하도록 하겠습니다. 다시 한번 감사의 말을 드리고, 행복이 가득한 하루하루가 되시길 빌겠습니다.

다음 기회는 없다

젊은 혈기로 가득 찬 나에게  
처세와 처신의 방도를 충고해주었던  
<내셔널 지오그래픽>부편집인 프랭크 쇼어가,  
갓 입사한 30대 초반의 나에게 일러준 말이 있다.  
"미스터 김, 절대 다음 기회가 있다고 생각하지 마시오.  
지금 이 기회를 놓치면 영원히 없다고 생각하십시오."  
나는 그 이야기를 20년이 넘도록 내 가슴 한편에  
깊숙이 간직하고 살아왔다. 하지만 그 이야기를  
늘 주문처럼 스스로에게 되뇌이면서도,  
지금까지도 '다음에 하지'라고  
생각하여 놓친 것들이 많다.

- 김희중의 《가슴이 따뜻한 사람과 만나고 싶다》 중에서 -

본 논문은 2006년도 문제해결형 인력양성지원사업의 일환으로 한국 학술진흥재단의 지원으로 수행  
되었습니다(KRF-2006-511-D00457). 이에 재단 관계자 분들께 감사 드립니다.