

관측위치오차와 시간지연오차를 보정하는 소나방위정확도 측정 장비 구현

김성덕*, 김도영, 박규태, 신기철
LIGNex1

Implementation of Sonar Bearing Accuracy Measurement Equipment with Parallax Error and Time Delay Error Correction

Sung-Duk Kim*, Do-Young Kim, Gyu-Tae Park, Kee-Cheol Shin
LIGNex1

요 약 소나방위정확도는 소나에서 예측한 표적방위와 실 표적방위와의 일치성을 나타내며 측정을 통해 구해진다. 하지만 소나 방위정확도 측정 시에는 복잡하고 다양한 환경 요인이 작용하는 해상에서 이루어지는 관계로 여러 오차가 결과에 포함된다. 특히 GPS 수신장치와 소나센서 위치 차이로 발생하는 관측위치오차와 수중 음파 속도와 공기 중 전자파 속도 사이에서 발생하는 시간지연오차는 정확도에 큰 영향을 미치는 요소이다. 이런 관측위치오차와 시간지연오차를 자동화도구 없이 보정하는 것은 많은 노력이 들어가는 작업이다. 이에 본 연구에서는 관측위치오차와 시간지연오차를 보정하는 소나방위정확도 측정 장비를 제안하였다. 실험은 모의데이터와 실 해상데이터를 통해 이루어졌으며, 실험 결과 관측위치오차와 시간지연오차가 시스템적으로 보정되어 모의데이터인 경우 51.7%, 실 해상데이터인 경우 18.5% 이상 보정됨을 확인하였다. 제안한 방법을 통해 향후 소나시스템 탐지 성능 검증의 효율성 및 정확성 향상을 기대한다.

• 주제어 : 소나, 방위정확도, 관측위치오차, 시간지연오차, 보정

Abstract Sonar bearing accuracy is the correspondence between the target orientation predicted by sonar and actual target orientation, and is obtained from measurements. However, when measuring sonar bearing accuracy, many errors are included in the results because they are made at sea, where complex and diverse environmental factors are applied. In particular, parallax error caused by the difference between the position of the GPS receiver and the sonar sensor, and the time delay error generated between the speed of underwater sound waves and the speed of electromagnetic waves in the air have a great influence on the accuracy. Correcting these parallax errors and time delay errors without an automated tool is a laborious task. Therefore, in this study, we propose a sonar bearing accuracy measurement equipment with parallax error and time delay error correction. The tests were carried out through simulation data and real data. As a result of the test it was confirmed that the parallax error and time delay error were systematically corrected so that 51.7% for simulation data and more than 18.5% for real data. The proposed method is expected to improve the efficiency and accuracy of sonar system detection performance verification in the future.

• Key Words : Sonar, Bearing Accuracy, Parallax Error, Time Delay Error, Correction

Received 18 September 2019, Revised 24 September 2019, Accepted 30 September 2019

* Corresponding Author Kim, Sung-Duk, KSS-III Sonar System R&D, LIG Nex1 Co.,Ltd, 333, Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-City, Gyeonggi-do, 13488, Korea. E-mail: sungduk.kim@lignex1.com

I. 서론

소나(Sonar: SOund NAVigation and Ranging)는 “수중 음향을 이용하여 수중 물체의 존재, 위치, 성질 등을 알아내는 기술이나 장비”를 통칭한다[1]. 그리고 소나 방위정확도는 이런 소나를 통해 예측된 표적방위와 기준방위와의 일치성을 나타내는 기준으로 식 (1)처럼 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error) 값으로 정해진다.

$$\text{소나방위정확도} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (B_{ref} - B_{det})^2} \quad (1)$$

B_{ref} : 기준방위

B_{det} : 예측방위

N : 총 데이터(방위) 개수

여기에서 기준방위는 오차계산을 위한 참값으로 시험함과 표적함의 GPS(Global Positioning System) 위치 정보를 통해 산출된 값이다. 하지만 기준방위 또한 GPS 위치를 기준으로 산출된 값으로 산출과정에서 오차가 발생되어 소나방위정확도에 잘못된 결과가 반영될 수 있다[2]. 소나예측방위 또한 소나 내부에서 신호 처리의 기준이 되는 좌표가 정확하지 않던지[3] 혹은 잘못된 음속 등으로 틀리게 예측될 수 있다[4].

이처럼 소나방위정확도 측정은 여러 오차에 의해 왜곡된 결과를 얻을 수 있다. 이 중 소나방위정확도 측정에 필요한 기준 수치를 제공해주는 시스템(항해시스템, GPS시스템 등)의 자체 신뢰성에 의해 발생된 것은 소나방위정확도 측정 전 해당 시스템의 검교정을 통해 처리될 수 있다.

하지만 GPS 수신 위치와 소나센서 위치 차이로 발생하는 관측위치오차와 수중에서 음파전달 속도로 발생하는 시간지연오차는 기준방위를 산출하는 과정에서 발생하는 오차로 소나방위정확도 측정 전에 제거될 수 없고, 기준방위 산출 과정에서 보정을 통해 제거되어야만 한다.

이에 본 연구에서는 관측위치오차와 시간지연오차를 실시간으로 보정하는 소나방위정확도 측정 시스템을 설계 및 구현하였으며, 모의데이터와 실제 해상 데이터를 대상으로 한 실험을 통해 관측위치오차와 시간지연오차가 실시간으로 보정됨을 확인할 수 있었다. 본

논문은 서론에 이어, II장에서는 관측위치오차와 시간지연오차에 대해 알아본 후 관측위치오차와 시간지연오차를 보정하는 소나방위정확도 측정 장비에 대한 설계 및 구현을 서술한다. III장에서는 구현된 소나방위정확도 측정 시스템에 대한 실험 및 실험결과를 분석하며, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1 관측위치오차와 시간지연오차

일반적으로 그림 1(출처:https://www.india.atlas-elektro.com/solutions/submarine-systems/isusr-100.html)과 같이 GPS 수신장치는 잠수함의 함 중앙에 위치하나 소나센서는 용도에 따라 설치되는 위치가 다르다. 소나는 설치된 센서 위치를 기준으로 수신한 신호를 신호처리 하여 표적방위를 예측하기 때문에 함 중앙의 GPS 수신 위치로 산출한 기준방위와 소나센서가 장착된 위치 기준으로 예측한 소나예측방위 사이에는 오차가 발생되며 이 오차가 관측위치오차이다. 따라서 관측위치오차는 각 센서마다 다르게 발생되지만 본 연구에서는 선수에 탑재되어 중주파수 대역의 탐지분석용으로 사용되는 수동배열센서(CAS, Cylindrical Array Sonar)를 대상으로 하였다.

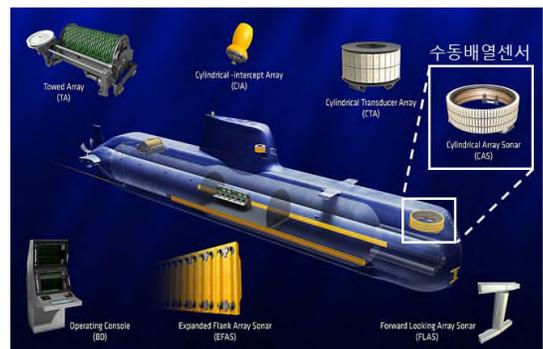


Fig. 1. Mounting position by sensor of submarine

관측위치오차가 GPS 수신장치의 장착 위치와 소나센서의 장착 위치와의 기하학적 차이로 인하여 발생하는 것인 반면 시간지연오차는 수면 위에서의 GPS 수신시간과 수중에서 소나센서가 표적신호를 수신하는 시간의 차이로 발생된다. 일반적으로 공기 중 전파의 속도는 약 30만km/s인 반면 수중에서 음속은 1.5km/s

이다(수중에서 음속은 수온, 수심, 염도 등에 따라 1450m/s ~ 1550m/s 달라짐[5]). 이로 인하여, GPS 수신 시간을 기준으로 산출된 기준방위와 수중 내 음파 수신 시간을 기준으로 처리된 소나에측방위의 차이가 발생되며, 이렇게 발생된 오차가 시간지연오차이다.

그림 2에서 표적함의 위치 P_1 에서의 시간을 T_1 , ΔT 시간 동안 움직인 위치 P_2 에서의 시간을 T_2 라고 하면 T_2 시간 일 때 시험함은 표적함의 위치 P_1 에 있을 때의 신호를 수신하여 신호처리를 한다. 여기서 ΔT 는 표적함의 신호가 시험함에 도달하는 시간이며, 수중 음속 및 시험함과 표적함과의 거리에 의해 결정된다. 결국 소나정확도 측정 시점에서의 GPS 수신정보가 아닌 표적함의 신호가 시험함에 도달하는데 걸린 시간이 반영된 GPS 정보를 사용해야 한다. T_1 일 때 표적함과 시험함과의 거리를 D 라고 하면 $\Delta T = \frac{D}{c}$ (sec) 만큼의 시간을 반영한 표적함과 시험함의 GPS정보를 사용하여 기준방위를 산출해야 한다. 예를 들어 음속이 1500m/s인 환경에서 표적함이 시험함으로부터 직선거리로 3000m 떨어진 곳에 위치에 있을 때 표적함의 방사신호는 시험함에서 최소 2초가 경과한 이후부터 탐지된다.

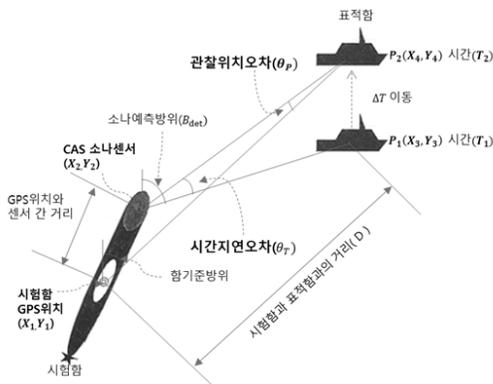


Fig. 2. Parallax error and time delay error

이처럼 관측위치오차와 시간지연오차는 시험함과 표적함의 위치에 따라 달라진다. 따라서 해당 오차들은 미리 고정된 수치로 보정될 수 없으며, 기동 등으로 인하여 표적함과 시험함의 위치가 변경되었을 때마다 동적으로 보정되어야 한다. 식 (2)는 시험함과 표적함의 위치 변화에 따라 발생하는 관측위치오차와 시간지연오차를 반영하여 기준방위를 산출하는 식으로 산출된 기준방위를 통해 소나방위정확도를 측정한다.

$$\text{기준방위}(B_{ref}) \tag{2}$$

$$= \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{(Y_1 - Y_2)^2}}{\sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{(X_2 X_1 + Y_2 Y_1) \times (X_2 X_3 + Y_2 Y_3)}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \times \sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}} \right) \right\} \times \frac{180}{\pi}$$

2.2 소나방위정확도 측정 시스템 설계 및 구현

관측위치오차와 시간지연오차가 보정될 수 있도록 소나방위정확도 측정 시스템을 설계 및 구현하였다. 그림 3은 구현된 장비 및 탑재되는 소프트웨어 실행화면이다. 구현된 소나방위정확도 측정 장비와 추가로 데이터 수신용 연동 장비가 필요하며, 이는 상용품을 사용하였다. 또한 탑재되는 소나방위정확도 측정용 소프트웨어는 기본적으로 실제 표적방위와 소나에측방위와의 차이를 그래프로 보여준다. 왼쪽 상단에 있는 화면에서 노란색은 시간에 따른 소나에측방위를 상대방위값으로 표현한 것이며, 녹색은 소나에측방위를 절대방위값으로 표현한 것이다. 빨간색은 표적의 실제 방위를 절대방위값으로 나타낸 것이다. 화면에서 빨간색과 녹색선의 일치성으로 소나방위정확도 측정 결과를 쉽게 확인할 수 있으며, 해당 데이터 값 확인을 위한 데이터 값 전시 및 파일저장 기능이 있다. 기타 시험함(녹색)과 표적함(빨간색)의 기동 정보(헤딩, 속도, 궤적 등) 및 측정 시 적용한 음속을 확인할 수 있다.

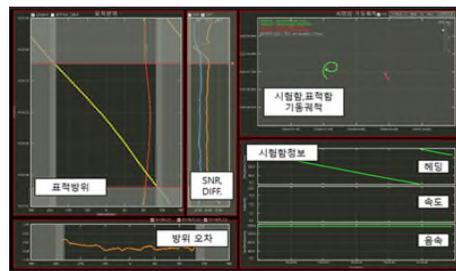


Fig. 3. Sonar bearing accuracy measurement hardware(upper), software(bottom)

그림 4는 소나방위정확도 측정 시스템에서 자동으로 오차가 보정되어 소나방위정확도가 측정되는 처리과정이다.

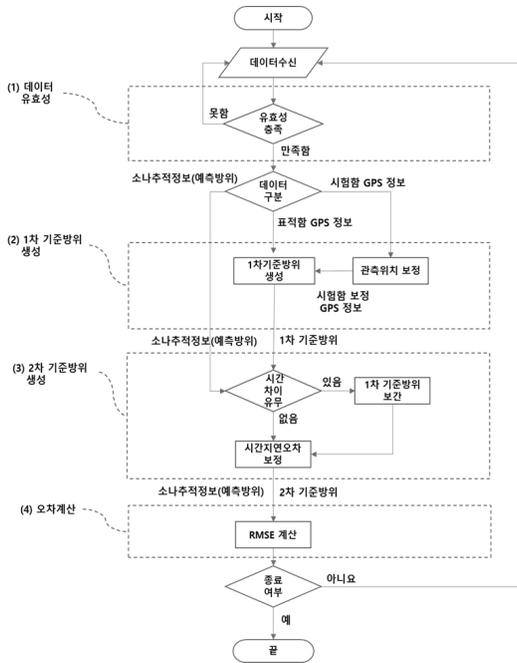


Fig. 4. Process flowchart for sonar bearing accuracy measurement system

2.2.1 데이터 유효성

먼저 소나방위정확도 측정 시스템은 수신한 데이터의 유효성을 확인한다. GPS 데이터 통신은 NMEA(National Marine Electronics Association) 0183을 표준 프로토콜로 사용한다. NMEA 0183 프로토콜은 물리 계층, 데이터링크 계층, 애플리케이션 계층으로 구성되어지며, 데이터의 유효성을 확인하기 위해 애플리케이션 계층의 문장(Sentence) 구조 내에 있는 체크섬 값을 이용하였다. 체크섬은 특정 문자들 사이에 있는 모든 데이터를 각각 XOR(exclusive or) 연산 및 누적하여 만들어져서 문장 내에 포함되어진다[6]. 따라서 GPS 데이터를 수신하면 체크섬을 계산하여 GPS 데이터 내부에 포함된 체크섬을 비교하는 방법을 통해 데이터의 유효성을 확인하였다.

한편 소나추적정보는 해당 표적신호의 신호대잡음비(SNR, Singal to Noise Ratio) 수치를 포함하고 있으며, 신호대잡음비가 기준치 이하일 경우 유효하지 않는 데

이터로 판단하였다. 모든 유효하지 않는 데이터는 오차 전파(error propagation)를 사전에 방지하기 위하여 무시하도록 처리하였다[7].

2.2.2 1차 기준방위 생성

데이터 유효성이 확인되면 관측위치오차를 보정하여 1차 기준방위정보를 생성하였다. 관측위치오차를 보정하기 위해 그림 5와 같이 시험함의 GPS 좌표를 소나센서 중심좌표로 이동하였다.

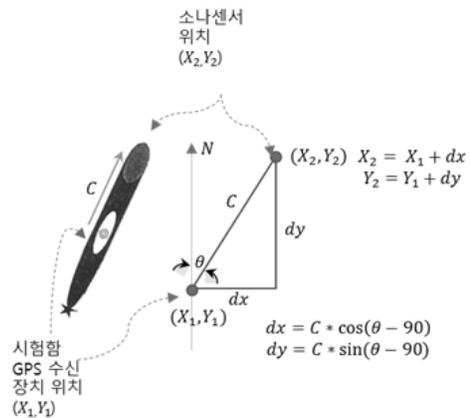


Fig. 5. Move GPS coordinates to sonar sensor center coordinates

2.2.3 2차 기준방위 생성

생성된 1차 기준방위정보 시간과 소나추적정보 시간을 동기화하기 위해 비교하였다. 일반적으로 소나추적정보는 주기가 약 1.3초이며 GPS정보를 바탕으로 생성된 1차 기준방위정보의 주기는 약 0.1초이다. 따라서 정확한 비교를 위해서는 시간을 일치시켜야 한다. 시간동기화 과정에서 소나추적정보 시간과 정확히 일치하는 1차 기준방위정보가 없을 경우에는 1차 기준방위정보시간을 선형 보간법(linear interpolation)을 통해 필요 정보를 생성하여 사용하였다. 1차 기준방위정보 시간과 소나추적정보 시간이 동기화가 되었다면 해당 중심에서의 음속을 계산해서 시간지연오차를 보정하여 2차 기준방위를 산출하였다.

2.2.4 오차 계산

소나추적정보 데이터 내부에 있는 소나예측방위 펄드 값과 위에서 생성된 2차 기준방위값의 오차를 계산하여 최종 소나방위정확도를 산출하였다.

III. 실험 및 분석

3.1 실험 환경 및 방법

모의데이터와 실 해상데이터를 소나방위정확도 장비로 소나방위정확도를 측정하였다. 그림 6은 실험 구성도이고, 표 1은 실험에 사용된 구성품 리스트이다.

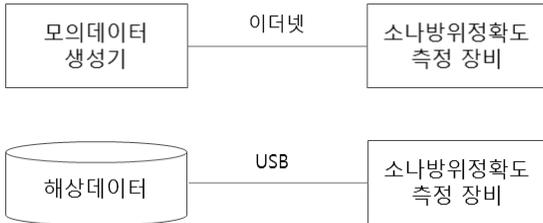


Fig. 6. Sonar bearing accuracy measurement system test configuration

Table 1. Sonar bearing accuracy system test component list

구성품	수량	설명	기타
소나방위정확도 측정장비	1대	소나방위정확도 프로그램 탑재	상용PC
모의데이터 시뮬레이터	1대	모의데이터 생성 프로그램 탑재	상용PC
저장장치	1개	해상데이터	상용 저장장치
소나방위정확도 측정 프로그램	1개	소나방위정확도 측정	자체개발
모의데이터 생성 프로그램	1개	모의데이터 생성	자체개발

3.2 시나리오

실험용 시나리오는 2개로 구성하였다. 시나리오 1(그림 7)은 시험함은 정지 상태이고 표적함은 시험함의 6시 방향에서 3시 방향으로 일정속도로 이동하게 하였다. 반면 시나리오 2(그림 8)는 표적함은 시험함의 3시 방향에서 12시 방향으로 이동하고 시험함은 표적함의 9시 방향에서 시계방향으로 일정속도로 원기동한다. 표 2는 본 실험을 위한 시나리오 설정 값이다. 실험 1~ 실험 9번까지는 모의데이터를 사용하였으며, 실험 10은 해상데이터를 사용하였다. 실험 1~8까지는 설계 검증 목적으로 모의데이터를 사용하였으며, 실험 9와 실험 10은 모의데이터와 실 해상데이터에 따른 측정 결과를 비교하기 위한 실험이었다.

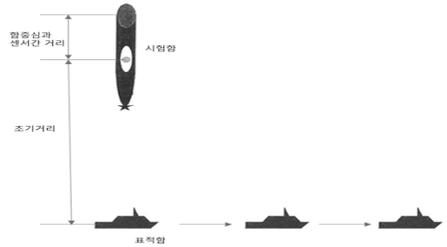


Fig. 7. Moving scenario 1

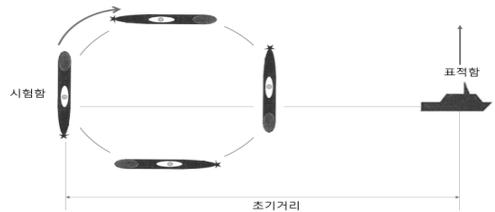


Fig. 8. Moving scenario 2

Table 2. Scenario setting value

	실험1	실험2	실험3	실험4	실험5
DGS	20	20	20	20	50
TS	2	2	16	16	2
ID	1,500	5,000	1,500	5,000	1,500
OS	0	0	0	0	0
V	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
S	시나리오1				
DT	모의데이터				

	실험6	실험7	실험8	실험9	실험10
DGS	50	50	50	20	20
TS	2	16	16	1	1
ID	5,000	1,500	5,000	2,072	2,048
OS	0	0	0	3	3
V	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
S	시나리오1			시나리오2	
DT	모의데이터				해상 데이터

DGS : GPS수신위차와 센서간 거리[m], TS : 표적속력[m/s], ID : 시험함과 표적함간의 초기거리[m], OS : 시험함속력[m/s], V : 음속[m/s], S : 시나리오 종류, DT : 데이터 유형

3.3 실험 결과

표 3은 각 실험에 따른 결과 수치이며, 그림 9는 보정 전후 수치를 그래프로 표현한 것이다. 모든 실험에서 관측위치오차와 시간지연오차 보정을 모두 적용한 경우 보정 전보다 소나방위정확도가 개선되었음을 확인할 수 있었다.

Table 3. Test result of parallax error and time delay error correction through sonar bearing accuracy measurement system

	실험1	실험2	실험3	실험4	실험5
	모의데이터				
	시나리오1				
N	0.4496	0.2024	0.8515	1.1282	0.4615
P	0.1801	0.1518	0.6379	1.0379	0.1502
T	0.3848	0.1302	0.5883	0.6345	0.4047
P+T	0.1141	0.0792	0.3796	0.5453	0.0922

	실험6	실험7	실험8	실험9	실험10
	모의데이터			모의 데이터	해상 데이터
	시나리오1			시나리오2	
N	0.1954	0.8719	0.9703	0.2899	0.4497
P	0.1034	0.3822	0.7570	0.1236	0.3804
T	0.1221	0.6017	0.5485	0.2819	0.444
P+T	0.0422	0.2229	0.3421	0.1179	0.3667

N : 보정 없음[deg], P : 관측위치오차 보정 적용[deg], T : 시간지연오차 보정 적용[deg], P+T : 관측위치오차

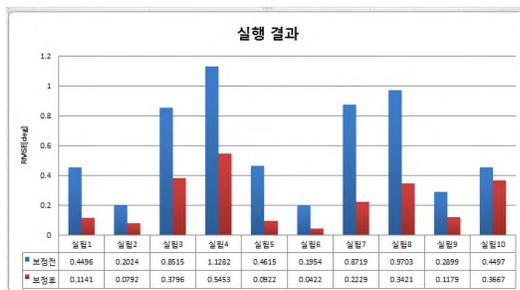


Fig. 9. Comparison of values before and after correction through sonar bearing accuracy measurement system

3.4 결과 분석

표 4는 3.3의 실험 결과로부터 오차 보정률 및 보정된 방위를 정리한 것이다. 모의데이터를 이용한 실험 1 ~ 실험 9에서는 51.7% 이상의 보정률을 보였으며 해상 데이터를 이용한 실험 10에서는 18.5% 보정률을 보였다. 실험을 통해 소나방위정확도 측정 시에는 관측위치오차와 시간지연오차가 필연적으로 발생되며, 본 연구에서 제안한 소나방위정확도 측정 장비를 통해 관측위치오차와 시간지연오차 오차가 보정되어 더 정확한 결과를 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

다만, 시나리오 2에서 모의데이터를 대상으로 한 실험 9가 59.4% 보정률인 것에 비해 해상데이터를 대상으로 한 실험 10은 상대적으로 낮은 18.5% 보정률을 보였다. 이는 모의데이터는 관측위치오차와 시간지연오차만을 반영된 것인 반면, 실 해상데이터는 관측위치오차와 시간지연오차뿐만 아니라 수중에서의 수신신호 왜곡 등의 주변의 환경적인 요소가 반영된 것이기 때문인 것으로 분석된다[8].

Table 4. Corrected accuracy when measuring sonar bearing accuracy with sonar bearing accuracy system

			정확도 보정률	보정된 오차방위
실험1 실험2 실험3 실험4 실험5 실험6 실험7 실험8	시나리오 1	모의 데이터	74.7%	0.4°
			60.9%	0.2°
			55.5%	0.5°
			51.7%	0.6°
			80.1%	0.4°
			78.5%	0.2°
			74.5%	0.7°
			64.8%	0.7°
실험9	시나리오 2	모의 데이터	59.4%	0.2°
실험10	시나리오 2	해상 데이터	18.5%	0.1°

VI. 결론

소나방위정확도 측정 시에는 복잡하고 다양한 환경 요인이 작용하는 해상에서 이루어지는 관계로 다양한 오차가 결과에 포함되며 특히 관측위치오차와 시간지연오차는 필연적으로 발생된다. 이런 관측위치오차와 시간지연오차를 자동화도구 없이 보정하는 것은 많은 노력이 들어가는 작업이기에 본 연구에서는 소나방위정확도 측정을 위한 관측위치오차와 시간지연오차 보

정 시스템을 제안하였다. 실험은 모의데이터와 실 해상데이터를 통해 이루어졌으며, 실험을 통해 시스템적으로 오차가 모의데이터인 경우 51.7%, 실 해상데이터인 경우 18.5% 이상 보정됨을 확인하였다. 제안한 소나방위정확도 측정 시스템은 향후 소나 개발 및 검증시 활용되어 개발기간 단축과 소나장비의 신뢰성 향상에 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 향후 본 연구를 기반으로 하여 오차보정 정밀도 향상을 위한 후속연구가 진행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] O.W. Cheon. (1993, Oct.). *Sonar signal processing technology. The Magazine of the IEEE. 20(10)*, pp. 1116-1127.
- [2] C.C. Counselman III, Richard I. Abbot, Sergai A. Gourevitch, Robert W. King, Albert R. Paradis. *CENTIMETER-LEVEL RELATIVE POSITIONING WITH GPS. JOURNAL OF SURVEYING ENGINEERING. 109(2)*, pp. 81-89.
- [3] K.C.Shin, B.M.Yoon, S.I.Cho, W.T.Oh, "Improvement of Target Bearing Accuracy of Cylindrical Array Sonar during Sudden Turning of Submarine," *Korea Institute of Military Science and Technology(KIMST) Conference, ICC JEJU, 2017*, pp. 229-230.
- [4] J.S Park, S.H Cho, D.H Kang, "Study on Bearing & Distance Error for Detection of Underwater Targets," *Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE) Conference, 2017*, pp. 256-256.
- [5] A.D.Waite, *Sonar for Practicing Engineers 3th ed. JOHN WILEY & SONS,LTD, 2002.*
- [6] NMEA 0183. In: Wikipedia. [Citation Date 1 Apr 2019], https://en.m.wikipedia.org/wiki/NMEA_0183
- [7] Errors and residuals. In: Wikipedia. [Citation Date 2 Apr 2019], https://en.m.wikipedia.org/wiki/Errors_and_residuals
- [8] H.S.Hwang, K.T.Park, K.C.Shin, S.I.Cho, *A Study on Performance of Symbol Error Rate for Frequency Domain Equalization. Journal of Korea Institute of Signal Processing and Systems. 18(2)*, pp. 37-42.

저자 소개

김 성 덕 (Sung-Duk Kim)



2004년 2월 : 홍익대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2019년 8월 : 연세대학교
전기전자전공(공학석사)
2007년 10월 ~ 현재 :
(주)LIG넥스원
관심분야 : 임베디드, RTOS

김 도 영 (Do-Young Kim)



2008년 2월 : 한양대학교
전자공학과(공학사)
2010년 7월 : 한양대학교
이동통신전공(공학석사)
2010년 8월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR

박 규 태 (Gyu-Tae Park)



1996년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1999년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학석사)
2004년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학박사)
2004년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR

신 기 철 (Kee-Cheol Shin)



1996년 2월 : 한국해양대학교
해양공학과(공학사)
1998년 2월 : 한국해양대학교
해양공학과(공학석사)
2003년 8월 : 한국해양대학교
해양개발공학과(공학박사)
2003년 ~ 2004년 : 한국과학재단
신진연구원, BB21 박사 후 과정
2005년 ~ 현재 : (주)LIG넥스원
관심분야 : SONAR