

수중발사체의 관성항로장치 전달정렬 영향인자 분석 및 개선방안

김보람*† · 정영탁* · 이상훈* · 김영욱** · 공형직***

* 국방기술품질원

** (주)LIG넥스원

*** (주)한화

Analysis and Improvement of Factors Influencing the Transfer Alignment of INS of Underwater Projectile

Kim, Bo Ram*† · Jung, Young Tak* · Lee, Sang Hoon* · Kim, Young Wook** · Kong, Hyeong Jik***

* Defence agency for Technology and Quality(DTaQ)

** LIG Nex1

*** Hanwha

ABSTRACT

Purpose: In order to accurately reach an underwater projectile to a target point, reliable INS and accurate arrangement of INS between master and slave INS is paramount. Unlike terrestrial and aerial environments, underwater projectile will operate in a restricted environment where location information cannot be received or sent through satellites. In this report, we review the factors affecting the transfer alignment of master and slave INS, as well as how to improve the positional error between INS through improved transfer alignment algorithms.

Methods: In this work, we propose an improvement algorithm and verify it through simulation and driving test. The simulation confirmed the difference in the transfer alignment azimuth by fitting the MINS and SINS indoors, displacement in posture, and the process of transfer alignment between MINS and SINS through a driving test to confirm algorithm can improve the arrangement.

Results: According to this study, reason for the error in the transfer alignment between MINS/SINS is the factors of the system where movements such as roll, pitch, yaw are not inter locked in real time due to the delay in transmit/receive system. And confirm that the improved algorithm has a desirable effect on accuracy.

Conclusion: Through this work, it is possible to identify ways to improve the accuracy of underwater projectiles to reach their target points under various underwater environments and launch condition.

Key Words: INS, Transfer Alignment, Underwater Projectile, Time delay, Algorithm

● Received 24 July 2021, 1st revised 7 September 2021, accepted 10 September 2021

† Corresponding Author(boram@dtaq.re.kr)

© 2021, Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 위성을 통한 위치정보 확인이 일상화 되면서 비행기, 차량 등의 운송수단 뿐 아니라, 개인의 휴대폰에까지 GPS가 탑재되어 실시간으로 위치를 확인할 수 있는 환경이 되었다. 더불어 건물 안, 터널, 지하도 등과 같이 위성항법시스템 신호 수신에 어려운 환경에서 안정적으로 정확한 위치를 획득하기 위한 기술들이 다양하게 연구되고 있으나 수중 환경에서의 위치 추적은 공기와 물이라는 현저하게 다른 환경으로 인해 관련 기술에 대한 연구 및 실제 적용에 어려움이 많다. 지상 환경에서 활용되고 있는 추측항법(dead reckoning) 또는 관성항법(inertial navigation)의 경우 수중환경에서는 오차가 크고 시간에 따라 오차가 증폭된다는 단점이 있기 때문에, 단독으로 사용하기에는 어려운 점이 많다. 빛 또는 전파를 이용하는 GPS, RF와 같은 신호는 수중에서 급격하게 소멸되는 단점 때문에 수중 환경에서의 활용이 제한적이다(김진현, 이세진, 광경민, 2010).

따라서 수중 환경에서 스스로 목표 지점까지 이동하는 수중 발사체의 위치 정보는, 함정이나 잠수함 등의 모체에서 이탈 전 까지 입력받은 기준 위치 정보를 기반으로 발사체 내부에 탑재된 관성항로장치(이하 INS)를 이용하여 현재 자신의 위치를 추정해가며 이동하는 것이 일반적이다. 하지만 해류, 해수밀도, 장애물 등 다양한 수중 환경의 요인으로 완벽하게 목표 지점에 도달하는 것은 현재의 기술로는 무리가 있으며, INS를 이용하여 최대한 근사한 위치에 도달하는 것을 목표로 한다.

모체에서 이탈 후의 수중 발사체는, 앞서 말한바와 같이 수중의 환경적인 요인을 차치하면 수중 발사체 자체의 INS의 성능에 영향을 많이 받는데, 이에 선행하는 중요한 인자가 모체의 INS와 발사체 INS 간의 전달정렬이다. 전달정렬이라 함은, 모체의 INS와(이하 MINS) 발사체 INS간(이하 SINS)의 일치성을 확보하기 위해 실시간으로 두 INS 간의 통신에 의해 MINS와 SINS 설치 오차 상쇄 및 동일 기준점 설정을 위해 칼만 필터 등의 알고리즘을 적용하는 일련의 보정 작업이라고 할 수 있다. 다시 말해 MINS와 SINS의 비정렬 요소를 칼만 필터로 추정하는 기법으로 장착 비정렬의 측정, 자세오차 측정 등 두 INS간 다양한 오차를 보정하는 과정이다. 이는 발사 후 위치 정보 수신에 불가능한 수중 발사체의 위치 추정에 가장 중요한 요소라고 할 수 있다(Changyue, Sun and Zhenglog, Deng, 2009; 송기원, 2001; 이형섭, 한경준, 이상우, 유명중, 2015).

본 연구를 통해 MINS와 SINS 사이의 전달정렬 과정 중, 외부 요인에 대한 영향 인자를 확인하고, 칼만필터 알고리즘 변경을 통해 이를 극복하는 과정과 실험을 통한 검증 결과를 확인할 수 있다.

2. 본 론

2.1 연구 배경

함정이나 잠수함에서 운용되는 수중 유도무기 등의 수중 발사체는, 발사 전 전달정렬을 수행하여 관성항법장치 항법에 필요한 초기 항법정보를 획득한다. 유도무기 장착 관성항법장치의 전달정렬 성능은, 전달정렬 필터의 상태 변수인 자세오차가 추정 가능하도록 외부 운동이 인가되어 자세 오차의 가관측성이 확보되는 경우 함정용 관성항법장치와 동일한 자세 정확도를 가지게 되며 이 경우에 수중 발사체의 목적지점 도달 확률이 올라가게 된다.

전달정렬 완료 후 발사된 발사체는 시간 및 거리가 증가함에 따라 각속도를 적분하는 관성항법장치의 일반적인 특성에 의해 항법 오차가 증가하게 된다. 따라서 일정한 항법 정확도를 확보하기 위해서는 시간에 관계없이 일정한 정확도를 유지하는 GPS를 이용한 보정항법을 수행하여 정확한 항법정보를 계산하는 방법이 사용된다(김천중, 이인

섭, 오주현, 유해성, 박형원, 2018). 하지만 수중에서 발사되는 수중 발사체의 경우 선유도 혹은 GPS등의 외부 신호를 수신하기 힘든 조건이므로 발사체의 관성항로장치로만 항로를 결정하게 되며, 이에 따라 초기 전달정렬의 중요성이 무엇보다 크다고 할 수 있다.

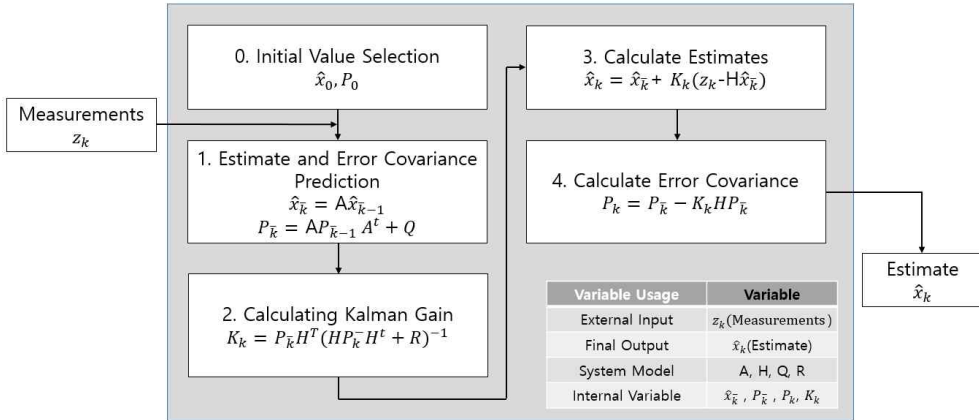


Figure 1. Kalman Filter Estimate Process

위 Figure 1은 칼만필터의 동작 원리를 보여주는 도식도이다. 칼만필터는 과거와 현재의 값을 기준으로 재귀적 연산을 통하여 최적 값을 추적하는 알고리즘으로, 잡음(Noise)이 포함되어 있는 측정치를 바탕으로 선형 역학계의 상태를 추정 및 오차를 가지는 관측치로부터 시스템의 상태를 추정하거나 제어하기 위한 알고리즘이다(김성필, 2019; 임유철, 유준, 2001). MINS의 각속도, 속도, 위치정보를 입력받아 칼만필터를 통하여 수중 발사체의 항법정보를 비교 하는 과정이 전달정렬이다.

전달정렬의 오차를 내재 한 채 발사되는 발사체는, 주행 거리가 길어질수록 위치 오차가 증폭되게 되면서 결국 최종 목표 지점까지 도달하지 못할 확률이 크다(양철관, 박기영, 김형민, 심덕선, 2015). 아래 Figure 2를 보면 지상 실험을 통해 MINS와 SINS의 전달정렬 오차에 따른 목표지점으로 부터의 거리 오차 및 둘 사이의 경향성을 확인할 수 있었다. 지상 시험은 수중 발사체의 INS와 기준 항법장치용 INS를 수중 환경과 유사하게 구성하여 20km 거리를 육상에서 이동하며 전달정렬 방위각 차이에 따른 목표지점으로부터의 오차를 확인한 결과 값이다.

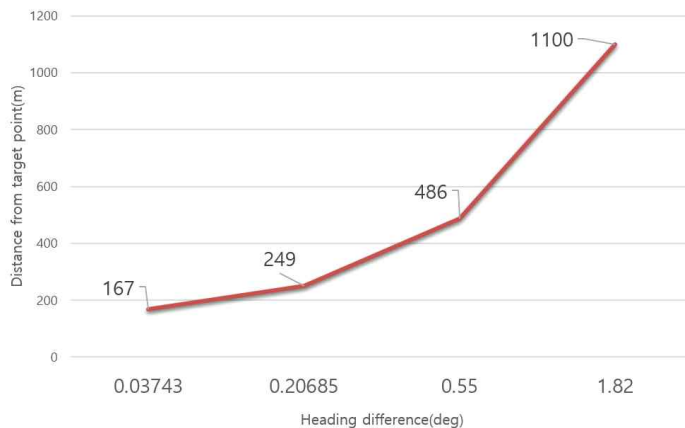


Figure 2. Distance Difference According to Alignment Error

2.2 해결하고자하는 과제

위 지상 시험에서 확인된 전달정렬과 거리와의 상관관계는 실제 수중 환경에서도 영향을 미치게 된다. 실제 수중 시험에서 사용된 발사체는 INS 외에 각 장치의 출력 정보 및 위치 추정 데이터를 저장할 수 있는 기록장치가 포함되어 있었다. 이를 토대로 전달 정렬에 따른 시간, 거리별 위치 오차를 정확하게 알 수 있었고, 이는 전달정렬의 중요성 및 전달정렬 개선에 미치는 요인들에 대한 다양한 추정을 가능하게 해 주었다. 이를 통해 전달정렬에 미치는 다양한 요인들에 대한 영향성을 확인하고 이를 개선하는 방향으로 연구를 진행하였다.

초기 전달정렬 과정에서 MINS와 SINS는 동일 방향으로 이동 시, 시간이 지남에 따라 비례하여 전달정렬의 정확성이 올라간다. 다시 말해 방위각 오차가 줄어든다고 할 수 있다. 하지만 발사체의 INS와 전달정렬 중인 함정이나 잠수함 등의 모체가 급격한 변침을 하거나 파도 등의 해상 환경에 의하여 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw) 각의 변화가 발생하면 칼만 필터 알고리즘에 따라 방위각 오차가 발생하게 되고(Paul, D. Groves, 2003), 방위각 오차 발생 후, 다시 정렬하는 시간 없이 발사체를 발사하게 되면 설정된 목표 지점에 정확하게 도달할 수 없음이 확인 되었다.

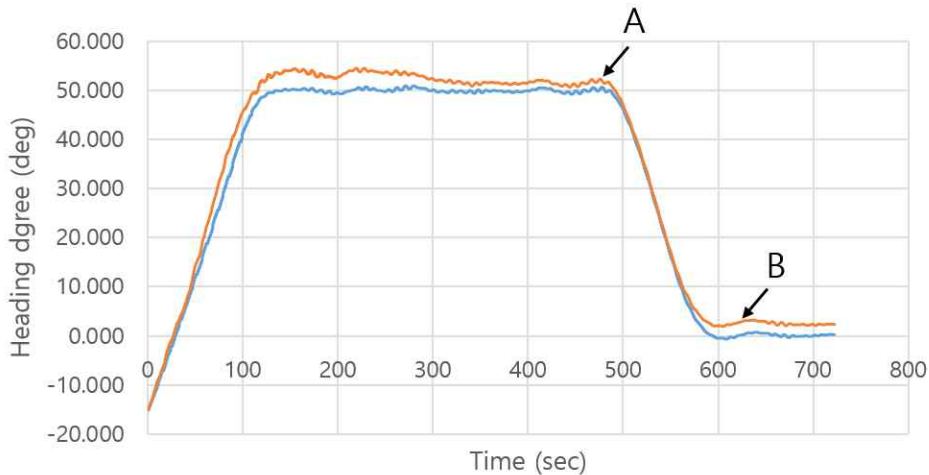


Figure 3. Heading Difference After Route Change

실제 수중 시험을 통해 변침을 한 후 방위각 차이를 살펴보면 위 Figure 3과 같다. A 지점에서는 약 400초 동안의 전달정렬을 통해 MINS와 SINS가 약 1도 정도의 방위각 차이를 보였다면 500~600초 사이의 항로 변경 후에 다시 전달정렬의 차이가 B 지점처럼 2~3도까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 위와 같은 현상이 발생하는 원인은 모체의 MINS와 발사체의 SINS간 통신 시간 지연이 원인임을 확인하였다(이상훈, 정영탁, 김보람, 2021). 실제 모델에서의 시간 지연은 MINS와 SINS간 중간 버퍼와 데이터 처리 등의 원인으로 인하여 약 2초가량의 시간 지연이 발생하고 있으며, 다양한 원인으로 인하여 이러한 지연 시간을 극복하기엔 무리가 있다. 이러한 현상은 본 연구의 개선 목적물 뿐 아니라, MINS와 SINS간 전달정렬을 통해 방위각 오차를 극복하는 발사체에서 공통적으로 발생하는 현상이라고 볼 수 있다.

이를 확인하기 위해 시간지연에 따른 전달정렬 방위각 차이에 대한 시험을 진행하였다. 시험 내용은 시간지연 1초 이하에서 3초까지 구현하여 각 조건별로 2회씩 1000초간 전달정렬을 실시하였고, 조건은 MINS와 SINS간 조립 비정렬 각도를 0도로 구성하여 회전 테이블에 조립하고 속도는 없는 상태에서 롤, 피치, 요 변화를 인가하였다. 이에 따른 시험 결과는 아래 Figure 4와 같이 시간지연 1초 이하의 경우 헤딩 오차가 약 0.1 이하로 거의 발생하지 않음

을 확인하였다. 0초부터 200초 단위로 롤, 피치, 요 등의 변화를 주었을 때 전달정렬 오차가 0.1~0.2도 수준으로 바로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

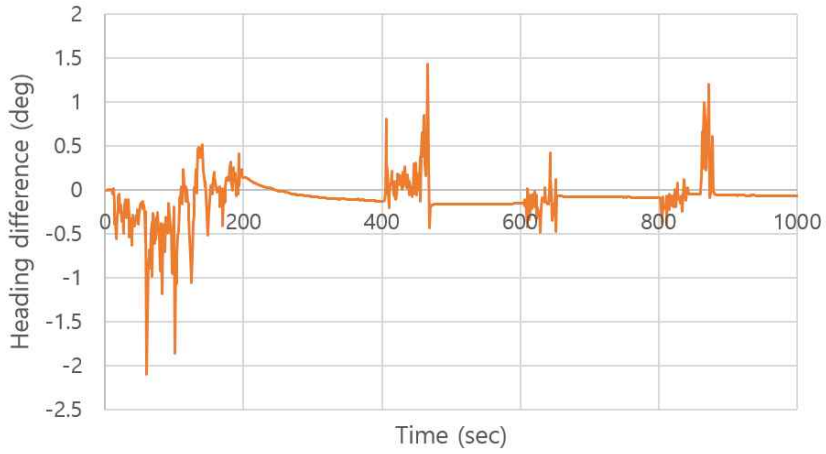


Figure 4. Determine Alignment Errors as Environmental Changes (<1sec.)

시간지연 2~3초 상태에서는 아래 Figure 5에서 보는 바와 같이 롤 또는 피치 변화가 급격할 때 약 1.5도의 전달 정렬 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

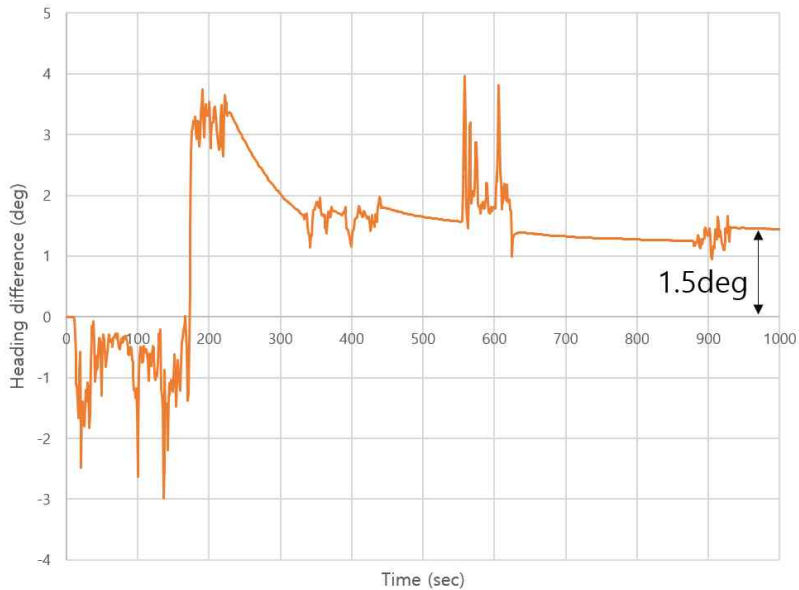


Figure 5. Determine Alignment Errors as Environmental Changes (>2~3sec.)

2.3 해결 방안 및 검증

이를 해결하기 위해 SINS 내부 지연시간을 본 대상물에 대한 검증을 위해 지연시간 평균치인 2초로 고정하여 MINS와의 시간 차이를 상쇄하는 방안을 검토하였다. SINS에 시간 지연 버퍼를 생성하는 로직을 추가하여, SINS 자세도 2초 지연을 시킴으로써 MINS와 시간지연을 최소화 하는 방안을 적용하여 시뮬레이션 한 결과, 발사체가 전달 정렬 모드에서 발사 후 항법모드로 전환될 때 시간지연 버퍼를 사용하지 않음으로 버퍼를 0 으로 리셋 하는데, 이때 주행 초기 2초간 센서 데이터 누락 현상에 따른 자세 오차가 발생하여 오히려 정확도가 떨어지는 현상 이 발생하였다. 이에 따라 MINS와 SINS간 시간 지연에 의한 전달정렬 오차의 해결 방안으로 시간 지연 버퍼를 두는 것은 적용하지 않았다.

다른 방법으로 문제를 해결하기 위해 칼만필터 상태변수 및 Measurement 게인 값(롤, 피치)을 수정하여, 전달정렬 중 자세변화 관련 필터 동작 알고리즘을 최적화하는 방법으로 개선을 진행 하였다(박찬주, 유명종, 이상정, 2008). 실제 주행시험 결과에 따르면 아래 Fig. 6과 같이 시간지연이 있는 환경에서 롤, 피치 각의 급변에 의해 MINS와 SINS의 전달정렬 오차가 증가함을 확인할 수 있었다. 200초 시점에서의 롤 변화와 500초 지점에서 피치 변화, 그리고 800초 지점에서 롤과 피치의 변화가 있을 때 MINS와 SINS의 방위각 차이가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

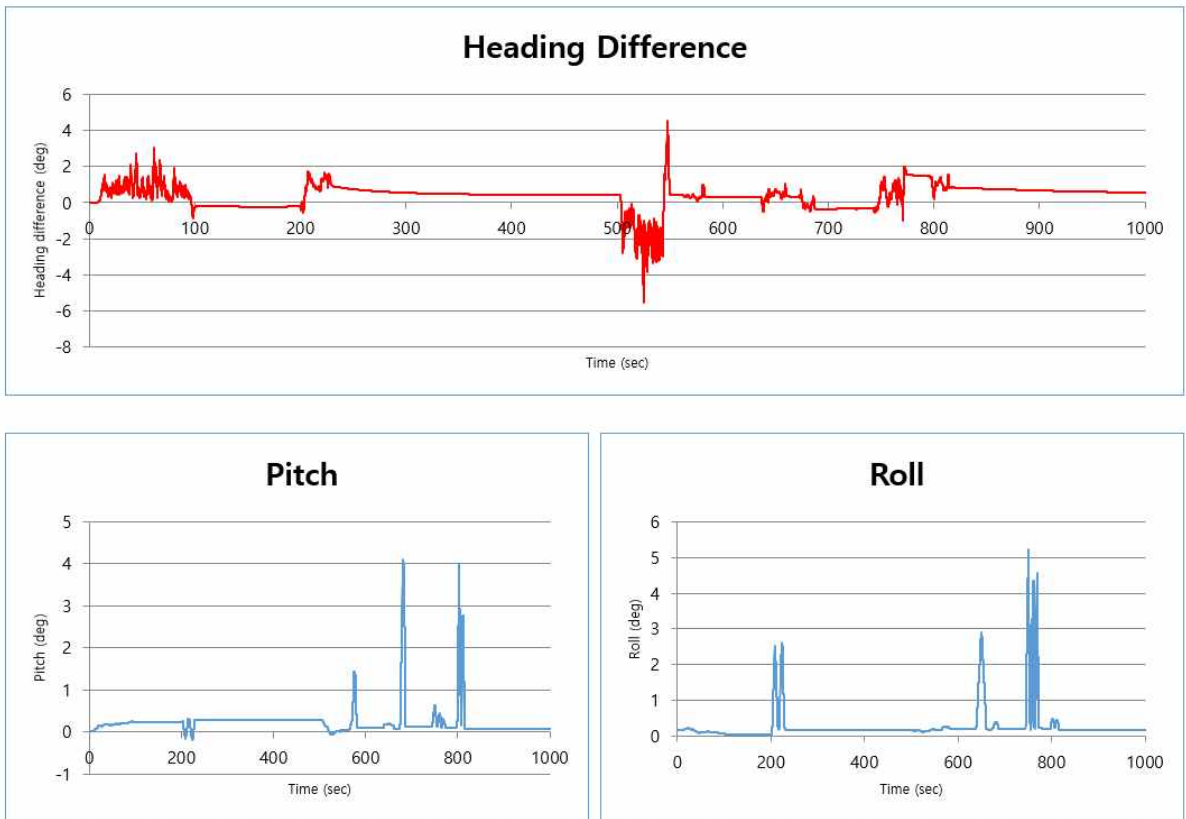


Figure 6. Determine Alignment Errors as Environmental Changes (>2~3sec.)

이를 소프트웨어적으로 해결하기 위해 칼만필터의 자이로 바이어스를 기존 대비 20% 수준으로 줄이고 비정렬 각을 기존 대비 50% 로 줄였다. 이러한 파라미터 수정을 통해 정렬 중, 요 회전에 대한 영향성 및 전달정렬 결과에 대한 안정화를 도모하였다. 또한 칼만필터 측정치 생성부에 롤, 피치에 대한 계인 값을 기존 대비 300% 늘려 전달정렬 중 롤, 피치 변화에 대한 방위각 영향력을 줄이는 효과를 도모하였다.

위 개선 방안에 대한 검증을 위해 시뮬레이션, 육상주행시험 계획을 수립하고 이에 따라 검증을 진행하였다. 먼저 사전 시뮬레이션은 MINS와 SINS를 실내에 장착하고, 자세에 변위를 주어서 전달정렬 방위각 차이를 확인 하였고, 육상주행시험은 아래 Figure 7과 같이 발사체가 모체에서 전달정렬 하는 과정을 모사하여 구성 및 실제 주행을 진행 하였다.



Figure 7. Test Configuration

사전 시뮬레이션 시 위 Fig 7.의 시간 지연부인 Buffer를 이용한 지연은 1~4초로 나누었으며 정확한 비정렬각을 추정하는지 확인하기 위해 MINS, SINS를 약 2도 어긋나게 조립하였다. 시뮬레이션 결과는 아래 Table. 1과 같이 MINS와 SINS 사이의 방위각 차이 평균은 1.72도, 표준편차는 0.7수준으로 확인되었으며 전달정렬 평균 소요시간은 600~700초이다. 이 결과와 같이 1~4초간의 시간지연에서 전달정렬 결과 문제가 없음을 확인할 수 있다.

Table 1. Simulation Result

Section	Time Delay		Angle		Difference	Diff.-Avg.	Required Time (sec.)
			MINS	SINS			
Transfer -alignment	1	Test 1	37.33	35.68	1.65	-0.08	614
		Test 2	88.26	86.64	1.61	-0.11	672
	2	Test 1	37.79	36.10	1.69	-0.03	662
		Test 2	123.34	121.53	1.78	0.06	670
	3	Test 1	124.43	122.77	1.66	-0.07	645
		Test 2	125.63	123.90	1.73	0.01	626
	4	Test 1	130.22	128.39	1.82	0.10	646
		Test 2	127.22	125.58	1.64	-0.08	566
Average				1.72		638	
Deviation					0.07		

위의 결과를 토대로 Fig. 7과 같이 구성된 장비를 차량에 탑재하여 차량 주행 시험을 진행하였다. 실제 문제가 발생했던 시간지연 2초를 재현하기 위해 MINS와 SINS간의 시간지연 시간을 2초로 설정하고 두 INS간 장착 정렬 각도를 0도로 설정하여 20km 주행 후 목표지점 대비 정확도를 확인하였다. 장비를 일반 차량에 탑재하여 수중발사체의 속도 및 이동 환경(물, 피치, 요)과 유사하게 주행하였으며 상세 시험 결과는 아래 Table 2.와 같다.

Table 2. Driving Test Result

Order	Driving Section		Align Section		
	Align Time (Sec)	Angle Difference	Driving Distance (m)	Position Error (m)	Accuracy (%)
1	775	0.16	21000	34	99.84
2	867	-0.47	21000	61	99.71
3	780	0.17	21000	22	99.9
4	487	0.43	23370	84	99.64
5	430	-0.97	23068	32	99.86
6	508	-0.28	23004	112	99.51
7	635	0.19	23655	68	99.71
8	576	-0.01	23560	50	99.79
9	640	-0.22	23681	62	99.74

차량시험 결과 위의 표와 같이 MINS와 SINS의 방위각 차이 값이 개선됨을 확인하였으며 20km 이상 주행 후에도 오차가 크게 개선되는 것을 확인 하였다. 개선 알고리즘을 적용하기 전 위 Fig 2. 의 실험 결과에선, 전달정렬 방위각 차이 약 2도에서 95%의 정확도가 나오는 반면, 개선 알고리즘을 탑재한 실험에서는 위 표 및 아래 Fig. 8과 같이 최소 99.51%의 정확성을 보이며 정확도가 크게 향상되는 것을 확인할 수 있다.

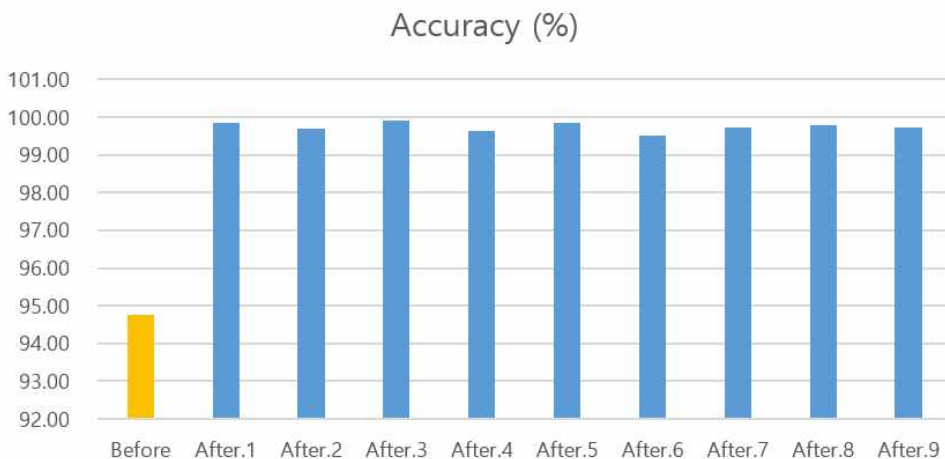


Figure 8. Driving Test Accuracy (Before vs After)

전달정렬 시간에 따른 방위각 차이 연관성도 확인 되었으며 전달정렬 시간이 길수록 방위각 차이가 줄어들 수 있음을 실험을 통해 입증할 수 있었다. 5회차 시험의 경우 방위각 차이가 다른 실험에 비해 많이 나는 이유는 전달정렬 시간에 따른 것으로 추정되며 다른 실험과 같이 시간이 늘어나면 방위각 차이 또한 줄어들 것으로 판단된다. 방위각 차이가 약 -1 도로 발생했지만 오차는 0.14%로 개선된 알고리즘이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다.

2.4 종합

수중 발사체와 모체 간 전달정렬 과정 중 시간지연과 잠수함의 변침으로 인해 비정렬각(모체와 수중 발사체간의 방위각 차이)이 변침 전 0.6도에서 변침 후 2.2도로 증가하였으며 이러한 전달정렬 결과의 오차가 부설정확도 미충족의 원인으로 작용한 것을 확인하였다. 시간지연 및 변침 등의 환경에서 전달정렬 오차를 개선하기 위해 수중발사체 INS의 전달정렬 알고리즘을 개선하였고 이를 시뮬레이션 및 육상시험을 통해 개선점을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구는 GPS 등의 실시간 정보를 이용한 유도 환경이 아닌, 모체로부터 발사 후 오직 관성항로장치의 정보에 의해 목표지점을 찾아가는 수중발사체의 정확도 향상에 관하여 연구하였다. 서론에 언급한 바와 같이 수중 환경에서 탐색기 없이 정해진 목표 지점으로 원거리에서부터 이동하는 것은 기술적, 환경적 제한으로 인해 어려움이 많다. 따라서 수중발사체는 발사 후 관성항로장치에 의존하여 스스로 이동해야 하는데 이 때 가장 중요한 것이 모체와의 전달정렬이다. 수중발사체의 관성항로장치가 성능이 우수하다 할지라도 초기 전달정렬에 문제가 있다면 결과적으로 목표지점으로부터 멀어질 수밖에 없다. 본 연구에서는 모체의 MINS와 발사체의 SINS간 전달정렬에 관하여, 시간지연 극복 및 칼만필터 알고리즘 개선을 통한 수중 환경에 따른 전달정렬 영향성을 극복하는 방안에 대해 연구하고 검증하였다. 추후에는 본 연구 중 지상시험을 통해 입증 된 결과를 바탕으로 수중에서 실험을 진행하여 본 연구의 타당성과 정확성을 입증 할 계획이며, 앞으로 수중발사체의 정확성 향상을 위한 연구를 지속할 예정이다.

REFERENCES

- Changyue, Sun and Zhenglong, Deng. 2009. Transfer alignment of shipborne inertial-guided weapon systems. *Journal of System Engineering and Electronics* 20(2):348-353.
- Kim, Chengjong, Lee, Inseop, Oh, Juhuyun, Yu, Haesung, and Park, Heungwon. 2018. A Study on the Design of Correction Filter for High-Speed Guided Missile Firing form Warship after Transfer Alignment. *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* 68(1):108-121.
- Kim, Jinhyun, Lee, Sejin, and Kwak, Kyungmin. 2010. Development of Underwater Localization System using RF Signals. *The Korean Society of Mechanical Engineers* 2010(Nov.):1057-1060.
- Kim, Seongpil. 2019. Kalman Filter is not difficult : with MATLAB Examples. HANBIT Academy, Vol.63.
- Lee, Hyungsub, Han, Kyungjun, Lee, Snagwoo, and Yu, Myungjong. 2015. A Transfer Alignment Method considering a Data Latency compensation for an Inertial Navigation Systems in High Dynamic Applications. *The Transaction*

of the Korean Institute of Electrical Engineers 64(12):1742-1747.

- Lee, Sanghoon, Kim, Boram, and Jung, Yeongtak. 2021. Analysis of the effect on underwater projectile's target accuracy depending on the transfer alignment error. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 22(7):418-424.
- Lim, Youchol and Lyou, Joon. 2001. An error compensation method for transfer alignment. *Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology TENCON 2001* 19-22.
- Park, Chanju, Yu, Myeongjong, and Lee, Sangjeong. 2008. Transfer Alignment with Adaptive Filter Estimating Time Delay. *The Korea Society for Aeronautical and Space Sciences* 36(12):1079-1086.
- Paul, D. Groves. 2003. Optimising the Transfer Alignment of Weapon INS. *The Journal of Navigation* 56(2):323-335.
- Song, Kiwon. 2001. Realization of a SDINS Transfer Alignment Algorithm and Performance Evaluation using FMS. *Korea Institute of Military Science and Technology* 4(2):60-69.
- Yang, Cheolkwan, Park, Kiyoun, Kim, Hyungmin, and Shim, Duksun. 2015. Transfer Alignment Using Velocity Matching/Parameter Tuning and Its Performance and Observability Analysis. *Journal of Advanced Navigation Technology* 19(Oct.):389-394.

저자소개

- 김보람** 서울시립대학교 전자공학 학사를 취득하였으며, 2008년부터 2014년까지 삼성전자 및 삼성디스플레이에서 근무하였고 현재는 국방기술품질원 연구원으로 근무 중이다. 주요 관심분야는 유도/수중무기, 탄약, 품질관리, 신뢰수준 등이다.
- 정영탁** 경희대학교 전자공학과 학사, 경북대학교 전자공학과에서 석사 학위를 취득하였다. 현재 국방기술품질원 유도 탄약센터 선임연구원으로 재직 중이며, 주요 관심분야는 시스템 공학, 품질관리, 제어공학 등이다.
- 이상훈** 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 전공, 2016년부터 2019년까지 한화시스템 연구원으로 근무하였고 현재 국방기술품질원 유도탄약센터에 재직 중이다. 주요 관심분야는 유도무기체계, 신호처리, 품질보증 등이다.
- 김영욱** 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부를 학사로 졸업하였고 2007년부터 현재까지 LIG넥스원 생산기술팀에서 선임연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 수중유도무기, 품질관리 등이다.
- 공형직** 세종대학교 항공우주학과에서 학사 및 석사 학위를 취득하였다. 2009년부터 두산/한화에 재직 중이며 주요 관심분야는 관성항법장치, 무인시스템, 시스템 제어 등이다.