

## 수중글라이더용 항법필터 설계

유태석<sup>1\*</sup> · 차애리<sup>1</sup> · 박호규<sup>1</sup> · 김문환<sup>1</sup>

### Design of Navigation Filter for Underwater Glider

Tae Suk Yoo<sup>1\*</sup> · Ae Ri Cha<sup>1</sup> · Ho Gyu Park<sup>1</sup> · Moon Hwan Kim<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Research Engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1 Co., Ltd, Seongnam, 13488 Korea

#### 요 약

본 논문에서는 수중글라이더용 항법필터 설계를 수행한다. 해양의 염분, 수온 등 해양 정보 획득을 위해서 사용되는 수중글라이더는 저전력으로 장기간 운용이 되기 때문에, 다양한 센서를 적용하기에 많은 제약이 있다. 제한된 수중글라이더의 운용 특성을 고려하여 센서 구성이 다른 두 종류의 위치 추정을 위한 항법 필터를 설계한다. 항법필터는 최소한의 센서출력 정보를 바탕으로 수중글라이더의 동체좌표계 기준 속도를 추정한다. 첫 번째 필터의 센서 구성은 가속도계, 지자계, 심도계 센서로 구성 되어있고, 두 번째 필터는 첫 번째 필터와 동일한 구성에 자이로 센서가 추가된다. 추정된 속도는 자세정보와 융합하여 항법좌표계의 속도정보로 변환 뒤 최종적으로 위치를 추정한다. 제안된 필터의 성능을 분석하기 위해 단일 시뮬레이션 및 몬테카를로 수치해석 기법을 이용하여 분석을 수행하고 수행 결과는 표준편차(standard deviation,  $1\sigma$ )로 분석한다. 각 필터의 위치오차에 대한 표준편차는 334.34, 125.91m이다.

#### ABSTRACT

In this paper, we design a navigation filter for an underwater glider. Underwater gliders are low-cost, reusable, and can be used for a long time. Two types of filters are designed considering characteristics such as small size, low cost, and low power. The navigation filter estimates the reference velocity of the underwater glider's body frame based on the minimum sensor output. The sensor configuration of the first filter consists of an accelerometer, a magnetometer, and a depth sensor. the second filter include extra a gyroscope in the same configuration. The estimated velocity is fused with the attitude, converted into the velocity of the navigation frame and finally the position is estimated. To analyze the performance of the proposed filter, analysis was performed using Monte Carlo numerical analysis method, and the results were analyzed with standard deviation ( $1\sigma$ ). Standard deviations of each filter's position error are 334.34m, 125.91m.

**키워드** : 수중 글라이더, 속도 추정, 항법필터, 확장칼만필터

**Keywords** : Underwater Glider, Velocity Estimation, Navigation Filter, Extended Kalman Filter

Received 3 October 2020, Revised 13 October 2020, Accepted 7 November 2020

\* Corresponding Author Tae-Suk Yoo(E-mail:taesuk.yoo@lignex1.com, Tel:+82-31-5178-4309)  
Research Engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1 Co., Ltd, Seongnam, 13488 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.12.1890>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

수중글라이더는 저가이고 재사용이 가능하며 장시간 이용할 수 있다. 이러한 특성으로 해양환경 관측 및 탐사 등에 폭 넓게 이용되고 있다. 수중글라이더는 부력을 조절함으로써 수직운동을 발생시키고 날개를 이용하여 수직운동을 수평운동으로 전환한다. 이러한 운동 원리는 추진기를 이용하는 무인잠수정과 비교하여 매우 적은 에너지로 장시간 운용할 수 있는 장점을 가진다. 위와 같은 장점을 유지하기 위해 수중 글라이더의 구성품은 소형, 저가의 특성을 가지고 이는 항법시스템 구성에도 영향을 미친다. 일반적인 무인잠수정의 항법시스템은 고가의 IMU(Inertial Measurement Unit)를 기준으로 다양한 센서들의 조합을 통해 복합항법시스템을 구성한다. 하지만 수중글라이더는 운용특성을 고려하여 고정밀, 고가의 IMU 대신 MEMS(Micro Electro Mechanical System)형 IMU 적용이 일반적이다. 이러한 저가의 항법센서 적용 및 시스템의 한계로 인하여 경로점 항해 시설정된 지점과 실제 부상 지점 간 매우 큰 오차가 발생한다.[1-3]

수중글라이더의 위치추정을 위하여 다양한 연구가 수행되고 있다. 첫째로 INS(Inertial Navigation System)/DVL(Doppler Velocity Log) 수중 복합항법 기법을 이용한 연구가 수행되었다. DVL은 도플러 효과를 이용하여 지표면에 대한 대기 속도를 측정하는 센서다. 수중운동체가 움직이면서 지면에 음파를 송신하였을 때 해저면으로부터 반사되어 돌아오는 수신신호의 진동수 변화를 관측함으로써 물체의 속도를 측정할 수 있다. 측정된 속도정보를 이용하여 수중 복합항법필터를 연산하고 최종적으로 위치를 추정한다. 이는 수중항법을 위한 일반적인 방법이지만 수중글라이더의 운용 특성 상 실사용에는 한계가 존재한다. DVL은 센서의 특성에 따라 측정가능한 고도 내에서 지면과 수평하게 이동해야 정확한 속도를 측정할 수 있다. 수중글라이더는 진수 후 운용고도 내에서 ‘V’자 형태의 사이클을 가지면서 이동하고 운용고도 또한 DVL의 측정가능한 범위보다 상대적으로 길기 때문에 모든 운용구간에서 적용하기 한계가 있다. 또한 수중글라이더의 특성인 저전력도 고려해야 한다.[4-6] 두 번째로 수중글라이더의 운동모델 정보를 이용한 항법시스템도 제안되었다. 수중글라이더의 6DOF (Degree Of Freedom) 운동모델과 항법센서의 출

력값을 결합하여 위치추정을 수행하였다. 운동모델이 결합된 항법시스템은 추가로 센서가 장착되지 않기 때문에 저전력 문제의 한계에서 벗어날 수 있는 장점이 있다. 필터를 설계하고 운동모델의 출력값을 측정방정식으로 사용하여 항법결과를 추정하거나 모델출력값과 자세각의 상관관계를 이용하여 글라이더의 속도를 추정한 사례도 있다. 하지만 수학적으로 유도된 운동모델은 실제 글라이더의 운동특성과 상이한 점이 존재하고 운동모델이 바뀌면 항법필터 역시 수정되어야 하는 경우도 존재할 수 있다.[7-8]

본 논문에서는 수중글라이더용 속도추정 항법필터 설계를 수행한다. 항법필터는 최소한의 센서출력 정보를 바탕으로 수중글라이더의 동체좌표계 기준 속도를 추정한다. 소형, 저가, 저전력 등의 특성을 고려하여 EKF(Extended Kalman Filter)를 기반으로 2 가지의 필터를 설계하였다. 첫 번째 필터의 센서구성은 가속도계, 지자계, 심도계로 구성되고 두 번째 필터는 동일한 구성에서 자이로가 추가되었다. 추정된 속도는 자세정보와 융합하여 항법좌표계의 속도정보로 변환 뒤 위치를 추정한다. 필터 설계 시 해류에 대한 영향은 포함되지 않는다. 해류에 대한 오차 보상은 경로점 제어 시 유도제어의 명령을 통해 수행하며 이는 본 연구의 대상이 아니다. 통합해류 정보는 수중글라이더가 진수 후 임무를 수행하고 부상 시 추정된 최종위치정보와 GPS(Global Positioning System) 위치정보를 이용하여 계산한다.

제안된 필터의 성능을 분석하기 위해 단일 시뮬레이션 및 몬테카를로 수치해석 기법을 이용하여 분석을 수행하였고 수행결과는 표준편차(standard deviation, 1 $\sigma$ )로 분석하였다.

## II. 이론적 배경

항법 필터는 센서의 구성에 따라 2가지 필터로 설계하였으며 종류는 다음과 같다. 본 논문에서는 각 필터의 명칭을 아래와 같이 정의한다. Case 1은 상용 수중글라이더(Slocum)의 센서 구성이고, Case 2는 자이로가 추가된 구성이다. 본 연구에서는 자이로의 유무에 따른 성능 분석을 수행한다.

- CASE 1 : 가속도계 + 지자계 + 심도계
- CASE 2 : 가속도계 + 지자계 + 심도계 + 자이로

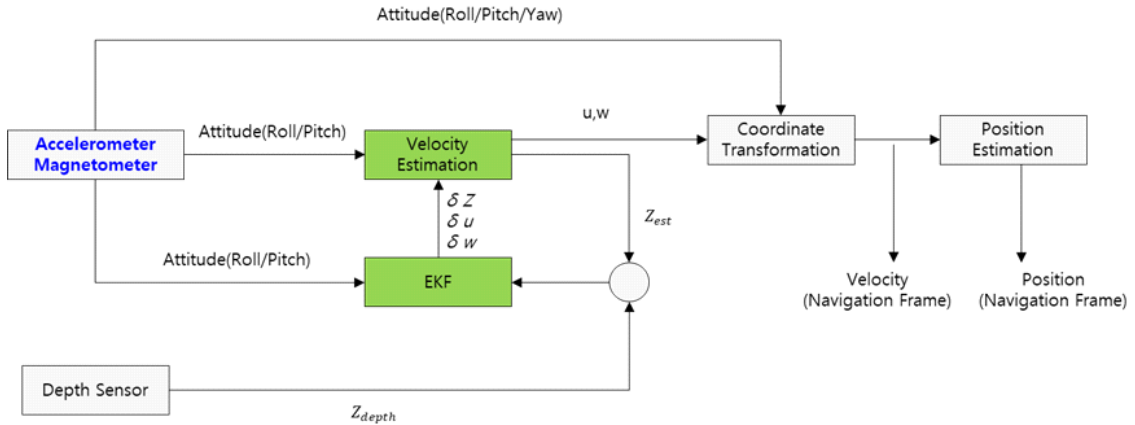


Fig. 1 Structure of Navigation Filter - CASE1

2.1. CASE 1 항법필터 상세설계

그림 1은 CASE 1의 항법필터 구성이다. 필터의 입력 값은 자세각 롤/피치와 심도 에러값(심도 측정값 - 심도 추정값)이며 출력값은 심도오차, 항체좌표계 기준 전진속도 오차, 하강속도 오차이다. 추정된 오차값을 바탕으로 심도 추정값과 항체좌표계의 전진 및 하강속도를 추정한다. 필터의 특성 상 측면속도는 추정이 불가능한 단점이 있지만 이는 부상 후 통합해류 추정에서 보완이 가능하다. 또 다른 단점은 상/하강 변환 시점에 회전가속도에 의해 순간 자세각 오차가 발생한다. 하지만 추정 과정에 적분이 없으므로 시간이 지남에 따라 발산하지 않고 속도 추정이 가능한 장점이 있다.

심도계가 출력하는 심도측정값에 대한 변화율과 동체좌표계 속도 사이의 관계는 다음 식(1)과 같다.

$$\dot{Z} = -u \sin \theta + v \cos \theta \sin \phi + w \cos \theta \cos \phi \quad (1)$$

여기서  $\dot{Z}$ 은 심도변화율,  $u, v, w$ 는 각각 항체좌표계에서의 전진, 측면, 하강 속도,  $\phi, \theta$ 는 롤/피치각을 나타낸다. 이 때, 필터 입력의 특성 상 측면속도( $v$ )는 추정 불가능하므로 식(1)은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\dot{Z} = -u \sin \theta + w \cos \theta \cos \phi \quad (2)$$

심도변화율에 대한 오차모델을 유도하기 위하여 섭동법(Perturbation)을 사용한다. 섭동법은 항법 알고리즘으로 얻어진 각각의 변수와 실제 값의 차를 오차변수로 두어 시스템을 해석하는 것으로 오차의 크기가 작은 경우에 적용될 수 있으며 식 (3)은 오차모델 나타낸다.

$$\delta \dot{Z} = -\delta u \sin \theta - u \sin \delta \theta + \delta w \cos \theta \cos \phi + w \cos \delta \theta \cos \phi + w \cos \theta \cos \delta \phi \quad (3)$$

식(3)으로 얻어진 심도변화율을 오차 미분방정식으로 시변선형시스템을 구성하면 시스템 모델은 다음과 같다.

$$\delta \dot{x}(t) = F(t) \delta x(t) + w(t), \quad w(t) \sim N(0, Q(t)) \quad (4)$$

식(4)를 시분할하게 되면 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\delta x_{k+1} = \Phi_k \delta x_k + w_k = e^{F(k)dt} \delta x_k + w_k \cong (I + F(k)dt + F(k)^2 dt^2 / 2) \delta x_k + w_k \quad (5)$$

$$\delta x = [\delta Z \delta u \delta w]^T \quad (6)$$

여기서  $\delta x(t)$ 는 수중글라이더의 심도오차( $\delta Z$ ), 항체좌표계에서의 속도오차  $\delta u, \delta w$ 로 이루어진 3차 상태변수이며  $w \sim N(0, Q(t))$ 는 가정된 시스템 노이즈로서 평균이 0이고, 분산이  $Q$ 인 백색 가우시안 잡음(White gaussian noise)이다. 추정된 3개의 상태 변수는 실시간으로 심도, 속도오차에 대한 보상을 하게 된다. 시변 시스템 행렬  $F(t)$ 는 다음과 같다.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & -\sin \theta & \cos \theta \cos \phi \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

측정방정식 및 모델은 식 (8), (9)와 같다.

$$Z_{depth} - Z_{est} = \delta Z \quad (8)$$

$$H = [1 \ 0 \ 0] \quad (9)$$

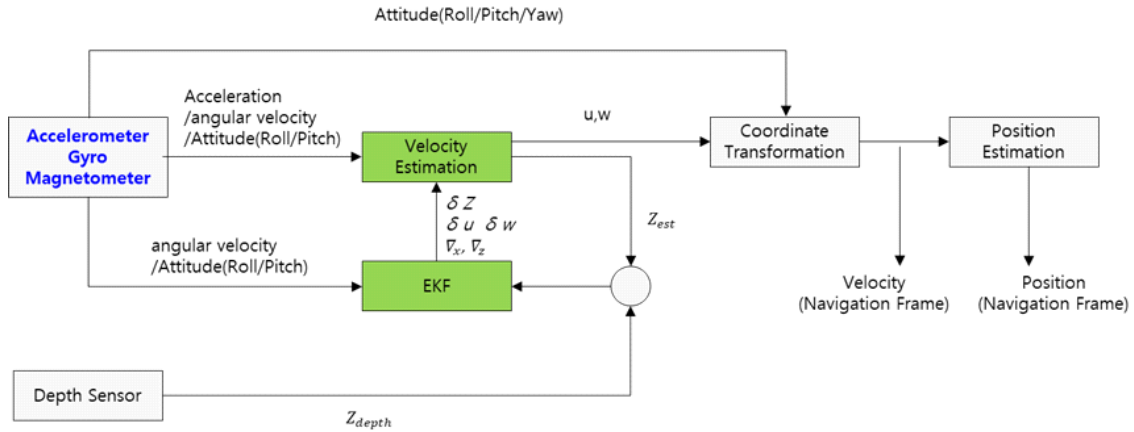


Fig. 2 Structure of Navigation Filter - CASE2

여기서  $Z_{depth}$ 는 심도계 측정값,  $Z_{est}$ 는 심도 추정값,  $\delta Z$ 는 심도 오차값,  $H$ 는 측정행렬을 나타낸다.

최종적으로 추정된 심도 및 속도 추정값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{est,k+1} &= Z_{est,k} + \dot{Z}_{est,k} dt \\ &= Z_{est,k} + (-u_{est,k} \sin\theta + w_{est,k} \cos\theta \cos\phi) dt \end{aligned} \quad (10)$$

$$u_{est,k+1} = u_{est,k} + \delta u_{est,k} \quad (11)$$

$$w_{est,k+1} = w_{est,k} + \delta w_{est,k} \quad (12)$$

## 2.2. CASE 2 항법필터 상세설계

그림 2는 CASE 2의 항법필터 구성이다. 필터의 입력 값은 자세각 롤/피치와 심도 에러값(심도 측정값 - 심도 추정값), 가속도계 측정값, 자이로 측정값이며 출력 값은 심도오차, 항체좌표계 기준 전진/하강 속도 오차, 가속도계 바이어스이다. 추정된 오차값을 바탕으로 심도 추정값과 항체좌표계의 전진/하강속도를 추정한다. CASE 1에 비하여 자이로 성분으로 인해 상/하강 전환 시 자세 오차가 발생하지 않는 장점이 있다. 또한 심도 측정값 이외에 가속도계 모델을 적용하여 속도를 추정하기 때문에 CASE 1에 비해 상대적으로 정확한 속도를 추정할 수 있다. 하지만 추정과정에 적분을 수행하고 가속도계 모델에 대한 측정치가 없기 때문에 가관측성이 떨어져 시간이 지남에 따라 추정값이 발산을 하게 된다. 이를 위해 주기적으로 공분산 초기화를 통하여 발산을 억제한다.

심도계가 출력하는 심도측정값에 대한 변화율과 동

체좌표계 속도 사이의 관계는 다음 식(1)과 같다. 또한 가속도계가 측정하는 값은 식(13)~(15)와 같다.

$$f_x = \dot{u} - vr + wq + g \sin\theta \quad (13)$$

$$f_y = \dot{v} + ur - wp - g \cos\theta \sin\phi \quad (14)$$

$$f_z = \dot{w} - uq + vq - g \cos\theta \cos\phi \quad (15)$$

여기서  $f_x, f_y, f_z$ 는 가속도계 출력값,  $p, q, r$ 은 자이로 출력값,  $g$ 는 중력가속도값이다. 가속도계 출력값을 시스템 모델에 적용하기 위해 식(13)~(15)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{u} = f_x + vr - wq - g \sin\theta \quad (16)$$

$$\dot{v} = f_y - ur + pw + g \cos\theta \sin\phi \quad (17)$$

$$\dot{w} = f_z + uq - vq + g \cos\theta \cos\phi \quad (18)$$

CASE2의 오차상태변수는 다음과 같다.

$$\delta x = [\delta Z \delta u \delta w \nabla_x \nabla_z]^T \quad (19)$$

여기서  $\nabla_x, \nabla_z$ 는 가속도계 바이어스를 나타내고 식(18)의 상태변수를 고려한(16)~(18)에 대한 오차방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\delta \dot{Z} = -\sin\theta \delta u + \cos\theta \cos\phi \delta w \quad (20)$$

$$\delta \dot{u} = \nabla_x - q \delta w \quad (21)$$

$$\delta \dot{w} = \nabla_z + q \delta u \quad (22)$$

CASE 2에 대한 시변 시스템 행렬  $F$ 와 측정치 행렬  $H$ 는 다음과 같다.

$$F = \begin{bmatrix} 0 - \sin\theta \cos\theta \cos\phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -q & 10 \\ 0 & q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$H = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (24)$$

최종적으로 추정된 심도 및 속도 추정값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{est,k+1} &= Z_{est,k} + \dot{Z}_{est,k} dt \\ &= Z_{est,k} + (-u_{est,k} \sin\theta + w_{est,k} \cos\theta \cos\phi) dt \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} u_{est,k+1} &= u_{est,k} + \dot{u}_{est,k} dt \\ &= u_{est,k} + (f_x - \nabla_x - g \sin\theta - w_{est,k} q) dt \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} w_{est,k+1} &= w_{est,k} + \dot{w}_{est,k} dt = w_{est,k} \\ &+ (f_z - \nabla_z + g \cos\theta \cos\phi + u_{est,k} q) dt \end{aligned} \quad (27)$$

### III. 시뮬레이션

#### 3.1. 시뮬레이션 조건

제안된 필터의 성능을 분석하기 위해 단일 및 몬테카를로 수치해석 기법을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 분석의 목적은 제안된 필터의 동작유무를 확인하기 위해 먼저 단일시뮬레이션을 수행하고 최종적으로 반복시뮬레이션을 수행하여 글라이더의 위치오차정보

를 추정하였다. 수행결과는 표준편차(standard deviation, 1σ)로 분석하였다. 분석을 위해 시뮬레이션 궤적을 생성하였다. 궤적생성은 글라이더의 운동모델을 기반으로 생성하였으며, 결과는 속도 평균 운항속도 약 2m/s, 하강 및 상승피치각 약 ±20도, 심도 400m로 설정하였다. 시뮬레이션 시간은 1시간 주행에 대하여 결과를 분석하였다. 1시간 주행의 경우 약 3사이클의 하강/상승 운동을 반복하였다. 그림3은 시뮬레이션 구조를 나타낸다.

#### 3.2. 시뮬레이션 결과

CASE 1에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한다. 먼저 단일시뮬레이션을 통해 필터의 특성을 파악하고 100회 반복해서 시뮬레이션을 통해 최종 위치오차를 분석한다. 그림 4는 필터의 입력값인 자세(롤/피치), 심도값이다. 그림 2 및 2.1절의 내용과 같이 자세값은 필터의 프로세스모델에 직접 사용되고 심도값은 측정치로서 추정된 심도와와의 오차정보가 사용된다. 그림 5는 CASE 1 필터의 추정 결과이다. 제한된 3가지의 정보만으로 동체좌표계 기준 전진/하강 속도를 추정하는 것을 확인할 수 있다. 추정된 속도정보와 자세(롤/피치/요)정보를 바탕으로 항법좌표계 속도로 변환 후 위치를 추정하고 이는 그림 6에 나타나있다. 그리고 그림 7은 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하여 위치오차를 추정한 결과이다. 분석 결과 위치오차의 표준편차는 334.34m이다. 마찬가지로 CASE 2에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 추정된 속도 정보, 그림 8은 항법좌표계에서의 추정된 위치정보를 나타낸다. 단일 시뮬레이션 수행 후 위치오차 경향을 확인하기 위해 마찬가지로 반복 시뮬레이션을 수행하였고 이는 그림 10에 나타나 있다. 분석 결과 위치오차의 표준편차는 125.91m이다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 CASE 1, CASE 2에 대한 결과를 종합 분석한다. 단일 시뮬레이션 결과에서 속도 추정 결과를 확인하면 Case 1보다 Case 2가 참값에 가깝게 추정한 것을 확인할 수 있다. 두 필터의 차이점은 자이로의 유무이며 실제 필터에 사용되는 자이로 값은 피치회전속도인  $q$  값이다. 가속도계로만 자세를 추정할 때 상/하강 변곡 구간에 생기는 회전 가속도의 영향으로 피치각에 에러가 발생하고 이는 속도 추정에 영향을 미치게 된다. 하지만 자이로가 추가되어 회전 각속도 성분 및 가속도계 모델이 포함된 Case 2 필터는 상/하강 구간에서도 안정적으로 속도를 추정하는 것을 확인

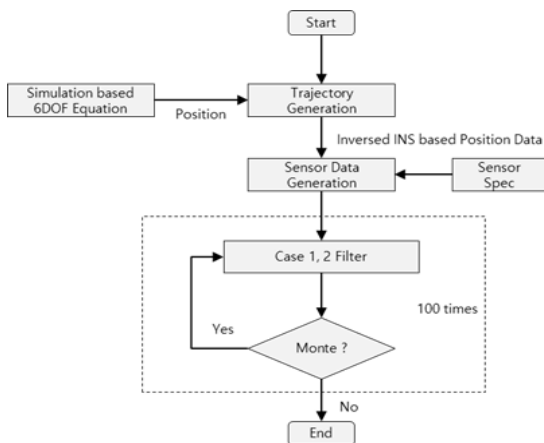


Fig. 3 Structure of Simulation

할 수 있다. 그림 11,12는 은 그림 5,8에서 초기 1사이클 부분만 확대한 그래프이다. 두 그림을 비교하면 상/하강 변경구간에서 필터의 차이점을 확인할 수 있다. 최종적으로 Case 1과 Case 2에 대한 위치 오차 분포도 비교 결과는 그림 13을 통해 확인할 수 있다.

수중글라이더의 특성 상 항법센서의 구성이 제한되고 저가, 소형의 특성을 가진다. 이런 제한적인 상황에서 Case 1, Case 2 모두 필터링을 통해 수중글라이더의 항법 정보를 추정하는 것이 가능함을 확인하였다.

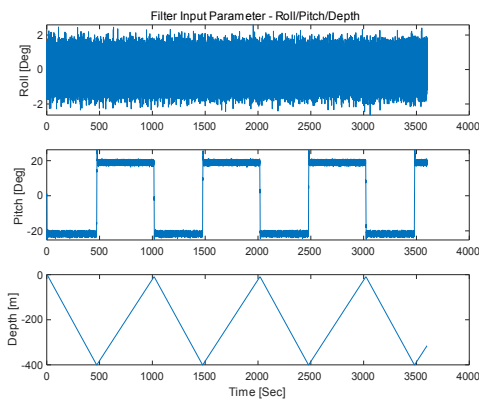


Fig. 4 Filter Input Parameter

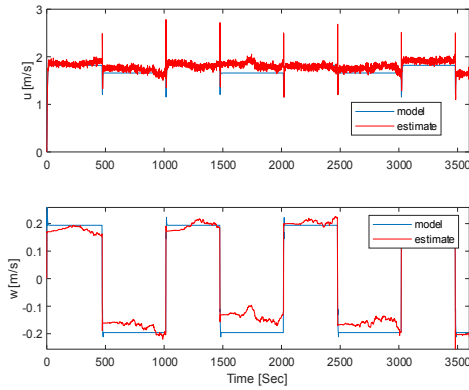


Fig. 5 Velocity estimate at body frame(Case 1)

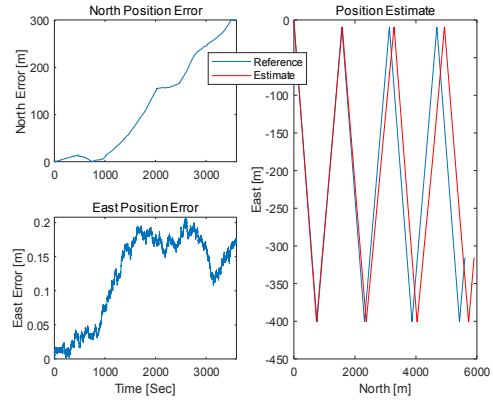


Fig. 6 Position estimate(Case 1)

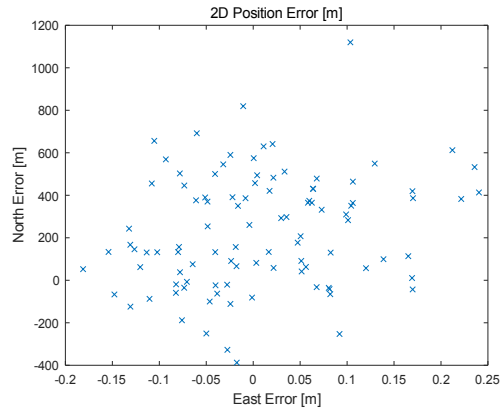


Fig. 7 Position Error - Monte Carlo Simulation(Case 1)

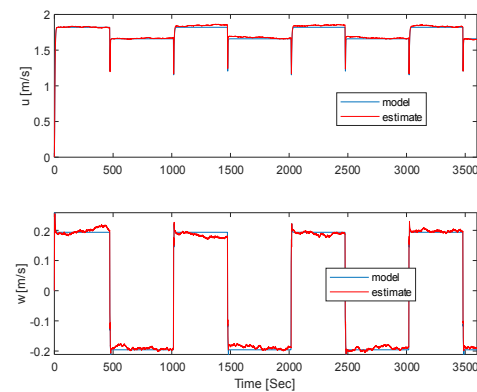


Fig. 8 Velocity estimate at body frame(Case 2)

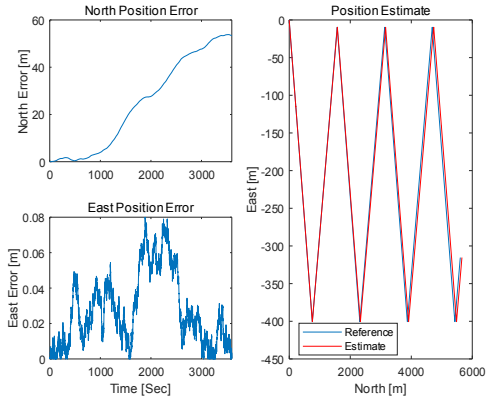


Fig. 9 Position estimate(Case 2)

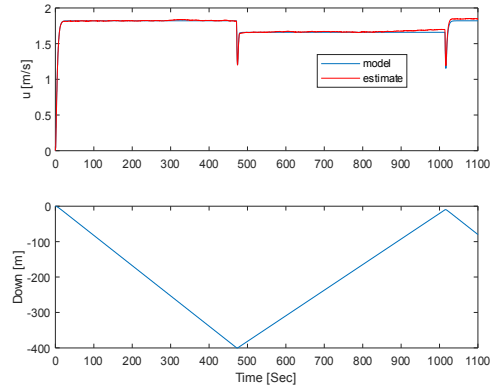


Fig. 12 Velocity estimate at body frame in 1 cycle(Case 1)

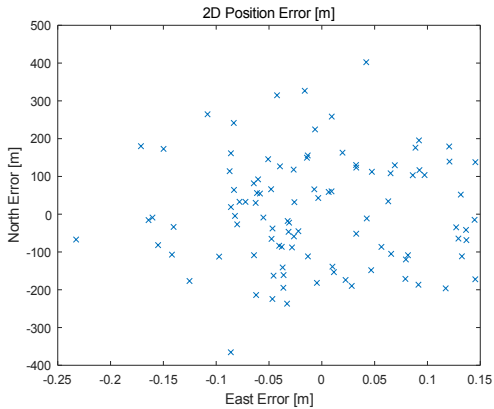


Fig. 10 Position Error - Monte Carlo Simulation(Case 2)

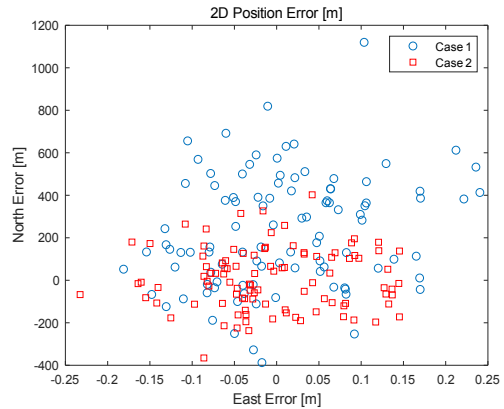


Fig. 13 Comparison Simulation Result

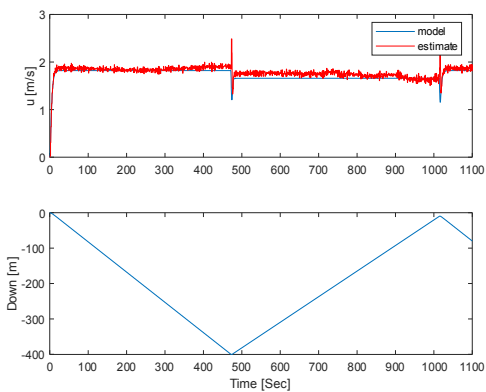


Fig. 11 Velocity estimate at body frame in 1 cycle(Case 1)

#### IV. 결론

본 논문에서는 수중글라이더용 속도추정 항법필터 설계를 수행하였다. 소형, 저가, 저전력 등의 특성을 고려하여 두 종류의 필터를 설계 후 분석을 수행하였다. 각 필터의 차이점은 자이로 및 가속도계 모델의 포함 여부이며 두 종류 필터 모두 제한된 입력값으로 속도 추정이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

두 필터 모두 항체좌표계 기준 측면속도 추정은 불가능하다. 이는 수중운항 시 통합해류와 연관이 있으며, 향후 통합해류에 대한 보상을 포함하여 수중글라이더의 항법시뮬레이션 수행 및 결과를 분석할 예정이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Ministry of Science and ICT grant funded by the Korean government. (No. 1711155177)

Zhang, "Model-Aided Localization and Navigation for Underwater Gliders Using Single-Beacon Travel-Time Differences," *sensors*, vol. 20, no. 3, article ID. 893, Feb. 2020.

## REFERENCES

- [ 1 ] R. E. Davis, C. C. Eriksen, and C. P. Jones, "Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders," in *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*, 1st ed. USA, CRC Press, 2002.
- [ 2 ] J. G. Graver. "Underwater Gliders: Dynamics, Control and Design," Ph. D. dissertation, Princeton University, NJ, USA, 2005.
- [ 3 ] J. Sun, J. Yu, A. Zhang, and F. Zhang, "Navigation Positioning Algorithm for Underwater Gliders in Three-Dimensional Space," in *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, She nyang, China, pp. 1269-1274, 2015.
- [ 4 ] Z. Duguid and R. Camilli, "Improving Resource Management for Unattended Observation of the Marginal Ice Zone Using Autonomous Underwater Gliders," *Frontiers in Robotics and AI*, Jan. 2021.
- [ 5 ] I. M. Rodiana, U. Latifa, B. R. Trilaksono, E. Hidayat, and M. F. Sagala, "Software and Hardware in the Loop Simulation of Navigation System Design Based on State Observer Using Kalman Filter for Autonomous Underwater Glider," in *Proceedings of IEEE 7th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1-5, 2017.
- [ 6 ] S. A. T. A. Azhima, M. I. Hadi, V. P. Priandiri, B. R. Trilaksono, and E. M. Hidayat, "Design and Simulation of Navigation System for Hybrid Autonomous Underwater Glider," in *Proceedings of 2019 IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, Shah Alam, Malaysia, pp. 189-194, 2019.
- [ 7 ] P. Wang, P. K. Singh, and J. Yi, "Dynamic Model - Aided Localization of Underwater Autonomous Gliders," in *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Karlsruhe, Germany, pp. 5565-5570, 2013.
- [ 8 ] J. Sun, F. Hu, W. Jin, J. Wang, X. Wang, Y. Luo, J. Yu, A.



유태석(Tae Suk Yoo)

2010년 세종대학교 항공우주공학과(공학사)  
2012년 세종대학교 항공우주공학과(공학석사)  
2012년 ~ NIG넥스원 해양연구소 선임연구원  
※관심분야 : 관성센서, 관성항법, 수중복합항법



차애리(Ae Ri Cha)

2016년 한국산업기술대학교 기계공학과(공학사)  
2018년 인하대학교 기계공학과(공학석사)  
2022년 ~ NIG넥스원 해양연구소 연구원  
※관심분야 : 관성센서, 관성항법, 수중복합항법



박호규(Ho Gyu Park)

1987년 명지대학교 전기공학과(공학사)  
1989년 명지대학교 전자공학과(공학석사)  
1992년 ~ NIG넥스원 해양연구소 수석연구원  
※관심분야 : 수중유도무기 체계, 무인잠수정 자율 제어기술분야



김문환(Moon Hwan Kim)

2004년 연세대학교 전기공학과(공학사)  
2006년 연세대학교 전기공학과(공학석사)  
2009년 ~ NIG넥스원 해양연구소 수석연구원  
※관심분야 : 수중유도무기 체계, 무인잠수정 자율 제어기술분야