MEMS형 자세측정장치를 이용한 고속 기동 무인 잠수정 자율 조종 제어 기에 대한 HILS

황아름* · 윤선일** · 송지훈***

*거제대학교 조선해양공학과

**LIG넥스원 Maritime 연구소

***전남대학교 조선해양공학전공

Hardware in Loop Simulation on Autopilot Controller with MEMS AHRS for High Speed Unmanned Underwater Vehicle

Arom Hwang*, Seon-Il Yoon** and Jee-Hun Song***

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Koje College, Geoje, Korea

**LIG Nex1 Co. Ltd, Seongnam, Korea

***Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Korea

KEY WORDS: Unmanned underwater vehicle(무인잠수정), Autopilot controller(자율 조종 제어기), MEMS(마이크로전기기계장치), AHRS(자세측정장치), HILS(하드웨어 사용 시뮬레이션)

ABSTRACT: Unmanned underwater vehicles have many applications in scientific, military, and commercial areas because of their autonomy. In many cases, an underwater vehicle adopts a control algorithm based on a tactical inertial sensor for precise control. However, a control algorithm that uses a tactical inertial sensor is unsuitable for some underwater vehicle missions such as torpedo decoys. This paper proposes a control algorithm for an unmanned underwater vehicle that does not require precise control. The control algorithm proposed for an unmanned underwater vehicle adopts a low cost MEMS inertial sensor, and simulations using the specifications of the MEMS inertial sensor under development are performed to verify the control algorithm under a real environment. The results of these simulations are presented.

1. 서 론

해양 자원에 대한 개발 요구 증대와 더불어 해양플랜트 산업이 가지고 있는 중요도가 높아지고 있다. 해양 플랜트 산업의 주된 목적인 석유 탐사 및 시추 작업 환경에서 요구되는 수중 작업에 잠수부를 대신하여 인간에 위험한 환경에서도 장시간 사용이 가능한 수중 운동체에 대한 다양한 수요가 발생하고 있으며, 이러한 요구를 만족하는 새로운 수중 운동체 개발을 위한 많은 연구 활동이 활발하게 이루어지고 있다(Yuh, 2000; Shw-walter, 2004). 수중 운동체는 운용자에 의해서 조종이 가능한 원격 제어 잠수정(Remote operated vehicle: ROV)과 운용자의 개입이 최소화되어 스스로 자율 운항 로직에 의해서 운용 가능한 무인잠수정(Unmanned underwater vehicle: UUV)으로 구분할 수 있는데, 운용자 개입 없이 넓은 작업 해역에 대한 장시간 운용이 가능한 무인잠수정에 대한 수요가 해양 플랜트 산업과 같은 민간 부분과 기뢰탐색작전과 같은 국방 분야에서 증대하고 있다(최종락, 2008). 자율 운항해야 하는 무인잠수정에서 가장 중요한 기술은 외부 도움 없이 스스로 자신의 위치를 파악하는 항

법 기술과 스스로 운동 및 위치를 제어하는 자율 제어 기술이라고 할 수 있기 때문에 무인잠수정의 항법과 자율제어 기술에 많은 연구들이 국내외적으로 진행되어 왔다(김영식 등, 2009; 황아름 등, 2008; 이관목 등, 2008, 김준영, 2006; 이관목 등, 2005). 무인잠수정에 탑재되는 장비 중 운항 중인 무인잠수정의 관성 변화량을 측정하는 관성 측정 장치는 항법과 자율 제어기에 요구되는 가장 기본적 정보를 제공하기에 항법 기술과 자율 제어 기술 성능에 많은 영향을 미치고 있다. 관성 측정 장치는 일반적으로 크기와 성능에 비례하는데, 무인잠수정의 경우 대부분 탑재 공간(Payload)가 제한적이기에 소형 측정 장치를 요구되고 있다(김도현과 오준호, 1998). 이러한 소형화 요구를 만족하기 위하여 Micro Electro Mechanical System (MEMS) 기술을 적용한 자세 측정 장치 개발 및 적용을 위한 연구가 진행되고 있다(윤선일 등, 2009). 일반적으로 해양 탐사 활동에 사용되는 민수용 무인 잠수정은 운항 속도가 2~3 노트 내외로 요구되고 있는 반면, 국방 분야에서 사용되는 무인잠수정은 작전 성격에 따라서 길이 1미터 내외의 소형 무인 잠수정에 10노트 이상의 운항 속도가 요구되고 있다. 현재까지 주로 무인잠수정에 대한 연

구는 민수용 무인 잠수정에 대하여 주로 진행되어 왔기에, 10 노트 이상으로 기동 가능한 소형 무인 잠수정에 적용하기 위한 관성 측정 장치와 자율 자세 제어 기법에 대한 국내 연구는 최근까지 소수 연구자에 의해서 진행되어져 왔다(황중현 등, 2008a; 윤선일 등, 2009). 국방용 무인잠수정에 적용된 소형 관성 측정 장치와 자세 제어 기법에 대한 성능을 확인하기 위해서는 실험적 실험을 수행하여야 하나 실험적 실험은 많은 시간과 비용이 요구되기 때문에 현재 우리나라 국방 분야 연구 개발에서는 개발 시간 단축 및 비용 절감을 위해서 적극적인 M&S 기반 성능 검증 작업 수행을 요구하고 있다(황아름 등, 2011; 이판목 등, 1999). M&S 기반 성능 검증 작업 중 실제 개발된 장비를 활용하여 가상 환경에서 실제 임무와 유사한 운용 환경을 구성하고 전체 시스템에 대한 가상 환경 실험을 수행하여 실제 장비와 이에 탑재된 각종 알고리즘의 성능을 실제 환경 적용 이전에 검증이 가능한 하드웨어 활용 시뮬레이션(Hardware in the loop simulation: HILS) 시험이 가장 효과적이고 필수적이라고 할 수 있다(백수호와 홍성경, 2008; 황중현 등, 2008b). 그러나 국내에서는 MEMS형 자세 측정 장치를 장착한 고속 기동 무인잠수정이 매우 희귀한 플랫폼이기 때문에 이에 대한 HILS 기반 검증에 대한 연구가 부족한 현실이다.

본 논문에서는 국방 임무용으로 개발된 10노트 이상으로 운항이 가능한 길이 1m 내외의 소형 무인잠수정에 적용된 MEMS형 자세 측정 장치를 이용한 자율 조종 제어기를 소개하고 이에 대한 검증 작업을 소개한다. 이에 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수중 운동체에 적용된 운동 방정식과 제어기를 소개한다. 3장에서는 MEMS 관성 센서, 수중 운동체 중앙 통제 장치 및 운동모사 장치를 이용하여 수행한 HILS 시험과 시험 결과를 소개하고 4장에서는 결론을 제시하였다.

2. 운동방정식과 자율 조종 제어기

2.1 운동방정식

6자유도 운동을 하는 수중운동체의 운동은 Fig. 1과 같이 지표고정 좌표계와 동체고정 좌표계를 이용하여 표현한다. 이때 지표고정 좌표계는 수중운동체의 위치와 오일러각을 표시하며, 동체고정 좌표계는 선속도 및 각속도를 표시한다(Fossen, 1994).

Fig. 1 Global coordinate and body fixed coordinate

본 논문에서는 수중운동체의 운동방정식은 뉴턴의 제2법칙으로부터 유도되는 일반 수중 운동체의 비선형 방정식을 선형화하여 적용하였다. 운동방정식에 적용된 각 계수들은 Planar Motion Mechanism(PMM) 시험을 거쳐서 결정하였으며 자세한 값은 기밀 사항이기에 생략하였다. 유도된 선형 운동 방정식은 식 (1)에 정리되어 있다.

$$m\dot{\mu} - X_{\mu} = X_{\mu}\mu + X_T - (W - B)\sin\theta$$

$$m\dot{v} - Y_v\dot{v} - Y_p\dot{p} - Y_r\dot{r} = Y_vv + Y_pp - (Y_r - \mu)r + Y_{\delta_r}\delta_r + (W - B)\sin\phi\cos\theta$$

$$(m - Z_w)\dot{w} - Z_q\dot{q} = Z_w w + (Z_q + \mu)q + Z_{\delta_e}\delta_e + (W - B)\cos\phi\cos\theta$$

$$(I_{xx} - K_p)\dot{p} - K_v\dot{v} - K_r\dot{r} = K_vv + K_pp + K_rr + K_{Q_r} + K_{\delta_r}\delta_r - y_B\cos\phi\cos\theta + z_B\sin\phi\cos\theta$$

$$(I_{yy} - M_q)\dot{q} - M_w\dot{w} = M_w w + M_q q + M_{\delta_e}\delta_e + x_B B\cos\phi\cos\theta$$

$$(I_{zz} - N_r)\dot{r} - N_v\dot{v} - N_p\dot{p} = N_vv + N_pp + N_rr + N_{\delta_r}\delta_r - x_B B\sin\phi\cos\theta - y_B\sin\theta$$

$[u \ v \ w \ p \ q \ r]$: 동체 기준 6자유도 운동

$[\theta \ \phi \ \psi]$: 고정 좌표계 기준 회전 운동:

$[x_B \ y_B \ z_B]$: 수중 운동체 부력 중심 위치

m : 수중 운동체 질량

W : 수중 운동체 작용 중력

B : 수중 운동체 작용 부력

X : 그림 1의 지구 고정 좌표계 x축 방향 힘 관련 계수

Y : 그림 1의 지구 고정 좌표계 y축 방향 힘 관련 계수

Z : 그림 1의 지구 고정 좌표계 z축 방향 힘 관련 계수

I : 그림 1의 지구 고정 좌표계 해당 축에 대한 수중 운동체 질량의 2차 모멘트

K : 그림 1의 지구 고정 좌표계 x축에 관한 모멘트 관련 계수

M : 그림 1의 지구 고정 좌표계 y축 관한 모멘트 관련 계수

N : 그림 1의 지구 고정 좌표계 z축 관한 모멘트 관련 계수

δ_r : 러더(rudder) 각도

2.2 자율 조종 제어기

본 논문에서는 국방용 무인잠수정 자율 조종 제어기를 구현하기 위하여 고속 수중 운동체인 잠수함과 호밍 어뢰에 적용되어 있는 자세 제어기 설계 기법을 도입하여 상순타(Stern)와 방향타(Rudder)에 대한 제어를 통한 운용자 및 회피 알고리즘에 의해서 설정된 목표 심도 및 침로를 유지하기 위한 심도 및 침로 제어 방정식을 유도하였으며(Jalving, 1994), 유도된 제어 방정식에 PD 제어이론을 적용하여 자세 제어를 통한 자율 조종이 가능한제어기를 설계하였다. 자세한 자율 조종 제어기 설계 과정은 참고 문헌(황중현 등, 2008a)에 정리되어 있다. 하강 운동에 대해서 상태 평형 상태를 가정하면, Pitch 운동에 대한 식 (2)와 같은 선형 방정식을 구할 수 있다.

$$\dot{\theta} = q, \quad \dot{z} = -\theta u + w \quad (2)$$

Fig. 2 HILS hardware configuration and control command flowchart

선수 좌우 운동에 대해서 Surge는 일정하며 Roll과 Pitch가 매우 작다고 가정하여 식 (3)과 선수각에 대한 선형식을 구할 수 있다.

$$\dot{\psi} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} q + \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \dot{\theta} \approx r \quad (3)$$

식 (1)에 표현되어 있는 heave와 pitch에 운동 방정식은 식 (2)를 적용하여 식 (4)와 같이 정리할 수 있으며, sway와 yaw에 대한 운동방정식은 식 (3)을 적용하여 식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} m - Z_{\dot{w}} & -Z_{\dot{q}} & 0 & 0 \\ -M_{\dot{w}} & I_{yy} - M_{\dot{q}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_w - \mu + Z_q & 0 & 0 \\ M_w & M_q & 0 \\ 0 & 1 & BG_z W \\ 1 & 0 & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{\delta} \\ M_{\delta} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -Y_{\dot{r}} & 0 \\ -N_{\dot{v}} & I_{zz} - N_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - \mu & 0 \\ N_v & N_r & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (5)$$

식 (4)와 (5)에서 δ_e , δ_r 은 각각 상승타와 방향타에 대한 제어 입력 명령이다. 식 (4)와 (5)를 이용하여 심도 및 침로 제어를 위한 전달 함수는 식 (6)에 정리되어 있으며, PD 이론을 적용한 제어 법칙은 식 (7)과 같다.

$$G_z(s) = \frac{z(s)}{\delta_e(s)} = \frac{-11.16s^2 + 4.46s + 279.6}{s^4 + 6.56s^3 + 7.26s^2}$$

$$G_{\psi}(s) = \frac{\psi(s)}{\delta_r(s)} = \frac{-4.87s - 33.89}{s^3 + 6.52s^2 + 7.24s} \quad (6)$$

$$\delta_e = K_q K_{\theta} K_z (z_c - z) - K_q K_{\theta} \dot{\theta} - K_q \dot{q}$$

$$\delta_r = K_{\psi} K_r (\psi_c - \psi) - K_r r \quad (7)$$

Table 1. Specification of AHRS

	Specificatoin
Dimension	80mm x 49mm x 70mm
Weight	200g (including case)
Power	<2.2W(nominal)
Heading error	<0 deg/hr

Fig. 3 MEMS based AHRS for UUV

3. HILS 시험 수행

본 논문에서 제안한 MEMS 센서를 이용한 고속 무인 잠수정 자율 조종 제어기 성능을 검증하기 위하여 운동모사 장치로 3

Fig. 4 GUI of motion calculation program

축 FMS(Three axes flight motion simulator)와 국방용 무인잠수정에 사용하기 위하여 개발된 마이크로인피니티 사의 자세측정장치(Attitude heading reference system: AHRS)(Fig. 2)와 LIG 넥스원에서 개발한 중앙통제장치(Fig. 4)를 이용하여 HILS 시험을 수행하였다. HILS 시험 수행을 위한 장비 구성은 Fig. 2에 표시되어 있다.

HILS 시험에서 사용된 자세측정장치는 3축 자이로, 3축 가속도계, 3축 지자기센서 및 프로세서 보드로 구성되어 있으며 자세측정장치의 자세한 제원은 Table 1과 같다.

HILS 시험 중 무인잠수정의 자세를 측정하기 위한 자세측정장치는 FMS에 고정되어 10ms 주기로 수중 운동체의 자세를 중앙통제 장치에 시리얼 통신으로 전달하게 된다.

중앙통제 장치는 길이 1.6m, 지름 0.2m정도의 규격을 가지는 무인잠수정의 제어를 위하여 Real time operation system (RTOS)인 VxWork기반 소형 보드 형태로 개발되었다. 효율적 개발을 위하여 대용량 고속 데이터 통신이 가능한 TCP/IP 기반 이더넷 통신을 채택하였다. 중앙통제 장치는 무인잠수정의 추진부, 전지부 등과 같은 모든 하위 시스템을 제어하기 때문에, 전술한 자율조정 제어기를 구현하기 위한 제어 프로그램은 중앙통제 장치에 설치되었다. 중앙 통제장치에 설치된 제어 프로그램은 시리얼 통신으로 전달받는 자세측정장치로부터 수중운동체 현재 자세 정보와 운동방정식 계산 프로그램에서 전달받는 심도 정보를 이

Table 3 Parameters for HILS

Parmameters	Value
Operation interval	50 ms
Initial position	Sea surface
Operating Time	180 sec

용하여 방향타와 승강타 타각 정보를 계산하고 이를 운동 계산 컴퓨터에 전달하게 된다.

윈도우 기반 운동 계산 컴퓨터에는 전술한 운동방정식을 구현하기 위한 운동 방정식 계산 프로그램이 설치되어 있으며, 운동방정식 계산 프로그램은 중앙 통제장치로부터 이더넷 통신을 통하여 전달 받는 타각 정보를 이용하여 운동 방정식을 계산하고 이를 이용하여 FMS 제어 명령을 생성하고 GPIB 통신을 이용하여 FMS에 전달한다. 또한 계산된 자세 정보 중 심도 정보를 DAQ 카드를 통하여 중앙통제 장치로 전달한다. Fig. 5는 운동방정식 계산 프로그램의 화면을 도시하고 있다.

본 논문에서 제안한 자세 제어를 통한 자율 조종 제어기 성능을 검증하기 위한 HILS 시험 조건은 Table 2와 같으며 시험 인자는 Table 3과 같다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 Table 2에 제시되어 있는 실험 조건 중 Condition I에 대한 시험에서 획득한 FMS에 장치되어 있는 자세측정 장치에 의해서 기록된 자율 조종 제어기에 의한 무인잠수정의 심도 제어 결과와 침로 제어 결과를 도시하고 있으며, Fig. 7과 Fig. 8은 각각 Condition II에 대한 심도 제어 결과 침로 제어 결과를 도시하고 있다.

Fig. 5와 Fig. 7을 살펴보면, 사전 명령 심도에 대해서 제안된 자율 조종기가 적절하게 제어하고 있음을 확인할 수 있다. 침로 제어 있어서는 사전 명령 침로에 대해서 약 4도 오차를 보

Table 2 Conditions for HILS

Condition	I	II
Target Depth	50 m	50 m
Target Heading	30°	-30°
Velocity	16 knots	16 knots

이면서 제어하고 있음을 Fig. 6과 Fig. 8에서 볼 수 있다. 하지만, Fig. 6과 Fig. 8을 살펴보면 침로 제어 초기 값이 0도가 아니고 5도에서 시작하는 사실을 확인할 수 있으며, 이러한 초기 오차는 자세 측정 장치의 지자기 센서에 대해서 자북과 진북의 차이에 대한 보정이 필요한데, FMS 동작 환경에서 주변에서 발생한 전자기장의 영향으로 보정 값에서 발생한 것이다. 이러한 초기 센서 오차가 존재하고 있음에도 불구하고 본 알고리즘의 침로 제어 오차가 초기 오차보다 작은 사실로부터 초기 정렬 오차 문제가 해결되면 본 논문에서 제안한 알고리즘이 정밀한 침로 제어를 할 수 있을 것을 예상할 수 있다.

Fig. 5 Depth control result under condition 1

Fig. 6 Heading control result under condition 1

Fig. 5과 Fig. 7을 살펴보면, 사전 명령 심도인 50m에 대해서 수중 운동체가 평균 0.2m 이내의 오차를 보이면서 심도를 유지하고 있어서, 제안된 자율 조종 제어기가 적절하게 심도를 제어하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 7과 Fig. 9에서 제시되어 있는 침로 제어 결과인 FMS 측정값을 살펴보면, 수중운동체가 목표 심도까지 하강운동을 하는 동안에 일정하게 침로를 유지하고, 하강 운동이 종료된 이후에는 목표 침로에 대해서 약 2도 정도의 편차를 보이면서 동요가 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 동요는 하강 운동 종료 이후 수중운동체의 자세 중 중동

요가 일정하게 유지되면서, 자세측정장치가 지자기 센서의 결과에 대한 의존성이 강해져서 발생하는 것이다. 또한 침로 제어 초기 값이 0도가 아니고 5도 부근에서 시작하는 사실을 확인할 수 있으며, 이러한 초기 오차는 자세 측정 장치의 지자기 센서에 대해서 자북과 진북의 차이에 대한 보정이 필요한데, FMS 동작 환경에서 주변에서 발생한 전자기장의 영향으로 사전에 결정한 보정값과 다른 오차가 발생한 것으로 예상된다.

Fig. 7 Depth control result under condition 2

Fig. 8 Heading control result under condition 2

Fig. 5~8에 제시되어 있는 결과로부터 저가의 MEMS 관성 센서를 사용하였지만, 정밀한 제어를 필요로 하지 않는 수중 운동체에 대해서도 목표 수심 20 m에 대하여 평균 0.2 m 내외의 1% 이내의 오차를 가지는 심도 제어와 3도 이내의 오차를 가지는 침로 제어가 가능한 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 MEMS 관성 센서를 적용한 무인잠수정의 자세 제어를 통한 자율 조종 제어기를 제안하였다. 제안된 자율 조종 제어기의 성능을 검증하기 위하여 실제 무인잠수정에 적용된

MEMS 기반 자세 측정 장치와 VxWork 적용 중앙 통제 장치와 운동 모사장치를 이용한 폐회로 기법의 HILS 시험을 수행하였고 시험 결과를 제시하였다. 시험 결과로부터 제안된 알고리즘이 저가 MEMS 센서를 사용하였지만, 1 % 이내 심도 제어 오차와 3 도 이내 침로 제어 오차를 보이며 원하는 성능을 보여 주고 있음을 확인할 수 있다.

향후 과제로서 다양한 경우에 대한 HILS 시험을 수행하여 제안된 자율 조정 제어기와 무인잠수정의 체계 통합적 성능에 대한 검증과 실험을 통한 실제 환경에서의 성능 검증이 필요할 것이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (2011-0023027)

참 고 문 헌

- 김도현, 오준호 (1998). “자율무인잠수정의 자세계측장치의 개발,” 한국정밀학회지 제 15권, 1호 pp 101-108.
- 김영식, 이지홍, 김진하, 전봉환, 이관목 (2009). “RMAC를 적용한 어뢰형 무인잠수정(ISiMi)의 수평면 경로추종 제어,” 한국해양공학회지 제 23권, 6호, pp 146-155.
- 김준영 (2006). “Controller Design for an Autonomous Underwater Vehicle using Estimated Hydrodynamic Coefficients,” 한국해양공학회지 제 20권, 6호 pp 7-17.
- 백수호, 홍성경 (2008). “무인항공기의 비행경로 생성 및 유도제어 알고리즘 연구: HILS를 통한 검증,” 제어로봇시스템학회 논문지, 제 14권, 12호, pp 1238-1243.
- 윤선일, 황아름, 천세범, 홍진석, 김삼수, 조현진 (2009). “MEMS 관성센서와 지자기센서를 이용한 무인수중운동체용 자세측정장치 개발,” 한국해양공학회 추계학술대회 논문집.
- 이관목, 전봉환, 이종무 (1999). “자율무인잠수정의 통합시뮬레이션 환경 구축을 위한 기초연구,” 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp 125~130.
- 이관목, 전봉환, 임용곤 (2008). “고정기준점에 대한 거리 측정 신호를 이용하는 자율무인잠수정의 수중항법,” 한국해양공학회지 제 22권, 4호, pp 106-113.
- 이관목, 전봉환, 홍석원, 임용곤, 양승일 (2005). “두개 초음파 거리계를 이용한 관성센서 기반 의사 장기선 복합항법 알고리즘,” 한국해양공학회지 제 19권, 5호, pp 71-77.
- 최종락 (2008). “무인잠수정(UUV) 개발 추세 및 핵심기술 분석,” 국방기술플러스, Vol 55, 국방과학연구소.
- 황아름, 김문환, 이심용, 윤재문, 김찬기 (2011). “무인잠수정 기뢰 탐색 효과도 분석,” 한국군사과학기술학회지, 제14권 5호, pp 781-787.
- 황아름, 성우제, 전봉환, 이관목 (2008). “무인 잠수정 3자유도 운동 실험에 대한 무향 칼만 필터 기반 SLAM기법 적용,” 한국해양공학회지 제 23권, 2호, pp 58-68.
- 황종현, 백동현, 홍성경, 조현진, 김삼수 (2008a). “MEMS 관성센서를 이용한 무인수중운동체의 통합자세제어기 설계 연구,” 제어자동화시스템공학회, pp 368-373.
- 황종현, 홍성경, 조현진 (2008b). “소형 자율무인 수중운동체의 제어시스템 설계를 위한 통합 시뮬레이터 구축 - HILS 검증,” 제어로봇시스템 학회지, Vol 14, No 4, pp 1-9.
- Fossen, T.I (1994). Guidance and Control of Ocean Vehicles, Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Jalving, B. (1994). “The NDRE-AUV Flight Control System,” IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol 19, No 4, pp 497-501.
- Showalter, S. (2004). “The Legal Status Of Autonomous Underwater Vehicles,” The Marine Technology Society Journal, Spring, Vol 38, No 1, pp 80-83.
- Yuh, J. (2000). “Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey,” Kluwer Academic Publishers, Printed in Netherlands, Autonomous Robots, pp 7-24.

2012년 4월 19일 원고 접수

2012년 10월 4일 심사 완료

2012년 10월 25일 게재 확정