

# 선외기 선박용 비접촉 러더센서 및 자동조향장치 개발

## Development of Outboard Type Contactless Rudder Sensor and Automatic Steering System

김 호 영\* · 방 준 호<sup>†</sup> · 김 태 형\* · 유 인 호\*

(Ho-Young Kim · Junho Bang · Tae-Hyung Kim · In-Ho Ryu)

**Abstract** - In this paper, we developed a core module of the steering system to control and operate the outboard ship with the automatic steering system, and implemented it as a complete integrated system. In particular, this paper presents the problem of the rudder sensor used in the existing system and implements the contactless rudder sensor as an improvement. In the case of existing rudder sensors, there is a problem that safety operation and economic loss of the ship operation is caused by malfunction due to immersion during use in outboard vessels. However, the proposed rudder sensor is separated from the rotary shaft to constitute a contactless type, and a circular magnet is fixed so that the rotating value can be detected and used by the Hall sensor to completely solve the flooding problem. As a result of the characteristic test, the voltage value from 1.8V to 3.2V was obtained between  $-35^\circ$  and  $+35^\circ$  degrees and satisfied the reference value. The proposed rudder sensor was mounted on the outboard ship, and all the performance of controller system were checked. According to the system proposed in this paper, it satisfies the Korean Standard Specification, which defines the speed of convergence in 30 seconds by switching from left to right in 7 seconds. We also confirmed that automatic steering was performed by comparing the compass sensor with the destination in the integrated controller at the start-up.

**Key Words** : Outboard ship, Contactless rudder sensor, Automatic steering system

### 1. Introduction

선내외기(inboard/out-board engine), 선외기(outboard engine)로 구분이 되며 어선에서는 선외기와 선내기가 주로 사용하고 있으며 국내 등록된 연해안 어선의 76%가 선외기 엔진시스템을 적용하여 어획 활동을 하고 있다. 그런데 매년마다 어획인구감소 및 고령화가 지속적으로 이루어지고 있고 노후선박 폐선을 통한 감척이 이루어지고 있는 반면 일반어선에 비하여 허가와 작업이 쉬운 선외기형선박은 증가하는 추세이다. 선외기 선박의 어업은 일반적으로 2명 이상이 1조로 작업이 이루어지고 있으며, 부족한 인력 현황으로 부부 어업종사자가 많아지고 있고, 또한 부족한 인력을 외국인 노동자로 대체하고 있으나, 어업인구가 지속적으로 감소하여 현재 어획활동이 점점 어려워지고 있는 상황이다. 선외기 선박에서 리모트 자동조타 시스템을 사용하게 되면 선박운전 및 작업자 역할을 동시에 수행할 수 있기 때문에 기존에 3~4명이 작업을 하던 것을 2~3명으로 줄여 작업을 할 수 있어 인건비 절감 효과가 있으며, 자동항법에 의한 작업자 피로도 감소로 인한 작업의 효율성과 연료절감 효과를 기대할 수 있어 선박용 선외기 선박에 적용 가능한 리모트 자동조타시스템 개발이 요구되고 있는

상황이며 이에 대한 많은 연구가 국내외적으로 이루어지고 있다 [1]-[7]. 선외기선박용 리모트 자동 조타시스템을 구현하기 위해서는 선외기 엔진의 타각 위치 값을 전달하는 러더센서와 유압 실린더를 동작시킬 수 있는 유압장치(Hydraulic System), 엔진의 전후진과 RPM을 조절하는 구동레버 장치(Engine Control System)와 GPS와 선수방위의 정보를 표시하고 제어하는 통합 컨트롤러를 필요로 한다[8].

본 논문은 선외기용 선박을 자동조타장치 시스템으로 제어하고 동작시키기 위해 조타시스템의 핵심 모듈을 개발하여 하나의 완성된 통합된 시스템으로 구현하였다. 특히 본 논문에서는 기존 시스템에서 사용되고 있는 러더센서의 문제점을 제시하고 이를 개선한 비접촉식 러더센서를 구현하였다. 기존 러더센서의 경우, 선외기용 선박에 사용 시에 침수로 인한 오동작으로 선박운행의 안전 및 경제적인 손실을 야기하는 문제를 안고 있었으나, 센서를 회전축으로부터 분리하여 비 접촉형태로 구성하고 회전축에 원형 자석을 고정함으로써 그 회전하는 값을 홀센서로 검출하여 사용할 수 있도록 하여 침수 문제를 해결하고자 하였다. 2장에서 새로운 비접촉식 러더센서 설계에 대하여 그리고 3장에서 설계된 러더센서를 이용한 리모트 자동조타 시스템 구성 및 특성 실험결과에 대하여 나타내었다. 제작된 러더센서를 실제 선외기 선박에 장착하여 메인 컨트롤러에 입력되는 신호를 확인한 결과, 정상적으로 동작함을 보였다. 또한 본 논문에서 제안한 시스템이 전타 속도를 규정하고 있는 한국선급규격을 만족함과 통합 컨트롤러에서 센서와 목적지 방향을 비교하여 자동조타가 이루어지는 것을 보였다.

<sup>†</sup> Corresponding Author : Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University, Korea.  
E-mail: jhbang@jbnu.ac.kr

\* Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University, Korea.

Received : June 5, 2017; Accepted : July 11, 2017

## 2. 선외기 선박용 리더센서 설계

### 2.1 선박용 리모트 자동조타시스템 및 리더센서

선외기 선박용 리모트 자동조타시스템을 그림 2.1에 나타내었다.

그림 2.1의 좌측은 수동 조타 시스템인데 수동조타핸들을 좌우로 움직일 때 실린더의 유압장치를 움직여 선외기 엔진을 좌우로 조향하는 방법으로 동작이 된다. 선외기형 자동조타 시스템은 리모트 컨트롤러의 입력을 받아 유압구동장치를 제어하고 유압구동장치에 의해 타각이 움직이게 되면 리더센서에 의해 움직인 각도가 통합 컨트롤러에 입력되게 된다. 또 설정된 선수방향에 따라 컴퍼스 센서의 값을 입력받아 설정된 방향으로 배가 움직이게 되며 엔진레버의 동작에 따라 전진과 후진의 기능을 수행하게 된다 [9].

선외기 선박은 그림 2.2에서와 같이 수동조타핸들과 엔진레버로 구성되어 있다. 선외기형 선박은 수동조타 핸들을 헬륨펌프로 사용하여 조향 핸들이 좌우로 움직이면 펌프 내에 있는 유압유가 핸들의 움직임에 따라 좌우로 유압라인을 따라 흐르게 되어 선외기 엔진을 고정하고 있는 실린더를 움직여 선외기 엔진을 좌우로 조향하게 한다. 이때 실린더의 움직임을 리더센서에 의해 입력받고 그 정보를 통합컨트롤러에서 제어하게 된다. 엔진레버는 엔진의 전후진과 RPM을 조절하는데 레버를 앞으로 움직이면

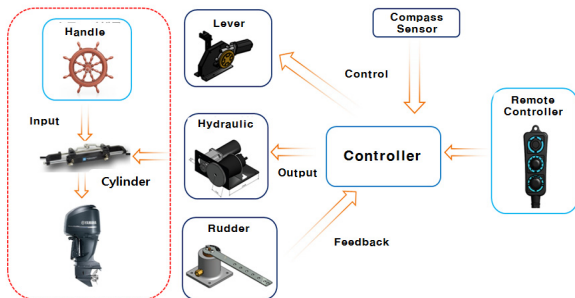


그림 2.1 선외기 선박용 자동조타 시스템의 개략도  
Fig. 2.1 Schematic of outboard auto steering system



Handle Lever

그림 2.2 수동조타핸들과 엔진레버  
Fig. 2.2 Manual steering and engine lever

전진 클러치가 동작하여 배가 전진하게 되며, 그 이후에 레버를 앞으로 이동하면 엔진의 속도를 조절하게 된다. 반대로 레버를 뒤쪽으로 이동하면 후진 클러치가 동작하게 되고 후진 속도를 조절할 수 있다. 선박 자동조타 시스템은 리모트 컨트롤의 입력을 받아 유압구동장치를 동작시켜 자동조타가 이루어진다. 하지만 현재 선외기 선박에서는 수동조타핸들이 헬륨펌프를 사용하는 반유압형태로 이루어져 있어 완전유압형태의 오비트를 펌프에 의한 솔레노이드 밸브 제어가 불가능하다. 그러므로 본 논문을 통하여 선외기 엔진을 사용하는 선박의 리모트 자동조타 시스템을 구현하고자 각각의 장치를 설계하고 구현하였다. 3D 인벤터를 사용하여 선외기 엔진에 적합한 리더센서를 설계하고 자동조타가 가능하도록 유압 구동시스템을 설계하였다.

현재 선박에서 사용하고 있는 리더센서의 구조는 그림 2.3과 같이 포텐셔미터 센서를 축으로 연결하여 그 축을 실린더에 로드를 통해 연결한 후 실린더의 축이 움직임을 측정하여 자동조타장치에 신호를 넘겨주는 형태의 센서이다[10].

현재 리더센서에 사용하고 있는 센서는 그림 2.4와 그림 2.5에 보인 포텐셔미터센서와 싱크로 모터 센서이다. 하지만 이러한 센서의 문제점은 축이 같이 고정되어 회전하는 형태이기 때문에 그림 2.4와 그림 2.5의 'A'의 축에 물이 들어갈 수 있다. 선외기 엔진의 특성상 리더 센서가 외부에 설치되어야 하므로 이들 리더

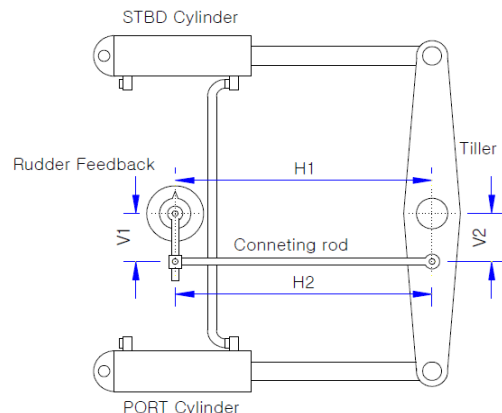


그림 2.3 리더 센서 설치 위치[삼영이씨]  
Fig. 2.3 Location of the Rudder sensor

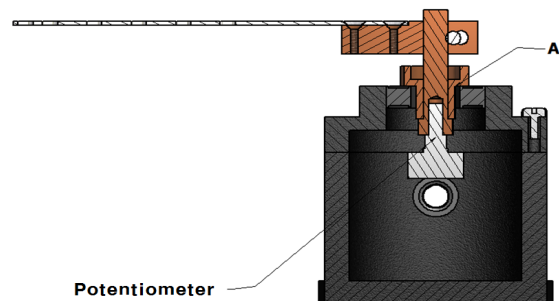


그림 2.4 기존의 포텐셔미터방식의 리더센서  
Fig. 2.4 Conventional potentiometer rudder sensor

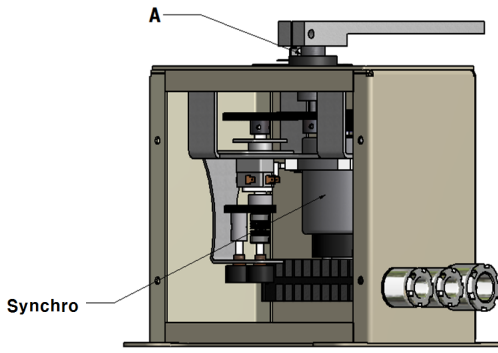


그림 2.5 기존의 싱크로 방식의 러더센서  
 Fig. 2.5 Conventional synchro rudder sensor

센서들은 방수에 취약한데 물에 침수가 되면 장비의 기능이 상실되며 보수가 쉽지 않아 교체 비용 등 경제적으로도 손실이 발생한다.

본 논문은 현재 사용되고 있는 선내기 러더센서의 단점인 방수에 취약한 부분을 분석하고 러더센서의 구조적인 변경과 비접촉 변위센서인 홀센서를 이용하여 비접촉식 회전변위센서를 구현하고 회전축을 통과시켜 물에 의한 침수가 일어나지 않도록 설계를 진행하고 러더센서를 구현하고자 한다.

2.2 새로운 비접촉식 러더센서 설계

앞절에서 제기한 접촉식 변위센서인 포텐셔미터 센서의 마찰 및 환경적인 요소에 취약한 점을 해결하고자 홀센서(Hall Sensor)를 이용하여 기존의 러더센서의 문제점을 보완하여 비접촉 형태의 구조로 원형 변위센서의 기능을 수행할 수 있도록 설계하였으며 그림 2.6에 설계한 러더센서의 단면도를 보였다.

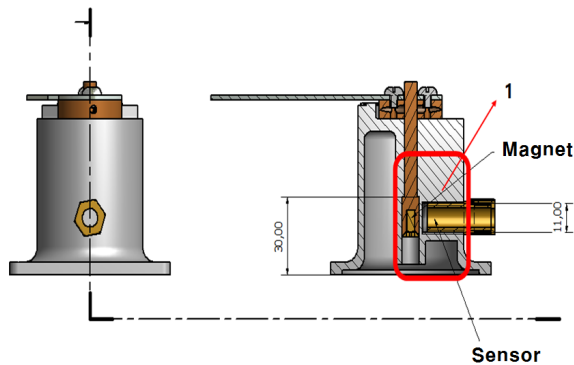


그림 2.6 설계한 러더센서 단면도  
 Fig. 2.6 Cross section of the designed rudder sensor

기존의 러더센서가 선외기용에서 외부에 설치될 때, 침수에 의한 파손이 가장 많은 단점을 개선하기 위하여 러더센서의 실린더에 의해 회전되는 축을 침수가 되지 않도록 관통하여 설계하였다. 이때 회전하는 중앙 축에 원형의 자석을 고정하여 실린더에

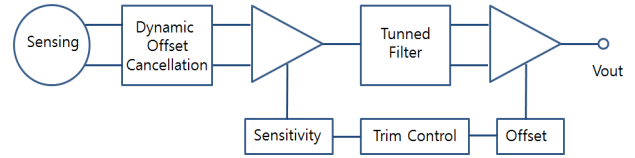


그림 2.7 설계한 러더센서의 기능도  
 Fig. 2.7 Function diagram of designed rudder sensor

연결된 축이 회전할 때 변화되는 자장의 세기를 홀센서의 값으로 측정하도록 하였다. 이때 홀센서에 의해서 측정된 값은 A/D 변환하여 디지털화된 데이터 값으로 사용된다.

러더센서는 원통형 구조를 이루고 있으며 회전축이 회전할 때 홀센서가 위치 값을 검출하게 되는데 기존 센서의 경우, 중간 회전축의 공간을 통하여 침수가 발생하고 센서 고장의 원인이 된다. 그러나 본 논문에서 제안된 센서의 경우, 그림 2.6의 1과 같이 센서를 회전축으로부터 분리하여 비접촉형태로 구성하였다. 이때 회전축에 원형 자석을 고정하고 그 회전하는 값을 홀센서로 검출하여 사용할 수 있도록 하였는데 홀센서의 위치를 회전축과 완전히 분리함으로써 침수 문제를 완전히 해결하였다. 그림 2.7은 러더센서의 기능도를 보이고 있는데 감지된 신호는 다이내믹 오프셋 제거기에 오프셋이 제거되고 증폭된다. 증폭된 신호는 필터에 의하여 주파수 값이 조절이 되며 2차 증폭되며 증폭과정에서 감도와 오프셋의 크기가 조정된다.

이와 같이 구현된 최종 러더센서를 그림 2.8에 나타내었다.

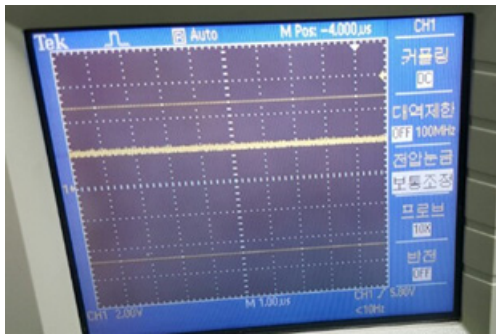


그림 2.8 최종 개발된 러더센서  
 Fig. 2.8 The developed rudder sensor

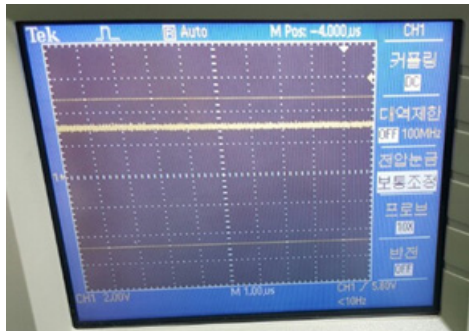
최종 구현된 센서의 동작을 확인하기 위하여 회전축의 회전하는 각도에 따라 감지하고 이를 전압 값으로 변환된 결과를 측정하였다. 러더센서의 입력은 회전축이 회전하는 범위는 보통  $\pm 35^\circ$  이내의 범위이며 기존의 센서의 경우 출력이 1.8~3.2V 범위내로 얻어진다. 기존의 센서에서 각도에 따른 출력 전압측정 파형을 그림 2.9에 나타내었다. 그림 2.9(a)는 입력의 최저 각도  $-35^\circ$  일때를 감지하여 얻어진 전압의 최소 값 1.8V가 출력되는 결과이며, 그림 2.9(b)는 중간각도 0도 일 때의 전압 값 2.5도를 그림고 그림 2.9(c)는 최대 각도 35도 일 때의 전압 값 3.2도를 출력하고 있는 결과이다.

또한 제안된 러더 센서의 경우, 회전축이 좌우로 회전할 때 이

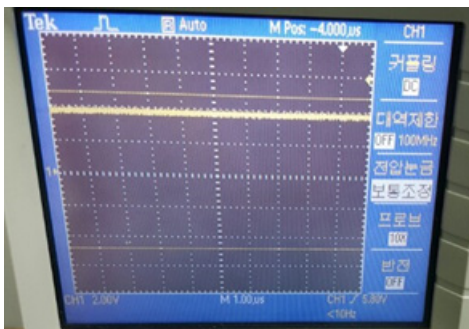
축에 자석을 고정하고 축이 회전함에 따라 자기장이 발생하고 또한 자기장의 세기에 따라 전압 값으로 변화하게 되는데 이때 필요한 출력 전압 값을 얻어내기 위하여 홀센서와 자석간의 거리가 최적화 되어야 한다. 홀센서와 자석간의 거리에 따라 얻어진 제안된 센서의 출력 데이터 값을 표 1과 그림 2.10에 정리하여 나타내었다. 발생된 전압은 전류와 자장의 세기에 비례하였으며 홀센서와 자석간의 거리가 약 3cm일 때 최적의 값을 얻을 수 있었다.



(a) 최저 전압 값(약 1.8V)  
(a) Lowest voltage value(approx. 1.8V)



(b) 중간 전압 값(약 2.5V)  
(b) Intermediate voltage value(approx. 2.5V)



(c) 최대 전압 값(약 3.2V)  
(c) Maximum voltage value(approx. 3.2V)

그림 2.9 설계된 러더센서의 출력 전압측정 파형  
Fig. 2.9 The output voltage value of the designed rudder sensor

표 1 제안된 러더센서의 각도 및 거리에 따른 출력전압값  
Table 1 The voltage values according to angle and distance of the designed sensor

Rudder angle	-35°	10°	0°	10°	35°
Voltage of 1Cm	1.1V	2.1V	2.5V	2.9V	3.9V
Voltage of 2Cm	1.45V	2.2V	2.5V	2.8V	3.55V
Voltage of 3Cm	1.8V	2.3V	2.5V	2.7V	3.2V

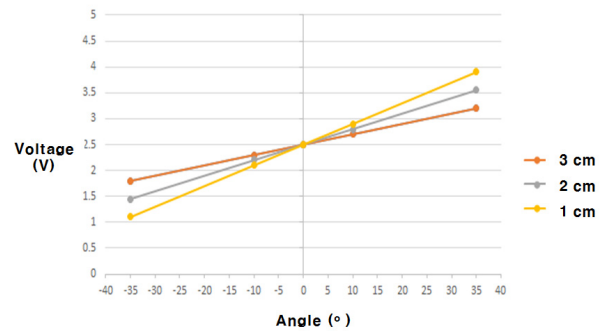


그림 2.10 제안된 러더센서의 각도 및 거리에 따른 출력전압값  
Fig. 2.10 The voltage values according to angle and distance of the designed sensor

### 3. 설계된 러더센서를 이용한 리모트 자동조타 시스템 구성

설계된 센서를 이용하여 선외기용 자동조타 시스템을 구성하였다. 선외기 리모트 자동조타 시스템은 러더센서, 유압구동 시스템, 엔진컨트롤 레버, 컴퍼스 센서와 통합 컨트롤러로 구성된다. 구성된 자동조타 시스템은 원격 제어가 가능하도록 리모트 컨트롤러의 타각과 클러치, RPM의 아날로그 입력신호를 받아서 엔진의 유압 실린더의 유압장치를 구동해서 타각을 조향한다. 또한 타각의 움직임을 러더센서로 값을 측정하고 컴퍼스 센서에 의해 입력된 선수방향과 목적지 방향을 비교하여 유압구동장치를 제어하여 타각을 좌우로 제어하게 된다.

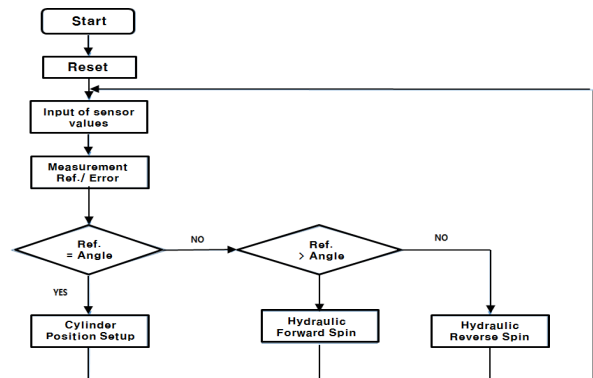


그림 3.1 리모트 컨트롤 러더값 제어 흐름도  
Fig. 3.1 Remote control rudder value flowchart

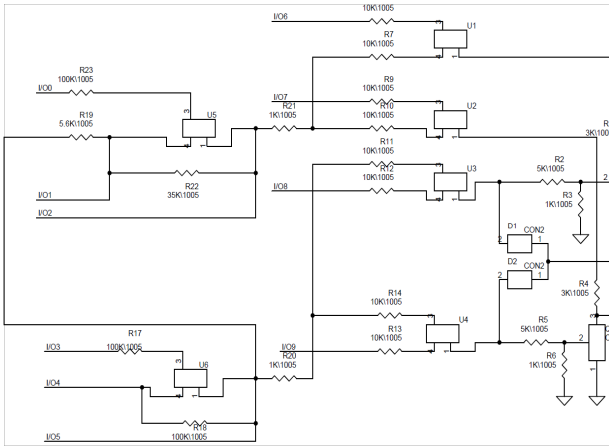


그림 3.2 러더센서 아날로그 입력 신호처리 회로  
**Fig. 3.2** Rudder sensor analog input signal processing circuit

제작된 러더센서를 충청남도 대천항에 있는 선외기 선박에 장착하여 메인 컨트롤러에 입력되는 신호를 확인한 결과, 정상적으로 동작함을 확인하였다. 그림 3.3은 러더센서를 선외기 선박에 장착된 사진이며 그림 3.4에는 러더센서의 값을 표시하고 선박이 자동운전을 컨트롤하는 통합컨트롤러의 모습을 보였다.



그림 3.3 선외기 선박에 장착된 러더센서  
**Fig. 3.3** The installed rudder sensor in outboard ship



그림 3.4 러더센서의 값을 표시하는 통합컨트롤러  
**Fig. 3.4** Integrated controller showing rudder sensor value

특히, 한국선급협회 규칙에 의하여 항해 전진중, 우현에서 좌현으로 또는 좌현에서 우현으로 -35도에서 35도까지 70도의 전타각도를 조정할 시에 선박이 30초 이내에 전타되도록 전타속도를 규정하고 있다. 본 논문에서 제안한 시스템에 따르면 7초 동안에 좌에서 우로 방향이 전환됨으로써 한국선급규격[11]을 만족하였다. 아울러 시운전시 통합 컨트롤러에서 컴퍼스 센서와 목적지 방향을 비교하여 자동조타가 이루어지는 것을 최종적으로 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문은 선외기용 선박을 자동조타장치 시스템으로 제어하고 동작시키기 위해 조타시스템의 핵심 모듈을 개발하여 하나의 완성된 통합된 시스템으로 구현하였다. 특히 본 논문에서는 기존 시스템에서 사용되고 있는 러더센서의 문제점을 제시하고 이를 개선한 비접촉식 러더센서를 구현하였다. 기존 러더센서의 경우, 선외기용 선박에 사용 시에 침수로 인한 오동작으로 선박운행의 안전 및 경제적인 손실을 야기하는 문제를 안고 있었으나, 센서를 회전축으로부터 분리하여 비접촉형태로 구성하고 회전축에 원형 자석을 고정함으로써 그 회전하는 값을 홀센서로 검출하여 사용할 수 있도록 하여 침수 문제를 완전히 해결하였다. 특성 실험 결과 -35도와 35도 사이에 1.8V에서 3.2V까지의 전압값을 얻어 기준값을 만족하였다. 제작된 러더센서를 충청남도 대천항에 있는 선외기 선박에 장착하여 메인 컨트롤러에 입력되는 신호를 확인한 결과, 정상적으로 동작함을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 시스템에 따르면 7초 동안에 좌에서 우로 방향이 전환됨으로써 30초 이내에 전타되도록 전타속도를 규정하고 있는 한국선급규격을 만족하였다. 또한 시운전시 통합 컨트롤러에서 컴퍼스 센서와 목적지 방향을 비교하여 자동조타가 이루어지는 것을 최종적으로 확인하였다.

#### References

- [1] D. Kang, V. Nagarajan, K. Hasegawa and M. Sano "Mathematical model of single-propeller twin-rudder ship" Journal of Marine Science and Technology" Volume 13, Issue 3, Aug. 2008.
- [2] S. Khanfir, K. Hasegawa, V. Nagarajan, K. Shouji and S. K. Lee "Manoeuvring characteristics of twin-rudder systems: rudder-hull interaction effect on the manoeuvrability of twin-rudder ships" Journal of Marine Science and Technology, Volume 16, Issue 4, Dec. 2011.
- [3] T. I. Fossen and T. Perez "Kalman filtering for positioning and heading control of ships and offshore rigs" IEEE Control Systems, Volume: 29, Issue: 6, Dec. 2009.
- [4] Y. M Lee, K. Y Lee, S. H Bae, H. Jang and J. K. Lee, "Defect detection and defect classification system for ship engine using multi-channel vibration sensor",

Journal of Information Processing Society, Vol. 17, No. 2, pp. 81-92. 2010.

- [5] J. B. Yim, "Evaluation and selection of MEMS-based inertial sensor to implement inertial measurement unit for a small-sized vessel" Journal of Navigation and Port Research, Volume 35, Issue 10, 2011.
- [6] S.K. Lee and G. H. Kang, "Study on motor control type hydraulic driver for ship electro-hydraulic steering gear to improve energy efficiency", KIEE, Vol. 2014, No. 7, 2014.
- [7] J. H Byun, " A study on heading angle control of a small ship with 3 position solenoid valve" Bulletin of the fisheries science institute, Vol. 17, No. 2, 2008.
- [8] K. S Ko and C. M. Choi "A study on improvement of the ship's bearing information using GPS, vol 9, no 3, pp 528-533
- [9] Q. Ladetto, J. Seeters, S. Sokolowski, Z. Sagan, and B. Merminod, "Digital magnetic compass and gyroscope for dismantled soldier position & navigation," 2002.
- [10] ICAS, S10-Rudders-Sole Pieces and Rudder Horns-Common Structure Rule, pp. 1-16, 2010.
- [11] Korean Register of Shipping, "Rules for the classification of steel ship", pp. 92. 2003.



**김 태 형 (Tae-Hyung Kim)**

Dr. Kim is a professor at the Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University. His research interest include digital circuits, micro computer and embedded systems.



**유 인 호 (In-Ho Ryu)**

Dr. Ryu is a professor at the Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University. His research interest include circuit & control system and IT convergence system.

저 자 소 개



**김 호 영 (Ho-Young Kim)**

Mr. Kim has completed M.S course in 2017 from the dept. of IT Applied System Engineering at Chonbuk National University. His research interests include Analog Integrated circuits, Wireless sensor networks and Embedded Systems.



**방 준 호 (Junho Bang)**

Dr. Bang is a professor at the Dept. of IT Applied System Engineering and Smart Grid Research Center, Chonbuk National University. He worked as a senior researcher in LG Semiconductor in 1997. His research interest include analog circuit and IT convergence system.