논문 2014-09-21

회전팔 추진기를 가진 시험용 HAUV의 설계 및 구현

(Design and Implementation of A Hovering AUV with A Rotatable-Arm Thruster)

신 동 협, 배 설 봉, 주 문 갑, 백 운 경*

(Dong H. Shin, Seol B. Bae, Moon G. Joo, Woon-Kyung Baek)

Abstract : In this paper, we propose the hardware and software of a test-bed of a hovering AUV (autonomous underwater vehicle). Test-bed to develop as the underwater robot for the hovering-type is planning to apply for marine resource development and exploration for deep sea. The RTU that controls a azimuth thruster and a vertical thruster of test-bed is a intergrated-type thruster. The main control unit that collects sensor's data and performs high-speed processing and controls a movement of test-bed is a underwater hybrid navigation system. Also it transfers position, posture, state information of test-bed to the host PC of user using a wireless communication. The host PC checks a test-bed in real time by using a realtime monitoring system that is implemented by LabVIEW.

Keywords : Hovering, AUV, Test-bed, RTU, LabVIEW

1. 서론

세계적으로 해양의 심해자원에 대한 개발과 그 필요성이 점차 더 부각되면서, 이를 탐사하고 개발하기 위한 폭 넓은 연구가 요구되고 있다. 해양의 심해자원 개발과 탐사에는 수중로봇이 적합하며, 이에 따라 세계적으로 수중로봇에 대한 관심이 집중되고 있다. 수중로봇은 심해자원에 대한 개발과 탐사를 위한 핵심기술 산업이며 이를 위한 세계의 선진간의 개발 및 투자는 무한 경쟁체제에 돌입하였다[1, 2].

수중로봇은 하드웨어 구성과 관련하여 ROV (remotely operated vehicle), SAUV (semi-autonomous underwater vehicle), AUV (autonomous underwater vehicle)등으로 분류할 수 있으며, 그 중에서 AUV는 주어진 임무의 난이도, 작

업 환경의 정보, 그리고 운용자의 간섭 정도에 따라 다양한 수준으로 자율 정도를 분류한다[3]. AUV는 운용방법에 따라 항주형과 정류형 AUV로 분류할 수 있으며, 최근 정류형 AUV에 대한 대표적인 연구로서 미국 MIT에서 개발한 Odyssey IV가 있다[4]. 본 논문에서는 보다 소형으로서 장차 심해저에서 자원탐사용으로 활용될 수 있는 정류형 AUV인 hovering AUV의 설계개념과 초기 시제품의 제작 과정 및 제어기 구현방법에 대하여 설명한다.

그림 1은 개발하려는 hovering AUV의 test-bed 형상을 보여준다. Test-bed는 그림 1과 같이

그림 1. Hovering AUV의 test-bed
Fig. 1 Test-bed of hovering AUV

*Corresponding Author (baekkw@pknu.ac.kr)

Received: 8 Jan. 2014, Revised: 5 Feb. 2014,

Accepted : 12 Feb. 2014.

D.H. Shin, S.B. Bae, M.G. Joo, W.K. Baek :
Puyoung National University

※ 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비
(2013년)에 의하여 연구되었음

표 1. Test-bed 제원

Table 1. Specification of test-bed

이름	품명	특징
시스템 제어 모듈	Artigo A1100	미니 PC
항법 및 센서 모듈	ATxmega64A1 & TMS320F28335	-
시리얼 허브	시리얼 변환기 (RS232)	4포트
IMU	3DM-GX3-25	-
깊이 센서	M5141-000005-050PG	3bar
모터 제어 모듈	ATmega128	-
추진기	HiFlow-400HFS	수중 추진체
슬립링	PSR-T25-6	6 circuits
서보모터	JS-R7-SN	-
DC/DC 컨버터	VFK400W-Q24-S12	-
전장용 배터리	Li-Polymer Battery	7S / 2.5A
모터용 배터리	Li-Polymer Battery	7S / 10A

알루미늄 프레임을 외형으로 4개의 기구부와 3개의 추진기로 구성된다. 효율적인 운동성능을 부여하기 위하여 test-bed의 전후, 상하 운동을 담당하는 2개의 전방위 추진기와 test-bed의 자세제어 운동을 담당하는 1개의 수직 추진기로 구성된다. 이와 같은 test-bed를 개발하기 위해 본 논문의 2장에서 test-bed의 기구부와 전장 시스템 구성에 대하여 다루며, 3장에서 결론으로 논문을 맺는다[5].

II. Hovering AUV의 Test-bed 개발

1. Test-bed의 기구부

Test-bed는 4개의 기구부로 구성되어 있다. 기구부에는 메인 제어부, RTU (rotating thruster unit), 전원부, 부력 조절부가 있다. 각 기구부에는 센서와 추진기, 모듈, 배터리등과 같은 구성품이 있다. 메인 제어부는 시스템 제어 모듈과 항법 및 센서 모듈, 시리얼 허브, IMU, 깊이 센서로 구성되고 RTU는 모테 제어 모듈과 추진기, 서보 모터, 슬립링으로 구성된다. 전원부는 전장용 배터리와 모터용 배터리, DC/DC 컨버터로 구성된다. 표 1은 각 기구부를 구성하는 부품들의 제원표이다.

각 기구부는 test-bed의 무게 중심과 부력중심

그림 2. RTU의 형상

Fig. 2 Shape of RTU

그림 3. 메인 제어부의 형상

Fig. 3 Shape of main control unit

을 고려하여 배치되었다. Test-bed의 중심에는 RTU를 배치하고 선수에는 메인 제어부를 배치, 선미에는 부력 조절부를 배치하고 전원부는 test-bed의 중심 아래에 배치한다. 또한 360°도 회전이 가능한 2개의 전방위 추진기는 RTU의 중심 측면에 배치되고 1개의 수직 추진기는 선미에 배치된다[5, 6].

그림 2는 아크릴 케이스로 제작된 RTU의 형상을 보여준다. RTU의 형상은 실린더 형태를 갖추고 있으며 길이 350mm, 직경 170(φ)mm이다. RTU는 2개의 전방위 추진기와 모터 제어 모듈로 구성되어 있는 통합형 추진체로서 전방위 추진기와 수직 추진기의 추력을 제어하며 서보 모터를 사용해 전방위 추진기의 방향을 제어한다.

그림 3은 아크릴 케이스로 제작된 메인 제어부의 형상을 보여준다. 메인 제어부의 형상은 실린더 형태이며 길이 350mm, 직경 170(φ)mm이다. 메인 제어부는 시스템 제어 모듈과 항법 및 센서 모듈로

그림 4. 부력 조절부의 형상

Fig. 4 Shape of buoyancy control unit

그림 5. 전원부의 형상

Fig. 5 Shape of power unit

구성된 수중 복합항법시스템이다. 메인 제어부에서는 사용자와 통신을 하고, 센서 데이터를 수집 및 처리하며, hovering AUV의 운동을 제어한다. 그림 4는 아크릴 케이스로 제작한 부력 조절부의 형상을 보여준다. 부력 조절부의 형상은 실린더 형태이며 길이 350mm, 직경 170(ϕ)mm이다. 부력 조절부는 내부가 비어있는 구조로서 로봇 전후 방향의 부력 평형을 조절하기 위하여 설치되었으며, 추후 다른 장치들을 설치할 수 있다.

그림 5는 아크릴 케이스로 제작한 전원부의 형상을 보여준다. 전원부의 형상은 길이 560mm, 폭 310mm, 높이 90mm의 육면체 형태이다. 전원부는 DC/DC 컨버터와 전장용 배터리, 모터용 배터리로 구성되는데 전장용 배터리는 전장 시스템에서 필요한 전원을 공급하고 모터용 배터리는 서보 모터와 전방위 추진기, 수직 추진기에 필요한 전원을 공급한다.

2. 전장 시스템의 구성

Hovering AUV의 전장 시스템은 수중 복합항법 시스템의 시스템 제어 모듈, 항법 및 센서 모듈과 통합형추진체의 모터 제어 모듈로 구성된다. 항법 및 센서모듈에서는 IMU (inertial measurement unit) 과 깊이 센서 데이터를 수집하고, 항법 시스템을 적용하기 위한 고속연산을 수행한다. 시스템

그림 6. 시스템 제어 모듈의 시스템 구성도

Fig. 6 System structure of the system control module

그림 7. 시스템 제어 모듈

Fig. 7 The system control module

제어 모듈에서는 hovering AUV의 깊이와 자세를 제어하기 위하여 모터 제어 모듈에 명령을 전송하고, 외부 사용자와 통신을 한다. 모터 제어 모듈은 시스템 제어 모듈로부터 수신된 명령에 따라 전방위 추진기와 수직 추진기의 추력을 제어하고 서보 모터를 통하여 전방위 추진기의 방향각을 제어한다 [7, 8].

2.1 시스템 제어 모듈

그림 6은 시스템 제어 모듈 시스템의 구성도이다. 시스템 제어 모듈은 사용자 및 항법 및 센서 모듈, 모터 제어 모듈과 RS-232 직렬통신을 사용하여 상호간의 데이터를 주고받는다. 시스템 제어 모듈은 항법 및 센서 모듈로부터 hovering AUV의 위치 (x, y, z), 선속도 (u, v, w), 자세 (ϕ, θ, ψ), 각속도 (p, q, r) 데이터와 메인 제어부의 누수감지 데이터를 수신하고, 모터 제어 모듈로부터 전방위 추진기와 수직 추진기의 추력 데이터, 전방위 추진기의 방향각 데이터, RTU의 누수감지 데이터를 수신한다. 시스템 제어 모듈은 수신된 데이터를 사용하여 hovering AUV의 깊이와 자세를 제어하고, 항법 및 센서 모듈과 모터 제어 모듈에 명령을 내린다. 그림 7은 시스템 제어 모듈을 보여준다. 시스템 제어 모듈은 소형

그림 8. 항법 및 센서모듈의 시스템 구성도

Fig. 8 System structure of the navigation & sensor module

그림 9. 항법 및 센서 모듈

Fig. 9 The navigation & sensor module

미니 PC인 Artigo A1100을 사용한다.

2.2 항법 및 센서 모듈

그림 8은 항법 및 센서 모듈 시스템의 구성도를 보여준다. 항법 및 센서 모듈은 RS-232 직렬통신을 사용해 IMU 데이터를 수집하고, 시스템 제어 모듈과 통신을 한다. 또한 ADC (analog to digital converter) 기능을 사용해 깊이 센서의 데이터를 수집하고 전장용 배터리 잔량을 확인한다. 그리고 GPIO (general purpose input/output)를 사용해 메인 제어부의 누수여부를 확인한다. 항법 및 센서 모듈에서는 수집한 센서 데이터를 고속 연산처리와 parsing 과정을 통하여 hovering AUV의 위치 (x, y, z), 선속도 (u, v, w), 자세 (ϕ, θ, ψ), 각속도 (p, q, r) 데이터로 분류한다. 그림 9는 항법 및 센서 모듈을 보여준다. 항법 및 센서 모듈은 센서 데이터 수집을 담당하는 프로세서인 ATmega64A1와 고속 연산처리를 담당하는 프로세서인 TMS320F28335로 구성 되어있다[9-11].

IMU는 자세 및 가속도를 측정하는 센서로서 움직이는 물체의 관성량을 측정하여 물체의 이동 방향, 현재 자세 등을 파악한다. 항법 및 센서 모듈은 IMU로부터 출력되는 방향행렬 데이터를 통하여 test-bed의 자세를 측정한다. 배터리 잔량은 배터리 잔량 확인 회로를 사용해 측정된다. 배터리 잔량확인 회로

그림 10. ADC 사상도

Fig. 10 Diagram of ADC mapping

그림 11. 모터 제어 모듈의 시스템 구성도

Fig. 11 System structure of the motor control board

는 저항과 커패시터를 사용해 구현한 회로이다. 메인 제어부의 누수 여부는 누수 감지 회로를 통하여 확인된다. 누수 감지 회로는 트랜지스터를 사용한 스위치 회로이다.

그림 10은 깊이 센서 데이터를 hovering AUV의 깊이 데이터로 변환하는 ADC 사상도를 나타낸다. 깊이 센서의 깊이 측정 범위와 출력 범위를 고려하여, 깊이 센서의 출력 값을 항법 및 센서모듈의 ADC 값으로 사상하여 hovering AUV의 깊이를 측정할 수 있다. 다음 식 (1)은 측정된 ADC 값을 [m]단위의 깊이로 변환하는 식을 보여준다.

$$y = 0.011x - 10.93 \quad (1)$$

2.3 모터 제어 모듈

그림 11은 모터 제어 모듈 시스템의 구성도를 보여준다. 모터 제어 모듈은 전방위 추진기의 방향을 제어하기 위하여 RS-232 직렬통신을 사용해 서보모터의 동작을 제어한다. 또한 시스템 제어 모듈과의 통신 역시 RS-232 직렬통신을 통하여 이루어진다. 모터 제어 모듈의 PWM (pulse width modulation) 출력을 사용해 전방위 추진기와 수직 추진기의 추력을 제어하며, 이로 인해 hovering AUV의 운동이 제

그림 12. 항법 및 센서 모듈
Fig. 12 The navigation & sensor module

그림 13. Host PC의 HMI
Fig. 13 HMI of host PC

어된다. 그리고 모터 제어 모듈의 ADC 기능을 통해서 모터용 배터리의 잔량을 확인하고, GPIO의 기능과 누수감지회로를 통하여 RTU의 누수여부를 확인할 수 있다. 그림 12는 모터 제어 모듈을 보여준다. 모터 제어 모듈은 추진기의 동작을 제어하기 위한 ATmega128 프로세서로 구성된다[12].

3. GUI

사용자는 host PC를 사용해 hovering AUV의 운동 및 상태를 실시간 모니터링 할 수 있다. Host PC는 무선통신을 통하여 hovering AUV의 위치, 상태, 자세 정보를 수신하고 명령을 전송한다.

그림 13은 host PC에서 사용하는 사용자 운용 프로그램인 HMI이다. HMI는 LabVIEW로 구현된 실시간 모니터링 시스템이다. 사용자는 HMI를 통해 hovering AUV의 위치, 상태, 자세정보를 확인하고, 동작 모드 설정을 이용하여 제어 모드, 테스트 모드를 선택할 수 있다. Hovering AUV의 동작 모드가 제어 모드로 설정 되면 hovering AUV의 운동이 자동 제어되고, 테스트 모드로 설정되면 hovering

그림 14. RTU의 방수 실험
Fig. 14 Leak detection test of RUT

그림 15. Test-bed의 부력조절 실험
Fig. 15 Buoyancy control test of test-bed

AUV의 운동을 수동으로 제어 할 수 있다. 또한 HMI에서 전방위 추진기, 수직 추진기, 서보 모터, 제어기의 초기 값을 설정 할 수 있다[4].

4. 결과

개발된 test-bed는 방수 실험과 부력중심 및 무게중심 실험이 수행되었다. 그림 14는 기구부인 RTU의 방수 실험을 보여준다. 개발된 기구부들은 그림 14와 같은 방수 실험이 수행되었다. 방수 실험결과 각 기구부의 누수는 발생하지 않았다.

그림 15는 test-bed의 중성부력 조절을 위한 실험을 보여준다. 중성부력 조절실험은 무게중심이 맞춰진 test-bed를 수조에 띄우고 추를 사용해 수행되었다.

III. 결 론

심해자원 개발 및 탐사를 위한 수중로봇으로 hovering AUV의 test-bed를 개발하기 위해 본 논문에서는 test-bed의 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하고 제작 하였다. Test-bed는 4개의 기구부인 RTU, 메인 제어부, 전원부, 부력 조절부로 구성되며 전장 시스템인 시스템 제어 모듈, 항법 및 센서

모듈, 모터 제어 모듈과 사용자의 host PC로 구성된다. Test-bed의 중성부력을 조절하기 위하여 각 기구부는 test-bed의 무게중심과 부력중심을 고려하여 배치하였으며, 전장 시스템에는 hovering AUV의 운동제어를 위한 제어기를 구현하였다. 또한 실시간 모니터링을 위하여 host PC의 HMI를 구현하였다.

육상에서 전방위 추진기와 수직 추진기, 서보 모터의 동작 실험을 수행하였으며, 전장 시스템간의 통신상태와 host PC의 실시간 모니터링 상태를 확인하였다. 향후 test-bed의 깊이 제어와 pitch 제어 실험을 위하여 수조실험을 수행할 계획이다. 수조실험을 통해 얻은 결과는 matlab/simulink의 시뮬레이션 결과와 비교하여 test-bed의 제어기 성능을 검증한다. 또한 test-bed의 방향 제어를 위한 제어기와 hovering을 위한 제어기를 설계하고 구현할 예정이다.

References

- [1] K.M. Han, H.T. Choi, "Research trends in intelligent underwater robot and technology introduction of underwater image processing," The Magazine of the IEEK, Vol. 38, No. 7, pp.37-41, 2012 (in Korean).
- [2] D.H. Shin, S.B. Bae, W.K. Baek, M.G. Joo, "Way-Point Tracking of AUV using Fuzzy PD controller," Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 11, No. 5, pp.1-7, 2013 (in Korean).
- [3] J.N. Seo, D.W. Kim, H.J. Lee, "Trends in the navigation technology of AUV," Institute of Control, Robotics, and Systems, Vol. 17, No. 2, pp.36-46, 2011 (in Korean).
- [4] L.A. Cooney, "Dynamic Response Maneuvering Strategies of a Hybrid Autonomous Underwater Vehicle in Hovering," Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [5] S.T. Kwon., W.K. Baek, M.G. Joo, "Implementation of AUV Test-Bed," Future Information Technology Communications in Computer and Information Science, Vol. 184, pp.280-284, 2011.
- [6] H.T. Choi, B.H. Jun, P.M. Lee, B.C. Jung, B.M. Goo, C.S. Park, S.C. Han, "Design Power, Elcctronics and Communication of Hemire and Henuvy," The Korean Institute of Electroncal Engineering, Vol. 44, No. 3, pp.25-31, 2006 (in Korean).
- [7] S.B. Bae, D.H. Shin, S.H. Park, M.G. Joo, "A Study on an Integral State Feedback Controller for Way-point Tracking of an AUV," Journal of Institute of Control, Robotics and System, Vol. 19, No. 8, pp.661-666, 2013 (in Korean).
- [8] I.S. Yang, S.Y. Kang, D.I. Lee, "Compensating Transmission Delay and Packet Loss in Networked Control System for Unmanned Underwater Vehicle," Journal of Institute of Embedded Engineering of Korea, Vol. 6, No. 3, pp. 149-156, 2011 (in Korean).
- [9] D.H. Kim, S.H. Jo, Y.M. Yang, "On the Design of an Efficient Mobile Robot Framework by Using Collaborative Sensor Fusion," Journal of Institute of Embedded Engineering of Korea, Vol. 6, No. 3, pp. 124-131, 2011 (in Korean).
- [10] T.I. Fossen, "Marine Control System," Marine Cybernetics, Trondheim, pp.100-110, 2002.
- [11] T.I. Fossen, "Guidance and control of ocean vehicle," Jone Wiley & Sons, pp.84-89, 1994
- [12] S.T. Kwon, W.K. Baek, I.P. Kang, H.S. Choi, M.G. Joo, "A Study on Way-Point Tracking of AUV using State Feedback," Journal of Institute of Control. Robotics and System, Vol. 17, No. 12, pp.1266-1272, 2011 (in Korean).

저 자 소 개

신 동 협

2012년, 부경대학교 전자
정보통신공학과 졸업.
2014년, 동 대학원 석사.
현재, SL Coporation 사시
사업부 사시전자팀 연구원.

관심분야: 지능제어 및 임베디드 시스템
Email: squallkor@pknu.ac.kr

배 설 봉

2013년, 부경대학교 전자
정보통신공학과 졸업.
현재, 동 대학원 석사과정.
관심분야: 지능 제어 및
임베디드 시스템

Email: bsb362@nate.com

주 문 갑

1992년, 포항공대 전자
전기공학과 졸업.
1994년, 동 대학원 석사.
2001년, 동 대학원 박사.
현재, 부경대학교 정보
통신공학과 부교수.

관심분야: 지능 제어 및 공장자동화
Email: gabi@pknu.ac.kr

백 윤 경

1978년, 서울대 농업기계
과 졸업.
1986년, 아이오와대학교
대학원 석사.
1990년, 동 대학원 박사.

현재, 부경대학교 기계자동차공학과 교수.
관심분야: 수송체 동역학모델링 및 제어
Email: baekwk@pknu.ac.kr