

선저 청소용 수중로봇의 청소 모듈 및 제어 시스템 개발

최형식† · 권경엽** · 정구락** · 서주노** · 강형석*

(원고접수일 : 2009년 3월 5일, 원고수정일 : 2009년 5월 11일, 심사완료일 : 2009년 5월 27일)

Development of Cleaning Module and Operating System of Underwater Robot for Ship Hull Cleaning

Hyeung-Sik Choi† · Kyoung-Youb Kwon** · Koo-Rack Chung** · Joo-No Seo** and Hyung-Suk Kang*

Abstract : This paper presents development of ROV-type underwater robot capable of cleaning ship hull in automatic mode. The purpose of developing this robot is for underwater cleaning to secure the safety of divers who inspect and clean the ship hull. The robot consists of the cleaning system with rotating brush mechanism, a car-like driving mechanism, inspection system using video, and overall control system for underwater communication and operation. In this paper, we present overall design process of the cleaning system and operating system and technical contents of the overall control system for the underwater cleaning robot.

Key words : Underwater Robot(수중로봇), Ship Hull(선체), Cleaning System(청소 시스템), Brush(브러시), Automatics(자동화)

1. 서 론

우리나라는 세계 1, 2위의 선박건조 국가이며, 선박건조 관련 산업용 로봇의 수요처가 많고, 선박 건조의 고효율, 신뢰도 확보 차원에서 선박 관련 로봇 연구 개발 필요성이 증대되고 있다. 또한, 조선 산업의 특성으로 인하여 작업자가 기피하는 용접작업, 도장작업, 고소작업, 수중작업 등 극한상황에서의 작업이 많이 요구되고 있다⁽¹⁾.

해양장비 개발 산업에서의 수중로봇은 선박수리

를 위한 수중용접, 대형선박의 선저부분 안전검사, 침몰선박 수중절단 및 인양, 수중청소작업 등 많은 부분에서 사용된다. 해양자원개발의 경우에는 해저 탐사, 심해저 자료수집, 그리고 석유 및 가스유전과 같은 해양구조물, 해저케이블 등을 설치, 유지, 보수하는데 수중로봇은 필수 불가결한 장비로 인식되고 있다.

수중로봇 개발은 기계 산업을 기반으로 하여 전기, 전자, 복합소재, 제어, 항법 및 매니플레이터 등의 분야를 종합적으로 융합시키는 산업이다. 이

† 교신저자(한국해양대학교 기계정보공학부, E-mail:hchoi@hhu.ac.kr, Tel:051-410-4969)

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

** 대원기전

** 해군사관학교 기계조선공학

중에서 청소용 수중 로봇은 일반적인 ROV (Remotely Operated Vehicle)와는 달리 선저 곡면에 부착하여 이동하면서 선박이나 건조물의 표면에 부착된 해조나 조개류를 브러시로 청소하는 로봇이다. 이는 수중에서 로봇의 위치를 정확히 파악하여 청소용 궤적을 유지하면서 반복적인 청소수행이 가능하며, 수중에서 선저면을 청소할 때 브러시 높이와 브러시 회전속도를 조절하여 청소 성능을 최대화 시키는 기능을 지니고 있다^[2)-(7)].

현재 국내의 경우 선저 검사와 청소는 다이버에 전적으로 의존하고 있으나 안전성과 작업의 비효율성 문제로 인하여 검사 및 청소용 수중로봇의 개발이 절실히 요구되고 있다.

유럽 국가에서는 선박의 청소 및 검사에 사용하는 수동 수중로봇을 선도적으로 개발하여 세계 시장에 보급하고 있으나 작업성능이 우수하지 못하여 운용의 한계를 가지고 있다. 자동 청소용 수중로봇은 일본 미쓰비시사에서 상용화하여 사용하고 있으나, 대용량 형태이고 여러 가지 부가적 운용시스템이 요구되고 있다^[8)-(11)].

따라서, 저자들은 대형 선박의 선저를 자동으로 청소할 수 있는 새로운 중형 수중로봇 개발연구를 수행하였고 본 논문에서는 수행한 연구 중에서 수중로봇의 청소모듈과 운용 시스템 개발 기술에 대하여 설명하였다.

2. 청소/검사용 수중로봇의 구조

대형선박의 안정성을 확보하고 경제적 운항을 위해서 선저 청소 및 검사는 필수적이다. 본 연구에서 개발한 청소용 수중로봇은 Fig. 1에서 보는 바와 같고 이를 이용하여 다이버가 수동용 청소 도구를 이용하여 선저를 청소하는 것처럼 ROV가 자동으로 선박의 선저 면을 청소하는 것이다.

본 연구에서 개발 중인 Fig. 1과 같은 형태의 선저 청소/검사용 수중로봇은 5개의 추진 모터로 구성되며 로봇의 바닥에 설치된 청소용 브러시가 선저면에 잘 접촉하도록 설계되었다. 일단, 선저면에 도착하면 청소 경로는 선박의 설계도면이나 미리 계획된 경로의 절대위치 정보 혹은 주행궤적에

의한 상대위치 인식에 따라 Fig. 2와 같이 진행되도록 설계하였다.

현재 개발 중인 수중 청소로봇의 구성은 크게 청소 모듈, 운용 시스템, 전원 및 통신 시스템 및 제어 시스템으로 구성하였다.



Fig. 1 Outlook of the developing underwater cleaning robot



Fig. 2 Concept for underwater cleaning

2.1 수중 청소 모듈

수중로봇의 청소 모듈 구동은 전동 모터를 사용하고 브러시가 고속 회전하여 브러시 단면과 선체 사이의 유체를 밀어내므로 브러시와 선체 사이의 압력이 낮아지고 이로 인한 흡착력으로 ROV가 선저면에 부착되어 주행 캐터필러와 조향 캐터필러의 구동을 통해 주행하면서 선저면을 청소한다. 선상에는 이동식 운용콘솔이 배치되어 수중 카메라와 조명을 통해 청소로봇을 모니터링하며 조이스틱으로 로봇을 구동, 원격제어를 수행한다. 테더 케이블은 광통신 라인, 전원공급용 전선으로 구성하였다. Fig. 3은 청소용 수중로봇의 브러시를 포함하는 하부 사진이다. Table 1은 청소로봇의 기본 사

양을 나타낸다.

청소로봇의 테더 케이블은 중성부력으로 구성하였다. 청소로봇의 공기중 중량은 약 300kg이며, 수중에서는 중성부력이 유지되도록 구성하였다. 브러시 회전에 의한 선저면 흡착과 주행 바퀴 구동에 의해 선저면을 자유롭게 이동이 가능하며, 전진 속도는 약 15m/min이다.



Fig. 3 Down side of the underwater robot with brushes

구동 및 조향은 캐터필러형으로 구성하였고, 브러시는 소요 중량을 줄이기 위한 노력을 하였으며, 해조류나 따개비 청소 대상 상태에 따라 청소할 수 있도록 수동 높이 조절 장치를 추가하였다. 브러시 배치는 청소 면적 증대와 브러시 사이의 간섭을 해소함으로써 효율적인 청소가 가능하도록 Fig. 3과 같이 2개를 일직선으로 배치되도록 설계하였다. 브러시 회전부는 전동 모터 2개를 사용하며, 속도 조절이 가능하다.

Table 1 Specification of Cleaning Robot

Parameter	Specification
Size	1450 x 900 x 450(mm)
Shape of robot	Frame structure
Weight	327kg
Control mode	Direction and position control, Driving speed/position control
Computer	In-water: 6701 DSP ON-board: SBC
Communication	광, 이더넷, RS-485
Cleaning speed	15m/min
Cleaning width	0.7m
Cleaning ability	630m ² /hr

로봇에는 제어장치, 전원장치, 솔레노이드 밸브 장치들이 배치되고, 측면과 상부에 부력재가 탑재된다. 전반부에는 청소 작업 목표 구간 확인과 육안 검사 시야 확보를 용이하게 하기 위해 선수에 Pan/Tilt/Zoom 기능을 가진 수중 카메라 1대와 수중 카메라의 영상 촬영에 알맞은 조명을 공급하기 위해 수중조명장치 2대를 장착하였다.

2.2 선상 제어용 콘솔 시스템

선상 제어 시스템은 청소용 수중로봇 전체 시스템에 대한 제어 및 통제부분이다. 수중로봇은 크레인에 의해 진수시키며, 진수 후에는 광통신을 통해 선상에서 조이스틱으로 수동 조종하며 청소 시 자동 모드로 전환하여 선저면 청소를 수행한다. 청소용 수중로봇에 부착된 각종 센서들로부터 측정된 데이터들은 광케이블을 통하여 선상으로 전송한다. Fig. 4는 선상/육상 운용 시스템과 수중로봇 사이에 전달되는 정보 상황과 제어 시스템의 블록선도를 나타내는 그림이고 명령지시는 선상/육상 시스템의 조이스틱을 이용하여 수행된다. 청소용 수중로봇의 선상시스템은 Windows 운영체제의 싱글보드컴퓨터(SBC)와 Linux 운영 체제의 싱글보드컴퓨터를 통해 수중로봇을 제어한다. 운용소프트웨어는 Visual C++로 작성하였다.

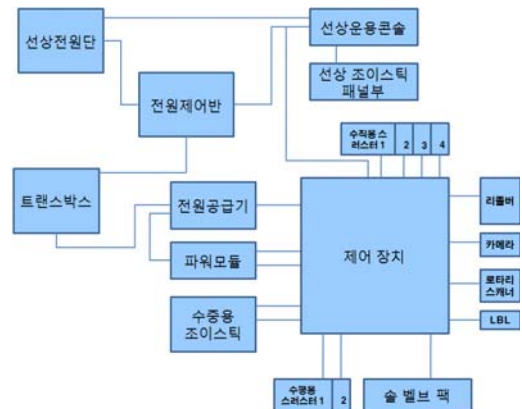


Fig. 4 Overall control system diagram

선상 운용콘솔 시스템에서는 전체 주전원 인가뿐만 아니라 콘솔 전원, 유압팩 전원, 청소로봇 전

원을 선상 운용콘솔에서 모든 전원을 담당할 수 있도록 구성하였다. Fig. 5는 선상 운용콘솔의 개념도를 나타내며, 이를 실제 구현한 형태 사진을 Fig. 6에 나타내었다.

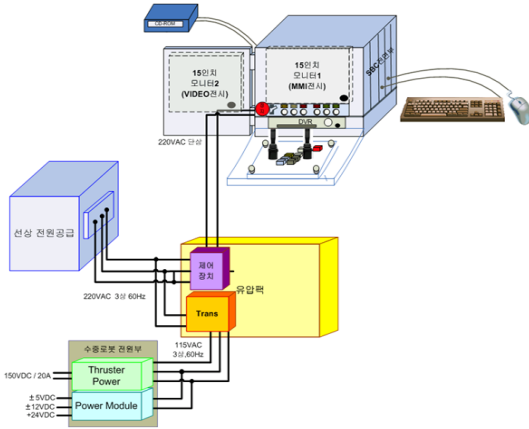


Fig. 5 Block diagram of surface control system



Fig. 6 Photograph of surface control system

2.3 전원 및 통신 시스템

로봇 전체의 공급 전원의 용량을 모든 구성시스템의 사양 및 용량을 고려하여 Table 2와 같이 설계하였다. 수중로봇의 모든 전원은 선상에서 공급하며, 전력 손실을 최소화하기 위하여 3상 전원을 사용한다. 또한 수중에서 사용하는 장비는 대부분 직류를 사용하기 때문에 공급받은 전원은 변압기와 정류 장치를 통해 수중로봇에 공급한다. 수중에서 요구하는 전원 용량이 가장 중요한 요소이며 제어 장치, 비디오카메라, 조명 용량이 가장 큰 비중을 차지한다.

Table 2 Overall power supply

	purpose	current
Output	Brush motor 1	1.8kW x 2 = 3.6kW
	Horizontal actuator	1.2kW x 2 = 2.4kW
	Vertical actuator	1.2kW x 3 = 3.6kW
	Driving motor	600W x 2 = 1.2kW
	Light	600W x 2 = 1.2kW
	Inspection device	600W
	Control parts	400W
Overall power		13.0kW

청소용 수중로봇 내부에 사용하는 장비는 수중카메라이며, 통신 방식은 RS485의 직렬 통신으로 데이터를 주고받는다. 솔레노이드 밸브와 수중조명 장치는 AI/O와 DI/O를 통해 데이터를 주고받는다. 원거리의 선상 콘솔과의 통신 문제와 큰 대역폭을 요구하는 수중 카메라의 동영상 데이터 전송 문제를 해결하기 위해서 광통신 방식을 채택하였다. 광통신 시스템은 10km이상의 원거리 전송이 가능하며 충분한 대역폭을 제공할 뿐만 아니라 영상, 직렬 통신 데이터 전송이 가능하다. Fig. 7은 청소용 수중로봇의 영상정보와 명령을 주고받는 제어 통신 시스템의 구성도이다.

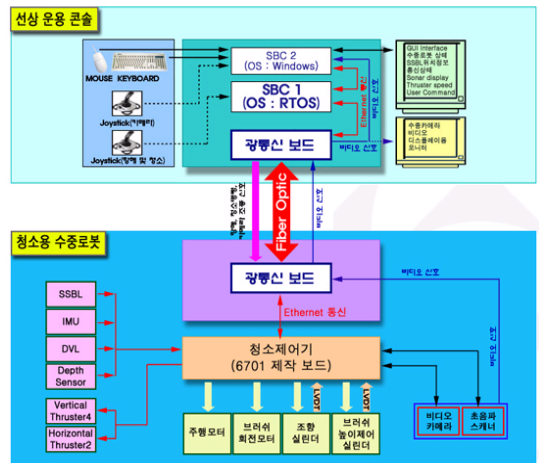


Fig. 7 Block diagram of control communication system

통신제어기는 수중제어장치와 선상운용콘솔간의

이더넷 통신과 수중제어장치와 수중 항법장비간의 비동기 시리얼통신 기능을 총괄하며, 선상운용콘솔로부터 전송되는 구동명령 해석 및 수중 항법장비 운용을 포함한다. 통신제어기판의 CPU는 다량의 데이터를 실시간 연산처리가 가능하며 이더넷 통신 장치, 시리얼 통신장치 및 FIFO통신 장치와의 인터페이스가 용이한 TI사의 TMS320C6701를 사용하였다.

선상운용콘솔과의 이더넷 통신을 위한 LAN 컨트롤러는 CIRRUS사의 CS8900A로 구성하여 UDP/IP통신이 가능하도록 설계하였으며, 수중 항법장비간의 RS-232/485 비동기 시리얼 통신을 위한 UART 컨트롤러는 TI사의 TL16C754BPN으로 선정하였다. 또한 선상운용콘솔로부터 전송되는 수중모터와 추진기 구동명령과 속도케환, 시스템 상태 및 감시정보 데이터를 서보제어기판과 송·수신하기 위한 FIFO-메모리로 18bit × 64의 용량을 갖는 TI사의 SN74ACT78로 인터페이스를 구축하였다. 제작한 통신제어기판은 Fig. 8과 같다.



Fig. 8 Communication control board

USBL 장치에 의한 위치 오차를 보완하기 위하여 캐터필러의 동일 축상에 위치센서인 리졸버를 장착하여 조향 및 이동거리를 측정할 수 있게 하였다. 또한, 수중항해 시에 로봇의 자세와 방향을 제어하기 위한 BLDC 모터의 속도제어가 필수적이다. 이와 함께 청소모듈의 브러시 회전 속도제어도 되어야 한다. 이와 같이 수중로봇의 캐터필러의 주행모터, 청소시스템 및 추진기들의 모터를 실시간 제어하는 제어시스템보드는 Fig. 9와 같이 구성하였고 이를 Fig. 10과 같이 수밀구조의 원통에 적재하였다.



Fig. 9 Servo control board

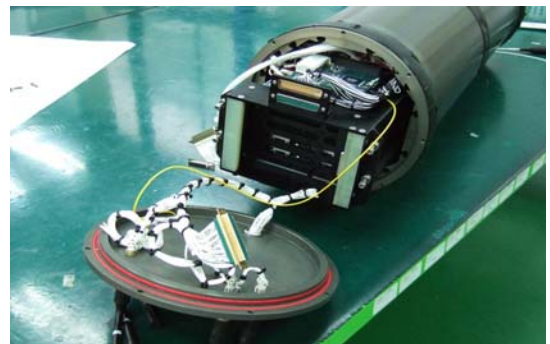


Fig. 10 Control board in the waterproof housing

2.4 제어 시스템

수중로봇의 제어는 선저까지 이동하는 수중항해 제어와 선저 표면에 도착하여 청소경로를 따르는 주행제어로 구분된다. 선저 면에서 로봇의 절대 위치를 추정하기 위해 선박의 선미와 선수에 설치한 USBL 시스템과 수중로봇의 핑거(Pinger)를 이용한다. 선저면 청소 시 청소로봇은 원격조정 또는 자율주행에 의해 구동한다. 이때, IMU 또는

3. 수중 청소 로봇의 기구부 및 역학 해석

선저청소로봇의 5자유도 조종을 위해 각 자유도에 대한 구동모터와의 관계를 해석해야 하며 그 관계식을 이용하여 조종기에서는 최종적으로 각 모터의 속도데이터만을 보내 주도록 하여 정확한 제어를 할 수 있도록 하였다.

5자유도 힘과 모멘트 벡터 식

$\tau = [\sum X, \sum Z, \sum K, \sum M, \sum N]^T$ 과 각 추진기의 추력 벡터 식 $F = [F_{M1}, F_{M2}, F_{M3}, F_{M4}, F_{M5}]^T$ 의 관계식을 정립하고, 최종적으로 조이스틱의 운동 명령 데이터인 각 모터의 추력에 대한 관계식을 도출하였다.

Fig. 11은 수중 청소로봇의 하부 및 측면 구조를 나타내는 것으로 무게 중심으로부터 각 추진기의 거리에 대해 정의한 것이다. M_1 과 M_2 는 로봇의 후미 양단에 배치한 모터이고, M_3 과 M_4 는 로봇 하부에 있는 캐터필러 뒤쪽의 모터를 나타낸다. 그리고 M_5 는 하부 브러시 사이에 있는 모터를 나타낸다.

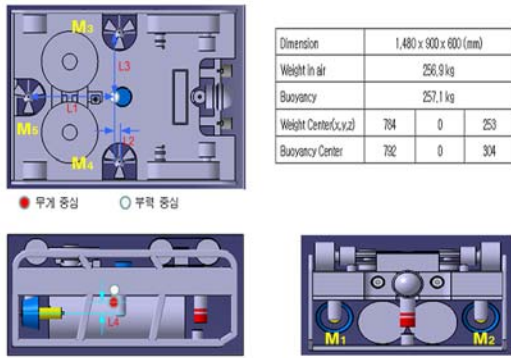


Fig. 11 Actuator position of the underwater cleaning robot

실제 제작된 수중 청소로봇은 5개의 추진기를 가지며 액추에이터의 배치에 따라 Y축 직선방향 움직임에 제한이 있으며 총 5자유도를 가진다. 각각의 추진기와 무게중심과의 거리를 계산함으로써 실제 추진기가 구동함에 있어 추력의 방향과 움직임이 결정되게 된다.

5자유도 힘과 모멘트 벡터에 대한 추진기의 추력 벡터의 관계식은 다음과 같다.

$$\sum X = F_{M1} + F_{M2} \tag{1}$$

$$\sum Z = F_{M3} + F_{M4} + F_{M5} \tag{2}$$

$$\sum K = F_{M3}l_3 - F_{M4}l_3 \tag{3}$$

$$\sum M = F_{M5}l_1 + F_{M1}l_4 + F_{M2}l_4 - F_{M3}l_2 - F_{M4}l_2 \tag{4}$$

$$\sum N = F_{M1}l_3 - F_{M2}l_3 \tag{5}$$

$\sum K$ = roll방향, $\sum M$ = pitch방향,

$\sum N$ = yaw 방향의 모멘트 합력

l_1, l_2, l_3 = 부력중심과 추진기 거리

l_4 = 무게중심과 추진기 거리

추진기의 추력과 로봇에 작용하는 힘 사이의 관계를 실제 조이스틱 명령 데이터인 각 추진기의 추력 벡터와 관계 행렬식을 이용하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{bmatrix} F_{M1} \\ F_{M2} \\ F_{M3} \\ F_{M4} \\ F_{M5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2l_4} & \frac{1}{2l_3} \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2l_4} & -\frac{1}{2l_3} \\ 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2l_3} & -\frac{1}{2l_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & -\frac{1}{2l_3} & -\frac{1}{2l_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{l_1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum X \\ \sum Z \\ \sum K \\ \sum M \\ \sum N \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} \sum X \\ \sum Y \\ \sum Z \\ \sum K \\ \sum M \\ \sum N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2l_4} & \frac{1}{2l_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2l_4} & -\frac{1}{2l_3} \\ 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2l_3} & -\frac{1}{2l_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & -\frac{1}{2l_3} & -\frac{1}{2l_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{l_1} & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F_{M1} \\ F_{M2} \\ F_{M3} \\ F_{M4} \\ F_{M5} \end{bmatrix} \tag{7}$$

위의 식을 다시 정리하면 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{4l_2l_4(2l_1l_2+1)} & \frac{1}{4l_2l_4(2l_1l_2+1)} & -\frac{2}{4l_2l_4(2l_1l_2+1)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{4l_1l_2(2l_1l_2+1)} & \frac{3}{4l_1l_2(2l_1l_2+1)} & \frac{3}{2l_1l_2+1} \\ 0 & 0 & \frac{1}{4l_3} & -\frac{1}{4l_3} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4l_2(2l_1l_2+1)} & -\frac{1}{4l_2(2l_1l_2+1)} & \frac{1}{2l_2(2l_1l_2+1)} \\ \frac{1}{4l_3} - \frac{1}{4l_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{M1} \\ F_{M2} \\ F_{M3} \\ F_{M4} \\ F_{M5} \end{bmatrix} \tag{8}$$

4. 주행 시험 및 청소 성능 시험

4.1 주행 및 조향 시험

Fig. 12는 청소로봇의 주행 거리 계산을 위해 10m를 10차례 주행하는 실험을 수행하여 주행 캐터필러의 이동 거리를 측정된 결과이다. 여기에서 최대오차는 0.7m로 최대 7%의 주행오차가 발생하였으나 실제 청소시에는 USBL이나 카메라 등의 센서로 보정하여 오차를 줄일 수 있다. 주행 바퀴에 장착한 리졸버의 응답 특성이 양호함을 볼 수 있다. 조향 각도의 위치 제어는 비례 제어를 사용하였으며 비례 제어 값은 여러 번의 게인 튜닝을 통해서 0.1로 설정하였다. 이를 Fig. 13에 나타내었다. 여기서 회전각이 클수록 큰 정상상태 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 원래 수중

중성부력에서 동작하도록 모터의 용량을 설계했는데, 지상에서 성능시험을 하니 중량이 과중하여 회전각이 클수록 큰 정상상태 오차가 발생하는 것이다. 하지만 P제어기를 적용하여 일정한 각도를 유지하는 것을 알 수 있다. Fig. 14는 주행 및 조향 실험을 행하는 사진이다.



Fig. 14 Driving and turning test on the ground

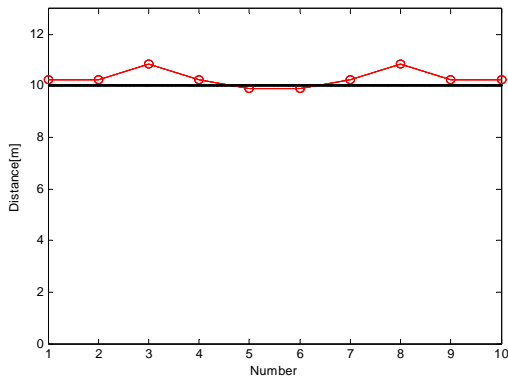


Fig. 12 Straight distance of driving wheel

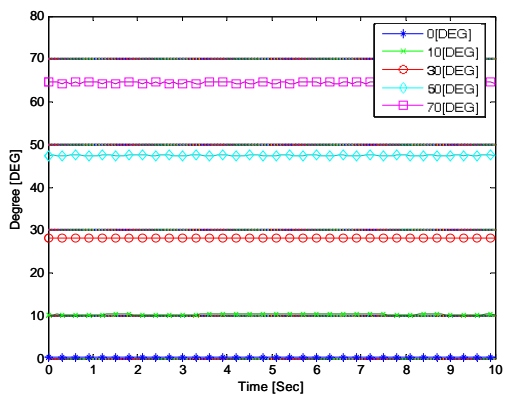


Fig. 13 Angle of steering wheel

4.2 청소장치의 성능 시험

청소기의 회전수(RPM)와 이끼 제거율 상관관계를 실험적으로 살펴보기 위하여 150W DC모터를 사용하여 수중에서 동작되도록 수밀구조의 청소장치를 구성하고 실린더의 축에는 청소용 브러시를 부착하였다. 또한 청소작업을 수행할 때 브러시의 압력을 조절하기 위해 청소장비를 스프링을 이용한 가변구조로 설계하였다.



Fig. 15 Cleaning test of the brush system

실험의 목적은 모터의 구동 토크, 회전속도, 물속의 저항과 압착력과의 상관관계를 통해 선저면에 부착된 이물질의 제거에 가장 효율적인 조건을 찾기 위한 것이다.

실험은 Fig. 15와 같이 강력접착제로 수중의 풀을 알루미늄 판에 강력하게 고정하고 이를 갈아서 제거하는 실험을 하였다. 10cm 깊이의 물속에서 스프링 압착력의 변화를 3단계, 청소 브러시의 RPM을 3단계에 걸친 총 9번의 실험을 진행하였다. 이 실험들 중에서 제거율 경향을 볼 수 있는 결과를 Fig. 16 및 17에 나타내었다.

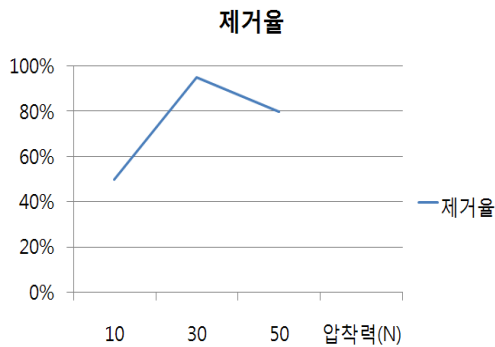


Fig. 16 Relative percent removal of the moss versus pressure(500RPM)

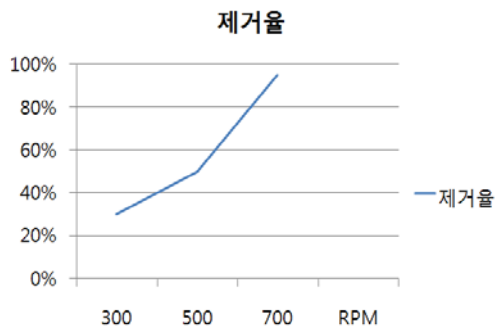


Fig. 17 Relative percent removal of the moss versus RPM(30N)

위에 결과에서 보면 Fig. 16에서 압착력 30N 보다 높으면 지나친 압력으로 제거율이 떨어지고 30N일 때 RPM이 가장 빠른 700RPM의 속도로 회전할 때 가장 청소 성능이 우수함을 알 수 있다. 하지만 이 500RPM일 때의 실험 결과는 150W DC모터의 경우만을 고려한 것이며 더욱 큰 용량의 모터일 경우에는 토크가 크기 때문에 결과가 달라질 수 있다.

실험을 통하여 압착력이 너무 클 경우에는 모터의 부하가 커서 오히려 제거율이 떨어짐을 볼 수 있었고 RPM의 경우에는 30N의 압착력에서 700RPM으로 회전할 때 가장 우수한 제거율을 보여주었다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재 개발하고 있는 대형 선박의 선저면을 청소하는 수중로봇의 청소모듈과 제어시스템에 대하여 기술하였다. 청소용 수중로봇은 브러시 회전 및 높낮이 제어가 가능한 청소 모듈 시스템, 통합운용 시스템, 전원 및 통신 시스템, 바퀴 구동 및 조향 및 구동을 포함하는 제어시스템에 대해 설명하였다.

바퀴의 조향과 구동시험을 수행하여 청소경로의 추적 성능을 실험을 통하여 검증하였다. 또한, 선저면에 붙는 따개비와 같은 이물질을 제거하는 브러시의 성능 시험을 통하여 브러시 구동모터의 회전속도와 청소면과의 압착력에 따른 이물질 제거에 적합한 성능을 실험적으로 구하였다.

향후 실험역 시험을 통하여 선저면에 로봇이 부착되어 이물질을 제거하는 실험을 통하여 개발 로봇의 성능을 검증하는 연구를 수행하고자 한다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009- -C1090-0903-0007)

본 연구는 산업자원부와 경상남도에서 지원하는 지역산업중점기술개발사업의 연구결과임

참고문헌

- [1] Watermann, Burkard, Alternative Antifouling Techniques (Present and Future), LimnoMar(c), Hamburg, 1999.
- [2] Manuel Armada, Pablo Gonzalez de

Santos, "On the design and development of climbing and walking robots for the maritime industries", Journal of Maritime Research, Vol. II, No. 1, pp. 9-32, 2005.

- [3] Grzegorz Roznowski, Zdzislaw Kowalczyk, Pawel Raczynski, "Control and driving of a robot for underwater ship hull operation", CADSM 2001 Proceedings, pp. 179-182, 2001.
- [4] Grzegorz Roznowski, "Neural network based control system architecture proposal for underwater ship hull cleaning robot", CADSM'2003, February 18-22, 2003, Lviv-Slasko, Ukraine, pp. 268-370, 2003.
- [5] Grzegorz Roznowski, "Artificial neural network controller for underwater ship hull operation robot", CADSM'2003, February 18-22, 2003, Lviv-Slasko, Ukraine, pp. 371-374, 2003.
- [6] A.A. Carvalho, L.V.S. Sagrilo, I.C. Silva, J.M.A. Rebello, R.O. Carneval, "On the reliability of an automated ultrasonic system for hull inspection in ship-based oil production units", Applied Ocean Research 25, pp. 235-241, 2003.
- [7] 변승우, 고희준, 김준영, "수중작업용 Hovering AUV의 Test-bed 설계", 국방수중로봇 워크샵 2005, pp. 44-49, 2005.
- [8] <http://www.phosmarine-brush-kart.com/>
- [9] <http://www.cleanhull.no/en/tjenester/1078311616>
- [10] <http://www.hydrex.be/N2-files/N2-017.htm>
- [11] <http://www.mhi.co.jp/tmw/productse/pumpa/pumpn/etsuryutoi/etsuryutoi.htm>

저 자 소 개



최형식(崔炯植)

1989년 5월 미국 University of South Carolina 기계공학과에서 석사, 1993년 2월 North Carolina State University 기계 및 항공 공학과 박사로 협조로봇의 제어, 보행로봇 개발, 수중 운동체 시스템 연구 및 공장자동화에 대한 연구를 수행



권경엽

1975년생, 2006년 국립창원대학교 제어계측공학과 졸업(박사), 2009년 5월~현재 대원기전 기술 연구소 과장



정구락

1961년생, 경북대학교 산업공학과졸업(석사), 2009년 5월~현재 대원기전 기술 연구소 상무



서주노

1989년 미 해군대학원 기계공학 석사, 1997년 Univ. of California 기계 공학 박사, 2009년 현재 해군사관학교 기계조선공학 교수로 무인체계 연구(USV, UUV) 및 제어이론 연구 수행



강형식(姜亨錫)

1983년생, 2008년 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2008. 3~현재 동대학원 기계공학과 재학(석사)