대 한 조 선 학 회 논 문 집
제45권 제6호 2008년 12월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 45, No. 6, pp. 579-589, December 2008
DOI: 10.3744/SNAK.2008.45.6.579

소나 센서를 이용한 소형 ROV의 위치제어시스템에 관한 연구

최동현†*, 임근남**, 김상현***

삼성중공업 기본설계 2팀*
인하대학교 대학원 선박공학과**
인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공***

A Study On the Position Control System of the Small ROV Using Sonar Sensors

Dong-Hyun Choi†*, Geun-Nam Lim** and Sang-Hyun Kim***

Project Planning Team 2, Samsung Heavy Industries*
Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University**
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University***

Abstract

In the past few years, there are many studies and researches of the underwater vehicles which are carried out its mission using sonar sensors. MSCL(Marine System Control Lab.) at Inha University developed test-bed small ROV, ISRO. ISRO is an open-frame type and has 4 thrusters. ISRO can control 4 motions i.e surge, sway, yaw and heave with sonar sensors. ISRO is developed for inspection of ship hull, marine structure, plant of lake or river and so on. When ROV ISRO inspects something, it is necessary to control the position of ROV ISRO's for the movement and anti-collision with structures in the underwater. In this paper, we deal with the development of a small ROV and verification of the position control system via simulation and experiment using sonar sensors.

※Keywords: ROV(Remotely Operated Vehicle)(원격 조종 잠수정), Position control system(위치 제어시스템), PD control(PD 제어), Sonar sensor(소나 센서)

1. 서 론

세계 많은 나라에서 바다에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 이는 해양 자원 개발, 해군 군사력, 해상 수송 등과 같은 해양 관련 분야에 상당한 잠재력을 갖고 있기 때문이다. 21세기 인류의 발전과 미래에 큰 영향을 미칠 해양 개발에 대한 필수 기술로써 뛰어난 성능의 무인잠수정이 절실히 요구되고 있다(Lee et al. 2002).

접수일: 2008년 2월 11일, 승인일: 2008년 10월 16일
†교신저자: choidh99@hotmail.com, 032-860-7344

국내외 연구 기관 및 대학, 기업체에서는 다양한 종류의 무인잠수정에 대하여 연구, 개발을 하였고, 또한 현재 진행 중에 있다.(Son et al. 2006, Yur et al. 2007) 다양한 무인잠수정 중에서 ROV는 수상의 선박과 유선(테더)으로 전원을 공급 받고, 통신을 하는 무인잠수정으로 한정된 테더 케이블 길이로 인한 ROV의 특성으로 주로 특정 지역에서 탐사 및 검사 등을 수행한다. 따라서 해저 특정 위치에 접근하여 여러 임무를 수행하거나, 수중 구조물의 특정 부분 검사와 같이 임의의 위치로 이동 및 위치 유지 등과 같은 성능이 요구된다(Shin 2004, Yun et al. 2005). 이와 같은 성능은 ROV의 탐사 및 검사 시, 대상물과의 충돌을 방지하고, 조류와 같은 외란에도 기존 위치를 유지할 수 있게 해준다.

무인잠수정의 수중 위치 제어를 위하여 LBL, SBL, USBL와 같이 부 응답기를 설치하여 그 응답신호로서 위치를 평가하는 방법(Lee et al. 2002)과 음향 센서를 이용하여 주변 환경과의 상대적인 거리 차이를 고려하는 방법(Cristi et al. 1998, Son et al. 2001, Choi et al. 2007b), 비젼 시스템을 이용한 대상물과의 상대적인 거리 차이를 고려하는 방법(Hutchinson et al. 1996) 등이 연구되었다. 이들은 수중 항법, 장애물 회피, 도킹 등의 발전된 무인잠수정 성능의 기반 기술로써 많은 연구 기관에서 연구를 진행하고 있다.

인하대학교 해양시스템제어연구실에서는 테스트베드 ROV ISRO(Inha Sea RObot)를 제작하였다(Choi et al. 2007a). 4개의 thruster를 장착하여, 전후, 좌우, 상하 운동, 선수동요가 가능하게 하였고 4개의 소나센서로 ROV ISRO를 기준으로 전, 좌, 우, 하단의 네 방향에 있는 물체에 대한 정보를 얻을 수 있게 하였다. ROV ISRO는 수중에서 위치를 제어할 때, 소나 센서에서 들어오는 신호를 통해 네 방향의 운동을 제어한다.

이번 논문에서는 소형 ROV ISRO의 개발과 이 ROV의 3차원 위치제어시스템의 개발을 나타내었다. 개발한 소형 ROV의 설계 및 제작에 대해 먼저 언급하였다. 그리고 ROV ISRO의 3차원 위치제어시스템의 성능을 확인하기 위하여, 운동방정식을 통해 수학적 모델을 만들고, MATLAB/Simulink를 이용한 시뮬레이션을 보였다. 마지막으로 인하대학교 선형시험수조에서 실험을 통하여 제어 성능을 확인하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다.
2장에서는 ROV ISRO의 개발에 관련된 하드웨어 및 소프트웨어 부분에 대한 자세한 소개를, 3장에서는 모델링 및 제어시스템 설계 부분을, 4장에서는 전후운동제어, 좌우운동제어, 선수동요제어, 상하운동제어 그리고 3차원 위치제어에 대해 시뮬레이션을, 5장에서는 인하대학교 선형시험수조에서 진행된 수조 실험 내용 및 결과를 시뮬레이션과 마찬가지로 전후운동제어, 좌우운동제어, 선수동요제어, 상하운동제어 그리고 3차원 위치제어에 대해 기술하였다. 마지막으로 6장에서는 이 논문의 결론을 기술하고, 향후 연구 과제를 제시하였다.

2. ROV ISRO의 개발

2.1 ROV ISRO

테스트베드 소형 ROV인 ISRO는 수중 선체와 수상 제어기로 구성되어 있다. 수중 선체는 아크릴로 제작되어 전기◦전자 보드들과 다수의 센서를 내부에 담고 있는 수밀 선체와 알루미늄으로 구성된 프로파일의 틀로 구성되어 있다. 수상 제어기는 수중 선체와 LAN선을 통해 통신(TCP/IP)을 하고 수상에서 수중 선체를 제어한다. 수중 선체의 모습은 Fig. 1에 보였고, 세부 사양은 Table 1에 표기하였다.

2.2 ROV ISRO의 내부 시스템

ROV ISRO의 수밀 선체의 내부에는 중앙 처리 장치인 LV Pentium III 933MHz의 SBC(Single Board Computer), 수중 선체의 전, 좌, 우, 하, 이렇게 네 방향에 존재하는 장애물과의 거리를 측정할 수 있는 소나 센서, 수심을 측정할 수 있는 압력 센서, 방위각을 측정할 수 있는 디지털 마그네틱 컴퍼스(DMC), 수중 선체가 경사진 정도를 나타내어 주는 1축 경사 센서, 센서를 통해 들어오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환 시켜주는 AD 컨버터, 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환 시켜주는 DA 컨버터, 24V의 전압을 5V, 12V

Fig. 1 ROV ISRO(Inha Sea RObot)

Table 1 Specifications of ROV ISRO

Item	Specifications
Dimension (L×B×D)	810×540×640(mm)
Mass	40(kg)
Max. Depth	20(m)
Thrusters	4 EA (Surge×2, Sway×1, Heave×1)

로 변환해 주는 DC/DC 컨버터, 소나 센서의 음파 신호를 아날로그 신호로 바꿔주는 소나 센서 컨버터, 수중 선체의 전방의 영상 신호를 보내주는 카메라로 구성되어 있다. 또한, ROV ISRO의 4 자유도 운동을 제어할 수 있는 4개의 트러스터가 수밀 선체의 틀에 장치되어 있다. 이 중 소나 센서와 트러스터는 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었고 내부 시스템에 대한 자세한 사양은 Table 2에 자세히 표기하였다.

ROV ISRO의 수밀 선체 내부의 모듈들은 Fig. 4와 같이 24V 리튬-폴리머 배터리와 12V 납축 배터리로부터 전원을 공급 받는다. 24V와 12V 이외의 입력 전압을 갖는 모듈은 DC/DC 컨버터를 통해 변환된 전압을 공급 받는다. 그리고 수상 제어기와 TCP/IP를 통해 직접 통신을 하는 ROV ISRO의 메인 PC인 SBC를 중심으로 HDD, AD 컨버터, DA 컨버터, 소나 센서 컨버터, 디지털 마그네틱 컴퍼스, 카메라가 여러 통신방식으로 데이터를 주고받는다. 또한, 내부 통신 시스템에 대한 연결도를 Fig. 5에 나타내었다. ROV ISRO는 제어를 위한 프로그램으로 마이크로소프트社의 Visual C++ MFC를 사용하였다. 이는 메인 PC의 OS인 Window XP와 호환이 잘 되고, 각 보드 구입 시 관련 소스가 제공되며, 제작자의 숙달 정도나 관련 소스를 구함에 있어서 상대적으로 여느 다른 프로그램에 비해 용이하기 때문이다. Fig. 6은 수상 제어기의 화면에 나타난 ROV ISRO의 제어창

Fig. 2 Sonar sensor

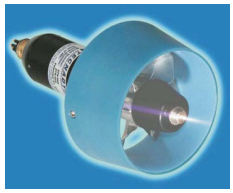

Fig. 3 Thruster

Table 2 Inner systems of ROV ISRO

Item	Specifications
Main computer	On-board PC(Pentium III 933MHz; Advantech) OS: WINDOW XP
Sonar Sensor	TC3029(RESON) Range: 0-10m
Thruster	model-300(Technadyne) thrust: 8.4kgf
AD Converter	PCM-3718HG(Advantech) 16ch
DA Converter	PCI-1720U(Advantech) 4ch
Sensors	Magnetic Compass, Inclinometer, Pressure Sensor, Cam

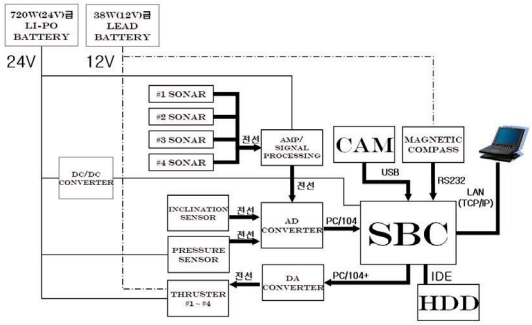

Fig. 4 Power connection

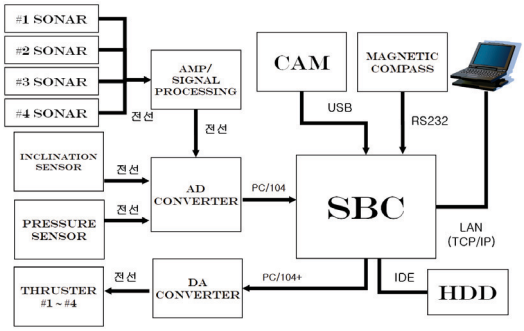

Fig. 5 Communication connection

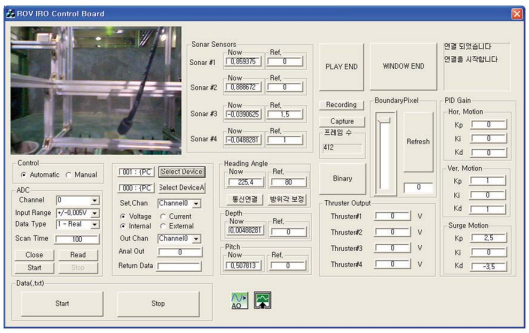

Fig. 6 Control Window(제어창)

이다. 그림에서 보는 바와 같이 왼쪽 상단에 카메라를 통해 들어오는 영상 신호가 출력이 되고, 4개의 소나 센서에서 나오는 신호들, 디지털 마그네틱 컴퍼스에서 출력되는 신호, 경사센서에서 출력되는 신호, 압력센서에서 출력되는 신호, 트러스터에 입력되는 신호, 그리고 여러 기초 설정을 하는 부분 등을 제어창에서 확인할 수 있다.

3. ROV ISRO의 모델링

3.1 ROV ISRO 운동의 수학적 모델

ROV ISRO의 운동 방정식을 유도함에 있어서 다음과 같이 두 가지 가정을 고려하였다.

- ROV ISRO의 운동은 수평운동과 수직운동으로 나누어서 고려
- 종동요와 횡동요는 무시

Table 3 The hydrodynamic coefficients

	Value		Value
$X_{\dot{u}}$	-0.0082	$N_{\dot{r}}$	-3.23E-06
X_{vr}	0.0216	N_r	8.94E-06
X_{wq}	-0.0695	$N_{\|r\|r}$	-0.0553
$Y_{\dot{v}}$	-0.0216	$Z_{\dot{w}}$	-0.0695
$Y_{\dot{v}}$	0.00041	Z_w	-1.09
$Y_{\|v\|v}$	-0.0097	$Z_{\|w\|w}$	-0.0097

ROV ISRO의 수평 운동은 전후, 좌우, 상하동요를 수직 운동은 상하운동을 나타낸다. 이 중 좌우운동과 선수동요는 연성운동을 고려하였다. 전후, 좌우, 선수동요, 상하 운동에 대한 각각의 수학적 모델을 유도하기 위해 6자유도 비선형 운동방정식을 이용하였다(Fossen 1994). 또한, 유체력 계수는 Strip Method를 이용하여 수치 해석적으로 구하였다. 각 유체력 계수의 값은 Table 3에 나타내었다.

3.2 PD제어 및 PD제어기 설계

PD제어기는 비례(P), 미분(D) 제어의 두 부분을 병렬로 조합하여 구성하는 제어기이다. PD제어는 비례계수, 미분계수들을 대입하여 제어기를 만들기 때문에 상대적으로 구현하기가 쉽다는 장점이 있다. 제어기의 전달함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 시간영역에서 제어 대상에 대한 제어 입력은 식(2)과 같다.

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d s \qquad (1)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{d}{dt} e(t) \qquad (2)$$

ROV ISRO의 제어기를 설계하기 위하여 시간영역에서의 제어 성능의 기준이 되는 여러 요인 중에서 오버슈트와 정착시간을 고려하였다. 수직운동과 수평운동에 대한 제어목표는 다음과 같이 정하였다. 오버슈트는 ROV ISRO가 장애물(수조 벽면)과의 충돌을 고려하여 10%로 정하였다.

- 수평운동 제어목표: 오버슈트 10%, 정착시간 10sec

- 수직운동 제어목표: 오버슈트 10%, 정착시간 7sec

ROV ISRO는 위치제어 시 PD제어기를 이용하였으며 PD 제어기 설계에서는 P와 D게인 값을 동조하였다. PD제어기 설계는 상용 툴인 MATLAB/Simulink를 사용하여 수행하였다.

4. ROV ISRO의 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 방법 및 수행

수치 해석적 방법을 통해 도출한 유체력 계수들과 무인잠수정의 운동방정식을 통하여 ROV ISRO의 전후, 좌우, 선수동요, 상하운동에 관한 수학적 모델을 유도하였다. 이를 상용 툴인 MATLAB/Simulink를 사용하여 시뮬레이션 하였다. ROV ISRO의 전후, 좌우, 선수동요, 상하 운동 각각에 대하여 시뮬레이션을 하기 위하여, 초기 위치를 각각 5m, 0m, π/2rad, 0m로 설정하였고, 목표위치를 1m, 2m, 0rad, 1m로 결정하였다. 초기값과 목표값을 이와 같이 정한 이유는 ROV ISRO가 인하대학교 선형시험수조(ISMB)에서 제어시스템의 성능검증실험을 수행할 시 비슷한 초기 위치와 목표 위치를 갖고 실험을 수행하기 때문이다. 그것은 인하대학교 선형시험수조 특성에 기인한다. 시뮬레이션 시간은 모든 시뮬레이션 시 20sec로 정하였다. Fig. 7은 시뮬레이션 시 3차원 위치 제어를 수행할 때의 Flow chart를 나타내고 있다. 3차원 위치제어는 우선 원하는 위치로의 방위각을 결정하고 원하는 범위 이내로 방위각이 출력되면 전후, 좌우, 선수동요, 상하 운동이 동시에 수행된다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 8 - Fig. 12은 시뮬레이션을 통한 결과를 보여주고 있다. X-축은 0sec에서 20sec까지의 시간(sec)을 나타내고, Y-축은 각각 거리(m)와 방위각도(rad)를 나타낸다.

Fig. 8은 전후운동에 대한 결과이다. 실선이 ROV ISRO와 임의의 장애물과의 거리(m)를 나타내고, 점선이 속도(m/s)를 나타낸다. 여기서, 장애물은 수조 환경 시 수조 벽면을 말한다. 즉, ROV ISRO가 수조 벽면과 5m 거리에서 출발하여, 수조 벽면 1.0m가 되는 지점에 위치하는 것이다. 시뮬레이션 결과 오버슈트 0%, 정착시간 약 9sec로, 목표로 했던 제어 성능인 오버슈트 10%, 정착시간 10sec를 잘 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 9는 좌우운동에 대한 결과이다. 실선이 ROV ISRO와 현측에 존재하는 임의의 장애물과의 거리(m)를 나타내고, 점선이 속도(m/s)를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 오버슈트 10%, 정착시간 약 8sec로, 목표로 했던 제어 성능을 잘 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

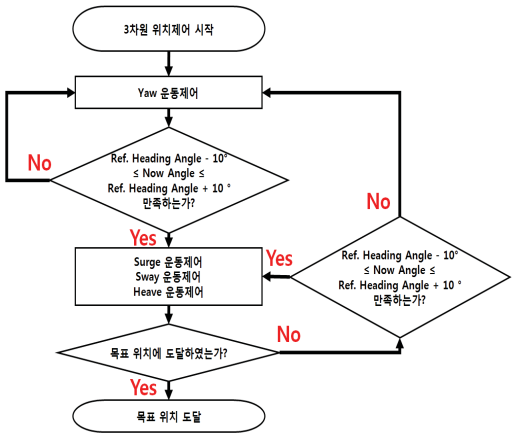

Fig. 7 Flow chart of the position control system on the simulation

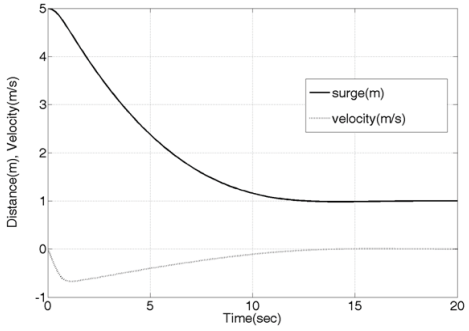

Fig. 8 Simulation result of surge control

Fig. 10은 선수동요에 대한 결과이다. 실선이 ROV ISRO의 방위각(rad)을 나타내고, 점선이 각속도(rad/s)를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 오버슈트 10%, 정착시간 약 9sec로, 목표로 했던 제어 성능을 잘 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 11은 상하운동에 대한 결과이다. 실선이 ROV ISRO와 수심 방향에 존재하는 임의의 장애물과의 거리(m)를 나타내고, 점선이 속도(m/s)를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 오버슈트 10%, 정착시간 약 7sec로, 목표로 했던 제어 성능인 오버슈트 10%, 정착시간 7sec를 잘 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

4개의 각각의 운동에 대한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 네 운동을 한 번에 제어하는 3차원 위치제어에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 위치제어는 네 운동이 각각의 운동을 동시에 수행함으로써 이루어진다. 그 결과, 초기 위치 (0m, 0m, 0m, 30deg)에서 목표 위치(3.5m, 4m, 1.5m, 0deg)로의 위치 제어 시 Fig. 12와 같이 목표

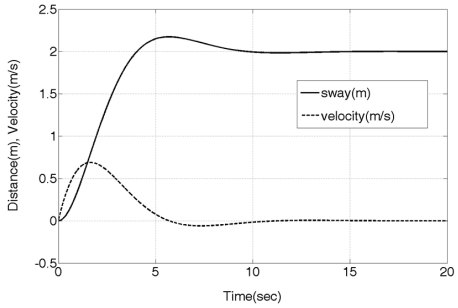

Fig. 9 Simulation result of sway control

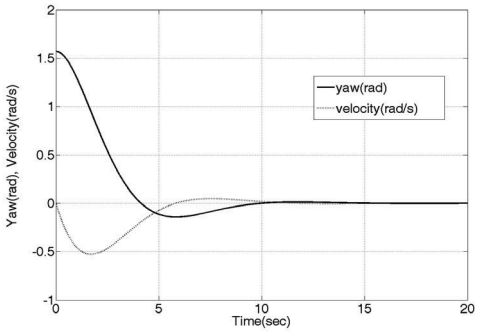

Fig. 10 Simulation result of yaw control

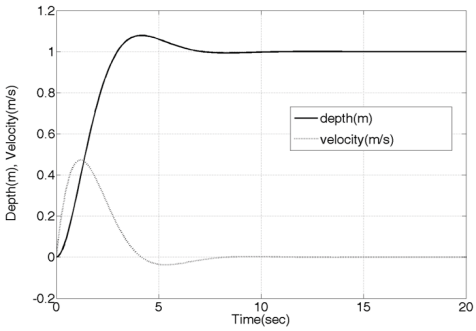

Fig. 11 Simulation result of heave control

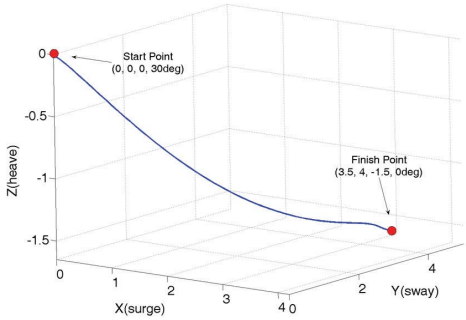

Fig. 12 Simulation result of 3-D position control

Table 4 The settling time of motions at 3-D position control

	Surge	Sway	Yaw	Heave
time(sec)	8	7	10	4

위치까지 만족할만한 성능을 확인할 수 있었다. Table 4에서는 ROV ISRO의 3차원 위치제어 시 각 운동의 정착시간을 나타내었다.

5. ROV ISRO의 수조 실험

5.1 실험 방법 및 수행

제작이 완료된 ROV ISRO의 제어 성능을 검증하기 위하여 인하대학교 선형시험수조에서 수조 실험을 수행하였다. 인하대학교 선형시험수조는

79×5×2.7(L×B×H; 단위:m)의 차원을 갖는 ITTC 공인 수조로, 수심이 깊지 않아 테스트베드인 ROV ISRO가 실험하기에 적당한 조건을 가지고 있다. 위치제어성능 검증을 위한 수조 실험을 하기 전 수밀 실험과 중성부력실험을 수행하였고, 주위 환경에 민감한 소나센서의 정확성을 높이기 위하여 캘리브레이션을 수행하였다.

Fig. 13은 인하대학교 선형시험수조에서 실험을 수행하기 직전에 ROV ISRO가 중성부력을 갖고 수조의 자유 수면에 떠 있는 모습이다. ROV ISRO의 위치제어시스템 성능검증 실험은 전후 제어, 선수동요제어와 상하제어에 대해서 각각 수행하였고, 2가지 이상 연성된 제어 즉, '전후 제어+ 선수동요제어', '전후 제어+상하제어', 마지막으로 '전후 제어+선수동요제어+상하제어'에 대해서 수행하였다. 다음은 인하대학교 선형시험수조에서 6가지의 케이스에 대해 수행한 실험을 정리한 것이다.

- 전후 제어
- 선수동요제어
- 상하제어
- 전후 제어+ 선수동요제어
- 전후 제어+상하제어
- 전후 제어+선수동요제어+상하제어

Fig. 14는 소나 센서를 캘리브레이션한 결과이다. 수조 바닥과의 거리가 0.5m에서 2.0m까지 0.5m 간격으로 위치시킨 후 들어오는 데이터 값을 캘리브레이션 하였다. 상대적으로 짧은 거리에서 데이터 값 오차가 다른 거리에 비해 약 2-3배 정도 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, 오차의 정도가 0.5m에서는 6%, 1.0m, 1.5m, 2.0m에서는 3%이하로 나타났다. 위치 제어 시 얻는 데이터는 프로그램에서 필터링을 하여 과도하게 튀는 값을 제거하도록 하였다. Fig. 15은 ROV ISRO의 수조 실험 시 3차원 위치 제어를 수행할 때의 Flow chart를 나타내고 있다. 3차원 위치제어는 우선 원하는 위치로의 방위각을 결정하고 원하는 범위 이내로 방위각이 출력되면 전후, 좌우, 상하 운동이 수행된다.

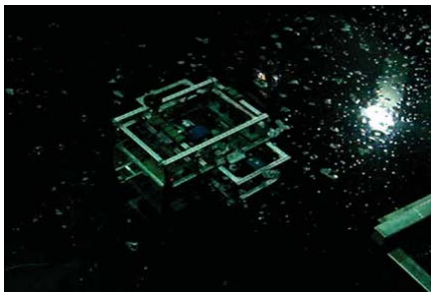

Fig. 13 ROV ISRO experiment in ISMB

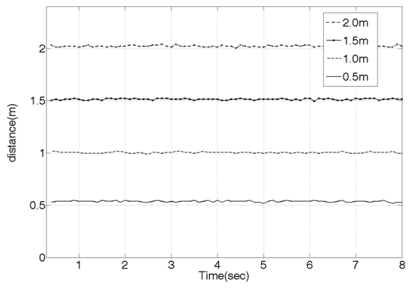

Fig. 14 Sonar sensor calibration result

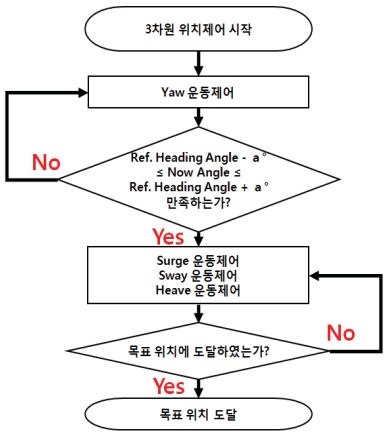

Fig. 15 Flow chart of the position

5.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 16 - Fig. 18은 1자유도 운동에 대한 수조 실험 결과이다.

먼저, Fig. 16은 전후 운동 제어 실험 결과이다. 인하대학교 선형시험수조의 벽을 장애물로 고려하

고, ROV ISRO의 전면에 장치되어 있는 소나 센서를 통해 들어오는 장애물(벽)과의 초기 거리를 약 4m로 정하고 목표 거리를 1.5m로 정하였다. ROV ISRO의 수조 실험의 제어 목표는 장애물(벽)과의 충돌을 방지하기 위해 오버슈트가 거의 발생하지 않도록 제어기의 게인값을 정하였다. 이는 ROV ISRO의 전장과 장애물과의 목표 거리를 비교해 보았을 때 상대적으로 충돌의 위험이 크기때문이다. 결과에서 보는바와 같이 목표 거리 1.5m까지 오버슈트 서 보는바와 같이 목표 거리 1.5m까지 오버슈트 없이 잘 수렴 하는 것을 볼 수 있다. 약간의 정상상태 오차가 발생하는데, 이는 I 제어가 없기 때문이다.

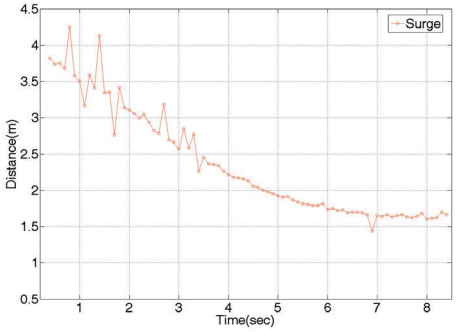

Fig. 16 Surge control from 3.8m to 1.5m

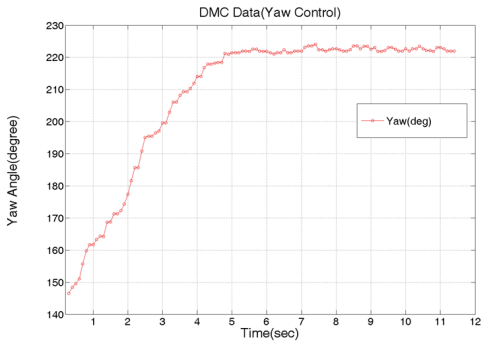

Fig. 17 Yaw control from 147 deg. to 220 deg.

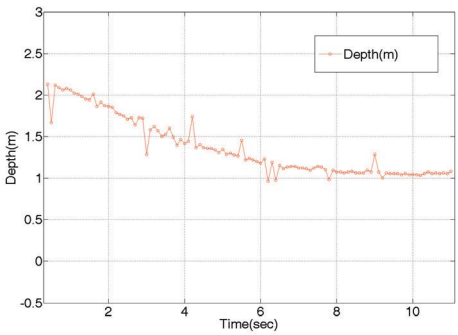

Fig. 18 Heave control from 2.2m to 1.0m

Fig. 17은 선수동요 제어 실험 결과이다. 선수동요 제어 실험에서는 ROV ISRO의 수밀 선체 내부에 장치된 디지털 마그네틱 컴퍼스로부터 들어오는 신호를 이용하였다. 실험 결과에서 보는바와 같이 초기 방위각을 약 145deg로 두고 , 목표 방위각을 220deg로 설정하여 실험을 수행한 결과를 보여준다. 선수동요의 경우에는 병진 운동과는 달리 장애물과의 충돌이 발생할 확률이 낮지만 수중에서 원하는 위치로 움직이기 위해서는 정확한 방위각을 유지해야하기 때문에 비록 상승시간은 늘어나지만 오버슈트 없이 안정된 방위각을 갖도록 제어기의 게인값을 조정하였다. 그 결과 오버슈트 0%, 상승시간 5 sec로 안정된 제어가 이루어짐을 확인하였다.

Fig. 18는 상하 운동 제어 실험 결과이다. ROV ISRO의 하단부에는 수조 바닥과의 거리 정보 신호를 보내주는 소나 센서가 장치되어 있다. ROV ISRO가 인하대학교 선형시험수조의 자유 수면에 중성 부력을 갖고 있을 때 수조 바닥과 2.2m를 유지하고 있다. 이를 초기 거리로 정하고 목표 거리를 1.0m로 정한 후 상하 운동 제어 시험을 수행하였다. 상하 운동 역시 전후와 선수동요와 마찬가지로 수조 바닥과의 충돌 위험성을 없애기 위하여 오버슈트 0%를 제어 목표로 하였다. 결과에서 보는바와 같이 오버슈트 없이 목표 거리로 안정하게 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 19 - Fig. 20은 전후 운동을 제어하면서 선수동요를 제어하는 성능을 검증한 결과이다. Fig. 19는 전후 운동 결과를, Fig. 20은 선수동요

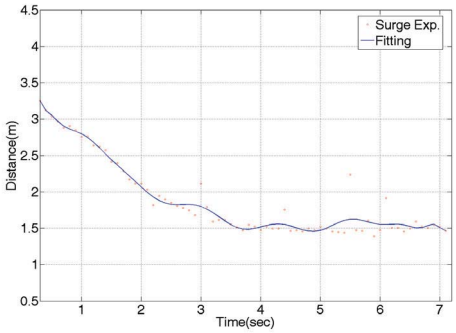

Fig. 19 Surge control (Surge+Yaw Control)

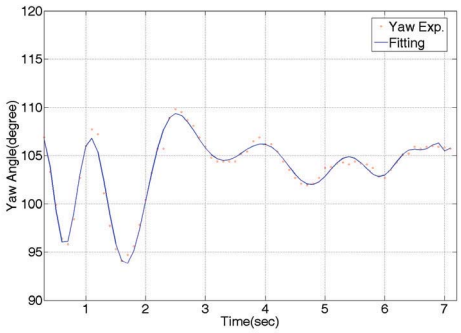

Fig. 20 Yaw control (Surge+Yaw Control)

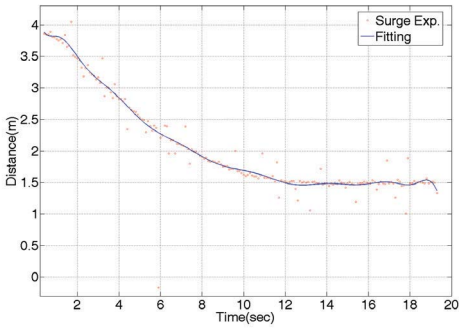

Fig. 21 Surge control result(Surge+Heave)

결과를 보여주고 있다. 전후운동은 초기 거리를 약 3.3m로 주었고, 목표 거리를 1.5m로 주었다. 전후 운동을 수행 시 지정된 Yaw 각(방위각)의 범위 이내에 있을 시에만 수행하도록 명령을 주었다. Yaw 각(방위각)의 기준 입력값을 105deg로

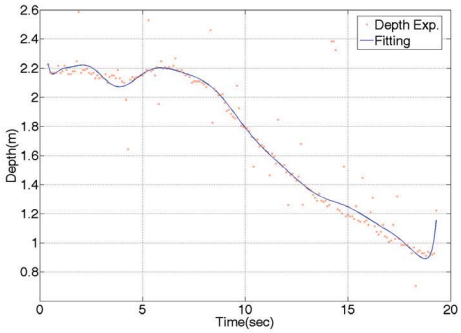

Fig. 22 Heave control result(Surge+Heave)

주었고, 지정된 범위는 기준 입력값을 기준으로 ∓15deg로 정하였다. 두 결과의 작은 점들은 실험 결과를, 실선은 이를 피팅한 결과를 보여준다.

결과에서 보는바와 같이 전후 운동 제어만을 수행하였을 때보다 정상상태에 변위의 움직임이 발생하지만 큰 오버슈트나 정상상태 오차 없이 제어 목표를 잘 만족함을 알 수 있다.

Fig. 21 - Fig. 22는 전후 운동을 제어하면서 상하 운동을 제어하는 성능을 검증한 결과이다. 두 병진운동을 동시에 수행함에 있어서도 오버슈트 0%를 제어목표로 정하였다. Fig. 21은 전후운동 결과를, Fig. 22는 상하 운동 결과를 보여주고 있다. 전후운동은 초기 거리를 약 4.0m, 목표 거리를 1.5m로 주었고, 상하운동은 초기 거리를 약 2.2m, 목표 거리를 1.0m로 주었다. 전후 운동과 상하 운동 모두 원하는 제어 목표를 잘 만족하고 있으나 상하 운동의 경우 과도 상태 시 수심 방향으로 위치 이동을 함에 있어서 약간의 지연이 있는데, 이는 초기에 발생하는 추력이 ROV ISRO가 자유 수면에서 발생하기 때문에 충분한 효과를 내지 못하기 때문이다.

Fig. 23 - Fig. 25는 전후 운동, 선수동요 그리고 상하 운동을 동시에 제어한 실험 결과를 보여주고 있다. 이 실험에서는 Yaw 각(방위각)의 지정된 범위(120deg를 기준으로 ∓10deg)를 벗어날 시 선수동요 이외의 운동은 중지하고 선수동요만을 수행한 후 다시 지정된 범위의 방위각을 만족할 시 다른 운동을 수행하였다. Fig. 23는 선수동요 결과를, Fig. 24는 전후 운동 결과를, Fig. 25

는 상하 운동 결과 보여주고 있다. Fig. 23에서, 약 1sec 시 Yaw 각(방위각)이 지정 범위를 벗어나 전후 운동 및 상하 운동 제어가 중단되고 약 11sec 시 Yaw 각(방위각)이 지정된 범위를 만족하여 두 운동이 원하는 목표로 이동한 결과이다. Fig. 24에서 1 - 11sec사이에 Yaw 각(방위각)의 발생으로 ROV ISRO가 전방의 장애물과 임의의 각을 갖기 때문에 거리가 커진 것이다. 그러나 11sec 이후에는 원하는 목표 거리인 2.0m를 잘 만족함을 알 수 있다. Fig. 25에서는 11 sec이후에 원하는 목표 거리인 1.0m로의 위치 이동이 되지 않고 다시 자유 수면으로의 위치 이동이 있는데, 이는 제어를 하는데 있어서 약간의 오류가 발생하여 위치 이동 시에 문제가 발생한 것으로 사료된다. 그러나 다시 원하는 제어가 이루어져 목표 위치인 1.0m로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

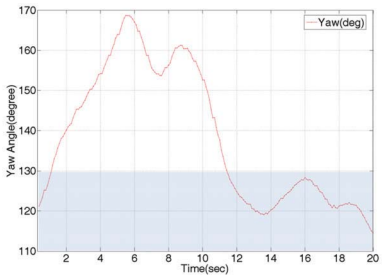

Fig. 23 Yaw control result(Surge +Heave+Yaw)

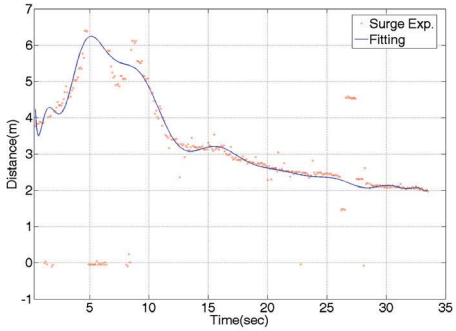

Fig. 24 Surge control result(Surge +Heave+Yaw)

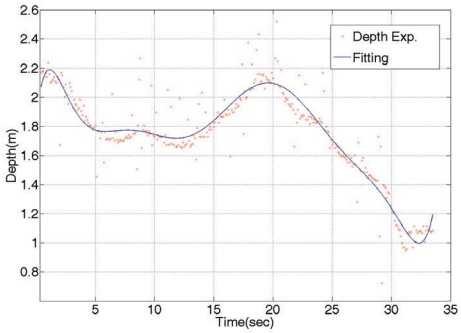

Fig. 25 Heave control result(Surge+Heave +Yaw)

6. 결 론

본 논문의 이 논문에서는 인하대학교 해양시스템제어연구실에서 개발한 테스트베드 소형 ROV ISRO의 위치제어시스템에 대한 성능을 검증하였다. 다양한 수중 임무의 기반이 되는 위치제어시스템을 갖는 테스트베드 소형 ROV를 개발하기 위해서 목적에 맞도록 ROV ISRO를 설계 및 제작하였다.

또한, 시뮬레이션을 수행하기 위하여 무인잠수정의 운동방정식에서 ROV ISRO의 운동방정식을 유도하고, 각 유체력 계수를 수치 해석적 방법에 의해 구하여 대입하였다. 유도한 운동방정식에서 ROV ISRO의 수평운동, 수직운동의 수학적 모델을 완성하였고, 이를 수평운동, 수직운동, 3차원 위치제어에 대하여 시뮬레이션을 수행(PD제어기)하여 제어시스템의 성능을 검증하였다.

마지막으로 인하대학교 선형시험수조(ISMB)에서 PD제어기를 이용하여 구성된 ROV ISRO의 제어시스템이 목적에 맞는 제어 성능을 갖는지를 검증하였다.

본 논문의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- ISMB에서 실험이 원활하고, 원하는 운동 제어가 가능하며 실험이 용이한 사이즈를 갖는 소형 ROV를 설계 및 제작하였음
- 무인잠수정의 운동방정식을 이용하여 ROV

ISRO의 수학적 모델을 유도하고 PD제어기를 설계하고, ROV ISRO의 위치제어시스템을 개발하여 시뮬레이션을 통해 검증하였음

● 인하대학교 선형시험수조(ISMB)에서 수조 실험을 통하여 PD제어기를 갖고, 소나 센서를 이용하여 위치 신호를 얻는 ROV ISRO의 위치제어시스템의 성능을 검증하였음

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. "(KRF-2007- 331-D00564)

참 고 문 헌

- Choi, D.H., Lim, G.N., Shin, J.S. and Kim, S.H. 2007a, “Development Of The Test-bed Small ROV ISRO for Underwater Missions(1)," The Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 1964-1967.
- Choi, D.H., Lim, G.N., Shin, J.S., Yun, S.B., Lee, J.H., Kim, H.J. and Kim, S.H., 2007b, “Study on the Depth Control of ROV ISRO Using Sonar Sensors," The Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 828-831.
- Cristi, R., Caccia, M. and Veruggio G. 1998, "Motion Estimation and Modeling of the Environment for Underwater Vehicles," International Journal of Systems Science, Vol. 29, No. 10, pp. 1135-1143.
- Fossen, T.I., 1994, “Guidance and Control of Ocean Vehicles”, John Wiley & Sons.
- Hutchinson, S., Hager, G.D. and Corke, P.I. 1996, "A Tutorial on Visual Servo Control," IEEE Trans. on Robot. Automat., Vol. 12, No. 5, pp. 651-670.
- Lee, P.M., Yang, S.I., Hong, S.W., Lim, Y.G., Oh, B.D., Lee, C.M., Jun, B.H., Kim, S.M., Park, J.W., Choi, Y.C., Hong, S., Kim, J.H., Choi, J.S., Choi, S.K, Kim, S.Y., Lee, C.M., Kim, Y.K., Kim, K.H., Lee, S.M. and Kim, H.S., 2002, “Development of an Advanced Deep-Sea Unmanned Underwater Vehicle (1),” The Ministry of Maritime Affairs and Fisheries Report.
- Shin, M.C., 2004, "Development of Ship Hull Inspection ROV with positioning system," A master's thesis of SNU.
- Son, K.H., Lee, S.G., Ha, S.P., 2006, "Mathematical Model for Dynamics of Manta-type Unmanned Undersea Vehicle with Six Degrees of Freedom and Characteristics of Manoeuvrability Response," The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 4, pp. 399-413.
- Son, N.S., Rhee, K.P., Lee, S.M. and Yeo, D.J., 2001, "A Design of Collision Avoidance System of an Underwater Vehicle," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 4, pp. 23-29.
- Yur, J.K., 2007, "Underwater Robotics Resear ch," Autumn workshop of Korea Unmanned Underwater Vehicle.
- Yun, K.H., Rhee, K.P. and Yeo, D.J., 2005, "A Study on the Guidance Law Suitable for target Tracking System of an Underwater Vehicle," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 4, pp. 299-306.

< 최 동 현 >

< 임 근 남 >

< 김 상 현 >