

자율 무인 잠수정(AUV)의 모의 실험을 위한 테스트베드의 개발-하드웨어와 소프트웨어

이 판 목* · 전 봉 환* · 정 성 욱**
(96년 11월 25일 접수)

Development of a Test-Bed Autonomous Underwater Vehicle
for Tank Test-Hardware and Software

P.M. Lee* · B.H. Jeon* · S.W. Jeong**

Key Words : Autonomous Underwater Vehicle, Test-bed AUV, Software Architecture,
Single-chip Microprocessor

Abstract

This paper describes the development of a test-bed vehicle named TAUV which can be a tool to evaluate the performance of a new control algorithm, operating softwares and the characteristics of sensors for an AUV. The test-bed AUV is designed to operate at depth of ten meters. It is 19.5kg in air and neutral buoyancy in water and the dimension is 535×400×102mm. TAUV is equipped with a magnetic compass, a biaxial inclinometer, a rate gyro, a pressure sensor and an altitude sonar for measuring the motion of the vehicle. Two horizontal thrusters and two elevators are installed in order to propel and control the AUV. This paper presents the control system of TAUV which is based on a 16 bit single-chip microprocessor, 80c196kc, and the software architecture for the operating system. Experimental results are included to verify the performance of the TAUV

1. 서 론

해양자원의 개발, 군사적 목적 그리고 과학조사 등에 대한 관심이 높아짐에 따라 자율 무인잠수정 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV)에 대한

연구가 일부 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

자율 무인잠수정은 해저상황이 변화하거나 고려되지 않은 미지의 변수의 영향이 크게 작용하는 해저상황에서, 자체 내장된 동력을 이용하여 자율

* 한국기계연구원 해양기술연구부
** 삼성중공업 중앙연구소

적으로 임무를 수행하고, 귀환하는 능력을 가져야 한다. 따라서, 장치의 하드웨어와 소프트웨어가 고성능, 고신뢰도를 확보하지 않으면 안될 뿐만 아니라, 변화하는 환경에서 적응하여 제어하는 기법이 필요하다^{1,2)}. 이러한 제어기법들로 최근, 고전제어를 비롯하여 신경망제어, 퍼지제어, 슬라이딩모드 제어 등이 활발히 제안되고 있다³⁾. 그러나 이들 제어기법들은 자율 무인잠수정의 운용상 또는 미회수의 위험을 항상 내포하고 있는 특성상, 그 타당성이나 우수성이 실제 실험을 통하여 검증되기 어려운 실정이다. 따라서 대부분의 제어기법들은 컴퓨터에 의한 시뮬레이션만으로 그치는 경우가 대부분이므로 실제 자율 무인잠수정의 제어알고리즘으로 채택되기까지는 많은 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해서는 운용하기 간편하고, 미회수의 위험성이 없는 시험용 모형 잠수정의 개발이 필수적이나, 국내에서는 아직 이러한 모형 잠수정에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 이에 따라 각종 제어 기법들의 성능을 검증하기 위한 수조 실험용 잠수정(Test-bed AUV, 이하 TAUV라 칭함)의 개발 및 수조성능 시험에 대해 다룬다. 본 연구를 통해 개발된 TAUV의 선체는 장방형으로 그 크기는 535(L)×400(W)×100(H)[mm], 공기중의 중량은 19.5Kg이고 내압수심은 10m로 설계되었으며, 선미에 수직타와 승강타가 각각 두 개씩 장착되어 있다. 구동장치는 두 개의 수평 추진기와 승강타를 각각 동작시키기 위한 DC모터와 서보로 구성되어 있으며, 무선조종을 위해 R/F수신기를 장착하였다. 컨트롤러로는 단일칩 마이크로프로세서 80C196KC를 사용하였고, 선체의 방위, 피치, 피치레이트, 고도 및 수압을 측정할 수 있는 센서를 장착하였다. 소프트웨어는 C언어 및 8096매크로 어셈블러로 짜여져 있으며, 제어알고리즘 및 제어를 위한 파라미터 등을 RAM에 다운로드하여 실행할 수 있도록 하였다.

또한, 개발된 TAUV의 하드웨어 및 소프트웨어의 성능을 시험하기 위해 간단한 수조성능시험을 하였다. 그 결과 TAUV는 AUV를 위한 제어기법의 개발 및 검증, 그리고 AUV에 탑재될 각종 센서 및 장비들의 모형실험에 유용할 것으로 기대된다.

2. 하드웨어

2.1 외형선체

Fig. 1은 TAUV의 구성도를 보이고 있다. 외형선체는 장방형으로 FRP로 제작하였고, 선미에 발사로 제작된 두 개씩의 승강타와 수직타를 장착하였다. 선체내부에는 3mm의 베크라이트판을 사용하여 또 하나의 방수구역을 설치하므로써, 주 제어기를 비롯한 각종 제어기를 누수로부터 이중으로 보호하도록 하였다. 선미 하단부에는 축전지의 충전단자와 RS232C 시리얼 통신포트를 외부와 연결할 수 있도록 외부에서 개폐가 가능한 박스형태의 공간을 만들었다. Table 1은 TAUV의 주요 제원을 나타내고 있다.

Table 1 TAUV의 주요제원

외부형상	장방형	
전진속도	약 1.0m/s	
주요수치	내부공간	350×285×90(L×B×D)
	외부치수	535×400×102
	중량	19.5Kg(수중 0Kg)
제어운동모드	Pitch, Roll, Surge, Yaw	
추진기	2DC H. Thrusters	
제어판	2Elevators(Stern Std./Port)	
구동전원	Ni-Cd Battery(12V,7.2V,5V)	

2.2 탑재센서

TAUV선체의 헤딩, 피치, 피치변화율, 고도, 수압을 검출하기 위해, 마그네틱컴퍼스, 2축경사계, 레이트자이로, 고도소나 및 압력센서를 각각 사용하였으며, Table 2~Table 3에 사용한 센서들의 사양을 나타내었다. 경사계와 레이트자이로는 선체의 중앙에, 마그네틱컴퍼스는 좌측에 그리고 고도소나와 압력센서는 선수 우측 하단에 각각 위치시켰다.

고도 소나의 트랜스듀서는 수조에서의 시험시 발생하는 반사파의 영향을 줄이기 위하여 중심 주파수가 150kHz인 압전세라믹 소자로 제작하였으며, 직경이 20mm이고 높이가 12mm인 실린더형이다. 앰프는 한 개의 트랜스듀서로써 송수파를 검파하도록 하기 위해 파워앰프와 프리앰프를 일체형으

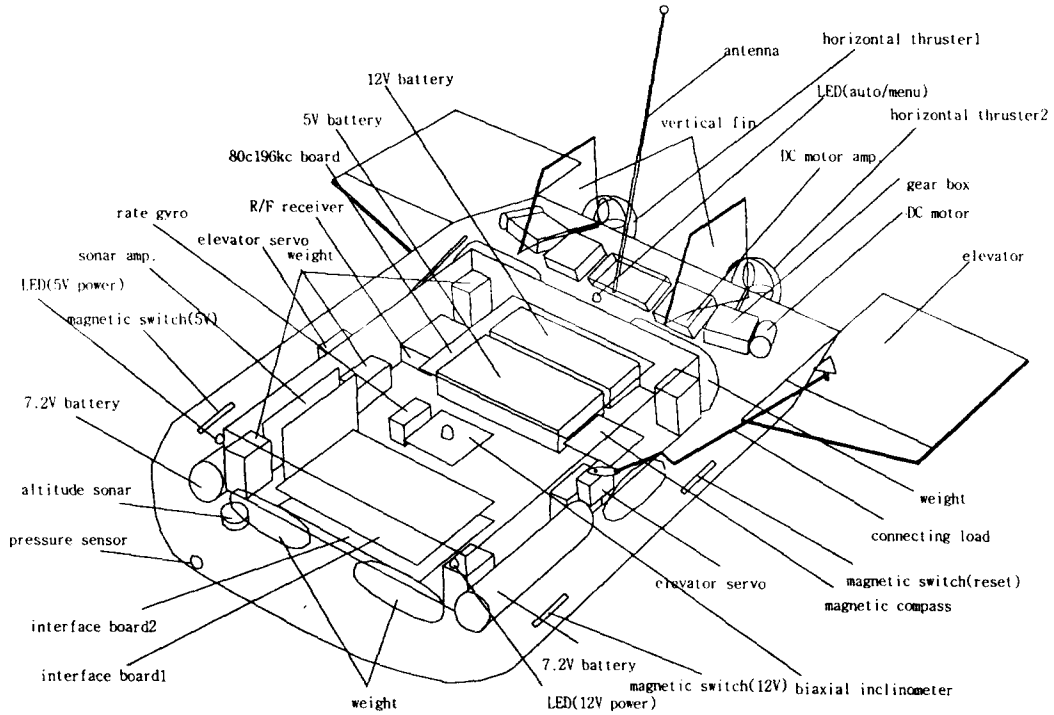


Fig. 1 TAUUV의 구성도

로 제작하였다. 고도계측은 송신된 신호가 반사되어 수신되기까지의 시간을 타이머로 계측하여 거리로 환산하는 방식을 이용하였다.

Table 2 마그네틱 컴퍼스

Manufacturer	PRECISION NAVIGATION, INC.
Type	TCM2
Input voltage	+5VDC
Operating range	0~360 °
Output	0~5VDC
Resolution	1.4 °

Table 3 2축 경사계

Manufacturer	Applied Geomechanics
Type	Model 900
Input voltage	+8-+24VDC
Operating range	±20 °/sec
Output	±2.5VDC
Resolution	0.01 °
Linearity	±1% : ±20degree unit

Table 4 레이트 자이로

Manufacturer	MURATA
Type	ENV-05
Input voltage	+8-+13.5
Operating range	±90 °/sec
Output	2.5±0.3V(at 0 °/sec)
Scale factor	22.2±1.8mV/deg/sec
Resolution	0.1 °/sec
Linearity	±0.5% full scale
Drift	0.2V _{D-D} max.
Sensitive axis to case alignment	±1 degree maximum
Bandwidth	7Hz max.

압력센서는 스트레인형으로 최대 1기압까지 센싱 가능한 것을 사용하였다. 센서는 일본의 昭和測器 株式會社の 제품이고 앰프는 별도로 제작하여 장착하였다.

2.3 구동장치 및 전원

TAUV의 구동장치는 선체의 추진을 위한 두 개의 DC모터와 두 개의 서보로 구성된다. DC모터는 7.2V 전원으로 최대 20,000rpm의 회전성능을 갖는 소형 고효율 모터이고, 기어박스를 장착하여 감속시켰다. DC모터의 앰프는 PPM 신호에 의해 구동되며, 정·역전이 가능하다. 서보는 승강타를 제어하기 위한 것으로 55×25×50mm의 크기이며, 승강타와 커넥팅로드로 연결되어 있고, 역시 PPM신호에 의해 제어된다.

TAUV의 전원은 12V-1.3A, 7.2V-3.3A, 5V-2A의 3종류의 Ni-Cd축전지를 사용하였으며, 압력센서 앰프에 필요한 -12V의 전원은 DC-DC 컨버터로 12V전원을 변환하여 사용하였다. 또한 자석스위치를 장착하여 외부에서 자석으로 5V전원과 12V, 7.2V전원을 각각 ON/OFF 시킬 수 있도록 하였다.

2.4 제어시스템

TAUV의 제어시스템은 80C196KC를 주제어기

로 하여 구성되어 있다. 80C196KC는 A/D변환 및 PPM신호 인터페이싱 및 컨트롤 등을 수행하는 메인 컨트롤러로 사용된다. 또한 소나신호처리 등과 같이 고속의 연산이 필요한 경우, TMS320C31을 보조연산기로 사용할 수 있도록 하였다. 이 때 주 제어기와 보조연산기와는 Dual Port RAM을 통하여 통신을 하도록 구현하였다. Fig. 2는 TAUV 제어시스템의 블럭선도를 보이고 있다.

80C196KC에서는 HSI(High Speed Output)포트를 통하여 R/F신호를, 그리고 4개의 A/D채널을 통하여 헤딩, 피치, 피치레이트, 압력을 각각 받아들일도록 하였으며, 포트의 한 비트는 TAUV의 자동/수동 모드 전환시 LED의 점멸을 위해 이용하였다. 그리고, 두 개의 추진기와 승강타의 구동을 위한 모터와 서보의 구동 신호는 두 개의 8254 타이머를 이용하여 생성시켰다. 그리고 보드의 하드웨어 리셋을 위하여 자석스위치를 장착하였다.

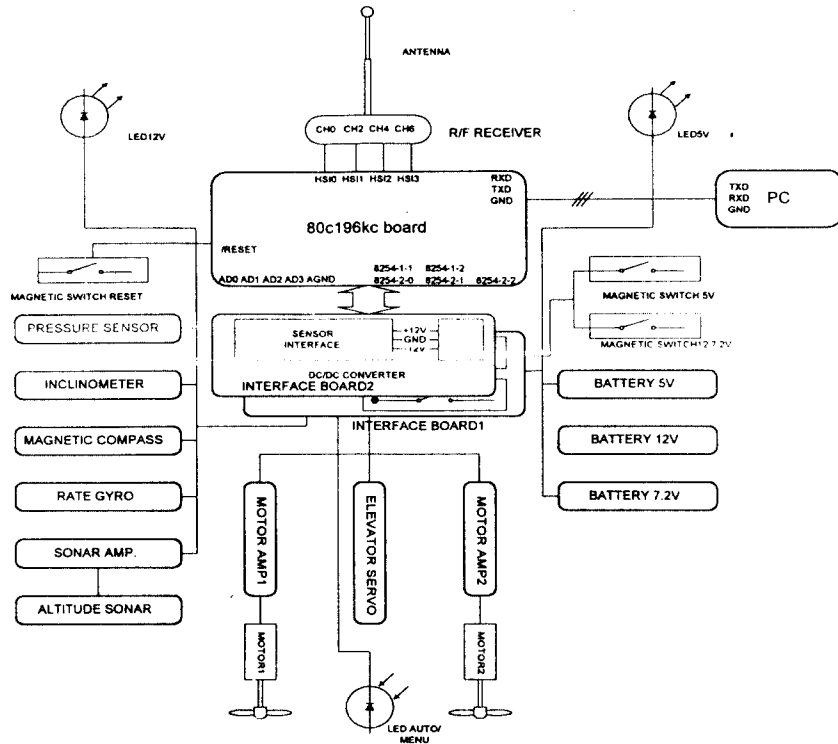


Fig. 2 TAUV의 제어시스템 블럭선도

3. 소프트웨어

TAUV의 소프트웨어는 크게 두 부분으로 나누어 지는데, PC와 시리얼 통신을 하며 다운로드, 업로딩, 통신테스트 및 데이터 로딩을 담당하는 시스템운용(OS:Operating System) 프로그램과, PPM신호를 인터페이스하고 제어알고리즘에 따라 현재의 상태를 센싱하며, 구동장치의 제어를 담당하는 제어 프로그램으로 구성되어 있다. OS프로그램은 80C196KC 보드상의 ROM에 제어프로그램은 RAM에 각각 위치하고, RAM은 프로그램 영역과 데이터 영역으로 나누어 8000h-a000h까지를 프로그램 영역으로, a000h-ffffh까지를 데이터 영역으로 사용 하였다.

3.1 시스템운용 프로그램

시스템운용(OS) 프로그램은 제어프로그램 및

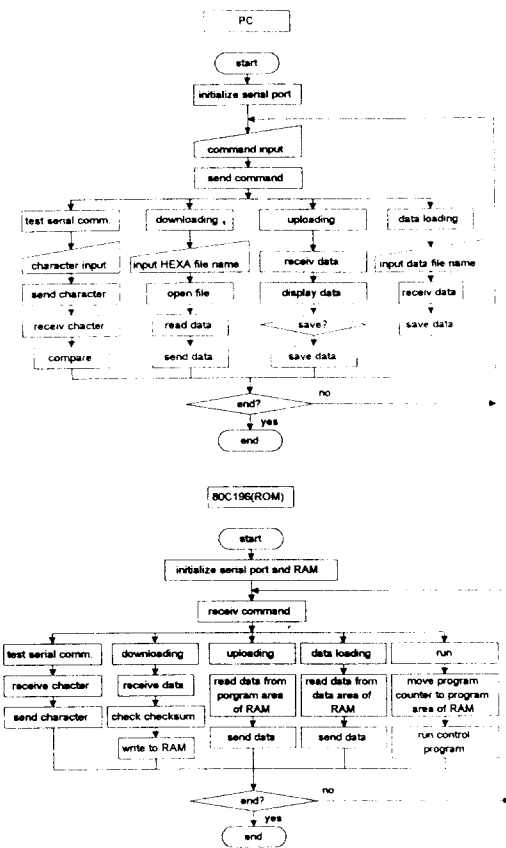


Fig. 3 OS프로그램 흐름도

제어 파라미터의 다운로드와 계측 데이터의 업로딩을 위한 프로그램으로 80C196KC측 프로그램과 PC측 프로그램으로 구성된다. PC측의 프로그램은 컴파일된 제어프로그램을 헤사파일 포맷으로 80C196보드로 전송하기도 하고 80C196보드에서 전송되어 온 프로그램 및 데이터를 받아 파일로 저장하는 등의 작업을 담당하고, 80C196KC측 프로그램은 PC로부터 전해 오는 제어프로그램을 RAM에 다운로드, RAM의 프로그램을 PC측으로 업로딩, 시리얼 통신의 테스트, 그리고, 제어결과로 저장된 RAM의 데이터를 PC로 보내는 작업을 수행한다. Fig. 3에 OS프로그램의 흐름도를 보여주고 있다.

3.2 제어프로그램

제어프로그램은 OS프로그램에 의해 80C196 보드상의 RAM의 프로그램 영역에 다운로드되며 제어알고리즘이 바뀔 때마다 갱신되는 프로그램이다. 제어프로그램은 메인루틴, HSI인터럽트 루틴, 소프트웨어타이머 인터럽트 루틴으로 구성되어 있다. 메인루틴은 각종 레지스터 및 인터럽트 플래그를 셋팅한다. HSI인터럽트 루틴은 R/F수신기의 PPM

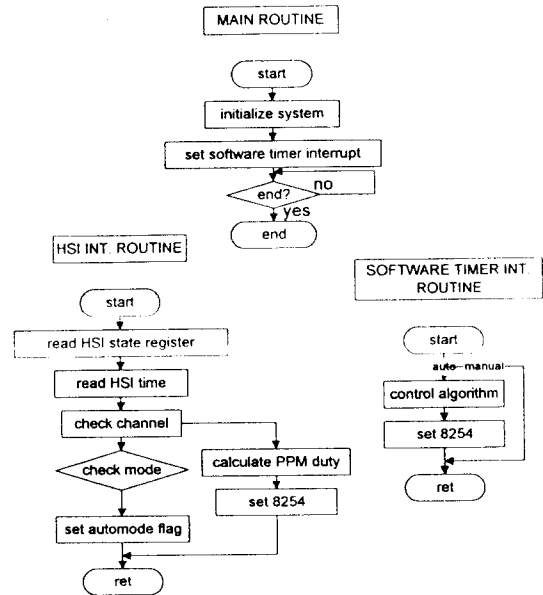


Fig. 4 제어프로그램 흐름도

신호에 의해 호출되며, PPM신호에 따라 자동/수동 모드를 전환하고 수동모드일 경우 R/F송신기로부터 수신된 PPM신호를 재생하고, 자동모드일 경우 제어알고리즘의 연산에 의해 TAUV의 운동을 센싱하고 PPM신호를 생성시킨다. 소프트웨어 타이머 인터럽트 루틴은 일정한 샘플링 시간마다 호출되어 제어알고리즘이 수행된다. Fig. 4에 제어프로그램의 흐름도를 보이고 있다.

3.3 시스템 운용순서

TAUV를 이용하여 수조시험을 할 경우 시스템의 운용순서는 다음과 같이 이루어진다.

1. 마그네틱 스위치로 프로세서전원(5V) on
2. 시리얼 통신 케이블의 연결
3. 제어프로그램 및 파라미터의 다운로드
4. 시리얼 통신 케이블의 제거
5. 마그네틱 스위치로 추진기전원(7.2V,12V) on
6. AUV 진수 및 R/F송신기로 수동모드 운전에 의해 초기위치로 이동
7. R/F송신기로 자동모드 운전으로 전환
8. AUV 회수 및 시리얼 케이블의 연결
9. 마그네틱 스위치로 시스템 리셋
10. PC측으로 측정데이터의 업로딩

4. 성능시험 및 고찰

본 연구를 통하여 개발된 TAUV의 하드웨어와



Fig. 5 수조 항해시험중의 TAUV

소프트웨어의 성능을 시험하기 위해 간단한 수조 시험을 행하였다.

Fig. 6은 수조에서 시험하기에 앞서 먼저 공기중에서 선체의 초기 선수각과 피치각을 각각 39°와 0°로 하고, 선수각을 12초 후에 47°로, 17초 후에 33°로 임의로 회전 시켰다가 다시 39°로 원위치 시킨후, 피치각을 22초 후에 20°, 24초 후에 -20°로 변화 시킨 후 원위치 시켰을 때의 측정된 데이터의 결과를 나타내고 있다.

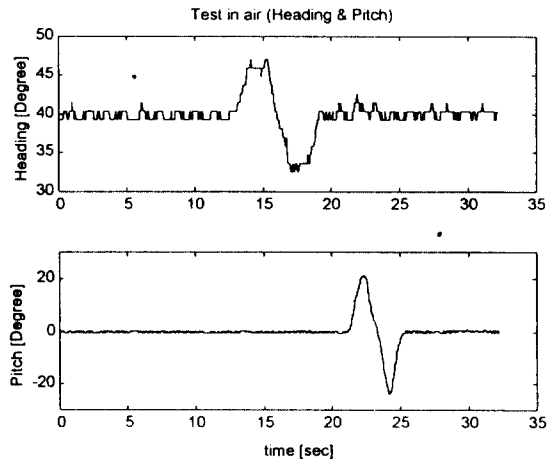


Fig. 6 공기중에서의 시험결과

수조시험에서는 비례제어를 이용하여 일정 속도로 항행하는 TAUV의 선수각을 제어하였다. Fig. 5에 항행하는 TAUV의 사진을, Fig. 7과 Fig. 8에 실험결과를 각각 나타내었다. Fig. 7은 선수각의 초기치와 목표치를 기준위치에서 38°로 하였을 때의 선수각 응답과 두 추진기의 입력을 나타낸다. 실험결과에서 선수각 응답은 대체로 $\pm 2^\circ$ 범위 내에서 수렴하고 있으나, 33초 시점에서 $+4^\circ$ 의 오차를 보인 것은 센서의 분해능이 1.4° 이고, 비례제어기만을 사용하였기 때문인 것으로 생각된다. 추진기의 입력은 선수각의 변화에 비례하여 결정되고 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 초기 선수각을 50° , 목표선수각을 80° 로 하여 제어하였을 때의 선수각 응답과 두 추진기의 입력을 나타내고 있다. 7초 시점에서 오버슈터가 일어난 후 목표치에 접근해 가는 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 자율 무인잠수정의 제어알고리즘의 개발, 운용소프트웨어 개발, 성능 평가 및 각종 센서들의 특성을 파악하기 위한 테스트-베드 AUV의 하드웨어와 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 AUV는 헤딩, 피치, 피치변화율 및 고도를 측정할 수 있으며 두 개의 추진기와, 두 개의 승강타를 이용하여 자세제어를 행할 수 있다. 테스트베드 AUV의 성능을 시험하기 위해 선수각 제어 및 자동수심 유지제어를 위한 수조시험을 행하였으며, 선수각 제어에 대한 실험 결과를 제시하였다. 자동수심 유지제어에 관한 실험은 아직 진행중에 있으며 차후에 그 결과를 발표할 예정이다.

후 기

본 연구결과는 과기처의 출연연 기관고유 사업의 일환으로 수행된 “200m급 탐사용 AUV(Ⅱ)” 연구결과의 일부임을 밝혀 둔다.

참고문헌

- 1) 한국기계연구원, “200m급 탐사용 AUV 개발”, 1차년도 연차보고서, pp. 1~16, 1995.4
- 2) リ-ダ, 白崎, 勇一, “AUV「AQUA EXPLORER 1000」の 實用と水中画像傳送技術”, 日本深海技術協會報, pp. 5~10, 1995年 3号
- 3) 이판목, 이종식, “신경회로망을 이용한 auv의 적응적 운동제어”, 선박해양기술 제18호, pp. 40~50, 1994
- 4) 최학선, 이종식, 이판목, 이상무, 김현조, “수중 자율항주 로봇 개발을 위한 제어시스템연구” 한국자동제어학술회 논문집, pp. 824~827, 1995
- 5) 16-bit Embedded Controller Handbook, Intel Corporation, 1991
- 6) 한국기계연구원, “200m급 탐사용 AUV 개발”, 2차년도 연차보고서, pp. 176~182, 1996

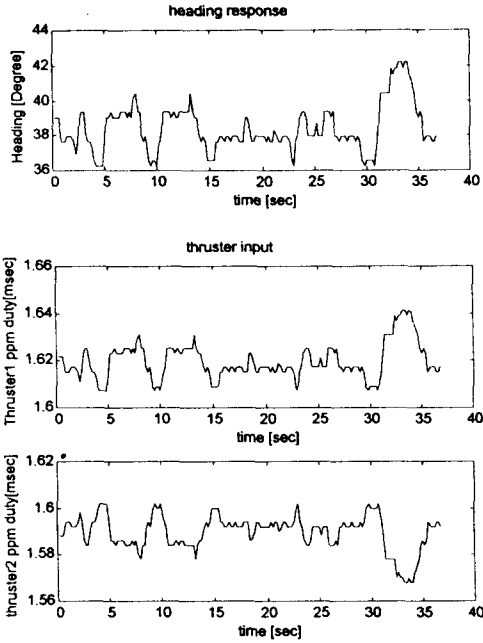


Fig. 7 선수각 유지실험의 응답 및 제어입력

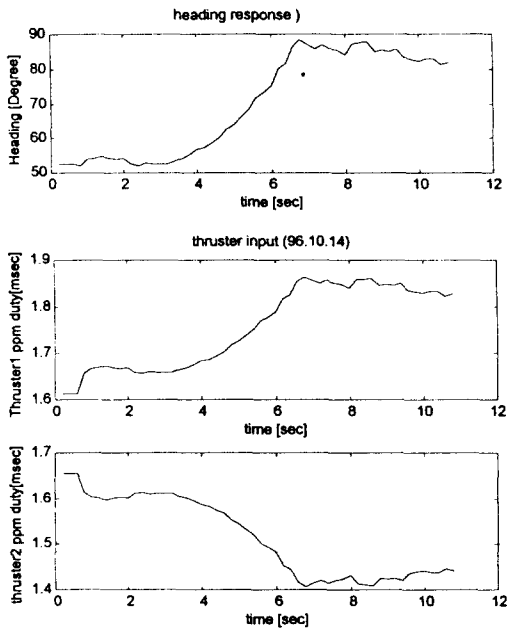


Fig. 8 선수각 추종실험의 응답과 제어입력