

새로운 Convertible ROV의 설계 연구

최형식[†] · 전지광¹ · 정상기² · 박한일³ · 유삼상⁴

(원고접수일 : 2011년 8월 17일, 원고수정일: 2011년 11월 23일, 심사완료일 : 2012년 4월 16일)

Study of Design for Convertible ROV

Hyeung-Sik Choi[†] · Ji-Kwang Jeon¹ · Sang-ki Jeong² · Han-il Park³ · Sam-sang You⁴

요약 : 수중의 작업 목적에 따라 ROV와 AUV의 두 가지 용도로 사용할 수 있는 새로운 구조의 변신 6 자유도 수중로봇의 설계연구를 하였다. CROV의 ROV모드와 AUV모드에 대한 각각의 구조 설계연구를 수행하였으며 각각의 모드에 대한 제어시스템을 설계하고 AUV의 경우에는 추력에 따른 항해속도에 대한 해석을 수행하였다. ROV나 AUV의 정확한 위치 및 속도를 추정할 수 있도록 다양한 센서신호를 퓨전하여 처리하는 센서퓨전보드를 제작하고 확장 칼만필터를 포함하는 전체 제어시스템을 설계하고 제작하였다.

주제어 : 유선 원격 제어 잠수정, 자율 무인 잠수정

Abstract: In this paper, the design study of a new convertible six d.o.f underwater robot which can be a ROV or AUV according to underwater work purpose is presented. A structure design about the ROV and the AUV and its design on the control system is presented. In case of the AUV, an analysis on thruster forces in accordance with operating speed has been performed. A sensor fusion board which can proceed various sensor signals to identify correct positions and speeds has been developed and a total control system including EKF(Extended Kalman Filter) has been designed and developed.

Key words: CROV (Convertible Remotely Operated Vehicle), AUV (Autonomous Underwater Vehicle)

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 효율적인 자원이용과 개발을 위해 해양개발이 시급히 요구된다. 이를 위한 무인잠수정의 개발 필요성은 해양 자원 개발 및 해양공간의 확보 차원에서 그 중요성이 증대되고 있다. 지난 20여 년간 무인잠수정 관련 기술은 심해 탐사에서부터 대잠수함 전투까지 산업적, 군사적으로 이루어진 많은 응용에 기반하여 괄목할 정도로 크게 진보되었다[1].

수중로봇은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 유선

원격제어 무인 잠수정 ROV(Remotely Operated vehicle)와 자율 무인 잠수정AUV(Autonomous Underwater Vehicle)로 나눌 수 있다[2-3].

ROV는 모선에 연결된 케이블을 통한 수동적인 제어로 구동되고 보통의 경우에는 작업을 위한 매니플레이터가 달려있어 수중바닥면에 안착한 후에 혹은 저속의 운동에서 작업을 수행한다. AUV는 원격조종과 동력 전달을 하기 위한 별다른 장치 없이 동력원과 스스로 움직이기 위한 제어장치 및 센서를 갖추고 주로 수중탐사 작업이나 단순한 조작성

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

1 한국해양대학교 대학원 기계공학과

2 한국해양대학교 대학원 기계공학과

3 한국해양대학교 해양공학과

4 한국해양대학교 기계에너지시스템 공학부

할 수 있도록 구성되어 있다. 이와 같이 ROV와 AUV는 작업 목적에 맞게 구조와 성능이 명확히 구분이 되도록 설계 제작되어 한번 제작되면 주어진 용도 외에는 다른 일을 할 수가 없다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하도록 작업 목적에 따라 ROV와 AUV의 두 가지 용도로 사용할 수 있는 새로운 수중로봇의 설계를 하였다. ROV로 사용할 때는 수중 매니플레이터를 부착하고 수상에서 연결된 테더 케이블로 공급되는 전력을 이용하여 원격으로 수중에서의 작업이 가능한 ROV로 구성된다. 또한, 매니플레이터와 테더 케이블을 제거하면 수중작업보다는 수중탐사와 같은 작업을 할 수 있는 AUV의 특성을 갖는 구조로 변신되는 새로운 구조 및 성능의 CROV(Convertible ROV)의 설계 연구를 하였다.

2. 무인 잠수정의 기구부 설계

2.1 ROV의 기구부 구성

ROV는 주로 수중에서 장시간 머무르며 작업을 할 수 있도록 테더 케이블을 이용한다. 이러한 ROV도 수중에서 목적지까지 내려가는 동안 원하는 위치로의 도착을 위해 대부분 6자유도로 구성된다.

본 연구에서는 수중에서의 해류나 선체의 유체 저항을 최소화하기 위해 유선형의 선체로 설계하였고 수평방향의 자기위치를 강인하게 유지하기 위하여 4대의 추진기를 대칭적으로 구성하도록 설계하였다. 또한 6 자유도 운동제어에 적합하도록 상하 대칭으로 3대의 수중추진기를 Figure 2과 배치 설계하였다.

본 연구에서 CROV는 Figure 2와 같이 전체 기구부 구성은 선체, 제어하우징, 전원하우징, 배터리 하우징, 테더케이블, 매니플레이터, 추진기, DVL, USBL로 설계하였다. AUV모드로 전환시 기본 구성품은 매니플레이터를 제외한 나머지 부분은 ROV모드와 동일하다. ROV 형태에서의 자기 위치 유지 및 자세제어에 용이하도록 7개의 추진기를 6 자유도 운동제어에 적합하도록 전방 30도의 각도를 가지고 배치하였다. 4개의 수평 추진기는 자율 운항 시 필요한 추력을 내기 위해 사용하며 3개의

수직 추진기는 선체의 상하 운동 때 사용 되도록 설계 하였다. 또한 각 추진기는 ROII 모션시 최대 복원력을 낼 수 있도록 선체의 좌/우 측면 끝에 근접 배치하였다.



(a) ROV 모드



(b) AUV 모드

Figure 1: Convertible CROV (수정).

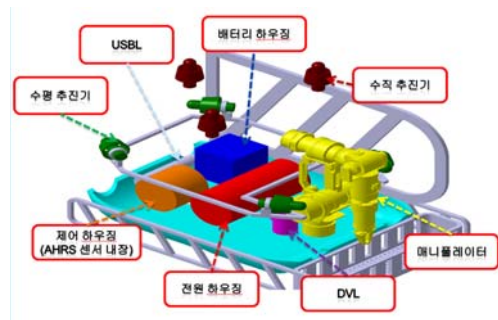


Figure 2: Internal view of the CROV

2.2 ROV의 구조설계

ROV 모드에서의 구조를 설계하였다. 중소형크기로 최소한 중량을 갖도록 최적 구조설계를 하였다. 제어, 전원, 배터리 하우징, 매니플레이터 및 추진기들을 선체에 튼튼하며 용이한 구조로 구성되도록 설계하였다. 이들은 Figure 3의 개발 ROV의 측면 단면도에 나타나 있다.

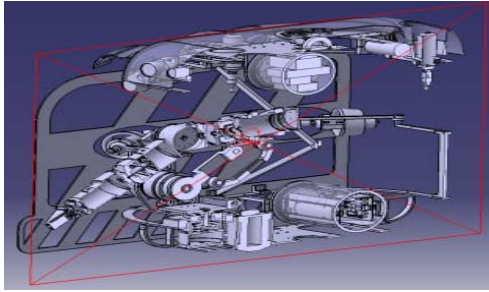
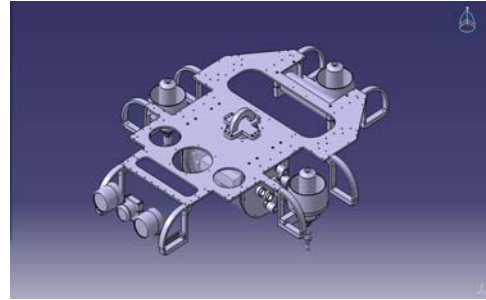


Figure 3: Designed figure of side interior structure

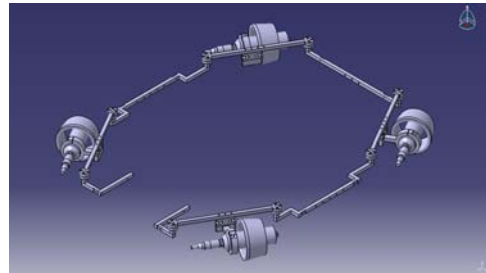
ROV의 상세설계는 Figure 4와 같다. ROV의 중량을 100Kg 이내로 줄이기 위하여 프레임은 주로 알루미늄 판재를 사용하고 강도보강을 위해서는 알루미늄 각재를 사용하였다. (a)는 ROV의 상판에 카메라, 조명 및 상부 추진체를 각재를 이용하여 고정하도록 설계하였다. (b)는 수평 추진체들을 고정하며 ROV의 중간지지대를 위한 중간지지대이다. (c)는 제어, 전원, 배터리 하우징들을 고정하며 ROV를 지지하는 하판이다. 그리고 (d)는 ROV 몸체 전반을 지지하도록 레이저 절단방법을 적용하도록 설계한 외부지지 프레임이다.

2.2.1 매니퓰레이터의 구성

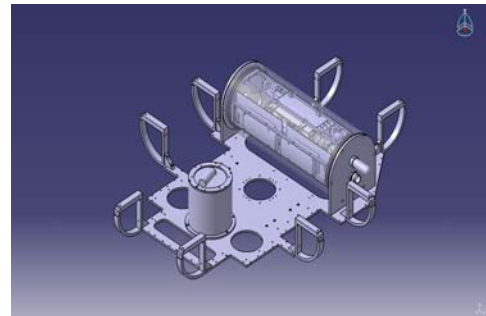
ROV에 적용할 매니퓰레이터를 직접 제작하였다. 매니퓰레이터의 구조는 작업공간을 크게 하고 어깨관절의 부하를 줄이기 위해 하부 관절 3개가 최하부로부터 요-피치-피치 구조이다. 따라서 관절 구동기의 용량을 작게 설계하여 경량이고 소형화된 설계를 하였다. 해중에서의 매니퓰레이터의 구조는 Figure 5와 같다. 전체 중량은 25kg의 경량이지만 가반하중은 공기 중에서 20kg으로 설계 제작하였다. 전기모터 기반의 소형 경량이지만 중량대비 가반하중의 비가 0.66인 고가반하중의 성능을 갖는다. 매니퓰레이터의 2중 오일 구조를 적용한 새로운 회전축계 방수 구조인 관절구동기의 방수테스트를 실시하여 성공적으로 마쳤다, 또한 육상 시험에서 관절구동기의 토크 시험을 통하여 20kg의 외부 부하를 이송할 수 있는 성능을 검증하였다.



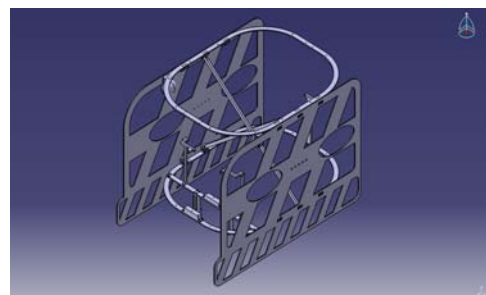
(a) Upper body frame



(b) Middle support frame



(c) Bottom frame



(d) Exterior support frame

Figure 4: Detailed Design figures of ROV



Figure 5: Electric underwater manipulator

개발한 관절구동기의 육상성능시험을 하였다. 시험 조건은 입력 48V 최대전류 2.5A 최대부하 40Nm로 시험하였고 그 결과는 Figure 5와 같다. 여기서 x축은 토크성분이다. 효율은 토크가 0일 때부터 증가하다가 23Nm부분에서 최대효율이 약 65% 정도가 되고 최대효율을 지나면서부터 점차적으로 감소한다. 회전속도는 무부하 상태일 때 19rpm 정도이고 토크가 커지면 커질수록 감소한다. 전류 및 출력은 토크에 비례해서 증가한다. 정지 토크가 정격 토크의 약 9.17배인 것을 감안할 때 제작된 관절구동기는 목표 최대 토크인 66Nm의 약 3.2배 정도를 낼 수 있다.



Figure 6: Results of dynamo test

2.2.2 추진체 설계

Figure 7은 제작된 수중추진체의 본체 사진이며 각종 이물질 및 추력을 향상시키기 위한 가드 및 방수커넥터를 장착한 사진이다. 모터에서 바로 프로펠러로 동력전달이 가능한 구조이다. 또한 감속기와 마그네틱 커플링을 제거하여 간편한 구조인 outer rotor 방식을 채택하였다.

Figure 8은 수중추진체에 내장되도록 개발한 소형 BLDC 드라이버이다.



Figure 7: Underwater actuator for ROV



Figure 8: Driver of the convertible ROV

2.3 AUV의 구조

ROV를 AUV로 변신할 때는 ROV구조에서와 같이 4개의 수평 추진기와 3개의 수직 추진기로 총 7개의 추진기를 가지며 6자유도 운동을 제어할 수 있는 구조가 되도록 설계하였다. AUV의 크기는 조작하기에 편리하면서 필요 장비를 탑재 할 수 있는 크기로 정하였으며 설계된 ROV 및 AUV의 개략적인 재원은 Table 1과 같다.

Table 1: Specification of the CROV

구 분	ROV	AUV
Size	800×1000×900 mm	560×750×280 mm
weight	150kgf	70kgf
Max depth	200m	200m
actuators	300W BLDC motor×7	300W BLDC motor× 7
DOF	6	6
Battery housing	없음	230mmx502mm
Power housing	230mmx502mm	230mmx502mm
Controller housing	230mmx250mm	230mmx250mm

2.3.1 AUV의 추력계산

무인 잠수정은 수중에서 받는 항력보다 큰 출력을 낼 수 있어야 한다. 외란을 무시하였을 때 수중에서 수평 추진기의 사용이 가능한지를 판단하기 위해 선체 형상을 입방체 형태로 가정, 수평 추진기가 최대 추력을 낸다고 가정하여 계산하였다.

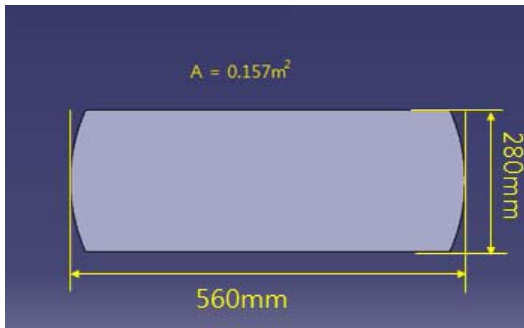


Figure 9: The control system of AUV

본 연구에서 설계된 AUV의 직진 운동시 횡단면의 단면적을 Figure 9와 같이 나타내었다.

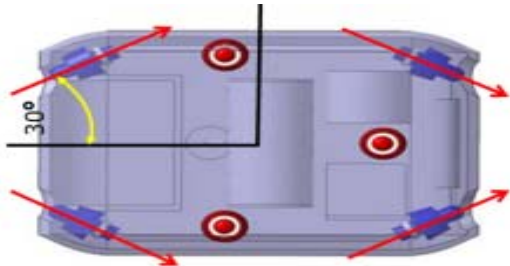


Figure 10: The control system of AUV

Figure 10과 같이 최대 추력 5kg의 모터 4개를 30°의 각도로 비틀어 달았을 경우 추력은 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{F \times g}{0.5 \times \rho \times C_d \times A}} \quad (1)$$

여기서 $F = 5 \text{ Kg} \times \cos 30^\circ = 17.3 \text{ Kg}$, C_d 는 항력계수로 AUV의 전면을 반구형태로 설계하여 0.8로 가정, ρ 평균 바다 밀도인 1025 Kg/m^3 , A 는 AUV 전면 투영 면적으로 0.16 m^2 이다. 식 (1)을 계산하면

AUV의 최대 속도는 1.6 m/s 이고 대략 3 Knot의 수평 추진속도를 가진다. 여기서 C_d 를 충분히 크게 설정하였는데, 선형설계를 최적으로 하여 이를 낮추면 최대 4Knot도 가능하게 설계될 것이다.

3. 제어 시스템의 설계

3.1 제어시스템의 구성

CROV의 전체 시스템 구성은 크게 두 가지로, ROV의 제어시스템과 AUV의 제어시스템으로 나누어진다. AUV나 ROV의 핵심적인 제어 시스템은 센서와 제어 장치를 포함 하는 것으로 같은 것을 사용한다. 다만 운용이나 운동 제어에서는 ROV는 Figure 11과 같고 AUV는 Figure 12 및 15와 같이 서로 상이한 제어 구조로 큰 차이점은 수행하는 작업의 자율성에 따라 구분된다.

ROV는 주행 시 오퍼레이터의 제어에 따라 선체의 움직임이 제어되는 알고리즘을 채택하고, AUV는 오퍼레이터가 필요 없는 자율 구동 알고리즘이 필요하다. 서로 상이한 목적을 가진 장비를 한 운동체에 구성하기위해 기구부에서의 차이점과 같이 제어 알고리즘의 차이점 또한 필요하다.

우선 제어시스템의 구조를 각각 살펴보면 ROV 모드에 적용하는 제어시스템은 Figure 11과 같다 [4]. ROV 는 선상에서 VDC 300V를 인가 받아 전원하우징에서 추진체 및 각 카메라, 조명, 각종센서와 제어 회로에 필요한 전압을 얻기 위해 전압강하와 전압 안정화 회로로 구성하였다[5-6].

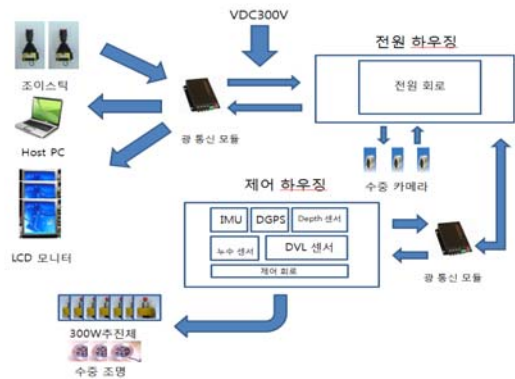


Figure 11: The control system of ROV

ROV의 제어시 수중에서 선체의 상태를 실시간으로 오퍼레이터가 알기위해 3대의 저조도 수중 카메라를 장착하였다. 제어하우징의 IMU, DGPS, DVL, Depth 센서를 이용하여 Host PC와 선체와의 데이터 통신으로 오퍼레이터는 선상에서 ROV의 진행방향, 현 위치, 선체의 상태 등을 체크 할 수 있다. ROV와 오퍼레이터와의 정보교환에 중점을 두고 제어시스템을 설계하였다.

AUV의 제어 시스템은 ROV와 제어 회로를 유사하게 설계하였다. AUV 모드의 제어시스템 구성은 Figure 12와 같다[7].

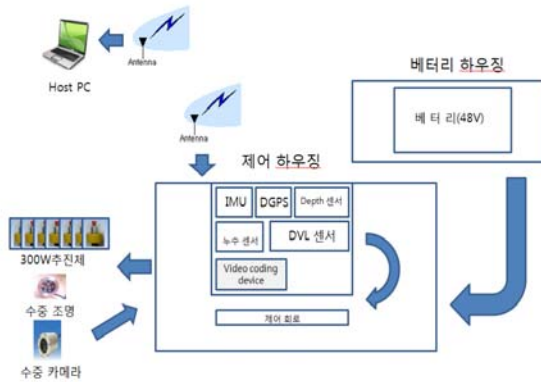


Figure 12: The control system of AUV

AUV의 제어시스템은 ROV의 제어시스템과 유사하나 AUV 모드에서는 선상으로 전송되는 센서의 데이터가 직접 제어 회로에 전송되어 센서 데이터의 연산을 통해 현재 위치를 추정, 선체의 상태와 경로를 제어하게 된다. ROV의 제어 회로에 DSP프로세서인 TMS320c 28335를 사용하여 데이터 수신회로를 결합하게 된다. AUV는 주행 중 수집된 영상을 메모리에 저장하여 회수 후 영상 데이터를 육상에서 분석할 수 있도록 영상 저장장치를 따로 제어하우징에 장착하였다.

추진체의 제어를 위한 센서데이터는 확장 칼만 필터를 사용하여 각각의 센서 데이터를 Figure 13과 같이 융합하고 AUV에서 중요한 자율 주행 알고리즘에 적용하도록 설계하였다.

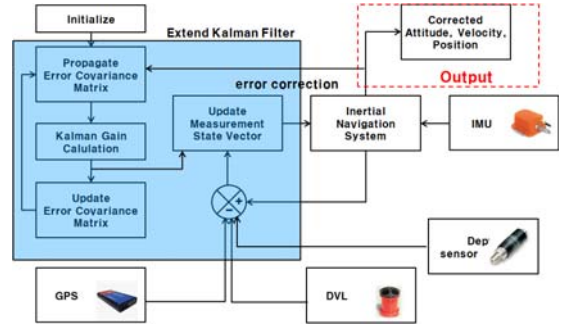


Figure 13: Sensor fusion using Ex-Kalman Filter

3.2 센서시스템의 구성

CROV의 센서 시스템은 선체의 현 상태, 경로, 위치등의 데이터를 정확하게 처리하여 수중동작에 매우 중요한 부분이다. 정확한 위치 값과 경로 등을 파악하기 위해서 Figure 14과 같이 여러 가지 센서로 구성된 센서신호 처리시스템을 구성하였고 Figure 15는 제작한 센서퓨전 신호처리시스템 보드이다. 센서의 퓨전을 위해 확장 을 사용하였다[8].

센서들, 칼만 필터의 알고리즘 및 추진체들을 포함하는 AUV선체 제어를 위한 전체 제어시스템은 Figure 16와 같이 구성하였다.

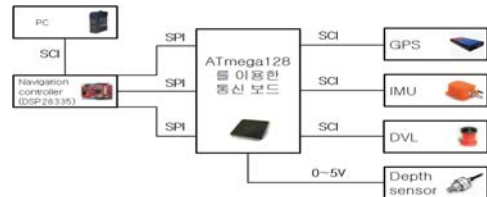


Figure 14: Block diagram of Sensor system

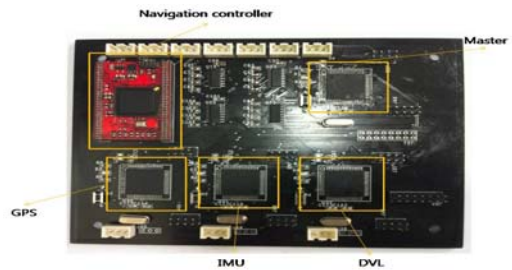


Figure 15: Developed sensor fusion system

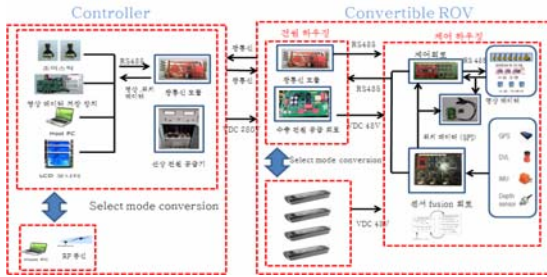


Figure 16: Overall control system

5. 결 론

수중의 작업 목적에 따라 ROV와 AUV의 두 가지 용도로 사용할 수 있는 새로운 수중로봇의 설계 연구를 하였다. ROV로 사용할 때는 수중 매니플레이터를 부착하고 수상에서 연결된 테더 케이블로 공급되는 전력을 이용하여 원격으로 수중에서의 작업이 가능한 ROV로 구성된다. 또한, 매니플레이터와 테더케이블을 제거하면 수중작업보다는 수중 탐사와 같은 작업을 할 수 있는 AUV의 특성을 갖는 구조로 변신되는 새로운 구조 및 성능의 CROV의 설계 연구를 하였다.

또한, CROV의 ROV모드에 대해 구체적인 구조 설계연구를 수행하였다. 또한, 각각의 모드에 대한 제어시스템을 설계하고 AUV의 경우에는 추력에 따른 항행속도에 대한 해석을 수행하였다.

그리고 ROV나 AUV의 정확한 위치 및 속도를 추정할 수 있도록 다양한 센서신호를 퓨전 하여 처리하는 센서퓨전보드를 제작하고 확장 칼만필터를 포함하는 전체 제어시스템을 설계하였다.

향후 개발한 CROV의 동적특성 및 항법제어에 대한 보다 심도있는 해석연구와 실험연구를 수행할 예정이다.

후 기

이 연구는 방위사업청/국방과학연구소가 지정한 UVRC(수중운동체특화센터)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

본 연구는 국토해양부에서 지원하는 “다관절 복합이동 해저로봇 개발”로 수행된 연구결과 임.

참고문헌

- [1] S. M. Ong, A Mission Planning Expert System with Three-Dimensional Path Optimization for the NPS Model 2 Autonomous Underwater Vehicle Master Thesis, Naval Postgraduate School, 1990.
- [2] 변승우 외, “수중작업용 Hovering AUV의 Test-bed 설계” 국방수중로봇 워크샵 2005.
- [3] Y. S. Choi, “Underwater robot technology for inspection”, Underwater Robot a Research Body Workshop, pp. 23-27, 2006.
- [4] 이종식, 이관묵, 이종무, 홍석원, “300m급 수중 ROV 개발에 관한연구” 한국해양공학회, 제8권 제1호, pp. 50-61, 1994.
- [5] 최현택, 김기훈, 이관묵, 이종무, 전봉환, “Introduction to ROV and motion control & signal processing for ROV hemire”, 한국정밀공학회, vol. 26, no.26, pp. 41-47, 2009.
- [6] 최현택, 류승철, 이관묵, 이종무, 전봉환, 이계홍, 김기훈, “심해 무인잠수정 해미래의 운동 제어 시스템”, 대한전기학회, ICS:07 정보 및 제어 심포지움 논문집, pp. 319~321, 2007.
- [7] 유선철, “Introduction to specific purpose AUV and applications”, 한국정밀공학회, vol. 26, no.5, pp. 33-40, 2009.
- [8] 오수훈, 김태식, “칼만 필터를 이용한 무인기의 표적 위치 추정 정확도 개선”, 한국항공우주연구원, 항공우주기술, 제6권, 제1호, pp. 237-244, 2007.

저 자 소 개



최형식(崔炯植)

1989년 미국 University of South Carolina 기계공학과(공학석사), 1993년 North Carolina State University 기계 및 항공공학(공학박사), 1993년 - 1998년 한국기계연구원(Post Doc), 2006년 - 현재 한국해양대학교 기계정보공학부(교수).

관심분야 수중로봇, 수중 항법 및 센서 시스템, 다관절 로봇



전지광(田智廣)

1983년생, 2009년 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2008. 3-현재 동대학원 기계공학과 재학(석사)



정상기(丁相基)

1984년생, 2011년 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2011. 3-현재 동대학원 기계공학과 재학(석사)



유삼상(柳三相)

1983년 부산수산대학교 ,기관공학과(공학사), 1990년 미국, 위스콘신대학교,기계공학과(공학석사), Mechanical Engineering, 1994년 미국, 아이오와 주립대학교 (Iowa State University) 기계공학과 (공학박사), 1985-1989 현대자동차 기술연구소 연구원, 1995-1996 국립여수수산대학교 전임강사, 2001-현재 한국해양대학교 교수, 2002-2003 미국 Northwestern University 객원교수, 관심분야: 시스템 동역학 및 제어, MEMS 설계, 분자기계 이론 및 설계



박한일(朴漢一)

1981년 한국해양대학교 기관학과 (공학사), 1986년 서울대학교 해양학과(이학석사), 1992년 런던대학교(UCL) 해양공학과(공학박사), 1984년-현재 한국해양대학교 기계공학부(교수). 관심분야: 진동. 3차원 정/동적 해석 및 피로수명 예측, 해저 파이프라인, 라이저 구조물. 잠수함, 해양구조물,