

심해 무인 잠수정 해미래의 운동 제어 시스템

Motion Control System of a Deep-sea Remotely Operated Vehicle, Hemire

최현택, 류승철, 이판목, 이종무, 전봉환, 이계홍, 김기훈
(H. T. Choi, S. C. Ryu, P. M. Lee, C. M. Lee, B. H. Jun, J. H. Li, K. Kim)

Abstract - This paper introduces a general overview of the 6000m class deep-sea ROV, Hemire and Henuvy, and then describes its motion control system. It is developed by Korea Ocean Research & Development Institute(KORDI) for 6 years since 2001, sponsored by the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF). Hemire is remotely operated by a fiber optic telemetry, where 6 thrusters are controlled by operator in manual mode and by auto depth control and auto heading control in auto mode. In this paper, operational mechanism of manual and automatic mode with some convenient functions for operator is described. Finally, results of sea trial conducted at the Philippine sea where a depth is 5,770m are shown.

Key Words : Deep-sea ROV, Motion control

1. 서론

아름다운 바다는 인간에게 매우 친숙한 환경이라고 생각되지만 사실 심해는 거의 탐사가 되지 않은 미지의 지역이다. 최근 수심 3000m이상의 미개척지에 관심이 집중되고 있다. 인류가 가지고 있는 식량, 자원, 에너지 등 여러 가지 문제의 해법을 찾을 수 있을 것이라는 막연한 기대가 작은 결과로 가시화되고 있기 때문이다. 심해저 망간단괴, 열수광상, 심해 생물, 해저 메탄수화물 등 심해 연구의 구체적인 목적과 발전 가능성이 알려지면서 국내에서도 심해 탐사의 필요성이 제기되었다. 그동안 심해에 대한 연구와 투자를 꾸준하게 지속해 온 외국에 비해 우리나라는 3면이 바다인 여건에도 불구하고 심해 연구와 이를 위한 여건은 초기 단계에 머물러 있다.

무엇보다도 심해 연구를 위해서는 다양한 첨단 탐사 장비와 지원 장비가 필요하다. 그중 가장 기본 장비인 심해 무인 잠수정은 심해 연구를 수행하기 위한 필수 불가결한 요소이다. 첨단 심해 탐사 기술은 군사 기술로 바로 이전이 가능하기 때문에 외국에서도 기술을 쉽게 개방하지 않고 있으며, 심해 연구가 진행되어감에 따라 필요한 장비는 연구의 목적, 방향, 환경 여건에 종속된 것으로 어떤 시스템이 필요한지 예측하기 어렵기 때문에 독자적인 심해 탐사 장비 설계 및 개발 기술의 보유가 심해 탐사의 성과와 직결된다고 할 수 있다.

한국해양연구원, 해양시스템안전연구소는 해양수산부의 지원으로 6000m 미터 까지 탐사가 가능한 차세대 심해용 무인 잠수정 개발 연구를 2001년부터 2007년까지 6년에 걸쳐 수행하였다. 해미래와 해누리로 명명된 심해 무인잠수정은 지난 2006년 봄과 가을에 걸쳐 동해와 태평양의 심해를 시범 탐사함으로써 성공적인 성능 검증을 하였다.

본 논문에서는 심해 무인잠수정, 해미래와 해누비에 대한 전반적인 특징과 기능 설명한다. 여기서 효율적인 탐사 작업이 가능하도록 설계된 운동 제어 시스템을 좀 더 구체적으로 기술하고, 태평양 탐사의 결과를 예로서 제시한다.

2. 심해무인 잠수정 시스템

2.1 해미래와 해누리

심해 무인잠수정은 그림 1에서 보는바와 같이 모선인 온누리호와 해미래, 해누비로 구성된다. 해미래는 실제 심해 탐사를 담당하고, 해누비는 해미래와 모선사이에서 완충 역할을 한다. 즉, 해미래가 모선의 케이블 영향으로 인하여 운동에 제약을 받지 않고, 모선의 해상 상태에 따른 영향이 그대로 전달되지 않도록 한다. 또한 해누리 만을 투입하여 장착된 측면 주사 소나를 이용한 지형 탐사가 가능하다.

해미래와 해누비는 모선인 온누리호에서 원격 조정된다. 이를 위해 온누리호에는 컨테이너로 제작된 선상 제어실과 전원실이 장착된다. 또한 6,000m까지 탐사를 위한 케이블 8,500m가 장착된 트렉션 윈치와 드럼이 장착되어 있다. 해미래는 전용 크레인으로 진수/인양되며, 해누비는 모선에 장착된 A-프레임에 의하여 진수/인양된다.

다목적 탐사장비로 설계된 해미래는 2개의 원격 조종 로보트, 전방탐지 소나와 5개의 비디오카메라를 장착하고, 특수한 목적에 필요한 추가 탐사 장비를 탑재할 수 있도록 개발되었다. 해미래와 해누비의 주요 사양은 표 1를 참고한다.

저자 소개

최현택: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박
류승철: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구원
이판목: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박
이종무: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박
전봉환: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박
이계홍: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박
김기훈: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 공박

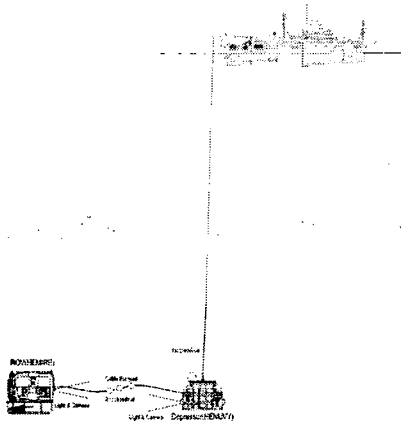


그림 1. 해미래/해누비의 운영 개념도

표 2 해미래와 해누비의 주요 사양

	해미래	해누비
길이	3.3 m	2.6 m
폭	1.8 m	1.2 m
높이	2.2 m	1.34 m
공기중 무게	3,667 kg	1,117 kg
속도	1.5kts(전후진), 1.0kts(수직, 횡방향)	해당없음
운영 심도	6000 m	6000 m
payload	200 kg	
공급 전력	40 kW	10 kW
주요 탑재 장비	2대 7자유도 로봇팔, 6대 추진기, 8 비디오 카메라, 전방감시소나, 리스폰더, 구난용 비이콘, CTD, IMU, DVL	측면주사소나, 2대 추진기, 2 비디오 카메라, 리스폰더(USBL), 거리계측소나, 고도계, 압력계

2.2 해미래 운동 조정 시스템

해미래는 그림 2에 나타난 것과 같이 조이스틱과 화면 GUI에 의하여 제어가 이루어지며, 수동 운영 모드와 자동 제어 모드를 선택할 수 있다. 모든 운영자의 입력은 하나의 실시간 쓰레드에 의해 다루어진다. 즉, 실시간 쓰레드는 자동 제어 모드와 수동 운영 모드에 관계없이 조이스틱, 제어기, 화면의 GUI에서 발생한 입력을 합하여 일정한 시간주기로 추진기에 전달한다. 실시간 제어는 윈도우즈에서 실시간 커널인 RTX를 이용하였으며, OOP에 의한 설계로 새로운 알고리즘의 적용도 유연하게 이루어질 수 있다.

2.2.1 수동 운영 모드

해미래의 왼쪽 조이스틱은 수직 추진기를, 오른쪽 조이스틱은 전후 추진기와 좌우 추진기를 제어한다. 조이스틱의 명령은 추진기의 RPM 명령이다. 잠수와 부상은 수직 추진기를 직접 제어하여 조작하며, 왼쪽의 조이스틱은 조작 후 자동으로 중심으로 돌아오지 않기 때문에 반드시 운영자가 조작을 하여야 한다. 운영자가 직관적으로 수직 추진기를 멈출 수 있도록 조이스틱의 0점에서 ± 100 의 구간을 사구간(dead-zone)으로 설정하였다. 오른쪽의 조이스틱은 조이스틱의 움직임에 따라 발생하는 명령을 모두 합하여 전후, 좌우, 회전 명령으로 전송한다.

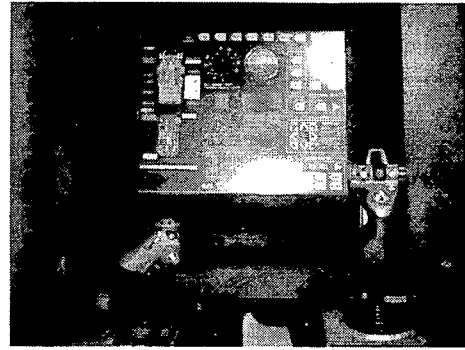


그림 2. 운동 조정을 위한 조이스틱과 GUI

2.2.2 자동 제어 모드

심해 무인 잠수정의 심해 탐사는 일반적으로 장시간이 소요되며, 운영자의 피로도가 매우 높다. 또한 시계가 불량한 3차원 환경을 2차원 화면에 의존하여 제어하기 때문에 많은 어려움이 있다. 이러한 것을 지원하기 위한 방법 중에 자동 제어 모드를 설정하는 방법이 있다. 자동 제어 모드는 운영자를 보조하여 보다 쉽고 안전하게 무인 잠수정을 제어할 수 있도록 돕는다. 자동 모드는 자동 심도 제어와 자동 선수각 제어로 구분된다. 현재 구현된 자동 제어 모드는 제어 성능의 평가보다는 운영자의 편의성과 작업의 효율성을 위한 기능 및 신뢰성에 중점을 두었다.

자동 심도 제어는 잠수정을 특정 심도에서 유지하는 기능과 이 상태에서 추진기의 RPM 명령이 아닌 심도 명령으로 정밀한 심도를 유지하면서 목표 심도로 이동할 수 있는 기능이 있다. 안전을 위한 “자동 심도 제어 모드 전환 제한” 기능은 추진기 명령이 0, 즉 ± 100 안에 있지 않으면 제어 명령의 큰 불연속으로 인한 위험을 방지하기 위해 자동 모드로 전환되지 않으며, 자동 제어 모드에서 추진기 명령이 ± 100 을 기준으로 자동 심도 제어 모드와 수동 운영 모드를 자동 전환하는 “자동 심도 제어 모드 전환” 기능이 있다.

자동 선수각 제어는 특정 선수각을 유지하는 상태에서 전후좌우의 이동이 가능하며, 이 상태에서 목표 선수각으로 회전이 가능하다. 선수각 제어를 시작하는 순간의 선수각이 목표 선수각이 되며, 제어 알고리즘에 의해 이 선수각을 유지하게 된다. 따라서 이 상태에서는 전후, 좌우 명령은 추가로 조이스틱에 의해 인가할 수 있으나 선수각에 변동을 주는 회전 명령은 작동하지 않는다. 이때 선수각은 화면의 GUI에 의해 좌우로 5도씩 회전이 가능하다. 이 기능을 이용하여 손의 미세 조정 없이 쉽게 선수각 조정이 가능하다. 만약 지정이 어려운 선수각으로 회전을 하여야 한다면, 오른쪽 조이스틱의 버튼을 눌러 선수각 제어 모드를 일시 해제하고, 수동 운영 모드로 선수각을 조정한 후에 자동 선수각 제어 모드로 복귀한다. 화면의 GUI에서 전후 또는 좌우 추진기에 일정한 RPM 명령을 인가하도록 하는 기능이 있다. 진수 인양시 일정한 방향으로 추진기를 구동하여야 하는 경우이나, 조류가 있는 지역에서의 작업등을 보조할 수 있는 기능이다.

자동 제어 알고리즘은 심도 제어의 경우, PD+feedforward, 선수각 제어의 경우, PD를 사용하였다. 각각의 제어기에 적분 제어기의 필요성이 있지만, 이득 설정 어려움과 wind-up 문제 발생에 따른 위험을 줄이기 위해 사용하지 않았다.

3. 실험역 시험

3.1 준비과정

해미래와 해누리비는 제작이 완료되고 공기 중에서의 기본 전기 및 통신 시험이 끝난 후, 2006년 2월 말경에 거제도 장목의 한국해양연구원 남해연구소로 이동되었다. 이곳의 해수 수조에서 다양한 기본 실험을 수행하였고, 전체 시스템은 부두 앞으로 이동하여 운동 성능 시험을 포함한 하드웨어와 소프트웨어의 시험과 실전과 유사한 진수 및 인양에 관련된 시험도 수행하였다.

3.2 실험역 시험

3.2.1 동해시험

해수수조시험, 부두시험, 그리고 연근해 시험에 이어 동해 울릉 분지 2,000m 수심 해역(36°30'N, 130°27'E)에서 해미래의 시험 탐사를 수행하였다. 동해시험은 2006년 4월22일부터 26일까지와 10월 26일부터 29일까지 2차례 진행을 하였다. 1차 시험에서는 기상악화로 인하여 줄어든 시험기간과 몇가지 부품의 불량 등의 원인으로 2,000m 목표에 미치지 못하는 1,065m 수심까지 잠수하였다. 2차 시험에서는 1차 시험에서 얻은 경험과 충분한 준비로 2,026m의 해저면에 도착을 하였다. 이곳에서 다양한 센서와 로봇팔등의 기능 시험과 해저면의 상징적인 표식을 설치하고, 심해 생물을 촬영하여 무사히 귀환하였다. 총 작업 시간은 4시간 40분이 소요되었으며, 해저면에 약 1시간 5분을 머물러 있었다.

3.2.2 태평양 시험

2차 동해 시험에 이어 온누리호는 서태평양 필리핀해로 이동하여 심도 5,600m-6,000m (20°34'N, 130°40'E)지역에서 시험 탐사를 준비하였다. 2006년 11월 1일부터 9일까지 진행을 한 시험에서 해누리 단독으로 해저면에 도착하는 시험 탐사를 거친 후, 해미래가 5,859 dBar의 해저면에 안착하였다. (이 수치는 수심 약 5,770m 에 해당한다.) 그림 3에 나타난 것과 같이 심해의 해저면과 생물체의 의한 것으로 추측되는 자국, 심해 생물체 등을 촬영하고 복귀하였다. 총 12시간 10분 잠수하였으며, 해저면에 2시간 55분 머물러 있었다.

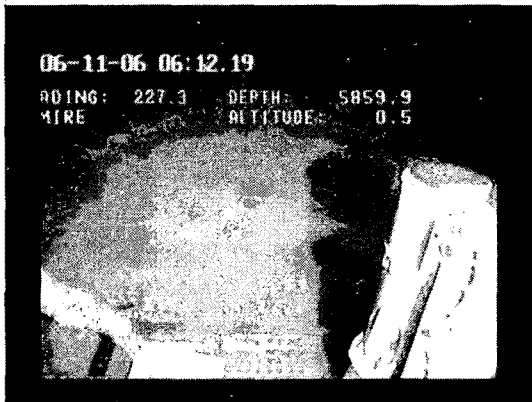


그림 3. 태평양 5859.9 dbar의 해저면 사진

3.2.3 자동 제어 결과

이미 설명한 바와 같이 심도 제어기는 PD+feedforward 방식을 사용하였다. 따라서 어느 정도의 정상 상태의 오차가 발생하고, 반면 해미래가 해저면에 안착하였을 때 제어 입력이 누적되지 않는다. 그림 4를 보면 약 17,000초까지 수동 운

영 방법에 의해 잠수를 하다가 자동 심도 제어 모드로 전환하여 심도 명령을 증가시키는 방법으로 잠수를 진행하였다. 적분 제어기가 없기 때문에 어느 정도의 정상 상태 오차가 보임을 할 수 있다. 다시 부상하여 장소를 이동한 후 다시 잠수를 시작하여 약 19,000초에서 자동 심도 제어 모드로 전환을 하였으며, 약 20,000초에서 해저면에 안착하였다. 그 후 다시 부상하였다가 약 24,000초에 다시 해저면에 안착하였다.

그림 5은 선수각 제어 결과를 나타낸 것으로 약 17,000초 이후에 자동 선수각 제어 모드로 전환하여 일정한 선수각을 유지하고 있음을 알 수 있다. 약 18,200초에 자동 선수각 제어 모드를 일시 중지했다가 다시 자동 모드로 전환하였으며, 약 18,750초 이후에는 해미래 선체에 외력이 일정하게 작용하여 선수각 명령과 일정한 오차를 보임을 알 수 있다.

심해에서의 부력과 해미래의 수중 동특성에 대한 연구와 경험으로 보다 정교한 제어기의 설계가 요구되며 이는 궁극적으로 작업의 효율과 안전 기여할 것으로 예상된다.

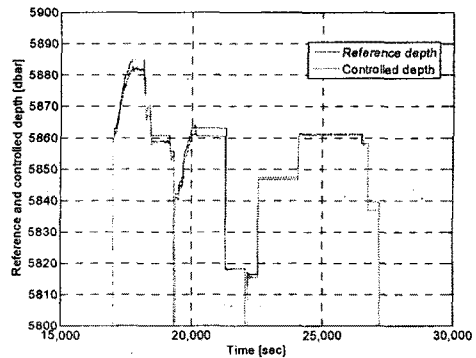


그림 4 해미래의 심도 제어 결과 (태평양 탐사)

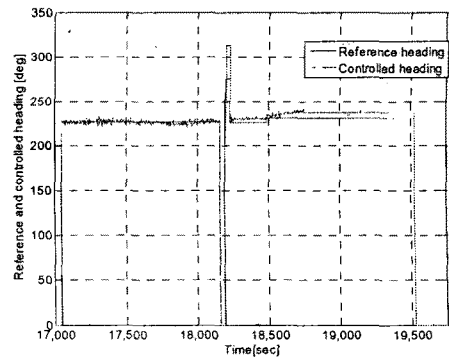


그림 5 해미래의 선수각 제어 결과 (태평양 탐사)

5. 결론

이 논문에서는 세계에서 4번째로 독자 개발 기술을 확보하여 개발된 심해 무인잠수정 해미래와 해누리비를 소개하고, 특히 시스템의 운동 제어 시스템에 대하여 설명하였다. 또한 총 6개의 추진기는 광통신 시스템에 의하여 원격 조정되며, 운영자의 작업 효율과 안전성 확보를 위해 자동 심도 및 선수각 제어 기능을 설명하였다. 최근 수행한 태평양 시험 탐사의 결과를 이용하여 기능을 분석하였다.

참고 문헌

지면관계상 생략함.