

심해 과학조사용 무인잠수정의 시스템 설계

이관목* · 이종무* · 전봉환* · 홍석원* · 임용곤*

*한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부

System Design of a Deep-sea Unmanned Underwater Vehicle for Scientific Research

PAN-MOOK LEE*, CHOONG-MOO LEE*, BONG-HWAN JEON*, SEOK-WON HONG* AND YONG-KON LIM*

*Ocean Development System Lab., Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI

KEY WORDS: UUV (Unmanned Underwater Vehicle) 무인잠수정, ROV (Remotely Operated Vehicle) 원격무인잠수정, Underwater Launcher 수중진수장치, AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 자율무인잠수정, Underwater Docking 수중도킹

ABSTRACT: According to Ocean Korea 21, a basic plan established by the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF) of Korea in May 2000, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO) proposed a program for the development of a deep-sea unmanned underwater vehicle (UUV) to explore deep sea for scientific purpose. KRISO has launched a project in May 2001 under the support of MOMAF. The deep-sea unmanned underwater vehicle will be applied to scientific researches in deep-sea as well as in shallow water. For operation of underwater vehicles in shallow water near the Korean Peninsula, a special design is required because of strong tidal current. In addition, MOMAF requires the vehicle to be designed for the purpose of long range survey, a long-term observation, and precise works in a specific area. Thus, KRISO has planned to design the system with the functional combination of both ROV and AUV. This paper presents the design of the deep-sea unmanned underwater vehicle.

1. 서 론

과학기술의 발달은 달에 인간의 발을 내려놓을 수 있게 하였으며 화성을 탐험하여 우주의 기원을 연구하고 있으나, 아직 지구상에 유일하게 탐사되지 않은 영역을 남겨두고 있다. 지구의 75%를 차지하고 있는 대양은 엄청난 자원의 보고이며 지구과학의 많은 문제의 해답을 얻기 위한 실마리를 제공할 것으로 생각되고 있다. 따라서 세계적으로 끊임없이 심해로의 도전이 진행되어 오고 있으며 최근 심해저 망간단괴, 열수광상, 심해생물, 해저 메탄 수화물 등의 존재가 알려지면서 심해저 탐사와 개발에 대한 관심이 더욱 고조되고 있다.

21세기 우리의 생존문제와 직결되는 수산식량, 광물, 에너지 및 공간 등 풍부한 해양자원의 보고이며 전 세계 석유, 천연가스의 28%가 생산되고, 심해저 광물, 에너지의 이용률도 급격히 증가할 것으로 예상되는 대륙붕 및 심해저를 적극적으로 탐사하고 개발하는 인프라 시스템으로써 심해 무인잠수정이 필수적이다. 해저작업에 직접 활용될 수 있는 탐사·조사 장비의 국내개발을 통하여 한반도 및 태평양 해역의 해양자원탐사작업, 해양과학조사연구, 해양

개발 산업을 활성화할 수 있을 것이다. 또한, 21세기에 세계적인 해양개발 경쟁에서 기술적 우위를 확보하기 위한 전략 산업기술의 기반을 확보하고 신개념의 무인잠수정 기술 개발이 요구된다.

이에 따라 해양수산부는 심해의 극한환경에서 인간을 대신하여 다양한 정보를 얻는 것을 가능하게 해 줄 심해 무인잠수정을 국내 개발함으로써 심해의 자료취득과 샘플 채취를 가능하게 하여 국내의 해양자원개발과 해양과학조사를 위한 인프라를 구축하고, 심해의 극한환경을 극복할 수 있는 수중작업시스템 개발 기술과 심해 신물질 및 심해 생명과학 연구의 기반을 확보할 계획이다. 한국해양연구원은 해양수산부의 지원으로 심해용 무인잠수정 개발 연구사업을 수행 중에 있다.

심해 무인잠수정의 개발 목적은 해양자원 탐사, 해양과학 연구, 해양산업 개발, 해양외교 증대 등 우리 나라의 해양개발 잠재력을 증대시키기 위하여 기반이 되는 해양 탐사·작업 장비의 인프라 시스템을 구축하는 것에 있다. 심해무인잠수정은 6,000m에 이르는 심해의 탐사해역에서 데이터를 취득하고 시료를 채취할 수 있으며, 광대역을 신속하게 조사할 수 있는 기능을 갖추는 것을 목표로 한다.

심해용 무인잠수정 개발계획은 해양개발기본계획 OK21 (해양수산부, 2000; Yoo, 2001)에 의거하여 2000년도에 실시된 「차세대 심해저 무인잠수정 개발을 위한 기획조사 연구」(홍석원, 이판목 외, 2001) 과제를 통하여 도출된 5개년 계획으로써, 2001부터 2005년까지 5년에 걸쳐 개발될 예정이며, 수심 6,000m에서 해양과학탐사와 시료채취를 목적으로 한다. 심해 무인잠수정은 전세계 대양의 98%를 조사할 수 있는 6,000m급으로 개발될 예정이므로, 통일 한국의 한반도 인근 해역뿐만 아니라 서태평양의 심해연구 및 태평양 C-C 해역의 심해 과학연구에 활용할 목적에 맞게 초점을 맞추었다.

심해 무인잠수정 시스템은 수중진수장치 (Launcher, 런처), ROV (Remotely Operated Vehicle) 및 소형 AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 등 세 가지 시스템으로 구성되며, AUV와 런처, ROV와 런처의 도킹기술, 비접촉 수중 충전 및 실시간 수중 데이터 통신 등의 첨단 기술이 접목될 예정이다 (Lee and Hong, 2001; Lee et al., 2001).

본 논문은 다중의 선체로 구성된 심해 무인잠수정의 구성과 기능을 설명하고, 다중선체 무인잠수정의 기계시스템과 전기전자 시스템 설계에 관하여 기술하고자 한다.

2. 심해 무인잠수정의 구성 및 기능

심해 무인잠수정은 수중진수장치, ROV, AUV 등 다중의 수중 선체로 구성되며, Fig.1은 무인잠수정의 구성도와 해저작업 개념을 나타내는 그림이다 (Lee and Hong, 2001). ROV는 해저면에서 정밀작업을 수행하는 목적으로 활용될 예정이며, AUV는 ROV가 해저에서 작업하는 동안 ROV 인근 해저를 신속하게 관측하기 위한 목적으로 ROV와 동시에 운용되는 개념으로 개발될 예정이다.

심해무인잠수정은 선상에서 수중진수장치, ROV 및 AUV를 일체형으로 결합하여 수중에 진수하고, 작업해역에 도달하기까지는 하나의 시스템으로 이동하는 방식을 취한다. 수직 이동은 지원모선의 윈치 시스템을 이용하여 잠함과 부상을 실시하며, 분당 최대 60m로 이동할 수 있도록 설계되었다. 이러한 방식은 런처를 보유하고 있는 일본 JAMSTEC의 KAIKO (Mikagawa, et al., 1999)와 동일한 방법이다.

심해무인잠수정은 작업해역 근방의 수심 미터 고도에 도달하였을 때 하강을 멈추고, ROV를 수중진수장치로부터 분리하여 작업 위치로 이동하는 모드로 변환한다. 이때 ROV는 오퍼레이터의 명령에 따라 자항하여 작업지역을 찾아가는 방식으로 운용된다. ROV가 런처로부터 분리된 이후의 이동 모드와 작업 모드는 KAIKO 또는 WHOI의 JASON (WHOI, 2002)과 유사한 기능을 갖는다.

심해 무인잠수정의 특징 중에 하나는 심해에서 소형의 AUV를 진수하여 ROV가 해저면에서 작업을 수행하는 근방의 해역을 신속하면서 정밀한 조사를 수행할 수 있는 기능을 갖는 것이다. 이 AUV는 수중에서 진수되므로 심해

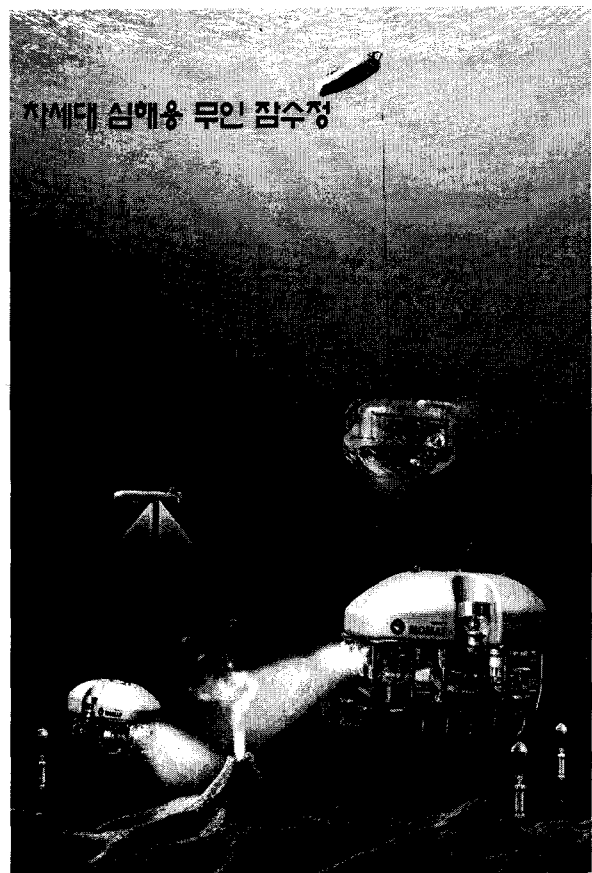


Fig. 1 Conceptual diagram of a deep-sea Unmanned Underwater Vehicle (UUV)

에서 작업을 수행하더라도 원거리의 통신이 필요하지 않으며, 데이터의 저장 및 전원의 충전을 위하여 수상으로 부상하지 않더라도 수중의 기지국인 런처에서 필요한 전원 충전과 데이터를 저장할 수 있다.

따라서, 수중진수장치는 ROV와 AUV의 수중진수, 호밍 및 도킹을 지원하기 위한 기지국으로 운용될 계획이다. ROV로 연결되는 2차 케이블은 런처 내부의 수중 윈치에 감겨 있다가 ROV가 분리될 때에 케이블을 풀어내는 기능을 갖는다. 이의 정상적인 작동을 위한 제어장치와 감시장치를 런처 내부에 장착한다. 수중진수장치는 수상의 지원 모선과 1차 케이블에 의하여 연결되어 있고, 1차 케이블은 높은 인장력에 견딜 수 있도록 외피에 비틀림 방지 2층 강선 구조 (Torsion-free Double Layered Armor)를 갖는다.

ROV는 중성부력의 2차 케이블로 수중진수장치와 연결되므로, 수상지원선의 운동 영향이 직접 전달되지 않아 수중에서의 정밀작업이 가능하다. ROV에는 시료채취와 수중작업이 가능하도록 7자유도의 유압식 매니퓰레이터 2기를 설치하고 각종 계측장치를 탑재하여 운용될 예정이다.

심해에서 해저면 조사를 수행하는 AUV는 런처로부터 진수하고 작업을 마친 후에 다시 런처로 귀환해야하므로, 호밍센서와 도킹 시스템이 요구된다. WHOI의 Remus AUV(Purcell, 2000)는 SSBL을 이용하여 수중귀환과 도킹을 이루고 있으나, 런처 근방에서는 정확한 위치 측정이 어렵

고 오차가 크게 발생하므로, 본 연구에서는 Remus와 유사한 SSBL 호밍 시스템을 갖추고 추가적으로 AUV의 선수부에 CCD카메라를 장착하여 수중 영상처리를 통한 도킹 시스템을 설계하였다. 이러한 구조의 도킹 시스템은 AUV가 런처에 근접하였을 때에 상대위치를 정확하며 빠른 속도로 계측하여 도킹을 성공적으로 수행할 목적으로 도입되었다. 한편 런처에는 AUV를 가이드하기 위한 소나장치 및 덕트를 장착하며 데이터의 송수신과 충전을 위한 인터페이스장치를 내장한다.

ROV는 샘플 채취와 경작업이 가능한 두 대의 로봇팔과 여러 대의 카메라를 기본으로 장착하고 목적에 따라 각종 해양 조사용 센서를 장착할 것이고, 소형 AUV는 해저의 지형조사나 침몰선 등과 같은 목표물의 위치를 확인하기 위한 사이드 스캔 소나를 탑재할 계획이며, 진수장치는 AUV와 ROV의 운용을 지원하는 시스템으로 위치측정센서와 초음파 통신·계측 센서를 장착할 계획이다. 상세 내용은 시스템 설계 부분에서 기술하였다.

3. 심해 무인잠수정의 기계시스템 설계

심해무인잠수정의 기본적인 성능은 최대 6,000미터의 수심에서 작업이 가능할 것과 비교적 넓은 지역에서의 사전 탐사가 가능한 시스템으로의 개발이 요구되었다. ROV로서는 특성 상 넓은 지역을 탐색하기 어려웠으므로 AUV와 혼합된 형태의 무인잠수정이 요구되었다. 하나의 시스템이 두 가지의 특성을 갖는다는 것은 기술적으로도 어려운 일일뿐만 아니라 운용상으로도 바람직하지 못한 결과를 초래할 가능성이 있었으므로 별도의 소형 AUV가 동시에 운용 되도록 하는 시스템으로 선정하였다.

심해 무인잠수정의 기본적인 구성은 테더케이블의 윈치 시스템을 포함하는 수상의 제어시스템과 수중의 Launcher, AUV 및 ROV로 구성된다. Launcher는 그 하부에서 ROV를 진수(launching)시키고 상부에서는 AUV를 진수시키는 중간적 시스템이다. AUV는 비교적 소형으로 설계하여 Launcher에서 회수(docking)가 가능하도록 하였으며 ROV는 실질적인 심해에서의 작업을 수행하도록 각종 센서와 비디오 카메라 및 7-function 매니플레이터를 선수 양 현측에 배치하였다.

본 장에서는 각 구성요소에 요구되는 성능에 따른 일반 선형과 배치 설계에 대해 설명하고 요구되는 작동 기구의 용량 산정에 대해 간략히 설명하고자 한다.

3.1 원격무인잠수정 (ROV)

ROV는 무인잠수정에서 가장 중요한 구성 요소이며 실질적으로 개발 후에 수중에서의 작업을 수행할 수 있는 시스템이다. ROV는 원거리를 항주하는 경우가 드물며 일정 지역 내에서 근거리 이동과 매니플레이터를 이용한 작업을 하는 경우가 대부분이다. 따라서 그 선형은 유체 저항을 거의 고려하지 않은 형태로 설계된다. 추진기의 경우도 bollard-

pull 성능을 기준으로 선정된다 (MTS ROV Committee, 1998). Table 1은 ROV의 주요 제원을 나타낸다.

Table 1 Specifications of the ROV

Operating Depth	6,000 m
Dimensions	2.91 x 1.45 x 1.9 m (LxBxH)
Weight	2,719kg
Payload	160kg
Speed	Forward 1.5 knots Lateral 1.0 knots, Vertical 1.5 knots
Power	60 kW (@1000m depth) 25 kW (@6000m depth)
Operating Mode	- Launch the combined Launcher/ROV from a research vessel - Separate ROV at deep sea near sea bottom - ROV Returns to Launcher after underwater operational mission - Recover the combined Launcher-ROV
Equipment	7-function Manipulator, H. Thruster 4EA, V. Thruster 2EA, 5 Video Camera, Forward Looking Sonar, Transponder, Beacon

ROV의 프레임은 전체 시스템의 뼈대를 이루는 주요 내력 구조이며 공기 중에서는 부력재와 내부 장비들을 지지하고 진수 중에 매달린 상태에서는 자중의 3배 이상에 달하는 동적 하중까지 견딜 수 있는 구조이어야 한다. 수중에서는 부력재가 주는 부력을 연직 상방향으로 견디어야 하며 추진가 발생시키는 각 방향의 추력과 외부 환경에서의 충격 등을 견딜 수 있어야 한다.

본 연구에서는 그 재질을 방식을 고려하여 알루미늄 6061T6로 선정하였으며 부재의 단면 형상은 사각파이프 형으로 선정하였다. 일반적으로 open-frame 형의 ROV는 사각형의 뼈대 구조 안에 장비들을 배치하고 그 상부에 부력재를 탑재시키는 형태가 일반적이며 프레임의 하부에는 해저면 또는 모선의 갑판에 착지했을 때 내부 장치들의 보호를 위해 skid를 장착하는 것이 일반적이다. 사각형의 프레임 구조 중앙에는 전체 중량을 감당하여 착수 인양시 크레인에 하중이 전달되도록 하는 경사 부재들이 배치된다.

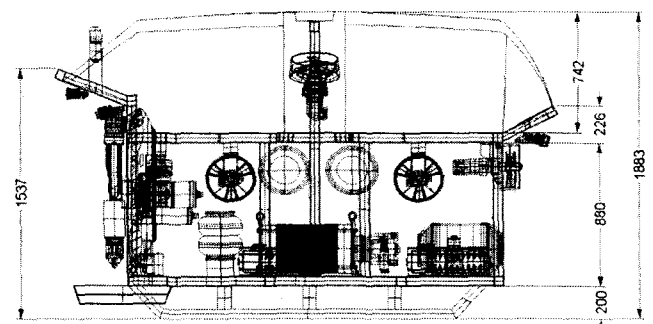


Fig. 2 Side view of the designed ROV

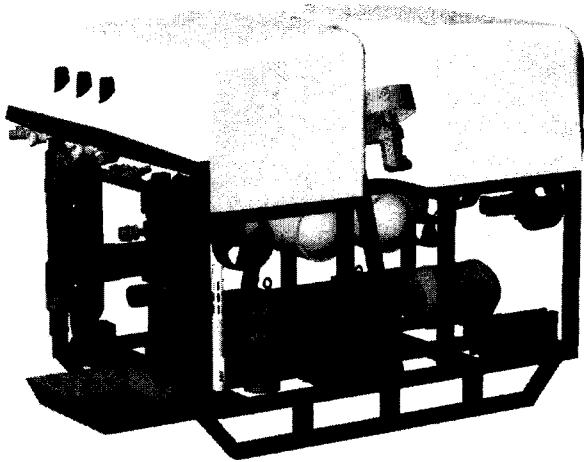


Fig. 3 Perspective view of the designed ROV

본 연구에서는 그 설계 심도가 6,000미터이므로 비중이 큰 부력재를 사용해야하며 외형적으로 심해용 ROV의 일반적인 형태에서 벗어나지 않게 설계하였다. Fig. 2는 본 연구에서 개발한 ROV의 3차원 도면을 보여주며, Fig. 3은 배치된 각 요소들의 위치를 보여주고 있다.

매니플레이터는 선수부 하단 프레임에 별도의 트레이를 부착하여 배치하였다. 이렇게 함으로써 매니플레이터의 작업반경을 충분히 확보하고 매니플레이터의 수납 공간이 확보되도록 하였다. 매니플레이터의 위쪽 상단 프레임 선수부에는 카메라의 팬·틸트 모듈이 매달리게 되어 매니플레이터의 작업과 이동시 전면을 조종자가 볼 수 있도록 한다. 카메라의 팬·틸트 모듈에는 비디오 카메라뿐만 아니라 카메라용 조명등이 같이 설치되며 상부 프레임 좌우에는 고정식 조명등과 틸트가 가능한 복수의 카메라 모듈이 설치된다. 또한 선미부의 감시를 위한 보조용 카메라가 선택적으로 상단 프레임 선미부에 설치될 수 있으며 이를 위한 조명등도 같이 설치될 수 있다.

1.1.1.1. 추진기의 배치

수평 추진기는 ROV의 전진 방향의 속력뿐만 아니라 후진 또는 회전을 하게 해야 하므로 선체의 종방향과 횡방향으로 배치되었다. 수직 추진기의 경우 수직선에 대해 약간의 각도를 가지고 있는 이유는 추진기 전후의 유체 유동 방해물이 없도록 하게 하기 위해서이다. 또 같은 이유로 구조 프레임이 유체 유동을 방해하지 않도록 수직 추진기 아래 쪽 구조물을 제거한 형태로 설계하였다. 수직 방향의 속도는 수평 방향의 속도에 비해 기능상 크게 중요하지 않으므로 양 현측에 두 개를 배치하였다.

수직 추진기는 그 개수에 따라 배치가 결정된다. 보통 2개에서 4개까지의 배치가 이루어지며 본 연구에서는 중앙부 좌우에 2개를 배치하였다. 보통 수직 추진기는 상부에 배치되므로 부력재와의 문제로 부력재를 관통하는 구멍 내에 장착하거나 부력재 측면에 홈을 내어 비스듬히 장착하는 방법

을 사용한다. 중앙에 관통하는 구멍을 낼 경우에는 그 아래쪽에 어떤 장애물도 없어야 하므로 중형 ROV에서는 잘 사용하지 않는 방법이다.

1.1.1.2. 프레임 스캔들링

프레임의 주요 부재의 형상은 다음의 그림과 같은 사각파이프로 구성하였으며 재질은 알루미늄 6061T6를 사용하는 것으로 하였다. 중량 계산 시 비중은 2.7로 하였다. 장비들을 부착하기 위한 보조 구조재들은 판재와 형재를 적절히 섞어서 사용하도록 하였으며 완성 후에 부착되는 구조물들은 볼트를 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 주요 구조재는 모두 용접을 원칙으로 하였다.

구조재는 파이프로 폐쇄된 공간을 형성하므로 연직 상하부에 드릴로 구멍을 뚫어 물이 자유롭게 흘러 들 수 있도록 하였다. 그렇지 않으면 하나의 공기가 들어찬 용기가 되어 심해에서 압력을 받아 변형될 수 있다.

3) 중량 추정

중량추정 계산을 하기 위해서 3D CAD 프로그램을 이용하여 3차원으로 설계된 요소들의 부피와 기준 좌표로부터의 중심, 회전 관성질량 모멘트 등의 값들을 계산하여 각 요소들의 중심과 중심 위치를 추정하였다.

계산 결과로부터 ROV의 총 중량은 2.7톤이고 총부력과 중량의 차이는 약 37kg 정도인 것을 알 수 있다. 따라서 설정상 200kg의 예비부력에서 37kg을 제한 나머지 163kg이 현재 설계에서는 여유부력 즉 payload가 된다. 표의 우측 아래에는 무게 중심의 좌표와 중심의 좌표가 표시 되어있다. 수중에서 정적 안정성의 가장 중요한 척도인 BGz 즉 무게중심과 중심과의 연직거리는 약 52cm인 것을 알 수 있고 길이 방향의 차이인 BZx는 21cm 정도인 것을 알 수 있다. 전반적으로 뒤가 가벼운 편이므로 무거운 요소들을 뒤로 이동시킬 필요가 있으며 정적 안정성은 상당히 높다는 것을 알 수 있다. 이 결과가 실제와 가까운 것이라고 판단이 되면 스키드 쪽에 부력재를 붙여서 여유부력을 키우면서 BGz 값을 적당한 수준으로 줄일 수 있을 것이다.

3.2 런처

런처 시스템에서 중요한 기능 중의 하나는 ROV 케이블의 TMS(Tether Management System) 역할이다. 따라서 런처 내에는 수중용의 윈치 시스템이 탑재되며 ROV가 런처에서 전개되어 수중으로 나아가거나 되돌아와서 다시 런처에 회수될 때 탯줄(Umbilical Cable)을 적당하게 감거나 풀어주어야 한다. 이와 같은 기능은 런처와 ROV 간의 초음파 위치 추적 시스템으로부터 측정된 거리로서 제어되는 기능이다. 이 기능이 제대로 발휘되지 않을 경우 케이블이 뒤엉켜서 시스템의 회수가 불가능해 질 수도 있다.

또 다른 주요 기능은 AUV의 기지 역할을 하여 수중에서 AUV를 회수하여 취득한 자료를 처리하여 수상의 모션으로 보내는 기능과 AUV를 재충전하는 기능이다. Table 2는 런처의 주요 제원을 나타내고 있다.

Table 2 Specifications of the Launcher

Operating Depth	6,000 m
Dimensions	3,13 x 1.6 x 1.6 m (LxBxH)
Weight	1,880kg
Drum Diameter	0.65 m (fiber optic slip ring)
Spooling Speed	60 m/min
Tether Diameter	about 23 mm
Equipment	Electric Junction Box, Underwater Camera 2EA, Lateral Thruster 2EA, Transponder, Serial Comm/Ether-net Interface Device, AUV/ROV Docking Device

런처는 수중의 ROV와 AUV의 기지(station) 역할을 수행해야 하므로 수중에서 그 운동이 크지 않아야 한다. 그러나 테더케이블로 모선과 연결된 상태이므로 모선의 운동에 영향을 받지 않을 수 없다. 이러한 모선의 운동에 의한 영향을 최소화하도록 수직 운동의 유체역학적 항력을 줄이도록 구조물 위에 덮개를 두지 않았다.

런처의 주요 기능중의 하나는 내부에 윈치를 탑재하고 런처와 ROV 사이의 테더케이블에 작용하는 장력이 과도하지 않도록 테더케이블의 장력을 조절하는 일이다. 회수 시에는 물론 윈치를 완전히 감아 올려 ROV가 런처에 확실히 고정되도록 하는 이유도 있으나 모선과 런처의 상대 운동으로 인해 ROV에 작용하게 되는 바람직하지 못한 장력을 제어하는 역할이 더 중요하다.

1.1.1.1. 윈치 시스템

먼저 런처의 크기가 초기 설계 단계에서 결정되어 있으며 런처와 ROV 사이의 테더케이블 길이 또한 사전 설정을 하였으므로 이를 토대로 윈치 드럼의 크기를 결정하고자 한다. 설계 초기에 설정된 런처의 크기는 2.0×1.5×1.0(L×B×H m)이다. 여기서는 윈치 드럼의 테더케이블이 감기는 원통의 직경을 테더케이블의 허용 곡률 반경을 고려해서 600mm로 하였으며 원통의 길이는 런처의 폭을 고려하여 800mm로 설정하였다.

윈치드럼의 앞쪽에는 테더케이블이 고르게 감기도록 도와주는 winding guide가 있어서 테더케이블이 편중되어 감기는 것을 막아주도록 하였다. winding guide에는 윈치드럼의 회전축과 연동 하여 회전하는 이중나선이 새겨져 있어 winding guide가 윈치의 회전에 따라 좌우로 이동하면서 윈치드럼에 테더케이블이 고르게 감기도록 한다.

가이드 휠(guide wheel)은 테더케이블에 걸리는 장력을 계속하고 테더케이블이 연직방향으로 잘 빠져나갈 수 있도록 하는 장치이다. 그 끝에는 가이드 벨(guide bell)이 있어 ROV의 움직임에 따른 테더케이블의 꺾어짐에 의한 응력집중이 발생하지 않도록 하는 기구이다.

1.1.1.1.1. 윈치드럼의 크기 결정

초기설계 단계에서 테더 케이블의 외경을 23mm 이내로

설정하였으며, 이에 대한 윈치드럼의 크기를 결정하였다.

테더 케이블이 윈치드럼에 감기는 모습은 Fig. 4와 같이 테더 케이블의 단면이 원을 유지한다고 가정했을 때 다음에 감기는 케이블들은 먼저 감긴 케이블의 틈에 감기게 되므로 감기면서 늘어나는 윈치드럼의 직경은 케이블의 직경보다 작은 값만큼 늘어나게 된다.

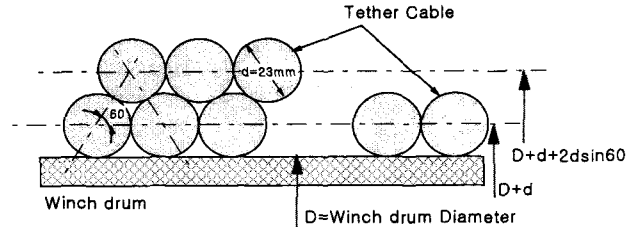


Fig. 4 The relation diagram of a drum and cable

케이블이 드럼에 감기는 과정을 살펴보면, 드럼의 직경을 그림처럼 D라하고 그 폭(원통의 길이)을 W라 할 때 직경 d의 케이블은 W를 d로 나눈 몫의 회전수만큼 드럼에 감기게 되고 그 다음에 감기는 케이블은 $2d \sin 60 = \sqrt{3}d$ 만큼 직경이 늘어난 원통에 감기는 것이 된다. W를 d로 나눈 몫을 j라하고 케이블의 감긴 겹(layer)의 수를 k라 하면 감긴 케이블의 총 길이 L은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L = (D + d) \pi j + (D + d + \sqrt{3}d) \pi j + (D + d + 2\sqrt{3}d) \pi j \dots$$

이는 등차 수열의 합으로 나타낼 수 있으므로,

$$L = \frac{1}{2} \pi j k [2(D + d) + (k - 1) \sqrt{3}d] - \left\{ \frac{\sqrt{3} \pi j d}{2} k^2 - \left(\frac{\sqrt{3} \pi j d}{2} \pi (D + d) \right) k - L = 0 \right.$$

로 표현할 수 있다. 이는 L이 정해져 있을 경우 케이블의 감긴 겹 수 k에 대한 2차 방정식이 되므로 2차 방정식의 근의 공식을 이용하여 k의 양수 값을 구하면 k의 올림수인 양의 정수가 감긴 겹의 수가 될 것이다.

앞에서 설정한 바와 같이 윈치드럼의 직경을 600mm, 폭을 800mm로 하고 테더 케이블의 길이를 200m로 하였을 때, 테더 케이블이 감긴 겹의 수는 3이 되고 케이블의 감김으로 인한 드럼의 직경은 725.7mm가 된다.

1.1.1.2. 런처의 배치 설계

본 연구에서 개발하려는 심해 무인잠수정의 런처는 수중에서 ROV와 AUV의 기지 역할을 하며 ROV가 테더 케이블의 영향으로부터 벗어날 수 있게 해주는 역할을 한다. 그러나 런처가 너무 무거우면 테더케이블에 과도한 장력이 걸리게 되어 테더케이블의 사양이 높아지게 되므로 목표한 기능을 발휘할 수 있는 최소 크기가 되도록 설계하였다.

런처는 수중에서 무게추의 역할을 하므로 부력재가 필요 없으며 ROV의 TMS인 수중 윈치 시스템과 AUV의 docking-funnel이 필요하다. 부수적으로 TMS를 구동하기 위한 유압 모터의 유압 파워 팩과 런처의 방향(heading)을 조정하기 위한 측방향 추진기가 앞뒤로 부착된다. 또한 ROV와 AUV의

도킹 상황을 감시하기 위한 비디오 카메라와 AUV의 자동 도킹을 위한 AUV 전용 위치 추적 시스템이 탑재된다.

전체적인 형식은 ROV와 마찬가지로 open-frame의 형식을 취했으며 좁은 공간에 케이블의 원활한 흐름을 주기 위한 가이드 풀리(cable guide pulley)의 배치에 역점을 두어 설계하였다. Fig. 5는 설계된 런처 시스템의 3차원 도면을 보여

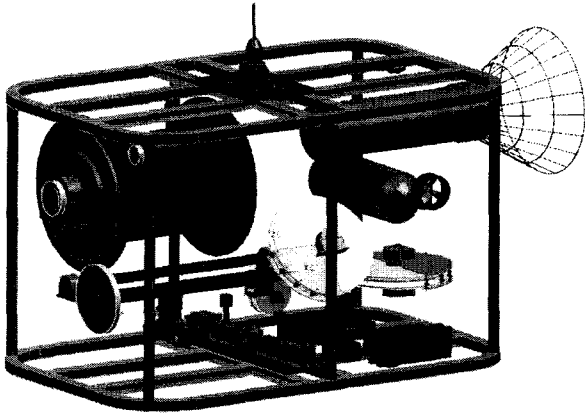


Fig. 5 Perspective view of the Launcher

주고 있다. 그림에서 좌측 상부에 원치 드럼이 보이고 그 아래에는 케이블이 고르게 감기도록 안내하는 도르래와 드럼이 1회전할 때마다 케이블의 직경만큼 드럼의 축 방향으로 이동하는 가이드 레일이 보인다. 우측의 프레임 바깥으로 펼쳐진 것은 AUV의 자동 도킹을 도와주는 완충 구조이고 그 중앙에 AUV의 docking-funnel이 놓여 있다. 그 아래에는 제어 시스템이 탑재되는 내압용기가 배치되어 있으며 그 뒤로는 측방향 추진기가 보인다. 중앙부 아래에는 ROV의 케이블 연결부에 위치한 구조물을 걸어주는 장치가 배치되어 있으며, 유압 파워 팩과 밸브 팩들이 배치되어 있다.

3.3 AUV

본 논문의 심해 무인잠수정 시스템에서 AUV는 ROV의 작업을 보조하는 역할로 ROV가 작업중이거나 분리되기 전에 런치되어 작업 영역을 조사하고 돌아와서 모선의 작업자가 사전에 작업 지역을 파악할 수 있도록 하는 시스템이다.

개발하려는 AUV는 심해용이지만 작업 수심까지는 런처에 고정된 상태로 내려가며, 해저면으로부터 적정 고도에 정지한 런처에서 진수되어 작동되도록 설계되었고 비교적 짧은 시간 안에 조사 작업을 수행하므로 소형 시스템으로 설계되었다. AUV의 속도는 3노트, 항주거리는 10km 범위로 비교적 짧은 거리를 이동하며 탐사하는 목적으로 사용된다.

앞선 언급한 바와 같이 SSBL을 이용한 항법과 CCD 카메라를 이용한 퓨전 항법에 의하여 도킹이 이루어진다. 런처의 덕트 주위에 전구를 설치하여 CCD 카메라에 맺히는 전구의 위치신호를 영상처리하여 AUV의 방향을 추정하고, 덕트 센터로부터 AUV 방위각 차이 및 이격 거리를 계산하며, SSBL로 얻어지는 거리 정보를 융합하여 도킹을 수행한다.

탑재되는 중요 장비로는 선체 중앙 양 현에 부착된 사이

드스캔 소나, 온도센서 등. 조사관측 장비가 있고, 선수에 항법과 도킹을 위한 소나 시스템과 카메라가 장착되어 있다.

Table 3 Specifications of the small AUV

Operating Depth	6,000 m
Dimensions	0.25 x 1.69 x 0.43 m (Φ x L x H)
Weight	70kg
Speed/Range	Max. 3 knots / 10 km
Power	Rechargeable battery, Non-contact recharge
Communication	- Acoustic Modem (in maneuver mode) - Non-contact high speed modem (in duct)
Equipment	Homing/docking device, Acoustic modem, Side Scan Sonar (SSS), Non-contact recharger, Data modem, Attitude sensor

AUV는 제어부와 신호처리부 및 전원부(배터리)를 중앙의 내압 선각(용기)에 배치하였고 선수부에는 도킹을 위한 비디오 카메라, SSBL 위치추적 소나 및 장애물 탐지 소나를 배치하였다. Fig. 6은 AUV의 내부에 배치된 장비들을 선각이 없는 상태로 보여주는 그림이다.

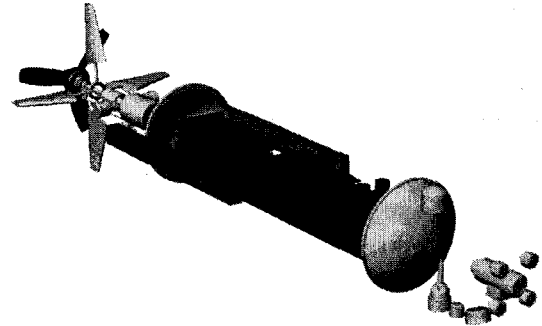


Fig. 6 Arrangement of the AUV

그림에서 중앙에는 내압용기 내부로 앞뒤로 벌크헤드를 표시하였으며 선미부는 추진기 구동모터와 제어판 구동부 및 구동기구가 보이며 선수에는 비디오 카메라와 각종 소나 센서들이 배치되어있다. 중앙부 좌우 바깥쪽에는 사이드스캔 소나 센서가 배치되어 있다. 중앙에는 제어 시스템 하드웨어와 아래쪽에 일렬로 배치된 배터리가 보인다. Fig. 7은 AUV의 전체적인 외형을 나타낸다.

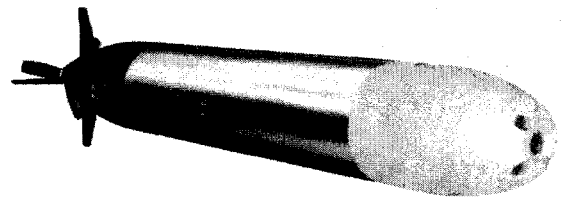


Fig. 7 Perspective view of the small AUV

4. 심해무인잠수정의 전기·전자시스템 설계

심해무인잠수정의 전기전자시스템은 잠수정에서 요구되는 다양한 기능을 효율적으로 수행할 수 있도록 구성되어야 할 뿐 아니라 지원 시스템의 설계와 밀접한 관계를 가지고 있어 이들과 연계되어 설계되어야 한다. 본 장에서는 2장에서 언급된 심해 무인잠수정의 구성 및 기능을 효율적으로 통합하고 구현하기 위해 설계된 심해 무인잠수정의 전기·전자 시스템에 대하여 서술한다.

4.1 심해진수장치의 전기·전자시스템 설계

심해진수장치는 조류에 의한 케이블의 저항력과 모션의 운동을 완화시켜 ROV가 보다 효율적으로 작업할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 또한 AUV와 ROV의 도킹 스테이션으로의 역할을 수행하고 2차 케이블 윈치를 탑재하며 2대의 카메라로 케이블의 상태와 AUV 도킹상태를 감시한다. AUV와 ROV의 기준위치로서 이들의 위치를 추적한다. 심해진수장치의 기능구현을 위해 Fig. 8과 같은 구조의 전기·전자 시스템을 설계하였다. PC104 버스를 기본으로 하는 NS GX1-300MHz 프로세서를 탑재한 제어기를 메인 컴퓨터로 하고 각 장비들이 인터페이스 된다.

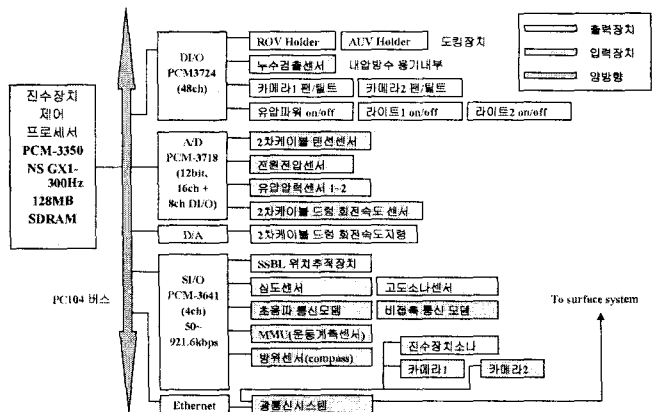


Fig. 8 Electric system architecture of the Launcher

4.2 ROV의 전기·전자시스템 설계

Fig. 9는 ROV의 전기·전자시스템 구조를 나타낸다. PC104 버스를 기본으로 하는 PCM-3350 CPU 보드를 주제어기로 한다. I/O 보드로 A/D, D/A, DI/O 및 시리얼 인터페이스 보드를 장착하고 각 장비들을 인터페이스 한다.

4.3 AUV의 전기·전자시스템 설계

Fig. 10은 AUV의 전기·전자시스템 구조를 나타낸다. PC104 버스를 기본으로 하는 586DX 프로세서를 주제어기로 한다. I/O 보드로 A/D, D/A, DI/O 및 시리얼 인터페이스 보드를 장착하고 각 장비들을 인터페이스 한다. 카메라 영상처리를 위한 영상보드로 MTV104를 장착하고 있다.

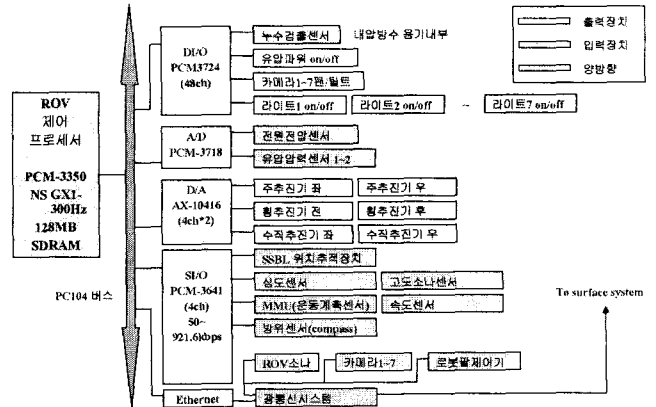


Fig. 9 Electric system architecture of the ROV

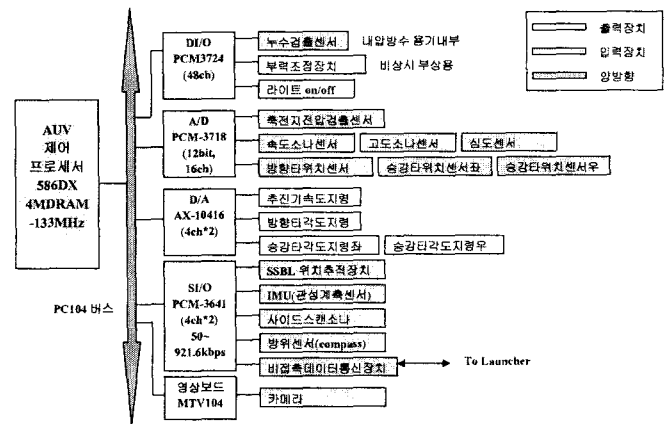


Fig. 10 Electric system architecture of the AUV system

5. 향후 연구계획 및 활용계획

현재 심해무인잠수정의 상세 설계가 진행 중에 있으며, 2002년 5월 이후는 수중작업을 위한 매니플레이터 및 이의 제어시스템 구축에 주안점을 둘 계획이다. 3차년도인 2003년 5월 이후에는 본격적으로 무인잠수정의 시스템을 제작하고 4차년도에는 케이블과 윈치 시스템을 포함하는 전체 시스템 통합과 동시에 선상운용시스템을 구축할 예정이다. 5차년도에는 태평양에서 실행역 테스트를 수행하여 개발과제를 종료할 예정이다. 심해 무인잠수정의 운용을 위해서는 전용의 조사선이 필요하지만, 임시로 기존의 조사선을 개조하여 사용하는 방안을 검토 중에 있다.

심해용 무인잠수정의 구체적인 활용계획은 다음과 같다.

- 심해관측, 해저 샘플 채취, 해저작업을 포함하는 심해과학 기술연구에 활용
 - 심해저 자원탐사
 - 해저 열수광상 조사
 - 심해 생태계, 생물자원 연구
 - 심해 신물질 연구

- 해저 고고학 조사
- 해저지질, 해저 화산 조사
- 장시간에 걸친 심해의 실시간 모니터링을 위한 해저 관측소, 해저기지 설치용 수중작업장비로 활용
- 심해저 망간단괴 채광장치 등의 심해장비 유지관리 시스템으로 활용
- 한반도 연근해 해양탐사 및 수중작업장비로 활용
 - 침몰선 구난방제, 유출류 확산 방지작업 지원
 - 연근해 해양오염 실태조사, 오염물 수거 등의 해양환경 감시에 활용
 - 수중 구조물 설치 및 유지보수, 해저 유전개발 구조물 유지 관리에 활용

후 기

본 논문은 한국해양연구원이 해양수산부의 지원으로 수행중인 "차세대 심해용 무인잠수정 개발"과제 연구결과의 일부임을 밝히는 바이다.

참 고 문 헌

- 해양수산부 (2000). "해양개발기본계획 - Ocean Korea 21," May.
- Yoo, J. M. (2001). "Direction of Marine Policy and Development of Unmanned Underwater Vehicles in OK21 (Ocean Korea 21)," Workshop on the Underwater Robotic Technologies, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 27-33, Seoul, May 22.
- 홍석원, 이판목 외 (2001). "차세대 심해저 무인잠수정 개발을 위한 기획조사 연구", 한국해양연구원 연구보고서, UCM00051-2266, November.
- Lee, P. M. and Hong, S. W. (2001). "A plan for the development of a deep sea unmanned underwater vehicle," 12th Int. Symposium on Unmanned Underwater Submersible Technology, Durham, New Hampshire, Aug. 27-30.
- Lee, P. M., Hong, S. W., and Hong, S. (2001). "Research and Development of Underwater Robotics in Korea," Workshop on the Underwater Robotic Technologies, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 62-68, Seoul, May 22.
- Mikagawa, T., Fukui, T., etc. (1999), "10,000 meter class deep sea ROV KAIKO and Underwater Operation," Proc. of 9th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 2, pp. 388-394, May 30 June 4.
- Woods Hole Oceanographic Institution (2002). "Jason/ Medea and AGRO-II and JASON II ROV General Specifications," <http://www.marine.who.edu>.
- Purcell, M., von Alt, C., Allen, B., etc. (2000). "New Capabilities of the REMUS Autonomous Underwater Vehicle," Oceans 2000 Conf. Proc., Vol. 1, pp. 147-151, Rhode Island, July 28 - Aug. 3.
- MTS ROV Committee (1998). "Operational Effectiveness of Unmanned Underwater Vehicle."