

② 세계의 심해무인잠수정 'ROV'

해저 3만리 미지의 세계를 밝힌다

글 | 이판득 _ 한국해양연구원 해양탐사장비사업단장 pmlee@moeri.re.kr

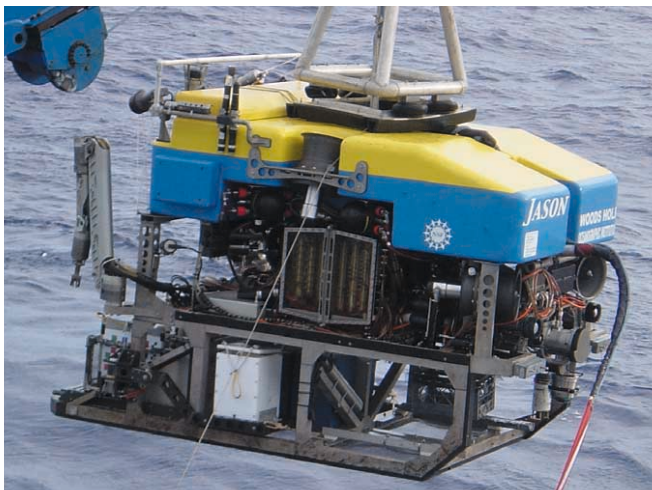
심해를 탐사하는 잠수정은 인간이 탑승 여부에 따라 유인잠수정과 무인잠수정으로 나눌 수 있다. 1960년대부터 유인잠수정을 이용한 심해탐사가 본격적으로 이루어졌으며, 1970~80년대에 이르러 세계 여러 나라가 유인잠수정을 개발하였다.

지원 모선과 케이블로 연결해 원격조정

사람이 직접 탑승하여 작업하는 유인잠수정과는 별도로 지원 모선과 케이블로 연결되어 원격조종할 수 있는 무인잠수정(ROV)과 동력을 이용하여 스스로 움직일 수 있는 자율형 무인잠수정(AUV) 또한 수중작업이나 심해탐사에 매우 중요한 위치를 차지한다. 이들 무인잠수정들은 사람이 직접 탑승함으로써 3차원적인 관찰이 가능한 유인잠수정에 비해 지원모선에 장착된 화면 등을 통해 2차원적인 관찰을 할 수밖에 없는 단점을 지니고 있지만, 인명손실과 같은

안전성의 문제에서 자유롭고 보다 열악한 상황에서의 작업이 가능하기 때문에 향후 유인잠수정보다 더 광범위하게 이용될 전망이다.

ROV는 연구선 위에서 원격조종을 통해 시료채취 등의 원하는 작업을 수행할 수 있는 형태로서 인간이 탑승하지 않는 잠수정을 의미한다. 최초의 무인잠수정은 1953년 드미트리 레비코프가 제작



심해무인잠수정 JASON II (미국 WHOI)



JAMSTEC(일본 해양지구과학연구센터)의 1만1천m급 심해무인잠수정 KAIKO



심해무인잠수정 해미래(한국해양연구원)



SOC(영국 사우스햄턴 해양연구센터)의 심해무인잠수정 ISIS

한 것으로 연구선과 케이블로 연결되어 있는 무인잠수정 푸들이다. 이후 1966년 비행기 사고로 해저에 분실된 수소폭탄을 회수하고, 1968년 침몰한 구소련 잠수함을 찾아 인양하면서 심해탐사장비와 잠수정 기술이 급속히 발달하였다. 중동전쟁의 여파로 촉발된 석유 파동을 겪으면서 1970년대말부터 연근해의 해저유전이 개발되었으며, 더불어 해저작업이 가능한 상업용 무인잠수정 개발이 이루어지기 시작하였다.

1980년대에는 컴퓨터 기술발전에 힘입어 무인잠수정의 기능이 다양화되면서 자체 지능을 보유한 무인잠수정이 출현하였다. 이 시기에 미국을 비롯하여 프랑스, 영국, 캐나다, 일본, 러시아, 노르웨이, 스웨덴, 이탈리아, 독일, 호주, 중국 등이 무인잠수정을 개발하기 시작하였으며, 최근 들어서는 수심 6천m 이상의 심해를 탐사하는 다양한 형태의 최첨단 무인잠수정이 선보였다.

미국 우즈홀 해양연구소(WHOI)는 1990년대초 수심 6천m 깊이의 해저를 탐사할 수 있는 심해탐사용 무인잠수정인 제이슨과 메디아를 개발했으며, 2002년에는 6천500m급으로 기능을 고도화한 제이슨 II를 개발하여 심해탐사에 이용하고 있다. 1997년에는 프랑스 국립해양연구소(IFREMER)가 수심 6천m를 탐사할 수 있는 무인잠수정 빅토르 6000을 개발하였으며, 일본 해양연구개발기구(JAMSTEC)는 마리아나 해구를 조사할 목적으로 수심 1만1천m 해저를 탐사할 수 있는 심해무인잠수정 가이코를 개발하였다. 캐나다 해양과학연구소는 수심 5천m를 탐사할 수 있는 무인잠수정 로포



수중 케이블 관리 장치(TMS) (ASRS, 미국)

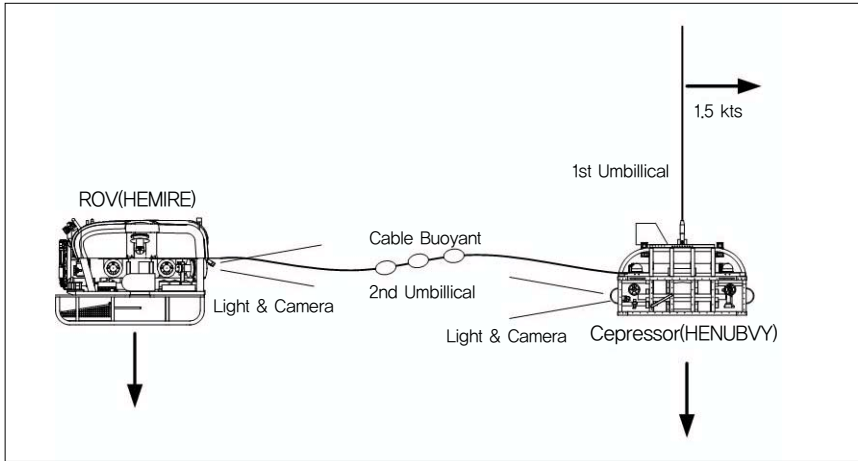


ISE(캐나다)의 심해무인잠수정 HYSUB40

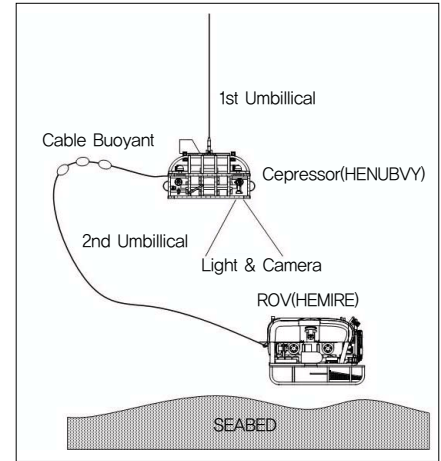
스를 운영하고 있다. 우리나라도 2006년에 6천m급 심해무인잠수정 해미래 ROV와 해누리 중계기를 개발하였다.

탐사 시간, 안전성 등 유인잠수정 단점 극복

유인잠수정은 심해저를 관측하고 필요한 해저시료를 채취한다는 점에서 ROV와 동일한 역할을 수행하며 과학자가 직접 승선하는 것이 ROV와 다르다. 과학자가 직접 해저면 현장을 탐사할 수 있다는 것은 유인잠수정의 최대 장점이며, 무인잠수정 기술이 계속 발전을 거듭하지만 아직까지는 유인잠수정이 가장 효율적인 탐사



해미래의 잠항 개념도



해미래의 해저면 작업 개념도

수단이다.

유인잠수정에는 승무원이 상주하는 구형 거주구 내압선체가 있으며, 티타늄으로 제작된 이 거주구에는 승선인원 개개인에 하나씩 관측창이 있어 해저면을 관찰하고 촬영할 수 있다. 유인잠수정은 잠수정에 탑승하는 승무원들(통상 2명의 조정자와 1명의 과학자)의 안전을 위한 시스템이 추가되는 것이 ROV와 가장 큰 차이점이다. 유인잠수정은 승무원들의 생존을 위한 산소 공급 장치가 필수적이며, 유사시 긴급조치를 취할 수 있는 기능이 다단계로 마련되어 있다.

유인잠수정은 케이블이 연결되지 않는 것이 ROV와 또 다른 큰 차이점이다. 유인잠수정은 전원을 내장하여 수중을 운항하므로 선상과 케이블로 연결될 필요가 없는 반면, ROV는 선상과 케이블로 연결되어 원격으로 제어된다. 유인잠수정은 케이블의 구속이 없으므로 탐사작업을 자유롭게 할 수 있으나, 전원이 제한되므로 작업시간에 한계가 있다. 현재 운용중인 유인잠수정의 작업시간은 통상 10시간 안팎이며, 미르의 경우 최대 20시간이 가능하다. 수중전원 기술 발전은 유인잠수정(또는 AUV)의 작업시간 연장과 직결되므로 수중에서 사용 가능한 배터리 및 연료전지 기술을 개발중에 있다. ROV는 케이블을 통하여 선상으로부터 전원을 공급받으므로 작업시간에 제약이 없다. 그러나 ROV는 선상 모선에서 케이블을 통하여 원격으로 제어되므로, 케이블 핸들링을 위한 지원모선과 선상 보조 장치가 필요하다. 유인잠수정은 선상과의 교신을 위한 초음파 통신장비를 반드시 갖추어야 하나, 초음파를 이용하는 수중통

신 속도는 현재 약 2천bps 정도가 최대이며 통신범위도 제한적이다. ROV는 광케이블을 이용한 광통신이 가능하므로 선상에서 잠수정을 실시간으로 원격 제어하는 것이 가능하다.

잠수·부상 방법에 따라 선체 설계 다르게 적용

ROV 기술 개발은 해저탐사 시스템 기술과 함께 발전하고 있으며, 보다 효율적인 탐사에 적합하도록 소형화, 고밀도화, 고정밀화 방향으로 기술개발이 이루어지고 있다. ROV에 소요되는 기술별 동향과 향후 발전 방향을 전망해 보자.

심해용 ROV는 통상적으로 탐사용 ROV와 중계기 등 2개 선체로 구성되며, 일체형 또는 분리형으로 잠수하고 부상하는 방법에 따라 설계가 다르게 이루어진다. 일체형으로 설계된 무인잠수정은 해저면에서 ROV가 중계기로부터 분리되어 탐사가 이루어진다. 일체형으로 잠항·부상하는 경우는 운용이 편리한 반면 수중에서 ROV가 분리되는 순간에 중계기와의 충돌을 방지하기 위한 장치와 중계기의 운동을 최소화하기 위하여 지원모선 선상에 장력조정장치가 필요하다. 일체형 무인잠수정은 TMS 이용법, 케이지 이용법, 진수장치 이용법 등 3가지로 구분할 수 있다.

TMS는 ROV와 연결되는 중성부력 케이블을 감은 수중 윈치를 내장하며, 통상적으로 ROV 상부에 장착되어 해저에서 ROV가 분리되어 나갈 때 윈치를 돌려 ROV가 이동할 수 있도록 케이블의 길이를 조정하는 장치다. 이러한 방식은 해저유정 탐사용으로 사용되는 상용 ROV에 많이 적용하고 있으며, WHOI이 제작하여 영국



ASR사(미국)의 링 추진기



링 추진기를 장착한 4천m급 QUEST ROV (ASR사 제작, 독일 브레멘 대학 Marum 소유)



ASR사(미국)의 유압식 수중 로봇팔 Titan4

SOC(사우스햄턴 해양연구소)에서 운용중인 ISIS ROV에 이 방식을 적용하였다. 이 방법은 TMS에 ROV를 고정하기 위한 연결 장치가 필요하며, 두 선체가 수중에서 분리하고 결합할 때 충돌에 의한 손상을 방지하는 장치가 필요하다.

케이지를 이용하는 방법은 TMS를 이용하는 것과 근본적으로 동일한 방법으로서 TMS와 ROV 보호용 케이지를 외부에 설치한다. ROV는 수중에서 케이지로부터 수평 또는 수직방향으로 출발하여 작업을 수행하고 다시 케이지로 귀환한다. 케이지 방식은 충돌방지 장치를 반드시 설치해야 한다. 캐나다 ISE사에서 개발한 HYSUB40 ROV는 케이지 방식을 이용하여 제작되었다.

JAMSTEC 가이코의 경우는 진수장치 아랫 부분에 ROV를 고정시켜 일체형으로 진수되어, 해저면에 도달한 후에 심해에서 두개 선체가 분리되는 방식으로 설계되었다. 진수장치에는 케이블 장력이 조정 가능한 TMS를 내장하고 있으며, ROV와의 상대위치를 측정하기 위한 초음파 위치추적 소나를 장착하였다.

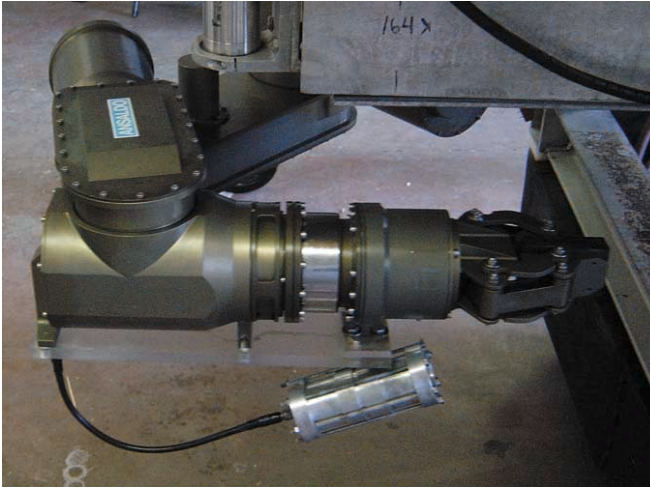
TMS를 이용하는 방법은 ROV에 연결되는 2차 케이블이 수중 원치에 반복적으로 감기고 풀리는 현상이 반복되어 기계적인 피로가 누적되며, ROV가 심해에서 탐사중에 전원이 차단되었을 경우에는 케이블 전체가 풀리는 단점이 있다. 따라서 제이슨II, 빅토르 6000, 해미래 등은 2개 선체를 분리하여 운용하는 방법을 채택하였다. 해미래 ROV와 해누리 중계기가 잠항하는 경우와 해저면에서 작업하는 경우에 대한 개념도를 보면, 잠항할 때 ROV는 자체의 추진기를 이용하여 중계기는 선상의 케이블 원치를 조정하여 상대

수심을 맞추며 잠항한다. 해저면에 도달한 후에, 해누리는 일정 고도를 유지하고, 해미래는 해누리 밑으로 이동하여 해저탐사를 수행하는 방식이다. 이 방법은 잠항 부상을 위하여 ROV의 추진기를 계속 작동해야 하는 단점이 있으나 해저면에서는 안전한 운용이 가능하다.

ROV의 작업 심도가 깊어질수록 케이블에 걸리는 장력이 커지며 운용이 어려워진다. 카이코의 경우 1만1천m 심해를 탐사하기 위하여 전용의 모션을 사용하며 전용의 장력조절장치가 필요하여 운용 시스템이 대형이 된다. ROV를 효율적으로 운용하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 대심도에서도 ROV를 경제적으로 운용하기 위하여 WHOI는 AUV의 운용 개념을 포함하는 하이브리드 ROV를 개발중에 있다.

유압 또는 전기모터로 추진기 고회력 동력원 언어

심해용 ROV에 사용되는 추진기의 동력원은 유압 또는 전기 모터를 이용한다. 유압 시스템은 폐회로를 사용하여 수심변화에 따른 압력변화를 보상하는 방식을 이용하며, 심해용 전동 추진기는 모터 내부에 절연유를 채워 내부에 수압이 전달되는 방식으로 방수한다. ROV용 추진기는 추진축에 날개가 달린 통상적인 방식의 추진기를 이용하며, 최근에는 추진기 날개가 원주형 스테이터에 고정되어 회전하는 링 추진기가 개발되었다. 링 추진기는 케이블이나 어망이 추진기에 걸리더라도 추진기 작동에는 이상이 없는 장점이 있다. 미국 ASR사는 링 추진기를 개발하고 이를 장착한 4



하와이대학 SAUVIM AUV에 장착된 Ansaldo(이탈리아) 전동식 수중 로봇팔



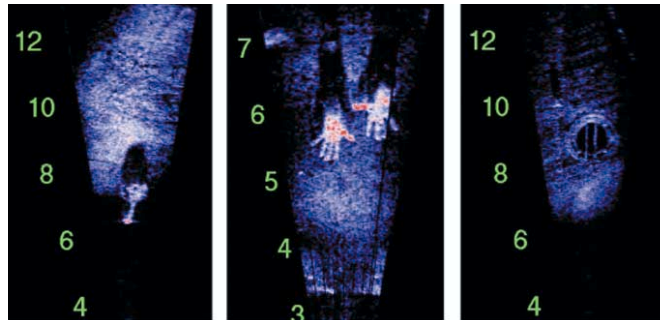
Soundmetrics사(미국)의 초음파 수중 카메라 Didson

천m급 퀘스트 ROV를 개발하여 독일 브레멘 대학에 납품한 바 있다. 추진기는 소형이면서 고출력을 낼 수 있는 방향으로 기술개발이 진행되고 있다.

수중작업을 위한 로봇팔은 통상 유압을 동력원으로 이용한다. ASR사의 Titan4 수중 로봇팔은 대표적인 유압 매니플레이터다. 유압식 로봇팔은 공기 중에서 사용하는 방법과 동일한 방법으로 구성되며, 수압변동을 보상할 수 있는 폐회로 설계와 해수에 대한 부식방지 설계가 필요하다. 전기 모터를 이용한 수중 로봇팔도 구현이 가능하다. 이탈리아 안살도의 전동 수중 로봇팔은 모든 관절에 전기 모터가 직접 연결되어 있으며 로봇팔 내부에 모터, 센서 및 각종 전선을 배치하고, 기름을 채워 압력보상 방식으로 방수한다. 전동 수중 매니플레이터는 소음이 적은 장점이 있는 반면, 협소한 내부공간에 모터와 각종 센서가 배치되어야 하므로 가벼운 수중작업에 사용한다. 수중 매니플레이터는 선체의 운동을 자동 보상하여 정밀작업이 가능하도록 제어하는 연구가 진행되고 있다.

고정밀·초음파 입체 수중카메라 출현 기대

수중 영상 취득은 일반적인 카메라를 방수 하우징에 내장하여 사용한다. 한편 수중 부유물이 많아 시계가 좋지 않은 곳이나 원거리 물체는 측면 주사 소나, 전방 감시 소나 등 수중 초음파를 이용한다. 이러한 소나 장비는 2차원으로 물체를 인식하는데, 최근에는 3차원으로 초음파 영상을 얻을 수 있는 기술이 개발된 것이다. 미국 사운드메트릭스사의 Didson 초음파 입체카메라다. 이 카메라는 중간에 음향렌즈를 통하여 초음파를 신호를 방출하고 수신되는 음

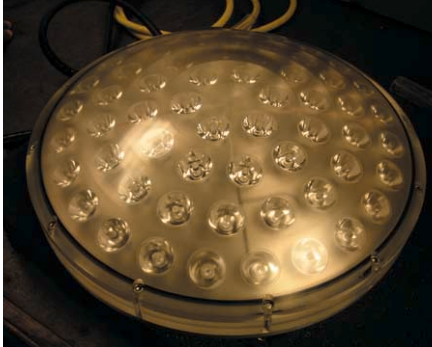


Didson 초음파 카메라의 영상 (좌로부터 해저 기뢰, 잠수부 손, 선박의 냉각수 인입구)

향신호를 어레이로 수신하여 입체 영상을 얻는 기법을 이용한다. 초음파 카메라는 ROV뿐만 아니라 유인잠수정, AUV 등에도 유용하게 쓰일 수 있다. 향후 수중 관측에 HD 카메라 사용이 일반화될 것이며, 고정밀 초음파 입체 카메라가 출현할 것으로 기대된다. 한편 수중 조명의 한 방법으로서 LED 사용이 보편화되고 있으며 전력 소모가 낮은 장점이 있다. LED 라이트는 ROV 또는 AUV 벽면에 부착할 수 있는 형태의 조명장치도 개발되고 있다.

잠수정은 전자 장비를 내장하기 위하여 수압을 견디는 내압선체가 필수적이다. 실린더 또는 구형 내압선체가 일반적으로 사용되며, 압력선체의 내부는 대기압을 유지하며 오링을 이용하여 연결부를 방수 처리한다. 내압선체는 부식에 강한 알루미늄 70시리즈 또는 티타늄 합금을 이용하며, 최근에는 세라믹 실린더를 이용한 내압선체를 이용하기도 한다. 세라믹 실린더는 비중이 낮아 ROV 시스템을 소형화하는 것에 적합하지만 충격에 약하므로 외부 충격이

심해 잠수정 개발, 어디까지 왔나 - ② 세계의 심해무인잠수정 'ROV'



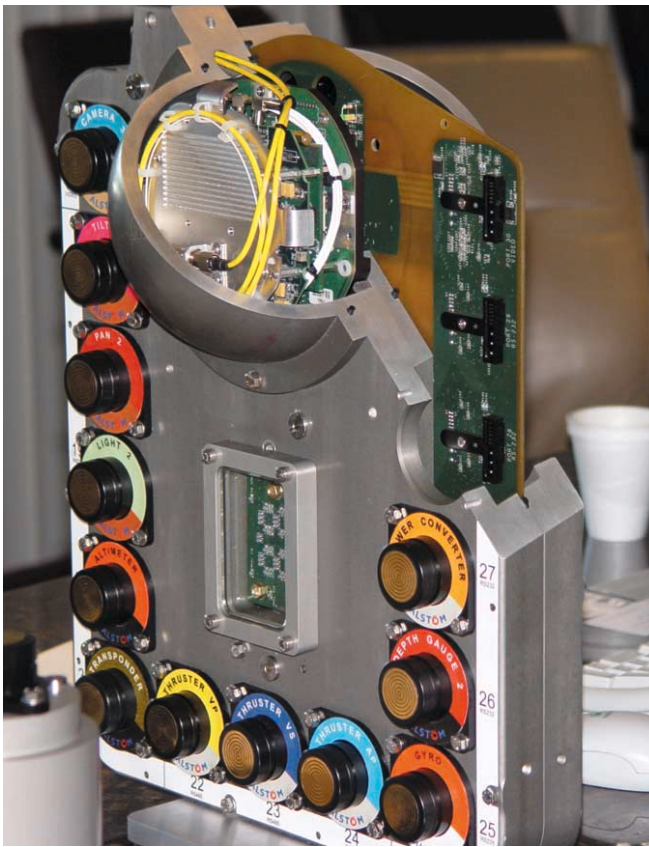
LED를 이용한 수중라이트 (WHOI, HROV에 탑재 예정)



세라믹구가 포함된 복합 부력재



부력용 세라믹구



구형 내압선체 및 평판형 유적 압력보상 전자장치 (ASR사)

가해지지 않는 조건의 잠수정에 사용이 가능하다. 압력에 견디는 전자장비들은 기름을 채워 외부압력이 전달되는 압력보상 방식의 방수 기법도 많이 사용된다. 한편 이들을 결합한 형태로 전자장비를 구성한 사례도 있다. 미국 ASR사는 광통신 모듈을 구형 내압선체에 내장하여 대기압 방수를 하고, 나머지 전자장비는 기판에 설치하고 기름을 채워 압력보상형 방수구조를 갖도록 설계하였다. 이

러한 방법은 4천m 이내의 심도에서는 사용이 가능하다.

세라믹구를 부력재로 사용, 중성부력 유지

잠수정은 심도변화에 무관하게 수중에서 중성부력을 갖는 것이 중요하다. 중성부력을 유지하기 위하여 마이크로 유리구와 수지가 혼합된 합성 부력재를 주로 사용한다. 이러한 합성 부력재는 고압에서도 부피변화가 적으며, 흡수율도 낮게 설계된다. 심해용 부력재는 비중이 0.5~0.7 정도이며, 합성 부력재와 세라믹 구를 혼합하여 부력재의 비중을 낮추는 기법이 활용되고 있다. 최근에는 세라믹 구를 부력재로 사용하는 기술이 개발되었다. 다음 그림은 미국 디프씨 라이트 & 파워사가 개발한 세라믹 부력구는 원통형 플라스틱 케이스 또는 박스에 내장하여 원하는 형태로 부력재를 만들 수 있다. 이 부력구는 3천 기압에도 견디며 비중이 0.34에 불과한 장점이 있다. 다만 충격에 약하므로 충격 방지를 위하여 세라믹 부력구 외부에 실리콘 커버를 도포하여 사용한다.

이밖에도 수중에서 ROV의 위치를 정밀하게 추적할 수 있는 초음파 위치추적 센서와 관성센서를 융합한 수중 복합항법 기술이 발전하고 있으며 신뢰도 높은 해저탐사가 실현되고 있다. ROV의 위치추적 정밀도 향상과 함께 샘플링 레이트를 높이는 연구가 진행되고 있으며, 초음파 위치추적 기술은 수중통신 기능을 겸비하는 방향으로 발전하고 있다. 향후 ROV의 요소기술 발전과 함께 ROV의 자율성이 점차적으로 증대되면서 AUV의 장점을 취한 복합형 ROV가 등장할 것으로 기대된다. **SD**



글쓴이는 한양대학교 기계공학과 졸업 후, 한국과학기술원 기계공학과에서 석사 및 박사학위를 받았다. 미국 하와이대학 자율시스템연구실 객원연구원을 지냈다.