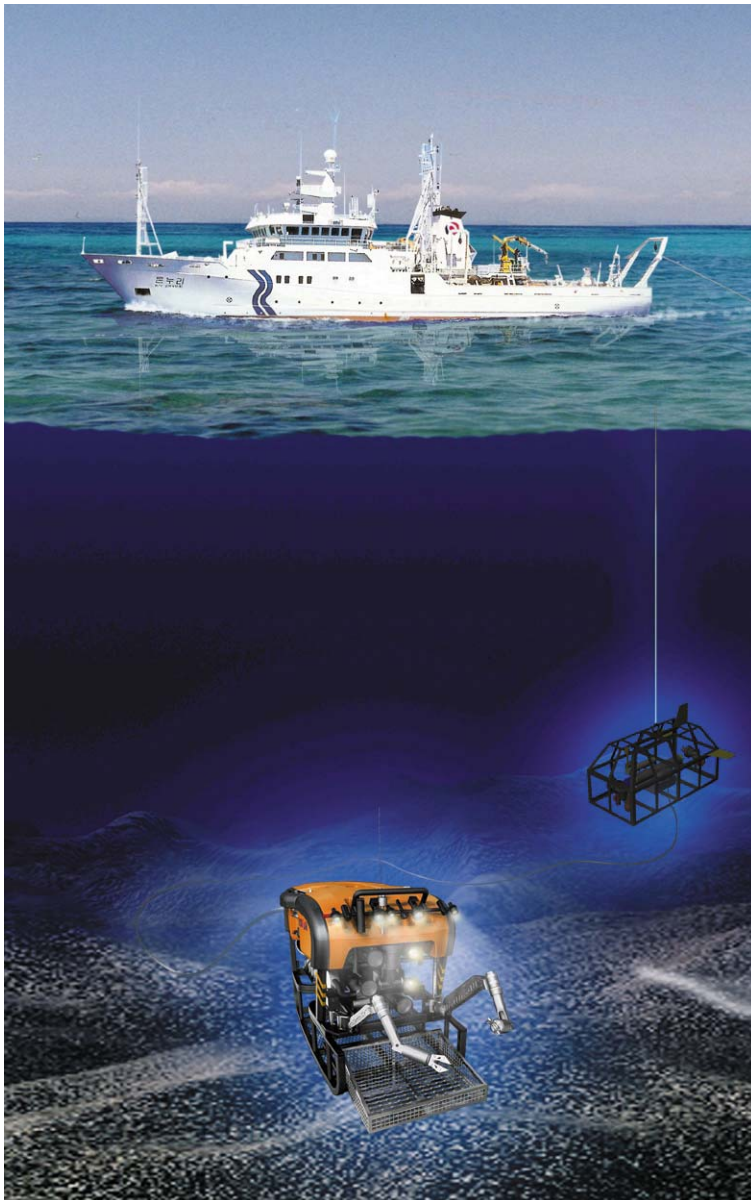


6천m 해저탐사 도전, 심해무인잠수정 '해미래'

글 | 이판목 _ 한국해양연구원 책임연구원 pmlee@moeri.re.kr



온누리호를 이용한 해미래-해누비의 운영 개념도

지난 5월 3일 6천m급 해양과학 탐사용 심해무인잠수정 '해미래'가 미국, 일본, 프랑스에 이어 세계에서 네번째로 진수되었다. 한반도를 둘러싼 동·서·남해 탐사를 위해서는 3천m급으로 충분하지만, 우리나라가 광구권을 갖고 있는 태평양 해역을 포함해 태평양 공해상의 해저를 탐사할 수 있도록 6천m급으로 개발했다. 6천m급 무인잠수정은 전세계 해양의 98%를 조사할 수 있다.

엄청난 자원의 보고인 심해는 인류가 직면한 에너지 부족과 지구과학의 많은 문제에 대한 해답의 실마리를 제공할 것으로 기대된다. 하지만 심해는 흑암의 세계이며 극심한 압력과 불확실한 해양외력을 받는 극한의 조건으로 인하여 인간의 접근이 어렵다. 심해는 수심이 10m 깊어지면 압력이 1기압씩 증가해 수심 6천m에서는 600기압이 작용하는 초고압의 극한 조건이 된다. 이는 손톱 위에 소형 승용차를 올려놓은 정도의 압력이다. 게다가 심해에는 빛과 전파가 수중을 통과하기 어려워 육상에서 통용되는 기술이 직접 적용될 수 없다.

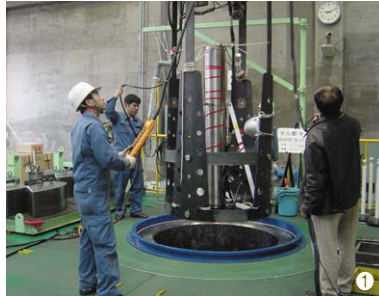
전세계 해양 98% 조사, 6천m급 심해무인잠수정 개발

심해는 생명체가 살기 힘든 환경이다. 그러나 심해에도 희귀한 생명체들이 살고 있다는 사실이 심해탐사로 하나둘씩 밝혀지고 있다. 해양생물학자들은 열악한 심해 환경에서 생명체가 어떻게 생존하는가에 대하여 연구하고 있다. 심해에는 열수분출구가 해저 화산대를 따라 곳곳에 산재해 있다. 열수분출구에서 솟아나는 용출수는 350도에 달하기도 한다. 이 주변에 새우, 게, 조개류와 함께 관벌레가 대단위 군락을 이루며 산다. 관벌레에는

열수분출구에서 나오는 황화물을 화학적으로 분해하여 영양분을 공급하는 박테리아가 공생한다. 광합성이 아닌 화학합성으로 에너지를 얻는 박테리아의 발견은 생명 기원에 관한 비밀의 단초를 제공할 것으로 기대된다. 과학자들은 고온에 견디는 박테리아를 연구하여 신물질 개발과 의학, 생화학, 생명공학에 활용하고 있다.

해저지각구조 연구, 해저지하자원 탐사, 해저지각 이동량을 측정하여 지진발생을 예측하는 것에도 무인잠수정이 이용된다. 해저 지하자원은 수상에서 원격으로 탐사되나 정밀한 측정을 위해서는 로봇팔을 갖춘 무인잠수정이 필요하다. 무인잠수정은 해저면에 근접해서 초정밀 중력계로 미소중력변화를 측정하여 자원 매장량을 정확히 추정할 수 있다.

심해무인잠수정은 해저에 침몰한 선박의 발굴에도 활용된다. 영화로도 잘 알려진 비운의 타이타닉호가 대서



- ① 압력선체의 내압시험
- ② 해미래 프레임의 용접
- ③ 전자장비를 내장한 슬라이딩 랙
- ④ 유압장치 제어용 서보밸브
- ⑤ 케이블 연결부 접속작업

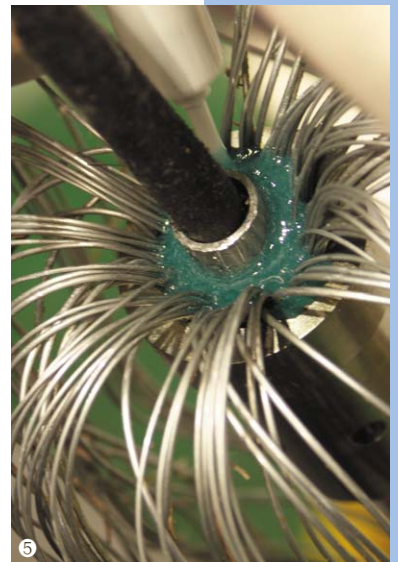
수중진수장치 '해누리'의 사양

최대 작업수심	6,000m
제원 (L×B×H)	2.6m×1.2m×1.34m
중량	1,100kg
추진기	3개의 2마력 추진기 (선수각 제어)
탑재장비	카메라 및 라이트, 팬-틸트 장치, 고도계, 위치추적 신호 응답기, 거리계측 소나, 자세센서 (AHRS), 측면주사소나(SSS), 전방감시소나
케이블 길이	8,500m

양의 3천810m 해저에 침몰한 후 73년이 지난 1985년에 다시 세상에 알려지기까지는 해양탐사기술과 잠수정기술이 발전했기에 가능했다.

한국해양연구원은 2001년부터 해양수산부의 지원으로 해양과학탐사를 위한 심해 무인잠수정 개발에 착수하였다. 2007년 완성을 목표로 총 120억 원이 투입되었으며, 2004년 5월부터 대양전기공업(주)이 제작업체로 참여하고 있다. 이 무인잠수정은 6천m 심해를 정밀하게 탐사하며 작업이 가능한 원격제어 무인잠수정(ROV) '해미래', 해미래의 수중작업을 지원하고 감시할 수 있으며 예인이 가능한 수중진수장치 '해누리', 그리고 선상의 중앙제어실로 구성된다.

해미래는 여섯 개의 프로펠러를 이용하여 수중에서 자유롭게 이동이 가능하며 전진속도는 1.5노트이다. 두 개의 수중 로봇팔과 8개의 비디오 카메라, 디지털 스틸 카메라, 수중조명장치가 설치된다. 케이블을 통하여 전원을 공급하며 선상에서



심해무인잠수정 '해미래'의 사양

최대 작업수심	6,000m
제원 (L×B×H)	3.3m×1.8m×2.2m (L×B×H)
중량	3,661kg
제화중량	200kg
최대이동속도	전진/좌우/상하: 1.5/1.0/1.5노트
케이블 길이	25/35/50m
탑재장비	8개 카메라 (3CCD, 저조도, 스틸, 5개의 컬러/흑백카메라), HMI 라이트, 백열등, CTD 센서, 6개 추진기, 위치추적 신호 응답기, 자세센서 (IMU), 도플러 속도센서(DVL), 2개의 7자유도 로봇팔, 고도계, 멀티빔 소나, 거리계측 소나



①



②



③



④



⑤

- ① 장비배치 작업 중인 해미래
- ② 선상중앙제어실
- ③ 해미래-해누비의 수조시험
- ④ 부두 시험을 위한 해누비-해미래
- ⑤ 해미래 제어장치와 모니터

광통신 라인을 통하여 원격으로 제어한다. 해미래는 해양과학조사를 위한 각종 센서를 갖추고 있으며, 장애물 감지를 위한 전방감시 초음파 센서와 해저지형 판독을 위한 정밀 탐지소나를 장착한다. 심해 탐사에서 정확한 위치 파악과 제어 기술은 무엇보다 중요하다. 해미래는 USBL이라는 초음파 위치 추적 장치와 관성 속도 센서를 융합하여 6천m 심도에서도 5m 이내의 오차범위에서 위치를 추적한다.

독자 개발 '수중복합탐색시스템', 6천m 심해서 5m 이내 오차

한국해양연구원이 개발한 심해무인잠수정은 복합형 무인잠수정 시스템이다. 최대 6천m 수심에서 넓은 영역을 정밀하게 탐사할 수 있다. 심해무인잠수정은 2개 선체로 구성된다. 해저관측과 심해 이동기지 기능을 갖고 예인이 가능한 수중진수장치 '해누비', '해누비'와 중성부력 케이블로 연결되어 해저 탐사와 정밀작업을 수행하는 원격제어 무인잠수정 '해미래'이다. 또한 원격제어를 위한 선상 중앙제어 시스템으로 구성됐다.

'해누비'는 심해에서 수중전진기지 역할을 하며 초음파 위치추적장치를 갖추어 수중 위치를 선상에서 파악한

다. 이를 기준으로 '해미래'가 위치를 계산한다. 수중진수장치는 ROV 작업을 보조하며, 해상에 떠있는 해양조사선과 철갑 케이블로 연결돼 선상 윈치에 의해 심도가 제어된다. 선상에는 중앙제어실이 있으며 심해무인잠수정을 모니터링하며 원격제어하는 장비가 설치되었다. 철갑 케이블에는 3개의 광통신 라인과 전원공급용 전선이 포함되었다. 이 장치에는 수중음향탐지기, 스틸 카메라, 비디오카메라 2대가 탑재된다. 한편 수중진수장치는 단독으로 활용이 가능해 이 장치를 예인함으로써 넓은 탐사해역에서 해저 영상촬영과 초음파 해저지형도가 작성된다.

ROV는 수중진수장치와 중성부력 케이블로 연결된다. 공기중 중량은 약 3.6톤이고, 수중에서는 중량과 부력이 일치하도록 설계돼 중성부력이 유지된다. 6개의 추진기를 이용하여 수중에서 자유롭게 이동이 가능하며 전진속도는 1.5노트이다.

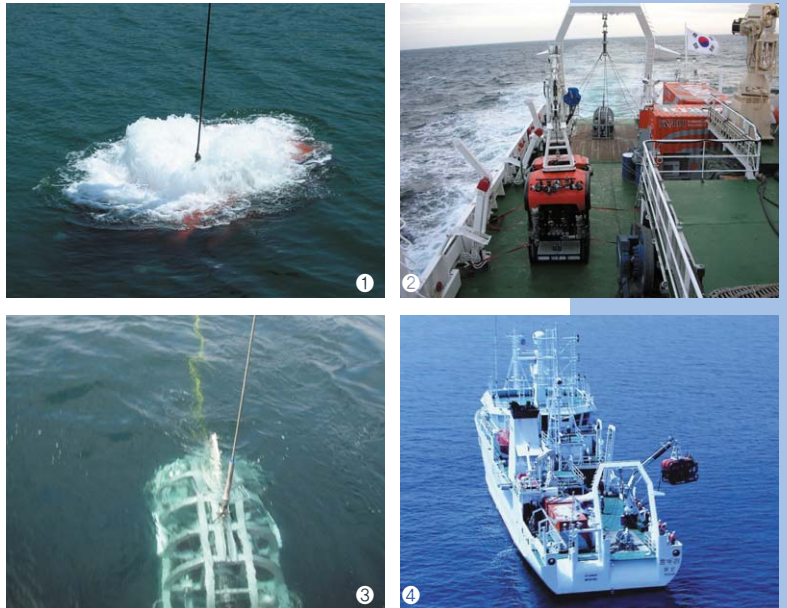
설계된 ROV는 개방형 프레임 구조를 갖는다. 프레임 내부에 내압용기와 장비들이 배치되고, 상부에 부력재가 탑재되며, 하부에 과학탐사 프레임에 시료운반 바구니가 연결됐다. 광통신장치, 신호처리보드, 계측센서 앰프 등 전자장비는 티타늄으로 제작된 실린더형 내압용기에 내

장된다. 그밖의 장비는 내부에 기름을 채워 넣는 방식의 압력 보상형 구조를 갖는다.

ROV는 해양과학조사를 위한 염도·온도·밀도 센서(CTD), 탁도센서 등을 갖추고 있으며, 장애물 감지를 위한 전방감시 초음파 센서와 해저지형 판독을 위한 정밀 탐지소나를 장착한다. 최대 비디오 8채널에 디지털 스틸 카메라 1개, 카메라 7개와 수중조명장치가 설치되고, 2기의 유압구동형 수중 로봇팔(매니퓰레이터)이 장착되며, 선상에서 광통신 라인을 통하여 원격으로 제어된다. ROV의 항법과 정밀 유도제어는 관성계측센서와 초음파 도플러 속도계를 이용하여 구현됐다. 또한 ROV와 진수 장치와의 거리를 보조적으로 이용하여 고정밀 수중항법이 가능하도록 구현됐다.

심해무인잠수정 해미래와 해누리비는 두 개의 무인잠수정으로 구성되고 전용의 지원 선박을 필요로 하지 않는다는 점에서 미국의 '제이슨 II'와 프랑스의 '빅토르 6000'과 유사한 시스템이다. 반면, 제이슨 II, 빅토르 6000과 다른 세 가지 특징이 있는데, 첫째는 ROV를 분리한 상태에서 수중진수장치 단독으로 심해를 탐사하는 기능이고, 둘째는 넓은 해역에 걸쳐 심해무인잠수정의 위치를 추적하면서 특정해역에서는 위치를 정밀하게 추적할 수 있는 수중복합항법시스템이다. 셋째는 ROV를 이용한 정밀탐사 작업과 함께 초단기선 초음파 위치추적 장치(USBL)를 이용하여 탐사중인 인근 심해역을 조사할 수 있다.

심해무인잠수정은 해미래를 분리하고 해누리비를 단독으로 예인하여 심해저를 빠르게 탐사할 수 있다. 이 때는 해누리비가 넓은 해역을 이동해야 하므로 USBL을 이용하여 이동중인 해누리비의 위치를 추적한다. USBL은 정밀도가 높지 않고 상대 거리에 대하여 0.3% 오차를 가지므로 6천m 해저탐사에는 18m 오차를 보인다. 이 위치추적 정밀도로는 해미래가 심해에서 정밀 탐사하는 것이 불가능하다. 해미래를 이용한 심해관측과 시료채취 작업에는 USBL과 함께 관성항법시스템과 도플러 속도센서를 융합한 수중복합항법시스템을 이용한다. 수중복합항법시스템은 한국해양연구원이 독자적으로 개발한 방법으로 6천m 심해에서 5m 이내의 항법오차를 가지며, 50



cm 이내의 상대 위치오차를 갖는다.

0.3%의 RMS 정밀도 갖는 USBL 시스템 선정

해누리비와 해미래의 원격 제어를 위해서는 잠수정의 운동 및 자세 계측이 필수적이며, 정밀한 위치 계측 및 제어를 위한 수중 항법 시스템이 요구된다. 이를 위해 다양한 계측 및 항법 센서가 사용된다. 이 중에서 고도, 자세, 압력, 거리, 속도 등을 계측하는 센서는 수중 항법에 사용되며, 측면주사음탐기, 전방향탐지소나 등의 초음파 영상 센서는 지형 및 장애물 탐지용으로 사용된다. 하이드로폰은 잠수정의 이상 진단을 위한 감시 목적으로 사용되며 비상사태시 잠수정의 위치 확인을 위해 제논 플래쉬 및 라디오 비이콘이 장착된다.

심해무인잠수정은 해누리비 및 해미래가 짝을 이루어 한정된 범위내에서 주어진 작업을 수행하는 ROV 모드와 함께 측면주사소나 및 카메라를 장착한 해누리비를 단독으로 예인하여 심해를 탐사하는 예인 모드로 운용될 예정이다. 따라서 LBL 시스템과 같이 특정한 범위내에서 운용이 가능한 시스템 대신 운용이 보다 용이한 USBL 시스템을 초음파 항법으로 선정하였다. 선정된 USBL 시스템은 거리에 대하여 0.3%의 RMS 정밀도를 가진다.

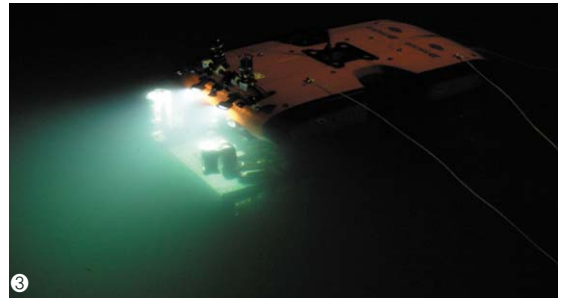
- ① 해미래 추진기 성능시험
- ② 해미래와 해누리비를 탑재한 온누리호
- ③ 해미래-해누리비의 잠항준비
- ④ 온누리호를 이용한 해미래의 진수



1



2



3

- 1 해미래 인양장면
- 2 해미래 작업감시 모니터
- 3 부두 성능시험

심해무인잠수정의 항법시스템은 IMU-DVL 기반 무인잠수정의 복합항법시스템의 성능을 개선시키기 위하여 해저의 기준점에 대한 무인잠수정의 거리정보를 얻을 수 있는 초음파 거리계를 도입하였다. 무인잠수정에 장착된 능동형 소나를 이용하고 해저에 설치된 핑거로부터 얻어지는 응답시간을 측정하는 방식의 초음파 거리계를 도입하고 DVL과 함께 보조센서로 이용한 관성센서 기반의 수중 복합항법시스템을 구성하였다. 이 방법은 관성항법시스템이 갖는 위치추적오차의 누적을 피하면서, LBL 보다 운용이 편리한 이점이 있다.

항법 알고리즘은 심해 무인잠수정에 사용될 스트랩다운 IMU를 기반으로 하여 칼만필터를 구성하였다. 초음파 거리계를 비롯하여 DVL, 심도계 및 방위계를 보조센서로 이용하여 측정방정식을 구성하였다. 이 항법시스템은 보조센서의 신호가 없는 경우에는 확장 칼만 필터를 이용하여 IMU 단독으로 위치를 추정하며, 외부의 측정 신호가 유효한 경우에 추정치와 계측치의 오차를 이용하여 오차행렬과 상태변수를 보정한다.

심해생태계 연구, 지진 예측, 침몰선박 탐사에도 활용

심해무인잠수정 해미래와 해누리가 개발됨으로써 동해를 비롯하여 태평양의 심해저를 직접 탐사할 수 있는

장비가 마련됐다. 앞으로 해미래를 이용함으로써 정밀 지형지도 작성, 지질분석, 심해자원탐사, 심해생태계 연구가 활성화될 것이다. 심해저 망간단괴를 비롯한 광물 자원 탐사와 채취에 활용이 가능하며, 해저화산대 주변에 분포하는 열수광상, 열수분출구 주변에 서식하는 심해생물의 생태계 조사, 심해 해양바이오와 생명과학 연구에 직접 활용하는 것이 가능하다.

또한 심해생명과학의 베일을 벗겨 심해 신물질 연구, 심해 바이오, 심해 생화학 등의 연구가 가시적 성과를 얻어 첨단해양산업이 발전할 것으로 기대된다. 심해무인잠수정은 침몰한 선박을 탐사에도 이용이 가능하며, 해저 광케이블을 매설하거나 해저에 해양관측기지를 건설하는 수중작업과 수중 시설물을 유지 관리하는 것에 이용될 수 있다. 석유자원이 고갈됨에 따라 인류의 차세대 대체연료로 부각되는 해저 메탄수화물에 대한 관심이 높아지고 있다. 해미래는 메탄수화물 탐사에도 또 다른 기회를 제공할 것으로 기대된다. **ST**



글쓴이는 한양대학교 기계공학과 졸업 후 한국과학기술원 기계공학과에서 석사학위(진동공학)와 박사학위(자동제어)를 받았다. 미국 하와이대학 자율시스템연구실 객원연구원을 지냈으며, 현재 한국해양연구원 해양시스템기술연구본부 해양탐사장비사업단 단장을 겸임하고 있다.