
한국형 수중로봇시스템의 기술개발연구 - 시나리오플래닝 적용으로 -

이상윤* · 윤홍주**

A Study on Development of Technology System for Deep-Sea Unmanned Underwater Robot of S. Korea analysed by the Application of Scenario Planning

Sang-Yun Lee* · Hong-Joo Yoon**

요 약

본 연구는 미래예측방법으로 많이 활용되고 있는 시나리오플래닝 방법론을 적용하여 2006년에 개발된 한국형 수중로봇시스템(심해무인잠수정시스템)의 바람직한 미래상을 도출하였다. 한국이 개발한 이 심해무인잠수정의 설계심도는 6000미터이며, 그 구성을 보면, ‘해미레’는 실질적인 심해탐사작업을 실행하고, 이 ‘해미레’를 지원하는 ‘해누비’는 심해에서 시료채취나 탐사가 가능하다. 한편 이 한국형 심해무인잠수정시스템은 수중복합항법시스템을 사용하고 있지만, 6000m심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치오차를 가지고 있다. 따라서 본고는 이를 보완하여 관련 분야에서 기술 선도국이 될 수 있는 한국정부가 추진해야 할 바람직한 미래전략방향을 고찰했다. 그 결과 인디케이터와 가상벽을 갖춘 외부장치를 구비한 심해무인잠수정 시스템 개발이 한국에 있어 미래지향적인 정책추진방안이었다.

ABSTRACT

This study is about development of technology system for an advanced deep-sea unmanned underwater robot of S. Korea analysed by the application of scenario planning. It was developed a 6000m class next-generation deep-sea unmanned underwater vehicle(or robot, UUV) system, soonly ROV 'Hemire' and Depressor 'Henuvy' in 2006 at S. Korea and motion control, adaptive control algorithm, a work-space manipulator control algorithm, especially the underwater inertial-acoustic navigation system robust to initial errors and sensor failures. But there are remained matters on position tracking of the USBL, inertial-acoustic navigation system, attitude sensor, designed sonar sensors. So this study suggest the new idea for settle the matters and then this idea help the development of the underwater inertial-acoustic navigation system robust to initial errors and sensor failures, such as acoustic signal drop-out, by modifying the error covariance of the failed sonar signal when drop-out occurs. As a result, the future policy for deep-sea unmanned underwater robot of S. Korea is to further spur the development of new technology and more improvement of the technology level for deep-sea unmanned underwater robot system with indicator and imaginary wall as external device.

키워드

Deep-Sea unmanned underwater robot, Technology policy, Scenario planning, Indicator and imaginary wall
심해무인잠수정, 기술정책, 시나리오플래닝, 인디케이터 및 가상벽

* 교신저자 : 부경대학교 공간정보시스템공학과(waw1313@hanmail.net)

** 부경대학교 공간정보시스템공학과(yoonhj@pknu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 09. 21

심사(수정)일자 : 2013. 01. 15

게재확정일자 : 2013. 01. 21

I. 서론

심해무인잠수정은 수중로봇의 한 분야로서 수중로봇은 크게 유인잠수정과 무인잠수정으로 구분할 수 있고 무인잠수정은 다시 유삭식 수중로봇(ROV)과 무삭식 수중로봇(AUV)로 나뉜다[1].

현재 한국은 심해 6000미터까지 탐사가 가능한 심해무인잠수정을 보유하고 있다. 한국해양연구원 해양시스템안전연구소는 2001년부터 6개년 사업으로 당시 해양수산부로부터 특정연구사업으로 지정받아 이를 개발하였다. 한국이 개발한 이 심해무인잠수정의 설계 심도는 6000미터로서 이는 전 세계 해양의 약 97%를 탐사할 수 있는 성능을 갖춘 것이다. 구성을 보면, '해미래'는 원격제어무인잠수정(Remotely Operated Vehicle, ROV)으로서 실질적인 심해탐사작업을 실행하고, 이 '해미래'를 지원하는 '해누비'는 수중진수장치로서 단독으로도 운영이 가능하며 예인형 수중카메라를 갖추고 사이드스캔 소나 기능을 장비하고 있다. '해미래'는 5개의 카메라 시스템과 조명시스템, 2개의 유압식 원격제어 매니플레이터를 탑재하여 심해생명체를 관찰하며 과학조사를 수행한다. 또한 수중진수장치 '해누비'는 3개의 카메라, 조명장치, 측면주사 소나 및 방위각 제어를 위한 2기의 전동식 추진장치를 갖추고 있다. 이 한국형 심해무인잠수정 시스템은 2006년 4월과 10월에 동해 울릉분지 해역에서 성능시험을 하였고, 그 해 11월에는 태평양 필리핀해 5775m의 심도에서 그 성능시험을 하고, 현재 사용되고 있다.

한편 현재 전 세계적으로 엄청난 자원의 보고인 심해에 대한 탐사 및 연구가 이루어지고 있다. 다만 문제는 심해의 경우 수심이 10m증가함에 따라 압력이 1기압이 상승하여 수심이 6000m에 이르면 600기압에 이르러 초고압 극한상태가 되어 수시로 변하는 해류의 움직임과 함께, 빛과 전파는 수중을 통과하기 매우 어렵게 되며 이러한 이유로 육지에서의 상용기술들은 수중에서 그대로 적용되기 어렵게 된다.

그럼에도 불구하고, 현재 전 세계적으로 자원의 보고인 심해를 개발하기 위한 목적에서 각국은 수중로봇인 심해무인잠수정과 같은 심해에서의 사용되는 기술개발에 심혈을 기울이고 있다. 특히 무인잠수정은 심해 현장에 실제로 투입되어 시료를 채취하고 분석하는 심해탐사와 심해환경 조사를 위한 필수적인 핵

심장비라 할 수 있다. 또한 석유자원의 고갈에 따른 차세대 대체연료로 각광받는 해저 메탄수화물 등에 관심이 고조되면서 이러한 심해자원의 탐사 및 개발을 위해서라도 매우 중요한 기계장치가 되고 있다.

본고는 이러한 점에서, 한국이 개발한 '해미래', '해누비'라는 명칭을 가진 수중로봇 심해무인잠수정시스템의 기술을 분석하여 보다 미래지향적인 발전책을 모색하고자 한다. 이를 통해 한국이 개발한 이 심해무인잠수정시스템에 관한 기술은 더욱 진보되어 한국은 이 분야에서 선도국으로 자리매김할 수 있다. 또한 이를 위해 현재 미래예측도구로서 통용되고 있는 시나리오 플래닝 기법을 도입하며, 연구의 범위는 한국이 개발하여 현재 사용 중인 '해미래', '해누비'라는 명칭을 가진 심해무인잠수정시스템의 기술로서 상용화된 분야에 한정하며, 특히 육지에서 이미 상용화된 기술임에도 불구하고 심해라는 초고압극한상태로 인해, 수중에서 적용되기 어려운 기술 분야에 집중하여 이러한 문제점을 보완 및 해결하는 방안을 모색하고자 한다.

II. 수중로봇기술과 동향

그림 1에서 보듯이, 수중로봇은 테더 케이블의 유무에 따라 유삭식과 무삭식으로 구분되며, 수중로봇은 통상 ROV(Remotely Operated Vehicle)라고 호칭되고, 보통 ROV라고 하면 유삭식 수중로봇을 의미하며 유선무인수중로봇을 의미한다.

수중로봇에서 최초의 무인잠수정 개발은 케이블이 연결된 무인잠수정으로서 '푸들'이라는 명칭인 드미트리 레비코프가 1953년에 만든 것이다. 또한 미해군은 개발초창기부터 그 필요성을 알고, 연구개발에 많은 노력을 기울였는데, 1990년 6,096m를 잠수하며 해저 구난을 지휘할 수 있는 CURV III를 개발하였다.

특히 1970년대 세계적인 석유파동을 겪으면서 해저의 석유자원개발을 위해서 수중로봇의 중요성은 더욱 커졌고, 스웨덴, 노르웨이, 영국 등 유럽 국가들은 석유추산업과 관련된 대형 수중로봇개발에 나섰다. 한편, 선박의 청소 및 검사에 사용되는 수중로봇은 일본 미쓰비시사에서 상용화하여 사용되고 있으며, 군사용도로는 미국, 일본, 프랑스, 영국, 스웨덴, 이태리 등이 그 필요성을 인식하여 개발에 많은 노력을 하였고, 군

사목적의 수중로봇은 현재 상품화되었다.

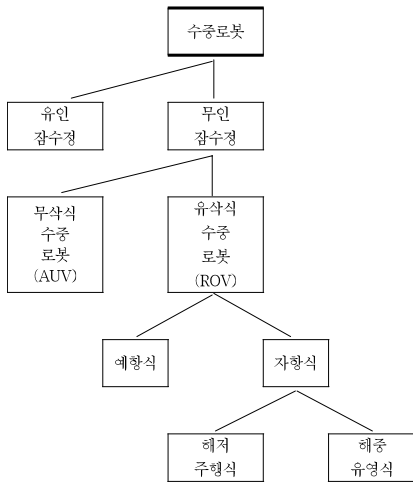


그림 1. 수중로봇의 분야와 종류[1]

Fig. 1 The type and division of the underwater robot

1980년대가 되면서, 그림 2와 같이, 컴퓨터관련 기술이 급속히 발전하면서 무인잠수정의 기능이 다양화되었는데, 미국, 프랑스, 영국, 캐나다, 일본, 러시아, 노르웨이, 스웨덴, 이태리, 독일, 호주, 중국 등은 무인잠수정 개발을 본격화하였고, 최근에는 6000m 심해를 탐사하는 무인잠수정이 다양하게 등장하였다[2]. 표 1은 현재까지의 주요국의 수중로봇개발현황을 정리한 것이다.

표 1. 주요국의 수중로봇개발현황
Table 1. Development of technology system for underwater robot

국명	연구소 및 기업	내용
미국	우즈홀 해양연구소 (WHOI)	1. Jason/Medea : 1990년대 6000m 탐사용 심해무인잠수정 2. Jason II : 2002년 6500m 탐사용 개발
일본	해양연구센터 (JAMSTEC)	1. 카이코 : 1997년 마리아나해구조사용으로 11000m수심탐사용 2. 우라시마 : 수심 3500m에서 300km를 자율항해가능한 로봇 연구개발
프랑스	해양연구소	Vitor6000 : 1997년 6000m급 작업용 무인잠수정 개발
한국	해양연구원 /대우조선(주) /대양전기(주) /KORDI	1. CROV300 : 1993년 한국해양연구원 해저탐사용 무인잠수정 개발 2. Okpo6000 : 1996년 대우조선 해저탐사용 자율항해무인잠수정 개발 3. 보탐호 : 1997년 한국해양연구원 수

- 중항주체의 제어시스템 연구 위한 시험용 자율항해무인잠수정 개발
- SAUV : 2003년 한국해양연구원과 대양전기 공동으로 민군겸용 반자율항해 무인잠수정 개발
 - 해미레 : ROV(2006년)

본고에서 주목하고 있는 한국의 관련 기술현황을 좀 더 상세히 살펴보면, 표 2에서 보듯이, 현재 한국은 6000m 심해에서 운항하는 심해잠수정 개발을 마치고 실제로 운용 중에 있다.



그림 2. 외국의 다양한 수중로봇[1]

Fig. 2 A foreign underwater robot's various forms

표 2. 국내 5의 다양한 수중로봇
Table 2. Various kinds of the internal underwater robot

명칭	개발 업체	개발연도	특징
옥포6000	대우중공업 / IMTP	1996년 (6000m급)	- 중량 : 1ton - 속도 : 3knots - 추진기 : 4개 - 기능 : 해저관측, 정밀 지형조사
VORAM	KRI SO - KO RDI	1997년 (200m급)	- 중량 : 357kg - 제어 : 수평/수직추진기, 수평타 - 기능 : 수중통신, 항법, 영상통신 연구용
SAUV	KO RDI / 대양전기	2003년 (400m급)	- 중량 : 700kg - 속도 : 7knots - 추진기 : 주추진/수직/수평 - 기능 : 민군겸용

해미래	KO RDI	2006년 (6,000m급)	- 중량 : 3,661kg - 속도 : 1.5knots - 추진기 : 6개의 추진기
이십이	KO RDI	2006년 (6,000m급)	AUV
해누비	KO RDI	2006년 (6,000m급)	수중 진수장치

곧 이 심해잠수정은 2개의 선체로 구성되며 수중진수장치인 ‘해누비’는 해저관측과 심해 이동기지 기능을 갖추고 예인이 가능하며, 이 ‘해누비’와 중성 부력 케이블로 연결된 ‘해미래’는 해저탐사와 정밀작업을 수행하는 원격제어 무인잠수정이다. 이 심해무인잠수정 시스템은 세 가지의 주요한 특징이 있다. 먼저 ROV인 ‘해미래’를 분리한 상태에서 수중진수장치 단독으로 심해탐사가 가능하고, 특정해역에서 위치를 정밀하게 추적가능한 수중복합항법시스템을 사용하여 넓은 해역에 걸쳐 심해무인잠수정의 위치를 추적할 수 있으며, ROV인 ‘해미래’를 이용한 정밀탐사작업 및 AUV인 ‘이십이’를 이용해 탐사 중인 인근 심해역 조사가 가능하다[2].

한편 수중로봇은 관리자가 원격지에서 수중로봇을 조작하거나, 자동으로 작업을 수행하는 수중로봇에서 전송된 데이터를 관찰하는 방식을 택하는데, 이러한 방식은 수중에서 작동 중인 로봇이 갑자기 강한 해류를 만나거나 수중로봇의 작동에 오류가 발생하는 경우에는 수중로봇이 유실되어 회수하기가 매우 힘든 단점이 있고, 수중로봇이 견딜 수 있는 수압 이상의 수심으로 이동하는 경우에는 수중로봇이 파손되는 문제점이 있다.

그러한 점에서 유실을 방지하거나 파손을 막기 위해서 로봇에 있어, 위치제어 및 추적장치는 매우 중요하다. ‘해누비’는 심해의 수중전진기지 역할자로서 초음파 위치추적장치를 통해, 자신의 수중위치를 해수면 위에 있는 -중앙제어실을 갖추고 심해무인잠수정을 모니터링하며 원격 제어하는 장비가 설치된- ‘온누리호’의 선상에서 파악하도록 하며, 이를 기준점으로 해서 ‘해미래’는 그 위치를 계산한다.

그리고 이 ‘온누리호’와 수중진수장치는 철갑케이블로 연결되어 3개의 광통신라인과 전원공급용 전선이

포함되어있고, 수중진수장치는 ROV인 ‘해미래’의 작업을 보조하며, 수중음향탐지기, 스틸카메라, 비디오카메라 2대가 탑재되어있으며, 이 수중진수장치는 단독 촬영이 가능하여 이 장치를 예인함으로써 탐사해역 전반에 걸쳐 해저 영상촬영과 함께, 초음파 해저지형도가 만들어진다.

또한 ROV인 ‘해미래’는 이 수중진수장치와 공기중 중량이 약 3.6톤으로서 수중에서는 중량과 부력이 일치되도록 설계되는 중성부력 케이블로 연결되며, 6개의 추진기 작동을 통해 1.5노트의 전진속도를 가지고 수중을 자유롭게 이동하고, 장애물감지를 위한 전방감시 초음파 센서와 해저지형 관독이 가능한 정밀탐지소나를 갖추고 있다. 특히 ROV인 ‘해미래’의 항법과 정밀 유도제어는 관성계측센서와 초음파 도플러 속도계를 이용하며, ROV인 ‘해미래’와 수중진수장치 사이의 거리를 보조적으로 이용하여, 고정밀 수중항법이 가능하다[2].

수중진수장치인 ‘해누비’는 예인되면서 심해저를 빠르게 탐사할 수 있는데, ROV인 ‘해미래’는 넓은 해역을 이동하면서, 초단기선 초음파 위치추적장치(Ultra Short Base Line, USBL)를 이용하여 이동 중인 수중진수장치인 ‘해누비’의 위치를 추적한다.

현재 USBL은 정밀도가 높지 않다. 따라서 상대거리에 대해 0.3퍼센트 오차를 보여, 6000m 심해탐사시에는 18미터의 오차가 있는 이유로, ROV인 ‘해미래’는 심해에서 정밀탐사가 어렵기 때문에, 그 관측과 시료채취 시에는 보다 정밀한 위치확인을 위해 USBL과 관성항법시스템 및 도플러 속도센서를 퓨전한 수중복합항법시스템이 사용되고 있다. 이 방법은 6000m 심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치오차를 가지고 있다[2].

III. 한국형 심해무인잠수정 위치추적시스템과 항법시스템

수중로봇이 수중에서 자기 위치를 정확하게 파악할 수 있는 기술 개발은 탐사목적에 부합하는 작업 수행 능력 향상 및 로봇의 유실 등을 방지하는 장비의 보호 등에 있어 꼭 필요한 기술이며, 특히 수중 환경에서의 위치추적 기술은 3차원 공간상에서 얼마만큼 수

중로봇의 위치를 정확하게 추정할 수 있는가와 같은, 신뢰성 있는 좌표의 추정이 중요하다[1].

현재 관련한 선행연구가 많이 이루어지고 있는데, 수중환경에서 위치추적 시스템의 DSP 구현에 있어서는 Hyperbolic 위치추적 방식[3]을 이용하여 수중로봇과 고정체 간의 시간 동기화에 관계없이 수중로봇이나 고정체에서 수신되는 신호의 상대 시간 지연[4]을 이용하여 이동체의 3차원 위치를 추정하였고[5], 네 개의 초음파센서를 그림 3처럼, 수중의 서로 다른 위치에 고정시키고 이동 중인 센서와 서로 다른 신호를 송수신하게 함으로써 고정체와 이동체 모두에서 이동체의 3차원 위치추적과 이동체의 원격제어를 가능하게 하였다[6].

또한 위치추적 시에 Newton 알고리즘을 이용하여 추정하였으며 Newton 알고리즘에서 매 iteration 시에 Jacobian 행렬의 norm을 추정하고, 행렬의 norm이 임

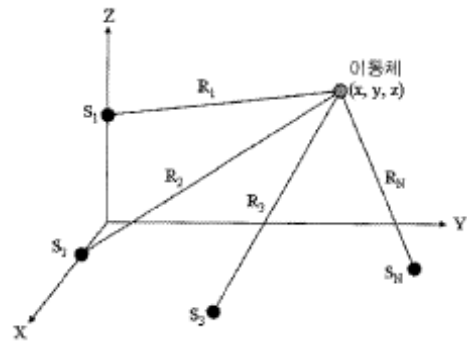


그림 3. 센서배열과 이동체의 기하학적 배열[6]
Fig. 3 The location of objects in underwater environment

계값이상이 되어 역행렬에 의한 해가 불안정해질 때는 또 다른 초기값을 이용하여 해를 구하게 하여, 이동체의 위치를 보다 신뢰성이 있게 하였다[6].

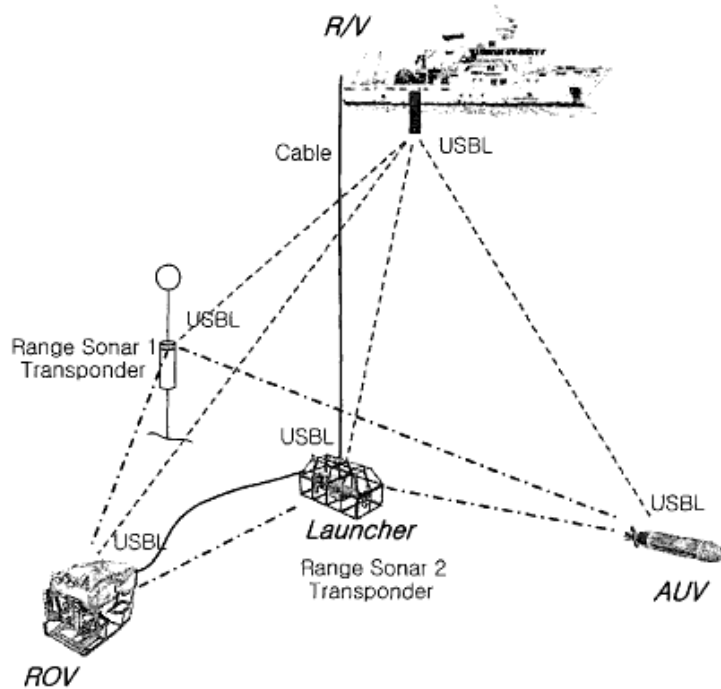


그림 4. 한국형 심해무인잠수정시스템의 위치추정 및 수중복합항법시스템의 개요도[2]
Fig. 4 Navigation and location system for deep-sea unmanned underwater robot of S.korea

한편 통상적인 좌표의 위치추적은 3차원 공간상에서 좌표의 거리, 방위각, 고각을 추정하는 것으로 배열 센서를 이용하여 수중환경에서 수면이나 바닥에 반사되어 도달하는 다중경로를 통한 신호들의 입사각과 이 신호들 사이의 시간차를 이용하여 수중로봇의 위치를 추정하는데, 수평 배열 센서를 이용하는 경우의 단점으로는 각각의 다중경로를 통하여 도달한 신호의 시간차만을 이용하여 좌표의 거리와 깊이를 동시에 추정할 수 없다는 것이며, 수직 배열 센서를 이용하는 경우의 단점은 센서에 도달하는 신호들의 고각만을 이용하여 수중로봇의 위치를 추정하는 이유로 신뢰성이 떨어진다.

특히 수중에서는 크게 관성 항법 시스템과 수중음향 항법 시스템 이 두 가지의 방법이 통상적인데, 사실상 관성 센서를 이용한 관성 항법 시스템과 수중음향을 이용한 수중음향 항법 시스템은 - 심해의 경우 수심이 10m증가함에 따라 압력이 1기압이 상승하여 수심이 6000m에 이르면 600기압에 이르러 초고압 극한상태가 되어 수시로 변하는 해류의 움직임과 함께, 빛과 전파는 수중을 통과하기 매우 어렵게 되며 이러한 이유로 육지에서의 상용기술들은 수중에서 그대로 적용되기 어렵기 때문에- 각각 다음의 단점이 있다.

먼저 관성 항법 시스템은 장시간 사용 시 누적오차의 증가로 인한 정확도의 감소문제다. 곧 각속도, 가속도 등을 측정하여 위치를 측정하는 방법인 이 관성 항법시스템은 오랜 시간 사용하는 경우 누적 오차가 점점 증가하여 정확도가 떨어지는 문제가 있다. 또한 수중음향 항법은 절대위치를 바로 측정할 수 있기 때문에 장시간 사용되는 시스템에 적합한 항법 시스템이지만, 수중 주변소음 등이 많을 경우에는 역시 정확도가 떨어지는 문제가 있다. 한편 관성 항법의 단점을 보완하기 위하여 DVL과 GPS 등을 보조센서로 이용한 새로운 항법시스템이 외국에서 개발되어 사용되고는 있으나, 역시 수중에서의 정확도를 증가시키기 위해서는 수중 음향 항법과 관성 항법 시스템을 융합한 시스템 개발이 요구되었다.

그림 4처럼, 본고에서 중점을 두고 있는 한국형 심해무인잠수정시스템은 이상의 문제점 아래에서, 주변의 소음에 영향을 쉽게 받는 초음파센싱시스템의 오류에 강인한 수중복합항법시스템을 구현하였다. 또한 이러한 복합항법시스템의 초기오차 자기복구 및

drop-out 등 초음파 센서의 고장에 따른 위치추정 오차 자기복구 성능을 보강하고, USBL를 이용해서 ‘해미래’와 ‘해누리’의 트랜스듀서를 광통신을 이용하여 TTL트리거링 함으로써 USBL의 샘플레이트를 2배로 증가시킬 수 있는 시스템을 구현하였다[2].

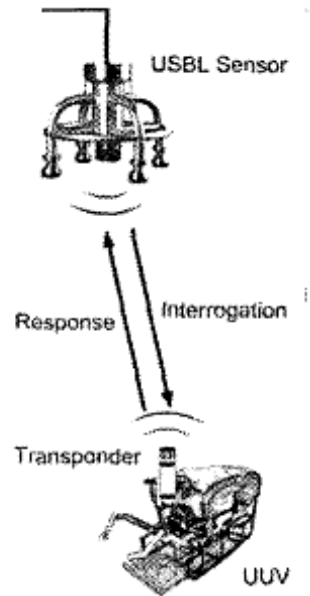


그림 5. 한국형 심해무인잠수정시스템의 USBL 위치추적시스템[2]

Fig. 5 Configuration of UUV's USBL acoustic navigation system, posidonia 6000

그림 5에서 보듯이, USBL 위치추적 시스템은 무인잠수정에 장착된 트랜스폰더(또는 리스폰더), 선상에 고정된 USBL 센서가 상호교신하며, 유식식 무인잠수정의 경우 음향문의 신호를 받는 트랜스폰더 모드 대신 TTL 신호에 응답하도록 하는 리스폰더 모드로 사용하는 것이 갱신률이 빠르게 되도록 구현되었고, 이 Posidonia 6000의 트랜스폰더는 리스폰더 기능을 내장하고 있다.

곧 이 USBL Posidonia 6000은 한국형 심해무인잠수정시스템인 ‘해미래’와 ‘해누리’에 있어서의 수중위치추적에 있어, 수중진수장치를 예인하면서 광대역을 탐사하도록 설계되었다. 즉 ROV와 수중진수장치는 운누리호라는 지원모선과 케이블로 연결되어 있는 이유로 수중선체에 장착된 트랜스폰더에서 발신하는 신

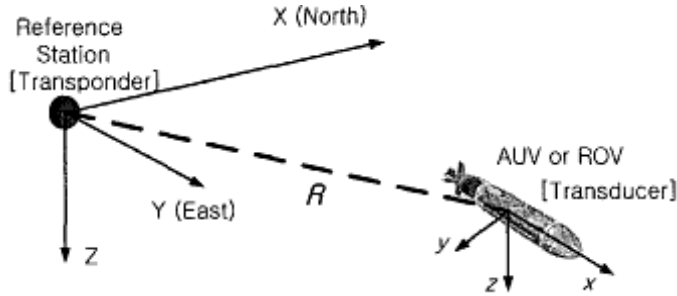


그림 6. 초음파거리계를 갖는 한국형 심해무인잠수정시스템의 수중복합항법시스템[2]

Fig. 6 Navigational coordinates the underwater vehicle with range measurement

호를 선상 트랜스듀서 어레이에서 획득하여 위치를 추적하는 방식이며, 해저에 계류되는 트랜스폰더와 AUV용 트랜스폰더는 선상 트랜스듀서 어레이에서 발신하는 신호에 응답신호를 재발신하는 방식으로 운용된다[2].

한편 사실상 Posidonia 6000은 오차가 있었다. 즉 각도오차가 0.5%이내였기 때문에 6000m수심에서는 약 18m rms 오차를 갖게 되어 항법 오차 5m 이내의 성능구현을 위해 별도의 추가 항법시스템이 필요했다.

그림 4에서처럼, 이 문제를 보완하기 위해 한국형 수중무인잠수정시스템은 스트랩다운 관성계측 유니트

(IMU, Inertial Measurement unit)를 기본 항법센서로 이용하여, 초음파 도플러 속도계 DVL(Doppler velocity log), 방위계, 심도계, 거리계측 소나를 사용하는 수중복합항법시스템을 구현하고, 무인잠수정의 위치추적에 있어 보다 종합적인 모니터링과 감독이 가능하게 했다. 이 항법시스템에서 USBL 위치추적시스템은 무인잠수정의 초기 위치를 제공하고, 수중 복합항법시스템이 추정하는 위치와 USBL의 모니터링 위치 차이가 커질 경우에 위치 보정에 사용된다.

또한 만약 해저면에 2개의 트랜스폰더를 설치하면, 수중진수장치에 또 다른 기준점이 되는 거리계측 소

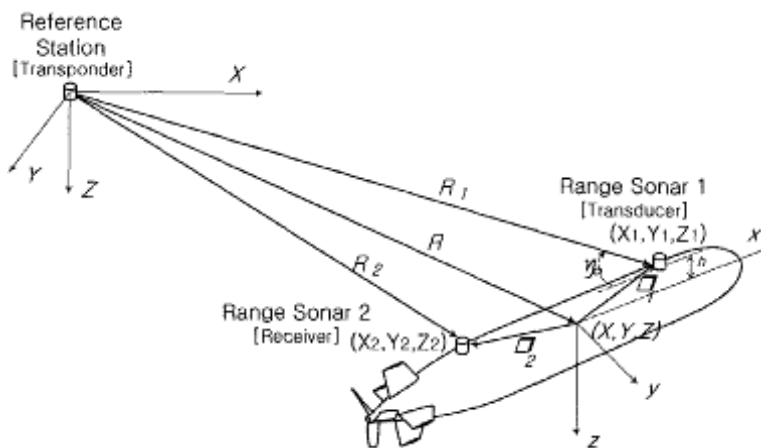


그림 7. 보조항법용 2개 초음파 트랜스듀서(거리-각도 계측 소나)를 갖는 한국형 심해무인잠수정시스템의 수중복합항법시스템[2]

Fig. 7 Coordinates of an AUV and two range sonars

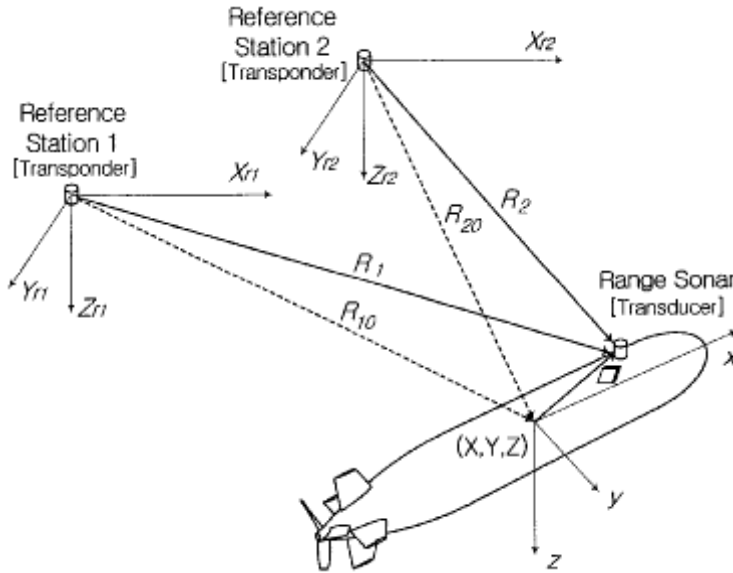


그림 8. 두 개의 거리센서를 갖는 한국형 심해무인잠수정시스템의 수중복합항법시스템[2]

Fig. 8 Coordinates of the range measurement of an AUV for two reference stations

나를 설치하여 운용하고, 만약 거리측정 소나가 해저 기준점에 1개만 있는 경우에는 해저면에 기준점이 되는 USBL트랜스폰더를 설치하여 이 위치를 선상에서 Calibration하여 기준점으로 활용하였다.

다음 그림 6, 7, 8은 이상의 내용을 그림으로 도시한 것이다. 그림 6에서 보면, AUV에 초음파신호를 발생하는 초음파트랜스듀서를 장착하여 해저 기준점에 위치한 트랜스폰더가 이에 응답신호를 보내는 방식으로 AUV는 기준점으로부터의 거리를 환산할 수 있게 된다. 그림 7은, 앞 그림 6의 초음파거리계를 이용한 수중 복합항법시스템에 위상차를 함께 고려한 방식을 추가한 것이다. 곧 무인잠수정에 두 개의 초음파 거리센서를 장착하고 해저에는 하나의 기준이 되는 트랜스폰더를 설치하는 방식이다.

그림 7의 보조항법용 2개의 초음파 트랜스듀서(거리-각도 계측 소나)를 갖는 방식은 음향신호는 무인잠수정에 장착된 트랜스폰더에서 발신하고, 해저면에 위치한 트랜스폰더가 이를 응답하여 응답신호를 발신하여 거리를 계측하는 것은 앞 그림 6의 방식과 동일

하지만 2개의 트랜스폰더가 무인잠수정에 장착되어 있으므로 해저면에 위치한 트랜스폰더에서 응답되는 신호는 위상차를 가지고 획득되게 된다.

그림 8은 AUV에 트랜스폰더를 설치하여 음파를 발신하고, 계류장치와 수중진수장치 각각에서 나오는 트랜스폰더의 응답신호를 수신하여 거리를 측정하는 방식을 도시한 것인데, AUV는 수중음파의 수신지연 시간을 측정하여 AUV와 계류장치, 진수장치와 AUV의 거리를 측정가능하게 된다.

IV. 한국형 심해무인잠수정 시스템의 전략방향 설정

시나리오플래닝은 미래의 불확실성을 제한적으로 보다 잘 이해할 수 있는 방법론[7]으로서, 통계적 예측도 아니고 단일한 예측도 아니지만 미래를 알 수 있는 방법[8]이며, 원하는 미래상(future vision)을 명확히 하고 체계적인 계획수립에 결정적인 도움을 주기 때문에 미래예측(foresight)과정에서 가장 많이 사

용되는 기법이다[9].

따라서 본 연구는 미래예측방법으로 많이 활용되고 있는 시나리오플래닝 방법론을 활용하여 한국형 심해무인잠수정 시스템의 바람직한 미래상을 도출한다. 본 연구에서는 기존 시나리오플래닝 방법론에 따라 다음의 순서로 한국형 심해무인잠수정 시스템의 미래상을 도출하고 향후 전략방안을 도출한다. 전략의 방향성 탐색을 위한 가장 적합한 방법은 역시 시나리오에 기반을 둔 전략설정이기 때문이다[10]. 따라서 다음 그림 8의 순서로 한국형 심해무인잠수정 시스템의 미래상을 도출하고 전략방향 및 전략실행방안을 컨설팅한다.

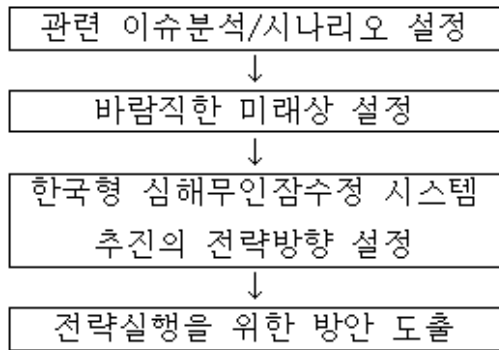


그림 9. 시나리오플래닝을 통한 한국형 심해무인잠수정시스템의 전략방향 설정 프로세스
Fig. 9 Strategy process for deep-sea unmanned underwater robot of S.korea by the application of scenario planning

2006년에 개발되어 현재 운용 중인 한국형 심해무인잠수정시스템이 세계 각국이 치열하게 경쟁 중인 이 분야에서 기술 선도국이 되기 위해서는 혁신적인 기술 개발과 발전이 필요하다. 또한 이를 위해 한국정부는 체계적인 추진이 되도록 전략방향설정을 해야 한다. 곧 심해자원을 선점하기 위한 목적에서 최근 무인잠수정 개발을 본격화하고 있는 미국, 프랑스, 영국, 캐나다, 일본, 러시아, 노르웨이, 스웨덴, 이태리, 독일, 호주, 중국 등을 앞서기 위해서는 이 분야 최신 기술개발에 적극 나서야 한다. 이러한 관점에서 한국형 심해무인잠수정시스템의 바람직한 발전을 위한 방안을 분석하기 위해서는 다음의 주요이슈를 도출할 수 있다.

심해에서 고도로 정밀한 탐사 및 채취 작업을 위해서는 수중로봇에 대한 보다 정밀한 위치추적이 필요

하다. 현재 한국이 개발하여 사용 중인 수중 복합항법 시스템을 더욱 보완한 발전된 기술이 요구된다.

이러한 이슈 등을 고려한 시나리오플래닝을 위하여 크게 한국형 심해무인잠수정시스템의 전략방향은 그림 10과 같이, 위치추적 및 항법기술 역량부문과 분야 초기부터 정부의 정책적 적극지원 부문으로 2x2 Matrix를 그려서 바람직한 미래상을 설정한다. 또한 미래예측의 시간축은 ‘2020년 중단기’로 설정하였다.

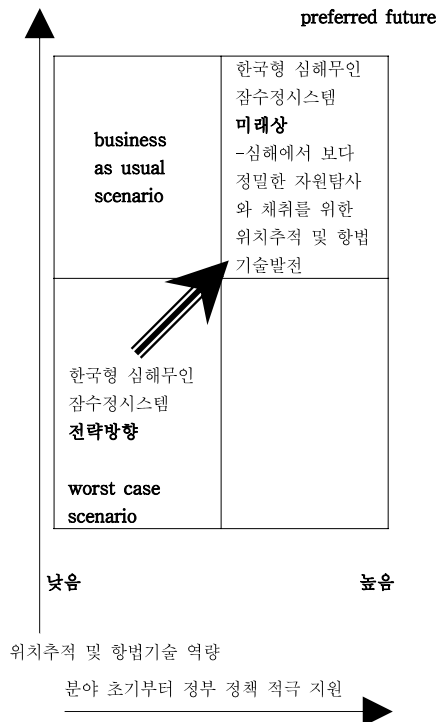


그림 10. 시나리오플래닝을 통한 전략방향 도출
Fig. 10 Strategy for deep-sea unmanned underwater robot of S.korea by the application of scenario planning

이러한 시나리오플래닝을 통하여 한국형 심해무인잠수정시스템이 지향해야할 미래상(preferred future)을 도출할 수 있다. 한국형 심해무인잠수정시스템의 미래상은 심해에서 보다 정밀한 자원탐사와 채취를 위한 위치추적 및 항법기술의 발전이다. 곧 현재 한국에서 개발되어 운용 중인 ‘해누리’, ‘해미래’, ‘이심이’ 등의 한국형 심해무인잠수정시스템은 USBL의 정밀도가 높지 않은 이유로 -상대거리에 대해 0.3퍼센트

오차를 보여, 6000m 심해탐사시에는 18미터의 오차가 있는 이유로 ROV인 ‘해미래’는 심해에서 정밀탐사가 어렵기 때문에 - 그 관측과 시료채취 시에는 보다 정밀한 위치확인을 위해 USBL과 관성항법시스템 및 도플러 속도센서를 퓨전한 수중복합항법시스템이 사용하고 있다. 하지만 이 방법은 여전히 6000m심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치 오차를 가지고 있는 단점이 있다. 즉 시료채취나 주변 탐사와 같은 비교적 정확한 작업에는 사용가능한 수준이나 자원채취와 같은 보다 정교한 작업을 위해서는 아직 문제가 있는 것이 사실이다.

따라서 시나리오플래닝을 통하여 한국형 심해무인잠수정시스템이 지향해야할 미래상(preferred future)인 심해에서 보다 정밀한 자원탐사와 채취를 위한 위치추적 및 항법기술의 발전은 곧 직접적인 자원 채취에 있어서의 보다 정교한 작업이 가능한 수준의 위치추적과 항법기술의 발달을 의미하는 것이다.

이러한 시나리오 도출 로직을 통해 가장 바람직한 미래방향(preferred future)인 시나리오1을 도출하였다. 시나리오 1 전개(writing)의 주요내용은 다음과 같다.

시나리오 1(바람직한 미래상) : 2020년 한국형 심해무인잠수정시스템은 이 분야 주요 경쟁국들을 압도하며, 심해 자원채취에 있어 가장 뛰어난 모델이 되었다. 연구개발 초기부터 한국정부는 한국형 심해무인잠수정시스템 개발과 운용에 있어, 문제점으로 남아있던 심해에서의 정교한 자원채취를 위한 수중로봇의 위치추적과 항법기술에서 보다 정밀하고 정교한 기술개발을 체계적으로 추진하였고 전략적인 방향으로 접근하였다. 이러한 한국정부의 전략적인 접근은 개발과 운용 초기 USBL과 관성항법시스템 및 도플러 속도센서를 퓨전한 수중복합항법시스템이 사용하였음에도 여전히 6000m심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치오차를 가지고 있었던 문제를 다른 경쟁국들보다 먼저 극복하여 이 분야에서 가장 정교하고 정밀한 기술개발에 성공하게 하였다. 또한 심해에서의 자원개발과 채취에 있어 선도국이 되게 했다. 이제 한국의 심해무인잠수정시스템은 세계적으로 독보적인 기술력을 자랑하며 한국의 심해 자원개발과 탐사에 있어 경쟁우위를 완전히 확보하며, 수

출상품으로 부상하였다.

이와 대조적인 최악의 시나리오(worst case scenario) 4의 전개(writing)의 주요내용은 다음과 같다.

시나리오 4(최악의 상황) : 2020년 한국형 심해무인잠수정시스템은 심해에서 자원개발과 채취를 위한 수중로봇의 위치추적과 항법기술에서 보다 정밀하고 정교한 기술개발 구현에 대해 별다른 성과를 창출하지 못하고 있다. 이미 한국형 심해무인잠수정시스템의 개발초기 이 부문에 대한 문제점이 남아있었음에도 불구하고 관련 기술개발에 있어 한국정부는 구체적인 미래비전과 마스터플랜의 수립에 실패하여 국제경쟁력을 완전히 상실하였다. 반면 개발초기 경쟁국이었던 일본, 미국, EU, 중국 등은 정부의 적극적인 마스터플랜과 미래비전 아래에서, 심해에서 자원개발과 채취를 위한 보다 정밀하고 정교한 수중로봇의 위치추적과 항법기술개발에 성공하여 자원탐사와 시료채취를 넘어서는 직접적인 자원개발과 채취에 적극 나서고 있다. 심지어 한국은 개발초기 비슷한 기술수준이었음에도 불구하고 이제 심해에서 자원개발과 채취를 위해 이 국가들이 개발한 수중로봇의 수입에 나서야 하는 형편이다.

별다른 정책적 개입 없이 현재의 상황으로만 유지되는 일상적 상황(business as usual scenario)은 다음과 같다.

시나리오 3(일상적 상황) : 2020년 한국형 심해무인잠수정시스템은 현재 개발초기와 비슷한 수준에서 운용되고 있다. 곧 한국에서의 자원탐사와 시료채취용으로만 활용되고 있으며, 여전히 6000m심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치오차를 가지고 있었던 문제 아래에서 운용 중에 있다.

따라서 한국형 심해무인잠수정시스템의 바람직한 미래상인 시나리오1을 달성하기 위해서 주요한 전략 도출은 다음과 같다.

곧 6000m심해에서 5m이내의 항법오차가 있고 50cm이내의 상대 위치오차를 가지고 있었던 문제를 보완하는 기술제안이다.

현재 한국에서 개발운용 중인 한국형 심해무인잠수정시스템은 그림 4에서 그림 8까지처럼, USBL을 기

반으로 하고 이 USBL의 정밀도가 낮은 이유로 그 관측과 시료채취 시에는 보다 정밀한 위치확인을 위해 USBL과 관성항법시스템 및 도플러 속도센서를 퓨전한 수중복합항법시스템을 사용하고 있는데, 그림 4처럼, 이 수중복합항법시스템에서, USBL Posidonia 6000은 한국형 심해무인잠수정시스템인 ‘해미래’와 ‘해누리’에 있어서의 수중위치추적에 있어, 수중진수장치를 예인하면서 광대역을 탐사하도록 설계되었고, ROV와 수중진수장치는 온누리호라는 지원모선과 케이블로 연결되어 있으며, 수중선체에 장착된 트랜스폰더에서 발신하는 신호를 선상 트랜스듀서 어레이에서 획득하여 위치를 추적하는 방식 아래에서, 해저에 계류되는 트랜스폰더와 AUV용 트랜스폰더는 선상 트랜스듀서 어레이에서 발신하는 신호에 응답신호를 재발신하는 방식으로 운용되어 개별적인 장치 혹은 수중로봇 사이의 송수신에 의존하고 있다.

따라서 수심이 6000m에 이르면 600기압에 이르러 초고압 극한상태가 되면서, 수시로 변하는 심해 해류의 움직임과 함께, 빛과 전파가 수중에서 통과하기 매우 어렵게 되어 각 개별 장치, 각 수중로봇 사이에는 신호가 단절되는 drop-out상황이나 6000m심해에서 5m이내의 항법오차 및 50cm이내의 상대 위치오차로 인한 문제가 있어 보다 정교한 자원채취가 어려운 실정이며, 케이블이 연결되지 않는 고가장비인 AUV인 ‘이십이’의 경우 심해에서 유실될 우려도 있다. 또한 수중로봇이 여러 대 동시 운용될 경우 drop-out상황 및 위치오차 문제로 로봇 간 통신장애와 간섭 및 충돌문제가 상존한다.

따라서 이러한 문제를 극복하기 위해 본고에서는 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치를 제공하여 심해에서 작동 초기부터 정해진 구역 안에서 각 장치와 수중로봇을 운항하게 한다.

곧 현재 운용 중인 한국형 심해무인잠수정시스템은 해저면에 2개의 트랜스폰더를 설치하면, 수중진수장치에 또 다른 기준점이 되는 거리계측 소나를 설치하여 운용하고, 만약 거리계측 소나가 해저 기준점에 1개만 있는 경우에는 해저면에 기준점이 되는 USBL트랜스폰더를 설치하여 이 위치를 선상에서 Calibration하여 기준점으로 활용하고 있는데, 이러한 장치들에 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치를 부가하거나 혹은 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정

기능을 갖는 개별적인 외부장치를 구현하는 기술의 개발이다.

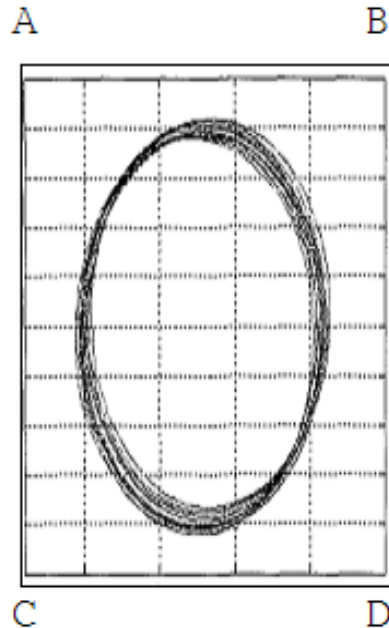


그림 11. 인디케이터와 설정된 가상벽 안에서 수중로봇의 운항
 Fig. 11 Movement of deep-sea unmanned underwater robot with indicator and imaginary wall

즉 그림 11처럼, 제한된 인디케이터와 가상벽 설정기능을 갖추면, 수중로봇은 이 기준점(A, B, C, D)을 중심으로 구역별 블록단위로 그 가상벽 안에서만 운항하면서 자원을 탐사하고 채취하게 된다. 따라서 drop-out상황이나 6000m심해에서 5m이내의 항법오차 및 50cm이내의 상대 위치오차로 인해 심해 특성으로 로봇이 유실되어도 미리 정해진 이 가상벽의 범위를 로봇이 이탈하지 않으므로 추후 교신을 하거나 오차 보정에 있어 보다 정밀한 기술적 제어를 할 수 있다.

또한 그림 12처럼, 수중로봇을 여러 대 동시 운용할 경우, 설치된 로봇 각각에 해당하는 가상벽 범위 안에서 심해자원탐사와 채취에 나서 각 로봇 간의 통신장애와 간섭을 방지할 수 있고, 충돌을 미연에 방지하며 특히 탐사지역으로 확정된 넓은 구역 안에서 블록단위별 보다 빠짐없는 상세한 탐사를 할 수 있게 된다.

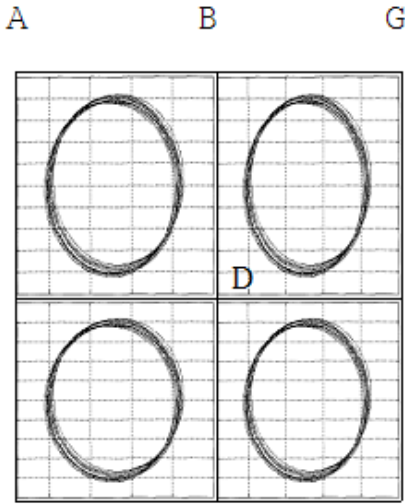


그림 12. 인디케이터와 설정된 가상벽 안에서의 다수의 수중로봇의 운항

Fig. 12 Movement of lots of deep-sea unmanned underwater robot with indicator and imaginary wall

다음은 제안된 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치의 동작 흐름도를 도시한 것이다.

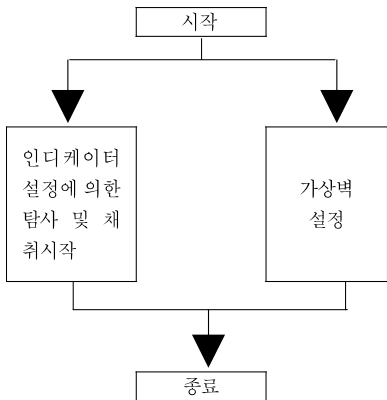


그림 13. 인디케이터와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치의 동작흐름도

Fig. 13 Moving schematic diagram of external device for deep-sea unmanned underwater robot with indicator and imaginary wall

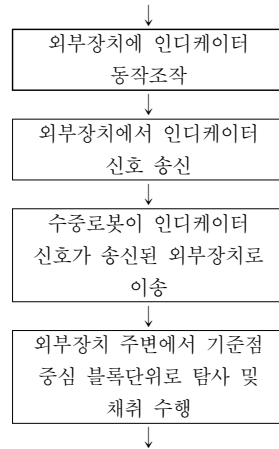


그림 14. 인디케이터와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치에 따른 수중로봇의 자원탐사 및 채취과정의 상세 동작흐름도

Fig. 14 schematic diagram detail of external device for deep-sea unmanned underwater robot with indicator and imaginary wall

그림 13은 제안된 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치를 갖춘 한국형 심해무인잠수정시스템의 제어방법의 주요 동작 흐름도이며, 그림 14는 제어방법 중 수중로봇의 자원탐사 및 채취과정의 상세 동작 흐름도, 그림 15는 제어방법 중 가상벽 설정과정의 상세 동작 흐름도를 각각 도시한 것이다.

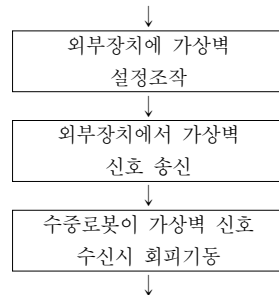


그림 15. 인디케이터와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치의 동작흐름도

Fig. 15 Schematic diagram of external device with imaginary wall

V. 결론

본고는 현재 전 세계적으로 치열하게 경쟁 중인 로봇분야에서 특히 심해 자원에 대한 개발과 탐사에서 중요한 분야인 수중로봇에 중점을 두고, 한국이 개발하여 운용 중인 한국형 심해무인잠수정시스템의 바람직한 전략방향을 고찰하고 보다 발전적인 정책적 제안을 하였다.

본고에서는 이를 위해 한국형 심해무인잠수정시스템 추진의 미래상을 시나리오플래닝을 통하여 고찰하여 보고, 이러한 바람직한 미래상을 달성하기 위해서 주요한 전략방향으로 인디케이터(indicator)와 가상벽 설정기능을 갖는 외부장치를 제공하여 심해에서 작동 초기부터 정해진 구역 안에서 각 장치와 수중로봇을 운항하게 하여, 현재 문제로 남아있는 수심이 6000m에 이르면 600기압에 이르러 초고압 극한상태가 되면서, 수시로 변하는 심해 해류의 움직임과 함께, 빛과 전파가 수중에서 통과하기 매우 어렵게 되어 각 개별 장치, 각 수중로봇 사이에서 신호가 단절되는 dropout상황이나 6000m심해에서 5m이내의 항법오차 및 50cm이내의 상대 위치오차로 인한 문제에 대한 보완 및 정책적 시사점을 제공하였다.

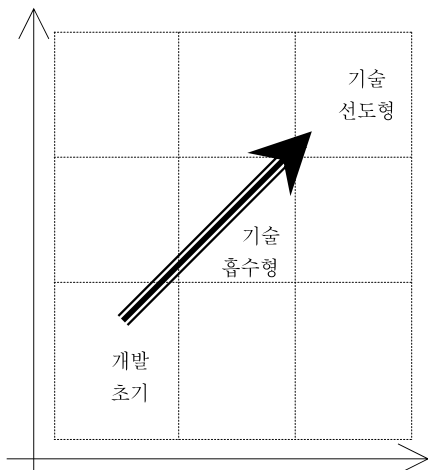


그림 16. 한국형 심해무인잠수정시스템 기술개발 전략
Fig. 16 Strategy for deep-sea unmanned underwater robot of S. Korea

한편 이러한 성과에도 불구하고 본고의 제안은 기술구현 측면에서 보다 구체적이지 못한 점에서, 개념적 차원의 정책적 제안이라는 점에서, 기술적으로 완전한 해결책이 될 수 없다는 한계가 있다. 물론 향후

이러한 한국형 심해무인잠수정시스템이 가지고 있는 문제점들은 앞으로 많은 연구개발을 통해 해결되어야 하겠지만, 본고의 경우처럼, 미래예측 방법론인 시나리오플래닝 방법론을 통한 고찰과 정책적 제안은 향후 한국정부의 이 분야 정책개발과 추진에 있어 전략 수립과 비전설정에 대해 보다 폭넓은 시각을 제공했다는 점에서 그 의의가 있다.

특히 한국의 경우, 현재 기술 환경과 수준면에서 기술흡수형 국가군에 속하는데, 전 세계적으로 최첨단 기술의 선점을 위해 각국이 사활을 걸고 있는 현 시점에서 급변하는 신기술의 변화에 제대로 적응하지 못하거나 수용하지 못하면 관련한 새로운 시장에서 그 이익을 차지하거나 선점하지 못한다는 점에서[11], 그리고 기술혁신과정에 있어 미래 유망영역에 대한 선제적 대응의중요성이 더욱 강조되면서[12], 수중로봇 분야에서 한국형 심해무인잠수정시스템 관련 부족한 점으로 남아있는 기술적 문제들의 해결은 필수적인 요소라 할 수 있다.

따라서 심해에서 보다 정밀한 자원탐사와 채취를 위한 위치추적 및 항법기술의 발전을 통해, 직접적인 자원 채취에 있어서의 보다 정교한 작업이 가능한 수준이 달성된다면, 그림 16에서 보듯이, 한국의 심해무인잠수정시스템 관련 기술은 기술흡수형 국가군을 벗어나 기술선도형 국가군으로 확실히 도약하게 되어 이 분야 선도국이 될 수 있다.

참고 문헌

- [1] 정희, “대형선박의 선저 청소 및 검사를 위한 수중로봇의 위치추적시스템”, 경상대학교 컴퓨터과학과 박사학위논문, pp. 20-21, 2009.
- [2] 해양수산부, “차세대 심해 무인잠수정 개발(1단계) 연구보고서”, pp. 58-57, 2007.
- [3] Liberty, J.C., and Rappaport, T.S., Smart Antennas for Wireless Communications :IS-95 and Third Generation CDMA Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 1-50, 1999.
- [4] Carter, G.C., Coherence and Time Delay Estimation :An Applied Tutorial for Research, Development, Test, and Evaluation Engineers., Piscataway,NJ,IEEE Press, pp. 1-518, 1993.

- [5] 박준석, 지용일, 김성환, “수중환경에서 위치추적 시스템의 구현에 관한 연구”, 음향학회지, 22권, 4호, 2003.
- [6] 이덕환, 고태림, 임용곤, “수중환경에서 위치추적 시스템의 DSP구현”, 한국음향학회지, 26권, 1호, pp. 48-54, 2007.
- [7] 이상윤, 윤홍주, “한국 전자정부와 클라우드 컴퓨팅 기술개발 연구-시나리오플래닝을 적용하여”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1245-1258, 2012.
- [8] 이상윤, 윤홍주, “공공데이터를 활용한 국가정보화 전략연구-시나리오플래닝을 적용하여”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1259-1273, 2012.
- [9] 권기현, “미래예측학”, 법문사, pp. 228-275, 2008.
- [10] 이원일, 임덕순, 이연희, 정의정, “기술혁신 클러스터 구축의 전략방향 설정에 관한 연구-판교 테크노벨리-시나리오플래닝을 중심으로”, 기술혁신학회지, 14권, 2호, pp. 301-319, 2011.
- [11] 이상윤, 윤홍주, “한국의 글로벌 과학기술협력 연구-한국 중소기업의 R&D 국제화 가속방안과 중소기업코디네이터”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 4호, pp. 693-705, 2012.
- [12] 안세정, 김도현, 권오진, 배영철, 이준영, “유망영역 탐지를 위한 키워드 매핑의 동태적 분석: 그래핀 사례연구”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1393-1401, 2012.



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)

1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)

1999년~2002년 여주대학교 해양공학과 교수

2002년~현재 부경대학교 공간정보시스템공학 교수

※ 관심분야 : 해양 원격탐사 & GIS

저자 소개



이상윤(Sang-Yun Lee)

2002년 부산대학교 조선해양공학과 졸업(공학사)

2009년 부산대학교 대학원 정치외교학과 졸업(정치학석사)

2011년 부산대학교 대학원 융합기술정책 박사수료

2012년~현재 부경대학교 공간정보시스템공학과 겸임교수

※ 관심분야 : R&D기술개발, 과학기술정책