

## 수중형 자율운항 해양로봇키트 개발

### Development of Underwater-type Autonomous Marine Robot-kit

김현식\* · 강형주\* · 함연재\*\* · 박승수\*\*\*

Hyun-Sik Kim<sup>†</sup>, Hyung-Joo Kang, Youn-Jae Ham, Seung Soo Park

\*동명대학교 로봇시스템공학과

\*\* (주)동현씨스텍

\*\*\*소나테크(주)

#### 요 약

최근에는, 극한 분야에서 해양로봇의 필요성이 제기되고 있으나, 그 기반이 매우 부족한 실정이다. 다행히 로봇경진대회가 활성화되고 로봇교육에 대한 수요가 증가하는 추세이므로, 해양로봇키트의 개발/보급을 통하여 해양로봇 연구개발/산업화 기반을 마련하고 전문인력을 양성하는 것이 바람직하다. 그런데, 기존에는 수중이동 및 표적 탐지/회피가 가능한 해양로봇 경진대회용 수중형 자율운항 해양로봇키트가 없었다. 이 문제를 해결하기 위해서 수중이동성, 수중방수성 및 무게조절성이 우수한 보급형 해양로봇키트가 개발되었다. 개발된 키트의 성능 검증을 위해서 Surge, Pitch, Yaw, 장애물회피 등의 시험평가가 수행되었다. 시험평가 결과는 개발된 키트의 실제 적용 가능성을 보여준다.

**키워드** : 해양로봇 경진대회, 로봇 교육, 수중형, 자율운항, 해양로봇키트

#### Abstract

Recently, although the need of marine robots being raised in extreme areas, the basis is very deficient. Fortunately, as the robot competition is vitalizing and the need of the robot education is increasing, it is desirable to establish the basis of the R&D and industrialization of marine robots and to train professionals through the development and diffusion of marine robot kits. However, in conventional case, there is no underwater-type autonomous marine robot kit for the marine robot competition, which has the abilities of the underwater locomotion and target detection and avoidance. To solve this problem, a marine robot kit which has the abilities of the underwater locomotion, the waterproof and the weight adjustment, is developed. To verify the performance of the developed kit, test and evaluation such as surge, pitch, yaw, obstacle avoidance is performed. The test and evaluation results show that the possibility of the real applications of the developed kit.

**Key Words** : Marine robot competition, Robot education, Underwater-type, Autonomous, Marine robot kit

#### 1. 서 론

최근에는, 해양 탐사, 수중 작업, 수중 감시/방어 등의 극한 분야에서 해양로봇의 필요성이 제기되고 있다. 그런데, 해양로봇은 타 로봇 분야에 비해서 그 기반이 매우 부족하다. 다행히 로봇경진대회가 활성화되고 로봇교육에 대한 수요가 증가하는 추세이므로, 해양로봇키트의 개발/보급을 통하여 해양로봇 연구개발/산업화 기반을 마련하고 전문인력을 양성하는 것은 로봇산업육성을 위한 매우 현실적인 방안이 된다. 그런데, 기존에는 수중이동 및 표적 탐지/회피[1]가 가능한 해양로봇 경진대회용 수중형 자율운항 해양로봇

키트가 없었다.

이 문제를 해결하기 위해서 수중이동성, 수중방수성 및 무게조절성이 우수한 보급형 해양로봇키트가 국내 최초로 개발되었다. 개발의 방법론으로서는 글로벌 표준 프로세스인 시스템공학(System Engineering : SE) 프로세스를 도입하여, 키트의 요구사항/기능 분석, 설계, 시제작, 시험평가를 수행하였다.

개발된 해양로봇키트는 크기 및 비용의 측면에서 기존 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)의 단점인 기동성 및 유지보수성을 극복하여 협소지역 운항 및 저렴한 운용비용을 장점으로 갖는 초소형/저비용 특징의 MAUV(Micro AUV)로 분류 가능하며, 수중로봇[2]과 관련된 다양한 모바일(mobile) 플랫폼 중에서 수중비행체(Underwater Flight Vehicle : UFV)[3] 형태인데, 이는 유선형에 가까운 몸체, 하나의 추진기 및 여러 개의 제어판(control plane)을 가지고 있으므로 추진에너지 소모가 적다. 따라서, MAUV 운용 특성 관점에서 매우 적합한 형태이다.

또한, 개발된 해양로봇키트는 보트, 선박, 항공기 등 다양

접수일자: 2012년 4월 20일

심사(수정)일자: 2012년 5월 29일

게재확정일자: 2012년 5월 29일

† 교신 저자

본 논문은 본 학회 2011년도 추계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

한 플랫폼에 탑재가 가능하도록 하기 위해서 발사관(tube) 내 장착 및 진수가 가능한 외형을 주요 특징으로 한다[4].

키트 및 경기장과 관련된 시스템 시제작은 2장에서 수행되며, 키트의 시험평가 결과는 3장에 기술된다. 결론은 4장에 요약된다.

## 2. 시스템 시제작

### 2.1 수학적 모델

키트와 관련된 UFV 운동방정식은 다음과 같다. 즉, 일반적인 6자유도(Degree Of Freedom : DOF) 운동은 병진(translation) 성분인  $x, y, z$ 와 회전(rotation) 성분인  $\phi, \theta, \psi$ 를 포함한다. 이와 관련하여 속도 성분이  $u, v, w$ , 각속도 성분이  $p, q, r$ 이고, 힘 및 모멘트 성분이  $\mathbf{F} = [X \ Y \ Z]$ ,  $\mathbf{G} = [K \ M \ N]^T$ 일 때[5], Gertler 방정식[6]에 기초한 식은 다음과 같이 정의 된다.

$$[\mathbf{m} + \mathbf{m}_a] \mathbf{a} = - \begin{bmatrix} \mathbf{F}_I \\ \mathbf{G}_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_R \\ \mathbf{G}_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_H \\ \mathbf{G}_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_P \\ \mathbf{G}_P \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $\mathbf{m}$ 은 질량 행렬,  $\mathbf{m}_a$ 는 부가 질량 행렬이고,  $\mathbf{a} = [\dot{u} \ \dot{v} \ \dot{w} \ \dot{p} \ \dot{q} \ \dot{r}]^T$ 는 가속도 행렬이다.  $\mathbf{F}_I = [X_I \ Y_I \ Z_I]^T$ 는 관성(inertia) 힘 벡터,  $\mathbf{G}_I = [K_I \ M_I \ N_I]^T$ 는 관성 모멘트 벡터이고,  $\mathbf{F}_R = [X_R \ Y_R \ Z_R]$  및  $\mathbf{G}_R = [K_R \ M_R \ N_R]$ 은 부력 및 무게(weight)와 관련된 복원(restoring) 힘 및 모멘트 벡터이고,  $\mathbf{F}_H = [X_H \ Y_H \ Z_H]$  및  $\mathbf{G}_H = [K_H \ M_H \ N_H]$ 은 선체(hull) 형상과 관련된 힘 및 모멘트 벡터이고, 추진기 및  $\mathbf{F}_P = [X_P \ Y_P \ Z_P]$  및  $\mathbf{G}_P = [K_P \ M_P \ N_P]$ 은 추진기 및 제어판과 관련된 추진 힘 및 모멘트 벡터이다.

### 2.2 하드웨어 플랫폼

키트 하드웨어 플랫폼의 시제작 내용은 다음과 같다.

우선적으로, 브레인스토밍(brainstorming) 이후에 운용개념(operating concept)을 정립하였는데, 다음의 그림을 살펴보면, 프로그래밍후에 키트 전원을 인가하고, 그 이후에 유선 통신을 기반으로 다운로드하는 개념임을 알 수 있다.

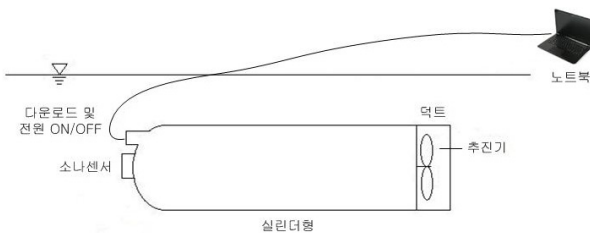


그림 1. 운용 개념  
Fig. 1. Operating Concept

앞의 내용을 기반으로 중성부력성(R1), 이동성(R2), 안정성(R3), 방수성(R4), 시험평가성(R5) 등의 요구사항 분석을 수행하였다. 기능 분석은 요구사항 분석 결과를 바탕으로 수행되었는데, 무게/부력 조절 기능(F1), 수중저항 최소화 기능(F2), 프로펠러의 정/역 회전 기능(F3), 프로펠러의 속도제어 기능(F4), 제어판 정/역 구동 기능(F5), 질량이동부 전/후 이동 기능(F6), 장애물 회피 기능(F7), Roll 방지 기

능(F8), 방수 기능(F9), 전원 ON/OFF 기능(F10), 프로그램 다운로드 기능(F11) 등의 기능을 도출하였다.

다음의 그림은 앞서 수행한 요구사항/기능 분석 결과를 바탕으로 3D 모델링 기반의 설계를 수행한 결과이다.

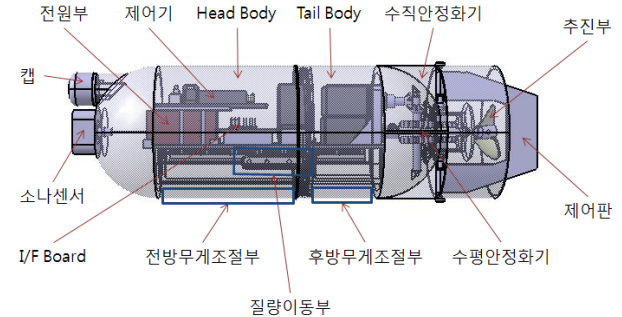


그림 2. 3D 모델링 기반의 키트 설계  
Fig. 2. 3D modeling-based kit design

모델링된 키트는 적은 유체저항을 갖는 몸체 및 각각 하나씩의 추진부 및 제어판을 가지고 있으므로 동적제어 측면에서는 추진에너지 소모가 적다. 또한, 위치이동이 가능한 질량이동부를 가지고 있으므로 정적제어 측면에서는 미세한 자세 제어가 가능하다. 즉, 대상 키트는 적은 에너지를 가지고 Surge, Pitch, Yaw의 3자유도 운동이 가능하다. 또한, 선수부에는 4채널 장애물회피소나(Obstacle Avoidance Sonar : OAS)[7]가 탑재되어 있다.

H/W 구성품 식별 결과는 그림 3과 같은데, 우선적으로, 몸체부/구동부와 관련된 특징적인 부분은 수중추진부, Yaw 발생부, Pitch 발생부, 방수부, 자세조절부 등이다.

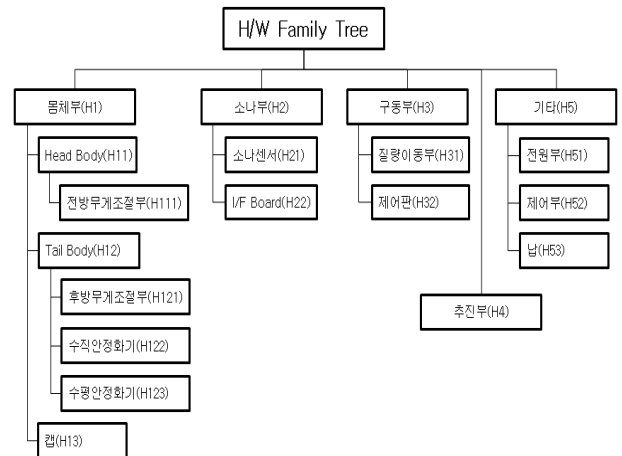


그림 3. 하드웨어 구성도  
Fig. 3. H/W Family Tree

그림 2의 수중 추진부는 Head Body(유선형부, 센서 부착부, Head Slide 가이드부 포함), Head Slide(상용배터리 케이스 가이드부, 상용제어보드 부착부 포함), Tail Body(덕트부, 상용축 통과부, Tail Slide 가이드부 포함), Tail Slide(상용모터 부착부 포함), 상용모터 맞춤형 축결합부, 상용축, 상용프로펠러 결합부를 사용함으로써, 기존의 나사/너트 및 드라이버만을 활용하여 각 구성품의 탈부착 및 축회전이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

Yaw 발생부는 Tail Slide(상용모터 부착부 포함), 상용모터 맞춤형 베벨기어, 이중평기어 일체형 베벨기어, 분리형 평기어, 이중 구동형 제어판을 사용함으로써, 기존의 나사/너트 및 드라이버만을 활용하여 각 구성품의 탈부착 및 제어판 회전이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

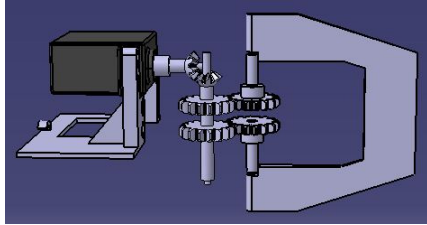


그림 4. Yaw 발생부  
Fig. 4. Yaw generation part

Pitch 발생부는 Head Slide(상용모터 부착부, Rack 가이드부 포함), 상용모터 맞춤형 Pinion, 질량부착판 가이드형 Rack, 질량부착판(Rack 접촉부, Rack 고정부, Head/Tail Body 접촉부, 고무줄 가이드부 포함), 고무줄을 사용함으로써, 기존의 나사만을 활용하여 각 구성품의 탈부착 및 질량부착판 이동이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

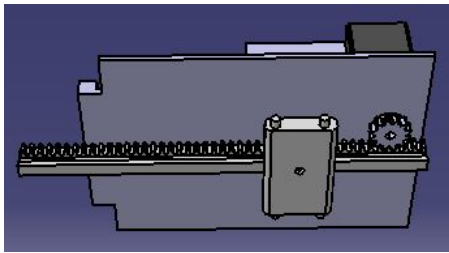


그림 5. Pitch 발생부  
Fig. 5. Pitch generation part

방수부는 Head Body(볼트부 포함), Tail Body(너트부, 맞춤형 Oring 부착부, 방수캡 부착부 포함), 상용 Oring, 맞춤형 Oring, 방수캡(탈착보조부 포함)을 사용함으로써, 기존의 집게만을 활용하여 각 구성품의 탈부착 및 축/제어판 회전부의 방수가 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

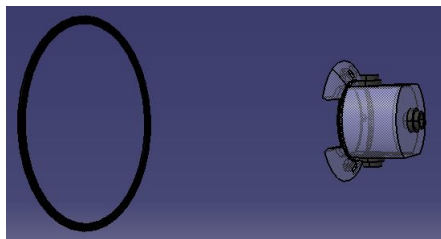


그림 6. 방수부  
Fig. 6. Waterproof part

자세 조절부는 Head Body(전방 자세조절부 포함), Tail Body(후방 자세조절부 포함), 질량을 사용함으로써, 별도의 공구 없이 질량 배치 및 자세 조절이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

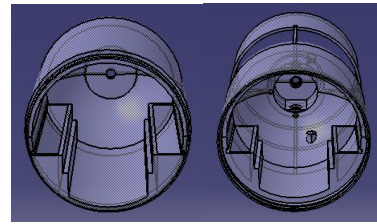


그림 7. 자세 조절부  
Fig. 7. Attitude adjustment part

다음으로, 자체 개발 소나부와 관련된 특징적인 부분은 소나 센서부, 소나 연동보드부 등이다.

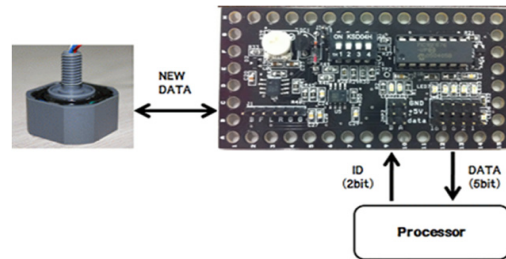


그림 8. 소나 연동도  
Fig. 8. Diagram of sonar interface

소나 센서부는 센서 내 4방향 배치된 초음파 소자, 4선 케이블, 몰딩부를 사용함으로써, 단 하나의 방수 센서로, 방향별 장애물 거리 정보의 채널 신호화가 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다. 또한, 볼트형 지지부, O-ring, 너트를 사용함으로써, 별도의 공구 없이 원형 hole이 있는 임의의 몸체에 센서의 탈부착이 가능하며 부착상태에서 방수가 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

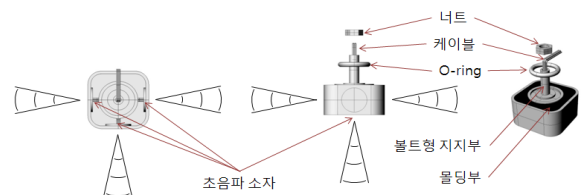


그림 9. 소나 센서부  
Fig. 9. Sonar sensor part

소나 연동보드부는 수동으로 증폭비 및 펄스폭 조절이 가능한 구조를 가지며, 육안으로 제어보드와의 데이터 송수신 상태를 확인할 수 있는 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

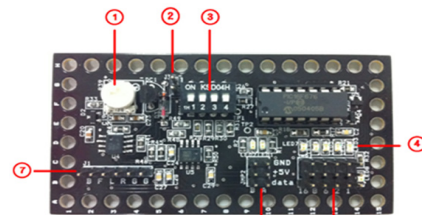


그림 10. 소나 연동보드  
Fig. 10. Sonar interface board

위 그림에서, 가변저항 ①은 수신된 신호의 증폭비를 조절할 수 있으며, 커넥터 ②는 전원 입력부이다. DIP 스위치 ③은 0~4 단계로 펄스폭을 조절할 수 있다. LED ④는 연동보드로 입력되는 2-bit의 ID 값 및 출력되는 5-bit의 거리 값을 점등한다. 커넥터 ⑤는 5-bit의 거리 값을 출력하며, 커넥터 ⑥은 2-bit의 ID 값을 입력받는다. 커넥터 ⑦은 소나센서와의 연결부이다. 센서입출력 관계를 나타낸 센서 특성곡선은 다음과 같은데 매우 선형적임을 알 수 있다. 센서 데이터값 1은 탐지거리 1[cm]를 의미한다.

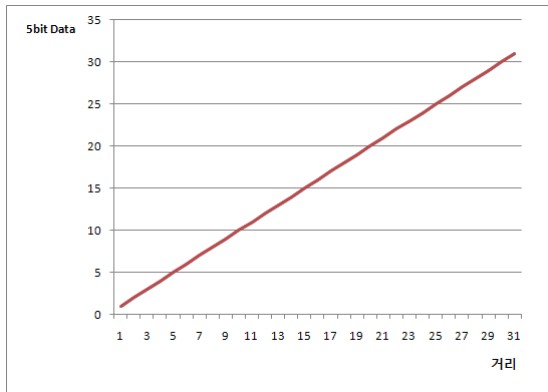


그림 11. 센서 특성곡선  
Fig. 11. Sensor characteristic curve

제어보드는 상용보드로서 Atmega8l를 사용하였는데, 이와 관련된 전체적인 데이터 연동은 다음과 같다. 구동부로서 모터는 (주)로보로보의 DC Geared Motor(850 rpm) 1개, DC Geared Motor(100 rpm) 1개 및 Servo DC Geared Motor 1개를 사용하였다.

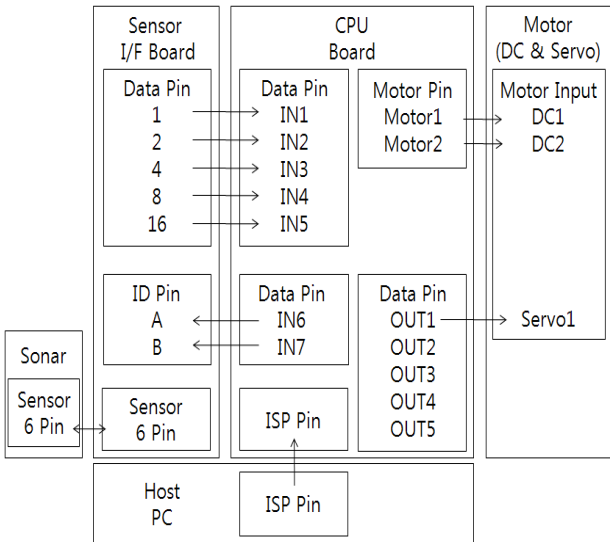


그림 12. 제어부 데이터 연동  
Fig. 12. Data interface of control part

그림 2의 CATIA 파일을 기반으로 3D 제작을 수행하기 위한 RP(Rapid Prototyping) 장비 및 서포트 용해기는 그림 13과 같고, 그 결과로서의 시제품은 그림 14와 같다.



그림 13. 3D 제작 장비  
Fig. 13. 3D manufacturing equipment

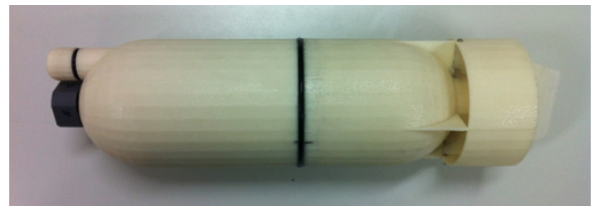


그림 14. 키트 시제품  
Fig. 14. Kit prototype

### 2.3 소프트웨어 플랫폼

키트 소프트웨어 플랫폼의 시제작 내용은 다음과 같다. S/W 구성품 식별 결과는 그림 15와 같은데, 특징적인 부분은 내장함수부 등이다.

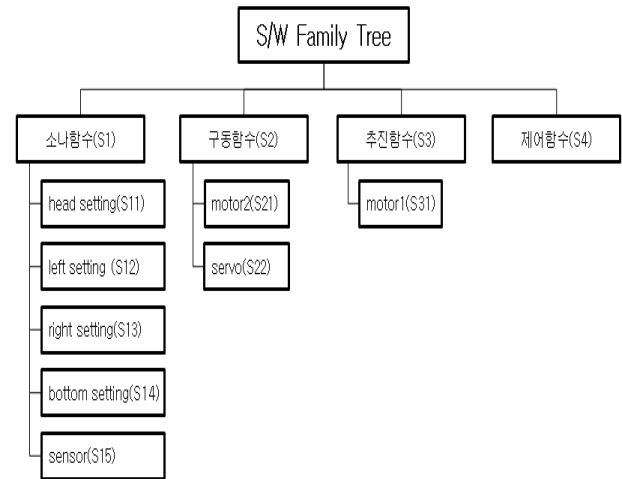


그림 15. 소프트웨어 구성도  
Fig. 15. S/W Family Tree

기본 내장함수는 위 그림의 8개 함수 이외에 start(), delay\_ms()를 추가적으로 포함하여 총 10개로 구성되는데, 각각에 대한 요약 설명은 다음의 표와 같다.

표 1. 내장 함수 설명  
Table 1. Description of library functions

명칭	설명	입력	출력
start	초기값 설정	없음	없음
delay_ms	시간지연 설정	1~	없음



head_setting	전방 소나센서 선택	없음	없음
left_setting	좌측 소나센서 선택	없음	없음
right_setting	우측 소나센서 선택	없음	없음
bottom_setting	바닥 소나센서 선택	없음	없음
sensor	선택센서 데이터 읽음	없음	0~31, 255
motor1	속도 설정	-15~15	없음
motor2	속도 설정	-15~15	없음
servo5	각도 설정	0~90	없음

**2.4 경기장**

키트의 시험평가 및 운용을 목적으로 개발된 경기장의 개발 내용은 다음과 같다.

경기장과 관련된 특징적인 부분은 조류 발생부, 파도 발생부, 이동 장애물부 등이다[8].

조류 발생부는 Geared Motor, 벨브, 배관을 사용함으로써, 별도의 공구 없이 색선택별 조류 발생이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

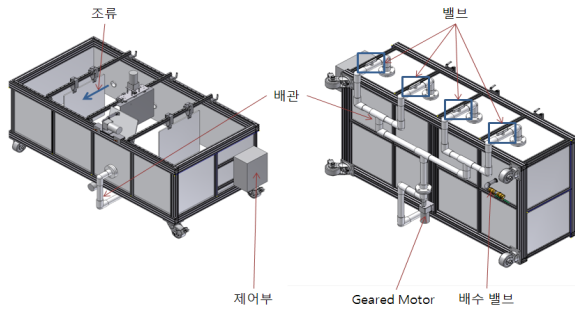


그림 16. 3D 모델링 기반의 경기장 설계  
Fig. 16. 3D modeling-based field design

파도 발생부는 Geared Motor, Link, 회전 Joint, 조파관, Hinge 부착부, Base, 탈부착용 레버를 사용함으로써, 별도의 공구 없이 본 구성부의 수조 탈부착 및 위치 이동이 가능한 것을 특징으로 한다.

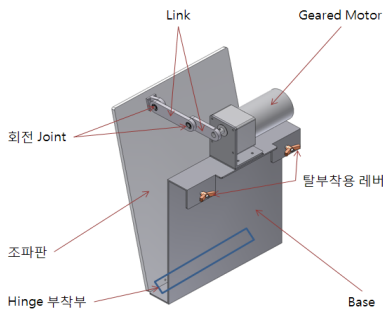


그림 17. 파도 발생부  
Fig. 17. Wave generation part

이동 장애물부는 구동부(Geared Motor, Coupling, Ball Screw, LM Shaft, 센서 고정부, 장애물 탈부착부 포함), 장애물(센서 감지부 포함), LM Block, Rail Stopper, LM Guide를 사용함으로써, 기존의 볼트/너트 및 공구만을 활용하여 장애물 구동부의 LM Block/Rail Stopper 탈부착이

가능하고 장애물 자동 상하이동 및 장애물 수동 좌우이동이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

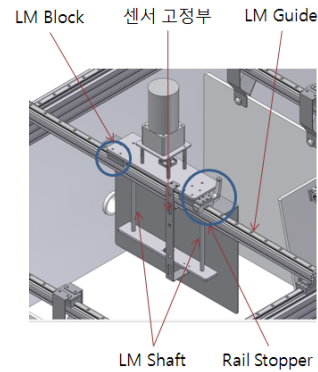


그림 18. 이동 장애물부  
Fig. 18. Moving obstacle part



그림 19. 경기장 시제품  
Fig. 19. Field prototype

**3. 시험평가 결과**

시험평가는 요구사항/기능 분석 결과와의 추적성을 유지하는 것이 중요한데, Surge 시험(T1), Pitch 시험(T2), Yaw 시험(T3), 장애물회피시험(T4) 등의 시험평가 항목을 도출하였다. 다음의 표는 추적성을 보여준다.

표 2. 추적성  
Table 2. Traceability

요구 사항	기능	구성품	시험항목
R1	F1	H111, H121, H53	T1, T2, T3, T4
	F2	H11, H12	T1, T2, T3, T4
	F3	H4, H51, H52, S3	T1, T3, T4
R2	F4	H4, H51, H52, S3	T1, T3, T4
	F5	H32, H51, H52, S22	T3
	F6	H31, H51, H52, S21	T2, T4
R3	F7	H2, H31, H4, S1, S21, S3	T4
	F8	H122, H123	T1, T2, T3, T4
R4	F9	-	T1, T2, T3, T4
R5	F10	H13, H51	T1, T2, T3, T4
	F11	H13, H52	T1, T2, T3, T4

시험평가의 수행 모습은 다음 그림과 같은데, 시험평가를 통하여 요구사항 및 기능이 충족됨을 확인하였다.

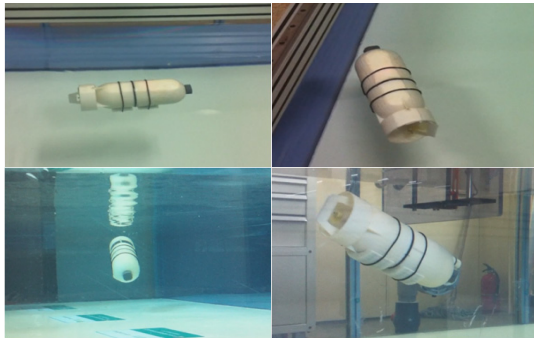


그림 20. 시험평가의 수행  
Fig. 20. Performing of test & evaluation

개발 및 검증된 키트의 사양은 다음과 같다.

표 3. 개발된 키트의 사양  
Table 3. Specification of developed kit

항목	값
길이(센서포함)	34 [cm]
지름	9.5 [cm]
무게	1.71 [kg]
회전지름	120 [cm]
최대 피치각	±30 [deg]
최대 속도	8 [cm/s]
최대 탐지거리	30 [cm]
탐지폭	30 [deg]

#### 4. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 개발된 수중이동성, 수중방수성 및 무게조절성이 우수한 보급형 해양로봇키트를 소개하였다. 개발된 키트의 성능 검증을 위한 시험평가 결과는 개발된 키트의 실제 적용 가능성을 보여준다.

개발된 키트는 소형화 기술 및 다양한 학문/기술의 종합체로 파급효과가 매우 크다. 또한, 국내 부족 기술인 AUV 원천/운용 기술개발에 매우 적합한 도구이다. 나아가, 향후 해양 로봇 연구개발 및 로봇산업육성 측면에서 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

[1] 김현식, “장애물회피소나 빔 모델링 기반의 국부경로제어 기법 연구”, *한국지능시스템학회 논문지*, 제22권, 2호, pp. 218-224, 2012.  
[2] G. Antonelli, *Underwater Robots*, Springer, 2006.  
[3] R. K. Lea, R. Allen and S. L. Merry, “A comparative study for control techniques for an un-

derwater flight vehicle,” *International Journal of System Science*, vol. 30, pp. 947-964, 1999.

[4] 김현식, 함연재, “수중형 자율 운항 로봇 키트”, *특허출원번호*, 10-2012-0010277, 2012  
[5] J. Yuh, “Modeling and control of underwater robotic vehicles,” *IEEE Transactions on Man and Cybernetics*, vol. 20, no. 6, pp. 1475-1483, 1990.  
[6] M. Gertler and G. R. Hagen, “Standard equation of motion for submarine simulation,” *Naval Ship Research and Development Center Report 2510*, 1967.  
[7] 김현식, 박승수, “초소형 해양 로봇용 소나 장치”, *특허출원번호*, 10-2011-0140172, 2011.  
[8] 김현식, 함연재, “해양 로봇 경진 대회용 수조 경기장 장치”, *특허출원번호*, 10-2012-0010276, 2012

#### 저 자 소 개

##### 김현식(Hyun-Sik Kim)

1994년 : 부산대학교 전기공학과 공학사  
1996년 : 부산대학교 전기공학과 공학석사  
2001년 : 부산대학교 전기공학과 공학박사  
1998년~2007년 : 국방과학연구소 연구원  
2007년~현재 : 동명대학교 로봇시스템공학과 교수

관심분야 : 인공 지능, 로봇틱스, 해양 로봇, 표적 처리  
Phone : 051-629-1565  
E-mail : hyunskim@tu.ac.kr



##### 강형주(Hyung-Joo Kang)

2012년 : 동명대학교 로봇시스템공학과 공학사  
2012년~현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 석사과정

관심분야 : 인공 지능, 제어 이론, 해양 로봇  
Phone : 051-629-1565  
E-mail : colorkang5@hotmail.com



##### 함연재(Youn-Jae Ham)

1990년 : 한국해양대학교 선박기계공학과 공학사  
2010년 : 한국해양대학교 산업대학원 기관시스템공학과 공학석사  
1990년~1994년 : 국방과학연구소 연구원  
1994년~2000년 : (주)삼성중공업 중앙연구소 연구원

2002년~현재 : ㈜동현씨스텍 대표이사  
관심분야 : 산업용 로봇, 수조시험설비, 조선해양플랜트  
Phone : 051-747-9610  
E-mail : yjham@dhsystech.com



**박승수(Seung Soo Park)**

1996년 : 한국해양대학교 제어계측공학과  
공학사  
2002년 : 한국해양대학교 제어계측공학과  
공학석사  
1996년~2003년 : 대어산업(주) 이사  
2003년~현재 : 소나테크(주) 대표이사

관심분야 : 사이드스캔소나, 수중로봇, 해양탐사  
Phone : 051-403-7797  
E-mail : sspark@sonartech.com