

풍선기반 원격조종 공중로봇키트 개발

Development of a Remotely Operated Aerial Robot-kit based on the Balloon

김 현 식¹

Hyun-Sik Kim¹

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 remotely operated aerial robot-kit based on the balloon for the marine robot competition, which has the abilities of the airborne locomotion and obstacle avoidance. To solve this problem, an aerial robot-kit which has the abilities of the airborne locomotion and remote control, is developed. To verify the performance of the developed kit, test and evaluation such as surge, yaw and pitch is performed. The test and evaluation results show that the possibility of the real applications of the developed kit.

Keywords: Marine Robot Competition, Robot Education, Aerial Type, Remotely Operated, Marine Robot-kit

1. 서론.

정부차원의 로봇산업육성이 진행되고 있는 현 시점에서, 해양 분야는 타 분야에 비해서 로봇관련 기반이 매우 부족하지만, 해양 분야의 글로벌적 요구를 충족시킬 수 있는 기반을 확보하기만 하면 비교 우위의 국가 경쟁력을 가질 수 있다. 최근에는 에너지 자원 확보, 해양 사고 예방/수습, 해적 위협 대응, 항만/해저 시설 진단/관리, 해양 감시/정찰/망어 등 극한 분야에서 해양 로봇의 필요성이 절실히 제기되고 있다. 더구나, 해양 로봇은 조선, 자동차, 항공, 기계, 전기/전자, 컴퓨터, 제어 등의 복합학문이므로 교육/연구/산업 활성화에 매우 효과적이다.

다행히도, 최근에는 로봇교육에 대한 수요 증가로 해양로봇경진대회가 활성화되고 있는데, 해양로봇키트의 개발/보급을 통하여 해양로봇 교육, 연구개발 및 산업화 기반을 마련하는 것은 우리나라의 로봇산업육성

을 위한 매우 현실적인 해법이 된다.

본 연구의 직접적인 배경이 되는 해양로봇 교육용 해양로봇키트의 개발 사례는 다음과 같다. 먼저, 수상 이동 및 표적 탐지/회피가 가능한 자율운항 수상로봇키트^[1]는 3채널 소나(sonar) 센서를 탑재하고 서지(surge), 요(yaw)의 2자유도 운동이 가능하고, 다음으로 수상/수중 이동 및 표적 탐지/회피가 가능한 자율운항 수중로봇키트^[2]는 4채널 소나 센서를 탑재하고 서지, 요, 피치(pitch)의 3자유도 운동이 가능하다.

그런데, 이들 키트는 물속에서 이동하므로 센서와 운동체의 원리 이해 및 자율운항에 따른 운용 난이도 측면에서 초등학생 이하의 경우에는 다소 부적합하였다. 따라서, 수상/수중로봇키트의 원리 이해가 가능하면서도 흥미를 유발할 수 있는 교육 콘텐츠가 필요하였다.

이 문제를 해결하기 위해서 풍선부착성, 수평면이동성, 수직면이동성, 교육성이 우수한 보급형 공중로봇키트가 국내 최초로 개발되었다. 이는 수중/수상 및 공중이 밀도 측면에서의 차이점과 유체 측면에서의 공통점을 가지고 있다는 사실에 근거하고 있다. 개발의 방법론으로서는 글로벌 표준 프로세스인 시스템공학(SE:

Received : Jul. 23. 2012; Reviewed : Aug. 13. 2012; Accepted : Aug. 14. 2012
* This Research was supported by the Tongmyong University Research Grants 2011 (2011A009)

¹ Robot System Engineering, Tongmyong University (hyunskim@tu.ac.kr)

System Engineering) 프로세스를 도입하여, 키트의 요구 사항/기능 분석, 설계, 시제작, 시험평가를 수행하였다.

개발된 공중로봇기트는 생체모방형^[3] 및 쿼드콥터^[4] 등과는 달리 다양한 공중로봇 모바일(mobile) 플랫폼 중에서 풍선기반의 비행체 형태인데, 이는 유선형에 가까운 몸체를 가지고 있으므로 에너지소비가 적다. 또한, 에어스위머^[5]와는 달리 2개의 추진기를 가지고 있으므로 제자리 회전이 가능하므로 기동성이 우수하다. 또한 질량이동 구조를 가지고 있으므로 벡터제어형^[6,7] 및 분리제어형^[8]과는 달리 수직면이동방식에 근본적인 차이가 있으며, 그 크기도 상대적으로 작아서 좁은 공간에서의 운용에 매우 적합하다. 또한, 원격제어 방식을 사용하므로 초등학교 이하의 경우에도 적합한 운용성을 가지고 있다.

따라서, 본 키트는 에너지소비, 기동성, 운용성의 관점에서 최적화되어 있으며, 교육적 효과를 높이기 위해서 추진기의 위치 가변이 가능한 외형구조를 주요 특징으로 한다. 즉, 본 키트는 해양로봇 교육 콘텐츠로서의 독창성을 가지고 있다.

2. 시스템 시제작

2.1 수학적 모델

키트와 관련된 운동방정식은 수중운동체 관련식을 변형하여 적용하였다. 즉, 일반적인 6자유도(Degree Of Freedom : DOF) 운동은 병진(translation) 성분인 x, y, z 와 회전(rotation) 성분인 ϕ, θ, ψ 를 포함한다. 이와 관련하여 속도 성분이 u, v, w 각속도 성분이 p, q, r 이고, 힘 및 모멘트 성분이 $F=[X\ Y\ Z]^T, G=[K\ M\ N]^T$ 일 때, 관련 식은 다음과 같다^[9].

$$Ma = - \begin{bmatrix} F_I \\ G_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_R \\ G_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_H \\ G_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_P \\ G_P \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, M 은 질량 행렬이고, $a=[u\ v\ w\ p\ q\ r]^T$ 는 가속도 행렬이다. $F_I=[X_I\ Y_I\ Z_I]^T$ 는 관성(inertia) 힘 벡터, $G_I=[K_I\ M_I\ N_I]^T$ 는 관성 모멘트 벡터이고, $F_R=[X_R\ Y_R\ Z_R]^T$ 및 $G_R=[K_R\ M_R\ N_R]^T$ 은 각각 부력(buoyancy) 및 무게(weight)와 관련된 복원(restoring) 힘 및 모멘트 벡터이고, $F_H=[X_H\ Y_H\ Z_H]^T$ 및 $G_H=[K_H\ M_H\ N_H]^T$ 은 각각 선체(hull) 형상과 관련된 힘 및 모멘트 벡터이고, $F_P=[X_P\ Y_P\ Z_P]^T$ 및 $G_P=[K_P\ M_P\ N_P]^T$ 은 각각 추진기와 관련된 추진 힘 및 모멘트 벡터이다. 이 중에서 가장 지배적인 요소는 Z_R 인데, 헬륨가스를 이용하여 부력을 발생시켜 중성부력을 획득하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

$[X_P\ Y_P\ Z_P]^T$ 및 $G_P=[K_P\ M_P\ N_P]^T$ 은 각각 추진기와 관련된 추진 힘 및 모멘트 벡터이다. 이 중에서 가장 지배적인 요소는 Z_R 인데, 헬륨가스를 이용하여 부력을 발생시켜 중성부력을 획득하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

2.2 하드웨어 플랫폼

키트 하드웨어 플랫폼의 시제작 내용은 다음과 같다.

최근 해양로봇 분야 최고기술국인 미국의 NPS (Naval Postgraduate School)에서는 수중, 수상, 육상, 공중과 관련된 체계를 통신망으로 연계하여 그 효과를 극대화하는 이종 협력 네트워크(Heterogeneous Collaborative Network) 기술이 상용화 단계에 와 있다.

이러한 측면에서, 본 연구에서는 개발된 키트의 적용분야 이해 및 가치 향상을 위해서 위 그림의 고정형 풍선에 이동성을 추가하는 개념을 도입하였다.

다음의 그림을 살펴 보면, 원격조종기 및 노트북으로 구성될 수 있는 원격제어콘솔은 무선통신에 의해 로봇본체를 원격으로 조종하고, 로봇본체는 무선통신에 의해 카메라 이미지를 원격제어콘솔에 제공한다. 여기서 원격제어콘솔을 수상, 수중, 육상 체계 등으로 대체하면 협력 네트워크 구성과 연관이 가능하다. 즉, 유선 통신 기반의 프로그램 다운로드 및 무선통신 기반의 원격 조종 및 이미지 전사가 주요 운용개념(operating concept)임을 알 수 있다.

앞의 운용개념을 기반으로 이동성(R1), 관찰성(R2), 교육성(R3), 유지보수성(R4), 시험평가성(R5) 등의 요구사항 분석을 수행하였다.

그리고, 기능 분석은 요구사항 분석 결과를 바탕으

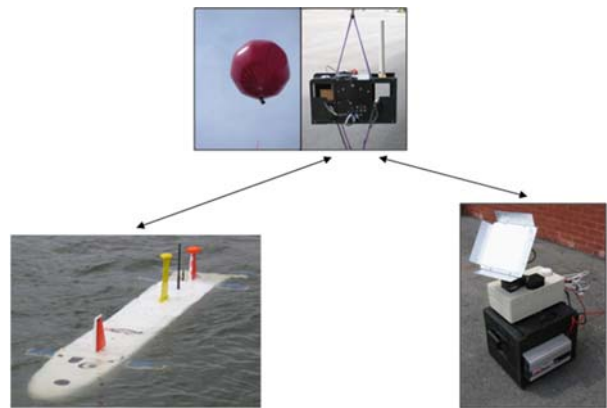


Fig. 1. Operating Example of NPS Collaborative Network

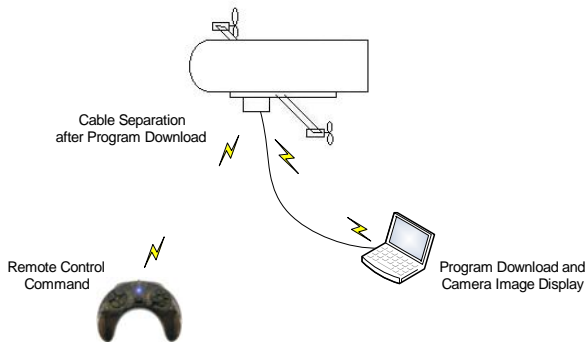


Fig. 2. Operating Concept

로 수행되었는데, 무게/부력 조절 기능(F1), 공기저항 최소화 기능(F2), 프로펠러 정/역 회전 기능(F3), 질량 부착판 전/후 이동 기능(F4), 카메라 이미지 전시 기능(F5), 프로펠러 위치이동 기능(F6), 분해조립 기능(F7), 전원 ON/OFF 기능(F8), 프로그램 다운로드 기능(F9) 등의 세부 기능을 도출하였다.

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

설계된 키트는 적은 공기저항을 가지면서도 식 (1)의 Z_R 와 관련된 부력을 발생시키는 풍선부⁵⁾, 식 (1)의 X_P 와 관련된 힘 및 N_P 와 관련된 모멘트를 발생시키는 Surge/Yaw 발생부, 식(1)의 M_P 와 관련된 모멘트를 발생시키는 Pitch 발생부를 가지고 있다.

H/W 구성품 식별 결과는 다음의 그림과 같은데, 형상관리 측면에서 몸체부, 통신부, 구동추진부 등으로 구분하였다.

Surge/Yaw 발생부는 풍선/조절판 부착형 Rack, 조절판(길이별), 조절판/모터 부착형 프레임, 모터(프로펠

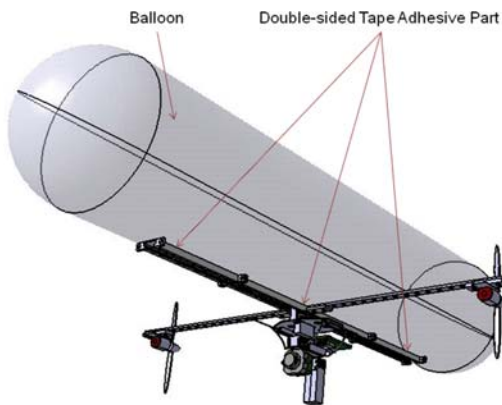


Fig. 3. 3D modeling-based kit design

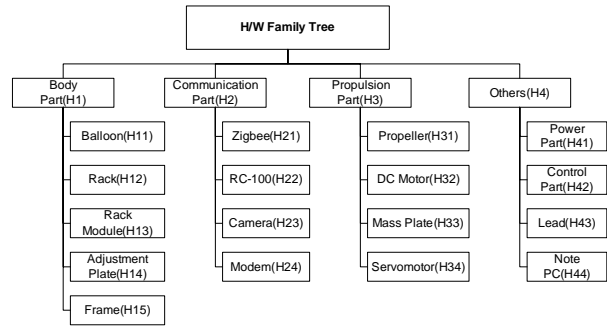


Fig. 4. H/W Family Tree

러 포함)를 사용함으로써, 기존의 볼트/너트 및 고무줄만을 활용하여, 각 구성품의 탈부착 및 프로펠러 회전이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

그리고, Pitch 발생부는 풍선/조절판 부착형 Rack, 확장형 Rack모듈, 모터 맞춤형 Pinion, 질량부착판(Rack 접촉부, 모터 고정부, 배터리/제어보드 고정부)을 사용함으로써, 기존의 볼트/너트 및 고무줄만을 활용하여, 각 구성품의 탈부착 및 질량부착판 이동이 가능한 구조를 갖는 것을 특징으로 한다.

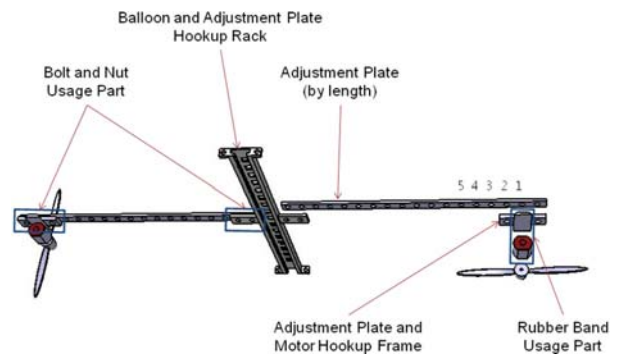


Fig. 5. Surge and Yaw Generation Part

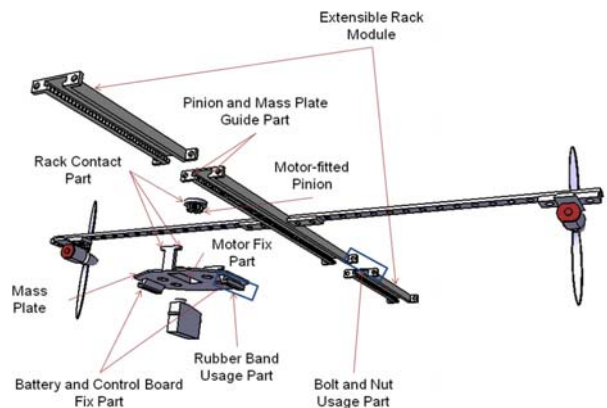


Fig. 6. Pitch Generation Part

제어보드 및 원격조종기는 ㈜로보티즈의 상용품을 사용하였으며, 배터리, DC 모터, 서보모터는 펠콘샵에서 구입하였다. 여기서, 서보모터는 필요에 의해 DC모터 형태로 개조하여 사용하였다.

원격조종기인 RC-100은 적외선(IR), 지그비(ZigBee), 블루투스(Bluetooth) 통신을 통해 로봇을 조종할 수 있는 장치인데, 아무것도 장착하지 않은 상태에서는 적외선 통신을 할 수 있다. 본 연구에서는 지그비 통신을 위해서 ZIG-100을 장착하여 사용하였다.

앞서 언급한 제어부와 관련된 전체적인 데이터 연동은 다음과 같다.

그림 3의 CATIA 설계 파일을 기반으로 RP(Rapid Prototyping) 용 장비들¹²⁾을 활용하여 3D 제작을 수행한 결과로서 몸체 시제품은 다음의 그림과 같다.

위 그림의 몸체 시제품은 기본적으로 저가형으로 구현되었으며, 헬륨가스가 충전된 풍선¹⁵⁾이 중성부력을 유지하기 위한 조건인 80[g] 보다 적은 79[g]이다. 남

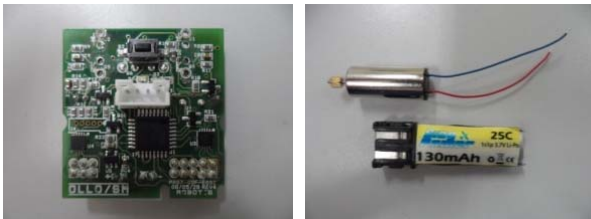


Fig. 7. Control Board, Motor and Battery



Fig. 8. Remote Controller

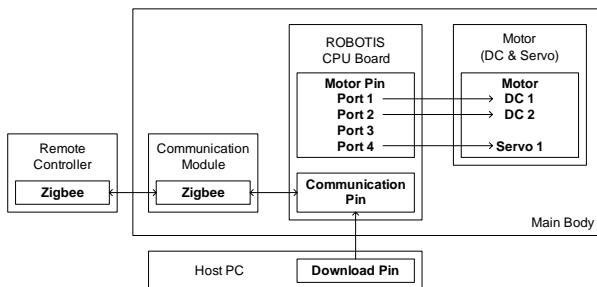


Fig. 9. Data Interface of Control Part

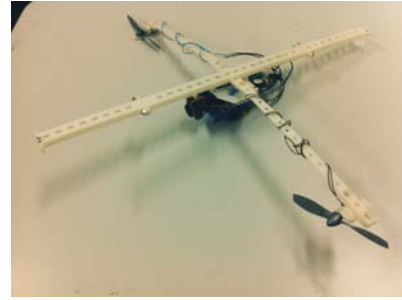


Fig. 10. Kit Body Prototype

을 이용하여 1[g]이 조정된다.

2.3 소프트웨어 플랫폼

키트 소프트웨어 플랫폼의 시제작 내용은 다음과 같다. S/W 구성품 식별 결과는 다음의 그림과 같은데, 특징적인 부분은 내장함수 및 버튼 등이다. 그림 8의 1~3번 버튼은 모드를 결정하는데, 1번은 수평면 이동 모드, 2번은 수직면 이동 모드, 3번은 정지 모드이다. 수평면 이동 모드에서는 U버튼은 전진, D버튼은 후진, L버튼은 좌회전, R버튼은 우회전과 관련된 함수를 호출한다. 수직면모드에서는 U버튼은 상승, D버튼은 하강과 관련된 함수를 호출한다.

프로그래밍을 위한 화면은 다음의 그림과 같은데, 프로그래밍언어는 초등학교 이하의 경우에 적합한 언어 수준을 가지고 있음을 알 수 있다.

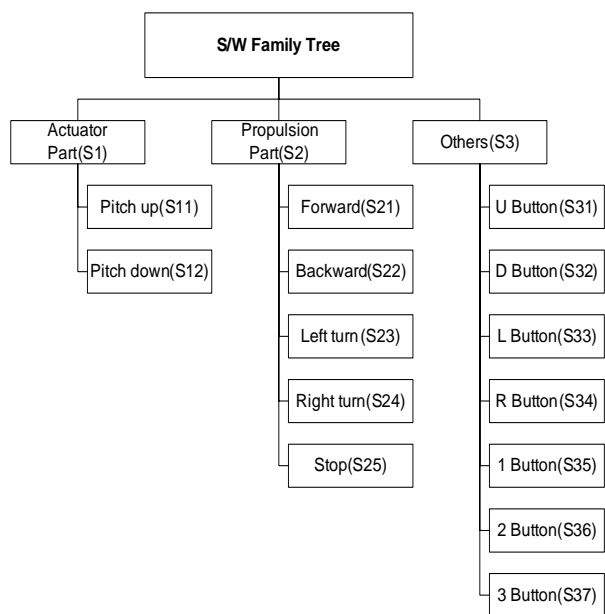


Fig. 11. S/W Family Tree

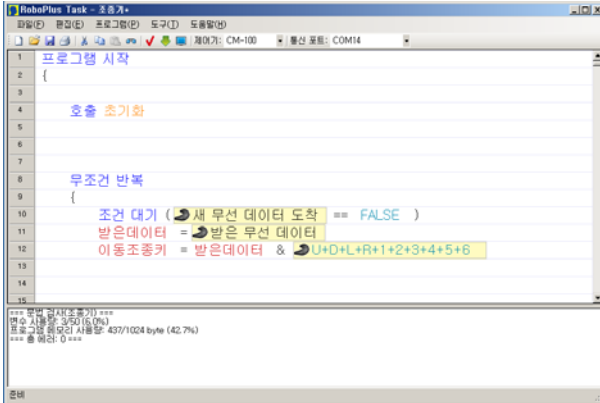


Fig. 12. Programming Monitor

3. 시험평가 결과

시험평가는 요구사항/기능 분석 결과와의 추적성을 유지하는 것이 중요한데, Surge 시험(T1), Yaw 시험(T2), Pitch 시험(T3), Monitoring(T4), 회전력 시험(T5) 등의 시험평가 항목을 도출하였다. 다음의 표는 요구사항과의 추적성을 보여준다.

Table 1. Traceability

Requirement	Function	Components	Test Item
R1	F1	H11, H43	T1,T2,T3
	F2	H11	T1,T2,T3
	F3	H21,H22,H31,H32,H41,H42	T1,T2
	F4	H12,H13,H21,H22,H33,H34,H41,H42	T3
R2	F5	H23,H24,H41,H44	T1,T2,T3,T4
R3	F6	H14,H15	T5
R4	F7	All	T1,T2,T3,T4,T5
R5	F8	H41	T1,T2,T3,T4,T5
	F9	H41,H42,H44	T1,T2,T3



Fig. 13. Surge Test & Evaluation



Fig. 14. Yaw Test & Evaluation



Fig. 15. Pitch Test & Evaluation



Fig. 16. Monitoring Test & Evaluation

T1~T4의 수행 모습은 다음 그림과 같은데, 이를 통하여 해당 요구사항 및 기능이 충족됨을 확인하였다.

앞의 과정을 통해 개발 및 검증된 키트의 재원은 다음과 같다.

그림 5의 추진기 위치 가변에 따른 회전력 시험인 T5의 결과는 표 3인데, 그 값들은 360도 회전에 필요한 시간으로서 3회 실시의 평균값이다. 소요시간A는 기본 속도, 소요시간B는 최대 속도일 때의 결과이다.

Table 2. Specification of developed kit

Item	Value
Length	120 [cm]
Height	60 [cm]
Width	20 [cm]
Weight	79 [g]
Turning Diameter	0 [cm]
Maximum Pitch Angle	±20°
Normal/Maximum Speed	30/50 [cm/s]
Communication Distance (ZigBee/Camera)	25 [m]

Table 3. Turning characteristics of developed kit

Position	Time A [sec]	Time B [sec]
#1	18.1	10.6
#2	18.7	9.5
#3	19.9	11.0
#4	21.0	12.0
#5	25.7	15.1

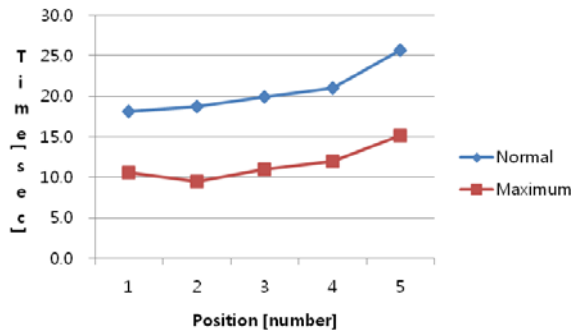


Fig. 17. Turning Characteristic Curve

프로펠러의 날개 길이 34[mm]를 고려하여 풍선에 간섭을 주지 않는 범위까지 실시하였다. 몸체 중심부에 가까울수록 소요시간의 변화율이 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 국내 최초로 개발된 풍선부착형, 수평면이동성, 수직면이동성, 교육성이 우수한 보급형 공중로봇키트를 소개하였다. 개발된 키트의 성능 검증을 위한 다양한 시험평가 결과는 해양로봇 교육 측면에서 개발된 키트의 실제 적용 가능성을 보여준다.

개발된 키트는 해양로봇경진대회 뿐만 아니라 해양로봇 체험교실 등으로 보급 및 확산하여 해양로봇 교육 분야에 적용이 가능하다. 추후에는 보급성을 높이기 위해서 좀더 소형화된 키트의 개발이 필요하다. 이러한 과정을 통하여, 향후 해양로봇 교육, 연구개발 및 로봇산업육성 측면에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] H.-S. Kim and I.-H. Kim, “Surface-type autonomous robot-kit”, Korean Patent Application 10-

2011-0107945, 2011.

[2] H.-S. Kim, H.-J. Kang, Y.-J. Ham, and S.S. Park, “Development of underwater-type autonomous marine robot-kit”, vol. 22, no. 3, pp. 312-318, 2012.

[3] J.H. Park and K.-J. Yoon, “Designing biomimetic ornithopter capable of sustained and controlled flight”, Journal of Bionic Engineering, vol. 5, pp. 39-47, 2008.

[4] D. Kim, J. Lee, J. Choi, and K.-E. Kim, “A POMDP framework for dynamic task allocation and reconnaissance of multiple unmanned aerial vehicles”, Journal of KIISE, vol. 39, no. 6, pp. 453-463, 2012.

[5] <http://www.airswimmers.com>

[6] http://www.makershed.com/Blimpduino_kit_p/mkca1.htm

[7] <http://www.surveyor.com/YARB.html>

[8] P. Gonzalez, W. Burgard, R. Sans and J.L. Fernandez, “Developing a Low-Cost Autonomous Indoor Blimp”, Journal of Physical Agents, vol. 3, no. 1, pp. 43-51, 2009.

[9] J. Yuh, “Modeling and control of underwater robotic vehicles”, IEEE Transactions on Man and Cybernetics, vol. 20, no. 6, pp. 1475-1483, 1990.



김 현 식

1994 부산대학교 전기공학과 (공학사)

1996 부산대학교 전기공학과 (공학석사)

2001 부산대학교 전기공학과 (공학박사)

1998~2007 국방과학연구소 연구원

2007~현재 동명대학교 로봇시스템공학과 교수

관심분야: 인공지능, 로보틱스, 해양로봇