

# IR 센서 및 Compass 센서를 이용한 생체 모방형 수중 로봇의 장애물 인식 및 회피

## Obstacle Recognition and Avoidance of the Bio-mimetic Underwater Robot using IR and Compass Sensors

이 동 혁, 김 현 우, 이 장 명\*  
(Dong-Hyuk Lee<sup>1</sup>, Hyun Woo Kim<sup>1</sup>, and Jang-myung Lee<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Pusan National University

**Abstract:** In this paper, the IR and compass sensors for the underwater system were used. The walls of the water tank have been recognized and avoided treating the walls as obstacles by the bio-mimetic underwater robot. This paper is consists of two parts: 1.The hardware part for the IR and compass sensors and 2.The software part for obstacle avoidance algorithm while the bio-mimetic robot is swimming with the obstacle recognition. Firstly, the hardware part controls through the RS-485 communications between a microcontroller and the bio-mimetic underwater robot. The software part is simulated for obstacle recognition and collision avoidance based upon the data from IR and compass sensors. Actually, the bio-mimetic underwater robot recognizes where is the obstacle as well as where is the bio-mimetic robot itself while it is moving in the water. While the underwater robot is moving at a constant speed recognizing the wall of water tank as an obstacle, an obstacle avoidance algorithm is applied for the wall following swimming based upon the IR and compass sensor data. As the results of this research, it is concluded that the bio-mimetic underwater robot can follow the wall of the water tank efficiently, while it is avoiding collision to the wall.

**Keywords:** infrared, underwater, obstacles, bio-mimetic, underwater robot

### I. 서론

최근 강이나 바다 환경에서의 자원 확보 및 군사적 목적을 가지는 감시 등 다양한 요구를 효과적으로 충족시키기 위하여 수중 환경에서 신속하고 정확한 데이터의 처리, 이동 및 조종이 용이한 수중 로봇(underwater robot)의 개발이 필수적으로 요구 된다[1]. 이러한 목적으로 개발된 수중 로봇의 대부분은 프로펠러 형식이 대부분이다. 그러나 최근에는 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)와 ROV (Remotely Operated Vehicle)등과 같은 프로펠러 형식의 Underwater Vehicle [2]이 아닌 글라이더 및 물고기를 모방한 생체 모방형 수중 로봇 등이 다양하게 개발 되고 있다[3-12]. 특히 생체 모방형 수중 로봇은 물고기 형태로 많이 제작되고 있는데 이러한 물고기 형태는 백만 년의 진화 속에서 효율적인 유체 역학적 구조 형상으로 진화를 하였으며, 유선형 동체와 생체학적인 구조는 수중 환경에 적응할 수 있도록 능력을 길러 주었다. 또한 생체 모방형 수중 로봇이 프로펠러 형태의 수중 로봇보다 20 % 이상의 추진 효율을 가지며, 좁은 공간에서의 이동이나 탐사에 적합한 장점을 가지고 있다[13-16]. 이런 생체 모방형 수중 로봇은 수중 환경에서 탐사 및 자원 채취 등 다양한 임무를 수행하기 위해서 자율제어를 기본으로 하고있다. 일반적으로 자율제어에 관한 연구는 수중뿐만 아니라 지상에서

도 끊임없이 연구를 지속해 오고 있으며, 풀어야 할 공통과제라 할 수 있다. 우선 이러한 과제를 풀기 위해선 로봇이 장애물을 인지하는 것이 우선시 되어야 한다고 생각된다. 그래서 본 논문에서는 장애물 인지 및 회피에 필요한 IR 센서 및 Compass 센서를 수중 환경과 지상 환경에서 비교 실험 한 후 분석하여 수중 환경에서 적용 가능 유무를 판단하며, 센서로부터 획득한 데이터를 바탕으로 장애물 인지 및 회피를 하고, 이에 대한 이동 경로를 알아볼 것이다.

우선 II 장에서는 생체 모방형 수중 로봇의 구조 및 유체 해석과 Noise 감소를 위해 사용된 이동 평균필터, 그리고 생체 모방형 수중 로봇의 구성에 대하여 소개하고, III 장에서는 실험 환경 및 센서 데이터 비교 분석에 대하여 설명 할 것이다. IV 장에서는 생체 모방형 수중 로봇의 장애물 회피 및 이동 경로에 대한 분석 결과를 제시하고, 마지막으로 V 장에서는 본 연구의 결론을 제시함으로써 이 논문을 마무리 한다.

### II. 생체 모방형 수중 로봇의 구조 및 유체 해석

그림 1과 같이 제작된 생체 모방형 수중 로봇의 외형 재질은 폼엑스를 이용 하였다. 또한 서보 모터 3개를 이용하여 Carangiform [17] 운동을 할 수 있도록 제작 하였다.

MCU와 배터리는 몸체 아래에 장착된 방수 박스(Fi-box)를 사용하여 방수 하였으며, 서보 모터는 Plasti dip을 이용하여 방수 처리를 하였다. 그리고 장애물 인지를 위한 IR 센서는 생체 모방형 수중 로봇의 머리 부분의 전방 및 좌·우측 방향으로 총 3개를 배치 하였으며, 생체 모방형 수중 로봇의 이동 경로를 알기 위한 Compass 센서는 MCU와 같이 방수 박스에 배치 하여 실험 하였다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 2. 15., 수정: 2012. 8. 1., 채택확정: 2012. 9. 21.

이동혁, 김현우, 이장명: 부산대학교 전자전기공학부

(ldh0917@pusan.ac.kr/hyunwoo1687@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문 인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H1502-12-1002).

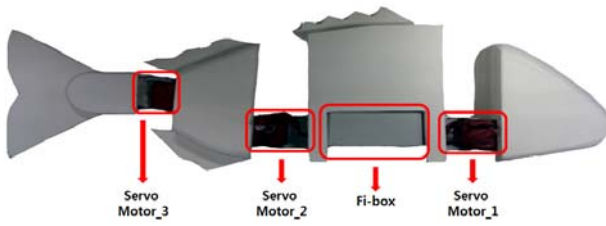


그림 1. 생체 모방형 수중 로봇.

Fig. 1. The bio-mimetic Underwater robot.

표 1. 생체 모방형 수중 로봇에 사용된 부품.

Table 1. The Parts that are used in a bio-mimetic underwater robot.

	제조사	품명
서보 모터	로보티즈	Rx-24
MCU	TI	LM3S8962
IR 센서	SHARP	GP2Y0A02YK0F
Compass 센서	ROBOBLOCK	Magnetic Compass
배터리	애니알씨	11.1V-Lipo-Battery

표 2. 생체 모방형 수중 로봇 규격.

Table 2. The Compliant biomimetic underwater robot.

Size	608 mm
Weight	2.8 kg
DOF	3 DOF

생체 모방형 수중 로봇에 사용된 부품은 표 1과 같다.

1. 시스템 구성

전체 시스템은 MCU를 중심으로 그림 2와 같이 구성 된다. 또한 MCU는 UART통신을 통해 서보 모터의 각도 및 센서 데이터를 10 ms의 주기로 COM(Computer)으로 전송 한다.

IR 센서는 전방 및 좌·우측에 각각 한 개씩 설치 되었으며 각각의 센서는 AD컨버터를 통하여 디지털 값으로 변환되므로 이때 ADC값은 12 bit의 분해능으로 10 ms 주기로 장애물을 인지 한다. Compass 센서 데이터는 MCU의 타이머/카운터를 이용하여 펄스 폭을 측정하여 방위각으로 변환된다. 이때 Position 데이터는 10 ms 주기로 받아오게 된다. 서보 모터는 RS-485통신과 UART통신을 이용하여 COM으로 데이터를 송·수신 한다. MCU에서 지정된 각도 데이터 및 속도, 관성

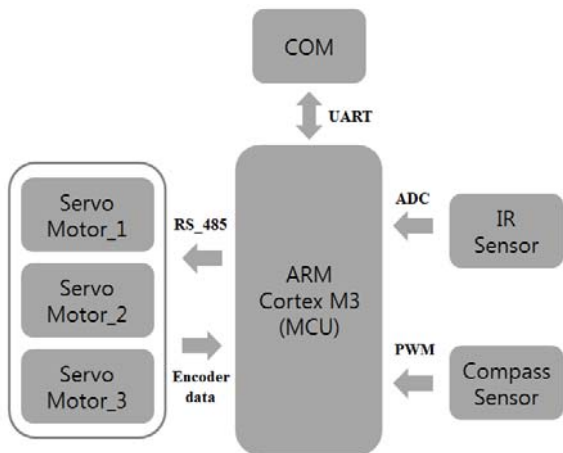


그림 2. 전체 시스템.

Fig. 2. The overall system.

데이터를 서보 모터로 전송하게 되면 서보 모터가 정상적으로 작동 하였는지를 10 ms의 주기로 체크하게 된다.

2. 생체 모방형 수중 로봇의 구조

생체 모방형 수중 로봇의 운동을 묘사하기 위하여 그림 3과 같이 물탱크에 고정되어 있는 좌표계 OXY와 생체 모방형 수중 로봇에 고정되어있는 좌표계  $o_{fish}, x_{fish}, y_{fish}$  두 개의 좌표계를 사용한다. 그림 3에서  $v_{water}$  는 각 물의 흐름 속도를 나타내며, 본 연구에서는 물의 흐름은 정지해 있다고 가정한다. 유체 내부에서 동작하는 강체와 유체 사이에서 발생하는 힘의 대부분은 강체와 유체 사이의 상대속도에 대한 함수이므로 생체 모방형 수중 로봇 꼬리 지느러미의 quarter-chord에 작용하는 물과 꼬리 지느러미 사이의 상대속도를  $v_p$  로 정의한다.

물고기 고정 좌표계  $o_{fish}, x_{fish}, y_{fish}$  에 대한 생체 모방형 수중 로봇 꼬리 지느러미의 quarter-chord의 위치는 식 (1)과 같이 각 링크의 상대 각도에 의해 결정된다.

$$P_p = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_1c(\theta_1) - l_2c(\theta_1 + \theta_2) - l_{3f}c(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ l_1s(\theta_1) + l_2s(\theta_1 + \theta_2) + l_{3f}s(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

따라서 생체 모방형 수중 로봇의 속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표 3. 기호 설명

Table 3. Parameter.

기호	설명
$\theta_1, \theta_2, \theta_3$	각 관절에 대한 1주기 동안의 평균 각
$l_0, l_1, l_2$	머리 및 몸통 1, 몸통 2의 길이
$l_{3f}$	quarter-chord까지의 길이
$\Psi$	현재 머리가 바라보는 방향 각
$\alpha$	생체 모방형 수중 로봇의 목표점에 대한 방향 각
$v_c$	생체 모방형 수중 로봇의 속도
$L$	양력
$D$	항력

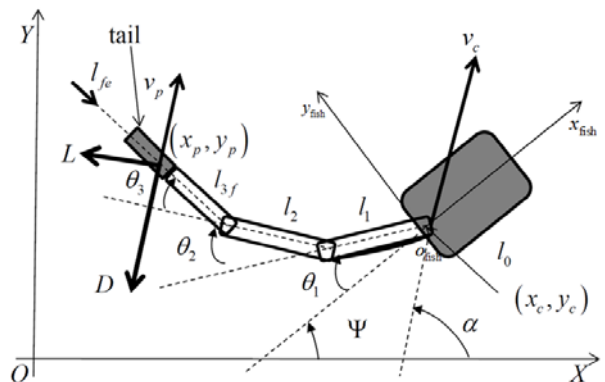


그림 3. 생체 모방형 수중 로봇의 기구학 모델.

Fig. 3. The kinematics model of a Bio-mimetic Underwater robot.

$$v_p = \frac{d}{dt}(P_p) \tag{2}$$

3. 유체 해석

꼬리가 머리에 전달하여 생체 모방형 수중 로봇이 움직일 수 있도록 하는 주된 힘은 꼬리에 대한 물의 상대속도 방향에 평행한 힘인 항력(drag force:  $D_f$ )과 직각인 양력(lift force:  $L_f$ )이다. Mason [18]과 Yu [19]의 결과를 응용하면 꼬리에 가해지는 항력과 양력은 다음의 식 (3)과 (4)로 유도된다.

$$D_f = -2\pi\rho_f l_f^2 \bar{v}_p \frac{\|\bar{v}_p\|^2 - (\bar{v}_p \cdot \bar{l}_{fe})^2}{\|\bar{v}_p\|} \tag{3}$$

$$L_f = \pi\rho_f l_f d (\bar{v}_p \times \bar{l}_{fe}) \times \bar{v}_p \tag{4}$$

여기서  $\rho_f$  는 유체의 밀도,  $l_f$  는 꼬리의 chord,  $d$  는 꼬리의 높이,  $\bar{l}_{fe}$  는 꼬리 지느러미에 대한 접선방향의 단위 벡터이다. 또한 생체 모방형 수중 로봇의 이동이 있을 경우 몸통에도 항력과 양력이 작용하기 때문에 이에 대한 힘을 다음과 같이 식 (5)와 (6)으로 표현할 수 있다.

$$D_i = D_{Di} \bar{v}_i \frac{\|\bar{v}_i\|^2 - (\bar{v}_i \cdot \bar{l}_{ie})^2}{\|\bar{v}_i\|} \tag{5}$$

$$L_i = C_{Li} (\bar{v}_i \times \bar{l}_{ie}) \times \bar{v}_i \tag{6}$$

여기서  $\bar{v}_i$  는 각 링크의 quarter-chord 위치에서의 물과의 상대속도,  $\bar{l}_{ie}$  는 각 링크의 단위벡터를 나타내며,  $C_{Di}$  와  $C_{Li}$  는 각 링크의 항력과 양력계수이다.

4. 재귀식 이동 평균 필터

보통 실험을 할 때 일반적으로 가장 간단하게 평균을 내어서 측정 데이터에서 잡음을 제거할 수가 있다. 하지만 측정하려는 물리 양이 시간에 따라 변하면 평균 만으로는 적절하지 않다. 평균은 데이터의 동적인 변화는 모두 없애버리고 측정 데이터를 희석하여 하나의 값만 내놓기 때문이다. 실험 시 다루는 물리 양은 대부분 시간이 지남에 따라 변하는데 이것이 하나의 일이다. 잡음을 없애는 동시에 시스템의 동적인 변화를 제대로 반영하는 용도로 고안된 방법 중에 하나가 바로 이동 평균 필터이다. 이동 평균은 모든 측정 데이터가 아니라, 지정된 개수의 최근 측정값을 계산한 평균이다. 새로운 데이터가 들어오면 가장 오래된 데이터는 버리는 방식으로, 데이터 개수를 일정하게 유지하면서 평균을 구한다. 우선,  $n$ 개의 데이터에 대한 이동 평균을 수식으로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$\bar{x}_k = \frac{x_{k-n+1} + x_{k-n+2} + \dots + x_k}{n} \tag{7}$$

여기서 이동 평균의  $\bar{x}_k$  는 평균 필터의  $\bar{x}_k$  와는 의미가 다르다는 것을 주의해야 한다. 평균 필터에서  $\bar{x}_k$  는  $K$ 개 데이터의 평균을 의미한다. 반면 이동 평균의  $\bar{x}_m$  는  $K-n+1$ 번째 데이터부터  $K$ 번째 데이터까지 총  $n$ 개 데이터의 평균을 의미하게 된다. 그럼 재귀식 평균 필터로 바뀌어 본다면 식 (8)을

이용하여 직전의 이동 평균  $\bar{x}_{k-1}$  를 정의 한다.

$$\bar{x}_{k-1} = \frac{x_{k-n} + x_{k-n+1} + \dots + x_{k-1}}{n} \tag{8}$$

여기서 식 (7)과 식 (8)를 비교해보면  $\bar{x}_k$  는  $\bar{x}_{k-1}$  에서 가장 오래된  $x_{k-n}$  을 빼 대신  $x_k$  를 추가하여 평균을 낸 것이라고 알 수가 있다. 그리고 식 (7)에서 (8)를 빼서 정리를 해보면

$$\bar{x}_k - \bar{x}_{k-1} = \frac{x_{k-n+1} + x_{k-n+2} + \dots + x_k}{n} - \frac{x_{k-n} + x_{k-n+1} + \dots + x_{k-1}}{n} \tag{9}$$

$$= \frac{x_k - x_{k-n}}{n} \tag{10}$$

이제 최종적으로 수식을 정리해보면 식 (11)과 같이 재귀식 평균 필터를 정의할 수 있다.

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} - \frac{x_k - x_{k-n}}{n} \tag{11}$$

최종적으로 이동 평균 필터는 측정 데이터의 잡음을 제거하는데 유용하게 사용된다는 것을 III장의 그림 6을 통하여 알 수가 있고 평균 내는 데이터의 개수가 많으면 잡음제거 성능은 좋아지지만 측정 신호의 변화가 제 때 반영되지 않고 시간 지연이 생기게 되고 반대로 데이터 개수가 적으면 측정 신호의 변화는 잘 따라가지만 잡음이 잘 제거되지 않는다. 그래서 이동 평균 필터를 사용하기 위해서는 측정하려는 신호의 특성을 잘 파악하여 데이터의 개수를 잘 선정하여 사용하여야 한다. ( $n=20$ )

III. 실험 환경 및 센서 TEST

장애물 인지 실험을 하기 위하여 2300 mm X 1200 mm X 50 mm 의 수조를 설치하고 IR 센서와 Compass 센서를 장착한 생체 모방형 수중 로봇을 배치하여 장애물의 위치를 변경하여 실험을 하였다.

그림 4와 그림 5는 각각 지상과 수중에서 실험한 IR 센서의 측정 결과이다. 실험은 설치한 수조에 물을 채우기 전과 물을 채운 후 실험을 한 것이다. 500 mm x 500 mm x 5 mm 크기의 흰색 포백스를 장애물로 사용하여 IR 센서 전방 200 mm부터 1000 mm까지 이동시켰으며 동일한 방법으로 반복 실험 하였다. 수중 및 지상에서의 IR 센서의 거리 측정 데이터는 400 mm를 기점으로 오차율이 증가함을 볼 수 있다. 이러한 실험 오차는 환경에 따라서 오차율이 달라진다. IR 센서의 경우 장애물의 색상에 정확성의 차이가 발생하며 햇빛 및 조명의 강도에 따라서도 장애물과의 거리 값의 오차가 발생한다. 수중 환경에서는 추가적으로 물의 탁도 및 물속의 이물질, 물결 등 상황에 따라서 오차율의 차이가 나타난다. 또한 IR 센서는 직진성만을 가지고 있어 사방에 있는 장애물을 인식하지 못하기에 장애물 회피에 있어서 문제가 발생할 수 있다. 하지만 근접 센서로서 저렴한 가격과 빠른 응답 속도를 가지는 장점을 가지고 있기에 생체 모방형 수중 로봇에는 흔히 이용되며, 중요한 센서이다[20].

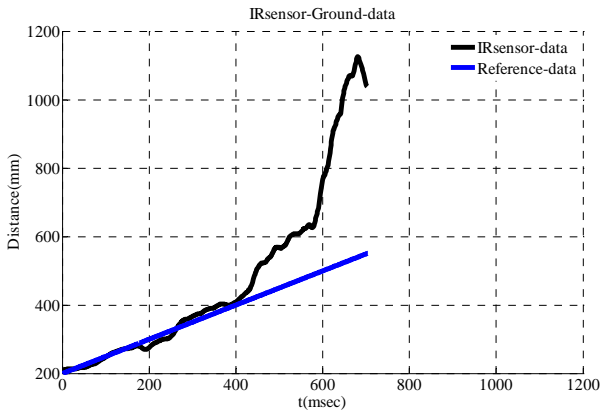


그림 4. 지상에서의 IR 센서의 거리 측정.  
Fig. 4. Distance measurements of the IR sensor on the ground.

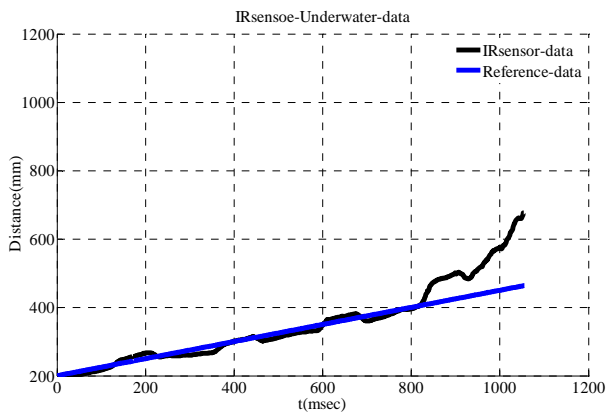


그림 5. 수중에서의 IR 센서의 거리 측정.  
Fig. 5. Distance measurements of the IR sensor on the Underwater.

표 4. IR 센서 거리 오차 값 비교.

Table 4. The comparison of IR sensor distance error.

거리	실험		오차	
	지상	수중	지상	수중
200 mm	204 mm	201 mm	4 mm	1 mm
250 mm	249 mm	262 mm	-1 mm	12 mm
300 mm	287 mm	301 mm	-13 mm	1 mm
350mm	361 mm	349 mm	11 mm	-1 mm
400mm	409 mm	395 mm	9 mm	-5 mm
450mm	500mm	576 mm	500 mm	126 mm

표 4는 지상과 수중에서 실험을 통해 얻은 IR 센서에 대한 실험 데이터 값과 오차를 나타낸 것이다. 이를 통하여 보다 명확히 오차율을 확인할 수 있다.

또한 아래의 그림 6은 수중 환경에서 생체 모방형 수중 로봇이 수영을 할 때 IR 센서를 이용하여 장애물을 인식하는가에 대한 실험 결과이다. 실험 시 장애물을 로봇의 전방 200 mm에 위치 시켰다. 점선이 실제 측정된 IR 센서 데이터이며, Noise가 심한 것을 확인할 수가 있다. 여기서 이동 평균 필터를 적용해 보았다. 필터를 적용한 부분은 실선으로 표시했으며 두 데이터를 비교하면 필터를 통하여 Noise가 제거된 것을 알 수 있다. 그리고 원으로 표시한 부분은 생체 모방형 수중 로봇이 IR 센서를 이용하여 장애물을 인지한 부분이다.

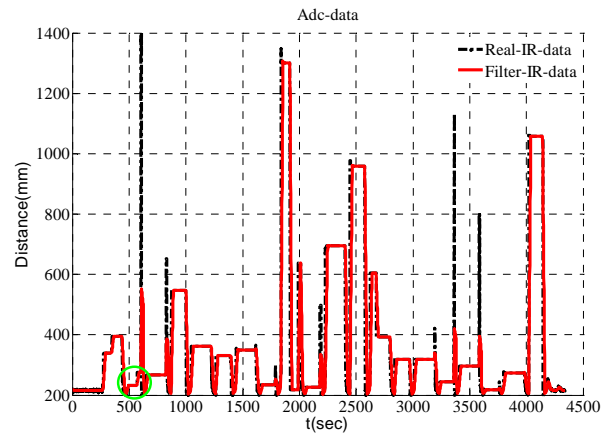


그림 6. 수중에서 실험한 IR 센서 데이터.  
Fig. 6. Underwater analysis IR sensor data.

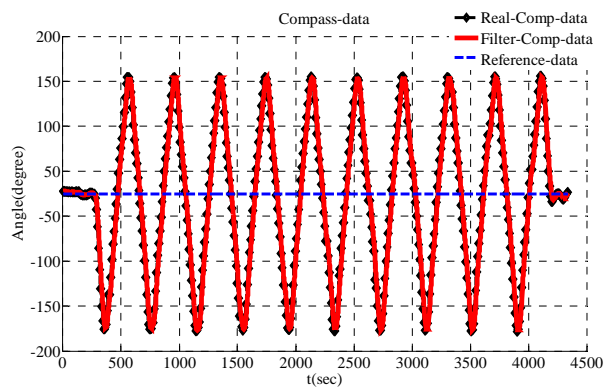


그림 7. 수중에서 실험한 Compass 센서 데이터.  
Fig. 7. Underwater analysis Compass sensor data.

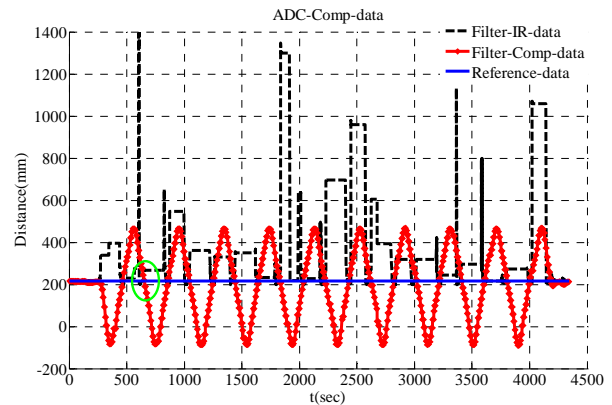


그림 8. 수중에서 실험한 IR 센서 및 Compass 센서 데이터.  
Fig. 8. Underwater analysis IR sensor and Compass sensor data.

장애물이 200 mm 부분에서 인지 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 그림 6과 동일하게 실험한 Compass 센서의 측정된 데이터이다. 생체 모방형 수중 로봇이 정해진 수영에 따라 이동할 때 측정된 결과이며 이때 적용된 수영은 직진하는 수영이다. 동일한 수영이 반복 되었으므로 데이터에서는 크게 Noise가 발생 되지 않았다. 점선이 실제 측정된 Compass 센서 데이터이며 실선이 필터를 적용한 Compass 센서 데이터이다. 그리고 중앙에 실선은 생체 모방형 수중 로봇의 전

방을 나타내며 로봇은 일정한 유영으로 좌·우로 머리 부분이 움직이며 전진하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 앞서 설명한 그림 6과 그림 7를 합친 데이터이며, 각각 분석한 IR 센서 데이터와 Compass 센서 데이터를 결합하여 로봇과 장애물간의 거리와 각도 값을 알 수 있다. 장애물을 생체 모방형 수중 로봇의 전방 중앙 부에 두고 실험을 하였으므로 원으로 표시된 부분을 통하여 장애물이 정확히 인지된 것을 확인할 수 있다.

**IV. 장애물 회피 실험 및 분석**

**1. 유영 동작의 결정**

생체 모방형 수중 로봇이 IR 센서와 Compass 센서를 통하여 장애물 유무를 인지한 후 로봇의 유영 동작을 결정하도록 하였다. 아래의 표 5는 각 상황에 맞게 생체 모방형 수중 로봇의 동작을 정해 놓은 것이다. 수중에서 IR 센서 데이터에 대하여 생체 모방형 수중 로봇이 유영 동작을 정확하게 하고 있는지를 확인하기 위하여 표 5와 같이 각 상태에 대해 하나의 유영을 선택하여 동작하도록 하였다. 이러한 Heuristic 알고리즘을 통하여 생체 모방형 수중 로봇은 수조의 벽을 따라갈 수 있음을 실험적으로 보이고 자 한다.

**2. 실험**

그림 9는 실험에 사용된 수조로서 A, B, C, D 구간을 나눴다. 생체 모방형 수중 로봇이 START지점에서 출발하여 END 지점으로 회전하게 된다. IR 센서 데이터를 통하여 장애물을 인지하면서 외벽을 타고 이동을 하게 된다. 그리고 Compass

표 5. 유영 동작.

Table 5. The swimming behavior.

상황	장애물 유무			행동
	Left	Front	Right	
상황 1	X	X	X	직진
상황 2	X	X	O	직진
상황 3	O	X	X	직진
상황 4	O	X	O	직진
상황 5	X	O	O	좌회전
상황 6	O	O	O	좌회전
상황 7	X	O	X	우회전
상황 8	O	O	X	우회전

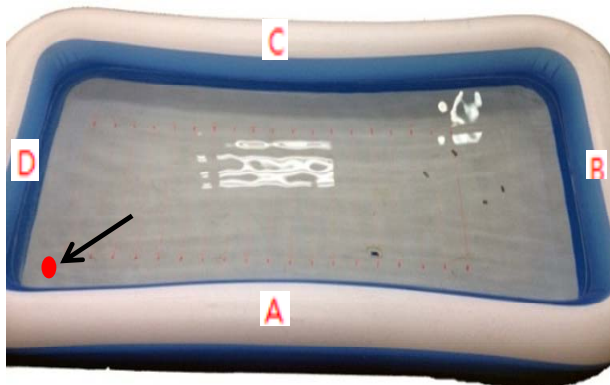


그림 9. 실험 수조.

Fig. 9. The experimental water tank.

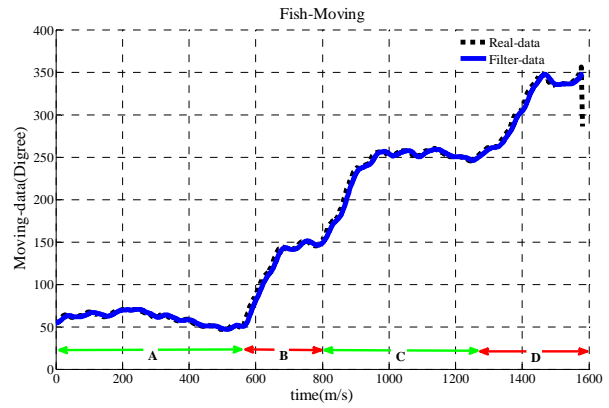


그림 10. 생체 모방형 수중 로봇 실험 결과.

Fig. 10. Bio-mimetic underwater robot experimental results.

센서 데이터를 통하여 생체 모방형 수중 로봇이 어느 방향으로 나아가고 있는지에 대한 각도 값을 알 수가 있다.

그림 10은 생체 모방형 수중 로봇이 그림 7의 수조에서 이동 하면서 얻은 Compass 센서 데이터를 나타낸 것이다. 그리고 그림 8에서 나타나 있는 A, B, C, D는 그림 9에서 나타낸 구간을 나타낸 것이며, 각 구간 별로 표 5번에 정해 놓은 유영 동작에 맞춰 이동한다. A와 C구간은 수조의 가로 길이인 2300 mm를 이동한 것을 나타내는 것으로 유영 동작은 상황 2번이다. B와 D구간은 수조의 세로 길이인 1200 mm 를 이동한 것을 나타내며, 유영동작은 상황 2번이다. 각 구간별로 대각선으로 이동하는 모양은 생체 모방형 수중 로봇이 수조 외벽을 장애물로 인지하고 회전 유영을 하는 것으로 상황 5 번이다.

**V. 결론**

본 연구에서는 생체 모방형 수중 로봇이 장애물을 인지 하기 위하여 수중 및 지상에서의 IR 센서의 거리 데이터 측정 및 비교 분석을 통하여 수중에서의 IR 센서 데이터에 대한 정밀도를 확인 하였다. 또한 장애물을 인지하고 회피하는 방법을 제안함과 동시에 Compass 센서를 이용하여 어느 각도에 장애물이 존재 하는지 그리고 생체 모방형 수중 로봇이 장애물을 인지하고 어느 각도로 이동하는 지에 대하여 연구 하였다. 우선 각 상황에 맞는 유영 동작을 결정 하였으며, 수조의 외벽을 장애물로 인지하며 회피 하면서 장애물의 위치와 로봇의 이동방향을 알아볼 수 있었으며, 실험 중 발생하는 Noise는 이동 평균 필터로 Noise를 감소 시켰다. 로봇이 수조의 외벽을 따라 이동할 때 각도 값을 통하여 외벽의 존재여부를 확인할 수 있다는 것을 실험을 통하여 알게 되었다. 하지만 생체 모방형 수중 로봇과 유선으로 통신을 하므로 좁은 수조에서 실험 환경을 구성하여 로봇의 움직임 표현과 주행에 대한 연구는 제한적이였다. 차후 연구에서는 Bluetooth 통신 및 Zigbee 통신 등 무선 통신을 이용하여 로봇을 제어할 것이며, 보다 넓은 환경에서 실험 하여 생체 모방형 수중 로봇의 이동 경로를 추정하고 출발지로 다시 되돌아오는 Path planning 및 현재의 유영 동작 보다 최적화된 유영을 연구 및 적용 하여 에너지 효율성에 대해서도 증명하고자 한다.



## 참고문헌

- [1] G Antonelli, "Underwater Robots," Springer, vol. 2, 2006.
- [2] R. K. Lea, R. Allen, and S. L. Merry, "A comparative study for control techniques for an underwater flight vehicle," *International Journal of System Science*, vol. 30, no. 9, pp. 947-964, Aug. 1999.
- [3] D. S. Barrett, "Propulsive efficiency of a flexible hull underwater vehicle," Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [4] J. M. Kumph, "The design of a free swimming robot pike," Bachelor thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [5] J. M. Anderson and P. A. Kerrebrock, "The vorticity control unmanned undersea vehicle - an autonomous vehicle employing fish swimming propulsion and maneuvering," *Proc. of the 10th international Symposium on Unmanned Unthethered Submersible Technology*, vol. 25, no. 11, pp. 23-25, Aug. 1999.
- [6] M. Nakashima and K. Ono, "Dynamics of two-joint dolphinlike propulsion mechanism," *Trans. Jpn. Soc. MechEng.* vol. 66, no. 643, pp. 686-694, Mar. 1996.
- [7] J. Liu, I. Dukes, R. Knight, and H. Hu, "Development of fish-like swimming behaviours for an autonomous robotic fish," *Proc. of the. Control'04, IEE, ID217*, University of Bath, England, Sep. 2004.
- [8] K. A. Morgansen, B. I. Triplett, and D. J. Klein, "Geometric methods for modeling and control of free-swimming fin-actuated underwater vehicles," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 6, pp. 1186-1199, Dec. 2007.
- [9] J. Yu, L. Wang, and M. Tan, "Geometric optimization of relative link lengths for biomimetic robotic fish," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 2, pp. 382-386, Mar. 2007.
- [10] H. Kimura, Y. Fukuoka, and A. H. Cohen, "Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on natural ground based on biological concepts," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 26, no. 5, pp. 475-490, May 2007.
- [11] G. Taga, Y. Yamaguchi, and H. Shimizu, "Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment," *Biological Cybernetics*, vol. 65, no. 10, pp. 147-159, Apr. 1991.
- [12] W. Zhao, J. Yu, Y. Fang, and L. Wang, "Development of multi-mode biomimetic robotic fish based on central pattern generator," *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 9, no. 15, pp. 3891-3896, Oct. 2006.
- [13] T. Kang, "Model Identification of Fish Robot and Direction Controller Design," *KSME (in Korean)*, vol. 9, pp. 2856-2861, Sep. 2010.
- [14] D. Zhang, K. H. Low, H. Xie, and L. Shen, "Advances and Trends of Bionic Underwater Propulsors," *2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems*, vol. 1, pp. 13-19, 2009.
- [15] D. S. Barrett, "The design of a flexible hull undersea vehicle propelled by an oscillating foil," Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1994.
- [16] S. H. Lee, J. H. Park, and C. H. Han, "Optimal control of a mackerel-mimicking robot for energy efficient trajectory tracking," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 209-215, 2007.
- [17] H. S. Kim and B. R. Lee, "A study on optimization of motion parameters and, dynamic analysis for 3-D.O.F fish robot," *KSME (in Korean)*, vol. 33, no. 10, pp. 1029-1037, 2010.
- [18] R. Mason, "Fluid locomotion and trajectory planning for shape-changing robots," Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, USA, 2003.
- [19] J. Yu, L. Liu, and L. Wang, "Dynamic modeling and experimental validation of biomimetic robotic fish," *Proc. of the American Control Conference*, vol. 14, no. 16, pp. 4129-4134, Jun. 2006.
- [20] W.-Y. Chae and H.-J. Kim, "Distance Measurement System using the Infrared sensor for Mobile Robots," *Proc. of KIIS Spring Conference (in Korean)*, vol. 20, no. 1, 2010.
- [21] K.-J. Cho and J.-Y. Park, "Maximum thrust condition by compliant joint of a caudal fin for developing a robotic fish," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 2, pp. 103-109, 2012.
- [22] Y.-S. Ryuh and C.-H. Chung, "Optimization of input parameters by using DOE for dynamic analysis of bio-inspired robotic fish 'Ichthus'," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 8, pp. 799-803, 2010.



이동혁

2011년 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학부 졸업. 2011년~현재 부산대학교 대학원 로봇관련협동 석사과정 재학중. 관심분야는 지능로봇 제어, 센서 융합, 마이크로프로세서 응용.



김현우

2011년 부경대학교 전자정보통신공학부 졸업. 2011년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학 석사과정 재학중. 관심분야는 지능제어시스템, Navigation and Localization 시스템, SLAM.



이장명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 석사. 1990년 USC 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자전기공학부 정교수. 관심분야는 지능로봇 시스템 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용, 센서융합, Navigation/Localization.