

## Development of Autonomous Bio-Mimetic Ornamental Aquarium Fish Robotic

Shin Kyoo Jae<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

In this paper, the designed fish robots DOMI ver1.0 is researched and development for aquarium underwater robot. The presented fish robot consists of the head, 1'st stage body, 2nd stage body and tail, which is connected two point driving joints. The model of the robot fish is analysis to maximize the momentum of the robot fish and the body of the robot is designed through the analysis of the biological fish swimming. Also, Lighthill was applied to the kinematics analysis of robot fish swimming algorithms, we are applied to the approximate method of the streamer model that utilizes techniques mimic the biological fish. The swimming robot has two operating mode such as manual and autonomous operation modes. In manual mode the fish robot is operated to using the RF transceiver, and in autonomous mode the robot is controlled by microprocessor board that is consist PSD sensor for the object recognition and avoidance. In order to the submerged and emerged, the robot has the bladder device in a head portion. The robot gravity center weight is transferred to a one-axis sliding and it is possible to the submerged and emerged of DOMI robot by the breath unit. It was verified by the performance test of this design robot DOMI ver1.0. It was confirmed that excellent performance, such as driving force, durability and water resistance through the underwater field test.

**Keywords :** Fish Robot, Autonomous Bio-Mimetic Ornamental, Aquarium Fish Robotic, Under Water Robot, Lighthill Dynamics Analysis

## 생체 모방형의 아쿠아리움 관상어 로봇 개발

신 규재<sup>†</sup>

### 요약

본 논문의 수중로봇 도미(Domi) ver1.0는 관상어용 물고기 로봇 개발을 목표로 연구 개발되었다. 물고기 로봇은 머리, 1단, 2단 몸체와 꼬리 부분과 2개의 구동 관절로 구성되어있다. 물고기 로봇의 추력에 적합한 구동부 설정을 위하여 물고기 로봇 모델링과 유영 해석을 통하여 관절 구동부가 설계되었다. 또한 물고기 로봇의 유영알고리즘은 Lighthill 운동학 해석을 기초로 생체 모방의 유영 근사화 방법을 적용하였다. 설계된 물고기는 수동유영 및 자율운영모드로 동작된다. 수동유영모드는 RF 송수신기를 이용하여 운용되며, 자율유영모드는 머리 부분에 부착된 PSD센서, 마이컴 제어부, 서보 구동장치에 의하여 구현된다. 본 설계된 물고기 로봇 도미 ver1.0은 수중 현장시험 평가를 통하여 추력, 내구성, 방수성 등의 성능이 우수함을 확인하였다.

**키워드 :** 물고기 로봇, 생체모방 자율유영, 아쿠아리움 관상어 로봇, 수중로봇, Lighthill 동역학 해석

### 1. 서 론

최근 수중로봇은 사용목적과 적용하고자 하는 환경에 따라 다양한 형태의 로봇으로 연구 개발이 진행되고 있다. 상업적·군사적·학술적인 목적으로 세계 각국에서 수중로봇 ROV

(Remotely Operated Vehicle), AUV(Autonomous Underwater Vehicle)에 대한 연구 결과가 발표되고 있다[1~6]. 또한 생체 모방형 수중로봇으로는 물고기, 뱀장어, 상어, 해파리 등이 연구 개발되어왔으며, 특히 물고기 로봇은 환경모니터링을 목적으로 한 물고기 로봇[7]과 관상어용 물고기 로봇[8]의 연구가 진행되어왔다.

물고기 모방 로봇에 대한 연구는 많이 알려진 MIT의 로보 튜나(RoboTuna)와 Draper Lab의 수력으로 작동되는 VCUUV(Vorticity Control Unmanned Undersea Vehicle)가 있다[9]. 물고기 모방 로봇연구에서 가장 빠른 수영속도를

\* 이 논문은 2015년도 부산외국어대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.  
\*\* 이 논문은 2014년도 한국정보처리학회 주제학술발표대회에서 '생체모방 자율유영의 인공지능 물고기 로봇 설계'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 정회원: 부산외국어대학교 디지털미디어학부 전자정보통신전공 교수  
Manuscript Received: December 31, 2014

First Revision: March 23, 2015

Accepted: April 2, 2015

\* Corresponding Author: Shin Kyoo Jae(kyoojae@bufs.ac.kr)

보인 경우는 로봇 물고기에 thunniform 꼬리지느러미를 부착한 것으로서, 2.38[cm/s]의 수영속도를 보였으며, 가장 속도가 느린 것은 subcarangiform 꼬리지느러미를 부착한 것으로 1.98[cm/s]의 수영속도를 보였다[10].

본 논문의 물고기 로봇은 관상어를 목적으로 연구되어왔으며, 로봇의 유체역학적 모델링과 유영 메커니즘에 대한 연구를 진행하였다. 본 로봇은 대형수조와 아쿠아리움에서 운용하기 위하여 국내 해역에서 생활하고 있는 도미를 표방하여 유영 메커니즘을 연구하였고, PSD 센서를 내장하여 장애물을 회피할 수 있도록 하였으며, 유영 경로를 자율생성 알고리즘을 적용한 인공지능형 DOMI ver1.0 물고기 로봇을 개발하였다. 설계된 DOMI 물고기는 관상어 전시용을 목적으로 설계되었으며, 물고기 로봇의 유영알고리즘은 Lighthill 운동학 해석을 기초로 하여 생체 모방의 유영 근사화 방법을 적용하였다. 로봇의 각 관절은 추진력을 갖는 사인파로 유영알고리즘을 근사화함으로써 추진력을 최적화로 구현하였고, 관상어용 물고기 로봇의 특성상 필요한 내구성, 방수성, 충전 등의 연구도 진행되었다. 본 물고기 로봇은 대형수조의 현장실험 평가 결과로 설계사양을 만족함을 확인하였다.

## 2. 물고기 로봇 유영 해석

### 2.1 물고기 로봇 모델링

본 논문에서는 3개의 관절의 카랑지폼(Carangiform) 형태로 유영하는 물고기 로봇을 Fig. 1과 같이 설계하였다. 설계된 물고기는 머리, 제1몸체와 제2몸체 및 꼬리부로 Fig. 2와 같이 구성되어있다. 또한 설계된 물고기 로봇 전체 제어시스템의 구성은 인공지능 유영알고리즘을 적용하고 생체를 모방 제어하기 위하여 Fig. 3과 같이 AVR 마이컴을 적용하였다. 또한 각 관절에 회전각 감지센서 포텐시오미터를 부착한 서보모터 2개와 전방 PSD센서 3개를 장착하여 장애물을 감지하도록 설계되었다. 또한 물고기의 잠영 및 부상을 위하여 슬라이딩방식의 부레장치와 데이터 획득을 위하여 통신포트를 설계하였다.



Fig. 1. The Designed Fish Robot(DOMI ver1.0)

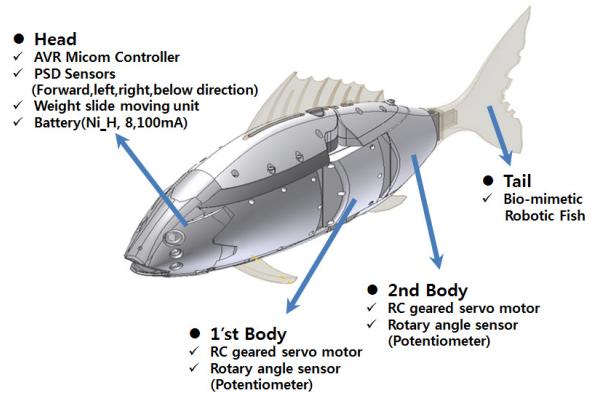


Fig. 2. The Configuration of Designed Fish Robot

Table 1. The physical parameters of designed fish robot

Component	Specification [mm]		
	Length	Width	Height
Head	70	72	110
1'st Body	180	90	175
2'st Body	82	80	150
Tail	190	70	180

물고기 로봇의 동력학 힘은 로봇의 순간적인 유영에 의하여 결정된다. 물고기 로봇의 물리적 파라미터(크기와 중량)와 관련된 추력 모델의 상수 파라미터와 유영과 관계 추정 파라미터를 해석하고자 한다. 각 몸체의 추력 모델링을 위하여 각 구성부의 크기 제원은 Table 1과 같다.

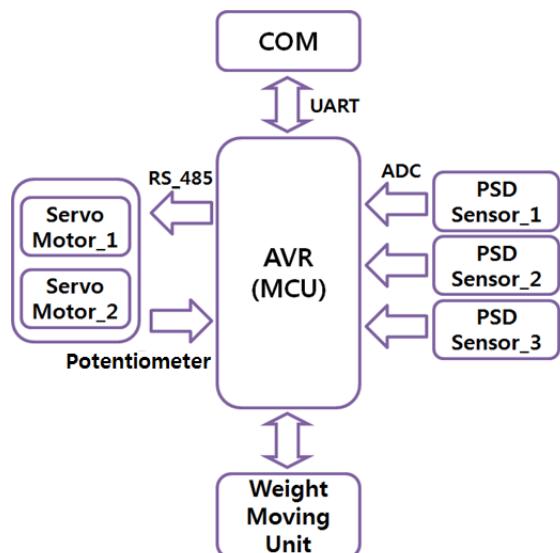


Fig. 3. The Overall System of Fish Robot

물고기 로봇에 작용하는 힘은 x축 전진방향의 추진력(Thrust)과 후진방향의 물의 저항력(Resistance), z축방향의 수직방향으로 중력(Weight)과 부력(Buoyancy)이 Fig. 4와 같이 작용한다.

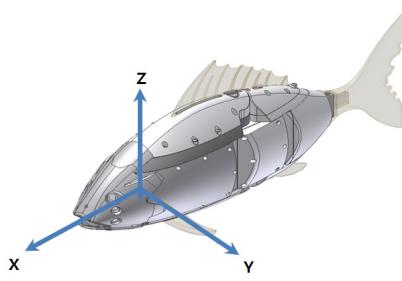


Fig. 4. The Acting Axes of Fish Robot

수중환경에 의하여 물고기 로봇에 작용하는 힘은 로봇 고정좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 를 기준으로 유체에 작용하는 힘으로 표현하면, Equation (1)과 같이 구할 수 있다[11].

$$\vec{F}_i = -\frac{1}{2} \rho_{water} \begin{bmatrix} (C_{d\hat{x}_i} L_i H_i + C_{f\hat{x}_i} (H_i + L_i) W_i) v_x |v_x| \\ (C_{d\hat{y}_i} L_i W_i + C_{f\hat{y}_i} (L_i + W_i) H_i) v_y |v_y| \\ (C_{d\hat{z}_i} W_i H_i + C_{f\hat{z}_i} (W_i + H_i) L_i) v_z |v_z| \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$-\begin{bmatrix} 0 \\ \rho_{water} H_i L_i W_i g \\ 0 \end{bmatrix}$$

\*  $v_{\hat{x}_i}$ :  $i$ 번째 몸체-고정좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 의  $\hat{x}_i$ 축 속도

$W_i, L_i, H_i$  :  $i$ 번째 몸체의 너비, 길이, 높이

$C_{d\hat{x}_i}, C_{d\hat{y}_i}, C_{d\hat{z}_i}$  : 각 몸체-좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 의 항력계수

로봇 물고기에 작용하는 힘은 유체에서 작용하는 힘, 추진력과 물고기 로봇의 중력이다. 여기서 추진력은 라그랑주 역학(Lagrangian function)에 의해 Equation (2), (3)과 같이 구할 수 있다[12].

$$L = T - V \quad (2)$$

$$= \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 + \sum_i \frac{1}{2} I_i w_i^2 - E_p$$

$$\vec{F}_R = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} \quad (3)$$

\*  $m_i, v_i, I_i, w_i$  :  $i$ 번째 질량, 속도, 모멘트, 각 속도  
 $E_p$  : 위치에너지

물고기에 작용하는 힘은 Equation (4)와 같이 유체에 의해서 작용하는 힘  $\vec{F}_i$ 과 로봇 물고기의 추진력  $\vec{F}_R$ 과 로봇 물고기의 무게  $w$ 로 표현할 수 있다. 따라서 물고기 로봇에 작용하는 힘  $\vec{F}_L$ 은 Equation (4)와 같이 작용하고 정상속도에 도달하게 되면 링크1과 링크2에 작용하는 힘  $\vec{F}_L = 0$ 이 된

다. Equation (1)에서 항력계수  $C_d$ 는 물고기 로봇 형태에 따라 결정되는 상수이고 마찰항력계수  $C_f$ 는 물고기 로봇 표면의 유체 저항계수이다. Equation (5)의 로봇의 유영 정상속도  $v_i$ 는 항력계수  $C_d$ 와 마찰항력계수  $C_f$ 에 의해 결정된다. 여기서  $C_d \gg C_f$ 이기 때문에 일반적으로 유영속도  $v_i$ 는 항력계수  $C_d$ 에 의해서 영향을 받게 된다.

$$\vec{F}_L = \vec{F}_R + \vec{F}_i + w \quad (4)$$

\*  $w = mg$  : 물고기 로봇 무게

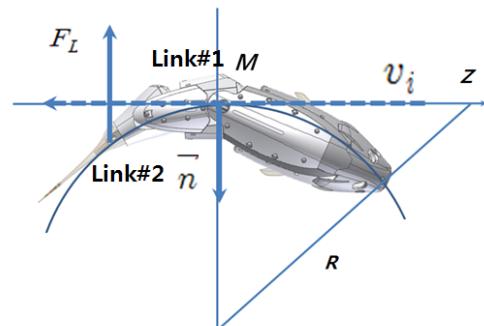


Fig. 5. The Exerted Lift and Moment in the Swimming Rotation Case

## 2.2 물고기 로봇의 유영알고리즘

물고기 로봇의 유영형태는 Lighthill에 의해 제안된 운동학적 분석을 통한 유영모델에 대한 연속함수와 이산함수는 Equation (5)와 같다[11, 13].

$$y_i(x, t) = (C_1 x + C_2 x^2) \sin(kx - 2\pi ft) \quad (5)$$

$$= (C_1 x + C_2 x^2) \sin(kx - \frac{2\pi}{M} i)$$

3개의 관절을 이용하여 진행파를 근사할 경우 오차를 Equation (6)과 같이 정의할 수 있으며, 관절각도는 진행파와 동일한 주파수를 갖는 사인파로 Equation (7)과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\text{error} = \sum_{i=0}^{n-1} \int_{x_{start}}^{x_{end}} |g(x) - f(x)| \quad (6)$$

$$\theta_i = a_i \sin(2\pi ft + p_i) \quad (7)$$

## 3. 물고기 로봇 설계

### 3.1 물고기 로봇 몸체 설계

DOMI 로봇은 Fig. 6(a)와 같이 머리부, 제1몸체, 제2몸체와 꼬리로 구성된다. 머리부는 마이컴 제어부, 부레장치와 PSD 센서부, 전원장치로 구성되어있다. 제1몸체, 제2몸체에는 절대각 위치센서를 내장한 서보모터가 내장되어있으며, 마이

컴의 유영알고리즘의 지령값에 의하여 서보모터는 위치제어가 구현된다. 꼬리부는 추진력 향상을 위하여 꼬리 형상과 재질을 생체 모방기술을 통하여 설계 제작하였다. 또한 각 구성부별 방수를 위하여 외부보다 가압을 통하여 외부 물이 내부로 침투할 수 없도록 방수기능을 구현했다. 각 몸체는 Fig. 6(b)와 같이 로봇 내부공간에 구성장치를 최적화 설계를 통하여 조립 제작하였다.

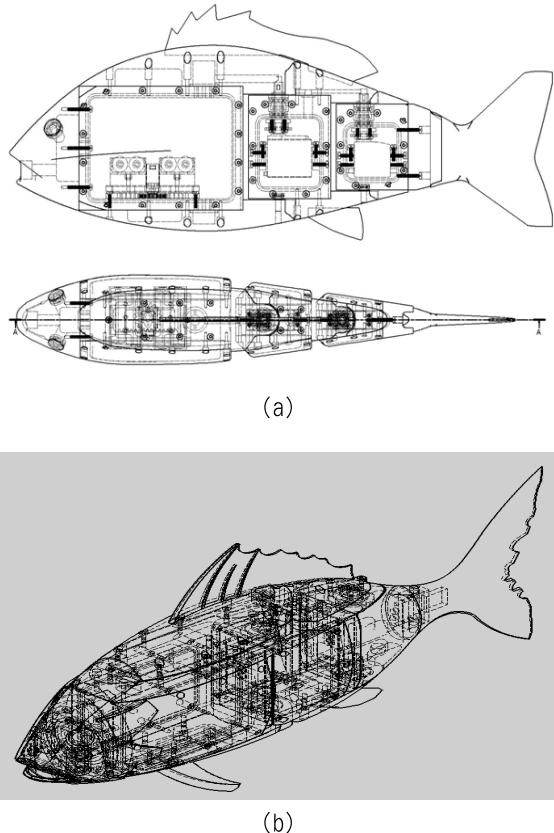


Fig. 6. The Design of Fish Robot Body

### 3.2 물고기 부레장치

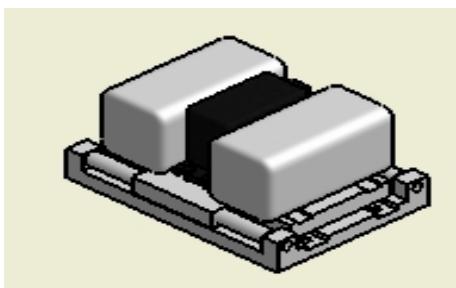


Fig. 7. The Weight Sliding Moving Unit

본 DOMII 로봇은 생체 물고기의 공기주입에 의하여 부력을 가변하는 원리를 이용하여 Fig. 7과 같이 슬라이딩 방법에 의하여 무게 중심 추를 앞뒤로 이동할 수 있도록 설계하여,

물고기 로봇이 자율유형 시에 잠항 또는 부상이 용이하도록 하는 물고기 로봇의 부레장치를 설계하였다.

### 3.3 물고기 유영 임베디드 제어보드

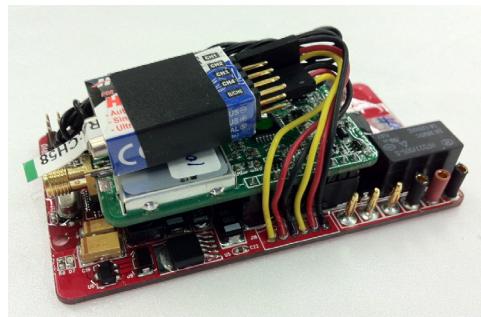


Fig. 8. The Fabricated Assembly of Fish Robot

DOMII 로봇은 수동모드, 자동모드, 휴식모드로 운용된다. 수동모드에서는 RF 송수신기를 통하여 운용자가 조정하고, 자동모드에서는 추진 유영 근사한 Equation (5)와 로봇에 내장된 센서에 의하여 수조 환경에 최적화된 경로 탐색을 통하여 3개의 관절과 부레장치를 제어하게 된다. 또한 충전량이 30% 미만으로 방전된 상태와 관람객이 없는 상황에서는 물고기 로봇은 휴식모드 상태에 있게 된다.

이러한 운용모드는 Fig. 8과 같이 RF 송수신기가 내장된 임베디드 AVR 마이크로 제어보드에 의하여 2개의 관절제어용 서보

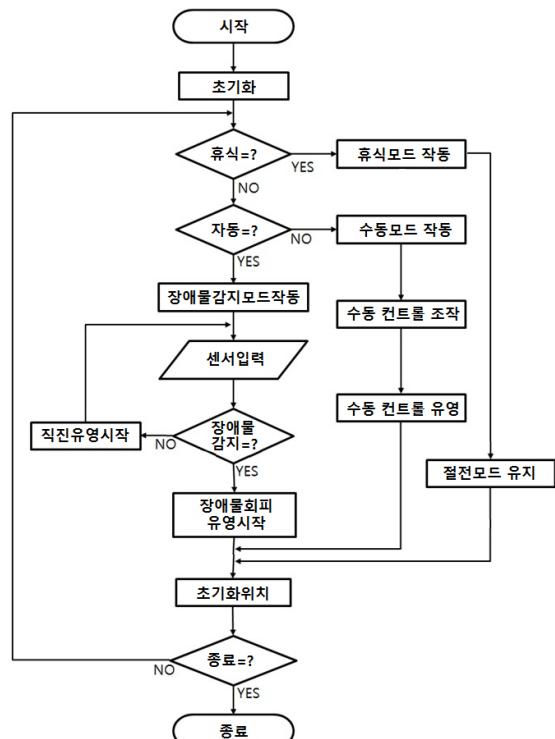


Fig. 9. The Flow Chart of Swimming Algorithm

모터의 위치제어, 부레장치 구동모터의 중심축 위치제어, 충전량 점검 및 자가진단 기능을 수행한다. 또한 물고기 로봇 유영은 수동모드와 자동모드에 의하여 각각 Fig. 9와 같이 제어된다.

#### 4. 실험 결과

설계된 물고기 로봇은 배터리를 이용하여 서보모터를 구동 제어하고 물고기와 같이 유연한 운동을 할 수 있는 생체모방 물고기 로봇의 설계, 제작 및 제어에 관한 실험을 진행하였다. 2개의 서보모터를 이용하여 물고기를 모방한 유영을 구현하였고, 물체를 감지하고 회피하는 유영방법을 연구하였다.

설계 제작된 Fig. 1의 물고기 로봇의 동작유형을 실험하기 위하여 Fig. 2의 물고기 로봇의 제1관절과 제2관절 구동 모터의 회전각도 측정시험을 실시하였다. 구동모터로 적용된 RC 서보모터에 부착된 회전각 센서를 이용하여 Fig. 5의 링크1에는 채널1, 링크2에는 채널2의 회전각 출력신호를 Fig. 10과 같이 측정함으로써 물고기 로봇의 유영주파수와 링크1과 링크2의 회전각을 측정할 수 있다. 이때의 측정전압과 관절 구동각도의 스케일은  $0.07[^{\circ}/mV]$ 이다.

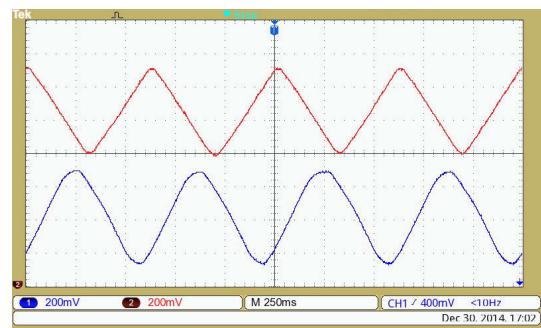
설계 제작된 물고기 로봇의 실험 결과는 Fig. 10과 같다. 전방에 부착된 PSD센서가 감지가 안 된 장애물이 없는 상태에서는 Fig. 10(a)와 같고, 이 결과에는 링크1과 링크2의 스윙 회전각이 각기  $\pm 17.5^{\circ}$  범위 이내로 동작하였다. 좌측 PSD센서가 장애물을 감지한 상태에서는 Fig. 10(b)와 같이 장애물을 회피하기 위하여 스윙 회전각이  $\pm 37.8^{\circ}$  범위 이내로 동작함을 알 수 있다. 또한 우측 장애물이 감지된 후, 좌측 장애물이 감지된 조건은 Fig. 10(c)와 같다. 실험 결과, 링크1과 링크2의 스윙 회전각이 각기  $\pm 36.4^{\circ}$  범위 이내로 동작하여 장애물을 양호하게 회피함을 확인할 수 있다.

본 논문에서 설계된 물고기 로봇은 Fig. 11과 같이 대형 수족관에서 6개월 동안 성능실험 및 평가를 진행하였다. 성능 실험 결과, 유영속도는 유영주파수 1.6[Hz]에서 280 [mm/sec], 최소 유영 회전반경은 480[mm] 이내이고, 자율유영 및 잠항 및 부상 반복 연속실험에도 우수한 성능이 검증되었다. 또한 니켈수소 전지 8,100[mA]를 사용하여 6시간 연속운전이 가능하고, 로봇 내부에 가스를 가압으로 충전하여 밀폐성능을 향상시킴으로써 방수 성능이 우수함을 확인하였다.

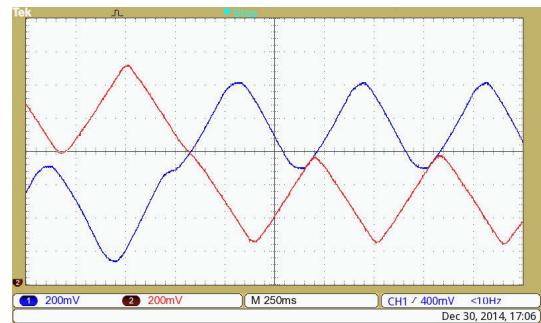
D.S. Barret 연구진의 로보 튜나는 유영주파수 1.1[Hz]조건에서 유영속도 700[mm/sec]가 출력되었으며[9], 물고기 모방 로봇 연구에서는 유영주파수 0.9[Hz]에서 가장 빠른 수영속도를 보인 경우는 로봇 물고기의 thunniform 꼬리지느러미를 부착한 것으로서 2.38[cm/s]의 수영속도를 보였으며, 가장 속도가 느린 것은 sub-carangiform 꼬리지느러미를 부착한 것으로 1.98[cm/s]의 수영속도를 보였다[9]. 본 논문에서 제안한 물고기 로봇은 유영주파수 1.6[Hz]에서 유영속도 280 [mm/sec]가 출력되었다. 상기 물고기 로봇은 유영 구동모터

의 출력과 외형상 크기와 항력계수 및 유체 저항계수 조건이 다르기 때문에 상대적 비교는 어려움이 있다고 판단된다. 본 논문에서 제안한 물고기 로봇은 유영속도의 특성 및 기능을 고려하여 아쿠아리움의 관상용 로봇으로 설계 제작되었다.

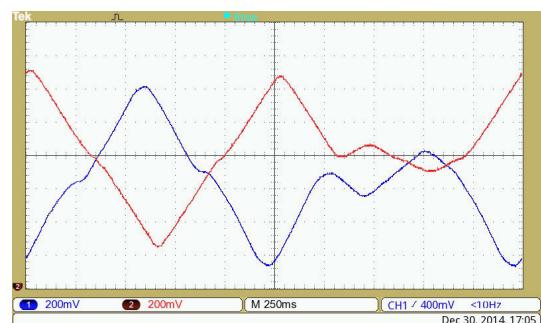
추후, 대형 아쿠아리움에서 다양한 형태의 물고기 로봇에 대한 유영연구와 물고기 로봇의 군집유영 및 협업작업에 대한 물고기 로봇의 플랫폼 설계와 다양한 어종의 유영 메커니즘에 대한 연구가 진행되고 있다.



(a) The driving control output in no sensing condition



(b) The driving control output in left sensing condition



(c) The driving control output from right to left sensing condition

Fig. 10. The Experimental Results of Driving Angle for Fish Robot

CH1 : link1 driving angle output (scale :  $0.07^{\circ}/mV$ )

CH2 : link2 driving angle output (scale :  $0.07^{\circ}/mV$ )



Fig. 11. The experimental result of fish robot in the aquarium

## 5. 결 론

최근 수중로봇은 사용목적과 적용하고자 하는 환경에 따라 다양한 형태의 로봇으로 연구 개발이 진행되고 있으며, 특히 생체모방 형태의 수중로봇으로는 물고기, 범장어, 상어, 해파리 등이 연구 개발되어왔다[1~6].

본 논문의 수중로봇 도미(Domi) ver1.0는 관상어용 물고기 로봇 개발을 목표로 연구 개발되었다. 물고기 로봇은 머리, 1~2단 몸체와 꼬리 부분과 2개의 구동 관절로 구성되었다. 물고기 로봇의 추력에 적합한 구동부 선정을 위하여 물고기 로봇 모델링과 유영 해석을 통하여 관절 구동부가 설계되었다. 또한 물고기 로봇의 유영알고리즘은 Lighthill 운동학 해석을 기초로 근사화 방법을 적용하였다. 설계된 물고기는 수동유영 및 자율운영모드로 동작된다. 수동유영모드는 RF 송수신기를 이용하여 운용되며, 자율유영모드는 머리 부분에 부착된 PSD센서, 마이컴 제어부, 서보 구동장치에 의하여 구현된다. 본 설계된 물고기 로봇 도미 ver1.0은 지난 2년 동안의 현장실험 평가를 통하여 추력, 내구성, 방수성 등의 성능이 우수함을 확인하였다.

앞으로 다양한 어종에 대한 유영방식에 대한 연구, 수중로봇 간 군집 및 협업에 대한 연구와 충방전 상태를 자가 진단하여 수중상태에서 자율 유영하여 회귀하는 충전 스테이션에 대한 연구를 진행할 계획이다.

## References

- [1] H. T. Choi, K. H. Kim, P. M. Lee, C. M. Lee, and B. H. Jun, "Introduction to ROV and motion control & signal processing for ROV Hemire," *Journal of the Korean Society for Precision Eng*, Vol.26, No.5, pp.41~47, May., 2009.
- [2] Hydroid, "Remus 6000, Autonomous Underwater Vehicle," [Internet] [www.hydroidinc.com](http://www.hydroidinc.com)
- [3] K. J. Shin, J. B. Lee, and Y. J. Seo, "Design of Autono-mous Bio-mimetic Robotic Fish with Swimming Artificial Intelligence," The 2014 Fall Conference of the KIPS, pp.913~916, Nov., 2014.
- [4] Y. J. Kim, S. J. Kim, K. S. Yang, J. M. Lee, C. H. Yim, and D. H. Kim, "Design and Control of a Bio-mimetic Fish Robot," *The Korea society of mechanical engineers*, Vol.36, No.1, pp.1~7, Oct., 2012.
- [5] D. H Lee, H. W. Kim, and J. M. Lee, "Obstacle Recognition and Avoidance of the Bio-mimetic Underwater Robot Using IR and Compass Sensors," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, pp.928~933, Oct., 2012.
- [6] H. S. Kim, T. Q. Vo, and B. R. Lee, "A Study on Optimization of Motion Parameters and Dynamic Analysis for 3-dof Fish Robot," *The Korea society of mechanical engineers*, Vol.33, No.10, pp.1029~1037, Oct., 2009.
- [7] Y. S. Ryou, "Autonomous Bio-mimetic Ornamental Fish Robot with Multi-Function," *News Letter, Korea Institute of Industrial Technology*, Vol.2, No.19, section 4, Sep., 2009.
- [8] K. J. Shin, Y. J. Seo, and J. W. Jung, "Robot Fish," Patent No.10-1003834, Dec., 2010.
- [9] D. S. Barret, M. S. Triantafyllou, D. K. P. Yue, M. A. Grosenbaugh, and M. J. Wolfgang, "Drag Reduction in Fish-like Locomotion," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.392, pp.183~212, 1999.
- [10] S. Heo, T. Wiguna, N. S. Goo, and H. C. Park, "Mechanical Design, Fabrication and Test," *The Korean Society of Mechanical Engineers(KSME)*, Vol.31, No.1, pp.36~42, 2007.
- [11] H. J. Kim, "Design of Autonomous Robotic Fish Swimming Artificial Intelligence," Master's thesis, KIAST, 2012.
- [12] D. Weihs, "A Hydro Dynamical Anaysis of Fish Turning Manoeuvres," *Biological Sciences*, pp.52~72, 1972.
- [13] K. Hirata, T. Takimoto, and K. Tamura, "Study on Turning Performance of a Fish Robot," Pro. 1st Int. Symp. Aqua Bio-Mechatronics, pp.287~292, 2000.



## 신 규 재

e-mail : [kyoojae@bufs.ac.kr](mailto:kyoojae@bufs.ac.kr)  
1985년 원광대학교 전자공학과(학사)  
1988년 전북대학교 전기공학과(공학석사)

2009년 부산대학교 전기공학과  
(공학박사)

1988년 ~ 1991년 해군기술병과학교 기술교관,  
충남함 전자관

1990년 ~ 1997년 두산(주) 기술연구소 주임연구원

1997년 ~ 2014년 순천제일대학교 전기자동화과 교수

2014년 ~ 현 채 부산외국어대학교 디지털미디어학부  
전자정보통신전공 교수

관심분야: Robot Control, Stability Position Control, Submarine Robot, Personal Electrical Vehicle, Solar Generation & Electrical Power Control, Mechatronics in Industry Application