

생체모방 자율유영의 인공지능 물고기 로봇 설계

°신규재*, 이정배*, 서영주**

*부산외국어대학교 디지털미디어학부, 컴퓨터공학과

** (주)아이로 연구개발부

e-mail : kyoojae@bufs.ac.kr

Design of Autonomous Bio-mimetic Robotic Fish with Swimming Artificial Intelligence

°Kyo Jae Shin*, Jeong Bae Lee*, Young Ju Seo**

*Dept of Computer Science, Division of Digital Media Eng.

Busan University of Foreign Studies

**Dept of Research & Development, AIRO ind.

요 약

본 논문의 수중로봇 도미(Domi) ver1.0는 관상어용 물고기 로봇 개발을 목표로 연구 개발되었다. 물고기 로봇은 머리, 1단, 2단 몸체와 꼬리부분과 2개의 구동 관절로 구성되어 있다. 물고기 로봇의 추력에 적합한 구동부 선정을 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 자율유영모드로 동작된다. 수동유영모드는 RF 송수신기를 이용하여 운용되며, 자율유영모드는 머리부분에 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.

1. 서 론

최근 수중로봇은 사용목적과 적용하고자 하는 환경에 따라 다양한 형태의 로봇으로 연구 개발이 진행되고 있다. 수중로봇은 ROV(Remotely Operated Vehicle), AUV (Autonomous Underwater Vehicle)이 상업적, 군사적과 학술적인 목적으로 세계 각국에서 연구결과가 발표되고 있다 [1],[2]. 또한 생체 모방형 수중로봇으로는 물고기, 뱀장어, 상어, 해파리 등이 연구개발되어 왔으며, 특히 물고기 로봇은 환경모니터링을 목적으로 한 물고기 로봇과 관상어용 물고기 로봇은 연구가 진행되어 왔다[3].

본 논문의 물고기 로봇은 관상어를 목적으로 연구되어 왔으며, 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 유영 알고리즘을 근사화함으로써 추진력을 최적화 구현하였고, 관상어용 물고기 로봇의 특성상 필요한 내구성, 방수성, 충전 등의 연구도 진행되었다. 본 로봇은 대형 수조의 현장시험평가 설계사양을 만족함을 확인하였다.

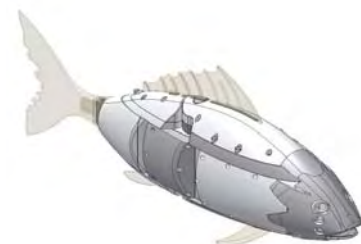
2. 물고기 로봇 유영 해석

2.1 물고기 로봇 모델링

본 논문에서는 3개의 관절의 카랑지폼(Carangiform) 형태로 유영하는 물고기를 설계한다. 제안된 물고기는 그림1과 같이 머리, 1단 몸체, 2단 몸체와 꼬리로 구성되어 있으며, 물고기 로봇의 동력학 힘은 로봇은 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 표1과 같다.



(a)



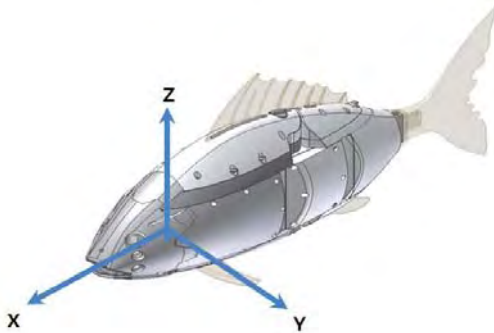
(b)

<그림1> 설계된 물고기 로봇 (DOMI ver1.0)

<표1> 물고기 로봇의 물리적 파라미터

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 로봇에 작용하는 힘은 x축 전진방향의 추진력 (Thrust)과 후진방향의 물의 저항력(Resistance), z축방향의 수직방향으로 중력(Weight)과 부력(Buoyancy)이 그림 2와 같이 작용한다.



<그림2> 물고기 로봇에 작용하는 힘

수중환경에 의하여 물고기 로봇에 작용하는 힘은 로봇 고정좌표계 x, y_i, \hat{z}_i 를 기준으로 유체에 작용하는 힘으로 표현하면, 식(1)과 같이 구할 수 있다[4].

$$\vec{F}_i = -\frac{1}{2} \rho_{water} \begin{bmatrix} [(C_{dx} L_i H_i + C_{f_{x_i}} (H_i + L_i) W_i) v_{x_i} \hat{v}_{x_i}] \\ (C_{dy_i} L_i W_i + C_{f_{y_i}} (L_i + W_i) H_i) v_{y_i} \hat{v}_{y_i} \\ [(C_{dz_i} W_i H_i + C_{f_{z_i}} (W_i + H_i) L_i) v_{z_i} \hat{v}_{z_i}] \end{bmatrix} \quad (1)$$

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

여기서, v_{x_i} : i 번째 몸체-고정좌표계 $[x_i, y_i, \hat{z}_i]$ 의 x_i 축 속도

W_i, L_i, H_i : i 번째 몸체의 너비, 길이, 높이

$C_{dx_i}, C_{dy_i}, C_{dz_i}$: 각 몸체-좌표계 $[x_i, y_i, \hat{z}_i]$ 의 항력계수

로봇 물고기에 작용하는 힘은 유체에서 작용하는 힘, 추진력과 물고기 로봇의 중력이다. 여기서 추진력은 라그랑주 역학(Lagrangian function)에 의해 식(2),(3)과 같이 구할 수 있다[5].

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

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

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

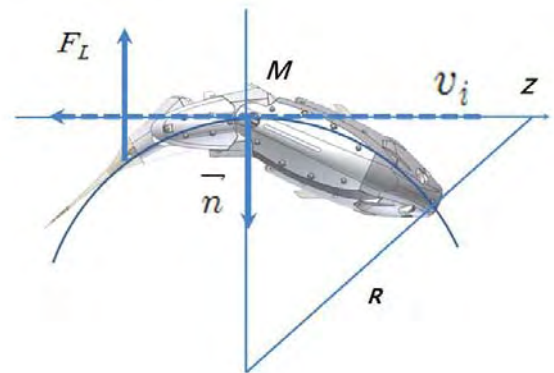
여기서, m_i, v_i, I_i, ω_i : i 번째 질량, 속도, 모멘트, 각속도

E_p : 위치에너지

따라서 최종적으로 물고기 로봇에 작용하는 힘은 식(4)와 같다.

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

여기서, $w = m\vec{g}$: 물고기 로봇 무게



<그림3> 회전 유연 시, 가해지는 양력과 모멘트

2.2 물고기 로봇의 유연 알고리즘

물고기 로봇의 유연형태는 Lighthill에 의해 제안된 운동학적 분석을 통한 유연모델에 대한 연속함수와 이산함수는 식(5)와 같다[4][6].

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

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

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

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

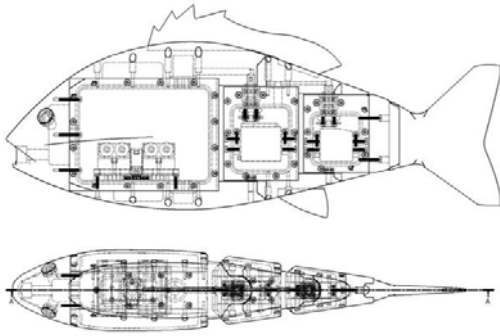
$$\theta_i = a_i \sin(2\pi ft + p_i) \quad (7)$$

3. 물고기 로봇 설계

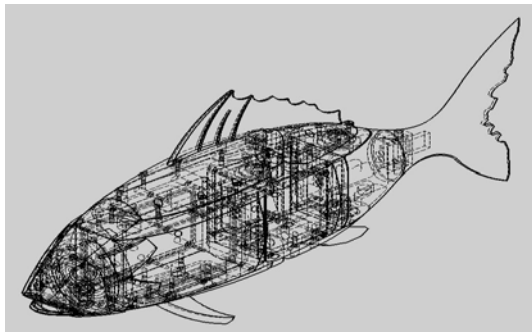
3.1 물고기 로봇 몸체 설계

DOMI 로봇은 그림4(a)와 같이 머리부, 1'st 몸체, 2'nd 몸체와 꼬리로 구성된다. 머리부에는 마이컴 제어부, 부레 장치와 PSD 센서부, 전원장치로 구성되어 있다. 1'st 몸체, 2'nd 몸체에는 절대각 위치센서를 내장한 서보모터가 내장되어 있으며, 마이컴의 유연 알고리즘의 지령값에 의

하여 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 그림4(b)와 같이 로봇 내부공간에 구성장치를 최적화 설계를 통하여 조립 제작하였다.



(a)

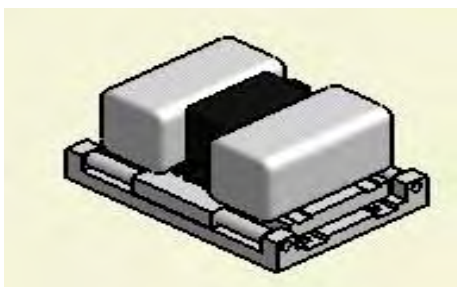


(b)

<그림4> 물고기 로봇(DOMI ver1.0) 조립도

3.2 물고기 부레장치

물고기는 잠항과 부상을 하는 방법으로써, 물고기의 부레 공기주입에 의하여 무게 중심점을 앞뒤로 이동한다. 본 DOMI 로봇은 생체 물고기의 무게중심 원리를 이용하여 그림5와 같이 슬라이딩 방법에 의하여 무게 중심 추를 앞뒤로 이동할 수 있도록 설계되어, 물고기 로봇이 자율유형 시에 잠항 또는 부상이 용이하도록 하는 물고기 로봇의 부레장치가 설계되었다.



<그림5> 물고기 로봇(DOMI ver1.0) 부레장치 구성도

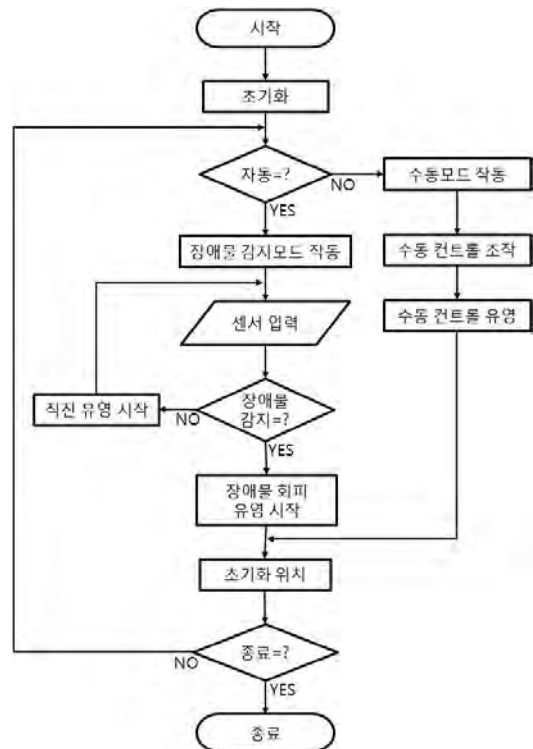
3.3 물고기 유영 임베디드 제어보드

DOMI 로봇은 수동모드, 자동모드, 휴식모드로 운용된다. 수동모드는 RF 송수신기에 의하여 운용자에 의하여 조정이 되고, 자동모드에서는 추진 유영 근사한 식(5)와 로봇에 내장된 센서에 의하여 수조 환경에 최적화된 경로 탐색을 통하여 3개의 관절과 부레장치를 제어하게 된다. 휴식모드에서는 충전량이 30%미만으로 방전된 상태와 관절액이 없는 상황에서는 물고기 로봇은 휴식모드 상태에 있게 된다.

이러한 운용모드는 그림6과 같이 RF 송수신기가 내장된 임베디드 AVR 마이컴 제어보드에 의하여 2개의 관절 제어용 서보모터의 위치제어, 부레장치 구동모터의 중심축 위치제어, 충전량 점검 및 자가진단 기능을 수행한다. 또한 물고기 로봇 유영은 수동모드와 자동모드에 의하여 각각 그림7과 같이 제어된다.



<그림6> AVR 마이컴 제어보드



<그림7> 물고기 로봇 유영 제어 순서도

3.4 DOMI 물고기 로봇의 실험 결과

참고문헌

본 논문에서 설계된 물고기 로봇은 그림8과 같이 대형 수족관에서 6개월 동안 성능실험 및 평가가 진행되었다. 성능 실험결과, 추진속도는 280 [mm/sec], 최소 유영 회전 반경은 480 [mm]이내이고, 자율유영 및 잠항 및 부상 반복 연속실험에도 우수한 성능이 검증되었다. 또한 니켈수소 전지 8,100[mA]를 사용하여 6시간 연속운전이 가능함을 확인하였으며, 로봇 내부에 가스를 가압으로 충전하여 밀폐성능을 향상시킴으로써 방수 성능이 우수하였다.

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



<그림8> DOMI 물고기로봇(ver1.0) 수조 실험

- [1] H. T. Choi, K. H. Kim, P. M. Lee, C.M. Lee & 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, 2009.5
- [2] Hydroid, "Remus 6000, Autonomous Underwater Vehicle", www.hydroidinc.com
- [3] K. J. Shin, Y.J. Seo, J.W. Jung "Fish Robot", Patent no. 10-1003834. 2010.12
- [4] H. J Kim, "Design of autonomous robotic fish swimming Artificial Intelligence", Master's thesis, KIAST, 2012
- [5] D. Weihs, "A Hydro dynamical anaysis of fish turning manoeuvres", Biological Sciences, pp.52-72, 1972
- [6] K. Hirata, T. Takimoto, K. Tamura, "Study on turning performance of a fish robot", Pro. 1st Int. Symp. Aqua Bio-Mechatronics, pp.287-292, 2000

4. 결론

최근 수중로봇은 사용목적과 적용하고자 하는 환경에 따라 다양한 형태의 로봇으로 연구 개발이 진행되고 있다. 생체모방 형태의 수중로봇으로는 물고기, 뱀장어, 상어, 해파리 등이 연구 개발되어 왔다.

본 논문의 수중로봇 도미(Domi) ver1.0는 관상어용 물고기 로봇 개발을 목표로 연구 개발되었다. 물고기 로봇은 머리, 1-2단 몸체와 꼬리부분과 2개의 구동 관절로 구성되어 있다. 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 현장시험 평가를 통하여 추력, 내구성, 방수성 등의 성능이 우수함을 확인하였다.

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