

# 물고기를 모방한 수중로봇 설계

## Mechanical Design of Biomimetic Fish Robot

\*정창현<sup>1</sup>, 이상호<sup>1</sup>, 차유성<sup>2</sup>, 김경식<sup>2</sup>, #류영선<sup>2</sup>

\*C. H. Chung<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>1</sup>, Y. S. Cha<sup>2</sup>, K. S. Kim<sup>2</sup>, # Y. S. Ryuh(ysryuh@kitech.re.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>과학기술연합대학교대학원 지능형로봇공학과, <sup>2</sup>한국생산기술연구원

Key words : Robot fish, Biomimetics, Underwater Vehicle, Mechanism Design

### 1. 서론

수중 로봇은 해양 탐사와 자원채취 등의 목적으로 널리 사용되고 있다. 이러한 목적을 수행하기 위해서는 높은 효율의 추진능력과 뛰어난 동적특성을 필요로 한다.[1] 하지만 기존의 프로펠러를 이용하여 추진하는 underwater vehicle들은 일반적으로 효율과 동작 능력 면에서 좋은 특성을 가지고 있지 못하다. 추진 능력은 최대 효율이 70%를 넘어가지 못하여 탐사거리가 짧고 필요로 하는 배터리의 용량이 커져서 기기 탑재능력이 떨어진다. 또한 회전반경이 필요이상으로 크고 장애물에 대한 회피속도가 느리기 때문에 좁은 공간에서의 이동 및 탐사에 적합하지 않다.[2]

이에 대한 해결책으로 물고기의 유영을 모방한 수중 로봇을 만들려는 연구가 진행되고 있다. 물고기의 유영 메커니즘은 일반적으로 사용하고 있는 프로펠러 식 추진방식보다 20% 이상 효율이 좋은 것으로 알려져 있어 최대 속도가 빠르고 재빠른 회전을 수행할 수 있기 때문이다.[3] 하지만 실제 물고기는 그 형태와 종에 따라 유영방법이 매우 다양하다. 예를 들어 빠른 속도를 내기 위해서는 참치와 같은 유선형의 비행기 동체형 몸체가 적합하지만 좁은 구간에서 방향 전환이나 유영속도 변환을 자유롭게 하기 위해서는 Bass나 Sunfish와 같은 납작한 민물고기의 형태가 적합한 것으로 알려져 있다.[4][5]

본 연구에서는 복잡한 수중환경에서도 방향 전환과 속도 전환이 용이하도록 소형이면서 얇고 넓은 몸통을 지닌 물고기 로봇을 설계 제작하였다.[1] 특히 폭과 길이를 최소화 하면서도 수중에서 안정적인 자세를 유지할 수 있도록 무게중심을 하부에 배치하고 옆 지느러미의 양력을 이용하여 상하 이동이 가능하도록 비중을 1에 가깝게 설계한 방법에 초점을 두었다.

### 2. 시스템 구성

Fig. 1은 물고기 로봇의 구현 방법에 대한 개념도이다. 시뮬레이터에서는 물고기 로봇의 다양한 유영동작들을 생성하고 그래픽을 통하여 확인할 수 있다. 시뮬레이터는 C# 언어를 사용하여 작성하였으며, 메뉴에서 변수 값들을 조작하여 유영동작들을 생성할 수 있다. 이로부터 생성된 유영동작들은 ISP를 통하여 물고기 로봇의 컨트롤러로 사용되고 있는 ATmega 128에 다운로드 할 수 있으며, 곧바로 물고기 로봇을 수조에서 Test 할 수 있도록 구성되어 있다.

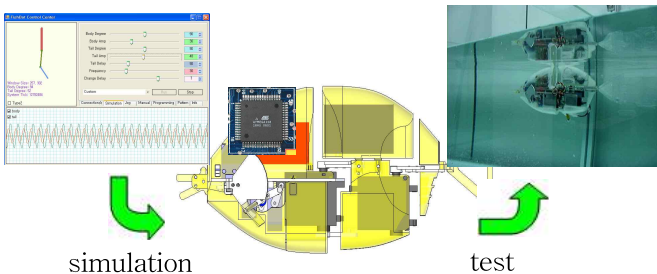


Fig. 1 System configuration of the robot fish

### 3. 기구부 설계

#### 3.1 기본 설계

납작한 형태의 소형 물고기 모양의 구현을 위하여 실제로 얇고 넓은 형태의 열대어종인 Angel Fish 외형을 참고하였다. 많은 자유도를 갖을수록 실제 물고기와 같은 부드러운 동작을 표현하기에 용이하지만, 소형 물고기 제작을 목표로 하였기

때문에 몸통과 꼬리간의 위상차를 낼 수 있는 최소 자유도인 2자유도로 설계하였다. 모터 선정은 물고기 로봇 주변의 유체역학적인 환경을 고려하여야 하나, 본 설계에서는 간결화하여 유체역학적인 고려는 제외하고 순수하게 물고기 로봇의 Body와 Tail이 최대 속도에 도달하는데 필요한 torque만을 고려하였다.[1]

#### 3.2 부품 배치

물고기 로봇이 수중에서 똑바른 자세를 유지하기 위해서는 무게중심이 하부에 위치하여야 한다. 또한 Body와 Tail 구동시 Head의 움직임이 클 경우 직진 유영에 방해가 될 수 있으므로 무게중심을 Head 쪽으로 위치하도록 고려하였다. 이를 위하여 대부분의 부품들이 로봇의 하부에 위치하도록 배치하였으며 Body와 Tail에 들어가는 부품은 최소화하였다. 또한 상부에는 공기를 채운 아크릴 case를 장착하여 무게중심이 하부에 위치하도록 하였다. 무게중심의 위치가 적절한가에 대해서는 상용 CAD tool인 Solidedge의 Physical Properties 정보를 활용하여 판단하였고, 실제 제품과의 차이가 있을 것을 대비하여 Head 하부 Case에 추를 넣어 미세 조정할 수 있도록 공간을 마련하였다.

Table 1 Principle particulars of the fish robot

body length	240 mm
body hight	120 mm
body width	35 mm
weight	400 g
servo moter (body link)	Hitec HS-5955TG (62g)
servo moter (tail link)	Hitec HS-965MG (62g)
battery	12V

#### 3.3 비중 최적화

물고기 로봇이 수중에서 적절한 위치에 중립적 부력상태(neutrally buoyant)를 유지하고 옆 지느러미를 이용한 상하 이동이 가능하도록 로봇의 비중을 1에 근사하게 설계하였다.

물고기 로봇의 아크릴 case는 모델명 Eden 330의 Rapid Prototype machine을 이용하여 제작하였다. 이 장비를 이용한 아크릴 case는 복잡한 모양의 가공이 용이하기 때문에 이를 이용하여 비중을 맞출 수 있는 방법을 고안하였다.

우선은 물고기 로봇 비중을 1에 가깝게 맞추기 위해 부품들의 무게를 측정하고 Head와 Body의 상부 Case 내부에 공기를 밀폐하여 적당한 부피 확보하였다. 다음으로 공기가 밀폐된 Case의 안쪽 두께 t를 변수로 설정하고 물고기 로봇의 비중이 1에 근사할 때의 두께 t를 최적값으로 도출하였다. t를 변수로 설정한 이유는 t 값에 따라 물고기 로봇의 부피는 변함없이 무게는 늘어나기 때문에 비중 조절이 용이한 변수라고 판단하였기 때문이다.

Table 2 Fish robot's weight and volume data

분류	무게(g)	부피(cm <sup>3</sup> )	비중
요소품	227	127	2.82
가공품	38	14	2.71
실리콘외피	120	126	0.95
아크릴 case	x	140(밀폐공간포함)	

$$\frac{227g + 38g + 120g + \text{아크릴 case 중량}(x)}{127cm^3 + 14cm^3 + 126cm^3 + 140cm^3} = 1 \quad (1)$$

식(1)을 만족하는  $t$ 를 찾기 위해서  $t$  값의 변화에 따른 아크릴 case무게의 상관관계 근사식을 구하였다. Solidedge로 3D 모델링을 하여 몇 개의  $t$ 값에 따른 무게를 측정하였고, 그 data를 기준으로 아래와 같은 근사식을 구할 수 있었다. 식(2)는 Head 상부, 식(3)은 Body 상부 case의 근사식이다.

$$Weight(h) = 0.4892t^3 - 5.2589t^2 + 21.742t - 16.25 \quad (2)$$

$$Weight(b) = 0.7325t^3 - 7.8939t^2 + 31.074t - 22.816 \quad (3)$$

식(2)와(3)을 식(1)에 대입하여  $t \approx 1.5mm$ 의 값을 찾을 수 있었다.

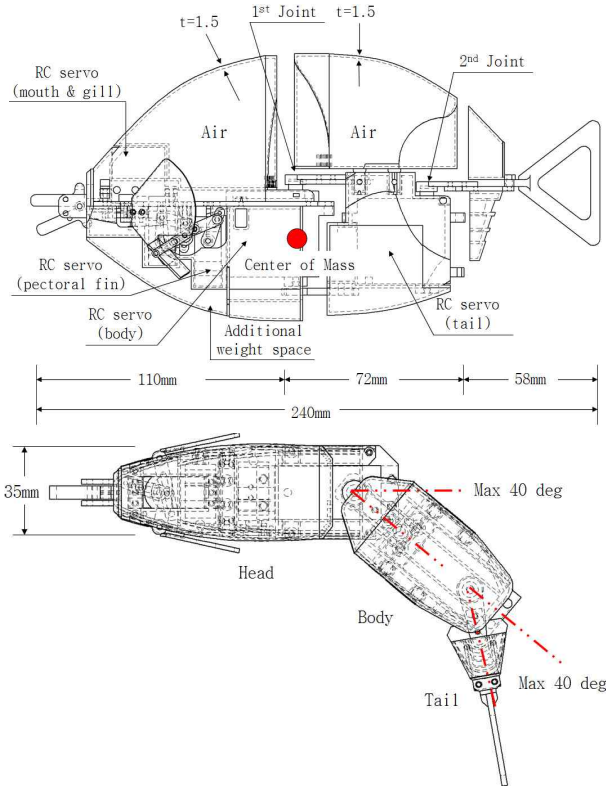


Fig. 2 Developed fish robot

3.4 옆 지느러미 설계

비중이 1에 가까운 상태에서 옆 지느러미가 비행기 날개와 같은 역할을 하여 양력에 의해 로봇의 상하 이동을 조정할 수 있도록 하였다. [3] 양쪽 지느러미 각각에 1개씩의 RC servo motor를 설치하였으며, 물고기 로봇의 폭을 최대한 줄이기 위하여 좌우 RC servo motor를 서로 포개어 설치하고 링크를 이용하여 동력을 전달할 수 있도록 구성하였다.

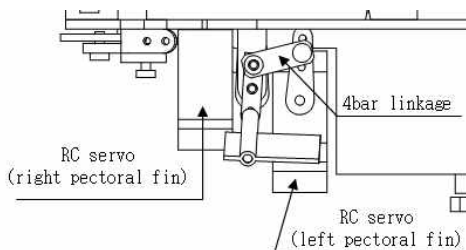


Fig. 3 Pectoral fin unit of the fish robot

3.5 방수처리

주요 전자부품인 Main Control Board와 Battery는 액상 실리콘을 칠하여 1차적으로 방수 처리를 하였고, 이를 공기가 밀봉되어 있는 Head와 Body 상부에 설치하여 Case와 함께 2차적으로 방수 처리가 되도록 하였다. Board와 Battery에서 연결된 배선을 타고 Case 내부로 물이 새어 들어가는 문제점을 방지하고자 배선은 Case의 홈을 파고 단단히 끼워 고정하고 빈틈은 실리콘으로 방수 처리하였다.

Motor는 조립부위와 볼트 체결부에 실리콘을 칠하여

방수처리를 하고, 움직이는 축 부위는 O-ring과 Grease를 이용하여 방수 처리하였다.

3.6 외관

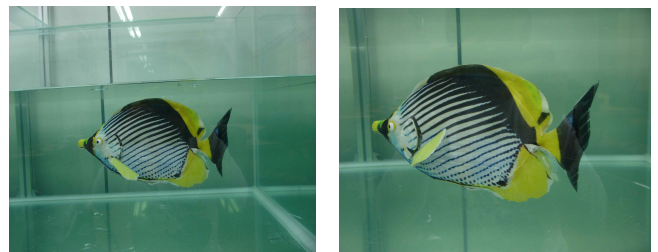
물고기 로봇의 사실적인 동작 표현을 위하여 입과 아가미가 구동되도록 하였다. 아크릴 Case의 바깥쪽에는 실사된 실리콘 외피를 부착하여 실제 물고기와 유사한 외형을 나타내었다.



Fig. 4 Appearance of the fish robot

4. 실험

위에서 계산한 바와 같이 설계하여 물에 띄어본 결과 초기에 정확한 중립적부력상태 (neutrally buoyant)를 유지하지는 못하였으나, 추를 넣어 중량을 조절할 수 있는 공간에 경량의 추를 추가함으로써 쉽게 원하는 부력을 맞출 수 있었으며, 이 상태에서 옆 지느러미의 동작을 이용하여 상하 이동이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 이동시에 Head부의 움직임이 거의 없이 Body와 Tail의 움직임으로 유연하는 모습을 확인할 수 있었다.



(a) moving up motion

(b) moving down motion

Fig. 5 Fish robot in the water

5. 결론 및 향후 방향

본 연구에서 제작된 로봇은 부품의 적절한 배치와 아크릴 Case의 최적 설계를 통하여 기존의 물고기 로봇에 비하여 매우 소형이면서 납작한 형태의 물고기 로봇을 안정적으로 수중에 띄우고 움직일 수 있었다. 또한 얇은 몸체로 인하여 Body와 Tail의 동작영역을 크게 확보할 수 있었으며, 이는 Turn 동작시 민첩하고 작은 반경에서 동작하는데 큰 효과를 나타낼 것으로 기대된다. 또한 관상용 물고기 로봇이나 소규모 수중환경 감시용으로써 활용이 가능할 것으로 기대되며 향후에는 본 물고기 로봇을 이용하여 실제 Turn 동작과 상하 이동에 있어서의 성능을 검증해보고자 한다.

참고문헌

- HIRATA, K., TAKIMOTO, T. and TAMURA, K., "STUDY ON TURNING PERFORMANCE OF A FISH ROBOT," in Proc. 1st Int. Symp. Aqua Bio-Mech., 287-287, 2000.
- 조강진, 박해원, 김석우, 양현석, 박영필, "물고기의 추진을 모방한 로봇의 개발," 대한기계학회, 40-45, 2007
- 류영선, "물고기형 수중로봇의 유연메커니즘 및 알고리즘 개발(1)" 로봇공학회, 43-48, 2009.02
- <http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish>
- <http://chamisa.freeshell.org/fish.htm>