

## 물고기형 수중 로봇의 유연 동작 생성

### Generation of Swimming Motions for Fishlike Underwater Robot

\*이상호<sup>1</sup>, 정광현<sup>1</sup>, 김경식<sup>2</sup>, 차유성<sup>2</sup>, 전명제<sup>2</sup>, 류영선<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>과학기술연합대학원대학교 지능형로봇학과, <sup>2</sup>한국생산기술연구원

Key words : Fishlike Robot, Swimming Motion

#### 1. 서론

수중 로봇은 이미 해양 개발과 탐사 분야에서 널리 사용되고 있다. 이러한 해양 수중 로봇은 크게 어뢰형과 박스형의 두 가지 형태로 나눌 수 있다. AUV에 주로 사용되는 어뢰형은 빠른 방향 전환에 어려움이 있고, 넓은 회전 반경이 요구된다. 반면 ROV에 주로 사용되는 박스형은 3차원적인 제어가 편리하도록 다수의 액추에이터를 사용하고 있어 조작성은 높으나 형태상 속도의 제약이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 구동성이 뛰어난 수중 생물들의 유연 동작을 모방한 다양한 로봇들이 연구되고 있다.<sup>1</sup>

본 논문에서는 물고기의 움직임을 모방한 수중 로봇의 유연 동작 생성 및 동작 전환 방법을 소개한다. 이를 실제 로봇에 적용하여 가장 자연스러운 유연 및 제어 방법을 결정하고자 한다.

#### 2. Ichthus V3

본 연구에서 사용된 로봇은 한국생산기술연구원 수중로봇개발단에서 만든 Ichthus V3이다.

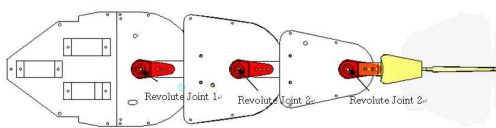


Fig. 1 Link Connection of the Ichthus v3

Ichthus V3는 잉어 모양의 유선형 몸체로 설계하였다. 몸통은 3개의 서보 모터로 구동하여 주요 추진력을 제공한다. 머리 부분에는 차동기어를 사용한 옆 지느러미가 있어 이를 이용하여 승·하강 동작 제어 및 방향 전환 시 보조 역할, 느린 속도의 전·후진이 가능하다.

로봇 원격 제어를 위해서 낮은 주파수 대역의 RF 모듈을 사용하였다. 이를 통해 2~3m 이내의 얕은 수심에서 원격으로 제어가 가능하다. 그 밖에 필요에 따라 추가적으로 카메라와 IR 거리 센서 등을 탑재할 수 있도록 제작하였다.

Table 1 Specification of Ichthus V3

Size	420mm(L) x 80mm(W) x 130mm(H)
Weight	1.2 Kg
DOF	5 DOF + 1 Function (Body 3, Side Fin 2, Mouth and Gill 1)
Power	LiPo 7.4V / 1100mA

#### 3. 기본 유연 동작

물고기형 수중 로봇의 기본 움직임은 sinusoidal motion을 따른다.<sup>2</sup>

$$A = \frac{1}{2} A_a \sin(2\pi ft - A_p) + A_l \quad (1)$$

$A$ 는 시간  $t$ 에 따른 각 서보의 현재 각도(Degree),  $A_a$ 는 움직이는 각도 범위(최대각 - 최소각),  $f$ 는 주기,  $t$ 는 시간,  $A_p$ 는 위상각,  $A_l$ 는 기울임 각도(leaning)을 의미한다.

여기서 증폭도와 주기를 조절하여 이동 속도를 제어할 수 있고, 기울임 각도를 조절하여 이동 방향을 제어할 수 있다. 그리고 각 관절의 움직임 각도 범위와 위상을 달리하여 좀 더 높은 효율의 동작을 얻을 수 있다.

#### 4. 동작 전환을 위한 확장

물고기 로봇의 동작 전환을 위해서는 기본 유연 동작을 생성하는 변수들의 값을 조정해야 한다.

그러나 단순히 변수들을 변경할 경우 sine 파형에서 꺾임선(Fig. 2)과 같은 형태가 발생하게 되고 이로 인해 로봇이 튀는 것 같은 움직임을 보이게 된다. 이를 제거하기 위해 동작 전환 지연 변수( $T_d$ )를 추가하여 동작 전환 시 여유 시간을 주었다. 또한 갑작스런 주기 변화에 따른 파형 꺾임을 막기 위해 시간 조정 변수( $T_a$ )를 추가했다.

$$T_p = T_s - T_m \quad (2)$$

$T_p$ 는 로봇의 현재 동작 진행 시간,  $T_s$ 는 시스템 시간,  $T_m$ 은 동작 시작 시간을 의미한다.

주기는 동작 변경 시점에서 새로운 주기 값으로 바로 변경한다. 이런 경우 연속적인 움직임에 보여주기 위해 주기 변화에 따른 새로운 파형의 상대적 위치 변화를 계산하여 시간 조정 변수( $T_a$ )를 조정한다.

$$T_a = (T_p + T_{a-1}) \times \frac{f_o}{f_n} \quad (3)$$

$T_s$ 는 시스템 시간,  $T_m$ 은 동작 시작 시간,  $T_{a-1}$ 은 이전 시간 조정 변수 값,  $f_o$ 는 이전 주기,  $f_n$ 은 변경할 주기 값을 의미한다.

이외의 변수들은 동작 진행 시간( $T_p$ )이 동작 전환 지연 시간( $T_d$ ) 보다 작은 경우 아래의 진행 비율( $K$ )을 적용한다.

$$K = \frac{1}{2} \left( \sin\left(\frac{T_p}{T_d} \pi - \frac{\pi}{2}\right) + 1 \right) \quad (4)$$

진행 비율( $K$ )을 적용한 움직임 범위( $A_a$ ), 위상각( $A_p$ ), 기울임 각( $A_l$ )은 아래와 같다. 각 변수에 붙은  $o$ 는 이전 값을,  $n$ 은 새로운 값을 의미한다.

$$A_a = A_{ao} + (A_{an} - A_{ao})K \quad (5)$$

$$A_p = A_{po} + (A_{pn} - A_{po})K \quad (6)$$

$$A_l = A_{lo} + (A_{ln} - A_{lo})K \quad (7)$$

최종적으로 얻어지는 확장된 유영동작 생성을 위한 지배식은 다음과 같다.

$$A = \frac{1}{2} A_a (\sin(2\pi f (T_p + T_a) - A_p)) + A_l \quad (8)$$

물고기형 로봇의 유영 동작을 만들기 위해 위의 수식을 각각의 관절에 개별적으로 적용하며, 각 관절의 위상과 움직임 범위, 기울임 각도를 조절하여 최적의 유영 동작을 찾을 수 있다.

## 5. 유영 동작실험

위의 수식을 적용하여 Ichthus V3의 유영 동작을 만들었다. Fig 2는 기본 유영 동작으로 만든 움직임이며, Fig 3동작 변경을 개선한 후의 움직임 변화를 나타낸다. 동작전환이 부드럽게 이루어짐을 확인할 수 있다.

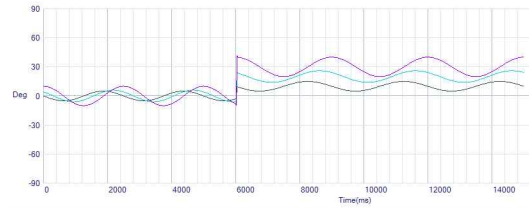


Fig. 2 Basic Motion Change(Forward to Turn Right)

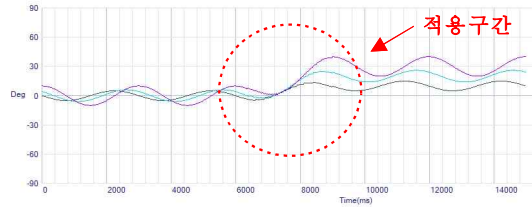


Fig. 3 Extended Motion Change(Forward to Turn Right)

## 6. 결론 및 향후 계획

동작 변화 시의 중간 변화 과정을 처리하여 자연스러운 유영 동작 생성이 가능해졌다. 차후에는 입력 파라미터 최적화 시뮬레이션으로 얻은 결과를 실험에 적용하여 시뮬레이션과의 실제 속도 차이를 비교하고자 한다.<sup>3</sup>

## 참고문헌

1. Daibing Zhang, K.H. Low, Haibin Xie, Lincheng Shen, "Advances and Trends of Bionic Underwater Propulsors," *gcis*, vol. 1, pp.13-19, 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems, 2009
2. K. Hirata, T. Takimoto, and K. Tamura, "Study on turning performance of a fish robot", *Proc. 1st Int. Symp. Aqua Bio-Mech.*, pp. 287 - 287, 2000.
3. 정창현, 이상효, 김경식, 차유성, 류영선, "생체 모방형 물고기 로봇 '익투스'의 동적 해석을 위한 입력 파라미터 최적화", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 16(8), pp 799-803, 2010