

IPMC를 이용한 생체 모방형 해파리 로봇 A Biomimetic Jellyfish Robot by Using IPMC

*염성원¹, #오일권²

*S. W. Yeom¹, #I. K. Oh (ikoh@chonnam.ac.kr)²

¹ 전남대학교 기계공학과, ² 전남대학교 기계시스템공학부

Key words : IPMC, jellyfish, underwater robot, biomimetic

1. 서론

지난 십여 년 동안 다양한 종류의 EAP (Electro Active Polymer)가 생체 모방 재료로써 활발하게 연구되어 왔다. 여러 EAP 중에서도 IPMC (Ionic Polymer Metal Composite)는 낮은 구동 전압 하에서 대변형을 하며, 가볍고 부드럽다는 장점 때문에 이를 이용한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 Guo, S.는 IPMC를 물고기의 꼬리지느러미로 사용한 수중 물고기 로봇을 만들었고[1], Yoshihiro, N.는 긴 직사각형 형태의 IPMC 시편을 이용하여 집게손을 만들었으며[2], Lee, S. J.는 인공 손가락 구동 장치를 제작하였다.[3] 선행 연구자들에 의해 개발된 여러 IPMC 활용 장치들은 모두 얇고 평평한 직사각형 형태의 IPMC 시편을 사용하였기 때문에 그 활용 범위가 제한적이다. 이에 본 논문에서는 임의의 형태를 가진 IPMC 활용 장치로써 일체형 해파리 로봇을 제작하였으며, 효과적인 구동을 위하여 McHenry, M.에 의해 Fig.1과 같이 밝혀진 실제 해파리의 움직임을 모사하였다.[4]

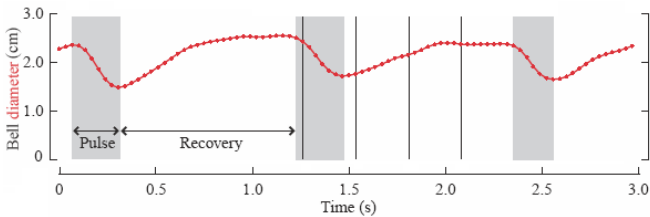


Fig. 1 Measurements for the bell height are shown during the pulse (gray band) and recovery (white band) phases of the propulsive cycle.

2. 제작 방법 및 과정

해파리 로봇 몸체의 치수와 형태는 다음과 같으며 8개의 팔로 이루어져 있다.



Fig. 2 Schematic of jellyfish robot

해파리 로봇 몸체의 형상은 예상 작동 변위를 고려하여 최대한 넓은 구동 면적을 가질 수 있도록 하였으며, 그로 인해 팔과 팔 사이의 트인 공간으로 인한 추력 손실을 최소화 하였다. 해파리 형상을 모방하기 위하여 볼록한 형태의 고정 틀을 제작하였으며, 재단된 Nafion®117 막을 고정 틀에 고정 시킨 후 60°C, 15RH의 항온 항습 조건에서 2시간 동안 열처리 하였다. 열처리한 Nafion®117 막은 무전해 도금 과정을 거쳐 최종 완성하였다.[5]

3. 실험 및 결과

Fig. 1의 그래프에서 y축 최대값은 1.7이 되도록 하고, y축 최소값은 1.8이 되도록 하며, 구동 주파수에 따라 x축 데이터 값에 알맞은 값을 곱하여 해파리 로봇 구동을 위한 신호를 완성하였다. 이를

Imitating Signal이라 하였다. 다음 Fig. 3은 + 최대 진폭이 1.7V이고 - 최대 진폭이 1.8V인 1.0Hz의 완성된 Imitating Signal을 나타내었다.

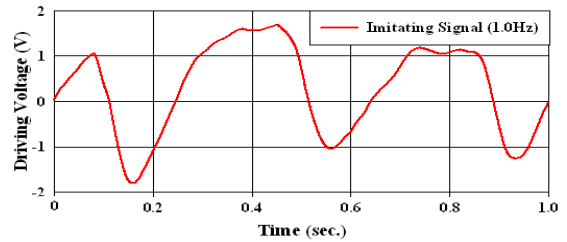


Fig. 3 Imitating Signal for actuating the jellyfish robot

3.1 횡 방향 변위 측정 실험

해파리 로봇 팔 끝단에서 5mm 내측 가상의 한 점에 대해 1.0Hz Imitating Signal에 대한 횡 방향 변위를 Laser Sensor(LK-031)를 이용하여 측정하였으며 Fig. 4에 나타내었다.

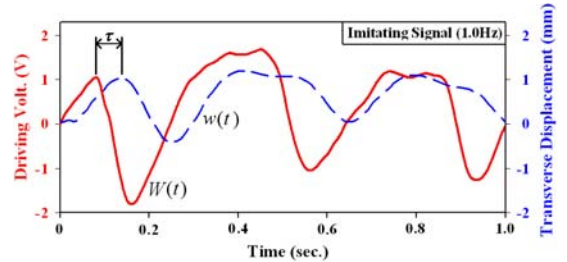


Fig. 4 Transverse displacement of the jellyfish robot

Imitating Signal을 이용한 해파리 로봇의 구동 경향이 실제 해파리의 움직임과 비교하였을 때 상대적으로 어느 정도 일치하는가를 비교하기 위하여 다음과 같은 RMS Error 값을 비교하였다.

$$RMS\ Error = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{1}{T} \left(\sqrt{(W_N(t) - w_N(t-\tau))^2} \right)$$

여기서, $W_N(t)$ 은 Imitating Signal $W(t)$ 의 최대치 크기를 1로 표준화한 것이고, $w_N(t)$ 는 측정된 해파리 로봇의 횡 방향 변위 $w(t)$ 의 최대치 크기를 1로 표준화한 것이며, τ 는 IPMC의 구동 지연 시간이다. 가장 낮은 주파수인 0.2Hz에서는 2.0Hz일 때에 비하여 상대적으로 2.1배 더 정확한 움직임을 나타냈으며, 주파수가 높아질수록 부정확해짐을 Fig. 5와 같이 확인할 수 있었다. 이는 IPMC의 구동이 내부 이온의 이동에 따르기 때문이며, 해파리의 움직임을 모사하는데 있어서 구동 주파수는 낮을수록 유리하다는 것을 의미한다.

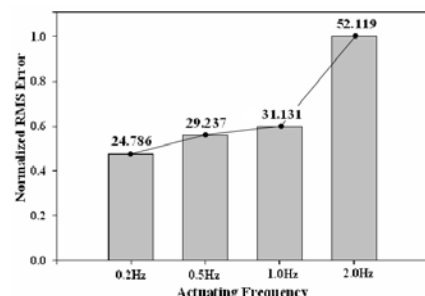


Fig. 5 Normalized RMS Error

3.2 추력 측정 실험

해파리 로봇의 추력 측정을 위한 실험 환경은 Fig. 6과 같다. 해파리 로봇의 추력 측정을 위하여 로드셀(LVS-5GA)을 사용하였다.

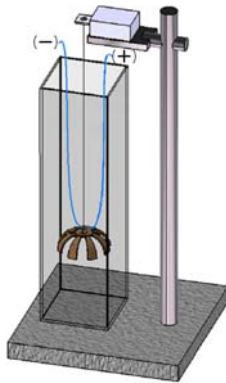


Fig. 6 Experimental Setup

순수 추력만을 고려하기 위하여 해파리 로봇을 구동시키기 전 10초 동안 측정되는 자중에 의한 하중의 평균치를 측정되는 측정치에서 감해주었다. 실험 결과 순간 최대 추력은 1.0Hz 일 때 0.1037gf로 가장 높게 나타났다. Fig. 7에 1주기 동안의 추력을 나타내었다.

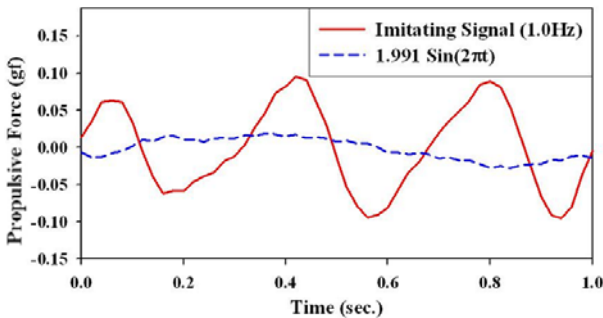


Fig. 7 Propulsive Force under 1.0Hz

3.3 Imitating Signal의 효용성

Imitating Signal의 효용성을 확인하기 위하여 Imitating Signal에 의한 순간 최대 추력과 Imitating Signal과 동일한 RMS 값을 갖는 진폭이 1.991인 사인파에 의한 순간 최대 추력을 비교하였다.

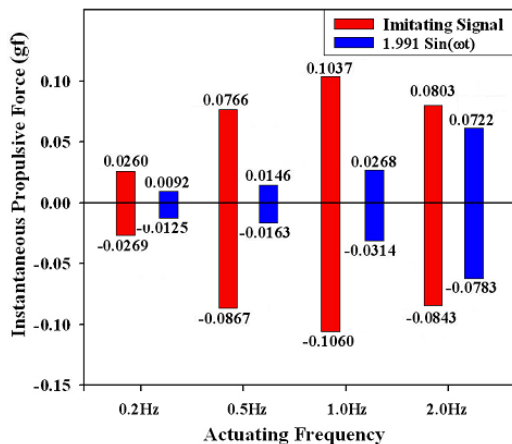


Fig. 8 Instantaneous propulsive force under imitating signal and sinusoidal wave

Fig. 8에서와 같이 모든 구동 주파수에서 Imitating Signal에 의한 최대 추력이 동일한 RMS 값을 가지는 사인파에 의한 추력보다 높음을 알 수 있다. 따라서 동일한 RMS 값을 갖는 Imitating Signal과 사인파 중에서 더 낮은 전압에서 더 큰 추력을 얻을 수 있는 Imitating

Signal이 더 효용성이 있다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 IPMC를 이용한 해파리 로봇을 제작하고 실제 해파리 움직임을 모사하였으며 효율적인 해파리 로봇의 구동을 위한 Imitating Signal을 개발하였다. 다양한 구동 주파수에 대해서 해파리 로봇의 추력을 측정하고 비교하였으며 적합한 구동 주파수를 제시하였다.

- 상대적으로 낮은 구동 주파수일수록 실제 해파리와 유사한 움직임 모사가 가능하였다.
- 구동 주파수가 0.2Hz, 0.5Hz, 1.0Hz 일 때의 RMS Error 값은 구동 주파수가 2.0Hz 일 때에 비하여 상대적으로 적은 차이를 보였다.
- 모든 구동 주파수에서 Imitating Signal에 의한 순간 최대 추력이 동일한 RMS 값을 가지는 순간 최대 추력보다 높았다.
- Imitating Signal에 의한 순간 최대 추력은 1.0Hz에서 0.1037gf로 가장 높았으며, 동일한 RMS 값을 가지는 사인파에 의한 순간 최대 추력보다 3.9배 높았다.
- 따라서, 해파리 로봇의 가장 효율적인 구동 조건은 1.0Hz의 Imitating Signal이다.

참고문헌

1. Guo, S., Toshio, F., Kinji, A., "A New Type of Fish-Like Underwater Microrobot.", IEEE/ASME TRANSACTION MECHATRONICS, 8, No.1, 2003
2. Yoshihiro, N., Toshiharu, M. and Kinji, A., "Kinematic Modeling and Visual Sensing of Multi-DOF Robot Manipulator with Patterned Artificial Muscle", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (Barcelona, Spain), 2005
3. Lee, S. J., et al, "A new fabrication method for IPMC actuators and application to artificial fingers", SMART MATERIALS AND STRUCTURES, 15, 1217-1224, 2006
4. McHenry, M. and Jed, J., "The ontogenetic scaling of hydrodynamics and swimming performance in jellyfish (Aurelia aurita)", The Journal of Experimental Biology, 206, 4125-4137, 2003
5. Kim, K. J. and Shahinpoor, M., "Ionic polymer-metal composites: II. Manufacturing techniques", SMART MATERIALS AND STRUCTURES, 12, 65-79, 2003