

## 4 개의 틸팅하는 추진기를 가진 수중운항 플랫폼의 호버링 제어

### Hovering control underwater robotic platform with four tilting thrusters

김 중 원\*, ○진 상 룡\*, 김 지 훈\*, 서 태 원\*\*, 김 중 원\*\*\*

\* 서울대학교 기계항공공학부 (TEL :02-880-7144; E-mail: jwkim@rodel.snu.ac.kr)

\*\* 영남대학교 기계공학부 (TEL : 053-810-2442; E-mail: taewon\_seo@yu.ac.kr )

\*\*\* 서울대학교 기계항공공학부 교수 (TEL :02-880-7144; E-mail: jongkim@snu.ac.kr)

**Abstract** This paper presents control strategy of the new underwater robotic platform with four tilting thrusters for hovering motion. The tilting mechanism can implement the 6 degrees-of-freedom (DOF) motion with only four thrusters. However it causes an increase in the nonlinearity of thrust force vector map. In order to eliminate the complex nonlinearity, the selective switching controller is designed and applied to the robot system. The selective switching controller chooses each 3 DOF linear sub-controller according to the error in real-time. In the experiment, which the robot maintains the position and orientation under the disturbance from an attached manipulator, is performed in a water tank. The results verify the hovering ability of the robot.

**Keywords** Underwater robot, hovering control, switching control, tilting thruster, ROV.

#### 1. 서론

수중환경은 호흡과 압력으로 인해 인간에게 위협적이다. 수중운항플랫폼은 이러한 인간의 역할을 대체하기 위해 개발되었다. 현재 존재하는 수중운항플랫폼은 검사를 목적으로 하고 있으며, 특정한 작업을 수행하는 것에는 적합하지 않다. 이러한 작업을 하기 위해서는 해류나 작업 장치에서 발생하는 외력에도 수중운항플랫폼은 호버링을 할 수 있도록 해야 한다.

기존에 사용하는 호버링의 전략은 ODIN-III와 같이 고정된 추진기를 가지고, 과구동을 이용하는 방법이다 [1, 2]. 또한 이러한 방식은 많은 추진기가 필요하므로, 크고 무겁다. ODYSSEY-IV [3]은 추진기의 수를 줄이기 위해 회전하는 추진기를 이용하였다. 이렇게 함으로써, 하나의 추진기만으로 움직임을 구현할 수 있다. 하지만, 호버링이 불가능하다.

따라서 이 논문은 4 개의 틸팅하는 추진기를 가지고 호버링이 가능한 새로운 수중운항플랫폼을 제시한다. 틸팅 메커니즘은 4 개의 추진기만으로 그림 1 과 같이 6 자유도 운동이 가능하게 한다.

제시한 수중운항플랫폼은 두 가지의 문제를 해결해야 한다. 첫째는 비선형 시스템이다. 이를 해결하기 위해 6자유도시스템을 2개의 3자유도 서브시스템으로 분리하고 실시간으로 에러를 비교하여, 에러가 큰 시스템을 우선적으로 제어하는 선택적 스위칭 제어를 적용하였다. 두 번째는 추진기가 6

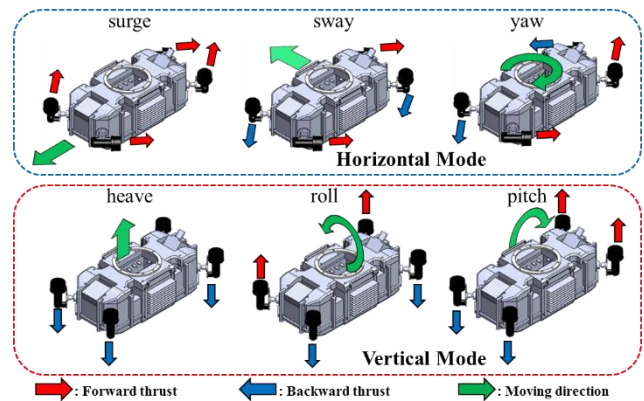


그림 1 추진기에 따른 6 자유도 운동

개 이상이 아니므로, 동시에 6 자유도를 제어하지 못한다. 우리는 여기서 600 ms 이내로 추진기가 회전하면, 6 자유도를 제어할 수 있음을 증명하였다.

#### 2. 시스템 설계 및 동역학 모델링

수중운항플랫폼의 프로토타입의 형상과 실험 환경은 그림 2에 나타나있다. 더욱 자세한 사항은 [4]를 참조하길 바란다.

이 하드웨어에 맞는 동역학 모델은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{\eta}(\eta)\ddot{\eta} + C_{\eta}(v, \eta)\dot{\eta} + D_{\eta}(v, \eta)\dot{\eta} + g_{\eta}(\eta) = J^T(\eta)\tau_c + \tau_e \quad (1)$$

여기서,  $M_n$  와  $C_n$  에는 유체력(hydrodynamic)이 존재한다. 이러한 유체력은 수치해석의 방법을 통해 계산을 수행하였다. [5, 6]

### 3. 제어기 설계

틸팅하는 추진기로 인해서 수중운항 플랫폼은 비선형 시스템을 이룬다. 이를 해결하기 위해서 6자유도 시스템을 2개의 서브시스템으로 변경하고, 목적 값과의 에러가 큰 서브시스템을 선택하여 우선적으로 제어하는 선택적 스위칭 제어를 적용하였다. 그에 대한 다이어그램은 아래와 같다.

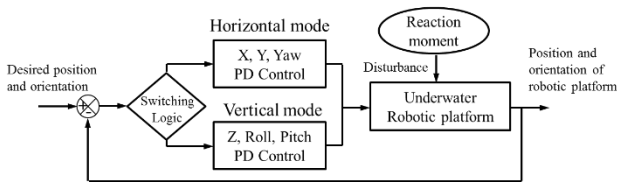


그림 2. 제어 시스템 다이어그램

### 4. 실험 및 결과

선택적 스위칭 제어를 적용한 수중운항플랫폼의 호버링 실험을 위해 그림 3의 (a)와 같은 실험 환경을 구성하고, (b)와 같이 플랫폼이 틸팅하면서 호버링을 수행하는 실험을 수행하였다.

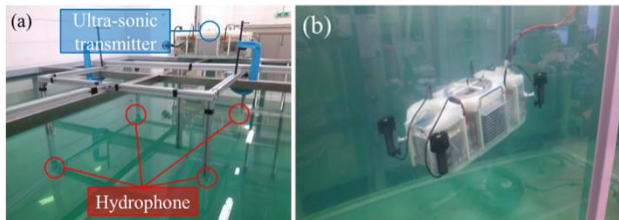


그림 4 실험 구성; (a) SBL 시스템과 구조, (b) 틸팅 제어 실험.

피치 각도를 30도 기울인 상태에서 호버링 성능을 실험하였으며, 어느 정도 목적 값을 잘 따라감을 그림 4에서 확인 할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 4개의 틸팅하는 추진기를 가진 수중운항 플랫폼을 제시하였다. 수조에서 호버링이 가능한지 실험을 통해서 증명하였다. 틸팅하는 추진기를 가지는 메커니즘은 4개의 추진기만 가지고도 6자유도 운동이 가능했다. 이러한 메커니즘은 추진기의 수를 줄여, 소모 전력을 줄이고 그로 인해서 시스템 전체의 크기를 작게 줄일 수 있었다. 틸팅으로 발생했던 비선형성이나, 동시에 제어를 하지 못하는 것과 같은 문제점들은 선택적

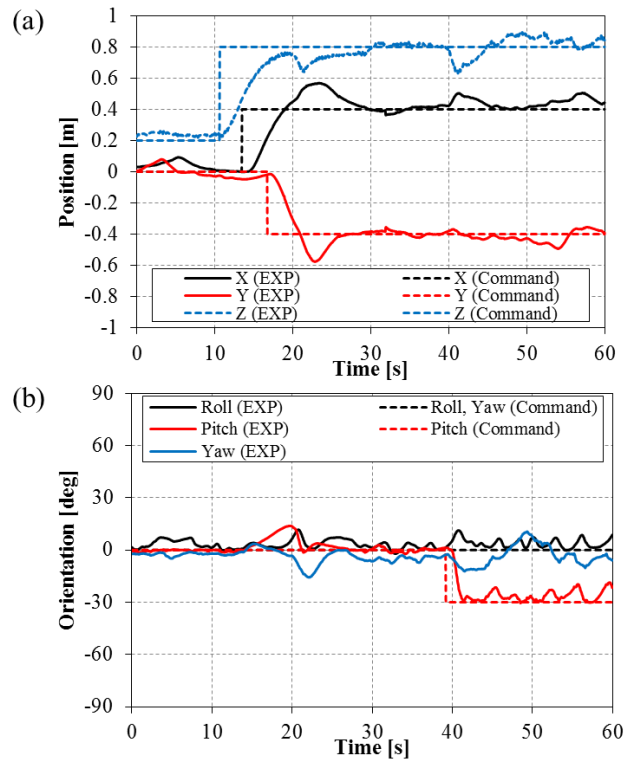


그림 3 호버링 실험 결과; (a)Position, (b)Orientation.

스위칭 컨트롤을 통해서 해결하였다. 앞으로 수중운항 플랫폼에 작업 유닛을 결합하여, 다양한 외력에 대해서도 호버링을 유지할 수 있도록 할 것이다.

### 후기

이 논문은 2011 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0009596).

### 참고문헌

- [1] D. Ribas, et al., "Girona 500 AUV: From Survey to Intervention," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, Vol. 17, No. 1, 2012, pp. 46-53.
- [2] S. Zhao, J. Yuh, "Experimental Study on Advanced underwater Robot control," IEEE Trans. Robotics, Vol. 21, No. 4, 2005, pp. 695-703.
- [3] J. Eskesen, et al., "Design and Performance of ODYSSEY IV: A Deep Ocean Hover-Capable AUV," MIT Sea Grant College Program Report, 2009.
- [4] S. Jin, et al. "Design of hovering underwater robotic platform to capture harmful marine organisms." Control, Automation and Systems (ICCAS), 2012 12th International Conference on. IEEE, 2012.
- [5] J. N. Newman, Marine Hydrodynamics. Cam-bridge, MIT Press, 1997, pp. 328-381.
- [6] C. Georgiades, "Simulation and control of an underwater hexapod robot," M.S. thesis, Dept. Mech. Eng., McGill University, Montreal, Canada, 2005.