

Manta 형상 무인잠수정의 설계과정 및 제어실험에 관한 연구

변승우*, 임종국**, 김준영*

*제주대학교 해양과학대학 해양시스템공학과

**한양대학교 공과대학 기계공학부

e-mail:jkim@jejunu.ac.kr

A Study on Design Process and Control Test of Manta-type Unmanned Underwater Test Vehicle

Seung-Woo Byun*, Jong-Guk Yim**, Joon-Young Kim*

*Dept of Ocean System Engineering, Jeju National University

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 Manta 형상 무인잠수정의 자유항주모델을 설계하였고 이를 이용하여 제어실험을 실시하였다. 제작된 MUUTV모형은 직진방향으로 1개의 추진기를 가지고 있으며, 승강타와 방향타를 이용하여 수심 및 방향 제어를 실시하게된다. MUUTV는 수심제어시 사용되는 수심을 측정하기 위한 압력센서, 방향제어를 위해 방향각 추정을 위한 마그네틱 컴파스가 설치되어있으며, 잠수정의 전체적인 운용을 위한 Windows XP기반의 소형 On-board PC104가 장착되어있다. 시뮬레이션에 사용된 6자유도 운동모델은 PMM실험과 이론적 추정을 통해 얻어진 유체동역학계수와 파라미터를 이용하여 구성된다. 잠수정의 운동성능과 제어응답을 비교하기 위해 PID, 슬라이딩모드, 퍼지, 제어기가 설계되었으며, 이를 통해 제어 성능을 비교하고자 하였다. 또한 제작된 모델을 이용하여 수심 및 방향제어 실험을 수조에서 실시하였다.

1. 서론

미래 해양환경과 전장 환경의 변화로 인해 무인잠수정에 대한 연구는 오랫동안 활발하게 이어지고 있다. 미래의 해군력 증강을 위한 수중유도무기체계 개발의 일환으로 다양한 형태의 수중운동체 기술이 발전되고 있으며, 국내에서는 수중운동체의 운동특성과 운용시스템에 관련된 연구가 활발하게 수행되고 있다[1].

미국의 NUWC(Naval Undersea Warfare Center)에서는 1990년대 중반부터 Manta project의 일환으로 MTV(Manta Test Vehicle)에 대한 연구를 진행하였으며, 설계와 실험을 실시하였다[7]. MTV는 평상시에는 잠수함에 붙어 이동하다가 필요시에만 모함인 잠수함에서 분리되어 해당 지역의 자료 획득 및 임무를 수행하는 역할을 담당하게 된다. 현재 NUWC에서는 개선된 모델을 제안하고 계속 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 MTV의 설계 및 운용에 기초를 두어 MUUTV의 모델을 설계하였으며, 6자유도 운동방정식을 기초로 모델링 및 제어기 설계를 통해 운동성능을 확인하였다[6]. 또한 제어실험을 위한 테스트베

드로 1/10 스케일의 자유항주모델을 제작하여 시뮬레이션과 실제 모델 실험결과와 비교를 실시하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 MUUTV의 설계 목표와 하드웨어 구성에 대해 설명하였다. 3, 4장에서는 MUUTV의 모델링 및 제어기 설계, 5장에서는 제작된 MUUTV에 대한 수심제어 및 방향제어 실험을 실시하였고, 마지막 6장에서 결론을 언급하였다.

2. MUUTV의 구성

잠수정의 설계과정에서 사용목적을 설정하는 일은 매우 중요한 과정이다. 이에 따라서 적절한 형상, 적재하중, 항해수심 및 주행속도 등이 결정되어 진다. 본 논문에서 제작한 MUUTV는 사용 목적이 정해져 있고, 형상에 대한 PMM실험과 추정을 거쳐 시뮬레이션에 필요한 유체력 미계수들을 얻었다[2]. 무인잠수정의 제원은 표 1에 나타내었고, 제어실험을 위한 MUUTV의 형상은 그림 1과 같다. 수조 내에서 주행성능과 센서 및 제어기의 성능을 실험하기 위한 테스트베드이므로 1/10 스케일로 제작되었으며, 시뮬레이션을 통해 설계된 제어 알고리즘을 적용하고자 한다.

[표 1] MUUTV제원

Parameter	Specification
제원	1.2m × 0.44m × 0.12m
질량	30kg
작업수심	20m
최고속도	2m/s
추진기	450watt × 1개
제어모드	3자유도 운동제어
컴퓨터	On-board PC (Pentium III 700MHz)
항해센서	압력계, 컴퍼스
배터리	12V-4AH 납축전지 × 2개
	18.5V-6AH 리튬폴리머 × 1개
통신	RS-232, Wireless LAN통신



[그림 2] 추진기(Tecnydyne model 300)



[그림 3] 압력계



[그림 4] 마그네틱 컴퍼스

2.1. 전체구조

제어실험을 위한 MUUTV의 전체구조는 그림 1과 같다. 전체적인 모양은 기본설계당시의 디자인과 같으며, 추진을 위한 직진방향 추진기 1개와 수심과 방향 제어를 위한 승강타와 방향타가 장착되어있다.



[그림 1] MUUTV의 외형

2.2. 추진기

직진을 위한 추진기는 Tecnydyne사의 Model 300을 사용하였으며 그림 2와 같다. 입력전압은 24V이며 450Watt가 최대소비 전력이고 전진시 5.4kgf의 추력을 갖는다.

2.3. 센서

수심과 방향각을 측정하기 위해 압력계와 컴퍼스를 사용하며 그림 3과 4에 나타내었다. 압력계는 수심 20m 까지 측정이 가능하고 1~5V의 아날로그 신호를 출력하며, 컴퍼스는 PNI사의 TCM3 모델을 사용하였으며, 롤/피치/요우각을 출력으로 제공한다.

2.4. 전원

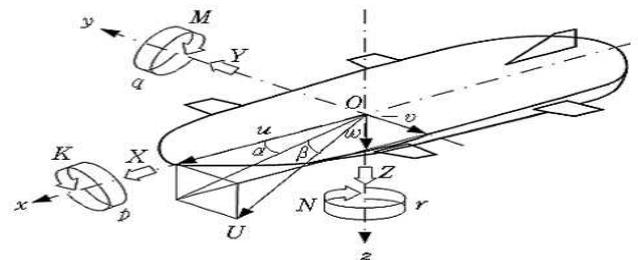
모선으로부터 분리되어 자유 항주 해야 하기 때문에 전원을 독립적으로 보유해야 한다. 배터리의 용량에 따라 잠수정의 운항범위 및 작업시간이 결정된다. MUUTV의 전원은 12V 4AH 납축전지와 18.5V 6AH의 리튬폴리머, 두 종류의 배터리가 사용되었다.

3. MUUTV의 모델링

잠수정 모델은 무인잠수정의 동역학 운동 모델과 추진기, 제어판과 같은 구동모델로 구성된다. 잠수정의 3차원 운동을 시뮬레이션 하기 위해 6자유도 비선형 방정식으로 표현되는 식을 사용하며 복잡한 유체 동역학 계수들을 포함한다.

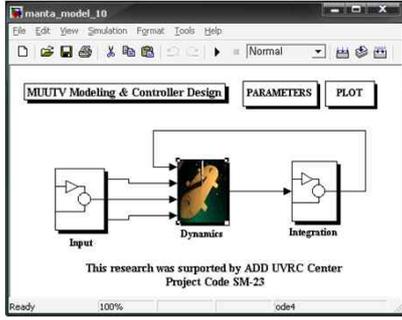
시뮬레이션에 사용된 6자유도 운동방정식과 PMM test와 추정을 통해 얻어진 계수들은 [1-2]에 의해서 얻어진 값을 사용하였다. 6자유도 운동방정식은 Gertler/Hagen[5]의 NSRDC보고서에서 잠수함 시뮬레이션의 표준이 되는 식을 정리하였으며, 이를 기반으로 Abkowitz[3]와 Feldman[4]이 실제와 더욱 근사한 운동방정식을 수정하여 제시하였다.

6자유도 수학모델은 그림 5와 같이 지구고정좌표계와 동체고정 좌표계를 사용하고 있다. 제안된 Manta형상 UUV의 수학모델을 Matlab/Simulink를 이용하여 그림 6과 같이 해석 프로그램을 개발하였다.

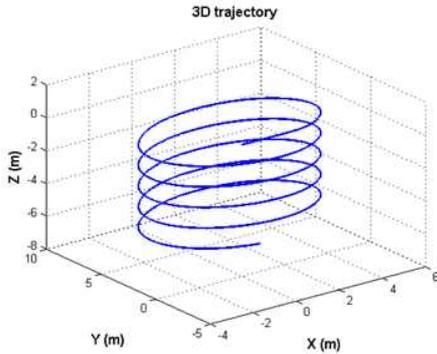


[그림 5] MUUTV의 좌표계와 부호

그림 6에서 개발된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 MUUTV의 운동성능을 해석하였다. 시뮬레이션 조건은 초기속도 1.0m/s에서 승강타를 30°, 방향타를 30°준 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 7은 위 조건에 대한 MUUTV의 시뮬레이션 결과를 3차원 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 6] MUUTV의 시뮬레이션 프로그램



[그림 7] MUUTV의 운동성능

4. 제어기 설계

MUUTV는 해양의 열악한 환경 하에서 자율 항주 하면서 임무를 완수하고 모션으로 회귀해야하기 때문에 불확실성에 대하여 강인한 제어 시스템이 요구된다. 이러한 무인잠수정의 제어를 위하여 고전적인 제어방법을 이용하는 경우에는, 잠수정의 운동특성을 정확히 파악하고 시스템의 모든 파라미터를 실험과 이론 계산으로 추정하여 모델링하는 것이 요구된다. 본 논문에서는 얻어진 파라미터를 이용하여 모델링을 하였고, PID제어기와 슬라이딩모드, 퍼지제어기를 설계하여 수심과 방향제어에 적용하였다.

4.1. 수심제어

4.1.1 PID 제어기

PID 제어기를 이용한 수심제어는 식 (1)을 이용하여 승강타의 각 δ_s 를 연산하도록 하였다.

$$\delta_s(t) = K_p(z(t) - z_d) + K_\theta \theta(t) + K_q q(t) \quad (1)$$

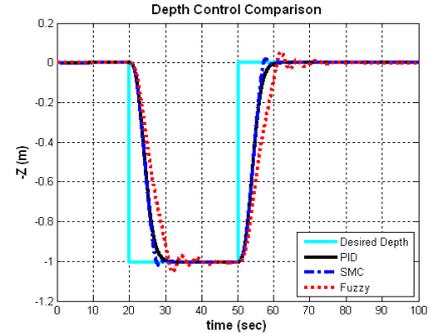
4.1.2 슬라이딩모드 제어기

슬라이딩모드 제어기를 이용한 수심제어는 식 (2)의 선형화된 운동방정식을 이용하여 제어기 모델을 설정하였다.

$$\begin{aligned} (I_y - M_q)\dot{q} &= M_q q - z_G W \theta + M_{\delta_s} \delta_s \\ \dot{\theta} &= q \\ \dot{z} &= -u \theta \end{aligned} \quad (2)$$

4.1.3 퍼지 제어기

퍼지로직을 이용하여 수심제어를 수행하기 위해서 수심오차와 수심오차의 시간에 대한 변화율을 입력 변수로 설정하여 퍼지화를 수행하였고, 제어기의 출력은 승강타의 각 δ_s 를 연산하도록 하였다.



[그림 8] MUUTV의 수심제어 비교

세 가지의 제어기를 이용하여 수심방향 시뮬레이션을 실시하였으며, 세 가지의 경우 모두 외란이 없는 상황에서의 시뮬레이션을 실시하였다. 외란이 있는 경우에는 슬라이딩모드 제어기가 더 강인한 성능을 보여 줄 것이다.

4.2. 수심제어

4.2.1 PID 제어기

방향각 제어는 식 (3)를 이용하여 방향타의 각 δ_r 를 연산하도록 하였다.

$$\delta_r(t) = K_p(\psi(t) - \psi_d) + K_d r(t) \quad (3)$$

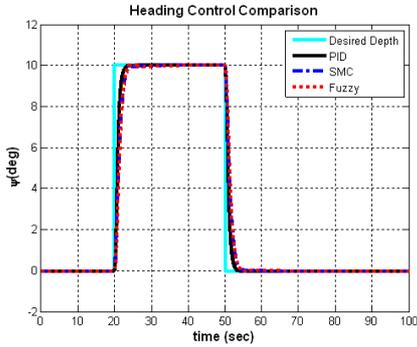
4.2.2 슬라이딩모드 제어기

제어기 설계를 위한 수평평면의 선형화된 운동방정식은 식 (4)와 같으며, 이를 이용하여 방향각 제어를 위한 슬라이딩모드 제어기를 설계하였다.

$$\begin{aligned} (m - Y_v)\dot{v} - Y_r \dot{r} &= Y_v v + (Y_r - m\mu)r + Y_{\delta_r} \delta_r \\ -N_v \dot{v} + (I_z - N_r)\dot{r} &= N_v v + N_r r + N_{\delta_r} \delta_r \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \quad (4)$$

4.2.3 퍼지 제어기

방향제어를 수행하기 위해서 방향각오차와 방향각오차의 시간에 대한 변화율을 입력변수로 설정하여 퍼지화를 수행하였고, 제어기의 출력은 방향타의 각 δ_r 를 연산하도록 하였다.



[그림 9] MUUTV의 방향제어 비교

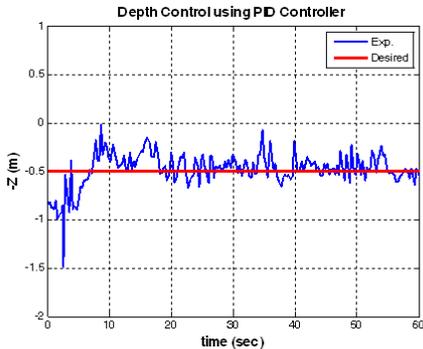
6. 결론

본 논문에서는 MUUTV의 자유항주 모델을 제작하였다. 제작된 무인잠수정은 테스트베드로서 시뮬레이션을 통해 얻어진 데이터와 실제 실험을 통해 얻어진 데이터를 비교하고자 하였다. 시뮬레이션에서는 고전 제어방법인 PID와 현대제어기법인 슬라이딩모드와 퍼지제어기를 설계하여 제어성능을 확인하였다. 현재 제어 실험이 계속해서 이루어지고 있으며, 추후 PID 제어기 이외의 다양한 제어기를 적용하여 제어실험을 실시하고자 한다.

PID, 슬라이딩모드, 퍼지의 제어기를 이용하여 방향각제어 시뮬레이션을 실시하였으며, 수심제어의 경우와 마찬가지로 외란이 없는 상황에서의 시뮬레이션을 실시하였다. 외란이 있는 경우에는 슬라이딩모드 제어기가 더 강한 성능을 보여 줄 것이다.

후기

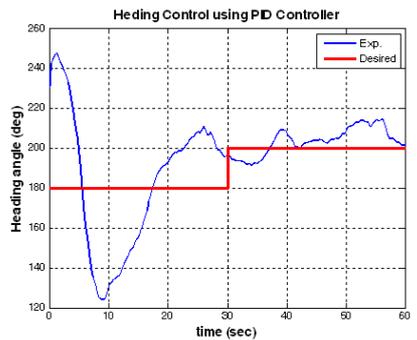
본 논문은 수중운동체 특화센터(URVC)의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.



[그림 10] MUUTV의 방향제어 비교

참고문헌

- [1] 배준영, 손경호 (2009). "Manta형 무인잠수정의 조종운동 특성에 관한 연구", 대한조선학회지, 제42권, 제2호, pp 113-124.
- [2] 이승건, 손경호, 이상의, 황성준, 서정호 (2005). "만타형 수중운동체의 사항시험에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제29권, 제8호, pp679-684.
- [3] Abkowitz, Martin A., "Stability and Motion Control of Ocean Vehicles,"The MIT Press, Cambridge,1969.
- [4] Feldman, J., "DTNSRDC Revised Standard Submarine Equation of Motion,"Report No. DTNSRDC/SPD-0393-09, Washington, D.C., 1979.
- [5] Gertler, M., and Hagen, G. R., "Standard equations of motion for submarine simulations," NSRDC Report No. 2510, 1967.
- [6] Lee Seung-Keon, Sohn Kyoung-Ho, Byun Seung-Woo and Kim Joon-Young (2009). "Modeling and controller design of manta-type unmanned underwater test vehicle", Journal of Mechanical Science and Technology Vol.23 pp 987-990.
- [7] Menozzi A., Gagliardi T.C. and Lyshevski S.E. (2000). "Dynamics and Control of MTV : a Multipurpose Unmanned Underwater Vehicle", Proceedings of the American Control Conference Chicago, Illinois, pp 70-74.



[그림 11] MUUTV의 방향제어 비교

5. 제어실험

설계된 PID제어기의 성능을 검증하기 위한 수심제어 및 방향제어 실험을 실시하였다. 수심제어와 방향제어 실험 모두 시뮬레이션과 동일한 목표 값을 주고 실험을 실시하였다. 그림 10-11에서, 수심제어 시에는 센서입력신호에 전기적인 노이즈가 있어 그래프가 떨리는 것을 볼 수 있으며, 방향제어 실험의 경우는 수조내부에 자장의 영향이 있는 것으로 판단된다.