

해상 시험 결과를 이용한 소형 수중 운동체의 롤 제어기 튜닝

현 철*

LIG 넥스원 M&S 연구센터*

Tuning of Roll Controller for Small AUV Using Field Experiment Results

Chul Hyun*

LIG Nex1 M&S R&D Lab*

Abstract - 본 논문은 고속 주행하는 소형의 수중 운동체의 롤 제어기에 대한 연구를 정리한 결과이다. 모형 PMM 시험의 롤 관련 유체력 계수 값의 오차가 커서 실험 시점에서 시뮬레이션 결과와는 다른 진동현상이 발생하였으나, 시험 결과를 이용한 튜닝과정을 통하여 안정적인 롤 제어 성능을 획득할 수 있었다.

1. 서 론

어뢰 형태의 소형 수중 운동체는 여러 유체력 계수의 불확실성, 연성된 형태의 비선형성과 환경적 외란 등의 이유로, 이에 대한 제어기의 설계는 용이하지 않은 않다[1]. 그러나 일부의 경우, 각 축이 서로 비연성되어 있다고 가정 한 후에, 선형화된 운동 모델을 이용하여 제어기를 설계하고 성공적으로 적용할 수 있었다[2,3,4]. 이러한 비연성과 선형의 가정이 성립된다면, 롤(Roll) 자세가 안정적으로 제어되어야 한다. 고속 주행하는 수중 운동체는 보통 나선형 프로펠러를 통해 추진력을 얻게 되므로, 가정 성립을 위해서는 프로펠러의 회전에 의해 몸체에 강하게 발생하는 횡동요 모멘트[5]를 제어할 수 있어야 한다[6].

수중 운동체의 조종 성능은 선체의 기본 형상과 타의 특성에 의해 대부분 결정된다. 보편적으로 모형을 이용한 PMM 시험의 결과를 이용하여 조종운동방정식의 유체력 미계수를 계산하고 이를 이용하여 운동체의 조종 특성을 구할 수 있다[7]. 그러나 일반적으로 모형 시험을 통해 얻어지는 롤 댐핑과 제어타와 관련된 계수값은 실제 값과 차이가 큰 경우가 많기 때문에, 보다 나은 제어 성능을 얻기 위해서는 실험 결과 결과를 활용하여 롤에 관련된 계수값을 튜닝하는 과정이 필요하다.

2. 본 론

2.1 운동방정식 및 제어기 설계

그림 1에 나타나 있는, 6자유도 운동을 하는 대상 소형 수중 운동체의 일반적인 운동방정식으로부터, 제어기 설계를 위해 비선형 운동방정식을 횡축과 종축으로 나누고, 일정 속도와 심도를 가정한 평형 조건에서의 선형화된 상태공간 방정식은 식(1)과 같다.



〈그림 1〉 대상 소형 수중 운동체

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -40.0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 100.0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_a \quad (1)$$

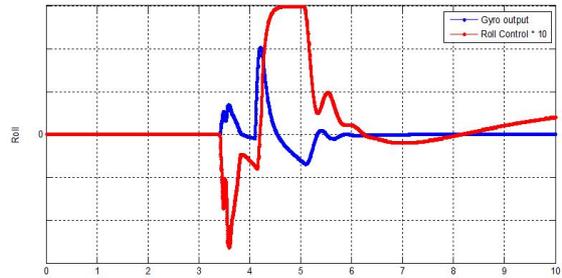
그리고 이에 대한 제어기는 식(2)와 같이 설정하였다. 참고로 본 논문에서는 롤 축에 대한 내용만을 언급하도록 한다.

$$\delta_a = -K_\phi \phi - K_p p \quad (2)$$

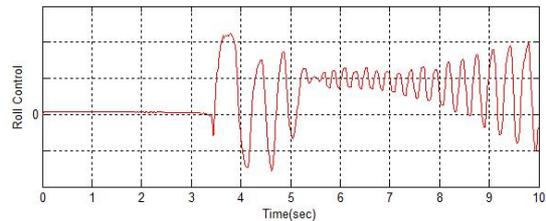
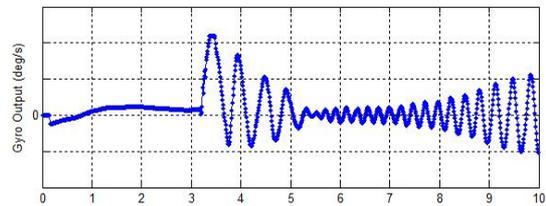
모형 시험을 통해 얻은 롤 댐핑 계수에 대한 시뮬레이션 결과는 다음 그림 2와 같았다.

2.2 실험 시험 결과

실제 해상에서 발사 및 제어 시험을 수행한 결과는 그림 3과 같다. 시뮬레이션과는 다르게 각속도 및 이에 대한 제어타가 주기적으로 진동하는 현상이 발생하였다.



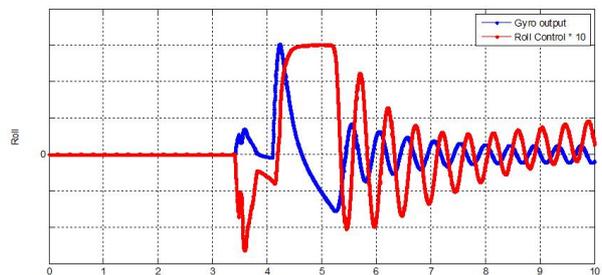
〈그림 2〉 롤 축 시뮬레이션 결과



〈그림 3〉 실험 시험 결과

2.3 롤 계수 튜닝

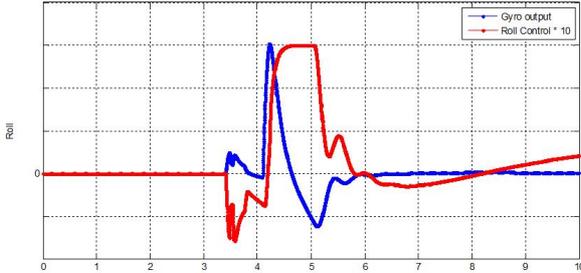
진동이 발생하는 주 원인을 모형 시험의 롤 댐핑 계수의 오차로 판단하고, 해상 시험 결과에 시뮬레이션 결과를 매칭할 수 있도록, 최소자승법(Least Square Method)를 적용하여 롤 계수 튜닝 작업을 수행하였다. 튜닝 작업 결과, 모형시험 결과의 롤 댐핑 계수보다 3배 이상 불안정한 값일 때, 그림 4와 같이 시뮬레이션 결과와 해상 시험 결과가 유사하게 나왔다.



〈그림 4〉 튜닝된 시뮬레이션 결과

2.4 제어기 수정

앞 절에서 튜닝된 롤 계수값은 모형 시험 결과에서 예상되었던 값 보다 더 불안정한 값을 갖기 때문에, 이에 맞는 제어기를 재설계하였다. 빠른 수렴 속도와 작은 평형상태 오차를 얻기 위해 적용되었던 큰 제어 이득은, 불안정한 롤 특성을 보인 해상시험 결과에 맞추어 보다 작은 값으로 설정되었다. 이렇게 얻어진 튜닝된 롤 계수 값과 수정된 제어기를 이용한 시뮬레이션 결과가 그림 5에 정리되어 있다. 수정된 제어기를 사용하면, 롤 축의 특성이 보다 불안정해 졌음에도, 처음 의도했던 시뮬레이션 결과인 그림 2와 거의 유사한 경향의 결과를 얻을 수 있음을 그림 5를 통해서 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 수정 제어기를 적용한 시뮬레이션 결과

3. 결 론

본 논문에서는 고속 주행하는 소형의 수중 운동체의 롤 관련 유체력 계수 튜닝과 이에 대한 제어기 수정 작업을 수행한 결과를 정리하였다. 모형 시험을 통하여 소형 수중 운동체의 조종운동방정식의 유체력 미계수를 추정하여 제어기를 설계하였으나, 해상 시험 결과가 예상과 다르게 나온 것을 확인할 수 있었다. 해상 시험 결과를 이용하여 롤 관련 계수값을 튜닝하였고, 이에 맞는 제어기를 재설계함으로써 진동현상 없이 안정적인 롤 제어 성능을 기대할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Salgado-Jimenez and B. Jouvencel, "Using a High Order Sliding Modes for diving control a torpedo Autonomous Underwater Vehicle", Proc. OCEANS 2003, pp. 934-939, 2003
- [2] B. Jalving, "The NDRE-AUV Flight Control System", IEEE Journal of Oceanic Engineering, IEEE, pp. 497-501, 1994
- [3] T. Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons Ltd., 1994
- [4] C. Hyun, "Decoupled Controller Design of an Autonomous Underwater Vehicle and Performance Test Results", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.19, No.9, pp. 768-773, 2013
- [5] J. C. Song, J. K. Kim, C. W. Park and H. S. Ahn, "Resistance and Propulsion Test of Underwater Vehicle with Pre-twist Angle of Fin", KSME 2011, pp. 2075-2079, 2011
- [6] C. Hyun, "Robust Controller Scheme for Unstable Motion of the High Speed AUV After Launch", Journal of KIIT, Vol.12, No.3, pp. 1-8, 2014
- [7] T. Lee and S. Kwon, "A Study on Practical PMM Test Technique for Ship Maneuverability Using System Identification Method", Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol.16, No.6, pp. 25-31, 2002