

H_∞ 서보제어를 이용한 무인 수중운동체의 심도 및 방향제어기 설계

Depth and Course Controller Design of Autonomous Underwater Vehicles using H_∞ Servo Control

김인수, 정금영*, 양승윤**, 조상훈**, 정찬희**, 이만형***

* 부산대학교 지능기계공학과(Tel: 81-051-510-1456; Fax: 81-051-512-9835 ; E-mail: iskim1@hyowon.pusan.ac.kr)

** 국방과학연구소 2체계-수중탐지부(Tel: 81-055-540-6224; Fax: 81-055-542-3737)

*** 부산대학교 기계공학부(Tel: 81-051-510-2331; Fax: 81-051-512-9835 ; E-mail: mahlee@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstract : In this paper, depth and course controllers of autonomous underwater vehicles using H_∞ servo control are proposed. An H_∞ servo problem is formulated to design the controllers satisfying a robust tracking property with modeling errors and disturbances. The solution of the H_∞ servo problem is as follows: first, this problem is modified as an H_∞ control problem for the generalized plant that includes a reference input mode, and then a sub-optimal solution that satisfies a given performance criteria is calculated by LMI(Linear Matrix Inequality) approach. The H_∞ depth and course controllers are designed to satisfy with the robust stability about the modeling error generated from the perturbation of the hydrodynamic coefficients and the robust tracking property under disturbances(wave force, wave moment, tide). The performances(the robustness to the uncertainties, depth and course tracking properties) of the designed controllers are evaluated with computer simulations, and finally these simulation results show the usefulness and application of the proposed H_∞ depth and course control systems.

Keywords : autonomous underwater vehicles, depth control, course control, H_∞ servo control

1. 서론

무인 수중운동체(autonomous underwater vehicles)의 가장 중요한 기능은 임무 실행동안 인간의 간섭없이 수중운동체가 임무를 자율적으로 수행할 수 있도록 하는 것이다. 무인 수중운동체에는 정찰, 조사, 기만 등의 주어진 임무를 자율적으로 수행하기 위하여 임무계획, 경로 생성/추적, 자동조종장치(autopilot), 항법장치, 장애물 회피장치 등으로 구성되는 자율제어 시스템이 요구된다. 이 중에서도 자동 심도제어기와 자동 방향제어기로 구성되는 자동조종장치는 무인 수중운동체의 자율제어에 있어서 매우 중요한 기능을 가진다. 무인 수중운동체가 수면근처에서 저속으로 항해하는 경우, 해상에서 발생하는 파도와 조류 등에 큰 영향을 받게된다. 또한, 무인 수중운동체의 운동특성은 제어판에 비하여 몸체가 크고, 운항속도가 느려 제어력이 약하기 때문에 운동체의 외부형상에 지배적인 영향을 받는다. 특히, 외부형상의 상하 비대칭으로 인한 유체역학적인 특성 때문에 연직면 운동에서 특히 복잡한 연성효과와 강한 비선형 특성을 나타낸다. 따라서, 무인 수중운동체의 자동 심도 및 방향제어를 위해서는 모델링오차나 파도와 조류 등의 외란에 대하여 견실한 성능을 만족하는 제어기 설계가 필수적으로 요구된다. 견실제어는 모델링오차, 외란 등으로 야기되는 불확실성을 주파수역 가중함수로 근사화하여 평가함수에 포함시킴으로써 정량적으로 불확실성을 고려하는 제어기 설계법[1]으로서, 현재 다수의 응용을 통하여 그 유용성이 확인되고 있다. Williams 등[2]은 견실 H_∞ 제어기법을 이용하여 수중운동체의 다변수 심도제어기를 설계하였고, 최근에 Liceaga-Castro 등[3]은 파도 외란에 대하여 수면근처에서 저속 항해하는 수중운동체의 심도제어기를 μ -합성법을 적용하여 설계하였다. 본 논문에서는 모델식의 비선형성, 유체계수의 불확실한 변동 등으로 인한 모델링오차가 존재하여도 견실안정성

을 보장하고, 파도와 조류 등의 외란이 존재하여도 주어진 항해궤도를 견실하게 추종하도록 하는 무인 수중운동체의 H_∞ 심도 및 방향제어기를 설계하였다. 무인 수중운동체의 심도와 방향에 대한 견실한 명령추종성능을 만족하는 제어기 설계를 위하여, 본 논문에서는 H_∞ 서보문제[4]를 정식화하고 이로부터 H_∞ 서보제어기를 설계하였다. 여기서, H_∞ 서보제어기 설계를 위하여 설정된 플랜트의 일반화 플랜트를 명령입력모드를 포함하는 수정된 일반화 플랜트로 재구성함으로써 H_∞ 서보문제를 H_∞ 제어문제로 전개하였다. 수정된 일반화 플랜트는 H_∞ 제어문제에서 요구되는 표준가정[5]을 만족하지 않으므로 LMI에 기초한 해법[6]을 바탕으로 H_∞ 제어문제의 해를 구하였고, 이 해를 바탕으로 H_∞ 서보제어기를 재구성하였다. 설계된 제어기는 수중운동체의 6 자유도 비선형 모델식으로 구성된 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 평가 분석하였다.

2. 무인 수중운동체의 운동방정식

무인 수중운동체(그림 1)의 운동방정식은 운동체에 작용하는 힘과 모멘트의 관계식으로부터 유도되는 서지(surge) x , 스웨이(sway) y , 히브(heave) z , 롤(roll) ϕ , 피치(pitch) θ , 요(yaw) ψ 의 6 자유도 비선형 운동방정식으로 주어진다. 제어시스템의 설계를 위해서는 단순화된 선형 운동방정식이 필요하며, 6자유도 비선형 운동방정식에서 다음과 같은 가정을 설정하여 무인 수중운동체의 선형 운동방정식을 유도할 수 있다.

- i) 전진방향 속도 u 는 일정하다.
- ii) 롤각 ϕ 는 매우 작은 것으로 가정한다.
- iii) 관성상승적은 무시될 수 있다.