

인공위성의 유연모드 구조물에 대한 동역학 모델링 및 LQG/LTR 제어기 설계

Dynamic Modeling and Design LQG/LTR Controller for the Flexible Satellite Structure

°오경륜*, 채장수**

* 한국항공우주산업(주)(Tel : 81-042-860-2982; Fax : 81-042-860-2977 ; E-mail:bigoh@xmail.kari.re.kr)
 ** 한국항공우주산업(주)(Tel : 81-042-860-2977; Fax : 81-042-860-2977 ; E-mail:jschae@xmail.kari.re.kr)

Abstract : Some of Spacecraft's structures are flexible so that a certain expected disturbance can easily excite a low frequency vibration on these structures, having very low natural damping. Such vibration will degrade the performance of the system, which should to be kept in a specific shape or attitude against the undesired vibration. In this paper, LQG/LTR controller is developed using an additional dynamic model to increase the performance of the frequency responses at low frequency area.

Keywords : LQG/LTR, flexible satellite structure, FEM, TFL

1. 서론

우주 구조물들은 길이에 비해 두께가 얇고, 가벼운 소재로 만들어져 조립되기 때문에 유연성을 가지고 있다. 위성 구조물인 태양 전지판, 안테나 등은 이러한 유연성 때문에 낮은 고유진동수와 감쇠계수를 가지게 되어 동적하중 및 내,외부 교란력에 대해 매우 민감한 반응을 갖게 되고[1-2], 또한 가볍고 거대한 구조물의 유연성은 기계적인 특성 및 열역학적 피로 특성이 좋지 않고, 낮은 진동수 때문에 인공위성의 자세제어 bandwidth 내로 쉽게 떨어질 수가 있기 때문에 시스템의 불안정성을 유발하게 된다.

유연 구조물의 진동제어에 대한 연구는 최근 약 20년 동안 많이 수행되어 왔다. 일반적으로 제어의 여러 분야 중에서 감쇠특성을 이용한 분야는 주로 이산계의 감지기와 작동기를 사용하여 왔다. 그러나 이러한 이산계에서는 제어 및 관측 스펙트럼 문제점이 발생되었고, 이러한 스펙트럼 현상을 해결하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다[3-4]. Lee, et al. 등은 연속체에 대해 압전재료를 이용하여 분포된 감응기 및 작동기를 이용하여 보의 진동제어 적용의 타당성을 밝혔다.

압전재료는 외부 하중인 전압에 비례해서 변형을 일으키는데, 압전재료가 제어 대상인 구조물의 적절한 위치에 부착되어 수축 및 팽창을 유발시켜서 발생된 에너지를 제어력으로 작동시켜 원하는 반응을 얻을 수 있다. 즉, 압전소자가 감지기와 작동기로서 역할을 수행하게 된다.

Bailey, Hubbard는 분포된 매개 변수에 대해 압전재료를 감응기와 작동기를 이용하여 유연 구조물에 대한 능동 제어를 수행하였다.

Crawley, de Luis는 잘 분포된 압전재료를 작동기로 이용하여 이에 대한 이론적 및 실험을 수행하였다. Tzou와 Tseng은 3차원 압전 작동기가 부착된 구조물의 특성을 유한요소법을 이용하여 해석하였으며, Hwang과 Park은 복합재료 고전 적층판이론을 적용하여 압전 감지기와 작동기가 부착된 적층판의 진동제어에 관한 유한요소해석을 수행하였다. 또한 고전 제어기를 이용하여 구조물에 대한 진동억제를 위한 연구가 많이 진행되고 있다.

본 연구의 제어기 구성은 유한요소법을 이용한 구조물 해석결과

를 이용하여 LQG/LTR 제어이론을 이용한 최적제어기를 구성하였다. 극점배치법과 같은 기존의 고전제어기법에서는 주파수 영역 성능이나 안정도-강인성 문제를 설계 시에 직접적으로 고려할 수 없는 단점이 있다. 반면 LQG의 설계는 cost 함수에 포함되어 있는 가중행렬의 선정이 비직접적이고 성능 및 안정도-강인성 문제에 관한 사양들을 설계 시 직접 고려하기 어렵다. 이를 보완하기 위해 1980년대 초 Doyle과 Stein은 선형다변수 제어시스템 설계인 LQG/LTR(Linear Quadratic Gaussian control with Loop Transfer Recovery) 방법을 소개하였다. LQG 설계는 최소제곱오차를 얻는 것임에 반해 LTR은 loop-shaping으로 설계 파라미터 선정에 융통성을 부여한다.

2. 유연보 및 압전재료 모델

유연 보와 압전재료의 상호작용에 따른 모델은 주로 변형도와 변형률 감지기와 작동기로서 사용되는 압전재료 요소의 형상에 의해 결정되어 진다. 본 연구에서는 고려된 압전재료의 공간적인 형상은 Fig.2.1과 같으며, 압전재료가 접합된 유연 보의 형상은 Fig.2.3과 같다. 유연 보의 상하표면에 접착된 압전재료는 각각 뒤먹임 전압에 의해 작동되는 이산형 감지기 역할과 작동기의 역할을 수행한다. 원점좌표 XY는 보의 중립 축에 수평하게 설정된 좌표축이다



Fig 2.1. Flexible beam with piezo (surface)

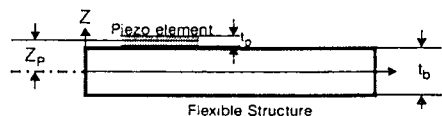


Fig 2.2. Section of flexible beam with piezo