

두 개의 유연 링크 구조물의 조종 및 진동 계측 실험

Experiment on Maneuvering and Vibration Measurement of Flexible Two-Link Structure

곽 문 규† · 최 민 섭‡ · 양 동 호*
Moon K. Kwak, Min-Seop Choi and Dong-Ho Yang

Key Words : Flexible Link Structure(유연링크 구조물), Maneuvering(조종), Vibration(진동)

ABSTRACT

This research is concerned with the validity of a theoretical model that estimates the magnitude of vibration occurring when the flexible two-link structure is activated under control. The structure consists of flexible two-links; the sub link is attached to the end of the main link. The subject is to control flexible two-links and to measure the vibration for each flexible link structure. The result is that the vibration of the main structure affects that of the sub structure, similar to the theoretical outcome.

1. 서 론

회전구조물에 능동진동제어 문제가 본격적으로 논의되기 시작한 것은 인공위성과 우주왕복선의 개발과 더불어 우주 개발이 이루어지던 1970년대부터라고 볼 수 있다. 특히, 우주 공간상에서 인공위성의 위치를 바꾸어야 하는 경우에 인공위성 허브에 부착된 경량 구조물에 진동이 발생할 수밖에 없다. 이와 같은 우주구조물의 자세 제어에는 각도를 제어하는 위치제어와 이동 중과 이동 후에 발생하는 진동의 제어를 포함하고 있다. 경량 우주구조물은 구조물 특성상 진동에 취약할 수밖에 없다. 따라서 경량 구조물에 대한 능동진동제어 방법에 대한 연구가 수행되어 왔다. 대표적인 능동진동제어방법 중 하나가 압전감지기와 압전작동기를 이용하는 것이다.

우주구조물과 같은 구조물이 우주 공간상에서 회

전(slewing)하는 경우에 발생하는 동적 응답을 연구하기 위해 많은 연구자들이 보의 회전에 대한 동적 모델을 연구해 왔다. 그리고 비교적 간단한 한 개의 링크 구조에 대해서는 실험 장치가 많이 소개되었다. 그러나 유연 다물체 구조물 중 유연한 두 개의 링크 구조에 대해서는 실험 결과도 없으며, 이론과 비교된 경우도 없다. 그 이유는 유연 다물체 구조물에 대한 실험이 지상에서 용이하지 않기 때문이다.

본 연구에서는 그 동안의 경험을 바탕으로 두 개의 유연 링크 구조물을 구현할 수 있는 실험장치를 설계 제작하여 조종에 따른 진동계측을 실험하였다. 실험에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 조종을 위한 구동부이다. 두 개의 구조물을 원하는 형태의 조종 제어를 얻기 위하여 각각 AC 서보모터와 RC 서보모터를 이용하여 조종 실험장치를 구성하고 실험을 수행하였다.

2. 동적 모델링 유도

본 연구를 위해 이전 연구에서 유도한 운동 방정식을 이용하였다. 이전 연구에서 우주 공간상의 유연 관절 로봇 시스템에 대한 운동방정식을 부분구조물 합성법을 이용해 유도하였다. 그리고 주구조물과 부 구조물로 이루어진 유연 다물체

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇에너지공학과
E-mail : kwakm@dongguk.edu
Tel : (02) 2260-3705, Fax : 02-2263-9379
‡ 발표자; 동국대학교 대학원 기계공학과
* 동국대학교 대학원 기계공학과

시스템에 대한 동적 모델을 Euler parameter, 준좌표계와 접동법, 부분구조물 합성법을 이용해 유도하였다. 또한, 두 구조물의 피봇 조인트에 한 축을 기준으로 회전이 가능한 레볼루트 조인트를 고려하여 기하학적인 적합조건을 적용해 단일 운동방정식으로 합성하는 방법을 제안하였다. 이와 같이 유도된 방정식은 조종 운동을 묘사하는 0차의 운동방정식과 조종으로 인해 발생하는 미소 진동을 묘사하는 1차의 운동방정식으로 이루어진다.

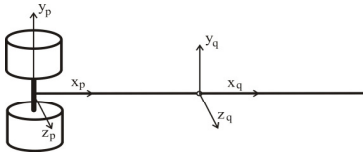


Fig. 1 Flexible spacecraft with elastic appendage

Fig. 1 은 이전 연구에서 고려한 수치모델로써 인공위성 구조물을 허브와 두 개의 보로 표현하였다. 이와 같은 모델에 대해 우주 공간상에서 허브에는 모멘트를 적용하고 보 q 는 보 p 에 대해 회전 운동을 한다고 가정하고 수치해석을 수행하였다. 또한 각 보에는 속도 되먹임 제어기가 작용한다고 가정하였다.

3. 두 개의 유연링크 구조물의 조종

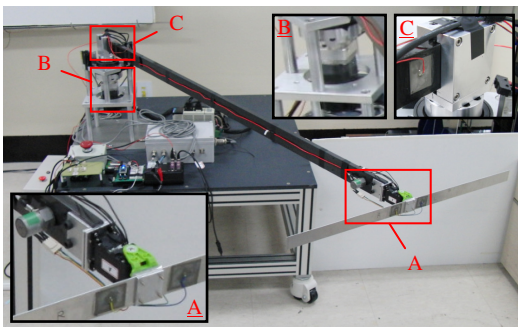


Fig. 2 Experimental setup

본 연구를 위하여 Fig. 2 에서 보이는 바와 같은 Two-Link 유연 구조물을 제작하였다. 주 링크인 보 p 는 복합재료로 이루어져 있으며 이 보의 끝단에 알루미늄 재질의 보 q 가 부착되어 있다.

먼저 주 링크인 보 p 를 회전하기 위해 AC서보모터와 기어박스를 사용하였다. 그리고 보 p 와 q 사

이의 각도제어를 위해서 RC서보모터를 사용하였다. 보 p 의 각도는 AC서보모터의 엔코더를 이용하여 계측하였으며 보 q 의 각도는 RC서보모터의 포텐셔미터를 이용하여 계측하였다. 보 p 의 진동은 압전감지기와 가속도계를 이용하여 계측하였으며 보 q 의 진동은 압전감지기를 이용하여 계측하였다.

4. 진동 계측 실험

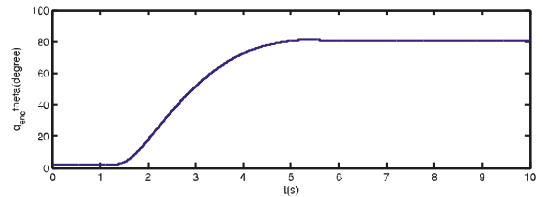
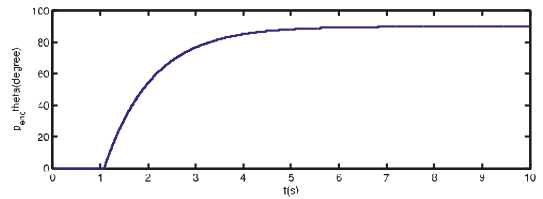


Fig. 3 Rotational angle of p and q beam

Fig. 3 은 약 4초간 AC서보모터를 구동하여 보 p 를 90° 각도로 회전시킴을 보여준다. 이와 동시에 RC서보모터를 구동해 보 q 를 약 4초간 80° 각도로 회전시켰다.

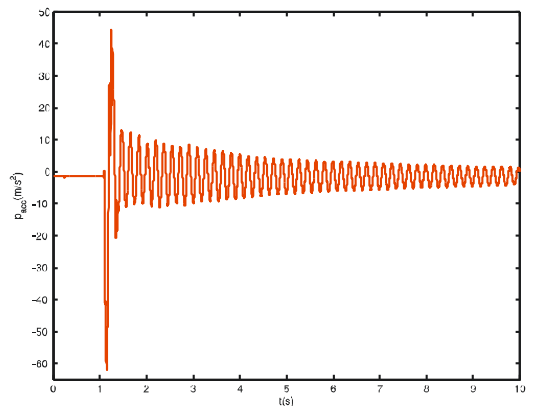


Fig. 4 Acc. sensor output of p beam

Fig. 4와 5 는 두 개의 유연 링크 조종 과정에서 발생하는 진동을 보여준다. 이론에서 예측한 결과와 어느 정도 유사하지만 이론 결과와의 부합성에 대해서는 현재 연구가 진행 중이다.

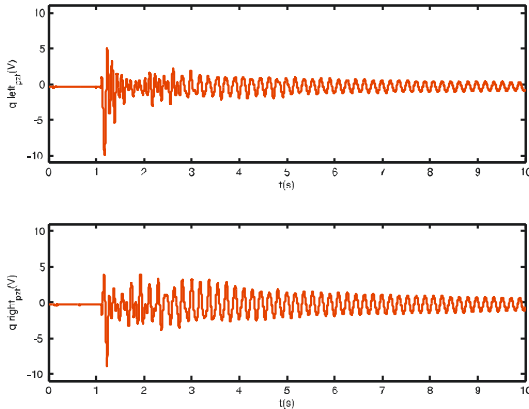


Fig. 5 PZT sensor output of q left and q right

5. 결 론

본 논문은 유연 다물체 구조물의 동적 모델 및 제어 시스템 프로그램에 대한 타당성 검증을 위한 실험 장치의 구성 및 실험 결과를 포함하고 있다. 진동 계측 실험 결과는 이론상의 결과값과 유사하게 주 구조물이 부 구조물의 진동에 영향을 줌을 알 수 있다. 그러나 실험실 환경이 이론에서 고려한 환경을 정확하게 표현하지 못하기 때문에 차이점이 보인다. 보다 정확한 이론 모델의 개발을 위해 추가 실험이 진행 중에 있다.

후 기

본 연구는 한국 연구재단의 “유연 다물체 지능 구조물의 동적 모델링 및 능동진동 제어” 과제 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Garcia, E. and Inman, D. J., 1991, Modeling of the Slewing Control of a Flexible Structure, *Journal of Guidance and Control*, Vol. 14, No. 4, pp. 736~742.
- (2) Denoyer, K. K. and Kwak, M. K., 1996, Dynamic Modeling and Vibration Suppression of a Slewing Structure Utilizing Piezoelectric Sensors and Actuators, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 189, No. 1, pp. 13~31.
- (3) Kwak, M. K. and Nam, S. H., 2001, A Study on the Valid Dynamic Modeling for the Slewing and Vibration Suppression Control of Beam, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*. Vol. 11, No. 2, pp. 292~300.
- (4) Singhose, W. E., Banerjee, A. K. and Seering, W., 1997, Slewing Flexible Spacecraft with Deflectionlimiting Input Shaping, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 21, No. 2, pp. 264~270.
- (5) Gorinevsky, D. and Vukovich, G., 1998, Nonlinear Input Shaping Control of Flexible Spacecraft Reorientation Maneuver, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 21, No. 2, pp. 264~270.
- (6) Yoo, H. H., Ryan, R. R. and Scott, R. A., 1995, Dynamics of Flexible Beams Undergoing Overall Motions, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 181, No. 2, pp. 261~278.
- (7) Yun, S.-H., 2006, Formulations of Linear and Nonlinear Finite Element for Dynamic Flexible Beam, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 23, No. 2, pp. 113~121.
- (8) Rusu, M. S., Grama, L. and Morar, A., 2009, *Acta Electrotehnica*, Vol. 50, No. 2, pp. 159~164.