

# 회전 유연보의 조종 및 진동제어 Maneuvering and Active Vibration Control of Slewing Flexible Beam

양동호\* · 곽문규† · 김기영  
Dong-Ho Yang, Moon.K Kwak and Ki-Young Lee

## 1. 서 론

회전운동을 하는 외팔보 형태의 구조물의 진동 해석이나 제어에 대해서는 그동안 많은 연구가 있었음에도 불구하고 아직도 연구가 진행되고 있는 주제이다. 이는 이 분야 연구의 난해성과 중요성을 간접적으로 증명하고 있는 것이라고 말할 수 있다. 지금까지 이 분야에 대한 연구결과는 정확한 모델링에 관한 논문이 많은 부분을 차지하고 있으며 모델링에 고려되었던 물리적 요인변화에 따른 연구, 모드해석방법과 유한요소법의 적용 등의 수치해석의 방법에 대한 연구이다. 그러나 이러한 해석적 방법이 실험적으로 회전하는 구조물에 대해 직접적으로 계측하여 증명된 문헌은 거의 없는 실정이며, 모델링 방법에 대해서도 일부 논문에서 다루어지고 있다. 그만큼 이 분야에 대한 실험은 실험 그 자체가 매우 까다로우며 특히 회전과 관련된 실험이 매우 어려운 분야라고 말할 수 있을 것이다.

회전 구조물의 능동진동제어 분야가 본격적으로 논의가 되기 시작한 것은 우주산업 인공위성과 우주왕복선의 개발과 더불어 활발하게 우주개발이 이루어지던 1970 년대와 그 때를 같이한다고 볼 수 있다. 우주개발이 진행되면서 우주공간상에서 작업을 해야 하는 경우가 늘어남에 따라 로봇팔을 이용하는 것을 고려하게 되었다. 그러나 지상에서 사용되는 로봇의 팔이 기계적인 진동을 줄이기 위해 상대적으로 큰 무게와 부피를 갖도록 설계가 된 반면에 우주 개발 사업에 있어서는 그러한 무게와 부피를 허용할 수 없었기 때문에

회전하는 구조물의 모델링과 진동제어 문제가 중요한 연구과제로 부각되었다.

선행 연구에서는 회전하는 지능구조물에 대하여 모델링 방법과 실험이 있다. 그러나 DC 모터 제어의 어려움으로 인해 이론과의 비교는 제한적으로 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 BLDC 모터를 이용해 Slewing 을 시도하여 보다 이론과 가까운 실험 환경을 구축하였다.

## 2. Slewing 보의 동적 모델링

회전 유연보를 Euler-Bernoulli 보로 가정하고, 가정 모드법을 도입해 운동 방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$J\ddot{\theta} + C_m\dot{\theta} + \tilde{\Phi}q = T_H \quad (1)$$

$$\tilde{\Phi}^T\ddot{\theta} + M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq = 0 \quad (2)$$

여기서  $\theta$  와  $q$  는 각각 모터축의 회전각도와 탄성변위를 나타내는 일반좌표계를 나타내며,  $J$  는 모터축의 회전질량 관성모멘트와 보로 인한 회전 질량 관성모멘트를 합한 총 회전질량관성 모멘트이다.  $C_m$  과  $C$  는 각각 모터축의 감쇠계수와 보의 감쇠행렬을 나타낸다.  $M$  과  $K$  는 질량행렬과 강성행렬을 나타낸다. 이론적으로 추정이 어려운 항목은  $J, C_m, C$  이다. 본 연구에서는 이들 값을 추정하기 위한 실험을 먼저 수행하였다.

## 3. Slewing 실험 구성

본 연구를 위하여 Fig. 2 에서 보이는 바와 같이 압전감지기와 작동기를 부착한 외팔보를 BLDC 모터에 연결하였다. 모터의 각도는 인코더를 이용하여 계측하였으며 보의 탄성변위는 압전감지기를 이용하여 계측하였다.

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇 에너지 공학화

E-mail : kwakm@dgu.edu

Tel : (02) 2260 - 3705

\* 동국대학교 기계공학과

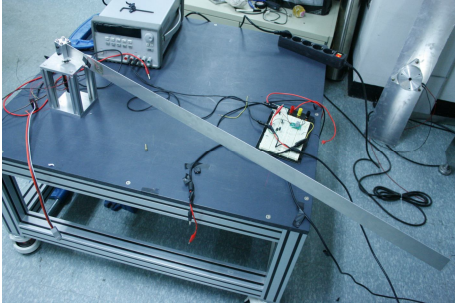


Fig 1. Experimental Setup for Slewing

이론 모델과의 비교를 위해서는 모터축의 회전 질량 관성 모멘트 값이 필요하다. 모터 제조사에서 이와 같은 물성치를 제공하지 않기 때문에 본 연구에서는 간접적인 방법으로 모터축의 회전 질량 관성모멘트를 추정하였다. 이를 위해 모터를 중력 방향으로 세우고 보를 단진자 형태의 운동으로 가진하여 모터축의 회전 각도를 계측하였다. Fig. 2 는 모터축의 각도 계측값을 보여주고 있다. 이 그래프로부터 모터축의 회전 질량 관성 모멘트 값과 감쇠계수를 추산할 예정이다.

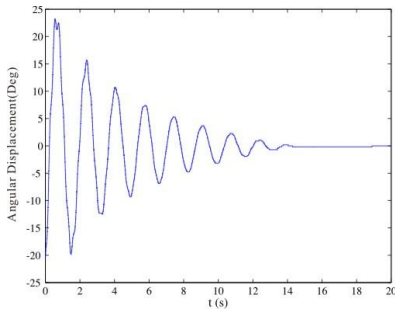


Fig. 2. Time history of angular displacement of motor shaft under pendulum motion

모터와 보의 응답을 살펴보기 위해 Fig. 1 에 보이는 모터에 Fig. 3 와 같은 Bang-Bang 제어력을 적용하였다.

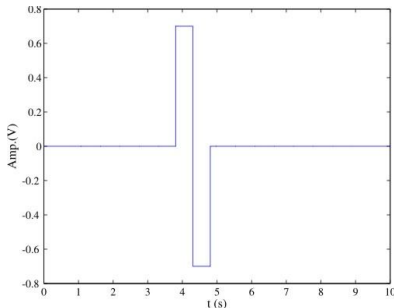


Fig. 3. Bang-bang control input to motor

이론상으로는 이와 같은 Bang-Bang 제어를 무중력 상태의 보에 적용하였을 때 Time-optimal 제어가 되며, 일정 각도에서 멈추게 되어 있다. Fig. 4 와 5 는 각각 Bang-Bang 제어에 대한 모터축의 응답과 보에 부착된 압전 센서의 출력을 보여준다.

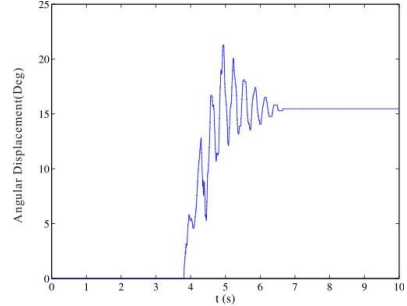


Fig. 4. Time history of angular displacement of motor shaft

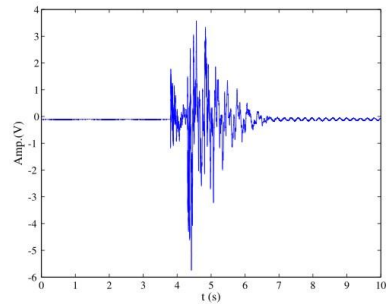


Fig. 5. Time response of hydrophone sensor output

## 4. 결 론

본 논문은 BLDC 모터에 의하여 회전하는 지능구조물에 대한 모델의 타당성 검증을 위한 실험 장치 구성 및 초기 실험 결과를 포함하고 있다. 본 연구에서는 DC 모터에서 발생하는 기어박스 마찰로 인한 문제점을 해결하기 위해 마찰이 적은 BLDC 모터의 사용을 제안하고 실험을 통해 연성 운동이 나타남을 확인하였다. 차후 실험을 통해 추산한 물성치를 이론모델에 대입하여 이론과 실제의 차이점을 분석할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 한국 연구재단의 “유연 다물체 지능 구조물의 동적모델링 및 능동진동 제어”의 일환으로 수행되었습니다.