

# 전개되는 보의 횡방향 진동 저감에 관한 연구

## A Study on Reduction of Transverse Vibration for Deploying Beam

\*임재곤<sup>1</sup>, #홍성욱<sup>2</sup>, 김만달<sup>3</sup>, 범희락<sup>4</sup>

\*J. G. Lim<sup>1</sup>, #S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)<sup>2</sup>, M. D. Kim<sup>3</sup>, H. R. Beom<sup>4</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 기전공학과, <sup>2</sup>금오공과대학교 기계공학부, <sup>3</sup>LIG 넥스원, <sup>4</sup>미래산업(주)

Key words : Deploying beam, Transverse vibration, Vibration reduction, Input shaping

### 1. 서론

대량 생산에서의 생산 효율을 위해 로봇을 사용하여 생산공정을 자동화하는 경우가 많다. 특히 컨베이어 같은 운반장치를 사용하는 공정에서는 제품의 장비 투입 혹은 방향 전환 등의 역할을 담당하는 로봇을 필요로 하게 된다. 이 경우 외팔보의 형태 로봇팔이 매우 유용하게 활용된다. 그러나 외팔보 형태의 로봇팔은 전개되는 과정에서 정적 처짐만 아니라 횡방향 진동이 발생된다. 특히 이와 같은 진동은 길이의 변화로 인해 시변시스템의 특성을 갖게 된다.

본 연구에서는 전개되는 보의 횡진동을 저감하기 위한 방법을 제안하였으며 그 가능성을 검토하였다. 이를 위해 전개되는 보의 횡진동에 관한 단순화된 동적 모델링을 하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 방법이 효과적임을 확인하였다.

### 2. 전개되는 보의 모델링

본 연구의 대상시스템을 Fig. 1에서 보여주고 있다. 그림과 같이 전개되는 보의 횡진동을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 외팔보를 1 자유도 시스템으로 모델링 하였다. 이때 강성은 보의 특성치로부터 계산되며 보의 질량은 집중된 모달 질량으로서 고유진동수와 강성 정보를 통해 계산한다. 보의 강성은 보의 전개에 따라 점차 낮아지게 되며, 고유진동수 또한 감소하게 된다.

이와 같은 시스템에 라그랑지 방법을 적용, 다음과 같은 운동 방정식을 얻을 수 있다.<sup>(2)</sup>

$$m_b \ddot{y} + m_b \frac{\dot{\ell}_b}{\ell_b} \dot{y} + k_b y = 0 \quad (1)$$

여기서, 질량과 강성은 시간의 함수로서 다음과 같다.

$$m_b = 3\rho A \ell_b(t) / \alpha^4 \quad (2.a)$$

$$k_b = 3EI / \ell_b(t)^3 \quad (2.b)$$

또,  $\alpha = 1.875$  이며  $\dot{\ell}_b(t) = V$  로 전개되는 속도이다.

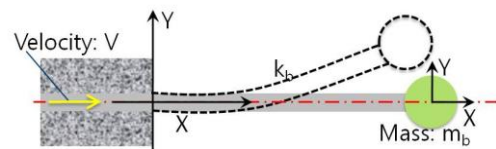


Fig. 1 Schematic of deploying modal mass model

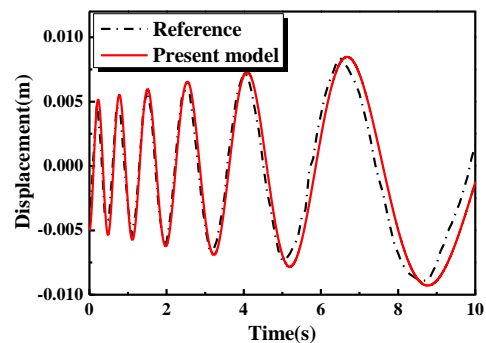


Fig. 2 Comparison of lateral vibration simulation and reference data

Fig. 2 는 참고문헌<sup>(1)</sup>의 데이터와 운동방정식 (1)을 이용하여 시뮬레이션 한 결과를 비교하였다. 보의 재질은 알루미늄이고, 보의 초기 길이  $L_0 = 1.8m$ ,  $V = 0.5m/s$ , 전개시간 10 초, 단면적을  $0.152 \times 0.0095m^2$  로 두었다. 또, 보 끝단의 초기처짐은  $-5mm$  로 하였다. Fig. 2 를 통해 본 연구에서의 시뮬레이션 결과와 참고문헌의 데이터가 잘 일치하고 있음을 확인 할 수 있다.

### 3. 진동저감방법 및 적용

#### 3.1 입력성형기법

입력성형기법(Input Shaping Method)은 이송 기구의 출발 정지나 속도를 조절함에 있어 가감속을 한 단계로 실행하는 것이 아니라 입출력 특성에 근거하여 여러 단계로 나눔으로서 자체의 입력에 의한 진동 상쇄효과를 얻을 수 있도록 하는 것이다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 전개되는 보의 횡방향 진동 저감을 위해 입력성형기법을 적용 하였다.

#### 3.2 진동저감 시뮬레이션

대표적인 입력성형기인 ZV(Zero Vibration) 입력성형기를 적용하면 보가 전개되며 특성이 변화하는 시변시스템이므로 고유진동수 오차에 민감하여 우수한 진동저감 효과를 얻기 어렵다. 본 연구에서는 시변시스템의 특성을 고려하여 고유진동수 오차 민감도가 낮아 보다 넓은 주파수 영역에서 적용이 가능한 ZVD(Zero Vibration Derivative)와 ZVDD (Zero Vibration Double Derivative) 도 적용하여 비교하였다.

시뮬레이션에서는 진동저감효과가 크게 나타나도록 모델을 선정하였으며, 전개되는 로봇 팔의 길이를  $2.5m$ , 가감속 시간을  $0.1$  초, 등속 구간을  $5$  초, 초기길이  $L_0 = 0.1m$ 로 하였다. 그러나 초기변위, 단면적, 속도는 앞절의 예제와 동일하게 하였다.

본 예제에서는 실제적인 운전조건을 고려한 가감속 구간이 있으며, 전체 속도변화에 대해 입력성형을 실시하여 실제 시스템에 인가하는 것으로 하였다. Fig. 3 에서 입력성형 전후의 보 끝단 진동응답을 보여주고 있다.

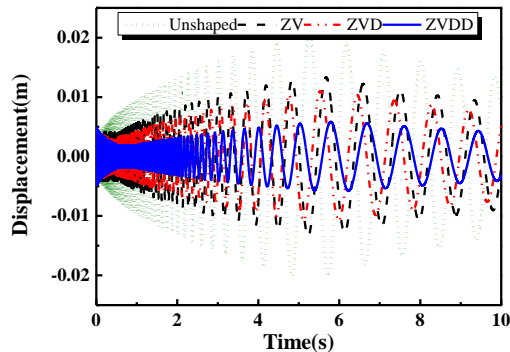


Fig. 3 Simulation result with input shaper change

보의 동특성이 시간에 따라 비교적 빠르게 변화하게 되어 입력성형에 의한 진동저감 효과가 다소 제한적으로 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그러나 고유진동수 변화에 둔감한 입력성형기를 채용하게 되면 다소 개선된 효과를 볼 수 있음을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 전개되는 보의 횡진동 저감을 위해 입력성형기법을 적용하였다. 보의 길이변화에 따라 시스템 특성이 변하는 시변특성이 있으므로 입력성형기법을 적용함에 있어 강한 성형기를 적용하여 진동저감효과를 개선할 수 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 산업핵심기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Chang, J. R., et al., "Vibration and Stability of Axially Moving Rayleigh Beam," Applied Mathematical Modelling Vol. 34, 6, 1482~1497, 2010
2. Imanishi, E., and Sugano, N., "Vibration Control of Cantilever Beams Moving Along The Axial Direction," JSME International Journal, Vol.34, 2, 527-532, 2003.
3. Singhose, W. and Seering, W., Command Generation for Dynamic System, Lulu.com, 2007