

이동하중에 의한 베이스구조물 진동 억제 방법에 관한 연구

Vibration Reduction of Base Structure Due to Moving Load

*이재선¹, 배규현¹, 김병준², #홍성욱²

*J. S. Lee¹, G. H. Bae¹, B. J. Kim², #S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)²

¹ 금오공과대학교 대학원, ² 금오공과대학교 기계공학부

Key words : Input shaping, Moving Load, Base Structure, Residual Vibration, Convolution, Natural Frequency

1. 서론

제품 또는 부품을 제작하는 과정에서 컨베이어나 반송기 등을 통해 생산장치간의 이송을 하는 경우가 많다. 예를 들어 LCD 생산공정에서 생산하는 장치는 패널의 대형화에 의해 그 크기가 대형화되고 있으며 패널의 이송을 위해 장치간 이송을 컨베이어에 의존하는 추세이다.

지금까지 이송장치 자체의 진동을 제거하기 위한 연구는 널리 진행되어 왔다. 그러나 이를 지지하는 구조물의 진동에 대한 문제는 많이 취급되지 않았다. 장기간 이송중에 발생하는 진동은 생산에서의 효율성에 문제가 될 수 있다. 정밀가공장비들은 비교적 큰 중량의 베이스 구조물 위에 설치되어 사용된다. 베이스를 지지하기 위해 구조에 비하여 작은 강성으로 지지하여 진동을 절연하고자 하는 경우가 대부분이다.

Fig. 1 과 같이 평면 위에 이송하는 장치들의 경우 이송체와 이송대상물의 하중이 이송방향으로 이동하거나 정지하면서 베이스구조물에 진동을 야기시킨다. 이와 같은 이동하중에 의한 진동은 제품에 직접적인 손상이나 작업 정밀도를 저하시키는 않으나 후공정으로 이송하고자 할 때에는 베이스의 잔류진동이 소멸될 때까지 기다리는 등 지연을 발생시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 입력성형기법을 이용하여 진동을 제거하는 방법을 논의하였다.

최근 스테이지의 잔류진동 제거를 위하여 입력성형기법을 이용한 연구가 많이 진행되어 왔고, 우수한 효과가 입증되어왔다.^[1-3] 본 연구에서는 이동체의 하중에 의하여 발생하는 베이스구조물의 진동제거에 입력성형기법을 적용하는 방법을 연구하였다.



Fig. 1 A LCD manufacturing system with a XY positioning stage

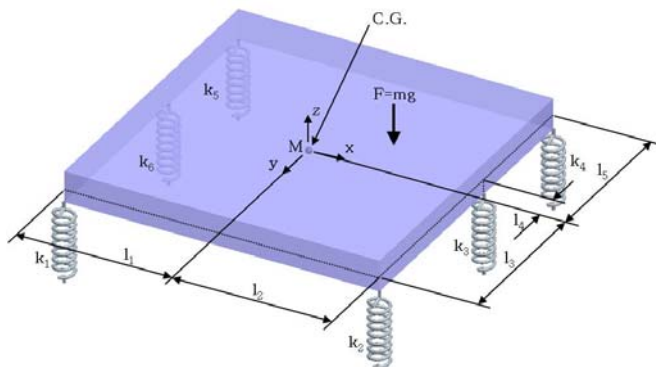


Fig. 2 System model

2. 모델링 및 동특성 해석

시스템을 Fig. 2 와 같이 모델링하였다. 베이스 위를 이동하는 이동물체를 이동하중으로 모델링하였다. 모델링에 다음과 같은 가정을 도입하였다. 이동물체는 베이스와 접촉을 계속 유지하며, 기울어짐 등에 의한 무게중심의 변화는 무시하였다. 또한 이동물체의 이동효과만을 고려하여 XY 축 방향으로 변위가 없다고 가정하였고, 따라서 이송물체를 이송하기 위한 이송력이나 이에 대한 마찰력은 고려하지 않았다.

시스템의 운동을 Z, θ_x , θ_y 의 3 자유도로 모델링하였고 운동방정식을 유도하였다. 시스템의 감쇠는 고려하지 않았다.

시뮬레이션을 위해 실제 시스템의 물성치를 고려하였다. Table 1 은 시뮬레이션에 사용된 질량, 관성과 강성을 정리하였다. 이와 같은 시스템의 고유진동수는 다음과 같다.

$$f = [1.1996, 1.8205, 2.0699] \text{ (Hz)}$$

Table 1 System parameter

parameter	Value	Parameter	Value
M(base mass)	22000 [kg]	m_y (moving mass)	150 [kg]
m_x (moving mass)	600 [kg]	l_1	1.95 [m]
J_x	1.59E+4 [kg*m ²]	l_2	1.95 [m]
J_y	2.81E+4 [kg*m ²]	l_3	1.59 [m]
$J_{xy}=J_{yx}$	0	l_4	0
$k_i(i=1,2,3,4,5,6)$	2.1 E+5 [N/m]	l_5	1.57 [m]

3. 시스템 응답해석

이동하중에 의한 장비의 진동을 이해하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 여기서는 실제 장비의 동작을 고려하여 이송체가 xy 방향을 순차적으로 이동하는 상황을 해석하였다. 물체가 x 방향과 y 방향으로 이동할 때 서로 다른 질량차가 이송하게 된다. 즉, 대상물체의 x 축 이송을 위해 x 축으로 이동하는 질량과, y 축 이송을 위해 y 축으로 이동하는 질량이 서로 다르게 된다. 이러한 경우, 입력으로 주고자 하는 이송하중의 변위는 실제 대상물체의 이동경로가 아니라, 이송시스템의 질량중심의 이동경로로 두어야 한다.

x 방향과 y 방향을 연속적으로 이송하기 위해 Fig. 3 과 같은 입력을 적용하였다. 이에 대한 응답을 Fig. 4 에 나타내었다. 무게중심 위치에서의 수직변위는 비교적 작은 것을 볼 수 있다. x 방향의 운동은 y 방향 각변위를 일으키고, y 방향의 운동은 x 방향 각변위를 일으킴을 볼 수 있다.

이동하중에 의한 진동을 비교하기 위하여 끝점들을 선택하여 점들의 z 축방향의 크기를 나타내어 비교하여 보았다. 각변위를 이용하여 스프링이 위치한 지점에 대한 진동 변위를 계산하였으며 Fig. 5 에서 확인할 수 있다. 기존의 θ_x , θ_y 를 z 축 방향의 변위로 변환하였을 경우 무게중심 위치에서의 순수 z 축 방향의 변위보다 θ_x , θ_y 에 의해 발생하는 z 축 변위가 훨씬 큰 영향을 주게 됨을 알 수 있다. 응답의 뒷부분에서는 비팅(beat)현상을 볼 수 있는데, 이는 두 개의 고유진동수가 인접해있기 때문에 발생하는 현상이다.

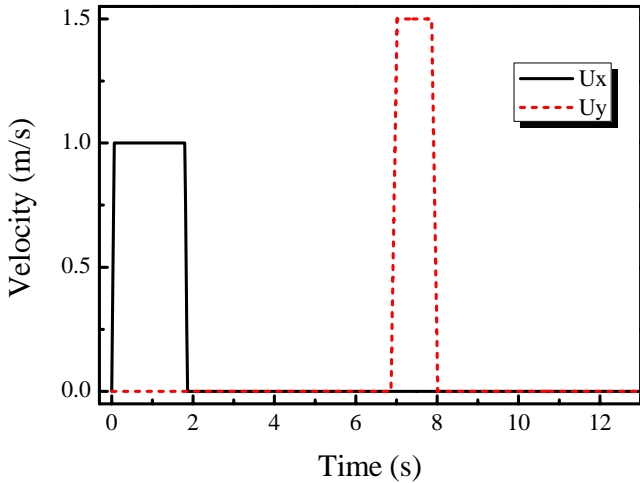


Fig. 3 Command velocity profile

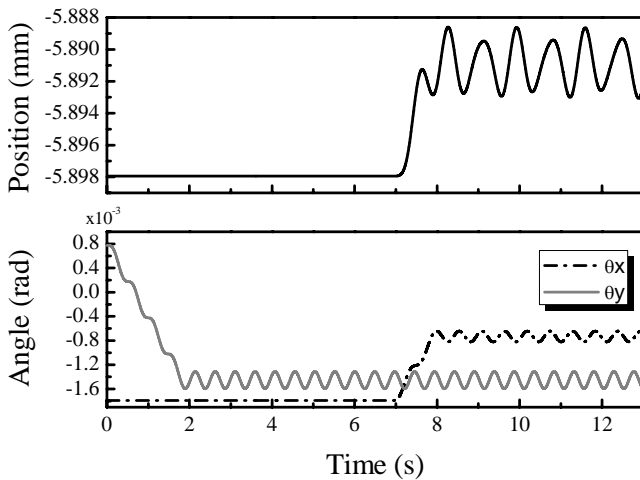


Fig. 4 Vibration at mass center position due to x-y movement

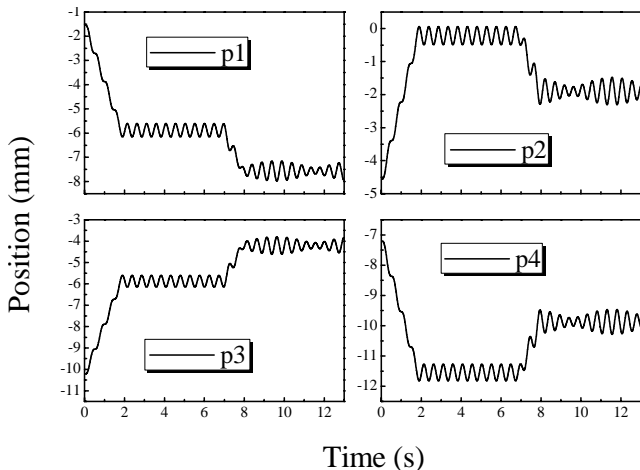


Fig. 5 Displacements at spring locations due to x-y movement

4. 입력성형기법적용을 통한 진동제거

여러 모드에 의한 잔류진동을 제거하고자 할 때는 각각의 입력성형기를 설계한 후 컨벌루션(Convolution)을 수행하여 만들어진 입력성형기를 적용하는 방법을 사용한다. 컨벌루션 입력성형기의 지속시간은 각 모드 별 입력성형기 지속시간의 전체 합과 같다. 그러나 고려할 모드가 증가함에 따라 지속시간이 증가하는 문제점이 발생한다. 다모드 방법의 지속시간의 감소는 다모드 입력성형기 설계법을 통하여 가능하다.^[4-5] 기존 컨벌루션 입력성형기와 다모드 입력성형기의 지속시간 차이는 0.1786s 이며 19.1%의 향상이 되었다. 이보다 지속시간을 감소시키고자 한다면 임펄스의 크기가 과다하게 증가하여 실제입력에 포화가 발생할 가능

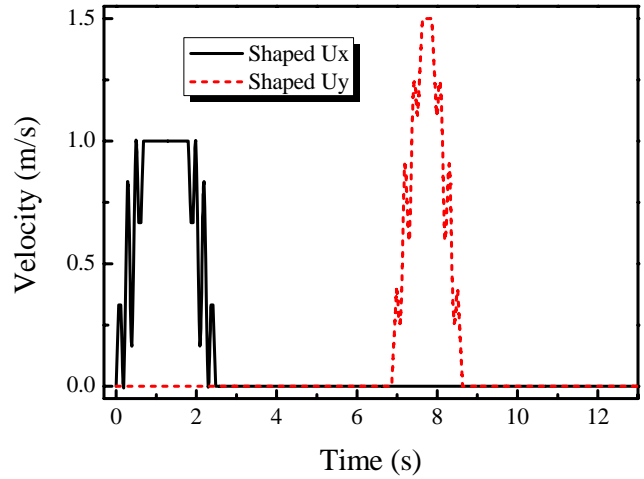


Fig. 7 Shaped command velocity profile

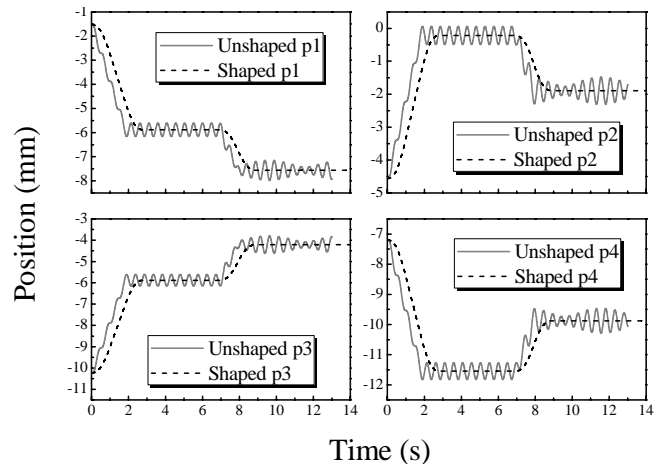


Fig. 8 Comparison of vibrations at spring locations due to x-y movement with and without input shaping

성이 있다. Fig. 7에 성형된 입력을 보여주고 있으며, Fig. 8에 입력성형기 적용 전 후의 응답을 비교하였다. 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 입력성형기 적용에 의해 잔류진동을 제거할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 베이스 구조물의 진동을 제거하기 위하여 이동체의 이송에 입력성형기법을 적용하여 보았다. 진동을 억제하기 위하여 다모드의 입력성형기법을 적용하여 효과적으로 잔류진동을 제거할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Singhose, W. and Seering, W., "Command Generation for Dynamic System," Lulu.com, 2007.
2. Hong, S.W., Park, S.W. and Singhose, W., "Input Shaping for Vibration Reduction in Precise Positioning System," Journal of KSPE, Vol.25, No.4, 26~31, 2008.
3. Jang, J.W., Park, S.W., Hong, S.W., "Command Generation Method for High-Speed and Precise Positioning of Positioning Stage," J.of KSPE, Vol.25, No.10, 122~129, 2008.
4. Jang, J.W., Park, S.W., Seo, Y.G., Hong, S.W., "A Study on Virtual-Mode Input Shaper for Precise Positioning of Positioning Stage," Proc. of the KSMTE Spring Conference, 103~107, 2008.
5. Hong, S. W., Park, S. W. and Danielson, J., "A New Method for Manufacturing Machine Vibration Reduction Using Multi-mode Input Shapers," Proc. of the 2008 International Symposium on Flexible Automation, Atlanta, GA, USA, 2008.