

Linear stage의 진동 특성 연구

김병찬¹, *이문석², 박영진³

^{1,2,3} 한국과학기술원 기계공학과

A Study on Vibration Characteristics of the Linear stage for CCD

Byoungchan Kim¹, Moonseok .Lee² Youngjin Park³

^{1,2,3} Dept. of Mech. Eng. KAIST

Key words : Stage, vibration

1. 서론

본 연구는 CCM(Compact Camera Module) 생산 라인에 사용하게 될 XYθ stage에 대한 진동 특성에 관심을 두고 있다. CCM 제조 공정 장비는 μm 단위 레벨의 고정밀도를 요하므로 XYθ stage의 구동 시 발생하는 진동은 공정 시 정밀도를 떨어뜨릴 수 있으며, 제조품의 미세한 오차를 발생시킬 수 있다. 그러므로 만일 stage의 구동에 의해 진동이 크게 유발된다면, 이를 저감하기 위한 설계 변경이 필요하게 된다. XYθ stage가 정밀 공정에 적합한지를 판단하기 위해서는 우선 진동 레벨이 어느 정도로 발생할지를 평가할 필요가 있다. 또한 stage의 가동에 의한 진동 현상이 어떤 원인에 의해서 발생하는지를 알기 위해서 linear motor에 의한 가진 입력 특성과 stage의 동특성을 관찰할 필요가 있다. 본 연구에서는 XYθ stage가 아직 개발단계이므로, XYθ stage의 기본 형태인 단축 stage에 대해 미리 예비 실험을 수행하고, 이를 평가하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 단축 stage를 보여주고 있다. 또한 본 XYθ stage 정량적인 진동 목표는 X, Y 방향으로 진동 레벨이 ±1μm이다. 이는 제품 제조 시 필요한 정밀도에 의해 정해진다.

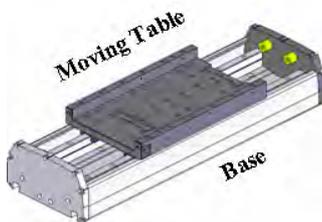


Fig.1 단축 stage

2. 진동 실험 설정

본 실험에서는 진동의 가속도, 속도, 변위를 측정하기 위하여 가속도계와 LDV (Laser Doppler Velocimeter)를 사용하였으며, 단 변위는 LDV controller box 자체 내에서 적분된 신호를 사용하였다. 측정 위치와 방향은 Fig. 2에서와 같이 moving table 위에서 z 방향으로 9곳에서 가속도, 속도, 변위를 측정했으며, x, y 방향의 경우는 측정 위치의 특성상 가속도만을 측정하였다. 그러므로 x, y 방향에 대한 변위는 가속도를 두 번 적분함으로써 구했다. 또한 XYθ stage는 비대칭 적층 구조를 갖는다. 그러므로 단축 stage를 이용하여 이런 조건을 재현하기 위하여 그림 Fig. 3과 같이 두 가지 설치 조건을 주어 측정하였다. (a)는 지면에 완전 고정된 X stage를 가정한 설치 조건이며, (b)는 Y stage 위의 θ stage가 Y stage의 한 쪽 방향으로 이동한 상태, 즉 비대칭 구조를 가정한 설치 조건이다.

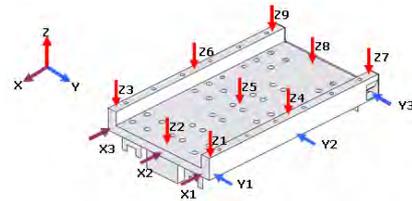
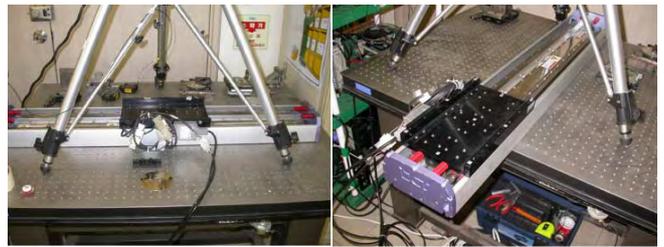


Fig. 2 moving table 위의 측정 위치



(a) (b) Fig.3 단축 stage의 설치 조건

Fig.3 단축 stage의 설치 조건

(a) X stage를 가정한 설치 조건

(b) Y stage를 가정한 설치 조건

2. 진동 레벨 평가

Fig. 4는 z 방향에 대해서 LDV로 측정된 변위의 주파수 특성을 보여준다. 그림에서와 같이 stage가 가동, 비가동 중일 때 모두 저주파 성분을 포함하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 공압 체진대의 특성상 저주파수 대역에서의 체진효과가 떨어져 생긴 현상으로 이는 실제 단축 stage의 진동 특성과 무관하다. 그러므로 이를 high-pass filter를 통해 filtering하였다.

또한 x, y 방향의 경우 측정 위치상 LDV로 변위를 측정할 수 없었다. 그러므로 x, y 방향의 가속도를 측정하고, 이를 주파수 영역에서 수치적으로 두 번 적분함으로써 각각의 변위를 구하였다. 이 결과가 타당한지를 보기 위하여 Fig. 5와 같이 z 방향의 가속도로부터 얻은 변위레벨을 LDV로 측정된 변위레벨과 비교하였다. 두 결과의 rms값이나 peak 레벨이 거의 유사하다는 점을 볼 때, 가속도로부터 유도한 변위 레벨이 타당하다는 것을 알 수 있다.

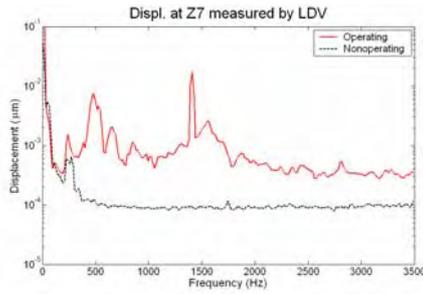


Fig. 4 LDV로 측정된 z 방향 변위의 주파수 특성

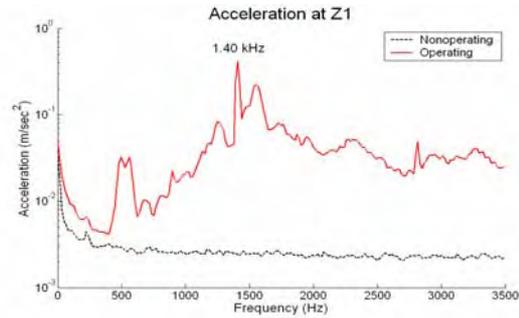


Fig. 7 단축 stage 운동부의 동특성

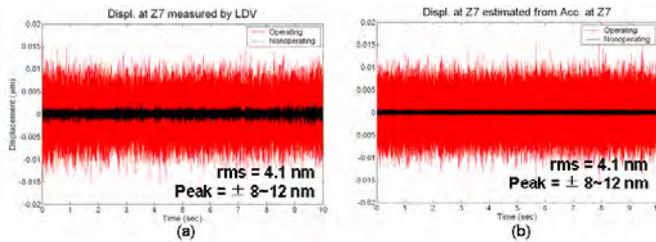


Fig. 5 Z7 위치에서의 진동 레벨
(a) LDV로 측정된 변위 레벨
(b) 가속도로부터 유도된 변위 레벨

단축 stage가 구동할 때 발생하는 각 방향의 최대 변위레벨을 평가해 보면 다음과 같다. z 방향의 경우 peak값이 $\pm 8\sim 12\text{nm}$, x 방향의 경우 $\pm 10\sim 15\text{nm}$, y 방향의 경우 $\pm 5\sim 6\text{nm}$ 정도로 발생한다. x 방향이 다른 방향들에 비해서 좀 더 큰 진폭을 보이는 이유는 z, y 방향으로는 linear guide에 의해 구속되어 있는 반면, x 방향은 moving table가 왕복 운동하는 방향이기 때문에 그만큼 구속조건이 약하다.

4. 단축 stage의 moving table 동특성과 가진 입력 특성

구조물의 진동 문제는 구조물의 동특성과 가진 입력 특성이 연관되어 발생할 수 있다. 이를 파악하기 위해 moving table의 동특성을 유한요소해석을 통해 살펴보았다. 유한요소모델의 경계조건은 moving table과 linear guide block 사이의 볼트 체결 부위들을 6자유도 모두 고정시켰다. Fig. 6는 이와 같은 경계조건을 가질 때의 첫 번째와 두 번째 모드를 보여주고 있다. 첫 번째 모드는 3.1kHz이며, 두 번째 모드는 3.3kHz인 것을 볼 수 있다. 이와 같은 고유진동수는 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 모터에 의한 주 가진 주파수 성분인 1.4 kHz보다 크다. 이를 통해 이 단축 stage의 경우는 모터의 가진 입력에 의한 구조체의 공진 현상은 야기되지 않음을 알 수 있다.

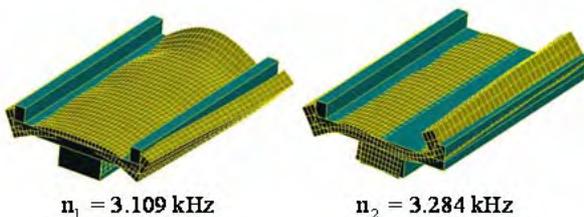


Fig. 6 단축 stage 운동부의 동특성

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서 예비 실험으로 채택한 단축 stage의 경우는 앞에서 제시된 목표치를 모두 만족함을 알 수 있다. 하지만, 이는 실제 개발될 XYθ stage의 기본적인 형태를 취하지만, 차이를 가지게 된다.

먼저 단축 stage에 추가될 Yθ stage는 추가로 두 개의 motor를 가지고 있기 때문에, 다중 입력을 가지고 있다. 또한 현재 linear motor는 구조물의 공진을 일으키지 않지만, XYθ stage는 질량이 증가하므로, 구조물의 고유진동수가 낮아지게 된다. 이로 인해 고유 진동수가 가진 주파수에 근접하여 구조물의 공진을 유발시킬 수 있다. 앞으로는 이에 따른 진동 문제 확인 및 문제 해결을 수행해야 한다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 중기거점과제("CCM 인라인 조립장비 개발") 사업으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. D.E. Ewins, "Modal Testing : Theory, Practice and Application 2nd Edition", Research Studies Press LTD.
2. J.S. Bendat and A.G. Piersol, "Random Data Analysis and Measurement Procedures 3rd Edition", John Wiley & Sons Inc.
3. Sangbo Han, "Retrieving the Time History of Displacement from Measured Acceleration Signal", KSME International Journal, Vol. 17 No. 2, pp 197~206, 2003