

XY 스테이지의 고속 정밀 위치결정을 위한 입력성형명령 생성 기법에 관한 연구

A Study on Input Shaping Command Generation Method for High-Speed and Precise Positioning of XY Stage

*장준원¹, 박상원¹, #홍성욱²

*J.W. Jang¹, S.W. Park¹, #S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)²

¹ 금오공과대학교 기전공학과, ² 금오공과대학교 기계공학과

Key words : Input Shaping, XY Stage, Position error, Settling time, Laser interferometer

1. 서론

현대 산업에서 고속 정밀 위치결정에 대한 요구가 증가함으로 인해 이송시스템이 가지는 기계적인 한계를 극복해야 하는 상황이 많이 발생되고 있다. 서보 시스템으로 구성된 XY 스테이지는 고속 정밀 위치결정이 요구되는 반도체 및 LCD 등과 같은 제조공정에서 아주 중요한 요소이다. XY 스테이지를 사용함에 있어 고속 정밀 이송에 가장 크게 영향을 미치는 것이 이송 중 또는 정지 시 발생하는 잔류진동이다. 이와 같은 잔류진동을 제거에 입력성형기법(Input Shaping Method)이 효과적인 것으로 잘 알려져 있다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 대부분의 입력성형기법은 이송속도 변동에 초점을 맞추고 있으며 입력성형시 이송계의 정밀도에 관한 연구는 찾기 어렵다. 본 연구에서는 입력성형기법을 이용하여 이송 중 또는 정지 시 발생하는 잔류진동을 제거하면서 또한 정밀 위치결정을 할 수 있도록 입력성형명령을 생성하는 방법에 대해 논의하였다.

입력성형기법을 적용하는데 있어 이동경로를 알고 있는 경우와 그렇지 못한 경우로 구분할 수 있는데⁽⁴⁾ 이동경로가 정해지지 않은 경우는 작업자에 의해 임의의 입력을 통해 동작하는 것으로 실시간으로 명령을 생성 하여야 한다. 이때는 위치결정을 위한 직접적인 방법을 적용하기 곤란하다. 반면, 이미 이동경로를 알고 있다면 동작 명령을 입력하기 전에 미리 위치에 관한 정보를 고려하여 명령을 생성함으로써 원하는 경로로 이동할 수 있다. 본 연구에서는 XY 스테이지에서 지정된 위치로 이동하는 경우를 위해 입력성형명령을 생성하기 위한 기법을 개발하였다. 개발된 기법을 실제 시스템에 적용하여 그 우수성을 확인하였다.

2. 실험장치

Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 실험장치를 간략히 나타낸 것이다. 실험장치의 구성은 산업 전반에서 널리 사용되고 있는 XY 스테이지와 각 축을 구동하기 위한 서보모터(Servo Motor)로 되어있다. 또한 XY 스테이지의 작업 테이블(Working Table)에는 실제 반도체와 LCD 공정을 고려한 적당한 질량이 부착되어 있다.

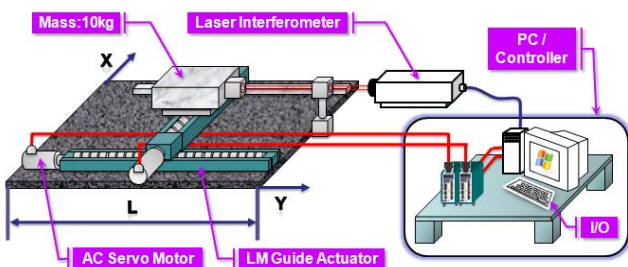


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

본 연구에 사용된 이 질량의 무게는 10kg 이다. XY 스테이지는 어두운 화강암 석정판 위에 고정되어 있으며, 모션 컨트롤러는 COMIZOA 컨트롤러를 사용하였다. 각 축의 위치 정밀도는 레이저 간섭계(HP 5529A)를 이용하여 측정하였다. 서보계의 제어는 준폐루프(Semi-Closed Loop) 방식이다. 서보 모터와의 제어 모드는 위치로 설정이 되어있다. 또한 운동에 관련된 데이터 및 모든 특성 변수(속도, 가속도, 위치 등)가 실시간으로 모니터링이 되도록 소프트웨어를 개발하였다.

3. 입력성형기법에서의 위치결정

3.1 위치결정을 위한 입력성형기법

입력성형명령의 생성에 있어 필요한 요소들은 기준명령의 속도, 가속 및 감속시간, 이동거리 그리고 컨벌루션을 위한 임펄스(Impulse)의 크기와 임펄스 사이의 시간간격 등이다. 서보모터에 속도명령을 주고 그 명령에 의한 속도프로파일을 얻을 수 있는 경우, 주어진 명령에 의한 최종 위치는 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad (1)$$

여기에서 S 는 입력명령에 의해 도달하게 되는 최종 위치를 의미하며, $v(t)$ 는 속도를 t_1, t_2 는 시작시간과 종료시간을 각각 의미한다. 주어진 입력명령에 입력성형기법을 적용하게 되면 속도프로파일이 변경되며, 시작시간과 종료시간 또한 변경되지만 식(1)로 표현되는 최종위치에는 영향을 미치지 않으므로 이론적으로 동일한 위치에서 정지하게 된다. Fig. 2 는 입력성형기법 중 ZV(Zero Vibration)⁽¹⁾를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 위치결정을 위한 기준명령에 대한 속도 프로파일을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 입력성형기법을 적용하기 전과 후의 속도프로파일에 차이가 있지만 프로파일로 둘러싸인 면적은 동일함을 알 수 있다. 따라서 주어진 입력들은 모두 주어진 시스템이 동일한 위치에 정지하도록 하게 된다.

본 연구에서는 ZV 입력성형기법 적용 시 속도프로파일을 총 일곱개의 구간으로 구분하였으며, 각 구간별 이동거리를 계산하여 이를 합산함으로써 이동거리를 계산하도록 하였다. 여기서 나누어진 구간은 기준명령(Reference Command)에 대해 입력성형기(Input Shaper)를 컨벌루션한 결과로 얻을 수 있다. 그리고 계산된 각 구간에 대해 룩업 테이블(Look-Up Table)을 생성하여 실제 모터제어를 위해 사용하였다. 이렇게 함으로써 각 구간별 명령실행으로 인한 시간지연(Time Delay) 현상을 무시할 수 있다.

Fig. 2 는 본 연구에서 생성된 룩업테이블을 기준으로 시스템의 입력성형미적용의 경우와 두가지 서로 다른 고유진동수에 대한 성형된 입력명령을 비교해서 보여준 것이다. 여기서 사용된 ZV 입력성형기의 임펄스(A_1, A_2)의 크기는 모두 0.5 이다.

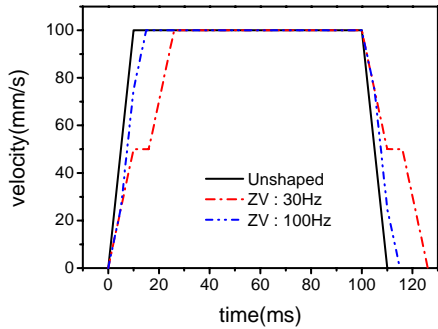


Fig. 2 Comparison of the velocity profiles for unshaped and shaped commands.

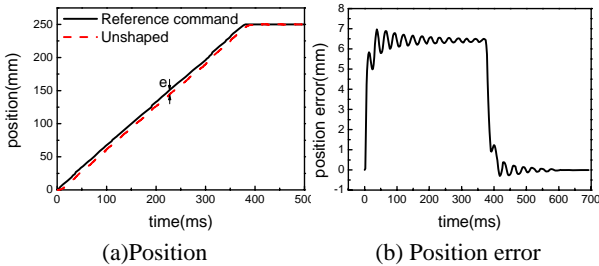


Fig. 3 Position and position error without input shaping.

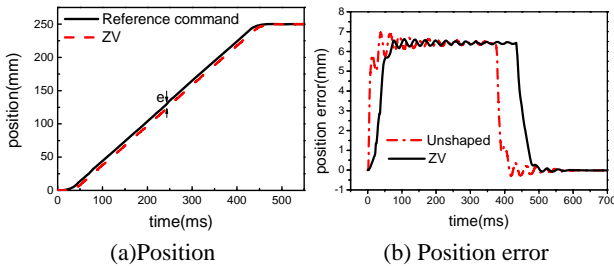


Fig. 4 Position and position error with input shaping, and comparison position errors with and without input shaping.

3.2 위치오차 측정

Fig. 3(a)와 Fig. 4(a)는 각각 입력성형기법을 적용하지 않은 경우와 입력성형기법을 적용한 경우에 위치결정을 위해 입력한 기준명령과 실제 XY 스테이지의 위치 응답을 나타낸 것이다. XY 스테이지의 위치 응답을 획득하기 위해 본 연구에서는 서보 모터의 엔코더(Encoder) 신호를 이용하였으며, 총 이동거리는 250mm 로 두었다. 기준명령에 대한 실제 동작 응답의 차를 위치오차(e)라 하였으며 Fig. 3(a)과 Fig. 4(a)에서 모두 위치오차(e)를 표시하였다.

3.3 입력성형 적용 및 결과

Fig. 3(b)는 입력성형기법을 사용하지 않은 경우에 XY 스테이지의 위치결정 작업으로 발생된 위치오차를 시간에 대해 나타낸 것이다. 위치오차를 이용하여 입력성형기법을 적용하기 위한 XY 스테이지의 고유진동수 및 감쇠비를 계산하였다. 본 연구에서 사용된 고유진동수는 34.9Hz 이고 감쇠비는 0.042 이다. 또한 입력성형기법 중 ZV 를 사용하기 위해 두 개의 임펄스(Impulse) A_1 과 A_2 를 위에서 구한 XY 스테이지의 고유진동수와 감쇠비를 이용하여 계산하였으며 본 연구에서는 각각 0.53 와 0.47 으로 설정하였다.⁽¹⁾

Fig. 4(b)는 입력성형기법을 적용하였을 경우와 그렇지 않은 경우의 위치오차(e)에 대한 응답을 비교해서 보여주고 있다. 기준명령 입력 시간을 비교하면 총 이동거리 250mm 에 대해 입력성형기법을 적용하지 않은 경우는 635ms 이고, 입력성형기법을 적용한 경우는 648ms 이다. 이때 가속 시간과 감속시간은 모두 10ms 이며, 최고 속도는 400mm/s 로 두었다. 위치결정을 위한 명령 시간만을 비교 한다면 입력

성형기법을 이용한 경우가 13ms 정도 더 소요되지만 XY 스테이지의 정지 후 안정화 시간까지를 고려하면 입력성형기법을 적용하지 않은 경우 606ms, 적용한 경우는 588ms 로서 약 3%정도 개선되는 효과가 있다. 따라서 입력성형기법이 고속 위치결정에 유리할 것으로 판단된다.

한편, Table 1 은 위치결정 완료후의 위치 정밀도를 나타내고 있다. 위치 정밀도를 판단하기 위해 총 이동거리에 대해 입력성형기법을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에서 각각 10 회씩 반복 측정을 하여 평균한 값을 이용하였다. 입력성형기법을 적용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 0.079mm 정도로 위치정밀도에서 개선됨을 알 수 있다. 이론적으로 동일한 위치에 정지해야 함에도 불구하고 실험적으로는 ZV 방법을 적용한 경우가 우수한 결과가 얻어지는데, 이는 입력성형이 입력성형을 하지 않은 경우에 비해 상대적으로 완만한 변화가 있게 되어 시스템의 추종성이 다소 나아질 수 있으며, 잔류진동의 저감이 볼스크류에서 발생할 수 있는 백래쉬 오차 등 비선형적인 오차 요인을 다소나마 줄일 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

Table 1 Comparison of position deviation with and without input shaping.

	Unshaped	ZV Shaped
Final position error	-177 μ m	-38 μ m

4. 결론

본 연구는 XY 스테이지의 고속 정밀 위치결정을 위한 입력성형명령 생성을 위한 기법과 효과에 대해 연구하였다. 입력성형기법을 적용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 위치결정을 위한 명령입력 시간은 길지만 궁극적으로 빨리 안정화 되었으며 위치 정밀도 또한 개선되었다. 따라서 XY 스테이지의 고속 정밀 위치결정을 위해 본 연구에서 생성한 입력성형명령이 효과적임을 알 수 있다.

참고문헌

1. Singhose, W. and Seering, W. "Command Generation for Dynamic Systems," Lulu.com, 2007.
2. Dijkstra, B. G., Rambaratsingh, N. J., Scherer, C. W., et. al, "Input Design for Optimal Discrete Time Point-To-Point Motion of An Industrial XY-Positioning Table," Selected Topics in Signals, Systems and Control, Vol. 12, pp. 9 - 14, 2001.
3. 박상원, 홍성욱, Singhose, W., 서용규, "갠트리형 3축 이송계의 동특성 평가 및 개선 연구," 소음진동공학회 춘계학술대회, 2006.
4. Park, S. W., Hong, S. W., Choi, H. S., and Singhose, W., "A study on Dynamic Performance of Precise XY Stages Using Real-Time Input Shaping," ISMTII 2007 (To be presented).