

# 고속·고정도 모션을 위한 Jerk 성분을 고려한 Feed-forward PID Controller 설계 및 적용 The Design of the Jerk Feed-forward PID Controller for High-speed and High-accuracy Motion Control

\*김민성<sup>1</sup>, #원종백<sup>1</sup>, 성광주<sup>1</sup>, 조영준<sup>1</sup>, 이상태<sup>1</sup>

\*M. S. Kim<sup>1</sup>(mskim@ajinnextek.com), #J. B. Won<sup>1</sup>, K. J. Sung<sup>1</sup>, Y. J. Jo<sup>1</sup>, S. T. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(주)아진엑스텍 기술연구소 차세대기술그룹

Key words : PID Control, Jerk, Feed-forward, Full-Closed, Motion Control

## 1. 서론

최근 많은 모션제어시스템에 있어 현장의 반도체 장비 및 제조·서비스 로봇들의 높은 생산성과 신뢰성을 요구하는 추세이며, 고속·고정도 모션제어를 위해서는 제어플랫폼의 제어기 성능과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. PID제어는 외란이 들었을 경우 그것이 계의 출력에 영향을 미치기 전에 그 영향을 소멸시키기 위하여 외란을 검출해서 필요한 정정동작을 취할 수 있다.

본 논문에서는 고속모션에 따른 급격한 가속도의 변화에 의한 기구물의 피해를 최소화하고자 하여 Jerk 성분이 고려된 앞 먹임 제어기를 설계하여 정밀 제어를 위한 강건한 특성을 가진 PID제어기를 설계하고, 모의실험을 통하여 확인하고 DSP 제어보드를 통하여 알고리즘을 구현하고, X-Y 시스템에 적용하여 성능을 확인하였다.

## 2. 제어기 설계 및 구조

### 2.1 Feed-forward PID 제어기 설계

일반적인 PID제어기는 Desired Position에 의해 명령의 변화를 추적하여 출력을 생성하는 구조로 다음의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(r) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

$$= K_p (e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(r) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t))$$

Laplace Transform,

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

### 2.2 Jerk Feed-forward PID 제어기 구조

제안된 Jerk Feed-forward PID 제어기는 TI사의 DSP기반 H/W플랫폼에 알고리즘이 구현되어 PC와 API S/W기반으로 구동될 수 있도록 설계되었다.

모션 프로파일의 특성이 3차 혹은 4차 이상의 고차 다항식을 구분할 수 있는 방법은 가속도의 미분인 Jerk특성으로 구분할 수 있을 것이다.

고속 모션에서 반드시 고려되어야 할 Jerk는 불연속지점에서 가속의 변화가 급격히 변화되어 지는 부분이므로 구동하고자 하는 기구물 손상과 함께 정밀도를 저하시킬 수 있다. 따라서 본 제안된 논문에서는 Fig. 1과 같이 Jerk Feed-forward제어기와 함께 PID제어기를 설계하여 모의실험과 함께 구현된 H/W플랫폼기반에서 실험하여 성능을 파악하였다.

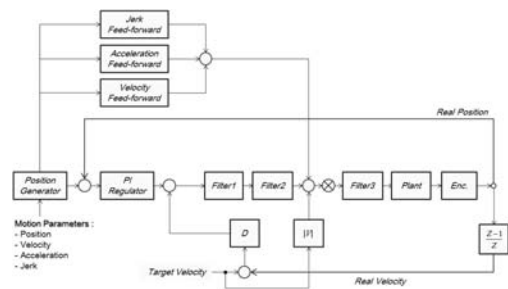


Fig. 1 Jerk Feed-forward PID Controller Block Diagram

Fig. 1의 제안된 구조의 제어기는 고속·고정도 모션에서 Dynamic Tracking구간 및 Regulating구간에서 빠른 Settling Time과함께 제어 Parameters의 큰 변경 없이 안정된 구동성능을 보임을 알 수 있었다.

### 3. 모의실험

제안된 제어기는 Fig. 2 와 같이 Matlab/Simulink 를 활용하여 모의실험을 진행하였다. 플랜트 모델은 실제 모터/엔코더가 포함된 Ball-screw시스템으로 모델링하였으며 Inertia 및 Ball-screw Pitch 등 실제 시스템과 근사한 형태로 모델링하였다.

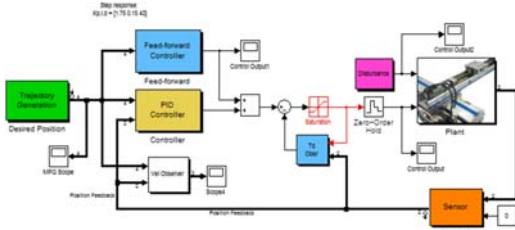


Fig. 2 Controller Simulation with Plant Modeling (Matlab/Simulink)

본 모의실험에서 Jerk특성을 고려하여 입력되는 Reference는 4차 다항식에서 유도된 Position Command를 입력으로 사용하였으며 구동거리는 0.5m, 속도 2.5[m/sec], 최대가속도 3G, Jerk time 0.02[sec]의 입력조건으로 하여 모의실험을 진행하였으며 Fig. 3과 같은 특성을 보인다.

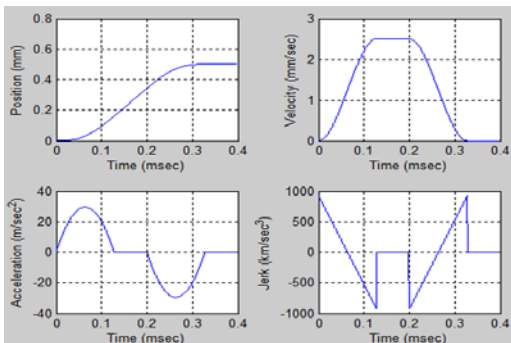


Fig. 3 4<sup>th</sup> order Polynomial Profile (Position, Velocity, Acceleration, Jerk)

Fig. 3에서와 같이 4차 다항식을 유도한 프로파일에서 Jerk특성은 'M'과 같은 모양으로 구분될 수 있으며 그림에서와 같이 등속구간에서 연속적이지 못한 구간들로 인하여 Dynamic구간에서의 Error특성은 좋지 못한 결과를 보이게 되며 이로 인하여 고속에서는 시스템에 손상을 주는 결과를 초래할 수 있을 것이다.

제안된 알고리즘 적용 후 모션구동시의 DAC

Output은 Fig. 4와 같고 4차 다항식을 유도한 모션프로파일에서 가속도 특성과 같은 것을 알 수 있다.

### 4. 시스템 적용 및 결론

제안된 제어기에 대한 성능을 Matlab/Simulink 기반에서 모의실험을 진행하였으며 DSP기반의 제어보드를 설계하여 알고리즘 구현 및 X-Y JIG를 통한 모션구동 및 성능시험을 하였다.

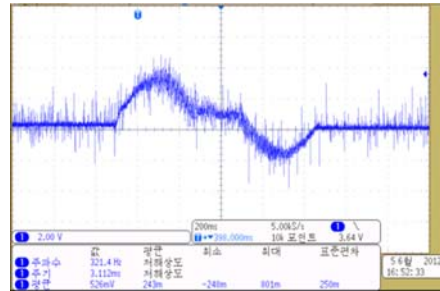


Fig. 4 Control Output of Controller

구동거리 500mm, 속도 2,500[mm/s], 가속도[100 mm/s<sup>2</sup>], Jerk 1,000 [mm/s<sup>3</sup>]의 입력조건으로 실험한 결과 Fig. 4와 같은 Control output 신호를 확인하였으며 Jerk값의 변화에 따라 응답시간도 단축되는 것을 알 수 있었다. 추후 4차 이상의 고차다항식을 유도한 프로파일이 속도, 가속도, Jerk Limit별로 걸리는 모션시간을 계산하고 측정하여 검증할 필요가 있을 것이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 2012년도 산업융합원천기술개발사업에 의한 것입니다.

### 참고문헌

1. Mohammadzaheri, M., Lei, C., Behnia, W. F., Aryan, P., 2009, "A design approach for feed-back-feed-forward control systems", IEEE International Conference on Control and Automation 2009(ICCA 2009), pp. 2266~2271.
2. Ziegler, J. G, Nichols, N. B., "Optimum Settings for Automatic Controllers", Trans. of the ASME, 64, 759-768, 1942
3. Boerlarge, M., Steinbuch, M., Lambrechts, P., van de Wal, M., 2003, "Model-based feedforward for motion systems", Proc. of 2003 IEEE Conference on Control Applications (CCA), Vol. 2, pp. 1158~1163.