

# 다중모드 시스템을 위한 새로운 입력성형기 설계에 관한 연구 Study on Design of the Input Shaper for Multi-Mode System

#홍성욱<sup>1</sup>, \*박상원<sup>2</sup>, on Danielson<sup>3</sup>

#S. W. Hong(swhong@kumoh.ac.kr)<sup>1</sup>, \*S. W. Park<sup>2</sup>, Jon Danielson<sup>3</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 기계공학부, <sup>2</sup>금오공과대학교 대학원, <sup>3</sup>Georgia Institute of Technology

Key words : Input Shaping, Multi-Mode Input Shaping, Convolution, Rising Time

## 1. 서론

구동계를 가지는 모든 시스템에서 구조물의 동적유연성으로 인해 동작 및 정지시에 크기의 차이는 있지만 원하지 않는 잔류진동이 발생하게 된다. 이 같은 잔류진동은 우리가 원하는 경로로 시스템을 이동하기 어렵게 만들 뿐만 아니라, 목표지점에서의 동작완료시간을 지연시킴으로써 다음 동작으로의 전환을 느리게 한다. 따라서 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 이와 같은 잔류진동을 적절히 제거할 필요가 있다.

입력성형기법(Input Shaping Method)은 유연구조물에서 발생하는 잔류진동을 효과적으로 제거하는 유용한 도구로 잘 알려져 있다.<sup>(1-4)</sup> 하지만 대체로 한 개의 진동모드가 영향을 미치는 경우를 중심으로 연구되어 왔으며 많은 경우 성능에 가장 큰 영향을 많이 미치는 한 개의 진동모드를 제어함으로써 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다. 물론, 두 개 이상의 진동 모드를 고려해야 하는 경우에도 한 개 모드에 대한 입력성형기 두 개를 컨벌루션하여 적용하는 기법이 있으나 반응속도가 크게 느려지게 된다.<sup>(1)</sup> 즉, 기존의 방법을 이용할 경우 잔류진동을 제거할 순 있지만 두개의 입력성형기가 컨벌루션되어 추가적인 상승시간이 필요하게 된다. 이것은 시스템의 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 기존의 다중모드 입력성형 기법을 개선할 수 있는 새로운 입력성형기 설계 기법을 제안하였다. 기존의 방법에서 요구되었던 모드 당 2 개의 임펄스를 모드 당 1 개씩 추가하는 방식으로 설계가 가능함을 입증하였다. 또한 이와 같은 기법으로 구성되는 2 모드 시스템에 대한 여러가지 입력성형기를 중심으로 그 특성을 살펴 보았다.

## 2. 기존의 다중모드 입력성형기법

Fig. 1 은 기존연구에서 제시한 다중모드 시스템의 진동을 제어 용 입력성형기 생성하는 방법을 나타낸 것이다. 입력성형기 1 과 2 는 각각의 진동모드에 따라 설계되었고, 수정된 입력성형기(Modified Input Shaper)는 두 개의 입력성형기 1 과 2 를 컨벌루션 함으로써 생성할 수 있다. 여기에 사용된 입력성형기는 ZV(Zero Vibration)이며, 두개의 임펄스를 가지고 있다. 하지만 이렇게 생성된 입력성형기의 주기는 두 개의 입력성형기 주기의 합과 동일하다. 따라서 다중모드 시스템의 진동을 제어하기 위해 Fig.1 과 같은 입력성형기 설계방법을 이용할 경우 시스템의 상승시간(Rising Time)이 증가하게 된다.

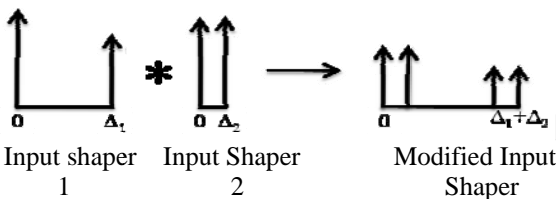


Fig. 1 Convolution of two input shapers to form a multi-mode shaper

## 3. 새로운 다중모드 입력성형기법

본 연구에서는 임펄스의 개수와 상승시간을 줄이면서 다중모드 시스템의 잔류진동을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 입력성형기를 제안하는 것이 목적이다. 본 연구에서 제안하는 새로운 입력성형기의 임펄스 개수는 n + 1 개이다. 여기에서 n 은 고려대상이 되는 진동 모드의 개수이다.

다중모드 시스템에 대한 새로운 입력성형기는 서로 다른 시간간격을 가지는 다음과 같은 임펄스들의 조합으로 나타낼 수 있다.

$$i(t) = A_0\delta(t - T_0) + A_1\delta(t - T_1) + A_2\delta(t - T_2) + \dots + A_n\delta(t - T_n) \quad (1)$$

여기에서  $A_k$ ,  $k = 0, 1, \dots, n$ , k 번째 임펄스 크기(Impulse Amplitude)이며,  $T_k$ ,  $k = 0, 1, \dots, n$ , k 번째 임펄스 시간간격(Impulse Time Spacing)이다.  $T_{k-1} < T_k$ ,  $k = 1, \dots, n$ ,의 관계가 성립하여야 하며, 시간 0 에서의 첫번째 임펄스는 0 으로 두었다.

Fig. 2 와 3 은 식(1)과 구속 조건들을 기준으로 두개의 진동모드(1Hz 와 4Hz)를 가지는 다중모드 시스템에 대해 본 연구에서 제안한 새로운 방법으로 설계된 입력성형기에 대해 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 입력성형기는 ZV 성형기이며, Fig. 2 는 ZV 성형기의 마지막 임펄스의 발생주기에 대해 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 나타난 것과 같이 두개의 진동모드를 가지는 시스템에 대해 세개의 입력성형기가 활용 가능함을 알 수 있다. 여기서, 입력성형기의 주기는 각각 0.4s, 0.6s 그리고 0.8s 이다.

Fig. 3 은 Fig. 2 에서 보여지는 결과를 바탕으로 실제로 설계된 입력성형기를 나타낸 것이다. Fig. 1 에서 보여지는 두개의 진동모드를 위해 사용되는 전통적인 입력성형기는 4 개의 입력 임펄스를 가지고 있지만, 본 연구에서 제안하는 새로운 입력성형기는 Fig. 3 에서 보여지는 것과 같이 3

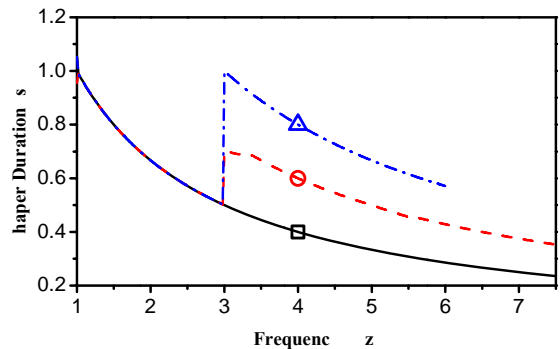


Fig. 2 New input shaper duration

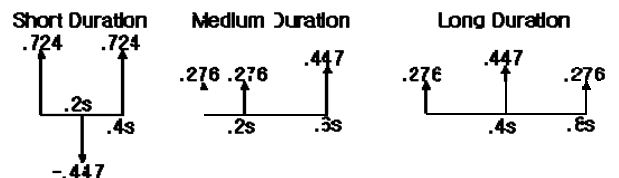


Fig. 3 Three possible input shapers for  $\omega_1=1\text{Hz}$ ,  $\omega_2=4\text{Hz}$

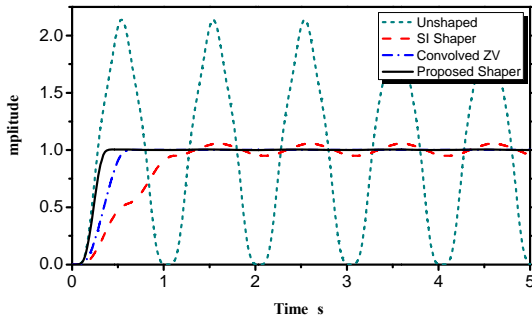


Fig. 4 Time response for  $\omega = 1\text{Hz}$ ,  $\omega = 4\text{Hz}$  short duration shaper

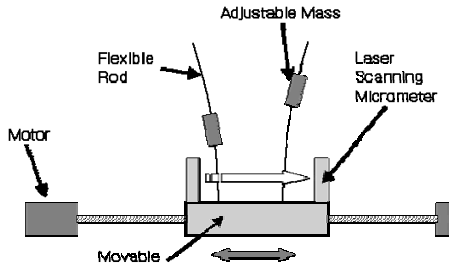


Fig. 5 Diagram of experimental apparatus

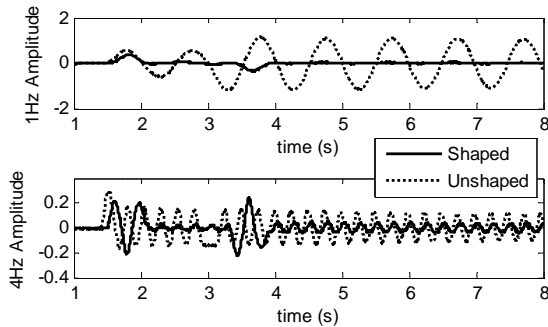


Fig. 6 Experimental response of short duration shaper

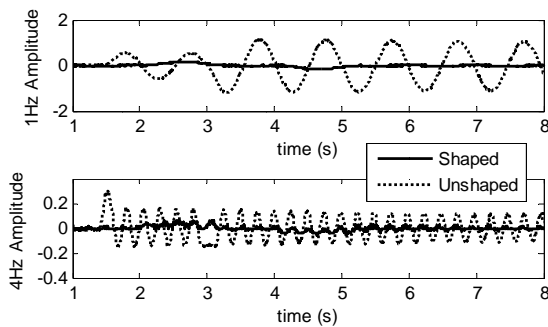


Fig. 7 Experimental response of long duration shaper

개의 입력 임펄스를 가지고 있다. 본 연구에서와 같이 1Hz와 4Hz를 가지는 다중모드에서 Fig. 1과 같은 방법으로 입력성형기를 설계하게 되면 입력성형기의 주기가 대략 0.75s 정도 된다.

입력성형기의 주기가 가장 짧은(Short Duration) 입력성형기의 두번째 임펄스는 음의 값을 가지는 반면 나머지 두개의 입력성형기의 모든 임펄스는 양의 값을 가진다. 그리고 가장 짧은 주기의 입력성형기와 가장 긴 주기(Long Duration)의 입력성형기의 임펄스간 시간간격(Time Spacing)은 동일하지만 중간 주기(Medium Duration)를 가지는 입력성형기는 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 제안하는 새로운 입력성형기와 기존 연구들의 입력성형기들에 대한 진동 응답을 비교하여 나타낸 것이다. 여기에 사용된 새로운 입력성형기는 임펄스의 시간간격이 가장 짧은 것이다. 잔류진동 제거의 효과는 중합 ZV(Convolved ZV)와 유사한 결과를 보이지만 상승

시간은 가장 짧음을 알 수 있다.

#### 4. 실험 및 결과 토의

Fig. 5는 본 연구에서 사용된 실험장치에 대한 개략도이다. 실험장치의 기본 구성은 서보계(Servo Motors)로 구동되는 XY 스테이지가 정밀 볼스크루(Ball Screw)를 통해 연결되어 있다. 작업 테이블 위에는 고유진동수(Natural Frequency)를 임의로 조정할 수 있는 동일한 형상과 무게를 가진 질량체가 부착된 유연한 보 두 개가 고정되어 있다. XY 스테이지의 운동으로 인해 발생하는 유연한 막대의 진동을 측정하기 위해 작업 테이블 위에 레이저 스캔 마이크로미터(Laser Scan Micrometer)를 장착하여 사용하였다.

Fig. 6와 7은 유연한 두개의 막대의 진동이 각각 1Hz와 4Hz를 가지도록 설정하고, XY 스테이지를 동작시키면서 입력성형기법을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 응답을 측정한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6은 짧은 주기를 가지는 입력성형기를 사용한 결과를 나타낸 것이고 Fig. 7는 주기가 가장 긴 입력성형기를 사용한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 6와 Fig. 7 모두 입력성형기법을 사용하지 않은 경우의 응답을 점선으로 나타내었고, 입력성형기법을 사용한 경우의 응답은 실선으로 나타내었다. 두개의 진동모드를 가지는 시스템에 대해 본 연구에서 새롭게 설계한 입력성형기가 잔류진동을 제거하는데 효과적임을 알 수 있다. 또한 Fig. 6의 경우는 다중모드 시스템의 진동을 효과적으로 제거를 하면서도 입력성형기의 주기가 다른 입력성형기, 특히 선행된 연구에서 제안한, 보다 월등히 빠른 상승시간을 가진다. 이것은 시스템의 잔류진동을 효과적으로 제거하면서도 시스템의 성능저하에 영향을 크게 미치지 않음을 알 수 있다.

#### 결론

본 연구에서는 다중모드 시스템을 위한 새로운 입력성형기 설계 방법을 제안하였다. 두개의 진동모드를 가지는 시스템을 중심으로 임펄스 주기에 따른 세개의 새로운 입력성형기를 설계하였다. 설계된 입력성형기는 기존 연구에서의 입력성형기들 보다 다중모드 시스템의 잔류진동을 적은 임펄스 개수로 효과적으로 제거할 수 있으며, 상승시간도 짧음을 확인하였다. 설계된 입력성형기의 성능을 검증하기 위해 실험장치를 이용하여 잔류진동 변화에 대한 실험을 수행 하였으며 그 성능을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Park, S. W., Hong, S. W., Singhose, W. E. and Seo, Y. G., "Evaluation and Improvement of Dynamic Characteristics of 3-axis Gantry-type Stage," Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, 2006.
2. Singhose, W. E. and Seering, W., Command Generation for Dynamic Systems, Lulu.com, 2007.
3. 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," The 8th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Sendai, Japan, 2007.
4. Park, S.W., Hong, S.W., Choi, H.S. and Singhose, W., "Discretization Effects of Real Time Input Shaping in Residual Vibration Reduction," J. of KSMTE, 2007, Vol 16, No.4, pp.71~78