

# 변위 피드백을 이용한 하이브리드 제진장치의 제어 알고리즘

## A Control Algorithm of Hybrid Mass Damper Using Displacement Feedback

김 병 전\* · 이 상 현\*\* · 정 린\*\*\*

Kim, Byoung-Jeon · Lee, Sang-Hyun · Lan, Chung

### 요 약

본 연구에서는 준능동형 제진장치로 복합형 제진장치(HMD, Hybrid Mass Damper)의 운용에 요구되는 제어알고리즘 개발에 대한 연구를 진행하였다. 제어력을 산정하기 위한 알고리즘 내장화 과정에서 구조물의 상태를 피드백하기 위해서는 구조물의 가속도를 계측하고 이로부터 변위, 속도를 추정하게 되는데 여기서 발생하는 오차의 문제점을 개선하기 위하여 GPS의 실시간 변위측정기술을 활용하여 변위를 직접 입력 하면서 구조물의 응답을 제어할 수 있는 알고리즘을 구성하려 한다. 이 때 측정된 데이터의 값에는 잡음이 발생하고 미분기의 동적특성을 가지고 있는 HMD에 입력신호로 사용하는 경우 상당한 오차가 생기는 변위 되먹임(Feedback)의 문제점을 확인하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 제진장치 입력신호의 시간간격(Time-interval)을 조정하여 오차를 줄일 수 있는 방안을 제안하였다. 수치해석결과, 입력신호에는 최적의 시간간격(Time-Interval)이 존재하였으며 이를 적용할 경우 건물의 변위와 가속도 응답을 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

**keywords** : 풍진동 제어, 복합형 제진장치, Hybrid Mass damper, 변위 되먹임(feedback)

### 1. 서 론

초고층 건물의 설계에 있어 핵심이 되는 기술 중 하나는 풍진동 제어기술로서 아직 국내에서는 풍진동 제진장치 중 수동형장치만이 기술 자립화가 이루어지고 있고 능동형 및 준능동형 제진장치의 설계기술은 외국에 의존 하고 있어 국내 자립화가 시급한 실정이다.

초고층복합빌딩 사업단에서는 국내 제진장치설계기술의 자립화를 위하여 수동과 능동형의 특성을 모두 구현할 수 있는 복합형 제진장치를 개발하고 있다. 복합형 제진장치(HMD, Hybrid Mass Damper)는 수동형 TMD(tuned mass damper)의 구성요소인 코일스프링과 오일 댐퍼를 포함하지 않고, 전원을 상시 공급하여 서보모터를 이용하여 컨트롤러의 제어알고리즘에 의하여 구동되는 순수한 능동형 제진장치를 의미한다. HMD의 구성요소는 서보모터, 볼스크류, 리니어 가이드, 리미트 스위치 및 근접 센서 등으로 구성되어있다. HMD본체의 형상은 그림 1과 같으며, 최대 240kg의 이동질량을 0.2~5Hz 범위의 진동수로 가진할 수 있다.

\* 비회원 · 단국대학교 건축공학과 석사과정 liejesu@dankook.ac.kr

\*\* 정회원 · 단국대학교 건축공학과 조교수 lshyun00@dankook.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 단국대학교 건축공학과 교수 lanchung@dku.edu

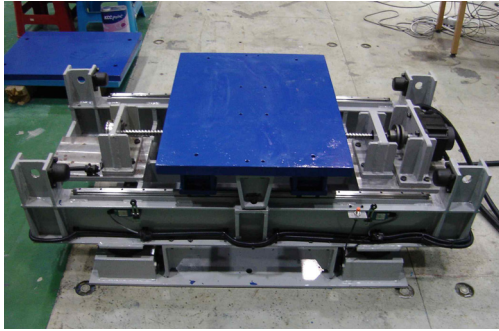


그림 1 HMD본체의 형상

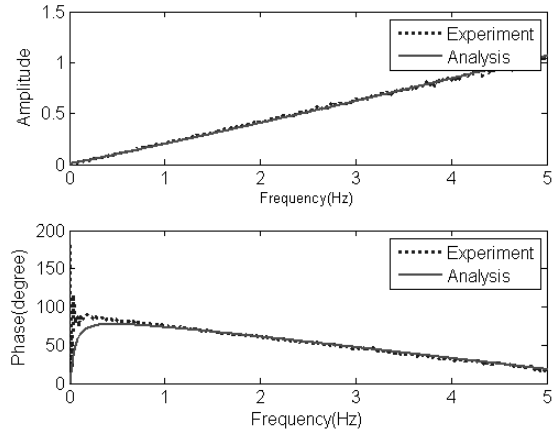


그림 2 제진장치 전달함수

초고층 건물과 같은 장주기 구조물의 제진을 위해서는 스트로크를 충분히 확보할 필요가 있기 때문에  $\pm 300\text{mm}$ 로 제작되었다.

HMD의 동특성이 반영된 제어알고리즘을 구현하기 위해서, 먼저 0.2~5Hz의 진동수 성분을 포함하는 백색잡음 신호로 HMD를 가진하여 HMD 이동질량체의 가속도를 계측하였다. 그림 2는 이와 같은 두 신호사이의 전달함수의 크기와 위상을 비교한 것으로 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 특히, 전달함수의 크기가 진동수에 비례하여 증가하는 사실로부터 HMD는 입력신호에 대해서 미분기로 작동하는 것을 알 수 있다. HMD는 질량체의 가속도를 구조물에 제어력으로 입력하는 장치이며, HMD가 감쇠의 역할을 하기 위해서는 HMD의 가속도가 구조물의 속도와 반대방향으로 작용하여야 한다. 이를 위해서 미분기의 동적특성을 가지는 HMD의 입력신호는 구조물의 변위량과 비례하도록 선정하고, 이 변위 입력신호가 HMD의 가속도로 구현되어 제어성능을 발휘한다.

알고리즘 내장화 과정에서 구조물의 변위 혹은 속도를 피드백하기 위해서는 구조물의 가속도를 계측하고 이로부터 변위, 속도를 추정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 GPS를 이용한 실시간 변위추정기술을 활용하여 변위를 직접 입력하면서 구조물을 제어할 수 있는 알고리즘을 구성하려 한다.

## 2. 변위 되먹임(Feedback)의 문제점

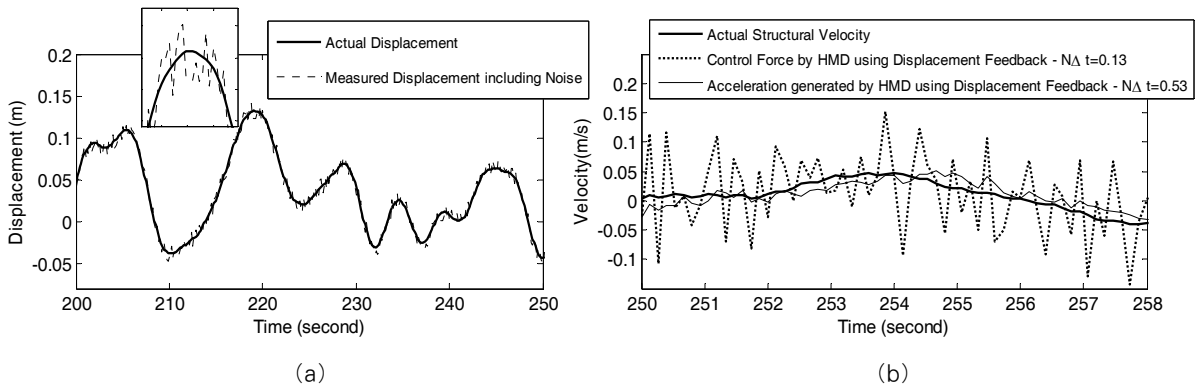


그림 3 변위 되먹임(Feedback)의 문제점

그림 3은 변위 피드백(Feedback)의 문제점을 보여준다. GPS 변위 측정기에서 취득한 데이터의 값에는 잡음(Noise)이 발생하는데 미분으로 속도를 예측할 경우 그 잡음으로 인하여 상당한 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 오차를 최소화하기 위해서 입력신호의 시간간격 (Time-interval)을 조정한다. 시간간격이 좁으면 측정값의 미분으로 예측하는 속도의 값이 심한 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 시간간격을 적정 수준으로 넓게 잡아 예측하면 오차를 충분히 최소화 시킬 수 있다. 그림 3의 (b) 그림을 보면 잡음이 없는 건물의 속도 응답을 보여주는 굵은 실선과 시간간격을 0.13의 경우와 0.53의 경우로 나누어 비교해본 결과, 시간간격을 넓게 하였을 경우 비교적 작은 오차로 근접한 것을 알 수 있다. 따라서 시간간격의 최적값을 찾을 수 있다면 변위 피드백의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 보인다.

선행연구에서는 풍하중을 받는 76층 벤치마크 구조물에 대하여 기존 중앙집중식 슬라이딩 모드 제어 제어 알고리즘과 비교한 분산제어식 응답의존형 알고리즘의 유효성을 평가하였는데, 본 연구에서는 76층 벤치마크 구조물에서 사용한 4가지 성능평가지수와 시간 간격에 따른 성능평가지수의 변화 경향을 살펴보았다.

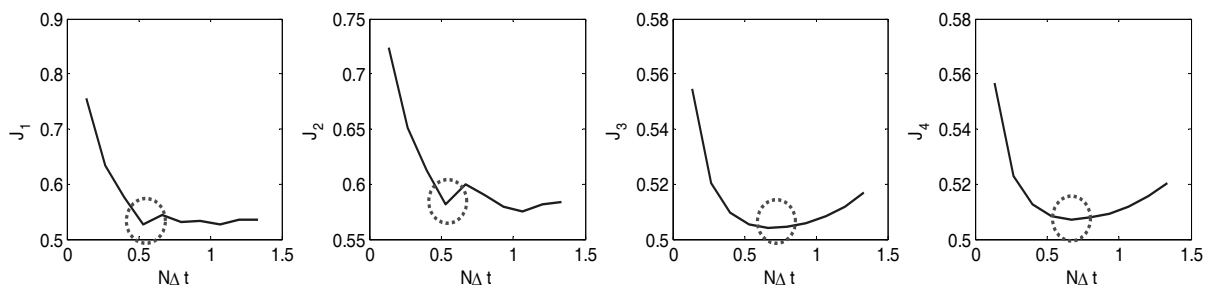


그림 4 최적 시간간격의 존재

그림 4에서 보는 바와 같이 약 0.5~0.6에서 최소값을 가지며 이를 최적 시간간격으로 선정할 수 있다. 이 최적 시간간격을 적용하여 비제어, 집중제어(SMC), 그리고 잡음이 고려되지 않은 분산제어(DSMC), 잡음 발생에 최적 시간간격을 적용한 분산제어(DSMC-2)로 나누어 건물의 변위와 가속도 응답을 비교평가하여 그림 5로 나타내었다. 최적의 시간간격을 고려하여 분산제어 알고리즘을 사용하였을 때 잡음의 유무와 크게 상관없이 동등한 제어 성능 가진다는 것을 알 수 있다.

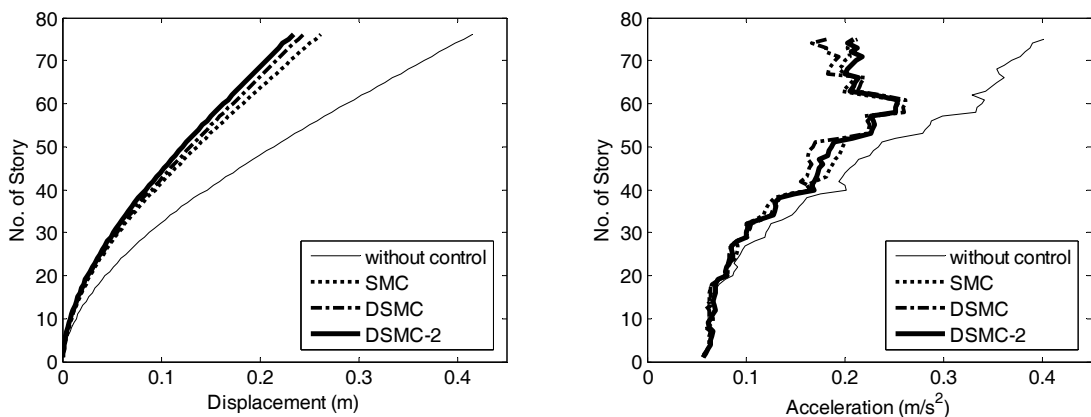


그림 5 시간간격의 최적값을 사용한 제어성능 비교

표 1 SMC와 DSMC의 성능지수별 제어율 비교

제어알고리즘 \ 응답	J1	J2	J3	J4
SMC	0.5626	0.6275	0.6275	0.6277
DSMC	0.5094	0.5439	0.4986	0.5016
DSMC-2	0.5259	0.5790	0.5040	0.5071

제어성능을 수치상으로 확인해 보았을 때 표 1에서 보는바와 같이 잡음이 존재하는 경우인 DSMC-2는 잡음이 없는 DSMC보다 잡음의 영향으로 성능이 다소 저하되지만 집중제어방식인 SMC보다는 우수한 제어성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 HMD(복합형 제진장치, Hybrid Mass Damper)의 운용에 요구되는 제어알고리즘에 있어서 기존 가속도 계측을 통한 구조물의 상태 피드백의 오차를 줄이기 위해 GPS를 사용한 변위 피드백의 유효성을 검증하기 위한 연구를 진행하였다. GPS를 사용하는 경우에 측정된 변위값에 잡음이 발생하는데, 이로 인한 문제를 최소화하기 위하여 잡음의 영향을 최소화 할 수 있는 최적의 시간간격이 있음을 확인하였고, 수치해석 결과 이 시간간격으로 신호를 입력함으로써 HMD는 보다 효과적인 제어성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원 (과제번호# 09 첨단도시A01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 신재상, 이상현, 정란 (2010) 분산 제어를 이용한 풍진동 제어용 감쇠장치 설계. **대한건축학회 학술발표대회 논문집**, 초고층복합빌딩사업단 특별세션, 제30권 제1호(통권 제54집), 61-62
- 이상현, 정진욱, 민경원, 강경수 (2001) Lyapunov함수의 목표 변화율을 이용한 가진된 건물의 슬라이딩 모드 제어. **한국지진공학회 논문집**, 5(3), 73-78
- 이상현, 민경원, 강상훈 (2004) 에너지소산 제어 알고리즘의 제어이득 산정. **한국전산구조공학회 논문집**, 17(4), 343-350
- Dyke, S.J, Spencer, Jr. B.F, Quast, P, Sain, M.K, Kaspari, Jr. D.C, Soong, T.T. (1994) Experimental Verification of Acceleration Feedback Control Strategies for an Active Tendon System. National Center for Earthquake Engineering Research Technical
- Yang, J.N, Wu, J.C, Samali, B, Agrawal, A.K (1998) A Benchmark Problem for Response Control of Wind-Excited Tall Buildings. Proceedings Of Second World Conference on Structural Control.