

AMD를 이용한 철골 구조물의 진동제어 성능평가

Evaluation for Vibration Control Performance of Steel Structures using Active Mass Damper(AMD)

심학보† · 정형조* · 박순전** · 김상대***

Hak Bo Shim, Hyung Jo Jung, Soon Jeon Park and Sang Dae Kim

1. 서 론

고층 건물의 수는 최근에 현저하게 증가하고 있다. 이와 함께 고층건물의 구조 제어 시스템의 관심이 높아지고 있다.(Watakabe et al. 2001년). 고층 건물은 낮은 감쇠율과 거주파수로 인해 강풍에 취약한 면을 나타내고 있다. 강풍으로 인해 건물이 붕괴되지 않더라도, 거주자들이 불편을 느낄 정도의 진동을 유발 할 수 있다. 이러한 상황 때문에 건물의 사용성 평가는 건물 설계의 중요한 부분이 되었다.(Goto et al.1991)

본 논문에서는 풍하중에 의한 고층 건물의 과도한 진동을 저감시키고 거주성을 향상시키려는 목적으로 능동형 제진장치인 AMD를 설계, 제작, 설치, 검증하는 연구 내용을 포함하고 있으며, 이것은 거주용 건물에 AMD를 설치한 첫 번째 국내 적용 사례일 뿐만 아니라 이미 공용중인 건물의 거주성 향상을 위해 추가적으로 AMD를 설치하는 경우로는 세계 최초 사례이다. 또한, 설치된 AMD의 성능을 검증하기 위해 건물의 응답으로부터 풍하중을 추정하는 방법을 도입하였고, 이를 통해 비제어시의 건물의 응답을 계산한 후 AMD로 제어한 경우의 제어 성능과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 능동형 제진장치(AMD)의 구성

본 연구에서는 이미 공용중인 건물의 사용성 향상을 위해 AMD를 설치해야 하며, 특히 매우 한정된 공간에서 제한된 무게 및 제한된 전력 공급만을 가지고 AMD를 설치, 운용해야 하는 어려운 문제를 해결해야만 한다.

표 1에서는 본 연구에서 고려한 능동형 제진장치인 AMD 시스템의 제원이 제시되어 있다. 본 연구에서는 기존 건물

에 설치된 AMD의 작동 여부에 따른 제어시와 비제어시의 건물의 가속도를 비교함으로써 AMD의 성능을 직접 검증하였다. 2축 능동 방식의 제어장치 2대를 옥상에 설치함으로써, X, Y 방향의 진동제어는 물론 비틀림까지 제어할 수 있도록 설계하였다. 또한 AMD는 액츄에이터(actuator), 간접 조속장치(servo motor), 커플링(coupling), 선형 안내장치(linear guide) 등을 가진 2개의 강철 보조 질량으로 구성되며, 세부 부품들은 그림 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 능동형 제진장치(AMD) 제원

항목	값	
위치	최고층 옥상	
갯수	2개	
크기(mm)	4310*4310*2000	
중량	대략 1개당 26ton	
제어 방향	Dir-X	Dir-Y
댐퍼 질량의 무게	20ton	10ton
고유진동수	0.430Hz	0.371Hz
최대 변위	±60cm	±60cm
액츄에이터	AC Servo motor	
모터의 수용력	45kW×2EA	22kW×1EA

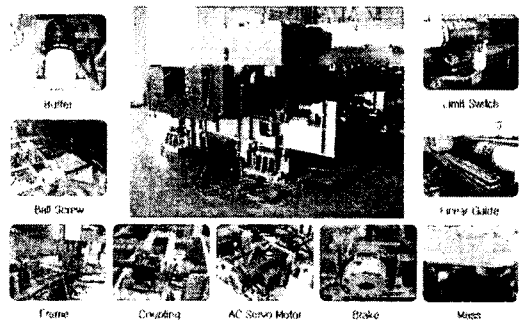


그림 1. AMD의 세부사항

2.2 주파수영역 및 시간영역에서의 제진성능 평가시험

주파수 영역에서의 제진성능 평가시험은 AMD로 제진하지 않았을 때, 즉 건물가진시험에서 구한 건물의 모드감쇠비와 AMD를 이용하여 제진하였을 때의 전달함수 값을 비교하는 Q-value 법을 이용하였다.

† 책임저자; 롯데건설(주) 기술연구원

E-mail : hbshim@lottenc.com

Tel : (02) 3483-7884, Fax : (02) 3483-7899

* KAIST 건설 및 환경 공학과 · 조교수

** 롯데건설(주) 기술연구원 · 수석연구원

*** 고려대학교 건축사회환경공학과 · 교수

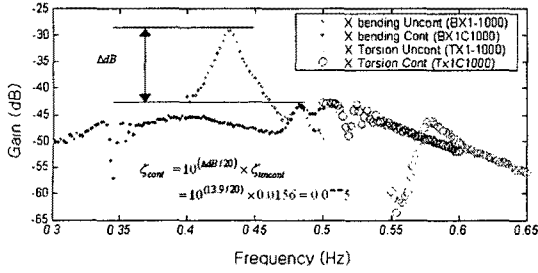


그림 2. X 방향 No.1 AMD의 등가감쇠비를 구하기 위한 Q-value 법

표 2. 제진장치의 등가감쇠비 산정 및 제진성능 평가(Curve fitting 방법)

구분	비제어시		제어시			총 등가 감쇠비 (%)
	모드 감쇠비 (%)	Peak dB (dB_{uc})	Peak dB (dB_c)	ΔdB	등가 감쇠비 (%)	
B1X	1.56	-29.2	-43.1	13.9	7.73	12.89
B2X	1.46	-29.3	-42.5	13.2	6.67	
B1Y	1.93	-39.0	-47.9	8.9	5.38	9.38
B2Y	2.11	-39.4	-48.5	9.1	6.02	
T1X	0.67	-45.4	-64	18.6	5.70	9.39
T2X	1.07	-40.4	-53	12.6	4.56	
T1Y	0.98	-59.3	-72	12.7	4.23	6.82
T2Y	1.01	-51.0	-62	11	3.58	

* B : Bending 1: No.1 가진 X: X 방향
T: Torsion 2: No.2 가진 Y: Y 방향

표 3. 제진장치의 등가감쇠비 산정 및 제진성능 평가(Half Power 방법)

구분	비제어시		제어시			총 등가 감쇠비 (%)
	모드 감쇠비 (%)	Peak dB (dB_{uc})	Peak dB (dB_c)	ΔdB	등가 감쇠비 (%)	
B1X	1.45	-29.3	-43.1	13.8	7.10	13.75
B2X	1.47	-29.4	-42.5	13.1	6.64	
B1Y	2.43	-39.1	-47.9	8.8	6.69	13.84
B2Y	2.52	-39.5	-48.5	9.0	7.10	
T1X	1.94	-46.1	-64	17.9	15.23	22.33
T2X	1.80	-41.0	-53	12	7.71	
T1Y	2.00	-59.6	-72	12.4	8.34	13.96
T2Y	1.67	-51.2	-62	10.8	5.79	

* B : Bending 1: No.1 가진 X: X 방향
T: Torsion 2: No.2 가진 Y: Y 방향

시간 영역에서의 제진성능 평가시험은 X 방향과 Y 방향의 횡방향에 대한 제진성능은 평가할 수 있으나, 회전방향에 대한 제진성능 응답 자체가 매우 적고, 상대적으로 정상 상태까지 가진시키기 매우 어렵기 때문에 직접적인 제진성능 평가는 매우 어렵다. 따라서 횡방향에 대해서만 소규모 진폭과 대규모진폭의 경우로 나누어 제진성능 평가시험을 수행하였다.

표 4. 제진장치의 등가감쇠비 산정 및 제진성능 평가(대수감소법)

		모드 감쇠비 (%)	등가 감쇠비 (%)	제진장치만의 등가감쇠비 (%)	비고
		X 방향	소규모 진폭	1.9%	
	대규모 진폭	1.8%	20.3%	18.5%	Good
Y 방향	소규모 진폭	3.6%	13.5%	9.9%	Good
	대규모 진폭	2.2%	12.8%	10.6%	Good

결론적으로 주파수 영역 및 시간 영역에서의 제진성능 평가시험 결과, 설치된 AMD의 성능이 만족하는 것으로 나타났다.

2.3 AMD의 성능검증결과

태풍 나리의 영향권 하에 있는 동안에 AMD는 2번 구동을 하였다(그림3). 풍하중이 건물에 작용할 때 AMD의 작동 유무에 따른 건물의 가속도를 비교함으로써 AMD의 성능을 간접적으로 확인하였다.

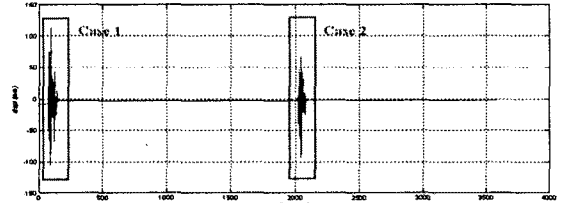


그림 3. AMD 1호기 구동변위

Case 1과 Case2에서 AMD 구동 시점에서의 AMD에 의한 제어전후의 건물 가속도의 RMS값을 표 4와 같이 정리하였다.

표 4. AMD 제어 전후의 RMS 가속도(gal)

Case	X-Dir		Y-Dir	
	제어전	제어후	제어전	제어후
Case 1	0.3812	0.2925	0.5268	0.3980
Case 2	0.3758	0.3281	0.2762	0.2373

3. 결 론

태풍 나리의 영향권 하에 있는 동안에 AMD 성능검증결과 RMS 가속도 값의 감소치가 수치적으로 그리 크지는 않았지만 제어성능을 충분히 발휘하고 있음을 확인할 수 있었다. 향후 태풍을 대상으로 직접적인 성능검증을 수행할 계획이다. 그러나 그러기 위해서는 기존 건물에 충분한 풍응답을 발생시켜 AMD ON/OFF가 가능할 정도가 되어야 할 것으로 판단되고 AMD 구동 가속도레벨의 초과횟수나 초과시간이 어느 정도 지속되어야 유의미한 결과를 도출할 수 있으리라 생각한다.