

H-infinity 제어기법을 이용한 풍응답의 능동적 진동제어 Active Vibration Control of Wind Response through H-infinity Control Method

심학보† · 이헌재* · 정형조** · 박순전*** · 김상대****

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

1. 서 론

건축구조물에 발생하는 진동을 적극적으로 억제하는 능동 제어에 대한 연구가 국내에서도 이미 긍정적인 인식과 함께 활발한 연구가 진행되고 있다. 별도의 동력기를 이용하지 않는 수동제어(passive control)의 경우에는 해석적인 부분과 실험적인 방법으로 제어방법의 효율성에 관한 연구가 진행이 되어 실제 구조물의 진동 제어에 적용되고 있다. 그러나 능동제어(active control)의 경우에는 지금까지 이론적인 연구만 발달되었을뿐 실험적인 접근은 매우 제한적이였다. 하지만 능동제어를 실제 구조물에 적용하기 위해서는 실제 시스템의 특성을 고려한 수학적 모델과 이론적 접근 방식의 제어 알고리즘과 함께 실제적인 실험이 병행되어야 한다.

본 연구는 기존 건물의 풍응답을 줄이기 위해 능동 제어 알고리즘을 이용하여 설치된 능동질량형 제진장치(AMD)의 제진성능을 직접 검증하였다. 제진장치는 건물의 약축방향(X방향) 20 ton, 강축방향(Y방향) 10 ton의 진동체 질량을 가지는 2축 능동 방식의 제어장치로 총 2대를 옥상에 설치함으로써, X, Y 방향의 진동제어는 물론 비틀림까지 제어할 수 있도록 설계하였다.

2. 본 론

2.1 H[∞] 제어기 시스템

H[∞] 알고리즘에서 H는 'Hardy 공간'을 의미하고, ∞(무한대)는 주파수영역에서 추정되는 최악의 상황에서의 성능(minimax)을 최소기준성능보다 크게 하도록 설계한다는 뜻이다. 그림 1은 건물에 설치된 AMD에 적용된 H[∞] 제어기의 입력과 출력을 나타내고 있다. 그림 1에서 x_{AMD_i} 는 i -

번째 AMD 위치에서의 건물의 변위를, z_{AMD_i} 는 i -번째 AMD 자체의 변위를, u_{AMD_i} 는 i -번째 AMD로의 변위지령을 의미한다. 여기서 변위지령이란 AMD를 적절한 위치로 이동시키는 명령전압으로서, H[∞] 제어기로부터 계산되어 AMD의 서보모터를 조정하여 AMD를 특정 위치로 이동시켜 주는 역할을 한다. AMD는 이러한 변위지령에 의해 움직이는 자신의 관성력을 이용하여 구조시스템을 제어하게 된다.

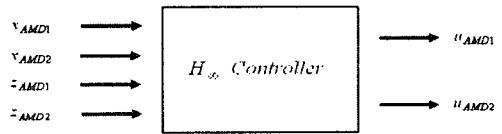


그림 1. H[∞] 제어기의 입력과 출력

H[∞] 제어기를 설계하기 위해서는 구조시스템의 수학적 모델이 필요한데, 그림 2은 2기의 AMD가 설치된 단자유도계 구조시스템을 나타내고 있다. 건물에 설치되어 있는 AMD는 X 방향과 Y 방향 각각에 대해 구동되는 질량체로 구성되어 있고, 실제로도 각 방향에 대해 독립적인 두 개의 H[∞] 제어기가 존재한다. 즉, X 방향과 회전방향의 응답을 동시에 줄여주는 H[∞] 제어기와 Y 방향과 회전방향의 응답을 역시 동시에 줄여주는 또 다른 H[∞] 제어기가 각각 설계되어 전체 제어시스템을 구성하고 있다. 두 H[∞] 제어기의 설계방법은 각 방향에 대해 동일하므로, 여기서는 X 방향과 회전방향의 응답을 동시에 줄이는 H[∞] 제어기의 설계에 대해 나타내었다. 그림 2을 이용하여, X 축 횡방향과 회전방향에 대한 운동방정식을 세울수 있다.

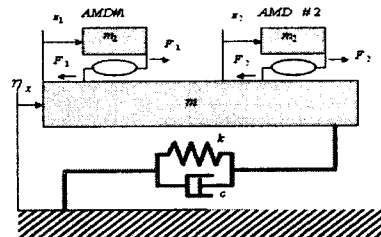


그림 2. AMD가 설치된 단자유도계 구조시스템 모델링

$$m\ddot{\eta}_x + c\dot{\eta}_x + k\eta_x = F_{wx} - F_{c1} - F_{c2} \quad (1)$$

$$m_\theta\ddot{\eta}_\theta + c_\theta\dot{\eta}_\theta + k_\theta\eta_\theta = F_{w\theta} - l_1F_{c1} + l_2F_{c2} \quad (2)$$

† 책임저자: 롯데건설(주) 기술연구원
E-mail : hbshim@lottenc.com
Tel : (02) 3483-7884, Fax : (02) 3483-7899
* 삼성엔지니어링 산업플랜트 기술팀 · 공학박사
** KAIST 건설 및 환경 공학과 · 조교수
*** 롯데건설(주) 기술연구원 · 수석연구원
**** 고려대학교 건축사회환경공학과 · 교수

여기서, η 와 η_θ 는 각각 X 방향 및 회전방향에 대한 1차 모드의 모달응답을 나타내며, $F_{w,x}$ 와 $F_{w,\theta}$ 는 각각의 방향에 대한 풍하중을, F_{c1} , F_{c2} 는 AMD No.1과 AMD No. 2에 의해 구조물에 재하되는 제어력을, l_1 과 l_2 는 무게중심으로 부터의 각 AMD까지의 모멘트의 팔 길이를 나타낸다.

H^∞ 제어기는 기준출력 z 의 H^∞ -Norm을 최소화 시키도록 결정된다. 즉, H^∞ 제어기의 제어성능은 기준출력으로 어떤 변수들을 설정하느냐에 따라 달라질 수 있다.

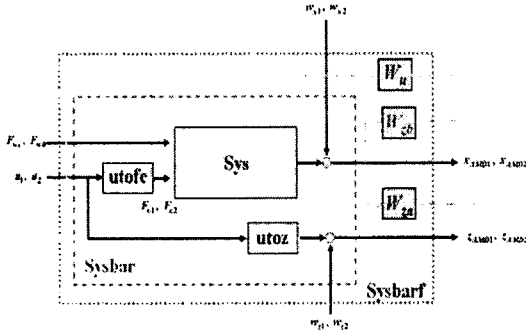


그림 3. 최종적인 H^∞ 제어기 설계 결과

구조시스템의 입력을 살펴보면, 외부입력(w)에 해당하는 풍하중과 측정출력에 더해지는 노이즈, AMD로 전해지는 제어입력 u 의 두 종류, 출력 역시 그리고 기준출력들 (z_u, z_{y_b}, z_{y_a})과 H^∞ 제어기의 입력으로 사용되는 측정출력의 두 종류가 있음을 확인할 수 있다.

2.2 H^∞ 제어기법을 이용한 능동진동제어

능동형 제진장치(AMD)의 목표성능에 대해서는 제 11호 태풍 나리 통과시에 발생한 AMD 구동 시의 계측데이터를 이용하여 건물에 작용하는 풍하중을 추정한 후 성능을 평가하는 방법이 사용되었다. 그러나 큰 풍속이 발생하지 않았고 AMD 또한 순간적인 가속도 레벨 초과로 인한 2번의 구동이 있었지만 지속시간이 길지는 않았다.

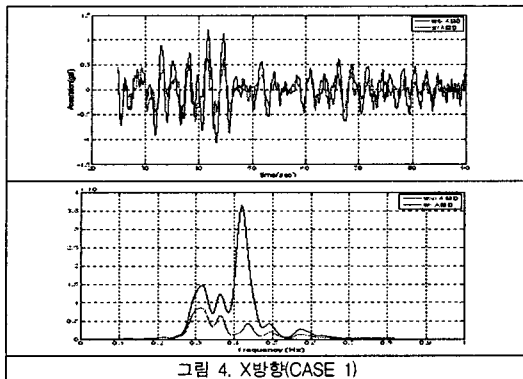


그림 4. X방향(CASE 1)

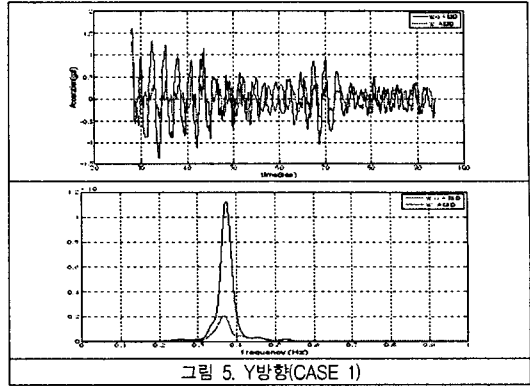


그림 5. Y방향(CASE 1)

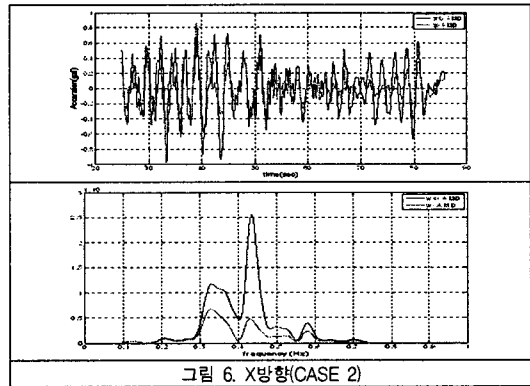


그림 6. X방향(CASE 2)

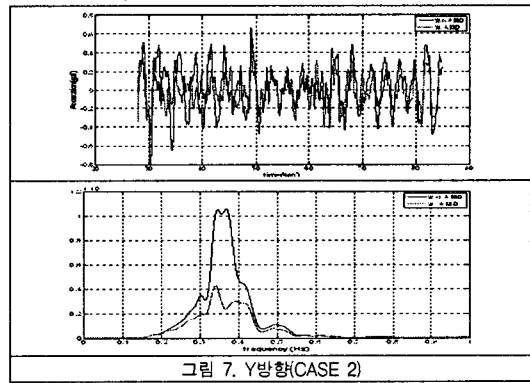


그림 7. Y방향(CASE 2)

3. 결 론

태풍 통과시의 데이터를 이용하여 AMD의 제진성능을 평가하기 위해 AMD 가동시의 구조물 응답은 실제 계측을 통해 얻어내고, AMD가 없는 경우의 응답은 수치해석을 통해 얻은 후, 두 응답을 비교하여 본 결과 제어성능을 충분히 발휘하고 있음을 확인하였다.

실제 AMD의 구동에서는 X- θ 방향의 AMD와 Y- θ 방향의 AMD가 동시에 움직이게 되는데, 이때의 수치해석 결과 X 방향의 경우 제어하지 않은 경우에 비해 73 % 가량의 응답을 줄여주는 뛰어난 성능을 보여주었고, Y 방향은 71 %, 회전방향은 42 % 가량의 응답을 줄여주었다.