

# 아웃리저 댐퍼 시스템을 이용한 구조물의 준능동 제어

## Semi-active Structural Control using Outrigger Damper System

정진욱† · 김지영\* · 김대영\*\*

Jin Wook Joung, Ji Young Kim and Dae Young Kim

### 1. 서론

건물이 고층화됨에 따라 지진이나 바람 등의 외부하중에 대해 효과적으로 구조물의 횡변위를 제어하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 아웃리저 구조 시스템은 초고층 건축물의 효과적인 횡력 저항 시스템으로 최근 널리 활용되고 있는 시스템 중 하나이며, 코어가 아웃리저에 의해 외주기둥에 연결된 구조 형태를 가지고 있다. 이러한 아웃리저 구조 시스템은 횡하중에 대해 구조물의 횡강성을 증가시켜 구조물의 안정성과 사용성을 확보하게 된다.

최근 아웃리저와 외주기둥 사이에 댐퍼를 설치하여 아웃리저 구조 시스템의 효율성을 증대시키는 연구가 이루어지고 있다. Smith 와 Willford (2008)는 아웃리저와 외주기둥 사이에 댐퍼를 설치하여 외부하중에 의해 발생하는 횡변위에 대해 댐퍼가 에너지를 소산시키는 **Outrigger Damping System** 을 개발하였다. 박기동 등 (2009)은 아웃리저 시스템에서 시공 중 발생하는 부등축소량에 따른 추가 응력 발생 문제를 해결하기 위해 부등축소 자동보정 아웃리저 댐퍼를 개발하였다.

본 연구에서는 아웃리저와 외주기둥 사이에 아웃리저 댐퍼를 설치하여 외주기둥과 아웃리저에 연결된 코어를 실시간 결합-분리 시킴으로써 외부하중에 의한 구조물의 횡변위를 효과적으로 제어하는 준능동 아웃리저 댐퍼 시스템 모델을 제안하였다. 제안된 모델의 응답제어 효과를 확인하기 위해서 단자유도 모델에 대한 수치해석을 수행하였다.

### 2. 단자유도 모델

#### 2.1 아웃리저 시스템 모델

일반적인 아웃리저 시스템 모델은 그림 1 과 같다. 코어는 캔틸레버 보로 모델링 되며 아웃리저는 무한강성을 가지며 매스가 없다.

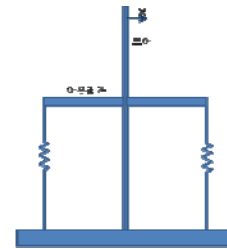


그림 1 아웃리저 시스템

#### 2.2 준능동 아웃리저 댐퍼 시스템 모델

준능동 아웃리저 댐퍼 시스템 모델은 그림 2 와 같다. 아웃리저 시스템 모델과 같이 코어는 캔틸레버 보로 모델링 되며 아웃리저는 무한강성을 가지며 매스가 없다. 아웃리저 댐퍼는 외주기둥과 아웃리저 사이에 설치되며 컨트롤러에서 발생하는 on/off 제어신호에 의해 댐퍼의 댐핑계수가 변화되는 준능동 댐퍼이다. On 신호 발생 시, 댐퍼의 댐핑계수는 최대값을 가지며 코어와 외주기둥은 아웃리저 댐퍼에 의해 일체거동을 하게 된다. Off 신호 발생 시, 댐퍼의 댐핑계수는 최소값을 가지며 코어와 외주기둥은 아웃리저 댐퍼에 의해 분리거동을 하게 된다. 이러한 아웃리저 댐퍼 시스템의 거동 특성은 댐퍼와 외주기둥이 직렬연결된 Maxwell model 에 의해 표현된다.

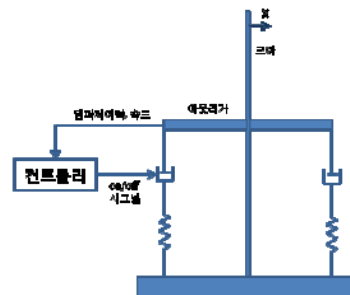


그림 2. 준능동 아웃리저 댐퍼 시스템

† 교신저자; 대우건설기술연구원  
E-mail : 0902711@dwconst.co.kr  
Tel : (031) 250-1143, Fax : (031) 250-1132  
\* 대우건설기술연구원  
\*\* 대우건설기술연구원

### 3. 수치해석

#### 3.1 제어 알고리즘

댐퍼의 댐핑계수를 조정하는 제어 알고리즘은 다음과 같다.  $F$ 는 댐퍼의 제어력을 나타내며  $\dot{x}$ 은 구조물의 속도값이다.  $F \times \dot{x} \geq 0$  일 때, 코어와 외주기동은 아웃리거 댐퍼에 의해 일체거동을 하며,  $F \times \dot{x} < 0$  일 때, 코어와 외주기동은 아웃리거 댐퍼에 의해 분리거동을 하게 된다. 제어신호  $q(t) \in \{ON, OFF\}$ 는 다음 조건식에 의해 결정된다.

$$\begin{cases} F \times \dot{x} \geq 0: q(t) = ON \\ F \times \dot{x} < 0: q(t) = OFF \end{cases} \quad (1)$$

#### 3.2 아웃리거 시스템과 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템 횡변위 제어 성능 비교

그림 3 과 같은 하중형태에 대해서 아웃리거 시스템과 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템의 횡변위 제어 성능 비교를 수행하였다.

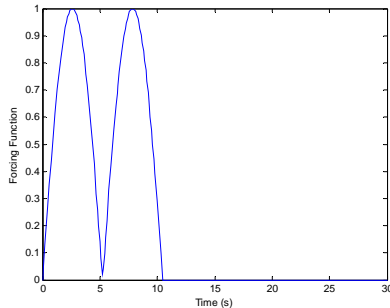


그림 3. 입력하중

##### (1) 아웃리거 시스템

구조물의 고유주기는 4.8 초이며, 고유 감쇠비는 0으로 산정하였다. 그림 4는 시간에 대한 구조물의 최상층 변위를 나타낸다. 최상층 변위 최대값은 40cm이다.

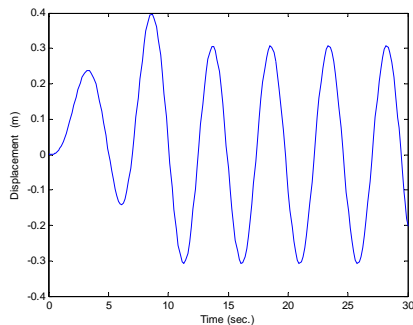


그림 4. 구조물의 최상층 변위

##### (2) 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템

준능동 아웃리거 댐퍼 시스템은 아웃리거 시스템과 동일한 고유주기와 고유감쇠비를 가진다. 그림 5는 수식 (1)에 의해 아웃리거 댐퍼의 댐핑계수가 실시간으로 조정될 때, 시간에 대한 구조물의 최상층 변위를 나타낸다. 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템의 최상층 변위 최대값은 28cm로 아웃리거 시스템에 비해 변위값이 30%가 줄어들었다.

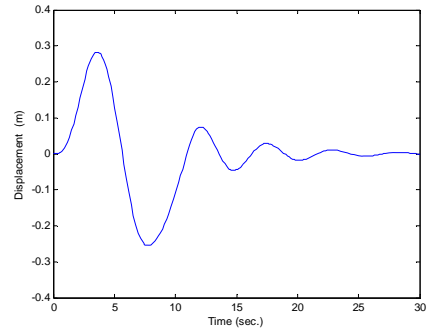


그림 5. 구조물의 최상층 변위

표 1은 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템의 비제어시 ( $q(t) = OFF$ ), 수동제어시 ( $q(t) = ON$ ), 그리고 준능동제어시의 최상층 최대 변위값을 나타낸다. 수동제어시는 외주기동과 코어가 항상 결합된 상태로 일반 아웃리거 시스템과 비슷한 횡변위 제어 성능을 보임을 알 수 있다.

표 1. 비제어시, 수동제어시, 준능동제어시, 구조물의 최상층 최대 변위

구분	최상층 최대 변위 (cm)
비제어	59
수동제어	38
준능동제어	28

### 4. 결론

본 연구에서는 아웃리거 댐퍼에 의해 외주기동과 코어를 실시간 결합-분리 시킴으로써 외부하중에 의한 구조물의 횡변위를 효과적으로 제어하는 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템 모델을 제안하였다. 준능동 아웃리거 댐퍼 시스템의 횡변위 제어 성능을 검증하기 위해서 일반 아웃리거 시스템과 제어 성능을 비교하였으며, 준능동제어시 아웃리거 댐퍼 시스템이 일반 아웃리거 시스템에 비해 횡변위 제어 능력이 우수함을 알 수 있었다.