

# 교량 모형을 이용한 동조질량감쇠기(Tuned Mass Damper) 감쇠성능 평가실험

## Experimental Evaluation of Tuned Mass Damper Performance

김형태†·조남소\*·서주원\*\*

KIM Hyung Tae, CHO Nam So and SEO Ju Won

### 1. 서 론

최근 철도교의 진동 제어에 대한 관심이 고조되고 있다. 비단 철도교 뿐 만 아니라 일반적인 교량에 있어서 기능적 측면의 사용성을 극대화하기 위한 근래의 추세를 방증하고 있다. 철도교의 진동 문제는 도로교에 비해 비교적 단순한 특성을 갖고 있다. 가진원이 일정하여 특정 주파수 대역에 집중되는 특성이 있고 또한 간헐적으로 발생하기 때문에 가진원이 지나간 후의 여진을 제어하는 것이 더욱 효과적일 수 있다. 이러한 철도교의 특성을 고려하여 열차가 지나간 후의 여진을 제어하기 위한 방법으로 tuned mass damper(TMD, 동조질량감쇠기)가 적합하다고 판단하였으며, 국내에서 상대적으로 미진하다고 판단된 TMD의 실험적 검증에 계획하였다. 따라서 이 연구는 철도교의 진동 제어를 위한 감진 장치의 감쇠 성능 검증을 1차적인 목표로 하며 이를 실험적으로 확인함으로써 궁극적으로 열차의 주행안전성의 향상에 기여하고자 하였다.

### 2. 구조해석 및 감쇠성능 평가실험

#### 2.1 교량 및 TMD 모형 제작

서론에서 전술했듯이 철도교량의 진동을 제어하기 위한 TMD의 효과를 검증하는 실험을 계획하였다. 철도교와 유사한 고유진동수를 가지는 철도교량 모사 실험체를 제작하였다. 길이 4m, 폭 0.2m, 높이 35mm 가량의 강재 플레이트를 사용하여 고유진동수 약 5.2Hz의 철도교량 모형을 설계하였고, 기본적인 동특성 검증 실험을 실시하였다.

스프링과 강재 정육면체를 연결하여 TMD를 모사할 수 있는 모형도 제작하였다. 스프링의 강성은 설계치와 동일하게 제작하는 것이 매우 까다로우므로 먼저 스프링을 제작하여 강성을 실험적으로 계측하고, 교량 모형과 동조하는 고유진동수를 가지도록 질량체를 제작하였다.

#### 2.2 동적구조해석

TMD의 제진효과는 문헌 조사를 통하여 전반적으로 파악하였지만 2.1절에서 설명한 교량-TMD모형에 대한 동특성을 확인하기 위하여 범용 전산해석 프로그램인 MIDAS를 이용하여 동적구조해석을 수행하였다. TMD가 설치되지 않은 교량에서는 고유진동수 5Hz 근방의 진동 응답이 집중되어 있었고, TMD가 설치된 경우에는 5Hz 근방의 응답은 급격히 줄어들어 특정 진동수 대역에 집중된 진동을 저감시키기 위한 TMD의 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 반면 4.6Hz와 5.3Hz 근방의 응답이 크게 늘어나는 부작용도 있어 이런 문제점을 해결하기 위하여 고유진동수 뿐 아니라 그 근방의 진동수에 동조되는 보조적인 TMD도 함께 설치되는 multi-TMD의 필요성도 제기되었다. 이러한 동적 응답 특성을 이해하기 위하여 TMD가 없는 경우와 교량 질량의 1%에 해당하는 TMD를 설치한 경우의 응답 비교를 그림 1에 도시하였다.

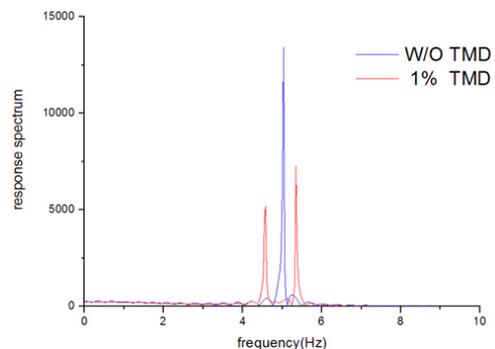


그림 1 TMD 유무에 따른 진동수 영역 응답

† 교신저자; 현대건설 기술품질개발원  
E-mail : imshap2@hdec.co.kr  
Tel : (031) 280-7220, Fax : (031) 280-7070

\* 현대건설 콜롬보 항만 확장공사

\*\* 현대건설 기술품질개발원

### 2.3 감쇠성능 평가실험

2.2절과 같은 해석적 결과를 실질적으로 검증하기 위하여 교량-TMD 상호작용을 통한 감쇠성능 평가실험을 계획하였다. 철도교 상부의 철도차량의 차륜 운행하중을 4m 길이의 짧은 실험체에서 모사하는 것은 의미가 없을 뿐만 아니라 매우 어려운 작업이기 때문에 하중은 임팩트 해머를 통한 충격하중으로 결정하였다.

실험을 위한 파라미터로는 TMD의 질량과 위치를 선정하여 이에 따른 진동 감쇠효과의 차이를 검증하고자 하였다. 우선 질량의 차이에 따른 감쇠성능의 변화를 알아보기 위하여 TMD가 없는 경우, 교량 질량의 1.5%, 3%에 해당하는 질량을 가진 TMD가 설치된 경우에 대한 변위 응답을 측정하였다. 이에 대한 시간영역과 진동수영역에 대한 응답 비교를 각각 그림 2와 3에 나타냈다.

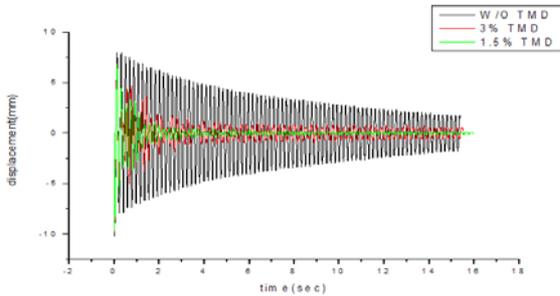


그림 2 질량 차이에 따른 시간영역 변위응답 비교

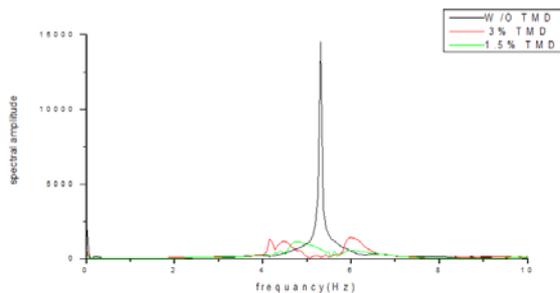


그림 3 질량 차이에 따른 진동수영역 변위응답비교

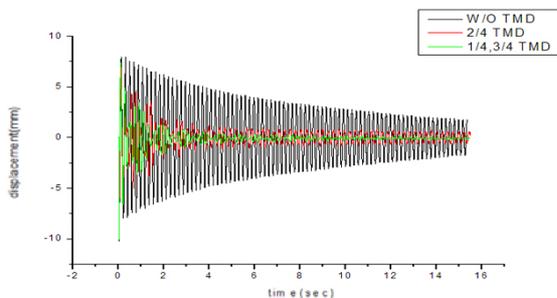


그림 4 위치 변화에 따른 시간영역 변위응답비교

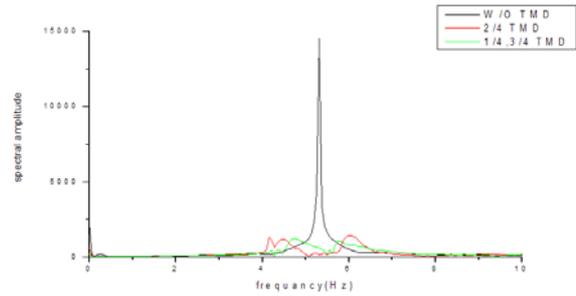


그림 5 위치 변화에 따른 시간영역 변위응답비교

또한 TMD 위치에 따른 감쇠성능의 변화를 알아보기 위한 실험의 결과는 각각 그림 4와 5에 도시하였다. 이러한 실험 결과에 대한 분석 및 결론은 다음 장에 설명하였다.

### 3. 결 론

전반적인 실험 결과로부터 판단할 때, 교량의 고유진동수와 동일한 고유진동수를 가지는 TMD를 통하여 시간영역과 진동수영역에서 공히 확실한 제진효과를 확인할 수 있었다. 문헌과 해석에 따르면 질량이 크면 클수록 감쇠력이 증가하여 제진효과가 증가하지만, 완벽한 동조가 불가능함에서 기인한 beating 현상이 관찰되었고, 임계치 이상의 질량의 증가는 되려 제진효과를 감소시키는 역할을 하였다. 질량의 총합이 같을 경우 다수의 TMD를 설치하는 것이 진동을 제어하는 데 더욱 효과적으로 나타났다. 고유진동수 주변 영역의 응답의 증가가 해석에서와 같이 두드러지지 않는 것을 검증하여 multi-TMD의 필요성은 크지 않은 것으로 나타났다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업 초장대교량사업단의 연구비지원(과제번호: 08기술혁신E01)에 의하여 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) 권순덕, 차량하중을 받는 교량의 진동 제어를 위한 TMD의 효과, 대한토목학회 논문집, vol. 18, no. 1-4, pp..457-467
- (2) 권순덕, 이일근, 차량하중에 의한 진동을 완화하는 수동제어장치의 실교 적용, 대한토목학회 논문집, vol. 20, No 2-A, pp..265-272