

건물의 바닥진동 저감을 위한 TMD 설계에 대한 연구

A Study on TMD Design for the floor vibration control of building

† 정주목*·김영찬*·장강석*·윤제원*·홍병국

Joo-mock Jung, Young-chan Kim, Kang-seok Jang, Je-won Yoon, Byoung-kook Hong

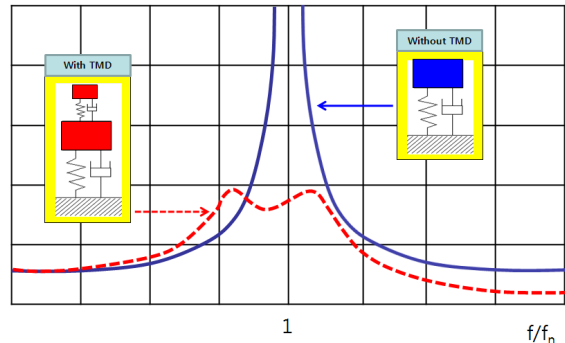
1. 서 론

건축물 바닥에 발생하는 진동은 바람, 지진, 차량운행과 같은 외력에 의한 외적인 것과 건물 내 설비나 가동장비, 시설의 운영에 의한 내적인 것이 있다. 이러한 진동원이 건축물의 고유진동수와 일치하는 경우 공진으로 인해 종종 심각한 진동을 유발하기도 한다. 본 연구에서는 건물 내부에 지게차 등의 운행으로 특정지역에 진동이 주원인인 크랙이 발생하여 크랙발생의 진행을 억제하고자 바닥의 진동제어를 하게 되고 진동제어 방법 중 동조질량댐퍼(TMD : Tuned mass damper)를 이용하여 진동제어를 할 경우 최적의 TMD 설계에 대한 연구이다.

2. 본 론

2.1절 동조질량댐퍼(TMD)의 개요

TMD에 의한 진동제어는 TMD의 구성 요소인 댐퍼에 의하여 구조물의 진동에너지를 소산시키는 것이 기본개념이며 <그림 1>과 같다. 이러한 소산에너지를 크게 하는 것이 제진효과를 증대하는 것으로 소산에너지를 증가시키기 위해서는 구조물의 진동에 대응하는 TMD의 진동응답을 크게 하거나 댐퍼의 감쇠를 크게 하는 방법이 있다. 우선 TMD의 응답을 크게 하기 위해서는 구조물의 진동과 공진하도록 TMD의 고유진동수를 동조시키는 것이 가장 중요하며, TMD의 구성요소 중 댐퍼의 감쇠를 크게 하기 위해서는 댐퍼의 감쇠계수를 크게 하는 것이 좋으나 댐퍼의 감쇠계수를 크게 하면 TMD 자신의 응답도 억제하게 되므로 최적의 감쇠계수를 구하는 것이 바람직하다. 이러한 TMD는 질량, 댐퍼, 강성의 3가지 요소로 구성되는데 진동학적으로 1자유도 계로 구성되며, 아래와 같은 응답특성을 갖는다.



<그림 1> 동조질량댐퍼의 유무에 따른 응답특성

2.2절 감쇠비(ζ , damping ratio)

감쇠비란 임계감쇠값에 대한 시스템의 감쇠계수값의 비를 나타내며 이 값이 1보다 작으면 시스템은 시간이 지남에 따라 진동응답이 감소하게 된다. 이러한 구조물의 감쇠비를 구하는 방법은 여러 가지가 있으나 주파수 영역상에서 감쇠비를 구하는 방법(반치폭법)과 시간 영역상에서 구하는 방법(감쇠법)이 있다.

3. TMD 제작 및 실험실 내 성능평가

3.1절 현장 개요 및 분석

1) 현장개요

본 논문에서 검토된 현장은 길이 240m, 폭 98m인 2층 건물로 2층바닥에 지게차, 리치 등 운송장비 운전이 많은 물류센터 건물이다. 2층 바닥의 기둥간격이 10×17m인 장스판(Span)구역에 지게차, 리치 등의 운행이 많아 특정 구역에 진동과 크랙이 발생되고 있다. 2층 바닥은 지게차, 리치 등 통행상의 문제로 바닥하부 즉 1층 천정부분에 TMD를 설치하여 진동을 제어하였다.

2) 바닥의 동특성 시험

TMD 설계를 위한 바닥의 동특성 실험 결과는 다음과 같다. 우선, 진동측정 시스템은 <그림 2>와 같이

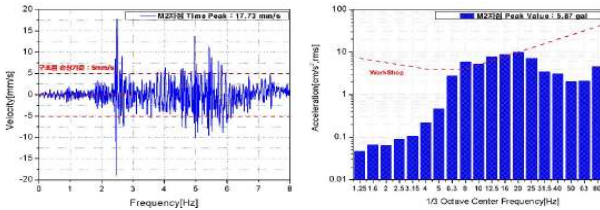
† 정주목; 유니스테크놀로지(주)
E-mail : jmjung@unisontg.com
Tel : (041) 577-3457, Fax : (041) 577-3458

* 유니스테크놀로지(주)

가속도계(Dytran) 및 주파수분석기(B&K, Pulse)로 구성하였고, 진동이 가장 크게 발생할 것으로 예상되는 몇 개의 지점을 선정하여 지게차 운행시에 대한 진동측정을 수행하였다. 진동측정결과 <그림 3>과 같이 진동속도가 17.7mm/s, 진동가속도는 8.0Hz에서 5.9cm/s²이 발생하였다. 특히, 낮은 주파수대역에서 탁월주파수성분이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.



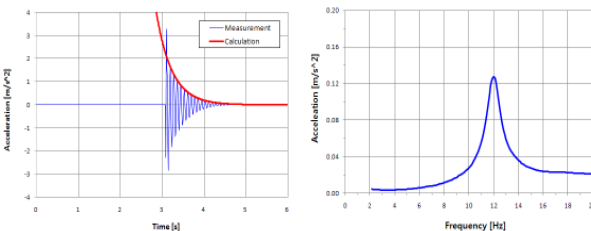
<그림 2> 진동측정 시스템 및 현장측정사진



<그림 3> 진동측정결과

3.2절 TMD 설계 및 성능시험

현장에서 지게차 및 리치 등의 운행이 많고 진동과 크랙이 심한 바닥을 스판별로 측정된 진동측정결과를 근거로 탁월주파수에 해당하는 고유진동수를 갖는 TMD를 설계 하였다. 질량은 바닥무게의 1%에 해당하는 1ton을 기본 질량으로 하여 탁월주파수의 변화에 따라 스프링 강성의 변화와 질량을 수정하여 튜닝 설계하였다. TMD의 성능평가 시 고유진동수는 임팩트해머로 충격을 가한 후 자유 진동하는 가속도신호를 가속도계로 측정한 후 주파수 분석기를 이용하여 분석하였다. <그림 4>는 TMD에 대한 감쇠비 및 고유진동수 측정결과를 나타낸 것이다.



<그림 4> TMD의 성능평가결과

3.3절 TMD설치후 현장성능평가

본 현장은 메인 거더(girder)의 변화로 인해 바닥의 탁월주파수가 다르게 나타나고 있다. 설치위치의 탁월주파수와

일치하게 튜닝 된 TMD를 바닥하부에 안정적으로 설치하는 것이 중요하다. <그림 5>는 2층 바닥 하부 진동응답이 가장 큰 위치에 장애물을 피해 장비 및 설비운영에 지장이 없이 지상 7m지점에 설치되어있는 사진이다. 거더의 날개부위에 빔으로 보강하고 그 위에 TMD를 고정하였다..



<그림 5> TMD설치 모습

건물 2층 바닥에서 발생하는 탁월주파수성분의 저감 및 과도진동의 제어를 위해 철판보강공사를 하였고 TMD 24대를 설치하였다. 공사 완료 후 2층 건물 바닥에서 수행한 진동측정결과를 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> TMD설치 전후 진동측정결과

항 목	측정결과		비고
설치 전	진동속도	18 mm/s	
	진동가속도	5.9 cm/s ²	
설치 후	진동속도	4.7 mm/s	철판보강공사 포함
	진동가속도	3.6 cm/s ²	

4. 결 론

본 논문은 건물바닥의 진동제어를 위해 적용한 TMD의 설계 및 성능평가에 관한 것이다. 검토된 현장의 건물바닥은 지게차가 운행할 때 낮은 주파수 대역에서 탁월주파수 성분이 발생하고 있었으며, 특히 바닥에는 미세 균열이 발생하고 있었다. 따라서 상기 탁월주파수 진동의 저감 및 미세 균열의 보강을 위해 바닥에 철판보강공사를 하였고 바닥하부에 TMD를 설치하여 바닥진동을 제어 하였다. TMD가 설치될 바닥의 고유주파수와 TMD의 고유진동수가 일치하면 전반적인 진동값의 제어 및 탁월주파수의 진동제어에 효과적임을 알 수 있었다.