

2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

긴장력이 도입된 탄소섬유 스트립의 중량충격음 저감효과에 대한 해석적 연구

Analytical Study on the Heavy-weight Impact Sound Alleviation of Post-Tensioned CFRP Strips

○김 창 혁*
Kim, Changhyuk

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effectiveness of applying prestressed CFRP strips on RC slabs to alleviate heavy-weight impact sound. The considered slabs were the structural components of the bearing wall system. In this study, finite element analysis was conducted to calculate the acceleration response of slabs under impact load. The effectiveness of CFRP strengthening in alleviating heavy-weight impact sound was validated by comparing the Vibration Acceleration Level obtained from 1/3 octave band analysis. It was demonstrated that RC slabs of the bearing wall system exhibited a significant alleviation of heavy-weight impact sound through the application of CFRP strengthening.

키워드 : 중량충격음, 벽식구조, 탄소섬유 보강, 유한요소해석

Keywords : Heavy-weight Impact Sound, Bearing Wall System, CFRP Strengthening, Finite Element Analysis

1. 서론

1.1 연구의 목적

서울과 같이 인구밀집도가 높은 국내 지역에서는 일반적으로 공동주택이 많이 건설되고 있다. 이러한 주거 형태로 인해 층간소음과 관련된 사회문제가 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 이에 따라 주택법에서 충격음에 대한 규제를 시행하고 있다.

충격음은 경량충격음과 중량충격음으로 구분되며 경량충격음은 완충재를 사용할 경우 뚜렷한 경량충격음 완화 현상을 나타낸다. 반면에 중량충격음의 경우 완충재를 통한 충격음 완화 효과가 경량충격음에 비해 미미하며, 슬래브 두께의 증가를 통해 완화하는 것이 일반적이다. 또한 콘크리트 구조물은 사용 중에 균열과 같은 손상으로 인해 강성이 감소한다. 따라서 중량충격음을 제어하기 위한 연구는 주로 강성 보강과 균열 제어와 관련된 연구가 대부분이다.

현재까지 충격음을 완화하기 위한 많은 선행 연구들이 진행되었다. 대부분은 완충재를 사용한 경량충격음 완화에 대한 연구이며 실험연구가 많이 진행되었다. 따라서 기존에 사용 중인 공동주택에 적용할 수 있는 균열 제어 및 강성 보강을 통한 중량충격음 완화 기술이 필요한 실정이

다. 이에 본 연구에서는 긴장력이 도입된 탄소섬유 스트립을 적용하여 사용 중인 건축물의 강성 보강과 균열 제어를 동시에 진행할 수 있는 공법에 대한 해석연구를 진행하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

Jeon et al.(2004)은 KS F 2810-2에서 규정한 표준 중량충격력 특성 2에 의해 부재에서 발생한 음압레벨과 진동 가속도레벨의 선형관계에 대해 검증하였다. 이에 따라 본 연구에서는 탄소섬유 공법 적용 전후 해당 충격력에 의해 벽식구조의 슬래브 부재에서 발생하는 진동의 가속도 응답 특성을 출력하였다. 또한 보강 전후 부재에서 발생한 가속도 응답 특성을 1/3 옥타브 밴드를 통해 비교 분석하여 해당 공법의 중량충격음 완화 효과를 검증하였다.

2. 유한요소 해석

2.1 해석 모델

해석에 사용된 콘크리트, 철근 및 탄소섬유 모델의 재료 물성값은 표 1과 같다. 표 1에 언급된 콘크리트와 철근의 물성값은 일반적으로 준공 연도가 30년 이상 된 노후 공동주택에 사용된 재료 물성값을 참고하여 선정하였으며, 탄소섬유의 재료 물성값은 Choi et al. (2020)의 논문을 참고하였다.

* 인하대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering,
Inha University, changhyuk@inha.ac.kr)

표 1. 재료 물성값

Concrete	Reinforcement		CFRP	
f_{ck} (MPa)	f_y (MPa)	d_s (mm)	f_f (MPa)	E_f (MPa)
21	300	10	4,600	288,900

f_{ck} : 콘크리트 압축강도 f_y : 철근 항복강도
 f_f : 탄소섬유 인장강도 E_f : 탄소섬유 탄성계수

사용 중 구조물에 발생하는 손상상태는 국토안전관리원에서 규정하는 상태평가 등급 ‘C’에 해당하는 처짐을 2층 바닥 슬래브에 구현하여 적용하였다.

그림 1에 탄소섬유 보강공법 적용 전후 슬래브 하부면을 나타내었다. 탄소섬유 보강공법이 적용된 모델의 경우 보강 전 유의한 균열이 발생한 위치에 탄소섬유 스트립을 적용하였다. 탄소섬유 스트립의 두께와 폭은 각각 0.5 mm, 150 mm로 설정하였으며 스트립은 중심간격 300 mm 간격으로 모델링 하였다. 또한 스트립에 도입된 긴장력의 크기는 탄소섬유의 인장강도의 60%에 상응하는 2760 MPa로 설정하였다.

충격력은 최대 처짐이 발생한 요소의 윗면 절점에 적용하였으며 가속도 응답은 해당 요소의 아랫면 절점에서 출력하였다.

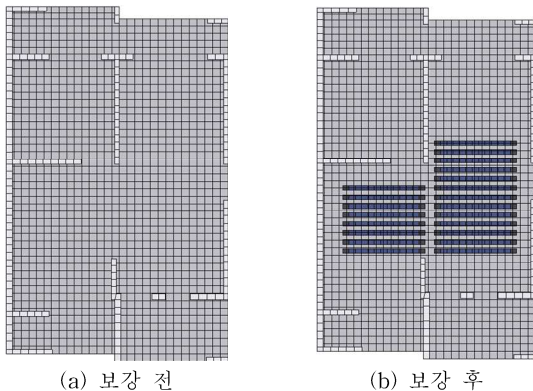


그림 1. 보강 전후 슬래브 하부면

2.2 해석 결과

보강 전후 각 해석 모델의 가속도 응답의 1/3 옥타브 밴드 분석 결과를 그림 2와 표 2에 정리하여 나타내었다.

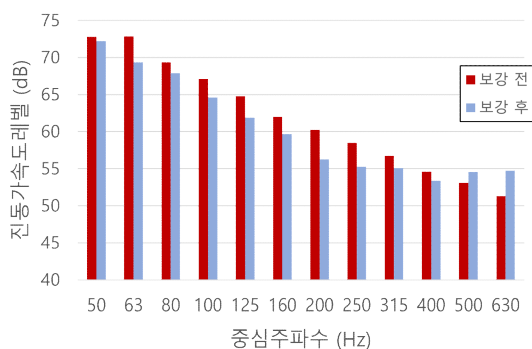


그림 2. 보강 전후 진동가속도레벨 비교

표 2. 보강 전후 진동가속도레벨 및 진동가속도레벨 감소량

중심주파수 (Hz)	보강 전 (dB)	보강 후 (dB)	감소량 (dB)
50	72.78	72.23	0.55
63	72.86	69.33	3.53
80	69.32	67.88	1.44
100	67.08	64.63	2.45
125	64.77	61.91	2.86
160	62.00	59.65	2.35
200	60.25	56.24	4.01
250	58.51	55.28	3.23
315	56.73	55.08	1.65
400	54.61	53.39	1.22
500	53.11	54.54	-1.43
630	51.30	54.73	-3.43

표 2에 나타난 것처럼 50-400 Hz의 중심주파수 대역에서 진동가속도레벨이 감소하였다. 해당 중심주파수 대역에서 진동가속도레벨이 평균 2.33 dB 감소하였으며 63, 125, 200, 250 Hz의 중심주파수 대역에서 2.8 dB 이상의 유의한 진동가속도레벨 감소가 나타났다. 또한 진동가속도레벨의 최대 감소는 중심주파수 200 Hz 대역에서 발생하였으며 그 크기는 4.01 dB이었다.

3. 결론

본 연구에서는 사용 중 손상된 벽식구조 내 슬래브의 탄소섬유 보강에 따른 중량충격음 완화 효과에 대해 해석적으로 연구를 진행하였다. 유한요소 모델링은 동일한 평면을 가진 두 세대를 2층으로 모델링 하였다. 유한요소해석 결과 긴장력이 도입된 탄소섬유 스트립 보강을 진행할 경우 80 Hz를 제외한 모든 중심주파수 대역에서 진동가속도레벨이 감소함을 확인하였다.

참고문헌

- 통계청, 2022년 인구주택총조사 결과 <등록센서스 방식>, 2023
- KS F 2810-2:2012 건축물의 바닥충격음 차단 성능 현장 측정방법-제2부:표준 중량충격원에 의한 방법.
- 최종권, 김창혁. (2020). 인장 시편의 형상을 고려한 탄소섬유보강폴리머의 기계적 특성 분석. 콘크리트학회 논문집, 32(3), 267-274.
- Jeon, J. Y., Jeong, J. H., & Seo, S. H. (2004). Heavy-weight floor impact sound in reinforced concrete structures. In Proc. of The 2004 Conference of the Australian Acoustical Society, 631-636.
- Sedlacek G, Heinemeyer C, Butz C, Völling B, Waarts P, Duin F, Hicks S, Devine P and Demarco T. (2006). Generalisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls. EUR, (21972), 1-343.