

F.R.P 재료 보강에 의한 신개념 중량충격음 저감대책

Heavy-weight Impact Noise Reduction of Concrete Slab Reinforcement Using F.R.P

정정호*·유승엽**·이평직**·전진용***·조아형****

Jeong Ho Jeong, Seung-Yup Yoo, Pyoung-jik Lee, Jin Yong Jeon and A-Hyoung Jo

Key Words : Heavy-weight Impact Noise (중량충격음), Concrete Slab Reinforcement (슬래브 보강), F.R.P (유리섬유강화플라스틱), Floor Impact Noise Test Building (표준실험동)

ABSTRACT

Low frequency heavy-weight impact noise is the most irritating noise in Korean high-rise reinforced concrete apartment buildings. This low frequency noise is generated by foot traffic due to the fact that Koreans do not wear shoes at home. The transmission of the noise is facilitated by a load bearing wall structural system without beams and columns which is used in these buildings. In order to control low frequency heavy-weight impact noise, floating floors using isolation materials such as glass-wool mat and poly-urethane mat are used. However, it was difficult to control low frequency heavy-weight impact sound using isolation material.

In this study, reinforcement of concrete slab using beams and plate was conducted. Using the FEM analysis, the effect of concrete slab reinforcement using FRP(fiber-glass reinforced plastic) on the bang machine impact vibration acceleration level and sound were conducted at the standard floor impact sound test building. The 3~4dB floor impact vibration acceleration level and impact sound pressure level were reduced and the natural frequency of slabs were changed.

1. 서론

공동주택의 바닥충격음 차단성능 향상을 위해 2004년 경량충격음에 관한규제가 시행과 함께 5개의 표준바닥구조가 제안되었으며, 중량충격음에 관한 규제는 2005년으로 예정되어 있다[1]. 현재 적용되고 있는 층간소음의 완충재는 경량충격음에는 효과적인 것으로 알려져 있으나[2], 층간소음의 주요 불만은 어린이의 뛰고 달리는 중량충격음성분이므로, 중량충격음 저감을 위한 제품개발이 필요하다.

중량충격음 차단성능 향상을 위한 방법으로는 콘크리트 슬래브 두께의 증가[3], 재진재를 사용하는 방법[4] 등이 제안되고 있다. 그러나 위의 방법들은 모두 신축 공동주택에 적용이 가능한 방법으로 기존 공동주택 또는 분쟁조정 신청 세대의의 중량충격음 차단성능 향상에 적용하기는 어려움이 있다.

공동주택 바닥구조의 공진주파수를 기본구조보다 고주파수 대역으로 이동시킬 경우 현재 중량충격원에서 발생하는 저주파 진동에너지 및 저주파 충격음의 전달을 저감할 수 있다. 공동주택 바닥구조의 공진주파수를 고주파수 대역으로 이동시키는 것은 바닥충격진동 및 충격음 저감과 관련된 것으로 알려져 있다[5].

F.R.P(Fiberglass Reinforced Plastic)는 콘크리트보다 압축력과 인장력에 2~10배의 강한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 중량충격음 저감을 위해 F.R.P 재료의 형상 및 슬래브와의 일체화 방법개선을 통해 중량충격음을 저감하고자 한다. 이를 위해 F.R.P 재료 적용에 따른 바닥 슬래브 구조의 바닥충격 진동레벨, 공진주파수 변화 및 중량충격음 차단성능 향상을 조사하였다.

Table. 1 F.R.P 재료의 물성

성형방법	급	글라스함유율(%)	비중	인장강도(kg/mm ²)	인장탄성율(kg/mm ²)	굴곡탄성(kg/mm ²)	굴곡탄성율(kg/mm ²)	압축강도(kg/mm ²)
Hand lay up	Low	25	1.48	8.1	720	14.3	760	11.3
	High	38	1.52	13.0	920	19.0	1,020	15.7
Metal Matched Die	Low	41	1.53	13.6	950	20.4	1,050	15.9
	High	50	1.63	15.6	1,250	22.7	1,380	16.8

* 한양대학교 건설연구소

E-mail : jhjeong92@hanmail.net

Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

** 한양대학교 대학원

*** 한양대학교 건축대학 건축공학부

**** 삼정 F.R.P 산업

2. F.R.P 강성보강판 해석

슬래브 하부에 F.R.P 보강구조를 적용한 경우의 중량충격음의 저감성능은 Fig. 1에서와 같이 건설교통부에서 제안한 바닥충격음 표준 실험실의 기준에 부합하는 표준실험실음[6,7]을 대상으로 하였다. 실험실 적용에 앞서 최적화된 안을 도출하기 위하여 유한요소(Finite Element Method)해석 방법을 적용하여 슬래브 하부에 보강하는 F.R.P 보강구조의 두께 및 적용 부위 등을 변화하여 바닥충격진동 해석을 실시하였다.

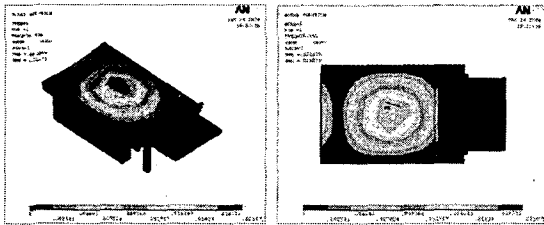


Fig. 1 바닥충격진동 해석 위한 3D 모델

F.R.P 보강판과 콘크리트 슬래브 사이의 조건은 일체화된 것으로 가정하여 Bang machine 충격에 대한 과도해석(Transient Analysis)을 수행하였다. 과도해석의 조건은 슬래브 상부 중앙을 가진 하였을 경우 슬래브 하부 중앙에서 수진하는 경우를 대상으로 하였다.

2.1 두께 변화

슬래브 하부에 적용하기 위한 최적의 F.R.P 보강구조의 조건을 도출하기 위하여 F.R.P 보강구조의 두께를 대상으로 바닥충격진동 해석을 수행하였다. F.R.P 보강구조가 적용되는 범위는 슬래브 하부 전체를 대상으로 하였으며, 두께는 10~50mm까지 10mm 단계로 실시하였다. 해석 결과는 Table. 2와 Fig. 2에 나타내었다.

Table. 2 F.R.P 보강판 두께변화에 따른 고유진동수 및 진동가속도레벨 변화

F.R.P 보강판두께	0	10mm	20mm	30mm	40mm
고유진동수(Hz)	35	37	38	38	39
VAL(dB)	89	88	87	86	85

바닥충격진동 해석결과 슬래브 하부 즉 수습실 상부 천장에 F.R.P 보강구조를 적용할 경우 슬래브 하부 중앙부의 바닥충격진동 가속도 레벨은 보강판이 10mm 증가할 때마다 약 1dB 씩 저감되는 것으로 나타났으며, 바닥 슬래브의 고유진동수도 35Hz에서 39Hz로 변화되는 것으로 나타났다.

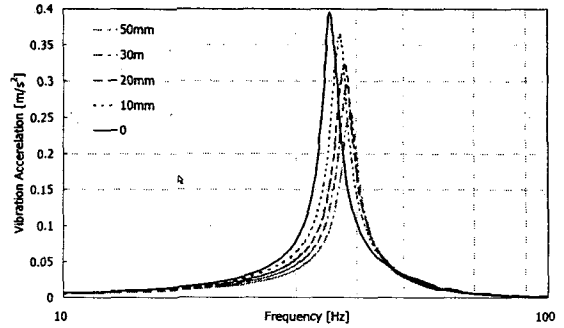


Fig.2 F.R.P 보강판 두께 변화에 따른 바닥충격진동 해석 결과

2.2 적용 범위 변화

슬래브 하부에 적용하는 F.R.P 보강구조의 적용범위를 변화하여 바닥충격진동 저감성능을 비교하였다. F.R.P 보강구조의 적용은 슬래브 하부 중심부분을 기준으로 각 경계벽과 만나는 부분에서 30cm 간격으로 30~150cm 까지 단계적으로 축소하였을 경우의 고유진동수와 바닥충격진동 가속도레벨을 비교하였다. 유한요소 해석 결과는 Fig. 3에 나타내었다. F.R.P 적용면적 축소에 따른 고유진동수와 진동가속도 레벨을 비교한 것으로 F.R.P 보강구조의 적용 면적이 감소할수록 고유진동수는 낮아지고 진동가속도레벨은 높아지는 것으로 나타났다.

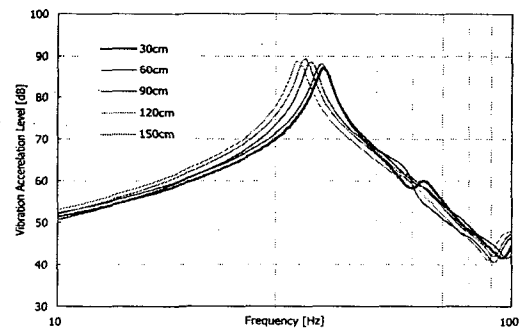


Fig. 3 FRP 보강구조 적용 부위별 고유진동수와 진동가속도레벨

실험실에 적용하기 위한 F.R.P 보강구조 적용면적 최소화 방안으로는 적용대상 실험실의 단면 방향으로 폭 1m의 F.R.P 보강판을 적용하는 방법 고려하였다. F.R.P 보강판의 두께는 10~60mm 범위에서 20mm 간격으로 바닥충격진동 해석을 실시하였다. Fig. 4에서와 같이 폭 1m, 두께 20mm의 F.R.P 보강판을 슬래브 하부의 단면방향에 적용하였을 경우 진동가속도레벨은 약 1.5dB 저감되었으며, 고유진동수는 약 1Hz가 증가되었다. 최대 60mm 두께의 F.R.P 보강구조를 슬래브 하부에 적용할 경우 진동가속도 레벨은 5 dB 저감되며, 고유진동수는 약 5Hz가 증가하는 것으로 나타나 중량충격음 저감 효과가 우수할 것으로 판단된다.

2.3 형태 변화

F.R.P 보강구조의 효과를 개선하기 위해 보강구조의 형태를 변화시켜 바닥충격 진동해석을 수행하였다. Fig. 4와 같이 두께 20mm의 보강 보 아래에 높이 30mm, 너비 300mm의 보강보와 100mm 길이의 플래지를 보강 보 양쪽에 접합한 것을 기본 형태로 하고, 추가 보강 보와 기존 보강 보 사이를 F.R.P로 충전한 경우와 충전하지 않은 경우 2가지 형태로 구분하여 해석을 실시하였다.

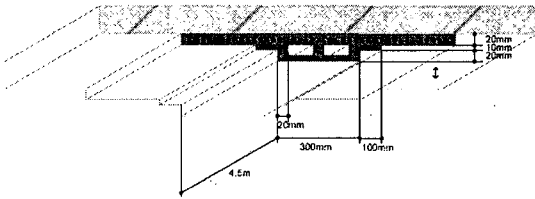


Fig. 4 F.R.P 보강구조 적용안

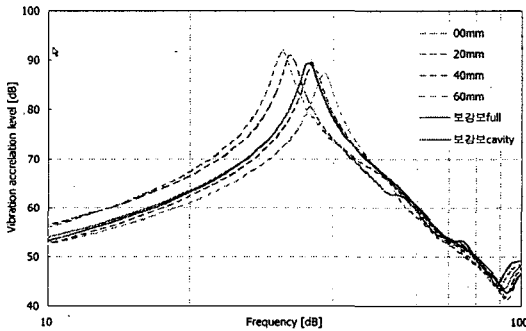


Fig. 5 F.R.P 추가 보강보 실험실 적용 모델 해석 결과

Fig. 5에서와 같이 F.R.P 보강구조 사이를 충전했을 경우와 충전하지 않았을 경우 모두 진동가속도 레벨은 약 3 dB 저감되었고 고유진동수는 약 5Hz 증가되는 비교적 동일한 효과를 나타내었다. 또한 이는 보강구조의 두께를 약 40mm 증가시켰을 경우와 동일한 저감 효과를 보이는 것으로, 보강구조 사이를 충전하지 않는 형태가 경제성과 시공성을 기준으로 판단했을 때 바닥충격음 저감을 위한 가장 합리적인 형태인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 보강 보 사이를 충전하지 않은 경우를 실험실에 적용하였다.

3. F.R.P 보강구조 표준실험실 평가

F.R.P 보강구조를 표준실험실에 적용하였다. 적용 실험실의 콘크리트 슬래브 두께는 240mm로 실제 공동주택에서 사용되고 있는 콘크리트 슬래브 보다 90~60mm 정도 두꺼운 경우를 대상으로 하였다. 실제 F.R.P 보강구조의 적용

은 Fig. 6과 같이 10, 20mm 두께의 보강구조에 더하여 형태 변화 해석을 통해 도출된 보강구조를 추가로 적용한 F.R.P 보강구조를 적용하기 전의 중량충격음 레벨과 비교하였다. 실험실 적용시 콘크리트 슬래브와 F.R.P 보강구조가 일체화 되도록 하였으며, 폭 1m의 F.R.P 보강구조가 적용되는 부위에 콘크리트 표면을 5mm 깊이로 V-커팅 하였다.

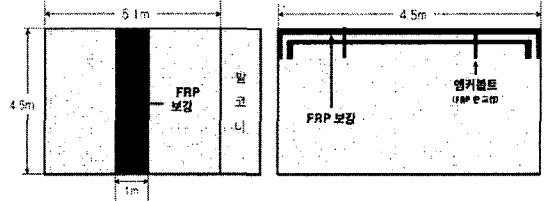


Fig. 6 F.R.P 보강구조 적용안

실험실 적용시 기존 공동주택 천장 내부 공간의 높이 (50mm 이상)를 고려하여 전체 보강구조의 높이가 50mm를 초과하지 않도록 하였다. 또한, 보강구조의 조건별 중량충격음 저감량을 확인하기 위하여 F.R.P 보강구조의 실험실 적용은 3회에 나누어 실시하였다. 1차로 10mm 두께의 보강구조를 적용하여 바닥충격음 측정을 실시한 후 20mm 두께의 보강구조를 추가로 적용하여 바닥충격음 측정을 실시하였다. 마지막으로 형태 변화를 통해 도출된 구조를 20mm 두께의 보강구조에 추가하였다.

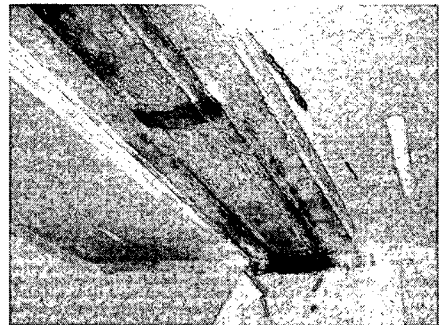
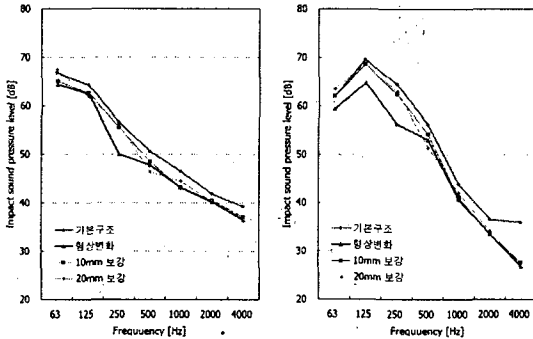


Fig. 7 F.R.P 보강구조 실험실 적용

F.R.P 보강구조의 중량충격음 차단성능의 측정 및 평가는 KS F 2810-2와 KS F 2863에 의해 실시하였으며, 충격원으로는 Bang machine과 함께 JIS A 1418-2에 규정되어 있는 Impact ball을 활용하였다. 중량충격음 차단성능은 보강구조가 설치되지 않은 콘크리트 슬래브에서의 성능을 기본으로 F.R.P 강성보강판이 10mm, 20mm 및 형상 변화 구조가 설치되는 경우마다 저감량을 비교하였다.

F.R.P 강성보강판에 의한 중량충격음 차단성능 개선은 Fig. 8과 같다. Fig. 8 (a)는 Bang machine으로 가진하였을 경우이며, Fig. 8 (b)는 Impact ball로 가진하였을 경우를 나타낸다.

Bang machine 충격음 차단성능 변화는 KS A 2863에 규정된 역A특성가중 바닥충격음레벨로 평가할 경우, 기본구조는 49dB, 10mm의 경우는 47dB로 2dB 저감되었으며, 20mm 두께의 보강구조를 적용한 경우도 49dB에서 46dB로 3dB 저감되었다. 형상변화 구조를 적용할 경우 45dB로 나타나 4dB의 중량충격음 저감이 가능한 것으로 나타났다. 또한 1/3 옥타브 밴드 분석 결과 100, 50Hz 대역을 제외한 모든 주파수 대역에서 중량충격음 레벨이 저감되는 것으로 나타났다.



(a) Bang machine (b) Impact ball

Fig. 8 F.R.P 보강구조의 충격음 차단성능

Impact ball 충격음의 경우 기본구조는 55dB 이었으며, 10mm, 20mm 보강구조 모두 53dB로 나타나 2dB 저감되는 것으로 나타났다. 형상변화 구조를 적용한 경우는 50dB로 나타나 F.R.P 보강구조 적용에 의해 5dB의 Impact ball 충격음 저감이 가능한 것으로 나타났다.

4. 결론

F.R.P 재료를 이용한 중량충격음 차단구조에 대한 연구 결과 콘크리트 슬래브 하부에 적용하는 F.R.P 보강구조를 통해 슬래브의 고유진동수 및 바닥충격음의 제어가 가능한 것으로 나타났다. 또한 Bang machine 충격음은 최대 4dB, Impact ball 충격음은 최대 5dB 저감되며, 기존의 슬래브 상부구조의 변화 없이 슬래브 하부 즉 충격음 피해자 세대에서의 슬래브 보강에 의해 중량충격음 저감이 가능한 것으로 나타났다. 표준실험실 적용시 기준 콘크리트 슬래브

가 240mm 였으나, 실제 공동주택은 대부분 150~180mm 범위에서 건설되고 있으므로 실제 공동주택에 적용될 경우 중량충격음 차단성능 개선량이 증가될 것으로 판단된다.

향후 위의 F.R.P 보강구조에 의한 중량충격음 제어 기술이 적극적으로 활용되기 위해서는 공동주택 건설단계에 적용할 수 있는 방안과 F.R.P 보강구조의 경량화 및 기타 부대 성능의 향상에 대한 연구가 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업(과제 번호: 03-1-11-2-002)와 중소기업청과 서울시의 “산학연공동기술개발 컨소시엄사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, 2004. 3, “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준.”
- (2) 정정호, 정 영, 서상호, 송희수, 전진용, 2004, “바닥충격음 측정 및 차음 평가의 방향,” 한국소음진동공학회 추계학술발표회논문집, pp.269~274.
- (3) 김 경우, 최경석, 최현중, 양관섭, 2004, “바닥충격음 저감방안에 따른 성능 평가,” 한국소음진동공학회논문집, 제14권, 제9호, pp.811~818.
- (4) 전진용, 정 영, 송희수, 김민배, 이영제, 2004, “감쇠재 사용에 따른 중량충격음의 소음 및 진동특성,” 한국소음진동공학회 추계학술발표회논문집, pp.97~102.
- (5) 서상호, 전진용, 2004, “충격력 변화에 따른 공동주택의 중량충격음 및 진동 특성,” 한국소음진동공학회 춘학술발표회논문집, pp.304~307.
- (6) 정 영, 송희수, 전진용, 김진수, 2004, “슬래브 두께에 따른 표준실험동의 중량충격음 특성,” 한국소음진동공학회 추계학술발표회논문집, pp.103~108.
- (7) 한국건설기술연구원, 2003, “공동주택 바닥충격음 법적 기준의 운용방안 마련을 위한 토론회.”