한국소음진동공학회 2005년도 춘계학술대회논문집, pp.387~390.

공동주택의 바닥 충격 진동 해석을 위한 유한요소법 응용

Application of Finite Element Method to Floor Impact Vibration Analysis in the Apartment Buildings

서상호* · 전진용**
Sang Ho Seo, Jin Yong Jeon

Key Words : Finite Element Analysis(유한요소해석), Floor Impact sound(바닥충격음), Natural Frequency(고유진동수) Standard Heavy Weight Source(중량충격원)

ABSTRACT

Finite element method was applied to the vibration analysis of concrete slab system in apartment building. To save the time and cost the 2 dimensional finite element model was proposed. At first, experimental results show that sound peak components to influence the overall level and the rating of floor impact sound insulation were coincident with natural frequencies of the reinforced concrete slab. Second, there is linear relationship between the impact sound pressure level and vibration acceleration level. Third, 2 dimensional finite element model was enough to analyze the vibration analysis of floor structure system.

1. 서 론

생활수준이 높아지고 소음 및 진동 환경에 대한 소비자 인식이 증대되면서 공동주택의 바닥충격음에 대한 적절한 해결방안에 대한 연구가 활발하다. 충격원에 따라 바닥충격음의 특성은 크게 2가지, 즉 경량충격음과 중량충격음으로 분류되는데 특히 중량충격음에 대한 적절하고도 효율적인 대책 마련에 다소 어려움이 따르고 있는 실정이다.

바닥충격음의 저감방안으로서 주로 실험이나 경험에 의한 현장 적용 사례가 많이 활용되고 있다. 경량충격음의 경우, 비교적 중고주파 성분이 지배적인 특성을 가지고 있으며 주로 표면완충 공법이나 뜬바닥 공법 등을 통해 만족할만한 수준의 저감효과를 거두고 있다. 반면, 100Hz 내외의 저주파 성분이 지배적인 중량충격음은 바닥 슬라브의 두께를 증가시키는 고강성 공법이나 손실 계수가 탁월한 제진재를 적용한 바닥 구조 등이 고려되고 있으나, 이러한 공법은 층고의 증가, 재료비 및 시공비 상승 등으로 이어져 적극적인 적용에는 다소 제약이 따르고 있다[1~6].

바닥 충격음에 대한 국내 대표적인 해석적 연구로서, 임피던스법(Impedance Method)을 이용한 차음 성능 예측, 각 부재간 에너지 출입 관계를 이용한 에너지 해석법(SEA, Statistical Energy Analysis) 등이 있으나 일반 기계 구조물이나 전자기장, 열유동장 등에 광범위하게 적용되고 있는 유한요소법(FEM, Finite Element Method)을 이용한 연구는 다소 미흡한 실정이다[7~9].

따라서 본 연구에서는, 유한요소법을 활용하여 공동주택 바닥 구조에 대해 유한요소모델을 구축하여 바닥충격진동을 해석하였다. 이를 위해 3 차원 형상의 복잡한 바닥 구조에 대해 2 차원 및 3 차원 유한요소모델을 각각 구축한 후 그 결과를 비교함으로 향후 효율적인 유한요소모델을 구축할 수 있는 자료로 활용하도록 하였다.

2. 연구개요 및 실험

2.1 연구 개요

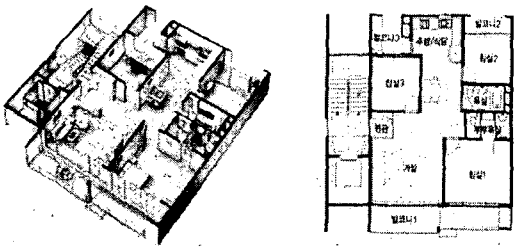
본 연구에서는 현장 실험을 통해 중량충격원에 의한 소음 및 진동 특성을 살펴보고, 유한요소법을 이용하여 유한요소모델을 구축한 후 그 결과를 실험과 비교하여 타당성있는 모델을 제시하도록 하였다.

Fig. 1 은 본 연구에서 대상으로 삼은 30 평형대의 공동주택 투시도와 평면도를 나타낸다.

일반적인 공동주택에 있어서 한 세대의 바닥구조는 여러 개의 방과 화장실, 출입구, 베란다, 그리고 거실 및 주방 등의 구별된 공간이 벽체를 사이에 두고 상호 연결된 3 차원 형상의 복잡한 구

* 한양대학교 건축공학과 박사과정
E-mail : paulseo@ihanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793
** 한양대학교 건축공학부 부교수

조체이다. 또한 이러한 각각의 세대는 윗층과 아래층, 좌측 또는 우측 세대와 서로 이웃하여 연결되어 있으므로 설계자가 주목하는 바닥구조 영역의 동특성을 분석함에 있어 그 경계조건과 대상을 설정함에 많은 어려움을 가지게 된다. 특히 중량충격음이 주로 거실에서 발생되고 있는 것을 고려하여, 거실의 진동 특성을 해석함에 있어 공동주택 전체를 모델링하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 효율적인 해석 모델 구축이 필요하게 되는 것이다.



(a)Perspective drawing (b)Plane figure

Fig. 1 Apartment details for experiment and finite element analysis

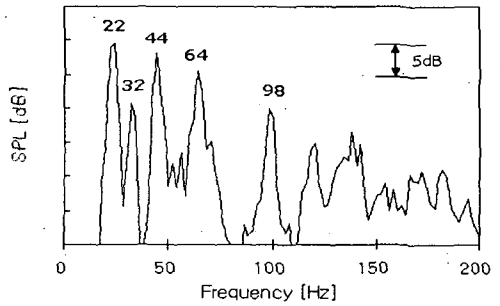
본 연구에서는, 공동주택 거실/주방의 진동 해석을 위한 효율적인 해석 모델을 구축하기 위해 3 가지의 유한 요소 모델링을 실시하여 이를 실험과 비교하여 타당성 있는 모델을 제시하고자 한다. 즉, 2 차원 형상의 거실/주방만을 고려한 모델, 2 차원 형상의 전체 바닥구조를 고려한 모델, 그리고 3 차원 형상의 전체 바닥구조에 벽체를 포함한 3 차원 형상의 모델로 나누어 유한요소해석을 수행하고 이를 현장 측정을 통한 고유진동수와 비교하였다.

2.2 실험방법 및 결과

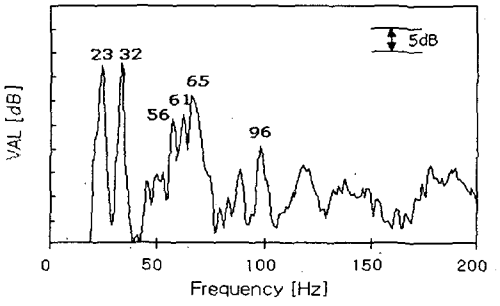
30 평형 공동주택에 대한 진동 및 소음 특성을 파악하기 위해 중량충격원인 뱅머신을 이용하여 거실의 중앙 1 개 지점에 5 회 가진하였으며, 수음실 중앙 및 천장에 마이크로폰 및 가속도계를 각각 설치하여 측정하였다.

Fig. 2 는 수음실에서 측정된 음압레벨(SPL, Sound Pressure Level)과 진동레벨(VAL, Vibration Acceleration Level)을 각각 나타낸다. 실험 결과, 바닥 충격 소음의 주요 스펙트럼 특성으로는 주요 주파수 특성이 100Hz 이하의 저주파 성분이며 이 범위내 주요 피크인 22, 32, 44, 64Hz 등은 진동레벨의 피크와 거의 일치하였다.

Fig. 3 은 뱅머신의 공기압과 낙하 높이를 변화시키며 측정한 중량충격음과 충격진동을 나타낸다 실험결과에서와 같이 충격음과 충격진동 사이에는 높은 선형성을 보여주고 있는데, 즉 진동레벨이 저감되는 만큼 음압레벨이 저감되는 것을 의미한다.



(a)sound pressure level in the receiving room



(a)vibration acceleration level on the ceiling of receiving room

Fig. 2 Floor impact sound vibration spectrum by standard heavy-weight source

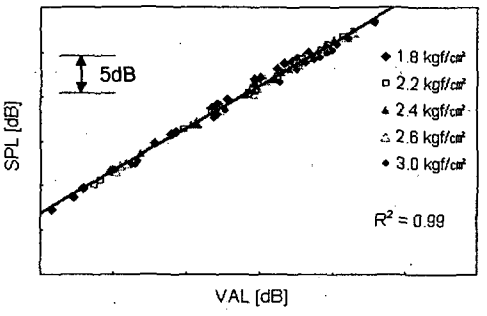


Fig. 3 Relation between floor impact sound and vibration levels by standard heavy-weight source

이상의 실험결과로부터, 바닥충격음과 진동 사이에는 주파수와 레벨 모두에 있어서 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 바닥 구조의 효율적인 유한요소모델을 도출하여 진동해석을 수행함으로 향후 바닥충격음 저감 방안에 활용하고자 한다.

3. 유한 요소 해석

3.1 유한 요소 모델

공동주택 슬래브 구조에 있어서 주요 관심 대상인 주방/거실에 대해 타당성 있는 유한요소모델을 구축하기 위해 다음 3가지로 구분하여 각각 모델링하였으며 이를 Fig. 4에 나타냈다.

(a)는 2차원 형상의 주방/거실만을 고려한 가장 간단한 유한요소모델이다. 일반적인 30평형 공동주택은 3개의 방, 2개의 화장실, 그리고 다양한 형태의 베란다로 구성되어 있다. 그러나, 원할한 모델링과 해석을 위해 주방/거실만을 선정하여 모델링하고 그외의 연결 구조들은 모두 경계조건으로 처리한 것이다.

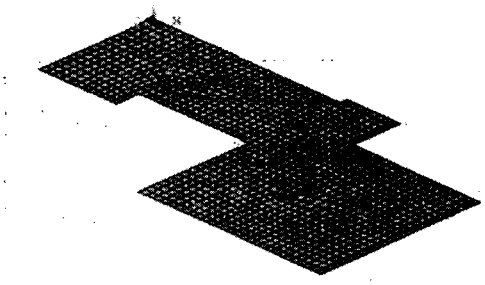
(b)는 한세대 전체의 평면을 모델링하고 벽체 구조만 경계조건으로 구성한 것이다. (a)에 비해 요소수가 2배 이상 증가하며 기타 영역에서의 진동 특성을 관찰할 수 있다.

(c)는 한세대의 평면에 벽체를 포함한 모델이다. 벽체는 상/하층 중심부까지 고려하였으며 이 부분의 경계조건은 변위와 모멘트를 0으로 구속하는 구조이다. 이 경우 벽체의 두께나 형상에 대한 고려가 가능하나, 모델링 과정이 복잡하고 요소수가 급격히 증가하여 해석 시간이 다소 많이 걸리는 단점이 있다.

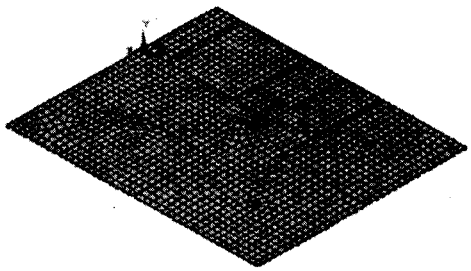
3.2 유한 요소 해석 결과

3가지 경우에 대한 유한 요소 해석 결과를 Table1과 Fig. 5에 나타냈다. 1~4차 고유진동수에 대해 진동 실험과 비교한 결과, 8% 오차범위 내에서 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

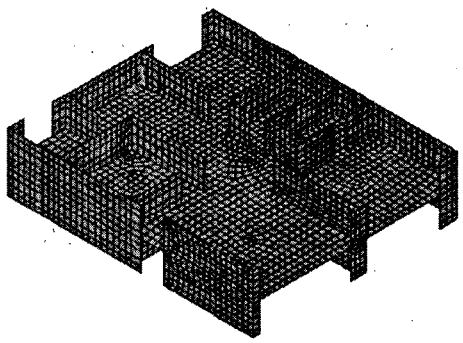
또한 간략화된 2차원 주방/거실 모델은 벽체를 포함한 3차원 유한요소모델에 대해 큰 오차 없이 잘 일치함을 보여 주고 있다. 이는 공동주택에 있어서 유한요소모델은 설계자가 주목하는 영역에 대해서만 일부 모델링하여 해석하여도 전체를 모델링하는 것과 유사한 결과를 보여 주는 것으로, 향후 보다 신속한 모델링과 해석에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 2-Dimensional living/kitchen room only



(b) 2-Dimensional full model



(c) 3-Dimensional full model with walls

Fig. 4 Finite element model of floor structure system

Table 1 Finite element results

Mode	Experiment	FEM		
		2D-Living	2D-Full	3D-Full
1	23	23.2	23.3	22.6
2	32	34.1	34.5	33.6
3	56	57.4	58.6	56.2
4	61	60.9	61.0	58.2
5		61.8	63.4	58.9
6		67.7	69.0	64.7

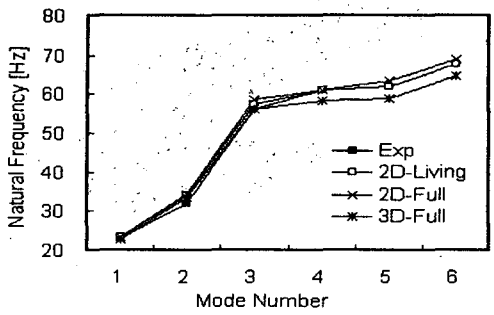


Fig. 5 Comparison of natural frequencies

4. 결 론

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 공동주택의 바닥 충격진동을 해석함에 있어 2 차원과 3 차원 모델을 실험과 비교하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)바닥 충격음의 주요 소음주파수 특성은 바닥 구조의 진동주파수 특성과 일치하였으며, 소음레벨과 진동레벨 사이에는 선형적인 관계에 있을 알 수 있었다.

2)주방/거실만을 고려하여 벽체에 대해서는 경계조건만을 고려한 간략화된 2 차원 유한요소 모델은 벽체를 고려한 3 차원 모델과 그 해석 결과에 있어서 큰 차이가 없이 타당성 있음을 확인하였다.

3)향후 과제로는, 주요 설계 인자에 대한 진동레벨에 대한 민감도 해석 및 실험을 통해 실질적인 저감 방안을 도출하고자 한다.

후 기

본 연구는 환경부 " 차세대 핵심 환경 기술 개발 사업" (과제번호 : 2004-11002-0003-0)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) 기노갑 등, 2003, " 바닥마감재에 의한 바닥충격음 차음특성 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, pp. 645~648.

(2) 정갑철 등, 2003, " 바닥충격음 완화를 위한 저감기술", 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, pp.754~761.

(3) 김경우 등, 2004, " 바닥충격음 저감방안에 따른 성능평가", 한국소음진동공학회논문집, Vol.14, No.9, pp.811~818

(4) 서상호 등, 2004, " 완충재 유무에 따른 표준 중량 충격원에 의한 콘크리트 바닥 구조의 소음 및 진동 특성", 한국소음진동공학회논문집, Vol.14, No.8, pp.661~667.

(5) 김선우 등, 2002, " 천정구조와 바닥마감재의 조합에 따른 경량충격음 응답특성 및 저감량에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 계획계, Vol.18, No.8, pp.177~184

(6) Jeon J. Y. and Jeong, J. H., 2003, " Measurements of floor impact noise using a new impact ball", Noise-con, USA.

(7) 김재수 등, 1992, " 임피던스법을 이용한 공동주택 바닥 충격음 차음성능 예측방법에 관한 실험적 연구 (2)", 한국소음진동공학회논문집, Vol.2, No.1, pp.21~31.

(8) 김재수 등, 1996, " 임피던스법을 이용한 중량충격음의 차음성능 예측 시뮬레이션에 관한 연구", 대한건축학회논문집, Vol.12, No.9, pp.21~31.

(9) 김명준 등, 1998, " 콘크리트 구조체의 경량바닥 충격음 전달특성 해석을 위한 SEA 법의 적용성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, Vol.14, No.11, pp.313~322.