

바닥충격음 예측법에 관한 연구

°이 성 호*, 정 갑 철*

A study on the method for calculation the floor impact sound

°S. H. LEE, G. C. Jeong

ABSTRACT

In this study, several methods for measuring floor impact sound were introduced. Among them, the simple methods (impedance method and diffuse index method) which can be easily applied to site works were investigated. Moreover, the comparison between the calculation results using diffuse index method and the experimental results measured in real apartment structures was conducted. Consequently, the modified diffuse index method, which can be practically used for predicting the performance of to the floor impact sound of apartment structures and can meet the allowable tolerance of Grade I ($\pm 5\text{dB}$), was proposed.

1. 머리말

공동주택에서의 바닥충격음 문제가 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서는 바닥충격음 문제를 줄여주기 위한 방편으로 '주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조 제 3항'의 규정(공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다)을 구체적인 성능기준(중량충격음: 50dB이하, 경량충격음: 58dB 이하)과 표준시방기준(성능기준을 만족시킬 수 있는 대표적인 바닥구조)으로 구분하여 개정을 추진하고 있다.

바닥충격음은 충격력의 특성, 바닥구조의 진동특성, 하부 실의 음향특성에 따라 전파특성과 영향을 미치는 정도가 달라지며, 그 중에서 바닥구조에 의한 영향정도는 슬래브의 두께, 면적, 단부의 고정조건, 공법, 시공관리 등 슬래브 전체의 강성에 따라 달라진다. 그러나 바닥충격음의 차단성능을 평가할 때 사용하는 충격원은 경량과 중량으로 표준화되어 있고,

일반적인 거주공간으로서의 하부 실의 공간조건도 대부분 유사하기 때문에 우리나라 공동주택에서의 바닥충격음 차단성능은 바닥구조의 특성에 따라 달라진다고 해도 과언은 아니다. 즉, 경량바닥충격음은 상부 마감재료를 변화시키면 간단히 성능을 개선할 수 있지만 중량바닥충격음은 바닥의 구조에 의존하기 때문에 간단히는 성능을 변화시킬 수 없다는 것이다. 따라서 중량바닥충격음 차단 성능은 설계시점에 있어서 요구성능을 만족할 수 있도록 충분한 검토가 필요하다. 다시 말해 특히 중량바닥충격음은 성능예측계산을 수행할 필요가 있다고 말할 수 있다.

또한 중량바닥충격음 차단성능에 관해서 언급할 하나의 중요한 점은 공동주택에서의 바닥구조는 구조적인 이유가 아니라 음환경적인 이유에 의해 결정되어 지는 것이라 해도 과언이 아니다. 즉, 구조적으로는 슬래브의 두께가 15cm만으로도 충분한 것이 중량바닥충격음에 관해서는 20cm의 슬래브 두께가 필요하게 되어 바닥충격음 면에서의 요구조건이 구조조건보다 우선이 된다고 말할 수 있다. 따라서 중량바닥충격음의 성능평가를 포함한 구조설계가 필요로 되고, 구조기술자가 음의 문제, 그

* 대우건설기술연구소 선임연구원

* 대우건설기술연구소 책임연구원

것도 가장 복잡한 중량바닥충격음의 예측 검토를 수행하지 않을 수 없다.

본 연구에서는 바닥충격음에 대한 예측방법이 많이 제시되고 있으나 현장에서 실무적으로 간단히 사용할 수 있는 간이계산법인 임피던스법과 확산도법을 비교 검토하였으며, 국내의 아파트구조에 대해 확산도법에 의한 계산결과와 실측결과를 비교함으로써 국내에 적용되고 있는 아파트구조의 바닥충격음 차단성능 예측방법으로서 실무적으로 활용할 수 있는 1등급(±5dB) 정도의 오차를 만족하는 확산도법을 수정하는 방법에 대해서 검토하고자 한다.

2. 바닥충격음 법제화 방안

바닥충격음의 법제화 방안은 바닥충격음 차단성능에 대한 최소기준과 등급화 방안으로 나눌 수 있다.

① 바닥충격음 차단성능에 대한 성능기준과 시방기준(표준바닥구조)으로 구분하여 규정하고 업계에서 성능기준에 적합한 바닥구조를 개발하여 정해진 평가방법에 의해 평가를 거친 후 현장에 적용하거나 건설교통부 장관이 정하여 고시하는 표준바닥구조를 현장에 적용하는 등 2가지 방법 중 1개 방법을 선택적으로 적용할 수 있도록 관련법의 개정을 추진함.

② 바닥충격음 차단성능에 대한 최소기준 이상의 성능을 갖는 바닥구조의 개발과 현장 적용을 유도하기 위해 바닥충격음 차단성능을 등급화하고 주택건설사업자가 해당 등급을 주택 공급 시 의무적으로 표시하는 등급표시 의무화제도를 관련법에 반영하여 개정을 추진함.

3. 바닥충격음 예측기법

현행 바닥충격음 측정 및 평가방법은 현장에서의 측정을 원칙으로 하고 있기 때문에 최종 설계안의 평가를 위해서는 실제 현장에서 시험시공을 통하여 평가하는 경우가 대부분이다. 이 경우 창호의 설치 등 정상적인 시공공정을 앞당겨야 하기 때문에 많은 경비와 시간과 노력이 요구되어지는 등 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 설계단계에서 효율적인 저감공법 및 저감재료를 선정하고 또한 최근 검토 중에 있는 충격음 차단성능에 대한

제도적 기준의 원활한 시행을 위해서는 무엇보다도 바닥충격음 예측기법의 정립이 요구되고 있는 실정이다.

표 1. 세부검토사항

	현황	해결방안
법적기준 운용방안	바닥충격음 차단성능 기준만 제시되어 있을 뿐 업체가 제시하는 바닥구조가 법적기준을 만족하는지 여부를 확인하는 평가방법이 구체적으로 제시되어 있지 않음	평가지점, 평가장소, 평가대상으로 하는 방의 규모 설정 문제, 평가기관의 선정과 관리방법, 평가결과와의 적용한계 등 마련
표준바닥 구조의 개발	표준바닥구조의 미제시	-표준실험실의 구축 등 정량적인 방법을 이용하여 표준바닥구조의 개발 -표준바닥구조의 설정을 위한 예측기법의 정립
차단성능 등급화	건설업체가 거주자의 요구수준에 대응하여 바닥구조를 개발하고 제시할 수 있도록 유도하는 법적 근거 없음	-등급화 방안을 마련하여 관련법에 규정 -건설업체가 적용할 수 있는 등급별 바닥구조 제시
시공지침	표준바닥 구조에 대응하여 시공지침서 필요하나 뜬바닥 구조에 맞는 시공지침이 없음	콘크리트, 완충재, 기포콘크리트 및 모르타 등 의 표준 시공지침서 작성

3.1 중량바닥충격음 차단성능에 관련된 요인

바닥충격음은 충격원에 의해 바닥이 가진 되서 진동이 발생하고 그 진동에 의해 하부실로 음이 방사되는 현상이다. 따라서 바닥충격음의 차단성능을 평가하기 위해서는 바닥의 진동을 예측하는 것과 바닥으로부터의 음의 방사(이것을 일반적으로 음향방사라 함)를 평가하는 2가지로 나눌 수 있다. 바닥의 진동에 대해서는 지금까지 구조분야에서 많은 기술의 축적이 있지만 이를 구조분야에서의 진동은 수 10Hz이하의 주파수 범위에 있다. 그렇지만 바닥충격음에 영향을 미치는 진동은 수 10Hz

~ 1000Hz 정도까지의 광범위한 주파수가 된다. 진자를 구조진동, 후자를 음향역진동이라 부르고, 이들 주파수 영역의 차이에 의해 진동의 형태도 다르게 되어 이론적인 접근 방식도 다르게 된다. 따라서 이들의 차이를 충분히 인식하고 있지 않으면 않된다. 중량바닥충격음 성능에 관계되는 바닥진동의 주요요인과 그 영향을 나타내면 표 2와 같다.

이들 바닥진동의 요인이외에 바닥충격음에서는 음향방사의 요인이 관계된다. 음향방사에 관해서는 표 3과 같은 요인이 열거되고 이 중에서 중요한 것은 주파수 영역에 따라서 모드진동의 방사율 및 확산진동의 방사율 등 방사 형태가 변화하는 것이다. 이것을 적절히 평가하는 것이 바닥충격음 성능예측상의 가장 중요한 요인이 된다.

3.2 예측기법의 분류와 특징

바닥충격음 예측계산법을 크게 분류하면 표 4와 같이 컴퓨터에 의한 수치계산법과 수계산 또는 표 계산 Sheet 정도로 결과가 얻어지는 간이계산법으로 나눌 수 있다. 수치계산법에서는 바닥슬라브의 진동해석 방법으로 유한요소법이 일반적으로 이용되고 있으며 하부 실의 음향방사 해석은 파동함수법 및 경계요소법을 이용하는 방법이 보고되고 있다. 간이계산법에서는 현재 확산도법과 실용적 임피던스법 등이 제안되고 있다.

표 2. 바닥충격음에 관계되는 바닥진동의 요인

요인	바닥충격음의 영향	그 외 유의점	
바닥 슬라브 관련	슬라브두께	바닥충격음에서 가장 큰 요인. 슬라브 두께가 커질수록 차단성능이 크다.	
	바닥면적	바닥면적이 커지면 차단성능이 좋아진다.	
	바닥형태	장변비가 관계되지만 큰 영향은 없다. 이론상은 정방향이 가장 불리.	
	주변고정도	불분명한 점이 많음. 고정도가 높으면 유리하다고 말할 수가 없음.	정적인 고려와 동적인 고려가 다름
	작은보	저음역에서 성능 개선, 고음역에서는 영향이 적음.	
감쇠정수	2배가 되면 약 2dB 정도 개선		
마감재	카펫트 등은 중량충격음에 거의 영향이 없음.	2중바닥은 성능악화 되는 경우도 있음	
천정	영향불분명, 기본적으로는 성능평가에 포함하지 않음.	주의를 요함 조건에 의해 성능악화되는 경우도 있음	
칸막이 벽	스프링으로써 바닥에 적용. 고유진동수는 변화, 바닥충격음의 영향은 경미.		

표 3. 음향방사에 관계되는 요인

요인	바닥충격음의 영향	그 외 유의점
주파수영역	모드진동과 확산진동에서의 음향방사율의 평가식이 다름	고유진동수와 코인시던스 주파수가 관계
슬라브 면적	음향 방사율에 관계됨	
실면적	음향 방사율, 및 방사되는 파워에 관련됨	

3.3 간이계산법에 의한 예측

간이계산법에는 확산도법 이외에도 실용적 임피던스법이 있으며 이 두 방법의 기본적인 계산의 골격은 같다. 즉 충격가진시 판의 진동응답에 대해서 공진에 의한 구동점 임피던스의 저하량, 판의 단부구속에 의한 임피던스 증가량을 평가함으로써 판 진동의 예측을 수행하고 음향방사를 고려해서 바닥충격음을 산출한다. 계산의 흐름은 거의 같지만 각각의 계산법 및 평가법에는 커다란 차이점이 있다.

표 4. 바닥충격음 차단성능 예측법의 분류

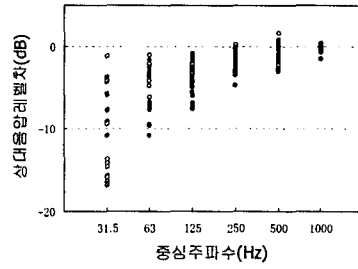
계산 내용	바닥슬라브 진동	음향방사
수치해석법	유한요소법	파동함수법
		경계요소법
		(유한요소법)
간이계산법	확산도법	확산음장 계산
	임피던스법	

확산도법에 대한 특징의 개요를 실용적임피던스법과 비교를 통해서 설명하고자 한다.

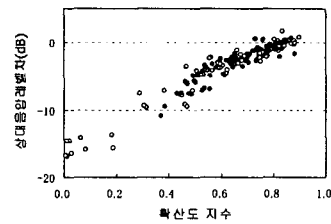
그림 1의 상부는 바닥슬라브의 크기 및 두께, 중첩의 길이비, 단순지지와 주변고정의 경계조건 등을 다양하게 변화시킨 경우의 각 주파수별의 진동 응답 결과이다. 그림에서는 판이 무한히 큰 경우의 결과를 기준(0 dB)으로 해서 표시하고 있고 아래 방향일수록 진동응답이 크게되는 것으로 표시하고 있다. 상부 그림의 결과는 판의 조건이 여러 가지이기 때문에 당연하지만 진동응답 결과(공진형태)도 큰 편차가 있다. 그러나 이러한 결과를 확산도 지수를 파라메타로해서 변형시켜보면 하부의 그림과 같이 단순한 하나의 직선상에 전체적인 결과가 모이게 된다. 즉 확산도 지수를 구하는 것은 판의 면적, 형상, 판의 두께, 경계조건, 주파수 영역 등의 요인을 전체적으로 흡수해서 간단히 진동응답을 계산 할 수 있는 것이다. 확산도법에 의한 바닥충격음 성능의 예측계산법은 이러한 이론을 기초로 해서 구성되어져 있다. 실용적 임피던스법 등의 방법에서는 주파수에서의 결과를 기본으로 면적 및 형상, 두께, 경계조건 등의 영향을 각각 별도 평가하고 그것들을 계산에 보정하기 때문에 어느 정도 가정과 오차가 포함되어 있다.

바닥충격시 실제의 진동은 공진의 영향에 판의 단부구속의 영향을 부가해서 결정되어 진다. 확산도법에 있어서 단부구속의 평가는 다음과 같다.

단부의 구속은 단순지지 및 주변고정 등의 조건에 의해서 변한다. 공진의 경우와 같이 판의 여러 지점에서의 가진의 결과를 주파수별로 표현하면 그림 2의 상부 그림과 같이 된다.



(a) 주파수 표시의 경우



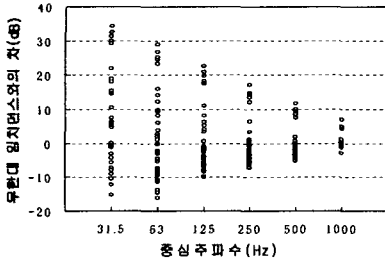
(b) 확산도지수 표시의 경우

그림 1. 각종조건의 바닥슬라브에 대한 진동응답 결과

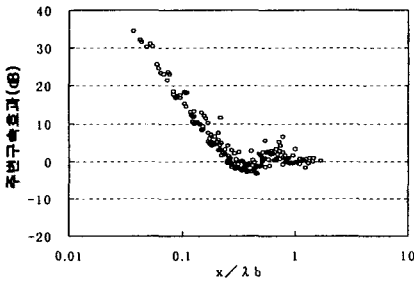
단부구속의 경우에는 주파수의 굴곡파의 파장이 관계하는 것으로부터 가진점과 단부까지의 거리를 각 주파수의 굴곡파의 파장으로 나눈 값으로 정리하고 이 중에서 이미 계산이 가능한 공진의 영향분을 빼면 하부의 그림과 같이 극히 단순한 특성으로 표현된다. 이것으로 공진의 영향과 단부구속의 영향을 단순한 특성으로 표현하게 되고 다양한 조건의 진동응답을 간이로 계산하는 것이 가능하다.

실용적 임피던스법에서도 단부구속의 영향을 고려하고 있지만 확산도법은 2가지 점에서 다르다. 첫째는 확산도법에서는 각 주파수의 굴곡파장을 이용해서 평가를 하고 있지만 실용적 임피던스법에서는 충격주파수로 볼리우는 25Hz의 굴곡파장을 이용해서 평가하고 있다. 주파수가 높아지면 실제로는 단부구속의 영향이 거의 없지만 실용적 임피던스법에서는 이 경우에도 단부구속의 영향이 크게 작용하고 있는 모양으로 되고 있다. 또 다른 하나는 실용적 임피던스법에서는 실측결과의 평가에서 단부구속의 영향을 평가하고 있지만 이 실측결과에는 단부구속 뿐만아니라 공진의 영향도 포함

되어 있다. 이 때문에 명확한 특성이 얻어지지 않고 공진과 단부구속의 쌍방의 영향을 평가한 경우에 공진의 영향이 중복되어서 포함되어진다.



(a) 주파수로 정리한 경우



(b) 굴곡파의 파장을 기준으로 정리한 경우(공진의 영향은 분리)

그림 2. 각종조건의 판에 대한 단부구속의 평가

3.4 보정항의 검토

우리나라는 온돌이라는 독특한 바닥난방 방식을 사용하고 있어 단면적으로 바닥구조는 통상 4~7개의 서로 다른 이질층으로 구성되어 있으며 충격원의 특성 등에 따라 매우 다양한 영향요인들을 가지고 있어 이들 해석기법은 각기 적용에 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 우리나라의 바닥구조에 대한 정확한 바닥충격을 예측을 위해서는 위에서 언급한 확산도법의 예측기법에 다음과 같은 보정항을 고려해야만 한다.

- ① 뜬바닥 구조에서의 전달가진력의 변화(K_1)
- ② 뜬바닥 구조의 탄성계수 등 물성치의 검토(K_1)
- ③ 천장의 영향(K_2)
- ④ 내장재 설치시 공진의 영향
- ⑤ 마감재별 바닥충격음 저감량 검토
- ⑥ 평형별 실내 흡음력의 보정
- ⑦ 수음위치 등

(1) 뜬바닥구조의 검토(K_1)

그림 3과 같이 뜬바닥구조를 스프링-질량의 1자유도 진동계로 보고, 충격가진에 대한 바닥구조의 응답을 부족감쇠 강제진동으로 해석하면 진동전달율은 다음과 같이 주어진다.

$$\tau = \frac{\sqrt{1+(2\xi\eta)^2}}{\sqrt{(1-\eta^2)^2+(2\xi\eta)^2}}$$

$\eta = \frac{f}{f_0}$: 고유진동수에 대한 가진주파수의 비

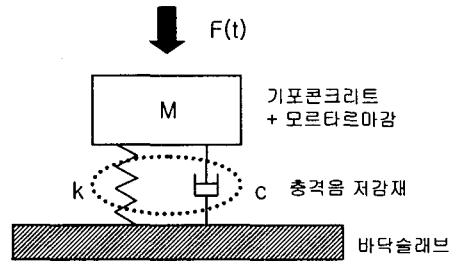


그림 3. 뜬바닥구조의 1자유도 진동계

그러나 완충재가 사용될 경우 바닥 슬라브로 전달되는 가진력은 충격이 가해지는 부분이 바닥면적의 일부분이고 완충재에 의한 공진 등의 영향 때문에 $20\log(\tau)$ 만큼 감소되지 않는 것으로 판단된다. 따라서 다음과 같은 보정치를 고려해야 할 것이다.

$$F = F_{rms} - 20\log(\tau) + K$$

여기서 F_{rms} : 충격가진력, F : 전달가진력

(2) 뜬바닥구조의 탄성계수 등 물성치의 검토(K_1)

충격음 저감재에 대하여 동탄성계수 및 감쇠계수는 ISO 9052-1 및 JIS A 6321에 따라 측정하고 있으나 뜬바닥 구조의 탄성계수는 뜬바닥층의 굽힘탄성, 저감재의 탄성, 저감재 내부의 공기탄성, 바닥슬라브의 굽힘탄성이 상호 작용하는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 충격음 저감재를 사용했을 때 충격음 저감재에 대한 탄성계수 및 감쇠계수를 구할 것이 아니라 현장에서 진동의 감쇠파형 및 감쇠시간(T_{60})등의 측정을 통해 정량적 평가가 이루어져야 한다.

(3) 천장의 영향 (K_2)

그림 4~5는 일반적으로 적용되고 있는 천장의 구조(석고보드 9.5mm + 공기층 30mm)에 대한 충격음의 변화를 나타내었다.

그림 4의 마감천장재의 밀도변화에 대한 중량 바닥충격음의 저감량은 마감재의 밀도가 높아질수록 차음량은 증가하나 고려된 모든 경우가 125Hz에서 공진의 영향 때문에 저감량이 감소된 것을 알수 있다. 또한 그림 5는 동일한 마감재에 대한 배후 공기층을 변화시킬 경우의 비교결과이다. 모든 경우가 125Hz에서 공진을 일으키고 있고 특히 배후 공기층이 60mm인 경우에는 250Hz까지 영향을 미치고 있다. 따라서 현장에서 실제 시공되고 있는 천장의 경우 30~90mm까지 편차가 존재하기 때문에 250Hz에서의 공진의 영향이 실제 측정된 데이터에서 나타나기도 한다.

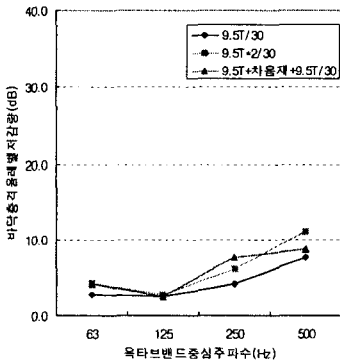


그림 4. 마감재 변화에 따른 중량충격음 변화

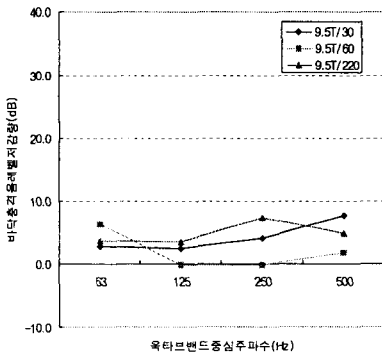


그림 5. 공기층 변화에 따른 중량충격음 변화

3.5 예측치와 실측치의 비교

표 4는 우리나라 아파트의 측정 대상 바닥구조를 나타낸 것이며 그림 6~8은 각기 다른 바닥구조를 대상으로 확산도법에 의한 중량충격음의 예측치와 실측치를 비교한 것이다. 그림 6의 바닥구조가 철근콘크리트의 경우를 제외하고는 250~500Hz에서 약간의 차이가 있으나 대체로 잘 일치하고 있다.

또한 바닥충격음 평가방법에 의해 1등급(± 5 dB)의 오차를 만족하고 있어 국내 아파트 구조의 바닥충격음 예측방법으로 실무적으로 활용할 수 있으리라 판단된다.

표 2. 측정대상의 개요

	바닥구조	실의 크기	비 고
1	철근콘크리트 135mm	3000*3000	그림 6
2	물탈 50mm+기포 60mm+철근콘크리트150mm + 천장	4200*3600	그림 7
3	물탈 50mm+기포 40mm+완충재 20mm+철근콘크리트 150mm + 천장	4200*3600	그림 8

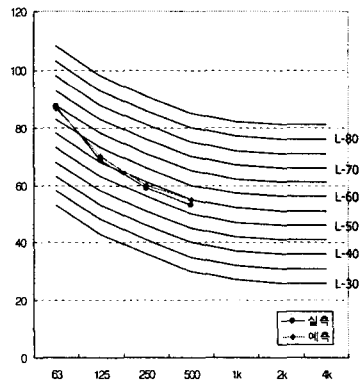


그림 6. 실측치와의 비교(중량)

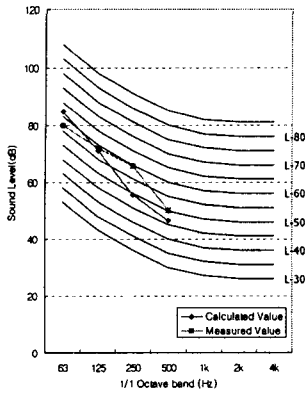


그림 7. 실측치와의 비교(중량)

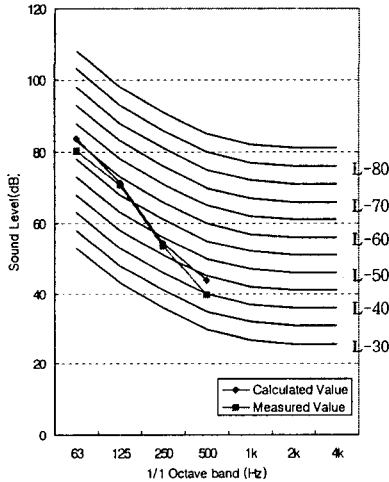


그림 8. 실측치와의 비교(중량)

5. 결론

지금까지 바닥충격음에 관련한 설계시에 필요한 예측기술에 대하여 언급하였다. 특히 우리나라는

온돌이라는 독특한 바닥난방 방식을 사용하고 있어 단면적으로 바닥구조는 통상 4~7개의 서로 다른 이질층으로 구성되어 있으며 충격원의 특성 등에 따라 매우 다양한 영향요인들을 가지고 있어 이들 해석기법은 각기 적용에 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 우리나라의 바닥구조에 대한 정확한 바닥충격음 예측을 위해서는 위에서 언급한 확산도법의 예측기법에 보정항 등을 고려해야하며 보정항을 적용하여 각기 다른 바닥구조를 대상으로 확산도법에 의한 중량충격음의 예측치와 실측치를 비교한 결과 1등급($\pm 5\text{dB}$)의 오차를 만족하였다. 또한 국내 아파트 구조인 벽식구조 이외에 철골조 등의 구조에 확대 적용할 수 있는 바닥충격음 예측방법으로 확립시키기 위해서는 좀더 많은 실측사례를 토대로 보정항 등의 정립이 요구된다.

참고문헌

1. 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, 技報堂出版, 2001
2. 日本音響材料協會, 騒音振動對策 핸드북, 集文社, 1983
3. 橋本典久, 擴散度指數による板の振動應答の評價, 板振動の擴散度評價指標の構成とその利用に関する研究-その2, 日本建築學會計劃係論文集, 第 523号, pp. 1-9, 1999
4. 橋本典久, 擴散度指數による端部拘束の評價, 板振動の擴散度評價指標の構成とその利用に関する研究-その3, 日本建築學會計劃係論文集, 第 533号, pp. 9-15, 2000
5. 橋本典久, 擴散度法による重量床衝擊音の豫測計算, 板振動の擴散度評價指標の構成とその利用に関する研究-その4, 日本建築學會計劃係論文集, 第 537号, pp. 21-27, 2000