

# 다구치 법을 활용한 바닥충격음 저감구조 평가

## Evaluation of Impact Sound Reduction in Floor Structure using Taguchi Method

유 승 업†·김 재 호\*·전 진 용\*\*

Seung Yup Yoo, Jae Ho Kim and Jin Yong Jeon

### 1. 서 론

바닥충격음 저감구조를 개발하고 평가하기 위해 실제 스케일의 시험동에서 시험체를 설치하고 이를 측정, 평가한다. 양생기간 및 시험체 시공 등의 개발비용, 시공 및 측정오차 그리고 시행착오를 바탕으로 한 평가방법이다. 그러나 사실상 다양한 설계인자에 대한 검토가 어렵기 때문에 바닥구조의 수치 해석적 모델을 기반으로 저감구조를 평가하는 방법에 대해 많은 시도들이 있다.

본 연구에서는 다층 바닥구조에 대해 유한요소해석 결과를 기반으로 한 효율적 바닥구조 설계인자의 바닥충격음 저감성능을 평가하기 위하여 실험계획법(Design Of Experiment)중 하나인 다구찌 법(Taguchi method)을 이용하여 다양한 설계인자의 영향수준을 통계적으로 검토하였다.

### 2. 저감구조의 설계인자

#### 2.1 뜬 바닥 구조

뜬 바닥 구조는 상부 온돌구조 마감층과 콘크리트 슬래브 사이에 완충재(resilient isolator)와 같이 비교적 낮은 동탄성 계수를 가지는 재료를 삽입하여 상부에서 발생하는 진동이 구조체로 전달되는 것을 차단하는 구조로 그림 1. (a)의 뜬 바닥구조가 여기에 속한다. 그림 1. (b)와 (c)는 시험동에서 서로 다른 물성의 완충재를 사용했을 때 중량충격음(임팩트볼) 및 경량충격음 측정결과이다. 측정결과로부터 250Hz이상의 주파수 대역에서 낮은 동탄성 계수를 가진 isolator #2의 충격음 레벨이 낮게 나타나고 있다. 그러나 중량충격음의 평가대역인 63, 125Hz 대역에서는 그 이상의 주파수 대역에서와 상반된 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 표층(마감 몰탈)이나 단열층(경량콘크리트), 구조층(철근 콘크리트)과 달리 완충층은 적용할 수 있는 재료 종류가

다양하며 그에 따른 충격음 저감성능의 효과도 다양하다.

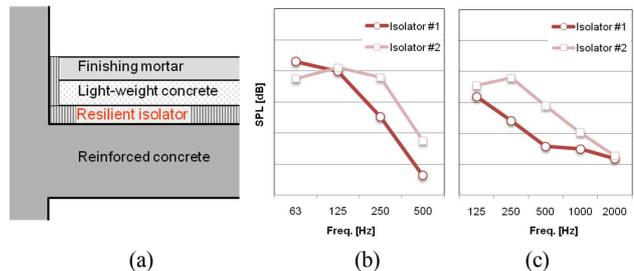


Fig. 1 Floating floor (a) Standard floor structure, (b) ISPL using Impact ball, (c) ISPL using Tapping machine

#### 2.2 완충층의 설계인자

저감구조 설계시, 완충층의 대표적인 설계인자들로는 구조단면 치수 슬래브두께, 완충재의 동적 특성을 나타내는 동탄성계수와 손실계수, 그리고 밀도와 포아송비를 고려할 수 있다. 표 1은 본 연구에서 검토한 설계인자들의 종류와 기존 연구결과 및 현실 범위 내에서 고려한 각 인자별 수준을 나타낸다. 총 5인자에 대하여 4수준 4인자(동탄성계수, 손실계수, 밀도 및 두께)와 2수준 1인자(포아송비)로 검토하였다.

Table. 1 Considered factors and levels

Factors	Levels			
	1	2	3	4
Dynamic elastic modulus [MPa]	0.01	0.1	1	10
Loss factor	0.05	0.1	0.5	1
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1	10	100	1000
Thickness [mm]	5	10	20	30
Poisson ratio	0.35	0.45		

### 3. 인자별 영향수준 검토 및 최적화

#### 3.1 유한요소 모델링 및 해석

유한요소해석법(FEM)을 이용하여 바닥구조 동특성을 계산하였다. 모델링된 바닥구조는 그림1과 같이 바닥충격음 표준시험동에 구성된 4개의 복층구조이다. 단 순지지 경계조건을 가지는 23m<sup>2</sup> 면적의 장방형 바닥면

† 한양대학교 대학원 건축환경공학과  
E-mail : [syrus81@hanyang.ac.kr](mailto:syrus81@hanyang.ac.kr)  
Tel : (02) 995-1998, Fax : (02) 2220-4795

\* 한양대학교 대학원 건축환경공학과  
\*\* 한양대학교 공과대학 건축공학과 교수

중량부위에 임팩트볼의 충격력이 가해지는 조건으로 해석하였으며, 이 때 수음실 천장의 surface velocity를 계산하여 진동레벨을 산정하였다. 그림 2는 각 복층바닥판 레이어의 임피던스 레벨이다. 완충층 물성에 따라 고주파수 대역일수록 임피던스 편차가 커지는 것을 확인할 수 있다.

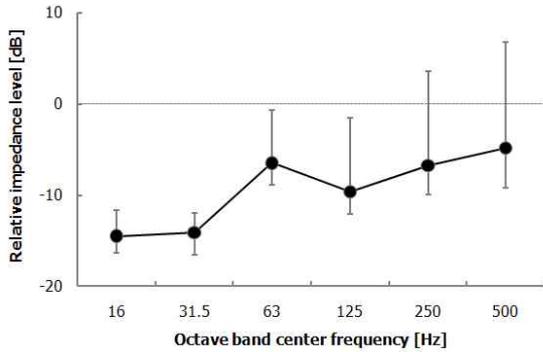


Fig. 2 Calculated impedance level from floating floors

### 3.2 다구찌 법의 적용

다구찌법은 품질개선 방법의 하나로 제어 가능한 인자로 제어할 수 없는 잡음인자 제어에 유효한 설계방법으로 알려져 있다. 통계적인 분석기법은 분산분석에 기반을 두고 있으며 이를 나타내는 통계량으로 S/N Ratio를 사용하였으며, S/N Ratio가 클수록 개선효과가 큰 것으로 분석한다. 본 연구에서는 표 1.의 범위에 대해 직교배열표  $L_{32}(4^4 \times 2^1)$ 을 이용하여 제어인자의 효과를 살펴 보았다. 유한요소 해석에 의해 계산된 각 케이스별 결과로부터 각 완충층의 인자별 영향요인이 평가되었다.

### 3.3 해석결과 고찰

표 2와 그림 3은 각각 옥타브 밴드 63~500Hz까지의 평균 surface velocity를 특성치로 하였을 때의 반응표와 주효과 작용에 대한 분석결과이다. 임팩트볼 가진 시, 바닥진동에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로는 완충층의 동탄성 계수로 나타났으며 포아송비, 두께, 손실계수, 밀도 순으로 나타났다.

Table. 2 Response table for S/N ratios (63-500Hz)

Level	Elastic modulus	Loss factor	Density	Thickness	Poisson ratio
1	-34.90	-35.54	-35.61	-35.57	-35.5
2	-35.77	-35.56	-35.61	-35.49	-35.7
3	-35.88	-35.63	-35.57	-35.66	
4	-35.84	-35.67	-35.6	-35.67	
Delta	0.98	0.14	0.04	0.18	0.2
Rank	1	4	5	3	2

통계적으로 가장 유의한 인자로 나타나는 동탄성계수의 경우에 0.01MPa의 가장 낮은 동탄성 계수를 가지는 완충재를 사용할 때 가장 효과적으로 충격음을 저감할 수 있는 것으로 나타났다.

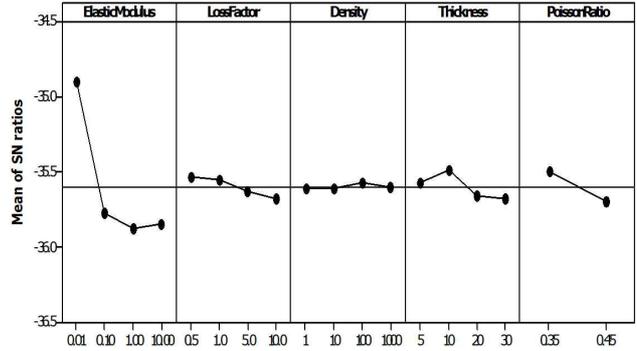


Fig. 3 Main effect plot for S/N ratios (63-500Hz)

반면, 그림 4에서와 같이 바닥판의 공진주파수 대역을 포함하고 있는 옥타브 밴드 31.5Hz의 경우에는 동탄성계수가 크고 손실계수가 큰 재료를 사용할수록 임팩트볼에 대한 진동제어 효과가 큰 것으로 나타났다.

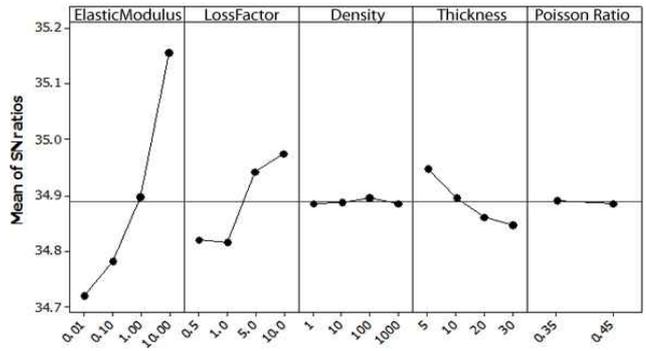


Fig. 4 Main effect plot for S/N ratios (31.5Hz)

## 4. 결 론

본 연구에서는 중량충격음 저감을 위해 복층바닥구조 완충층의 설계요인에 대하여 유한요소해석을 수행하여 제어인자들에 의한 진동제어 효과를 다구찌 법을 통해 분석하였다. 분석결과, 완충재의 동탄성계수가 다른 요인들에 비해 충격진동 저감에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 해석조건에 몇가지 한계사항이 있었으나 향후 이러한 방법론을 이용해 효율적으로 바닥충격음 저감구조 설계에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 한국연구재단 “기초연구사업” (과제번호: 2009-0083807) 의 지원으로 수행되었습니다.