모의실험을 통한 완충재별 진동전달량과 동적특성과의 상관성 분석에 관한 연구

Analysis of Correlation between the Vibration Transmissions and the Dynamic Characteristics for Floor Impact Sound Insulation Materials through Model Test

김흥식† · 주시웅* · 진필화**
Heung-sik Kim · Si-woong Joo and Pil-hwa Jin

Key Words : Floor impact noise(바닥충격음), Sound insulation material(완충재), Dynamic stiffness(동탄성계수), Loss factor(손실계수), Vibration Transmission(진동전달)

ABSTRACT

In this study, An analysis of correlation between the vibration transmissions and the dynamic characteristics for floor impact sound insulation materials through model test was carried out. As the results, the correlation coefficients between the vibration transmissions and the dynamic characteristics for floor impact sound insulation materials were over 0.8 at the heavy and light floor impact source and less dynamic stiffness was more effective in reducing the vibration transmission.

1. 서 론

바닥충격음 완충재의 현장 적용시 기존의 동적특성과 전혀 다른 특성을 보이거나 성능이 저하되어 문제가 되는 경우가 종종 발생한다. 하지만 현장 적용시 나타날 수 있는 문제를 사전에 예방하기 위하여 모든 완충재들을 직접 현장에 적용시켜보고 그 성능을 테스트하기에는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 경제적인 문제들로 인하여 어려운 실정이다. 이러한 이유로 축소모형실험이나 모의실험 등과 같이 사전예측을 위한 기법들의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 현장과 유사한 형태의 H형 콘크리트 구조물을 이용한 모의실험을 통하여 완충재별 진동전달특성을 조사하고 이를 기 조사한 동탄성계수와 연계하여 충격원의 종류에 따른 완충재별 진동전달량과 동탄성계수와의 상관성을 제시하고자 한다.

† 김흥식, 호남대학교 건축학과 교수
E-mail : hsk0809@honam.ac.kr
Tel : (062) 940-5455, Fax : (062) 940-5455
* 대한주택공사 주택도시연구원
** 호남대학교 건축학과 석사과정

2. 실험방법

본 연구에서는 현장과 유사한 형태의 H형 콘크리트 구조물을 이용하여 현장 적용시 나타날 수 있는 완충재의 동적특성 및 진동전달특성을 미리 예측해 보기 위한 모의실험을 실시하였다. H형 모의시험체는 철근콘크리트 구조로 되어있으며 상하층간의 바닥충격진동의 전달경로 및 양상을 분석하기 위해 특수 제작한 것이다. 측정에 사용된 기기 및 그 구성도는 그림 1, 표 1과 같으며, H형 모의시험체 상부에는 모르터 + 경량기포콘크리트 층과 동일한 중량을 가진 덮개를 두어 H형 모의시험체에 완충재를 놓고 마감층으로 덮을 수 있게 되어있다.

표 1. 측정기기의 구성

FFT Analyzer	RION SA-78 2Channel
Accelerometer	RION PV-41
Vibration Calibrator	RION VE-10
Notebook	Compact

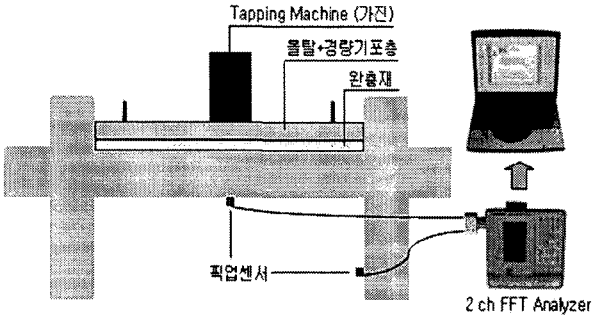

그림 1. 측정기기 및 구성도

2.1 H형 모의시험체의 활용 가능성 검토

H형 모의시험체의 활용 가능성을 파악하기 위하여 표준경량충격원인 태핑머신(tapping machine)을 이용하여 그림 2와 같은 무한장의 조건인 150mm 평판형 철근콘크리트 구조체와 그림 3과 같은 유한장의 조건인 150mm 모의시험체의 진동전달 특성을 비교, 분석하였다. 측정은 그림 1과 같은 방법으로 각 구조체의 하부 중앙에 픽업센서를 부착한 후 동일센서를 사용하여 동일조건으로 측정하였다.

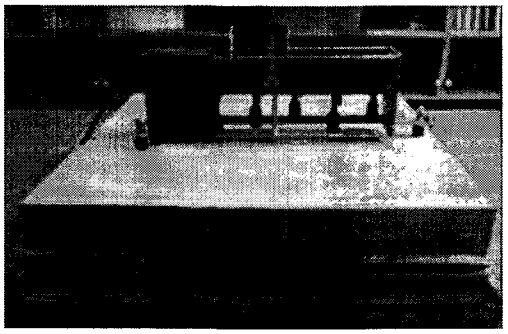

그림 2. 150mm 평판형 철근콘크리트 구조체

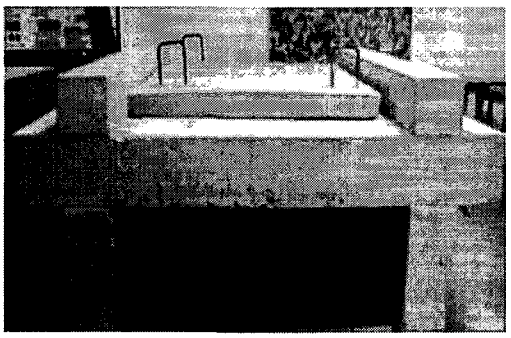

그림 3. 150mm H형 철근콘크리트 모의시험체

2.2 표준충격원에 따른 완충재별 진동특성

국내에서 주로 사용되는 완충재의 충격원에 따른 진동특성을 파악하기 위하여 표준충격원인 태핑머신과 임팩트볼을 이용하여 측정 및 분석을 실시하였으며 그림 1과 동일한 방법으로 H형 모의시험체의 바닥하부 및 벽체에 동일센서를 부착한 후 측정하였다.

측정에 사용된 완충재는 국내에서 주로 사용되는 완충재 중 비교적 성능이 우수한 재료들을 선정하여 발포폴리스틸렌계 2종, 폴리에틸렌계 3종, 폴리에스테르계 4종, 폴리에틸렌 복합재료 5종, 으로 구성하였으며 표 2와 같다.

표 2. 측정에 사용된 재료

구분	재질 및 구성	두께(mm)
EPS.20-20	발포폴리스틸렌 KS 3호	20
XPS.35-20	압출발포폴리스틸렌 KS 특호	"
PE.125-20M	폴리에틸렌 M	"
PE.30-20J	폴리에틸렌 J	"
PE.20-20Z	폴리에틸렌 Z	"
PET.120-10S	폴리에스테르 S	10
PET.80-10S	폴리에스테르 S	"
PET.60-10S	폴리에스테르 S	"
PET.45-25Z	폴리에스테르 Z	25
PEM.ZS-20	PE.20-10Z+PET.60-10S	20
PEM.ZEZ-22	PE.20-10Z+EVAR(2T)+PE.20-10Z	22
PEM.ZE-22	PE.20-20Z+EVAR(2T)	"
PEM.ZES-22	PE.20-10Z+EVAR(2T)+PET.60-10S	"
PEM.ZSE-22	PE.20-10Z+PET.60-10S+EVAR(2T)	"

3. 실험결과 및 분석

3.1 H형 모의시험체의 활용 가능성 검토

H형 모의시험체의 활용 가능성을 파악하기 위한 측정결과, 그림 4와 같은 스펙트럼의 형태가 나타났으며, 평판형 구조체의 경우 5Hz에서 91dB, H형 모의시험체의 경우 5Hz에서 90.1dB로 약 1 dB의 차이가 발생하였다. 또한 평균값에서도 평판형 구조체 73.6dB, H형 모의시험체 72.4dB로 1.2dB의 차이가 나타났다.

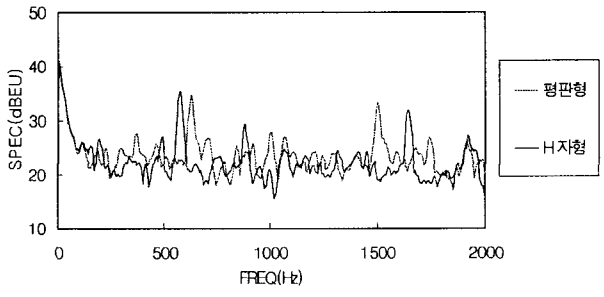

그림 4. 평판형 H자형 구조체의 진동특성 비교

표 3과 그림 5은 평판형 구조체와 H형 모의시험체의 1/1 옥타브밴드 분석 결과를 나타낸 것으로 각 중심주파수별 dB의 값이 거의 유사한 형태로 분포하고 있음을 알 수 있었다.

표 3. 1/1 옥타브밴드 분석에 따른 구조체별 진동전달량

[단위: dB]

	32Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz
평판형 구조체	84.1	77.7	75	69.7	73	78	70.2
H형 모의시험체	84.1	77.5	74.5	69.5	71.7	70.9	66.6

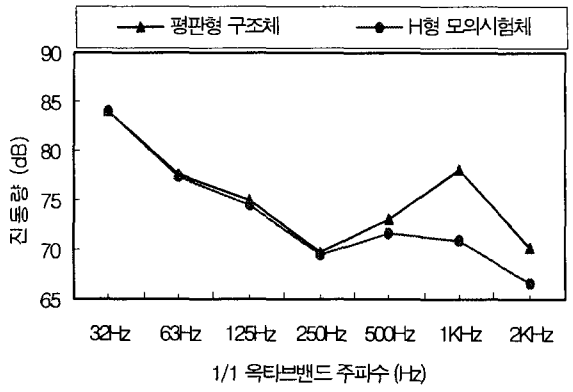

그림 5. 각 구조체별 중심주파수 특성

H형 모의시험체의 활용 가능성 검증을 위한 측정결과 피크값 0.9dB, 평균값 1.2dB의 차이가 발생하였으며 1/1 옥타브밴드 분석결과 또한 유사한 형태의 분포를 나타내고 있었다. 이 결과를 토대로 H형 모의시험체의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

3.2 표준충격원에 따른 완충재별 진동특성

(1) 경량충격원에 따른 진동특성

■ 바닥면의 진동특성

본 실험에서는 국내에서 주로 사용되는 완충재의 경량충격원에 따른 진동특성을 파악하기 위한 측정 및 분석(250Hz~2KHz 대역)을 실시하였다. 경량충격원에 의한 바닥면의 진동측정결과 표4와 같은 완충재별 진동 최대값이 나타났으며 이를 토대로 저감량을 산출하였다.

표 4. 바닥면의 완충재별 진동저감량 [단위 : dB]

재료명	최대값	저감량	저감률(%)
재료 無	86.1	-	-
EPS.20-20	65.8	20.3	24%
XPS.35-20	57.8	28.3	33%
PE.30-20J	54.2	31.9	37%
PE.20-20Z	50.5	35.6	41%
PET.120-10S	54.0	32.1	37%
PET.80-10S	50.9	35.2	41%
PET.60-10S	51.2	34.9	41%
PET.45-25Z	46.1	40	46%
PEM.ZS-20	52.9	33.2	39%
PEM.ZEZ-22	59.7	26.4	31%
PEM.ZE-22	52.8	33.3	39%
PEM.ZES-22	57.2	28.9	34%
PEM.ZSE-22	52.4	33.7	39%
평균 (재료 無 제외)	54.6	31.5	37%

완충재를 사용한 H형 모의시험체 바닥면의 진동 측정결과 경량충격원에 대하여 약 37%의 진동저감효과가 나타났으며, PET.45-25Z 재료가 바닥면의 진동저감에 가장 유리한 것으로 나타났다.

각 완충재별 바닥면의 1/1옥타브 밴드 분석 결과는 표 5 및 그림 6과 같이 나타났다.

표 5. 1/1 옥타브밴드 분석에 따른 완충재별 진동전달량

[단위 : dB]

재료명	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	주파수 평균
재료 無	69.1	64.0	67.1	67.8	67.00
EPS.20-20	40.0	55.0	35.8	31.0	40.45
XPS.35-20	39.1	51.1	30.3	29.1	37.40
PE.125-20M	35.8	50.2	33.7	33.6	38.33
PE.30-20J	29.1	38.2	19.2	28.3	28.70
PE.20-20Z	27.6	45.2	22.1	28.6	30.88
PET.120-10S	23.7	40.7	16.5	26.9	26.95
PET.80-10S	23.3	42.3	23.5	27.2	29.07
PET.60-10S	23.6	43.5	22.4	27.1	29.15
PET.45-25Z	19.8	37.9	18.6	18.4	23.68
PEM.ZS-20	25.3	41.3	24.1	31.6	30.57
PEM.ZEZ-22	27.3	49.8	23.3	12.0	28.10
PEM.ZE-22	28.0	44.9	25.7	22.0	30.15
PEM.ZES-22	26.2	45.3	23.0	20.8	28.82
PEM.ZSE-22	22.8	41.1	17.5	27.4	27.20

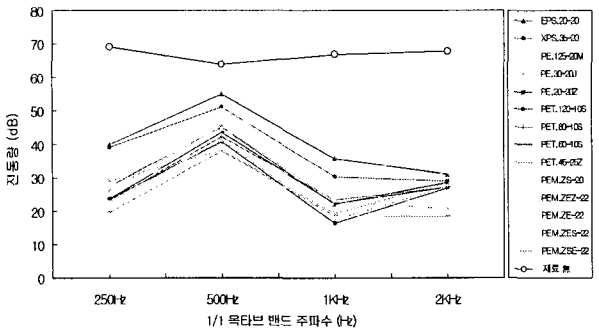

그림 6. 완충재의 종류별 진동전달량

■ 벽면의 진동특성

경량충격원에 의한 벽면의 진동측정결과 표 6과 같은 완충재별 진동 최대값이 나타났으며 이를 토대로 저감량을 산출하였다.

표 6. 벽면의 완충재별 진동저감량 [단위 : dB]

재료명	최대값	저감량	저감율(%)
재료 無	77.8	-	-
EPS.20-20	59.4	18.4	24%
XPS.35-20	57.9	19.9	26%
PE.125-20M	54.5	23.3	30%
PE.30-20J	47.3	30.5	39%
PE.20-20Z	49.5	28.3	36%
PET.120-10S	48.8	29	37%
PET.80-10S	47.4	30.4	39%
PET.60-10S	50.8	27	35%
PET.45-25Z	47.7	30.1	39%
PEM.ZS-20	47.4	30.4	39%
PEM.ZEZ-22	54.9	22.9	29%
PEM.ZE-22	50.2	27.6	35%
PEM.ZES-22	50.5	27.3	35%
PEM.ZSE-22	49.9	27.9	36%
평균 (재료 無 제외)	51.16	26.64	34%

완충재를 사용한 H형 모의시험체 벽면의 진동 측정결과 경량충격원에 대하여 약 34%의 진동저감효과가 나타났으며, PE.30-20J, PET.80-10S, PET.45-25Z, PEM.ZS-20 재료가 약 39%로 진동저감에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 경량충격원에 따른 바닥면과 벽면의 진동 전달량 차이는 평균 31.5dB, 26.6dB로 약 5dB의 차이가 발생하였다.

각 완충재별 벽면의 1/1옥타브밴드 분석 결과는 표 7 및 그림 7과 같다.

표 7. 1/1 옥타브밴드 분석에 따른 완충재별 진동전달량

[단위 : dB]

재료명	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	주파수 평균
재료 無	48.2	70.1	40.6	56.7	53.90
EPS.20-20	46.5	58.2	19.5	22.6	36.70
XPS.35-20	43.9	53.5	20.1	19.1	34.15
PE.125-20M	35.1	53.5	22.8	22.6	33.51
PE.30-20J	28.9	41.6	13.5	13.0	24.25
PE.20-20Z	30.4	48.6	11.2	11.2	25.34
PET.120-10S	25.3	44.5	11.2	24.2	26.30
PET.80-10S	27.8	45.3	12.5	17.1	25.68
PET.60-10S	29.9	46.7	15.8	17.8	27.54
PET.45-25Z	26.0	41.2	15.8	14.9	24.48
PEM.ZS-20	26.6	44.4	12.5	12.5	24.01
PEM.ZEZ-22	32.3	53.1	14.2	10.4	27.51
PEM.ZE-22	29.0	48.5	21.9	11.2	27.65
PEM.ZES-22	26.5	48.7	18.6	13.0	26.71
PEM.ZSE-22	27.5	44.5	18.2	17.6	26.95

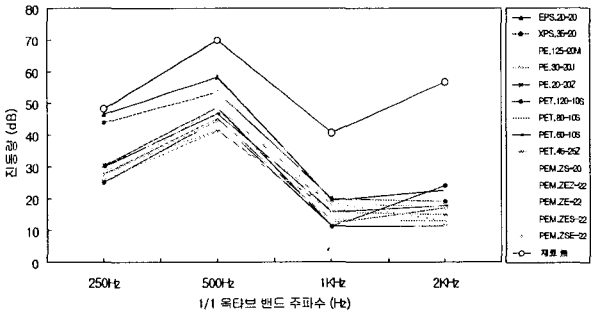

그림 7. 완충재의 종류별 진동전달량

경량충격원에 따른 완충재별 진동특성 측정결과 바닥면의 경우 250Hz, 1~ 2KHz 대역에서, 벽면의 경우 1~ 2KHz 대역에서 큰 폭의 저감효과가 나타났으며, 벽면 250Hz 대역의 저감량은 미미한 것으로 분석되었다.

■ 동탄성계수와 경량충격원에 의한 진동저감의 상관성 분석

동탄성계수와 경량충격원에 의한 진동 저감량과의 상관성을 알아보기 위해 동탄성계수 측정값과 주파수별 산술평균에 의한 진동 저감량을 구하여 상관성 분석을 실시하였다.

그림 8는 동탄성계수와 경량충격원에 의한 완충재별 진동 저감량의 상관관계를 나타내고 있으며, 대체적으로 동탄성계수가 커짐에 따라서 경량충격음에 의한 진동 저감량이 저하되는 것을 알 수 있었다. 동탄성계수와 경량충격원에 의한 완충재별 진동 저감량의 상관성 분석결과 상관계수는 약 0.83으로 1에 근접하게 나타났다. 이는 동탄성계수와 경량충격음 저감과의 관계와 동일한 결과로 동탄성계수가 경량충격음 저감뿐만 아니라 경량충격원에 의한 진동 저감에도 밀접한 상관성을 가지고 있음을 말해준다.

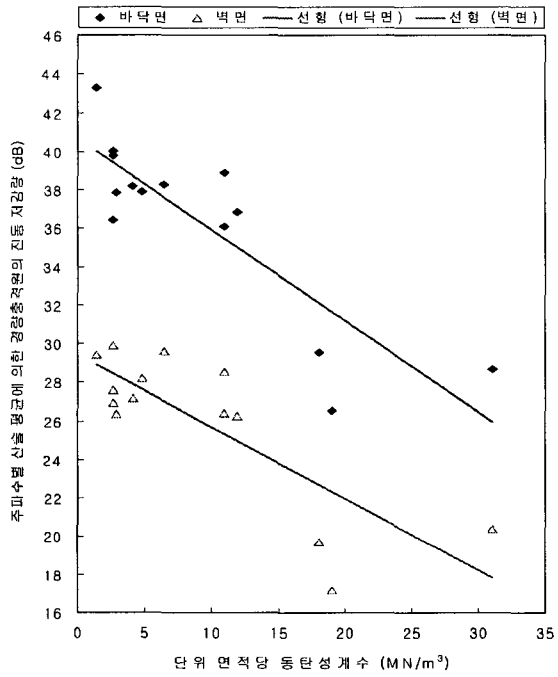

그림 8. 동탄성계수와 경량충격원에 의한 진동저감과의 관계

(2) 중량충격원에 따른 진동특성

■ 바닥면의 진동특성

국내에서 주로 사용되는 완충재의 중량충격원에 따른 진동특성을 파악하기 위하여 표준중량충격원인 임팩트볼을 이용하여 측정 및 분석(63Hz~500Hz 대역)을 실시하였다. 중량충격원에 의한 바닥면의 진동측정결과 표 8과 같은 완충재별 진동 최대값이 나타났으며 이를 토대로 저감량을 산출하였다.

표 8. 바닥면의 완충재별 진동저감량 [단위 : dB]

재료명	최대값	저감량	저감율(%)
재료 無	72.7	-	-
EPS.20-20	56.1	16.6	23%
XPS.35-20	59.9	12.8	18%
PE.125-20M	55.4	17.3	24%
PE.30-20J	54.2	18.5	25%
PE.20-20Z	54.9	17.8	24%
PET.120-10S	54.4	18.3	25%
PET.80-10S	50.2	22.5	31%
PET.60-10S	52.6	20.1	28%
PET.45-25Z	52.6	20.1	28%
PEM.ZS-20	50.6	22.1	30%
PEM.ZEZ-22	53.6	19.1	26%
PEM.ZE-22	55.9	16.8	23%
PEM.ZES-22	54.6	18.1	25%
PEM.ZSE-22	40.1	32.6	45%
평균 (재료 無 제외)	53.22	19.48	27%

완충재를 사용한 H형 모의시험체 바닥면의 진동 측정결과 중량충격원에 대하여 약 27%의 진동저감효과가 나타났으며, PEM.ZSE-22 재료가 바닥면의 진동저감에 가장 유리한 것으로 나타났다.

각 완충제별 바닥면의 1/1옥타브밴드 분석 결과는 표 9 및 그림 9와 같이 나타났다.

표 9. 1/1 옥타브밴드 분석에 따른 완충재별 진동전달량

[단위 : dB]

재료명	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	주파수 평균
재료 無	53.7	52.9	40.6	52.9	50.02
EPS.20-20	59.9	37.5	31.4	34.6	40.85
XPS.35-20	50.3	35.5	29	27.6	35.60
PE.125-20M	55.4	37.8	26.9	27.9	37.00
PE.30-20J	54.3	32.3	19.6	15.8	30.50
PE.20-20Z	54.9	27.1	19.5	19.1	30.15
PET.120-10S	53.6	25.8	18.3	19.8	29.38
PET.80-10S	55.9	31.2	16.9	20.1	31.02
PET.60-10S	54.6	26.5	17.3	23.1	30.38
PET.45-25Z	31.3	26.6	23.4	20.7	25.50
PEM.ZS-20	54.4	27.9	18.1	19.8	30.05
PEM.ZEZ-22	50.2	32.5	20.0	25.7	32.10
PEM.ZE-22	52.6	28.2	18.3	24.9	31.00
PEM.ZES-22	52.6	28.2	18.3	24.9	31.00
PEM.ZSE-22	50.7	29.2	20.2	22.4	30.63

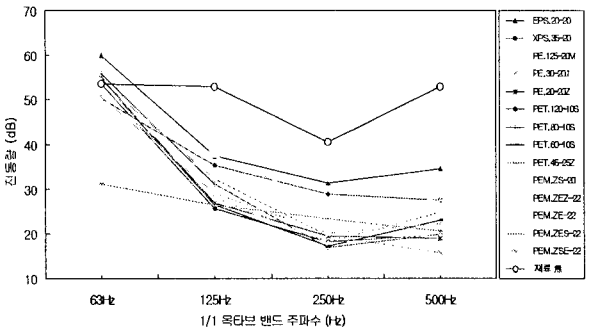

그림 9. 완충재의 종류별 진동전달량

■ 벽면의 진동특성

중량충격원에 의한 벽면의 진동측정결과 표 10과 같은 완충재별 진동 최대값이 나타났으며 이를 토대로 저감량을 산출하였다.

표 10. 벽면의 완충재별 진동저감량 [단위 : dB]

재료명	최대값	저감량	저감율(%)
재료 無	75.7	-	-
EPS.20-20	58.4	17.3	23%
XPS.35-20	62.5	13.2	17%
PE.125-20M	58.9	16.8	22%
PE.30-20J	59.3	16.4	22%
PE.20-20Z	59.4	16.3	22%
PET.120-10S	59.2	16.5	22%
PET.80-10S	59.1	16.6	22%
PET.60-10S	59.2	16.5	22%
PET.45-25Z	59.7	16	21%
PEM.ZS-20	60.8	14.9	20%
PEM.ZEZ-22	60.5	15.2	20%
PEM.ZE-22	59.9	15.8	21%
PEM.ZES-22	59.9	15.8	21%
PEM.ZSE-22	60.2	15.5	20%
평균 (재료 無 제외)	59.8	15.9	21%

완충재를 사용한 H형 모의시험체 벽면의 진동 측정결과 중량충격원에 대하여 약 21%의 진동저감효과가 나타났으며, EPS.20-20 재료가 약 23%로 진동저감에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 경량충격원에 따른 바닥면과 벽면의 진동 전달량 차이는 평균 19.5dB, 15.9dB로 약 4dB의 차이가 발생하였다.

각 완충재별 벽면의 1/1옥타브밴드 분석 결과는 표 11 및 그림 10과 같다.

표 11. 1/1 옥타브밴드 분석에 따른 완충재별 진동전달량

[단위 : dB]

재료명	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	주파수 평균
재료 無	38.1	60.8	52.8	59.9	52.90
EPS.20-20	46.6	41.5	37.7	38.4	41.05
XPS.35-20	50.2	42.4	29.4	31.0	38.25
PE.125-20M	47.9	41.8	27.2	31.6	37.13
PE.30-20J	37.5	35.1	19.9	16.9	27.35
PE.20-20Z	39.9	39.2	20.9	23.4	30.85
PET.120-10S	36.3	33.9	19.0	22.8	28.00
PET.80-10S	42.3	36.2	24.3	23.9	31.68
PET.60-10S	39.7	33.7	20.3	24.7	29.60
PET.45-25Z	33.4	31.8	19.3	24.1	27.15
PEM.ZS-20	43.5	34.3	21.1	23.2	30.52
PEM.ZEZ-22	36.9	38.9	27.1	28.2	32.77
PEM.ZE-22	38.6	29.8	18.6	27.6	28.65
PEM.ZES-22	38.6	29.8	18.6	27.6	28.65
PEM.ZSE-22	39.6	29.7	19.6	23.2	28.02

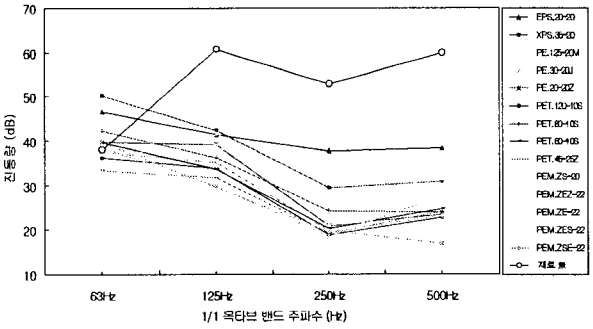

그림 10. 완충재의 종류별 진동전달량

중량충격원에 따른 완충재별 진동특성 측정결과 바닥과 벽면 모두 125~500Hz 대역에서 큰 폭의 저감효과가 나타났다. 벽면의 63Hz 대역 분석결과 완충재 사용시 오히려 진동량이 증가되는 현상이 발생하였다.

■ 동탄성계수와 중량충격원에 의한 진동저감의 상관성 분석

동탄성계수와 중량충격원에 의한 진동 저감량과의 상관성을 알아보기 위해 선행실험과 동일한 방법으로 상관성 분석을 실시하였다. 그림 11는 동탄성계수와 중량충격원에 의한

완충재별 진동 저감량의 상관관계를 나타내고 있으며, 경량과 마찬가지로 동탄성계수가 커짐에 따라서 중량충격원에 의한 진동 저감량이 저하되고 있었다.

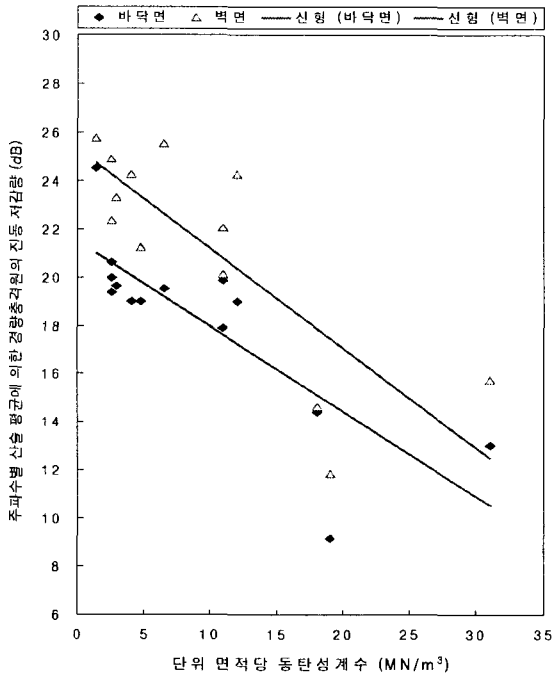

그림 11. 동탄성계수와 중량충격원에 의한 진동저감과의 관계

동탄성계수와 중량충격원에 의한 완충재별 진동 저감량의 상관성 분석결과 상관계수는 약 0.81로 경량과 비슷하게 나타났다. 이는 동탄성계수가 경량충격음 저감뿐만 아니라 중량충격원에 의한 진동 저감에도 높은 상관성을 가지고 있음을 말해준다.

4. 결론

완충재의 재하시간에 따른 동특성 변화 및 동적특성 영향요인 분석, 완충재의 종류별 진동전달특성에 대한 측정 결과는 다음과 같다.

1) H형 모의시험체의 활용 가능성을 검증하기 위하여 무한장의 조건인 150mm 평판형 철근콘크리트 구조체와 유한장의 조건인 150mm 모의시험체의 진동전달 특성을 분석한 결과 피크값 0.9 dB, 평균값 1.2dB의 미미한 차이가 발생하였으며, 1/1 옥타브밴드 분석결과 또한 유사한 형태의 분포를 나타내고 있었다.

2) 경량충격원에 따른 완충재별 진동특성 분석결과 바닥면의 경우 250Hz, 1~ 2KHz 대역, 벽면의 경우 1~ 2KHz 대역에서 큰 폭의 저감량을 보였으며, 완충재를 통한 진동 저감효과는 바닥면의 경우 약 37%, 벽면의 경우 약 34%의 저감효과가 나타났다. 중량충격원의 경우는 바닥과 벽면 모두 125~500Hz 대역에서 큰 폭의 저감효과가 나타났으나, 벽면의 63Hz 대역에서는 오히려 진동량이 증가되는 현상이 발생하였다. 완충재를 통한 진동 저감효과는 바닥면의 경우 약 27%, 벽면의 경우 약 21%의 저감효과가 나타났다.

3) 동탄성계수와 표준충격원에 의한 진동저감의 상관성 분석결과 상관계수는 약 0.82~0.83으로써, 높은 상관관계를 가지고 있었으며, 동탄성계수가 낮을수록 진동저감에 효과적인 것으로 나타났다.

H형 모의시험체의 경우 완충재별 진동 저감량과 바닥 및 벽면의 진동전달 양상을 파악하기 위한 하나의 실험 시스템으로 일정한 한계를 가지고 있으며, 실제 현장에서의 데이터와는 다른 결과가 나타날 수 있다. 향후 연구과제로는 이러한 실제 현장에서의 측정을 통한 상관성 분석과 이를 통한 시험체의 문제점 보완 및 개선방향에 대한 검토가 지속적으로 이루어질 예정이다.

참 고 문 헌

(1) 한국산업규격 KS F 2868, 2003, 거주공간 뜬바닥용 재료의 동탄성계수 측정방법.

(2) 김하근 외2인, 2005, 뜬 바닥구조용 완충재의 동탄성계수 측정에 관한 연구, 한국건축학회논문집 21권 1호.

(3) 이종균, 2003, 공동주택의 바닥충격음 저감성능에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, VOL. 3, NO. 3.

(4) 정갑철 외2인, 2002, 동탄성계수 결정의 KS 규격화에 관한 연구, 한국 소음진동공학회 춘계학술대회 논문집.

(5) 한국 소음진동공학회, 1995, 소음·진동편람.

(6) 한국과학재단, 2003, 공동주택 층간소음 예측기법 개발.

(7) 양관섭 (2001). 바닥충격음 저감용 완충재의 성능평가 항목 설정, 한국건설기술연구원.