

# 바닥 충격음 저감용 소재의 동탄성 계수에 관한 연구

## A Study on the Dynamic Elastic Modulus of the materials for Floor Impact Sound Reduction

박 춘 근<sup>†</sup> · 이 중 필<sup>\*</sup>

Choon-Keun Park, Jong-Pil Lee

**Key Words** : The materials for Floor Impact Sound(바닥충격음 저감용 소재), 동탄성계수 (Dynamic Elastic Modulus) Light-weight Impact Noise(경량충격음), Inorganic Porous natural materials(무기질 다공 천연소재), EVA Chip

### ABSTRACT

In order to synthesis of the materials and moduls for floor impact sound reduction, we investigated effect on dynamic elastic modulus of floor impact sound reduction materials and module made by inorganic porous materials, EVA chips and so on. We find correlation property between dynamic elastic modulus and light-weight impact noise. And we measured the dynamic elastic modulus of materials and module for floor impact sound reduction. And we predicted reduction efficiency on floor Impact Noise of those. The dynamic elastic modulus is reduced by increase of filler contents and filler species. When the materials for floor impact sound reduction is consisted of 15wt% EVA Chip and 15wt% inorganic porous materials, its dynamic elastic material is the lowest. And when the module is consisted of PE (upper side), PS embossing board(lower side) and the materials for floor impact sound reduction(middle), its dynamic elastic material is the lowest.

### 1. 서 론

우리나라 전체가구수의 50% 이상이 공동주택에서 주거하고 있으며, 생활의 질이 향상되어짐에 따라 공동주택 주거민들의 주거공간에 대한 쾌적성에 대한 욕구가 높아지고 있다. 그러나 공동주택과 같이 주거공간의 밀집도가 높아질수록 거리에 의한 소음의 감쇠는 저하되며, 상대적으로 음의 차단성이 떨어지며, 고층화에 따른 경량화된 자재의 사용과 시공의 편이성 증대로 이웃집에서 뛰는 소리와 같은 바닥충격음에 의한 불만이 자주 발생하고 있다.

이에 따라 공동주택 바닥충격음에 대한 기준을 법제화되어 시행되고 있으며 이에 따라 바닥구조에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 아울러 층간바닥충격음을 저감시키기 위해 층간 바닥 충격음 저감 소재에 대한 연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있는 실정이다.

일반적으로 바닥충격음 건물의 구조형식, 바닥슬래브의 두께 및 구성, 주변의 보나 벽에 의한 지지 조건, 마감재의 종류 등 여러 가지 요소에 의하여 복합적인 영향을 받으며,

각각의 경계조건에 대한 시공방법과 사용재료가 바닥충격음 저감성능에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 층간바닥소음의 저감용 층간소재의 개발을 위하여 시멘트를 주재료로 하고 무기질 천연 다공 소재, EVA chip 등을 충전재로 이용하여 무기질 층간소재를 제조하였다. 또한 무기질 층간소재 상·하 표면에 EVA 보드, PE (Polyethylene), PS (Poly-styrene) 엠보싱 보드등을 결합하여 층상구조의 층간 모듈을 제조하였다. 제조된 층간 모듈은 제조 조건에 따라 동탄성계수를 측정함으로써 경량충격음 저감 성능을 예측하여 보았다.

### 2. 실험 방법 및 내용

#### 2.1. 무기질 층간소재의 제조

무기질 층간소재의 제조하기 위해 OPC를 주재료로하고 무기질 천연 다공 소재와 EVA Chip을 충전재로 이용하였다. 다공성 천연 다공소재는 기공율이 67%이며, 소재의 크기가 2.36~4mm 가 되도록 체가름하여 사용하였다.

EVA Chip은 EVA 폐자재를 분쇄한 것으로, 국내의 I사에서 제조한 것으로 3mm 이하 제품을 사용하였다.

무기질 층간 소재는 표1에 나타낸 바와 같이 OPC 에 충전재로 EVA Chip을 5~15wt% 첨가한것과 OPC에 무기질 천연 다공 소재를 10~5wt% 첨가하였다. 또한 OPC에 EVA chip 과 무기질 천연 다공 소재를 조성별로 첨가하였다.

<sup>†</sup> 한국생산기술연구원  
E-mail : ckpark@kitech.re.kr  
Tel : (041)589-8335, Fax : (041)589-8450

<sup>\*</sup> 한국생산기술연구원

이 때 각 조성에 따른 혼합물을 물(W/C=0.485)을 첨가하고 교반하여 paste 상태로 만들었다. 이 paste는 20cm × 20cm 크기의 mold를 이용하여 성형 및 양생을 거친다. 양생은 60℃에서 24시간 증기양생을 한 후 탈형하였다.

표. 무기질 충전 소재의 배합비

시료	EVA	무기소재	OPC	W/C*
E1	5	-	95	0.485
E2	10	-	90	0.485
E3	15	-	85	0.485
N1	-	10	90	0.485
N2	-	20	80	0.485
N3	-	30	70	0.485
N4	-	40	60	0.485
N5	-	50	50	0.485
EN1	5	5	90	0.485
EN2	5	15	80	0.485
EN3	10	10	80	0.485
EN4	10	20	70	0.485
EN5	10	30	60	0.485
EN6	15	5	80	0.485
EN7	15	15	70	0.485

\* W/C : ratio of water/cement

## 2.2. 충전 모듈의 제조

앞 절의 조건에 따라 만들어진 무기질 충전소재가 충전층 격음 저감제로서의 가능성을 검토하기 위해 충전 모듈을 제조하였다. 충전 모듈은 무기질 충전소재의 상·하 표면에 EVA board, PE (Polyethylene), PS (Polystyrene) 엠보싱 보드 등으로 결합한 3층 구조(그림1)로 되어 있으며, 그 구성은 다음과 같다.

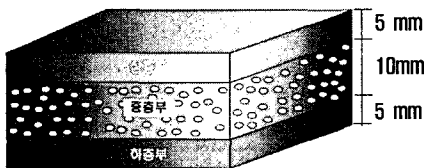


그림1. 충전 모듈의 모식도

(상충부)	(중충부)	(하충부)
EVA 보드	+ 무기질 충전 소재	+ EVA 보드
EVA 보드	+ 무기질 충전 소재	+ PS 엠보싱 보드
PE	+ 무기질 충전 소재	+ EVA 보드
PE	+ 무기질 충전 소재	+ PS 엠보싱 보드
발포 PE	+ 무기질 충전 소재	+ EVA 보드
발포 PE	+ 무기질 충전 소재	+ 엠보싱 보드

## 2.2. 동탄성 계수의 측정

무기질 충전소재 및 충전 모듈의 바닥충격음에 대한 특성을 검토하기 위해 동탄성 계수를 측정하였다. 동탄성 계수는

일본 Rion사 Multi-Channels Signal Analyzer System (SA-01)을 이용하여 측정하였으며, 측정은 그림2(a)에 나타난 것과 같은 방법으로 실시하였다. 외부의 진동에 영향을 전혀 받지 않기 위해 정반을 콘크리트로 만들어 충분한 하중을 가지도록 하였으며, 정반의 표면은 매우 평활하게 하였다.

정반의 표면이 평활하지 않을 경우에는 동탄성 계수의 측정 오차의 폭이 넓어지기 때문이다. 정반위에 20cm×20cm의 시료를 올려 놓은 후, 그 위에 시료와 동일한 크기의 하중판을 올려 놓았다. 이 때 하중판은 200 kg/m<sup>2</sup>의 하중을 가지고 있어야 한다. 이렇게 시료를 setting한 후 펄스가진기로 일정한 힘으로 하중판을 내려치면 정반에서 반발된 펄스가 Pick-up에서 측정되어 FFT 분석기를 거쳐 컴퓨터로 전달되어진다. 이렇게 측정된 데이터는 시계열 분석법에 의해 동탄성 계수를 측정한다. FFT를 거쳐 얻어진 측정 데이터는 그림2(b)에 나타난 파형과 같이 측정되어진다. 이러한 파형으로 동탄성 계수는 시계열 해석법에 의해 측정한다. 측정 방법은 진동부분의 파형의 피크값 사이의 주기 2개 이상을 읽어서 그 평균치로부터 기본 고유주파수( $f_0$ )를 산출한다. 즉 고유진동수( $f_0$ )는 다음과 같이 구한다.

$$f_0 = 1/T_0$$

여기서  $T_0$ 는 고유 주기의 평균치(단위는 sec)이다. 이렇게 구해진 고유 진동수를 이용하여 동탄성계수를 산출한다. 동탄성 계수는 기본 고유주파수  $f_0$ 로부터 다음의 식에 의해서 구한 값을 단위면적당 동탄성 계수로 한다.

$$K_d = (2\pi f_0)^2 \cdot m$$

$K_d$  : 단위면적당의 탄성계수 [N/m<sup>3</sup>]

$f_0$  : 진동계의 기본 고유주파수 [Hz]

$m$  : 하중판의 단위면적당 질량 [kg/m<sup>2</sup>]

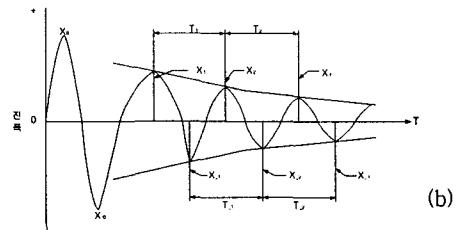
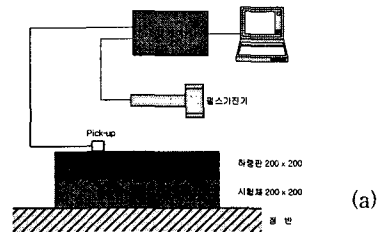


그림2. (a) 측정기기의 배치 (b) FFT로부터 측정된 파형

### 3.1 실험 결과 및 고찰

#### (1) 동탄성 계수와 바닥충격 저감성능

동탄성 계수는 재료의 밀도에 큰 영향을 받는 것으로서 동탄성 계수가 과다하게 높을 경우에는 바닥충격을 저감효과가 떨어질 수 있으나 역학적으로 안정성은 확보가 가능하다. 그러나 동탄성계수가 극히 낮은 경우에는 동적 하중이 가해질 경우 유연한 탄력성을 바탕으로 효과적인 충격을 완충이 가능하지만 응력에 대한 물리적 저항이 떨어져 상부하중에 따른 변형으로 바닥 마감면에서 균열이 발생될 수 있다. 이러한 동탄성 계수는 바닥충격음중 경량충격음의 저감성능에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 경량충격음 저감성능과 동탄성 계수와의 관계를 검토하여 보았다.

그림3에 나타난 것과 같이 동탄성 계수가 증가함에 따라 경량충격음 저감성능은 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림3에 나타난 값들은 다양한 측정 data를 수집하여 그래프화한 것으로서 동탄성계수와 경량충격음 저감성능간의 상관관계를 확인하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석결과는 다음과 같다.

$$y = -0.0923x + 23.702$$

이 때 상관관계식의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.80으로 상관관계가 매우 높음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 무기질 충전소재와 충전 모듈의 동탄성 계수를 측정하여 경량충격음 저감성능을 예측하는데에 이용하였다.

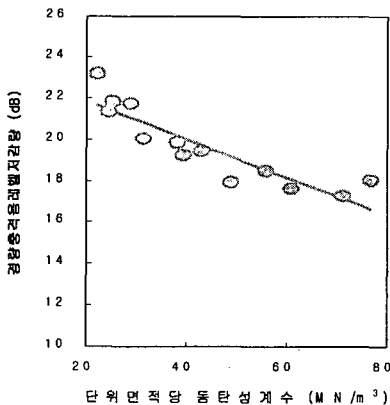


그림3. 동탄성계수와 경량충격음 저감성능

#### (2) 무기질 충전소재의 동탄성 계수

앞에서 언급한 바와 같이 시멘트를 주재료로 하고 무기질 다공성 천연소재, EVA chip을 충전재로 사용한 무기질 충전소재의 동탄성 계수를 측정하고 경량충격음 저감량을 예측하여 보았다. 이때 무기질 충전 소재의 두께는 10cm로 고정하였다.

#### ① EVA Chip + OPC

EVA Chip과 OPC로 구성된 무기질 충전소재의 동탄성 계수는 30.3 ~ 71.94 MN/m<sup>3</sup>의 범위에서 측정되었다. 이 때 경량충격음은 17.06 ~ 20.90 dB의 저감효과가 있음을 예측할 수 있다. 또한 EVA Chip을 10% 첨가하였을 때까지는 동탄성 계수가 급격하게 저감되며, 10% 이상의 첨가량에서는 동탄성계수의 저감속도는 다소 완만해짐을 알 수 있었다. 또한 EVA Chip을 5% 첨가한 경우와 EVA Chip을 15% 첨가한 경우와 비교하면 경량충격음 저감량의 차이는 3.84 dB로서 충격음 차단 성능이 다소 높은 것으로 판단되어진다.

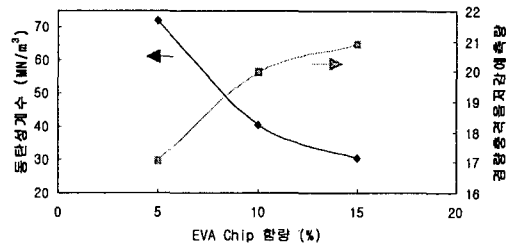


그림4. EVA chip + OPC에 의한 무기질 충전 소재의 특성

#### ② 무기질 천연 다공소재 + OPC

무기질 천연 다공 소재와 OPC로 구성된 무기질 충전소재의 동탄성 계수는 35.2 ~ 54.7 MN/m<sup>3</sup> 범위로 측정되었으며, 이 때 경량충격음은 18.65 ~ 20.45 dB의 범위에서 저감되는 것으로 측정되었다. 무기질 천연 다공 소재와 OPC로 구성된 무기질 충전 소재의 동탄성 계수는 앞서 언급한 EVA Chip에 비해 완만한 변화를 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 경량충격음 저감량은 무기질 천연 다공소재 10% 첨가시 18.65 dB에서 50% 첨가시 20.45%로 1.8 dB의 저감효과만을 나타냄으로써 무기질 천연 다공소재의 첨가량 변화에 따른 무기질 충전재료의 경량충격음 저감에 미치는 영향이 EVA Chip을 충전재로 사용하였을 경우에 비해 덜 민감함을 할 수 있다.

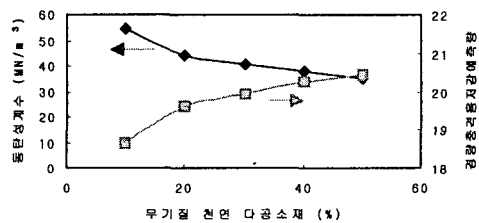


그림5. 무기질 천연 다공소재 + OPC에 의한 무기질 충전 소재의 특성

### ③ EVA Chip + 무기질 천연 다공소재 + OPC

EVA Chip과 무기질 천연 다공소재를 함께 사용한 경우 무기질 충전소재의 동탄성 계수에 미치는 영향을 검토하였다. EVA Chip과 무기질 천연 다공소재를 함께 사용한 경우 무기질 충전소재의 동탄성 계수는 최대  $62.4 \text{ MN/m}^3$ 에서 최소  $22.6 \text{ MN/m}^3$ 으로 나타났다. 충전재의 함량이 증가함에 따라 동탄성 계수가 감소함을 알 수 있었다. EVA chip의 함량이 증가함에 따라 무기질 충전소재의 동탄성계수는 급격한 감소하였으나, 무기질 천연 다공소재에 함량 증가에 의한 동탄성계수의 감소는 다소 완만한 것으로 판단되어진다.

이러한 효과로 EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15%일때 동탄성계수가  $22.6 \text{ MN/m}^3$ 으로 가장 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이 때 경량충격음은 21.62 dB 정도 감소됨으로써 바닥충격음 차단 성능에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

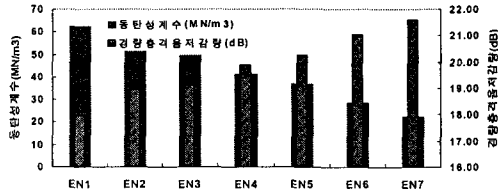


그림6. EVA Chip + 무기질 천연 다공소재 + OPC에 의한 무기질 충전소재의 특성

### ④ 무기질 충전소재의 두께에 따른 동탄성 계수

향후 바닥구조는 기존의 뜬바닥구조와 별도로 열관류율과 충전 바닥 충격음 차단성능을 만족할 경우에는 다양한 형태로 구성되어질 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 무기질 충전소재의 두께에 따른 동탄성 계수를 측정하여 보았다.

동탄성 측정 결과 무기질 충전 소재는 두께가 증가함에 따라 동탄성 계수가 감소되고 있음을 관찰할 수 있었다. 특히 EVA Chip + OPC 로 구성된 무기질 충전 소재의 동탄성 계수는 두께 30mm까지는 동탄성 계수의 감소폭이 크지만 30mm 이상으로 되면 동탄성 계수의 감소폭이 완만해짐을 알 수 있었다. 따라서 EVA Chip + OPC 로 구성되어 있는 무기질 충전 소재의 경우 경제성을 고려한 최적 두께는 30mm로 판단되어진다. 또한 무기질 천연 다공 소재 + OPC로 구성된 무기질 충전 소재는 무기질 천연 다공소재를 10, 20% 첨가하였을 경우 30mm를 전후해서 동탄성계수의 감소폭의 변화를 보이고 있으며, 30% 이상 첨가하였을 경우에는 20mm를 전후해서 동탄성계수 감소폭의 변화를 보였다. 따라서 무기질 천연 다공 소재 + OPC로 구성된 소재의 경우 최대 경제성을 고려한 최적 두께는 20mm와 30mm 사이로서 25 mm가 적당할 것으로 판단되어진다. 또한 EVA Chip + 무기질 천연 다공 소재 + OPC 로 구성된

소재도 역시 20mm 혹은 30 mm를 전후로 동탄성 계수 감소폭의 변화를 보이고 있었으며, 이 들 소재의 두께도 역시 경제성을 고려할 경우 25mm 정도가 적당할 것으로 판단되어진다.

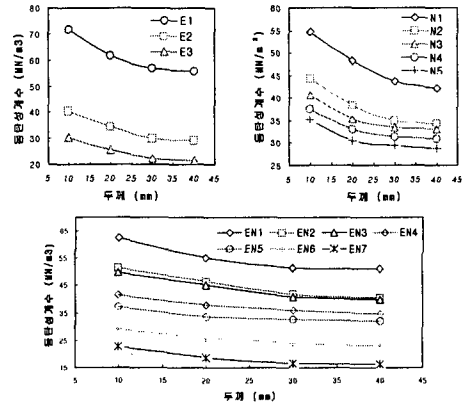


그림7. 무기질 충전소재의 두께에 따른 동탄성계수의 변화

### (2) 충전모듈의 동탄성 계수

무기질 충전소재의 바닥충격음 저감용 소재로 적용하기 위해 충전 모듈을 제조하였다. 충전 모듈은 앞서 언급한 바와 같이 무기질 충전소재의 상·하 표면에 EVA 보드, PE, PS 엠보싱보드를 이용해 모듈화 하였으며, 이때 각 소재의 두께는 상·하층부의 소재는 각각 5mm으로 하고, 중층부 소재는 10mm로 구성하였다.

#### ① EVA chip + OPC

EVA chip + OPC로 구성되어 있는 무기질 충전 소재를 모듈화하여 동탄성 계수를 측정한 결과 모듈의 동탄성 계수는  $10.9 \sim 47.2 \text{ MN/m}^3$ 의 범위로 무기질 충전소재 단독 측정값에 비해  $10 \sim 53.54 \text{ MN/m}^3$ 의 범위로 감소되었으며, E3의 경우 동탄성 계수가  $10.9 \text{ MN/m}^3$ 으로 가장 낮게 측정되었다. 각 모듈의 동탄성계수 측정값을 비교해보면 EVA 보드를 상층부 및 하층부 소재로 사용한 모듈의 경우의 동탄성계수의 개선치가 가장 저조하게 나타났으며, PE를 상층부, PS 엠보싱보드를 하층부 소재로 적용한 모듈의 경우가 동탄성계수의 개선치가 가장 양호한 것으로 나타났다. 또한 이러한 동탄성계수의 저감효과로 인해 경량충격음은 전체적으로 1 ~ 2.5 dB의 저감효과를 보이고 있다.

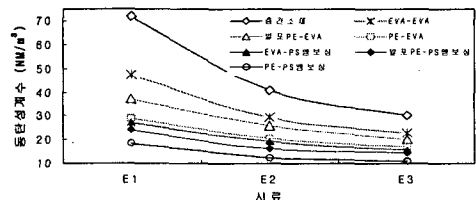


그림8. EVA Chip +OPC로 구성된 충전모듈의 동탄성계수

② 무기질 천연 다공소재 + OPC

무기질 천연 다공소재와 OPC로 구성된 무기질 충전소재를 모듈화하여 동탄성계수를 측정한 결과 충전 모듈의 동탄성계수는 10.6 ~ 38.3 MN/m<sup>3</sup>의 범위로 측정되었으며, 무기질 충전 소재 단독에 비해 9.1 ~ 37.2 MN/m<sup>3</sup>의 저감효과를 보이고 있다. 특히 무기질 천연 다공소재를 50% 첨가한 소재의 경우 상층부에 PE, 하층부에 PS 엠보싱보드를 적용할 경우 동탄성계수가 10.6MN/m<sup>3</sup>으로 가장 낮았으며, 이때 동탄성계수는 24.6 MN/m<sup>3</sup> 저감되었으며, 이때 경량충격을 저감량은 2.27dB이었다.

무기질 충전소재에 대한 충전 모듈의 성능분석결과 EVA Chip + OPC 로 구성된 소재와 동일하게 EVA 보드를 상층부 및 하층부 소재로 사용한 모듈의 경우가 동탄성계수가 가장 저조하게 나타났으며, PE을 상층부, PS 엠보싱 보드를 하층부 소재로 적용한 모듈의 경우가 가장 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.

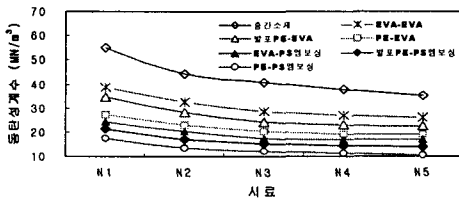
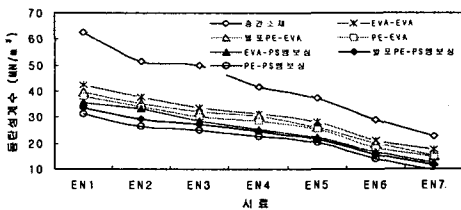


그림6. 무기질 천연 다공소재+OPC 구성된 충전모듈의 동탄성계수

③ EVA Chip + 무기질 천연 다공소재 + OPC

EVA Chip + 무기질 천연 다공소재 + OPC 로 구성된 무기질 충전 소재를 충전 모듈화한 시료는 전체적으로 9.8 ~ 42.3 MN/m<sup>3</sup>의 범위의 동탄성계수로 측정되었으며, 무기질 충전 소재 단독의 동탄성계수가 가장 낮았던 EN7 (EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15%) 소재에 PE를 상층부, PS 엠보싱보드를 하층부 소재로 적용한 충전모듈에서 9.8MN/m<sup>3</sup>으로 가장 낮은 동탄성 계수값을 나타내었다.

이 조건에서의 경량충격을 저감량은 22.80 dB로서 모듈화한 경우 중층 단독의 경량충격을 저감량에 비해 1.18dB의 개선효과가 나타났다.



④ 충전모듈의 최적화

무기질 충전소재의 제조에 있어 충전재를 EVA Chip으로

사용하는 것이 무기질 천연 다공소재를 사용하는 것보다 동탄성계수를 저감시키는데 효과적임을 알 수 있었다. 또한 EVA Chip 혹은 무기질 천연 다공소재를 단독으로 첨가한 경우에 비해 EVA Chip 과 무기질 천연 다공소재를 함께 첨가할 경우 무기질 충전소재의 동탄성계수가 보다 효과적으로 저감되는 것을 알 수 있었다, 무기질 충전소재의 동탄성 계수가 가장 낮은 배합비는 EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15%를 충전재로 사용한 것으로, 이 때 동탄성계수는 22.6MN/m<sup>3</sup>, 경량충격을 저감량은 21.62 dB이었다.

그리고 이 무기질 충전소재를 이용하여 충전 모듈화 할 경우 상층부 소재로 PE, 하층부 소재로 PS 엠보싱보드를 적용한 모듈의 동탄성계수가 가장 낮은 9.8MN/m<sup>3</sup> 이었다.

따라서 최적의 모듈은 EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15%를 충전재로 구성된 무기질 충전소재에 상층부 PE, 하층부 PS 엠보싱 보드로 구성된 충전 모듈인 것으로 판단되어진다.

4. 결론

동탄성계수와 경량충격을 저감량과의 관계에 매우 상관성이 높음을 통해 본 연구에서 개발된 무기질 충전소재 및 충전모듈의 동탄성계수를 측정함으로써 경량충격을 저감성능을 예측하여 보았다. 동탄성계수는 EVA Chip 이나 무기질 천연 다공소재의 함량이 증가할수록 저하되어 경량충격을 저감에는 효과적임을 알 수 있었다. 특히 EVA Chip 과 무기질 천연 다공소재를 함께 사용한 소재가 EVA Chip 혹은 무기질 천연 다공소재 단독으로 사용하였을 경우보다 동탄성계수가 낮게 나타났으며, EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15% 첨가한 소재에서 가장 낮은 동탄성계수값을 보였으며, 이 때 동탄성계수값은 22.6MN/m<sup>3</sup> 이었으며, 경량충격을 차단성능 저감량은 21.62 dB 인 것으로 밝혀졌다.

또한 무기질 충전소재의 두께에 따른 동탄성계수는 30mm 정도의 두께까지는 두께 증가에 따라 동탄성계수가 감소하지만 이상의 두께에서는 동탄성 계수의 저감 속도가 급격하게 감소됨으로써 약 30mm 정도가 최대의 두께로 고려되어진다.

이들 개발 무기질 충전 소재는 다양한 소재의 고분자 재료와 모듈화하여 동탄성 계수를 측정된 결과 PE를 상층부 소재로, PS 엠보싱 보드를 하층부 소재로 구성된 충전 모듈이 동탄성 계수가 가장 낮은 것으로 나타났다. 특히 EVA Chip 15%, 무기질 천연 다공소재 15%로 구성된 무기질 충전소재와 PE(상층부), PS 엠보싱 보드(하층부)로 구성된 충전 모듈의 동탄성계수가 9.8MN/m<sup>3</sup> 로 가장 낮게 측정되었으며, 이때 경량충격을 저감량은 22.80 dB로 예측되어졌다.

## 참 고 문 헌

- (1) 장재희, 2002, “공동주택 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 18권 4호, pp.205~212
- (2) 김수영, 손장열, 조창근, 김명준, “공동주택의 바닥슬래브 두께에 따른 바닥충격음 차음성능에 관한 연구”, 대한건축학회학술발표논문집, 15권 제1호, pp263~266
- (3) 대한주택공사, 1987, “공동주택 바닥충격음 차음성능에 관한 연구”, 주택건연자료 87-059
- (4) 양관섭, 김경우, 이승연, 2004, “벽식구조 공동주택의 바닥충격음 특성” 한국생활환경학회지, 11권 2호, pp. 98-104