

# 천공 바닥마감재의 유한요소법을 통한 다분야통합설계

## Multidisciplinary Design of Floor Plates with Holes Through Finite Element Method

유 흥 희<sup>†</sup> · 이 창 근<sup>\*\*</sup> · 유 흥 겐<sup>\*\*</sup> · 서 석<sup>\*</sup>

Hong Hee Yoo, Chang-Geun Lee, Hong-Geol Yoo and Seok Seo

(2002년 12월 7일 접수 : 2003년 1월 21일 심사완료)

**Key Words** : Multidisciplinary Design(다분야통합설계), Finite Element Method(유한요소법), Floor Plate(바닥마감재), Hole(천공), Thermal Deformation(열변형), Impact Analysis(충격 해석), Noise(소음), Performance Index(성능 지수)

### ABSTRACT

Pleasantness or quietness becomes one of the most important factors for residential and office building designs recently. Especially for apartments, the noise generated by falling objects becomes a sensitive issue these days. To overcome the problem of the impact noise in apartments, the floor design has been changed. To reduce the transmissibility of the noise, composite floor structures are devised and implemented for the construction of apartments. In this paper, the noise reduction performance of a composite floor plate with holes is analyzed. Computational models for the structures are developed and its performance is evaluated by using the finite element method. The results show that the noise can be significantly reduced with the multi-layer composite floor plates with holes.

### 1. 서 론

최근 주거 환경의 쾌적성은 주택이 지녀야 하는 가장 중요한 특성으로 부각되고 있다. 그 중에서도 환경소음에 대한 고려는 주택의 설계에서 가장 중요한 요소 중 하나로 부각되어왔으며 특히 아파트와 같이 여러 세대가 서로 인접하여 주거하는 공동 주택에서는 주거 공간 간 소음 차단이 매우 중요한 설계요건이 된다.

주거공간 간 소음의 전달과 관련하여 가장 많은 문제들을 일으킬 수 있는 부분은 바닥 부분이다. 주거 공간에서 거주자 이동에 따른 소음과 물건 낙하로 인

한 소음, 그리고 미성년자들이 뛰는 일에 의해서 발생하는 소음 등 대부분의 소음은 바닥을 통해 하단부로 전달되며 그 정도가 심할 경우는 주거자간 민원까지 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 다양한 바닥마감재들이 여러 형태로 개발되고 있으며 대표적 바닥마감재로는 합성 플라스틱 같은 인공재료를 사용하는 것으로부터 나무 같은 천연재료까지 여러 가지의 소재들이 사용되고 있다. 이들은 각각 그 가격의 저렴성과 자연친화성과 같은 장점을 갖고 있어 그 용도와 사용자의 필요에 맞추어 사용되고 있다. 이러한 단일 재료들의 사용은 그러나 복합적인 필요성을 만족시키지 못하므로 최근에는 이들을 복합한 형태의 소재들이 사용되기 시작하고 있다. 예를 들면 플라스틱과 나무를 조합해 제작한 복합소재가 그 대표적인 예제이다.

본 논문에서는 최근 이같이 등장하고 있는 복합층을 갖는 바닥마감재의 주요설계 특성들을 분석하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. 특별히 충격에 의해

<sup>†</sup> 책임저자, 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2290-0446

<sup>\*</sup> 한양대학교 기계공학부

<sup>\*\*</sup> (주) 우진물산

발생하는 소음특성에 연구의 초점을 맞추었으며 이와 더불어 열변형 특성도 함께 분석하였다. 바닥마감재가 설치되는 주거 및 업무 공간은 계절에 따라 냉난방 등 온도변화로 열변형이 발생하게 되며 그 특성이 실제 시공 시 중요한 요소가 되기 때문이다. 따라서 바닥마감재의 설계 시 충격에 의해 발생하는 소음 특성은 물론 열변형 특성을 동시에 고려하여 두 특성이 설계자의 요구조건을 동시에 만족시킬 수 있어야 하는 것이다. 이렇게 다분야의 원리를 동시에 고려하는 설계방법론은<sup>(1)</sup> 최근 들어 제품설계의 고급화와 발맞추어 세계적인 추세로 자리를 잡아가고 있다.

설계에 있어서 무엇을 설계변수로 정할 것인가 하는 점은 매우 중요한 요소이다. 복합구조물로 구성된 바닥마감재 개발 관련하여 국내 산업체에서는 구성요소들의 재료의 변화와 그 기하학적 제원의 변화까지 여러 가지 설계 변수를 선정하고 그에 의한 기계적 특성의 변화에 대한 연구를 진행하여 왔다. 특별히 최근에는 국내 산업체에 의해 다층 구성요소 중 일부층에 천공을 집어넣는 방법이 제안되었다. 본 연구에서는 천공과 관련된 제원 즉 천공의 크기 및 간격 그리고 형상 및 배열의 변화가 바닥마감재의 열변형 및 충격소음 특성에 미치는 영향을 분석하고 결과를 제시하였다. 즉 가장 적절한 천공 크기와 간격 그리고 형상과 배열을 찾아내기 위한 모델링 및 해석 방법론을 제시하고 이를 통해서 얻어진 결과를 설계 결과로 제시하는데 연구의 목적을 두고 있다. 본 연구의 결과는 또한 타당성의 검증을 위하여 KS규격에 의한 실험결과와 비교하여 기술하였다.

## 2. 바닥마감재 구조의 유한요소 모델링

본 장에서는 Fig. 1에 보여주는 바닥마감재에 대한

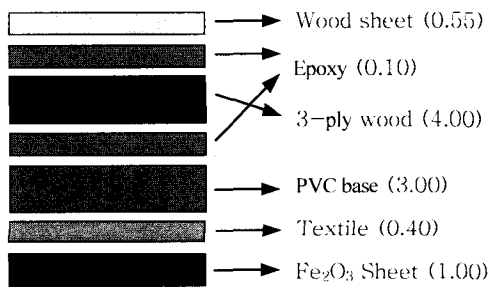


Fig. 1 Composition of the floor plate

해석을 위해 유한요소 모델링을 수행하는 내용을 기술하려 한다. 그림에서 보여주듯이 본 연구에서 다루려고 하는 바닥마감재는 기본적으로 일곱개 층으로 구성되어 있다. 그림에는 각 층의 높이가 (단위 mm) 표기되어 있다

Table 1은 여기 사용된 재료들의 물성치들을 나타내고 있으며 이들 물성치의 값을 정확히 확보하는 것은 해석 결과의 정확성에 결정적 영향을 미친다. 이

Table 1 Material properties of floor plate compositions

	Young's modulus (GPa)	Poisson ratio	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Thermal expansion coefficient (E-5)
Wood sheet	5,3635	0,1	645	-0,23
Epoxy	22,5	0,25	1920	3,60
3-ply wood	X 1,079	0,1	665	-1,30
	Y 1,079			-2,30
PVC	X 0,4957	0,2	1835	2,65
	Y 0,4904			-0,95
Textile	X 0,0336	0,2	2,5	-7,80
	Y 0,0425			3,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	X 0,0126	0,3	2,0	N/A
	Y 0,0087			N/A

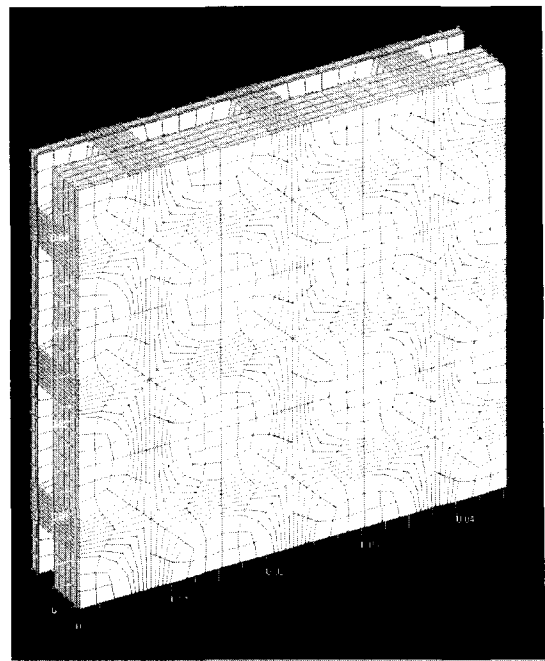


Fig. 2 Finite element model of a floor plate with holes

들 물성치 중에서 가장 중요한 요소는 영률과 열팽창 계수이며 이는 그 값들이 열변형과 충격해석에 큰 영향을 미치기 때문이다. 합판 PVC, 부직포, 산화철시트의 영률과 열팽창계수의 값은 종(X) 방향과 횡(Y) 방향이 다른 값을 갖는 것을 알 수 있으며 특별히 영률의 차이는 이들의 성형 시 롤러가 움직인 방향의 값이 더 커지는 것에서 유래하며 그 값들은 Instron 4465를 이용하여서 실험적으로 측정되었다.

유한요소해석을 하기 위한 모델링은 해석결과의 정확성과 신뢰성에 결정적 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 자동요소생성을 위한 소프트웨어인 FEMAP을<sup>(2)</sup> 사용하였으며 Fig. 2는 그 결과 얻어진 유한요소모델 형상을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 천공은 PVC층에만 존재하며 천공의 크기가 작으므로 이들을 모델링에 고려하기 위해서는 자연히 천공 주변에 많은 유한요소절점이 존재하게 된다. 길이 900 mm 폭 90 mm 바닥재 한 조각을 FEMAP을 이용하여 모델링 하였을 때 생겨나는 요소의 총 수를 Table 2에 나타내었다. 천공 크기와는 상관없으나 간격이 더 작아질수록 유한요소의 수가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 사용된 유한요소는 솔리드 요소와 셸 요소이며 비교적 그 두께가 두꺼운 합판과 PVC 층은 솔리드 요소를 사용하였고 얇은 나머지 층들을 위해서는 셸 요소를 사용하였다.

### 3. 유한요소 해석

전 장에서 소개된 재료 물성치와 제원 그리고 유한요소 모델을 이용하여 먼저 열변형 해석을 수행하였다. 여기서 발생하는 열 변형은 다층 복합구조를 구성하는 층 재료간 열 팽창 계수가 다르므로 해서 발생하는 것이며 층간 재료간 팽창률의 차이는 굽힘방향 변형을 초래하게 되는데 그 원리는 바이 메탈의 원리와 동일하다. 이러한 열변형은 바닥마감재를 시공한 후 온도변화에 의해 발생하여 바닥마감재가 바닥에 고정되지 않고 위로 일어나는 현상을 일으키게

되어 그 정도가 심하게 되면 바닥마감재로서의 본연의 역할을 제대로 하지 못하게 한다. 따라서 설계 시 온도변화에 따른 열변형의 양을 분석하고 이것이 발생하지 않게 하거나 최소화내지는 적정량 이하로 억제하도록 설계변수의 값을 조절하여야 한다. 이것이 열변형을 고려한 설계에서 핵심을 이루는 내용이다.

열변형 해석은 유한요소 해석을 위한 전문 프로그램인 NASTRAN을<sup>(3)</sup> 이용 수행되었으며 해석조건은 대칭성을 고려하여 4분의 1 모델을 사용하였다. 해석 조건은 섭씨 80도에서 20도까지 60도의 온도 하강 시의 변형량을 측정하였다. 이는 바닥마감재의 점착 성형 시 발생하는 온도에서 실내온도까지 하강하는 조건을 고려한 것으로서 이 때 발생하는 영구적 열변형량을 가지고 제품의 품질을 규정하게 된다. Fig. 3은 열 응력에 의해서 굽힘변형이 발생한 유한요소모델의 대표적인 모습을 보여주고 있다. Table 3은 천공의 크기와 천공간 간격의 변화에 따른 열 변형량을 보여주고 있다. 이 표가 나타내듯이 천공이 없을 때에 비하여 천공을 했을 때는 열변형량이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 천공의 크기가 증가하고 천공간 간격이 감소할수록 열변형량이 감소하는 것을 알 수 있다.

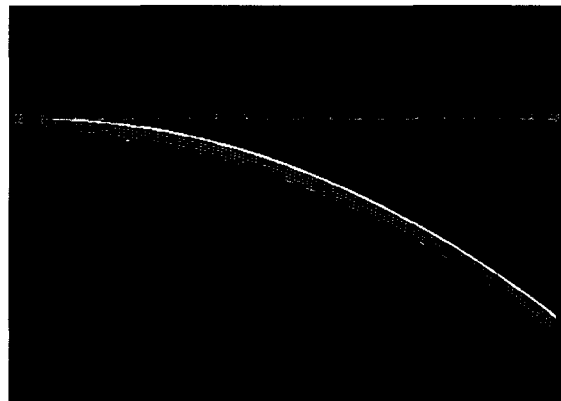


Fig. 3 Thermal deflection of the floor plate

Table 3 Thermal deflection vs. hole size and interval

(unit : mm)

Table 2 Element number vs. hole size and interval

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
φ 7	17664	27600	39744
φ 9	17664	27600	39744
φ 11	17664	27600	39744

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
No hole	16.81		
φ 7	14.74	13.62	12.14
φ 9	13.69	11.43	8.59
φ 11	11.70	8.29	3.13

며 천공간격 15 mm, 천공지름 11 mm일 때는 천공이 존재하지 않는 모델에 비하여 무려 그 열변형량이 5분의 1 이하로 감소하는 것을 보여준다. 이러한 결과는 천공이 많아질수록 그리고 그 크기가 커질수록 열변형의 효과를 천공들이 흡수한다는 것을 잘 보여주는 것이다. 특별히 이 해석결과는 천공의 지름만 증가시키거나 간격만을 증가시키는 것보다 두 설계인자를 동시에 증가시키는 것이 열변형 감소에 커다란 영향을 미치는 것을 잘 보여준다. 그러나 천공이 지나치게 많아지면 바닥마감재 전체의 강도가 지나치게 감소할 것이고 국부적인 변형도 발생할 수 있으므로 그러한 현상이 발생하지 않는 범위 내에서 천공의 크기와 간격을 결정하여야 할 것이다.

Fig. 4는 천공의 배열과 형상 변화를 보여준다. (a)는 앞에서 다룬 정원형상에 평형 배열을 보여주며 (b)는 정원형상의 지그재그 배열을 (c)는 종방향 장축을 갖는 타원형상의 지그재그 배열 (d)는 횡방향 장축을 갖는 타원형상의 지그재그 배열을 보여준다. 이외에도 타원형상의 평형 배열 두 가지가 더 있으나 여기에는 그림으로 나타내지 않았다. 이 때 타원 장축과 단축의 비는 두 경우 모두 3:2이며 정원과 동일한 면적을 갖게 크기를 결정하였다.

Table 4는 이 같은 천공형상과 배열의 변화에 따

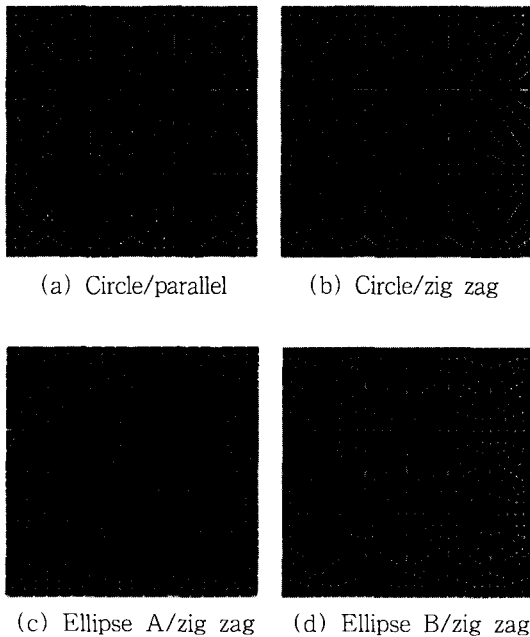


Fig. 4 Shapes and dispositions of holes in the plate

른 열변형량을 조사한 결과를 보여주고 있는데 앞서 구해진 정원형상의 평형 배열 결과에 비해 (정원의 천공 지름 및 간격은 11 mm와 15 mm임) 횡방향 장축을 갖는 타원의 지그재그 배열이 5분의 1의 열변형을 발생시키는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 열변형량은 천공 크기 및 간격뿐 아니라 형상 및 배열을 조절해서도 크게 제어할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

음향 및 소음 해석은 일정 크기를 갖는 음원의 존재를 가정하고 주변 조건에 따른 음의 밀도를 분석하는 형태로 이루어진다. 이 때 주변환경이란 음의 밀도에 영향을 미칠 수 있는 차음재 배치와 같은 내용을 의미한다. 이러한 내용에 대한 해석방법은 많은 연구가 이루어져 왔으며 해석을 위한 소프트웨어도 여러 가지가 존재한다. 그러나 음원 발생 매커니즘과 관련된 연구는 아직도 성숙기에 이루지 못한 형편이다. 즉, 두 물체가 충돌함으로써 어떤 형태의 소음이 각 주파수별로 얼마만큼 발생할 것인가 하는 것에 대한 연구는 매우 복잡하여 그 발전이 미진한 형편이다.

본 연구에서는 주거 공간에서 흔히 발생하는 물체의 낙하 시 발생하는 충격 소음을 저감하기 위한 설계와 관련된 해석방안 및 결과를 제시하려 한다. 충돌에 의해 발생하는 충격소음의 해석은 바닥마감재 자체의 물성이나 형태뿐 아니라 바닥마감재가 설치된 주변구조 및 경계조건에 의해서 영향을 받으며 매우 복잡하다고<sup>(4,5)</sup> 알려져 있다. 그러므로 이에 대한 정형화된 정확한 해석 결과들을 얻기 위한 방안을 제시하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 충돌로써 발생하는 충격 소음의 정도를 예측하기 위하여 우선 충격 해석을 통해 바닥마감재 하부에 전달되는 힘을 시간에 대해 구한 후에 그 결과를 이용하여 발생하는 소음을 예측하기 위한 방안을 제시하였다. 이 방안은 (소음은 엄밀히 방사하는 주파수별 밀도에 의해 결정됨) 충격에 의해 발생하는 반발력과

Table 4 Thermal deflection vs. hole size and interval

(unit : mm)

Shape	Circle	Ellipse A	Ellipse B
Disposition			
Parallel	3.13	6.30	1.59
Zig zag	3.51	6.45	0.59

발생하는 소음의 크기간 존재하는 것으로 실험적으로 이미 입증된 기초적 사실들을 이용하여 소음정도를 단순한 형태의 지수로 정의하여 이를 사용하는 것이다.

Fig. 5는 충격 해석에 사용되는 모델의 형태를 보여준다. 그림이 보여주듯이 충격 해석은 구형 물체가 일정속도로 지반에 고정된 바닥마감재 평판에 충돌 시 발생하는 역학적 현상을 분석하는 것이다. 이 때 구형 물체의 충돌은 질량과 속도의 조건에 따라 두 가지로 주어지는데 하나는 경량 충격이라 하고 다른 하나는 중량 충격이라 한다. 경량충격 시 물체의 질량은 0.5 kg, 그 속도는 0.89 m/s이며 중량충격 시 물체의 질량은 7.3 kg 그리고 속도는 4 m/s이다. 이 내

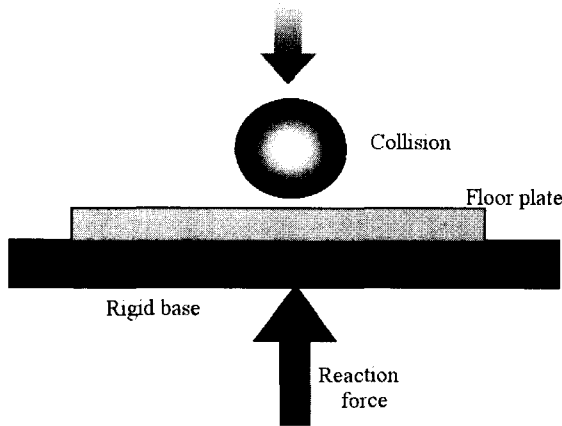


Fig. 5 Impact analysis model between a ball and the floor plate

용은 바닥 충격음의 차단 성능 측정을 위해 제정된 KSF2810-1 및 2810-2의 규격에 정해진 값들이다.

이 해석에 사용된 프로그램은 LS-DYNA로<sup>(6)</sup> 이 프로그램은 특별히 비선형 충격 해석에 강점을 갖고 있다. Fig. 6은 충격해석을 통해 얻어진 대표적 해석 결과로서 응력분포를 보여주는 그림이다. 충격은 중앙 두 천공 사이에 가해지며 그림에서 확인할 듯이 충돌이 발생하는 부분에는 커다란 응력이 발생하나 응력의 크기는 충돌이 발생하는 지점으로부터 멀어질수록 급속히 약화된다. 이는 Saint Venant 원리에 의해 예측가능한 결과이다. 그런데 충격 해석은 비선형 해석으로서 소요되는 계산시간은 현재 가장 좋은 workstation을 이용해도 수일이 소요된다. 그러므로 Saint Venant 원리에 근거해 모델을 충돌이 발생하는 부분으로 축소해 해석하는 것이 유용하며 이렇게 함으로써 해석의 실질적 정확도를 훼손하지 않고도 계산에 소요되는 시간을 대폭 절감할 수 있다.

구형 물체와 바닥마감재 평판의 충격해석을 통해서 바닥마감재의 하부지반으로 전달되는 힘을 구한 후 이 결과를 이용하여 소음의 크기를 추정하였다. 충격 시 발생하는 힘은 바닥으로 전달되는 힘을 합하여 구하였으며 소음 크기의 추정을 위하여 충격과 관련하여 알려진 다음의 두 가지 사실을 이용하였다. 첫째, 소음은 충격에 의해 발생하여 하루로 전달되는 힘의 최대크기가 클수록 더 크게 발생한다. 둘째, 소음의 크기는 발생하는 주파수의 크기가 클수록 크다. 이 두 가지 사실에 근거하여서 소음지수를 다음과 같이 모델링하였다.

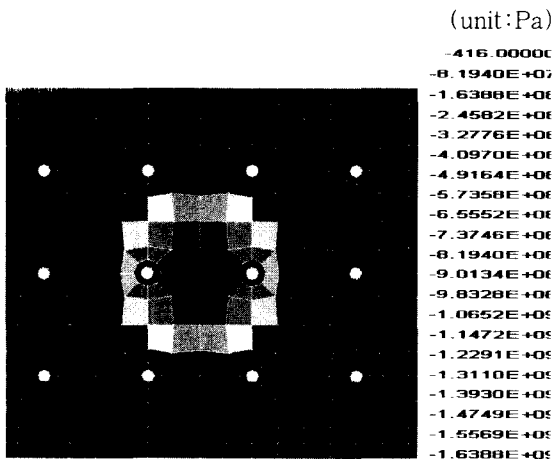


Fig. 6 Stress distribution obtained by the impact analysis

$$P_N = \frac{R_{\max}}{T_{\max}} \quad (1)$$

여기서  $R_{\max}$ 는 반력의 최대크기를 나타내며  $T_{\max}$ 는 반력이 최대크기까지 도달하는데 걸린 시간을 나타낸다. 따라서 두 변수의 단위는 각각 힘(newton)과 시간(second)이 된다.

Fig. 7은 구형물체와 바닥마감재 평판 충돌 시 바닥으로 전달되는 힘의 합을 시간에 대해 그린 대표적 인 그림이다. 여기서 정의된 소음지수는 앞에 언급한 두 가지 사실을 모두 정성적으로 반영하여 얻어진 값이며  $T_{\max}$ 가 작을수록 고주파가 발생할 것이라는 사실을 고려한 것이다.

Table 5는 경량충격 시 발생하는  $R_{max}(T_{max})$  값을 각 경우에 보여준다. Table 6은 경량충격의 경우 천공의 지름크기 및 간격의 변화에 따라서 구해진 소음지수 값들을 무천공의 경우를 기준으로 하여 무차원화 하여 비교하고 있다. 이 표에서 보듯이 소음지수는 천공의 지름크기가 커질수록 그리고 천공의 간격이 좁아질수록 낮아지는 것을 관찰할 수 있으며 천공의 지름과 간격 변화가 동시에 일어날 때 소음제어를 위한 상승효과를 일으키는 것을 관찰할 수 있다.

Table 7은 산화철 시트를 제외한 경량충격에 의한 소음지수 해석결과이다. 산화철 시트는 원래 그 부착목적이 차음효과를 위해 존재하지만 이 결과가 보여주듯이 본 바닥마감재의 충격소음 발생을 억제하는

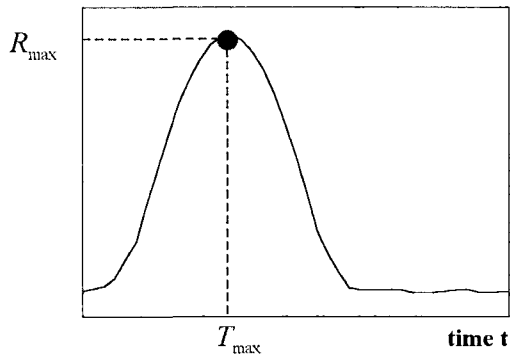


Fig. 7 Typical impact reaction force versus time

Table 5 Comparison of  $R_{max}(T_{max})$  in light collision

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
No hole	1348(6.9E-4)		
$\phi 7$	1251 (7.0E-4)	1248 (7.0E-4)	1243 (7.0E-4)
$\phi 9$	1243 (7.1E-4)	1215 (7.1E-4)	1182 (7.2E-4)
$\phi 11$	1178 (7.1E-4)	1142 (7.3E-4)	1095 (8.3E-4)

Table 6 Normalized noise index in light collision

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
No hole	1.00		
$\phi 7$	0.92	0.92	0.91
$\phi 9$	0.90	0.88	0.85
$\phi 11$	0.86	0.81	0.68

데에도 중요한 역할을 한다는 것을 명확히 알 수 있다. 정량적으로 앞의 Table 6의 산화철 시트를 포함한 결과들과 비교해보면 동일한 재원을 사용했을 때 산화철 시트는 소음지수를 적어도 40% 정도 감소시키게 된다는 사실을 잘 보여준다.

Table 8은 중량충격의 경우 천공의 지름크기 및 간격의 변화에 따라서 구해진 소음지수 값들을 무천공의 경우를 기준으로 하여 비교한 것이다. 이 경우는 천공 지름과 간격 변화를 동시에 일으키는 경우에 대한 세 결과만을 수록하였다. 이는 충격 해석에 소요되는 해석시간이 너무 많이 걸려서 중요한 경우에 대해서만 결과를 도출한 것이다. 표에서 보듯이 소음지수는 천공의 지름크기가 커질수록 그리고 천공의 간격이 좁아질수록 낮아지는 것을 관찰할 수 있으며 이는 경량충격의 경우와 동일한 경향이라는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 충격해석과 관련하여, 열변형 특성을 분석할 때 고려된 설계 인자인 천공 형상 및 배열의 영향에 대해서도 조사하였으나 열변형 해석의 결과와는 달리 천공의 형상 및 배열은 충격 소음의 특성에 거의 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었고 따라서 그 결과는 여기서 언급하지 않았다. 다시 말해서 앞서 결과로서 제시된 대로 천공의 형상과 배열이 열변형 특성에는 현격한 영향을 미치나 충격 소음 특성에는 천공의 크기와 간격만이 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

Table 7 Normalized noise index in light collision (without  $Fe_2O_3$  sheet)

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
No hole	2.45		
$\phi 7$	2.06	2.06	2.12
$\phi 9$	1.94	1.84	1.91
$\phi 11$	1.75	1.65	1.63

Table 8 Normalized noise index in heavy collision

Hole diameter	Hole interval		
	22.5	18	15
No hole	1.00		
$\phi 7$	0.86	****	****
$\phi 9$	****	0.80	****
$\phi 11$	****	****	0.65

**Table 9** Inverse A-type KS noise indices obtained by experimentation in 4 cases of floor condition

Floor condition	Light collision	Heavy collision
With no floor plate	62	57
Floor plate with holes Hole diameter 7 mm Hole interval 22.5 mm	56	52
Floor plate with holes Hole diameter 9 mm Hole interval 18.0 mm	54	52
Floor plate with holes Hole diameter 11 mm Hole interval 15.0 mm	52	51

마지막으로 Table 9는 맨바닥 및 여러 종류의 천공 바닥마감재에 대해서 실시한 실험결과를<sup>(7)</sup> 보여주고 있으며 이는 KSF2863에 규정된 역 A특성곡선 평가에 의한 소음지수 산출방법에 의해 얻어진 결과이다. 측정은 아파트 현장에서 실온상태에서 측정하였으며 맨바닥의 두께는 바닥슬라브 150 mm, 기포 콘크리트 65 mm, 마감 몰타르 45 mm로 구성된다. 소음측정 데이터는 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz의 5개 주파수에 대해서 dB로 측정되며 대개 30~90 dB 사이의 크기를 갖는다. 이 실험결과는 천공 바닥마감재의 소음 저감 능력의 우수성을 보여주고 있으며 이 결과는 본 연구에서 제시하고 있는 해석 모델에 의한 결과와 (Table 6과 Table 8) 천공의 지름 및 간격의 변화에 따른 소음지수의 증감 경향이 일치하고 있는 것을 보여준다. 그러나 그 증감의 정도는 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 따라서 소음 발생의 좀 더 정확한 예측을 위하여 본 논문에서 제시된 소음지수 모델은 앞으로 그 정확성 향상을 위해서 연구를 심화할 필요가 있다고 판단된다. 그럼에도 불구하고 본 논문에 제시된 소음지수 모델은 단순히 역학적 해석을 통해 소음 정도를 예측할 수 있게 하여 바닥마감재 설계에 이용될 수 있게 하였다는 점에서 큰 의미를 갖는다고 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 주거 및 사무 공간의 내장재로서 널리 사용되고 있는 다층 복합 바닥마감재의 설계를 위해 천공 지름 및 간격과 형상 및 배열이 열변형 및 충격소음 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 해석

모델은 유한요소 모델링을 통해 제시되었고 그 결과를 시험 결과와 비교하여 정확성 및 신뢰성을 검증하고 적절한 설계 결과를 제시하였다. 연구결과는 천공을 가진 바닥구조가 일반 마감재와 같이 천공없는 바닥구조에 비해 열변형 및 충격소음 특성에 월등히 우수함을 보여주었다. 또 본 연구를 통해서 제시된 방법론은 다기능 고부가가치 제품설계를 추구하고 있는 국내산업체에 대해 제품개발비용 및 기간 단축에 큰 기여를 할 수 있다는 점에서 큰 의미를 갖는다고 판단된다. 또한 본 연구는 앞으로도 소음지수 모델에 대한 정확성을 향상시킴으로써 그 유용성을 더욱 제고할 수 있을 것으로 사료되며 다분야통합 최적설계 방법론 등의 도입을 통해 더 우수한 설계방법론의 개발과 설계결과의 도출을 위한 기반을 구축하였다는 점에서도 중요한 의미를 갖는다고 사료된다.

#### 후 기

이 연구는 (주)우진물산 및 한국과학재단지정 한양대학교 최적설계신기술연구센터의 연구비지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Song, J. O., 2002, "Applying Design Optimization in Industry Environment - Challenges and Perspective," Proceedings of International Conference on Design and Optimization, Vol. 1, pp. 77~94.
- (2) FEMAP Version 7.0 User's Manual, 2000, Structural Dynamics Research Corp.
- (3) MSC/NASTRAN 70.5 User's Manual, 1998, MacNeal-Schwendler Corp.
- (4) 김관주, 이봉노, 1998, "모드확장 기법을 사용한 평판의 진동소음 해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 4 호, pp. 654~662.
- (5) 이장명, 이준, 2002, "제진체가 피복된 평판의 진동 및 방사소음," 한국소음진동공학회논문집, 제 12 권, 제 5 호, pp. 317~322.
- (6) LS-DYNA Version 960 User's Manual, 2001, Livermore Software Technology Corp.
- (7) (주)우진물산, 2002, "대우건설기술연구소 바닥 충격음 차단 성능 의뢰시험 성적서".