

# 공동주택의 충격원 전달 특성 연구 : 구조연성 손실계수

## A study on Vibration Propagation Characteristic for Apartment Houses : Coupling Loss Factor

김태민\* · 김정태\* · 김태희\*\* · 박인선\*\* · 신동민\*\*

Kim, Tae-Min, Kim, Jeung-Tae, Kim, Tae-Hee, Park, In-Sun and Sin, Dong-Min

### 1. 서 론

최근 사회적 이슈로 크게 대두 되고 있는 공동주택의 층간소음 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있지만 누적된 연구 결과가 부족하여 많은 어려움이 따른다.

본 연구에서는 공동주택의 층간 소음을 설계 단계부터 효율적으로 예측 및 분석하기 위한 연구의 일환으로서 바닥면에 가해지는 충격 가진이 하부 및 인접한 구조로 전달되며 감소하는 구조손실 연성계수를 이론적, 실험적으로 도출 할 수 있도록 연구하였다.

### 2. 공동주택의 구조연성 손실계수

#### 2.1 공동주택의 구조연성 손실계수

본 연구에서는 공동주택의 층간 소음을 예측하기 위해 통계적 에너지 해석 기법(SEA)을 이용하였다. 현재 층간 소음을 예측하기 위해 유한요소기법(FEM)이 많이 이용되고 있으나 많은 해석 시간 및 고사양 컴퓨터를 요구하기 때문에 보다 효율적으로 층간 소음을 예측하기 위해 통계적 에너지 해석기법을 적용하였다.

그림 1은 본 연구에서 통계적 에너지 해석 기법을 이용한 단일 층에 대한 층간 소음 예측 모델을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 상부층 바닥에 가진 된 충격원은 하부층 벽 또는 좌우 바닥면으로 급행 진동 에너지 형태로 전달되게 된다. 이때 상부층

바닥면에 가진된 충격원은 다른 구조로 전달되면서 에너지 손실이 발생하게 되는데 이를 구조연성 손실계수 또는 전달손실계수(Coupling Loss Facoter)라 한다.

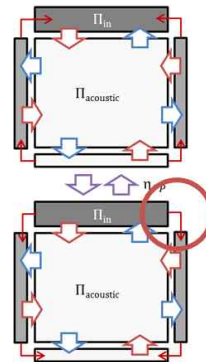


Fig. 1 A SEA Model of floor Sound Estimation

#### 2.2 이론식에 의한 구조연성 손실계수

공동 주택의 결합손실계수는 공간 배치에 따라 다양한 형태의 구조가 존재하며, 이는 각 구조의 형상에 따라 정의된다. 그림 2 에서 볼 수 있듯이 방과 방이 존재하는 구조의 경우 Cross - Junction으로 가정 할 수 있으며 외부 공간과 접해 있는 방의 경우 T - Junction으로 가정 할 수 있다. 공동주택 최상층의 경우 공간 상부와 좌측부가 존재 하지 않기 때문에 L - Junction으로 가정 할 수 있다.

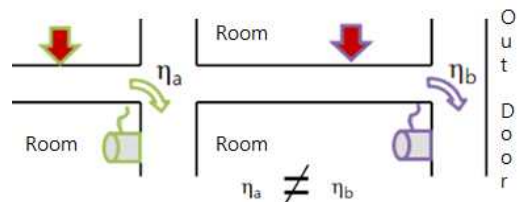


Fig. 2 Coupling Loss Factor for Apartment Houses

\* 교신저자; 정희원, 홍익대학교 음향·진동실험실

E-mail : ktaemin@mail.hongik.ac.kr

Tel : 02)320-1438, Fax : 02)320-1113

\* 홍익대학교 기계·시스템 디자인 공학과

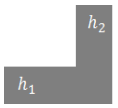
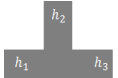
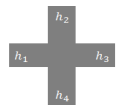
\*\* (주) 현대건설 연구개발본부 그린도시연구팀

다음 식 1을 통해 이론적으로 구조연성 손실계수를 구할 수 있다. 이때 전달효율은 표 1과 같이 계산한다.

$$\text{연성손실계수} : \eta_{ij} = \frac{c_g L}{\pi \omega S} \tau_{ij} \quad (1)$$

$C_g$  Group Velocity  $C_{g} = \sqrt{(\omega k c_1)}$   
 $L$  결합 모서리의 길이  
 $S$  가진구조의 면적

**Table 1** Transmission Efficiency by Structured Characteristics

Junction Type	굽힘파에 의한 전달 효율 $\tau$
 <b>L-Junction</b>	$\tau_{12} = \frac{2}{(\sigma^{-5/4} + \sigma^{5/4})^2}$
	$\sigma = \frac{h_1}{h_2}$
 <b>T-Junction</b>	$\tau_{12} = \frac{\tau}{1 + \left(\frac{h_3}{h_2}\right)^{\frac{5}{2}}}$
	$\tau_{13} = \frac{\tau}{1 + \left(\frac{h_2}{h_3}\right)^{\frac{5}{2}}}$
	$\tau = \frac{2}{(k^{-1/2} + k^{1/2})}$ $k = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{5/2} + \left(\frac{h_3}{h_1}\right)^{5/2}$
 <b>Cross-Junction</b>	$\tau_{12} = \frac{\tau}{1 + \left(\frac{h_3}{h_2}\right)^{\frac{5}{2}} + \left(\frac{h_4}{h_2}\right)^{\frac{5}{2}}}$
	$\tau_{13} = \frac{\tau}{1 + \left(\frac{h_2}{h_3}\right)^{\frac{5}{2}} + \left(\frac{h_4}{h_3}\right)^{\frac{5}{2}}}$
	$\tau_{14} = \frac{\tau}{1 + \left(\frac{h_2}{h_4}\right)^{\frac{5}{2}} + \left(\frac{h_3}{h_4}\right)^{\frac{5}{2}}}$
	$\tau = \frac{2}{(k^{-1/2} + k^{1/2})}$ $k = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{5/2} + \left(\frac{h_3}{h_1}\right)^{5/2} + \left(\frac{h_4}{h_1}\right)^{5/2}$

### 2.3 실험을 통한 구조연성 손실계수

구조연성 손실계수 또는 전달손실계수를 실험적으로 구할 수 있는 방법은 두 개의 구조물이 연결된 상태에서 내부손실계수를 구한 후, 구조물을 그림 1

과 같이 분리시켜 각 구조물의 내부손실계수를 측정한다. 측정된 결과의 차이로부터 연성손실계수를 계산될 수 있다. 본 조건에서는 가진 구조물의 측정 내부손실율은 자체의 에너지 소비에 의한 손실율과 연성손실율을 합한 결과가 된다. 하지만 내부 손실율에 비하여 연성손실계수는 작은 값이기 때문에 연성손실계수가 큰 값들 간의 차이로 계산하기에는 오차가 크게 존재할 수 있다.

또 다른 방법으로는 각각의 세부 구조물에 대한 내부손실계수를 먼저 구한 후, 한쪽 부분의 구조물을 가진하고 있을 때의 균형상태 에너지로 측정하는 것이다. 그 결과로부터 구해지는 연성손실계수는 식 2와 같이 정의되며,  $n_a$ ,  $n_b$ 는 각각의 세부 구조물에 대한 모드 밀도를 나타낸다.

$$\eta_{\alpha\beta} = \eta_{\beta} n_{\beta} \overline{E_{\beta}} / (n_{\beta} \overline{E_{\alpha}} - n_{\alpha} \overline{E_{\beta}}) \quad (2)$$

이 방법은 실험실과 같이 세부 구조물간에 연결과 분리가 손쉽게 이루어지는 조건에서 적용 가능하다. 다음 식과 같이 여러 개의 세부 구조물에 대한 행렬식을 이용해서 구할 수 있다.

$$\omega \begin{pmatrix} (\eta_1 + \sum_{i=1}^k \eta_{i1})n_1 & -\eta_{12}n_1 & -\eta_{13}n_1 & \dots & -\eta_{1k}n_1 \\ -\eta_{21}n_2 & (\eta_2 + \sum_{i=2}^k \eta_{2i})n_2 & & & -\eta_{2k}n_2 \\ \vdots & & & & \vdots \\ -\eta_{k1}n_k & & & (\eta_k + \sum_{i=k}^k \eta_{ki})n_k & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overline{E_1}/n_1 \\ \overline{E_2}/n_2 \\ \vdots \\ \overline{E_k}/n_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{P_1} \\ \overline{P_2} \\ \vdots \\ \overline{P_k} \end{pmatrix} \quad (3)$$

### 3. 결 론

본 연구는 통계적 에너지 해석 기법을 이용한 층간소음 예측 연구의 일환으로서 층간소음 예측의 주요 변수로 작용하는 구조연성 손실계수를 실험적, 이론적 도출 방법을 연구하였다. 공동주택의 경우 구조적으로 T, L, Cross Junction이 존재하며 이론식을 이용한 방법은 구조에 따라 적용이 상이하다. 반면 실험적 도출 방법은 시편 제작의 한계로 인해 현실적인 제약이 존재하게 된다. 이론식과 실험 결과를 비교한 결과 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있지만 보다 정확한 층간 소음 예측을 위해서는 많은 실험을 통한 구조연성 손실계수를 DB화하여 활용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.