

완충재의 동탄성 및 손실계수 측정 시 영향인자에 관한 연구

A Study on the Influence Factor in Measuring the Dynamic Stiffness and Loss Factor of Damping Materials

이 성 호*, 정 갑 철**, 정 진 연**

S. H. Lee, G. C. Jeong, J. Y. Chung

Key Words : Dynamic Stiffness(동탄성 계수), Loss Factor (손실계수), Nature Frequency (고유진동수), Damping Material (완충재)

ABSTRACT

The aim of this study is to suggest the method of measuring the dynamic stiffness and loss factor of materials used under floating floors in the dwelling by Korea standard (KS F 2868). According to the results, the amplitude change of an impact source has no effect on the variation of the dynamic stiffness and loss factor. Comparing with the heating before, heating makes lower the dynamic stiffness except the EPS. In EVA material, the loss factor is increased by heating.

1. 서 론

공동주택의 바닥충격음 문제가 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서는 바닥충격음 문제를 줄여주기 위한 방안으로 '주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조 제 3항'의 규정(공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다)을 구체적인 성능기준(중량충격음 : 50dB 이하, 경량충격음 : 58dB 이하)과 표준 시방기준으로 구분하여 개정을 추진하였으며, 시방기준 중 뜬바닥구조에 사용되는 완충재의 경우 자체기준(동탄성계수 40MN/m² 이하, 손실계수 0.1~0.3)을 제시하고 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 뜬바닥용 완충재의 경우 진동저감 측면의 성능뿐 만 아니라 난방배관의 열을 세대내로 최대한 전달하기 위해 단열기준(열관류율 0.7kcal/m²h²°C)에 의한 열적인 성능도 필요하기 때문에 대부분 고무류의 완충재 보다는 폴리스틸렌 계통의 재료를 사용하고 있다.

완충재의 진동저감 성능과 가장 밀접한 관계가 있는 동탄성 및 손실계수에 대한 측정방법이 최근 한국산업규격(KS F 2868)으로 제정되었다. 이는 국제규격(ISO 9052-1)를 근간으로 압면 뜬바닥 구조에 대한 일본규격(JIS A 6321)을 보완하여 제정한 것이다. 그러나 국내 완충재의 경우 외국과는 달리 고무류 뿐만 아니라 폴리스틸렌 계통의 자재, 여러 재료를 조합시킨 복합구조가 사용되고 있으므로 국제 규격의 동탄성 계수 및 손실계수 측정방법이 국내 실정에 적합한가를 규명하는 기초연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한국산업규격(KS F 2868)에 의거하여 국내에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 뜬바닥용 완충재를 대상으로 동탄성 및 손실계수를 측정하고 그 결과를 비교·분석하였다. 특히 펄스가진에 따른 시계열 해석법으로 동탄성 및 손실계수 산정 시 파형의 진폭 의존성에 의한 측정오차와 측정방법에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 가열 온도조건에 따른 동탄성 및 손실계수 산정 시 미치는 영향을 검토하였다.

* 대우건설기술연구소 선임연구원
E-mail : 9520123@dwconst.co.kr
Tel : (031)250-1217, Fax : (031)250-1131

** 대우건설기술연구소 책임연구원

*** 대우건설기술연구소 연구원

2. 동탄성 및 손실계수의 측정방법

(1) 가진법

하중판과 시험편로 구성된 진동계의 기본 고유주파수에서 하중판의 진동가속도 진폭이 5cm/s^2 정도가 되게 하중판의 중앙을 충격주파수 80Hz 정도의 가진원에 의해 단발로 충격가진하고, 가진점 부근의 1점에 대한 진동속도 응답파형을 측정한다. 펄스가진법에 의한 측정방법을 그림 1에 표시한다.

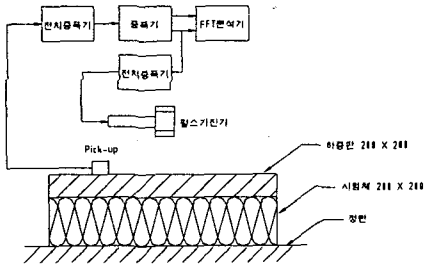


그림 1. 펄스가진법에 의한 측정 Block diagram

(2) 단위면적당의 동탄성계수의 산출

진동속도 응답파형에서 그림 2에 표시한 자유진동 부분의 파형으로부터 다음의 2종류의 두가지 방법 중 하나로 진동계의 기본 고유주파수를 구한다.

1) 스펙트럼해석법

Fourier 변환에 의해 스펙트럼 분석을 행하고, 기본 고유주파수를 측정한다.

2) 시계열해석법

그림 2에 표시한 자유진동 부분의 파형의 peak값 사이의 주기를 2개 이상 읽어서 그 평균치로부터 식 (2)에 의해 기본 고유주파수를 구한다.

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

여기에서, f_0 : 진동계의 기본 고유주파수 [Hz]

T_0 : 고유주기의 평균치 [sec]

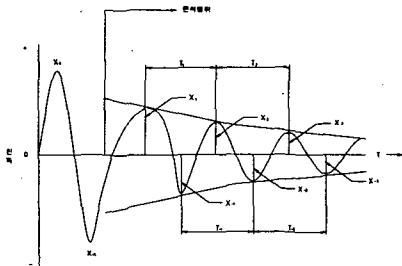


그림 2. 감쇠진동 파형도

1) 또는 2)로부터 구해진 기본 고유주파수 f_0 로부터 다음의 식에 의해서 구한 값을 단위면적당의 동탄성계수로 한다.

$$K_d = (2\pi f_0)^2 \cdot m \quad (3)$$

여기에서, K_d : 단위면적당의 탄성계수 [N/m^3]

f_0 : 진동계의 기본 고유주파수 [Hz]

m : 하중판의 단위면적당 질량 [kg/m^2]

(3) 손실계수의 산출

1) 스펙트럼 해석법

기본 고유주파수 f_0 의 peak 레벨로부터 3dB 떨어지는 주파수 f_1, f_2 를 취하고, 식 (4)로부터 손실계수 η 를 산출한다.

2) 시계열해석법

그림 2와 같은 감쇠진동파형의 자유진동 부분으로부터 peak 값을 正負 각각 2점 이상 읽고, 正負별로 이웃하는 2개의 값의 조합으로부터 다음의 식에 의해 구한 값을 산출 평균한 것을 손실계수라 한다.

$$\eta_{i, i+1} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{X_i}{X_{i+1}} \quad (5)$$

3. 측정개요 및 방법

본 연구에서는 한국산업규격에 따라 펄스가진에 따른 시계열 해석법으로 동탄성 및 손실계수 산정 시 파형의 진폭 의존성에 의한 측정오차와 측정방법에 미치는 영향을 검토하기 위해 시료(200x200mm 등), 강제 하중판(200x200mm, 1m² 당의 재하질량 200kg)을 준비하였으며, 임팩트 해머를 사용한 펄스 가진법으로 실험을 하였다.

그림 1과 같이 정반, 시료, 하중판으로 구성하고 하중판을 임팩트 해머에 의해 충격가진하고 하중판의 진동응답시간파형을 측정해서 시계열 해석법에 의해 기본고유주파수로부터 단위면적당 동탄성계수를, 진폭비로부터 손실계수를 산출하였다. 또한 하중판의 속도응답 시간파형을 푸리에 변환해서 주파수 특성을 산출하고 기본 고유주파수로부터 단위면적당 동탄성계수를, 반진폭법에 의해 손실계수를 산출하였다. 또한 가열 온도조건에 따른 동탄성 및 손실계수 산정 시 미치는 영향을 검토하기 위하여 가열온도조건 변화에 따른 동탄성 및 손실계수의 차이를 비교·분석하였다.

실험을 위한 재료의 구성은 4종(폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리스틸렌, 발포고무, 두께 20mm)의 바닥충격을 저감재를 사용하였다.

진동가속도계는 하중판의 진동을 최대한도로 감지하기 위하여 밑납을 이용하여 하중판 중앙에 견고히 부착하였다.

4. 측정결과의 분석 및 고찰

4.1 측정방법에 따른 고유진동수의 변화

KS규격에 의하면 펄스가진법의 경우 하중판의 진동가속도 진폭이 5cm/s^2 정도가 되게 하중판의 중앙을 충격주파수 80Hz 정도의 가진원에 의해 단발로 충격가진하고, 가진점 부근의 1점에 대한 진동속도 응답파형을 측정한다고 되어 있으나 측정시 하중판의 진동가속도를 위에서 언급한 바와 같이 맞추기는 어려운 실정이다. 따라서 충격가진 진폭을 변화 시킨 경우 동탄성 및 손실계수의 차이를 비교해서 그림 3~5에 나타내었다.

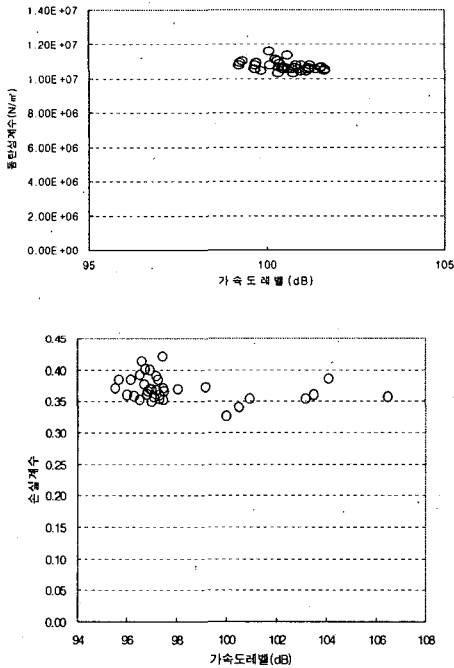


그림 3. 하중판 진동과 동탄성 및 손실계수의 관계(폴리프로필렌의 경우)

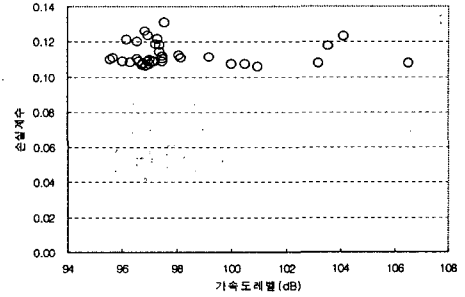
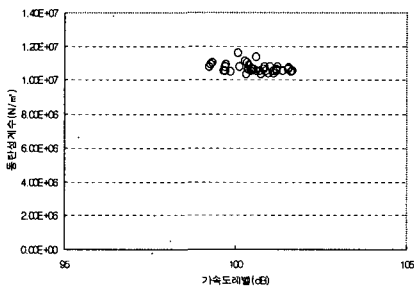


그림 4. 하중판 진동과 동탄성 및 손실계수의 관계(폴리스틸렌의 경우)

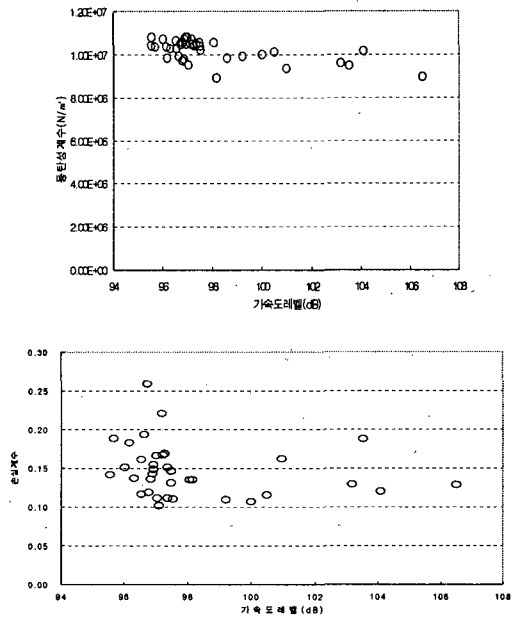


그림 5. 하중판 진동과 동탄성 및 손실계수의 관계(발포고무의 경우)

그림에서 보는바와 같이 충격가진 진폭 변화에 따른 동탄성 및 손실계수는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 다만 발포고무의 경우 손실계수에서 다소 편차가 보이거나 이는 재료의 엠보싱한 형태로 인한 것으로 판단된다. 그림 6은 펄스가진법으로 측정된 속도응답파형에 있어서 각 피크부분의 시간차 및 진폭비로부터 기본 고유주파수를 구해서 산출한 동탄성계수 및 손실계수 차이를 나타내었다. 이것에 의하면 동탄성계수는 각 피크부분의 시간차에 의해서 달라진다. 이것은 하중판의 진동응답이 감쇠하면서 파장이 달라지기 때문이다. 또한 손실계수도 이 피크부분의 진폭비를 대상으로 하기 때문에 달라진다.

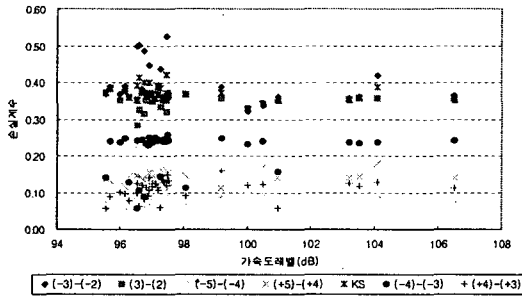
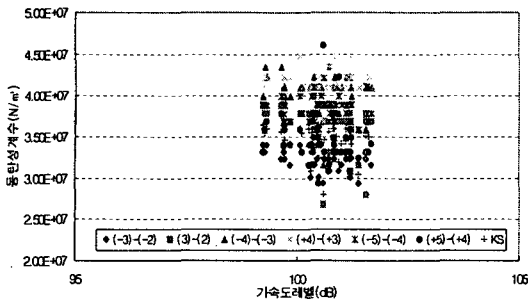


그림 6. 시계열법에 의한 동탄성 및 손실계수의 측정결과

4.2 온도조건에 따른 영향

온도조건에 따른 동탄성계수 및 손실계수의 영향을 파악하기 위해 항온항습기에서 각각의 시료를 40, 60, 70℃에서 4시간 가열 후 동탄성계수 및 손실계수를 측정하는 결과는 표 1~2와 같다. 동탄성계수의 경우 가열전후에 대한 변화는 EPS를 제외하고 가열전에 비해서 가열후가 낮아지는 경향을 보이고 있다.

또한 손실계수의 변화는 발포고무류의 경우 온도가 증가하면서 손실계수의 값은 커지나 다른 재료의 경우는 특정한 경향을 보이지 않는다.

표 1. 온도조건에 따른 동탄성계수의 변화

(단위 : MN/m²)

| | | 40℃ | 60℃ | 70℃ |
|-----|------|------|------|------|
| EPP | 가열 전 | 34.6 | 32.8 | 34.4 |
| | 가열 후 | 32.8 | 26.1 | 31.3 |
| EPS | 가열 전 | 10.8 | 10.7 | 10.5 |
| | 가열 후 | 11.1 | 11.4 | 12.0 |
| EVA | 가열 전 | 9.80 | 9.12 | 9.39 |
| | 가열 후 | 8.85 | 9.39 | 8.33 |
| PE | 가열 전 | 18.7 | 18.6 | 18.2 |
| | 가열 후 | 17.8 | 12.3 | 14.2 |

표 2. 온도조건에 따른 손실계수의 변화

| | 20℃ | 40℃ | 60℃ | 70℃ |
|-----|------|------|------|------|
| EPP | 0.36 | 0.43 | 0.22 | 0.35 |
| EPS | 0.11 | 0.12 | 0.14 | 0.05 |
| EVA | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.22 |
| PE | 0.19 | 0.14 | 0.12 | 0.15 |

5. 결론

국내에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 뜯바닥용 완충재를 대상으로 동탄성 및 손실계수를 측정하고 그 결과를 비교·분석하였다. 특히 펄스가진에 따른 시계열 해석법으로 동탄성 및 손실계수 산정 시 파형의 진폭 의존성에 의한 측정오차와 측정방법에 미치는 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 충격가진 진폭을 변화 시킨 경우 동탄성 및 손실계수의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

2) 펄스가진법으로 측정한 속도응답파형에 있어서 각 피크부분의 시간차 및 진폭비로부터 기본 고유주파수를 구해서 산출한 동탄성계수 및 손실계수는 하중판의 진동이 감소하면서 파장이 달라지기 때문에 달라진다. 따라서 진폭에 대한 의존성이 있다고 판단된다.

3) 온도조건에 따른 동탄성계수 및 손실계수의 영향은 동탄성계수의 경우 가열전후에 대한 변화는 EPS를 제외하고 가열전에 비해서 가열후가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 손실계수의 변화는 발포고무류의 경우 온도가 증가하면서 손실계수의 값은 커지나 다른 재료의 경우는 특정한 경향을 보이지 않는다.

참고 문헌

- (1) 平松友孝 등, 2000. 9, "뜯바닥용 락울 완충재의 동탄성계수 및 손실계수의 진폭의존성에 관한 연구", 일본건축학회학술강연집, pp. 303-304.
- (2) 한국산업규격 KS F 2868 "거주공간 뜯바닥용 재료의 동탄성계수 측정방법"
- (3) 김하근 외 2인(2005), 뜯바닥용 완충재의 동탄성계수 측정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 21권 1호
- (4) Nashif, Vibration damping, John Wiley & sons