

물질의 진동감쇠 시험법 비교

Test method comparison for vibration-damping of materials

신수현* · 이용봉** · 정성수** · 조승일**

Su hyun Shin, Young bong Lee, Sung soo Jung, Seung il Cho

Key Words : vibration-damping(진동감쇠), loss factor(손실계수), Young's modulus(탄성계수)

ABSTRACT

The test method of ASTM E 756 and KS D 0076 to estimate vibration-damping properties is compared. Comparison method depending on specimen support, exciting method and calculation method for loss factor is used. Half-power bandwidth method and vibration decay method is used in the calculation method for loss factor, and Young's modulus is decided by geometric character and density for specimen and resonance frequency. Vibration measurement sensor is compared by using non-contact displacement detector, velocity detector and accelerometer. This paper is also presented the matter which is able to cause error in the measurement

1. 서 론

구조물에 대한 동특성 평가에 있어서, 손실계수(loss factor, η), 탄성계수(Young's modulus, E), 전단탄성계수(shear modulus, G)등과 같은 진동감쇠 특성을 고려하게 되는데, 이러한 특성평가는 시험방법에 따라 달라진다. 본 연구에서는 물질의 진동 감쇠특성 실험에 대한 표준 시험방법인 ASTM E 756⁽¹⁾과 KS D 0076⁽²⁾을 비교 평가하였다

비교 평가시 시편의 크기는 ASTM/ JIS⁽³⁾/ KS의 규격범위를 토대로 길이 250 mm, 너비 16 mm, 두께 1.05 mm, 밀도 7,620 Kg/m³의 steel(ss41)을 제작 사용하였다. 시험 시 온도는 21℃로 유지시켰다. 시험결과 분석은 주파수 응답함수(FRF)를 이용하여 응답신호를 얻었으며, 손실계수 산출은 반치폭법(half-power bandwidth method)과 진동감쇠법(vibration decay method)을 사용하였다.

2. 기본 이론

2.1 진동감쇠특성 계산법

모든 형태의 시편에 대한 진동감쇠 특성을 계산하기 위해서는 각 모드의 공진주파수와 반치폭, 또는 각 모드의 모달(modal) 손실계수, 기하학적 특성, 그리고 밀도가 필요하다.

(1) 손실계수 산출방법^{(2),(3)}

반치폭법을 통한 손실계수 산출방법은 측정된 가진력(F)과 진동응답 변위(X) 또는 속도(V), 가속도(A)를 응답함수[Compliance (X/F), Mobility(V/F), Inertance(A/F)]를 사용하여 응답곡선을 구한 후, 응답크기의 $1/\sqrt{2}$ 이 되는 두 점의 주파수 차(Δf_n)를 공진주파수(f_n)로 나누면 손실계수를 구할 수 있다.

$$\eta = \frac{\Delta f_n}{f_n} \quad (1)$$

진동감쇠법에 의한 방법은 감쇠 자유진동파형을 통해 얻은 최대진폭을 Fig. 2로 표현하여 식(2)를 통해 손실계수값을 산출 할 수 있다.

$$\eta = \frac{2 \cdot \ln(\tan \theta)}{\sqrt{(2\pi)^2 + [\ln(\tan \theta)]^2}} \quad (2)$$

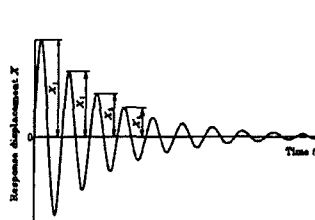


Fig. 1 Damped free vibration waveform

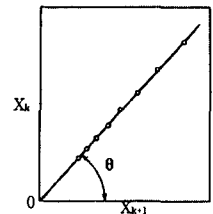


Fig. 2 Relation between X_{k+1} and X_k

* 정희원, 한국표준과학연구원 음향·진동그룹
E-mail : suhyun@yumail.ac.kr
Tel : (042) 868-5709, Fax : (042) 868-5643

** 한국표준과학연구원 음향·진동그룹

(2) 탄성계수 산출방법⁽⁴⁾

$$E = \frac{12\rho l^4 f_n^2}{H^2 C_n^2} \quad (3)$$

한 쪽 끝이 고정된 시편의 경우 공진주파수와 시편의 기하학적 특성(l : 길이, H : 두께), 밀도(ρ), 모드계수(C_n)를 통해 탄성계수를 구할 수 있다.

3. 평가 시험법

3.1 ASTM E 756 의 주요내용

Fig. 3은 일단고정 정상여진법(One-end-fixing steady exciting method)의 시험 장치도이며 시편 고정 장치와 온도 조절을 위한 chamber, 두 개의 진동 센서, 신호 가진기, 신호 증폭기, 신호분석 장비로 구성되어있다. 그 중 시편 고정 장치에서는 specimen의 하단 부에 electromagnetic system을 사용하여 비접촉 가진을 하며 비접촉 센서를 통해 specimen의 진동을 측정한다. 비접촉 센서와 시편간의 간격은 0.5 mm이하로 제시하고 있으며, 만일 고주파에서 변위계의 감도가 부족할 경우 0.5 g이하의 가속도계를 시편에 부착하여 시험하도록 하고 있다.

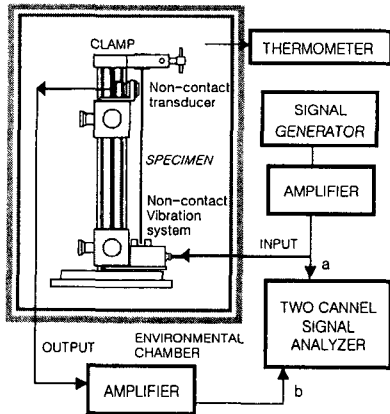


Fig. 3 Measurement set-up

3.2 KS D 0076 (JIS G 0602)

KS D 0076 1995는 JIS G 0602 93에 기초하여 개정되었으며 이 규격은 제진 강판의 양단 자유진동 및 일단 고정진동에 대한 진동감쇠 특성의 시험 방법에 대하여 규정하고 있다. 시험방법은 시편 유지방법, 여진 및 손실계수 산출 방법에 따라 Table 1과 같이 6가지로 구분한다. 또한 여진장치 및 여진력 검출 장치, 진동응답 검출 장치, 전달함수 해석장치, 시험편에 대한 규격과 측정 시 유의 사항, 측정 온도, 시험보고서 등의 내용을 포함하고 있다.

Table 1 Structure of testing apparatus

One-end-fixing steady exciting method	Center-supporting steady exciting method
Simply-supporting steady exciting method	One-end-fixing impact exciting method
Supporting impact exciting method	Simply supporting impact exciting method

4. 결과 및 분석

4.1 ASTM E 756

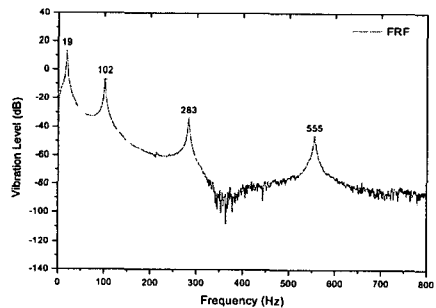


Fig. 4 FRF with wide-band white noise

Table 2 Vibration-damping properties of steel

resonance frequency(Hz)	vibration-damping properties	
	Young's modulus(Pa)	loss factor
$f_1 = 19.186750$	$E_1 = 29 \times 10^{10}$	$\eta_1 = 0.0049$
$f_2 = 101.56956$	$E_2 = 20 \times 10^{10}$	$\eta_2 = 0.0036$
$f_3 = 283.08470$	$E_3 = 20 \times 10^{10}$	$\eta_3 = 0.0047$
$f_4 = 555.27218$	$E_4 = 20 \times 10^{10}$	$\eta_4 = 0.0048$

Fig. 4는 800 Hz까지의 백색잡음(white noise)을 사용하여 steel beam의 주파수 응답신호를 나타낸 것이다.

또한 각 모드를 협대역 주파수분석 실험을 통해 공진주파수를 측정하였으며 식(2), (3)을 통해 손실계수와 탄성계수를 산출하여 Table 2에 나타내었다.

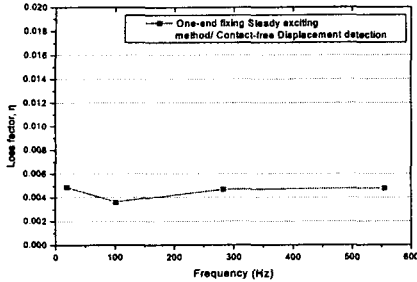


Fig. 5 Loss factor versus frequency

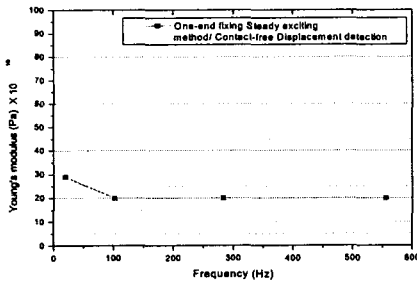


Fig. 6 Young's modulus versus frequency

Fig. 5와 6은 각 모드에 대한 공진주파수-손실계수, 공진주파수-탄성계수를 나타내었다.

Fig. 7은 서로 다른 진동측정센서(비접촉 변위계, 비접촉 속도계, 가속도계)를 이용하였을 때의 손실계수를 비교한 것이다. 손실계수 측정결과 세 가지 센서 사이의 최대 오차를 살펴보면 모드 순서대로 각각 0.005, 0.004, 0.001, 0.003로 나타났다.

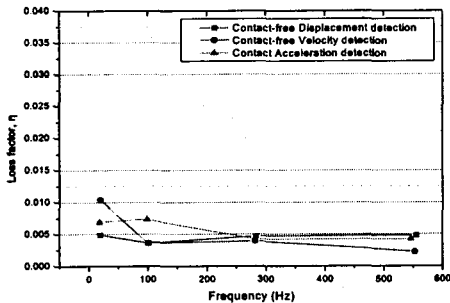


Fig. 7 Effect of pick-ups

이와 같은 결과는 가속도계를 시편에 부착함에 따른 질량변화가 공진주파수 변화를 가져오며 결과적으로 Fig. 7에서처럼 손실계수의 차이를 나타내었다. 따라서 첫 번째 모드를 제외하고는 비접촉식 진동측정센서(변위계, 속도계)의 사용이 가장 좋은 방법으로 사료된다.

4.2 KS D 0076

(1) Center-supporting steady exciting method

Fig. 8은 steel beam 정중앙에 vibration exciter(B&K 4809)를 결속시켜 Impedance head(B&K 8001)를 통해 72, 404, 1092 Hz의 3개의 공진주파수를 얻었다.

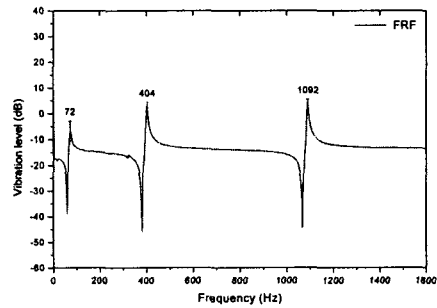


Fig. 8 FRF with wide-band white noise

(2) One-end-fixing impact exciting method

Fig. 9는 수직으로 고정된 steel beam을 단단 타격하여 비접촉 변위계(B&K MM0004)를 통해 얻은 감쇠 진동파형이다.

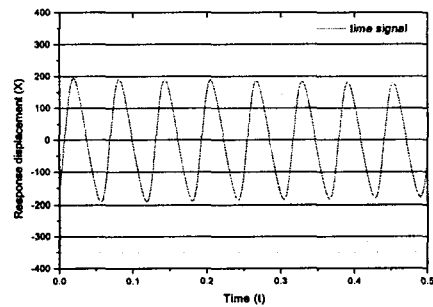


Fig. 9 Vibration decay signal

(3) Suspending impact exciting method

Fig. 10은 steel beam을 매달아 내린 후 Impulse hammer(B&K 8202)로 펄스 가진을 하여 가속도계(B&K 4374)로 진동을 측정한 것이다. 그러나 가속도계를 부착함에 따라 야기되는 감쇠와 강성 또는 cable의 영향은 고려해야 될 사항이다.

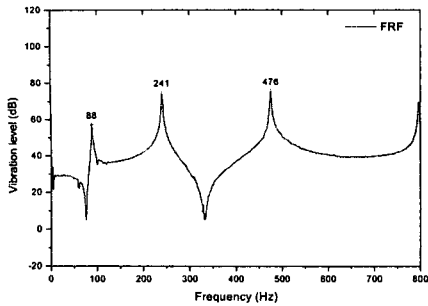


Fig. 10 FRF with pulse wave

Table 3에서는 Fig. 7의 측정 센서사이의 오차가 적은 세 번째 모드의 모달 손실계수를 시험방법에 따라 비교해 보았다. 단, Impedance head를 사용하는 KS의 중앙지지 정상여진법은 2번째 모드를 비교하였다.

비교결과 시편유지방법, 여진 및 손실계수 산출방법에 따라 공진주파수와 진동감쇠특성이 다름을 알 수 있었다.

Table 3 Test methods comparison

	test methods	resonance frequency(Hz)	loss factor
ASTM E 756	One-end-fixing steady exciting	$f_3=283.0847$	$\eta_3=0.0047$
KS D 0076	Center-supporting steady exciting	$f_2=401.8820$	$\eta_2=0.0021$
	One-end-fixing impact exciting	-	$\eta=0.0052$
	Suspending impact exciting	$f_3=241.125$	$\eta_3=0.0019$

5. 결 론

본 연구에서는 ASTM E 756과 KS D 0076의 시험방법을 비교 평가하였다. 동일한 시편(steel)을 사용하여 진동감쇠 특성을 측정한 결과 비접촉 가진, 비접촉 변위계의 사용과 일단고정형 시편 유지방법을 사용하는 ASTM 시험법이 좋은 결과를 나타내었다. 또한 ASTM의 경우 첫 번째 모드해석이 가능한 반면 KS시험법들은 측정이 어려웠다.

Electromagnetic system을 사용하는 비접촉 가진방식에 대해서는 steel과 aluminum등과 같은 시편에만 국한 될 수 있다. 비록 ASTM의 시편에 대한 규격사항에서 Oberst, sandwich beam을 제시하고 있지만, 정확한 특성평가를 위해서는 가진 방식에 대한 보완이 필요하다고 생각된다.

마지막으로 정확한 물질의 진동감쇠 특성평가에 있어서 측정환경에 따른 가장 적합한 측정방법의 사용이 중요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) ASTM E 756-98, "Standard test method for measuring vibration-damping properties of materials"
- (2) KSD0076-1995, "제진강판의 진동감쇠 특성 시험 방법"
- (3) JIS G 0602 93, "Test method for vibration-damping property in laminated damping steel sheets of constrained type"
- (4) Nashif, A.D., Jones, D.I.G, Henderson, J.P., 1985, Vibration Damping, John Wiley & Sons, Inc., New York,
- (5) 신수현, 이용봉, 정성수, 이두희, 조승일, 2003, "점탄성재의 손실계수 측정", 학술발표대회 논문집 제 22권, 한국음향학회, pp373-376.
- (6) ISO 6721-1983(E), "Plastics-Determination of damping properties and complex modulus by bending vibration.