

Steel beam의 진동감쇠 특성평가

신수현, 남효덕, 정성수*, 이용봉*
 영남대학교, 한국표준과학연구원*

Estimation of Vibration-damping Properties for Steel Beam

Su-Hyun Shin, Hyo-Duk Nam, and Sung-Soo Jung* Young-Bong Lee*
 YeungNam Uni., KRISST*

Abstract

The test method of ASTM E 756 and JIS G 0602 to estimate vibration-damping properties is presented. Measurement 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. The cause of measurement error is also presented.

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

1. 서론

급격한 산업발달로 인한 진동·소음문제가 부각되면서 구조물에 대한 진동해석 및 점탄성재(viscoelastic material)의 개발이 계속되고 있다. 이러한 구조물과 물질의 동특성을 평가함에 있어서 손실계수(Loss factor), 탄성계수(Young's modulus), 전단탄성계수(Shear modulus)와 같은 진동감쇠 특성이 고려되어야 한다. 특성평가에 대한 표준시험 방법에는 ASTM E 756-98^[1], JIS G 0602 93^[2] 등에서 찾아 볼 수 있다.

본 연구에서는 steel과 같은 금속성 물질과 고무와 같은 점탄성재에 대한 동특성 평가를 ASTM, JIS의 표준시험법을 통해 실험하였다.

2. 기본이론

모든 형태의 시편에 대한 감쇠물질의 특성을 계산하기 위해서는 각 모드의 공진 주파수와 반치폭(half-power bandwidth) 또는 각 모드의 모달 손

실계수, beam의 기하학적 특성, 그리고 밀도가 필요하다.

2.1 Uniform의 탄성계수/손실계수 계산법

$$E = \frac{12\rho l^4 f_n^2}{H^2 C_n^2} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\Delta f_n}{f_n} \quad (2)$$

Where ;

E = Young's modulus of beam material, (Pa),

η = loss factor of beam material,

ρ = density of beam, (kg/m³),

l = length of beam, (m),

H = thickness of beam in vibration direction,

C_n = coefficient for mode n , of clamped-free (Uniform) beam,

$C_1 = 0.55959, C_2 = 3.5069, C_3 = 9.8194,$

$C_4 = 19.242, C_n = (\pi/2)(n - 0.5)^2, \text{ for } n > 3,$

n = index number, (1, 2, 3 ...).

2.2 Oberst beam의 탄성계수, 손실계수 계산법

$$E' = \frac{[(\alpha - \beta) + \sqrt{(\alpha - \beta)^2 - 4T^2(1 - \alpha)}]E}{2T^3} \quad (3)$$

$$\eta' = \frac{(1 + MT)(1 + 4MT + 6MT^2 + 4MT^3 + M^2T^4)\eta_c}{MT(3 + 6T + 4T^2 + 2MT^3 + M^2T^4)} \quad (4)$$

Where ;

E' = Young's modulus of damping material, (Pa),

$M = E'/E$, Young's modulus ratio,

f_c = resonance frequency for mode of composite-beam, (Hz),

c = index number, (1, 2, 3 ...) ($c = n$),

Δf_c = half-power bandwidth for mode c of composite beam, (Hz),

η_c = $\Delta f_c / f_c$ loss factor of composite beam,

η' = loss factor of damping material,

H' = thickness of damping material, (m),

ρ' = density of damping material, (kg/m^3),

$\alpha = (f_c/f_n)^2(1 + DT)$,

$\beta = 4 + 6T + 4T^2$,

$D = \rho' / \rho$, $T = H' / H$.

그림 1(a)의 uniform은 금속 beam 자체의 진동 특성을 실험하거나 나머지 3개의 시편에서 점탄성 재료의 지지대 역할을 한다. 그림 1(b)의 Oberst와 그림 1(c)의 modified Oberst는 한쪽 또는 양쪽에 점탄성재를 부착한 경우로 보통 탄성계수가 100 MPa이상의 뽀뽀한 물질인 에나멜이나 고무 등을 사용하여 진동감쇠 특성을 실험한다. 그림 1(d)는 sandwiched beam으로 구조물 사이에 물질을 부착시킨 경우로 전단탄성계수가 100 MPa이하의 점탄성 재료를 사용하여 실험한다.

그림 2는 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.

3. 평가시험법

3.1 ASTM E 756의 주요내용

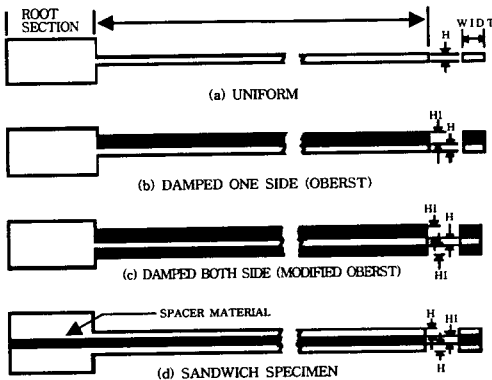


그림 1 Test specimen

ASTM E 756에서는 물질의 진동감쇠 특성실험을 위해서 그림 1과 같이 4개의 서로 다른 시편을 사용하도록 하며, 크기는 너비 10 mm, 자유단 길이 180~250 mm, 두께 1~3 mm의 시편을 사용한다

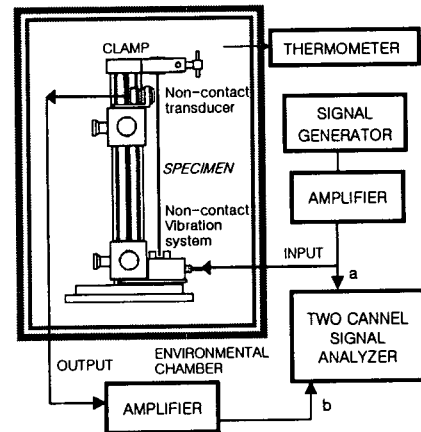


그림 2 Measurement set-up

이를 위해 uniform은 너비 16 mm, 자유단 길이 228 mm, 두께 1.05 mm의 steel(ss41)을 사용하였다. 그리고 비접촉 변위계(B&K MM0004) 비접촉 속도계(B&K MM0002)와 가속도계(B&K 4374)를 사용하여 신호 분석장비(B&K 3550)를 통해 주파

수 응답함수(FRF; frequency response function)를 얻었다. 또한 시험 시 온도는 20 °C로 유지시켰다.

3.2 JIS G 0602의 주요내용

이 규격은 제진 강판의 양단 자유진동 및 일단 고정 진동에 대한 진동감쇠 특성의 시험 방법에 대하여 규정하고 있다. 시험방법은 시편 유지방법, 여진 및 손실계수 산출 방법에 따라 6가지로 구분한다. 또한 여진장치 및 여진력 검출 장치, 진동 응답 검출 장치, 전달함수 해석장치, 시험편에 대한 규격과 측정 시 유의 사항, 측정온도, 시험보고서 등의 내용을 포함하고 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 ASTM E 756

그림 3은 800 Hz까지의 백색잡음(white noise)을 사용하여 steel beam의 주파수 응답신호를 나타낸 것이다.

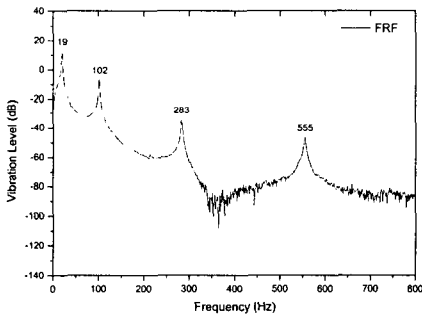


그림 3 FRF with wide-band white noise

표 1 Vibration-damping properties of steel

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

또한 각 모드를 협대역 주파수분석 실험을 통해 공진주파수를 측정하였으며 식(1), (2)를 통해 손실계수와 탄성계수를 산출하여 표 1에 나타내었다.

그림 4와 5는 각 모드에 대한 공진주파수-손실계수, 공진주파수-탄성계수를 나타내었다.

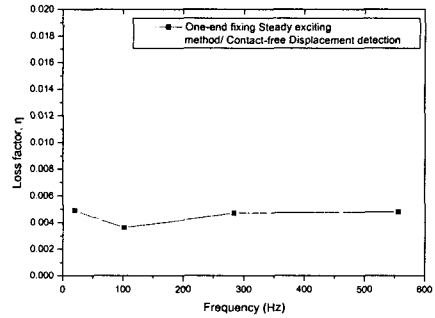


그림 4 Loss factor versus frequency

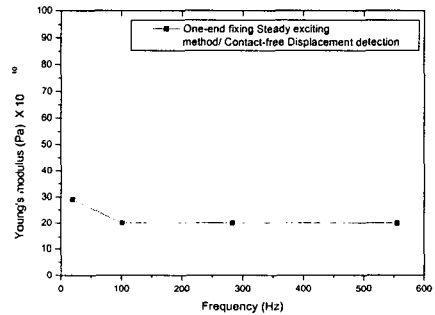


그림 5 Young's modulus versus frequency

그림 6은 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.

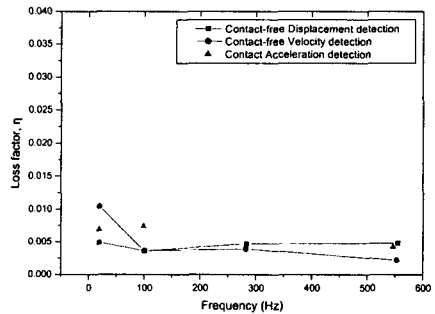


그림 6 Effect of pick-ups

4.2 JIS G 0602

(1) Center-supporting steady exciting method

그림 7은 steel beam 정중앙에 vibration exci-

ter(B&K 4809)를 결속시켜 Impedance head(B&K 8001)를 통해 72, 404, 1092 Hz의 3개의 공진주파수를 얻었다.

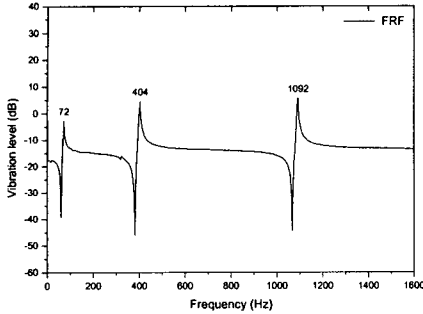


그림 7 FRF with wide-band white noise

(2) One-end-fixing impact exciting method

그림 8은 수직으로 고정된 steel beam을 단순 타격하여 비접촉 변위계를 통해 얻은 감쇠 진동파형이다.

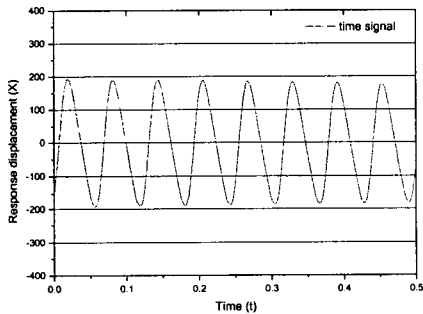


그림 8 Vibration decay signal

(3) Suspending impact exciting method

그림 9는 steel beam을 메달아 내린 후 Impulse hammer(B&K 8202)로 펄스 가진을 하여 가속도계로 진동을 측정하는 것이다.

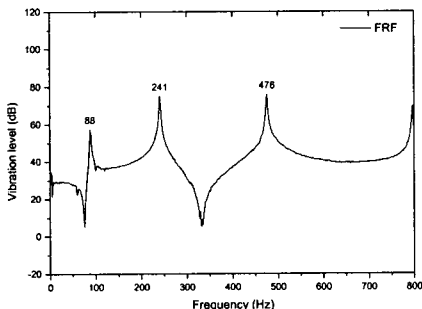


그림 9 FRF with pulse wave

5. 결론

표 2 Properties estimation of steel beam

	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	$f_3=241.125$	$\eta_3=0.0019$

본 연구에서는 표 2에서 보는 바와 같이 steel beam에 대한 진동감쇠특성을 다양한 시험방법에 따라 평가해보았다. FRF에 따른 3번째 모드의 손실계수의 평균은 0.003, 탄성계수는 20×10^{10} Pa의 값을 얻었다. 또한 ASTM에 의한 고무의 손실계수는 0.3, 탄성계수는 28×10^7 Pa의 값을 얻을 수 있었다.

steel beam에 대한 진동감쇠 시험법 비교에서는 비접촉 가진, 비접촉 변위계의 사용과 일단고정형 시편유지 방법을 사용하는 ASTM의 방법이 JIS의 방법보다는 좋은 결과를 얻었다.

따라서 물질에 대한 정확한 특성평가에 있어서 측정환경에 따른 가장 적합한 측정방법의 사용이 중요하다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] ASTM E 756-98, "Standard test method for measuring vibration-damping properties of materials".
- [2] JIS G 0602 93, "Test method for vibration-damping property in laminated damping steel sheets of constrained type".
- [3] C.T Sun, Y.P. Lu, "Vibration Damping of Structural Element," Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1995).
- [4] Mohan. D. Rao, 2003, "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes", Journal of sound and vibration 262, pp457-474