

## 온도변화에 따른 플라스틱의 진동감쇠특성

### Damping Properties of Plastics with Temperature Variation

신수현† · 정성수\* · 이용봉\* · 이두희\* · 남효덕\*\*

Su Hyun Shin, Sung Soo Jung, Yong Bong Lee, Doo Hee Lee and Hyo Duk Nam

(2004년 11월 16일 접수 ; 2005년 1월 20일 심사완료)

**Key Words** : Vibration Damping(진동감쇠), Loss Factor(손실계수), Young's Modulus(Young률), Plastics (플라스틱)

#### ABSTRACT

It is well known that the loss factor and Young's modulus are fundamental mechanical properties of materials. Recently, the use of complex plastics is increasing for vibration proof. In this study, we evaluated two mechanical values of polycarbonate and acrylonitrile butadiene styrene by using two different standard test methods of ASTM E 756 and ISO 6721. Because damping properties of material generally depend on temperature, test specimen's temperature were controlled in the temperature range between  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The results shown that the loss factor of polycarbonate gradually increased as increasing temperature, while the Young's modulus decreased. However, the loss factor and the Young's modulus of acrylonitrile butadiene styrene are varied somewhat at  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 1. 서론

진동은 산업현장에서 시스템의 수명과 안전에 영향을 주며, 일상 주거공간에서는 사람에게 불쾌감을 주기도 한다. 진동을 저감시키는 일반적인 방법은 고무 재료의 방진재들을 사용하는 것이며 최근에는 방진기술의 발달에 따라 인공수지 계통의 다양한 복합신소재들의 사용도 점차 증가하고 있다. 한편 다양한 재료들의 동특성 측정은 방진기술에 있어 매우 중요하다. 특히 가해준 진동에너지에 대한 물질에서의 에너지 손실인 손실계수와 응력과 변형의 비인 Young률 등은 가장 기본적인 물리량이라고 할 수 있다. 이들 두 양을 구하는 표준 시험 규격으로는

ASTM E 756<sup>(1)</sup>과 ISO 6721<sup>(2,3)</sup> 등이 대표적이라고 할 수 있다.

플라스틱 재료는 기본적인 조성비에 따라 그 성질이 다르기 때문에 이론적으로 물리량을 해석하기가 힘들며, 특히 온도 변화 및 주파수에 따라서도 그 성질이 변하는 특성 때문에 이론적 해석보다는 실험에 의존하는 경우가 많다. 이 논문에서는 표준 시험법을 사용하여 플라스틱 재료인 polycarbonate와 acrylonitrile butadiene styrene의 손실계수와 Young률을 온도를 변화시키면서 측정하고 분석하였다.

#### 2. 온도에 따른 손실계수와 Young률 변화<sup>(4)</sup>

물질의 진동감쇠특성에 영향을 주는 요인들로는 온도, 주파수, 동적 부하(dynamic load)와 정적 부하(static preload) 등이 있으며, 이 중 온도와 주파수는 물질의 동특성에 영향을 주는 가장 중요한 환경적인 요소라고 할 수 있다. Fig. 1에서는 주파수가 일정할

† 책임저자, 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹  
E-mail : suhyun@yumail.ac.kr

Tel : (042) 868-5709, Fax : (042) 868-5643

\* 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹

\*\* 영남대학교 전자정보공학부

때, 전형적인 폴리머(polymer)에 대한 온도와 진동감쇠특성과의 관련성을 나타내고 있다. 이때 온도변화에 따른 물질의 손실계수( $\eta$ )와 Young률( $E$ )의 변화는 크게 네 가지 영역으로 나누어 다음과 같이 설명할 수 있다.

첫 번째, 유리영역(glassy region)에서는 물질의 Young률이 최대 100 GPa 이상을 가지는 반면 손실계수는 0.1~0.01의 낮은 값을 가진다. 또한 온도가 높아짐에 따라 Young률은 천천히 변하지만 손실계수는 급속히 증가한다. 이러한 온도와 진동감쇠특성과의 관련성 때문에 유리와 같은 재료는 외력에 의해 쉽게 깨어지며, 온도조건에 따라 깨지는 정도가 다를 수 있다.

두 번째, 전이영역(transition region)에서는 다른 영역에서의 온도-손실계수, 온도-Young률의 비례적인 관계와 다른 양상을 보인다. 즉, 이 영역에서는 온도가 높아지면 손실계수도 증가하다가 어느 한 지점에서 최대값(1 또는 2)을 가진 후 감소한다. 반면 Young률은 온도가 높아질수록 계속 감소하는 특성을 가진다. 이러한 특이성 때문에 전이영역의 특성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>(5,6)</sup>

세 번째, 고무영역(rubbery region)에서는 온도변화에 따라 손실계수와 Young률 모두 비교적 안정적인 값을 갖기 때문에 고무가 방진재로서 많이 사용되고 있다. 이 영역에서 Young률은 10 kPa 정도 그리고 손실계수는 0.1~0.3 범위의 값을 가진다.

네 번째, 흐름영역(flow region)에는 유리성 에나멜(vitreous enamels)과 열가소성 플라스틱(thermo-

plastics)과 같은 재료가 포함된다. 이 영역에서는 온도가 높아지면 물질은 마치 녹거나 느슨해지는 불안정한 상태가 되기 때문에 감쇠 시스템 설계에서는 거의 사용되지 않는다. 실제 본 영역의 특성을 가지는 폴리머 물질은 거의 존재하지 않는다.

### 3. 진동감쇠특성 산출법

물질의 손실계수를 산출하는 대표적인 방법으로 반치폭법(half-power bandwidth method), 진동감쇠법(vibration decay method), 나이퀴스트법(Nyquist method) 등이 있다.

이 논문에서는 공진주파수에 의한 반치폭법을 이용하여 손실계수를 산출하였으며, 이때 반치폭이란 Fig. 2와 같이 표현되는 주파수 응답함수(FRF)에서 응답곡선의 최대치  $|H(\omega)|_{\max}$ 의  $1/\sqrt{2}$ 이 되는 두 점(A, B)사이의 주파수 간격을 말한다. Young률은 시편의 기하학적 특성과 밀도, 공진주파수의 관계식을 통해 산출하였다.

자체지지(self-supporting)가 가능한 재료에 대한 손실계수와 Young률은 식 (1)과 (2)와 같다.<sup>(4)</sup>

$$\eta = \frac{\Delta f_n}{f_n} \tag{1}$$

$$E = \frac{12\rho L^4 f_n^2}{a_n^2 H^2} \tag{2}$$

여기서,  $f_n$ 은 공진주파수,  $\Delta f_n$ 은 공진주파수에서의 반치폭,  $n$ 은 모드(mode)수이며  $\rho$ 는 시편의 밀도,  $L$

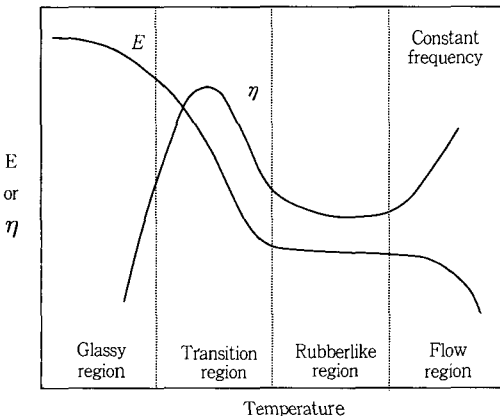


Fig. 1 Variation of the Young's modulus and loss factor with temperature for materials

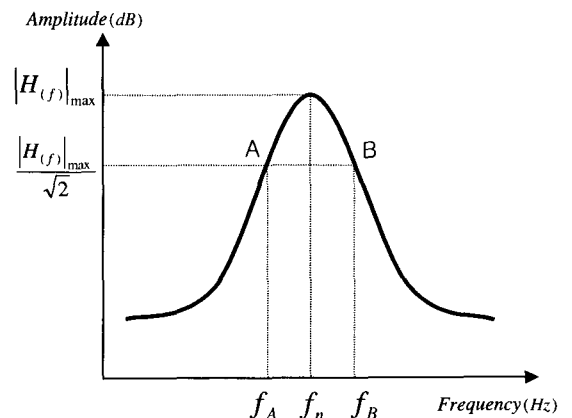


Fig. 2 Half-power bandwidth

은 길이,  $H$ 는 두께 그리고  $a_n$ 은 경계조건에 따른 모드 계수이다.

#### 4. 온도변화에 따른 진동감쇠특성 시험법

자동차 내장용 재료로 사용되는 플라스틱 재료인 polycarbonate(P.C.)와 acrylonitrile butadiene styrene (A.B.S.)을 대상으로 온도 변화에 따른 진동 감쇠특성을 ASTM E 756과 ISO 6721 표준시험법으로 측정하였다.

시험장치도는 Fig.3과 같이 구성하였으며, 외팔보(cantilever) 형태의 시편을 전자기 시스템을 사용하여 가진하고 비접촉 변위계(B&K MM0004)로 진동을 측정하여 신호분석기(B&K 3550)로 분석하였다.

플라스틱은 비금속이기 때문에 전자기 시스템으로 직접 가진 할 수 없다. 따라서 시험규격에서는 플라스틱 시편에 비해 Young률은 4% 이하, 질량은 1%, 길이는 2%를 초과하지 않는 금속을 플라스틱 시편에 부착하여 가진하도록 규정하고 있다.<sup>(3)</sup> 이러한 규정에 따라 이 실험에서는 플라스틱 밑 부분에 0.07g의 얇은 원형 금속판을 접착테이프를 사용하여 부착하였다. 또한 접착테이프로 인한 영향은 steel에 접착테이프의 부착 유무에 따른 손실계수와 Young률의 변화가 없음을 확인함으로써 사전 검증을 하였다.

이 논문에서 사용된 P.C.와 A.B.S.의 밀도와 크기는 Table 1과 같다. 한편, 시편의 크기는 진동감쇠특

성에 중요한 물리적 인자로 작용한다. 특히 시편의 길이와 두께의 비율이 지나치게 높거나 낮으면 손실 계수가 크게 달라지기 때문에 시편의 크기에 대한 규정이 필요하다.

온도조절을 위해 온도 안정도가  $\pm 0.2$  °C인 항온조(fisher scientific, 146E)를 사용하였다. 시편의 가용 온도 범위는 Table 2와 같으며, 온도를 -10, 0, 20, 40, 60 °C로 증가시키면서 실험하였다. 이때 정해진 온도에 도달하게 되면 30분 이상 유지시켜 항온조 내 온도와 시편과의 온도 평형이 잘 이루어지게 한 후 실험하였다.

Table 1 Dimension of specimen

	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Free-length (mm)	Thickness (mm)	Width (mm)
Polycarbonate	1,195	178	2.8	10
Acrylonitrile butadiene styrene	1,044	178	2.4	10
Steel	7,810	228	1.9	10

Table 2 Operating temperature range of materials<sup>(7)</sup>

	Max. Temp. (°C)	Min. Temp. (°C)
Polycarbonate	115~130	-135
Acrylonitrile butadiene styrene	70~110	-30

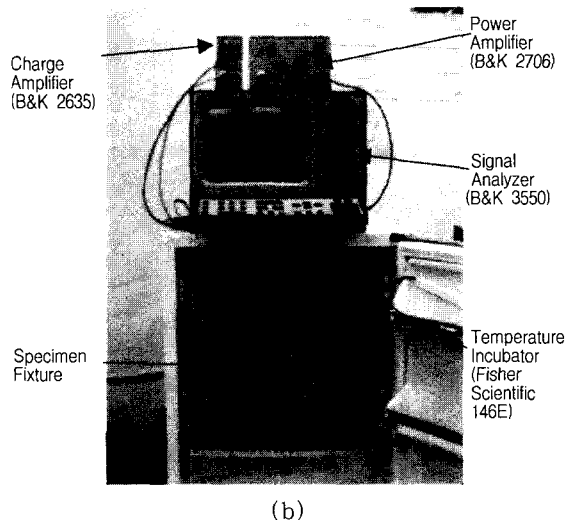
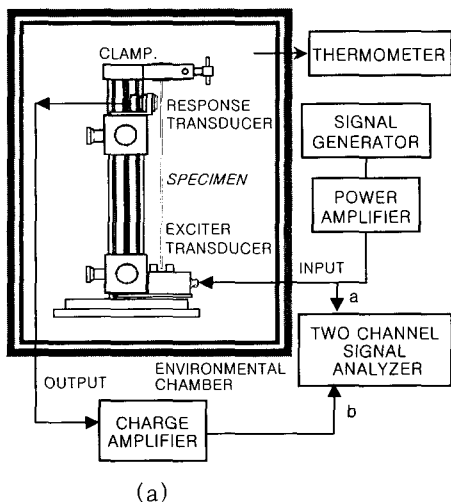


Fig. 3 Experimental set-up : (a) block-diagram, (b) photograph of measuring system

## 5. 진동감쇠특성 실험결과 및 분석

### 5.1 Steel

우선 시스템의 안정성을 확인하기 위해 시료의 물성이 잘 알려진 steel(ss41)에 대해 온도변화에 따른 손실계수와 Young률을 측정하여 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타냈다. 이때 산출된 평균 손실계수는 0.002이고 Young률은 190 GPa인데 이것은 다른 연구자들의 값<sup>(1,8)</sup>(손실계수:0.001~0.003, Young률: 180~200 GPa)과 잘 일치하는 범위에 있으며, 따라서 이 측정시스템은 안정되어 있음을 확인할 수 있다.

### 5.2 Polycarbonate

온도변화에 따른 P.C.의 compliance 응답함수 변화

를 Fig. 6에 나타냈는데 몇 개의 공진 주파수를 볼 수 있다. Fig. 6의 두 번째 모드에서  $-10^{\circ}\text{C}$ 와  $60^{\circ}\text{C}$ 의 두 공진주파수의 차이는 34 Hz이며 세 번째 모드는 86 Hz를 나타냈다. 이를 통해 P.C.는 온도와 주파수가 높아질수록 공진주파수의 변화폭이 크다고 할 수 있다.

온도변화에 따른 P.C.의 손실계수와 Young률의 변화는 Fig. 7과 Fig. 8과 같은데 역시 변화폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 온도가 증가할수록 P.C.는 무른 상태가 되기 때문에 탄성계수인 Young률은 낮아지고 손실계수는 진동 억제효과가 증가하는 특성을 갖는 것으로 해석된다. 주파수가 증가하면 Young률은 항상 증가하게 됨을 식 (2)에서 볼 수 있는데 그 증가폭은 크지 않지만 Fig. 8의 결과에서도 확인할 수 있다. 지금까지  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서  $60^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도조건에

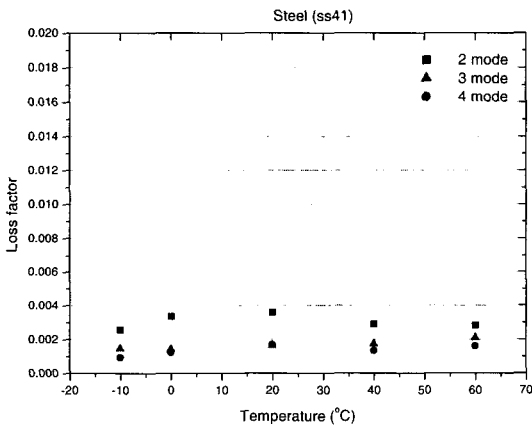


Fig. 4 Variation of the loss factor with temperature for steel

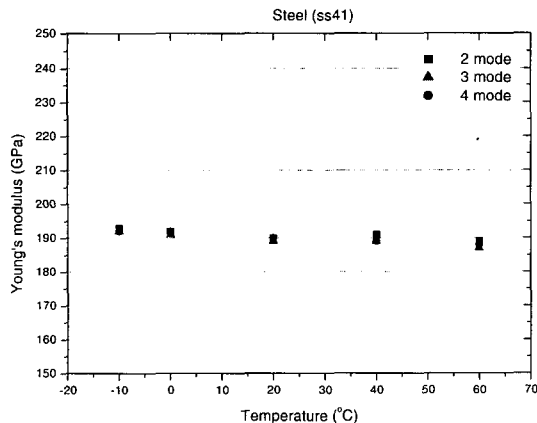


Fig. 5 Variation of the Young's modulus with temperature for steel

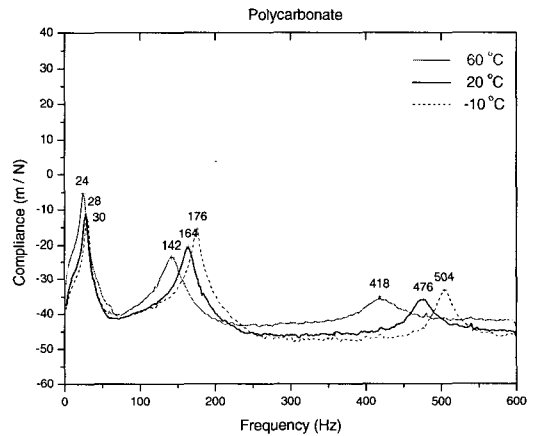


Fig. 6 Variation of the resonance frequency with temperature for polycarbonate

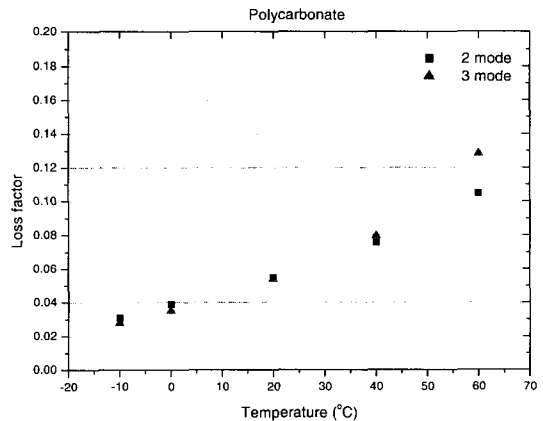


Fig. 7 Variation of the loss factor with temperature for polycarbonate

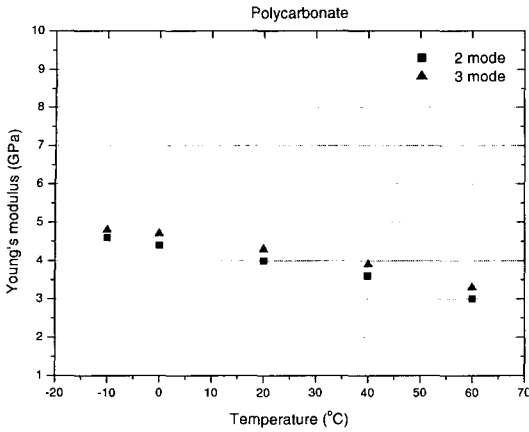


Fig. 8 Variation of the Young's modulus with temperature for polycarbonate

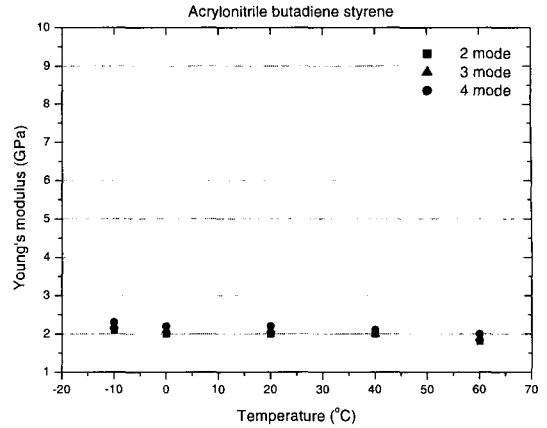


Fig. 11 Variation of the Young's modulus with temperature for acrylonitrile butadiene styrene

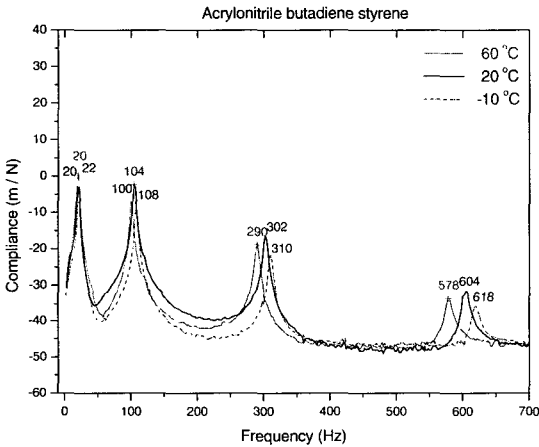


Fig. 9 Variation of the resonance frequency with temperature for acrylonitrile butadiene styrene

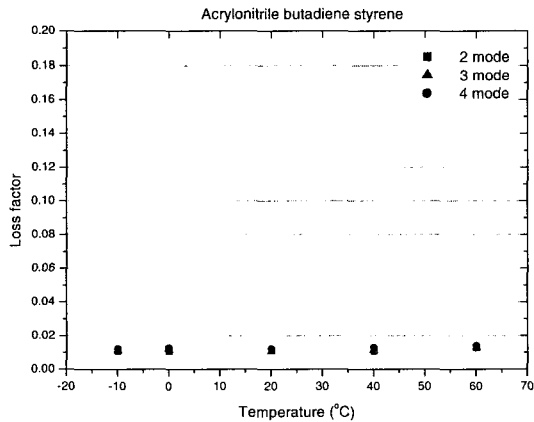


Fig. 10 Variation of the loss factor with temperature for acrylonitrile butadiene styrene

따른 P.C.의 손실계수와 Young률 특성을 종합해 볼 때 P.C.는 유리영역에 가까운 특성을 가진다고 할 수 있다.

### 5.3 Acrylonitrile Butadiene Styrene

A.B.S.의 온도변화(-10 °C ~ 60 °C)에 따른 compliance 변화를 Fig. 9에 나타냈는데 공진 주파수의 변화가 P.C.에 비해 상대적으로 적음을 알 수 있다. 손실계수와 Young률에 대한 결과는 Fig. 10과 11에 각각 나타내었는데 역시 온도에 따른 값들의 변화폭이 크지 않음을 볼 수 있다. 전반적으로 온도가 증가함에 따라 손실계수는 약간 상승하며 Young률은 약간 감소하는 경향을 나타내고 있기 때문에 Fig. 1을 참고하면 A.B.S.는 60 °C이하의 비교적 저온인 영역에서 고무영역에 가까운 물리적 특성을 가졌다고 결론지을 수 있다.

## 6. 결 론

표준시험법인 ASTM E 756과 ISO 6721을 사용하여 P.C.와 A.B.S.와 같은 플라스틱 재료의 진동감쇠 특성을 온도와 주파수를 변화시키면서 측정하였다. 실험결과, 이들 재료의 진동감쇠특성은 온도와 주파수에 의한 영향이 재료에 따라 차이를 확인하였다.

-10 °C에서 60 °C까지의 온도범위에서, P.C.는 온도가 높아질수록 손실계수가 증가하고 Young률은 감소하였는데 비교적 변화폭이 크게 나타났다. 이러한 실험적 결과를 통해 P.C.는 유리영역에 가까운 물리

적 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다. A.B.S.는 온도 변화에 따라 손실계수와 Young률의 변화폭이 비교적 안정되어 있기 때문에 고무영역에 가까운 물리적 특성을 지녔음을 알 수 있었다.

이 논문을 통해 각 재료가 가지고 있는 감쇠특성은 온도와 주파수에 대해 그 특성이 다름을 확인하였다. 따라서 방진설계에 있어 방진재가 사용되는 현장에서의 온도를 사전에 확인함으로써 적절한 재료를 선택하는 것이 필요하며, 온도변화에 따른 재료의 손실계수와 Young률에 대한 DB 구축 또한 시급히 마련되어야 하겠다.

### 참 고 문 헌

- (1) ASTM E 756, 1998, "Standard Test Method for Measuring Vibration-damping Properties of Materials".
- (2) ISO 6721-1, 2001, "Plastics-Determination of Dynamic Mechanical Properties-Part 1: General Principles".
- (3) ISO 6721-3, 1994, "Plastics-Determination of Dynamic Mechanical Properties-Part 3: Flexural Vibration-Resonance-curve Method".
- (4) Nashif, A. D., Jones, D. I. G. and Henderson, J. P., 1985, "Vibration Damping", John Wiley & Sons, Inc.
- (5) Mohan, D. Rao, 2003, "Recent Applications of Viscoelastic Damping for Noise Control in Automobile and Commercial Airplanes", Journal of Sound and Vibration, Vol. 262, pp. 457~474.
- (6) Robert D. Corsaro, L. H. Sperling, 1990, "Sound and Vibration Damping with Polymers", American Chemical Society Symposium Series 424.
- (7) Francois Cardarelli, 2001, "Materials Handbook" : A Concise Desktop Reference, Springer.
- (8) 신수현, 이용봉, 정성수, 이두희, 2004, "진동 감쇠특성 시험법 비교", 한국소음진동공학회논문집, 제 14 권, 제 9 호, pp. 869~877.