

# 다층 제진판의 제진성 연구

김 원 호 · 안 병 현\*

부산대학교, \*부경대학교

(1996년 10월 20일 접수)

## A Study on the Vibration Damping of Multilayer Damping Sheet

Won - ho Kim and Byung - hyun Ahn\*

Pusan National University, \*Pukyong National University

(Received October 20, 1996)

### Abstract

The vibration damping of various multilayer damping sheet with different constraining layer and viscoelastic layer were investigated by Rheovibron and vibration test. Damping increased as dynamic loss tangent increased. Constrained type damping sheet showed better damping than extensional type damping sheet. Aluminum foil attached asphalt impregnated paper pad showed best damping.

### 서 론

점탄성적 성질을 갖는 고분자 물질은 제진 재료로서 항공기, 자동차, 건축 및 가전 산업 분야 등에서 지속적인 관심을 끌어왔다.<sup>1-5)</sup> 일반적으로 고분자 물질에 흡수된 진동에너지는 고분자 물질의 점탄성 거동에 의해 열로 바뀌어 손실된다. 그런데 고분자 물질의 점탄성은 화학 조성, 물리적 구조 등의 내부 인자와 압력, 온도 등 환경요인에 따라 변화한다. 따라서 점탄성에 의존하는 제진성도 고분자 물질의 종류 및 사용 온도에 따라 달라지는데 일반적으로 유리변환영역에서 최대가 된다. 대부분의 고분자 물질은 특정 온도 부근에서 좁은 폭을 갖는 유리변환영역을 가지므로, 제진성이 향상되기 위해서는 고분자 물질의 유리변환영역의 폭이 넓어져야 한다. 이를 위해 그 동안 blending, copolymerization, interpenetrating polymer network (IPN) 등의 많은 방법이 연구되어 왔다.<sup>6-10)</sup> 그 결

과, 고분자 물질의 loss tangent 값이 중요한 인자라는 것이 밝혀졌다.<sup>11,12)</sup> Ting 등<sup>13)</sup>은 urethane/epoxy IPNs에서의 damping 특성에 대한 filler의 효과를 연구하였고, Fay 등<sup>14)</sup>은 제진성을 loss area에 의해 정량적으로 평가될 수 있음을 입증하였다. Chen 등<sup>15)</sup>은 polymer laminated 강판의 제진 메커니즘을 연구하였고, Liao와 Hsu<sup>16)</sup>는 high frequency 영역에서의 time - temperature superposition 원리를 적용하였다.

제진판은 점탄성 물질의 신축변형에 의한 비구속형(extensional type)과 절단변형에 의한 내부 마찰을 이용하는 구속형(constrained type)으로 나눌 수 있는데, 비구속형은 점탄성층과 강판으로 구성되어 강판의 굴곡진동에 의한 damping 재료의 신축변형이 진동에너지를 열로 변화시키는 mechanism이고 구속형은 구속층, 점탄성층 및 강판으로 구성되어 구속층이 점탄성층의 절단 변형을 일으켜 진동에너지를 열로 변화시키는 mechanism이

다. Oberst<sup>16)</sup>는 구속형 제진판이 비구속형보다 damping 성능이 우수함을 실험하였고, Ungar<sup>5)</sup>는 구속형 제진판의 제진성은 점탄성층의 loss tangent 값과 관련이 있음을 실험하였다.

근년에 국내에서도 세탁기, 식기세척기 등의 가전 제품이 아파트 등 좁은 주거공간 내부에 설치됨으로써 소음 여부에 대한 소비자의 평가가 매우 까다로워지고 있다. 따라서 이들 제품의 소음 및 진동을 줄여주기 위하여 제품 case에 제진판이 부착되고 있다. 국내에서 사용되고 있는 제진판은 1세대인 inorganic 충전제나 섬유가 충전된 아스팔트계로부터 2세대인 점탄성 고분자 물질계로 바뀌고 있다.

구속형 고분자 제진판은 구속층 및 점탄성층으로 이루어져 있는데 각 구성층의 종류 및 조합에 따라 제진성이 달라지게 된다. 본 연구에서는 구속형 제진판의 구성층을 다양하게 변화시키면서 구속층 변화에 따른 제진성을 고찰하였다.

## 실 험

### 1. 제진판 제작

본 연구에서 사용된 제진판은 구속층, 점탄성층, 점착층으로 구성되었으며 전체 두께는 2.0mm 정도로서 compression molding으로 제작하였다. 구속층으로는 polypropylene(PP) 부직포, asphalt 함침 종이 pad, aluminum foil이 부착된 asphalt 함침 종이 pad, polyvinylchloride(PVC) sheet, Kraft지, aluminum foil을 사용하였으며, 점탄성층으로는 filler가 첨가된 butyl rubber를 주로 사용하였고, 점착층은 점탄성층에 점착체를 첨가하여 제조하였다.

### 2. Rheovibron 실험

Rheovibron(model DDV - II - C, Toyo Baldwin Co., Ltd.)을 사용하여 제진판의 점탄성적 특성인 dynamic loss tangent( $\tan\delta$ )를 여러 온도에서 측정하였다.

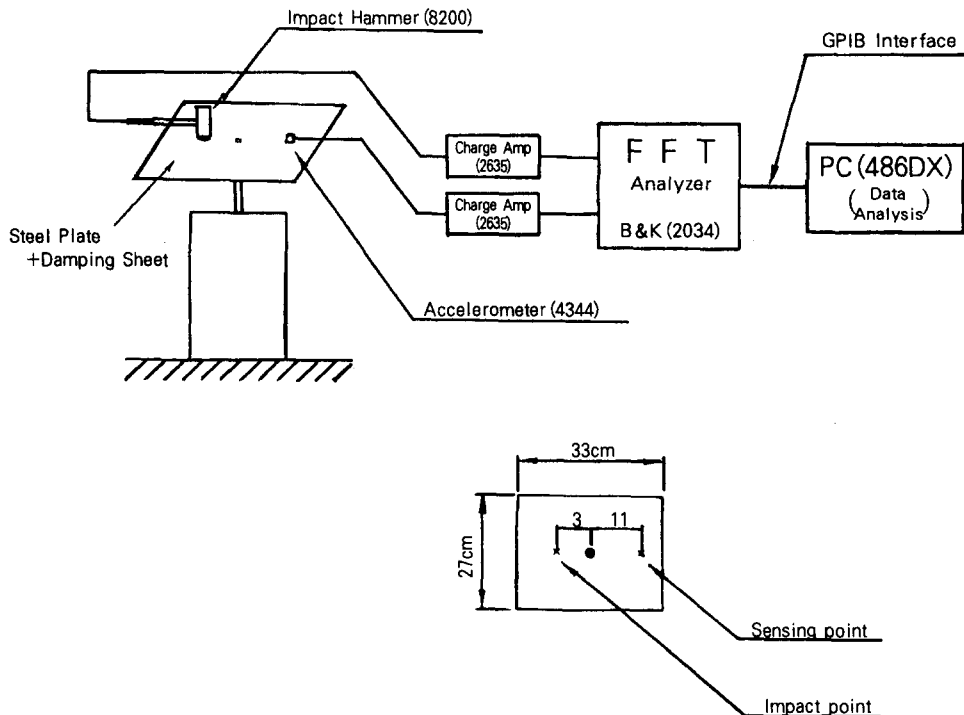


Fig. 1. Schematic diagram for vibration test.

3. 제진판 제진성의 평가 실험

크기가 330mm×270mm×1mm인 강판에 제진판이 부착되기 전의 주파수 응답특성과 제진판을 부착한 후의 주파수 응답 특성을 비교하였다. Fig. 1과 같이 강판 시편의 중심부를 고정시키고 강판의 한 점을 충격망치로 가격하여 다른 점에서의 가속도 응답을 측정하여 acceleration 주파수 응답 특성을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 기존 제품의 제진성 조사

현재 세탁기 등에 응용되고 있는 구속층, 점탄성층, 점착층이 각각 다른 4종류의 제진판의 점탄성적 특성 및 제진성을 조사하여 구속층의 변화에 다른 제진 특성의 차이를 살펴보았다. 이들의 구성은 Table 1과 같다.

Rheovibron을 사용하여 3.5, 11, 35, 110Hz의 진동수에서 온도를 5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃, 40℃로 변화시키면서  $\tan\delta$  값을 측정

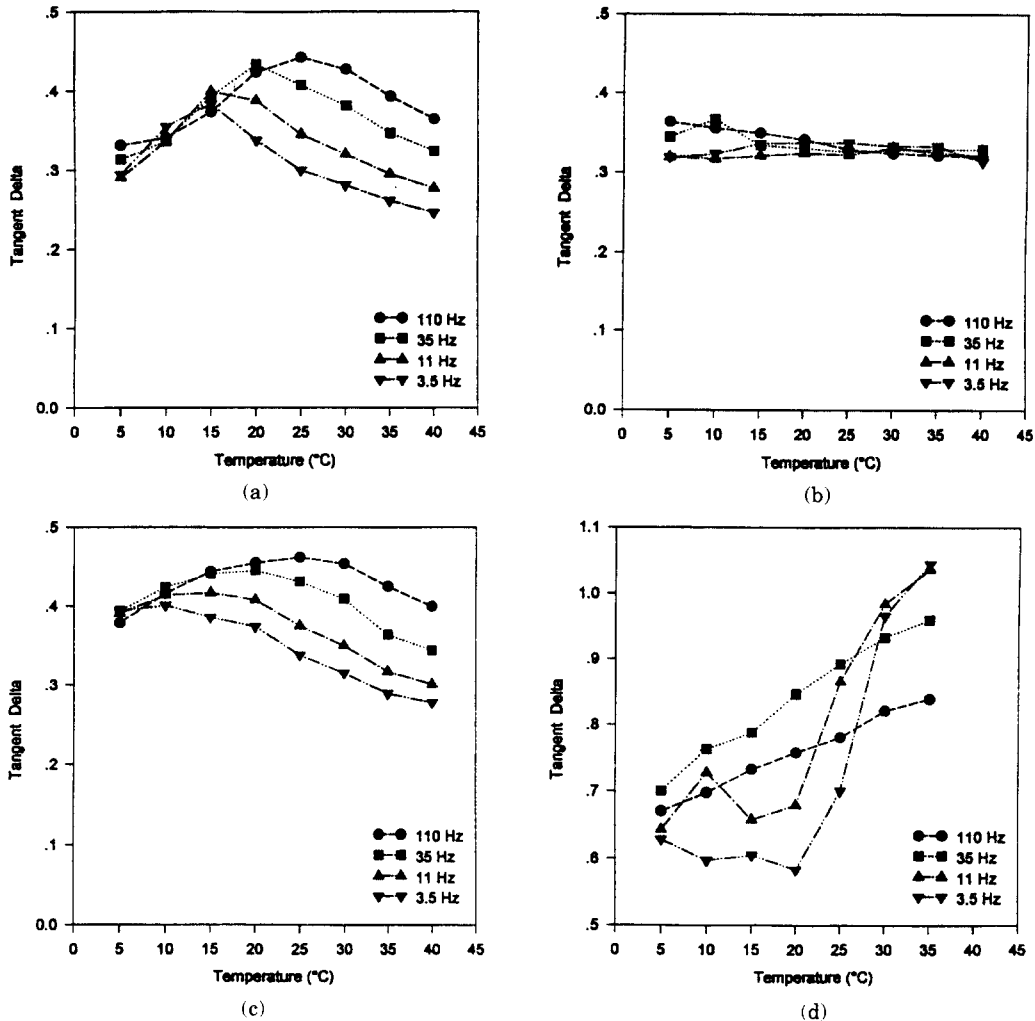


Fig. 2. Variation of  $\tan\delta$  with temperature for (a) Sample 1, (b) Sample 2, (c) Sample 3, (d) Sample 4.

**Table 1. Structure of the Commercial Damping Sheet**

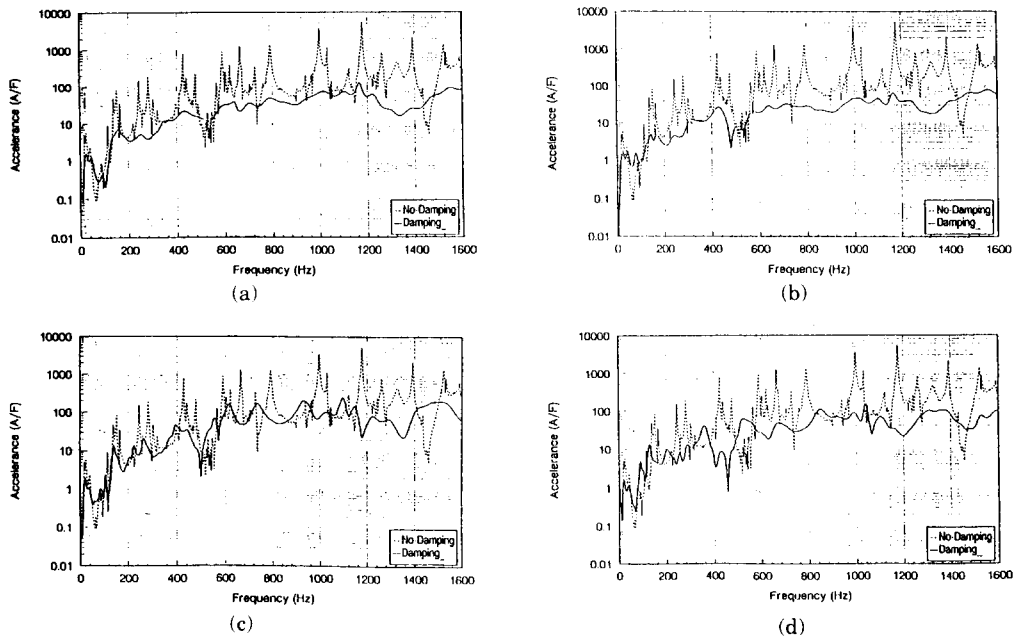
Sample Number	Constraining Layer	Viscoelastic Layer
1	damping sheet from Antiphone	
2	ethylene - vinyl acetate copolymer(EVA)	
3	PP non - woven	filled asphalt
4	asphalt impregnated paper pad	filled butyl rubber

하였는데 그 결과는 Fig. 2와 같다. 구속층이 없는 Sample 1과 Sample 2의  $\tan\delta$  값은 유사하였고 Sample 3 및 Sample 4는 구속층에 의한 높은  $\tan\delta$  값을 확인할 수 있었다. 구속층의 효과에 대해 평가해보면, 5℃ 근처에서 PP 부직포 적용시  $\tan\delta$  값은 0.38 - 0.44, asphalt 함침 종이 pad 적용시  $\tan\delta$  값은 0.6 - 0.78로서 asphalt 함침 종이 pad에 의한 구속층의 효과가 뛰어난 것을 알 수 있다. 5℃ 또는 10℃ 영역에서는  $\tan\delta$  값을 비교해보면 역시 구속층이 있는 Sample 3과 Sample 4의  $\tan\delta$  값이 높았고 그 중에서도 Sample 4의  $\tan\delta$  값이 높아 고주파 영역에서 뛰어난 제진성을 발휘할 것으로 추정된다.

진동시험에 의한 0 - 1600Hz의 진동영역에서 각 제진판의 진동감쇄효과( $\Delta(\text{accelerance})$ )를 Fig. 3에서 비교하였다. 제진판을 부착하지 않은 경우와 부착한 경우의  $\Delta(\text{accelerance})$ 를 0 - 1600Hz의 주파수 영역에서 관찰해 보면 Sample 4의  $\Delta(\text{accelerance})$  값이 가장 컸다. 이는 Rheovibron 실험 결과와 일치하였다. 따라서 기존의 제진판 중에서는 구속층 제진판의 성능이 우수하였고, 특히 asphalt 함침 종이 pad 구속층의 제진 효과가 우수함을 알 수 있었다.

2. 구속층의 변화에 따른 제진성 비교

기존 제품의 시험 결과, 기존 제진판 중 asphalt 함침 종이 pad를 구속층으로 하고 filled butyl rubber를 점착층으로 사용한 구속형 제진판의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이에 점착층을 filled butyl rubber로 고정하고, 구속층 또는 점착층을 제거하거나, 구속층을 PVC sheet(두께 : 0.7mm), Kraft지, aluminum foil(두께 : 50 $\mu\text{m}$ , 150 $\mu\text{m}$ )로 변화시켜 구속층과 점착층의 변화 및 유무에 따른 점탄성 특성 및 제진성의 변화를 관찰하였다. 이들 제진판의 구성은 Table 2와 같다. Rheovibron을

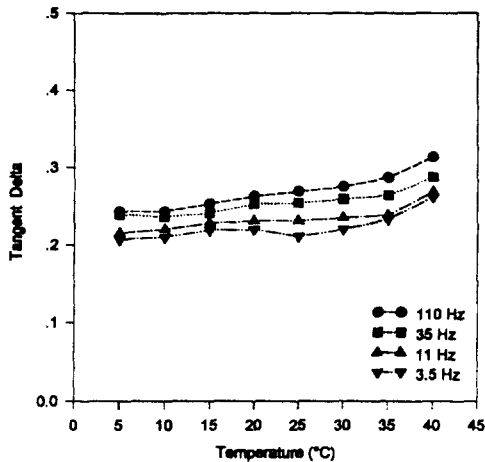


**Fig. 3. Result of vibration test for (a) Sample 1, (b) Sample 2, (c) Sample 3, (d) Sample 4.**

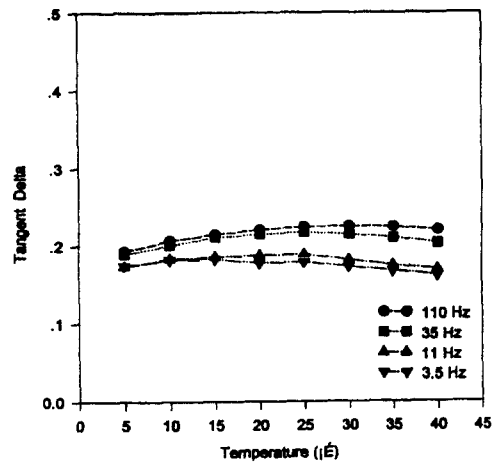
**Table 2. Structure of the Multilayer Damping Sheet**

Sample Number	Constraining Layer	Viscoelastic Layer
5	asphalt impregnated paper pad	filled butyl rubber
6	asphalt impregnated paper pad	removed
7	PVC sheet	filled butyl rubber
8	Kraft paper	filled butyl rubber
9	removed	filled butyl rubber
10	aluminum foil (두께 : 50 $\mu$ m)	filled butyl rubber
11	aluminum foil (두께 : 150 $\mu$ m)	filled butyl rubber

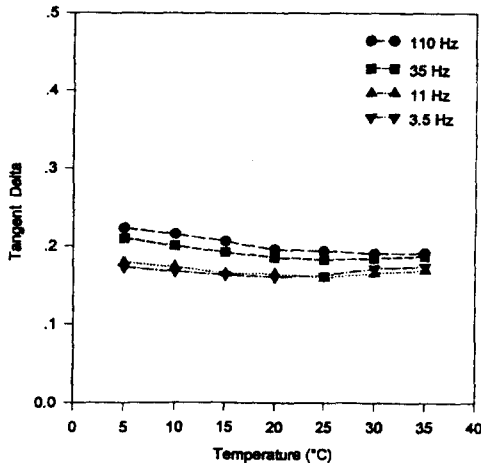
사용하여 3.5, 11, 35, 110Hz의 진동수에서 온도를 5 $^{\circ}$ C, 10 $^{\circ}$ C, 15 $^{\circ}$ C, 20 $^{\circ}$ C, 25 $^{\circ}$ C, 30 $^{\circ}$ C, 35 $^{\circ}$ C, 40 $^{\circ}$ C로 변화시키면서  $\tan\delta$ 값을 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다. 점탄성층이 제거된 Sample 6의  $\tan\delta$  값이 낮는데 이는 점탄성층에 의한 energy dissipation 효과가 없기 때문이라 판단되며 재료의  $\tan\delta$  값만 고려할 때 점탄성층만 있는 Sample 9가 Sample 6 보다 높은 제진성을 나타내리라 생각된다. 동일한 두께의 구속층을 사용한 Sample 5와 Sample 7의 5 $^{\circ}$ C 및 10 $^{\circ}$ C에서의  $\tan\delta$  값을 비교해 볼 때, Sample 5의  $\tan\delta$ 값이 높아 PVC sheet 보다 asphalt 함침 종이 pad가 우수함을 알 수 있다. 이는 asphalt



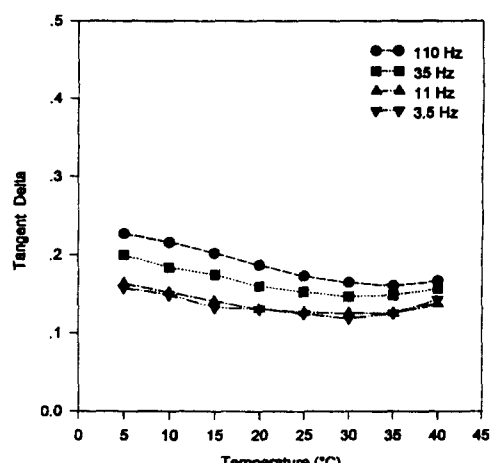
(a)



(b)



(c)



(d)

**Fig. 4. Variation of  $\tan\delta$  with temperature for (a) Sample 5, (b) Sample 6, (c) Sample 7, (d) Sample 8, (e) Sample 9, (f) Sample 10, (g) Sample 11.**

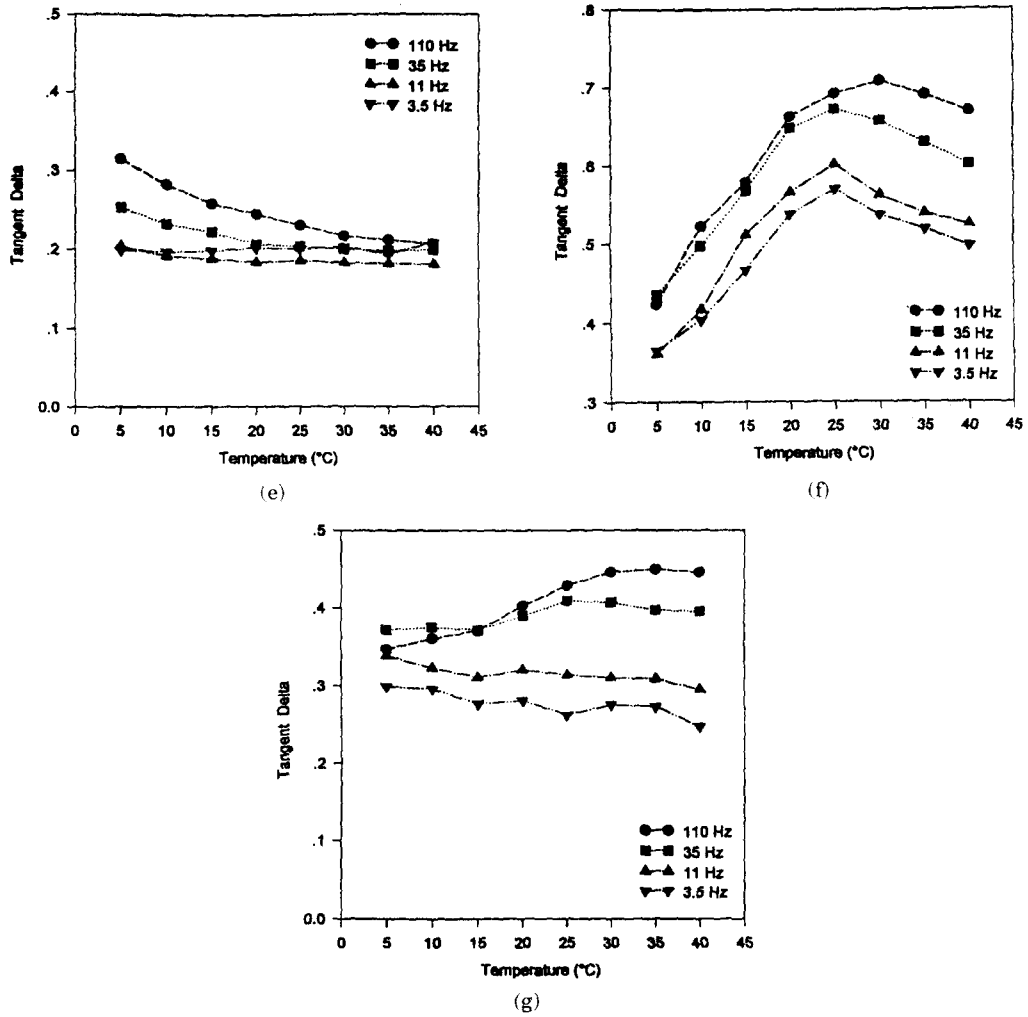


Fig. 4. Continued

의 복잡한 구조 및 높은 밀도에 의한 energy dissipation 효과에 기인한다고 판단된다. 구속층의 두께는 각기 다른 Sample 5, Sample 8, Sample 10, Sample 11의 5°C, 10°C, 15°C에서의  $\tan\delta$  값을 비교해 볼 때, Sample 8, Sample 5, Sample 11, Sample 10의 순서로  $\tan\delta$  값이 증가하였다. 특히 aluminum foil을 구속층으로 사용할 경우 aluminum foil 두께가 얇은 제진판이 더 좋은 제진성을 나타내리라 예상되었다.

진동시험 방법에 따라 1-1000Hz의 진동영역에서 각 제진판의 진동감쇄효과를 Fig. 5에서 비교하였다. Sample 6과 Sample 9의 제진성은 Fig. 5

의 (b)와 (e)에서 비교해 볼 때 둘 다 좋지 않았지만 Sample 6이 상대적으로 우수하였다. 이는 Sample 6의 경우,  $\tan\delta$  값은 낮지만, 구속층이 있기 때문에 보다 나은 제진성을 나타낸다고 추측된다. 그러므로, 제진성은 재료의  $\tan\delta$  값만 아니라 구속층의 유무에도 크게 영향을 받을 수 있다. Sample 5와 Sample 7의 제진성을 Fig. 5의 (a)와 (c)에서 비교해 볼 때 Sample 5의 제진성이 훨씬 우수하다. 이는 Rheovibron 실험 결과와 같이 구속층의 경우 asphalt 합침 종이 pad 층이 PVC 층 보다 제진성이 뛰어난을 보여주고 있다. Sample 5와 Sample 8의 제진성을 Fig. 5의 (a)와 (d)에서 비교

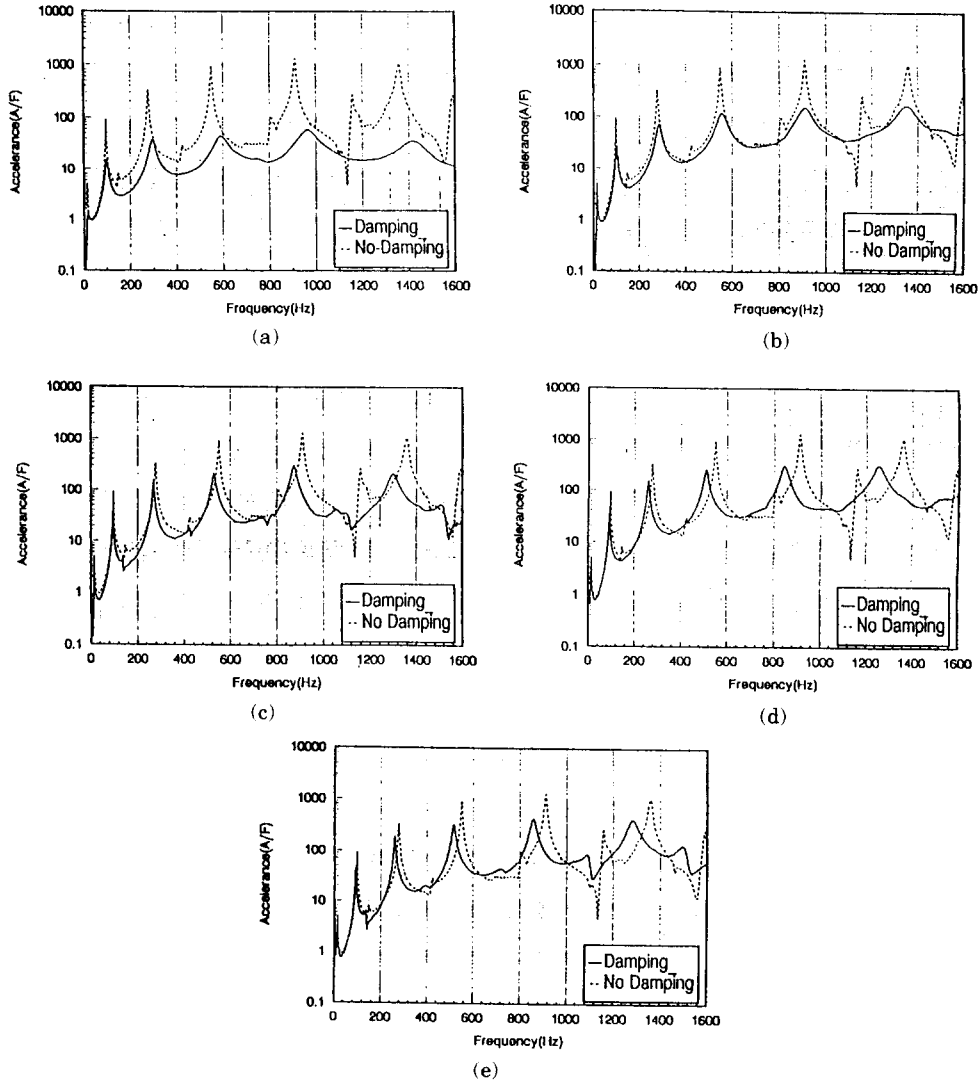


Fig. 5. Result of vibration test for (a) Sample 5, (b) Sample 6, (c) Sample 7, (d) Sample 8, (e) Sample 9.

해 볼 때 Sample 5가 좋았는데 이는 Rheovibron 실험에서 예측된 바와 같다.

### 3. Aluminum foil 구속층의 변화에 따른 제진성 비교

구속층으로서 효과적이라고 생각되는 asphalt 함침 종이 pad와 aluminum foil을 복합한 구속층과 filled butyl rubber 점착층을 갖는 제진판(Sample 12)을 제작한 후 진동실험을 실시하여 제진성을 측정하였는데 Fig. 6에서와 같이 복합화에 의한

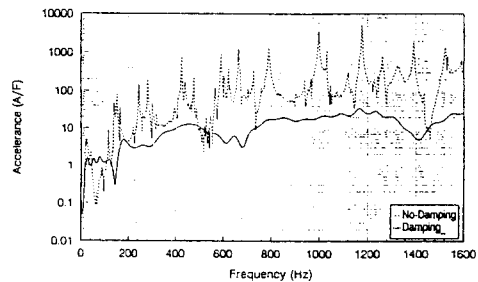


Fig. 6. Result of vibration test for Sample 12.

제진성의 향상을 관찰할 수 있었다.

## 결 론

다음 제진판의 구성층을 다양하게 변화시키면서 구성층 변화에 따른 제진성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구속형 제진판이 비구속형의 제진판보다 높은 제진성을 나타낸다.
2.  $Tan\delta$  값과 제진성은 비례한다.
3. Aluminum foil을 부착한 asphalt 함침 종이 pad를 구속층으로 사용한 제진판의 제진성이 다른 제진판보다 우수하다.

## 참고문헌

- 1) J. A. Grate, J. E. Lorenz, D. A. Thomas, and L. H. Sperling, *Modern Paint and Coatings*, Feb., 35 (1975).
- 2) J. A. Greate, D. A. Thomas, E. C. Hickey, and L. H. Sperling, *J. Appl. Polym. Sci.*, 19, 1731(1975).
- 3) N. Pennington, *Modern Metal*, Feb., 12(1987).
- 4) Y. S. Chen, T. J. Hsu, and S. I. Chen, *Metall. Trans.*, 22A, 653 (1991).
- 5) E. E. Ungar, "Noise and Vibration Control", ed. by L. L. Beranek, McGraw - Hill, N. Y., 1979.
- 6) R. D. Cosaro and L. H. Sperling, Eds., "Sound and Vibration Damping with Polymers", ACS Symp., Ser. 424, American Chemical Society, Washington D. C., 1990.
- 7) Y. Li, R. Liu, J. Wang, and X. Tang, *Polym. Mat. Sci. : Eng.(Perpr.)*, 65, 134(1991).
- 8) T. Hur, J. A. Mason, and L. H. Sperling, *J. Polym. Sci., Polym. Phys.*, 27, 2251(1989).
- 9) B. Hartmann, *Polymer News*, 16, 134, (1991).
- 10) J. A. Mason and L. H. Sperling, "Polymer Blends and Composites", Plenum Press, N. Y., 1976.
- 11) D. I. G. Jones, *J. Sound Vibration*, 33, 451(1974).
- 12) H. Mizumachi, *J. Adhesion*, 2, 292(1970).
- 13) R. Y. Ting, R. N. Gapps, and D. Klemper, *Polym. Mat. Sci. Eng.(Prepr.)*, 60, 654(1989).
- 14) J. J. Fay, D. A. Thomas, and L. H. Sperling, *J. Appl. Polym. Sci.*, 43, 1617(1991).
- 15) F. S. Liao and T. J. Hsu, *J. Appl. Polym. Sci.*, 45, 893 (1992).
- 16) H. Oberst, *Acustica Akust Beih.*, 2, 181(1952).