

## 振動·衝擊音 吸收性能을 지니는 木質系 複合材料의 開發(I) -가소화 폴리염화비닐의 동적점탄성과 진동흡수성능-

李 賢 鍾<sup>2</sup>

Development of Vibration and Impact Noise Damping Wood-based Composites (I)  
- Dynamic Mechanical and Vibration Damping Properties of Plasticized PVC -

Lee, Hyun-Jong<sup>2</sup>

### 요 약

이 연구는 점탄성 고분자재료를 사용하여 진동·충격음 흡수성능을 지니는 목질계 복합재료의 제조를 목적으로, 가소화 PVC의 동적점탄성 및 고분자 적층 복합체의 진동흡수성능에 미치는 고분자의 점탄성의 영향을 검토하였다. 가소제는 디옥틸프탈레이트(DOP)를 사용하여, 20~140 phr까지 첨가하였다. 고분자의 동적점탄성의 측정은 Rheovibron을 사용하여 110Hz의 인장진동을 가하여, -100~150°C까지 매분 1°C를 상승시키면서 측정하였다. PVC와 DOP는 전조성에서 완전상용성이었으며,  $T(E''_{\max})$ 와  $T(\tan \delta_{\max})$ 는 가소제의 첨가량이 증가함에 따라 저온 측으로 이동하였다. 고분자 적층 복합체의 진동흡수성능은 Rheovibron을 개조한 양단지지 중심하중에 의한 강제 휨진동법 및 공진법에 하나인 양단자유 휨진동법을 사용하였다. 샌드위치구조 복합체의 진동흡수계수( $\tan \delta_c$ )는 고분자의 손실계수( $\tan \delta$ )와 정의 상관성을 나타내었으며, 피복체의 진동흡수계수는 고분자의 손실탄성률( $E''$ )에 의존하는 경향을 나타내었다. 또한 샌드위치구조 복합체의 대수감쇠율( $\Delta c$ )은  $\tan \delta_c$ 곡선과 유사한 곡선을 나타내었다.

### ABSTRACT

The aim of this study was to develop the noise and vibration damping wood-based composites by using viscoelastic polymer materials. Polyvinylchloride(PVC) was plasticized with 20-140 phr bis(2-ethylhexyl) phthalate(DOP) and the dynamic tensile mechanical properties were measured at 110Hz and approximate temperature range -100 to 150°C using a Rheovibron instrument. The PVC/DOP blends were shown to be compatible in all proportions, and both  $T(E''_{\max})$  and  $T(\tan \delta_{\max})$  shifted to the lower temperature side as the DOP content increased. The vibration damping properties of wood/polymer composites were measured using the Rheovibron instrument in a bending mode. The composite damping factor( $\tan \delta_c$ ) of wood/PVC-DOP/wood sandwich structure correlated with the loss factor and that of the coated structure correlated with the loss modulus( $E''$ ) of the polymer layer. In addition, the sandwich structure was found to be more effective in damping than the coated structure. The logarithmic decrement( $\Delta c$ ) curve of a sandwich structure, which was determined by the free-free flexural vibration method was similar in shape to the  $\tan \delta_c$  curve.

<sup>1</sup> 접수 1998년 10월 8일 Received on October 8, 1998.

<sup>2</sup> 강원대학교 산림과학대학 임산공학과 Department of Wood Science and Technology, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

## 서 론

최근 소음문제는 사회적 공해문제로서 중요한 과제가 되고 있다. 최근에는 꽤 적은 생활공간에 대한 요구가 높아져 목질마루가 집합주택(아파트, 연립주택 등)에 보급되기 시작됨에 따라 상충격음이 사회적 문제로 되고 있다.

목재는 내부손실이 비교적 작고, 진동의 감쇠가 곤란한 재료이기 때문에 충격음 발생의 원인이 되고 있다. 한편, 고분자 재료는 일정온도 영역 특히, 유리전이영역에 있어서 분자쇄의 완화운동에 의해 가해지는 충격 또는 진

동에너지를 열에너지로 전환시킬 수 있고, 이것에 의하여 충격음과 진동을 감쇠시킬 수 있다(Fig. 1). 일반적으로 무정형 고분자의 감쇠계수의 최대값은 목재보다 약 100배정도 높은 값을 나타낸다. 따라서 감쇠가 큰 고분자재료와 목재를 잘 조합하면 목재의 장점을 살리면서 목재보다 높은 진동감쇠능을 갖는 기능성 복합재료를 제조하는 것이 가능하다. 이러한 고분자 재료 또는 복합재료를 진동(또는 충격)에 의해 소음이 발생하는 곳에 이용하면 충격에 의해 발생하는 소음문제는 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

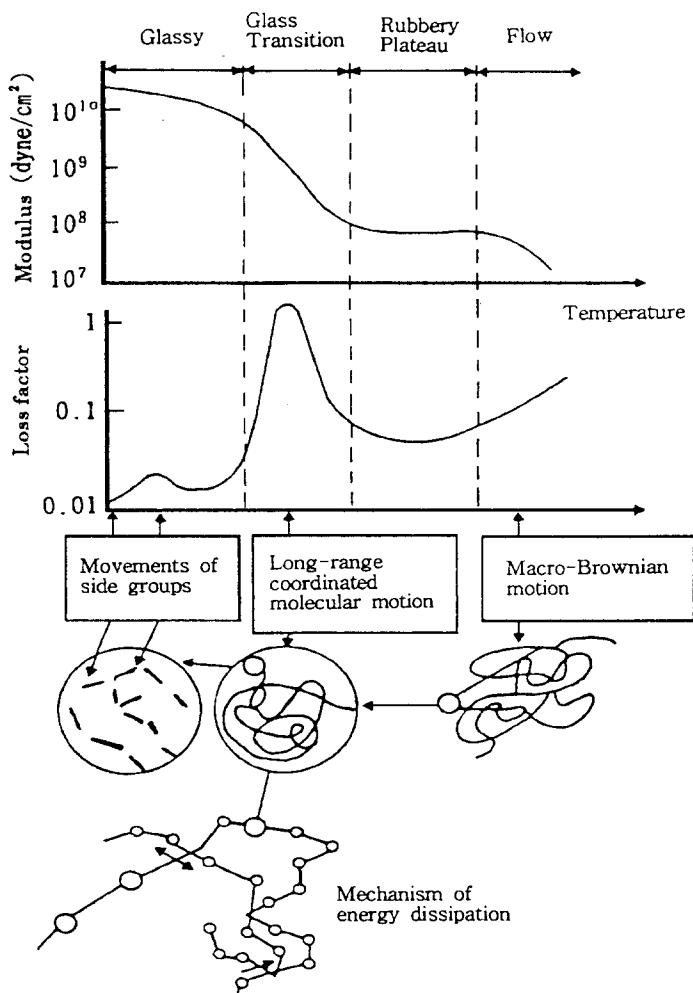


Fig. 1. Dynamic mechanical properties and energy dissipation of amorphous polymer

고분자를 진동흡수재료로서 이용한 것은 제2차 세계대전중 독일의 U보트가 적함수함의 소녀탐색을 방지하기 위하여 엔진부 외부표면에 방진고무를 피복한 것을 시작으로 이후 많은 연구가 행해졌으며,<sup>1-10)</sup> 고분자의 신축변형에 의해 땜평효과가 발휘되는 경우는 손실탄성률  $E''$ 가, 고분자의 전단변형에 의해 땜평효과가 발휘되는 경우에는 손실계수  $\tan \delta$ 가 가장 중요한 인자로서 작용한다고 보고하고 있다. 현재 이러한 땜평성 고분자재료는 철도, 자동차, 전기, 산업기계, 건축분야 등 진동에 의해 소음이 발생하는 많은 분야에 진동 또는 충격음 흡수재료로서 사용되고 있으며, 기계나 구조물의 소음·진동의 저감은 환경대책상의 과제로서 뿐만 아니라, 공업제품의 상품가치를 높이기 위해서도 중요시되고 있다.

그러나 지금까지의 연구결과는 주로 금속을 대상으로 한 것이며, 목재를 대상으로 한 연구는 없다. 목재는 금속재료에 비하여 탄성률이 한자리수 정도 낮으며, 손실계수는 한자리수 정도 높으므로 금속용의 땜평재료가 지녀야 할 점탄성적 성질과 목재용 땜평재료가 지녀야 할 점탄성적 성질은 다를 것이다.

본 연구는 범용 고분자인 폴리염화비닐을 가소화하여 그 점탄성을 계통적으로 변화시켜 진동흡수재료로서의 이용 가능성 및 이 고분자를 목재에 적층한 복합체의 진동흡수성능 미치는 고분자 층의 점탄성의 영향을 상세하게 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 2.1 PVC의 가소화와 시료의 작성

본 실험에 사용한 PVC(polyvinylchloride)는 평균증합도 720이다. 가소제로서는 디옥틸프탈레이트(bis(2-ethylhexyl)phthalate, 이하 DOP)를 사용하였으며, 열안정제로서 dibutyltin-malate를 사용하였다. PVC와 DOP를 각종의 비율로 테트라하이드로후란에 용해하여 균일한 용액을 만든 후, 용액을 유리판 위에 캐스팅하였다. 상온에서 24시간 건조한 다음, 120°C에서 충분히 건조하여 용매를 완전히 제거하여 얻어진 필름을 180°C에서 일정 두께가 되도록 열압하여 샘플로서 사용하였다.

목재로서는 자작나무의 정목판을 사용하였다. 양단지지 휨 강제진동법에 사용한 샘플은 두께 2mm의 목재사이에 0.2mm의 가소화PVC를 적층한 샌드위치구조이다. 목재의 표면을 고분자로 피복한 2층구조의 경우는 목재두께를 2mm, 고분자의 두께를 0.5mm로 하였다. 모든 샘플은 길이 50mm, 폭 10mm이다. 양단자유 휨 진동법에는 두께 1mm의 목재 사이에 0.1mm의 고분자를 적층한 길이 300mm의 샘플을 사용하여 공진 주파수가 상기의 양단지지 진동법에 사용한 주파수인 110Hz에 근접하도록 하였다.

### 2.2 동적점탄성 및 진동흡수계수의 측정

가소화 PVC의 동적점탄성은 Rheovibron DDV-II(일본 동양볼드원사)를 사용하여 주파수 110Hz, 승온속도 1°C/min의 조건에서 강제인장진동을 가하여 -100~180°C의 온도 범위에서 측정하였다. 복합체의 진동흡수계수는 Vibron DDV-III를 개조하여 양단지지 중심하중에 의한 비공진 강제 휨 진동법(이하 양단지지 휨 진동법)을 사용하여 상기와 동일한 조건으로 측정하였다(Fig.2). 이때 고분자 및 복합체의 진동흡수계수는 진동변위와 응력의 위상차로부터 구해진다. 복합체의 복소탄성률( $E^*$ ), 저장탄성률( $E'$ ) 및 손실탄성률( $E''$ )은 진동하중과 진동변위로부터 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$E = \frac{PL^3}{48Id} = \frac{PL^3}{4ab^3d} \text{ dyne/cm}^2$$

단, Rheovibron DDV-III의 경우

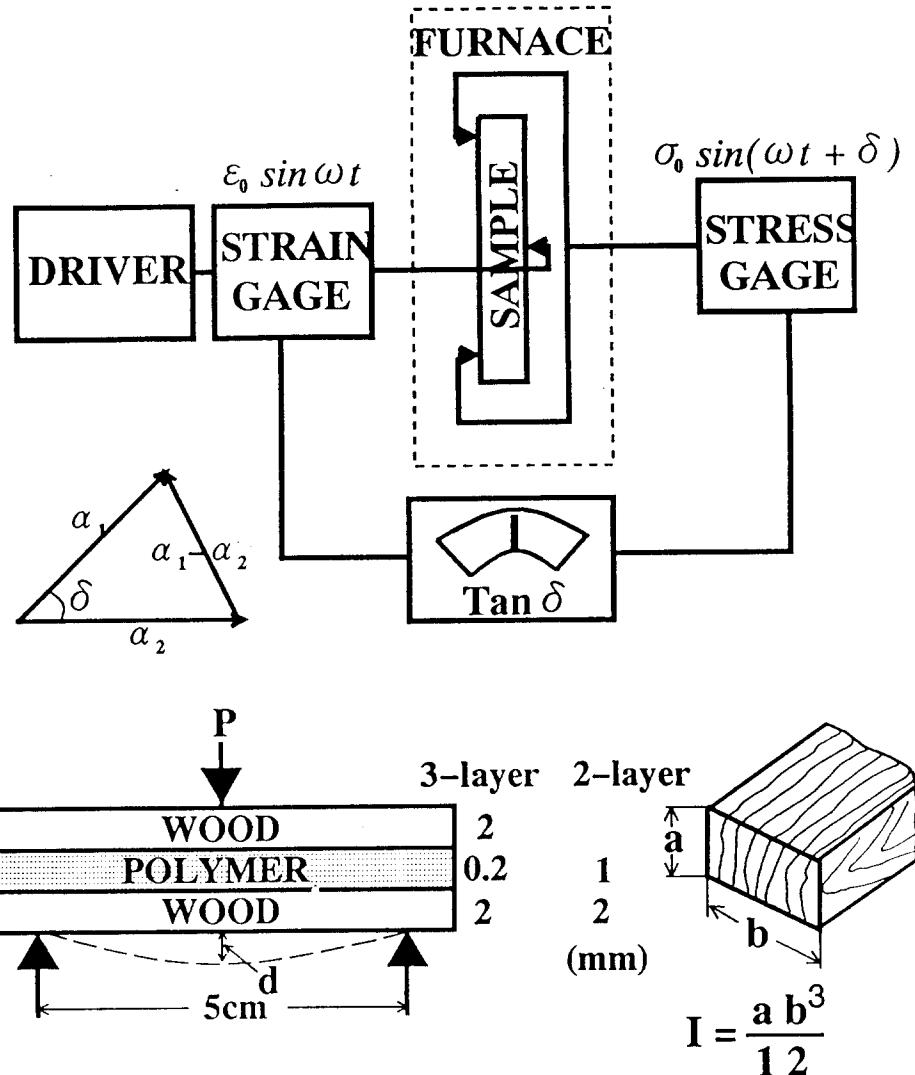
$$\begin{aligned} \text{진동하중 } P &= N/D \times 10^9 \text{ dyne} \\ \text{진동변위 } d &= 8 \times A \times N \times 10^{-3} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$E^* = \frac{1}{8} \times \frac{L^3}{4ab^3} \times \frac{1}{A \times D} \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$$

$$E' = |E^*| \cos \delta$$

$$E'' = |E^*| \sin \delta$$

여기서 L은 시료의 길이, a와 b는 각각 시료의 두께와 폭, A와 D는 기계적으로 정해진 앰풀리ਊ트팩터와 다이나믹워스 디알의 값이다.



**Fig. 2.** Schematic representation of Rheovibron DDV-III dynamic bending tester and dimensions of specimen

Legend: p: Vibrational strain, d: Vibrational displacement

또한 공진법의 하나인 양단 자유 흔 진동법을 사용하여 진폭의 감쇠비로부터 대수감쇠율 ( $\Delta c$ )을 구하여, 양단지지 흔 진동법으로 구한 진동흡수계수와 비교하였다.

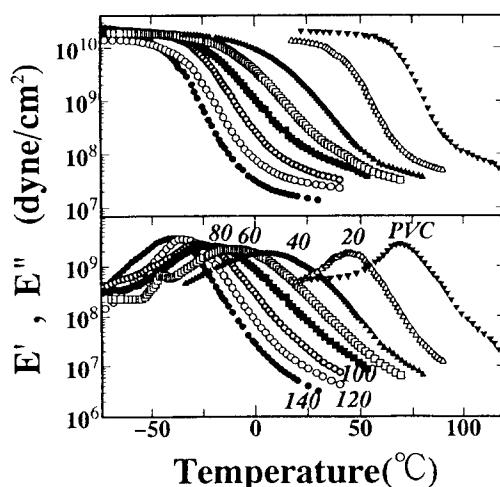
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가소화 PVC의 동적접탄성

고분자 레올로지적 관점에서 보면 가소화는 가소제 분자의 침입에 의하여 고분자의 유리전

이온도가 저온측으로 이동하는 것이다. 가소화의 분자적 메카니즘은 고분자사이의 결합력을 약하게 하는 것이다. PVC의 경우 극성의 Cl원자를 매개로 고분자사이에 강한 상호작용이 존재하며 이 결합을 약화시키기 위하여 가소제는 적당한 극성을 지녀야 한다. 또한 분자량이 작을 경우는 확산속도가 크기 때문에 접촉하는 다른 물질로 이동하기 쉽고, 증발할 우려가 있으므로 적당한 분자량을 지닐 필요가 있다. 가소제의 작용 메카니즘은 여러 가지 형태가 있으나 기본적으로는 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 고분자의 극성기와 가소제 분자 사이에 분자간 화합물이 생겨 고분자쇄 사이의 결합을 느슨하게 하는 경우이며, 둘째는 가소제 분자가 단순히 고분자쇄 사이에 불규칙하게 침입하여 있는 경우이다. 본 실험에 사용한 DOP의 경우는 양자의 중간정도라 할 수 있다.

Fig. 3에 PVC/DOP 혼합계의 동적접탄성의 온도의존성을 나타낸다. 70°C부근에 손실탄성률( $E''$ )의 피크를 나타내는 상온에서 유리상태인 PVC는 가소제인 DOP의 첨가량이 증가함에 따라 분자간의 응집력이 감소하여 분자쇄가 움직이기 쉬워지기 때문에  $E''_{\max}$ 의 온도(이하  $T(E''_{\max})$ )는 저온 측으로 이동하여 DOP함량 140 phr에서는  $E''_{\max}$ 를 나타내었다. 유리전이

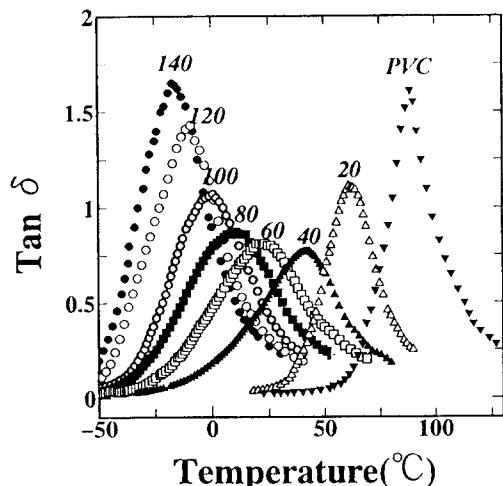


**Fig. 3.**  $E'$  and  $E''$  vs. temperatures for PVC-DOP system  
Note : Numbers are DOP contents(phr)

온도 폭은 DOP의 첨가량이 증가함에 따라 증가하여 DOP함량 60-80phr에서 가장 넓어졌으며, 이 이상으로 되면 다시 좁아졌다. 저장 탄성률( $E'$ ) 곡선도 DOP첨가량이 증가함에 따라 변화되어 DOP함량 60-80phr에서 가장 브로드한 곡선을 나타내었다. 또한 DOP첨가량이 증가함에 따라 고무평탄부의 저장탄성률이 낮아졌다.

Fig. 4에 가소화 PVC의 진동흡수계수( $\tan \delta$ )의 온도의존성을 나타내었다. 순수한 PVC는 90°C에서  $\tan \delta$ 의 최대값을 나타내었지만, DOP의 첨가량이 증가함에 따라  $\tan \delta_{\max}$ 의 온도(이하  $T(\tan \delta_{\max})$ )는 저온 측으로 이동하여 DOP함량 140phr에서는 -20°C에서  $T(\tan \delta_{\max})$ 를 나타내었다.  $E''$ 곡선과 마찬가지로  $\tan \delta$ 곡선의 온도 폭도 DOP의 첨가량이 증가함에 따라 증가하여 60phr일 때 가장 넓어졌으며, 이후에는 좁아졌다.

가소화 PVC의 20°C에서의  $E'$ ,  $E''$ ,  $\tan \delta$ 의 DOP첨가량 의존성을 Fig. 5에 나타내었다. PVC는 20°C에서 단단한 유리상태이지만, DOP의 첨가량이 증가함에 따라 PVC의 분자간의 결합이 느슨해져 DOP 60-80phr에서는 가죽상태로 되며, 그 이상에서는 탄성률  $10^7$ dyne/cm<sup>2</sup>정도의 고무상으로 되었다. 또한 DOP가



**Fig. 4.**  $\tan \delta$  at 110Hz vs. temperatures for PVC-DOP system  
Note : Numbers are DOP contents(phr)

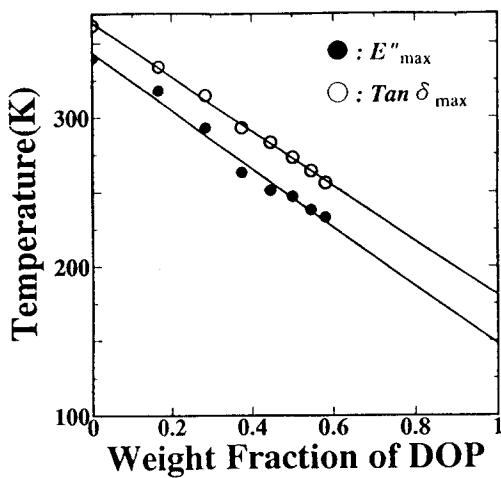


Fig. 5. Plots of  $T(E''_{\max})$  and  $T(\tan \delta_{\max})$  at 110Hz vs. plasticizer fractions for PVC-DOP system

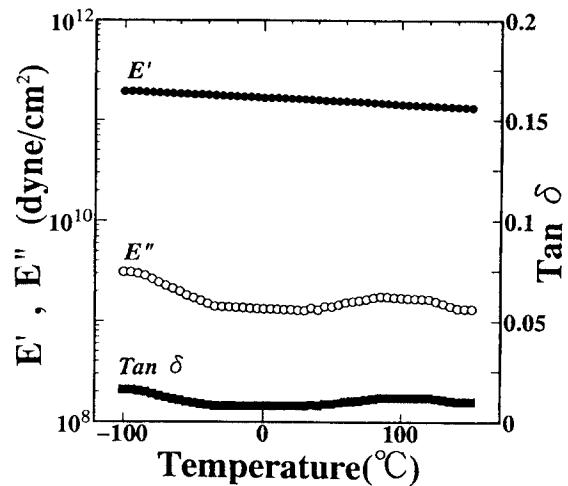


Fig. 7.  $E'$ ,  $E''$  and  $\tan \delta$  vs. temperatures for wood

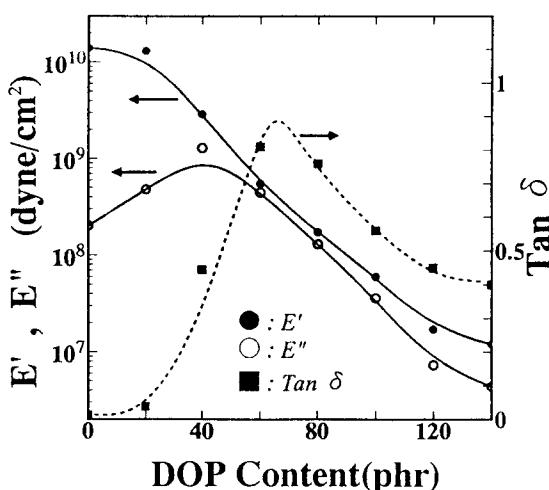


Fig. 6.  $E'$ ,  $E''$  and  $\tan \delta$  at 20°C vs. plasticizer contents for PVC-DOP system(110Hz)

40 phr일 때  $E''$ 가 최대값을, DOP 60~80 phr 사이에서  $\tan \delta$ 가 최대값을 나타내었다.

Fig. 6에  $T(E''_{\max})$ 와  $T(\tan \delta_{\max})$ 를 DOP 중량분률의 함수로서 나타내었다.  $T(E''_{\max})$ 와  $T(\tan \delta_{\max})$ 는 DOP의 중량분률이 증가함에 따라 거의 직선적으로 저하되었다. 이와 같이  $T(E''_{\max})$  및  $T(\tan \delta_{\max})$ 가 DOP의 중량분률에

따라 거의 직선적으로 저하되는 일, 또한  $E''$ 와  $\tan \delta$ 의 피크가 하나인 것은 PVC와 DOP가 거의 완전상용성임을 시사한다.

이와 같이 PVC에 첨가하는 DOP의 양을 조절하는 것에 의하여 탄성률을 유리상에서 고무상으로까지 변화시킬 수 있으며, 상온에서  $T(E''_{\max})$  또는  $T(\tan \delta_{\max})$  및 브로드한 완화곡선을 지니는 고분자재료로 조제할 수 있어, 진동흡수재료로서 다양하게 활용될 가능성이 있다.

### 3.2 샌드위치구조 복합체의 진동흡수특성

다음으로 목재사이에 고분자를 적층한 샌드위치구조 복합체의 진동흡수성능에 미치는 고분자의 점탄성의 영향을 조사하였다. 우선 목재의 휨 진동법에 의한 동적점탄성을 Fig. 7에 나타내었다. 목재의 휨 저장탄성률  $E'$ 는 측정 온도범위 -100~150°C 범위에서는 온도에 의한 변화가 거의 없고 -100°C에서  $2 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>이었으며, 온도가 증가함에 따라 약간씩 저하하여 150°C에서는  $1.5 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>로 되었다.  $\tan \delta$ 는 0.008전후로 -100°C 및 100°C부근에서 약간 높은 값을 나타내었지만 온도에 따른 변화가 거의 없이 일정하였다. 그러나 온도 변화에 따른 고분자의 점탄성의 변화와 비교할 때 목재의 점탄성은 일정하다고 보아도 지장이 없다.

목재의  $E'$ ,  $E''$  및  $T(E''_{\max})$  및  $\tan \delta$ 가 거의 일정한데 비해, 고분자를 적층한 복합체는 온도에 따라 일정한 완화매카니즘을 지니게 된다. Fig. 8에 가소화 PVC를 적층한 샌드위치 구조 복합체의 동적 점탄성의 온도의존성 및 조성의존성을 나타내었다. 목재의 경우 저장탄성률이  $2 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup> 정도로 거의 일정한데 비해 복합체는 고분자의 유리전이영역에서 온도의 증가에 따라 탄성률이 저하되었다. 복합체의 손실탄성을  $E''_c$ 도 일정 온도에서 피크를 나타내었으며, 고분자와 마찬가지로 DOP의 함량이 증가함에 따라  $E''_c$ 의 피크가 저온 측으로 이동하였다. 또한  $E''_c$ 의 온도폭도 DOP 60-80 phr일 때 가장 넓어졌다.

Fig. 9에 복합체의 진동흡수계수( $\tan \delta$ )의 온도의존성 및 DOP함량의존성을 나타내었다. 목재의 경우 측정온도범위 -100~150°C에서 0.008전후의 거의 일정한  $\tan \delta$  값을 나타내는 것은 전술한 바와 같다. 고분자를 적층한 복합체는 휨 진동이 가해지면 고분자 층의 전단변형에 따른 분자쇄의 완화운동에 의해 진동에너지를 열에너지로 변환하는 진동흡수가 일어난다. 즉 고분자의 유리전이 온도역에서 진동흡수계수  $\tan \delta_c$ 가 커지며, 하나의 피크를 나타내었다. 복합체의  $\tan \delta_c$ 는 고분자의  $\tan \delta$ 와 상관성을 나타내  $\tan \delta$ 와 유사한 곡선을 나타내었다.

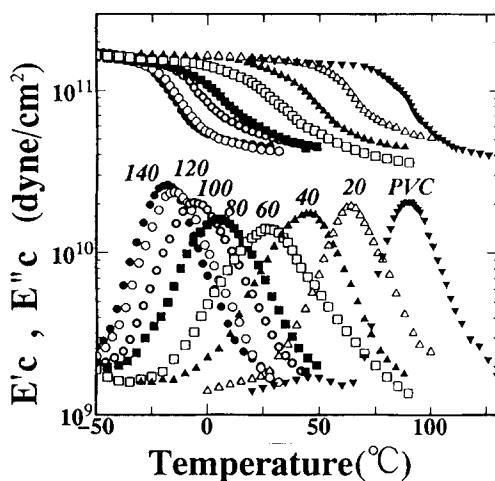


Fig. 8.  $E'_c$  and  $E''_c$  vs. temperatures for Wood/PVC-DOP/Wood sandwich composites

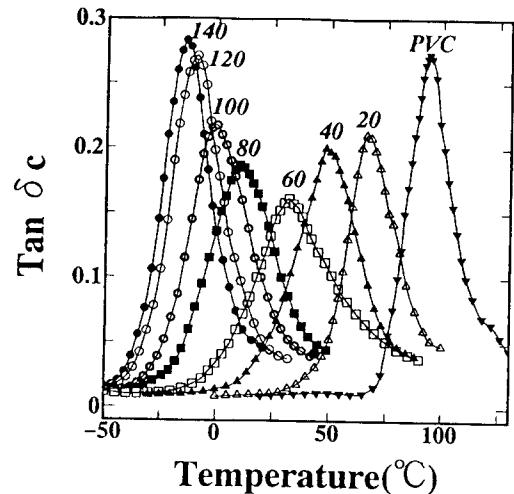


Fig. 9.  $\tan \delta$  at 110Hz vs. temperatures for Wood/PVC-DOP/Wood sandwich composites  
Note : Numbers are DOP contents(phr)

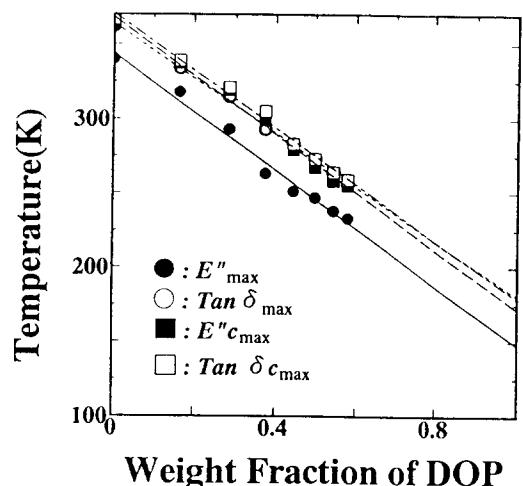


Fig. 10. Plots of  $T(E'_{\max}, E''_{c\max})$  and  $T(\tan \delta_{\max}, \tan \delta_{c\max})$  at 110Hz vs. plasticizer fractions for PVC-DOP system and PVC-DOP/Wood sandwich composites

Fig. 10에 고분자의  $T(\tan \delta_{\max})$  및  $T(E''_{\max})$ , 복합체의  $T(\tan \delta_{c\max})$  및  $T(E''_{c\max})$ 의 DOP중량분률의 존성을 나타내었다. 모두 DOP의 중량

분률이 높아짐에 따라 직선적으로 저하하였다.  $T(\tan \delta_{c\max})$ 는 고분자의  $T(\tan \delta_{\max})$ 와 거의 일치하였으며, 또한 복합체의 및  $T(E''_{c\max})$ 도 고분자의  $T(\tan \delta_{\max})$ 와 거의 일치하였다. 위의 결과는 고분자의 전단변형에 의해 에너지흡수가 발생하는 복합계에서는 고분자의  $\tan \delta$ 가 가장 중요한 역할을 한다고 지적한 Ungar 및 Kerwin 등의 이론과 일치한다<sup>5,6)</sup>.

$\tan \delta$ 의 최대값  $\tan \delta_{\max}$ 와  $\tan \delta_c$ 의 최대값  $\tan \delta_{c\max}$ 의 DOP중량분률의존성을 Fig. 11에 나타내었다. 전술한 바와 같이 고분자의  $\tan \delta_{\max}$ 은 DOP의 첨가량이 증가함에 따라 저하되어 DOP40phr전후에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, 그 이상이 되면 다시 높아졌다. 복합체의  $\tan \delta_{c\max}$ 의 값은 DOP60phr에서 가장 낮은 값을 나타냈지만  $\tan \delta_{\max}$ 의 곡선과 거의 유사한 곡선을 나타내었다. 그러나 최대값은 낮아지지만  $\tan \delta$ 와  $\tan \delta_c$ 의 온도폭( $\tan \delta$  또는  $\tan \delta_c$  곡선의 반가폭)은 DOP60phr에서 가장 넓어져,  $\tan \delta$ 와  $\tan \delta_c$  곡선의 최대값과 온도폭은 반비례관계를 나타내었다(table 1).

전체적으로  $\tan \delta_c$ 의 값은 목재:고분자의 두께비가 20:1임에도 불구하고 고분자의  $\tan \delta$  값의 1/5~1/6까지 높아졌으며, 목재의  $\tan \delta$  값이 0.008인 것에 비해 복합체의  $\tan \delta_c$ 의 최대값은 0.2~0.3정도로 최대 30~40배정도 높아짐을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 고분자 적층복합체는 목재보다 상당히 높은 진동흡수능력을 지니게 됨을 알 수 있었으며, 고분자의  $\tan \delta$ 와 상관성이 있음을 알 수 있었다.

Table 1. Half-peak width of damping curve for PVC-DOP system and Wood/PVC-DOP/Wood sandwich system

DOP content(phr)	Half-peak width(°C)*	
	PVC-DOP	Wood/PVC-DOP
0	26	22
20	29	26
40	43	32
60	50	40
80	48	35
100	42	31
120	39	27
140	37	26

\* Width of  $\tan \delta$  and  $\tan \delta_c$  peak at half-height

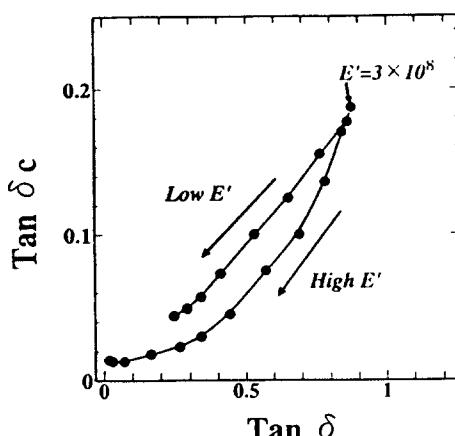


Fig. 11. The maximal values of  $\tan \delta$  and  $\tan \delta_c$  vs. DOP contents

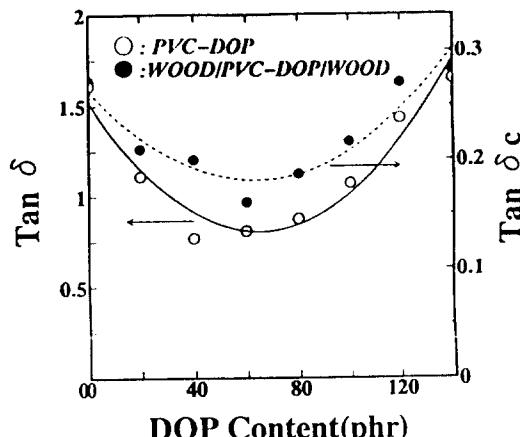


Fig. 12. Plots of  $\tan \delta_c$  vs.  $\tan \delta$  for PVC-DOP 80phr system

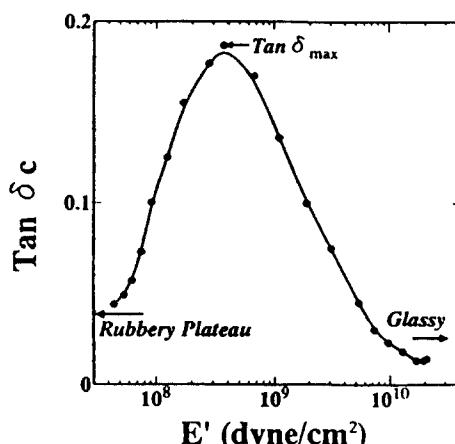


Fig. 13. Plots of  $\tan \delta_c$  vs.  $E'$  for PVC-DOP 80phr system

다음으로 고분자의  $\tan\delta$ 가 복합체의  $\tan\delta_c$ 에 미치는 영향을 더욱 구체적으로 알아보기 위하여 PVC/DOP80계를 사용한 경우의  $\tan\delta_c$ 를  $\tan\delta$ 에 대하여 플로트하였다. Fig. 12에 나타낸 바와 같이  $\tan\delta$  값이 높아짐에 따라  $\tan\delta_c$ 의 값은 높아지지만,  $\tan\delta_{max}$ (이때의 저장탄성을  $E' = 3 \times 10^8 \text{ dyne/cm}^2$ )를 경계로 하여 2개의 곡선으로 나뉘어졌다. 밑의 곡선이 고분자의  $E'$ 가  $3 \times 10^8 \text{ dyne/cm}^2$ 보다 높을 경우이며, 위의 곡선이 낮을 경우이다. 이것은 고분자 적층 복합체의 진동흡수에는 고분자의  $\tan\delta$  이외에 다른 인자가 관여하고 있는 것을 시사하고 있다.

복합체의 진동흡수에 영향을 미치는 다른 하나의 인자로서 고분자의 탄성을 생각할 수 있다. Fig. 13에  $\tan\delta_c$ 의  $E'$ 의존성을 나타내었다.  $\tan\delta_c$ 는  $E'$ 에 따라 변하며, PVC-DOP80계를 사용한 경우  $E'$ 가  $3 \times 10^8 \text{ dyne/cm}^2$ 일 때 최대값을 나타내었다. 이 이외의 모든 계에 있어서도 고분자의  $E'$ 가  $3 \times 10^8 \text{ dyne/cm}^2$  전후에서  $\tan\delta_c$ 가 최대값을 나타내었다. 이 결과는 목재에 진동흡수성능을 부여하기 위해서 사용하는 고분자는  $E'$ 가  $3 \times 10^8 \text{ dyne/cm}^2$  전후에서  $\tan\delta$ 가 큰 값을 지니는 것이 바람직한 것을 의미하며, 앞으로 상세한 검토가 요구된다.

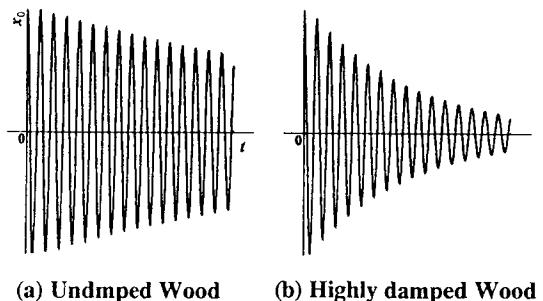
### 3.3 양단자유 휨 진동법에 의한 대수감쇠률( $\Delta c$ )과 $\tan\delta_c$ 와의 비교

시료의 기준진동 위치를 가는 실로 지지하고 공진주파수로 진동을 가한 후 진동파를 마이크로폰으로 취해 기록하면 Fig. 14에 나타내는 바와 같은 감쇠곡선이 얻어진다. 이 감쇠곡선으로부터 복합체의 대수감쇠률( $\Delta c$ )을 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\Delta c = \ln \frac{XN}{XN+1} = \frac{1}{K} \ln \frac{XN}{XN+K} \approx \pi \tan\delta_c$$

여기서  $XN$ ,  $XN+1$ ,  $XN+K$ 은 각각 N번째,  $N+1$ 번째, N부터 K번째의 진동진폭을 의미한다.

Fig. 15에 양단자유 휨 진동법을 사용하여 감쇠진동의 진폭비로부터 구한 대수감쇠률의 DOP함량의존성을 나타내었다. 이것은 20°C에서 측정한 결과로서, 공진주파수는 100~120Hz



(a) Undamped Wood      (b) Highly damped Wood

Fig. 14. Time variations of displacements of undamped woods and greatly damped wood

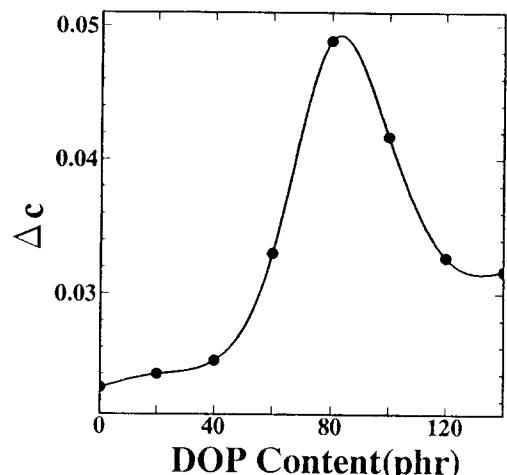


Fig. 15. Logarithmic decrements( $\Delta c$ ) at 20°C vs. DOP contents for Wood/PVC-DOP/Wood sandwich composites by free-free flexural vibration method(110-120Hz)

로 양단자유 휨 진동법에 적용한 주파수 110Hz과 거의 동일하다. 대수감쇠률  $\Delta c$ 의 곡선은  $\tan\delta_c$  곡선과 마찬가지로 DOP80phr에서 최대값을 나타내었으며, 샘플의 크기 및 폴리머층의 두께가 달라 절대값의 차이는 있으나 거의 유사한 형태를 나타내었다.

### 3.4 피복체와의 비교

고분자를 진동흡수재료로 이용하는 방법으로

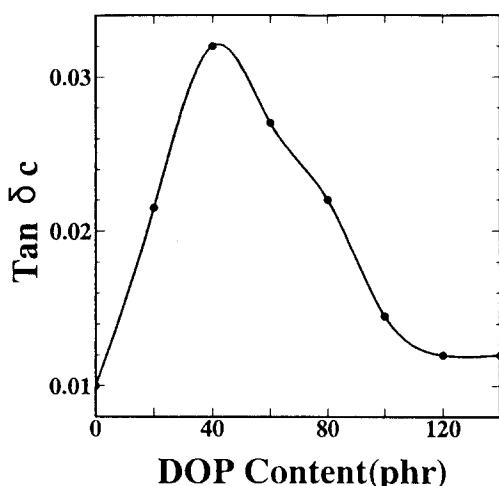


Fig. 16.  $\tan \delta_c$  at 20°C vs. DOP contents for Wood/PVC-DOP two-layer composites

서는 탄성체의 중간에 고분자를 끼우는 방법(샌드위치구조)과 탄성체의 표면을 피복하는 방법이 있다. 샌드위치구조복합체의 진동흡수는 고분자층의 전단변형에 의해 에너지흡수가 일어나며, 고분자의  $\tan \delta$ 가 가장 중요한 인자인 것은 전술한 바와 같다. 이 결과와 비교하기 위하여 목재의 표면을 피복한 재료의 진동흡수계수를 측정하였다. Fig. 16에 피복체의  $\tan \delta_c$ 에 미치는 DOP첨가량의존성을 나타내었다. 측정온도는 20°C이며 이외의 조건은 샌드위치 적층재의 경우와 동일하다. 샌드위치재의 경우 DOP함량 80phr에서  $\tan \delta_c$ 의 최대값을 나타내었지만, 피복체의 경우는 DOP40phr에서 최대값을 나타내었다. PVC-DOP40계는 20°C에서 손실탄성을 E''가 최대값을 나타내는 것이다.  $\tan \delta_c$ 의 값은 목재:고분자의 두께비가 2:0.5로서 샌드위치복합체보다 2.5배가 두꺼움에도 불구하고, 샌드위치복합체의 경우 최대값이 0.2~0.3인 것에 비해 피복체의 0.03정도로 한자리수정도 낮은 값을 나타내었다.

이상의 결과로부터 고분자층의 전단변형에 의해 진동흡수가 일어나는 샌드위치 복합체의 진동흡수는 고분자의  $\tan \delta$ 에 의존하며, 고분자의 신축진동에 의해 진동흡수가 발생하는 피복체의 경우는 고분자의 손실탄성을 E''에 의

존하는 것을 알 수 있다. 또한 샌드위치복합체가 피복체보다 훨씬 높은 진동흡수성능을 지니게 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 Kerwin 및 Ungar 등의 이론과 일치한다<sup>5,6)</sup>.

## 결 롬

고분자의 동력학적 성질을 잘 활용하여 진동흡수성이 큰 재료를 적당한 방법으로 목재와 적층하면 목재의 장점을 살리면서 더욱 높은 진동흡수를 지니는 기능성 목질재료의 조제가 가능하다. 이를 위해서는 사용환경에 적합한 점탄성 거동을 나타내는 고분자재료의 제조가 필요하다.

본 실험에서는 범용 고분자인 PVC를 DOP로 가소화하는 것에 의해 다양한 점탄성을 지니는 고분자재료를 조제하여 진동흡수재료로서의 활용을 꾀하였으며, 이 고분자를 적층한 복합체의 진동흡수성능에 미치는 고분자의 점탄성의 영향을 휨 진동법으로 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① PVC를 DOP로 가소화하면 다양한 동력학적 성질을 지니는 고분자재료를 조제할 수 있다. 특히 DOP60~80phr 사이의 조성에서는 상온에서  $\tan \delta$ 의 최대값을 지니며 넓은 온도 범위에서 비교적 높은  $\tan \delta$ 값을 나타내 진동흡수재료로서의 이용에 적합하다.

② 휨 진동에 의한 목재의 진동흡수계수 및 동적 탄성률은 -100~150°C의 온도범위에서 고분자재료에 비교할 때 온도의존성은 거의 없고 일정한 값을 나타내었다.

③ 샌드위치구조 복합체의 진동흡수계수( $\tan \delta_c$ )는 고분자의  $\tan \delta$ 가 클수록 커졌으며, 높이, 온도폭, 최대값 온도도  $\tan \delta_c$ 에 의존하였다.

④ 양단자유 진동법으로 측정한 대수감쇠률( $\Delta c$ )은 양단자지 진동법으로 측정한  $\tan \delta_c$ 와 절대치의 차이는 있으나 유사한 형태의 곡선을 나타내었다.

⑤ 고분자의 신축진동에 의하여 진동흡수가 일어나는 피복체의 진동흡수계수는 고분자의 손실탄성을 E''에 의존하여 E''가 클수록 증가하였다. 그러나 피복체의 진동흡수계수는 샌드위치구조 복합체에 비하여 훨씬 작았다.

### 인용문헌

1. 水町 浩. 1969. 吸音材としてのポリマー-ブレンドの研究. 日本接着協会誌 5(6):370-374.
2. Oberst, H. 1952. Über die dampfung der biegschwingungen dunner bleche durch fest haftende bledge I. *Acustica* 2, *Beiheft* 4:181-194.
3. Mizumachi, H. 1970. Study of Polymer Blends as a Vibration Damper. *J. Adhesion*. 2:292-298.
4. Grates, J.A., D.A. Thomas., E.C. Hickey and L.H. Sperling. 1975. Noise and vibration damping with latex interpenetrating polymer networks. *J. Appl. Polym. Sci.* 19:1731-1743.
5. Kerwin, Jr. E.M. 1959. Damping of Flexural Waves by a Constrained Viscoelastic Layer. *J. Acoust. Soc. Am.* 31(7):952-962.
6. Beranek, L. and I.L. ver. 1992. Noise and vibration control engineering. John Wiley & Son. 451-481pp.
7. Mizumachi, H. and Y. Ogata. 1976. Preparation of polymers showing a broad viscoelastic absorption peak. *J. Adhesion Soc. Japan*. 12(1): 2-5.
8. Hourston. D.J. and I.D. Hughes. 1977. Polymeric system for acoustic damping. *J. Appl. Polym. Sci.* 21 : 3093-3103.
9. Oberst, H., L. Bohn, and F. Linhardt. 1961. Über die Temperatur-abhangigkeit Schwinggungs-dampfender Kunststoffe. *Acustica* 2 : 255-264.
10. Wetton, R.E. and W.H. Tuminello. 1975. Temperature-independent relaxation in a lamellar block copolymer. *Nature*. 244 : 123-125.