

진동·충격음 흡수성 목질계 복합재료의 개발

- 폭 넓은 감쇠곡선을 나타내는 고분자의 합성 -

이 현 중²

Development of Vibration and Impact Noise Damping Wood-Based Composites

-Synthesis of the Polymer Showing a Broad Damping Peak

Hyun-Jong Lee^{*2}

ABSTRACT

Polymeric materials that are used for noise and vibration damper in wood/polymer/wood sandwich composites, must have a high loss factor($\tan \delta$), and at the same time the storage modulus(E') of 5×10^7 to 10^9 dyne/cm² must withstand over a wide temperature and frequency ranges. In this study, the series of epoxy resin/polyacrylate interpenetrating polymer networks(IPNs) were synthesized by simultaneous polymerization. Their dynamic tensile properties were measured at 110Hz using Rheovibron instrument. Composite damping factor($\tan \delta_c$) and dynamic bending modulus(E'_c , E''_c) of wood/polymer/wood sandwich composites were measured at 110Hz using a Rheovibron in bending mode of vibration. These dynamic tensile studies indicated that cured epoxy resin/polyacrylates IPNs were semicompatible in the sense that both the shifting of $T(E''_{max})$ or $T(\tan \delta_{max})$ and the broadening of glass transition temperature range were observed. Especially, the cured Epikote871/P(n-BMA) IPNs of composition 70/30 to 50/50 showed a relatively high $\tan \delta$ and appropriate E' value over a wide temperature range; consequently the $\tan \delta_c$ curves of wood/IPNs/wood sandwich composites was broadened over a wide temperature range.

Keywords; noise and vibration damper, loss factor, interpenetrating polymer networks dynamic tensile properties, wood/polymer/wood sandwich composites, composite damping factor($\tan \delta_c$)

- 요약 -

진동·충격음 흡수성능을 지니는 샌드위치구조 목질 복합재료 제조용 폴리머는 넓은 온도범위(또는 주파수 범위)에서 높은 손실계수를 지니면서, 동시에 $5 \times 10^7 \sim 10^9$ dyne/cm²의 탄성율을 지녀야 한다. 본실험에서는 이러한 점탄성 거동을 나타내는 고분자재료의 제조를 목적으로 에폭시 수지/아크릴 수지 상호침투망목고분자(IPNs)를 동시망목형성법

*1 접수 1999년 4월 30일, Received April. 30, 1999.

*2 강원대학교 산림과학대학 임산공학과 Department of Wood Science and Technology, College of Forest Sciences, Kangwon National University Chuncheon 200-701, Korea

으로 합성하였다. 고분자의 동적 점탄성은 Rheovibron을 사용하여 110Hz에서 측정하였으며, 복합체의 손실계수 및 동탄성 계수는 Rheovibron을 개조한 양단지지 강제 힘 진동법으로 주파수 110Hz에서 측정하였다. 동력학적 측정 결과, 손실탄성율의 최대값 온도 및 손실계수의 최대값 온도가 이동하고, 유리전이 영역이 확대되어, 이 IPNs계는 부분 상용계임을 알 수 있었다. 특히, 70/30 및 50/50 조성의 Epikote871/P(n-BMA) IPNs는 넓은 온도 범위에서 비교적 높은 손실계수 및 적당한 탄성율을 나타냈다. 또한 이를 적용한 목질 복합체는 넓은 온도 범위에서 비교적 높은 진동 흡수 계수를 나타냈다.

1. 서 론

예로부터 소음문제는 사회적 공해문제로서 중요한 과제가 되고 있다. 최근에는 쾌적한 생활공간에 대한 요구가 높아져 목질마루가 집합주택(아파트, 연립주택 등)에 보급되기 시작됨에 따라 바닥충격음이 새로운 사회적 문제로 대두되고 있다.

목재는 내부손실이 비교적 작고, 진동의 감쇠가 곤란한 재료이기 때문에 충격음 발생의 원인이 되고 있다. 한편, 고분자 재료는 일정 온도영역 특히, 유리전이역에 있어서 분자쇄의 완화운동에 의해 가해지는 충격 또는 진동에너지를 열에너지로 전환시킬 수 있고, 이것에 의하여 충격음과 진동을 감쇠시킬 수 있다. 일반적으로 무정형 고분자의 감쇠계수의 최대치는 목재보다 약 100배 정도 높은 값을 나타낸다. 따라서 감쇠가 큰 고분자재료와 목재를 잘 조합하면 목재의 장점을 살리면서 목재보다 높은 진동감쇠능을 갖는 기능성 목질복합재료를 제조하는 것이 가능하다. 이러한 고분자재료 또는 복합재료를 진동(또는 충격)에 의해 소음이 발생하는 곳에 이용하면 충격에 의해 발생하는 소음문제는 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

필자 등은 지금까지 고분자와 목재를 조합하여 진동·충격음 흡수성능을 지니는 기능성 목질복합재료의 제조를 목적으로 하여 고분자의 화학조성 또는 점탄성이 샌드위치구조복합체의 진동흡수성능에 미치는 영향을 상세히 검토하여, 고분자의 동적저장탄성율(E')가 대략 $5 \times 10^7 \sim 10^9$ dyne/cm²의 범위에 있으면서 손실계수(tan δ)가 클수록 복합체의 진동흡수 계수가 커진다는 사실을 규명한 바 있다(李, 1994, 1995).

이와 같은 점탄성을 지니는 고분자를 적용한 목질 복합재료는 목재보다 높은 진동흡수성능을 지니게 된다. 그러나 사용온도 및 가청주파수(대략 20 - 20000Hz)를 고려할 경우 진동흡수재료로서 사용하는

고분자는 다소 넓은 온도범위에서 일정한 탄성율과 높은 손실계수를 지녀야 한다. 예를 들어 사용온도가 0~40℃일 경우, 주파수 한자리당 고분자의 동적점탄성의 온도의존성은 약 7℃의 변화가 있으므로 가청 주파수 범위를 대략 온도로 환산하면 약 20℃에 해당되어 상온을 중심으로 최소한 60℃의 온도범위에서 이와 같은 성질을 지녀야 한다. 그러나 호모폴리머, 코폴리머, 완전상용성 폴리머브랜드, 비상용성 폴리머브랜드 등의 경우, 유리전이온도역은 좁고, 온도폭은 20~30℃ 정도이며, 따라서 이와 같은 고분자재료는 한정된 온도범위(또는 주파수범위)에서만 진동 흡수성능을 발휘한다.

고분자의 진동흡수온도폭을 넓힐 수 있는 방법으로서 그라프트화법(Oberst, 1952), 블록鎖長이 다른 일련의 멀티블록화고분자 또는 별모양의 블록고분자의 합성(wetton, 1975), 부분 상용성의 고분자 브랜드(水町, 1969; Wong, 1983), IPNs(Interpenetrating Polymer Networks, Grates, 1975; Hourston, 1977; Spering, 1981) 등이 보고되고 있다. 특히 IPN은 원래 비상용성의 고분자브랜드에 강제적으로 어느 정도의 상용성을 부여할 수 있으므로 폭 넓은 진동흡수재료의 분자설계에 적합하다.

필자 등도 PVC의 가소화, EVA와 점착부여제의 브랜드, 에폭시수지 브랜드, 코폴리머/코폴리머 IPN 화 등에 의하여 상온을 중심으로 어느 정도 넓은 온도범위에서 비교적 높은 진동흡수성능을 갖는 고분자재료를 제조할 수 있었으며, 이러한 고분자재료를 적용한 복합체의 진동흡수의 온도폭도 넓어지는 것을 확인하였다(李, 1994, 1995).

단적으로 말하면 Fig.1에 나타내는 바와 같이 A와 B의 점탄성을 나타내는 고분자를 조합하여 C와 같은 상용상태와 마이크로상분리상태의 중간적인 점탄성을 나타내는 고분자재료를 제조하여 이것을 진동 흡수재료로서 이용하고자 하는 것이다.

본 실험에서는 0℃부근에 손실계수의 피크를 나타

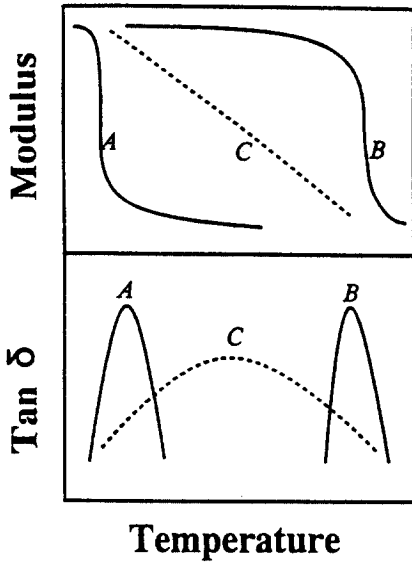


Fig. 1. Schematic representation of dynamic mechanical properties for blends exhibiting partial miscibility.

내는 에폭시수지와 75°C 부근에서 손실계수의 피크를 나타내는 폴리악릴레이트를 IPN화법을 개량한 동시망목형성법에 의한 IPN화(이것을 SIN; Simultaneous Interpenetrating Polymer Networks라 한다.)하는 방법을 사용하여 상온을 중심으로 넓은 온도범위에 걸쳐 비교적 높은 감쇠계수를 나타내는 고분자재료의 합성을 시도하였다. 또한 목재와 적층한 샌드위치적층체의 진동흡수성능을 양단지지 비공진 강제휨진동법을 사용하여 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 고분자의 합성 및 필름 조제

고무 성분으로서 0°C(측정주파수 110Hz) 부근에 손실계수(tan δ)의 최대치를 나타내는 에폭시수지 Epikote871(에폭시 당량 390-470, (주)일본유화셀에폭시 제공, 이하 E871)을, 플라스틱 성분으로서 70°C 부근에서 tan δ의 피크를 나타내는 폴리메타크릴산노르말부틸(poly n-butyl methacrylate, 이하 P(n-BMA))를 사용하였다. 광중합개시제로서는 Benzoin을 사용하였으며, E871의 가교제로서 triethylenetetramine(이하 TETA)를, n-BMA의 가교제로

서 Diethyleneglycoldimacrylate(이하 DEGDM)을 사용하였다.

합성은 우선 E871에 당량의 TETA를 혼합하여 20°C에 5시간 정도 반응시킨 후, E871/n-BMA의 비율이 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100이 되도록 혼합하고, 0.5%의 광중합개시제, 1%의 가교제를 균일하게 혼합하여 테프론으로 피복된 글라스셀에 넣어 약 60°C에서 자외선을 조사하여 중합시켰다. 얻어진 필름을 120°C의 진공 오븐에 넣어 에폭시수지의 반응을 완료시키고 동시에 미반응의 모노머를 완전히 제거하여 샘플로 사용하였다. 이와 같은 방법을 사용하면 에폭시수지는 TETA와 중부가반응에 의하여, 아크릴레이트 모노머와 DEGDM은 라디칼중합에 의하여 동시에 각각의 삼차원 망목구조를 형성하며, 상호의 망목이 서로 관통하는 구조를 지니게 된다(Fig. 2). 이와 같은 상호침투망목구조를 지니게 되면 원래 비상용성을 나타내는 고분자가 강제적으로 상분리가 제한되어 양고분자의 중간적인 점탄성을 지니는 고분자재료가 될 가능성이 있다. 이 경우 생성된 SIN의 상용성은 양 성분의 망목형성속도가 근접할수록 증가한다. E871를 미리 가볍게 반응시킨 것은 중합속도를 맞춰 상용성을 증가시키기 위한 것이다.

에폭시수지 경화물의 경우는 에폭시수지에 당량의 경화제를 넣고 20°C에서 24시간 경화시킨 후 120°C에서 2시간 후경화를 시켜 얻어진 필름을 시료로 사용하였다.

2.2 복합체의 제조

목재로서는 자작나무의 정목판을 이용하였다. 복합

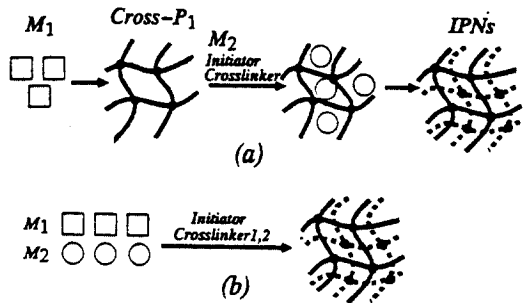


Fig. 2. Schematic comparison of (a) IPN and (b) SIN synthesis.

Notes ; Solid line : polymer network I
Dotted line : polymer network II
Heavy dots : crosslink sites.

체는 두께 2mm의 목재 사이에 고분자를 적층한 샌드위치구조로서 길이는 5cm이며, 폭은 1cm이다. 고분자재료의 두께는 1mm로 하였다. 이 경우 실제로는 0.1~0.2mm정도라도 충분한 진동흡수능력을 발휘하지만 두께의 차이에서 발생하는 오차를 줄이기 위해 1mm로 하였다.

2.3 동적점탄성 및 진동흡수계수의 측정

합성 고분자의 동적점탄성은 Vibron DDV-II(일본 동양불드윈사)를 사용하여 주파수 110Hz, 승온 온도 1°C/min의 조건으로 측정하였다.

복합체의 손실계수는 Vibron DDV-III를 개조하여 양단지지 중심하중에 의한 비공진 강제 횡진동법을 사용하여 상기와 동일한 조건으로 측정하였다(Fig. 3).

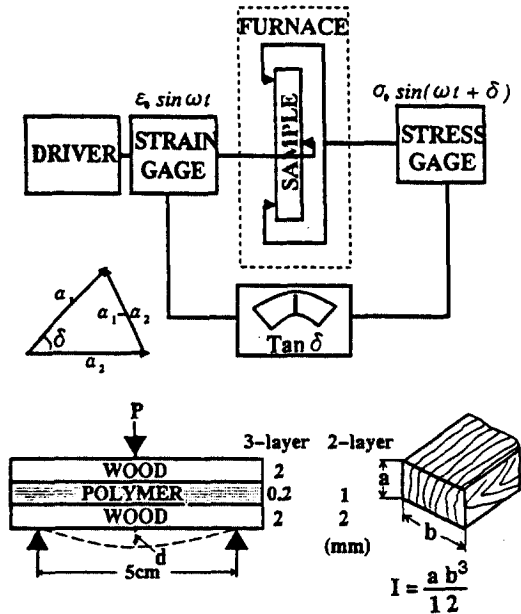


Fig. 3. Schematic representation of Rheovibron DDV-III dynamic bending tester and dimension of specimen.

Notes; p: vibrational strain, d: vibrational displacement.

3. 결과 및 고찰

3.1 SIN의 동적점탄성

진동흡수성 고분자재료에 대해서는 최초로 Oberst

(1952)에 의한 일련의 연구가 있으나 사용한 고분자재료의 물질명 및 조성 등은 자세하게 기술되어 있지 않다. 水町(1969)도 0°C부근을 중심으로 하는 넓은 온도범위에서 E'' (손실탄성율)이 큰 고분자재료를 제조하고자 하는 연구를 하여 T_g가 다른 고분자재료를 적당한 방법으로 조합하면 이와 같은 성질의 재료를 쉽게 조제할 수 있으리라 생각하였다. 그러나 실제로는 복수의 고분자를 브렌드법 또는 그라프트법에 의하여 조합하여도 특수한 계를 제외하고는 E'' 피크를 넓히는 것은 그리 간단하지 않으며, 이러한 것은 고분자의 혼합특성에 기인하는 것으로 어느 정도는 피할 수 없는 것이라 기술하고 있다.

그러나 Spring(1981)이 제창한 IPN법을 이용하면 소기 목적의 고분자재료를 제조하는 것이 가능하다. Spring등은 처음에 2단계중합법에 의하여 IPN를 조제하였다. 즉, 우선 모노머 I과 가교제를 혼합제1단계의 중합을 행하여 가볍게 가교된 고분자망목쇄를 만들고 중합이 완료된 후 이것을 다시 모노머 II와 가교제로 팽윤시킨 상태에서 그대로 제2단계의 중합을 행한다. 이렇게 하면 예를 들어 고분자 I과 고분자 II가 완전 비상용계일지라도 2종류의 3차원 망목쇄가 서로 침입하여 망목을 형성하므로 어느 정도 이상의 상분리가 제한되어 그 결과로서 어느 정도의 상용성이 부여된다. 그러나 이와 같은 2단계중합법에 의한 IPN의 제조는 고분자 I이 모노머 II에 팽윤되지 않는 경우에는 IPN화가 불가능할 뿐만 아니라 조작이 복잡하여 실용성이 떨어진다. 또한 1회의 조작으로 IPN를 조제하는 것을 SIN라는 명칭으로 분류하고 있으나, 손실계수의 피크를 넓힌 예는 거의 없다.

본 실험에서는 0°C부근에서 Tan δ의 피크를 나타내는 경화E871(PE871)와 75°C부근에서 높은 Tan δ의 피크를 나타내는 P(n-BMA)를 동시망목형성법에 의해 IPN화시키는 것에 의해 상온을 중심으로 폭 넓은 온도범위에서 비교적 높은 감쇠능을 지니는 고분자재료의 조제를 시도하였다. 이때 탄성율(E')가 5 × 10⁷ - 1 × 10⁹ dyne/cm²의 범위에 한정되도록 하는 것이 필요하나 PE871의 고무평탄역의 E'가 5 × 10⁷ 정도이므로 이러한 재료의 분자설계에 적합하다.

Fig. 4~6에 PE871, 가교P(n-BMA) 및 SIN의 110Hz에서 측정된 동적점탄성의 온도의존성 나타내었다. 예폭시수지 경화물 PE871과 1%의 가교제 DEGDM을 사용하여 가교시킨 P(n-BMA)는 글라스 전이온도폭이 좁아 온도가 상승함에 따라 E'는 급격

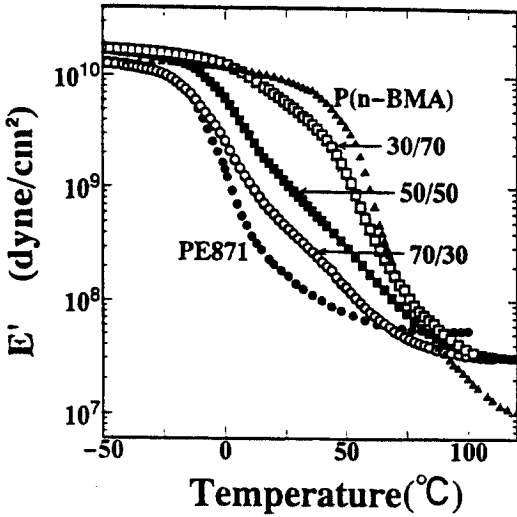


Fig. 4. E' vs. temperature for cured E871, P(n-BMA) and a series of cured E871/P(n-BMA) SIN.

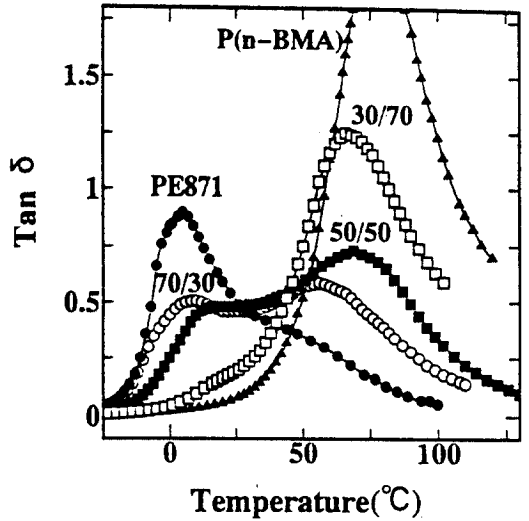


Fig. 6. $\text{Tan } \delta$ vs. temperature for cured E871, P(n-BMA) and a series of cured E871/P(n-BMA) SIN.

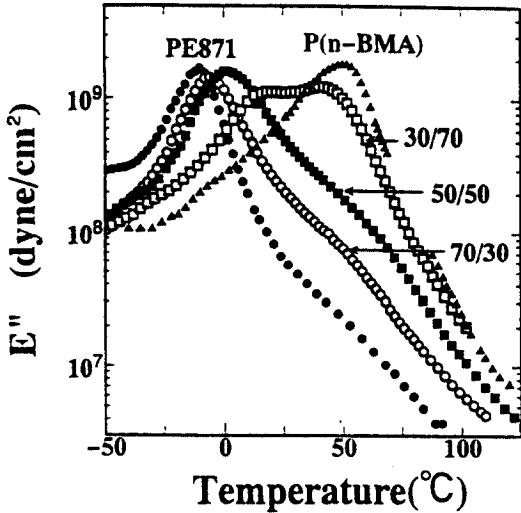


Fig. 5. E'' vs. temperature for cured E871, P(n-BMA) and a series of cured E871/P(n-BMA) SIN.

하게 저하되며, 손실탄성률 E'' 및 손실계수 $\text{Tan } \delta$ 의 곡선은 좁은 온도 범위에서 높은 값을 나타내었다. $\text{Tan } \delta$ 의 곡선은 각각 0°C 및 75°C에서 최대치를 나타내었다.

양성분을 SIN화하면 양고분자가 상호침투하여 망목을 형성하기 때문에 원래 비상용성을 나타내는 양

고분자가 분자상으로 혼합된 형태에서 상분리가 강제적으로 제한되어 완전상용상태와 마이트로상분리 상태의 중간적인 상태가 될 것이 기대된다. SIN의 저장탄성률 E' 곡선은 양고분자의 E' 곡선의 중간적인 완만한 곡선을 나타내었다. E' 의 피크도 양고분자의 E' 피크의 내측으로 이동함과 동시에 온도폭도 넓어져 어느 정도의 상용성을 나타내었다. SIN의 손실계수는 양고분자의 $\text{Tan } \delta$ 곡선의 내측으로 이동한 브로드한 곡선을 나타내었다. 특히 E871/n-BMA 70/30, 50/50 조성의 경우 양고분자에 기인하는 2개의 손실피크가 보였지만, 각각 0~70°C, 10~80°C의 온도범위에 걸쳐 0.5전후의 비교적 높은 일정한 손실치를 나타내었다. 이와 같이 넓은 온도범위에서 비교적 높은 손실치를 나타내는 것이 이 SIN계의 특징이며, 이러한 성질은 단순한 폴리머브렌드계에서는 관찰하기 어렵다.

Fig. 7에 SIN의 25°C에서의 저장탄성률 E' 의 고분자조성 의존성을 나타내었다. 위의 곡선이 “混和則(Rule of mixture)”에 의한 곡선으로 혼합계의 가능한 최대의 탄성률로서 양고분자가 완전히 병렬로 연결되어 있을 때 기대되는 결과이다. 이것은 P(n-BMA)상이 바다상 매트릭스를 형성하고 PE871가 섬상이 되어 분산되어 있는 경우에 기대되는 탄성률과 본질적으로 유사하다. 아래 곡선은 가능한 최

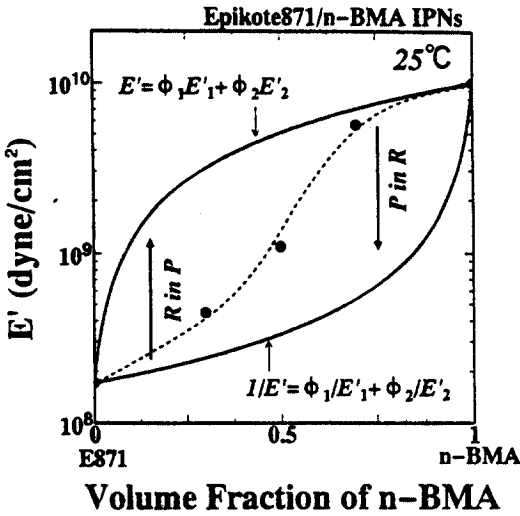


Fig. 7. Storage moduli at 25°C for cured E871/P(n-BMA) SIN.

Notes; R stands for rubber and P stands for plastic.
 P in R means that P is dispersed in continuous R phase, while R in P means that R is dispersed in continuous R phase.

소의 탄성율로서 양고분자가 직열로 연결되어 있을 때의 탄성율이며 PE871상이 바다상 매트릭스를 형성하고 P(n-BMA)상이 섬상으로 분산되어 있는 경우의 탄성율과 유사하다. SIN의 경우 완전 비상용계가 나타내는 탄성율곡선과는 다른 곡선을 나타낸다. 특히 50/50조성 SIN의 탄성율은 비상용계로부터 계산할 수 있는 최대치와 최소치의 중간적인 탄성율을 나타내 이 SIN계는 양고분자가 모두 연속상을 형성하고 있는 것으로 추정된다.

3-2. 복합체의 동적점탄성 및 손실계수

본 실험에서 사용한 자작나무재의 비공진강제진동법에 의한 동적점탄성율은 측정온도 -100~150°C의 범위에서는 온도에 의한 변화가 거의 없고 온도의 상승에 따라 약간 저하되었다. 또한 -100°C 및 100°C부근에 약간의 tan δ 및 E''의 분산이 관찰되었지만, 고분자의 점탄성적 성질에 비교하면 일정하다고 보아도 지장이 없을 정도이다(fig. 8).

목재의 E', E'' 및 tan δ 곡선이 온도 상승에 따른 변화가 거의 없는 것에 비교하여 고분자를 적층한 복합체는 일정한 완화기구를 지니게 된다. Fig. 9,

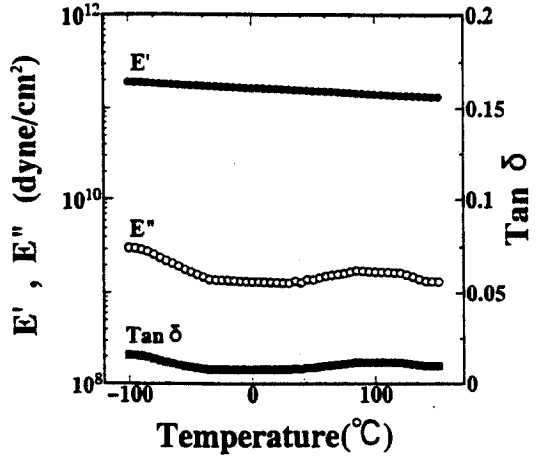


Fig. 8. Dynamic bending properties at 110Hz for wood

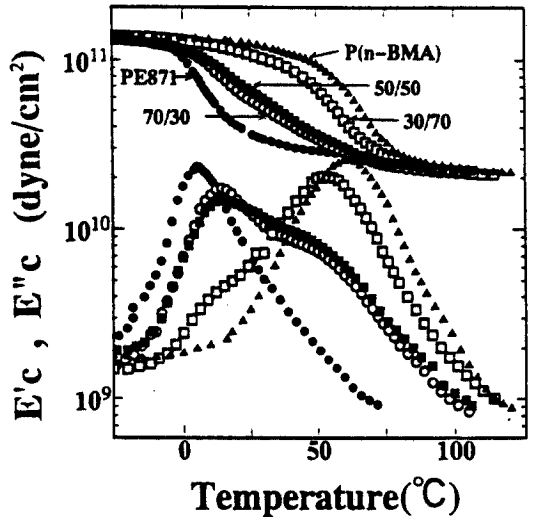


Fig. 9. E'c, E''c vs. temperature wood/SIN/wood sandwich composites.

Fig. 10에 목재 사이에 고분자를 적층한 샌드위치구조 복합체의 동적점탄성의 온도의존성을 나타내었다. 복합체의 동적탄성율 E'c는 고분자의 E'에 의존하여 유사한 곡선을 나타내었다. 한편 복합체의 손실탄성율 E''c는 고분자의 tan δ에 의존하여 유사한 곡선을 나타내었다. 복합체의 손실계수 tan δc도 고분자의 tan δ의 분산온도범위에서 분산을 나타내었다. 호모폴리머인 PE871와 P(n-BMA)를 적층한 복합체는

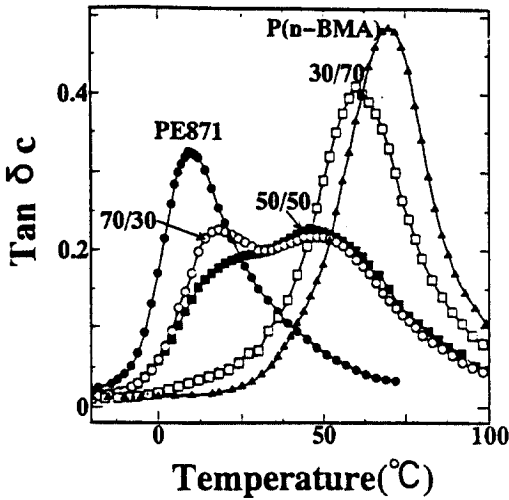


Fig. 10. $\tan \delta_c$ vs. temperature wood/SIN/wood sandwich composites.

좁은 온도범위에서 높은 $\tan \delta_c$ 를 나타내었지만, SIN을 적층한 복합체의 $\tan \delta_c$ 곡선은 온도폭이 넓어짐을 알 수 있었다. 특히 70/30, 50/50 조성의 SIN를 적층한 복합체는 약 60°C의 온도범위에서 0.2전후의 일정하고 비교적 높은 손실계수 값을 나타내었다. SIN을 적층한 복합체의 또 하나의 특징은 온도의 상승에 따른 탄성율의 저하가 완만하여 재료의 안정성을 고려할 경우 유리하다. 이와 같이 본 실험에서 합성한 SIN은 넓은 온도범위(또는 주파수 범위)에서 비교적 안정한 탄성율을 유지하면서 비교적 높은 진동흡수성능을 발휘한다.

4. 결 론

고분자적층 샌드위치구조 복합체의 진동흡수성능은 고분자의 점탄성에 의존하여 진동흡수재료로서 이용하는 고분자는 사용온도·가청주파수 등을 고려할 경우 어느 정도 넓은 온도범위에서 높은 $\tan \delta$ 값을 지녀야 한다. 본 실험에서는 에폭시수지와 폴리아크릴레이트를 동시망목형성법으로 IPN화하여 넓은 온도범위에서 비교적 높은 손실계수를 나타내는 고분자재료를 합성하였으며, 이 고분자를 적층한 목질 복합체의 진동흡수성능을 양단지지중심하중에 의한 강제횡진동법으로 조사하였다.

그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, PE871와 P(n-BMA)를 동시망목형성법으로 IPN화하는 것에 의하여 탄성율의 변화가 완만하면서 넓은 온도범위에서 비교적 높은 감쇠성능을 지니는 고분자재료를 합성하였다. 특히 70/30, 50/50 조성의 SIN은 각각 0-70°C, 10-80°C의 온도범위에서 0.5전후의 비교적 높은 $\tan \delta$ 값을 나타내었다.

둘째, 호모폴리머를 적층한 고분자는 좁은 온도범위에서 높은 진동흡수값을 나타내, 가청주파수를 고려할 경우 사용온도가 극히 제한된다. 그러나 본 실험에서 합성한 SIN을 적층한 목질복합체는 약 60°C의 온도범위에서 비교적 높은 $\tan \delta_c$ 값을 나타내 가청주파수를 고려하여도 사용온도 범위는 약 40°C에 달하게 된다.

본 실험에서 합성한 고분자재료 또는 이 고분자를 적층한 목질복합재료는 방음 바닥재로서 뿐만 아니라, 진동이 심한 기계의 지지대, 노인홈, 어린이집, 체육관 등의 충격 완충 바닥재, 정밀기기 운반 콘테이너 제조용 재료로서 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 李賢鍾, 水町 浩. 1994.
 - a) 木材/高分子複合系のダンピング特性(I). 日本木材學會誌 40(10) : 1027-1035
 - b) 木材/高分子複合系のダンピング特性(II). 日本木材學會誌 40(10) : 1036-1043
 - c) 木材/高分子複合系のダンピング特性(III). 日本木材學會誌 40(10) : 1044-1051
2. 李賢鍾, 水町 浩. 1995. 木材/高分子複合系のダンピング特性(IV). 日本木材學會誌 41(1) : 9-16
3. 水町 浩. 1969. 吸音材としてのポリマーブレンドの研究. 日本接着協會誌 5(6) : 370-374
4. Beranek. L. L and L. V. Istvan. 1992. Noise and vibration control engineering. John Wiley & Son. New York. : 451-481.
5. 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
6. Hourston. D.J. and I.D. Hughes. 1977. Polymeric system for acoustic damping. *J. Appl. Polym. Sci.* 21 : 3093-3103
7. Oberst. H. 1952. Über die Dämpfung der

이 현 중

- Bienschwingunen dunner Bleche durch fest haftende Bledge I. *Kunststoffe*. 4 : 181-194
8. Sperling. L.H. 1981. Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials. Plenum Press, New York and London. : 1-165
9. Wetton. R.E. and Tuminello. W.H. 1975. Temperature-independent relaxation in a lamellar block copolymer. *Nature* 257(11): 123-125
10. Wong. D.T.H. and H.L. Williams. Dynamic mechanical and vibration damping properties of polyurethane composition. *J. Appl. Polym. Sci.* 28 : 2187-2207