

振動·衝擊音 吸收性能을 지니는 木質系 複合材料의 開發(II)¹

-가교밀도가 상호침투망목고분자의 진동흡수성능에 미치는 영향-

李賢鍾²

Development of Vibration and Impact Noise Damping Wood-based Composites (II)¹

- The Influence of the Degree of Crosslinking on the Damping Properties of Interpenetrating Polymer Networks -

Lee, Hyun-Jong²

요 약

사용온도 및 주파수 범위를 고려할 경우 진동흡수재료로서 사용하는 폴리머는 다소 넓은 온도 범위에서 높은 손실계수를 지녀야한다. IPN's은 두 개 또는 그 이상의 고분자가 상호 침투하여 망목상으로 얽혀있는 혼합계로서 강제적으로 상분리가 제한되어 어느 정도의 상용성을 부여할 수 있으므로 폭 넓은 진동흡수재료의 분자설계에 적합하다. 본 실험에서는 공중합조성이 다른 여러 가지 코폴리머를 IPN's화하여 폭 넓은 온도 범위에서 높은 손실 계수를 나타내는 고분자의 합성을 시도하였으며, 고분자의 점탄성 및 가교밀도가 적층재의 진동흡수성능에 미치는 영향을 검토하였다. 동력학적 측정의 결과 IPN's의 상용성은 IPN's화시키하고자하는 폴리머의 상용성 및 가교밀도에 의존하는 경향을 나타내 공중합조성이 다른 코폴리머를 IPN's화시키거나, 가교밀도를 조절하면 폭 넓은 진동흡수성능을 지니는 폴리머의 조제가 가능함을 시사하였다. IPN's을 적층한 복합체의 진동흡수계수는 폴리머의 E'가 대략 $5 \times 10^7 \sim 10^9$ dyne/cm²의 범위에서 높은 손실계수를 지닌 경우 높아졌다. 특히, 3%의 DEGDM을 사용하여 합성한 poly(2-EHA80-co-St20)/poly(2-EHA20-co-St80) IPN's은 상온을 중심으로 넓은 범위에서 비교적 높은 댐핑성능을 나타내었다.

ABSTRACT

In the search for broadband damping composites, it is desirable to have polymers with a broad and high loss region, covering the entire temperature and frequency range of interest. Interpenetrating polymer networks, IPN's, are materials composed of two or more crosslinked polymers intimately and irrevocably interwinded. The resulting distribution of microenvironments can result in a materials with a high mechanical loss broadend over that of either polymer component alone. In this study, several series of copolymer, crosslinked copolymer and copolymer/copolymer IPN's were synthesized for possible use as broadband damping materials. Then their dynamic tensile properties were measured and compared with the damping properties of sandwich composites. Dynamic mechanical analysis showed that the temperature of loss peak may be varied over a wide temperature range with formulation. The compatibility

¹ 접수 1998년 10월 8일 Received on October 8, 1998.

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

of IPN's was depended on the compatibility of A and B polymers as well as crosslink density. The damping factor($\tan \delta_c$) of composites became greater when a polymer of approximate storage modulus(E') range of 5×10^7 to 10^9 dyne/cm² and large $\tan \delta$ at the same time was used. The damping properties of poly(2-EHA80-co-St20)/poly(2-EHA20-co-St80) IPN's crosslinked with 3%-DEGDM were relatively better over a broad temperature range.

서 론

최근 목재의 다기능성이 재인식되고, 목질 제품에 대한 요구성능도 높아짐에 따라 다양한 형태의 목질 복합재료가 개발되어 사용되고 있다. 그 하나의 예로서 방음목질상재는 최근 목질마루를 사용하는 집합주택에 있어서 새로운 사회적 공해문제로 대두되는 상충격음 문제를 해결하고 쾌적한 생활공간의 확보를 가능케 하는 새로운 목질 복합재료라 할 수 있다.

필자 등은 지금까지 진동·충격음 흡수성능을 지니는 기능성 목질복합재료의 제조를 목적으로 하여 고분자의 화학조성, 점탄성 및 복합구조가 복합체의 진동흡수성능에 미치는 영향을 상세히 검토하여, 고분자 층의 신축변형에 의하여 진동흡수가 일어나는 경우에는 고분자의 손실탄성률이, 고분자 층의 전단변형에 의해 진동흡수가 발생하는 계의 경우는 고분자의 손실계수($\tan \delta$)가 가장 큰 인자로서 작용하는 것을 명확히 하였다¹⁾. 또한 고분자의 신축변형이 주로 일어나는 피복재보다 전단변형이 많이 일어나는 샌드위치구조재의 진동흡수 성능이 더욱 큰 것을 명확히 하였다²⁾.

사용온도에서 손실계수가 큰 점탄성 고분자를 목재 사이에 적층한 목질복합재료는 목재보다 상당히 높은 진동흡수성능을 지니게 된다⁶⁾. 그러나 가청주파수(대략 20-20000Hz)를 고려할 경우 진동흡수재료로서 사용하는 고분자는 다소 넓은 온도범위에서 높은 손실계수를 지녀야 한다. 예를 들어 이 복합재료의 사용온도가 0-40℃일 경우, 주파수 한자리수당 고분자의 동적점탄성의 온도의존성은 일반적으로 약 7℃의 변화가 있으므로 가청주파수 범위를 대략 온도로 환산하면 약 20℃에 해당되어 상온을 중심으로 최소한 60℃의 온도범위에서 높은 손실계수를 지녀야 한다.

고분자의 진동흡수 온도 폭을 넓힐 수 있는 방법으로서 그래프트화법³⁾, 블록鎖長이 다른

일련의 멀티블록화 고분자 또는 별모양의 블록 고분자의 합성¹¹⁾, 부분 상용성의 고분자 브랜드^{3,12)}, IPN's (Interpenetrating Polymer Networks)^{7,8,10)} 등이 보고되고 있다.

특히 IPN's은 원래 비상용성의 고분자브랜드에 강제적으로 어느 정도의 상용성을 부여할 수 있으므로 폭 넓은 진동흡수재료의 분자설계에 적합하다. 즉, 폴리머 A와 폴리머 B가 완전 비상용계일지라도 두종류의 3차원 망목쇄가 상호침입하여 얽혀있게 되므로 어느 정도 상분리가 제한되어 그 결과로서 양 폴리머는 분자상으로 혼합된 상태가 된다. 그러나 IPN's의 마이크로상 분리형태는 여러 가지 인자에 의해 지배되므로 모든 고분자를 이상적인 구조의 IPN's으로 만드는 것은 불가능하며, 지금까지 보고된 모든 IPN's은 부분적으로 상분리되어 있다⁵⁾.

본 실험에서는 진동·충격음 흡수성능을 지니는 기능성 목질재료의 개발을 목적으로 코폴리머, 가교코폴리머, IPN's을 합성하여, 고분자의 동적점탄성과 목재와 적층하였을 때의 진동흡수성능과의 관계를 상세히 조사하였다. 또한 상온을 중심으로 넓은 온도(또는 주파수) 범위에서 손실피크를 나타내는 고분자의 합성을 목적으로 0℃부근에서 손실계수의 최대값을 나타내는 코폴리머와 80℃부근에서 손실계수의 피크를 나타내는 고분자를 가교밀도를 달리하여 IPN's화하여 적층재의 진동흡수성능에 미치는 IPN's의 가교밀도의 영향을 검토하였다.

실험 및 방법

2.1 폴리머의 합성

2.1.1 호모폴리머 및 랜덤코폴리머의 합성

모노머로서는 2-Ethylhexylacrylate(이하 2EHA)와 Styrene(이하 St)을 증류하여 중합금지제를 제거한 후 사용하였으며, 라디칼중합개시제로서는 Azo-bis-isobutyronitrile(이하 AIBN)을

사용하였다. 코폴리머는 벌크·가열중합법으로 합성하였다. 2EHA, St 및 80/20, 60/40, 40/60, 20/80비율의 2EHA/St혼합물에 0.5%의 라디칼 개시제를 넣고 60℃에서 7시간 반응시켰다. 반응생성물을 초산에틸에 용해시키고, 에탄올로 세척하여 미반응 모노머를 제거하였다. 얻어진 폴리머를 120℃로 진공건조하고 열압하여 일정 두께의 필름을 만들어 샘플로 사용하였다.

2.1.2 가교코폴리머의 합성

2EHA/St=60/40조성의 3종류의 가교코폴리머는 벌크·UV광중합법으로 합성하였다. 가교제로서는 Diethyleneglycol dimetacrylate (DEGDM)을 사용하였으며, 광중합개시제로서는 Benzoin을 사용하였다. 모노머, 가교제(모노머의 1%, 5%, 10%), 광중합개시제(모노머의 0.5%)를 테프론으로 피복된 유리셀(두께 1cm)에 넣고 4시간동안 UV를 조사하였다. 얻어진 필름을 120℃에서 진공 건조하여 미반응의 모노머를 제거한 후 샘플로 사용하였다.

2.1.3 상호침투망목고분자의 합성

IPN's은 벌크·광중합·순차망목형성법으로 합성하였다. 가교제와 중합개시제는 위와 동일하다. 중합은 Fig.1에 나타내는 바와 같이 A모노머, 가교제, 개시제를 혼합한 용액을 테프론으로 피복한 유리셀에 넣고 UV를 조사하여, A폴리머(유리전이 온도가 낮은 성분)의 망목을 먼저 형성시킨 후, B모노머, 가교제, 중합개시제의 혼합용액에 팽윤시킨 상태에서 UV를 조사하여 B망목을 형성시키는 방법으로 하였다.

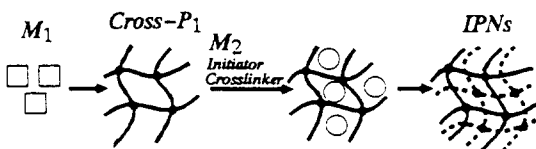


Fig.1. Schematic representation of IPN's synthesis

Note : Solid liens represent network I,
Dotted liens network II.
The heavy dots represent crosslink sites

2.2 복합체의 제조

목재는 자작나무의 정목판을 사용하였다. 복합체는 두께 2mm의 목재사이에 폴리머를 적층한 샌드위치 구조로서 길이 5cm, 넓이 1cm이다. 코폴리머의 경우는 접착제를 사용하지 않고 일정 두께의 폴리머를 목재 사이에 적층한 후 열압하여 제조하였으며, 가교코폴리머 및 IPN's의 경우는 측정온도 범위에서 유리상태이며 목재와 거의 동일한 손실계수를 나타내는 에폭시수지를 사용하여 목재와 접착하였다. 폴리머의 두께는 코폴리머의 경우는 0.2mm이었으며, 가교코폴리머 및 IPN's의 경우는 1mm로 하였다.

2.3 폴리머 및 복합체의 동적점탄성 및 손실계수의 측정

폴리머의 동적점탄성은 Rheovibron DDV-II (일본 동양볼드윈사)를 사용하여 주파수 110 Hz, 승온속도 1℃/min의 조건에서 강제인장진동을 가하여 -100~180℃의 온도 범위에서 측정하였다. 복합체의 진동흡수계수는 Vibron DDV-III를 개조하여 양단지지 중심하중에 의한 비공진 강제 휨 진동법을 사용하여 상기와 동일한 조건으로 측정하였다.

결과 및 고찰

3.1 코폴리머 및 가교코폴리머의 동적점탄성과 진동흡수 성능

폴리머는 유리전이 영역에서 높은 진동흡수능을 나타내는 것이 일반적이다. 따라서 폴리머를 진동흡수재료로 사용하기 위하여는 복합체의 사용온도 영역과 폴리머의 유리전이 온도 영역을 일치시킬 필요가 있다. 폴리머의 점탄성을 변화시키는 방법에는 폴리머블랜드, 가소화 등 여러 가지가 있으나 그 중에 하나로 유리전이온도(T_g)가 낮은 성분과 T_g 가 높은 성분을 공중합시키는 방법이 있다. 공중합은 고분자의 점탄성을 변화시키고, 고분자의 가공성을 높이기 위하여 널리 행해지고 있으며, 공중합조성에 따라 T_g 가 변화하며, 온도 폭이 약간 넓어지는 것이 일반적이다. 유리전이 영역이 넓어지는 것은 고분자 전체의 화학조성의

차, 즉 일종의 화학적 불균질성으로부터 발생하는 결과이다⁴⁾.

동력학적 측정의 결과는 저장탄성률 E' (전단 변형의 경우는 G')와 손실탄성률 E'' 의 합인 복소탄성률(E^*)로 얻어지며, 가해지는 응력과 변형의 시간적 차이를 나타내는 각도 δ 는 산일률(dissipation factor)불리어 $\tan \delta = E''/E'$ 로 정의된다. 이 $\tan \delta$ 는 감쇠계수 또는 진동흡수 계라 불리며 진동 1사이클 사이에 열로서 산일되는 에너지와 저장되는 최대에너지와의 비의 척도이다. 또한 1사이클당 산일되는 열 H 는 손실탄성률 E'' 에 정비례한다. 감쇠계수는 사용하는 측정기기의 형태에 따라 편의적으로 얻어지는 양으로 표시된다. 즉 대수감쇠율(logarithmic decrement) Δ , 공진피크의 반폭(half width), 공진피크의 1/2승 폭(half power width), Q(Q factor), 비감쇠용량(specific damping capacity) ψ , 탄성에너지(resilience) R 및 감쇠데시벨(decibel of damping) DB 이며, 이들은 절대치는 다르지만 서로 상통하는 개념으로서 물체의 진동흡수능력을 나타내는 척도이다. 본 실험에서 사용한 양단지지 중심하중에 의한 강제 횡진동법에서는 진동 변위와 응력의 위상차에 의해 진동흡수계수를 직접 구할 수 있다.

코폴리머를 목재사이에 적층한 복합체의 진동흡수계수의 측정 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 본 실험에 사용한 자작나무재의 탄성률 및 손실계수는 측정방법에 관계없이 $-100 \sim 150^\circ\text{C}$ 에서 약간의 역학적 분산이 보이기는 하지만 온도의존성을 거의 나타내지 않고 폴리머의 분산에 비교하여서는 일정치로 보아도 지장없는 것은 이미 이전의 연구에서 확인 하였다. 코폴리머를 적층한 복합체의 댄핑은 폴리머의 손실계수에 의존하여 좁은 온도범위에서 높은 값을 나타내었다.

Fig.3에 나타낸 바와 같이 복합체의 손실탄성률 E'' , 및 댄핑계수 $\tan \delta$ 의 최대온도는 폴리머의 $T(\tan \delta_{\max})$ 와 거의 일치했다. 이상의 결과를 종합하면 호모폴리머 및 랜덤코폴리머를 목재사이에 적층한 샌드위치 복합체의 진동흡수성능은 폴리머의 $\tan \delta$ 에 강한 의존성을 나타냄을 알 수 있다. 또한 호모폴리머 및 랜덤코폴리머는 특정 온도(또는 주파수)에서는

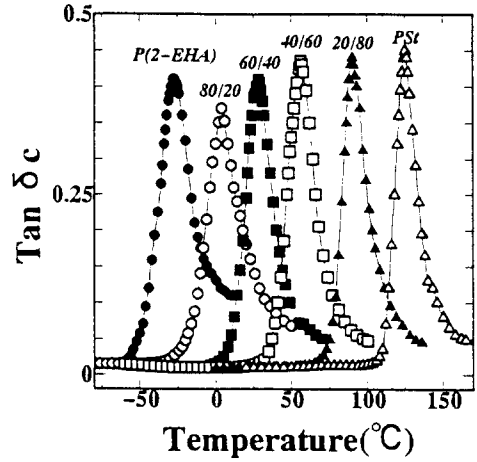


Fig. 2. $\tan \delta c$ vs. temperature for wood/copolymer/wood sandwich composites

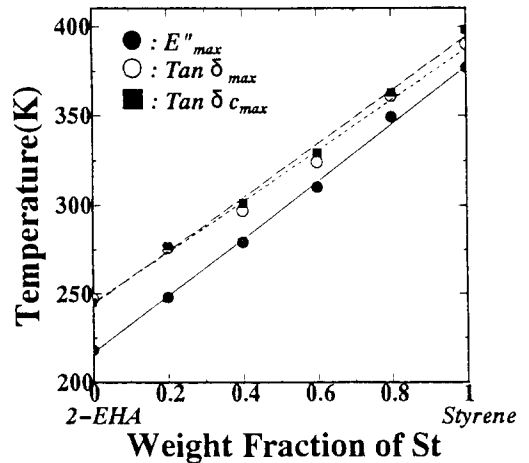


Fig. 3. Comparison of $T(\tan \delta_{\max})$ of composites with $T(E''_{\max})$ and $T(\tan \delta_{\max})$ of copolymers

높은 진동흡수성능을 나타내지만, 온도 변화에 따른 탄성률의 저하가 심해 재료의 안정성에 문제가 있을 뿐만 아니라, 가청주파수가 20-20000Hz인 것과 목질재료의 사용온도 범위를 고려하면 특정한 경우를 제외하고는 진동흡수 재료로서 사용기는 어렵다.

위에서 언급한 바와 같이 고분자재료는 유리전이영역에서 진동에너지를 열에너지로 전환시

키는 능력을 지니고 있으며, 샌드위치 복합체의 진동흡수성능은 폴리머의 $\tan \delta$ 에 강한 의존성을 나타낸다. 따라서 가교주과수 및 사용 온도범위를 고려할 경우 진동흡수재료로서 사용되는 고분자는 상온을 중심으로 다소 넓은 온도범위에서 높은 $\tan \delta$ 를 지닐 필요가 있다. 또한 재료의 안정성을 고려할 경우 온도변화에 따른 탄성률의 저하가 심한 것은 바람직하지 못하며 어느 한계 이상의 탄성률을 가져야 한다.

고분자의 유리전이 영역을 확대시켜, 손실계수의 온도영역을 확대하고 일정 이상의 탄성률을 지닐 수 있도록 하는 방법의 하나로 가교결합시켜 폴리머의 분자운동을 강제로 제한시키는 것을 생각할 수 있다. 본 실험은 상온에서 $\tan \delta$ 의 최대값을 지나는 2EHA60/St40 코폴리머의 가교밀도를 달리하여 가교밀도가 복합체의 진동흡수성능에 미치는 영향을 검토하였다. 가교제의 첨가량을 달리하여 제조한 가교코폴리머의 동적점탄성은 가교밀도가 증가함에 따라 유리전이 온도영역이 약간 넓어지며 고무상 평탄부의 탄성률이 높아지고, 고온 측으로 이동한다. 손실계수 $\tan \delta$ 곡선도 가교밀도가 높아짐에 따라 고온측으로 이동하며 최대값이 감소하지만 온도 폭은 거의 변화가 없었다.

Fig. 4에는 가교코폴리머를 적층한 복합체의 진동흡수계수 측정결과를 나타내었다. 복합체의 $\tan \delta_c$ 는 고분자의 $\tan \delta$ 에 의존하여 최대값, 온도 폭 및 $T(\tan \delta_{max})$ 가 고분자의 $\tan \delta$ 와 유사한 경향을 나타내었다. 가교밀도에 따라 점탄성의 온도의존성이 변화되어 손실계수의 최대온도를 조절할 수 있었으며, 고무평탄부의 탄성률이 증가하고 재료로서의 안정성은 향상되었지만, 유리전이 온도 폭은 그다지 넓어지지 않아 폭 넓은 온도범위의 진동흡수재료로 사용하기는 적당하지 않다.

3.2 폴리머의 상용성이 IPN's의 진동흡수성능에 미치는 영향

일반적으로 비상용성인 폴리머도 IPN's화시키므로서 망목상으로 얽히게 하면 양고분자는 상분리가 강제적으로 제한되어 결과적으로 브로드한 점탄성 곡선을 나타내는 고분자재료가 된다(Fig. 1). 그러나 IPN's화시키고자 하는 폴

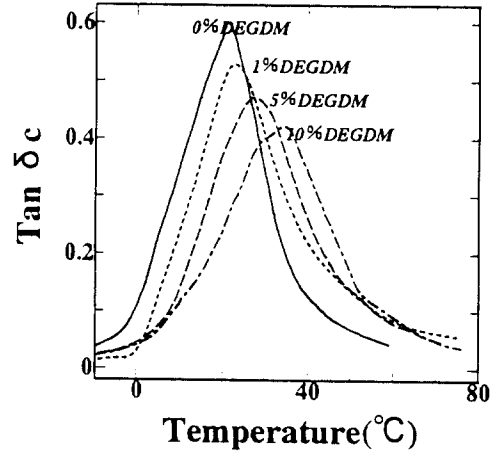


Fig. 4. $\tan \delta_c$ vs. temperature for wood/cross-polymer/wood composites

리머 사이의 상용성에 따라 IPN's의 상분리 형태가 지배되며, 이상적인 형태의 IPN's화를 위해서는 어느 정도 친화성이 있는 고분자를 IPN's화시키는 것이 필요하다.

P2EHA와 PSt는 완전 비상용계로서 단순 용액 블렌드의 경우 완전히 상분리 되어 필름이 형성되지 않지만, 코폴리머사이의 상용성은 두 폴리머의 화학조성이 유사할수록 증가되고 P(2EHA60-St40)과 P(2EHA40-St60)는 약간의 상용성을 보이는 것을 확인하였다. 그러나 이 혼합계에 있어서도 완전상용계와는 차이가 있고 형성된 필름은 불투명에 가깝다. 이러한 여러가지 화학조성의 코폴리머를 IPN's화시키면 폭 넓은 감쇠곡선을 나타내는 고분자의 제조가 가능할 것으로 생각된다. 본 실험에서는 P2EHA/PSt IPN's, P(2EHA80-St20)/P(2EHA20-St80) IPN's, P(2EHA70-St30)/P(2EHA30-St70) IPN's 및 P(2EHA60-St40)/P(2EHA40-St60) IPN's을 합성하여 두 폴리머의 친화성이 IPN's의 상용성 및 진동흡수성능에 미치는 영향을 검토하였다. 이때의 모든 IPN's은 1%의 DEGDM을 사용하여 가교결합시킨 계이다.

외관으로 볼 때 P2EHA/PSt IPN's, P(2EHA80-St20)/P(2EHA20-St80) IPN's은 불투명한 필름이었으며, P(2EHA70-St30)/P

(2EHA3020-St70) IPN's은 반투명이었고, P(2EHA60-St40)/P(2EHA40-St60) IPN's은 완전 투명한 필름을 형성하였다.

Fig. 5 및 Fig. 6에는 위에서 제조한 호모폴리머/호모폴리머 IPN's 및 화학조성이 다른 코폴리머/코폴리머 IPN's의 100Hz에서 측정된 탄성률 및 손실계수의 온도 의존성을 나타내었다. P2EHA/PSt IPN's의 경우 $-20 \sim 80^\circ\text{C}$ 에 걸쳐 0.8이상의 거의 일정한 손실계수 값을 나타내었다. 그러나 온도변화에 따른 탄성률의 저하가 심하며, 필름이 불투명한 것으로 보아 이 IPN's계는 P2EHA상만이 연속상으로 되어있는 것으로 추정된다. 즉 진정한 의미의 IPN's구조와는 달리 P2EHA연속상에 PSt상이 국소적으로 얽혀 있는 것으로 생각된다. 코폴리머/코폴리머 IPN's의 경우 코폴리머의 화학조성이 유사할수록 상용성이 증가함을 알 수 있다. P(2EHA80-St20)/P(2EHA20-St80) IPN's의 경우도 양 폴리머에 기인하는 두 개의 $\tan \delta$ 피크를 보이며, E' 곡선이 약간 넓어지지만 양 폴리머의 중간위치에 존재하는 것이 아니라 P(2EHA80-St20)의 E' 곡선보다 약간 높은 측으로 이동하며, 필름이 불투명한 것 등을 볼 때 비상용계에 가깝고 이 역시 완전한 IPN's 구조와는 거리가 있고 P(2EHA80-St20)연속상에 P(2EHA20-St80)상이 부분적으로 얽혀있는 구조로 생각된다. P(2EHA70-St30)/P(2EHA30-St70) IPN's의 경우 양 폴리머의 친화성이 증대되어 $\tan \delta$ 곡선은 양 폴리머의 $\tan \delta$ 곡선의 내측으로 이동하며 브로드한 곡선을 나타내었다. 또한 E' 곡선이 양 폴리머의 E' 곡선 사이에 브로드하게 펼쳐지며, 반투명한 필름을 형성하는 것으로 보아, 이 계는 완전하지는 않지만 상당부분이 상호침투되어 망목상으로 얽혀있는 것으로 생각된다. P(2EHA60-St40)/P(2EHA40-St60) IPN's는 E'' 및 $\tan \delta$ 곡선 모두 양 폴리머의 중간위치에 샤프한 하나의 분산을 나타내며, E' 곡선도 양 폴리머 사이에 펼쳐지는 것으로 보아 이 계는 완벽한 IPN's 구조에 가까운 상태로 양 폴리머가 서로 망목상으로 얽혀있는 것으로 생각된다. 즉 원래는 비상용성을 나타내는 양 폴리머가 서로 망목상으로 침투하여 얽혀있어 상분리가 제한된 완전상용상태와 마이크로상분리상태의 중간

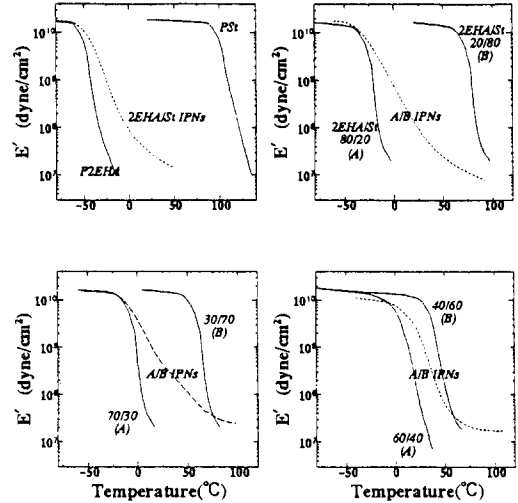


Fig. 5. E' vs. temperature for a series of copolymer/copolymer IPN's

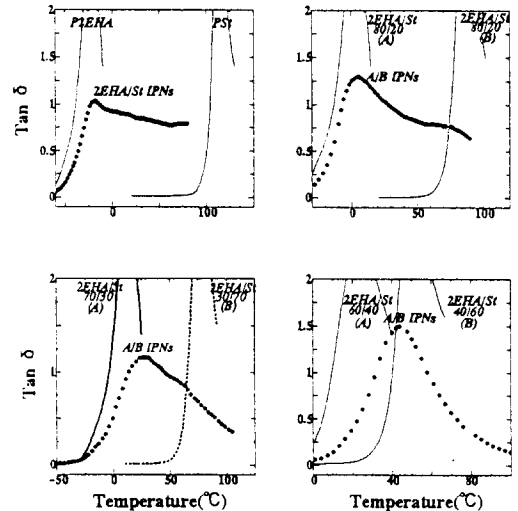


Fig. 6. $\tan \delta$ vs. temperature for a series of copolymer/copolymer IPN's

적 상용상태의 경우 관찰되는 점탄성 거동과 유사하다.

상기의 IPN's을 목재사이에 적절한 복합체의 강제횡진동법에 의한 진동흡수성능의 측정 결과를 Fig.7에 나타내었다. P2EHA/PSt IPN's, P(2EHA80-St20)/P(2EHA20-St80) IPN's의 경

우 넓은 온도 범위에 걸쳐 높은 손실계수 값을 나타내는 폴리머이지만, 이 IPN's을 적층한 복합체의 진동흡수계수($\tan \delta_c$)는 호모폴리머, 랜덤코폴리머, 가교코폴리머를 사용했을 때의 결과와는 달리 폴리머의 손실계수와 직접적인 상관관계를 나타내지 않고 $\tan \delta$ 의 온도 폭보다 상당히 좁은 곡선을 나타내었다. 또한 상온계에 가까운 P(2EHA60-St40)/P(2EHA40-St60) IPN's은 본래부터 $\tan \delta$ 의 온도범위가 좁은 것으로 인해 복합체의 진동흡수의 온도 폭은 넓어지지 않았다. 브로드한 댐핑곡선을 나타낸 계는 P(2EHA70-St30)/P(2EHA30-St70) IPN's을 적층한 복합체로서 상온을 중심으로 비교적 넓은 온도범위에서 댐핑성능을 발휘한다. 이 IPN's은 상온을 중심으로 비교적 브로드한 E' -온도 곡선을 나타내는 계이다. 이 결과로부터 복합체의 댐핑은 $\tan \delta$ 뿐만 아니라 탄성률에도 의존하여, 탄성률이 너무 낮은 경우(대략 5×10^7 dyne/cm² 이하) 높은 $\tan \delta$ 값이 지닐지라도 $\tan \delta_c$ 는 커지지 않는 것을 시사하고 있다.

3.3 가교밀도가 IPN's의 진동흡수성능에 미치는 영향

상기의 결과로부터 복합체의 댐핑온도 범위를 확대하기 위해서는 E' 및 $\tan \delta$ 가 함께 브로드한 곡선을 나타내는 폴리머를 사용해야함을 알 수 있다. 코폴리머/코폴리머 IPN's의 경

우 공중합조성이 유사할수록 즉, IPN's화시키고자 하는 폴리머사이의 친화성이 증가할수록 IPN's의 상용성이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 P(2EHA70-St30)/P(2EHA30-St70) IPN's 계는 어느 정도 브로드한 점탄성 거동을 나타내는 것을 알 수 있으나 아직 충분하지는 않다. 따라서 본 실험에서는 0°C부근에서 손실계수의 최대값을 나타내는 P(2EHA80-St20)와 80°C부근에서 손실계수의 최대값을 나타내는 P(2EHA20-St80)를 가교밀도를 달리하여 IPN's화하여 상온을 중심으로 넓은 온도범위에서 브로드한 점탄성 거동을 나타내는 고분자의 합성을 시도함과 동시에 적층체의 진동흡수 성능에 미치는 IPN's의 가교밀도의 영향을 검토하였다.

Fig. 8에 가교밀도가 다른 P(2EHA80-St20)/P(2EHA20-St80) IPN's의 동적점탄성의 온도 의존성을 나타내었다. 1%의 DEGDM을 사용한 IPN's계는 $\tan \delta$ 곡선은 넓은 온도 범위에서 높은 값을 나타냈지만 온도변화에 따른 E' 의 저하가 심하며, P(2EHA80-St20)에 기인하는 $\tan \delta$ 피크가 강하게 나타났으며 이 IPN's을 적층한 복합체의 진동흡수곡선의 온도 폭은 크지 않다. 3%의 DEGDM을 사용한 IPN's계는 양 폴리머에 기인하는 2개의 $\tan \delta$ 피크를 나타냈지만, 거의 계곡이 없이, 넓은 온도 범위에서 0.5이상의 높은 $\tan \delta$ 값을 지니며, E' 곡선도 양 폴리머의 E' 곡선의 사이에서 브로드한 곡선을 나타내었다. 5%의 DEGDM을 사용

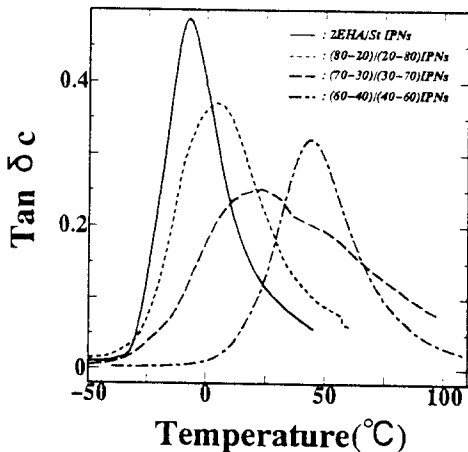


Fig. 7. $\tan \delta_c$ vs. temperature for wood/IPN's/wood composites

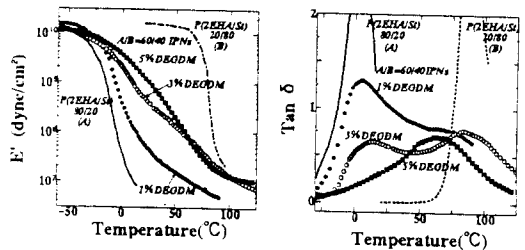


Fig. 8. E' and $\tan \delta$ vs. temperature for poly(2EHA80-co-St20)/poly(2EHA20-co-St80) IPN's crosslinked with 1%, 3%, and 5% DEGDM

한 IPN's계는 E'곡선이 완전히 양 폴리머의 E'곡선의 사이에 브로드하게 펼쳐졌으며, $\tan \delta$ 곡선도 양 폴리머의 $\tan \delta$ 피크의 중간온도에서 하나의 브로드한 곡선을 나타내었다. 이것은 비상용계의 폴리머일지라도 가교밀도를 높이면 전체가 상호침투하여 망목상으로 얽힌 이상적인 구조의 IPN's으로 만들 수 있음을 시사한다.

이 가교밀도가 다른 IPN's을 적층한 복합체의 진동흡수계수의 온도의존성을 Fig. 9에 나타내었다. 랜덤코폴리머를 적층한 복합체는 좁은 온도범위에서 높은 댐핑성능을 나타내었다. 1%의 DEGDM을 사용한 IPN's을 적층한 복합체의 댐핑은 폴리머의 $\tan \delta$ 가 넓은 온도범위에서 높은 값은 나타냈음에도 불구하고 온도폭이 좁았다. 5% DEGDM-IPN's을 적층한 복합체의 댐핑곡선은 고온 측으로 이동했다. 댐핑의 온도역이 넓어진 것은 3% DEGDM-IPN's을 적층한 복합체로서 상온을 중심으로 약 70°C의 온도범위에 걸쳐 0.2전후의 비교적 높은 $\tan \delta$ 값을 나타내었다. 또한 이 복합체의 온도변화에 따른 횡탄성률(E')의 변화도 완만하여 재료의 안정성면을 고려할 경우도 다른 재료에 비해 우수하다고 할 수 있다.

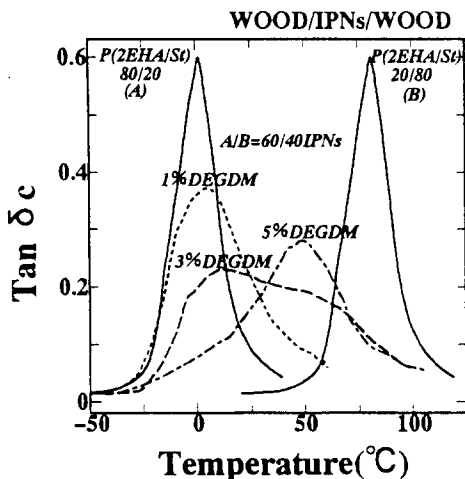


Fig. 9. $\tan \delta$ vs. temperature for wood/IPN's/wood composites

결론

목재에 진동·충격음 흡수성능을 부여하기 위하여 사용하는 폴리머 재료는 사용온도범위, 가청주파수 등을 고려할 경우, 어느 정도 넓은 온도범위에서 높은 손실계수를 가져야 한다. 본 실험에서는 아크릴계 및 스티렌 호모폴리머, 랜덤코폴리머, 가교코폴리머, 코폴리머/코폴리머 IPN's을 합성하여 고분자의 점탄성과 고분자 적층체의 진동흡수성능과의 관계를 상세히 검토하였으며, 또한 폴리머의 상용성 및 가교밀도가 IPN's의 진동흡수성능에 미치는 영향을 명확히 하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 호모폴리머, 랜덤코폴리머, 가교코폴리머를 적층한 복합체의 진동흡수성능은 고분자의 $\tan \delta$ 에 의존하며 좁은 온도 범위에서 높은 진동흡수성능을 나타내었다.

둘째, IPN's화법은 폭 넓은 진동흡수재료의 분자설계에 적합하지만 P2EHA와 PSt과 같은 완전 비상용성 폴리머는 IPN's화되기 어렵다. IPN's의 상용성은 IPN's화시키고자하는 폴리머의 친화성에 의존하여 공중합조성이 유사할수록 증가했다. 이 결과는 적당한 친화성을 지닌 사용범위 하한선에 손실계수 최대값을 나타내는 고분자와 사용범위 상한선에 손실계수 최대값을 나타내는 고분자를 IPN's화시키면 사용온도 범위에서 비교적 높은 진동흡수성능을 지닌 고분자의 제조가 가능함을 시사한다.

셋째, 가교밀도가 증가할수록 IPN's의 상용성이 증가하여 5%의 가교제를 사용하였을 경우 상용성에 가까운 점탄성 거동을 나타내었다. 또한 3%의 가교제를 사용한 IPN's은 0-100°C에 걸쳐 비교적 높고, 거의 일정한 $\tan \delta$ 와 브로드한 E'곡선을 나타냈으며, 이를 적층한 복합체 또한 넓은 온도 범위에서 높은 진동흡수성능을 나타내었다. 따라서 비록 비상용성의 고분자일지라도 가교밀도를 조절하면 이상적인 구조의 IPN's화가 가능하므로 폭 넓은 온도 및 주파수 범위에서 진동흡수성능을 지닌 고분자의 분자설계에 응용할 수 있다.

넷째, IPN's을 적층한 복합체의 진동흡수성능은 호모폴리머, 랜덤코폴리머, 가교코폴리머를 적층한 복합체의 진동흡수성능과는 달리 폴

리머의 탄성률에도 의존하여 E' 가 약 $5 \times 10^7 \sim 10^9$ dyne/cm² 범위에서 $\tan \delta$ 가 높을 경우에만 높은 값을 나타내었다.

이상에서 제조한 특정의 IPN's 및 이 IPN's을 적층한 적층재는 충격·진동에 의하여 문제 발생하는 곳의 충격흡수재 또는 방음재로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 李賢鍾, 水町 浩. 1994. 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.
2. 李賢鍾, 水町 浩. 1994. 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.
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. 小野木重治, 1976. 高分子と複合材料の力學的性質, 化學同人, pp. 87-144.
5. 秋山三郎, 井上 隆, 西 敏夫, 1981, ポリマーブレンド, シーエムシー, pp. 272-281.
6. Beranek. L. L and L. V. Istvan. 1992. Noise and vibration control engineering. John Wiley & Son. N.Y. : 451-481.
7. 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.
8. Hourston. D.J. and I.D. Hughes. 1977. Polymeric system for acoustic damping. J. Appl. Polym. Sci. 21 : 3093-3103.
9. Oberst. H. 1952. Uber die dampfung der biegschwingunen dunner bleche durch fest haftende bledge I. Kunststoffe. 4 : 181-194.
10. Sperling. L.H. 1981. Interpenetrating Polymer Networks and Related materials. Plenum Press, N.Y. and London. : 1-165.
11. Wetton. R.E. and Tuminello. W.H. 1975. Temperature-independent relaxation in a lamellar block copolymer. Nature. 11 : 123-125.
12. Wong. D.T.H. and H.L. Williams. Dynamic mechanical and vibration damping properties of polyurethane composition. J. Appl. Polym. Sci. 28 : 2187-2207.