Polymer(Korea), Vol. 36, No. 5, pp. 573-578
http://dx.doi.org/10.7317/pk.2012.36.5.573

ISSN 0379-153X(Print)
ISSN 2234-8077(Online)

아미노실란으로 개질된 목분/PVC/나노점토 복합재의 기계적 특성

박솔몬 · 김대수†

충북대학교 공과대학 화학공학과

(2012년 1월 9일 접수, 2012년 2월 7일 수정, 2012년 2월 7일 채택)

Mechanical Properties of Aminosilane-Treated Wood Flour/PVC/Nanoclay Composites

Solmon Park and Dae Su Kim†

Department of Chemical Engineering, School of Engineering, Chungbuk National University, 52 Naesudongro, Heungdukgu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

(Received January 9, 2012; Revised February 7, 2012; Accepted February 7, 2012)

초록: 일반적으로 목분/PVC 복합재가 갖는 대부분의 물리적 특성은 소수성인 PVC와 친수성인 목분 사이의 낮은 계면결합력으로 인해 순수한 PVC에 비해서도 낮다. 그러므로 본 연구에서는 목분/PVC의 계면결합력을 향상시키기 위해 세 가지 아미노실란을 각각 사용하여 목분을 개질하였으며, 아미노실란으로 개질된 목분, 무중금속 PVC 컴파운드, 나노점토를 용융혼합하여 환경친화적인 목분/PVC/나노점토 복합재를 제조하였다. 목분의 아미노실란 개질 및 나노점토의 첨가가 복합재의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 복합재의 기계적 특성은 만능재료시험기, 아이조드 충격시험기, DMA, TMA를 이용하여 조사하였다. 아미노실란으로 개질된 목분을 이용한 복합재의 인장특성은 순수한 목분을 이용한 복합재의 인장특성보다 훨씬 높았다. 또한 적은 양의 나노점토가 복합재의 기계적 특성을 향상시켰다. 아미노실란으로 개질된 목분과 나노점토를 사용함으로써 목분/PVC 복합재의 성능이 크게 향상되었다.

Abstract: In general, most physical properties of wood/polyvinyl chloride (PVC) composites are lower than those of corresponding neat PVC resin because of poor interfacial adhesion between the hydrophilic wood flour and hydrophobic PVC. Therefore, in this study, we treated wood flour with three aminosilanes to improve wood/PVC interfacial adhesion strength, and eco-friendly wood/PVC/nanoclay composites were prepared by melt blending the aminosilane-treated wood flour, a heavy metal free PVC compound, and a type of nanoclay. The effects of treating wood flour with the aminosilanes and adding the nanoclay on the mechanical properties of the composites were investigated. Mechanical properties of the composites were investigated by universal testing machine (UTM), izod impact tester, dynamic mechanical analyzer (DMA), and thermomechanical analyzer (TMA). The tensile properties of the composites with the aminosilane-treated wood flour were considerably higher than those of the composites with neat wood flour. Furthermore, a small amount of the nanoclay improved mechanical properties of the composites. The performance of the wood/PVC composites was considerably improved by using the aminosilane-treated wood flour and the nanoclay.

Keywords: PVC, wood, aminosilane, nanoclay, composites.

서 론

건축재에 사용되는 구조재료용 플라스틱 복합재가 목재나 금속 등 기존의 천연재료보다 성능도 우수하고 가격도 저렴하기 때문에 이미 많은 부분에 대체 재료로 적용되고 있으며 앞으로도 적용영역이 더 확대될 것으로 전망된다.[1,2] 이러한 전망은 PVC 및 폴리올레핀 등의 열가소성 수지에 목분을 첨가하여 제조한 고분자 합성목재(wood plastic composite: WPC)가 건축재용 플라스틱 소재로서 널리 사용되고 있으며 그 시장이 점점 확대되고 있다는 사실로부터 추측이 가능하다.

PVC는 낮은 결정성을 갖는 열가소성 수지로 가볍고 흡습성이 적으며 내약품성과 성형가공성도 우수하여 필름, 전선피복재, 파이프, 창호재, 바닥재 등의 재료로 널리 사용되어 왔으며 특히 PVC 기반 WPC는 환경친화적인 플라스틱 건축재료의 개발추세에 맞추어 많은 관심을 끌고 있다. 환경친화성을 더욱 더 높이기 위하여 본 연구와 같이 중금속이 함유되지 않은 무중금속 PVC 컴파운드를 사용하여 WPC를 생산

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: dskim@cbnu.ac.kr

할 수 있다.

PVC와 같은 열가소성 수지의 보강재료로서 목분 등의 천연 충전제가 관심을 끌고 있는 이유는 저렴한 가격, 가벼운 중량, 적당한 강도와 경도, 재활용성, 생분해성, 자연 재생성 등의 장점을 갖기 때문이다.[3] 또한 천연 충전제는 유연하여 가공장비에 심한 부하를 주지 않아 전통적인 플라스틱 가공방법인 압출, 사출, 압축성형 등에 의해 쉽게 플라스틱 복합재를 생산할 수 있다.[4] 특히, 목분/플라스틱 혼합물을 용융혼합하여 WPC를 생산하는 방식은 주로 압출기를 활용하므로 적은 경비와 높은 생산성 등의 이점을 가진다.[5-7]

그러나 플라스틱에 목분을 첨가하는 경우, 목분에 의한 열안정성의 저하, 목분 분산의 어려움, 그리고 친수성인 목분과 소수성인 플라스틱 사이의 친화성 부족으로 인한 낮은 계면결합력에 기인한 성능저하가 나타난다.[8,9] 이러한 문제를 해결하기 위해 커플링제를 사용하면 계면결합력이 높아져 물성이 어느 정도 향상된다.[10-14] 또한 순수한 플라스틱에 비해 WPC의 굴곡강도는 증가하는 반면 충격강도는 감소하므로 이를 보완하기 위해 충격보강제를 사용함으로써 충격강도를 높일 수 있다.[15] 뿐만 아니라, 목분의 열분해로 인한 WPC의 성능저하를 최소화하기 위해 혼합 온도 및 시간 등 용융혼합 가공조건의 최적화에 대한 연구도 보고되고 있다.[16]

본 연구에서는 목분/PVC의 계면결합력을 향상시키기 위해 세 가지 아미노실란을 사용하여 미리 목분을 각각 개질한 후 PVC 기반 WPC의 충전제로 사용하였다. 아미노실란으로 개질된 목분, 무중금속 PVC 컴파운드, 나토점토를 용융혼합하여 환경친화적인 목분/PVC/나노점토 복합재를 제조하였으며 만능재료시험기, 아이조드 충격시험기, DMA, TMA를 이용하여 복합재의 기계적 특성을 측정하였다. 목분의 아미노실란 개질 및 나노점토가 복합재의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

실 험

시약 및 재료. 목분/PVC WPC의 매트릭스 수지로 사용한 무중금속 경질 PVC 컴파운드는 압출 윈도우 프레임용 컴파운드로 (주)서니플라테크에서 공급받아 사용하였다. 공급회사의 정보에 따르면 무중금속 경질 PVC 컴파운드는 (주)LG화학의 PVC(LS 100E)를 주성분으로 충격보강제, 무기충전제, 무중금속 안정제 등을 첨가하여 제조한 컴파운드다. 목분은 입자 크기가 70~150 μm인 J. Retenmaier & Sohne Co.의 Lignocel C-120 목분을 사용하였으며 WPC를 제조하기 전에 48시간 동안 105 °C 오븐에서 건조한 후에 사용하였다. 목분을 화학적으로 개질하기 위하여 3-aminopropyl methyl bis-(trimethylsiloxy)silane (Aldrich), 3-aminopropyl triethoxysilane (Aldrich), *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane(Dow Corning)을 각각 사용하였다. WPC의 성능을 높이기 위해 나노점토는, 예비실험 및 선행연구 결과를 토대로 Southern Clay Products사의 유기화 처리 점토인 Cloisite 30B를 사용하였다.[17,18]

아미노실란 개질 목분의 제조. 목분과 PVC 사이의 계면접착력을 극대화하기 위하여 목분의 표면에 아미노실란 분자를 화학적으로 공유결합시키는 개질과정을 거친 후 WPC 제조에 사용하였다. 목분의 개질은 참고문헌의 개질방법을 참조하여 다음과 같이 수행하였다.[19,20] 먼저 목분 40 g을 48시간 동안 105 °C 오븐에서 건조하여 수분을 제거한 후 에탄올 400 g, 증류수 20 g, 아미노실란 1 g이 들어있는 플라스크에 넣고 상온에서 1시간, 130 °C에서 30분 동안 교반하였다. 교반 후 상온에서 24시간 동안 방치하여 냉각한 후 아스피레이터를 이용하여 여과한 후 증류수로 세척하였다. 이렇게 세척된 목분을 105 °C 진공오븐에서 48시간 동안 건조하였다.

WPC 제조. WPC를 제조하기 위하여 용융블렌딩 및 압축성형 기술을 이용하였다. WPC를 구성하는 각 성분의 균일한 혼합을 위해 용융혼합기(HAAKE PolyDrive Rheomix 600, Thermo Electron Corporation, Germany)를 사용하였으며 175 °C에서 6분간 용융혼합한 후 hot press(Hydraulic Unit Model # 3912, Carver, USA)를 이용하여 압축성형에 의해 패널 형태의 WPC를 제조하였으며 이를 재단하여 기계적 특성 분석을 위한 WPC 시편을 제작하였다. 목분 함량은 30~100 phr (parts per hundreds of PVC resin), 점토의 함량은 0~4 phr로 하여 WPC를 제조하였다.

기계적 특성 측정. **인장 및 굴곡 시험**: WPC의 인장 및 굴곡 시험은 만능시험기(LR-30K, LLOYD, Hampshire, UK)를 사용하여 ASTM D882와 ASTM D790에 맞추어 진행하였다. 인장특성은 30 kN의 힘과 5 mm/min의 크로스헤드 속도로 측정하였고, 굴곡특성은 1 kN의 힘과 6.5 mm/min의 크로스헤드 속도로 측정하였다. 시편의 크기는 인장시험은 100 mm × 8 mm × 0.9 mm, 그리고 굴곡시험은 80 mm × 10 mm × 4 mm였으며, 동일한 WPC에 대해 6개의 시편을 제작하여 측정한 후 평균값을 취하였다.

충격 시험: 충격 시험은 아이조드 충격시험기(SJI-103, Sungjin Co., South Korea)를 사용하여 ASTM D256에 맞추어 진행하였다. 시편의 크기는 50 mm × 13 mm × 4 mm였으며, 동일한 WPC에 대해 6개의 시편을 제작하여 측정한 후 평균값을 취하였다.

열적 · 기계적 특성 시험: WPC의 온도변화에 따른 동력학적인 기계적 특성은 dynamic mechanical analyzer(DMA 2980, TA Instruments, New Castle, DE)를 사용하여 측정하였다. 주파수는 1 Hz로 상온~180 °C까지 5 °C/min의 승온속도로 측정하였다. 시편의 크기는 36 mm × 12.8 mm × 3.2 mm였다.

WPC의 열팽창 특성과 치수안정성을 측정하기 위해서 thermomechanical analyzer(TMA 2940, TA Instruments, New

Castle, DE)를 사용하였다. 질소가스 분위기(110 mL/min) 하에서 -60~170 ºC까지 5 ºC/min의 승온속도로 측정하였다. 시편의 크기는 4 mm × 4 mm × 3.7 mm였으며 압축성형을 했으므로 방향성이 없다고 가정하였다.

결과 및 토론

개질되지 않은 순수한 목분 50 phr을 포함하고 있는 WPC(None)와 서로 다른 아미노실란으로 각각 개질된 목분을 각각 50 phr 함유한 세 가지 WPC(A, B, and C)의 인장강도와 굴곡강도를 Figure 1에 나타내었다. 개질된 목분을 함유한 WPC가 개질되지 않은 목분을 함유한 WPC보다 인장강도는 약간 높은 값을 나타냈지만 굴곡강도의 경우에는 상승폭이 상당히 큼을 알 수 있다. 세 가지 아미노실란 중에 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane이 가장 효과적

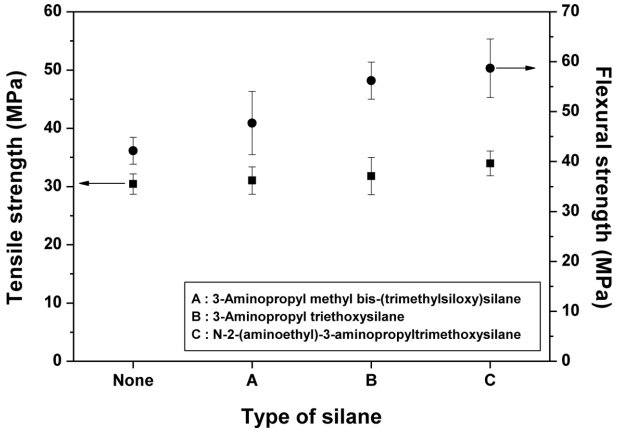

Figure 1. Tensile and flexural strength of the WPCs (wood content = 50 phr) comprising different aminosilane modified wood flours.

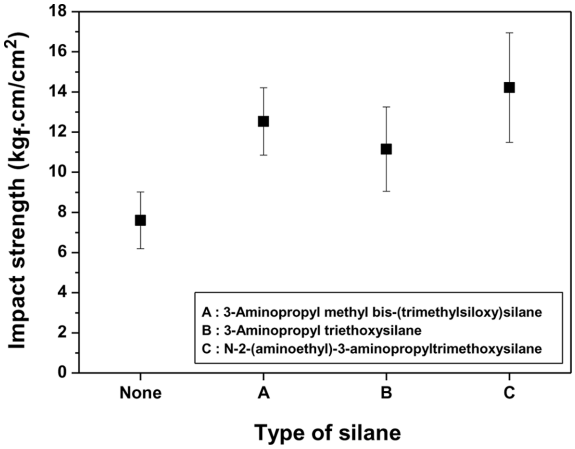

Figure 2. Impact strength of the WPCs (wood content = 50 phr) comprising different aminosilane modified wood flours.

인 것으로 나타났다.

Figure 2는 개질되지 않은 순수한 목분 50 phr을 포함하고 있는 WPC(None)와 서로 다른 아미노실란으로 각각 개질된 목분을 각각 50 phr 함유한 세 가지 WPC(A, B, and C)의 충격강도를 나타내고 있다. Figure 1의 인장 및 굴곡강도 시험결과와 마찬가지로 세 가지 아미노실란 중에 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane이 충격강도 향상에도 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Figure 1과 Figure 2의 결과와 같이 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane으로 개질된 목분을 함유한 WPC의 인장, 굴곡 및 충격강도가 가장 높게 나타난 이유는 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane의 경우에는 하나의 분자 내부에 두 개의 아민기를 갖고 있는 반면 다른 두 가지 아미노실란의 경우에는 하나의 아민기만을 갖고 있기 때문으로 사료된다. 즉, 용융가공 중 Cl^- 이온의 해리로 탄소 양이온을 갖게 되는 PVC 사슬은 전자를 받을 수 있어 산으로 작용하고, 아민기를 갖고 있는 아미노실란은 전자를 줄 수 있어 염기로 작용하므로 산-염기 상호작용에 의해 목분/PVC 계면결합력이 향상될 수 있는데 그 효과는 아민기의 수가 더 많을수록 더 커질 것으로 생각할 수 있다. Matuana 등도 두 개의 서로 다른 물질 사이의 계면에서의 산-염기 상호작용이 계면결합력 향상에 큰 영향을 주는 요인이라는 연구결과를 보고한 바 있다.[20]

이러한 실험결과를 토대로 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane이 PVC 기반 WPC 제조 시 가장 효과적인 목분 개질제임을 확인하였으며 이 아미노실란으로 개질된 목분을 사용하여 다음 실험을 진행하였다.

Figure 3은 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane으로 개질된 목분의 함량에 따른 인장강도와 굴곡강도의 변화를 나타내고 있다. 목분의 함량이 증가함에 따라 PVC 매트릭스의 부피가 줄어들게 되며 그 결과 인장강도가 감소하

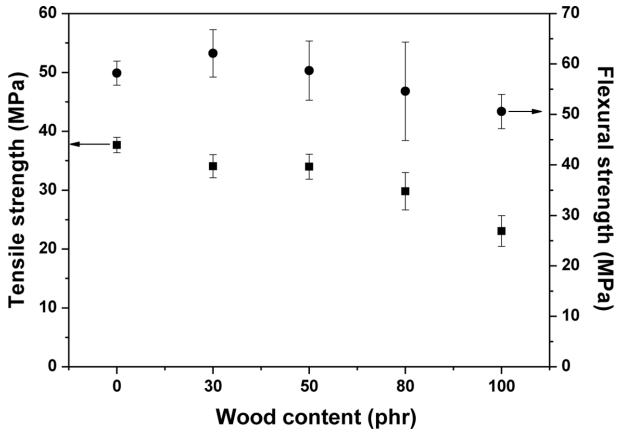

Figure 3. Tensile and flexural strength of the WPCs with various wood contents.

는 경향을 보임을 확인할 수 있다. 하지만 굴곡강도의 경우에는 목분의 함량이 증가함에 따라 다소 증가한 후 감소하는 경향을 보이고 있어 목분이 보강재료로서의 역할을 어느 정도 하는 것으로 나타났다. 목분의 함량이 상대적으로 적은 30 phr에서 WPC의 굴곡강도가 순수한 PVC보다 다소 우수한 것으로 측정되었는데 이는 아미노실란으로 개질된 목분과 PVC 매트릭스 사이의 향상된 계면접착력 및 목분의 보강효과에 기인하는 것으로 사료된다. 하지만 목분의 함량이 절대적으로 증가하게 되면 PVC 매트릭스의 부피가 줄어들어 전체적인 목분/PVC 계면접착력의 향상효과도 떨어질 것이므로 굴곡 시험의 경우에도 기계적 응력을 효과적으로 감당하지 못하는 것으로 사료된다. 이러한 경향은 50 phr을 경계로 두드러지게 나타났다. 즉, 50 phr까지는 인장강도 및 굴곡강도가 급격하게 떨어지지 않지만 80 phr부터는 그 감소폭이 커지는 경향을 보이고 있다.

N-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane으로 개질된 목분의 함량을 50 phr로 고정하고 유기화 나노점토의 함량을 달리하여 제조한 WPC의 인장강도 및 굴곡강도를 Figure 4에 나타내었다. 나노복합체에 대한 여러 연구에 의하면 나노충전제를 첨가하여 나노복합체를 제조하는 경우 이상적인 나노복합체의 경우에는 소량의 나노충전제 첨가만으로도 기계적 특성을 크게 향상시키는 개념이므로 본 연구에서는 나노점토의 함량을 4 phr 이하로 설정하여 실험하였다. Figure 4의 결과를 살펴보면, 나노점토의 함량이 증가함에 따라 WPC의 인장강도 및 굴곡강도가 3 phr까지는 모두 올라가지만 4 phr에서는 오히려 떨어지는 것을 확인할 수 있는데, 이러한 현상은 나노점토의 함량이 일정 수준보다 많아지면 분산성이 떨어질 뿐만 아니라 나노점토 입자들의 뭉침현상이 생기기 때문인 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 용융혼합 가공하는 동안에 유기화 나노점토에 포함된 유기화제인 암모늄염과 PVC 사슬의 Cl 분자 사이에 반응이 일어나 PVC 사슬의 열화가 촉진될 수 있기 때문에 결과적으로 WPC의 기계적 특성을 떨어뜨리는 것으로도 판단된다. 이러한 해석을 뒷받침하는 실례로, 나노점토를 4 phr 함유한 WPC 샘플을 용융혼합기 내에서 혼합 시에 열화 반응에 기인한 것으로 보이는 변색현상이 나타나는데 이 변색은 주로 PVC 사슬의 일부분에서 Cl이 떨어져 나가는 언지핑(unzipping) 현상이 일어나 연속 이중결합을 갖게 되어 발색하는 것으로 생각된다.[21]

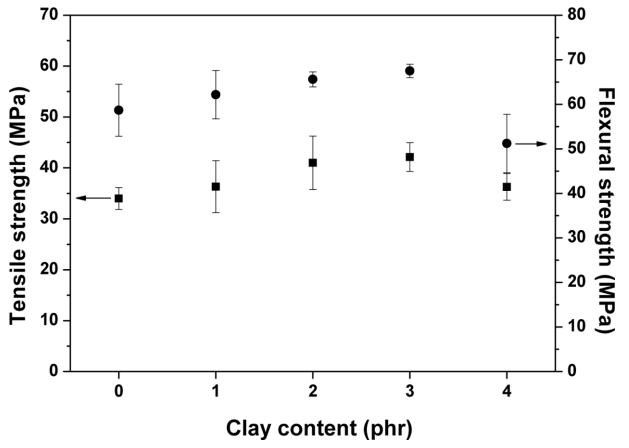

Figure 4. Tensile and flexural strength of the WPCs (wood content = 50 phr) with various clay contents.

일반적으로 목분은 170 °C 이상에서 열에 의한 분해가 시작되는 것으로 알려져 있다. 따라서 170 °C가 넘는 가공온도에서 목분/플라스틱 혼합물을 용융가공할 경우 열에 의한 목분의 분해가 문제점으로 작용할 수 있다. WPC의 기계적 특성 저하요인으로 작용하는 WPC 제품 내부의 계면에서의 기포는 주로 목분에 잔류하는 수분의 증발과 더불어 목분 내의 저분자량 가용 성분이 열에 의해 분해되면서 생기는 가스에 기인하는 것으로 판단된다.

WPC의 용융혼합 가공온도의 변화에 따른 기계적 특성의 변화를 살펴보기 위해, *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane으로 개질된 목분의 함량을 50 phr, 유기화 나노점토의 함량을 3 phr, 용융혼합 가공시간을 6분으로 고정하고 용융혼합 가공온도를 165~180 °C로 변화시켜 제조한 WPC의 인장강도 및 굴곡강도를 측정하였으며 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. 용융혼합 가공온도가 175 °C일 때 인장강도 및 굴곡강도가 가장 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. 가공온도의 증가는 PVC 매트릭스의 점도를 낮추어 목분과 PVC 수지 용융물이 잘 혼합되도록 도와주어 WPC의 물성에 긍정적인 요인으로 작용하지만 동시에 목분 및 PVC의 열분해도 촉진하므로 WPC의 물성에 부정적인 요인으로도 작용한다. 따라서 최적의 용융혼합 가공온도의 설정이 필요하며 본 연구의 나노점토가 함유된 목분/PVC WPC의 경우에는 최적의 용융혼합 가공온도가 175 °C임을 알 수 있다. 165 °C에서는 WPC 용융물의 점도가 커서 목분의 효과적인 분산을 위한 용융혼합이 충분히 되지 않았기 때문에, 그리고 180 °C에서는 용융혼합가공 중에 목분 및 PVC 수지의 열분해가 진행되었기 때문에 기계적 강도가 상대적으로 많이 낮음을 알 수 있다.

Figure 5의 결과에 따라 용융혼합 가공온도를 175 °C로 고정하고 동일한 WPC에 대해서 용융혼합 가공시간의 변화가 WPC의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 용융혼합 가공시간을 3~9분으로 다르게 하여 제조한 WPC 시편의 인장강도 및 굴곡강도 결과를 Figure 6에 나타내었다.

가장 높은 기계적 강도를 보인 용융혼합 가공시간은 6분으로 나타났다. 3분간 용융혼합 가공한 경우는 목분과 PVC 컴파운드가 용융혼합기 내부에서 충분히 섞이지 않았고, 9분간 용융혼합 가공한 경우에는 혼합기 내부에서 용융혼합 가공 중 발생된 마찰열에 의해 온도가 상승하여 목분 및 PVC 사슬이 일부 열분해되는 현상이 나타났기 때문에 상대적으로 기계적 강도가 좋지 않은 것으로 판단된다.

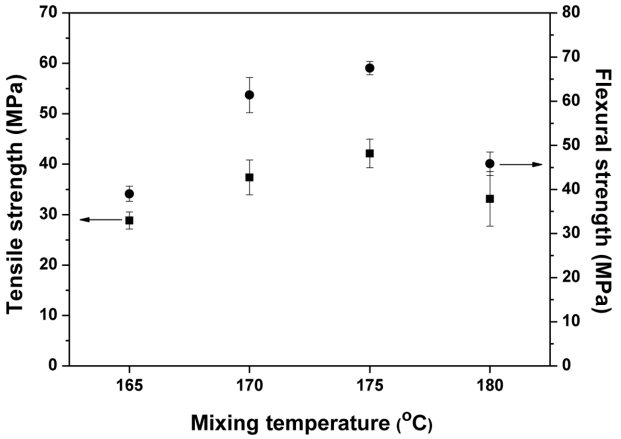

Figure 5. Tensile and flexural strength of the WPCs (wood content = 50 phr, clay content = 3 phr) prepared at different mixing temperatures (mixing time = 6 min).

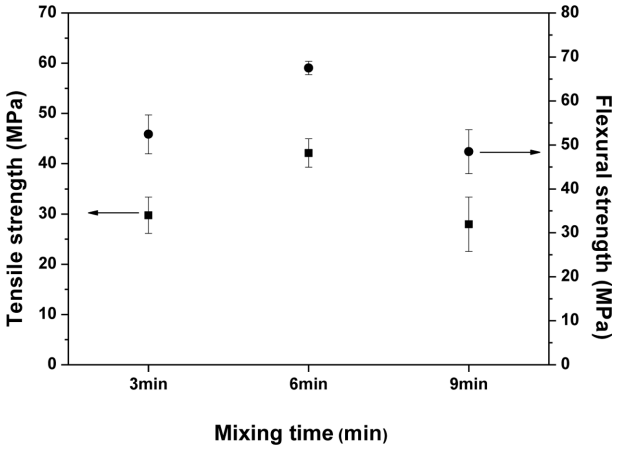

Figure 6. Tensile and flexural strength of the WPCs (wood content = 50 phr, clay content = 3 phr) prepared with different mixing times at 175 °C.

온도의 변화에 따른 WPC의 동적・기계적 특성의 변화를 측정하기 위하여 DMA를 이용하였으며 그 결과로 온도의 변화에 따른 저장탄성률과 tan δ의 변화를 Figure 7에 나타내었다. PVC 매트릭스의 유리전이 현상이 나타나는 온도영역인 90 °C 전후에서 모든 WPC의 저장탄성률이 급격히 떨어지고 그 이상의 온도에서는 고무와 같은 상태이므로 저장탄성률이 매우 낮아져 거의 비슷한 값을 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 유리전이온도보다 낮은 온도영역에서의 저장탄성률을 보면 개질되지 않은 목분을 50 phr 함유한 WPC(W50PVC)에 비해 아미노실란 (*N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane)으로 개질된 목분을 50 phr 함유한 WPC(SW50PVC)가, SW-50PVC보다는 아미노실란으로 개질된 목분 50 phr 및 나노점토 3 phr을 함유한 WPC(SW50C3PVC)가 훨씬 높은 값을 보이고 있어 아미노실란에 의한 목분의 개질과 유기화 나노점

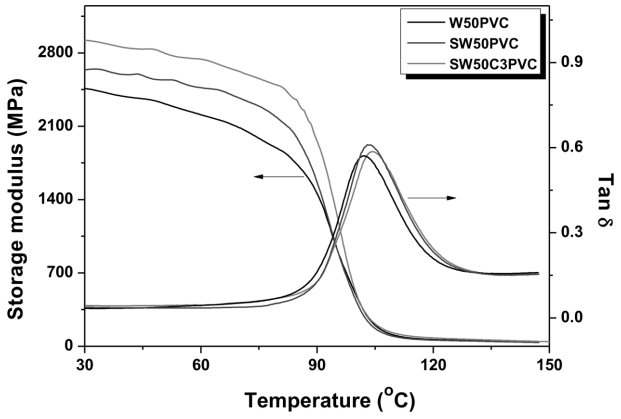

Figure 7. Storage modulus and tan δ of the WPCs.

토의 첨가가 WPC의 저장탄성률을 크게 증가시켰음을 알 수 있다. PE 기반 WPC의 경우에도 소량의 유기화 나노점토의 첨가가 WPC의 저장탄성률을 크게 증가시키는 것으로 보고된 바 있다.[14]

Tan δ의 최고점을 WPC의 유리전이온도로 취하여 해석해 보면 W50PVC의 유리전이온도가 가장 낮고 SW50C3PVC의 유리전이온도가 가장 높은 것으로 나타나 아미노실란에 의한 목분의 개질과 유기화 나노점토의 첨가가 유리전이온도의 증가에도 다소 영향을 미치는 것으로 나타났다. 아미노실란을 사용하여 개질된 목분으로 만들어진 WPC의 경우 개질되지 않은 목분을 사용하여 만들어진 WPC보다 목분/PVC 계면에서의 접착력이 향상되므로 저장탄성률 및 유리전이온도가 상승하는 요인으로 작용하고 유기화 나노점토의 첨가는 나노점토가 PVC 매트릭스 내부에서 분산, 삽입 및 박리구조를 갖게 되어 PVC 사슬의 자유로운 운동을 구속하고 매트릭스를 견고하게 하므로 저장탄성률 및 유리전이온도를 상승시키는 요인으로 작용한다고 볼 수 있다.

TMA를 이용하여 WPC의 열팽창계수와 온도상승에 따른 치수변형률(ΔL)을 분석하였으며 그 결과 값을 Table 1에 정리하였다. 온도상승에 따른 치수변형률은 두 온도(60 °C 및 140 °C) 사이의 WPC의 치수 차이를 백분율로 나타낸 것이다. 아미노실란으로 개질된 목분을 사용하였을 경우(SW50PVC)

Table 1. The Thermal Expansion Coefficients and Dimension Changes of the WPCs

WPC Sample	α_1[a] (μm/m°C)	α_2[b] (μm/m°C)	ΔL[c] (%)
W50PVC	68.5	387	2.54
SW50PVC	60.3	336	2.12
SW50C3PVC	47.4	319	1.79

[a]Expansion coefficient measured at 60 °C (below T_g).
[b]Expansion coefficient measured at 140 °C (above T_g).
[c]Dimension change between 60 °C and 140 °C.

개질되지 않은 목분을 사용했을 경우(W50PVC)보다 낮은 열팽창계수 및 치수변형률을 보여주고 있다. 유기화 나노점토를 첨가한 경우(SW50C3PVC)에는 치수안정성이 더욱 더 좋아짐을 알 수 있다. 목분은 PVC에 비해 상대적으로 높은 유리전이온도를 갖기 때문에 유동성이 낮아 온도 증가에 따른 PVC 고분자 사슬의 운동을 제한하게 되며 특히 목분/PVC 계면 접착력이 좋은 경우에는 그 효과가 더 크게 된다. 그리고 나노점토의 층상 구조를 이루는 판상의 실리케이트는 무기물질이므로 열에 의한 치수변형이 유기물질보다 작을 뿐만 아니라 고분자 매트릭스 내에서 잘 분산된 나노점토의 경우 고분자 사슬운동을 제한하는 역할을 하여 WPC 복합재의 열팽창계수 및 치수변형률을 감소시켜 주는 역할을 하게 된다. 결과적으로 목분/PVC 복합재의 열에 의한 치수안정성은 아미노실란으로 개질된 목분 및 나노점토의 사용으로 크게 개선됨을 알 수 있다.

결 론

목분/PVC 계면결합력을 향상시키기 위해 세 가지 아미노실란을 각각 사용하여 목분을 개질하여 WPC를 제조하고 기계적 특성을 측정한 결과 *N*-2-(aminoethyl)-3-aminopropyl-trimethoxysilane이 가장 효과적이었다. 목분의 함량이 증가함에 따라 WPC의 인장강도는 감소하였으나 굴곡강도는 30 phr에서 최고점을 보인 후 감소하였다. 나노점토의 함량이 증가함에 따라 WPC의 인장강도 및 굴곡강도는 증가하였으나 3 phr에서 최고점을 보인 후 감소하였다. 아미노실란으로 개질된 목분을 50 phr, 나노점토를 3 phr 함유한 WPC의 용융가공조건은 175 ºC, 6분이 최적인 것으로 나타났다. 아미노실란으로 개질된 목분 및 나노점토의 첨가로 인해 WPC의 저장탄성률 및 유리전이온도가 향상되었다. WPC의 온도변화에 따른 치수안정성은 아미노실란으로 개질된 목분 및 나노점토의 사용으로 크게 개선됨을 알 수 있었다. 아미노실란으로 개질된 목분과 PVC 매트릭스 사이의 계면접착력의 향상 및 나노점토의 나노 스케일 보강효과로 인해 목분/PVC WPC의 성능이 크게 향상되었으며 본 연구결과는 친환경적인 PVC 기반 WPC 제품개발에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. H. K. Lee and D. S. Kim, *J. Appl. Polym. Sci*., **111**, 2769 (2009).
2. G. Bogoeva-Gaceva, M. Avella, M. Malinconico, A. Buzarovska, A. Grozdanov, G. Gentile, and M. E. Errico, *Polym. Compos*., **28**, 98 (2007).
3. M. H. Schnieder, *Wood Fiber Sci*., **26**, 142 (1994).
4. J. Z. Lu, Q. Wu, and H. S. McNabb, *Wood Fiber Sci*., **32**, 88 (2000).
5. B. L. Shah, L. M. Matuana, and P. A. Heiden, *J. Vinyl Addit. Techn*., **11**, 160 (2005).
6. Y. Zhao, K. Wang, F. Zhu, P. Xue, and M. Jia, *Polym. Degrad. Stabil*., **91**, 2874 (2006).
7. H. Jiang and D. P. Kamsem, *J. Vinyl Addit. Techn*., **10**, 59 (2004).
8. M. Takatani and T. Okamoto, *Mol. Cryst. Liq. Cryst*., **483**, 326 (2008).
9. J. Guo, Y. Tang, and Z. Xu, *J. Hazard. Mater*., **179**, 203(2010).
10. Q. Li and L. M. Matuana, *J. Appl. Polym. Sci*., **88**, 278 (2003).
11. H. Ismail and H. P. S. A. Khalil, *Polym. Test*., **20**, 33 (2000).
12. M. Bengtsson and K. Oksman, *Compos. Sci. Technol*., **66**, 2177 (2006).
13. Y. H. Cui, S. Lee, and J. Tao, *J. Vinyl Addit. Techn*., **14**, 211 (2008).
14. B. Park and D. S. Kim, *Polymer*(*Korea*), **35**, 124 (2011).
15. J. Ren, Y. Huang, Y. Liu, and X. Tang, *Polym. Test*., **24**, 316 (2005).
16. J. George, M. Sreekala, and S. Thomas, *Polym. Eng. Sci*., **41**, 1471 (2001).
17. Y. Kim and J. L. White, *J. Appl*. *Polym. Sci*., **90**, 1581 (2003).
18. L. Kovarova, A. Kalendova, J.-F. Gerard, J. Malac, J. Simonik, and Z. Weiss, *Macromol. Sympo*., **221**, 105 (2005).
19. D. Maldas, B. V. Kokta, R. G. Raj, and C. Daneault, *Polymer*, **29**, 1255 (1988).
20. L. M. Matuana, R. T. Woodhams, J. J. Balatinecz, and C. B. Park, *Polym. Compos*., **19**, 446 (1998).
21. C. E. Wilkes, J. W. Summers, and C. A. Daniels, *PVC Handbook*, Carl Hanser Verlag, Munich, 2005.