

커플링제 및 점토가 목분/폴리에틸렌 복합체의 물성에 미치는 영향

박병섭 · 김대수[†]

충북대학교 화학공학과

(2010년 8월 24일 접수, 2010년 10월 24일 수정, 2010년 10월 30일 채택)

Effects of Coupling Agents and Clay on the Physical Properties of Wood Flour/Polyethylene Composites

Byungsub Park and Dae Su Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University,

410 Sungbongro, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

(Received August 24, 2010; Revised October 24, 2010; Accepted October 30, 2010)

초록: 최근 목분/플라스틱 복합체(WPC)가 많은 관심을 끌고 있다. 본 연구에서는 커플링제 및 나노점토가 함유된 목분/폴리에틸렌(PE) 복합체 패널을 용융혼합 후 압축 성형하여 제조하였다. 5종의 말레산무수물 그래프트 폴리에틸렌(MAPE) 커플링제에 대해 시험하여 가장 우수한 커플링제 및 함량을 결정하였다. WPC의 기계적 특성은 UTM으로, 열적 특성은 TGA, DMA, DSC, TMA로 측정하였다. 유기점토를 소량(1 phr)만 첨가하여도 WPC의 인장강도 및 굴곡강도, 결정화도가 증가하는 경향을 보였으며 저장탄성률과 치수안정성은 크게 증가하였다. SEM으로 분석한 결과 커플링제에 의한 목분/PE 계면결합력 향상 효과가 매우 큼을 알 수 있었다. 최적의 커플링제를 선정하여 함량을 최적화하고 소량의 유기점토를 첨가함으로써 우수한 성능의 목분/PE 복합체를 제조할 수 있었다.

Abstract: Wood plastic composites (WPCs) are attracting a lot of interest recently. In this study, wood flour/polyethylene (PE) composites panels comprised of a coupling agent and nanoclay were prepared by melt-blending followed by compression molding. Five maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) coupling agents were tested, and the best choice and its optimum content were determined. The mechanical properties of the WPCs were measured by UTM, and the thermal properties were measured by TGA, DMA, DSC, and TMA. Adding just a small amount (1 phr) of organoclay made the tensile and flexural strength and the crystallinity of the WPC somewhat increase and the storage modulus and dimensional stability of the WPC largely increase. SEM images showed that the coupling agent drastically improved wood flour/PE interfacial bonding. Selecting the best coupling agent optimized content and adding a small amount of organoclay resulted in a high performance wood flour/PE composite.

Keywords: wood flour, high density polyethylene, maleic anhydride grafted polyethylene, organoclay, composites.

서 론

목분 등의 천연 충전제는 자원재활용, 원가절감, 친환경 등의 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문에 최근 플라스틱의 보강재료로서 널리 사용되고 있다. 목분/플라스틱 복합체(WPC)는 가벼운 중량, 낮은 가격, 적당한 강도와 경도, 재활용성, 생분해성 등의 장점을 갖고 있다. 그리고 유연해서 기존의 플라스틱 가공장비를 그대로 사용할 수 있으며 전통적인 플라스틱 가공기술인 압출, 사출 그리고 압축 성형에 의해 쉽게 다양한 형상의 제품을 생산할 수 있다.^{1,2} 목분과 안료의 적절한 선택을 통해 표면의 형태도 쉽게 조절할 수 있다.³ WPC의 매트릭스 수지로 가장 많이 사용되는 플라스틱으로는 PE, PVC, PP 등을 들 수 있다.

PE 및 PP와 같은 비극성 플라스틱을 WPC의 매트릭스 수지로 사용할 때 소수성인 플라스틱과 친수성인 목분 사이의 친화성이 낮아 계면에서의 결합력이 낮은 것이 큰 문제이다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 플라스틱과 목분 사이의 계면 결합력 증대를 위한 많은 연구가 진행되어 왔으며 그 결과 친수성 및 소수성 부분을 동시에 갖고 있는 커플링제의 사용이 가장 좋은 해결책으로 제시되고 있다.³⁻⁷ 커플링제는 목분/플라스틱 경계면에서 교량 역할을 하기 때문에 낮은 함량으로도 플라스틱과 목분 사이의 계면 결합력을 크게 증가시킬 수 있다.⁸

고분자/점토 나노복합체는 새로운 형태의 유-무기 하이브리드 고분자 복합재료로서 나노미터 크기의 점토를 아주 소량만 첨가하여도 고분자의 물성이 크게 증가하는 것이 특징이다.⁹ 고분자/점토 나노복합체 제조 시 크게 증가되는 물성으로는 기계적 물성, 입체적 치수안정성, 열

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

안정성 등을 들 수 있다.¹⁰⁻²⁰

따라서, 본 연구에서는 커플링제 및 나노미터 크기의 무기충전제인 점토의 첨가가 목분/PE 복합체의 물성에 미치는 영향을 조사하여 궁극적으로 우수한 성능의 목분/PE 복합체를 제조하고자 하였다. 먼저 여러 가지 MAPE 커플링제를 각각 함유한 WPC 샘플을 제작하고 기계적 강도를 측정하여 가장 우수한 MAPE를 선정하고 함량을 최적화하였으며 소량의 점토 첨가가 WPC의 물성에 미치는 영향을 조사하였다.

실 험

재료. 본 실험에 사용된 PE 펠렛(HDPE JH-910, 밀도=0.963 g/cm³, 용융흐름지수(MFI)=8.5 g/10 min)은 SK에너지에서 구입하였다. 목분/PE 계면결합력의 향상을 위하여 본 연구에서 커플링제로 사용한 말레산무수물 그래프트 폴리에틸렌은 Dupont사의 Fusabond MB100D(MFI=2 g/10 min, 말레산무수물 함량=1%, 밀도=0.96 g/cm³), Fusabond MB226DY(MFI=1.5 g/10 min, 말레산무수물 함량<1%, 밀도=0.93 g/cm³)와 Polyram사의 Bondyram®5108(MFI=8 g/10 min, 말레산무수물 함량=1%, 밀도=0.95 g/cm³), Clariant사의 PEMA4351(MFI=3 g/min, 말레이무수물 함량<1%, 밀도=0.99 g/cm³), 그리고 호산석유화학의 EM-200(MFI=7.5 g/10 min, 말레이무수물 함량<1%, 밀도=0.96 g/cm³)으로 총 5종이다.

목분(lignocel C-120, 경질 목재, 입자크기=70~150 μm)은 J. Retenmaier & Sohne사에서 구입하였다. 점토(Cloisite 20A, Southern Clay Products Co., USA)는 dimethyl dehydrogenated tallow quaternary ammonium으로 유기화 개질된 몬토릴로나이트를 사용하였다.

WPC 패널 제작. 목분/PE/점토 나노복합체는 배치타입 용융혼합기(HAAKE Rheomix PolyDrive R600)를 사용하여 제조하였다. PE의 함량은 60 parts, 목분의 함량은 40 parts, 커플링제의 함량은 0~5 parts, 유기점토의 함량은 0~1 part로 하여 WPC 패널을 제작하였으며 Table 1에 WPC 샘플의 조성 및 용융혼합 가공조건을 정리하여 나타내었다. WPC 샘플의 이름은 W40P60C3M1과 같이 나타내었는데 이는 목분(wood)의 함량이 40 parts, PE 함량이 60 parts, 커플링제(coupling agent)의 함량이 3 parts, 유기점토(montmorillonite)의 함량이 1 part인 WPC를 의미한다. 수분을 제거하기 위하여 목분은 용융혼합하기 전에 105 °C의 오븐에서 1시간 동안 건조시켰다.

용융혼합기의 용융혼합 가공온도는 예비실험을 거쳐 150 °C로 설정하였다. 먼저 목분을 제외한 모든 성분을 용융혼합기에 넣고 토오 크가 안정화될 때까지 충분히 용융혼합이 되도록 한 다음 목분을 투입하여 다시 6분 동안 용융혼합하는 방식을 사용하여 효과적인 용융

혼합이 되도록 하였다. 목분을 투입하기 전까지의 용융혼합시간은 유기점토가 배제된 경우에는 9분으로 설정하였으나 유기점토를 1 part 투입하는 경우에는 소량의 나노미터 크기의 점토 입자가 PE 매트릭스 수지 내부에 충분히 분산 및 분포되도록 24분으로 설정하였다. 용융혼합과정을 마친 WPC 용융혼합물은 유압식 열 압축성형 장비로 이동되어 150 °C, 1000 psi, 6분의 열 압축성형의 조건하에서 성형 후 냉각하여 패넬 형태의 WPC 샘플을 제작하였다. 기계적 특성 및 열적 특성을 측정하기 위한 WPC 시편은 ASTM 규격에 맞게 재단하여 제작하였다.

기계적 특성 측정. 인장강도 및 굴곡강도 측정은 만능재료시험기(UTM, Lloyd LR-30 K, Hampshire, UK)를 이용하였다. 측정 조건(crosshead speed=5 mm/min, 1 kN의 로드 셀)은 ASTM D882 조건에 따라 설정하였다. 측정값의 신뢰도를 높이기 위해 동일한 WPC 샘플에 대해 6개의 시편을 만들어 측정 후 평균값을 취하였다.

열 분석. 온도의 증가에 따른 중량감소를 추적하여 WPC 샘플의 열적 안정성을 측정하기 위하여 열중량분석기(SDT 2980, TA instruments)를 이용하였다. 상온에서 700 °C까지 가열속도 10 °C/min, N₂ 분위기로 측정하였다.

온도의 증가에 따른 WPC 샘플의 동력학적인 기계적 특성의 변화를 측정하기 위하여 동적기계적 특성분석기(DMA 2980, TA instruments)를 이용하였다. 상온에서 170 °C까지 가열속도 5 °C/min, 주파수 1 Hz로 측정하였다.

WPC 샘플의 용융 거동 및 결정화도를 측정하기 위하여 시차주사 열량분석기(DSC 2910, TA instruments)를 이용하였다. 상온에서 200 °C까지 가열속도 5 °C/min, N₂ 분위기로 측정하였다. 각각의 WPC 샘플의 결정화도(X_c)는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$X_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0 w} \times 100 (\%)$$

이 식에서, ΔH_f는 각각의 WPC의 용해열, ΔH_f⁰는 결정화도 100%인 PE의 용해열(ΔH_f⁰=293.1 J/g)²¹ 그리고 w는 WPC 샘플 내부의 PE의 무게분율이다.

열적기계적 특성분석기(TMA 2910, TA instruments)를 이용하여 WPC 샘플의 열팽창 특성과 열적 치수 안정성을 조사하였다. N₂ 분위기로 -60~70 °C까지 가열속도 5 °C/min으로 측정하였다.

구조 분석. WPC 샘플의 파단 표면의 이미지는 주사전자현미경(SEM, S-2500C, HITACHI, Japan)을 이용하여 20 kV로 조사하였다. SEM 이미지를 조사하기 위해 샘플의 파단 표면을 스퍼터링에 의하여 금으로 전처리하였다.

Table 1. Composition and Mixing Conditions of WPCs

Sample	Wood (part)	Polyethylene (part)	Coupling agent MAPE (part)	Montmorillonite Cloisite 20A (phr)	Mixing time (min)	Mixing temperature (°C)
W40P60	40	60	0	0	15	150
W40P60C2	40	60	2	0	15	150
W40P60C3	40	60	3	0	15	150
W40P60C5	40	60	5	0	15	150
W40P60C3M1	40	60	3	1	30	150

결과 및 토론

용융혼합가공. Figure 1은 세 가지 WPC 시스템의 용융혼합시간에 따른 토크의 변화를 보여주고 있다. 세 가지 WPC 시스템 모두 용융혼합공정의 시작 후 곧 바로 초기 피크를 관찰할 수 있는데 이는 PE가 펠렛 형태로 공급되기 때문에 곧바로 충분히 용융이 일어나지 않을 뿐만 아니라 어느 정도 용융되어 기계적으로 안정화되는 시간이 필요하므로 그 과도기에 해당하여 높은 토크를 나타내는 것으로 생각할 수 있다.

그러나 3분 정도 경과 후 모든 WPC 시스템에서 PE가 어느 정도 용융되어 낮은 토크 값으로 안정화되는 것을 볼 수 있다. 3분 경과 후 목분을 투입하기 전인 9분까지의 안정된 영역에서의 토크 값을 보면 W40P60의 토크 값이 가장 작고 W40P60C3M1 (coupling agent = Fusabond MB100D)의 토크 값이 가장 큰 것을 알 수 있다. W40P60 시스템은 커플링제 및 유기점토를 포함하지 않았기 때문에 안정된 영역의 토크 값이 다른 두 WPC 시스템보다 낮은 값을 보인 것으로 생각할 수 있으며 W40P60C3M1의 토크 값이 가장 큰 이유는 무기물인 유기점토를 함유하고 있기 때문에 점도가 높아진 결과로 생각할 수 있다.

W40P60 시스템은 처음에 PE만을, W40P60C3(coupling agent = Fusabond MB100D) 시스템은 처음에 커플링제를 PE와 함께 투입한 후 9분간 충분히 용융혼합한 후 목분을 첨가하였으며 목분의 열분해로 인한 물성저하를 최소화하기 위하여 목분 첨가 후 6분 동안만 용융혼합을 진행하여 총 15분간 용융혼합하였다. W40P60C3M1 시스템은 나노충전제로서 유기점토를 1 part 함유하고 있으므로 유기점토의 충분한 분산 및 분포를 위해 PE와 목분, 유기점토를 함께 처음에 투입한 후 24분간 충분히 혼합하였으며 목분을 첨가한 후에는 다른 두 시스템과 동일하게 6분간 혼합하였다. 목분 첨가 후에는 목분의 도입에 의해 점도가 급격히 상승하기 때문에 세 가지 WPC 시스템이 모두 거의 똑같은 패턴으로 토크 값이 급격하게 상승하였다. 하지만 용융혼합에 의해 목분의 분산 및 분포가 진행되어 토크 값도 점점 작아지게 되며 목분 투입 후 6분이 경과하게 되면 충분히 안정화될 뿐만 아니라 너무 긴 시간을 고온에서 용융혼합하는 것은 PE의 열에 의한 열화를 초래하여 결과적으로 WPC의 물성에도 악영향을 미치는 것으로 판단하여 목분 투입 후 6분 동안만 용융혼합을 진행하였다. 실제로 용융혼합 과정을 추적해 보면 용융혼합기 믹서 내부의 온도가 마찰열에 의해서 기기에 설정

된 용융혼합 가공온도인 150 °C보다 약 20 °C 정도 더 높아지는 것을 믹서 내부에 설치된 열전쌍을 이용하여 확인할 수 있었으며 장시간 용융혼합할 경우 WPC의 물성저하를 초래하는 것으로 예측할 수 있다.

기계적 특성. 커플링제인 MAPE를 사용하면 목분과 PE 사이의 결합력이 향상된다. 커플링제는 PE 주사슬에 부분적으로 MA가 덧붙여 있어서 목분의 친수성 그룹과 MA그룹 사이의 화학적 친화성 때문에 계면결합력이 향상되는 것이다. 같은 가공조건에서 MAPE를 WPC 시스템에 소량만 넣어 주어도 인장강도와 충격강도 등의 기계적 강도가 극적으로 증가하는 결과들이 보고되고 있다.²²⁻²⁴

하지만, 최적의 성능을 발휘하는 커플링제는 목분과 PE의 종류에 따라 결정되므로 본 연구의 목분/PE WPC 시스템에 가장 적합한 MAPE 커플링제를 찾기 위한 연구를 진행하였다. Figure 2는 본 연구에서 준비한 5 종의 커플링제를 각각 사용하여 제작한 W40P60C3 WPC 샘플의 인장강도 및 굴곡강도를 나타내고 있다. 커플링제의 함량은 3 parts로 고정하였으며 커플링제의 종류만 5가지로 변화를 주었을 뿐, 용융혼합온도 및 시간, WPC 내부의 조성 등 나머지 WPC 샘플 제작 조건은 모두 동일하게 하였다. 100D(Fusabond MB100D)를 사용하였을 때 인장강도 및 굴곡강도가 가장 높은 것을 알 수 있다. Figure 2의 결과를 종합적으로 분석해 보면 Fusabond MB100D와 같이 말레이아무수물의 함량이 높고 MFI가 작은 MAPE 커플링제가 전반적으로 WPC의 기계적 특성을 높이는데 보다 효과적임을 알 수 있다.

Figure 2의 결과를 보면 100D(Fusabond MB100D)가 목분/PE의 결합력을 높여서 기계적 특성을 향상시키는데 가장 우수한 커플링제로 나타났으므로 이 커플링제에 대해 최적의 커플링제 함량을 결정하고자 하였으며 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. Figure 3의 데이터를 보면 커플링제의 함량이 증가함에 따라 인장강도 및 굴곡강도가 증가하다가 과량의 커플링제가 투입된 경우에는 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 커플링제의 함량이 3 parts일 때 인장 및 굴곡강도가 가장 우수한 것으로 나타났으며 5 parts일 때 다시 감소하는 것으로 나타났는데 이는 과량의 커플링제가 가소제 역할을 해 기계적 강도의 저하를 초래한 것으로 생각할 수 있다.

Figure 4는 커플링제 및 유기점토가 목분/PE WPC 시스템의 인장강도 및 굴곡강도에 미치는 영향을 보여주고 있다. W40P60, W40P60C3(coupling agent = Fusabond MB100D), W40P60C3M1(coupling agent = Fusabond MB100D)의 순서대로 인장강도 및 굴곡

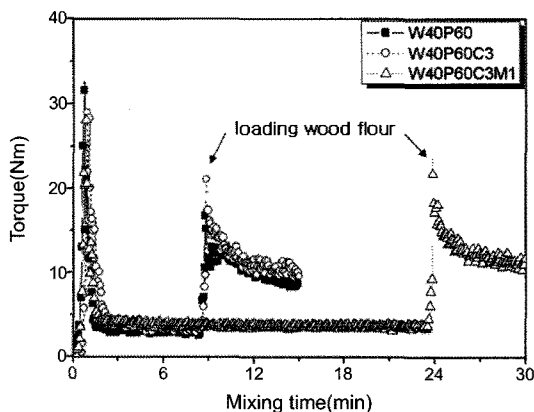


Figure 1. Torque changes with mixing time during melt blending of WPCs.

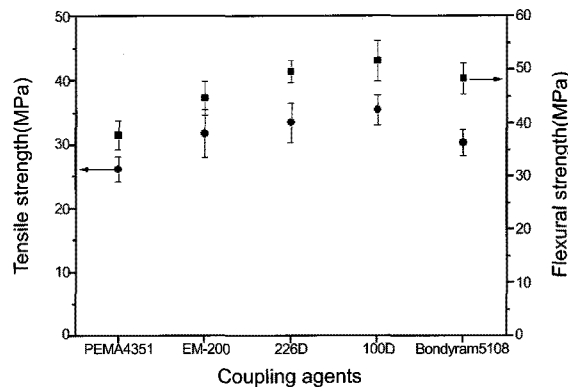


Figure 2. Tensile and flexural strength of WPCs having different coupling agents.

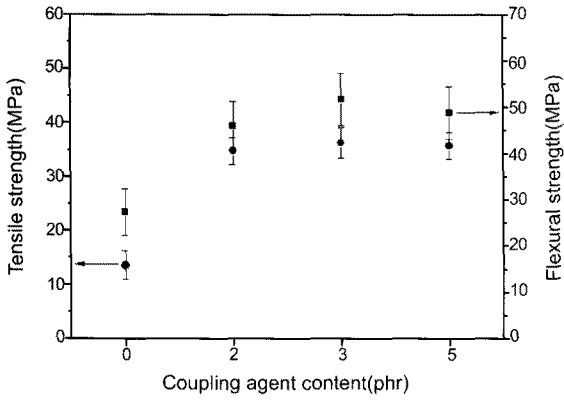


Figure 3. Tensile and flexural strength of WPCs with coupling agent (100D) contents.

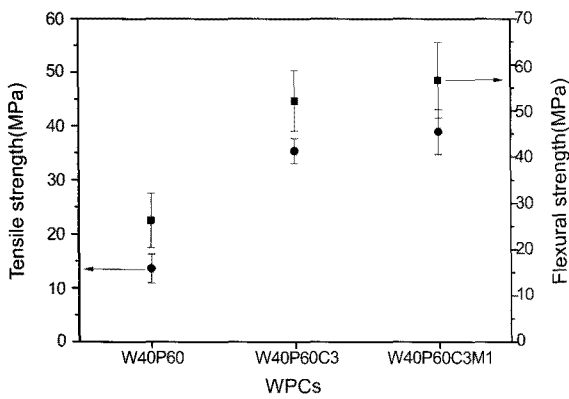


Figure 4. Tensile and flexural strength of WPCs showing the effects of the coupling agent (100D) and organoclay.

강도가 증가하는 것을 알 수 있다. W40P60과 W40P60C3 시스템의 인장강도 및 굴곡강도를 비교해 보면 커플링제를 사용한 경우 기계적 강도의 향상 폭이 매우 컸으며 이로부터 커플링제의 역할이 얼마나 중요한지 알 수 있다. 뿐만 아니라 W40P60C3 시스템과 W40P60C3M1 시스템의 인장강도 및 굴곡강도를 비교해 보면 나노충전제로 유기점토를 소량만 첨가하여도 기계적 강도가 향상되었음을 알 수 있다. PE/점토 나노복합체에 대한 Zhang 등의 연구결과에²⁵ 의하면 유기점토를 도입하는 경우 점토 층 내부로 MA 그룹과 PE 사슬의 삽입이 일어난 후 실리케이트 사이의 간격이 증가하였으며 그로 인해 기계적 강도 증가하였다.

열적 특성. Figure 5는 W40P60, W40P60C3(coupling agent=Fusabond MB100D), W40P60C3M1(coupling agent=Fusabond MB100D) 시스템에 대한 TGA 곡선을 보여주고 있다. 커플링제를 함유하고 있는 W40P60C3, W40P60C3M1 시스템의 경우에는 달리 W40P60 시스템의 경우에는 130~140 °C의 온도영역에서 질량이 약간 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 W40P60 시스템의 경우 커플링제를 함유하고 있지 않기 때문에 목분/PE 사이의 계면접착이 좋지 않아 많은 틈이 생길 수 있으며 이 틈 사이로 침투하여 목분에 수소결합을 통해 달라붙어 있던 수증기가 온도의 증가에 따라 증발되어 분출되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 W40P60 시스템의 경우 다른 두 WPC 시스템에 비해 열적 안정성도 그만큼 떨어진다고 볼 수 있으며

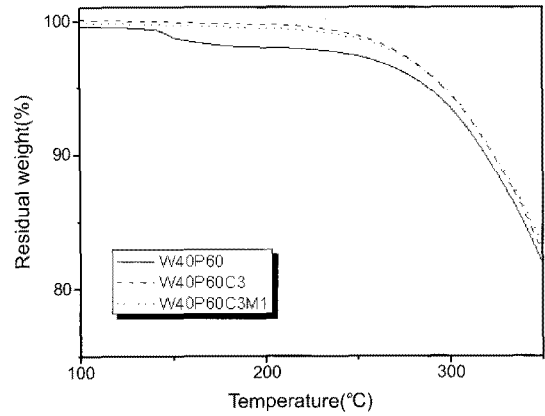


Figure 5. TGA curves of WPCs showing the effects of coupling agent (100D) and organoclay.

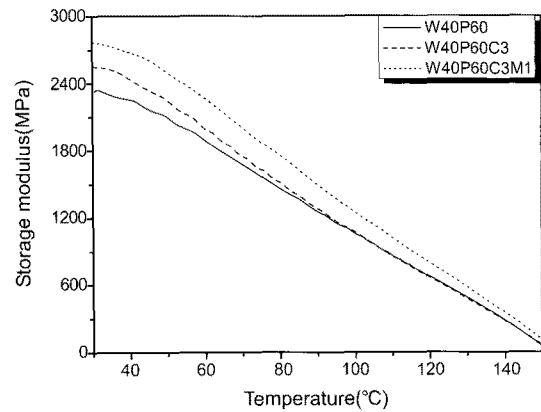


Figure 6. Storage modulus changes of WPCs with temperature.

TGA 곡선을 살펴보면 무게 감소가 5% 정도 일어났을 때의 온도는 W40P60 시스템이 다른 두 WPC 시스템에 비해 대략 7 °C 정도 낮은 것을 알 수 있다. W40P60C3과 W40P60C3M1 시스템의 경우에는 거의 유사한 열적 안정성을 보이는 것으로 나타났으며 유기점토의 함량이 1 part로 적기 때문에 유기점토가 WPC의 열적 안정성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

Figure 6은 W40P60, W40P60C3(coupling agent=Fusabond MB100D), W40P60C3M1(coupling agent=Fusabond MB100D) 시스템의 저장탄성률을 보여 주고 있다. 무기충전제인 점토가 함유된 W40P60C3M1의 저장탄성률이 다른 WPC보다 더 높은 값을 보여 주고 있는데 이는 나노미터 크기의 무기충전제인 유기점토의 첨가로 인해 나노복합체가 만들어지기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 유기점토는 PE 수지 내에서 나노미터 크기로 잘 분산 및 분포될 수 있고 특히 커플링제로 사용한 MAPE와 공존하는 경우에는 분산 및 분포 효과가 매우 우수하므로 고분자사슬의 부분적인 운동을 억제해 주기 때문에 높은 저장탄성률을 나타내는 것으로 생각할 수 있다.²⁶

DSC를 이용하여 W40P60, W40P60C3(coupling agent=Fusabond MB100D), W40P60C3M1(coupling agent=Fusabond MB100D) 시스템의 용융전이온도(T_m) 및 결정화도(X_c)를 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다. 순수한 PE보다 WPC 시스템의 결정화도가 높은 것으로 나타났는데 이는 목분이 일종의 결

Table 2. T_m , ΔH_f and X_c of PE and WPCs

Sample	T_m (°C)	ΔH_f (J/g)	X_c (%)
HDPE	133.32	184.5	63
W40P60	134.62	123	69.9
W40P60C3	135.60	127.7	72.6
W40P60C3M1	135.92	129.9	73.9

Table 3. Thermal Expansion Coefficients and Dimension Changes of WPCs

Sample	α_1 at -30 °C ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	α_2 at 40 °C ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	ΔL^a (%)
W40P60	88.9	129	0.98
W40P60C3	76.1	124	0.81
W40P60C3M1	66.9	81.8	0.73

^aDimension change between -30 °C and 40 °C.

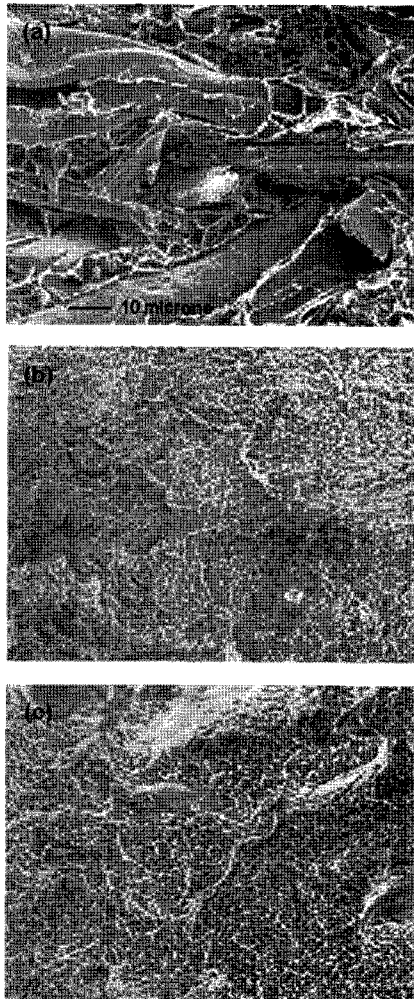


Figure 7. SEM images of the impact-fracture surfaces of (a) W40P60; (b) W40P60C3; (c) W40P60C3M1.

정화를 위한 핵제 역할을 해 PE 매트릭스 수지의 결정화를 돕기 때문인 것으로 생각된다. W40P60C3M1의 결정화도가 가장 높은 것으로 측정되었는데 이는 나노점토가 결정화를 위한 핵제로서의 역할을 했기

때문인 것으로 생각된다.

W40P60, W40P60C3 (coupling agent = Fusabond MB100D), W40P60C3M1 (coupling agent = Fusabond MB100D) 시스템의 열팽창계수와 치수변화가 Table 3에 나타나 있다. WPC의 실질적인 활용을 생각해 동절기(-30 °C) 및 하절기(40 °C) 외부의 한계온도에 대해 열팽창계수 데이터를 측정하였으며 두 온도 사이에서의 치수변화를 측정하였다. W40P60C3의 열적 치수안정성이 W40P60보다 우수한 것으로 나타났는데 이는 커플링제에 의해 목분/PE 계면결합력이 우수하기 때문인 것으로 생각된다. 유기점토를 함유한 W40P60C3M1이 다른 두 종류의 WPC보다 치수안정성이 높게 나타났는데 그 이유는 무기물질인 나노점토 입자의 도입에 의해 고분자 매트릭스의 치수가 안정되고 또한 계면결합력이 향상되어 위와 같은 결과를 나타내는 것으로 생각된다.

형태학. Figure 7은 W40P60, W40P60C3 (coupling agent = Fusabond MB100D), W40P60C3M1 (coupling agent = Fusabond MB100D) 시편의 충격 파단면을 SEM으로 관찰한 사진을 보여주고 있다. Figure 7(a)는 W40P60의 충격파단면으로 목분 섬유질의 뿔뿔 현상과 약한 결합력 그리고 잘 혼합되지 않은 상태로 뭉쳐 있는 섬유질이 보여진다. 관찰 결과 커플링제가 포함되지 않은 WPC는 목분과 고분자 구조 사이의 약한 결합력을 가지고 있음을 알 수 있다. Figure 7(b)와 (c)는 각각 W40P60C3와 W40P60C3M1의 SEM 사진으로 거의 똑 같은 표면 구조를 보여주는데 그 이유는 두 종류의 WPC가 MAPE 커플링제에 의해 PE와 목분 사이의 좋은 계면결합력을 가지기 때문인 것으로 생각된다. 본 연구에서 커플링제로 사용한 MAPE는 비극성의 PE 고분자 사슬에 극성을 띠는 MA 부분을 결합지 형태로 갖고 있기 때문에 비극성 PE 부분은 PE 매트릭스와 상용성이 있고 극성의 MA 부분은 목분과 친화성을 가지므로 계면결합력을 크게 증가시키는 것이 가능하다.

결 론

우수한 성능의 목분/PE WPC를 제조하기 위해 MAPE 커플링제의 종류 및 함량을 최적화하고 유기점토를 도입하여 그 영향을 조사하였다. 5종의 MAPE 커플링제 중 최적의 MAPE 커플링제를 선정하는 실험을 진행한 결과 MA의 함량이 높고 MPI가 작은 커플링제가 효과적인 것으로 나타났으며 커플링제의 함량을 3 parts로 하였을 때 WPC의 기계적 특성이 가장 좋은 것으로 나타났다. 목분/PE WPC의 제조 시 나노미터 크기의 유기점토를 1 part 첨가하였을 경우, 인장강도 및 굴곡강도, 결정화도가 증가하였으며 특히 저장탄성률과 치수안정성은 크게 증가하였다. 목분/PE WPC의 파단면 이미지를 SEM으로 분석한 결과 커플링제에 의한 계면결합력 향상 효과가 매우 큼을 알 수 있었다.

감사의 글: 이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. B. A. Kamal, P. Shusheng, and M. P. Staiger, *Compos. Part B Eng.*, **39**, 807 (2008).

2. K. Oksman and C. Clemons, *J. Appl. Polym. Sci.*, **67**, 1503 (1998).
3. A. K. Bledzki, S. Reihmane, and J. Gassan, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **37**, 451 (1998).
4. M. M. Stain, B. V. Kokta, and C. Imbert, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **33**, 89 (1994).
5. J. M. Felix and P. J. Gatenholm, *J. Appl. Polym. Sci.*, **50**, 699 (1993).
6. D. Maldas and B. V. Kokta, *Composite Interfaces*, **1**, 87 (1993).
7. R. Gauthier, C. Joly, A. Coupas, H. Gauthier, and M. Escoubes, *Polym. Composite*, **19**, 287 (1998).
8. L. John Z, Q. Wu, and L. L. Negulescu, *J. Appl. Polym. Sci.*, **96**, 93 (2005).
9. J. U. Park, J. L. Kim, D. H. Kim, K. H. Ahn, and S. J. Lee, *Macromol. Res.*, **14**, 318 (2006).
10. G. Malucelli, S. Ronchetti, and N. Lak, *J. Eur. Polym.*, **43**, 328 (2007).
11. F. Omar and M. Laurent, *Compos. Sci. Technol.*, **68**, 2073 (2008).
12. S. Zhang and A. R. Horrocks, *Prog. Polym. Sci.*, **28**, 1517 (2003).
13. S. Bourbigot, J. W. Gilman, and C. A. Wilkie, *Polym. Degrad. Stabil.*, **84**, 483 (2004).
14. F. Gong, M. Feng, C. Zhao, S. Zang, and M. Yang, *Polym. Degrad. Stabil.*, **84**, 289 (2004).
15. H. Qin, Q. Su, S. Zhang, B. Zhao, and M. Yang, *Polym.*, **44**, 7533 (2003).
16. G. Marosi, A. Márton, A. Szép, I. Csontos, S. Keszei, and E. Zimonyi, *Polym. Degrad. Stabil.*, **82**, 379 (2003).
17. G. Beyer, *Plastics, Additives and Compounding*, **10**, 22 (2002).
18. M. Ahmed, *Textile Science and Technology*, Amsterdam, Elsevier, p.10 (1982).
19. H. G. Jeon, H. T. Jung, S. D. Lee, and S. Hudson, *Polym. Bull.*, **41**, 107 (1998).
20. E. Manias, A. Touny, L. Wu, B. Lu, K. Strawhecker, J. W. Gilman, and T. C. Chung, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **82**, 282 (2000).
21. L. Minkova, Y. Peneva, E. Tashev, S. Filippi, M. Pracella, and P. Magagnini, *Polym. Test.*, **28**, 528 (2009).
22. H. S. Kim, B. H. Lee, S. W. Choi, S. Kim, and H. J. Kim, *Compos. Pt. A—Appl. Sci. Manuf.*, **38**, 1473 (2007).
23. A. K. Bledzki, O. Farnk, and M. Huque, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **41**, 435 (2002).
24. T. Q. Li and R. K. Y. Li, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **40**, 1 (2001).
25. Y. Q. Zhang, J. H. Lee, J. M. Rhee, and K. Y. Rhee, *Compos. Sci. Technol.*, **64**, 1383 (2004).
26. J. H. Lee, D. S. Jung, C. E. Hong, K. Y. Rhee, and S. G. Adavin, *Compos. Sci. Technol.*, **65**, 1996 (2005).