

목분의 콩기름 처리가 PP/목분 복합재료의 물성에 미치는 영향

백종빈 · 김대수[†]

충북대학교 공과대학 화학공학과

(2026년 4월 16일 접수, 2026년 8월 5일 수정, 2026년 8월 8일 채택)

Effect of Soybean Oil-Treatment of Wood Flour on the Physical Properties of PP/Wood Flour Composites

Jongbin Baek and Dae Su Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University,

1 Chungdaero, Seowongu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

(Received April 16, 2026; Revised August 5, 2026; Accepted August 8, 2026)

초록: 소수성인 플라스틱 매트릭스와 친수성인 목분 사이의 계면결합력을 높이는 것이 복합재료의 좋은 물성 확보에 중요하다. 따라서 콩기름을 이용하여 목분을 소수화 처리하고, 목분의 소수화가 폴리프로필렌(PP)/목분 복합재료의 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 콩기름/에탄올 용액의 농도를 달리하여 20 g의 순수한 목분에 콩기름이 1.02-11.63 g 결합된 소수화 목분을 각각 제조하였고, 상용성 시험, 적외선분광기(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 및 열중량분석기(thermogravimetric analyzer, TGA)로 소수성을 분석하였다. PP/목분(80/20 중량비) 복합재료는 용융 혼합 및 압축성형에 의해 제작하였고 충격강도, 인장특성 및 내수성을 측정하였다. 목분에 결합된 콩기름의 함량이 증가할수록 복합재료의 충격강도, 파단신율 및 내수성이 증가하였고 인장강도는 3.00 g의 콩기름이 결합되었을 때 가장 높았다. 목분을 콩기름으로 소수화 처리하여 PP/목분 사이의 계면결합력이 높아졌음을 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 사진으로 확인하였다.

Abstract: Strengthening the interfacial bonding between the hydrophobic plastic matrix and the hydrophilic wood flour is important to secure good physical properties of the composite. Therefore, wood flour was hydrophobized with soybean oil and the effects of the hydrophobization on the physical properties of the polypropylene (PP)/wood flour composites were investigated. Hydrophobized wood flours with attached soybean oil contents of 1.02-11.63 g to 20 g of neat wood flour were prepared by changing soybean oil/ethanol solution concentration, and their hydrophobicity was analyzed by compatibility test, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and thermogravimetric analyzer (TGA). PP/wood flour (80/20 by weight) composites were prepared by melt-mixing and compression molding, and their impact strengths, tensile properties and water-resistance were measured. With increasing the soybean oil content attached to the wood flour the impact strength, elongation at break and water-resistance of the composites increased, and tensile strength was the highest when the attached soybean oil content was 3.00 g. Scanning electron microscope (SEM) images confirmed that the interfacial bonding between the PP matrix and the wood flour was strengthened by the hydrophobization of the wood flour with soybean oil.

Keywords: polypropylene, composites, wood flour, soybean oil, modification.

서 론

최근 석유자원의 고갈과 석유제품의 소비로 인한 지구온난화 현상이 사회적인 문제로 대두되면서 친환경재료에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서도 친환경적이고 생분해가 가능하며 가격이 저렴한 목분을 플라스틱의 보강 충전재로서

사용하여 제조하는 플라스틱/목분 복합재료는 기존의 플라스틱 가공기술을 그대로 사용할 수 있고 다양한 형상의 제품들을 만들어낼 수 있어 많은 관심을 끌고 있다.^{1,4}

플라스틱/목분 복합재료는 주로 열가소성 수지인 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE), 폴리염화비닐(PVC) 등에 목분을 혼합하여 제조하는 것이 일반적인데 목분 대신에 천연 섬유질을 보강재로 사용하기도 한다.⁵⁻⁷ 목재와 비슷한 질감을 가지면서 목재 자체 대비 수분에 대한 저항성이 우수한 플라스틱/목분 복합재료는 폐목재 또는 자투리 목재, 재활용 플라스

[†]To whom correspondence should be addressed.
dskim@cbnu.ac.kr, ORCID[®] 0000-0001-6420-4836
©2026 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

틱을 사용해서도 제조할 수 있어 친환경적이며 경제적이다. 또한 높은 강도와 강성을 가지고 있어 두 재료의 장점이 함께 나타난다.⁸⁻¹¹

플라스틱/목분 복합재료에 사용되는 플라스틱 수지들은 소수성을 가지고 있지만 목분의 표면은 친수성이다. 따라서 목분을 고분자 매트릭스에 잘 분산시킨다 할지라도 두 재료 간의 강한 계면결합력을 기대하기는 힘들다.^{9,10,12,13} 친수성과 소수성 부분을 가진 커플링제의 첨가는 좋은 해결책이 될 수 있다. 그 중 maleic anhydride modified PP(MAPP), maleic anhydride modified PE(MAPE)와 같은 커플링제는 목분과 플라스틱 매트릭스의 계면에서 교량 역할을 해주며 계면결합력을 상승시키는 역할을 하고 적은 양으로도 큰 효과를 나타낸다.^{4,14-16} 계면결합력의 상승은 복합재료의 기계적 특성과 열적 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 적당한 커플링제의 사용은 플라스틱/목분 복합재료의 물성을 상승시키는데 큰 영향을 미친다.^{8,10,17} 또한 목분의 표면을 개질하거나^{11,12,18-21} 가공조건과 배합비율을 최적화시키는 방법을 사용해서도 플라스틱/목분 복합재료의 물성을 높일 수 있다.²²⁻²⁵

플라스틱과 목분의 용융혼합가공 시에 사용되는 윤활제는 목분의 첨가로 높아진 용융물의 점도를 내부 또는 외부에서 낮춰 주어 원활한 가공을 돕는다. 윤활제의 양에 따라 물성은 감소할 수 있으나 적절한 양을 사용하게 되면 가공성이 좋아져 복합재료 제품의 물성을 향상시킬 수 있다. 윤활제는 두 가지로 분류된다. 즉, 플라스틱에 용융되어 용융물의 점도를 낮추주는 내부 윤활제와 용융물과 기계 사이에 이형 막을 형성하여 기계의 부하를 줄여주는 외부 윤활제로 나뉘는데 실제로 그 구분을 뚜렷하게 하기는 어렵다.^{26,27}

콩기름은 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있으며 1개의 글리세롤(glycerol) 분자에 3개의 지방산(fatty acids) 분자가 결합한 트라이글리세라이드(triglyceride) 구조를 갖고 있어²⁸ 목분의 표면을 소수성으로 개질하기 위한 용도로 사용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 콩기름을 이용하여 목분을 소수화 처리하고 목분의 소수화가 PP/목분 복합재료의 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 일정한 질량의 목분에 결합된 콩기름의 함량이 달라 소수화 정도가 서로 다르도록 여러 소수화 목분을 각각 제조하였으며 상용성 시험, FTIR 분광기 및 TGA 분석을 통해 목분의 소수성을 조사하였다. 소수화 정도가 서로 다른 각각의 목분을 사용하여 PP/목분(80/20 중량비) 복합재료를 각각 제조하였고 기계적 특성과 내수성 및 파단면의 형태를 조사하였다.

실 험

시약 및 재료. PP는 롯데케미칼(Korea)에서 공급받은 B-310을 사용하였다. 내충격 PP인 B-310은 에틸렌 프로필렌

(ethylene propylene, EP) 공중합체로 이루어져 있고 용융흐름지수는 0.5 g/10 min이며 밀도는 0.9 g/cm³이다. 목분은 30 mesh(600 microns) 크기의 G-바이오테크사(Korea)의 목분을 사용하였는데 북미산 소나무를 가공한 것이다. 목분의 소수화 처리에 사용한 콩기름은 CJ 제일제당(Korea)에서 구입하였고 밀도는 0.917 g/cm³이다. 윤활제로는 개질된 지방산 에스터 복합물(TPX-1300, Eru Chem., Korea, 용융점 = 80-90 °C)을 사용하였다. 상용성 시험을 위한 소수성 유기 용매로 디클로로메탄(Junsei Chem., Japan, 밀도 = 1.335 g/cm³)을 사용하였다.

목분 소수화. 목분은 먼저 수분을 제거하기 위해 105 °C 오븐에서 1 시간 동안 건조하였다. 콩기름(3, 6, 10, 15 g)을 에탄올(50 g)에 용해하여 콩기름/에탄올 용액을 만들고 여기에 순수한 목분(20 g)을 넣고 기계식 교반기로 잘 섞어 준 다음 목분 표면에서 물리화학적으로 소수화 개질반응이 일어나도록 110 °C 오븐에서 1 시간 동안 처리하였다. 개질반응이 완료된 목분은 에탄올 세정을 3 회 실시하여 미반응 콩기름을 제거하였다. 세정 후, 80 °C 오븐에서 24 시간 동안 건조시키고 정량분석을 실시하였다. Table 1은 개질반응 후 목분에 결합된 콩기름의 양을 정리한 것이다. Figure 1은 목분의 OH기와 콩기름 분자의 에스터기 사이에 일어날 수 있는 에스터 교환반응을 간략히 나타낸 것이다.²⁹

PP/목분 복합재료 제조. PP 80 parts, 순수 또는 소수화 처리된 목분 20 parts, 윤활제 2 parts의 비율로 섞어 용융혼합기(Haake Rheomix 600 Mixer, Thermo Scientific Co., Germany) 내에서 용융혼합(170 °C, 15 분, 60 rpm)을 진행하였고 용융혼합물을 판상의 시편으로 제조하기 위하여 hot press(Model 3912, Carver, USA)로 압축성형(180 °C, 1000 psi, 6 분)을 진행하였다. 제조한 판상의 복합재료 시편은 시험규격에 맞게

Table 1. Soybean Oil-Treated Wood Flours with Various Attached Soybean Oil Contents

Soybean oil dissolved (g) in ethanol 50 g	Soybean oil attached (g) to neat wood flour 20 g
0	0
3	1.02
6	3.00
10	6.12
15	11.63

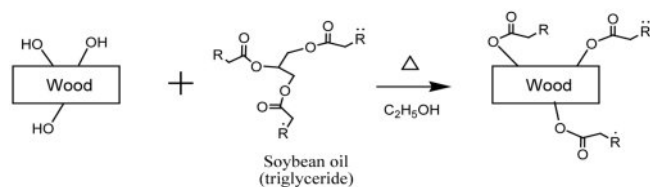


Figure 1. A simple trans-esterification reaction between wood flour and soybean oil.

재단하여 기계적 특성 및 내수성을 측정하였다.

상용성 시험. 소수성 용매인 디클로로메탄 5 mL와 증류수 5 mL가 담긴 바이알에 순수 및 소수화 처리 목분 3 g을 각각 넣고 강하게 흔들어 분산시키고 방치한 다음 두 층으로 분리되는 각 용매 층의 어느 쪽에 목분이 위치하는가를 관측하여 목분의 소수화를 확인하였다.

관능기 분석. 콩기름 처리 전후 목분의 관능기 변화를 관찰하기 위해 적외선분광기(Fourier transform infrared spectroscope, FTIR, Nicolet IR200, Thermo Scientific Co., USA)를 사용하였다. Wavenumber 400-4000 cm^{-1} 의 범위에서 측정하였다.

흡습성 시험. 콩기름 처리 전후 목분의 흡습성을 측정하기 위해 열중량분석기(thermogravimetric analyzer, TGA), SDT 2960, TA instruments, USA)를 사용하였다. 질소 분위기 하에서 상온에서 200 $^{\circ}\text{C}$ 까지 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도로 목분의 수분 함량 감소를 측정하였다. 각각의 목분 샘플은 105 $^{\circ}\text{C}$ 오븐에 넣어 건조한 후 24시간 실험실에서 방치한 후 측정하였다.

기계적 특성 측정. 복합재료 시편의 충격강도를 얻기 위해 ASTM D256에 따라 시편을 제작하고 Izod 충격시험기(SJI-103, Sungin, Korea)를 사용하여 측정하였다. 시편의 크기는 50×11×4 mm^3 로 총 10개의 시편을 만들어 측정하였고 평균값을 취하였다. 인장특성을 측정하기 위해 만능재료시험기(universal testing machine, UTM, LR-30K, Lloyd, Hampshire, UK)를 사용하였고 ASTM D638에 따라 시험하였다. 1 kN의 load cell을 장착하여 10 mm/min의 인장속도로 시험하였고 시편의 크기는 64×9.53×0.5 mm^3 로 총 6개를 측정하여 평균값을 취하였다.

내수성 시험. 복합재료의 내수성은 ASTM D570 규격에 따라 측정하였다. 물의 온도가 23(±1) $^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 항온수조에 복합재료 시편을 넣고 24시간 간격으로 항온수조에서 시편을 꺼내어 표면의 물기를 종이 수건으로 제거한 다음 질량변화를 측정하였다. 시편의 질량변화를 통해 t 시간 후의 흡수율(R_t)을 다음 식으로 계산하였다.

$$R_t = \frac{(W_t - W_0)}{W_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, W 는 t 시간 침수 후의 시편의 질량이고 W_0 는 초기 시편의 질량이다. 두께팽창률(TS_t)은 다음 식으로 계산하였다.

$$TS_t = \frac{(T_t - T_0)}{T_0} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서 T_t 는 t 시간 침수 후의 시편의 두께이고 T_0 는 초기 시편의 두께이다.

파단면 형태 관찰. 목분의 소수화 처리로 PP/목분 사이의 계면결합력이 높아지는지 확인하기 위해 복합재료 시편의 파단면 형태를 주사전자현미경(SEM, JSM-840A, JEOL Co.,

Japan)으로 관찰하였다. 파단면을 금으로 코팅하고 20 kV의 가속전압을 흘려주어 파단면의 형태를 관측하였다.

결과 및 토론

목분 소수화. Figure 2는 디클로로메탄과 증류수가 5 mL씩 들어 있는 각각의 바이알에 순수한 목분 및 콩기름 처리 목분이 분산된 상태를 각각 나타내고 있다. 순수한 목분(0 g)의 경우에는 목분이 친수성을 띠고 있어 위 증류수 층에 목분이 분산되어 있으나 콩기름 처리된 목분은 표면이 소수화 되어 모두 아래 디클로로메탄 층에 분산되어 있음을 알 수 있다. Figure 3은 순수한 목분과 콩기름 처리된 목분들의 FTIR 스펙트럼을 나타내고 있다. 목분의 OH기에 의한 IR흡수 피크는 3500 cm^{-1} 부근에서 나타나는데 목분 표면에 결합된 콩기름 함량이 증가함에 따라 목분 표면의 OH기 농도가 줄어들어 점차 크기가 감소하는 것을 알 수 있다. 2800-3000 cm^{-1} 부근에서 나타나는 C-H기 피크는 콩기름 함량이 증가함에 따라

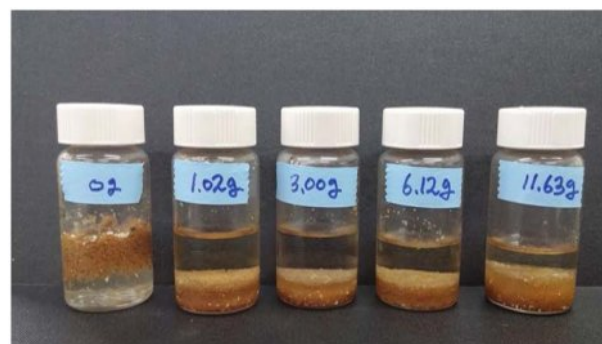


Figure 2. Neat wood flours (0 g) are in the upper water layer, but soybean oil-treated wood flours (1.02–11.63 g) are all in the bottom dichloromethane layer.

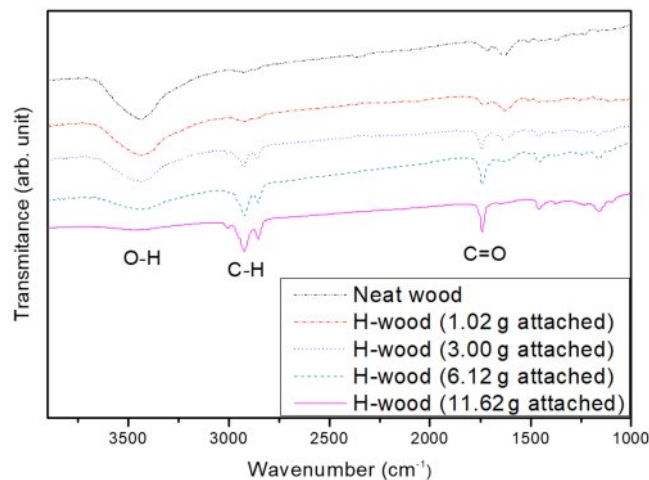


Figure 3. FTIR spectra of neat and soybean oil-treated wood flours (H-woods) with various attached soybean oil contents.

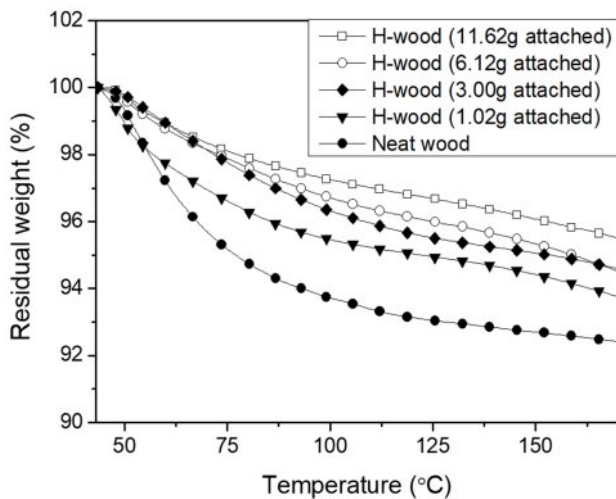


Figure 4. TGA curves of neat and soybean oil-treated wood flours.

증가하는데 이는 콩기름 분자의 긴 탄소 사슬이 목분의 표면에 결합되었기 때문으로 판단된다. 또한 콩기름 함량이 증가함에 따라 콩기름에 기인하는 에스터 결합에 대한 $C=O$ 기 피크가 증가하는 모습을 1750 cm^{-1} 부근에서 발견할 수 있다. 이로 부터 콩기름 분자가 목분에 결합되어 목분 표면이 소수화 되었음을 알 수 있다. 순수한 목분 및 콩기름 처리된 목분의 가열에 의한 중량감소 특성을 나타내는 TGA 곡선을 Figure 4에 나타내었다. 목분에 결합된 콩기름의 함량이 증가함에 따라 소수화 정도가 높아져 수분함유량이 적어지므로 가열 시 수분 증발에 따른 중량감소량이 점차 줄어드는 것을 알 수 있다.

기계적 특성. 콩기름을 이용한 목분의 소수화 처리가 PP/목분 복합재료의 물성에 미치는 영향을 조사하기 위해 PP/목분의 중량비를 80/20으로 고정하고 복합재료에 함유된 목분의

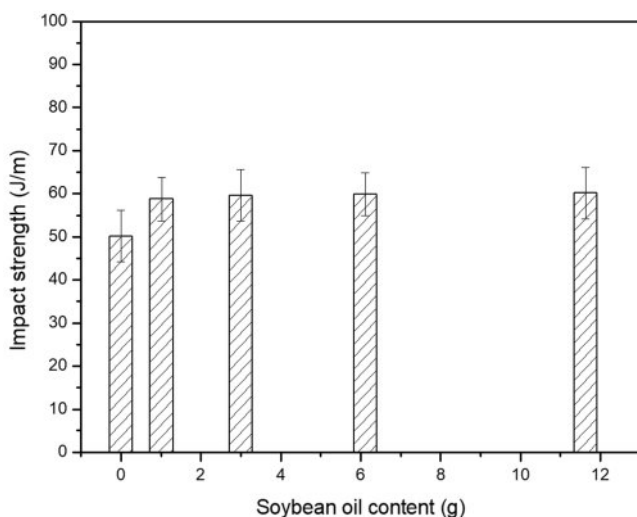


Figure 5. Impact strengths of the PP/wood flour composites with various soybean oil-treated wood flours.

소수화 정도, 즉, 목분에 결합된 콩기름의 함량을 변수로 실험하였다.

복합재료의 충격강도는 Figure 5에 나타난 바와 같이 목분에 결합된 콩기름 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인 후 거의 일정한 것으로 나타났다. 순수한 목분을 함유한 복합재료의 충격강도는 50.10 J/m 였으나 목분의 콩기름 처리에 의해 60.15 J/m 까지 상승하였다. 이는 콩기름이 목분의 표면을 소수화 시키고 PP 매트릭스와의 계면결합력을 증가시켰기 때문인 것으로 사료된다. 콩기름의 함량이 3.00 g 이상인 경우에는 충격강도 향상이 미미한 것으로 보아 일정량을 초과하는 양의 콩기름은 충격강도 향상에 큰 효과가 없음을 알 수 있다.

Figure 6은 각각의 복합재료에 대한 응력-변형 곡선을 나타내고 있다. 목분에 결합된 콩기름 함량이 증가함에 따라 파

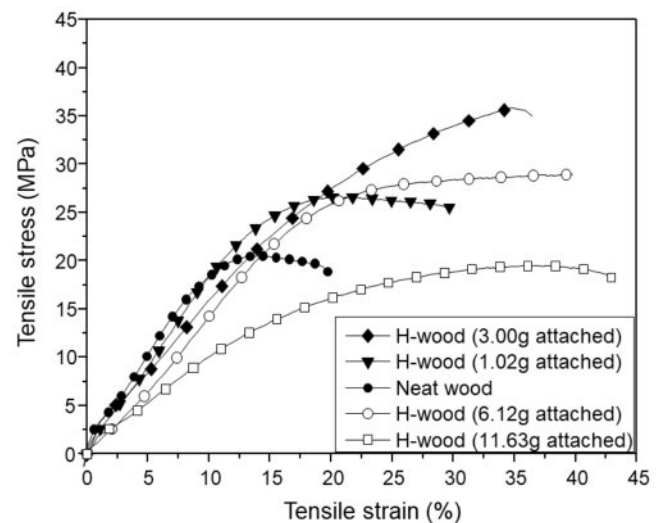


Figure 6. Stress-strain curves of the PP/wood flour composites with various soybean oil-treated wood flours.

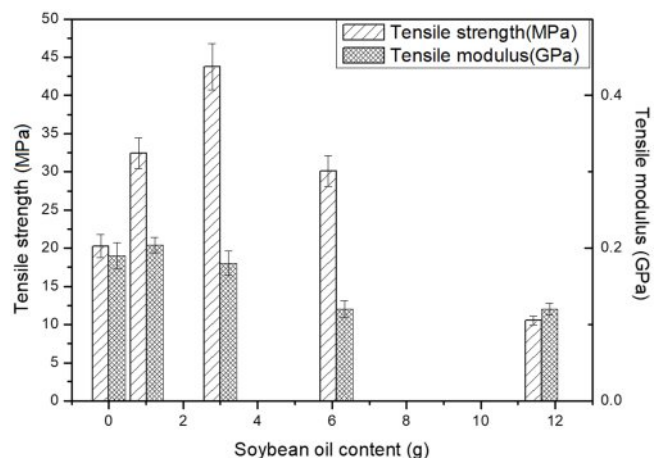


Figure 7. Tensile strengths and moduli of the PP/wood flour composites with various soybean oil-treated wood flours.

단신율이 증가하였다.^{11,30,31} Figure 7에서 목분에 결합된 키크름 함량이 증가함에 따라 인장강도는 증가하다가 감소하는 모습을 보였고 3.00 g에서 가장 높았다. 이는 3.00 g을 초과 하면 과량의 키크름이 가소제 역할을 하기 때문인 것으로 사료된다. 복합재료를 구성하는 각 성분의 탄성률에 크게 영향을 받는 인장탄성률은 PP 및 목분보다 훨씬 소프트한 키크름의 함량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 계면결합력을 증가시키는 데 필요한 키크름의 양이 적정량을 초과 하게 되면 과량의 키크름이 가소제 역할을 할 수 있어 본 연구 결과와 마찬가지로 기계적 특성 저하를 초래한다.³²⁻³⁴

내수성. PP/목분 복합재료는 친수성인 목분을 충전재로 함유하고 있기 때문에 실용성의 한 지표인 내수성에 대한 데

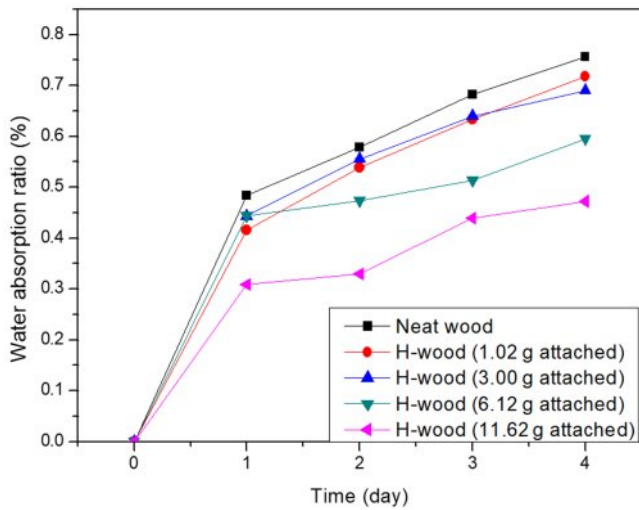


Figure 8. Water absorption ratios of the PP/wood flour composites with various soybean oil-treated wood flours.

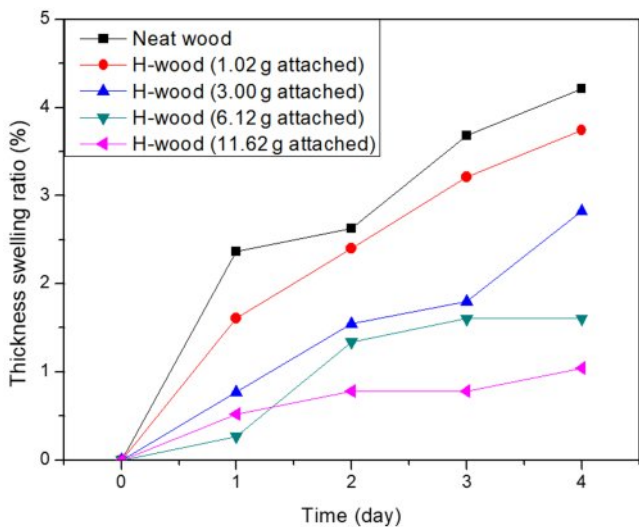


Figure 9. Thickness swelling ratios of the PP/wood flour composites with various soybean oil-treated wood flours by water absorption.

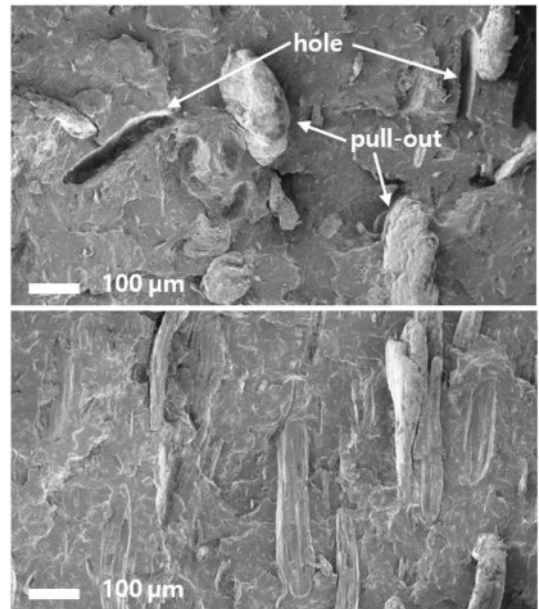


Figure 10. Scanning electron micrographs of the fracture surfaces of the PP/wood flour composites with the neat (top) and soybean oil-treated (bottom, soybean oil 3.00 g attached) wood flours.

이터가 필요하다. Figure 8과 Figure 9는 목분에 결합된 키크름 함량을 변수로 복합재료의 침수 시간에 따른 수분흡수율과 두께팽창률의 변화를 각각 나타내고 있다. 복합재료에 함유된 목분에 결합된 키크름의 함량이 증가할수록 복합재료의 소수성이 점차 증가하여 수분흡수율이 감소하였고 두께팽창률도 감소하였다. 이로부터 목분의 키크름 처리가 PP/목분 복합재료의 내수성을 효과적으로 향상시키는 것을 알 수 있다.

파단면 형태학. 목분의 키크름 처리가 PP 매트릭스와 목분 사이의 계면결합력에 어떠한 영향을 주는지 살펴보기 위해 순수한 목분 함유 복합재료 시편과 인장강도가 가장 우수한 키크름 처리 목분 함유 복합재료(soybean oil 3.00 g attached) 시편의 충격시험 파단면을 SEM으로 관찰하였으며 각각의 이미지를 Figure 10에 나타내었다. 키크름 처리가 되지 않은 순수한 목분 함유 복합재료 시편의 파단면(top)은 거칠고 돌출된(pull-out) 목분 및 목분이 빠져나간 홀(hole)들이 보일 뿐만 아니라 목분과 PP 매트릭스 사이에 빈틈도 보이는 반면에 키크름 처리 목분 함유 복합재료 시편의 파단면(bottom, soybean oil 3.00 g attached)은 돌출된 목분 및 목분이 빠져나간 홀들이 거의 보이지 않아 목분과 PP 매트릭스 사이의 계면결합력이 크게 향상된 것으로 판단할 수 있다.

본 연구를 통해 키크름을 이용한 목분의 소수화 처리가 목분과 PP 매트릭스 사이의 계면결합력을 크게 향상시켜 PP/목분 복합재료의 물성을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

결 론

순수한 목분 20 g에 콩기름 분자가 1.02-11.63 g 결합된 소수화 목분을 제조하였다. 상용성 시험과 FTIR 분광기를 이용한 관능기 분석 및 TGA를 이용한 승온 시 무게 변화 분석을 통해 콩기름 처리 목분의 소수성을 확인하였다. 목분에 결합된 콩기름 함량이 증가할수록 PP/목분(80/20 중량비) 복합재료의 충격강도, 파단신율 및 내수성이 증가하였고 인장강도는 3.00 g의 콩기름이 결합되었을 때 가장 높았다. 목분에 결합된 콩기름의 함량이 증가할수록 복합재료의 소수성이 점차 증가하여 수분흡수율이 감소하였고 두께팽창률도 감소하였다. 목분을 콩기름으로 소수화 처리함으로써 PP 매트릭스와 목분 사이의 계면결합력이 크게 향상되었음을 SEM 사진으로 확인하였다. 상용 커플링제를 사용하는 대신 콩기름으로 목분을 소수화 처리하는 친환경적 공정을 통해서도 우수한 물성의 PP/목분 복합재료를 제조할 수 있었다.

감사의 글: 충북대학교 RISE사업(2025-RISE-11-014-03)의 지원에 감사드립니다.

이해상충: 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

참 고 문 헌

- Adhikary, B. A.; Pang, S.; Staiger, M. P. Dimensional Stability and Mechanical Behaviour of Wood-plastic Composites Based on Recycled and Virgin High-density Polyethylene (HDPE). *Compos. Part B. Eng.* **2008**, 39, 807-815.
- Oksman, K.; Clemons, C. Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene-wood Flour Composites. *J. Appl. Polym. Sci.* **1998**, 67, 1503-1513.
- Yu, Y.; Yang, Y.; Murakami, M.; Nomura, M.; Hamada, H. Physical and Mechanical Properties of Injection-molded Wood Powder Thermoplastic Composites. *Adv. Compos. Mater.* **2013**, 22, 425-435.
- Bledzki, A. K.; Reihmane, S.; Gassan, J. Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers: A Literature Review. *Polym. Plast. Technol. Eng.* **1998**, 37, 451-468.
- Bledzki, A. K.; Gassan, J. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. *Prog. Polym. Sci.* **1999**, 24, 221-274.
- Panaitelescu, D. M.; Donescu, D.; Bercu, C.; Vuluga, D. M.; Iorga, M.; Ghiurea, M. Polymer Composites with Cellulose Microfibrils. *Polym. Eng. Sci.* **2007**, 47, 1228-1234.
- Zabihzadeh, S. M. Influence of Plastic Type and Compatibilizer on Thermal Properties of Wheat Straw Flour/Thermoplastic Composites. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* **2010**, 23, 817-826.
- Ahn, S. H.; Kim, D. S. Effects of Melt-blending Condition and Additives on Mechanical Properties of Wood/PP Composites. *Polym. Korea* **2013**, 37, 204-210.
- Park, B. D.; Balatinecz, J. J. Effects of Impact Modification on the Mechanical Properties of Wood-Fiber Thermoplastic Composites with High Impact Polypropylene (HIPP). *J. Thermoplast. Compos. Mater.* **1996**, 9, 342-364.
- Rozman, H. D.; Lai, C. Y.; Ismail, H.; Ishak, Z. The Effect of Coupling Agents on the Mechanical and Physical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch-polypropylene Composites. *Polym. Int.* **2000**, 49, 1273-1278.
- Joseph, K.; Thomas, S.; Pavithran, C. Effect of Chemical Treatment on the Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites. *Polymer* **1996**, 37, 5139-5149.
- George, J.; Sreekala, M. S.; Thomas, S. A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites. *Polym. Eng. Sci.* **2001**, 41, 1471-1485.
- Wang, Y.; Cao, J.; Zhu, L. Stress Relaxation of Wood Flour/polypropylene Composites at Room Temperature. *Wood Fiber Sci.* **2011**, 43, 262-270.
- Felix, J. M.; Gatenholm, P. J. Formation of Entanglements at Brushlike Interfaces in Cellulose-polymer Composites. *J. Appl. Polym. Sci.* **1993**, 50, 699-708.
- Maldas, D.; Kokta, B. V. Interfacial Adhesion of Lignocellulosic Materials in Polymer Composites: An Overview. *Compos. Interfaces* **1993**, 1, 87-108.
- Gauthier, R.; Joly, C.; Coupas, A.; Gauthier, H.; Escoubes, M. Interfaces in Polyolefin/cellulosic Fiber Composites: Chemical Coupling, Morphology, Correlation with Adhesion and Aging in Moisture. *Polym. Composite* **1998**, 19, 287-300.
- Lu, J. Z.; Wu, Q.; Negulescu, L. Wood-Fiber/High-Density-Polyethylene Composites: Compounding Process. *J. Appl. Polym. Sci.* **2004**, 93, 2570-2578.
- Esper, A.; Camacho, W.; Karlson, S. Thermal and Thermomechanical Properties of Biocomposites Made From Modified Recycled Cellulose and Recycled Polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* **2003**, 89, 2353-2360.
- Stark, N. M.; Matuana, L. M. Surface Chemistry and Mechanical Property Changes of Wood-flour/high-density-polyethylene Composites After Accelerated Weathering. *J. Appl. Polym. Sci.* **2004**, 94, 2263-2273.
- Maldhure, A. V.; Chaudhari, A. R.; Ekhe, J. D. Thermal and Structural Studies of Polypropylene Blended with Esterified Industrial Waste Lignin. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2011**, 103, 625-632.
- Haque, M. M.; Ali, M. E.; Hasan, M.; Islam, M. N.; Kim, H. Chemical Treatment of Coir Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2012**, 51, 3958-3965.
- Stark, N. M.; Rowlands, R. E. Effects of Wood Fiber Characteristics on Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composites. *Wood Fiber Sci.* **2003**, 35, 167-174.
- Ahn, S. H.; Kim, D. S. Effects of Recycled PP Content on the Physical Properties of Wood/PP Composites. *Polym. Korea* **2014**, 38, 129-137.
- Seo, Y. W.; Kim, D. S. Effects of Wood Flour Size on the Physical Properties of Polypropylene/Wood Flour Composites. *Polym. Korea* **2014**, 38, 327-332.

25. Zaini, W. I. J.; Fuad, M. Y. A.; Ismail, Z.; Mansor, M. S.; Mustafah, J. The Effect of Filler Content and Size on the Mechanical Properties of Polypropylene/Oil Palm Wood Flour Composite. *Polym. Int.* **1996**, 40, 51-55.
26. Wang T. Y.; Tsiang R. C. C.; Liou J. S.; Wu J.; Sheu H. C. Preparation and Characterization of a Star-shaped Polystyrene-*b*-Poly(ethylene-co-propylene) Block Copolymer as a Viscosity Index Improver of Lubricant. *J. Appl. Polym. Sci.* **2001**, 79, 1838-1846.
27. Morgan, S.; Ye, Z.; Subramanian, R.; Zhu, S. Higher-molecular-Weight Hyperbranched Polyethylenes Containing Crosslinking Structures as Lubricant Viscosity-index Improvers. *Polym. Eng. Sci.* **2010**, 50, 911-918.
28. *Vegetable Fats and Oils*, Eckey, E. W., Ed.; Reinhold: New York, 1954.
29. Otera, J. Transesterification. *Chem. Rev.* **1993**, 93, 1449-1470.
30. Kiziltas, A.; Gardner, D. J.; Han, Y.; Yang, H. S. Dynamic Mechanical Behavior and Thermal Properties of Microcrystalline Cellulose (MCC)-filled Nylon 6 Composites. *Thermochim. Acta* **2011**, 519, 38-43.
31. Oksman, K.; Mathew, A. P.; Bondeson, D.; Kvien, I. Manufacturing Process of Cellulose Whiskers/poly(lactic Acid) Nanocomposites. *Compos. Sci. Technol.* **2006**, 66, 2776-2784.
32. Qiu, W.; Zhang, F.; Endo, T.; Hirotsu, T. Preparation and Characteristics of Composites of High-crystalline Cellulose with Polypropylene: Effects of Maleated Polypropylene and Cellulose Content. *J. Appl. Polym. Sci.* **2003**, 87, 337-345.
33. Spoljaric, S.; Genovese, A.; Shanks, R. A. Polypropylene-Microcrystalline Cellulose Composites with Enhanced Compatibility and Properties. *Composites Part A: Appl. Sci. Manuf.* **2009**, 40, 791-799.
34. Turco, R.; Mallardo, S.; Zannini, D.; Moeini, A.; Di Serio, M.; Tesser, R.; Cerruti, P.; Santagata, G. Dual Role of Epoxidized Soybean Oil (ESO) as Plasticizer and Chain Extender for Biodegradable Polybutylene Succinate (PBS) Formulations. *Giant.* **2024**, 20, 100328.

출판자 공지사항: 한국고분자학회는 게재된 논문 및 기관 소속의
관할권 주장과 관련하여 중립을 유지합니다.