

케나프 섬유 조성에 따른 PP/케나프 펠트 복합체의 물리적 성질 연구

구선교 · 김연철*,†

네취코리아, *공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공
(2022년 8월 4일 접수, 2022년 8월 28일 수정, 2022년 8월 29일 채택)

A Study on the Physical Properties of PP/Kenaf Felt Composites According to Kenaf Fiber Compositions

Sun Gyo Ku and Youn Cheol Kim*,†

Netzsh Korea, Paju 10864, Korea

*Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea
(Received August 4, 2022; Revised August 28, 2022; Accepted August 29, 2022)

초 록

폴리프로필렌(polypropylene, PP)에 고 함량의 케나프 섬유(kenaf fiber, KF)를 투입하기 위해 PP/KF 펠트가 사용되었으며, 바인더로 폴리우레탄(polyurethane, PU)이 사용되었다. PU 바인더의 조성비 선정을 위해 이소시아네이트와 polyol 비율에 따른 PP/KF/PU 펠트 복합체의 굴곡 강도를 평가하였다. 상용화제로 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)이 그래프트된 PP-g-MAH가 적용되었다. PP/KF/PU 펠트 복합체의 기계적 물성 변화를 고찰하기 위해 인장, 굴곡 및 충격 특성을 평가하였고, 기계적 물성이 개선됨을 확인하였다.

Abstract

PP/KF felt was used to load a high content of kenaf fiber (KF) into polypropylene (PP), and polyurethane (PU) was used as a binder. In order to find an optimum composition ratio of the PU binder, the flexural strength of the PP/KF/PU felt composite according to the isocyanate and polyol ratio was evaluated. PP-g-MAH grafted with maleic anhydride (MAH) was applied as a compatibilizer. Tensile, flexural, and impact properties were evaluated to consider changes in mechanical properties of the PP/KF/PU felt composite, and the properties were improved.

Keywords: Polypropylene, Kenaf, Felt, Polyurethane binder, Mechanical properties

1. 서 론

케나프 섬유(kenaf fiber, KF)는 다른 천연섬유들과 비교하여 셀룰로오스의 함량이 높고, 성장속도가 빠르며, 이산화탄소 저감 효과가 크기 때문에 큰 관심을 받고 있는 천연섬유이다[1-5]. KF 등과 같은 천연섬유(natural fiber, NF)는 천연에서 얻을 수 있기 때문에 총 탄소 관리 등 최근의 친환경 추세에 부합하는 소재이며, 자동차 내·외장 부품 산업을 중심으로 유리 섬유나 탄소섬유 대신 천연섬유를 이용하는 천연섬유강화플라스틱(natural fiber reinforced plastic, NFRP)의 적용 연구가 활발해지고 있다. NFRP는 강화제로 사용되는 유리 섬유나 탄소섬유를 대신해 천연 식물에서 얻어지는 식물성 천연섬유를 고분자의 강화제로 사용하기 때문에 유럽과 같은 선진국에서 특히 적용이 증가하고 있는 것으로 파악된다.

일반적인 NFRP는 압출기를 이용하여 고분자 매트릭스에 일정 함량의 단섬유(chopped) 상태로 첨가하여 제조하기 때문에 고분자 매트릭스에 비해 상대적으로 부피가 큰 천연섬유의 첨가량에 제한을 받아 천연섬유의 최대 함량이 20 wt%를 넘기기 어려워 적용 확대에 한계를 보이고 있다. 이러한 이유로 친환경적인 측면에서 보다 높은 천연섬유 함량을 가지는 NFRP 제조의 필요성이 부각되고 있다. NF의 함량을 높이려는 연구가 현재 여러 형태로 진행 중이며, 그중 하나가 PP와 같은 고분자를 섬유로 방사한 합성섬유와 천연섬유를 카딩(carding)과 니들 펀칭(needle punching)과정을 거쳐 펠트를 만든 후 압축성형으로 강화 보드를 만드는 방법이 있으며, 투입되는 합성섬유와 천연섬유의 비율을 쉽게 조절할 수 있다. 그러나 천연섬유 강화 보드는 사출플라스틱 소재와 비교하였을 때, 강도와 성형성이 부족하므로 대형 자동차 부품 적용에는 한계가 있다. 이러한 성형성과 강도 문제의 해결을 위하여 폴리우레탄(polyurethane, PU), 에폭시 수지(epoxy resin), 아크릴 수지(acryl resin) 등과 같은 고분자 수지를 바인더(binder)로 사용하여 NFRP를 제조하는 연구가 진행되고 있다[6-13]. 펠트에 열경화형 바인더를 적용하여 부품을 제조하는 공정에서 펠트의 함량에 따른 합성섬유와 천연섬유 함량의 균일성 및 바인더 적용

† Corresponding Author: Kongju National University
Major in Polymer Science and Engineering, Cheonan 31080, Korea
Tel: +82-41-521-9395 e-mail: younkim@kongju.ac.kr

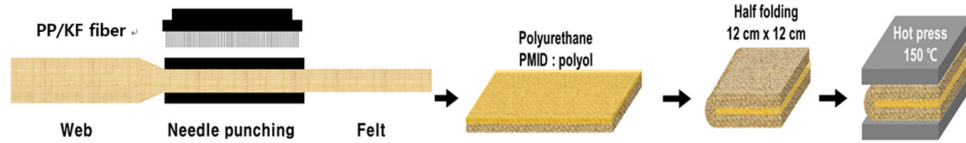


Figure 1. The fabrication process of PP/KF felt and PP/KF/PU composites.

후의 제품에 대한 특성 등의 연구가 필요하다. 특히, 천연섬유의 함량이 증가하게 되면 충격특성에 있어 큰 폭의 감소가 나타나는데, 이에 대한 개선이 필요하다.

자동차 부품으로 가장 많이 적용되는 고분자는 합성수지 중 밀도가 가장 낮은 폴리프로필렌(polypropylene, PP)이며, 비극성 수지인 PP에 천연섬유를 복합화 할 때 충격특성 등의 물성 개선을 위해서는 극성인 천연섬유와의 상용성 연구가 선행되어야 하며 이에 대한 연구들이 무수말레인산(maleic anhydride, MAH) 그래프트(graft) PP (PP-g-MAH)를 이용한 PP/천연섬유 복합체와 관련해서는 많이 진행되었으나, PP/천연섬유 펠트에 대한 연구는 극히 미미한 실정이다. 또한 PP/NF 복합체에서는 NF의 함량이 적기 때문에 낮은 무수말레인산 그래프트율을 가진 PP-g-MAH를 1~3 wt% 첨가 시 충분한 상용화 효과를 나타내었지만, NF의 함량이 50% 이상인 고 함량의 경우 상용화 효과가 미흡한 문제가 있다[14-20].

따라서 본 연구에서는 천연섬유로는 KF를 사용하고 상용화제로 무수말레인산 함량이 비교적 높은 PP-g-MAH를 사용하여 PP/KF 펠트 함량과 PU 조성별로 PP/KF 펠트 복합체를 압축성형으로 제조하고 물성을 평가하여 펠트 함량, 상용화제 및 물성과의 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 재료

폴리프로필렌(polypropylene, PP)/케나프 섬유(kenaf fiber, KF) 펠트 제작에 사용된 PP는 폴리미래의 HP600R [melt index (MI) = 25 g/10 min]를 사용하였다. KF는 말레이시아에서 재배된 케나프를 섬유화하여 수입한 것을 사용하였다. PP/KF 펠트는 총 중량 800 g/cm³을 기준으로 제작된 제품을 금하공업(주)에서 제공받아 사용하였다. KF는 10 cm의 길이로 잘랐을 때 무게가 0.6~1.2 mg의 분포를 나타내었고, 이때 최대 하중(g)값은 150~350의 분포를 나타내었다. 바인더로 사용된 폴리우레탄(polyurethane, PU)은 (주)피유시스의 4,4'-methylene di-phenyl diisocyanate(MDI)가 41% 함유된 polymethylene polyphenyl polyisocyanate (PMDI)와 polyether polyol이 85% 함유된 polyol을 사용하였다. 상용화제인 PP-g-MAH는 롯데 케미칼의 PH200과 산오 케미칼의 UMEX1001, UMEX1010을 사용하였으며, 상용화제가 적용된 PP 섬유는 국내 PP 섬유 제조 업체(F사)에 의뢰하여 제작하였다. 그래프트율 측정 등에는 삼전화학의 xylene, chloroform, 0.1M HCl in isopropanol, 0.1M KOH in ethanol, thymol blue를 사용하였다.

2.2. 시료 제조

PP/KF/PU 펠트 복합체 가공 조건의 선정을 위하여 PP/KF 펠트의 조성비를 10/0, 8/2, 5/5, 2/8, 0/10으로 변화시켜 실험을 수행하였다. 바인더로 적용하는 PU의 가공 온도와 가공 시간은 본 실험실의 기존 연구결과[21]를 참조하여 150 °C 가열프레스에서 PMDI와 polyol의 비율을 변화시키며 PP/KF/PU 펠트의 압축성형을 진행하였다.

PP/KF/PU 펠트 복합체는 펠트를 12 cm × 24 cm로 자른 PP/KF 펠트를 80 °C 오븐에 24시간 건조시켰다. 건조시킨 PP/KF 펠트의 한쪽 면에 PU를 도포 시킨 후, 대략 20 g 정도의 PU가 도포된 면끼리 마주보도록 12 cm × 12 cm로 반으로 접어 10 MPa의 압력으로, 150 °C의 온도로, 60초 동안 가열프레스(Qmesys, QM900M)로 압축하여 복합체를 제조하였으며, 전체적인 제조공정도를 Figure 1에 나타내었다. 샘플 이름은 PP(a)/KF(b)/PU로 표시하였고, a와 b는 각 섬유의 조성을 나타내었다. PP-g-MAH의 함량을 선정하기 위해 KF 20 wt%에 PP와 PP-g-MAH를 투입하여 이축압출기(바우테크, BA-11, L/D=36)를 이용하여 다이 온도 기준으로 200 °C에서 복합체를 제조하였다.

2.3. PP/KF 펠트 분산성 및 PP-g-MAH 그래프트율 평가방법

제조된 PP/KF 펠트에 PP섬유와 KF의 분산성을 평가하기 위해, PP/KF 펠트를 자일렌에 녹여 PP를 제거한 후 무게를 측정하여 PP섬유와 KF의 비율을 측정하였다. PP/KF 펠트의 임의의 부분을 일정한 크기로 잘라 원통형 매쉬망에 넣어 초기 무게를 측정하였다. 이후 반응조 플라스크에 펠트가 담긴 원통형 매쉬망과 자일렌을 넣고 150 °C로 가열하여 PP를 완전히 녹여낸 뒤 펠트를 에탄올에 수 회 세척 후 80 °C 오븐에 건조시켰으며, 건조된 펠트의 무게를 측정하여 감소된 PP의 양을 계산하였다. 또한 KF 100% 펠트를 이용하여 자일렌에 끓이는 과정과 세척과정에서 손실되는 KF의 양을 측정하여, 오차를 고려하였다. 상용화제로 사용된 PP-g-MAH의 MAH 그래프트율을 측정하기 위해, non-aqueous back titration method를 이용하였다. 그래프트 반응에 참여하지 않은 미 반응물의 제거를 위해, PP-g-MAH 5 g을 150 °C의 자일렌에 완전히 용해시킨 뒤 용액을 클로로포름에 부어 PP-g-MAH를 상분리 시켜 침전물을 여과시켰으며, 여과한 침전물을 원통형 여과지에 넣고, Soxhlet 추출기를 이용하여 클로로포름에 12시간 동안 미 반응물을 제거하였다. 미 반응물을 제거한 PP-g-MAH 1 g과 자일렌 100 ml를 원통플라스크에 넣고 완전히 용해시킨 뒤 뜨거운 상태의 용액에 0.1 M KOH 에탄올 용액 10 ml를 넣은 후, 에탄올에 녹인 지시약(thymol blue)을 투입하고, 뷰렛을 이용하여 0.1 M HCl 이소프로판올 용액을 지시약의 색이 푸른색에서 노란색으로 바뀌는 종말점까지 넣고, 사용된 HCl의 부피를 측정하였다. 측정된 HCl의 부피를 아래의 식에 대입하여 PP-g-MAH의 그래프트율을 계산하였다.

$$\text{Grafting degree (\%)} = \frac{(V_0 - V) \times 10^{-3} \times C \times M}{2W} \times 100 \quad (1)$$

여기서, V_0 = 순수 PP의 HCl 적정부피(ml), V = 상용화제 샘플의 HCl 적정부피(ml), C = HCl의 몰농도(mol/l), M = MAH의 분자량(g/mol), W = 샘플의 무게(g)

Table 1은 상용화제로 사용된 PP-g-MAH의 그래프트율을 나타낸 자료이며, 계산에는 식 (1)이 사용되었다.

Table 1. Grafting Degrees of PP-g-MAH

Sample	Grafting degree (%)
PH200	4.02 ± 0.21
UMEX1001	2.71 ± 0.15
UMEX1010	6.17 ± 0.24

2.4. 측정

PP-g-MAH가 첨가된 복합체의 화학구조는 적외선 분광기(FT-IR, Perkin Elmer Spectrum 100)을 이용해 ATR (Specac, GS10542-Z)로 resolution 4 cm⁻¹, 8회 스캔하여 4000~500 cm⁻¹ 영역에서 스펙트럼을 얻었다. 인장강도와 굴곡강도는 만능시험기(Qmesys, QM700)를 이용하여 측정하였다. 인장강도는 3 mm의 두께의 시편을 속도 5 mm/min으로 측정하였고, 굴곡강도는 3 mm의 두께의 시편을 속도 1 mm/min으로 측정하였다. 충격강도는 아이조드 충격시험기(Qmesys, QM700)을 이용하여 3 mm의 두께의 시편에 노치를 준 다음 측정하였다. 기계적 물성은 각 시료당 5회 실시하여 평균하여 사용하였다. PP/KF/PU 펠트 복합체의 밀도를 측정하기 위하여 전자고체비중계(Alfa Mirage, SD-200L)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

PP섬유와 KF섬유의 카딩과 니들 편칭을 통한 PP/KF 펠트 제조과정에서 부분적인 섬유의 뭉침이 발생하게 되면 물성에 영향을 줄 수 있기 때문에 균일한 분포가 중요하다. 본 연구에 사용된 PP/KF 펠트의 섬유 분산성을 평가하기 위해, PP/KF 펠트의 임의의 부분을 잘라 자일렌에 녹여 PP섬유와 KF의 분산성을 평가하였다. KF 100% 펠트를 이용하여 동일한 실험을 진행하였을 때, 8.4 wt% 정도의 무게 손실이 발생하여, 이 부분을 보정해주었다. PP/KF의 조성이 2/8인 펠트를 이용하여 분산성 평가를 진행하였을 때, 28.5 wt% 정도의 손실을 보였다. KF 100%의 펠트의 손실을 고려하면, PP2/KF8 펠트의 PP섬유의 조성은 20.1 wt%이며, 5곳에서 측정한 값의 오차가 1% 내의 범위에 있어 펠트의 모든 부분에 PP섬유와 KF가 고르게 분산되어 있음을 확인하였다. Table 2는 함량에 따른 PP/KF 펠트 내 PP의 함량을 요약한 것이다.

PP/KF/PU 펠트 복합체에 사용되는 PP섬유 조성에 따른 PP/KF 펠트의 기계적 물성을 평가하기 위해 PMDI와 polyol의 비율을 2:1로 고정한 후 PP와 KF의 조성에 따른 PP/KF/PU 펠트 복합체의 인장강도, 굴곡강도 및 충격특성을 평가하였다. Figure 2는 PP 섬유의 함량이 0,

Table 2. PP Content of PP/KF Felts

PP/KF felt	Content of PP (wt%)
KF10	0
PP2/KF8	21.8 ± 1.53
PP5/KF5	50.9 ± 3.05
PP8/KF2	81.1 ± 4.13
PP10	100

20, 50, 80, 100 wt%일 때 PP/KF/PU 펠트 복합체의 기계적 물성 값을 나타낸 것이다. KF의 함량이 증가할수록 인장강도는 감소하다가 증가하는 경향을 보이고, 굴곡 강도가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 충격 강도의 경우 급격한 감소를 보이는데, 이는 PP에 비해 상대적으로 취성 특성이 높은 KF의 양이 증가하기 때문에 인장강도와 굴곡강도에서는 보강 효과가 나타나지만 충격 특성은 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 자동차 부품소재로 적용하기 위해서는 KF 함량이 높을수록 유리하기 때문에 충격 특성이 복합 PP의 특성인 200 J/m 수준 이상이면서 KF 함량이 최대인 PP 20 wt%와 KF 80 wt%의 펠트 조성에 대해 PU 가공조건 및 상용화제 연구를 추가적으로 진행하였다.

PP2/KF8 펠트의 PU 배합 비 선정을 위해 PMDI와 polyol의 비율에 따른 압축성형시편에 대해 PP/KF/PU 펠트 복합체의 기계적 물성을 평가하였다. Figure 3은 PU의 비율에 따른 PP2/KF8/PU 펠트 복합체의 인장강도, 굴곡강도 및 충격강도를 나타낸 것이다. PMDI와 polyol의 비율이 2:1을 기준으로 인장강도와 굴곡 강도가 증가하다 감소하는 결과를 볼 수 있는데, 이는 PP/KF 펠트 시스템에서 최적의 경화반응이 나타나는 비율로 판단되며 기존의 시차주사열량 분석기의 경화반응 연구결과에서 확인되었다[22]. 하지만 경화반응이 가장 활발히 진행되는 2:1의 비율에서 충격 강도는 가장 낮은 값을 보여주었다. 자동차 부품 소재에서 중요하게 고려하는 물성이 굴곡 강도로, 인장강도와 굴곡강도에서 최적을 보인 PMDI와 polyol의 비율을 2:1로 선정하였다.

PP/KF/PU 복합체의 물성 결과에 대한 신뢰성을 위해서는 PU 바인더의 분포가 균일한 지 여부가 매우 중요할 것으로 판단된다. 각 시편에 대해서 기계적 물성 측정은 5회 실시하였고, 측정 결과의 편차가 크지 않음을 확인하였으며, 실험 후 임의의 부분에서 시편을 채취하여 밀도를 측정하여 편차를 확인하였다. 그 결과들을 Table 3에 정리하였다. 밀도와 물성의 편차가 크지 않은 시험결과로부터 시편에 대한 PU 바인더 분포의 균일성은 기계적 물성의 대소를 고찰하기에 충분한 것

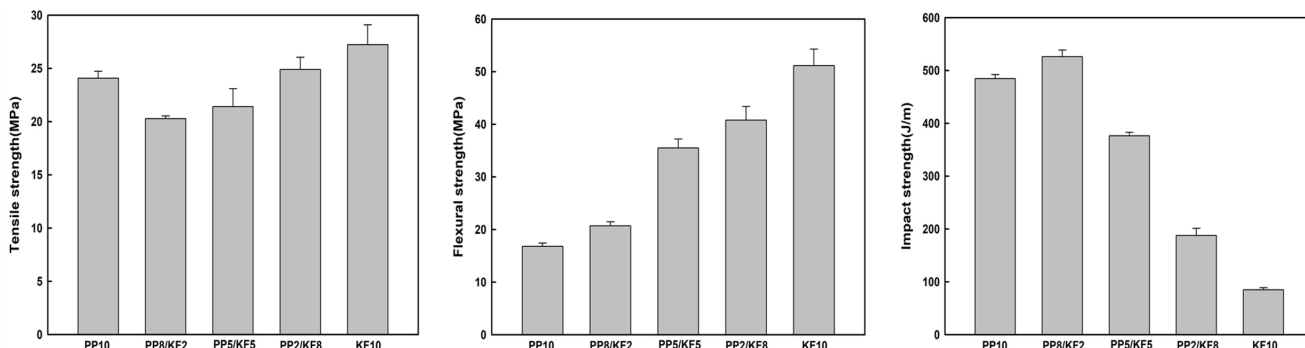


Figure 2. Mechanical properties of PP/KF/PU felt composites with different PP/KF compositions.

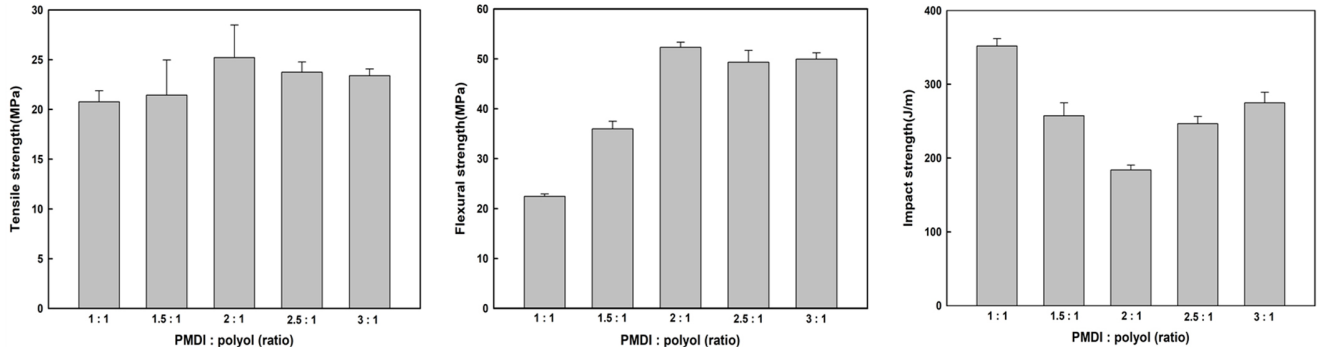


Figure 3. Mechanical properties of PP2/KF8/PU felt composites with different PMDI : polyol ratios.

Table 3. Densities of PP/KF/PU Felts Composites as a Function of PU Compositions

PP/KF felt	PMDI:Polyol	Density (g/cm ³)
KF10	2:1	0.680 ± 8.17 × 10 ⁻³
	1:1	0.665 ± 1.50 × 10 ⁻²
PP2/KF8	1.5:1	0.647 ± 1.02 × 10 ⁻²
	2:1	0.646 ± 4.61 × 10 ⁻³
	2.5:1	0.658 ± 1.02 × 10 ⁻²
PP5/KF5	3:1	0.679 ± 1.73 × 10 ⁻²
	2:1	0.581 ± 1.08 × 10 ⁻²
PP8/KF2	2:1	0.579 ± 9.78 × 10 ⁻³
PP10	2:1	0.591 ± 5.19 × 10 ⁻³

으로 판단된다. PP/KF 펠트의 조성에 따른 밀도는 PMDI와 polyol의 비율을 2:1로 고정한 복합체를 이용하여 측정하였으며, PMDI와 polyol의 비율에 따른 밀도는 PP2/KF8/PU 펠트 복합체를 기준으로 측정하였다. PP 100%로 이루어진 PP/PU 복합체의 밀도가 PP (0.9 g/cm³)보다 낮은 0.591 g/cm³으로 측정되었고, KF의 함량이 증가할수록 밀도가 증가하는 경향을 보였는데, 이는 KF의 밀도가 1.4 g/cm³로 PP보다 높기 때문이다. 그러나 KF/PU 펠트 복합체의 밀도와는 0.1 g/cm³ 정도로 큰 증가를 보이지 않았다. 따라서 PU 바인더를 적용하는 것이 자동차 부품 소재로 적용 시 경량화 측면에서 보다 유리할 것으로 판단된다. PP2/KF8 펠트 복합체의 PMDI와 polyol의 비율에 따른 밀도는 큰 차이를 보이지 않았으며, PU의 조성이 경량화에 미치는 효과는 미미할 것으로 판단된다.

기계적 물성 개선의 방법으로 PP/KF 펠트에 사용되는 PP 섬유를 개질을 위해 PP-g-MAH를 PP 섬유 방식에 적용하였고, 3종류의 상용화제가 사용되었다. Figure 4는 상용화제가 첨가된 PP섬유의 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. PP-g-MAH에 포함된 말레인산 무수물(MAH)에는 PP에 포함되지 않은 카르보닐기(C=O)를 가지고 있기 때문에 첨가 여부를 평가하기 위한 기준으로 C=O 피크를 이용하였다. PH200을 첨가하여 제조한 PP 섬유의 경우 1790 cm⁻¹과 1740 cm⁻¹ 부근에서 MAH의 카보닐(C=O) 피크가 관찰되었고, 이를 통해 PP섬유에 PP-g-MAH가 혼합되어 있는 것을 확인하였다.

자동차 소재의 경량화 및 친환경화를 위한 PP/KF 복합소재의 연구는 내장재 중 크기가 큰 도어트림(door trim)에 적용하는 것이 가장 활발하며, 도어트림에서 가장 중요시 하는 기계적 특성은 굴곡강도이다. 모든 상용화제에 대해 PP 섬유를 제조하고 펠트화하는 것이 비효율적

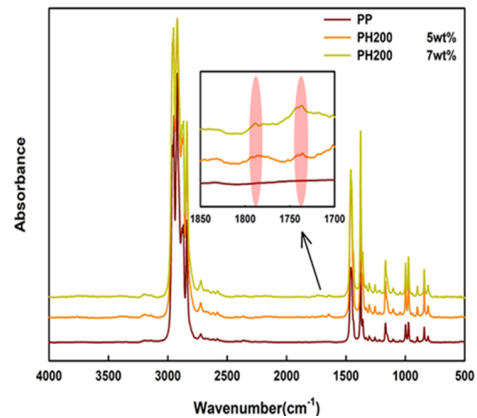


Figure 4. FT-IR spectra of the PP fiber as a function of compatibilizer content.

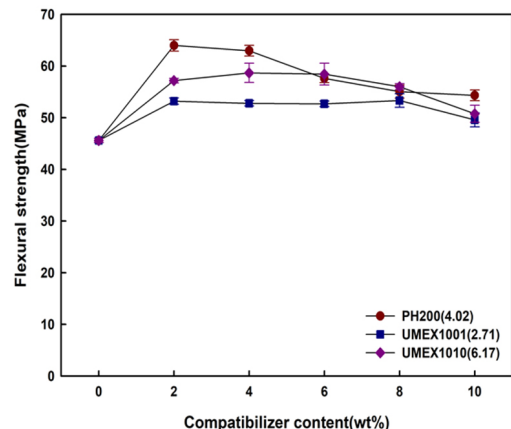


Figure 5. Flexural strength of PP8/KF2/PP-g-MAH composites as a function of PP-g-MAH content.

인 것으로 판단하여 상용화제 종류별 변량 시험은 KF의 함량을 20 wt% (소형 이축압출기에 의해 최대도 투입할 수 있는 양)로 고정하고 PP/KF/PP-g-MAH 복합체를 제조하여 굴곡강도를 기준으로 최적의 특성을 나타내는 상용화제와 함량을 선정하였다. 기존의 PP/천연섬유 복합체에 대한 PP-g-MAH 연구결과[22,23]에 따르면 PP-g-MAH의 함량이 1 wt% 이상일 때 개선 효과가 나타나는 것으로 확인되어 함량을 2, 4, 6, 8, 10 wt%로 변경하여 실험하였다. Figure 5는 3종류의 상용화제의 함량 변화에 따른 굴곡강도를 나타낸 것이며, 상용화제

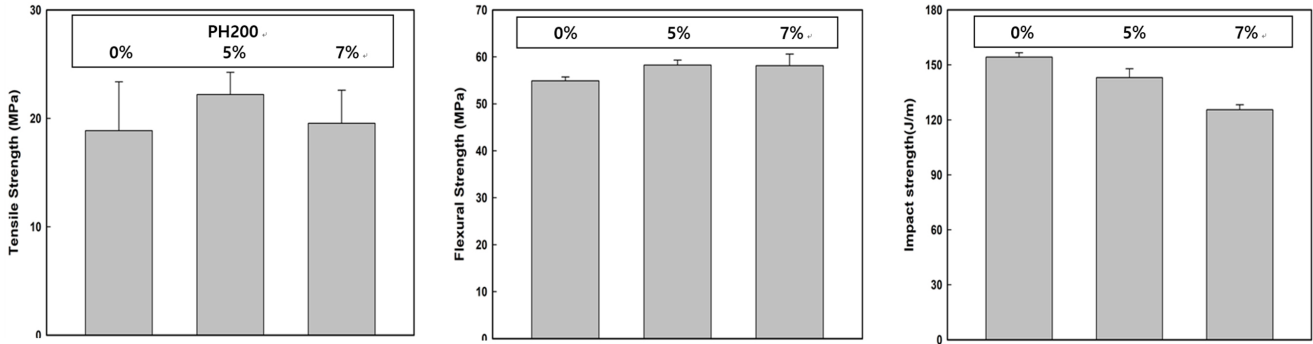


Figure 6. Mechanical properties of PP/KF/PU felt composites with PH200 of 5 and 7wt% content.

(PP-g-MAH) 함량은 혼합에 사용된 시료 전체량(PP-g-MAH + PP + KF)에 대해 사용된 PP-g-MAH를 백분율로 나타낸 것이다. 세 종류의 상용화제 모두에서 굴곡강도가 개선됨을 보여주었고, PH200을 사용한 복합체의 굴곡 강도가 최적의 결과를 나타내었으며, PH200 함량이 2~4%일 때 가장 높은 굴곡 강도를 나타내었다.

KF가 20 wt% 포함된 PP/KF/PP-g-MAH 복합체의 굴곡강도가 2-4 wt%에서 최적의 결과를 보였지만 PP/KF 펠트에서 KF 섬유 함량이 80 wt%이기 때문에 PP 섬유 제조에는 PH200의 농도를 5 wt%와 7 wt%로 상향 조정하여 섬유를 제조하여 만든 펠트를 이용하였다. Figure 6는 상용화제가 적용된 PP/KF/PU 펠트 복합체의 기계적 강도 데이터이다. 상용화제가 적용된 경우 인장강도와 굴곡강도가 상승함을 보여주었고, 상용화제 함량이 5 wt%일 때 최적의 물성을 나타내었다. 이는 PP-g-MAH의 적용으로 소재 간 접착특성이 일부 개선되었기 때문으로 유추할 수 있다. 상용화제의 첨가는 비 상용성인 PP와 KF의 계면 접착특성 개선에 의한 것으로 유추되며 기존 연구결과[21,23]의 SEM 사진에서 일부 확인되었다. 소재 간의 화학적 반응 여부를 확인하기 위해 적외선 분광기 실험을 진행하였으나 특이한 화학반응은 확인되지 않았고, 이 부분에 대해서는 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

상용화제의 함량이 7 wt%에선 앞선 PP/KF/PP-g-MAH 복합체의 결과와 마찬가지로 PP보다 물성이 열세한 PP-g-MAH의 함량이 일정 수준 이상이 되면 개선된 PP 섬유의 자체 물성이 약화되었기 때문으로 해석할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 half-folding 방법으로 제조한 PP/KF/PU 펠트 복합체의 기계적 물성에 대한 PMDI와 polyol 조성비, 펠트 함량 및 상용화제의 영향을 고찰하고자 하였다. PP2/KF8 펠트에 반응 온도는 150 °C에서 PU 바인더가 적용된 복합체의 기계적 물성을 고려할 때 PMDI와 polyol의 비율은 2:1일 때 최적의 조건을 나타내었다. 반응온도는 150 °C, 반응시간은 60초에서 최적의 발열량을 나타내었다. PP/KF 펠트의 조성비와 PMDI와 polyol의 비율을 2:1로 고정된 상태에서 PP/KF/PU 펠트 복합체의 물성 평가 결과 KF의 함량이 증가할수록 인장강도와 굴곡강도가 증가하는 경향을 보였으며, 경량화 측면에서 PP2/KF8 펠트를 최적 함량으로 결정하고 PP-g-MAH 적용 연구를 진행하였다. 상업적으로 이용되는 3종의 PP-g-MAH를 PP8/KF2/PP-g-MAH 복합체에 적용한 후 굴곡 강도를 측정된 결과 PH200가 최적의 결과를 나타내었다. PH200의 함량이 5, 7 wt% 적용된 PP섬유를 이용하여 PP/

KF/PU 펠트 복합체를 제조하여 기계적 물성을 평가한 결과 실험이 진행된 범위 내에서는 PH200 5 wt%가 7%보다 우수한 물성을 나타내었다.

감 사

이 논문은 환경부의 폐자원에너지화 전문인력 양성사업으로 지원되었습니다.

References

1. J. H. Shim, J. S. Yoon, and D. H. Cho, Natural fiber and bio-composites, *Polym. Sci. Technol.*, **19**, 299-306 (2008).
2. A. Ashori, Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!, *Bioresour. Technol.*, **99**, 4661-4667 (2008).
3. D. H. Cho and H. J. Kim, Naturally cyclable biocomposites, *Elast. Comp.*, **44**, 13-21 (2009).
4. H. J. Kim, B. H. Lee, D. H. Cho, S. E. Yoo, and J. H. Yun, Development of bio-composites for reducing VOCs as automotive interiors, *Auto J.*, **33**, 26-31 (2011).
5. M. K. Lee, and S. L. Yoon, Utilization of kenaf cultivated in Korea (II) - Physical properties of kenaf TMP and KP-, *J. Korea TAPPI*, **39**, 45-52 (2007).
6. J. S. Oh, S. H. Lee, S. H. Bumm, and K. J. Kim, Nano-kenaf cellulose effects on improved mechanical properties of polypropylene composite, *Polymer(Korea)*, **37**, 613-617 (2013).
7. S. Lee, B. H. Lee, H. J. Kim, S. M. Kim, and Y. G. Eom, Properties evaluation of bio-composite by content and particle size of bamboo Flour, *J. Korea Wood Sci. Technol.*, **37**, 310-319 (2009).
8. N. S. Suharty, I. P. Almarnar, Sudirman, K. Dihadjo, and N. Astasari, Flammability, biodegradability and mechanical properties of bio-composites waste polypropylene/kenaf fiber containing nano CaCO₃ with diammonium phosphate, *Procedia Chem.*, **4**, 282-287 (2012).
9. M. J. John, C. Bellmann, and R. D. Anandjiwala, Kenaf-polypropylene composites: Effect of amphiphilic coupling agent on surface properties of fibres and composites, *Carbohydr. Chem.*, **82**, 549-554 (2010).
10. F. Md. Salleh, A. Hassan, R. Yahay, and A. D. Azzahari, Effects of extrusion temperature on the rheological, dynamic mechanical

- and tensile properties of kenaf fiber/HDPE composites, *Compos. B. Eng.*, **58**, 259-265 (2014).
11. A. Hao, H. Zhao, W. Jiang, L. Yuan, and J. Y. Chen, Mechanical Properties of Kenaf/Polypropylene Nonwoven Composites, *J. Polym. Environ.*, **20**, 959-966 (2012).
 12. Y. Wang, Effect of consolidation method on the mechanical properties of nonwoven fabric reinforced composites, *Appl. Comp. Mater.*, **6**, 19-34 (1999).
 13. K. D. Lee and W. K. Lee, A Deveopment trend of bio-plastics in automotive, *Auto J.*, **31**, 44-51 (2009).
 14. M. J. John and S. Thomas, Biofibre and biocomposites, *Carbohydr. Chem.*, **71**, 343-364 (2008).
 15. S. J. Kim, C. S. Yoo, and C. S. Ha, Rheological properties during mixtin and thermal properties of polypropylene/natural fiber composite: II. effects of a compatibilizer, *J. Adhes. Interf.*, **10**, 23-29 (2009).
 16. J. M. Park, S. T. Quang, B. S. Hwang, and K. L. DeVries, Interfacial evaluation of modified Jute and Hemp fibers/polypropylene (PP)-maleic anhydride polypropylene copolymers (PP-MAPP) Composites using micromechanical technique and non-destructive acoustic emission, *Compos. Struct. Technol.*, **66**, 2686-2699 (2006).
 17. N. Sgriccia, M. C. Hawley, and M. Misra, Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites, *Compos. A. Appl. Sci. Manuf.*, **39**, 1632-1637 (2008).
 18. X. Li, P. G. Tabil, and S. Panigrahi, Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review, *J. Polym. Environ.*, **15**, 25-33 (2007).
 19. D. M. Panaitescu, C. A. Nicolae, Z. Vuluga, C. Vitelaru, C. G. Sanporean, C. Zaharia, D. Florea, and G. Vasilievici, *J. Indus. Eng. Chem.*, **37**, 137-146 (2016).
 20. M. Ragoubi, D. Bienaime, S. Molina, B. George, and A. Merlin, Impact of corona treated hemp fibres onto mechanical properties of polypropylene composites made thereof, *Ind. Crops. Prod.*, **31**, 34-349 (2010).
 21. S. G. Ku, Y. S. Kim, D. W. Kim, K. S. Kim, and Y. C. Kim, Effect of silane coupling agent on physical properties of polypropylene (PP)/kenaf fiber (KF) felt composites, *Appl. Chem. Eng.*, **29**, 37-42 (2018).
 22. J. W. Lee, S. G. Ku, B. H. Lee, K.-W. Lee, C. W. Kim, K. S. Kim, and Y. C. Kim, Effect of the compatibilizer on physical properties of polypropylene (PP)/bamboo fiber (BF) composites, *Appl. Chem. Eng.*, **26**, 615-620 (2015)
 23. S. G. Ku, Y. S. Kim, Y. E. Hong, D. W. Kim, K. S. Kim, and Y. C. Kim, Study on physical properties of maleic anhydride grafted polypropylene (PP)/kenaf fiber (KF) composites, *Appl. Chem. Eng.*, **28**, 73-79 (2017).

Authors

Sun Gyo Ku; M.Sc., Researcher, Netzsh Korea, Paju 10864, Korea; kusungyo@gmail.com

Youn Cheol Kim; Ph.D., Professor, Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea; younkim@kongju.ac.kr