

## 코로나 방전 또는 상용화제가 처리된 폴리프로필렌/케나프 섬유 펠트의 물성 연구

구선교 · 박병수\* · 김동원\*\* · 김기성\*\* · 김연철†

공주대학교 고분자공학전공, \*금하공업(주), \*\*주)서연이화

(2016년 2월 26일 접수, 2016년 4월 10일 수정, 2016년 4월 18일 채택)

### Study on the Physical Properties of the Polypropylene/Kenaf Fiber Felt Treated by Corona or Compatibilizer

Sun Gyo Ku, Byeoung-Soo Park\*, Dong Won Kim\*\*, Ki Sung Kim\*\*, and Youn Cheol Kim†

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, 275 Budae-Dong, Cheonan 31080, Korea

\*Kumha CO. Ltd., 289-22 Daedong, Wacheon, Gyeongsan 38884, Korea

\*\*Seoyounewha, 398-1 Namseom-ri, Shinchang-myun, Asan 31534, Korea

(Received February 26, 2016; Revised April 10, 2016; Accepted April 18, 2016)

**초록:** 폴리프로필렌(polypropylene, PP)/케나프 섬유(kenaf fiber, KF) 펠트와 폴리우레탄(polyurethane, PU) 바인더의 계면 접착특성 향상을 위해 코로나 방전처리와 상용화제로 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)이 그래프트된 PP-g-MAH가 적용되었다. PU 바인더의 반응온도와 시간 선정을 위해 DSC를 이용하여 등온 실험을 수행하였다. 코로나 방전처리와 상용화제 적용에 따른 PP/KF/PU 복합체의 기계적 물성 변화를 고찰하기 위해 인장, 굴곡 및 충격 특성을 평가하였다. 코로나 방전처리 및 PP-g-MAH 처리의 경우 인장특성과 충격특성이 개선되는 경향을 나타내었다. 기계적 물성의 증가는 코로나 방전처리 및 PP-g-MAH에 의한 PP의 산소기 도입으로 mPP/KF와 PU 바인더간의 상용성이 개선되었기 때문으로 해석할 수 있고, 파단면의 SEM 사진으로부터 확인되었다.

**Abstract:** In order to improve the interfacial adhesion property between polypropylene (PP)/kenaf fiber (KF) felt and polyurethane (PU) binder, corona discharge treatment and PP-g-MAH grafted maleic anhydride (MAH) were applied as a compatibilizer to PP/KF felt. Isothermal experiments were carried out by using differential scanning calorimetry (DSC) to determine the reaction temperature and time for PU binder. Tensile, flexural and impact properties were evaluated to analyze the mechanical properties of PP/KF/PU treated by corona discharge and PP-g-MAH. In case of modified-PP (mPP)/KF/PU composite treated by corona discharge and PP-g-MAH, the tensile and impact properties were improved. It may be because when the corona discharge was applied to the mPP/KF felt, the compatibilizing ability between the mPP/KF and PU binder increased due to the insertion of oxygen group in PP chain. The interface adhesion properties of the mPP/KF/PU composites were identified by SEM images of the fracture after the tension test.

**Keywords:** polypropylene/kenaf fiber felt, corona discharge, compatibilizer, polyurethane binder.

## 서 론

환경 보전에 대한 관심 증가로 자동차 산업도 기본적인 주행성능, 품질, 내구성 등에서 최근에는 친환경에 대한 관심이 증대되고 있다. 배출가스 규제, 연비 및 안전성 향상, 자동차 지능화를 실현하기 위해서 자동차 기술은 전장화, 친환경화로 변화하고 있으며, 이는 자동차산업을 기존의 일차원적인 패러다임에서 융·복합의 새로운 산업으로 급격하게 전환 시

키고 있다.<sup>1,2</sup> 자동차 내장부품은 cockpit module, instrument panel, headliner, door trim, seat, rear shelf, floor carpet 등으로 구분되며, 적용 소재로는 PP 복합체(polypropylene composites), 섬유강화플라스틱(fiber reinforced plastic, FRP), 발포체(foams), TPO(thermoplastic olefin) sheet, leather를 포함하여 여러 종류의 열가소성 플라스틱 등이 사용되고 있다.<sup>3</sup> 자동차의 친환경화는 크게 2가지 측면으로 구분할 수 있는데, 첫째는 자동차 내·외장재의 부품 경량화를 통한 연비향상과 배기가스 배출량을 감소시키는 방법이 있으며, 둘째로는 부품의 생산·폐기 시 총 탄소량(CO<sub>2</sub>)이 적게 발생하는 소재를 사용하여 부품을 제작하는 방법이 있다.<sup>4,6</sup> 결국, 천연에서 얻을 수 있는 소재를 사용하여 경량화가 가능한 부품을 개

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: younkim@kongju.ac.kr

©2016 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

발한다면 가장 친환경적인 방법이라 할 수 있고, 이와 같은 조건을 만족시킬 수 있는 대표적인 소재 중 하나가 FRP이다.

자동차 내장부품은 대부분 사출성형을 통해 제조되기 때문에 열가소성 FRP를 사용하고 있다. 현재 국내에서 자동차 내장용 소재로는 합성수지 중 밀도가 가장 낮은 PP에 휘스커, 탈크 등이 포함된 복합소재가 사용되거나 유리섬유·탄소섬유 등이 보강제로 사용되는 FRP 등이 사용되고 있으나, 유럽을 중심으로 한 환경에 대한 규제 강화 및 정책 변화 등에 따라 천연섬유(natural fiber, NF) 적용을 위한 노력이 활발히 진행 중에 있다.<sup>7-10</sup>

천연섬유 복합소재(natural fiber reinforced plastics, NFRP)란 유리 또는 탄소섬유 대신에 바이오매스와 같은 재생 가능한 식물로부터 얻어진 식물성 천연섬유를 고분자와 혼합하여 만들어진 재료를 말하며, 천연섬유를 강화제로 한 친환경성 복합재료, 바이오 복합재료(bio-composites), 에코 복합재료(eco-composite), 그린 플라스틱(green plastics)으로도 불린다. NFRP는 사회적 요구에 의하여 유럽에서 먼저 연구되어, 1989년 독일의 deutsches centrum für luft und raumfahrt institute of structural mechanics는 kenaf(양파), flax(아마), hemp(대마), ramie(모시) 등의 NF를 고분자수지의 보강섬유로 도입한다는 획기적인 방법을 제안했고, 기존에 사용되던 유리섬유 복합소재에 버금가는 물성을 구현하여 천연섬유 고분자 복합소재의 근간을 마련하였다. 현재는 미국 및 일본과 같은 선진국에서 차량 부품 적용 상용화 연구가 활발히 진행 중이며, 개발의 선두주자인 유럽은 자동차 재료에 적용하여 차체의 경량화 및 이산화탄소 배출 감소에 관한 실용화 연구가 진행 중이다.<sup>5,10,11</sup> 대표적으로 독일 Mercedes-benz사는 천연섬유 복합재료를 승용차의 내장재 및 외장재에 실제로 적용하고 있으며, 버스, 전철 등에 이를 적용하는 파생 연구도 활발히 추진 중이다.<sup>12</sup>

NFRP는 천연섬유강화보드, 우드스탁, 뱀브스탁, PP 펠트 등으로 대표되고 있으며, 그 중 가장 널리 사용 중인 천연섬유강화보드는 천연섬유와 화학섬유를 니들펀칭하여 펠트층을 제조한 후, 평판 가열압착과 냉간 압착성형을 통해 자동차 내장부품으로 성형되며, 자동차의 리어셀프(rear shelf), 트렁크 트림(trunk trim), 헤드라이너(headliner), 도어트림(door trim) 등에 적용되고 있다.<sup>13,14</sup> 환경 친화적이며, 저렴한 가격 등의 장점들을 가지는 천연섬유 강화보드는 자동차 부품을 비롯하여 여러 산업 분야에 적용, 응용되고 있다. 그러나 천연섬유 강화보드는 사출용 플라스틱 소재 대비 강도, 성형성이 부족하여, 도어트림같은 고강도의 성형성을 요구하는 제품의 적용에는 한계를 보이고 있다.<sup>15</sup>

이러한 성형성의 문제를 해결하면서 고강도·경량화·친환경의 사회적 요구에 부응하기 위해 유럽의 선진업체들은 2000년대 초부터 연구 개발을 시작하여, NF/polyurethane(PU), NF/epoxy, NF/acryl 등의 조합으로 양산 적용 중에 있다. 이

들 기술은 천연섬유 혹은 천연섬유·화학섬유가 부직포 형태로 형성된 펠트(felt)를 제조한 후, 펠트 층에 열경화성 바인더(binder) 수지를 스프레이(spray) 혹은 함침하여 복합소재 형태의 다층 구조물로 제조된다.<sup>13,16-18</sup> 기존의 유럽에서 적용 중인, NF-열경화성 바인더는 표면에 바인더 수지가 표출되어 접착 및 필름 적층 시에 문제가 있어 펠트 층의 한 쪽에만 바인더를 스프레이하여 반으로 접어 가열 냉간 압착하면 열경화성 바인더가 펠트 내에서 층을 구성하여 표면의 접착 및 필름 적층 시의 문제를 개선할 수 있으나, 이 경우 펠트 층 바인더의 양이 감소하여 기계적 물성이 다소 저하될 수 있기 때문에 이를 개선할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

펠트는 주로 양파 섬유(kenaf fiber, KF)와 PP 섬유가 혼합되어 사용되고 있고, 바인더로는 폴리우레탄(PU)이 사용되고 있다. KF와 같은 NF는 셀룰로오스, 헤미-셀룰로오스, 리그닌 등을 주성분으로 하는 극성 고분자이고, PP는 비극성 고분자이며 바인더로 사용되는 PU는 극성 고분자이기 때문에 극성 고분자와 비극성 고분자 사이의 상용성을 향상시킬 수 있는 방안이 고려되어야 한다.<sup>14,19-22</sup>

PP/NF 복합체의 상용성을 향상시키기 위한 연구는 많이 진행되었고, 이들 중 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)을 도입하는 방법이 가장 많이 연구되었다. PP/NF 복합체의 상용화제로 PP-g-MAH가 사용될 때 기계적 물성이 개선되었고, 이는 MAH의 산소작용기와 NF 사이의 화학적 결합에 의한 것으로 설명되었다.<sup>23-25</sup> 또한 PP 필름이나 쉬트의 인쇄성 향상이나 극성 고분자와의 계면 접착특성을 개선할 목적으로 코로나 방전처리에 대한 기술개발과 산업적 적용이 활발히 진행되어 왔다.<sup>26-28</sup> 하지만, 본 연구에서 요구하는 PP/KF 펠트와 PU 바인더 시스템에서의 소재간 상용성 개선에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 PP 용융방사 시 상용화제로 PP-g-MAH를 적용하여 PP/KF 펠트를 제조하거나 제조된 PP/KF 펠트에 코로나 방전처리를 하고, 소재간 상용성 개선과 기계적 물성을 측정하여 상관관계를 규명하고자 하였다.

## 실 험

**재료.** PP는 폴리미래의 단일중합체인 HP600R(melt index (MI)=25 g/10 min)을 사용하였고, 상용화제인 PP-g-MAH는 롯데화학의 CM1120H를 사용하였다. PP/KF 펠트는 금하공업(주)에서 중량 800 g/m<sup>2</sup>을 기준으로 PP/KF가 중량비로 8/2인 제품을 제공받아 사용하였다. 펠트 제조에 사용된 KF는 베트남에서 재배되고 수입되었으며, 케나프로부터 섬유화된 것을 (주)나노텍스틱으로부터 제공받아 펠트 제조에 사용하였다. KF는 10 cm 길이로 잘랐을 때 무게가 0.6-1.2 mg의 분포를 보였으며, 이 때 최대하중(g) 값은 150-350의 분포를 보였다. 바인더로 사용된 폴리우레탄은(PU)은 코베스트로(주)

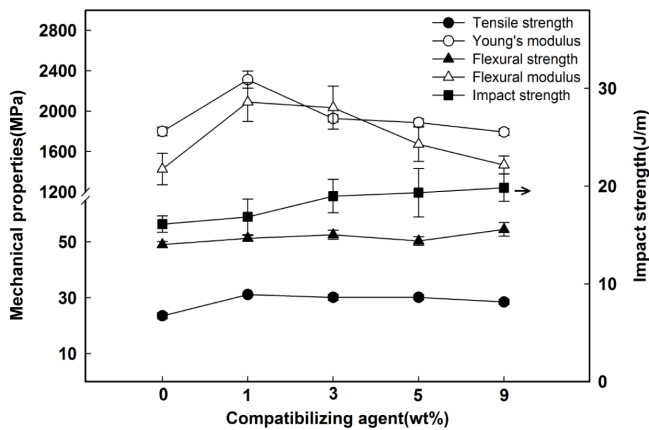


Figure 1. Mechanical properties of PP/KF/PU composites.

사의 이소시아네이트(MDI, Sumidur®)와 폴리올(polyol, Sumiphen®)을 사용하였다. 펠트의 밀도는 전자고체비중계(SD-200L, Alfa Mirage)를 이용하여 ASTM D792로 측정하였다. Figure 1은 PP-g-MAH의 함량을 선정하기 위해 PP에 KF와 PP-g-MAH를 1, 3, 5, 9 wt%로 투입하여 이축압출기(바우테크, BA-11, L/D=36)를 이용하여 다이온도 기준으로 200 °C에서 복합체를 제조한 후 기계적 물성을 측정한 결과이다. 분석결과 PP-g-MAH의 함량이 3 wt%일 때 굴곡탄성률과 충격특성이 최적의 물성을 보여 상용화제의 함량을 3 wt%로 하여 PP 섬유를 제조하였다.

**PP/KF 펠트 코로나 방전처리 및 PP/KF/PU 복합체 제조.** 13 cm×26 cm의 길이의 PP/KF 펠트의 한 쪽 면을 코로나 방전처리기(3dt, multi dyne 1000, 미국)를 이용하여 12 kV 방전전압으로 펠트의 이동속도를 다르게 하여 상온, 상압에서 처리하였다. PP/KF 펠트에 이소시아네이트(MDI)와 폴리올(polyol)을 2:1 비율로 섞어 한 쪽 면에 도포하고 반으로 접어 가열프레스를 이용하여 60초 동안 10 MPa의 압력을 가하여 13 cm×13 cm의 PP/KF/PU 복합체 판을 제조하였고, 상온에서 600초 동안 30 MPa로 추가로 압축하였다. Figure 2는 PP/KF 펠트에 PU 바인더를 처리하여 PP/KF/PU 복합체를 제조하는 과정을 나타낸 것이다. Figure 2 내의 PU 처리 후 복

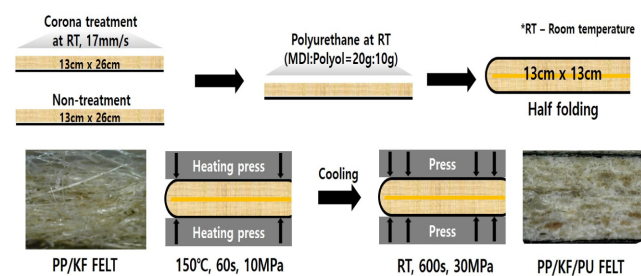


Figure 2. Preparation method and optical microscope images of PP/KF/PU composites.

합체의 옆면(PP/KF/PU felt)에 대한 광학현미경 사진에서 PU가 펠트 내에 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

**측정.** 코로나 방전처리된 PP/KF 펠트의 화학구조 확인을 위해 적외선분광기(FIR, Perkin Elmer, Spectrum 100)를 사용하였고, PU의 반응열 분석에는 시차주사열용량분석기(DSC, TA instrument DSC Q20)를 사용하였다. 등온 실험온도로 온도를 올린 후 시료를 투입하여 질소분위기 하에서 측정하였다. 인장강도와 굴곡강도 측정에는 만능시험기(Qmesys, QM100T)를 이용하였으며, 3 mm 두께의 시편을 인장시험은 5 mm/min로, 굴곡시험은 1 mm/min으로 측정하였다. 충격강도는 아이조드 충격시험기(Qmesys, QM700)를 이용하여 3 mm 두께의 시편에 노치를 준 다음 측정하였다. 인장시험 후 파단면의 형상을 살펴보기 위해 SEM(Tescan Mira3)을 이용하였다. SEM 시료의 절단면을 금박하여(gold sputter coating) 25 kV의 가속전압에서 관찰하였다. Figure 1의 PP-g-MAH 함량을 선정하기 위한 기계적 물성 측정 시편은 190 °C 가열프레스(hot press)를 이용하여 제조하였으며, 인장강도와 굴곡강도 시편은 1 mm의 두께로 제조하였고, 충격강도 시편은 2 mm의 두께로 제조하여 기계적 물성을 측정하였다. 각 시료당 5회 실시하여 평균하여 사용하였다. 접촉각은 PP 섬유를 190 °C 가열프레스에서 필름 형태로 만들고 코로나 처리 후 시간에 따라 SEO사의 phoenix 접촉각 측정기를 이용하여 물을 떨어뜨린 뒤 3초 후의 각을 측정하여 나타내었다.

## 결과 및 토론

**폴리우레탄(PU) 바인더의 열적특성 분석 및 반응조건 선정.** PP/KF 펠트의 바인더로 사용하는 폴리우레탄의 처리 조건을 선정하기 위해 MDI와 polyol을 비율별로 혼합한 후 DSC를 이용하여 150 °C에서 등온 실험한 결과를 Figure 3에 나타내었다. MDI:polyol 비가 2:1일 때 반응시간이 가장 빠

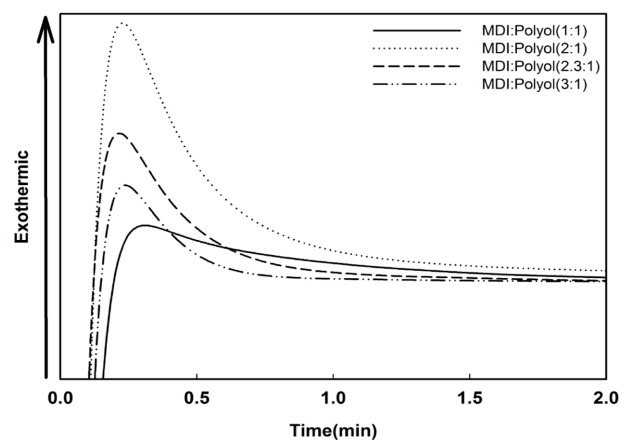
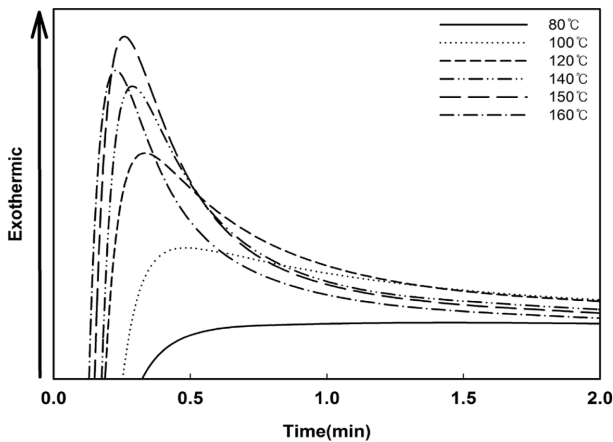


Figure 3. DSC thermograms of PUs with various MDI:polyol ratios at 150 °C.



**Figure 4.** DSC thermograms of PU with various temperatures at 2:1 of MDI:polyol ratios.

르게 나타나는 것을 알 수 있었고, 본 결과를 바탕으로 PP/KF 펠트에 PU 바인더 처리 시 비율을 2:1로 고정하여 처리하였다. 이소시아네이트(-NCO)기는 활성이 매우 크기 때문에 초기 농도가 높을수록 반응이 빠르게 진행되는 것으로 알려져 있어, MDI:polyol 몰비가 증가할수록 반응열이 증가하다가 몰비가 어느 수준 이상이 되면 반응에 참여할 수 있는 수산기(-OH)의 상대적 양이 감소하여 반응 정도가 줄어들기 때문에 반응열에 대해 최적 몰비가 나타나는 것으로 해석할 수 있고, 기존의 연구결과에서도 유사한 결과를 나타내고 있다.<sup>29</sup> 다음은 반응온도를 선정하기 위해 MDI:polyol 비를 2:1로 고정하고 온도별로 실험한 DSC 결과를 Figure 4에 나타내었다.

반응온도가 80 °C인 경우 거의 반응이 일어나지 않다가 150 °C에서 최대 반응열이 나타난 후 160 °C에서는 반응열이 다소 감소하는 경향을 나타내어 반응열 측면에서는 150 °C를 1차 최적 반응온도로 선정하였다. Figure 3과 4에서 대부분은 반응이 1분 이내에 완료되는 것으로 나타나 반응시간은 60 초로 1차 선정하였다. PU의 MDI:polyol 비를 2:1로 고정된 상태에서 온도변화와 반응시간을 변화시켜 추가적인 실험을 진행하였고, 자동차 내장재 및 FRP에서 중요한 특성으로 고려하는 굴곡강도를 측정하여 Table 1에 정리하였다. DSC 결

**Table 1.** Flexural Strengths of the PP/KF/PU Composites

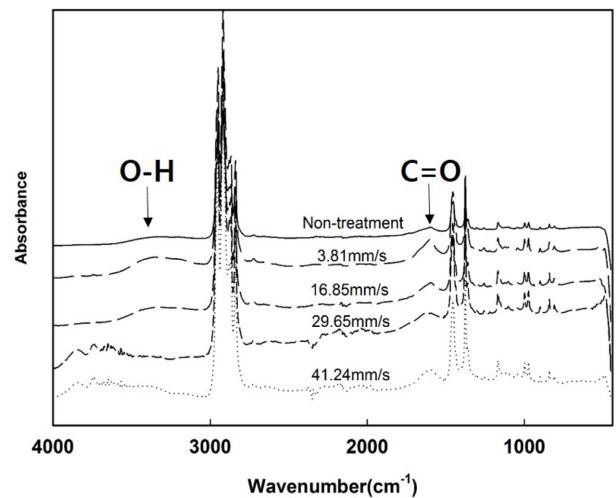
| Reaction         |            | Flexural strength (MPa) |
|------------------|------------|-------------------------|
| Temperature (°C) | Time (sec) |                         |
| 100              | 60         | 30.7                    |
| <b>150</b>       | <b>60</b>  | <b>34.6</b>             |
| 200              | 60         | 30.0                    |
| 150              | 30         | 31.7                    |
| 150              | 90         | 34.2                    |

과를 통해 1차 선정한 결과와 마찬가지로 PU의 MDI:polyol 비가 2:1일 때 반응온도 150 °C, 반응시간 60초에서 최적의 굴곡강도를 보여 PP/KF/PU 펠트의 반응조건으로 최종 선정하고 향후 모든 복합체의 제조에 동일한 조건을 적용하였다.

**코로나 방전처리 및 상용화제 적용에 따른 PP/KF/PU 복합체의 물성.** 금하공업에서 제공받은 중량 800 g/m<sup>2</sup>의 PP/KF 펠트를 실험부분에 기술한 방법으로 펠트의 이동 속도에 따라 코로나 방전처리한 후 PP 섬유 부분만을 적외선분광기로 측정한 FTIR 스펙트럼을 Figure 5에 나타내었다. 이동 속도가 낮아질수록, 즉 조사시간이 클수록 1750과 3340 cm<sup>-1</sup> 근처에서의 피크가 증가하는 것을 알 수 있다. 1750 cm<sup>-1</sup>에서의 피크는 카보닐(C=O)기의 신축진동 운동을 나타내고, 3340 cm<sup>-1</sup>에서의 피크는 수산기(O-H)의 신축진동 피크를 나타내는 것으로 코로나 방전처리에 의해 PP 섬유에 산소기가 도입되었음을 확인할 수 있고, 방전처리 시간이 길수록 산소기의 함량이 증가하는 결과를 보여주었다.

Figure 6은 PP 섬유를 필름으로 제조한 후 코로나 방전 처리한 시편을 상온에서 방치시간에 따라 FTIR과 접촉각을 나타낸 것이다. 상온에서 4시간까지 1700 cm<sup>-1</sup> 부근에서의 카보닐 피크가 유지되고, 접촉각 또한 PP와 비교할 때 크게 감소한 값을 유지하는 결과를 나타내었다. 이들 자료로 유추할 때 처리효과가 4시간까지는 유지되는 것으로 확인되어, PU 바인더 처리가 4시간 이내에만 이루어진다면 물성개선 효과가 나타날 것으로 판단된다.

Figure 7은 3.81 mm/sec의 이동 속도로 3회 코로나 방전처리한 시료 중 PP 섬유의 SEM 사진과 EDS 자료이다. PP 섬유의 외관에 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있어 코로나 방전처리가 PP 섬유(Figure 7(b))의 형태에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.<sup>30</sup> 코로나 방전처리 후 산소 성분이 소폭



**Figure 5.** FTIR spectra of the PP fiber as a function of discharge time.

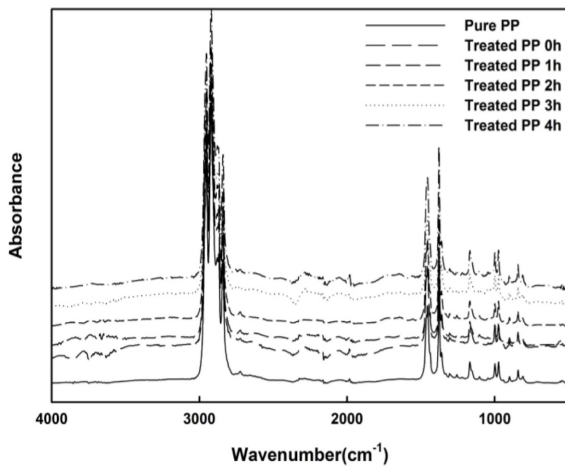


Figure 6. FTIR spectrum and contact angle after corona discharge treatment as a function of time at room temperature.

상승하는 EDS 결과로부터 PP 섬유에 산소 작용기들이 포함되어 있음을 유추할 수 있다. 논문에 포함하지는 않았지만 코로나 방전처리 후의 KF의 외관 형태와 탄소와 산소의 구성 성분에는 큰 차이를 보이지 않았다.

PP/KF/PU 복합체의 물성 결과에 대한 신뢰성을 위해 PU 바인더의 분포가 균일한지 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 2에 정리하였다. 밀도와 물성의 편차가 크지 않아 시편에 대한 PU 바인더 분포의 균일성은 기계적 물성의 대소를 평가하기에 충분한 것으로 판단된다.

Table 2. Densities and Strengths of the PP/KF/PU Composites

| Physical property            | FELT/CA0                    | T-FELT/CA0                  | FELT/CA3                    | T-FELT/CA3                  |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.630±8.17×10 <sup>-3</sup> | 0.651±6.71×10 <sup>-3</sup> | 0.628±4.42×10 <sup>-3</sup> | 0.612±3.89×10 <sup>-3</sup> |
| Tensile strength (MPa)       | 17.12±2.22                  | 26.34±0.45                  | 29.35±0.71                  | 30.63±0.78                  |
| Flexural strength (MPa)      | 35.56±1.36                  | 34.15±0.84                  | 28.07±4.35                  | 28.54±0.97                  |
| Impact strength (J/m)        | 147.96±3.25                 | 166.65±3.30                 | 242.22±6.54                 | 322.51±17.76                |

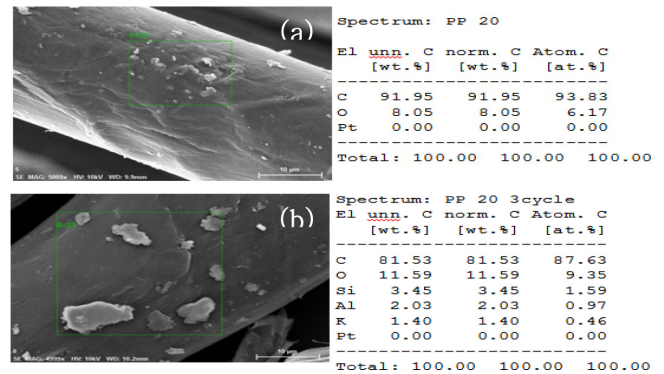


Figure 7. SEM photos and EDS data of the PP fiber before (a); after (b) treating three times by corona at 3.81 mm/s.

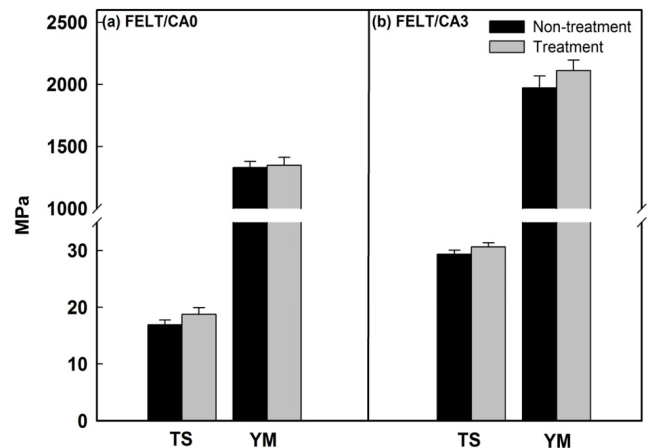


Figure 8. Tensile strengths (TS) and Young's moduli (YM) of the PP/KF/PU composites.

Figure 8에 코로나 미처리(non-treatment), 코로나 처리(treatment) 및 상용화제 미투입(CA0) 또는 투입(CA3) 등으로 구분하여 측정한 PP/KF/PU 복합체의 인장특성을 나타내었다. 코로나 방전처리된 시편은 인장강도와 인장 탄성률이 모두 소폭 상승하는 것을 확인할 수 있었다.<sup>31</sup> 반면, 상용화제 적용 시편의 경우 상용화제 미처리 시편과 비교할 때 인장강도와 탄성률이 모두 큰 폭으로 상승하였고, 코로나 방전처리가 같이 진행된 경우 추가적으로 인장특성이 개선됨을 확인할 수 있었다. 인장특성은 비극성인 PP와 극성인 KF, PU

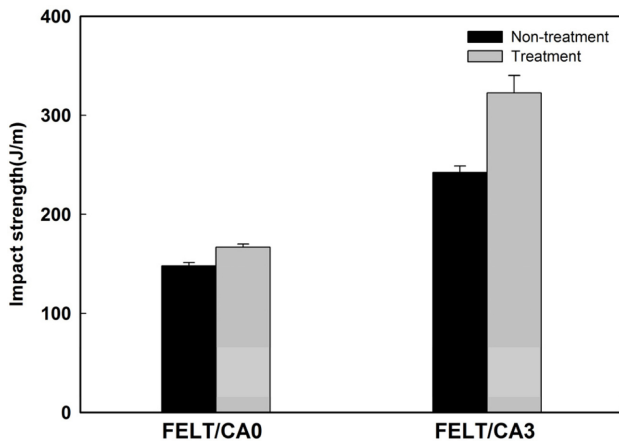


Figure 9. Impact strengths of the PP/KF/PU composites.

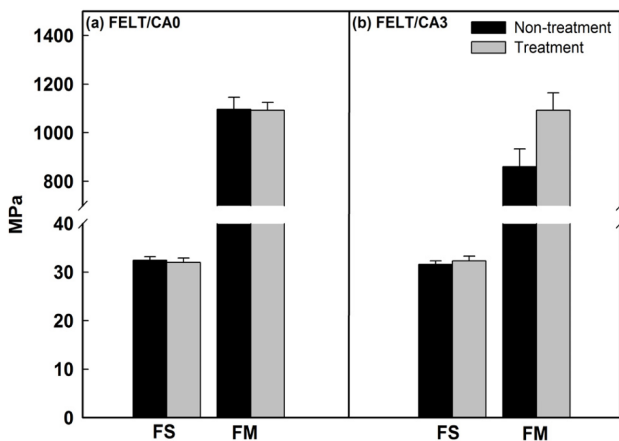


Figure 10. Flexural strengths (FS) and moduli (FM) of the PP/KF/PU composites.

사이의 상용성에 영향을 받고, 코로나 방전처리나 PP-g-MAH에 의한 산소 작용기 도입으로 극성을 주어 상용성을 증가하여 개선되는 것으로 해석할 수 있다.

Figure 9는 PP/KF/PU 복합체의 아이조드 충격강도를 나타내었다. 충격강도의 경우 인장특성과 유사하게 코로나 방전처리보다는 PP-g-MAH를 적용한 시편의 경우 큰 폭의 개선을 보여주었고, PP-g-MAH와 코로나 방전처리가 동시에 적용될 때 충격강도의 개선 정도가 가장 우수하였다. 인장강도의 경우 시험방법이 시편의 스트레칭(stretching)에 의한 것으로 PP/KF 펠트와 PU 바인더 사이의 상용성이 중요하지만, 충격강도의 경우 펠트와 바인더 사이의 상용성과 함께 PP와 KF 사이의 상용성 또한 중요한 변수로 작용하기 때문에 충분한 극성기의 도입이 필요하고, 이를 위해서는 코로나 방전처리와 상용화제인 PP-g-MAH가 모두 적용될 때 산소작용기가 충분히 제공되기 때문에 유리한 것으로 해석할 수 있다.

Figure 10은 PP/KF/PU 복합체의 굴곡특성을 나타내 것이

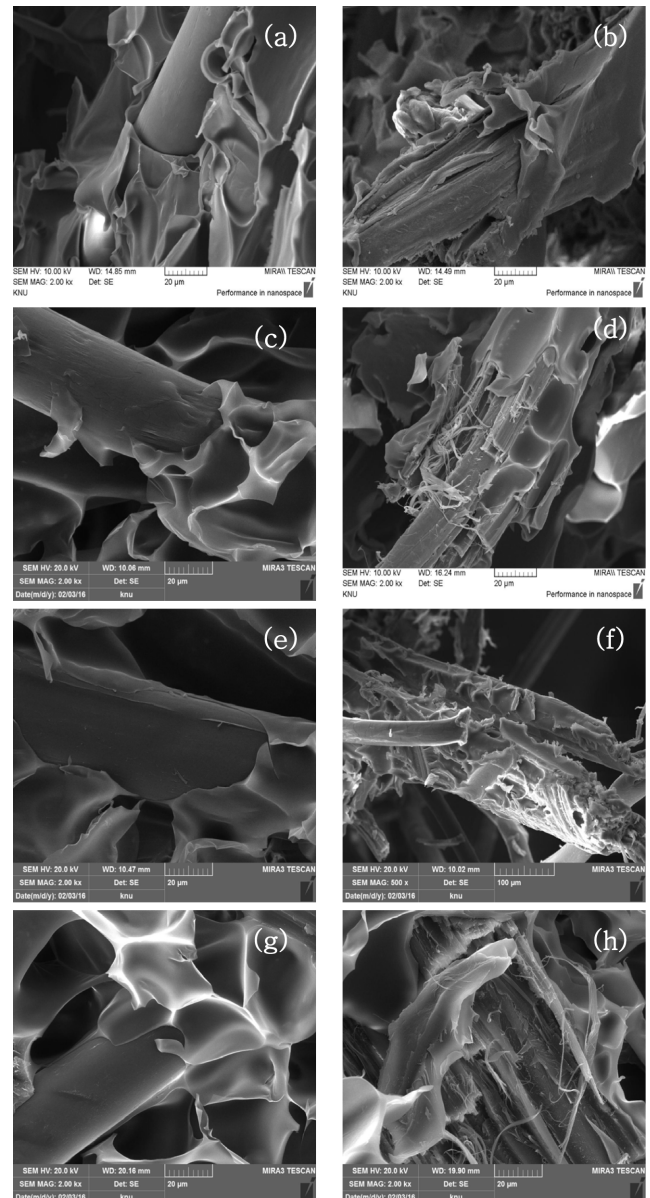


Figure 11. SEM photos of PP fiber for original (a); corona discharge (c); PP-g-MAH (e); corona discharge/PP-g-MAH (g); of KF for original (b); corona discharge (d); PP-g-MAH (f); corona discharge/PP-g-MAH (h) after flexural testing of PP/KF/PU composites.

다. 코로나 방전처리의 경우 굴곡강도와 굴곡 탄성률에 거의 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었다. 반면, PP-g-MAH가 적용된 시편의 경우 굴곡강도는 유사하나 굴곡탄성률은 오히려 감소하는 결과를 보여주었다. 또한 코로나 방전처리와 PP-g-MAH가 동시에 적용된 시편의 굴곡특성은 미처리 시편과 유사한 특성을 나타내고 있다. 따라서 인장특성과 충격특성 중에서 개선해야 할 물성을 고려하여 코로나 방전처리나 PP-g-MAH 중 적절한 공정을 선정하는 것이 바람직한 것

으로 판단된다.

Figure 11은 PP/KF/PU 복합체의 인장시험 후 파단면을 PP 섬유 부분과 KF 부분으로 나누어 찍은 SEM 사진이다. KF 부분은 KF와 PU의 상용성이 양호하게 나타나는 것을 확인할 수 있으나, 미처리 시편 내 PP 부분의 SEM 사진(Figure 10(a))은 PP 섬유 표면에 PU가 거의 남아 있지 않은 매끄러운 상태를 보여주고 있다. 반면에, 코로나 방전처리와 PP-g-MAH가 하나 또는 두 공정이 모두 적용된 시편들의 경우(Figure 10(c), (e), (g)) PP 섬유 표면에 PU 일부가 남아 있는 것을 알 수 있다.

## 결 론

비극성의 PP와 극성인 케나프 그리고 PU 바인더 사이의 상용성 개선을 위해 PP/케나프 펠트에 대해 코로나 방전처리와 PP 섬유 용융방사 시 PP-g-MAH를 첨가하였다. 코로나 방전처리 및 PP-g-MAH 처리 결과 PP 섬유에 산소작용기가 도입됨을 확인하였고, 인장 및 충격 특성이 개선됨을 확인하였다. 특히 PP-g-MAH가 단독으로 적용된 경우 인장과 충격 특성에 있어서는 큰 폭의 개선효과를 보이나 굴곡 탄성률은 오히려 감소하는 결과를 나타내었다. 인장과 충격특성의 개선은 PP와 KF 또는 PU 사이의 상용성이 향상되는 결과로 유추할 수 있고, 인장시험 후 파단면의 SEM 관찰 결과 코로나 방전처리나 PP-g-MAH 처리한 시료의 경우 PP 섬유 표면에 PU 일부가 남아 있는 사실로부터 상용성이 향상되었음을 확인할 수 있었다. PU 바인더의 반응조건 선정을 위해 등온 실험을 한 결과 MDI:polyol 비 2:1일 때 반응온도 150 °C, 반응시간 60초에서 최적의 발열량과 물성을 나타내었다.

**감사의 글:** 본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 대구·경북·울산 경제협력권산업육성사업의 지원을 받아 수행한 기술개발과제(No. G02A01040006501)와 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20154030200940)에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

1. S. K. Jeoung, P. C. Lee, Y. K. Ko, and J. U. Ha, *Korean Ind. Chem. News*, **16**, 37 (2013).
2. D. H. Jung, *Auto Journal*, **28**, 46 (2006).
3. S. H. Yoon, C. H. Jeong, M. H. Min, and W. J. Seo, *Korean Ind. Chem. News*, **16**, 26 (2013).
4. K. S. Kim, K. M. Bae, S. Y. Oh, M. K. Seo, C. G. Kang, and S. J. Park, *Elast. Compos.*, **47**, 65 (2012).
5. A. K. Mohanty, M. Misra, and G. Hinrichsen, *Macromol. Mater. Eng.*, **276**, 1 (2000).
6. S. E. Yoo and S. K. Jeoung, *Auto J.*, **31**, 35 (2009).
7. E. Bahar, N. Ucar, A. Onen, Y. J. Wang, M. Oksüz, O. Ayaz, M. Ucar, and A. Demir, *J. Appl. Polym. Sci.*, **125**, 2882 (2012).
8. S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and S. Arora, *Composites: Part A*, **35**, 371 (2004).
9. Y. Zhou, V. Rangari, H. Mahfuz, S. Jeelani, and P. K. Mallick, *Mater. Sci. Eng., A*, **402**, 109 (2005).
10. A. Ashori, *Bioresour. Technol.*, **99**, 4661 (2008).
11. K. D. Lee and W. K. Lee, *Auto J.*, **31**, 44 (2009).
12. M. J. John and S. Thomas, *Carbohydr. Polym.*, **71**, 343 (2008).
13. Y. Wang, *Appl. Compos. Mater.*, **6**, 19 (1999).
14. A. Hao, H. Zhao, W. Jiang, L. Yuan, and J. Y. Chen, *J. Polym. Environ.*, **20**, 959 (2012).
15. P. W. Ambua, J. Ivens, and I. Verpoest, *Compos. Sci. Technol.*, **63**, 1259 (2003).
16. A. K. Mohanty, A. Wibowo, M. Misra, and L. T. Drzal, *Composites: Part A*, **35**, 363 (2004).
17. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, and H. M. Zeng, *Compos. Sci. Technol.*, **61**, 1437 (2001).
18. L. H. Estrada, S. Pillay, and U. Vaidya, *8<sup>th</sup> Annual Automotive Composites Conference and Exhibition* (2008).
19. O. M. L. Asumani, R. G. Reid, and R. Paskaramoorthy, *Composites: Part A*, **43**, 1431 (2012).
20. M. J. John, C. Bellman, and R. D. Anandjiwala, *Carbohydr. Polym.*, **82**, 549 (2010).
21. S. M. Batouli, Y. Zhu, M. Nar, and N. A. D'Souza, *J. Clean. Prod.*, **66**, 164 (2014).
22. A. Hao, H. Zhao, and J. Y. Chen, *Composites: Part B*, **54**, 44 (2013).
23. H. Anuar and A. Zuraida, *Composites: Part B*, **42**, 462 (2011).
24. A. R. Sanadi, D. F. Caulfield, R. E. Jacobson, and R. M. Rowell, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**, 1889 (1995).
25. M. S. Meon, M. F. Othman, H. Husain, M. F. Remeli, and M. S. M. Saywal, *Procedia Eng.*, **41**, 1587 (2012).
26. D. J. Carlsson and D. M. Wiles, *Can. J. Chem.*, **48**, 2397 (1970).
27. L. A. O'Hare, S. Leadley, and B. Parbhoo, *Surf. Interf. Anal.*, **33**, 335 (2002).
28. M. Ragoubi, D. Bienaimé, S. Molina, B. George, and A. Merlin, *Ind. Crop. Prod.*, **31**, 244 (2010).
29. H. J. Lee and K. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **9**, 491 (1998).
30. V. Štěpánová, P. Slavíček, M. Stupavská, J. Jurmanová, and M. Černák, *Appl. Surf. Sci.*, **355**, 1037 (2015).
31. M. N. Blegacem, P. Bataille, and S. Sapieha, *J. Appl. Polym. Sci.*, **53**, 379 (1994).