

대전방지 열가소성폴리우레탄 M/B를 이용한 코팅사 제조 조건이 대전방지성에 미치는 영향

The Effect of Manufacturing Conditions of Coated Yarn Using Anti-Static Thermoplastic Polyurethane M/B on Anti-Static Resistance

*Corresponding author

Jongwon Kim

(kjwfiber@ynu.ac.kr)

정예담, 권지은, 권선민, 채시현, 조현제, 김우석¹, 김미경², 김종원*
영남대학교 파이버시스템공학과, ¹폴리시스 주식회사, ²DYETEC연구원

Yedam Jeong, Jieun Kwon, Sunmin Kwon, Seehyeon Chae, Hyunjea Cho,
Wooseok Kim¹, Milyung Kim², and Jongwon Kim*

Department of Fiber System Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

¹Polysys Co., Ltd., Gimhae, Korea

²Korea Dyeing and Finishing Technology Institute(DYETEC), Daegu, Korea

Received_March 15, 2023

Revised_March 23, 2023

Accepted_March 24, 2023

Textile Coloration and Finishing

TCF 35-1/2023-03/20-28

© 2023 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract In this study, TPU resin for coating was prepared by varying the mixing ratio of antistatic TPU and recycled TPU to manufacture permanent antistatic materials. The coated yarn was prepared by coating on the nylon yarn, and then the thermal, rheological, mechanical properties and antistatic properties were analyzed. In addition, antistatic properties and durability were confirmed after manufacturing UD fabrics using coated yarns. The mixing ratio of antistatic TPU and recycled TPU was most appropriate at 4:6, and the antistatic property had a surface resistance of $2.20 \times 10^9 \Omega$ and a static charge of 398 V. In the coating process, the coating speed was most appropriate at 0.21 m/s, and the surface resistance of the UD fabric manufactured with the coated yarn manufactured under this condition was $6.80 \times 10^9 \Omega$ and the static charge was 484 V. The UD fabric had a surface resistance of $7.21 \times 10^9 \Omega$ and a static charge of 517 V after washing 10 times, and it was confirmed that the permanent antistatic property was excellent.

Keywords coated yarn, antistatic, thermoplastic polyurethane, coating weight, recycle

1. 서 론

산업화의 수준이 높아지면서 전 세계적으로 환경오염으로 인한 대기오염 물질에 의한 황사 및 초미세먼지의 심각성이 크게 대두되고 있다. 특히 고층 건물과 도로망 등으로 둘러싸여 대부분의 생활 활동이 실내에서 이루어지는 폐쇄적 도심형 생활 공간에서는 이러한 미세오염 물질들의 영향으로 인간의 건강에 크게 위협이 되고 있다. 이에 일상생활에서 외부 유해환경에

대응하여 인체를 보호하기 위한 기능성 섬유제품의 필요성에 대한 인식이 부각되고 있다¹⁾.

일반 의류에 많이 사용되는 합성섬유 원사는 공기 중 수분 흡수력이 거의 없고 전기저항이 높아 발생된 정전기를 흘려버리지 못하고 축적하는 성질이 있어 정전기를 일으키고, 또한 공기 중의 먼지나 이물질들을 끌어당기고 흡착하여 표면오염의 원인이 된다. 이러한 원사 표면에 정전기가 축적되는 것을 방지하기 위하여 다양한 대전방지 소재를 원사 내외부에 부여하는 방법이 연구되고 있다²⁾.

먼저 원사에 계면활성제를 혼입하는 방법은 지속성이 낮고 불안정하며, 흡습성이 높아 표면 오염을 일으킨다는 한계가 있다³⁻⁵⁾. 또한 도전성 필러인 카본블랙, 탄소섬유, 금속입자 또는 대전방지용 고분자를 원사 내에 혼입하는 방법은 비용이 많이 들고, 공정 이후 색상구현이 어려우며, 분진 및 오염을 발생시킬 수 있기 때문에 제품 적용에 적합하지 않다^{6,7)}.

공중합체 대전방지제의 경우는 코팅용 수지에 분산 고정화되어 대전방지 효과를 발휘하며, 다른 대전방지제에 비하여 적은 첨가량에도 높은 대전방지 효과를 가질 수 있고, 물 세척을 하여도 효과를 상실하지 않는 대전방지성을 가진다는 장점이 있다^{8,9)}. 그 중 Inherently dissipative polymers(IDP) 대전방지제의 경우 일반적으로 Polyethylene oxide를 기반으로 하는 공중합체로서, 수지에 혼합되면 수지 내부에 네트워크 형성이 잘 이루어져 대전방지 효과가 탁월하다. 따라서 IDP 대전방지제를 고분자형 공중합체로 첨가하여 대전방지 효과를 향상시킬 수 있다.

열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic polyurethane, TPU)는 우수한 기계적 특성, 내마모성 및 내화학성을 가진다. 이러한 특징으로 자동차, 전자기기, 신발 등의 다양한 분야에 이용되고 있다. 또한 피부에 닿을 때 끈적거림이 없어 의류용으로도 많이 사용되며, 친환경 및 자원순환형 소재이므로 환경적인 문제를 완화할 수 있는 재생가능 소재이다^{10,11)}.

따라서 본 연구에서는 고분자형 공중합체 IDP-TPU master batch(M/B)와 친환경성과 경제성을 고려하여 리사이클 TPU를 혼합하여 코팅수지를 제조하고, 이를 Nylon 원사에 코팅한 후, 그 유변학적 특성과 기계적 특성을 분석하였다. 또한 제조된 Nylon 코팅사의 대전방지성을 확인하기 위하여 표면저항 및 마찰대전압을 분석하였다.

2. 실험

2.1 재료

코팅 수지로는 폴리스(주)사에서 제공받은 AP-18Y 대전방지 IDP-TPU M/B와 BASF사의 Elastollan 500 리사이클 TPU 제품을 사용하였다. 대전방지 IDP-TPU M/B와 리사이클 TPU의 Beginning temp와 용융흐름지수(melting flow index, MFI)를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Specifications of TPU

	Model	Beginning temp (°C)	MFI (g/10min)
Anti-Static TPU	AP-18Y	149.3	23.7
Recycle TPU	Elastollan 500	145.4	26.5

코팅 공정에 사용된 코어사는 Nylon이며, 섬도는 30 denier (34 filament), 인장강도는 4.29 gf/de인 LIBOLON社의 F301-37Z 제품을 사용하였다.

2.2 시편제조방법

코팅용 TPU 수지를 제조하기 위하여 대전방지 TPU와 리사이클 TPU를 혼합하였다. 대전방지 TPU와 리사이클 TPU를 각각 2:8, 3:7, 4:6, 5:5 혼합비로 실온에서 3분 동안 120 rpm의 속도로 1차 혼합하였다. 2차 혼합은 Oil bath에서 200 °C, 80 rpm 상태로 5분 동안 진행하였다. 혼합된 TPU 수지의 표면저항 및 마찰대전압을 측정하기 위하여 이형지 위에 100 μm 두께로 필름을 제조하여 사용하였다.

Figure 1은 사코팅 공정의 모식도이다. 코팅 공정 조건으로는 도포량에 따른 물성을 측정하기 위해서 코팅 속도를 0.13, 0.17, 0.21, 0.25, 0.29 m/s로 하였다. 코팅 구금의 크기는 코어사인 Nylon 원사가 멀티필라멘트인 것을 고려하여 0.2 mm로 하였다. 코팅 온도는 Nylon 원사의 용융점인 260 °C보다 낮고, TPU의 분해온도보다 낮은 220 °C로 하였다.

나일론 코팅사의 표면저항 및 마찰대전압을 측정하기 위하여 uni-directional(UD) 직물로 제조하였다.

2.3 측정 및 분석

코팅용 TPU 수지의 열적 특성을 분석하기 위하여 열중량분석기(TGA Q600, TA Instruments, USA)와 시차주사열량계(DSC Q200, TA Instruments, USA)를 활용하여 분해온도와 용점을 측정하였다. 또한 코팅 온도가 수지의 점도 변화에 영향을 미치는 것을 고려하여, 수지의 유변학적 특성을 측정하기 위하여 점도측정기(Rheometer, Anton Paar, Korea)을 활용하여 온도 및 전단 속도에 따른 점도를 측정하였다.

TPU 수지의 혼합비에 따른 대전방지성을 측정하기 위하여, 표면저항 측정기(Tera-ohm 5kV, Metrel, Slovenia)와 마찰대전압 측정기(EST-7, Ganebo, Japan)를 사용하여 표면저항 및 마찰대전압을 측정하였다.

코팅 속도에 따른 나일론 코팅사의 물성을 분석하기 위하여 도포량과 섬도를 측정하고, 만능재료시험기(Universal Testing Machine, OTT-05, Korea)를 사용하여 인장강도를 측정하였다. 코팅사의 도포량은 식(1)에 의해 계산하였다. 인장강도는 ASTM D 2256에 의거하여 섬도(Denier)에 따른 Load(gf) 값을 측정하였다.

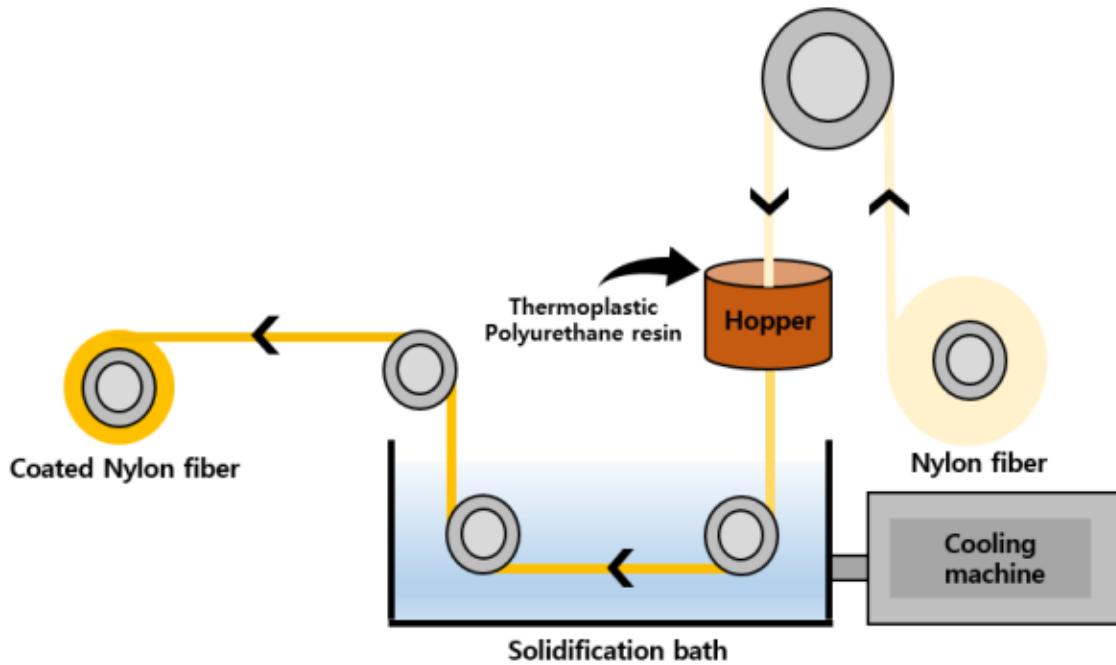


Figure 1. Schematic of yarn coating processing.

$$Coating\ weight(\%) = \frac{Denier(Coated\ yarn) - Denier(Core\ yarn)}{Denier(Core\ yarn)} \times 100 \quad (1)$$

나일론 코팅사의 코팅 상태를 확인하기 위하여 SEM(Scanning Electron Microscope, HITACHI, Japan)을 이용하여 단면과 측면을 관찰하였다.

대전방지 TPU 코팅사로 제조한 UD직물의 대전방지성을 분석하기 위하여 표면저항과 마찰대전압을 측정하였다. 또한 제조된 직물의 대전방지 내구성을 확인하기 위하여 5회, 10회 세탁 후 표면저항과 마찰대전압을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 물성 분석

3.1.1 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 열적 특성 분석

Figure 2(a)는 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 TGA 그래프를 나타낸 것이다. 가장 높은 분해온도를 보인 것은 대전방지 TPU로 약 270 °C에서 분해가 시작되었다.

반면, 리사이클 TPU는 가장 낮은 온도인 약 230 °C에서 분해가 시작되는 것을 확인할 수 있었다. 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 분해온도는 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 5:5 혼합비는 245 °C, 4:6 혼합비는 237 °C, 3:7 혼합비는 235 °C, 2:8 혼합비는 227 °C로, 리사이클 TPU의 함량이 높아짐에 따라 분해온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 리사이클 TPU의 분해온도가 가장 낮은 것은 일반적으로 리사이클 과정에서 지속적인 열을 받으면 분자 사슬이 절단되어 분자량이 낮아졌기 때문이라 판단된다.

Figure 2(b)는 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 DSC 그래프를 나타낸다. TGA 분석 결과 분해온도가 가장 낮은 리사이클 TPU의 분해온도가 230 °C 이상임을 고려하여 DSC 분석 온도는 30 °C ~ 230 °C에서 진행하였다. DSC 측정 결과 대전방지 TPU가 187 °C로 가장 높은 온도에서 흡열 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

리사이클 TPU의 경우 161 °C에서 흡열 피크가 확인되었으며, 혼합비에 따른 TPU 수지의 용점이 161 °C ~ 187 °C 사이에 나타남을 확인하였다. 리사이클 TPU의 혼합비가 높아질수록 흡열 피크가 나타나는 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이 또한 TGA 결과와 마찬가지로 리사이클 TPU의 분자량이 낮기 때문이라 판단된다.

3.1.2 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 유연학적 특성 분석

대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 유연학적 특성을 분석하기 위하여, 온도에 따른 점도를 Figure 3(a)에

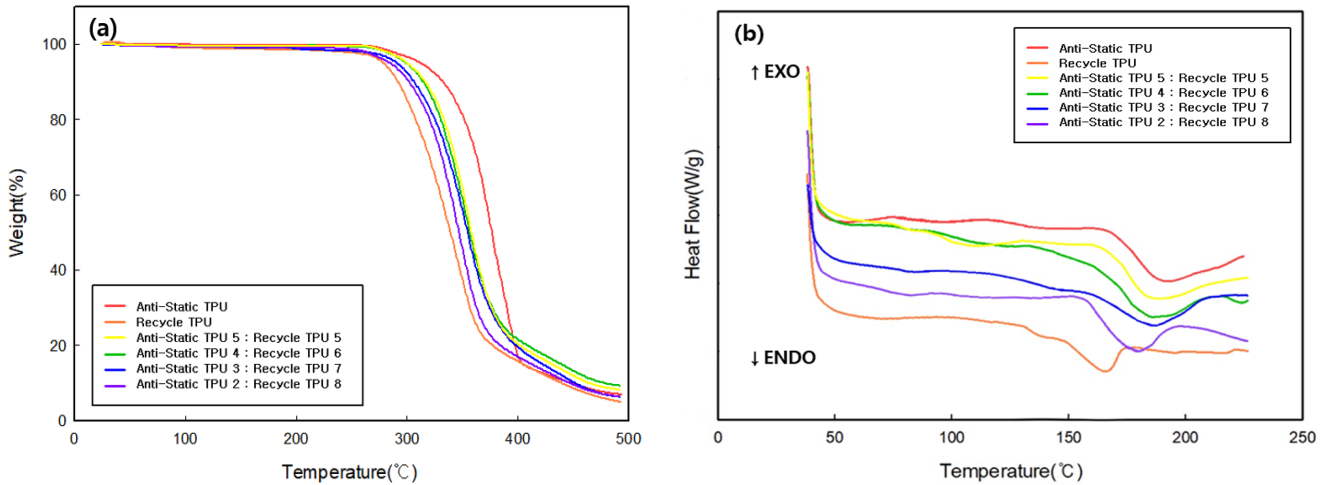


Figure 2. (a) TGA thermogram with several different samples of TPU mixing ratio and (b) DSC thermogram with several different samples of TPU mixing ratio.

나타내었다. 모든 TPU 수지의 점도는 온도가 상승함에 따라 감소하였다. 대전방지 TPU가 가장 높은 점도를 나타냈으며, 리사이클 TPU가 가장 낮은 점도를 나타내는 것을 확인하였다. 리사이클 TPU의 함량이 높아질수록 점도가 낮아지는 것을 확인하였다.

Figure 3(b)는 혼합비에 따른 TPU 수지의 전단 속도에 따른 점도를 나타내었다. 코팅 속도가 수지의 점도 변화에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 전단 속도에 따른 점도를 측정하였다. 모든 TPU 수지는 전단 속도가 증가할수록 점도가 감소하는 의

가소성 유체의 특성을 보이는 것을 확인하였다. 대전방지 TPU의 경우 전단 속도에 따른 점도 변화가 가장 크며, 리사이클 TPU의 비율이 증가할수록 전단 속도에 따른 전단 점도가 낮아지는 것을 확인하였다. 동일한 온도에서 리사이클 TPU의 함량이 증가할수록 점도가 낮아지기 때문에, 전단속도에 따른 점도 역시 리사이클 TPU의 함량이 높을수록 점도가 낮은 것으로 판단된다.

따라서 코팅 속도의 변화가 TPU 수지의 점도에 영향을 주어 도포량이 변화될 것으로 판단된다.

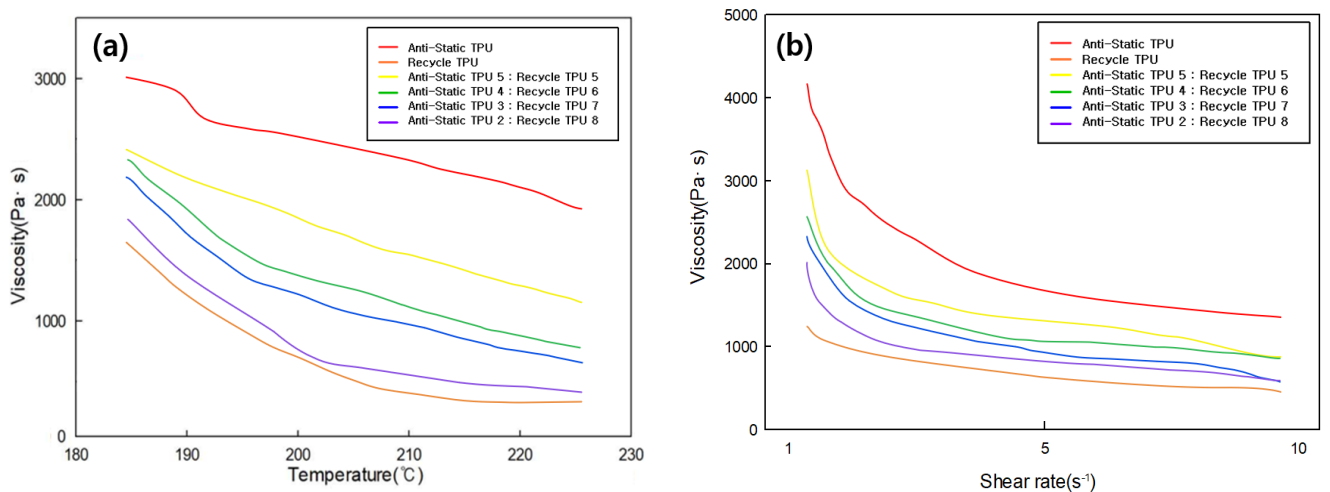


Figure 3. (a) Viscosity according to the mixing ratio of thermoplastic polyurethane resin with temperature and (b) Viscosity according to the mixing ratio of thermoplastic polyurethane resin with shear rate.

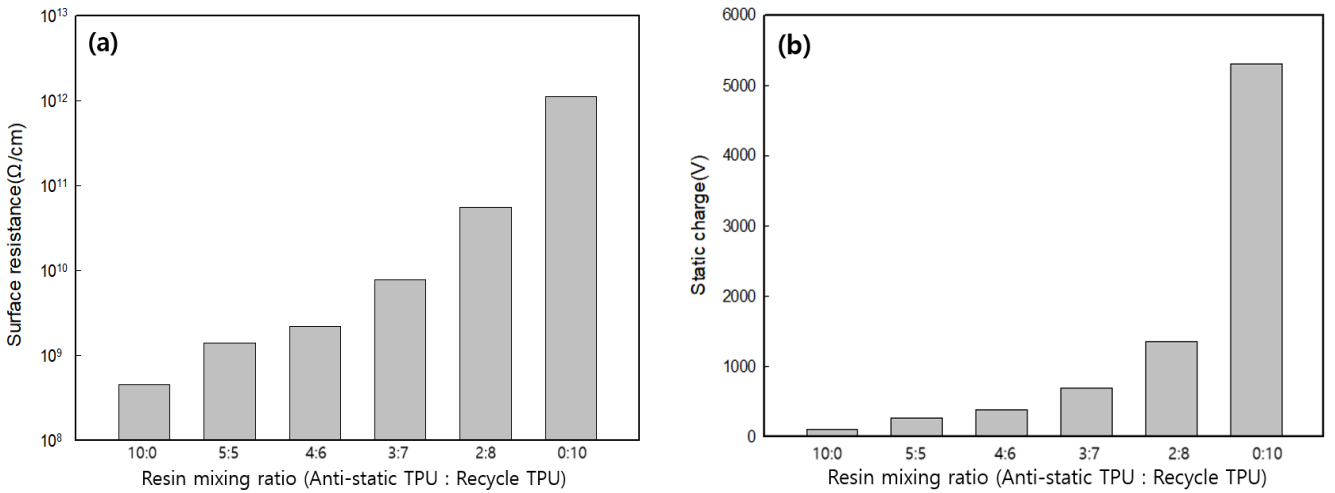


Figure 4. (a) Effect of TPU mixing ratio on the surface resistance and (b) Effect of TPU mixing ratio on the static charge.

3.1.3 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 대전방지성 분석

Figure 4(a)는 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 대전방지성 확인을 위한 표면저항 그래프이다. 대전방지 TPU는 6.40×10^8 Ω으로 가장 낮은 표면저항 값을 보였으며, 리사이클 TPU는 1.13×10^{12} Ω으로 가장 높은 표면저항 값을 보였다. 혼합비에 따른 코팅용 TPU 수지의 표면저항은 그 사이의 값을 보였으며, 리사이클 TPU의 혼합비가 증가함에 따라 표면저항 값이 증가하여 대전방지성이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 리사이클 TPU는 대전방지 TPU보다 대전방지성

이 낮기 때문이라 판단된다.

대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 마찰대전압을 분석한 결과를 Figure 5(b)에 나타내었다. 대전방지 TPU는 98 V로 가장 낮은 마찰대전압이 측정되었으며, 리사이클 TPU는 5,310 V로 가장 높은 마찰대전압이 측정되었다. 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 마찰대전압은 그 사이의 값으로 측정되었으며, 리사이클 TPU의 함량이 증가함에 따라 마찰대전압이 증가하여 대전방지성이 감소하는 것을 확인하였다.

TPU 수지의 혼합비에 따른 대전방지성을 분석해본 결과, 일반적으로 표면저항이 10¹⁰ Ω 이하, 마찰대전압이 500 V 이하인 경우 대전방지성이 있는 것으로 판단하기에, 대전방지 TPU

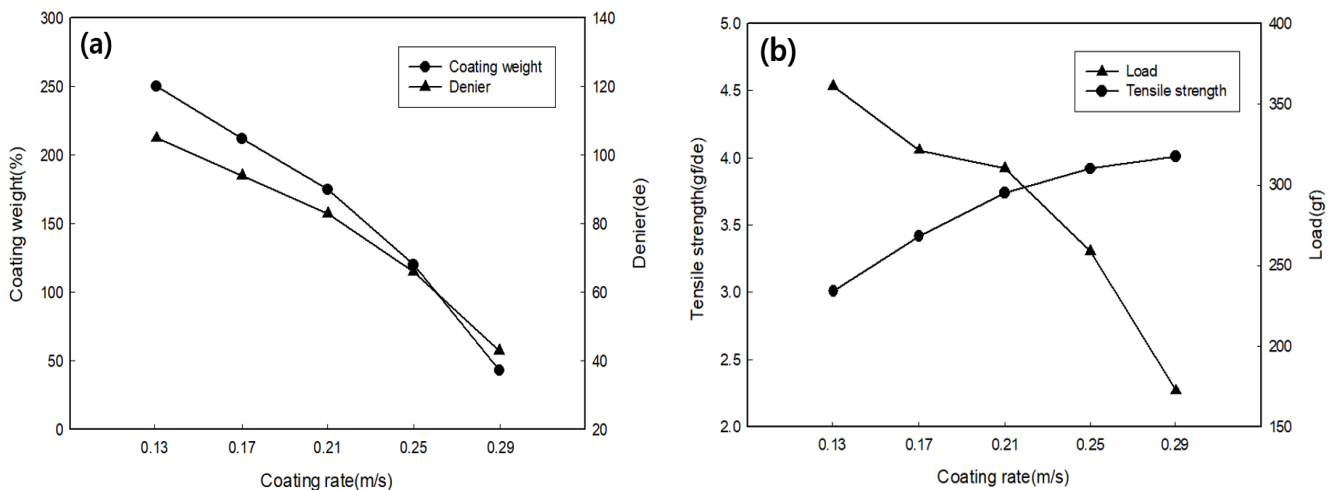


Figure 5. (a) Coating weight and denier and (b) Tensile strength and load of specimen coating speed.

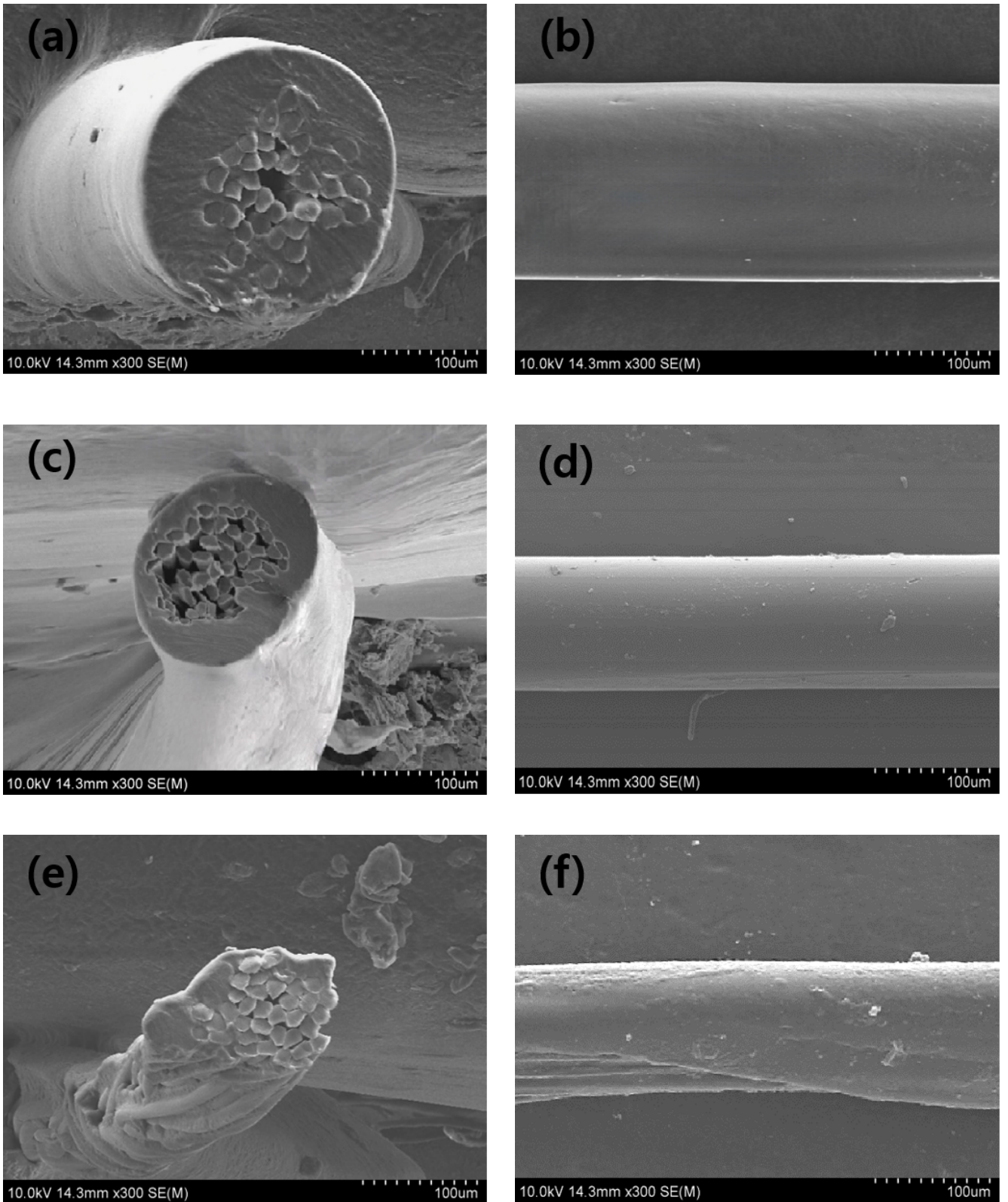


Figure 6. (a) Cross section of 0.13 m/s coating rate sample and (b) Side of 0.13 m/s coating rate sample and (c) Cross section of 0.21 m/s coating rate sample and (d) Side of 0.21 m/s coating rate sample and (e) Cross section of 0.29 m/s coating rate sample and (f) Side of 0.29 m/s coating rate sample.

와 리사이클 TPU의 혼합비가 5:5와 4:6인 시편이 대전방지성이 좋은 것으로 판단하여, 경제적인 측면을 고려하여 혼합비를 4:6으로 선정하여 추후 실험을 진행하였다.

3.2 TPU 수지의 코팅 속도가 코팅사의 물성에 미치는 영향

3.2.1 TPU 수지의 코팅속도에 따른 기계적 특성 분석

대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비가 4:6인 수지를 이용하여 코팅 공정을 진행하였다. Figure 5(a)는 코팅 속도에 따른 도포량과 섬도를 나타낸 것이다. 코팅 속도가 0.13 m/s에서 0.29 m/s로 증가될 때 도포량은 250 %에서 43 %로 감소하였으며, 섬도는 105 denier에서 43 denier로 감소하였다. 이는 Figure 3(b)에서 확인한 것과 같이, 코팅 속도가 증가함에 따라 코팅 수지의 점도가 감소하여 원사의 표면에 코팅되는 TPU 수지의 양이 감소하였기 때문으로 판단된다.

Figure 5(b)는 코팅 속도에 따른 하중 및 인장강도를 측정하는 것이다. Nylon 원사의 인장강도는 4.29 gf/de였으나, 원사가 코팅됨에 따라 인장강도는 감소한 것을 확인하였다. 원사에 비하여 인장강도가 감소한 이유는 코팅 수지가 도포됨에 따라 코팅사의 단면적이 증가하여 코팅사가 받는 절단 하중 값은 증가하지만, 절단 하중을 섬도로 나눈 인장강도는 감소한 것으로 판단된다. 또한 코팅 속도가 증가함에 따라 코팅사의 인장강도는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 코팅 속도가 증가할수록 인장강도가 높은 원사보다 상대적으로 낮은 수지의 양이 적어졌기 때문이라 판단된다.

3.2.2 TPU 수지의 코팅 속도에 따른 코팅사의 단면, 측면 분석

코팅 속도에 따라 제조된 코팅사의 단면 및 측면을 SEM으로

관찰한 결과를 Figure 6에 나타내었다. Figure 6 (a), (b)는 코팅 속도 0.13 m/s로 코팅한 코팅사 시편의 단면과 측면을 나타낸 것이다. 원사를 중심으로 TPU 수지가 균일하게 도포되었으며, 제조된 시편들 중 가장 도포량이 많고 섬도가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 낮은 코팅 속도로 인해 코팅 수지의 전단 점도가 높아 도포량이 많아졌기 때문으로 판단된다.

Figure 6 (c), (d)는 코팅 속도 0.21 m/s로 코팅한 시편의 단면과 측면을 나타낸 것이다. 코팅 속도 0.13 m/s로 코팅한 시편과 비슷하게 균일한 코팅이 이루어져있으나, 코팅 속도의 증가로 도포량이 감소하여 코팅사의 섬도가 감소한 것으로 판단된다.

Figure 6 (e), (f)는 코팅 속도 0.29 m/s로 코팅한 시편의 단면과 측면을 나타낸 것이다. TPU 수지가 원사를 중심으로 균일하게 코팅되지 않은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 코팅 속도가 너무 빨라서 TPU 수지의 전단 점도가 감소하여 균일한 코팅이 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

3.3 코팅사 UD직물의 대전방지성 측정

Figure 7(a)는 코팅 속도에 따라 제조된 코팅사로 제조한 UD직물의 표면저항을 측정하는 것이다. 코팅 속도가 0.13 m/s에서 0.25 m/s로 증가될 때 표면저항이 조금씩 증가하다가 0.29 m/s가 될 때 급격히 증가하는 것을 확인하였다. 이는 코팅 속도가 증가함에 따라 도포량이 감소하여 대전방지성이 감소하였으며, 코팅 속도 0.29 m/s에서는 수지가 균일하게 도포되지 않았기 때문에 표면저항이 크게 증가한 것으로 판단된다.

Figure 7(b)는 코팅 속도에 따른 코팅사로 제조한 UD직물의 마찰대전압을 나타내었다. 코팅 속도가 0.13 m/s에서 0.21 m/s로 증가할 때 마찰대전압이 조금씩 증가하다가 0.29 m/s로 증가할 때 마찰대전압이 크게 증가하는 것을 확인하였다. 이는 표면저항과 마찬가지로 코팅 속도가 증가함에 따라 도포량이

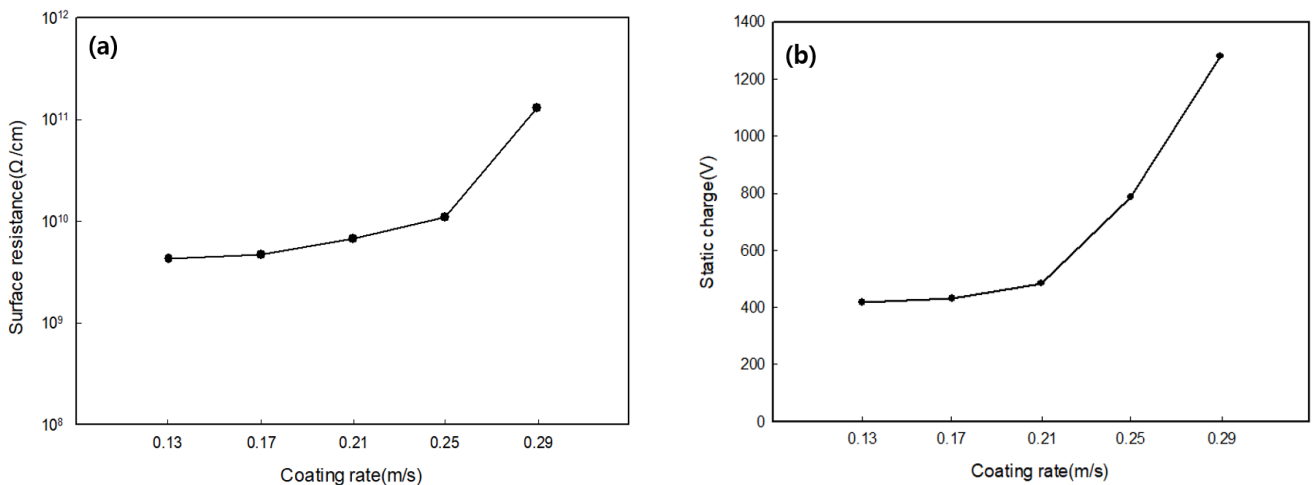


Figure 7. (a) Surface resistance of specimen according to coating rate and (b) Static charge of specimen according to coating rate.

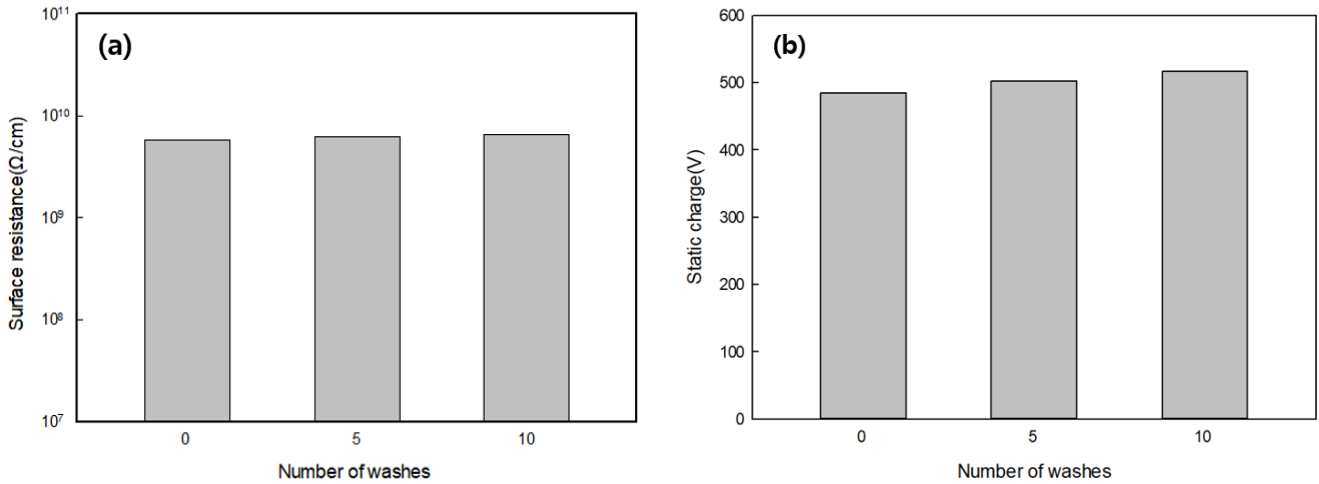


Figure 8. (a) Surface resistance of 0.21 m/s coating rate for number of washes and (b) Static charge of 0.21 m/s coating rate for number of washes.

감소하기 때문에 마찰대전압이 증가하는 것으로 판단된다.

일반적으로 표면저항이 10¹⁰ Ω 이하, 마찰대전압이 500 V 이하일 때 대전방지성이 좋은 것으로 판단하기에, 앞선 실험을 통해 코팅 속도에 따른 코팅사 UD직물의 대전방지성을 측정된 결과, 도포량 대비 대전방지성이 가장 좋은 시편은 속도 0.21 m/s로 코팅되어 표면저항이 6.80 × 10⁹ Ω, 마찰대전압이 484 V인 도포량 175 %인 시편이라 판단된다.

앞선 실험에서 도출된 코팅 속도 0.21 m/s 조건으로 제조한 코팅사 UD직물의 세탁 횟수에 따른 대전방지성을 Figure 8에 나타내었다.

Figure 8(a)은 코팅사 UD직물의 세탁 횟수에 따른 표면저항을 나타낸 것이다. 세탁 전 직물의 표면저항은 6.80 × 10⁹ Ω이며 5회 세탁 후에는 7.03 × 10⁹ Ω, 10회 세탁 후에는 7.21 × 10⁹ Ω로 세탁 전에 비하여 약 6 % 정도 증가한 것을 확인하였다.

Figure 8(b)는 코팅사로 제조한 직물의 세탁 횟수에 따른 마찰대전압을 나타낸 것이다. 세탁 전의 마찰대전압은 484 V이며 5회, 10회 세탁 후에는 502 V, 517 V로 약 7 % 정도 증가한 것을 확인하였다. 이는 대전방지 TPU 수지로 원사에 코팅하여 제조한 UD직물이 도포량 대비 높은 대전방지성을 나타내며, 세탁에 의해서도 효과가 크게 저하되지 않는 대전방지성을 가진다는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 대전방지 소재를 제조하기 위하여 대전방지 TPU와 리사이클 TPU를 혼합한 수지를 Nylon 원사에 코팅하

여 대전방지 코팅사를 제조하고, 이를 이용하여 UD직물을 제조하여 그 특성을 분석하였다.

코팅에 적합한 코팅 수지의 혼합비는 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 혼합비에 따른 열적 특성, 유연학적 특성 및 대전방지성을 분석해본 결과, 대전방지 TPU와 리사이클 TPU의 4:6 혼합비가 가장 적절하다고 판단하였다. 코팅사 제조의 코팅 속도가 증가됨에 따라 도포량 및 섬도는 감소하였으며, 인장강도는 증가하는 것을 확인하였다. 코팅 속도가 증가됨에 따라 도포량이 감소하였으며, 이는 표면저항과 마찰대전압을 증가시키는 결과를 보였다. 도포량 대비 대전방지성이 가장 좋은 조건은 코팅 속도 0.21 m/s였으며, 도포량은 175 %였다. 이때 표면저항은 6.80 × 10⁹ Ω, 마찰대전압이 484 V로 우수한 대전방지성을 보였다. 이 시편은 10회 세탁 후에도 표면저항 7.21 × 10⁹ Ω, 마찰대전압 517 V로 대전방지성이 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구입니다[S3239455].

References

1. L. Wang, M. Liu, Y. Wu, and H. Zheng, Progress in Studies of Surface Nanotextures and Coatings with

- Nanomaterials on Glass for Anti-Dust Functionality, *Nanomaterials*, **12**(20), 3677(2022).
2. C. W. Kan and C. W. M. Yuen, Static Properties and Moisture Content Properties of Polyester Fabrics Modified by Plasma Treatment and Chemical Finishing, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **266**(1), 127(2008).
 3. S. Jarupaiboon, K. Rungsardthong, I. Sramala, W. Kanganw supamonkon, S. Puttipipatkachorn, and U. Ruktanonchai, Improved Anti-dust Mite Properties of Textiles by Eugenol Loaded Chitosan Nanoparticles, 2007 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, Bangkok, Thailand, p.1016, 2007.
 4. S. Kutanis, M. Karakışla, U. Akbulut, and M. Sacak, The Conductive Polyaniline/poly(ethylene terephthalate) Composite Fabrics, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **38**(2), 609(2007).
 5. S. Varnaitė, A. Vitkauskas, A. Abraitienė, V. Rubežienė, and V. Valienė, The Features of Electric Charge Decay in the Polyester Fabric Containing Metal Fibres, *Materials Science (Medžiagotyra)*, **14**(2), 157(2008).
 6. J. Lv, X. Kong, C. Zhu, J. Zhang, and J. Feng, Robust, Infrared-reflective, Superhydrophobic and Breathable Coatings on Polyester Fabrics, *Progress in Organic Coatings*, **147**, 105786(2020).
 7. M. Dong, Q. Li, H. Liu, C. Liu, E. K. Wujcik, Q. Shao, and Z. Guo, Thermoplastic Polyurethane-carbon Black Nanocomposite Coating: Fabrication and Solid Particle Erosion Resistance, *Polymer*, **158**, 381(2018).
 8. T. Viheriäköski, E. Kärjä, J. Hillberg, and P. Tamminen, Charge Relaxation of Slowly Dissipative Polymers, In 2016 38th Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium (EOS/ESD), IEEE, Garden Grove, CA, USA, p.1, 2016.
 9. S. Chen, B. Zhou, M. Ma, Y. Shi, and X. Wang, Permanently Antistatic and High Transparent PMMA Terpolymer, Compatilizer, Antistatic Agent, and the Antistatic Mechanism, *Polymers for Advanced Technologies*, **29**(6), 1788(2018).
 10. A. Moiz, R. Padhye, and X. Wang, Coating of TPU-PDMS -TMS on Polycotton Fabrics for Versatile Protection, *Polymers*, **9**(12), 660(2017).
 11. L. Nuez, P. B. Jacquot, R. Léger, P. Jenny, and D. Perrin, Improved Tear Resistance by Low Environmental Impact Coupling of Plasma Reactive and Additive Treatment of a TPU/PET Coated Fabric, *Journal of Industrial Textiles*, **51**(3), 4842S(2022).

Authors

- 정예담** 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
권지은 영남대학교 파이버시스템공학과 석사
권선민 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
채시현 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
조현제 영남대학교 파이버시스템공학과 학·석사과정 학생
김우석 폴리시스 주식회사 대표이사
김미경 DYETEC연구원 책임연구원
김종원 영남대학교 파이버시스템공학과 교수