

# PET 필름과 전도성 페이스트의 접착성에 미치는 PET 필름 처리 영향

홍영서 · 김연철<sup>†</sup>

공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공  
(2024년 4월 5일 접수, 2024년 4월 24일 수정, 2024년 4월 29일 채택)

## Effect of PET Film Treatment on Adhesive Properties Between PET Film and Conductive Paste

Yeong Seo Hong and Youn Cheol Kim<sup>†</sup>

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea  
(Received April 5, 2024; Revised April 24, 2024; Accepted April 29, 2024)

### 초 록

전도성 페이스트와 PET 필름 사이의 접착특성 개선을 위해 PET 필름을 산과 염기를 이용하여 화학 처리와 코로나 방전처리를 통한 물리적 처리를 진행하였다. 실제 산업적 제조에 적용되는 에틸셀룰로오스와 실란 처리 셀룰로오스 나노섬유(cellulose nano fiber, CNF)를 바인더로 적용한 페이스트를 제조하고 PET 필름에 코팅하여 접착특성을 비교하였다. 코로나 방전 처리된 PET 필름에 실란 처리 CNF가 바인더로 적용된 페이스트가 코팅된 시편에서 접착특성이 최고 수준인 5B를 나타내었다. 반면, PET 필름을 산/염기로 화학처리한 경우 접착특성 개선 효과가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

### Abstract

To improve the adhesion properties between the conductive paste and PET film, the PET film was chemically treated using acids and bases and physically treated through corona discharge. A paste using ethylcellulose, which is used in actual industrial manufacturing and silane-treated CNF, as a binder was manufactured and coated on PET film to compare the adhesive properties. The specimen coated with a paste containing silane-treated CNF as a binder on a corona discharge-treated PET film showed the highest level of adhesion, 5B. On the other hand, it was confirmed that when PET film was chemically treated with acid/base, there was no improvement in adhesive properties.

**Keywords:** Adhesive property, PET film, Conductive paste, Cross cut, Binder

## 1. 서 론

화학 관련 산업의 생산방식과 복잡한 공정으로 유독한 유해화학물질을 대량으로 취급하고 있어 화재, 폭발 등과 같은 대형 사고의 발생 가능성이 높아지고 있으며 화학사고는 설비의 노후화, 기계적 결함 등에 의한 유해 물질 유출로 인해 매년 상당수 발생하고 있다. 또한, 화학 물질 보관 탱크, 이송 배관 등에서 유독성 물질 유출 사고가 빈번히 발생하고 있어 산업체의 유해화학물질 탱크 및 배관 등에서의 액상 유출을 검출할 수 있는 센서의 요구가 증대하고 있으며, 여러 형태의 유해화학물질 센서가 사용되고 있다[1-2].

화학 물질 센서는 전도성을 나타내는 페이스트(paste)를 기재 필름에 코팅하여 만드는 방식이 일반적이다. 전도성 소재와 반응성 물질

로 이루어진 센서 물질 층에 화학 물질이 흡착되면, 전도도(저항값)의 변화가 발생하고, 이를 전기적인 신호로 바꾸어 감지하는 원리로 작동한다[3-4]. 센서를 구성하는 소재 중 전도성 물질은 필름에 균일한 코팅이 중요하기 때문에 탄소 필러만으로는 어려워 바인더 등이 추가로 사용되는데, 이 때 센서 내구성을 위해 바인더의 선정에 기재 필름과 전도성 페이스트의 접착성을 고려해야 한다. 유해화학물질 센서의 기재 필름으로 사용하는 소재 중 하나가 폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET) 필름이며, PET 필름 위에 전도성 페이스트를 코팅하여 센서를 제조한다. 바인더로 폴리비닐알콜, 에틸셀룰로오스 또는 Na-CMC (sodium, carboxymethyl cellulose) 등을 적용하는 연구가 진행되어 왔다[5-9]. 이들 중 에틸셀룰로오스를 바인더로 적용한 전도성 페이스트/PET 필름을 상용화하여 현장에 적용했을 때 기능적인 부분에서는 큰 문제가 발생하지 않았으나, 고온 다습의 유해화학물질환경에서 장시간 사용 시 PET 필름에서 전도성 페이스트 부분이 탈리되는 현상이 발생하는 것으로 조사되었으며 이에 대한 개선이 필요한 것으로 확인되었다[10]. 본 연구실에서는 이에 대한 해결을 위해 친환경 소재로 산업적 응용에 대한 연구 및 활용이 증가하고

<sup>†</sup> 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

있는 셀룰로오스 나노 섬유(cellulose nano fiber, CNF)에 실란계 물질(3-aminopropyl triethoxysilane)을 처리한 후 바인더로 사용하는 연구를 수행하였으며, 에틸셀룰로오스 대비 코팅 소재의 접착성을 나타내는 cross-cut method B에 의한 등급이 1 등급 이상 개선됨을 확인하였다[11].

전도성 페이스트의 접착성을 개선할 수 있는 또 다른 방법은 사용하는 고분자 필름 기재의 표면을 처리하는 것이다[12-13]. 접착성 개선을 위한 필름 표면 개질 기술에는 코로나 처리, 화염 처리, 화학적 처리, 플라즈마 처리, 그래프팅, 프라이머 등이 있는데 이 중 생산공정의 용이성 등을 고려했을 때 화학적 처리와 코로나 처리가 가장 유리할 것으로 판단되어 본 연구에서는 이 두 가지 방법을 진행하고자 하였다. 코로나 처리는 인쇄성 개선 등의 목적으로 필름 산업계에서 널리 사용되고 있다. 코로나 방전은 표면을 균일하고 균질하게 변형시키는 일련의 미세 방전으로 플라즈마를 생성하는데, 이러한 처리는 필름의 기계적 특성에 부정적인 영향을 미치지 않으면서도 얇은 표면층만을 효과적으로 산화시키고 오존층 및 과산화물과 같은 극성 산화 생성물을 필름 표면에 형성할 수 있다. 본 연구실에서는 코로나 방전 처리에 대한 연구를 일부 수행하였으며 접착성이 개선됨을 확인하였다[14]. 다음으로 화학적 처리에 있어서 PET는 구조가 치밀하지만 수산화나트륨과 같은 염기성 물질을 처리하면 기질 표면에서 가수분해가 순차적으로 진행되어 표면의 요철이 증가하여 전도성 페이스트와의 접착특성을 개선시키는 것으로 타 연구에서 확인되었다[15]. 본 연구에서도 PET 필름에 대한 염기성 물질과 산성 물질 처리가 접착특성에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

본 연구에서는 최근의 연구결과인 실란처리 CNF와 비교군으로 기존에 사용하는 에틸셀룰로오스를 전도성 페이스트 제조 시 바인더로 각각 사용한 시료에 대해, 코로나 방전처리와 산-염기의 화학적 처리가 전도성 페이스트와 PET 필름의 접착 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료

전도성 페이스트에 혼합되는 카본블랙(carbon black, CB)은 Alfa Aesar사의 carbon black, acetylene, 50% compressed, 99.9% (S.A. 75 m/g, Bulk density 80~120 g/L)를 사용하였고, 그래핀나노플레이트(GNP: Graphene nano plate)는 중국 A Co. 제품(90+ wt%, Particle size 2~16  $\mu\text{m}$ , Density 0.6 g/cm<sup>3</sup> Electrical resistance > 0.15  $\Omega \cdot \text{cm}$ )을 사용하였으며, 전도성 고분자는 Sigma-Aldrich 사의 폴리아닐린을 이용하였다. 바인더로 사용된 실란처리 CNF는 CNNT (Korea) 사의 1 wt% CNF 슬러리를 Sigma-Aldrich 사의 (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APS)을 용매인 Samchun사의 Ethyl alcohol (99.5%)에 혼합하여 제조하였다[11]. 필름 표면처리 시 Sulfuric acid (95%)은 Junsei 사, Sodium hydroxide (pellets 98%)는 Sigma-Aldrich 사의 제품을 사용하였으며, PET 필름(PET 99.5%, Silica 0.5%)은 SKC 사의 제품을 사용하였다. 바인더 비교를 위한 에틸 셀룰로오스(ethyl cellulose)는 Pharma Solutions사의 ETHOCEL (점도 4 cP, 비중 1.1, 5 wt% in 톨루엔/에탄올, 48% ethyl)을 사용하였다. 2차 바인더로는 Samyoung Ink사의 CAT-10 (폴리이소시아네이트계, 75  $\pm$  2%, 경화제)과 TM-585-60K-S (폴리에스테르, 고형분 60  $\pm$  2%, 주제) 제품을 사용하였고, 함량은 10 wt%로 고정하였다.

### 2.2. PET 필름 처리

코로나 방전 장치(3DT 사의 MultiDyne™)를 이용하여 기구와 PET 필름의 간격을 2 cm로 유지한 채 10, 20, 30, 40, 50 mm/s의 처리 속도로 50 Hz, 2  $\times$  12 kV 조건에서 코로나 방전 처리를 진행하였다. 산은 황산, 염기는 수산화나트륨을 사용하였고, 부피 플라스크를 이용해 각각 10 wt% 수용액으로 제조하였다. 농도별로 진행된 사전 연구에서 필름의 형태에 큰 영향을 주지 않으면서 처리효과가 나타나는 농도가 10 wt%로 확인되어 농도를 고정하여 실험을 진행하였다. 처리 방법은 먼저 아세톤과 증류수로 세척한 PET 필름을 60  $^{\circ}\text{C}$  대류 오븐에서 24 h 동안 건조한 뒤, 처리 온도와 시간을 변경하여 처리하고 처리가 끝나면 필름을 수용액에서 꺼내 증류수에 30 min 세척 후 아세톤으로 세척하고 80  $^{\circ}\text{C}$  대류 오븐에서 48 h 건조하였다.

### 2.3. 전도성 페이스트 제조 및 PET 코팅

에틸셀룰로오스 27 mL와 2-ethoxyethanol 68 mL 혼합용액(기존 바인더)와 클로로포름 100 mL에 실란처리 CNF 2.5 wt%와 분산제인 Span 60®을 1:1로 첨가해 12 h 이상 교반, 분산시킨 용액 32 mL와 클로로포름 102 mL에 전도성 필러인 CB 2 g, GNP 5 g, PANI 5 g를 믹서로 7000 rpm, 1 h 이상 혼합한다. 혼합한 용액과 비드 140 g을 함께 넣고 Coloriance Co., Ltd 사의 페인트 셰이커 SHK-C에 4000 rpm, 1 h 혼합시킨 뒤, Suflux 사의 Nano Disperser ISA-NLM100를 사용해 페이스트를 고압 분산하였다. 도평을 위해 암모니아 4.5 mL 첨가하고 믹서로 7000 rpm, 1 h 이상 혼합한 뒤, 2차 바인더인 에스터를 7.5 wt% 첨가하고 믹서로 7000 rpm, 1 h 이상 혼합 후 경화제(ester:경화제 = 18:2.2)를 첨가해 Si-CNF 첨가 전도성 페이스트를 기존 연구에서 최적화된 방법[11]으로 제조하였다. 제조한 전도성 페이스트를 PET 필름에 필름 코터(Micrometer film applicator SI (1117/100 mm))를 이용해 0.08 mm 두께로 일정하게 코팅한 뒤, 80  $^{\circ}\text{C}$  대류 오븐에서 15 min 경화를 진행하였다.

### 2.4. 측정

접착특성은 Cross-cut 시험기(CC1000, TQC KOREA)를 이용하여 코팅 표면에 격자를 생성하여 접착테이프를 붙인 후 90 sec 이내에 180 $^{\circ}$  각도로 균일하게 뜯어내어 박리된 표면 상태를 확인하여 측정하였고, ASTM D3359에 제시된 기준(Table 1 참조)에 따라 등급을 구분하였다. 코로나 방전 처리의 최적 효과를 나타내는 조건을 알아보기 위해 접촉각 측정기(Phoenix-I, SEO)를 사용하였다. 또한, 코로나 처리, 산-염기처리 후의 필름 표면의 상태 변화를 관찰하기 위해 TESCAN 사의 SEM (Scanning Electron Microscope, MIRA LMH)으로 필름 표면을 금박 코팅하여, 가속전압 20 kV으로 관찰하였다. 센서의 물반응성 측정은 Digital Multimeter (DT4281, Japan)를 이용하였으며, 센서에 물을 도포하기 전과 후의 저항 값을 측정하여 저항 변화량

Table 1. Adhesion Grade by ASTM D3359 Method B

Grade	Peeling
5B	0, none
4B	Less than 5%
3B	5~15%
2B	15~35%
1B	35~65%
0B	Greater than 65%

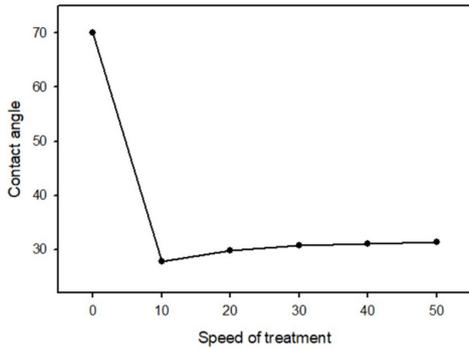


Figure 1. Contact angles for corona treated PET film as a function of speed (mm/sec).

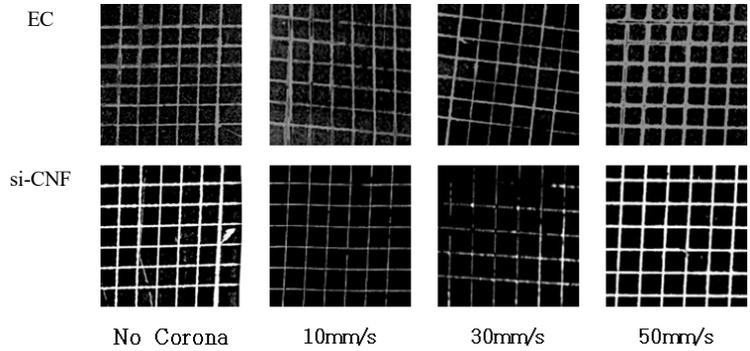


Figure 2. Cross-cut test results for corona treated PET films; ethyl cellulose (top) and si-CNF (bottom).

을 확인하였다. 센서의 검출속도 및 반응성은 Digital Multimeter (FLUKE101, Japan)을 이용하였으며, 센서 표면에 유해화학물질 1 mL 도포 전후의 저항 값을 측정하여 저항 변화량을 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

에틸셀룰로오스(EC)와 실란 처리 CNF (si-CNF) 2종의 바인더에 대한 기존 연구결과에서 EC의 cross-cut 3B-4B grade 대비 si-CNF의 경우 4B grade로 접착성이 개선되면서, 산(acid)에 대한 반응성과 물에 대한 반응성 모두 큰 차이를 보이지 않아 본 연구에서는 si-CNF를 바인더를 적용하여 실험을 진행하였다.

Figure 1은 코로나 방전 처리 속도 차이에 따른 접착각 결과를 나타낸 것이다. 평균 접착각은 최대와 최소 값을 제외하고 5개의 평균값으로 산정하였다. 코로나 방전 처리를 하지 않았을 때의 평균 접착각은 70°이며, 처리 속도에 따른 접착각 결과는 10 mm/s는 28°, 20 mm/s는 30°, 30 mm/s는 31°, 40 mm/s는 31°, 50 mm/s는 32°으로 코로나 처리 후 접착각이 큰 폭으로 감소하는 것이 관찰되었지만 처리속도에 따른 차이는 크지 않아 처리 속도보다는 처리 유무가 더 중요한 요인으로 판단되며, 기존 연구결과[14]에 따르면 코로나 처리 후 30°수준의 접착각이 30 min 경과 시 35°, 60 min 경과 시 40° 수준에서 120 min 경과하면 50° 수준으로 큰 폭으로 증가하기 때문에 코로나 방전 처리 후 1 h 이내에 전도성 페이스트를 코팅하는 것이 효과적으로 판단된다.

Figure 2는 코로나 방전 처리 속도에 따른 필름의 접착 성능을 나타낸 것이다. EC가 바인더로 사용된 전도성 페이스트의 접착 성능은 코로나 처리전에는 2B, 10 mm/s에서 3B, 30 mm/s에서 3B-4B, 50 mm/s에서 2B로 나타나 평균 접착 성능은 3B 수준임을 확인하였다. 반면 si-CNF가 첨가된 전도성 페이스트의 접착 성능은 코로나 처리 전 3B-4B, 10 mm/s에서 5B, 30 mm/s에서 4B, 50 mm/s에서 5B로 나타나 평균 접착 성능은 4B-5B임을 확인하였다. 결론적으로 코로나 방전처리와 si-CNF 적용에 따른 접착성 개선 효과는 분명하게 나타나지만 처리 속도에 따른 변화는 크지 않은 것으로 확인되었고, 이는 앞에서의 접착각 자료와 일치하는 경향이다.

다음으로 PET 필름에 대한 화학처리의 영향을 살펴보기 위해 PET 필름을 20, 40, 60 °C에서 산과 염기로 처리한 뒤 접착각을 측정하여 Figure 3에 나타내었다. 산과 염기 모두 처리 온도와 시간에 따라 유의미한 접착각의 변화를 보이지 않는다. 다만, 화학적 처리 전의 접착각인 70°와 비교 시 산으로 처리한 경우 68°, 염기로 처리한 경우 64°로 접착각이 소폭 감소하는 경향을 보여주었고, 산보다는 염기에 의

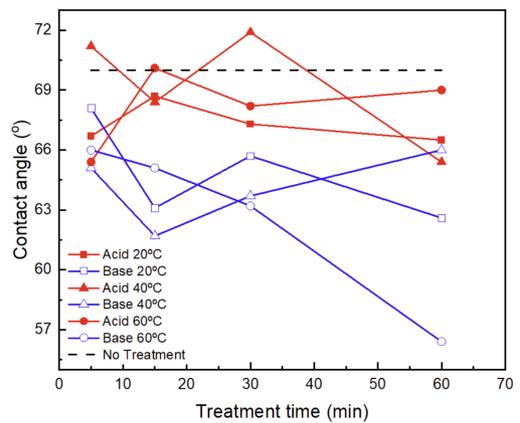


Figure 3. Contact angles of acid and base treated PET films as a function of treatment time.

한 접착각 변화가 좀 더 크게 나타났지만 이들 화학처리에 의한 접착각 변화는 전도성 페이스트와 PET 필름 간의 접착특성에 영향을 줄 수 있는 수준은 아닌 것으로 판단된다.

PET 필름의 화학처리에 의한 접착각 변화와 더불어 표면 형상 변화를 관찰하기 위해 SEM을 이용하였으며, 그 결과를 Figure 4에 나타내었다. 화학적 처리를 하지 않은 필름의 표면에는 요철이 확인되지 않았지만 산과 염기로 처리한 필름 표면에는 약간의 요철이 발견되었고, 특히 산으로 처리한 필름의 경우 요철 형성 정도가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 산에 대해서는 처리 온도를 다르게 화학처리한 시편에 대해 SEM 시험을 추가로 진행하였으며, 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. 처리 온도를 20 °C, 40 °C, 60 °C로 변화하여 60 min 동안 처리한 표면을 보면 처리 온도가 올라갈수록 표면의 요철이 증가하는 것을 확인하였다. 20 °C, 40 °C의 SEM 사진에 처리 효과가 잘 나타나지 않아 60 °C와는 다른 배율의 사진을 Figure 5에 나타내었다. SEM 그림을 나타내지는 않았지만 같은 처리 온도에서 처리 시간을 증가함에 따라 표면 요철이 증가하는 것을 추가로 확인할 수 있었다.

PET 필름의 화학처리에 의한 요철 생성이 전도성 페이스트와 PET 필름의 접착특성에 미치는 영향을 고찰하기 위해 cross-cut 접착성 시험을 진행하였다. 산과 염기로 표면을 처리한 PET 필름과 전도성 페이스트 접착성 측정에서 처리 시간과 온도에 따른 결과에서 큰 차이를 보이지 않아 시간은 60 min 그리고 처리 온도는 40 °C에서 진행한 결과를 Figure 6에 나타내었다. EC 바인더가 적용된 PET 표면을 산으로 처리한 필름의 경우 2B 수준을 보여주어 산처리 전 시편과 비

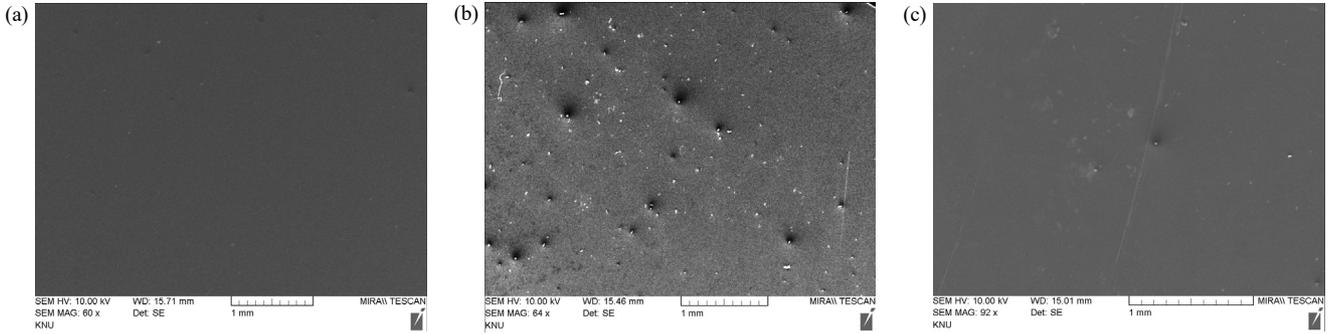


Figure 4. SEM images for PET films (a) untreated, (b) acid treat at 60 °C, and (C) base treat at 60 °C.

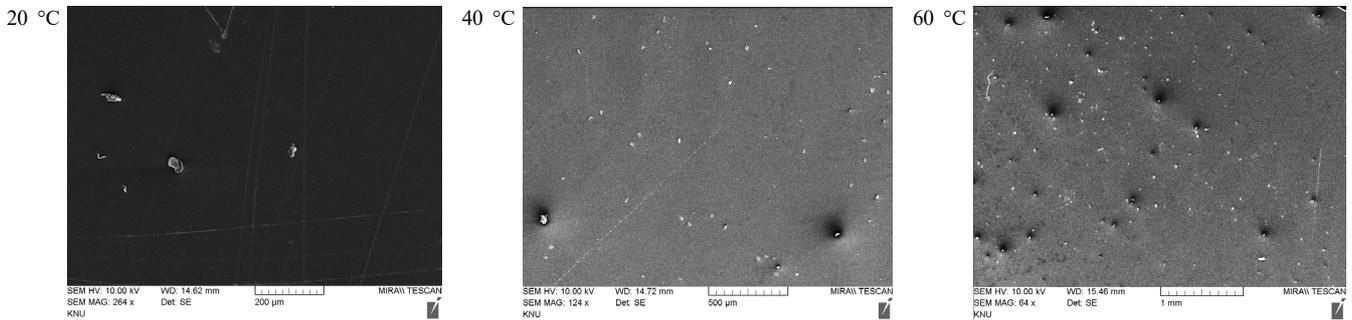


Figure 5. SEM images for acid treated PET films during 60 min as a function of treated temperature.

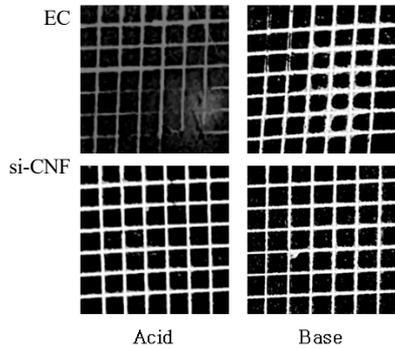


Figure 6. Cross-cut test results for treated PET films during 60min at 40 °C; EC (top) and si-CNF (bottom).

교 시 큰 차이가 없는 것을 확인하였으며 오히려 접착성이 낮아지는 경향을 보여주었다. si-CNF 바인더가 적용된 경우 4B 수준으로 산 처리 전의 시료와 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 산 처리와 마찬가지로 염기로 처리한 시편에서도 접착 성능에는 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있었다.

위에 언급한 내용을 종합할 때 전도성 페이스트와 PET 필름의 접착특성에 가장 큰 영향을 주는 인자는 si-CNF 바인더에 의한 영향이고, 두 번째는 PET 필름의 코로나 방전처리 효과로 확인되었으며, 산/염기 처리는 접착특성 개선에 효과적이지 않은 것으로 확인되었다. si-CNF를 바인더로 적용한 페이스트의 경우 PET 필름과의 접착 특성이 개선되는 것은 페이스트 내에 존재하는 si-CNF의 수산기(-OH)와 아민기(-NH<sub>2</sub>)가 PET 필름의 에스테르(-COO-)기와의 수소결합 등이 발생되어 결합력이 증가하기 때문으로 해석할 수 있으며, CNF에 실란 커플링제인 APS를 처리하면 Si-O-Si, Si-O-C, -NH<sub>2</sub> 등이 형성됨을 본 연구실의 기존 연구[11]에서 확인되었으며, si-CNF의 반응메카니

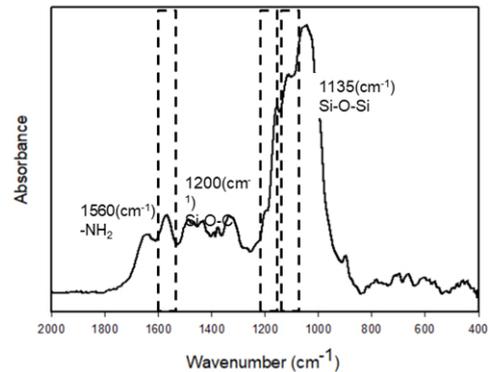
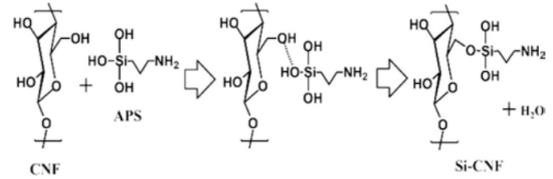


Figure 7. Reaction mechanism (top) and FT-IR spectrum (bottom) of si-CNF.

즘과 적외선분광 스펙트럼을 Figure 7에 나타내었다.

이와 같은 바인더 또는 필름의 코로나 처리 등은 센서의 반응성(반응에 따른 저항 변화 값)에 영향을 나타낼 수 있기 때문에 바인더의 종류와 코로나 방전처리 시료에 대해 25% 황산에서 반응성(저항 변화율) 시험을 진행하여 Table 2에 나타내었다. 바인더의 종류나 코로나 방전처리 전/후 시편 모두에서 반응성 차이는 크지 않음을 알 수 있었다. 반응성은 다음과 같이 식 (1)의 저항변화율을 이용하여 계산하였으며, 여기서 R<sub>t=0</sub>는 시간 0에서의 저항 값을, R<sub>t</sub>는 시간 t에서의

**Table 2. Cross-Cut Grade and Reactivity of the PET Films with Conductive Paste**

Sample	Grade	Acid reactivity (%)	Water reactivity (%)
EC	3B-4B	43	2.55
si-CNF	4B	45	2.70
EC-Corona	4B	42	2.60
si-CNF-Corona	5B	44	2.73

저항 값을 의미한다.

$$Reactivity = \frac{R_{t=o} - R_t}{R_{t=o}} \times 100(\%) \tag{1}$$

유해화학물질 센서를 현장에 적용할 때 산성물질과의 반응성 이외에도 물 반응성(센서에 물을 도포하기 전과 후의 저항 값을 측정하여 저항 변화량을 확인하고, 식 (1)을 이용하여 반응성 계산)이 중요한 인자 중 하나이다. 물 반응성이 중요한 이유는 공기 중의 습기 또는 청소수 등에 의해 센서가 작동하지 않아야 하기 때문이다. Table 2에 물반응성에 대한 측정 결과를 요약하였으며, 시료별로 대략 2.55~2.73 범위의 값을 나타내고 있으며 이는 물반응성에 대한 영향이 미미한 것을 보여주는 결과로서, 센서의 작동에 큰 문제가 없는 수준으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PET 필름의 코로나 방전 처리, 산-염기 처리가 PET 필름과 전도성 페이스트 사이의 접착특성에 미치는 영향을 고찰하였다. si-CNF가 바인더로 사용된 페이스트의 접착 성능은 4B로 기존의 EC 바인더 전도성 페이스트의 접착 성능(3B-4B)보다 개선되었음을 확인하였다. 코로나 방전 처리한 PET 필름에 EC와 si-CNF를 적용한 두 종류의 페이스트를 코팅한 경우 각각 4B와 5B 수준으로 개선된 것으로 확인되었다. 또한, si-CNF와 코로나 방전처리가 모두 적용된 시편의 경우 접착성능 최고수준인 5B 결과를 보여주었다. 코로나 방전 처리와는 달리 산-염기 처리된 PET 필름의 접착특성에는 큰 차이가 없음을 확인하였다. 산성물질 반응성과 물반응성 측정결과 코로나 방전처리 후에 큰 변화가 없는 것을 확인하였다.

#### 감 사

본 연구는 환경부의 폐자원에너지화 전문인력 양성사업의 지원으로 수행된 것입니다.

#### References

1. A. Mukherjee, A. K. Panjaand, and N. Dey, Introduction to sensors and systems. In: *A Beginner's Guide to Data Agglomeration and Intelligent Sensing*, 1-27, Elsevier Inc., Amsterdam, Netherlands

(2020).

2. Y. S. Rim, S. H. Bae, H. Chen, and N. De Marco, Devices toward printable and flexible sensors, *Adv. Mater.*, **28**, 4415-4440 (2016).

3. N. Ku, A. Byeon, and H. J. Lee, Electrochemical determination of bisphenol A concentrations using nanocomposites featuring multi-walled carbon nanotube, polyelectrolyte and tyrosinase, *Appl. Chem. Eng.*, **32**, 684-689 (2021).

4. J. Bae, Chemical sensors using polymer/graphene composite and the effect of graphene content on sensor behavior, *Appl. Chem. Eng.*, **31**, 25-29 (2020).

5. J. Muñoz and M. Baeza, Customized bio-functionalization of nanocomposite carbon paste electrodes for electrochemical sensing: A mini review, *Electroanalysis*, **29**, 1660-1669 (2017).

6. L. Huang, Q. Hu, S. Gao, W. Liu, and X. Wei, Recent progress and applications of cellulose and its derivatives-based humidity sensors: A review, *Carbohydr. Polym.*, **318**, 1-22 (2023).

7. H. S. Ku, C. U. Shim, and Y. C. Kim, Effect of carbon filler and ester type binder on the reactivity and adhesive properties with PET film of conductive paste, *App. Chem. Eng.*, **33**, 381-385 (2022).

8. J. Vincent, C. Tung, A. R. Koltanow, H. D. Jang, and J. Huang, Graphene oxide based conductive glue as a binder for ultracapacitor electrodes, *J. Mater. Chem.*, **22**, 12993-12996 (2012).

9. P. Jeżowski and P. L. Kowalczewski, Starch as a green binder for the formulation of conducting glue in supercapacitors, *Polymers (Basel)*, **11**, 1648-1660 (2019).

10. S. W. Lee, D. Lee, and B. G. Seo, Sensitive and selective electrochemical glucose biosensor based on a carbon nanotube electronic film, *Appl. Chem. Eng.*, **33**, 188-194 (2022).

11. S. Kang and Y. C. Kim, Effect of silane modified cellulose nano fiber on the adhesion properties between conductive paste and PET Film, *Polymer(Korea)*, **48**, 46-52 (2024).

12. J. Y. Kim, H. M. Kim, and M. H. Min, Study on the high-strength air-cushion fabrics for impact-relief application prepared through primer coating and thermal film laminating, *Textile Coloration and Finishing*, **33**, 269-279 (2021).

13. J. S. Lee, Y. S. Kim, H. C. Shin, Y. G. Kim, and C. M. Kang, A study on the joint property by the surface treatment method on the jointing method of PET film using the high hardness liquid, *J. Korea Inst. Struct. Maint. Insp.*, **18**, 153-159 (2014).

14. S. H. Byeon and Y. C. Kim, Study on the adhesive properties of pet film/ conductive paste according to binder and PET surace modification, *J. Kor. Acad.-Ind. Co. Soc.*, **23**, 673-677 (2022).

15. H. Wu, C. Yang, J. Liu, X. Cui, B. Xie, and Z. Zhang, A highly conductive thermoplastic electrically conductive adhesive for flexible and low cost electronics, *15th International Conference on Electronic Packaging Technology*. August 12-15, Chengdu, China (2014).

#### Authors

Yeong Seo Hong, B.Sc., Kongju National University, Cheonan 31080, Korea; h001205@naver.com  
 Youn Cheol Kim; Ph.D., Professor, Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea; younkim@kongju.ac.kr