



의류학석사 학위논문

초소수성 직물의 표면구조와 고형오구의 크기가 자가세정성에 미치는 영향

2023년 2월

서울대학교 대학원

의류학과

조 근 영

초소수성 직물의 표면구조와 고형오구의 크기가 자가세정성에 미치는 영향

지도교수 김 주 연

이 논문을 의류학석사 학위논문으로 제출함 2022년 12월

> 서울대학교 대학원 의류학과 조 근 영

조근영의 석사 학위논문을 인준함 2023년 1월

| 위육 | 원장 | 김 성 민 | (인) |
|----|----|-------|-----|
| 부위 | 원장 | 박 정 희 | (인) |
| 위 | 원 | 김 주 연 | (인) |

국문초록

본 논문에서는 초소수성 직물의 표면구조와 입자 크기의 관계 가 자가세정성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위해 폴 리에스터 필름, 필라멘트 직물, 스테이플 직물, 그리고 필라멘트 편성물에 초소수성을 구현하였으며 구현된 직물의 표면구조, 정적 접촉각, 동적 접촉각, 발수도 등급을 측정하였다. 또한 오구입자의 크기를 마이크로와 나노 수준으로 달리하여 각 표면에 대한 오구 제거율을 구하였다.

Q2 플라즈마 에칭과 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecyltriethoxysilane 기상 증착 후, 모든 시료에서 초소수성이 구현되었다. 정적 접촉각 은 필름 > 필라멘트 직물 > 스테이플 직물 > 필라멘트 편성물 순 으로 나타났으며, 동적 접촉각은 필름 < 필라멘트 직물 = 필라멘 트 편성물 < 스테이플 직물 순으로 나타났다. 필름과 달리 모든 직물과 편성물은 초소수성 가공 후 발수도 등급이 높아졌고, 필라 멘트 편성물과 필라멘트 직물이 스테이플 직물보다 높았다.

마이크로 입자에 대한 자가세정성은 초소수성 가공으로 모두 향 상되었으며, 필라멘트 직물과 스테이플 직물, 필름이 필라멘트 편 성물보다 높았다. 나노 입자에 대한 자가세정성은 초소수성 가공 전후 모두 필름 > 필라멘트 직물 > 스테이플 직물 > 필라멘트 편 성물 순으로 낮아졌다. 특히 초소수성 가공 후 직물의 자가세정성 은 향상된 반면, 필름과 편성물은 오히려 자가세정성이 낮아졌다.

발수도 등급은 초소수성 직물 표면의 마이크로 거칠기 편차가 클수록 유리하였으며, 자가세정성은 마이크로 제직구조가 조밀할 수록, 오구 입자의 크기가 커질수록 유리하게 작용하였다. 주요어 : 초소수성 직물, 발수성, 자가세정성, 표면구조, 입자 크기, 마이크로 거칠기

학 번 : 2020-21525

목 차

| 제1장서 론 | 1 |
|------------------------------|----|
| 제 1 절 연구의 필요성 및 목적 | 1 |
| 제 2 절 이론적 배경 | 4 |
| 1. 표면젖음성 이론 | 4 |
| 2. 초소수성 표면의 자가세정성 | 5 |
| 3. 디지털 이미지 프로세싱을 통한 오구제거율 평가 | 7 |
| | |
| 제 2 장 실 험 | 9 |
| 제 1 절 시료 및 시약 | 9 |
| 제 2 절 표면 거칠기 구현 및 소수화 처리 | 12 |
| 1. 플라즈마 에칭 | 12 |
| 2. 화학적 기상 증착 | 12 |
| 제 3 절 시료 특성 분석 및 평가 | 13 |
| 1. 표면 구조 및 성분 | 13 |
| 2. 표면 젖음성 | 15 |
| 2.1. 접촉각 측정 | 15 |
| 2.2. 발수도 등급 평가 | 16 |
| 3. 자가세정성 | 17 |
| | |

| 제 3 | 장 결과 및 고찰 | 20 |
|-----|-------------------|----|
| 제 | 1 절 표면 구조와 화학적 조성 | 20 |
| 제 | 2 절 표면 젖음성 | 24 |
| 제 | 3 절 발수도 등급 | 26 |
| 제 | 4 절 자가세정성 | 28 |
| | 1. 필름의 오구제거율 | 28 |

| 2. 편성 | 물의 오구제거율 | 32 |
|--------|----------|----|
| 3. 직물의 | 의 오구제거율 | 34 |

| 제 | 4 | 장 | 결 | 론 | | 35 |
|---|---|---|---|---|--|----|
|---|---|---|---|---|--|----|

| 참고문헌 | |
|----------|-----------|
| Abstract | ·······42 |

표 목 차

| [Table 1] Sample codes and characteristics of specimens10 |
|--|
| [Table 2] Materials used as dust particles11 |
| [Table 3] Conditions of digital single-lens camera18 |
| [Table 4] Static contact angles on specimens for water droplets of |
| $3.5\mu l$ |
| [Table 5] Shedding angles on specimens for water droplets of $12.5\mu l$ |
| |
| [Table 6] AATCC 22 Spray Test results of specimens27 |
| |

그림 목차

| [Figure 1] In histogram, x-axis means the brightness intensity of a |
|---|
| pixel, and the y-axis means the number of pixels with that intensity. |
| |
| [Figure 2] Measuring surface roughness by KES14 |
| [Figure 3] AATCC 22 Water Repellency Spray Test Machine |
| [Figure 4] SEM images of the various pristine specimens |
| [Figure 5] SEM images of pristine surface and plasma-etched surface |
| of specimens22 |
| [Figure 6] XPS patterns of fabrics. (a) pristine polyester filament |
| woven fabric, (b) Plasma-etched Polyester filament woven fabric, (c) |
| FAS CVD treated Polyester filament woven fabric after plasma |
| etching |
| [Figure 7] Changes in self-cleaning efficiencies of surfaces |
| contaminated with micro-size dust according to specimens |
| [Figure 8] Changes in self-cleaning efficiencies of surfaces |
| contaminated with nano-size dust according to specimens |
| [Figure 9] Nano-size dust remains on the nano-scales of (a)film and |
| (b)fiber after cleaning |
| [Figure 10] Micro-size dust remains on the microstructure of |
| specimens after cleaning33 |
| |

제1장서 론

제 1 절 연구의 필요성 및 목적

낮은 표면 에너지를 갖고 물방울에 대해 150° 이상의 접촉각과 10° 미 만의 동적접촉각을 가지는 초소수성 표면은 물을 반발하려는 발수성과 오구에 대한 자가세정능력(self-cleaning)을 지닌다[1]. 자연에서 찾을 수 있는 초소수성 표면의 예로는 연꽃잎의 표면이 있다. 연꽃잎처럼 자연에 서 볼 수 있는 초소수성 표면은 주로 이중 거칠기 구조인 마이크로-나 노 구조를 가지고 있으며, 표면 또한 소수성 물질로 이루어져 있다[2]. 따라서, 마이크로와 나노 거칠기를 표면에 도입한 후 표면에너지를 낮추 어 초소수성 표면을 구현할 수 있다. 특히 직물은 고유한 마이크로 거칠 기를 가지고 있어[3] 직물 위에 나노 사이즈의 입자를 부착하거나[4], 플 라즈마 에칭[5], 알칼리 감량[6], 효소 감량[7], 전기 방사[8] 등을 통하여 나노 거칠기를 부여하고 이후 낮은 표면에너지를 지닌 물질[9]을 이용한 코팅, 열에이징[10] 등과 같은 방법으로 초소수성 표면을 구현할 수 있 다.

초소수성 표면의 발수성은 wetting pressure와 antiwetting pressure의 관계에 의해 결정된다[11, 12]. 물방울이 표면에 접촉하는 표면적과 밀접 한 관련이 있어 표면에 마이크로 또는 나노 구조를 부여하는 것이 중요 하게 작용한다. 하지만 표면의 마이크로 구조는 자가세정성에 불리하게 작용할 수 있다. Bhushan[13]은 접촉각 히스테리시스와 물방울의 운동에 너지가 자가세정 효율에 미치는 영향을 연구하였는데, 연잎의 표면을 복 제한 템플릿의 마이크로 구조 사이에 미세 입자들이 침투하게 되었다. 계층구조 사이에 위치한 미세 입자들을 세정하기 위하여 물방울에 더 높 은 운동에너지를 부여해야 했다.

또한, 초소수성 직물의 자가세정성은 직물을 이루는 섬유의 종류와 실

의 직경 및 오구입자의 특성에 영향을 받는다. 우선, staple 섬유가 사용 된 직물은 표면에 돌출된 섬유들이 물과 표면간의 접촉력을 감소시켜 filament 섬유가 사용된 직물보다 초소수성 구현에는 유리했지만, 표면에 돌출된 섬유들이 입자의 제거를 방해해 자가세정성은 오히려 떨어지는 경향을 보였다. 반면에 filament 섬유를 사용한 직물은 매끄러운 표면으 로 인해 오구 제거에 더 유리했다[14].

다음으로, Hong[15]은 입자의 극성에 따른 자가세정성을 비교하였는 데, 소수성 입자를 오구로서 사용하였을 때 입자가 물방울의 표면에 부 착되어 소수화된 표면의 특성이 제대로 반영이 되지 않았다. 반면에 친 수성 입자를 사용했을 때 물방울이 입자를 포집하여 소수성 표면에 대한 특성이 물방울에 반영될 수 있었다. 따라서 친수성 입자를 오구로서 사 용하였을 때 표면 소수화 가공의 유의미한 효과를 볼 수 있었다. Geyer[16]는 나노 거칠기가 부여된 유리 기판에 입자의 크기를 달리하여 자가세정성을 비교하였다. 이 때 사용된 오구입자의 직경이 기판 표면의 미세구조보다 작을 때 입자가 표면에 침투하여 자가세정성이 낮아지는 경향을 보였다.

이와 같이 자가세정성을 향상시키기 위해서 표면에 마이크로-나노 구 조를 부여하여 초소수성을 구현해왔다. 또한, 표면의 자가세정에 대한 마 이크로 구조의 영향력을 살펴본 연구는 주로 정밀하게 수치화되어 만들 어진 균일한 필름과 같은 기판을 사용하여 이루어져 왔다. 그러나 직물 은 고유의 마이크로 구조를 가지기 때문에 기존의 기판과 달리 마이크로 와 나노 입자에 대한 자가세정성이 달라질 것으로 기대된다. 따라서 필 름 표면 및 마이크로 크기의 입자에 대해 한정되어있던 자가세정성을 표 면의 구조와 입자의 크기를 다양화하여 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 직물의 불규칙적이고 다양한 마이크로 거칠기가 마이크로 및 나노 크기 오구 입자의 자가세정성에 미치는 영향을 분석하 고자 하였다. 이를 위해, 다양한 마이크로-나노의 표면구조를 가진 초소 수성 폴리에스터 표면을 구현하였다. 직물 및 필름 표면의 표면구조, 접 촉각, 동적 접촉각, ISO 발수도 등급 평가를 진행하였다. 자가세정성은 마이크로와 나노 크기의 오구입자에 대한 오구제거율을 측정하여 평가하 였다. 이를 통해 자가세정성 구현에 유리한 직물의 표면구조와 입자 크 기를 규명하고자 하였다.

제 2 절 이론적 배경

1. 표면젖음성 이론

물방울이 질감이 있는 표면에 충돌할 때 습윤 상태는 wetting pressure와 antiwetting pressure의 균형에 따라 달라진다[12]. Wetting pressure로는 낙하한 물방울이 표면에 충돌하는 순간 가해지는 effective water hammer pressure(P_{EWH})와 물방울이 가지는 동적압력(P_D)이 작용 하며, 각각은 다음의 Eq.1, Eq.2와 같다[11].

$$P_{EWH} pprox 0.2
ho CV$$
 Eq. 1

$$P_D = \frac{1}{2} \rho V^2 \qquad \qquad \text{Eq. 2}$$

ρ는 물방울의 밀도, C는 물속에서의 음속, V는 물방울의 충돌속도로, wetting pressure는 물방울의 충돌 속도에 비례한다. Antiwetting pressure는 표면 거칠기 구조에서 발생하는 모세관 압력(capillary pressure)으로, Eq.3과 같다[11].

$$P_C = -2\sqrt{2}\gamma_{LA} \cos\theta_A/S$$
 Eq. 3

Eq.3에서의 P_C는 모세관 압력, γ_{LA}는 물방울의 표면장력, θ_A는 표면 에서의 접촉각, 그리고 S는 표면구조의 거칠기 간격으로, 모세관 압력은 표면거칠기 사이의 간격에 반비례한다. 따라서 표면이 물방울을 완전히 반발하려면 antiwetting pressure가 wetting pressure보다 커야 하므로, 물방울의 충돌 속도가 작을수록, 표면거칠기 간격이 작을수록 유리하다.

2. 초소수성 표면의 자가세정성

2.1. 초소수성

초소수성(superhydrophobicity)이란 물과 친하지 않은 성질로, 표면에 물방울이 흡수되지 않으며 150° 이상의 높은 정적 접촉각과 10° 이하의 동적 접촉각을 가지는 표면을 일반적으로 초소수성이라고 말한다[17]. 초 소수성 표면은 마이크로(µm)과 나노미터(nm) 수준의 이중 거칠기를 가 지는 표면 구조와 낮은 표면에너지를 통하여 구현할 수 있다. 표면에 나 노 입자를 부착하거나, 표면을 물리적 또는 화학적으로 식각하는 등의 방법으로 거칠기를 부여한 후[4-8], 낮은 표면 에너지를 가지는 물질로 코팅하여 소수화하는 방법이 주로 사용된다[9-10]. 시료 표면의 마이크 로 거칠기 수준을 파악하기 위해 측정하는 표면거칠기의 평균편차 (Surface Mean Deviation, SMD)는 Eq.4와 같다[18].

$$SMD = \frac{1}{X} \int_{0}^{X} |T - \overline{T}| dx \qquad \text{Eq.4}$$

X: distance travelled by the sensor over the sample T: sample thickness measured by the sensor at location X \overline{T} : mean of thickness

2.2. 자가세정성

자가세정성(self-cleaning)이란 초소수성 표면에서 물방울이 굴러 떨어 질 때 오구가 물방울에 포집되어 제거되는 현상을 말한다[19]. 자가세정 은 물방울이 입자를 포집한 후, 표면으로부터 분리되는 두 단계로 이루 어진다. 오구는 물방울이 기울어진 표면에서 내려갈 때 표면과 접촉한 뒷부분에 포집된다[20]. 이 때 오구의 극성, 표면의 구조와 젖음성에 따 라 표면에서 물방울의 거동이 달라질 수 있는데, 자가세정성도 이에 영 향을 받게 된다[20].

3. 디지털 이미지 프로세싱을 통한 오구제거율 평가

일반적으로 시료 표면에 부착된 입자상의 오염물질의 제거 정도를 평가하기 위해 관능 검사[21]나 표면반사율 측정[22]을 이용하고 있다. 관능 검사에 비해 표면반사율 측정은 객관적이고 재현성이 높다. 하지만 시료 표면의 오구에 대한 반사율 측정은 접촉식 측정이므로, 표면에 오구가 느슨하게 결합된 상태에서는 측정할 수 없다. 반면 디지털 이미지 처리를 통해 오구제거 전후 표면의 오구제거율에 대한 객관적 정보의 습득이 가능하다[23]. 촬영된 이미지의 각 픽셀은 0부터 255 사이의 밝기 강도(brightness intensity)를 가지게 된다(Figure 1). 한 이미지가 가지는 모든 픽셀의 평균 밝기강도 B는 Eq.5를 통하여 계산된다. x는 밝기강도, l_x 는 각 밝기강도에 대응하는 픽셀의 개수를 의미한다.

$$B = \frac{\sum_{x=0}^{255} x l_x}{\sum_{x=0}^{255} l_x}$$

Eq. 5

위의 이미지 평균 밝기값으로 Eq.6에 따라 오구제거율을 구할 수 있다. B_{WF} , B_{DF} , B_{RF} 는 각각 원포, 오염포, 세척포의 평균 밝기강도를 뜻한다.

오구제거율(%) =
$$\frac{B_{DF} - B_{RF}}{B_{DF} - B_{WF}} \times 100$$
 Eq. 6

이는 픽셀의 특정 밝기값을 오구로서 간주하는 임계값[23, 24]을 지정 하지 않고 오구제거율을 계산하는 방법으로, 서로 다른 표면특성을 가진 직물에 대한 오구제거율 비교가 가능하다.



Figure 1. In histogram, x-axis means the brightness intensity of a pixel, and the y-axis means the number of pixels with that intensity.

제 2 장 실 험

제 1 절 시료 및 시약

본 연구에서는 거칠기 시편을 제작하기 위한 시료로 100% 폴리에스 터 필라멘트 직물(Young Poong Filltex Co. Ltd., South Korea), 스테이 플 직물(regen®, Hyosung TNC., South Korea), 필라멘트 편성물 (Testfabrics korea, Inc., South Korea), 필름(Goodfellow, UK)을 사용하 였다. 분석에 사용한 시료명과 직물의 제직 조건 및 두께를 Table 1에 기재하였다. 직물의 경우 실의 조성에 따라 명명하였으며, 필라멘트사를 이용한 직물은 필라멘트로, 방적사를 이용한 직물은 스테이플로 구분하 였다. 필름과 필라멘트 편성물은 편의를 위하여 각각 필름, 편성물로 명 명하였다.

직물과 편성물은 불순물 제거를 위해 직물 무게의 30배의 증류수에 sodium carbonate anhydrous(DAEJUNG)와 60% sodium dodecylbenzenesulfonate(DAEJUNG)이 1:1 비율로 용해된 1% w/w 용액을 제 조하여 50°C 조건에서 45분간 처리하였다. 그 후 증류수로 충분히 수세 하여 상온에서 24시간 건조하였다. 필름은 99.5%의 아세톤(acetone, JUNSEI chemical CO., Japan)에 침지하여 25°C 조건에서 10분간 초음파 세척 후 증류수로 수세하고 자연 건조하여 사용하였다. 시료 표면에 나 노거칠기를 부여하기 위하여 식각 시 99.9%의 Q_2 가스를 사용하였고, 소수화 가공을 위해 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecyltriethoxysilane

(PFDTES, ≥97%)(Sigma-Aldrich Co., USA)을 사용하였다.

산화철(Iron oxide, Korea Nanomaterials, South Korea)을 오구입자로 서 자가세정성 평가에 사용하였다. 평균 5µm 사이즈의 입자를 마이크로 입자로, 평균 15-20nm의 입자를 나노 입자로서 사용하였다(Table 2).

Table 1. Sample codes and characteristics of

specimens

| Sample code | Top view | Component | Weave density | Thickness | Weight |
|-------------|----------|--|-------------------------------|-----------|----------|
| Film | 100 μm | 100% PET Film | - | 0.26mm | 352 g/m² |
| Knit | | 100% PET Filament double jersey knit | 27 X 32 gauge (in inch) | 0.80mm | 187 g/m² |
| Filament | | 100% PET filament woven fabric | 144 X 80 (in inch) | 0.21mm | 108 g/m² |
| Staple | | 100% PET Staple woven fabric | 186 X 142 (in inch) | 0.43mm | 188 g/m² |

Table 2. Materials used as dust particles



제 2 절 표면 거칠기 구현 및 소수화 처리

1. 플라즈마 에칭

시편의 표면에 Q_2 플라즈마 에칭을 통하여 나노구조를 구현하였다. Plasmalab 80 Plus 모델(Oxford Instruments Plc., UK)을 사용해 RIE(Reactive Ion Etching) 방식으로 진행하였다. 플라즈마 처리를 위해 수세가 완료된 시료를 6인치 실리콘 웨이퍼의 모양과 동일하게 잘라 실 리콘 웨이퍼 위에 kaptone tape로 부착하고, 전력 180W, 산소의 주입 속 도 20sccm, 주입 압력 40mTorr으로 8분 동안 에칭을 진행하였다[15].

2. 화학적 기상 증착

플라즈마 에칭한 시편의 표면을 소수화하기 위해 Hozumi 등[25]의 방 법을 참고하여 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltriethoxysilane(PFDTES, ≥ 97%)(Sigma-Aldrich Co., USA)을 시편 표면에 기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD) 하였다. 200µl의 양을 80°C, -1.0 MPa의 조건 에서 2시간 동안 증착 후 대류식 오븐(ThermoStable n-32, DAIHAN Scientific Co, Korea)에서 75°C의 온도로 24시간 건조하였다.

제 3 절 시료 특성 분석 및 평가

1. 표면 구조 및 성분

시료의 표면 구조를 확인하기 위해 주사전자현미경(Field-Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM, SIGMA, Carl Zeiss, Germany)을 사용하였다. 백금 코팅기(Ion Sputter Coater, G20, GSEM, Korea)를 사용하여 30mA에서 100초 동안 표면 코팅을 실시하였다. 이후 SEM stage를 0°로 설정하여 표면을 관찰하였다. 또한 마이크로 구조 표 면의 높낮이 수준을 측정하기 위해 가와바타 표면 거칠기 측정기(KES-FB4-A Surface Tester, KATO TECH CO., LTD, Japan)를 사용하여 시료의 고유한 표면 거칠기의 평균편차(Surface Mean Deviation, SMD) 값을 측정하였다(Figure 2).

기상 증착을 실시한 시료의 경우 증착이 제대로 표면에 처리되었는지 분석하기 위해 X선 광전자 분광법(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS, AXIS-HSi, KRATOS, UK)을 사용하였다. 미처리 시료, 플라즈마 에칭 시료, 플라즈마 에칭 후 CVD(Chemical Vapor Deposition) 처리 시 료의 표면에서 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltriethoxysilane(FAS)의 주요 원소 중 하나인 플루오르(F) 원소의 조성을 분석하였다.



Figure 2. Measuring surface roughness by KES.

2. 표면 젖음성

2.1. 접촉각 측정

시료들의 표면 젖음성을 평가하기 위해 접촉각 측정 장치(Theta Lite Optical Tensiometer, KSV Instruments, Finland)를 이용하여 정적 접촉 각과 shedding angle을 측정하였다. 정적 접촉각은 $3.5\pm0.2\mu$ l 부피의 물 방울이 표면에 접촉한 후 10초가 경과하였을 때 형성되는 각도를 측정하 였다. Shedding angle은 기울어진 시료 표면에 $12.5\pm0.2\mu$ l의 증류수를 시 료로부터 1cm 높이에서 낙하시켰을 때 물방울이 표면에서 2cm 이상 구 르기 시작하는 최소 각도를 측정하였다. 각 시료 별 측정 위치를 다르게 하여 5회 반복 후 평균하였고, 접촉각 측정치는 처리 조건 별로 3회의 실험을 반복한 결과를 평균한 값이다.

2.2. 발수도 등급 평가

만들어진 시료의 발수성을 측정하기 위해 모든 시료에 대해 발수도 시 험(Standard Spray Test, AATCC 22)을 진행했다. 사용한 장치는 Figure 3과 같다. 시료를 발수도 시험기 틀에 45° 각도로 고정한 후, 250ml의 물을 15cm 높이에서 일정하게 분사했다. 분사가 끝난 후 시료 의 물기를 규칙적으로 세 번 털어내고, Standard Spray Test Ratings에 따라 0~5등급으로 평가하였다.



Figure 3. AATCC22 Water Repellency Spray Test Machine

3. 자가세정성

표면 구조에 따른 자가세정성을 정량적으로 평가하고, 다른 크기의 오 구에 대한 자가세정효율을 비교하기 위해 다음의 과정을 통해 오구제거 율을 구하였다.

(1) 오구 도포 및 세정

직경 12cm의 원형 수틀에 시료들을 고정한 후 50mm × 50mm의 정 사각형 공간에 체(Standard Test Sieve, DAIHAN, 300µm / 32µm)를 이 용해 크기 별 오구를 200mg 도포했다. 디지털 이미지 프로세싱을 위해 백색의 직물 표면과 밝기 차이가 큰 어두운 색상의 입자를 이용하였다. 오구 도포량은 마이크로 입자가 직물 표면을 완전히 덮을 수 있는 무게 를 기준으로 설정하였다. 그 후 발수도 시험법(AATCC 22)을 이용해 각 시료에 대해 세정을 실시했다. 이 때 사용된 증류수의 양은 시료의 자가 세정 능력에 분별력을 부여하기 위해 증류수가 시료의 표면을 한 번 덮 을 수 있게끔 20ml로 설정했다.

(2) 디지털 이미지 촬영 및 전처리

시료의 표면이 물방울에 의해 세정되는 양상과 오구입자가 도포된 면 적의 변화를 분석하기 위해 오구제거 전후 시료 표면을 외부 광원을 차 단한 암실 내 직사광 조명 하에서 Digital Single Lens Reflex 카메라 (DSLR, EOS 70D, Canon)로 촬영하였다(Table 3)[24]. 시료 표면과 카메 라 사이의 수직거리는 63.5cm으로 유지하였다. 얻어진 이미지에서 오구 가 도포된 면적을 추출하기 위해 Image J 프로그램을 사용하여 각 시료 마다 동일한 위치에 대해 실제 면적이 50mm × 50mm가 되도록 자른 후 오구제거율 분석을 실시했다.

Table 3. Conditions of digital single-lens camera

| Resolution (pixel) | 5472 X 3648 |
|---------------------|-------------|
| Shutter speed (sec) | 1" |
| F-stop | F/29 |
| Lighting condition | 9W 5600K |

(3) 평균밝기값을 통한 오구제거율 측정

디지털 이미지 프로세싱을 통해 원포, 오염포, 세척포의 오구가 도포 된 면적을 측정하기 위해서는 시료와 오구가 이미지 상으로 명확히 분별 이 되어야 한다. 이에 오구는 검정색, 시료는 백색을 사용했으며 투명한 필름의 경우에는 흰 배경 위에 올린 상태에서 촬영하였다. 각 시료마다 히스토그램을 추출하여 픽셀 밝기강도의 평균을 구하고, 백색인 원포에 가까운 밝은 값(255)부터 검정색인 오구입자에 해당하는 어두운 값(0)을 확인했다. 예를 들어, 원포, 오염포, 세척포 각각의 평균 밝기값이 200, 20, 100이라면 Eq.6에 따라 오구제거율은 44.4%가 된다.

오구제거율(%) =
$$\frac{B_{DF} - B_{RF}}{B_{DF} - B_{WF}} \times 100$$
 Eq.6

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 표면 구조와 화학적 조성

필름과 직물, 편성물의 고유한 표면 구조 및 가공에 따른 변화를 분석 하기 위해 표면 형태와 화학적 조성을 분석한 결과는 Figure 4-6과 같 다. 시료의 고유한 기하학적 구조를 비교하기 위해 플라즈마 처리 전 각 시료의 표면과 측면을 SEM(Field-Emission Scanning Electron Microscope)으로 관찰한 결과는 Figure 4와 같다. 표면의 높낮이 수준을 알아보기 위해 표면 거칠기의 평균편차(SMD)를 측정한 결과, 필름은 1 µm 미만이었지만, 직물과 편성물은 수 마이크로미터 수준으로 나타났다. 직물과 편성물의 SMD는 편성물이 가장 컸고, 스테이플이 가장 작았다.

가공 후, 플라즈마 에칭으로 표면에 약 76 nm ~ 162 nm 수준의 거칠 기가 도입되었고, 편성물의 나노 거칠기가 가장 조밀하게 형성되었다 (Figure 5). 화학적 조성을 분석하기 위해 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) 분석을 실시한 결과 (Figure 6), CVD(Chemical Vapor Deposition)를 처리한 시료에서 플루오르 피크가 검출되어 증착이 이루 어진 것을 확인하였다.

| Sample code | Top view | Cross-sectional view | SMD(µm) |
|-------------|----------|----------------------|---------|
| Film | 500 µm | | 0.262 |
| Knit | 500 µm | | 7.332 |
| Filament | 500 µm | | 4.270 |
| Staple | 500 µm | | 1.928 |

Figure 4. SEM images of the various pristine specimens.

| Sample code | Pristine | Plasma-etching | Nanoscale width(nm) |
|-------------|----------|----------------|---------------------|
| Film | 1 μm | 1μm T | 116.7±31.2 |
| Knit | 1 μm. | 1 μm | 76.0±32.0 |
| Filament | | lμm | 132.3±36.5 |
| Staple | 1 µm | 1 µm | 161.5±25.9 |

Figure 5. SEM images of pristine surface and plasma-etched surface of specimens.



Figure 6. XPS patterns of fabrics. (a) pristine polyester filamentwoven fabric, (b) Plasma-etched Polyester filament woven fabric(c) FAS CVD treated Polyester filament woven fabric after plasma etching.

제 2 절 표면 젖음성

표면 구조에 따른 시료의 표면 젖음성을 비교하기 위하여 정적 접촉각 과 shedding angle을 측정하였다. 측정할 때 물방울 부피는 3.5µl과 12.5 µl을 사용하였으며 정적 접촉각 측정 결과, Table 4, Table 5와 같이 Plasma etching + CVD를 진행한 모든 시료에서 접촉각 150° 이상, shedding angle 10° 미만의 초소수성이 구현되었다[26]. 정적 접촉각은 필름에서 168.9°로 가장 높았으며, 필라멘트, 스테이플, 편성물 순으로 낮 아졌다. shedding angle 또한 필름이 1.9°로 가장 낮았으며, 필라멘트와 편성물, 다음으로 스테이플이 4°로 가장 높았다.

정적 접촉각은 초소수성 필름이 가장 우수하게 나타났으나, 직물과 편 성물들은 고유 마이크로 거칠기로 인하여 CVD 가공만 진행한 단계에서 필름보다 훨씬 높은 소수성을 보였다[27]. 또한 CVD 가공을 진행한 단 계에서 각 샘플의 SMD가 클수록 shedding angle은 작게 나타났으며, 이에 따른 차이가 명확했다.

| Sample code | Pristine | CVD | Plasma etching + CVD |
|-------------|------------|------------|-------------------------|
| Film | 78.8±2.6° | 112.6±1.6° | 168.9±1.8° |
| Knit | 131.7±3.3° | 145.4±2.8° | 153.0±2.4° |
| Filament | 57.5±4.6° | 147.4±3.2° | 164.1±2.5° |
| Staple | 127.0±2.9° | 137.9±3.0° | 157.2±3.7° |

Table 4. Static contact angles on specimens for water droplets of $3.5 \mu l$

Table 5. Shedding angles on specimens for water droplets of $12.5 \mu l$

| Sample code | Pristine | CVD | Plasma etching + CVD |
|-------------|-------------|-----------|-------------------------|
| Film | - | 64.1±2.2° | 1.9±0.8° |
| Knit | - | 15.3±1.3° | 2.5±0.8° |
| Filament | - | 22.4±2.5° | 2.5±0.8° |
| Staple | | 45.1±1.7° | 4.0±1.6° |

제 3 절 발수도 등급

Table 6는 ISO 발수도 등급 평가 결과로, 초소수성 가공 후 모든 직 물과 편성물은 필름과 달리 발수도 등급이 향상되었다. 가공 전에는 편 성물이 직물보다, 초소수성 가공 후에는 필라멘트 편성물과 필라멘트 직 물이 스테이플 직물보다 발수도 등급이 높았다.

우선, 초소수성 가공 후 모든 직물의 발수도 등급이 향상된 이유는 antiwetting pressure가 커지기 때문이다. antiwetting pressure로 작용하 는 P_C 는 Eq.3과 같이 표면 거칠기의 간격에 반비례한다[11]. 이에 O_2 플 라즈마 에칭 후 섬유 표면에 나노 거칠기가 형성됨에 따라 물방울을 반 발해내기 유리했던 것으로 생각된다.

$$P_C = -2\sqrt{2}\gamma_{LA} \cos\theta_A/S$$
 Eq.3

초소수성 가공 후, 필라멘트 편성물과 필라멘트 직물이 스테이플 직물 보다 발수도 등급이 높았다. 그 이유는 편성물의 편직구조 및 표면 마이 크로 거칠기(SMD)와 P_{EWH} 의 관계로 설명할 수 있다(Eq.2). P_{EWH} 는 표 면에 물방울이 접촉한 순간 가해진다[11, 15]. 가장 엉성한 구조와 큰 마 이크로 거칠기를 가지고 있는 편성물은 물방울과 접촉하는 면적이 가장 작은데, 따라서 P_{EWH} 의 영향을 가장 적게 받았던 것으로 생각된다.

$$P_{EWH} pprox 0.2
ho CV$$
 Eq. 2

가공 전에도 SMD가 큰 편성물이 직물보다 발수도 등급이 높았던 것 을 확인할 수 있다. 또한, 특히 필라멘트 편성물은 필라멘트 직물보다 초 소수성이 낮음에도 발수도 등급이 우수하였는데, 이는 섬유 표면에 형성 된 나노 거칠기의 간격이 가장 작아 P_c 가 가장 크기 때문이다. 스테이플 이 발수도 등급이 가장 낮았던 이유도 마이크로 거칠기가 작고, 나노 거 칠기 간격은 커서 상대적으로 P_{EWH} 는 크고 P_{C} 는 작았기 때문으로 사료 된다.

한편, 직물과 달리 필름은 초소수성 가공 후 발수도 등급에 변화가 없 었다. 그 이유는 소수성 가공 전에도 발수도 등급이 높게 나타났기 때문 으로, 물방울이 필름의 표면에 스며들 공간이 없어 표면에 닿은 물방울 들이 대부분 곧바로 굴러 떨어지는 모습을 보였다. 반면에 가공 후에는 나노 거칠기 사이로 물방울이 pinning되는 모습을 보였는데, 필름은 마 이크로 거칠기가 모든 시료 중 가장 작으므로 P_{EWH} 가 나노 구조로 인해 생긴 P_{C} 보다 커서 partial wetting된 것으로 사료된다[11, 12].

| Sample code | Pristine | CVD | Plasma etching + CVD |
|-------------|----------|-------|-------------------------|
| Film | ISO 4 | ISO 4 | ISO 4 |
| Knit | ISO 2 | ISO 2 | ISO 3 |
| Filament | ISO 0 | ISO 2 | ISO 3 |
| Staple | ISO 1 | ISO 1 | ISO 2 |

Table 6. AATCC 22 Spray Test results of specimens

제 4 절 자가세정성

직물의 자가세정성을 평가하기 위해 각 입자 크기와 시료의 종류에 따른 오구제거율을 비교하였다(Figure 7-8). 마이크로 입자를 오구로 사 용했을 때보다 나노 입자를 오구로 사용했을 때 오구제거율이 전반적으 로 낮았다.

1. 필름의 오구제거율

필름의 오구제거율은 입자의 크기에 관계없이 직물에 비해 높은 경향 을 보였다. 이는 필름 표면에 입자가 침투할 수 있는 기공이나 마이크로 구조가 없기 때문이다. 필름은 또한 초소수성 가공 후 나노 입자에 대한 오구제거율이 오히려 낮아졌다(Figure 8). 이는 Figure 9의 (a)에서 볼 수 있듯 나노거칠기만을 가지는 초소수성 필름의 표면에 나노입자가 침 투하여 자가세정성이 낮아진 것으로 보인다[13].



Figure 7. Changes in self-cleaning efficiencies of surfaces contaminated with micro-size dust according to specimens.



Figure 8. Changes in self-cleaning efficiencies of surfaces contaminated with nano-size dust according to specimens.



Figure 9. Nano-size dust remains on the nano-scales of (a)film and (b)fiber after cleaning.

2. 편성물의 오구제거율

편성물은 모든 시료 중에서 오구제거율이 가장 낮았으며, 편성물은 초 소수성 가공 후에 오히려 오구제거율이 낮아졌다. 그 이유로 편성물은 마이크로 거칠기 편차(SMD)가 가장 크며, 플라즈마 처리로 인한 나노 거칠기의 간격이 가장 좁아 발수도 등급이 가장 높게 나타났다. 반면에 마이크로 구조와 나노거칠기 사이로 침투한 입자들을 제거하기 위해서는 물방울 또한 구조 사이로 침투한 후 오구를 포집하여야 한다. 따라서 기 공이 크고 많으며 엉성한 편직 구조와 나노거칠기 사이로 침투한 입자를 제거하기에는 높은 발수도 등급이 불리하게 작용했다고 사료된다. 마이 크로 입자가 세척된 시료의 표면에서 편성물의 마이크로 구조 사이에 입 자가 잔존한다는 것을 Figure 10에서 확인할 수 있다. 따라서 편성물과 같은 수준의 거칠기와 편직구조를 가진 시료에 대해서는 나노거칠기를 부여하여 초소수성을 구현하는 것보다 CVD 처리만 진행하는 것이 나노 입자의 침투와 발수성의 측면에서 자가세정성의 향상에 유리하다고 생각 된다.

| Sample code | Micro-size dust after cleaning |
|-------------|--------------------------------|
| Film | 200 µm |
| Knit | 200 µm |
| Filament | |
| Staple | |

Figure 10. Micro-size dust remains on the microstructure of specimens after cleaning.

3. 직물의 오구제거율

직물들은 Pristine, CVD, Plasma etching + CVD 순으로 오구제거율 이 크게 향상되었다(Figure 7-8). 먼저 직물은 고밀도의 제직구조를 가 지고 있어 표면구조에 대한 오구의 침투가 편성물에 비해 적게 이루어졌 다고 사료된다(Figure 10). 직물은 편성물에 비해 작은 마이크로 거칠기 와 조밀한 구조를 가지고 있는데(Figure 4), 이 구조가 물방울이 침투한 입자를 세정하는데 유리하게 작용하였다고 사료된다. 따라서 가공 후 발 수도 등급이 크게 향상된 것이 오구제거에 유리하게 작용되었다고 생각 된다. 따라서 고밀도의 직물에 대하여 초소수성 가공을 하는 것이 자가 세정성을 높이는데 가장 유리하다고 생각된다.

직물 중에서도 스테이플이 필라멘트보다 오구제거율이 전반적으로 낮 았다. 스테이플은 필라멘트보다 낮은 SMD를 가지고 있지만, 시료의 마 이크로 거칠기를 측정하기 위해 사용되는 SMD(Eq.4)는 편차에 대한 평 균정보만을 제공한다(Figure 2)[18].

$$SMD = \frac{1}{X} \int_{0}^{X} |T - \overline{T}| dx \qquad \text{Eq.4}$$

따라서 표면에 대한 입자의 침투성은 마이크로 제직구조의 밀도가 SMD보다 더 크게 관여한다고 생각된다. 스테이플이 오구제거율이 필라 멘트보다 낮은 이유는 다음과 같다. 스테이플의 제직밀도가 더 높아 위 사와 경사가 교차하는 지점에서 실의 곡률이 더 크고, top-view와 횡단 면도에 의하면 필라멘트에 비해 침투된 오구 입자에 대한 세정이 어려운 구조[14]를 가지고 있기 때문으로 사료된다(Figure 4).

제 4 장 결 론

본 연구에서는 초소수성 직물의 표면구조와 고형오구의 크기 간의 관 계가 자가세정성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 나노 거칠기 부여 후 소수화 가공을 통해 나노 구조의 초소수성 폴리에스터 필름 그리고 마이크로-나노 구조의 초소수성 폴리에스터 필라멘트 및 스테이플 직물과 편성물을 구현하였다. 구현된 초소수성 필름, 직물, 편 성물들에 대한 표면 오구제거율을 오구입자의 크기를 마이크로, 나노 수 준으로 달리하여 측정, 비교하였다. 위의 실험에 대한 결과는 다음과 같 다.

1. *Q*₂ 플라즈마 에칭, FAS 기상 증착을 통하여 단일 나노 및 마이크 로-나노 구조를 가지는 초소수성 표면을 구현했다. 정적 접촉각은 필름 에서 가장 높았으며, 필라멘트 직물, 스테이플 직물, 필라멘트 편성물 순 으로 낮아졌다. shedding angle 또한 필름이 가장 낮았으며, 필라멘트 직 물과 필라멘트 편성물, 다음으로 스테이플 직물 순으로 낮아졌다.

2. ISO 발수도 등급 평가 결과 직물 중 필라멘트 편성물은 가공 전후 모두 발수도 등급이 가장 높게 나타났다. 편성물의 발수도 등급이 높은 이유로는 기공이 가장 많고, 마이크로 수준의 거칠기(SMD)는 가장 크 며, 나노거칠기의 간격이 가장 좁게 나타나 P_{EWH} 가 작고, P_C 가 크기 때 문으로 사료된다.

3. 초소수성 폴리에스터 시료의 오구제거율을 이미지 평균 밝기값으로 분석했다. 직물 간의 고유한 표면 특성 차이에 대한 연구자의 주관 개입 없이 픽셀들이 가지는 밝기값의 평균치를 통해 시료의 오구제거율을 구 할 수 있었다. 4. 표면구조와 고형오구의 크기에 따라 자가세정에 가장 유리한 가공 방법이 다르게 나타났다. 이는 직물과 편성물의 마이크로 구조와 에칭으 로 인해 생긴 나노거칠기에 오구입자가 침투하여 세정에 불리하게 작용 하였기 때문이다.

5. 필름의 경우 나노거칠기를 구현하여 초소수성을 달성했을 때 마이 크로 입자에 대한 자가세정성이 우수했다. 하지만 나노 입자는 나노거칠 기 사이에 침투하여 초소수성 가공이 세정에 불리하게 작용했다.

6. 필라멘트 편성물은 우수한 발수도 등급에도 불구하고 자가세정성은 가장 좋지 않았다. 큰 마이크로 거칠기와 작은 나노거칠기는 발수도 평 가에 유리했으나, 높은 발수도 등급은 엉성한 편직 구조에 침투한 오구 를 세정하는데 오히려 불리하게 작용했다.

7. 그에 반해 직물들은 초소수성 가공 후 자가세정성이 향상되었다. 이는 편성물과 달리 표면에 입자가 침투할 공간이 상대적으로 적었기 때 문이며, 고밀도의 제직구조에 침투한 오구를 세정하기에 높은 발수도 등 급이 유리하게 작용했다고 사료된다. 따라서 고밀도의 직물에 초소수성 가공을 하는 것이 자가세정성 향상에 가장 유리하다고 생각된다.

8. 초소수성 직물과 편성물의 마이크로 거칠기가 클수록, 나노거칠기 간격이 작을수록 발수도 등급이 높게 나타났다. 하지만 마이크로 구조와 나노거칠기의 간격보다 작은 입자들이 각 구조에 침투하여 자가세정성을 떨어뜨렸다. 직물의 제직, 편직 구조가 클수록 입자의 침투에 유리하여, 이 때 높은 발수도 등급은 오히려 자가세정성에 불리하게 작용했다.

본 연구에서는 기존의 필름과 마이크로 크기의 입자 위주로 이루어졌 던 자가세정성에 관한 논의를 다양한 표면의 직물과 나노 크기의 입자를 이용하여 확장시켰다. 또한 발수도 등급의 향상이 표면구조와 오구입자 의 크기에 따라 오히려 자가세정성에 불리하게 작용할 수도 있음을 밝혔 다. 따라서 사용되는 시료의 표면구조와 오구의 크기를 고려하여 적합한 가공 방법을 선택하면 최적의 자가세정성 향상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어, 직물의 제직 구조보다 큰 입자를 세정하기 위한 자 가세정성 직물을 가공할 때는 소수성을 극대화 하는 것이 효과적일 것이 다.

한편, 본 연구의 자가세정성 분석은 표면에너지와 나노 거칠기 특성을 최대한 통일한 제한된 젖음성 상태에서 친수성 입자를 사용하여 실시되 었다. 따라서 표면에너지나 나노거칠기 특성에 따라 다양한 젖음성 상태 가 유도되거나, 입자의 도포량, 극성, 세정에 사용되는 증류수의 양 등의 조건을 달리하여 연구의 범위를 확장하면 그 양상이 다르게 나타날 것으 로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Ma, M., & Hill, R. (2006). Superhydrophobic surfaces. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 11(4), 193–202.

[2] Gao, X., & Jiang, L. (2004). Water-repellent legs of water striders. Nature (London), 432(7013), 36.

[3] Shim, M., Kim, J., & Park, C. (2014). The effects of surface energy and roughness on the hydrophobicity of woven fabrics. Textile Research Journal, 84(12), 1268–1278.

[4] Xue, C., Chen, J., Yin, W., Jia, S., & Ma, J. (2012). Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. Applied Surface Science, 258(7), 2468–2472.

[5] Oh, J., Moon, M., & Park, C. (2020). Effect of crystallinity on the recovery rate of superhydrophobicity in plasma-nanostructured polymers. RSC Advances, 1(18), 1939–1948.

[6] Lee, J., Lee, S., & Park, C. (2022). Dynamic behaviors of water droplets on superhydrophobic polyester films and woven and knitted fabrics. Textile Research Journal, 92(21–22), 4450–4469.

[7] Rahman, M., Yun, C., & Park, C. (2021). Development of a superhydrophobic cellulose fabric via enzyme treatment and surface hydrophobization. Textile Research Journal, 91(1–2), 40–50.

[8] Liu, Z., Ma, W., Zhang, M., Zhang, Q., Xiong, R., & Huang, C. (2019). Fabrication of superhydrophobic electrospun polyimide nanofibers modified with polydopamine and polytetrafluoroethylene nanoparticles for oil - water separation. Journal of Applied Polymer Science, 136(24), 47638–N/a.

[9] Cho, Y., & Park, C. (2020). Objective quantification of surface roughness parameters affecting superhydrophobicity. RSC Advances,

1(52), 31251-3126.

C. [10] & (2018).Oh. I.. Park. Robust Fluorine Free Superhydrophobic PET Fabric Using Alkaline Hydrolysis and Thermal Process. Macromolecular Hydrophobic Aging Materials and Engineering, 303(7), 1700673-N/a.

[11] Deng, T., Varanasi, K., Hsu, M., Bhate, N., Keimel, C., Stein, J.,
& Blohm, M. (2009). Nonwetting of impinging droplets on textured surfaces. Applied Physics Letters, 94(13), 133109–133109–3.

[12] Chen, L., Xiao, Z., Chan, P., Lee, Y., & Li, Z. (2011). A comparative study of droplet impact dynamics on a dual-scaled superhydrophobic surface and lotus leaf. Applied Surface Science, 257(21), 8857–8863.

[13] Bhushan, B., Jung, Y., & Koch, K. (2009). Self-CleaningEfficiency of Artificial Superhydrophobic Surfaces. Langmuir, 25(5),3240–3248.

[14] Oh, J., & Park, C. (2021). The effect of fiber type and yarn diameter on superhydrophobicity, self-cleaning property, and water spray resistance. Polymers, 13(5), 1–21.

[15] Hong, H., Lee, J., & Park, C. (2022). Effect of the Geometrical Structure on the Superhydrophobicity and Self-Cleaning Properties of Plasma-Treated Polyvinylidene Fluoride Fabrics. ACS Omega, 7(30), 26275–26288.

[16] Geyer, F., D'Acunzi, M., Sharifi-Aghili, A., Saal, A., Gao, N., Kaltbeitzel, A., . . . Vollmer, D. (2020). When and how self-cleaning of superhydrophobic surfaces works. Science Advances, 6(3), Eaaw9727.

[17] Liu, H., Wang, Y., Huang, J., Chen, Z., Chen, G., & Lai, Y. (2018). Bioinspired Surfaces with Superamphiphobic Properties: Concepts, Synthesis, and Applications. Advanced Functional Materials, 28(19), 1707415-N/a.

[18] Mooneghi, S., Saharkhiz, S., & Varkiani, S. (2014). Surface Roughness Evaluation of Textile Fabrics: A Literature Review. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 9(2), 1–18.

[19] Bhushan, B., & Jung, Y. (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. Progress in Materials Science, 56(1), 1–108.

[20] Quan, Y., Zhang, L., Qi, R., & Cai, R. (2016). Self-cleaning of Surfaces: The role of surface wettability and dust types. Scientific Reports, 6(1), 38239.

[21] 김신영. (2020). 에너지 효율적 열에이징을 통한 폴리프로필렌 직물 의 초소수화 / 김신영.

[22] Roh, E., Ryu, H., & Chae, J. (2017). Cleaning method for selective removal of stains from historic textiles and stains change by long period storage –focused on blood soil. Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 41(2), 341–351.

[23] 최세진, 황영진, 이효정, 김미경, 김선곤, 김한성, . . . Kim, H. (2018). 이미지 프로세싱을 이용한 상용 의류관리기의 먼지 입자 제거 성능 분석법 및 상용 의류관리기의 성능 평가에 관한 연구. 韓國纖維工 學會誌, 55(2), 89-94.

[24] 윤세영. (2019). 의류관리기 성능의 객관적 평가 방법 개발 / 윤세영.

[25] Hozumi, A., Ushiyama, K., Sugimura, H., & Takai, O. (1999).
Fluoroalkylsilane Monolayers Formed by Chemical Vapor Surface Modification on Hydroxylated Oxide Surfaces. Langmuir, 15(22), 7600–7604.

[26] Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Britto Joseph, G., Durairaj, R., & Mageshwaran, G. (2018). Superhydrophobic surfaces: A review on fundamentals, applications, and challenges. JCT Research, 15(2),

231-250.

[27] Jonas, A., Cai, R., Vermeyen, R., Nysten, B., Vanneste, M., De Smet, D., & Glinel, K. (2020). How roughness controls the water repellency of woven fabrics. Materials & Design, 187, 108389.

Abstract

The Effects of Surface Structure of Superhydrophobic Fabric and Size of Dust particle on Self-cleaning Properties

Kun Young Cho

Department of Textiles, Merchandising and Fasion

Design

The Graduate School

Seoul National University

This paper aims to investigate the effect of the relationship between surface structure and particle size of superhydrophobic fabrics on self-cleaning properties. To this end, superhydrophobicity was implemented in polyester film, filament fabric, staple fabric, and filament-knitted fabric. The surface structure, static contact angle, shedding angle, and standard spray test rating of the implemented fabric were measured. In addition, the size of the dust particle was varied at the micro and nano level to obtain the dust removal rate for each surface. After plasma etching and 1H,1H,2H,2H–Perfluorodecyltriethoxysilane vapor deposition, all samples were superhydrophobic. The static contact angle appeared in the order of film > filament fabric > staple fabric > filament-knitted fabric, and the shedding angle appeared in the order of film < filament fabric = filament-knitted fabric < staple fabric. Unlike the film, all fabrics and knits had higher standard spray test rating after superhydrophobic treatment, and filament-knitted and filament fabrics had higher standard spray test rating than staple fabrics.

The self-cleaning properties of microparticles were all improved by superhydrophobic processing, and filament fabrics, staple fabrics, and films were higher than those of filament-knitted fabrics. The self-cleaning properties of nanoparticles decreased in the order of film > filament fabric > staple fabric > filament-knitted fabric before and after superhydrophobic processing. In particular, the self-cleaning properties of fabrics improved after superhydrophobic treatment, whereas the self-cleaning properties of films and knits decreased.

The standard spray test rating was more advantageous as the surface mean deviation of the superhydrophobic fabric surface increased. Self-cleaning properties increased as the micro-weaving structure was denser, and the dust particle size increased.

keywords : Superhydrophobic Fabric, Water Repellency, Self-cleaning Properties, Surface Structure, Particle Size, Micro-roughness *Student Number* : 2020-21525