

자외선차단 면 섬유제품의 개발 (1)

1. 서언

최근 인체에 유해한 자외선을 차단하여 피부를 보호하려는 것은 민감한 문제이다. 오존층이 얇아짐에 따라 더 많은 자외선이 지표면에 도달한다. 자외선의 과도한 노출은 피부노화, 광피부병(여드름) 및 피부암과 같은 일련의 피부병을 야기할 수 있다.

전자기선의 특징은 2 개의 이론(파장, 양자 또는 미립자 이론)으로 설명할 수 있다. 방사선 파장과 주파수는 그 속도와 관련이 있다. 그러나 빛의 흡수 및 방출은 파장이론으로 완벽히 설명할 수 없다. 빛의 양자이론에 대한 주요 요소는 양성자이다. 이 이론에 의하면 고주파광은 높은 에너지와 짧은 파장을 지닌다. 자외선은 에너지가 높고 주파수가 짧은 빛이다. 태양으로부터 우리에게 도달하는 태양광은 290~3000 nm 스펙트럼이 지니며, 자외선은 290~400 nm의 파장영역에 속한다.

자외선은 UV-A(315~400 nm), UV-B(290~315 nm) 및 UV-C(100~290 nm) 3 가지로 구분된다. UV-C는 오존층에 의해 흡수되지만, UV-A, B는 지표면에 도달하여 피부암, 일광화상, 광피부노화와 같은 심각한 건강 문제가 야기된다. 최근에는 경량 의류에 대한 시장의 요구가 높아지고 있어 쾌적성과 더불어 의류의 자외선 차단 기능에 대한 관심이 높아지고 있다.

면 섬유는 흡습성, 공기투과성, 생분해성 및 대전방지 등의 특성을 지니어 섬유산업에서 널리 사용되고 있다. 면 섬유는 실질적으로 거의 순수한 셀룰로스로 구성되어 있다(약 88~96 %). 전 세계 섬유시장에서 면 섬유는 48 %를 차지하고 있다.

의류의 자외선 차단성은 섬유 함유량, 조직, 사용된 염료, 가공 공정에 따라 달라질 수 있다. 매우 우수한 자외선 차단성(excellent UV protection)을 지니려면

UPF 40~50+ 범위에 속해야 한다. 이러한 기준으로 볼 때 평직의 면 직물은 UPF 10의 성능을 지니는데, 이는 자외선차단 성능의 등급을 매길 수 있는 수준이 아니며, 아웃도어 의류로서 불충분하다.

2. 자외선차단지수

(Ultraviolet Protection factor, UPF)

자외선차단지수(UPF)는 원단에 의해 피부에 주어지는 자외선차단의 양을 나타내는 용어이다. UPF 값은 SPF(Sun protection factor) 값과 유사하다. 다만, SPF 값은 인체실험을 통해 얻은 것이며, UPF 값은 분석장비를 통해 얻은 것이다. UPF는 피부에 자외선이 투과될 때의 평균 유효 UV 조사량과 시험 원단에 의해 차단된 평균 자외선량의 비로 나타낸다. 일반적으로 일광화상을 방지하는 능력을 평가하는 접근법은 생체내 실험실적 실험과 생체외 분석장비를 이용하는 것이 있다.

생체내 정량분석은 SPF이며, UPF는 장비를 통해 얻은 결과를 나타내기 위해 사용된다. 섬유제품의 경우 UPF 를 사용한다. 오스트레일리아/뉴질랜드 규격 AS/NZS 4399:1996에서 정의된 UPF는 섬유 및 의류 산업에서 널리 사용되고 있다. AATCC 시험규격 183-1998 에서도 UPF 용어를 사용하며, 그 결과는 오스트레일리아/뉴질랜드 규격 AS/NZS 4399:1966 과 매우 유사하다. UPF는 다음 식에 따라 계산된다.

$$UPF = \frac{\int_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda}{\int_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} d\lambda}$$

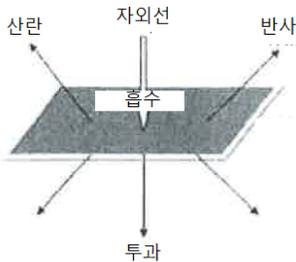
λ : 파장 (nm), E_{λ} : 각 파장에서의 흥분계수
 S_{λ} : 각 파장에서의 태양광에너지($Wm^{-2}nm^{-1}$)
 T_{λ} : 분광투과율, $d\lambda$: 측정파장 간격

〈표 1〉 ASTM D6603 및 AS/NZS 규격에 따른 원단의 자외선 차단 성능의 구분

UPF	차단 성능	자외선 투과율(%)	UPF 등급
40~50, 50+	Excellent	2.5	40, 45, 50, 50+
25~39	Very good	4.1~2.6	25, 30, 35
15~24	Good	6.7~4.2	15, 20

3. 섬유제품의 자외선차단

원단을 통과하는 직접 및 방산된 자외선의 투과는 섬유제품의 자외선차단을 결정짓는 중요한 인자이다. 원단을 통과하여 투과된 자외선은 원단의 공극을 통과하여 변함없이 파장과 간섭을 받아 산란된 파장이 있다. 자외선차단지수(UFP)는 원단에 의해 차단되는 차단성능(UV-A, UV-B)을 실제로 측정하는 것이다. UPF가 높을수록 자외선차단성이 더욱 증가한 것을 나타낸다. 자외선차단 의류는 자외선이 피부에 도달하여 인체를 위협하는 것을 막기하기 위해 가능한 자외선을 반사하거나 흡수해야 한다. 자외선차단 성능을 결정짓는 것은 자외선 투과율이다. 자외선 투과율은 특정 자외선파장에 대한 자외선에 대한 총량에 대해 피부에 도달하는 자외선의 양의 비율이다.



〈그림 1〉 섬유제품에 대한 자외선 투과 특성

자외선이 원단에 닿을 때 다양한 영향을 미치며 이러한 이유로 자외선은 몇 가지 요소로 나누어진다. 자외선의 일부는 원단 표면의 가장자리에서 반사되고, 다른 일부는 샘플을 뚫고 지나가 다른 에너지로 변환되거나 원단을 투과하여 피부에 도달하게 되며, 이것을 '투과'라고 한다.

의류는 태양광을 반사, 흡수 및 산란할 수 있는 원단으로 만들어져 태양광을 피부로부터 보호하는 능력을 지니고 있다. 원단의 빛을 약화시키는 능력은 섬유 조성, 수분율 염료 종류 및 농도, 형광증백제 또는 자외선 흡수기공 등에 따라 다양하다. 이러한 성능은 육안판정이나 원단 조성 및 구조를 근거로 계산하여 알 수 있는 것이 아니라 반드시 시험을 통해서 알 수 있다. 자외선 차단 성능은 원단의 형태, 디자인 및 특히 구성 인자에 따라 달라진다.

섬유제품에 투과된 자외선은 원단의 자외선 흡수성에 의해 변화되는 것과 원단의 실간 공극을 투과하는 것에 의해 달라진다. 원단의 자외선 투과율의 감소는 섬유 소재의 구성 인자를 변화시켜 얻을 수 있다. 최적의 두께, 밀도, 단위 중량, 면적, 원단의 조직, 실의 종류, 실의 굵기를 조정하여 자외선차단성을 높일 수 있다. 자외선 흡수, 투과 및 반사 성능은 주로 원단의 조직에 크게 좌우된다. 높은 자외선차단 성능을 지닌 원단을 기획함에 있어 아래와 같은 인자가 반드시 고려되어야 한다.

- ① 섬유 조성(일반적으로 천연섬유가 합성섬유보다 자외선의 투과율이 더 높음.)
- ② 밀도 (원단의 조직이 치밀할수록 자외선 투과율이 낮음.)
- ③ 색상 (동일원단의 경우 짙은 색상일수록 파스텔 색상보다 자외선을 더 강하게 흡수하여 결과적으로 UPF가 더 높아짐.)
- ④ 신축성(신축성이 커질수록 UPF가 낮아짐.)
- ⑤ 수분 (젖은 원단은 자외선 차단이 떨어짐.)
- ⑥ 가공 (자외선 흡수제는 UPF를 증진시킴.)

직물원단은 구성은 자외선차단성에 직접적인 영향을

미치는 인자이다. 직물원단의 구성은 실의 굵기, 조직 및 경/위사 밀도에 따라 변경된다. 원단 구성의 주요 인자는 다른 인자에 의해 영향을 받는다. 즉, 실의 굵기는 원단 밀도에 영향을 미친다. 원단 구성 인자를 선택하게 되면 다른 구성인자는 거의 일정하며 주요 인자에 따라 좌우된다. 자외선 투과에 영향을 미치는 많은 인자들 중 가장 중요한 것은 섬유의 종류, 염료 및 가공제 및 원단 공극이다. 염료, 안료 또는 자외선차단제에 의해 흡수된 자외선은 피부에 도달할 수 없으며, 이러한 방법으로 원단의 자외선차단 성능을 강화할 수 있다. 일반적으로 염색원단이 표백원단보다 높은 자외선차단성을 나타낸다. 미표백면이 표백면보다 높은 자외선차단성을 보이는데 이는 미표백면에 남아 있는 안료 성분에 기인한 것으로 추정되며, 표백면이 미표백면보다 거의 2배 정도 투과율이 높다.

4. 섬유제품의 자외선차단성에 영향을 미치는 구조적 인자

(1) 섬유의 화학적 특성

섬유의 종류에 따라 자외선 흡수율이 다르며, 이로 인해 자외선 투과율에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 예를 들면 면 섬유는 다른 천연섬유보다 자외선의 투과율이 낮으며 폴리에스터는 UV-B 영역에서 강하게 흡수한다. 섬유조성은 자외선차단 정도를 결정짓는 중요한 인자로서 조성 섬유에 따라 상이한 조사-반사 특성이 나타나기 때문이다.

원단의 자외선차단 성능은 섬유의 화학적 특성에 따라 다르다. 큰 공액 방향족 고분자(conjugated aromatic polymer) 화합물이 더욱 효과적인 자외선차단성을 지닌다. 폴리에스터는 화학 구조내에 벤젠 고리 화합물을 포함하고 있으며 이러한 것이 자외선 흡수율을 높일 수 있다. 그러나 폴리에스터는 뜨거운 날씨에 착용하기에 적합할 것 같다고 생각되지 않는다.

면 및 아마와 같은 천연 섬유는 저자극성의 특성 때문에 가장 일반적으로 여름용 의류로 사용되고 있다. 그래서 대부분의 천연섬유에 대한 자외선차단성 연구는

주로 면 섬유에 대한 것이다.

면/폴리에스터 혼방 원단의 경우 면 섬유 단독의 경우보다 확실히 높은 자외선차단성을 나타낸다. 이러한 면/폴리에스터 혼방 원단은 더운 날씨에 의류 착용시 보다 나은 쾌적성을 부여할 것이다. 면 섬유 원단의 경우 원단 구성요소와 상관없이 생지 원단은 우수한 자외선 차단성을 나타낸다.

(2) 실 구조의 영향

실의 꼬임은 섬유 집속의 효율과 표면 특성에 영향을 주기 때문에 자외선 차단의 중요한 결정요인이다. 실의 구조는 원단내 공기가 차지하는 부피의 분포(원단 공극)에 영향을 미치기 때문에 니트 원단의 자외선차단성에 영향을 미친다. 실의 공간은 원단의 자유개공면 중요한 요인이다. 실의 꼬임은 실의 간격에 상당한 수준까지 영향을 미친다. 실의 꼬임은 실의 중심과 표면 기하학적 구조를 결정하기 때문에 원단 공극 크기 분포를 정확하게 측정하기 위해서는 실의 표면특성을 아는 것이 필요하다. 실의 꼬임은 실을 구성하는 섬유간 치밀성에 영향을 미치며, 또한 원단의 표면특성(원단 공극)에 영향을 미치어 자외선차단성에 매우 큰 영향을 미친다. 또한, 실의 꼬임 수준에 따라 원단 밀도가 달라져 니트 원단의 자외선차단성이 영향을 받는다

(3) 직물 조직의 영향

직물의 조직에 따라 UPF 값이 좌우됩니다. 열 생리학적 관점에서 적외선을 반사하는 담색의 의류를 사용하는 것이 좋다. 주자직의 경우 평직과 능직보다 경/위사의 밀도를 치밀하게 구성하는 것이 가능하다. 따라서 주자직의 경우 실간 공극이 작기 때문에 평직과 능직보다 자외선차단성이 투과할 수 있는 공간이 적다. 게다가 평직의 경우 보다 많은 실로 교차하고 있어 공극이 안정하며 균일하다. 반면 주자직의 경우 공극이 불안정하며 교차되는 실이 적어 공극이 한테로 뭉겨져 자유공간이 줄어든다. 경/위사 밀도가 높아질수록 원단의 조임성이 높아져 결과적으로 자외선차단성이 높아진다. 동일한 부피 공간일 때 평직과 능직이 주자직보다 3차

원적으로 공극이 크고, 안정적이며 균일하다. 3차원적 공극이 작을수록 높은 자외선차단성을 의미한다. 주자직은 평직과 능직보다 높은 자외선차단성을 부여한다. 주자직의 경우 교차점의 특수한 배열, 능직과 다른 공극의 모양, 평직과 유사한 조직 때문에 가장 높은 피복계수(cover factor)을 지닌다.

(4) 원단 공극 및 피복인자가 자외선차단성에 미치는 영향

원단 구성은 원단의 공극을 결정짓는 매우 중요한 인자이다. 공극이 작을수록 자외선차단성은 높아진다. 실 간 간격은 직물보다 니트 원단이 보다 크다. 단위면적당 중량이 증가하면 원단 공극은 감소한다. 원단 피복계수(cloth cover factor)는 주어진 원단의 경위사에 의해 피복된 면적과 계산식 (2), (3)에 따른 실의 밀도(인치당 경/위사 개수)와 변수를 이용하여 계산된 면적의 비율이다.

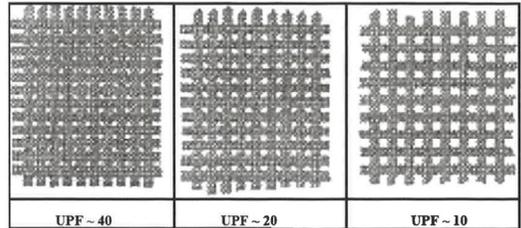
$$\begin{aligned} \text{Cloth cover factor} \\ = CF_{\text{warp}} + CF_{\text{weft}} - CF_{\text{warp}} \times CF_{\text{weft}} \\ \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cover factor} = \text{threads per inch} \\ / (\text{yarn number(cotton count system)})^{1/2} \\ \dots\dots\dots (3) \\ CF_{\text{warp}} : \text{경사의 피복계수, } CF_{\text{weft}} : \text{위사의 피복계수} \end{aligned}$$

높은 원단 피복계수는 높은 자외선차단성을 나타낸다. 피복계수 28의 의미는 모든 실이 서로 접촉하고 있으며 이론적으로 자외선을 거의 또는 완벽하게 투과하지 않는 것을 의미한다.

원단 중량과 두께의 상관성이 UPF 값이 미치는 공극성을 참고하여 설명이 가능하다. 공극성은 원단의 조밀성을 측정하는 것으로 피복계수라고 한다. 원단 조직이 치밀할수록 실이 차지하는 면적이 커지는 것으로 자외선에 대해 더욱 투과하기 힘들다. 피복계수는 단위면적당 중량이 커질수록 높아진다. 중량이 큰 원단일수록 실 간격이 좁아지기 때문에 자외선 투과가 낮아져 차단 효과가 높아진다. 두꺼운 원단은 높은 피복계수를 가

지기 때문에 자외선 투과가 적다. 평직 원단은 실의 교차로 인해 섬유로 이층을 형성하기 때문에 가장 낮은 공극을 가진다. 이러한 이유로 니트가 직물보다 개방된 구조이므로 직물보다 낮은 자외선차단성을 보이게 된다.



〈그림 2〉 원단 밀도에 따른 자외선차단지수(UPF)

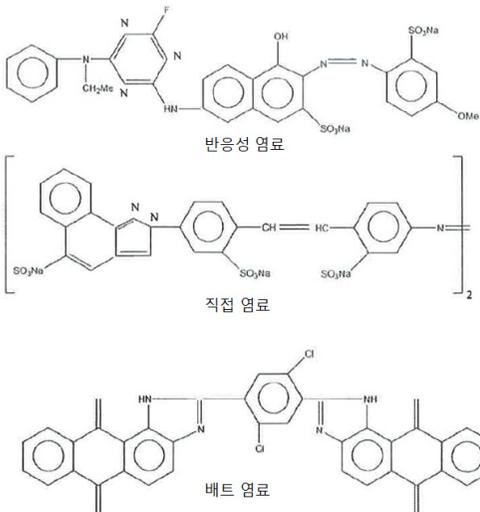
(5) 표백에 의한 효과

표백은 섬유로부터 소수성의 이물질들을 제거하는 것이다. 형광증백제는 특정 파장에서 빛을 흡수하고 다른 파장에서 방출하는 화합물로서 보다 백색으로 보이게 한다. 발효공정이나 표백과 같은 전처리 공정은 원단의 자외선차단 성능을 떨어뜨린다. 따라서, 실질적으로는 여름용 의류로서 경량의 얇은 표백 의류는 자외선차단에 대해서는 현명한 선택은 아니다. 그러나 형광증백 처리된 방추성 의류는 자외선에 대해 충분한 차단성능을 발휘할 수 있다. 표백 공정(자외선 흡수제 역할을 할 수 있는 색소 및 리그난을 제거)을 포함하여 광증백제 또는 형광증백제의 도입은 투과성에 영향을 미친다. 일부 연구에서 표백공정에 의해 자외선의 투과성을 악화시키는 것이 보고된 바 있다. 화이트 색상은 원단의 조직과 상관없이 양호한 자외선차단성을 부여하지 않는다. 심지어 치밀하고 피복계수가 큰 원단의 경우에도 표백제 때문에 결과적으로 자외선의 흡수가 낮아 만족스러운 UPF 값을 나타내기 힘들다. 일부 연구에서 세탁시 사용되는 형광증백제 때문에 면 및 면/폴리에스터 혼방물의 자외선차단 성능이 향상되었다는 보고가 있다.

(6) 염색의 의한 효과

염료는 선택적인 가시광선 흡수제이다. 대부분의 염

료는 400 ~ 700 nm 영역에서 빛을 흡수하며 일부는 자외선 영역 근처에서 빛을 흡수한다. 섬유에 염색된 염료는 자외선의 투과를 크게 방지할 수 있다. 미염색 및 미처리 원단은 자외선의 투과율이 매우 높아 차단율이 낮다. 염료의 종류, 농도 및 원단의 종류에 따라 달라진다. 일반적으로 담색이 농색보다 태양광을 더 잘 반사하여 입사된 태양광이 반사작용에 의해 원단을 통과하게 된다. 동일 원단 및 염료의 경우 농색일수록 높은 UPF를 얻을 수 있다. 블랙, 네이비블루, 짙은 녹색 등은 UPF를 크게 증진시키며 반면에 담색의 파스텔 색상은 약간 증진시킨다. 특정 색상에서는 특정한 투과 및 흡수 때문에 자외선차단성이 매우 다양할 수 있다. 염색된 원단은 표백 원단보다 높은 자외선차단성을 나타낸다.



〈그림 3〉 양호한 자외선 흡수성을 지닌 염료의 구조

천연 유색 면은 일반적인 면(표백 또는 미표백)보다 매우 높은 자외선차단성을 나타낸다. 단파장 자외선에서 자외선의 흡수는 염료 분자와 섬유간의 결합의 형성에 기인한 것일 것이다. 염색물의 색 강도(K/S)는 색상의 농도가 클수록 UPF 값을 높인다는 주장을 뒷받침하는 것으로 보인다. 그러나 색 강도와 UPF의 상관성은 동일한 원단의 경우에만 해당되며, 원단의 조직이 다른 경우에는 일반화될 수 없다. 염색되지 않은 평직 원단의 경우 천연의 색소로 인해 UPF 값이 증가될 수 있으나 주작직의 경우 미염색될 경우 거의 자외선차단성을 보이지 않는다. 염색에 의해 얻어진 자외선차단의 정도는 염료의 농도에 따라 좌우된다. 동일 원단의 경우 색상이 짙어질수록 UPF값이 증가한다. 더구나 인디고와 같은 농색의 경우 높은 자외선 흡수성 때문에 보다 높은 차단성을 나타낸다.

양이온화 면 원단에 친환경적인 천연염료로 염색한 면 원단의 경우 높은 자외선차단성을 부여한 연구가 있었으며, 이 연구에서 염색 온도 및 염색 시간에 따라 자외선차단 성능이 좌우되었다.

(계속)

The Journal of the Textile Institute
[Vol.108, No.12, 2017]