

## 측광 후처리 가공에 의한 유연 광섬유의 발광 효과\*

Luminescence effects of POF-based Flexible Textile by post-treated Optic illuminate

양은경\*\*† · 이주현\*\*

Eun-Kyung Yang\*\*† · Joo-Hyeon Lee\*\*

연세대학교 의류환경학과\*\*

Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University\*\*

### Abstract

The plastic optical fiber has been previously known to have the limits in fabrication and care, due to its lack of flexibility and durability. Recently, an innovative technology of 'water-resistant & flexible optical fiber', in which the surface of etched POF(*i.e.*, *plastic optical fiber*) is to be coated with a type of synthetic resin, has been developed. In this study, the post-treated POF-based flexible textiles were evaluated in terms of luminance, physical visibility and perceived visibility, according to the fabric lengths and colors of the light source. The POF-based flexible textile with 10cm fabric length and green light source appeared to show relatively higher illuminating effects. The maximum distance for perceived visibility of the POF-based flexible textiles was found to be 100m. Therefore, the results of this study are expected to be utilized as a fundamental for the further studies to develop the digital color clothing with application of POF-based flexible textile.

**Keywords** : plastic optical fiber, POF-based flexible textile, smart photonic clothing, digital color clothing, illuminating effect

### 요약

광섬유 직물 기반 스마트 의류가 국, 내외로 개발되고 있는 실정이며, 기존의 일반적인 광섬유는 직물화가 어렵고 내구성, 내수성이 결여되어 세탁 및 유지 관리의 한계로 인해 예칭된 광섬유사의 표면에 합성수지를 코팅 처리하는 '내수성 광섬유사 가공 기술'이 최근 개발 되었다. 본 연구에서는 제직 후 측광가공 된 유연 광섬유 직물을 대상으로 광섬유사 길이에 따른 특성과 광원 색채에 따른 발광 특성을 분석, 평가하여 디지털 컬러 의류의 적용 적합성을 파악하고자 한다. 이를 위하여 광섬유사 길이에 따른 총 4가지 유연 광섬유 직물 시료를 제직하여, 이를 대상으로 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도, 물리적 가시도, 지각적 가시도를 측정함으로써 발광특성을 분석하였다. 그 결과, 10cm인 유연 광섬유 직물과 녹색 광원을 사용한 경우가 최대가시거리 100m로 디지털 컬러 의류 즉, 안전보호 기능의 산악복 적용에 가장 적합한 발광효과를 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 본 연구의 결과는 앞으로 유연 광섬유 직물 적용 의류 개발과 관련된 후속 연구의 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 광섬유, 유연 광섬유 직물, 스마트 포토닉 의류, 디지털 컬러 의류, 발광 효과

\* 본 논문은 2010년도 지식경제부 재원으로 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.

† 교신저자 : 양은경(연세대학교 의류환경학과)

E-mail : calliek@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-4653

## 1. 서론

광섬유 직물 기반 스마트 의류가 국내외로 개발되고 있는 실정이다. 플라스틱을 코어와 클래딩으로 사용하는 기존의 일반적인 광섬유(POF:Plastic Optical Fiber)의 경우, 에칭에 기인하는 내구성 저하로 인해 직물화가 어려울 뿐만 아니라 내수성도 결여되어 세탁 및 유지 관리에 있어 한계가 지적되어 왔다. 이러한 문제들을 극복하기 위하여 에칭된 광섬유사의 표면에 합성수지를 코팅 처리하는 ‘내수성 광섬유사 가공 기술’이 개발되었다(출원번호:10-2007-0071801). 이 기술을 통해 제조된 ‘유연 광섬유사’는 직물화하기에 적합한 유연성과 내구성 및 내수성을 지녀 다양한 용도의 직물 제품을 제작할 수 있다는 장점을 지닌다.

유연 광섬유 직물의 차별화된 특성으로 인해 의류 뿐 아니라 조명, 인테리어, 건축, 전기·전자 등 여러 분야에서 차세대 유연 직물로서 평가되고 있고, 발광성, 질(quality), 가격 등의 문제만 해결되면 다양한 제품 형태로 응용될 것으로 기대된다(Masuda Atsuji 외 3명, 2006). 유연 광섬유 직물은 제직 방법뿐만 아니라 제직공정에 따라서도 발광효과는 차이가 발생하며 용도에도 중요한 영향을 미친다. 기존의 선행연구들에서는 광섬유 직물의 제직구성 조건과 광섬유 밀도에 따른 유연 광섬유 직물의 발광 특성 및 강도에 관한 측광가공 후 제직 방식에 대하여 연구가 전개되었으나, 제직 후 측광가공 한 방식에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 스마트 의류 적용을 위한 제직 후 측광가공 광섬유 직물에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 제직 후 측광가공 된 유연 광섬유 직물을 대상으로 광섬유사 길이에 따른 특성과 광원 색채에 따른 발광 특성을 분석, 평가하여 의류의 재료로서의 적합성을 파악하였다. 이를 기반으로 디지털 컬러 의류에 적용 가능한 유연 광섬유 직물의 의류 적용 요건을 제시하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 휘도의 개념 및 정의

휘도(luminance)란 특정 방향으로 표면의 단위면적당 광원으로부터 방출되는 광도를 의미하며, 단위로

서  $\text{cd/m}^2$ 를 사용한다(Smith, 2000). 여기에서 광도(luminous intensity)란 특정 방향에서 입체각(solid angle) 단위당 방출되는 광속(luminous flux), 즉 빛의 총량을 의미한다. 광도의 측정 단위로는 칸델라(candela; cd)를 사용하며, 이는 단위 입체각(solid angle)당 루멘(lumen)으로 정의된다(Boyce, 2003). 그러므로 휘도는 어떤 방향의 광도를 그 방향으로의 투영면적으로 나눈 값으로 다음과 같이 표시된다(Ji, 2008).

$$L = I / S' \text{ [cd/m}^2\text{]}$$

(I: 어느 방향의 광도, S': 어느 방향의 투영면적)

이와 같은 휘도는 관찰각도에 따라 값이 달라지기도 하며, 같은 조명광 아래에서도 반사율이 높은 물체일수록 휘도가 높다. 또한, 휘도는 눈으로부터 광원까지의 거리에 관계가 없으며, 사람이 물체를 식별하는 것은 대상 면과 그 주변에 있는 면의 휘도차에 의한 것이다. 그리고 휘도 분포가 적당치 못하고 휘도가 큰 광원이 직접 눈에 들어오면 눈에 피로가 쉽게 온다(Shin 외 1명, 2010).

### 2.2. 물체의 물리적 가시도

사람이 눈으로 물체를 보는 과정에 영향을 미치는 외부적인 요인에는 물체의 크기(size of object), 물체의 밝기(brightness of object), 대비(contrast), 시간(time) 총 4가지가 있다. 즉, 물체의 크기와 밝기(휘도)가 증가할수록 가시성(visibility)이 높아진다는 것이다. 또한, 대비 정도가 클수록 가시성이 높아지게 된다. 즉, 밝은 배경에 어두운 물체가 있다고 가정하면, 물체의 색을 더욱 어둡게 하거나 배경색을 더욱 밝게 만들면 더욱 잘 보이게 된다. 마지막으로 물체를 보는데 주어진 시간이 길수록 더 세밀하게 잘 볼 수 있다는 것이며, 움직이는 물체를 보는 과정에서 시간은 특히 중요하게 고려되는 개념이다(Hughes, 1988).

그 중에서 물체의 밝기, 즉 휘도는 휘도계를 사용하여 정량적으로 측정하며, 휘도 측정 결과를 ‘순응휘도(adaptation luminance) 대 물체휘도(object luminance)’에 대입하여 가시 정도(visibility)를 파악할 수 있다. 이 때, 순응휘도는 물체와 인접한 배경의 휘도값으로 정의된다. 각각의 데이터를 대입한 결과, ‘Black shadow’ 영역에 속하면 물체가 보이지 않는 정도, ‘Discrimination’ 영역인 경우에는 물체가 구별되는 정

도, ‘Glare’ 영역의 경우는 물체가 눈에 잘 띄는 정도 또는 눈부실 정도로 확연히 구분되는 정도의 가시성을 나타낸다고 분석되었다(Boyce, 2003).

### 2.3. 유연 광섬유 직물

#### 2.3.1. 유연 광섬유 직물의 개념

유연 광섬유 직물(POF-woven Fabric 또는 PFT: POF-based Flexible Textile)은 유연 디스플레이의 일종으로서 그 중에서도 직조 기반(weaving-based)의 텍스타일이라고 할 수 있다. Defilin 등(2002)은 유연 디스플레이를 ‘non textile’과 ‘textile’이라는 기준으로 분류할 정도로, 이러한 직물은 새로운 개념의 유연 디스플레이로서 주목받고 있다.

유연 광섬유 직물의 측광 방법은 Hong, Lee(2007)의 ‘내수성 광섬유사 가공 기술’에 따른다. 먼저, 유연 광섬유 직조물을 제작한 후, 측광 방법을 적용하였으며, 스크래치면 즉, 에칭된 광섬유사의 표면에 합성수지를 경화시키고, 이와 같이 코팅된 광섬유 원사를 풀러에 권회시켜 보관하는 가공 기술을 적용하였다.

Koncar(2005)는 광섬유를 제작공정을 거친 직물에 스크린 매트릭스를 구현하여, 직물 자체에 스크린 매트릭스(screen matrix)를 구현한 것을 유연 광섬유 직물 디스플레이로 정의하였다. 이러한 직물 디스플레이에는 LED 시스템이 광섬유의 광원으로 통합되어 있고, 매트릭스 상에서 광섬유가 하나의 픽셀로서 빛을 내는 역할을 하게 된다.

유연 광섬유 직물은 몇 가지 차별화된 특성을 지닌다. 첫째, 가볍고 얇고 유연하여 다루기가 쉽고, 둘째, LED와 같은 일반적인 조명에 비해 부드러운 빛을 내며, 셋째, 발광하면서 발생하는 열이 적다(Masuda Atsuji 외 3명, 2006). 이러한 장점들로 인해 광섬유 직물은 의류뿐 아니라 조명, 인테리어, 건축, 전기·전자 등 여러 분야에서 차세대 유연 직물로서 평가되고 있고, 발광성, 질(quality), 가격 등의 문제만 해결되면 다양한 제품 형태로 응용될 것으로 기대된다.

이러한 유연 광섬유 직물을 의류에 적용함으로써 얻게 되는 기능 또는 장점은 첫째, 안전, 공공성, 재미 또는 심미적 목적을 표현할 수 있다는 점, 둘째, 어떤 집단 소속인지를 보여줄 수 있다는 점, 셋째, 최첨단 기능과 패션이 접목된 옷을 통해 자신만의 개성을 표출할 수 있다는 점, 넷째, 정보를 교환할 수 있는 커뮤니케이션 기능이 있다는 점 등을 들 수 있다.

니케이션 기능이 있다는 점 등을 들 수 있다.

#### 2.3.2. 제작 전 측광가공 유연 광섬유 직물과 제작 후 측광가공 유연 광섬유 직물의 비교

유연 광섬유의 제작 방법뿐만 아니라 유연 광섬유의 제작 단계 즉, 제작 공정에 따라서도 발광효과는 차이가 나며 매우 중요하다.

김진선(2010)은 제작 전 측광가공 유연 광섬유 직물의 안전보호 기능의 산악복 용도에 적합한 발광특성과 내구성을 지닌 유연 광섬유 기반 직물의 제작구성 조건을 도출하고 의류 적용 요건을 모색하였다. 연구에서 제작구성, 즉 직물조직과 광섬유 밀도가 각각 다른 총 15개 유연 광섬유 직물 시료를 제작하여 각각의 휘도를 측정함으로써 발광특성을 분석하였고, 그 중에서 우수한 휘도를 나타낸 시료만을 대상으로 내구성 평가항목 중 인장강도와 신도를 측정하였다. 연구 결과 유연 광섬유 직물의 제작구성, 즉 직물조직과 광섬유 밀도(광섬유 대 폴리에스터 구성비의 밀도)에 따라 ‘주자직 2:1’, ‘주자직 3:1’ 및 ‘능직 2:1’, ‘능직 3:1’인 경우가 안전보호 기능을 위한 산악복 용도에 가장 적합한 발광효과와 강도를 지닌 것으로 나타났으며, 의류 적용 요건으로서 외곽선 부분을 웰딩(welding) 처리한 주머니(patch pocket) 구조를 제안함으로써 향후 유연 광섬유 직물 디스플레이 적용 스마트 포토닉 의류 디자인 연구에 있어 기초 자료로서 제공하였다.

한편 본 연구에서는 제작 후 측광가공 유연 광섬유 직물의 광섬유사 길이에 따른 특성과 광원 색체에 따른 특성을 분석, 평가하여 구체적인 디지털 컬러 의류의 적용 요건을 파악하였다.

### 3. 연구 방법

본 연구는 제작 후 측광에 의한 유연 광섬유 직물의 발광 특성을 위한 광섬유사의 길이와 광원 색체에 따른 유연 광섬유 직물의 발광효과를 측정하는 실험을 수행하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 광원 색채 3가지와 광섬유사의 길이에 따라 4가지의 시료를 대상으로 하여 휘도, 물리적, 지각적 가시도를 측정하였다. 휘도 측정 결과값으로 ‘순응휘도 대 물체휘도’에 대입하여 가시정도를 파악하였다. 그리

고 사람이 직접 경험하는 가시도를 알아보기 위해 지각적 가시도를 실시한 후, 의류 재료로서의 적합성을 파악하였다. 그 결과 디지털 컬러 의류에 적용 가능한 유연 광섬유 직물의 의류 적용 요건을 제시하였다.

### 3.1. 광섬유사 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 발광 특성 분석

유연 광섬유 직물의 발광특성의 측정 파라미터로서 휘도를 선정하였으며, 이는 휘도가 단위 면적당 광원으로 부터 방출되는 광도로서 주변 환경의 밝기에 영향을 받지 않는 개념이기 때문이다.

#### 3.1.1 시료

유연 광섬유 직물은 16종광 컴퓨터 도비 직기(AVL ComputerDobloom)와 CAD-CAW(Computer-Aided Weaving) 소프트웨어 프로그램인 Weave Point 6.4를 사용하여 주사직으로 제작되었다. 경사는 레이온 실크사(600D/480F), 위사는 제 1 위사는 직경 0.25mm인 유연 광섬유(LT전자)와 제 2 위사는 경사에서 사용한 것과 동일한 레이온 실크사(600D/480F)를 사용하였다. 시료로서, 경사×위사의 길이가 5cm씩 늘려가며 3cm×5cm, 3cm×10cm, 3cm×15cm, 3cm×20cm의 총 4가지 면적의 시료가 제작되었고 그 특성을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Specimens

Samples	Fabric Weave	Sample size	Fabric length	Number of POF
S5	Satin	3cm×5cm	5cm	90
S10		3cm×10cm	10cm	
S15		3cm×15cm	15cm	
S20		3cm×20cm	20cm	

#### 3.1.2. 휘도 측정

휘도 측정을 위한 기기로서 휘도계(Minolta CS-200)와 Data Management Software로서 CS-S10w Professional Ver.1.5(Konica Minolta)를 사용하여 휘도값(단위: cd/m<sup>2</sup>)을 측정하였다.

KS C 7613 기준에 의거하여 바닥면에서 1.5m인 높이에 측정 기준점을 설정하고, 그림 1과 같이 자체 제

작한 시료 고정대에 시료를 바닥 면과 수직 방향으로 배치하여 고정하였다. 휘도계의 측정각은 1°로 설정하였으며, 휘도계 렌즈와 시료 사이의 거리가 수평으로 2m인 지점에서 측정하였다. 주변 환경의 밝기에 따른 영향을 통제하기 위해 실험실 환경에서 휘도를 측정하였으며, 실험실 내 휘도는 0.02cd/m<sup>2</sup>인 암실상태를 유지하였다. 이 때, 유연 광섬유 직물의 광섬유 다발 부분은 한 묶음으로 하여 커넥터로 연결하였고, 광원으로 의류 내부에 휴대하기 편리한 경량, 소형의 3색 LED(모델명 KSI, 소비전력 0.24W(4.2V, 60mA), LED사이즈 5050칩)를 사용하였다.

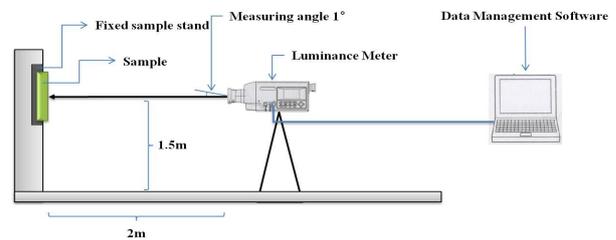


Figure 1. The Method of measuring the Luminance

휘도 측정점은 각 시료의 시작점으로부터 2cm 간격으로 측정하되 시작과 끝의 양끝은 제외하였다. 시료의 각 거리 대역별로 가장 밝은 지점을 설정하였으며, 평균화 측정(Averaging Measurement)을 실시하여 한 측정점에서 5회 연속으로 반복 측정한 후, 자동 산출된 5개의 측정값들의 산술평균을 최종적인 휘도값(단위: cd/m<sup>2</sup>)으로 사용하였다(그림 2).

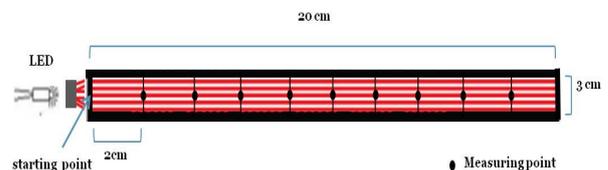


Figure 2. The Location of Luminance Measurement Points

### 3.2. 광섬유사 길이와 광원 색채에 따른 지각적 가시성 효과 분석

색채, 빛의 시감에 관한 이론(Fairchild, 1998)에 따르면, 색채의 물리적 특성과 사람이 감각기관을 통해

시각 지각하는 특성 간에는 차이가 존재한다.

이러한 근거 하에, 본 실험에서는 사람이 시각적으로 지각하는 4가지 시료의 발광 효과를 알아보기 위해 다음 실험을 수행하였다. 실험에 참가자들은 교정 시력 1.0의 20~30대 여성 피험자 5명을 대상으로 하였고, 4가지 시료를 피험자들에게 제시하고, 모든 시료들의 지각된 가시도를 평가하도록 하였다.

측정 환경은 원거리 실험이 가능한 실외 운동장으로 선정하였으며, 측정 시 주변 환경 휘도는 0.02cd/m<sup>2</sup> 내외로서, 이는 암실상태와 유사하였다. 이 때, 광원은 물리적 가시도 측정에 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다.

이를 위하여 시료와 피험자 간 거리(5m ~ 100m)를 5m 간격으로 나누고, 거리대역 별로 지각되는 밝기의 정도를 3점 순위형 척도(상·중·하)에 응답하도록 하였다. 이에 따른 상·중·하 점수는 ‘3점’, ‘2점’, ‘1점’으로 하였다.

이 때, 시료의 순서효과 및 피험자의 주관적 차이가 지각적 가시도에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 평가의 기준시료로서 중휘도 조명(dimmed lamp)을 각 피험자에게 먼저 제시한 후 무선휘도(randomized) 순서로 4가지 시료를 각 피험자에게 제시하여, 시료에 대한 지각적 가시도를 평가하게 하였다.

### 3.3. 유연 광섬유 직물의 의류 적용을 위한 적정성 평가

유연 광섬유 직물의 의류 적용을 위한 적정성 평가를 하기 위하여 다음과 같은 단계로 진행하였다.

첫째, 유연 광섬유 직물의 휘도, 물리적 가시도, 지각적 가시도 측정 결과를 교차 분석하였다. 둘째, 유연 광섬유 직물의 의류 재료 측면에서의 적정성을 분석하였다. 특히, 발광특성 파라미터인 휘도 측정 결과를 기반으로 의류 직물의 색채의 균질성에 준하는 발광 상태의 균일성을 평가하였다. 셋째, 유연 광섬유 직물의 휘도, 물리적 가시도, 지각적 가시도 결과 및 의류 재료로서의 적정성 분석을 통하여 의류 적용 방식을 도출하였다. 넷째, 유연 광섬유 직물의 의류 적용 방식을 통하여 적합한 의류 용도를 도출하였다.

## 4. 결과 및 논의

### 4.1. 광섬유사 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 발광특성

#### 4.1.1. 광섬유사의 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도

광섬유사의 길이에 따라 유연 광섬유 직물의 발광 특성에는 차이가 있었으며 측정점의 위치에 따라서도 그 발광 특성에는 차이가 있었다.

전반적으로 볼 때 유연 광섬유 직물에서의 광섬유사 길이가 길어질수록, 측정점 간의 휘도값의 차이는 줄어드는 경향을 보였다. 녹색 광원을 사용 시 측정점 위치에 따른 휘도차이가 가장 컸으나, 이러한 측정점 간의 큰 휘도 차이도 광섬유 길이가 길어짐에 따라 현격히 감소하였다.

광섬유사 길이 5cm인 유연 광섬유 직물에 있어, 특히 녹색 광원을 사용하였을 때 측정점의 위치에 따라 휘도에는 큰 차이가 있었다(그림 3). 한편, 적색 및 청색 광원을 유연 광섬유 직물의 광원으로 사용한 경우에는 모든 시료, 모든 측정점에서 전반적으로 저조한 휘도값을 나타내었다.

한편, 유연 광섬유 직물이 의류 재료로서 사용되기 위해서는 목표 색채가 의류 재료 상에서 정확히 구현되어야 하며, 동일한 의류 재료 상에서 목표 색채가 균일하게 구현되어야 한다(Kadolph, 1998). 이 중, 직물 색채 구현의 균일성 관점에서 평가할 때 본 연구의 4가지 시료 중에서 광섬유사 길이가 10cm인 유연 광섬유 직물이 적정성 기준을 가장 만족시킬 수 있는 것으로 사료되었다.

선행연구(김진선, 2010)의 제직 전 측광 가공된 유연 광섬유 직물에 비교할 때, 본 연구의 제직 후 측광 가공된 유연 광섬유 직물의 휘도는 훨씬 높은 것으로 나타났다. 김진선(2010)은 녹색 광원을 사용하고 직물 조직이 주사직이면서 광섬유 밀도(광섬유 대 폴리에스터 구성비의 밀도)에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도를 측정하였으며, 본 연구와의 비교를 위해 동일한 광섬유 가닥수로 환산한 결과, 광섬유 밀도에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도는 1:3(0.52cd/m<sup>2</sup>), 1:2(0.55cd/m<sup>2</sup>), 1:1(0.54cd/m<sup>2</sup>), 2:1(0.87cd/m<sup>2</sup>), 3:1(0.84cd/m<sup>2</sup>)였으며, 본 연구의 유연 광섬유 직물의 휘도는 S5(9.42cd/m<sup>2</sup>), S10(8.88cd/m<sup>2</sup>), S15(4.3cd/m<sup>2</sup>), S20(3.98cd/m<sup>2</sup>)으로, 본

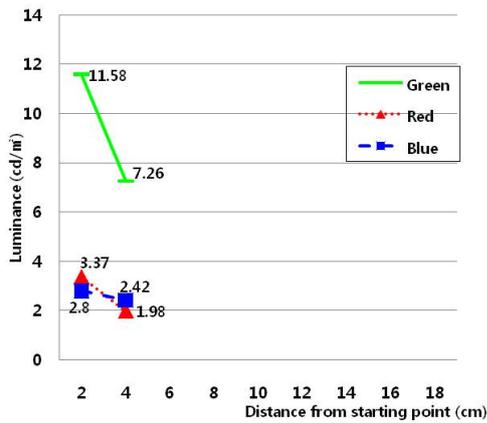


Figure 3. The Luminance Measurement of the POF-based Flexible Textile according to the Fabric Length and Color of the Light Source - 5cm

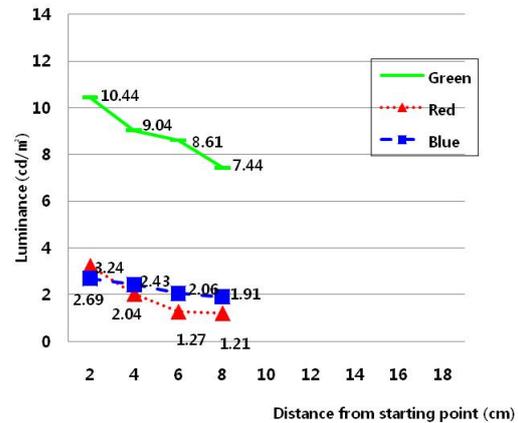


Figure 4. The Luminance Measurement of the POF-based Flexible Textile according to the Fabric Length and Color of the Light Source - 10cm

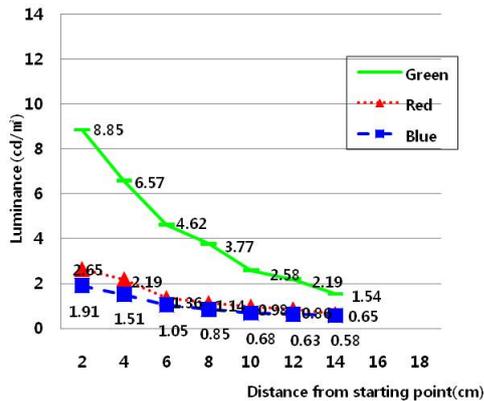


Figure 5. The Luminance Measurement of the POF-based Flexible Textile according to the Fabric Length and Color of the Light Source - 15cm

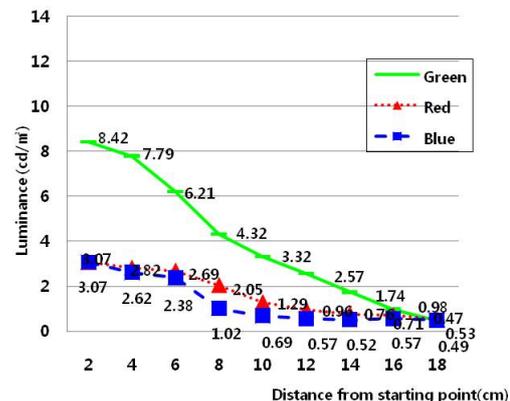


Figure 6. The Luminance Measurement of the POF-based Flexible Textile according to the Fabric Length and Color of the Light Source - 20cm

연구의 제작 후 측광 가공된 유연 광섬유 직물의 휘도는 훨씬 높은 것으로 나타났다(그림 3~6).

#### 4.1.2. 광섬유사의 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 물리적 가시도

본 실험의 휘도 측정 결과를 ‘물리적 가시도’로 해석하기 위하여 ‘순응휘도(adaptation luminance) 대 물체휘도(object luminance)’ 공간에 대입하였으며, 그 결과는 그림 7과 같다. 여기에서 순응휘도(adaptation luminance)란 유연 광섬유 직물과 인접한 배경의 휘도를 의미하며, 0.02cd/m<sup>2</sup>로, 이는 아무것도 보이지 않는 어두운 상태를 의미한다.

4개 유연 광섬유 직물 시료의 각 측정점별 휘도분

포(물체휘도; object luminance)는 0.47 cd/m<sup>2</sup> ~ 11.58 cd/m<sup>2</sup>까지의 값을 나타냈으며, 이는 식별이 쉽게 가능한 ‘물체가 구별되는 상태(Discrimination)’ 영역에 속하여, 이는 야간 등반 환경에서 타인으로부터 눈에 잘 띌 수 있을 정도의 발광효과를 지닌 것을 알 수 있었고, 전반적으로 4개 시료 모두 안전보호 기능의 산악복 용도에 적합한 광섬유 직물의 구조를 갖추었다고 볼 수 있다.

직물 시료의 각 측정점에 따른 산술평균의 휘도분포는 1.03cd/m<sup>2</sup> ~ 9.42cd/m<sup>2</sup>의 값을 나타내었다. 그 중에서 녹색 광원을 사용한 경우, 가장 우수한 가시도 효과를 나타냈다.

0.52cd/m<sup>2</sup> ~ 0.87cd/m<sup>2</sup>의 휘도 분포를 나타내었던 제작 전 측광 가공 방식을 사용한 선행연구와 비교해

을 때, 제직 후 측광 가공 방식의 4개 시료와 광원이 기본적으로 디지털 컬러 의류에 적합하였고 훨씬 향상된 발광효과를 보였다.

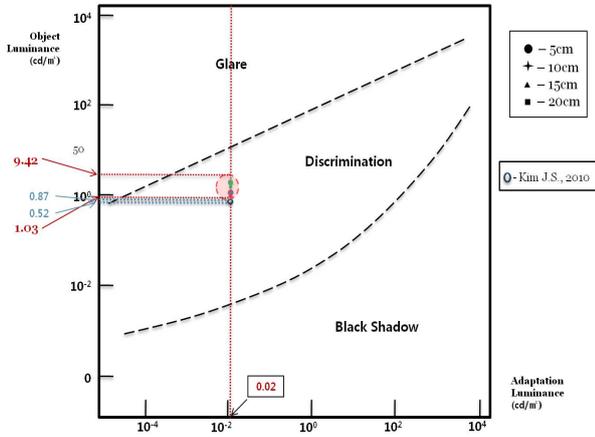


Figure 7. The Physical Visibility Effect of the pre and post treated POF-based Flexible Textile

#### 4.2. 광섬유사의 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 지각적 가시도 효과

광섬유사 길이와 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 지각적 가시도 결과, 광섬유사 길이는와는 관계없이 전반적으로 광원 색채에 따라 최대 가시거리가 일정한 현상을 보였으며, 가시거리는 녹색 광원일 때 최대값을 나타내었다(그림 8). 즉 녹색 광원을 사용하였을 때, 모든 시료에서 최대 가시거리가 100m 떨어진 지점까지 밝기가 인지되었다. 시료로부터 거리가 멀어짐에 따라 지각적 가시도는 ‘계단 현상’을 나타내며 낮아졌다.

녹색 광원을 사용 시, 100m까지 밝기가 인지되었고, 5m~25m 떨어진 지점에서 ‘고’, 30m~50m 떨어진 지점에서 ‘중’, 55m이후로는 ‘저’로 인지되었다. 적색 광원을 사용 시, 85m 떨어진 지점까지 밝기가 인지되었다. 5m~25m 떨어진 지점에서 가장 밝은 ‘고’, 35m 이상 떨어진 지점에서는 ‘중’, ‘저’로 인지하였다. 청색 광원을 사용 시, 55m 떨어진 지점까지 밝기가 인지되었고, 5m 떨어진 지점에서 가장 밝은 ‘고’, 10m~20m 떨어진 지점에서 ‘중’, 25m 떨어진 지점에서부터는 ‘저’로 인지되었다.

이상에서, 유연 광섬유 직물의 길이 4종 모두에서 녹색 광원을 사용한 경우의 가시거리가 가장 길게 나

타난 배경은 다음과 같다고 추론된다.

색채, 빛의 시감에 관한 이론에 따르면, 색채의 물리적 특성과 사람이 감각기관을 통해 시감 지각하는 특성 간에는 차이가 존재한다(Fairchild, 1998). 시감 자극의 색채에 대한 인간의 시지각 반응은 개인차가 있기 때문에 CIE는 표준적인 시감도를 정해놓고 있는데 이러한 비시감도곡선을 살펴보면, 인간 시각계의 특성상 녹색의 파장대(490~560nm)가 어두운 밤 환경에서 가장 높은 시감도를 나타낸다는 이론과 일치한다(IESNA, 2000).

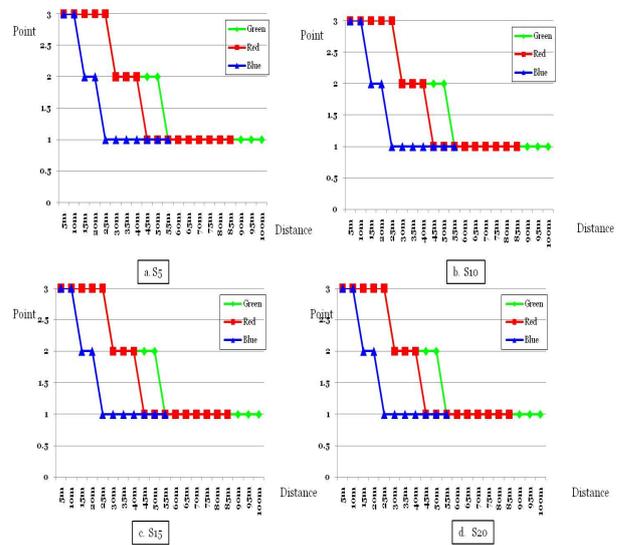


Figure 8. The Perceived Visibility Effect of the POF-based Flexible Textile according to the Fabric Lengths

유연 광섬유 직물 길이에 관계없이 가시거리가 ‘계단현상’을 나타낸 것은, 유연 광섬유 직물의 길이에 따른 가시정도를 측정하는 것이 아니라 거리에 따른 각 시료의 가시성 여부를 응답 받은 데에서 기인한 것으로 추론된다.

#### 4.3. 유연 광섬유 직물의 의류 적용 적정성 평가 결과

앞선 연구 결과에 따라 유연 광섬유 직물의 의류 적용을 위해서는 휘도, 물리적가시도, 지각적 가시도, 의류 재료의 적정성을 모두 만족시켜야 한다.

이에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도와 물리적 가시도의 결과 4가지 시료 모두 기본적으로 산악복 용도에 적합한 휘도를 나타내었다. 특히, 녹색 광원을 사

용하였을 때, S5(9.42cd/m<sup>2</sup>), S10(8.88cd/m<sup>2</sup>), S15(4.3cd/m<sup>2</sup>), S20(3.98cd/m<sup>2</sup>) 경우가 가장 우수한 발광효과의 조건인 것으로 분석되었다. 또, 시각적 가시도의 결과 녹색 광원을 사용한 경우, 모든 시료가 최대 가시거리가 100m로 적합하였다.

의류재료로서의 적정성 중 발광효과 측면에서 4개의 시료 모두 기본적으로 안전보호 기능의 산악복 용도에 적합한 휘도는 나타냈으나, 의류 재료의 측면에서 평가하였을 때 측정점 간의 휘도값 차이가 적으면서 직물 색채 구현에서의 얼룩 현상을 상대적으로 감소시킬 수 있는 10cm 시료가 가장 적합한 것으로 사료되었다.

따라서, 연구 결과 유연 광섬유 직물은 안전보호 기능의 산악복 용도로서 적용이 가능함을 알 수 있었고, 이를 의류에 적용 시에는 의류 재료의 적정성, 휘도, 물리적, 시각적 가시도 모두를 만족시키는 녹색 광원과 광섬유사 길이 10cm인 유연 광섬유 직물이 디지털 컬러 의류에 적용하기에 가장 적합한 시료라 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 제작 후 측광가공된 유연 광섬유 직물의 광섬유사 길이와 광원 색채에 따른 휘도, 물리적 가시도, 시각적 가시도와 의류 재료의 적정성을 분석, 평가하여 디지털 컬러 의류의 적용 적합성을 파악하였다. 그 결과 10cm 유연 광섬유 직물의 경우 안전보호 기능의 산악복 용도에 적합하였다.

선행연구의 제작 전 측광 가공된 유연 광섬유 직물에 비교할 때, 본 연구의 제작 후 측광 가공된 유연 광섬유 직물의 휘도는 훨씬 높은 것으로 나타났다.

이를 통해 유연 광섬유 직물을 산악복에 적용하기 위한 의류 재료로서의 적용 가능성을 제시하였으며, 내수성 유연 광섬유사 활용 기술의 범위를 넓히는데 그 의의가 있다. 또, 유연 광섬유 직물은 안전보호 기능 외에 목적에 따라 제작 방법을 다르게 함으로써, 소방복, 경찰복 등의 특수 유니폼이나 파티복, 응원복, 아동복, 일반 캐주얼 의류 등 의류 분야에서 다양하게 활용될 수 있을 것으로 예상되며, 카시트에 적용하여 자동차 분야에서도 응용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 유연 광섬유 직물 적용을 위한 범용적 스마트 포토닉 의류의 디자인 연구에 기여할 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- E. Deflin, V. Koncar, Weill and H. Vinchon. (2002). *Bright optical fibre fabric - a new flexible display*. Textile Asia.
- Hong, S. K. & Lee, J. H. (2007). *Method and Apparatus for Water-resisting Optical Fiber Yarn*(내수성 광섬유사 그 제조방법 및 장치), 10-2007-0071801. LT Electronics Co., LTD., Yonsei University Research.
- Illuminating Engineering Society of North America. (2000). *The IESNA Lighting Handbook*, Ninth Edition, IESNA.
- Ji, C. G., Jang, W. J., Yoe, I. S., Kim, H., Lee, J. W., Yeom, J. D., & Kim, S. G. (2008). *Principles of the latest lighting environment*(최신 조명환경 원론). woonmundang.
- Masuda Atsuji., Muurakami Tetsuhiko., Honda Keiichi., & Yamaguchi Shinji. (2006). Optical Properties of Woven Fabrics by Plastic Optical Fiber. *The Textile Machinery Society of Japan*. 52(3). 93-97.
- Mark, D. Fairchild. (1998). *Color Appearance Models*. Addison Wesley Longman Inc.
- N. A. Smith. (2000). *Lighting for Health and Safety*. Butterworth Heinemann.
- Peter, R. Boyce. (2003). *Human Factors in Lighting-Second edition*. Taylor&Francis.
- Shin, M. H. & Kim, J. p. (2010). *Introduction to LED Packaging Technology*(LED 패키징기술 입문). Bookshill.
- S. David Hughes. (1988). *Electrical System in Buildings*. Delmar Publishers Inc.
- Safa, J. Kadolph. (1998). *Quality Assurance for Textiles and Apparel*. Fairchild Publications, a division of ABC Media, Inc.
- Vladan Koncar. (2005). *Optical Fiber Fabric Display*. Optics & Photonics News.

원고접수 : 2011.07.06

수정접수 : 2011.10.06

게재확정 : 2011.11.07