

## 직물화 방식에 따른 유연 광섬유 직물 디스플레이의 광원 색채별 발광효과에 관한 연구

A study of Luminescence effects of POF-woven Fabric Display by Method of Weaving

양진희\* · 박선형\* · 조현승\*\* · 이주현\*†

Jin-Hee Yang\* · Sun-Hyung Park\* · Hyun-Seung Cho\*\* · Joo-Hyeon Lee\*†

\*연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

\*Department of Clothing & Textiles, Yonsei University

\*\*연세대학교 생활과학대학 심바이오틱라이프텍연구원

\*Symbiotic Life-tech Institute, Yonsei University

### Abstract

This paper reports on flexible plastic optical fiber (POF) fabric displays which are used to develop light-emitting clothing from photonic fabric. We first evaluated the luminescence value corresponding to different methods of processing flexible optical fibers, types of reflective fabric structure, and colors of the light. Moreover, we tried to identify the optimum conditions of the flexible POF fabric displays to realize high luminescence value. The processing methods that were compared were the "Pre-etching" method and the "Post-etching" method. On the basis of the reflective structure of the fabric, the fabrics were categorized as the "White fabric" and the "Reflective fabric." Analysis results showed that the effect of the processing method is more dominant than that of the types of reflective fabric structure. Further, the capability of the Post-etching method to increase luminescence value is slightly higher than that of the Pre-etching method. Further, the 'Reflective fabric' is slightly more efficacious as the base fabric to increase the luminescence value, than the White fabric is. Thus, optimum increase in luminance can be realized by employing the Post-etching method and the Reflective fabric as the base fabric.

**Key words** : POF-woven fabric display, weaving method, luminescence effects

### 요약

본 연구는 스마트 포토닉 의류 중 발광 의류에 적용될 수 있는 유연 광섬유 직물 디스플레이의 구현 방식을 고찰하였다. 유연 광섬유의 가공방법, 직물의 디스플레이 반사구조, 광원 색채에 따른 고유 휘도를 비교·분석하고, 이를 토대로 발광효과가 높은 광섬유 직물 디스플레이의 최적의 조건을 도출하고자 하였다. 광섬유 가공방법은 '직물화전 에칭(Pre-etching) 방법'과 '직물화후 에칭(Post-etching) 방법'을 비교하였고, 직물의 디스플레이 반사구조는 '백색 직물(White Fabric)'과 '재귀반사 직물(Reflective Fabric)'을 사용한 두 경우를 비교하

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다. (과제번호-2012-8-1176).

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 생활과학대학 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

FAX : 02-2123-8294

였다. 광원 색채는 RGB(Red, Green, Blue)의 휘도값을 비교함으로써, 유연 광섬유 가공방법과 배면소재에 따른 휘도값 차이를 광원 색채별로 비교·분석하였다. 분석 결과, 유연 광섬유의 가공방법과 직물의 디스플레이 반사구조의 두 직물화 방식의 변인 중 유연 광섬유의 가공방법이 직물의 디스플레이 반사구조보다 더 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 유연 광섬유의 가공방법 중에서는 ‘직물화후 에칭’ 방식이 ‘직물화전 에칭’ 방식보다 광섬유 직물의 발광효과를 높이는데 좀 더 주요한 것으로 나타났고, 직물의 디스플레이 반사구조에서는 전반적으로 ‘재귀반사 직물’ 배면이 ‘백색 직물’ 배면에 비해 유연 광섬유 직물의 발광효과를 높이는데 더 효과적인 것으로 나타났다. 유연 광섬유 직물 디스플레이의 발광효과를 높이기 위한 최적의 구현 조건은 유연 광섬유의 ‘직물화후 에칭’ 방식과 ‘재귀반사 직물’의 배면 배치가 조합되는 경우인 것을 알 수 있었다.

**주제어 :** 유연 광섬유 직물 디스플레이, 직물화 방식, 발광효과

## 1. 서론

스마트 포토닉 의류(Smart photonic clothing)는 스마트 의류의 일종으로 기기를 통해 빛을 발현하여 발광하는 기능을 지닌 모든 의류를 총칭하는 개념이다.

발광 의류는 스마트 포토닉 의류의 한 유형으로 색채, 발광체, 표시장치 등의 디지털 기술을 적용하여 의류의 색채를 제어함으로써 착용자의 감성을 시각화 할 수 있는 의류이다. 색채의 제어는 LED(Light Emitting Diode), OLED(Organic Light Emitting Diode), LD(Laser Diode) 등의 광원과 광전달 매체의 결합으로 발현되는 것으로, 전기적인 빛이 광전달 매체에 전달되어 빛을 내는 원리를 이용한다.

최근 발광 의류 분야에서는 LED와 유연 광섬유를 연결하여 직물 표면 전체에 발광 기능을 갖는 의류의 형태가 부각되고 있는 추세이다. 스마트 포토닉 의류를 구현하기 위한 포토닉 기술로 유연 광섬유(optical fiber)를 이용한 연구는 엔터테인먼트 기능, 커뮤니케이션 기능, 안전보호 기능 등 다양한 기능의 어플리케이션이 개발되어 왔다. 그러나, 유연 광섬유사를 적용한 스마트 포토닉 의류에 관한 연구와 이를 위한 유연 광섬유사의 발광효과에 관련된 연구가 미비한 실정이다. 또한 유연 광섬유사의 특성상, 구성조건에 따라 상이한 발광효과를 가진 직물이 발현될 수 있으므로 유연 광섬유 기반 직물 디스플레이 적용 의류의 연구를 위해서는 직물화 방식 및 요건에 관한 체계적인 연구가 요구된다.

본 연구의 목적은 유연 광섬유 직물 디스플레이의 구현 방식을 연구하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 첫째, 유연 광섬유의 가공방법, 직물의 디스플레이

고 이를 토대로 둘째, 발광효과가 높은 광섬유 직물 디스플레이의 최적의 조건을 도출하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 유연 광섬유의 직물화 동향

광섬유(optical fiber)란 석영 유리나 플라스틱 등의 투명한 유전체(誘電體)를 가늘고 길게 뽑아서 만든 섬유로서, 내원인 코어(core)와 외원인 클래드(clad)의 굴절률 차이를 통해 빛을 전달하는 원리로 작용한다(조길수, 2004), (그림 1).

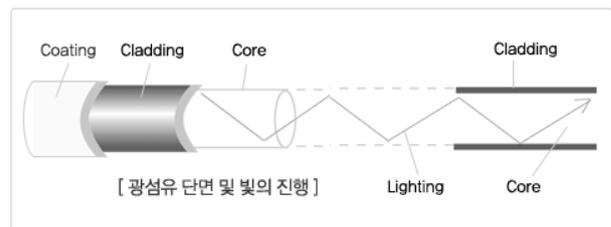


Figure 1. The principle of optical fiber  
CHARM LIGHTING. All Right Reserved.

광섬유 직물의 발광을 위해 필요한 기기 및 구성요소에는 광원인 LED(발광다이오드: Light Emitting Diode), 커넥터, 제어부, 전원부(배터리)가 있다. 커넥터는 LED로부터 방출된 빛이 광손실을 최소화하기 위해 LED와 광섬유 다발이 효율적으로 결합하도록 해주는 연결 장치이다. 제어부의 PCB(Printed Circuit Board)는 LED 켜리를 제어하기 위한 컨트롤러로서 전원 및 광원인 LED와 유선으로 연결되어 필요할 경우 장착 시킨다. 전원부는 광섬유 직물에 전류를 공급하기 위한 장치로서 다양한 종류가 사용될 수 있는데, 그 중에서도 충전형 리튬 폴리머 배터리가 주로 사용된다. 이와 같은 기기 및

이 반사구조, 광원 색채에 따른 고유 휘도를 분석하

구성요소들의 조합으로 광섬유 직물이 발광 기능을 갖게 된다(Vladan Koncar, 2005), (그림 2).

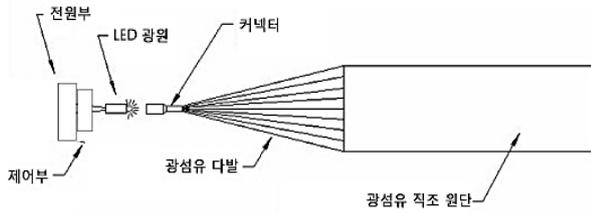


Figure 2. The component of optical fiber for light emitting

광섬유가 의류 소재로서의 충분한 기능을 발휘하기 위해서는 광섬유 굴곡 반경을 최소화하여 광손실을 줄일 수 있는 제직 또는 제편 기술이 적용되어야 한다. 또한 광섬유의 외곽을 통하여 빛이 고루 발산되어야 하는데, 이를 위한 방법으로는 두 가지가 있다. 첫째, 광섬유를 넣어 직물을 제직한 후 마이크로밴드(microband)를 형성시켜 광섬유의 미세 굴곡부를 통해 균일하게 빛이 방출될 수 있도록 조절하는 것이다(그림 3). 둘째, 에칭된 클래딩을 통해 빛이 방출하는 것으로, 이는 광섬유 클래딩의 마모 깊이를 조절하여 균일하게 빛이 발산되도록 하는 것이다(Masuda Atsuji et al., 2006), (그림 4).

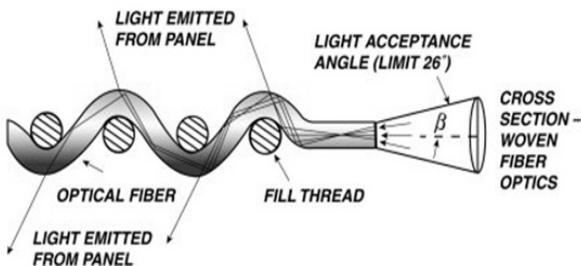


Figure 3. The mechanism of refraction in flexible POF LUMITEX. All Right Reserved.

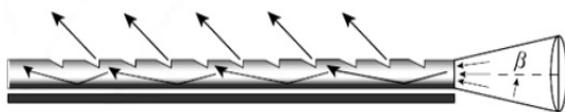


Figure 4. The mechanism of clad etching in flexible POF LUMITEX. All Right Reserved.

최근 스마트 의류 분야에서는 유연 광섬유를 통해 직

물에 발광효과를 부여하기 위한 기술개발이 이루어져왔다. 그 중에서도 플라스틱 광섬유(POF: plastic optical fiber)의 클래딩 에칭을 통해 빛을 방출하는 방법이 일반적으로 사용되고 있는데, 에칭에서 기인하는 내구성 저하로 인해 직물화가 어려울 뿐만 아니라 내수성도 결여되어 세탁 및 유지 관리에 있어 한계가 지적되어 왔다.

이러한 문제들을 극복하고자 에칭된 광섬유사의 표면에 합성수지를 코팅 처리하는 유연 광섬유 가공 기술인 ‘내수성 광섬유사, 그 제조 방법 및 장치(엘티전자, 연세대학교 산학협력단 공동출원, 특허출원번호: 08778403.9)’이 개발되었고, 이 기술을 응용·발전시켜으로써 다양한 용도의 직물 제품 제조가 가능하게 되었다.

본 연구에서 사용한 위의 유연 광섬유사는 스크래치면이 형성된 광섬유 원사의 표면에 합성수지를 코팅하여 내수성을 갖도록 함으로써 절단 및 훼손을 방지할 수 있고 세탁이 가능하다. 또한 0.25mm의 두께로 기존의 광섬유사에 비해 가늘고 유연하며, 내구성과 내수성이 향상되어 다양한 용도의 직물 제품에 적용될 수 있다.

유연 광섬유의 직물화 방식에는 도비 직기 또는 자카드 직기를 사용한 직조 방식과 컴퓨터 자수 기계를 사용한 자수 방식이 있다. 직조 방식에 관한 연구 중 직물 조직에 대한 연구를 살펴보면, 상기한 ‘내수성 유연 광섬유’를 직조한 유연 광섬유 직물은 직물 내의 광섬유 밀도가 동일할 때 주자직, 능직, 평직의 순으로 직물 색채 구현성이 높은 것으로 보고되었다(김진선, 2010).

또 다른 직조 방식에 관한 연구로 직물 길이에 따른 광섬유 직물의 휘도 측정 실험에 따르면, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm의 총 4가지 시료 중 10cm 길이의 시료가 의류 재료의 적정성, 휘도, 물리적, 지각적 가시도 모두를 만족시키는 것으로 나타났다. 즉, 10cm 시료가 의류 재료의 측면에서 평가하였을 때 측정점 간의 휘도값 차이가 적으면서 직물 색채 구현에서의 얼룩 현상을 상대적으로 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다(양은경, 2011).

한편 자수 방식을 채택한 스마트 의류용 유연 광섬유 로고 디자인 연구에 따르면, 60° 이하의 유연 광섬유 자수 각도에서는 각도가 작아질수록 각도 시작점에서 양쪽으로 각각 2cm 측정점까지가 가장 밝게 보이는 경향이 나타났다. 8cm~16cm 길이와 80°~100°

각도인 조건에서 유연 광섬유 자수는 적절한 휘도를 유지하면서 비교적 고른 밝기 특성을 나타내어 의류용 로고 디자인에 적합한 것으로 분석되었다. 100° 이상의 각도 변화는 빛이 고르게 퍼지는 대신, 전반적인 휘도가 떨어지며 각도의 벌어짐이 커 의류용 로고 디자인에는 부적합한 것으로 보고되었다. 이상의 각도에 따른 휘도 결과를 토대로 'C, I, N, O, S'의 6개의 알파벳의 밝기 특성을 도출하고 유연 광섬유 자수를 적용한 스마트 의류용 로고 디자인의 사례를 제시하였다(김남희, 2012).

유연 광섬유사를 적용한 또 다른 자수 방식의 연구인 3색 LED와 유연 광섬유를 적용한 의류용 로고 디자인 연구에서는 안정적으로 고른 밝기를 유지하는 유연 광섬유 자수의 길이 및 각도의 조건을 도출하여 알파벳 형태소를 디자인하였다. 길이와 각도의 영향을 받는 각 알파벳 형태소의 고휘도와 저휘도를 구분하여 영문자 간의 밝기 균형을 맞추고자 하였다(신혜영, 2013).

## 2.2. 휘도

유연 광섬유 직물의 발광 정도를 측정하는 지표로는 휘도(luminance) 및 조도(illuminance)가 있다. 본 실험에서 채택한 휘도란 특정 방향으로 표면의 단위면적당 광원으로부터 방출되는 광도를 의미하며, 단위로서  $\text{cd}/\text{m}^2$ 를 사용한다(Smith, 2000). 광도(luminous intensity)란 특정 방향에서 입체각(solid angle) 단위당 방출되는 광속(luminous flux), 즉 빛의 총량을 의미한다. 휘도는 어떤 방향의 광도를 그 방향으로의 투영면적으로 나눈 값으로 다음과 같이 표시한다(장우진, 2008).

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

(I: 어느 방향의 광도, S': 어느 방향의 투영면적)

## 2.3. 재귀반사 직물

재귀반사는 빛의 반사 형태 중에 확산반사, 거울면 반사와는 달리 반사광을 빛의 입사방향과 평행하게 반사하는, 즉 빛을 원래방향으로 반사하는 특성을 가진다. 조사광원의 근처에서 보면 반사재가 광원처럼 빛나므로 물체가 멀리서도 명확히 인식된다. 재귀반사 직물을 제조하기 위한 가공법은 표면에 유리구 등의 반사체를 부착하여 반사광의 경로를 입사광의 경

로와 같도록 해주는 방법이다. 재귀반사 직물은 주로 야간도로 등 교통사고를 방지하기 위한 장소에 사용되기도 하고 노인, 어린이 및 공사작업자의 안전을 위해 사용되기도 한다(조길수, 2004).

## 3. 연구방법

### 3.1. 연구의 절차와 방법

#### 3.1.1. 실험 설계

유연 광섬유의 직물화를 위한 주요 변인은 광섬유 가공방법과 배면소재 사용여부이다. 광섬유 가공방법은 실 상태의 유연 광섬유를 에칭 한 후 직물화하여 광섬유의 모든 부위가 발광하는 '직물화전 에칭(Pre-etching) 방법'과 실 상태의 유연 광섬유를 직물화 한 후 직물의 발광부위에만 부분 에칭을 하는 '직물화후 에칭(Post-etching) 방법'으로 나뉜다. 한편 배면소재 변인은 광섬유 직물의 아래층에 제 2 레이어를 설치하여 반사효과를 일으키는 방식을 의미하며, 본 연구에서는 배면소재로서 '백색 직물(White Fabric)'과 '재귀반사 직물(Reflective Fabric)'을 사용한 두 경우를 비교하였다. 광원 색채는 RGB(Red, Green, Blue)의 3가지 색채로 구성하여 휘도값을 비교함으로써, 유연 광섬유 가공방법과 배면소재에 따른 휘도값 차이를 3개 광원 색채별로 비교 분석하였다.

#### 3.1.2. 시료

시료의 경사는 레이온 50%, Silk Acryl 50%의 혼용 툴로 90데니어 2합의 레이온사를 사용하였고 위사는 직경 0.25mm인 유연 광섬유사를 사용하였다. 직물조직은 위사주자직으로 경사 1올에 광섬유사 3올의 1:3 비율로 제작되었다. 시료의 가로방향 길이는 10cm, 세로방향 길이는 2.5cm이다(그림 5).

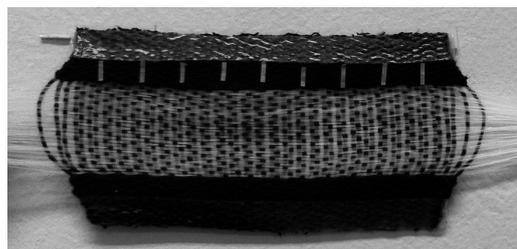


Figure 5. Sample

시료의 유형은 표 1에서와 같이 광섬유 가공방법(2가지) 및 배면소재(2가지)에 따라 총 4가지(2×2)로 구성되었다. 배면소재의 세부 사양은 표 2와 같다.

Table 1. Types of sample

Methods of weaving		Backside fabric <sup>b)</sup>	
		White fabric	Reflective fabric
Etching method of flexible POF <sup>a)</sup>	Pre-etching	Pre-WF	Pre-RF
	Post-etching	Post-WF	Pre-RF

a) Post(Post-etching), Pre(Pre-etching),  
b) WF(White fabric), RF(Reflective fabric)

Table 2. Specifications of backside fabric

Backside fabric	White Fabric	Reflective Fabric
Component	Cotton	Polyester
Weave construction	Plain	Plain
Density (wrap × weft/cm <sup>2</sup> )	28 × 31	42 × 34
Thickness(mm)	0.236	0.211
Weight(g/m <sup>2</sup> )	1.691	1.512

### 3.1.3. 광원

광원은 RGBW(Red, Green, Blue, White)의 총 4가지 LED를 사용하였다. 이 광원은 RGB 및 RGB의 혼합색채인 W(White)까지 4개 색이 표현 가능한 칩 타입으로 광원의 세부 사양은 표 3과 같다.

Table 3. Specifications of the light source

Light source	크기	전압	전류	휘도	배광각
R	5.2mm × 5.2mm	2.2V	20mA	680mcd	120°
G	5.2mm × 5.2mm	3.3V	20mA	1400mcd	120°
B	5.2mm × 5.2mm	3.3V	20mA </td <td>400mcd</td> <td>120°</td>	400mcd	120°

### 3.1.4. 측정 방법

측정기기는 휘도계(Minolta CS-200)와 Data Management Software용 CS-S10w Professional Ver.1.5(Konica Minolta)를 사용하여 휘도값(단위: cd/m<sup>2</sup>)을 측정하였다(그림 6). 측정은 1초마다 5번 측정 후 자동으로 평균값을

산출하는 KS C 7613 방법을 실시하였으며, 실험실 내 휘도는 약간 어두우나 시각적으로 물체 식별이 가능한 정도인 2.83cd/m<sup>2</sup>를 유지하였다. 광원의 색채는 Red, Green, Blue의 3가지였고, 측정점은 시료의 가로방향으로 위, 아래를 등분한 정중앙의 선 위에 2cm 간격으로 5개점의 점을 마킹하였다. 광원 반대쪽 끝부터 1cm 지점을 no.1, 3cm 지점을 no.2, 5cm 지점을 no.3, 7cm 지점을 no.4, 9cm 지점을 no.5로 지정하였다(그림 7).

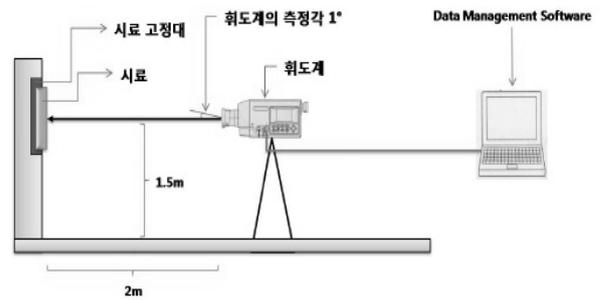


Figure 6. Method of luminance measurement

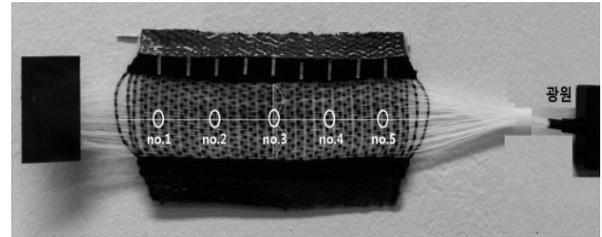


Figure 7. Measuring points

## 3.2. 자료 분석

자료 분석은 직물화 요건에 따른 유연 광섬유 직물의 발광효과를 휘도값(cd/m<sup>2</sup>)을 통하여 비교하였으며, 이러한 비교를 통해 가장 높은 발광효과를 보이는 유연 광섬유 직물의 직물화 방식을 도출하였다. 이를 위해 각 직물화 요건에 따른 유연 광섬유 직물의 휘도값의 산술평균을 산출하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 3개 광원 색채에 따른 유연 광섬유 직물의 발광효과

#### 4.1.1. Red 광원 사용시의 발광효과

‘직물화전 에칭(Pre)’이란 실 상태의 유연 광섬유를 에칭 한 후 직물화하여 광섬유의 모든 부위가 발광하도록 하는 방식을 의미한다. 한편 ‘직물화후 에칭(Post)’이란 실 상태의 유연 광섬유를 직물화 한 후 직물화된 부위에만 에칭을 하는 방식을 의미한다. 3개 광원 중 중간 정도의 휘도인 Red 광원의 경우 그림 8에 제시된 바와 같이 이들 두 가지 가공방법에 따른 측정점별 휘도를 비교한 결과, ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)가 ‘직물화전 에칭(Pre)’을 적용한 두 경우(Pre-RF, Pre-WF)에 비하여 전반적으로 더 높은 휘도값을 나타내었다.

또한 광섬유 직물의 아래층에 설치한 배면소재의 두 종류인 ‘백색 직물(WF)’과 ‘재귀반사 직물(RF)’의 발광효과를 비교해본 결과, ‘직물화후 에칭’의 경우에는 ‘재귀반사 직물(RF)’을 배면한 경우의 측정점별 휘도가 ‘백색 직물(WF)’을 배면한 경우에 비하여 전반적으로 더 높은 휘도값을 나타내었다. 그러나 ‘직물화전 에칭’의 경우에는 ‘백색 직물(WF)’ 배면 경우의 4 개 측정점에서 ‘재귀반사 직물(RF)’ 배면 경우에 비해 더 높은 휘도값을 보였다(그림 8).

각 직물화 조건별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, ‘직물화후 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Post-RF) (5.12cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화후 에칭’×‘백색 직물 배면’(Post-WF) (4.27cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화전 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Pre-RF)(2.77cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화전 에칭’×‘백색 직물 배면’(Pre-WF)(2.17cd/m<sup>2</sup>)의 순위로 높은 휘도값을 보였다.

이상을 통해 볼 때 본 연구의 두 독립변인 중 유연 광섬유 직물의 발광효과에 더욱 지배적인 영향을 미친 요인은 유연 광섬유의 가공방법인 것으로 분석되었다.

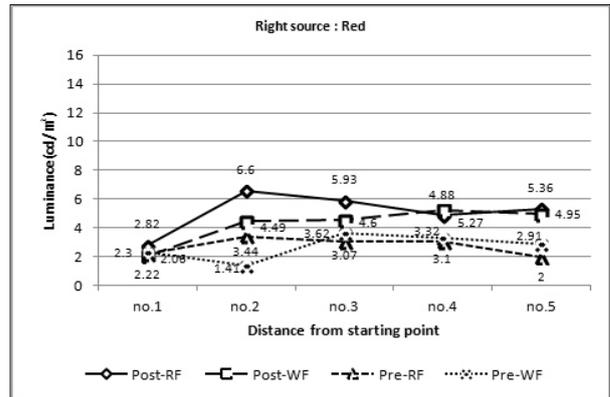


Figure 8. Effect of the luminance values by methods of weaving when the red light source(unit: cd/m<sup>2</sup>)

Post-RF(Post-etching × Reflective Fabric), Post-WF(Post-etching × White Fabric), Pre-RF(Pre-etching × Reflective Fabric), Pre-WF(Pre-etching × White Fabric)

#### 4.1.2. Green 광원 사용시의 발광효과

가장 고휘도인 Green 광원의 경우 직물화 조건별 발광효과를 비교한 결과, Red 광원과 마찬가지로 ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)가 나머지 ‘직물화전 에칭(Pre)’을 적용한 두 경우(Pre-RF, Pre-WF)에 비하여 전반적으로 더 높은 휘도값을 나타내었다(그림 9).

또한 광섬유 직물의 아래층에 설치한 배면소재의 두 종류인 ‘백색 직물(WF)’과 ‘재귀반사 직물(RF)’의 발광효과를 비교해본 결과, ‘직물화후 에칭’의 경우에는 Red 광원과 마찬가지로 ‘재귀반사 직물(RF)’을 배면한 경우의 측정점별 휘도가 ‘백색 직물(WF)’을 배면한 경우에 비하여 전반적으로 더 높은 휘도값을 나타내었다. 그러나 ‘직물화전 에칭’의 경우에는 상호작용이 나타나 ‘백색 직물(WF)’ 배면이 3개 측정점에서 ‘재귀반사 직물(RF)’ 배면에 비해 더 높은 휘도값을 보였다(그림 9).

각 직물화 조건별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, ‘직물화후 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Post-RF) (8.48cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화후 에칭’×‘백색 직물 배면’(Post-WF) (6.47cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화전 에칭’×‘백색 직물 배면’(Pre-WF) (4.85cd/m<sup>2</sup>), ‘직물화전 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Pre-RF)(4.82cd/m<sup>2</sup>)의 순위로 높은 휘도값을 보였다.

본 연구의 두 독립변인 중 유연 광섬유 직물의 발광효과에 더욱 지배적인 영향을 미친 요인은 Red 광원과 마찬가지로 유연 광섬유의 가공방법인 것으로 분석되었다.

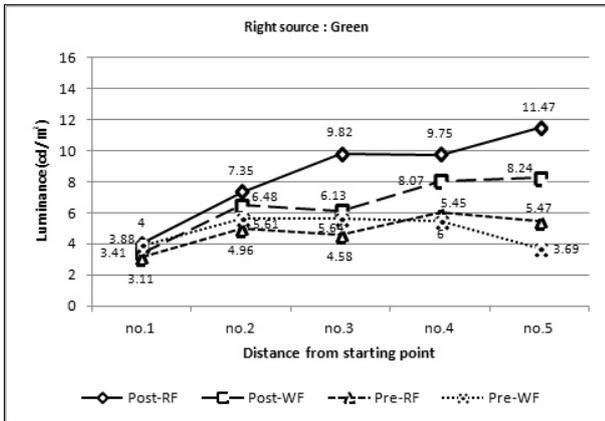


Figure 9. Effect of the luminance values by methods of weaving when the green light source(unit:  $cd/m^2$ )

Post-RF(Post-etching × Reflective Fabric), Post-WF(Post-etching × White Fabric), Pre-RF(Pre-etching × Reflective Fabric), Pre-WF(Pre-etching × White Fabric)

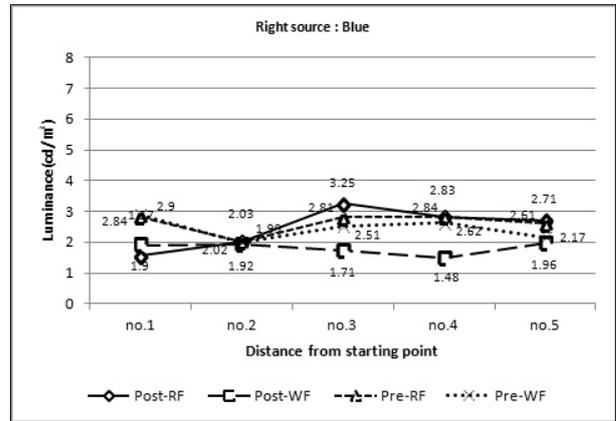


Figure 10. Effect of the luminance values by methods of weaving when the blue light source(unit:  $cd/m^2$ )

Post-RF(Post-etching × Reflective Fabric), Post-WF(Post-etching × White Fabric), Pre-RF(Pre-etching × Reflective Fabric), Pre-WF(Pre-etching × White Fabric)

#### 4.1.3. Blue 광원 사용시의 발광효과

가장 휘도가 낮은 Blue 광원의 경우 광섬유 직물 디스플레이는 최소  $1.48cd/m^2$  ~ 최대  $3.25cd/m^2$  정도로 낮은 휘도를 나타내었다. Blue 광원의 직물화 요건별 발광효과를 비교한 결과, ‘직물화후 에칭(Post)’과 ‘직물화전 에칭(Pre)’의 두 가공방법에 의한 광섬유 직물 디스플레이의 휘도간에는 주목할 만한 차이가 나타나지 않았다(그림 10).

또한 ‘백색 직물(WF)’ 배면과 ‘재귀반사 직물(RF)’ 배면에 의한 휘도간의 차이도 나타나지 않았다. 이는 Red 및 Green 광원과는 다른 결과이며, 그 이유는 Blue 광원의 원 휘도가 Red 및 Green 광원의 원 휘도에 비하여 상대적으로 매우 낮은 데에 기인한 현상으로 추정된다(표 3).

다시 말하여 Blue 광원의 휘도가 상대적으로 낮았으므로, 광원으로부터 발생한 빛이 유연 광섬유 내의 굴절 현상을 통해 직물 표면으로 새어나오는 광량도 매우 적었으며, 이러한 적은 광량은 직물화 요건에 따른 휘도값의 차이로 반영되기에 부족한 것으로 추측된다(그림 10).

#### 4.2. 직물화 요건에 따른 유연 광섬유 직물의 발광효과

##### 4.2.1. Post-RF 요건의 발광효과

‘직물화후 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Post-RF) 요건의 광원 색채별 발광효과를 분석한 결과, 가장 높은 휘도를 보인 광원 색채는 Green이었으며, Red, Blue 광원이 그 뒤를 이었다(그림 11).

각 광원 색채별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, 측정점별 휘도 결과와 마찬가지로 Green( $8.48cd/m^2$ ), Red( $5.12cd/m^2$ ), Blue( $2.48cd/m^2$ )의 순위로 높은 휘도값을 보였다.

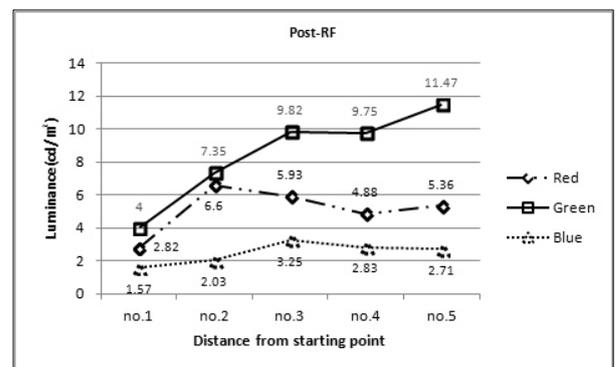


Figure 11. Effect of the luminance values by the color of light source in the condition of Post-RF(unit:  $cd/m^2$ )

Post-RF(Post-etching × Reflective Fabric)

4.2.2. Post-WF 요건의 발광효과

‘직물화후 에칭’×‘백색 직물 배면’(Post-WT) 요건의 광원 색채별 발광효과를 분석한 결과, ‘직물화후 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Post-RF) 요건과 마찬가지로 가장 높은 휘도를 보인 광원 색채는 Green이었으며, Red, Blue 광원이 그 뒤를 이었다(그림 12).

각 광원 색채별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, 측정점별 휘도 결과와 마찬가지로 Green(6.47cd/m<sup>2</sup>), Red(4.27cd/m<sup>2</sup>), Blue(1.79cd/m<sup>2</sup>)의 순위로 높은 휘도값을 보였다.

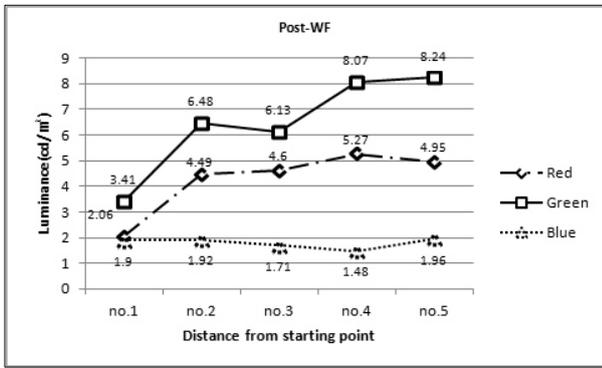


Figure 12. Effect of the luminance values by the color of light source in the condition of Post-WF(unit: cd/m<sup>2</sup>)  
Post-WF(Post-etching × White Fabric)

4.2.3. Pre-RF 요건의 발광효과

‘직물화전 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Pre-RF) 요건의 광원 색채별 발광효과를 분석한 결과, ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)와 마찬가지로 가장 높은 휘도를 보인 광원 색채는 Green으로 나타났다. 그러나 광원의 시작점과 끝점에서 Blue 광원의 휘도가 Red 광원보다 높게 나타나 ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)(그림 11, 12)와는 차이를 보였다(그림 13).

각 광원 색채별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, Green(4.82cd/m<sup>2</sup>), Red(2.77cd/m<sup>2</sup>), Blue(2.62cd/m<sup>2</sup>) 광원의 순위로 높은 휘도값을 보였으나, ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)(그림 11, 12)에 비해 Red와 Blue 광원간 산술평균기준 휘도값의 차이가 비교적 작게 나타났다.

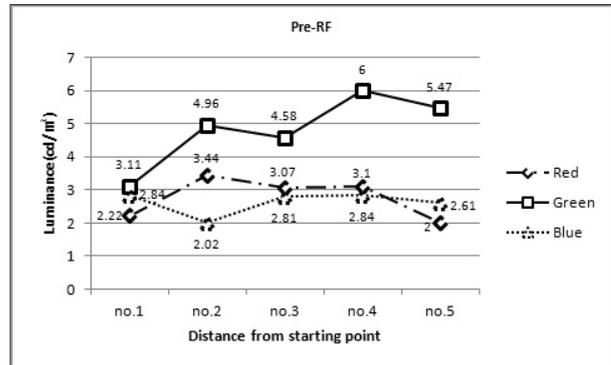


Figure 13. Effect of the luminance values by the color of light source in the condition of Pre-RF(unit: cd/m<sup>2</sup>)  
Pre-RF(Pre-etching × Reflective Fabric)

4.2.4. Pre-WF 요건의 발광효과

‘직물화전 에칭’×‘백색 직물 배면’(Pre-WT) 요건의 광원 색채별 발광효과를 분석한 결과, ‘직물화후 에칭(Post)’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)(그림 11, 12)와 ‘직물화전 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Pre-RF)(그림 13) 요건과 마찬가지로 가장 높은 휘도를 보인 광원 색채는 Green으로 나타났다. 3개의 측정점에서 Blue 광원의 휘도가 Red 광원의 휘도보다 더 높은 값을 보여 ‘직물화후 에칭’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)(그림 11, 12)와는 차이를 보였다(그림 14).

각 광원 색채별 휘도의 산술평균을 기준으로 볼 때, Green(4.85cd/m<sup>2</sup>), Blue(2.91cd/m<sup>2</sup>), Red(2.71cd/m<sup>2</sup>) 광원의 순위로 높은 휘도값을 보였다. ‘직물화후 에칭’을 적용한 두 경우(Post-RF, Post-WF)(그림 11, 12)와 ‘직물화전 에칭’×‘재귀반사 직물 배면’(Pre-RF)(그림 13)의 직물화 요건과는 Blue, Red 광원의 휘도에 있어서 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다.

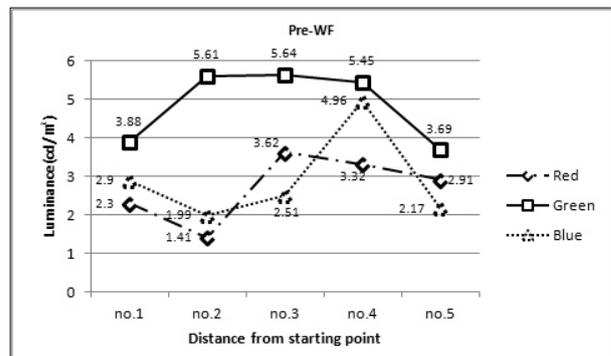


Figure 14. Effect of the luminance values by the color of light source in the condition of Pre-WF(unit: cd/m<sup>2</sup>)  
Pre-WF(Pre-etching × White Fabric)

## 5. 결론

본 연구에서는 유연 광섬유의 가공방법, 직물의 디스플레이 반사구조, 광원 색채에 따른 고유 휘도를 비교·분석하였다. 광섬유 직물 디스플레이의 발광효과를 높이기 위한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 유연 광섬유의 가공방법과 직물의 디스플레이 반사구조의 두 직물화 방식의 변인 중 유연 광섬유의 가공방법이 직물의 디스플레이 반사구조보다 더 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 Green과 Red 광원에서는 관찰된 이 같은 경향은 Blue 광원의 경우에는 발견되지 않았다. 이는 Blue 광원의 원 휘도가 Red 및 Green 광원의 원 휘도에 비하여 상대적으로 매우 낮기 때문인 것으로 사료된다. 또한 유연 광섬유의 가공방법 중에서는 ‘직물화후 에칭’ 방식이 ‘직물화전 에칭’ 방식보다 광섬유 직물의 발광효과를 높인데 좀 더 주요한 것으로 나타났다.

둘째, 직물의 디스플레이 반사구조에서는 전반적으로 ‘재귀반사 직물’ 배면이 ‘백색 직물’ 배면에 비해 유연 광섬유 직물의 발광효과를 높인데 더 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 Green 광원의 ‘직물화전 에칭’ 방식 경우에는 부분적으로 상호작용이 나타나 산술평균값을 기준으로 ‘백색 직물’ 배면이 ‘재귀반사 직물’ 배면에 비해 더 높은 휘도값을 보였다. 한편 Blue 광원을 사용한 경우에는 직물의 디스플레이 반사구조에 따른 휘도 차이를 보이지 않았다.

셋째, ‘직물화후 에칭’ 방식의 경우는 Red, Green, Blue 3개 광원 전반에 걸쳐, 광원의 원 휘도가 광섬유 직물 휘도에 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 ‘직물화전 에칭’ 방식을 적용한 경우에는 고휘도인 Green 광원의 영향은 유지되었으나, Red, Blue 광원의 휘도차이는 유연 광섬유 직물 디스플레이에서는 크게 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다. ‘직물화전 에칭’ × ‘백색 직물 배면’ 요건의 경우에 산술평균값 기준으로 Blue 광원의 휘도가 Red 광원의 휘도보다 더 높은 값을 보였다.

본 연구를 통하여 유연 광섬유 직물 디스플레이의 발광효과에 더욱 지배적인 영향을 미친 요인은 유연 광섬유의 가공방법이었고, 유연 광섬유 직물 디스플레이

의 발광효과를 높이기 위한 최적의 구현 조건은 유연 광섬유의 ‘직물화후 에칭’ 방식과 ‘재귀반사 직물’의 배면 배치가 조합되는 경우인 것을 알 수 있었다.

본 연구의 의의는 유연 광섬유를 적용한 직물 디스플레이의 구현 조건을 연구함으로써 발광기능 스마트 포토닉 의류 영역의 응용 자료를 제시한 것에 있다.

## REFERENCES

- Alex Ryer. (1998). *Light Measurement Handbook*. International Light Inc.
- Charm Lighting(<http://www.charmlight.com>). (2013). The principle of optical fiber. *CHARM LIGHTING*. All Right Reserved.
- Cho, G. S. (2004). *The latest in clothing textile*. Publisher, Sigma Press All Right Reserved.
- Gemperle, K., Kasabach, C., Stivorc, I., Bauer, M., Martin, R. (1998). Design for Wearability. *The Second International Symposium on Wearable Computer, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society*, 116-122.
- Hatcher, M. (2002). *Fiber-optic dress goes down the aisle*. Optics.org
- Hong, S. K., Lee, J. H. (2007). Method and Apparatus for Water-resisting Optical Fiber Yarn. *Patent Number 08778403.9*. LT Electronics Co, Office of Research Affairs, Yonsei University, All Right Reserved.
- Kim, J. S. (2010). An Exploratory Study on the Digital Display Clothing based on the POF-woven Fabric. *Yonsei University Graduate School Department of Clothing and Textiles, Master's Thesis*.
- Kim, N. H. (2012). A study for logo design of smart clothing based on the flexible plastic optical fiber technology. *Yonsei University Graduate School Department of Clothing and Textiles, Master's Thesis*.
- Lee, S. J., Kim, J. W. (2007). An Experimental Study on the Impacts of Luminance Contrast Upon Readability in VDT Environments. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(2), 21-33.
- Lumitex(<http://www.lumitex.com>). (2013). The mechanism of the flexible POF. *LUMITEX*. All Right Reserved.
- Masuda Atsuji, Muurakami Tetsuhiko, Honda Keiichi, Yamaguchi Shinji. (2006). Optical Properties of Woven Fabrics by Plastic Optical Fiber. *Journal of*

*Textile Engineering*, 52(3), 93-97.

N.A. Smith. (2000). *Lighting for Health and Safety*. Butterworth Heinemann.

Peter R. Boyce. (2003). *Human Factors in Lighting Second edition*. Taylor & Francis.

Rantanen, J., Impio, I., Karinsalo, T., Malmivaara, M., Reho, A., Tasanen, M., Vanhala, J. (2002). Smart Clothing Prototype for the Arctic Environment. *Personal and Ubiquitous Computing* 6, 3-16.

Sin, H. Y. (2013). A study of logo design for clothing that applied 3 color LED and flexible POF. *Yonsei University Graduate School Department of Clothing and Textiles, Master's Thesis*.

Vladan Koncar. (2005). *Optical Fiber Fabric Display*.

*Optics & Photonics News*.

Woo-Jin Chang et al. (2008). *Principles of the latest luminous environment*. Publisher, Munundang All Right Reserved.

Yang, E. K. (2011). The characteristics of the flexible POF-based fabric for application of an mountaineer jacket with digital color function. *Yonsei University Graduate School Department of Clothing and Textiles, Master's Thesis*.

원고접수: 2013.09.23

수정접수: 2013.12.19

게재확정: 2013.12.24