

플라스틱 광섬유를 이용한 조명시스템 개발과 특성 분석

(Development and Performance Property Investigation of Lighting System using Plastic Optical Fiber)

신상욱* · 이진우**

(Sang-Uk Shin · Chin-Woo Yi)

Abstract

Compared to general lighting method, the lighting system that uses optic fiber can provide only the visible light of good quality to subject by eliminating ultraviolet ray and infrared ray. Thanks to this merit, it is possible to prevent the hard phenomenon of subject caused by ultraviolet ray and infrared ray and to provide the agreeable light environment. This study developed indoors illumination system of high color rendering on the basis of plastic optic fiber with excellent optical property and processing to substitute halogen lamp which has been used for excellent color rendering in spite of low efficiency and short life. Producing pilot product of the designed illumination system and evaluating the property of electric and optical property, ultraviolet ray radiation quantity and temperature property, this study verified the excellence of suggested lighting system of plastic optic fiber.

Key Words : Plastic Optical Fiber, Metal Halide Lamp, Light Guide, Lighting Fixture, Lens

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 광섬유(optical fiber)의 우수한 특징점으로 인해 교통표지판, 박물관 조명 등 실내외 조명분야에 대한 활용이 크게 높아지고 있다.

특히 유리 광섬유(glass optical fiber)를 대체하여

우수한 광학적 특성과 가공성을 보이는 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber)는 새로운 素材로 빛의 세계를 창조한다.

광섬유를 이용한 조명시스템은 원격조명(remote-source lighting)의 대표적인 방식이다. 원격조명방식은 광원에서 멀리 떨어져 있는 장소에 빛을 전달하는 것으로 광섬유 이외에도 옵티컬 필름(optical light film)을 활용한 LPS(light pipe system) 등이 있다[1].

일반적으로 건축조명 분야에서 광섬유를 사용하는 경우 광원과 광섬유 끝단까지의 거리가 10~50[m] 정도가 되므로 설치의 용이성이 요구된다. 플라스틱 광섬유가 이에 대한 충분한 장점을 제공해 줄 것이다.

* 주저자 : 한국조명연구원 책임연구원
** 교신저자 : 호서대학교 전기정보통신공학과 교수
Tel : 041-540-5655, Fax : 041-540-5693
E-mail : light@hoseo.edu
접수일자 : 2010년 10월 4일
1차심사 : 2010년 10월 20일, 2차심사 : 2010년 11월 11일
심사완료 : 2010년 12월 7일

1.2 연구의 목적 및 방법

과거에 광섬유를 이용한 조명기구에 대한 개발과 특성 분석에 관한 연구가 활발히 진행되었던 적이 있었다.

광섬유를 이용한 조명분야의 기존 연구에서는 유리 광섬유(glass optical fiber)를 단품(single mode)한 단순한 경관조명이나 미적 감각을 살린 조명작품 등의 포인트 조명에 국한되어 왔다[9-10].

본 연구에서는 풍부한 광량과 연색성이 우수한 세라믹 메탈헤라이드램프와 높은 광전송율 및 시공성이 우수한 플라스틱 광섬유(plastic optical fiber)를 접목하여 적외선과 자외선을 제거한 양질의 가시광만을 공급하는 플라스틱 광섬유 조명시스템을 개발하였다. 또한 플라스틱 광섬유 조명시스템의 실증을 위해 시제품(working mock-up)을 구현하여 광학적 특성 평가와 더불어 적외선과 자외선 특성에 대한 실측 결과에 대한 내용을 담고 있다.

2. 이론고찰

2.1 플라스틱 광섬유 개요

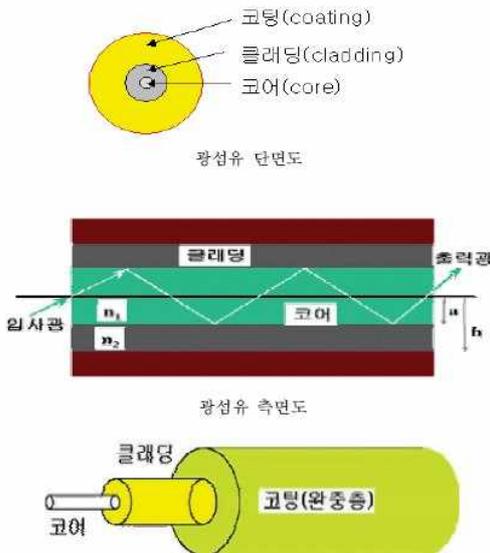


그림 1. 플라스틱 광섬유 구조
Fig. 1. A structure of plastic optical fiber

플라스틱 광섬유는 고순도 아크릴 레진(PMMA : polymethyl methacrylate)으로 된 코어(core)와 특수 불소 폴리머(F-PMMA : fluorine Polymethyl methacrylate)로 만들어진 얇은 클래드(cladding)층으로 구성되어 있다.

clad의 굴절률(refractive index)이 Core보다 낮으므로 광섬유의 한쪽 끝단으로부터 들어온 빛은 core와 cladding의 접촉 면에서 전반사(total-reflection)를 일으켜 core를 통하여 다른 광섬유 끝단으로 나간다[5].

표 1. 광섬유 특성
Table 1. A characteristics of optical fiber

분류		GOF	POF
재료 적특 성	Core	재료	SiO ₂ , GeO ₂ 등의 화합물
		굴절률	약 1.463
	Clad	재료	SiO ₂
		굴절률	약 1.453
Core와 Clad 굴절률차		0.1-0.3[%]	2-3[%]
열저항성 특성 (°C)		150 (Jacket)	85-120 (Core)

2.2 관계 이론

광섬유를 이용한 빛의 전달은 광섬유 내부에서 서로 다른 굴절률을 가진 core와 clad에 의해 반복적인 굴절을 일으키는 현상에 의해 일어난다.

그림 2에서 입사광 1의 경우에는 굴절각(r)은 항상 입사각(i)보다 크게 된다. 입사광 2에서는 굴절각이 90°까지로 증가하고 따라서 급속하게 달리는 빛이 광섬유 안을 곧바로 전달된다. 입사각이 더 커진다면 굴절현상은 일어나지 않는다. 그리고 모든 빛은 원래의 전달 매체로 되돌아가게 된다. 입사광 3은 이런 현상을 보여준다.

이것을 소위 전체 내부 반사(total internal reflection)이라고 하며 전체 내부 반사가 발생하는 것 이상의 ic를 임계각(critical angle)이라 한다.

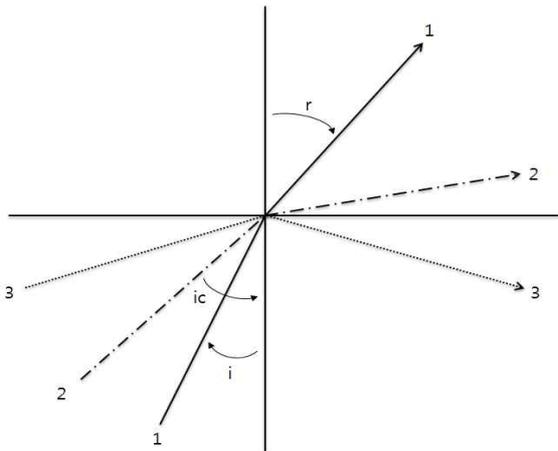


그림 2. 전반사의 원리
Fig. 2. A principle of total reflection

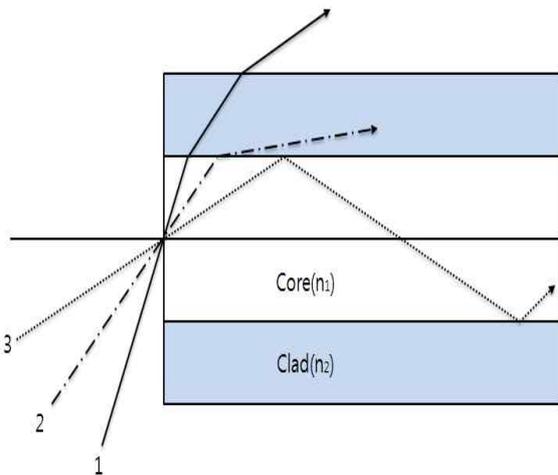


그림 3. 광섬유의 광 도파 현상
Fig. 3. A phenomenon of light wave guide in a POE

그림 3에서 보듯이 만일 빛이 임계각보다 큰 각도로 입사하면 광섬유의 표면은 마치 거울과 같은 작용을 하게 되고 빛은 본래의 전달 매체 속으로 되돌아가는 것이다.

2개의 주어진 매체에서의 임계각(ic)는 Snell의 법칙에 의해서 구할 수 있다.

$$n_1 \sin\theta(i) = n_2 \sin\theta(r) \quad (1)$$

여기서 n_1 : Core 굴절률, n_2 : Clad 굴절률이다.

식 (1)에서 굴절각(r)이 90[°]일 때가 임계각이므로
 $n_1 \sin\theta(i) = n_2 \sin 90^\circ$
 $n_1 \sin\theta(i) = n_2$
 $\therefore \theta(i) = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ 이며,
 임계각 $\theta(ic) = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ 가 된다[2,9].

3. 본 론

3.1 실내용 POE 조명시스템 개발

3.1.1 광원부 설계

양질의 빛을 POE(plastic optical fiber) 조명시스템에 공급해야 하는 광원부(light source body) 선정은 매우 중요한 부분을 차지한다[4-5].

광원 선정시 고려되어야 할 사항으로는 광량, 연색성, 수명 등이 있으며, 본 연구에서는 풍부한 광량과 우수한 연색특성으로 최근 널리 사용되고 있는 세라믹 메탈할라이드램프(ceramic metal halide lamp, CDM)를 광원으로 선정하여 시스템을 구성하였다.

기타 광원부를 구성하는 각각의 부분에 대한 콘셉트를 표 2에 나타내었다.

표 2. 광원부의 콘셉트
Table 2. The concept of light source body

항 목	콘셉트	내 용
크 기	400×400×300[mm] 이하	설치와 운반이 용이한 크기
소비전력	70[W], 150[W]	실내용 조명기구(70[W]급)
광 원	세라믹 메탈할라이드 램프(CDM)	광효율 100[lm/W,] 연색성 90 이상, 수명 15,000[hrs]
광 분 배	중앙 램프 배치	광원을 중심으로 양방향 또는 4방향
형 식	천장 매립형	방진/방습과 냉각팬

3.1.2 광가이드 설계

고온 특성에 취약한 플라스틱 광섬유를 높은 온도의 광원 가까이 직접 배치하는 경우, 장시간 광원에서 받

생된 고온이 플라스틱 광섬유의 수광면에 노출되어 경화현상(硬化現狀)을 일으킬 수 있다.

따라서 본 조명시스템에서는 이러한 경화현상을 방지하기 위해 고온에 영향을 받지 않는 유리나 크리스탈 등의 소재를 활용한 광 가이드(light guide)를 그림 4와 같이 설계하여 광원에서 발생된 열이 플라스틱 광섬유에 전달되지 않도록 차단하였다[6].

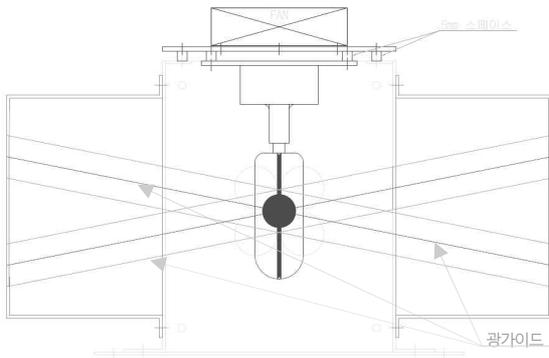


그림 4. 광 가이드의 설계
Fig. 4. The drawing of light guide

3.1.3 집광렌즈 설계

광원에서 산란되는 빛을 방지하고, 효율적으로 플라스틱 광섬유로 전달하기 위해 광학설계를 통하여 집광렌즈(condenser)를 설계하였다.

집광렌즈는 빛을 수광부(플라스틱 광섬유 끝단)에 집중시켜 광 효율을 높이고 플라스틱 광섬유 수광부와 광원 사이에 일정 공간을 두어 경화를 방지하는 효과를 얻을 수 있었다[8].

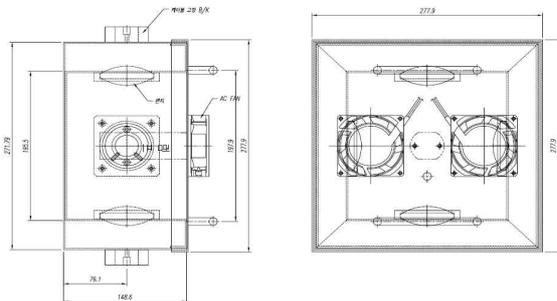


그림 5. 집광렌즈 기구물의 설계
Fig. 5. The drawing of condenser body

그림 5는 집광렌즈를 기구물에 고정시키기 위한 설계를 나타내고 있다.

표 3. 집광렌즈의 콘셉트
Table 3. The concept of condenser

구 분	요 구 사 항	설 계 내 용
사용목적	메탈헬라이드 광원 집광 광학계	동일
광 원	265~420[nm]	320~600[nm]
렌즈재질	Glass(BK7)	동일
Detector	∅ 45의 광섬유 집합체	동일
배 율	0.7 x	-
결상거리	렌즈면에서 광섬유까지 30[mm]	렌즈면에서 광섬유까지 20[mm]
구 조	TTL 렌즈수	140[mm] 1장 2장(filter, lens)

집광렌즈의 설계에는 일반적으로 광학설계에 많이 활용되고 있는 code V를 사용하여 렌즈설계 및 시뮬레이션을 수행하였다.

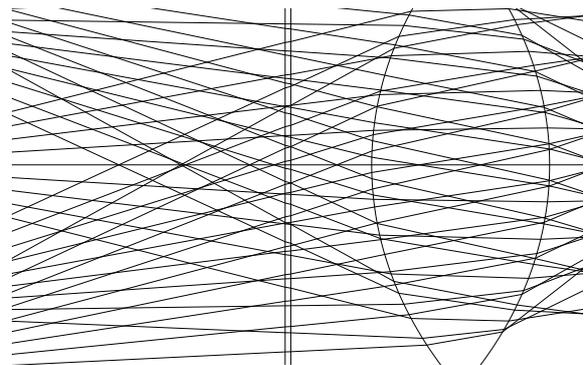


그림 6. 집광렌즈의 시뮬레이션
Fig. 6. The simulation of condenser

세라믹 메탈헬라이드램프 70[W]의 ∅19 × 65[mm]의 타원형에서 360[°] 방사되는 것으로 모델링하였다.

따라서 그림 7과 같이 렌즈에 직접 입사되는 빛만 굴절되어 수광부에 집광되도록 설계하였다.

* PARAXIAL SETUP OF LENS

Object height :	65.0
Image height :	45.0
Lens thickness :	22.0
Filter thickness :	0.7
Object distance :	60.0
Overall lens length :	32.7
Srf 4 to image srf :	20.0
Total track length :	112.7

* Lens Data

R 1 :	R 60
R 2 :	R 60
Thickness:	22
Aperture:	65

* Filter Data

R 1 :	R 0
R 2 :	R 0
Thickness:	0.7
Shape:	□70

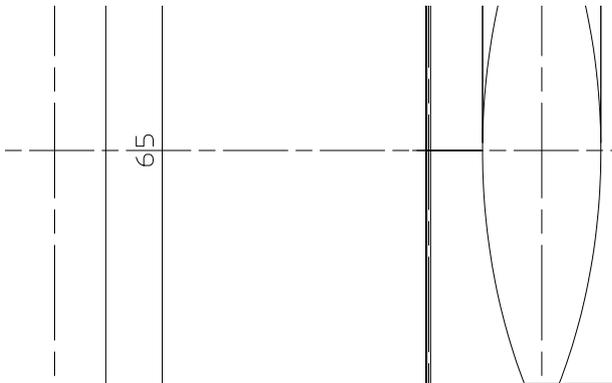


그림 7. 집광렌즈의 모델링 및 구조
Fig. 7. A modeling and structure of a condenser

3.1.4 플라스틱 광섬유 조명시스템 구현

제안된 조명시스템은 구현을 위해 연색성이 높은 세라믹 메탈헬라이드램프(osram사 HCI 70[W])와 플라스틱 광섬유 0.75[mm](mitsubishi rayon사 모델명 : ESKA CK-30)를 번들(bundle)로 하여 총 8개의 포트(port)로 빛을 전송하도록 구현하였다.

그림 8은 구현된 시제품(working mock-up)을 나타내었다. 시제품은 크게 광원부, 점등장치부, 전송부로 부분으로 나누어져 있으며, 그림 9에서는 본 조명시스템을 실제 응용별로 설치된 모습을 보여주고 있다.

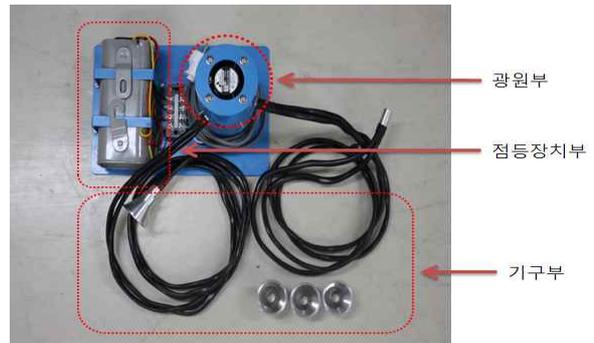


그림 8. 플라스틱 광섬유 조명시스템 구성도
Fig. 8. A construction of plastic optical fiber using lighting system



그림 9. 천정매립 및 스포트라이트 설치
Fig. 9. An installation of down light and spot light

3.2 특성 분석 및 측정

3.2.1 전기적, 광학적 특성 측정

플라스틱 광섬유 조명시스템의 전기적, 광학적 특성 평가를 위해 PSI社(호주)의 절대광속측정기를 사용하여 배광과 광도를 측정하였다.

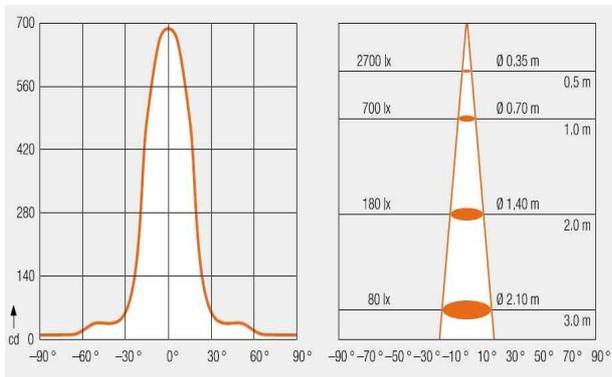
측정 결과로는 기존 할로겐램프(MR-16)에 비해 최대광도(luminous intensity)는 대략 90[%] 수준으로 측정되었으나 전력당 광도값을 적용할 경우 할로겐램프의 경우 35[cd/W], POF 조명시스템은 73.25[cd/W]로 에너지 효율면에서 우수한 특성을 보이고 있다.

표 4은 각각의 특성별로 할로겐램프에 대한 제안된 조명시스템의 성능 비교를 나타내고 있다.

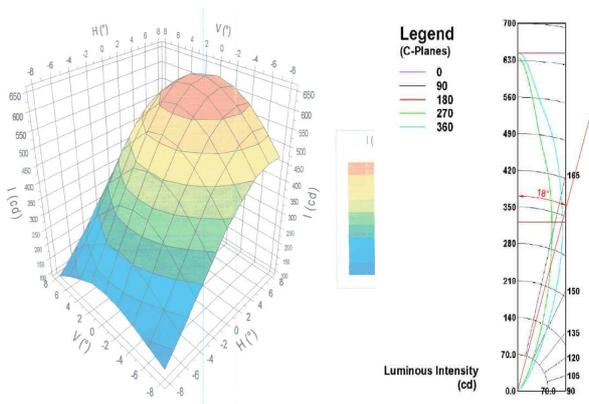
그림 10에서는 할로겐램프 20[W](오스람사, 모델명 DECOSTAR)와 제안된 POF 조명시스템의 배광분포를 측정한 결과이다.

표 4. 할로겐램프와 POF 조명시스템의 성능 비교
Table 4. A performance comparison between halogen lamp and POF lighting system

구분	할로겐램프 (MR-16)	POF 조명시스템
전력([W])	20[W]	8.75[W]
빔각(°) 최대광도의 1/2	36	38
최대광도([cd])	700[cd]	641[cd]
수명([hrs.])	3,000[hrs.] 이내	8,000[hrs.] 이내
특징	- 발열多 - 短수명 - 高소비전력	- 발열無 - 長수명 - 低소비전력: 1(램프)X8(기구)



(a) 할로겐램프(DECOSTAR 20[W])



(b) POF 조명시스템(8.75[W])

그림 10. 할로겐램프와 POF 조명시스템의 배광분포
Fig. 10. A light distribution curve of halogen lamp and POF lighting system

3.2.2 자외선 측정

일반적으로 조명용으로 사용되는 광원 및 조명기구는 자외선, 가시광선, 적외선 등 빛 에너지가 방사되고 있으며, 피사체에 광 화학적 반응을 통한 손상은 자외선에서 약 95%, 가시광선에서 5%를 차지하고 있다. 특히 자외선의 경우 대부분의 손상이 이루어지는 파장범위는 300~380[nm]에서 이루어지는 것으로 나타나고 있다.

본 연구를 통해 개발된 POF조명기구의 자외선을 측정하기 위하여 그림11과 같이 가로, 세로, 높이가 50[cm]인 정사각형 형태의 무반사 흑색 코팅 상자에 측정 시료를 설치하였으며 자외선 측정기 HD2302.0 LightMeter(Italy) 사용하여 자외선 A(315~400[nm]), B(280~315[nm]), C(220~280[nm])를 각각 측정하였다.

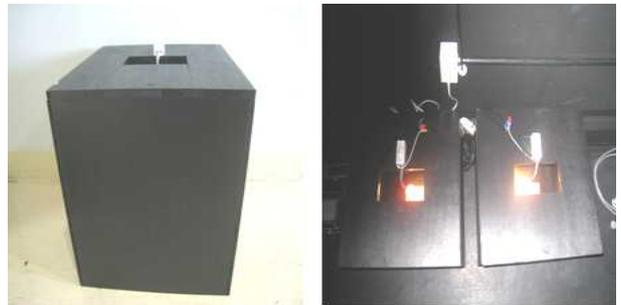


그림 11. 자외선 시험장비

Fig. 11. A test equipments of ultraviolet

클린룸 내의 주위 환경조건은 온도(25±3)[°C], 습도 (45~65)[%]의 암실에 설치하여 시험하였다.

표 5는 개발된 POF조명기구의 UV 방사량을 측정 한 결과를 나타낸 것이다. 현재 조명용 광원 및 기구의 자외선 방사량에 대한 기준 및 규격은 제정이 되어 있지 않지만 피사체의 손상을 줄이기 위한 방법으로

자외선 차단용 조명기구들을 개발 중이다.

본 연구를 통해 개발된 POF 조명기구 System의 측정결과 자외선 UV A, UV B, UV C 모두 자외선 방사량이 극히 미미한 것으로 측정되었으며, 일반 MR-16 할로겐램프와 비교 하였을 경우 자외선이 거의 방사하지 않기 때문에 피사체의 퇴색진행 정도는 할로겐램프에 비해 POF 조명기구는 우수한 특성을 나타내고 있다.

표 5. 자외선 방사량 측정 결과

Table 5. The results of ultraviolet radiation

(단위 : W/m^2)

구분	UVA (315~400[nm])	UVB (280~315[nm])	UVC (220~280[nm])
할로겐램프	0.1	0.34	2.3
플라스틱 광섬유 조명시스템	0.0001	0.0002	0.001

3.2.3 온도특성 측정

일반적으로 방전원리를 이용한 방전램프 및 할로겐램프를 조명용으로 사용할 경우 열이 많이 발생한다. 발생한 열은 피사체를 퇴색시키며, 조명제품의 수명과도 연관성이 있다.

따라서 본 연구에서 개발된 POF조명기구와 MR16 할로겐램프의 표면 온도를 열화상 카메라로 측정하였다. MR16은 현재 시중에서 판매되고 있는 50[W]급을 비교하였다.

그림 12와 같이 열화상카메라 FLIR-P20(스웨덴)를 사용하였으며, 램프의 특성이 안정될 때까지, 즉 정상상태까지 도달하기위하여 10분 이상 에이징을 한 후에 측정하였다.

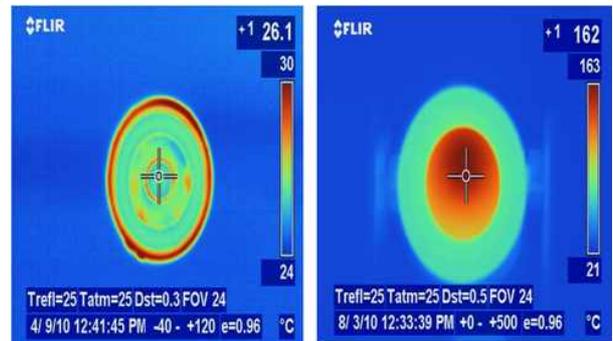
그림 13은 본 연구에서 제작한 POF조명기구를 열화상카메라로 측정한 결과이며 그림 13 (b)는 MR16 할로겐램프의 표면온도를 측정한 결과를 나타낸 것이다, 여기에서 비교 시료들에 대한 각각의 입력전류 및 전력이 다르기 때문에 시료의 표면온도를 절대비교를 할 수 없기 때문에 상대비교로 시료를 선정하였다. 표면온도 측정결과 POF 조명시스템은 주위온도와 비교하였을 때 방광면에서 방사되는 복사열은 대부분 방

출되지 않았지만 일반 MR16 할로겐램프인 경우에는 표면온도가 163[°C]로 측정되었다. 즉 표면온도의 상승으로 열복사에너지가 많이 방출되어 피사체의 퇴색이 더 빠르게 진행될 것으로 사료된다.



그림 12. 적외선 열화상카메라(FLIR-P20)

Fig. 12. An infrared image camera(FLIR-P20)



(a) POF 조명시스템

(b) 할로겐램프

그림 13. 광원 표면온도의 측정 결과

Fig. 13. A surface temperature in light source

4. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 광섬유를 이용하여 일반 실내용 조명시스템을 개발하고자 최적화된 광원을 선정하고, 광원에서 발생한 열로부터 플라스틱 광섬유를 보호하고 광가이드, 집광렌즈를 설계하여 최종 70[W]급 실내용 플라스틱 광섬유 조명시스템의 시작품 (working mock-up)을 제작하였다.

또한 제작된 시제품의 광학적 특성과 자외선, 온도 특성 등 각종 특성 평가를 통해 개발된 플라스틱 광섬유 조명시스템의 우수성을 증명하고자 노력하였다.

본 논문을 통해서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 고연색성이 필요한 장소에서 많이 활용되었던 기존 40[W]급 할로겐램프를 대체하고자 연색지수 90 이상의 70[W]급 세라믹 메탈헬라이드램프를 광원으로 하였을 경우 기존 할로겐램프의 최대광도의 90[%] 이상의 광도값을 가지는 플라스틱 광섬유 조명시스템을 개발할 수 있었다.
2. 개발된 70[W]급 플라스틱 광섬유 조명시스템은 최대 8port의 각각의 램프로 활용이 가능하여 효율측면에서는 동일한 램프 8개를 사용한다는 가정 하에 기존 할로겐램프 5,600[cd]/160[W] 대비 5,128[cd]/70[W]로 약 2배 이상의 에너지절감 효과를 가진다.
3. 기존 할로겐램프의 경우는 자외선, 적외선 방사에 의해 피사체의 경화현상, 인체의 피부 침착 등 유해한 문제를 발생하게 되나, 플라스틱 광섬유 조명시스템에서는 자외선 방사량이 매우 미미하고, 적외선(열)에서도 기존 할로겐램프에서 발생하는 열(163[°C])에 비해서 매우 낮은 온도(30[°C])가 측정되었다.

제안된 시스템의 제작 공정은 일괄 수작업을 통해 진행되어 대량 생산이 가능한 할로겐램프와 비용 측면에 대한 비교는 아직 고려될 수 없으나, 제작비를 낮출 수 있는 부품 및 소재에 대한 연구를 통해 충분히 가격경쟁력을 확보할 것으로 예상된다.

본 연구를 통해서 개발된 플라스틱 광섬유 조명시스템은 박물관, 매장 등 높은 연색성이 요구되는 장소에 대체 활용이 가능한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 기존 광효율이 낮으나, 높은 연색성 등이 필요한 장소의 조명시스템의 개선에 기초적 자료로 활용될 수 있다. 그리고 향후 연구에서는 집광 렌즈에 대한 연구를 통해 보다 높은 광전송을 가지는 연구가 필요하다.

References

- [1] 김정태, 석사학위 논문, 야간경관조명에 있어서 광섬유의 적용방안에 관한 연구, 2000.
- [2] 강대윤, 광학세계, Plastic Optical Fiber, pp. 36-40, 1998. 5월호.
- [3] 신상욱 외 6명, POF를 이용한 조명기구 구현, 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp. 203-212, 2010.
- [4] 이성택, 충남대 석사학위 논문, 발광다이오드와 플라스틱 누설광섬유를 결합한 라인램프, 2009.
- [5] 한국과학기술정보연구원, 광섬유, 심층정보분석보고서, 2002.
- [6] Hollow, Richard H. Optical fiber illumination system for visual flight simulation, NASA contractor report, 1981.
- [7] Augustyniak, j, Binkiewicz, s, Luty, A. Patela, s. The use of high brightness diodes and plastic optical fibers in high-tech lighting systems. Photonics and Microsystem, pp. 7-11, 2005.
- [8] Tckelioglu, M, Wood. B. D, Solar light transmission of polymer optical fiber, Solar Energy Vol 83. No. 11, pp. 2039-2049, 2009.
- [9] Golnabi, H, Haghightzadeh. A, Beam shape and intensity profile of a fiber-bundle prism-coupled waveguide, Optics and lasers in engineering Vol. 48 No. 6, pp. 720-726, 2010.
- [10] "Lighting System Using Quartz Core Glass Optical Fiber (Plastic Clad Silica Optical Fiber)", New technology Japan, vol.23 no.2, pp.31, 1995.

◆ 저자소개 ◆



신상욱 (申相旭)

1969년 8월 5일생. 1996년 호서대 전기공학과 졸업. 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 현재 호서대학교 전기공학과 박사수료. 1999년~현재 한국조명연구원 책임연구원. 현재 본 학회 정회원 관심분야 : LED/OLED 광원 평가 등

Tel : (032)670-8888

Fax : (032)670-8889

E-mail : swshin@kilt.re.kr



이진우 (李鎭雨)

1960년 3월 1일생. 1984년 서울공대 전기공학과 졸업. 1984년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990~1994년 세명백트론(주)연구실장. 1994년~현재 호서대학교 전기정보통신공학과 교수. 현재 본 학회 이사 및 편수위원.

관심분야 : 광원 및 점등장치 설계 및 분석 등

Tel : (041)540-5655

Fax : (041)540-5693

E-mail : leeju@office.hoseo.ac.kr