

Optical Fiber Lighting System

글: (주)광우 영업1팀 강대운 대리

산업용 및 건축용 광섬유 조명시스템을 공급하고 있는 (주)광우에서 영업을 맡고 있는 강대운 대리로부터 비전문가가 쉽게 이해할 수 있는 광섬유조명시스템 전반에 대한 내용을 들어보았다.

최근들어 산업용이나 건축용으로 시장규모가 점차 커져가고 있는 광섬유 조명시스템에 대해 관심있는 독자들의 많은 참고 바란다.

-편집자 주-

1. 광섬유의 개요

유리에 빛을 비추면 빛이 유리 안에서 복합적인 굴절 현상을 일으킨다는 사실은 이미 오래 전부터 알려져왔다. 빛과 유리에 의한 이런 굴절 현상은 1870년 영국 학술원의 John Tyndall에 의해 과학적으로 최초로 증명되었는데 그는 구멍이 있는 수조에 물을 넣어 그 구멍으로 빠져나오는 물에 수조 위에서 비친 광을 조사하여 「빛은 이와 같이 구부러진 분출 수의 가운데로 전파한다.」고 영국 왕립 협회에서 입증하였다. 실제로는 빛의 경로가 구

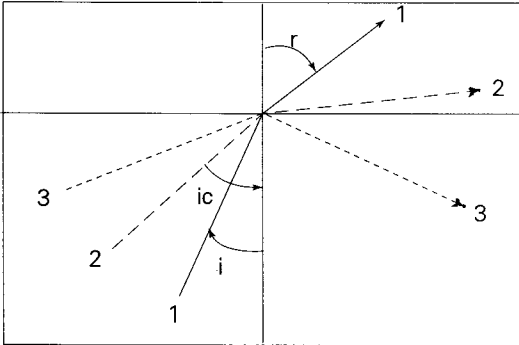
부러진 것이 아니고 물기둥의 내면을 여러 차례 전반사를 반복하여 진행한 것이다.

또한 빛을 잘 전달하는 매체에는 투명 물질로 되어 있는 공기, 물, 유리, 석영, 투명플라스틱등이 있는데 이 중 투명한 아크릴 판이나 유리의 끝단면에 빛을 비추면 그 반대편의 면에서 빛이 나와 이른바 끝 발광(edge lighting) 효과를 기대할 수 있다. 이것에는 투명체의 내부를 빛이 직진하는 성질과 투명체와 공기의 경계면에서 일어나는 전반사 현상을 이용한 것이다. 보통 이렇게 되는 물질 중에는 공기 층에서의 빛

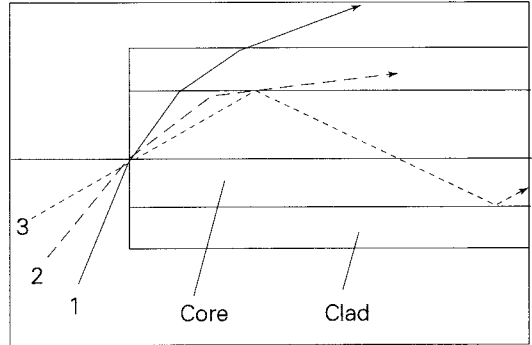
의 전반사 현상은 약한 빛으로 직진하는 것이 거의 대부분이어서 빛의 경로를 바꾸기 위해서는 거울, 프리즘 등을 사용할 필요가 있는데 이때 빛을 확산시키지 않고 임의의 장소에 전달하는 것이 가능하게 한 것이 광섬유이다.

2. 광섬유의 구조와 원리

광섬유를 이용한 빛의 전달은 빛이 광섬유 내부에서 반복적인 굴절을 일으키는 현상에 의해 가능해지며 빛이 서로 굴절율이 다른 전달 매체 사이를 이동하게 되는 경우에는 보다



(그림 1) 전반사의 원리



(그림 2) 광섬유의 구조

밀도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동하게 된다.

이때 굴절율이 높은 심재를 코어(core)라고 하며 굴절율이 낮은 초재를 클래드(clad)라 한다.

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

이것을 소위 전체 내부 반사(Total internal reflection)이라고 하며 전체 내부 반사가 발생하는 것 이상의 ic 을 임계각(Critical angle)이라 한다. [그림 2]에서 보듯이 만일 빛이 임계각보다 큰 각도로 입사하면 광섬유의 표면은 마치 거울과 같은 작용을 하게 되고 빛은

본래의 전달 매체 속으로 되돌아가는 것이다.

이렇게 빛은 수없이 내부 반사를 일으키며 광섬유의 내부를 달려 반대쪽 끝으로 방출하게 되는데 빛이 광섬유의 한쪽 끝으로부터 입사되어 광섬유 내부에서 반사를 일으키면서 진행될 수 있으려면 적절한 입사각을 가져야 한다. 만일 빛이 적절한 입사각의 범주에서 벗어난 각도로 입사된다면 빛은 광섬유의 외부로 나가 버리게 된다.

2개의 주어진 매체에서의 임계각(ic)은 snell의 법칙에 의해서 구할 수 있다.

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

n_1 과 n_2 는 두 전달 매체의 굴절율이다. 굴절각(r)이 90° 일 때가 임계각이므로

$$n_1 \sin\theta(i) = n_2 \sin 90^\circ$$

$$n_1 \sin\theta(i) = n_2$$

$$\therefore \theta(i) = \sin^{-1}(n_2/n_1) \text{ 이며}$$

임계각 $\theta(ic) = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ 가 된다.

광섬유의 내부에서 전반사

를 일으키는 적절한 입사각은 코어와 클래드의 굴절율의 차이에 의해 결정되며 이를 광섬유의 개구수(開口數) 또는 NA(Numerical Aperture)라고 한다.

$NA = \sin \theta_{\max}$ 로 정의되며

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \{1 - (n_2^2/n_1^2)\}$$

$$\theta_{\max} = \sin^{-1}\{n_1 \{1 - (n_2^2/n_1^2)\}\}$$

$$\therefore NA = \sin \theta_{\max} = n_1 \{1 - (n_2^2/n_1^2)\}$$

이는 또 광섬유 끝단의 빛의 출사 각을 결정하며

출사 각 $\theta(o) = 2 \sin \theta_{\max}$ 가 된다.

광섬유 내에서 빛이 전달될 때는 손실이 발생되는데 이는 광섬유를 이루는 재질이 가지는 고유한 특성으로 인하여 발생되기도 하며 빛이 개구수 이내로 입사하더라도 코어와 클래드의 경계면의 불균일에 의한 전반사의 부족, 광섬유가 구부러졌을 때 그 만곡 부분의 곡

를 반경이 작아 내부에서의 입사각이 임계각보다 커져 전반사가 일어나지 않아 빛이 손실되는 등이 주원인이다.

고유한 특성에 의한 빛의 손실은 재질에 따라 파장별 손실 특성을 가지며 조명에 사용되는 광섬유는 일반적으로 GOF(Glass Optical Fiber)는 850nm 대역에서, POF(Plastic Optical Fiber)는 650nm 대역에서 손실이 가장

작다.

3. 광섬유의 종류

광섬유의 종류는 주 소재의 성분에 의해 GOF(Glass Optical Fiber)와 POF(Plastic Optical Fiber)로 크게 나눌 수 있는데 GOF는 다시 석영계 GOF, 다성분계 GOF, 석영계 코어에 플라스틱 클래드를 사용한 PCS(Polymer clad silica) 광섬유

로 구분할 수 있으며 구조에 의해 단일모드(single mode), 멀티모드(multi mode)로 구분할 수 있고 현재 장거리 통신에 사용되는 GOF가 대부분 단일 모드에 해당된다.

1) 소재에 의한 분류

〈표 1〉 참조

2) 용도에 의한 분류

〈표 2〉 참조

〈표 1〉 소재에 의한 분류

분류		GOF			POF		PCS	
		Single	Multi		Multi		Multi	
구조적 측면	굴절율 분포	Step Index	Step Index	Graded index	Step Index	Graded index	Step Index	
	Size	Core	8~10 μ m	50~100	50~100	100~2000	600~1200	250~1000
		Clad	125 μ m	125 μ m	125 μ m	110~2060 μ m	700~1300 μ m	-
	NA	0.1~0.2	약 0.2	약 0.2	0.39~0.77	0.25~0.60	약 0.4	
수광각	11.5~23°	약 23°	약 23°	46~100°	29~74°	47°		
광학적 측면	Band Width	수~수십 GHz, km	20MHz, km	200~800MHz, km	4~5MHz, km	1~2GHz, km	20MHz, km	
	Wavelength	1300, 1550nm	850nm	850, 1300nm	570, 650nm	650, 688, 1300nm	850nm	
	전송거리	수~수십 km	-	-	100m 이내	100m 이내	-	
	전송손실	0.2~0.5dB/km (1310nm)	2dB/km (1310nm)	0.5~2dB/km (1310nm)	120~600dB/km (650nm)	약 56dB/km (6880nm)	5~10dB/km (850nm)	
굴곡특성	곡률반경 100mm로 Bending시 50% 전송	-	-	곡률반경 15mm로 Bending시 95% 전송		-		
열적측면	열저항성	150°C (Jacket)			85~120°C(Core)	85°C	120°C(Clad)	
재료적 측면	Core	재료	SiO ₂ , GeO ₂ 등의 화합물			주로 PMMA	주로 MMA와 Vinyl류 중합체	SiO ₂ , GeO ₂ 등의 화합물
		굴절율	약 1.463			약 1.492	-	약 1.463
	Clad	재료	SiO ₂			주로 Fluoro-Polymer	주로 PMMA	Polymer
		굴절율	약 1.453			약 1.417	약 1.492	-
Core와 Clad 굴절율차		0.1~0.3%			2~3%	-	-	

(표 2) 용도에 의한 분류

분 류	용 도	적용 광섬유		
		GOF	POF	PCS
통신용	- 장거리 Data 전송	○		
	- 중 단거리 Data 전송	○	○	○
	- LAN, Data link	○	○	○
산업용	Light Guide	- 자동차와 전자장치		○
		- 의학장비	○	○
		- 안전조명장치	○	○
		- 검사장비	○	○
		- 고밀도 광에너지 전송	○	
	Sensor	- 광섬유 Switch		○
		- Mark Sensor		○
		- 윤곽 감지		○
	Image Transmission	- Image Guide	○	○
		- Image Scope	○	○
- Image Screen		○	○	
조명용	- 내부조명	○	○	
	- 외부조명	○	○	
	- 교통신호	○	○	
장식용	- Interior Display			
	- sign Board		○	
	- 일반장식용 조명			

4. 광섬유 조명시스템

광섬유 조명시스템은 전기적 에너지를 빛에너지로 전환하는 광원장치와 빛을 전송하는 광섬유 케이블, 단말조사기구의 간단한 구조로 되어있다.

광섬유 조명에 사용되는 광원으로는 LED, Tungsten Halogen Lamp, 고압방전 Lamp등이 사용되고 있으며 일반적으로 광섬유의 선단에 빛을 집중시킬 수 있는 고효율의 반사경을 사용한다.

또한 광원장치에는 고 밀도

로 집중된 빛의 온도로부터 광섬유를 보호하기 위한 공냉구조와 전송되는 빛의 Color 및 양을 조절하는 제어부로 구성되어 있다.

조명용 광섬유는 발광효과에 의해 끝단발광(End light ; Point light)과 측면발광(Side light ; Line light)광섬유로 구분할 수 있으며 이중 끝단발광 광섬유는 광섬유의 이론을 충실하게 따른 이른바 원격조명의 개념으로 널리 사용되고 있으며 측면발광 광섬유는 클레드층에 손상을 주어 빛이 새

어나오는 것을 이용하여 선 조명을 연출하고자 하는 목적으로 사용되고 있다.

또한 조명용으로는 다성분계 GOF, POF, PCS Fiber등이 모두 사용되며 이는 광섬유의 입광부에 빛을 넣어주는 광원(Lamp)의 종류, 입광부의 온도, 빛 전달특성을 고려하여 각각의 용도에 맞도록 사용하여야 한다. 또한 광섬유는 여러 가닥의 번들(Bundle) 형태로 가공하여 사용하는 것이 일반적이며 입, 출사부의 빛의 손실을 방지하기 위해 접착제를 사용한 배열과 짐속 및 여러 단계의 끝단 연마를 필요로 한다.

광섬유 조명에 사용하는 단말조사기구는 조명개소의 여건 및 특성에 따라 다양한 형상으로 제작할 수 있으며 조사범위의 조절을 위해 렌즈, 필터 등의 광학계를 사용하는 경우가 많다.

5. 광섬유 조명의 장점

일반조명에 비해 광섬유 조명이 가진 장점은 여러 가지가 있으나 그중 대표적으로 아래와 같은 장점을 이용할 수 있다.

- ⇒ 적외선과 자외선이 차단된 냉광조명의 구현 가능
- ⇒ 균일한 고휘도의 집중조명
- ⇒ 조명각도를 물체의 형상에 따라 임의로 조절 가능
- ⇒ 유연성이 크므로 임의 장소

에 조명 가능

⇒ 필터를 채택하여 특정 파장대의 빛만 전달 가능

⇒ 각종 렌즈 및 기구물을 사용하여 점 조명, 선조명, 평행광 조명 및 조사반경 조절 가능

⇒ 발광부위가 광원의 원거리에 있으므로 조명개소에 감전, 누전 등의 전기적 위험 제거

1) 산업용 광섬유 조명

통신용 광섬유가 기존 구리선에 의한 전자신호의 전달에 의한 데이터 전송방식을 광자신호로 전환하여 전송하므로써 선로 주변의 노이즈에서 완전히 해방될 수 있었던 것과 같이 산업용에서의 광섬유 조명은 무한한 응용 영역을 가지고 있다.

현미경, 광학기기조명, CCD카메라를 사용한 각종 비전시스템과 검사장비에서 일반조명이 따를 수 없는 고휘도의 집중이 가능한 냉광조명, 빛의 떨림이 없는 안정된 조명등으로 이미 널리 사용되고 있으며 또한 공장자동화에 필수인 각종 Image Processing과 LCD, Switch, Keyboard 및 Control panel의 Backlighting으로 사용되어 균일한 조도와 긴 수명, 낮은 소비전력 등의 많은 장점을 발휘하고 있다.

2) 의료용 광섬유 조명

의료용으로 사용되는 광섬

유 조명에는 내시경, 복강경, 관절경사용, 산부인과용, 치과용등이 있으며 이는 모두 조명개소의 전기적 위험성을 제거한 광섬유 조명의 장점을 이용한 것이다. 최근에는 유아의 황달치료를 목적으로 하는 치료용 조명으로도 개발되어 사용되고 있다.

3) 건축용 광섬유 조명

건축용으로서의 광섬유 조명은 크게 경관 조명, 건축화 조명, 수중 조명, 특수 조명으로 구분할 수 있으며 긴 수명과 용이한 유지보수의 장점에서 점차 확대되어 가고 있다.

경관 조명은 건축물의 외곽, 바다, 윤곽, 벽면 조명과, 간판(Sign board), 다리 조명, 계단 조명, 산책로 조명, 가로수와 가로수 바닥 조명, 인도바닥 조명, 조형물 조명용으로 사용되고 있으며, 건축화 조명은 천정 조명, 바닥 조명, 벽면 조명, 수중 조명은 분수 조명, 수로 조명, 수영장 조명으로 사용되고 있다.

이외에도 광섬유 조명은 귀중한 문화재를 보관하는 박물관의 조명에서 그 진가를 발휘하고 있으며 심지어 고위도 지역의 선진국중에는 교통표지판과 각종 교통신호에 광섬유 조명을 사용하는 것을 법제화한 국가도 있다.

현재 우리나라의 광섬유 조명시장은 아직 초보적인 단계

이며 광섬유 부분에서 (주)광우에서 소량의 POF를 생산하여 국내 시장에 보급하는 정도이며 대부분의 조명용 광섬유가 일본의 Mitsubishi Rayon사, Toray사, 미국의 Fiberstars사, 영국의 Light Line사등에서 수입되고 있다.

광섬유 조명이 건축물에 적용되는 경우 박물관 등의 특수한 부분을 제외한 거의 대부분이 외국에서 설계에 반영되어진 광섬유 조명부분에 한하여 일부 시공업체를 통해 설치를 하는 정도이며 광섬유 조명을 전문적으로 설계하고 디자인하는 업체는 아직 그 수가 많지 않다. 산업용으로 사용되고 있는 광섬유 조명장치 역시 미국과 일본에서 수입하는 제품에 대부분 의존하고 있으며 일부 엔지니어들을 중심으로 국산 광섬유 조명장치의 개발 및 판매가 조금씩 이루어지고 있는 실정이다.

그러나 다행인 것은 광섬유 조명시장에서 조명용 광섬유의 생산업체가 많지 않은 것이 큰 문제가 되지 않는다는 것이다. 외국의 경우만 보더라도 광섬유 제조업체 보다는 응용제품 제조업체가 빠른 속도로 발전하고 있으며 시장의 확대에 많은 기여를 하고 있다. 이는 광섬유 조명 제품의 가격구성에서 광섬유가 차지하는 비중 보다는 응용기술의 부가가치 부분이 훨씬 높기 때문이다.