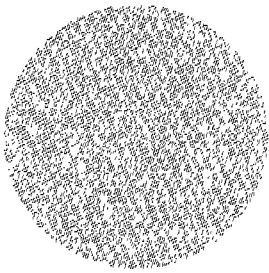


플라스틱 光纖維

實用化 展望

Application of Plastics

Optical Fibers



金 震 燁

韓國科學技術院 高分子材料研究室

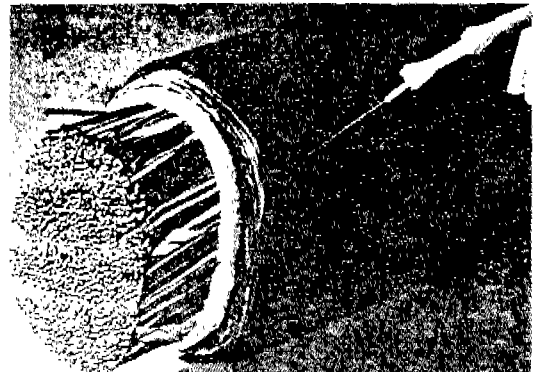
나날이 증가하는 通信量을 원만히 처리하기 위하여 막대한 電子통신 장비가 필요하며 더구나 컴퓨터의 이용도가 높아짐에 따라 상상하기 어려운 정도의 通信媒체가 요구되고 있다. 최근에 光纖維가 개발되어 情報의 傳達수단으로 전자를 이용하는 대신 빛을 이용함으로써 엄청나게 많은 정보전달을 해결할 가능성이 나타났다. 광섬유는 통화, 텔레비전 및 자료전달 분야에 획기적인 변화를 가져왔으며 短波나 衛星通信에 버금가는 중요성을 가졌다고 할 수 있다.

광섬유의 長點은 밴드폭이 3,300Hz 까지 사용할 수 있는 것이 市販되고 있으며, 10,000 Hz까지도 가능하므로 사람의 대화, 자료, 텔레비전 영상 등을 같은 線으로 보낼 수가 있다. 또 구리선에 비해 같은 量의 정보를 보내기 위해 그 무게가 그림1에서와 같이 10분의 1도 되지 않는다. 그밖에도 구리선의 접촉으로 정보가 다른 선으로 누출되는 短點도 없고 여러가지 電波妨害를 받지 않으며 통신료가 현 시스템보다 싸질 것이 전망된다.

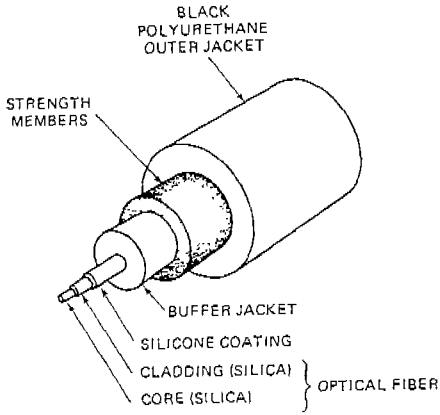
석영광섬유는 光에너지 손실이 아주 작아서 훌륭한 광섬유로 이용되고 있지만 제조상의 어려움과 석영의 물리적 성질 중에 광섬유로서 가지는 단점 때문에 플라스틱광섬유의 개발이 필요하다. 석영광섬유에 비해 光에너지 손실은 크지만 만들기가 쉽고 가벼우며, 굴곡성이 뛰어나므로 단거리 통신용으로 각광을 받고 있다.

1. 光纖維의 構造와 光送信 原理

광섬유의 구조는 그림2에서와 같이 심(Core)과



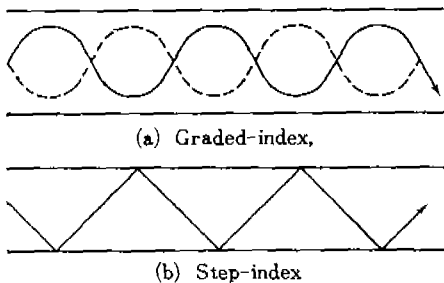
〈그림-1〉 같은 양의 정보를 전달하기 위한 구리선과 광섬유의 크기 비교



〈그림-2〉 광섬유의 구조

반사막(Cladding)으로 되어 있으며 그 위에 여러 겹의 재료를 입혀 광섬유의 강도를 높이고 보호벽으로 이용한다. 심의 역할은 빛을 통과시키는 것이며 반사막의 역할은 빛이 심과의 경계면에서 전반사를 하도록 고안되어 있다. 이 때의 조건은 심의 굴절율이 반사막의 굴절율 보다 반드시 커야 하며 대체로 굴절율의 차이는 약 0.1정도가 되는 것이 바람직하다.

빛이 광섬유를 통과할 때는 그림 3 과 같은 2 가지 전진형태를 가지는데 (a)를 Graded-index라 하고 (b)를 Step-index라 한다. Graded-index는 굴절율이 심의 중심부에서 광섬유의 표면으로 나오면서 점점 작아지며 Step-index는 심의 굴절율이 일정하다. Graded-index는 Step-index에 비해 만들기는 어려우나 중심부로 지나가는 빛은 높은 굴절율 즉, 물질의 높은 밀도 때문에 중심에서 멀어질 쪽으로 지나가는 빛보다 속도가 늦게 되며 따라서 대부분의 빛이 통과한 거리에 관계없이 같은 시간에 같은 장소에 도달하게 된다. 반면에 Step-index형에서는 광섬유로 들어간 빛의 입사각이 큰 경우



〈그림-3〉 광섬유 내에서의 광통과 원리

는 작은 경우 보다 빛이 더 많은 반사를 하게 되고 통과한 거리도 커져서 일정한 시간 후에는 같이 시작한 빛들 간에 전진한 거리가 달라지고 결과적으로 빛의 강도가 낮아지는 효과를 나타내게 된다.

빛이 광섬유를 지나갈 때 강도가 줄어드는데 그 원인은 광섬유를 구성하는 분자의 화학구조들이 빛을 흡수하기도 하고 분자속의 전자가 빛을 산란(Rayleigh Scattering)하기도 하며, 불순물에 의한 빛의 흡수 및 산란이 일어나고 심과 반사막 간의 표면상태에 따라서도 빛의 강도가 줄어든다. 이와 같이 빛의 강도가 줄어드는 것은 식(1)과 같이 나타낸다.

$$I = I_0 \exp(-k l) \quad (1)$$

여기에서 I 와 I_0 는 각각 투과광과 입사광의 강도이고 k 는 흡광도계수이며, l 은 빛이 통과한 거리이다. 실제로는 빛의 투과능력을 손실율 α 로 나타내며 식(2)와 같다. 이 때의 손실율 α 의 단위는 dB (Decibel)이며, l 의 단위는 km로 할 때가 많다.

$$\alpha = -10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) / l \quad (2)$$

2. 플라스틱光纖維의 位置

시판되고 있는 광섬유는 석영, 유리 및 플라스틱을 심으로 사용한 것이 있으며, 이들의 특성을 표 1에 나타내었다.

석영광섬유는 순도가 높은 석영을 사용하여 Graded-index형으로 하면 0.2dB/km의 낮은 손실율을 얻을 수 있으므로 대량의 정보를 원거리로 보내는 데는 이상적인 것이다. 또한 전파방해를 받지 않고 그리고 재료가 풍부한 석영인 것도 큰 장점이다

〈표-1〉 여러가지 광섬유의 특성 비교

특 성	플라스틱	유 리	석 영
손 실 율 (dB/km)	200~3,000	400~1,000	0.2~100
내열성 (°C)	-40~+80	-40~+300	-20~+900
내약품성	나쁘다	좋다	좋다
비 중	1.2	2.4	2.4
유 연 성	좋다	나쁘다	나쁘다
섬유 지름 (μ)	10~3,000	5~100	100~200
가 격	싸다	비싸다	비싸다

그러나 유연성이 나쁘고 단말처리 비용이 많이 들므로 단거리의 정보전달이 주가 되는 컴퓨터간이나 산업용계어장치에 사용하는데는 약간의 문제가 있다.

유리광섬유는 위점사용 카메라에 일찍부터 사용되어 왔지만 값이 비싸고 쉽게 끊어지는 단점이 있다. 유연성을 높이기 위해 섬유외의 굵기를 5~10 μ 정도로 가늘게 할 수 있고 개구수(Numerical Aperture)를 크게 하고 내열성 및 내약품성을 높일 수 있는 특성이 있으므로 특수광학기기에 사용할 수 있을 뿐만 아니라 표지판이나 장식용 디스플레이(Display)용으로도 사용되고 있다.

플라스틱광섬유는 석영이나 유리광섬유에 비해 내열성이나 내약품성이 떨어지지만 값이 싸고 굵은 섬유도 유연성이 있으며, 가볍고 가공하기가 쉬운 장점이 있다.

가장 단점으로 나타나는 높은 손실율은 광원으로 사용되고 있는 헬륨-네온 레이저(He-Ne Laser)의 적외선을 흡수하는 분자속의 원자단인 C-H의 진동수 때문이므로 만약 C-H의 수소를 중수소로 치환을 하면 20dB/km의 낮은 손실율을 가진 플라스틱광섬유를 얻을 수 있다. 그러나 현재의 기술로는 그생산비가 높으므로 플라스틱의 특성인 가볍고 유연성이 크며 가공하기가 쉬운 성질을 이용하여 단거리 정보전달에 플라스틱광섬유를 사용하는 것이 바람직하다.

3. 플라스틱光纖維의 材料 및 光損失

플라스틱광섬유의 심으로 사용될 수 있는 고분자 재료의 특성은 광투과성이 높고 굴절율이 크며, 가공성이 좋아야 한다. 주로 사용되고 있는 재료는 폴리스틸렌(PS), 아크릴수지(PMMA), 중수소치환 아크릴수지(D-PMMA) 등이다. 반사막으로 사용되는 고분자재료는 역시 광투과성이 높고 가공성이 좋아야 하며 굴절율이 되도록 낮은 것이 좋다. 이와 같은 물질로는 불소수지가 대표적인 것이며, EVA나 열경화성 유소수지도 사용된다.

보편적으로 사용되고 있는 플라스틱광섬유는 P-MMA를 심의 재료로, 불소수지를 반사막 재료로 사용하고 있다. PS를 심으로 사용할 때는 그 굴

절율이 1.592이므로 반사막 재료로는 투명성이 뛰어나고 굴절율도 PS와 조화를 이룰 수 있는 PM-MA(굴절율:1.945)를 사용한다. 그러나 PS를 심으로 했을 때는 시판되는 광섬유의 손실율이 1,500 dB/km나 되므로 정보전달용으로는 마땅치 않다.

Graded-index 플라스틱광섬유를 얻기 위하여 메틸메타크릴레이트(MMA)와 비닐벤조에이트(VB)를 자외선을 조사하여 공중합시킨 예도 있으며, 그 밖에도 굴절율의 차이가 광섬유용에 적합한 단량체를 구하여 광섬유를 합성한 예가 있지만 실용화되지는 않고 있다.

플라스틱광섬유의 광손실요인은 표 2와 같다. 적외선 영역에서는 적외흡수 요인과 Rayleigh산란은 고유한 것이므로 분자의 화학적 및 물리적 변성을 하지 않고는 불가능하다. 적외진동흡수는 고분자물질의 수소를 중수소로 치환함으로써 흡수파장을 장파장 쪽으로 이동시켜 줄일 수가 있으며, 플라스틱 광섬유의 광손실을 낮출 수 있는 가장 정확한 방법이다.

불순물에 의한 광손실은 재료의 정제방법을 개선함으로써 쉽게 낮출 수가 있다. MMA를 중합하기 전에 철저히 정제를 해야 하며 사용하는 중합개시제나 고중합억제제 등은 그 양과 종류에도 관심을 두어야 할 것이다. 광섬유생산을 위한 공압출공정에서도 불순물이 들어갈 가능성이 있으며, 고분자물질의 흡습성 때문에 압출하기 전에 반드시 건조를 해야 할 것이다. 공압출기의 온도조절과 압출속도에 따라서 심-반사막의 경계면의 상태에 따라 영향을 받으므로 공압출기의 성능이 우수해야 할 것이다. 또한 섬유의 지름이 일정하고 단면의 원형성

〈표-2〉 플라스틱광섬유의 광손실 요인

흡수	고유흡수	적외진동흡수 자외전자전이흡수
	불순물에 의한 흡수	천이금속불순물 유기불순물및물
산란	고유산란	Rayleigh 산란 먼지, 기포
	불순물에 의한 산란	광섬유구조의 불완전성 심외지름및단면의 불완전성 연선에 의한 분자배향 불균질

이 지켜져야만 한다.

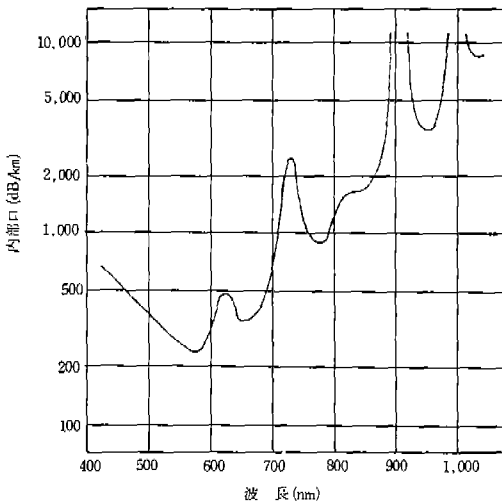
4. 플라스틱光纖維의 製法 및 性能

플라스틱 광섬유의 제법은 심과 반사막을 형성할 고분자물질을 용융공압출하여 섬유를 제조하는 것이 가장 보편적이다. 대체로 심과 반사막의 무게비는 10:0.5~2 정도이며 심과 반사막의 지름, 두께 및 원형성이 일정하도록 해야 한다.

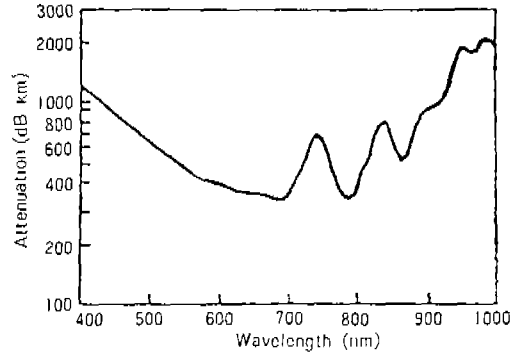
그 밖의 방법으로는 심을 먼저 압출한 후 용액 또는 용융상태의 반사막 물질을 심에다 도포하는 방법이다. 유리광학섬유제조에 주로 사용되고 있는 심과 반사막이 결합된 봉을 끝을 가열하여 광섬유를 뽑아내는 방법을 플라스틱광섬유제조에도 사용한 예는 있지만 보편화되지는 않고 있다. 플라스틱 광섬유의 지름은 0.1~3 mm범위내의 것이 현재 시판되고 있으며 굴곡성을 향상시키기 위하여 섬유를 형성할 고분자물질의 분자를 약간 배향시켜 놓는다.

플라스틱광섬유의 대표적인 것으로 PMMA를 심으로 사용했을 때 광파장에 따른 광손실량은 그림 4와 같다.

380~820nm의 광파장에서는 580nm와 660nm 2곳에서 낮은 광손실을 나타내며 실용화 되고 있는 GaAsP의 발광다이오드(Light-emitting diode: LED)는 광원의 파장이 650nm이므로 PMMA를 심으로 했을 때는 650nm에서의 광손실을 광섬유의 광전달성능으로 표시한다. 시판되고 있는 플라스틱 광



〈그림-4〉 대표적인 PMMA 플라스틱광섬유의 광파장에 따른 광손실



〈그림-5〉 중수소로 치환한 D-PMMA의 광손실

섬유의 광손실은 320 dB/km이지만 재료의 선택, 정제 및 공정방법에 따라 광투과시 손실을 낮출 수 있고 계면반사를 할 때도 일어나는 광손실을 적게 할 수가 있을 것이다.

수소를 중수소로 치환한 D-PMMA의 광손실은 그림 5에서와 같이 광투과파장이 큰 쪽으로 광투과창이 이동한다.

690nm와 790nm로 이동한 광투과창은 650nm의 GaAsP LED뿐만 아니라 790nm의 GaAlAs LED를 광원으로 사용할 수 있으며 자료전달 장치에서는 GaAlAs LED를 주로 사용하고 있다.

시판되고 있는 플라스틱광섬유의 성능은 표 3과 같다. 사용한 광원의 파장이 다른 것은 이들 플라스틱광섬유가 주어진 파장에서 광전달효과가 크기 때문이다.

5. 플라스틱光纖維의 用途 및 展望

석영광섬유는 낮은 광손실성을 가지고 있으므로 정보를 원거리로 보내는 목적으로 주로 사용되지만 플라스틱광섬유는 짧은 거리에서의 빛의 전달에 사용되며 그 용도는 표 4와 같다. 특히 석영광섬유에 비해 유연성이 좋고 충격에 견딜 수 있는 지름

〈표-3〉 시판되고 있는 플라스틱광섬유의 성능

섬유종류	A	B (Du Pont사)	C(Mitsubishi Rayon)
심재료	PS	PMMA	PMMA
반사막재료	PMMA	불소수지	불소수지
개구수	0.56	0.53	0.50
수광각(°)	68	64	60
광손실률*(dB/km)	1,500	320	300

* 광원 : A:589nm, B:690nm, C:650nm

〈30p에 계속〉

3. 効率的인 管理 運營方案

이와같이 街路燈의 量的質的 改良을 위한 莫大한 投資가 果然 빛 얻어 치룬 잔치 후의 虛脫感에 빠지는 꼴이 되지 않나? 過剩施設이 되어 部分的인 撤去라도 해야 되는 地境은 되지 않나 하는 것도 計劃 段階에서 徹底히 分析하여 基本計劃을 樹立하지 않으면 안된다고 본다.

이런 視點에서 볼 때 施設後에 本施設의 活用性 極大化와 經濟的 運營의 妙를 살려야만 한다.

施設後의 管理費中 제일 큰 比重을 차지하는 것은 亦是 電氣料金이다.

現在 年間 街路燈·電氣料金은 29億원이 所要되는데 89年度에는 現行料金 水準을 基準한다 해도 80億원이 所要되어 이런 趨勢로 가면 管理費 比重이 점점 커져 限定된 財源으로 新規 設置나 改良에 는 전혀 投資를 할 수 없는 地境에 이르고 만다.

따라서 管理費中 電氣料金의 加重值를 極小化 시

킬 必要가 切迫하다. 이러한 觀點에 着眼하여 現行 街路燈 配線方式인 一回線 方式을 新設 또는 改良時 2回線 方式으로 設置하여 現在 使用되고 있는 無線遠隔 操縱 點消燈方式과 相互 調合시켜 深夜等 晝를 必要性이 적은 時間에는 施設容量의 一部(1/3程度)만 點燈할 수 있게끔 時差別 差等 點燈 함으로써 効率的인 運營을 할 수 있도록 計劃하여 잔치를 치룬 후에도 後遺症을 最小化 할 수 있도록 對處하고 있다.

이러한 計劃들이 成功裡에 遂行되어 88올림픽을 치룰 때 쯤이면 서울의 밤 거리는 한층 밝고 快適한 거리가 될 것이며, 여기에 市民 마음속의 어두움 즉 無秩序 不親切마저 깨끗이 一掃하여 밝고 명랑한 마음, 상냥하고 親切하며 禮儀 바르고 人情이 넘치는 우리의 따스한 마음을 이에 더한다면 錦上添花가 될 것이다.

— (27p에서 계속) —

〈표-4〉 플라스틱광섬유의 용도

분 야	용 도
1. 공업용	
조명광의가이드	안전조명, Pin-Point 조명
안 내 판	도로, 공공장소
자 동 차	동화모니터, 스위치, 계시판
가전제품	다이얼스위치, 계시판
검사, 의료용	광학센서헤드, 영상가이드
정보시스템	카드리더, 팩시밀리용콘버터, 광팬, 자료전달가이드
특수분야	비접촉온도측정, 발전소의전류및 전압조절, 방법용울타리, 고온로의조절, 위험한원자장의측정
2. 비공업용	
장식, 광고	옥내램프, 각종디스플레이, 간판
일용품, 완구	수예 및 공작용

이 큰 섬유를 만들 수가 있으며 가공성이 좋고 가벼우며 값이 싸기 때문에 독자적인 용도개발의 여지가 크다고 할 수 있다.

플라스틱광섬유의 용도는 단거리 광에너지전달매체로 현재에는 국한되어 있지만 광손실율을 대폭 낮출 수가 있다면 그 용도는 커질 것이며 그와 같은 노력이 현재 진행 중이다.

그밖에도 광통신분야에서 해결되어야 할 문제는 광섬유의 연결부품과 광원 및 감광소자와의 연결부품 및 광회로개발이다. 현재 주로 사용되고 있는 광섬유연결방법은 용착에 의한 것이지만 접속과 관절을 임의로 할 수 있는 방법이면 더 편리할 것이다. 광원과의 연결은 접속과 단절을 임의로 할 수 있도록 만들어졌으며, 광섬유의 심이 정확하게 위치하도록 접속부품이 설계되어 있다. 현재까지는 플라스틱계 연결부품에 의한 접속에서 0.53dB의 광손실이 일어나고 있다. 이와 같은 부품은 플라스틱 성형기술의 발달로 정밀도가 향상될 가능성이 크다. 광회로는 전기회로를 평판위에 설치하는 것과 마찬가지로 광투과율이 높은 고분자재료와 매트릭스 중합을 이용하여 플라스틱 평면광회로를 만드는 것이다. 이 원리는 복수단말장치로 광의 분배가 가능하며 광 IC의 가능성마저 보인다.

컴퓨터 이용도가 날로 증가하고 공장의 작업이 자동화 되고 있으며 대형건물 속에서 폭주가 예상되는 정보를 쉽게 전달할 수 있는 매개체로 등장한 플라스틱광섬유는 몇 가지의 단점을 보완한다면 그 용도가 크게 증가할 것이며 일상생활을 더욱 윤택하게 해 줄 것이 기대된다.