

光 通 信

曹 在 喆

〈韓國科學技術院 응용
광학연구실·理博〉

1. 序 論

동축케이블에 의한 通信체제에서 야기되는 많은 問題點들을 거의 해결할 수 있는 첨단의 通信技術로는 光纖維를 매개체로 하는 光通信을 들 수 있다. 光通信은 ① 부피가 작고 무게가 가볍다. ② 대역폭이 커서 보낼 수 있는 정보량이 매우 크다. ③ 電磁的 간섭이 전혀 없다. ④ 도청이 거의 不可能하다. ⑤ 먼 거리까지도 무중계 傳送이 가능하다. 이와 같은 많은 장점들을 내포하고 있기 때문에 동축케이블에 의한 通信체제의 기능을 모두 소화할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 동축케이블에 의한 通信에서는 상상도 할 수 없었던 可能性을 소유하고 있다.

理論的으로는 한 개의 光纖維케이블로 1억인이 동시에 通話가 可能하며 상용으로 시판되고 있는 光纖維의 경우에는 광섬유 한 개로 6천회線 정도의 전화채널이 가능하다.

광섬유는 재질이 銅線보다 가벼운 유리로 되어 있기 때문에 같은 기능을 갖는 동축케이블의 무게보다 그의 무게는 1/20 정도 더 가볍다.

따라서 시설하기가 매우 편리하고 항공이나 선박 내부에서의 通信으로 光通信을 利用한다면 더 많은 화물과 승객을 輸送할 수 있다.

또한 電磁的 간섭이 전혀 없기 때문에 태양풍, 천둥, 번개 등에 의한 통신두절이나 혼선

현상이 發生하지 않으며 전자적 간섭이 많이 發生하는 변전소나 발전소 등에서의 通信에 使用이 可能하다.

군사적인 면에서는 도청이 거의 不可能하므로 비밀유지용 通信에 光通信을 利用할 수 있고 光纖維 내부에서의 光損失이 대단히 적어 100km 이상의 거리까지도 無中繼 傳送이 可能하여 시설비가 저렴하게 든다.

이러한 光通信에 대한 研究는 1970年代 초부터 미국, 일본 등 선진국에서 시작되어 10여년의 研究를 거쳐 1983年度부터는 實用化단계에 도달하였으며 실지로 電話回線에 使用이 되고 있다.

國內에서도 1977년도 후반부터 KAIST 에서 光通信에 대한 研究가 시작되어 1983년도부터는 기업화단계로 추진하는 계획이 확립되었다.

이에 힘입어 國內의 대기업들이 기업화를 추진하기 시작하였으며 기업화 기간의 단축을 위해 미국의 AT&T, ITT와 일본의 Sumitomo 등과 기술도입계약을 체결하였다.

그 결과 국내에서도 첨단의 技術로 양질의 光纖維가 대량生産될 수 있게 되어 조만간 光通信 時代가 도래될 전망이요 보면 光通信에 대한 이해가 널리 보급되는 것이 바람직하다는 생각에서 이 글을 쓰고자 한다.

光通信에 대한 理論 및 特性을 설명하기 위해서는 광통신의 주요 매개체인 光纖維의 特性을 먼저 이해해야 되기 때문에 우선 光纖維의 특

성과 제조에 대해 간단히 설명을 한 다음 光通信에 대해 언급하기로 한다.

2. 光纖維의 特性和 제조

<그림-1>과 <그림-2>는 상용으로 시판되고 있는 光纖維의 구조와 그의 단면의 실제 모습이다.

<그림-1>과 같이 光纖維는 원통형의 구조를 갖고 있으며 내부는 코아와 클래딩의 두 부분으로 구분되어 있다.

코아의 굴절율은 클래딩의 굴절율보다 다소 크게 되도록 제조되는데 이것은 光이 광섬유 코아로 입사되면 코아와 클래딩의 경계면에서 계속 전반사가 되면서 光纖維 軸을 따라 광속에 가까운 속도로 進行하도록 해 주기 위해서이다. 이것이 곧 광섬유의 주요기능인 光의 誘導作用이다.

光纖維의 光의 誘導作用 때문에 광섬유 코아로 입사된 光은 광섬유 밖으로 빠져나가지 못

하고 光纖維 軸을 따라 계속 進行하게 되는데 이로 인해 광섬유가 구부러져 있더라도 그 구부러진 경로를 따라서 光이 進行하게 된다.

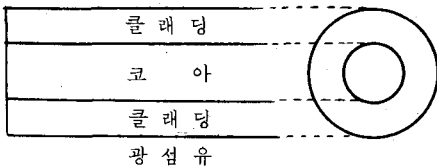
<그림-2>에서 보이는 光纖維의 단면사진은 광섬유의 한 끝에서 光을 비춰주고 다른 끝부분을 현미경으로 크게 확대하여 본 경우인데 中心에 밝은 부분이 광섬유코아로서 光이 誘導되는 부분이다.

광섬유의 굵기는 人間の 머리카락보다 더 가늘어서 0.1mm 정도밖에 되지 않기 때문에 그의 주성분이 유리라고 하더라도 銅線처럼 마음대로 구부러질 수 있다.

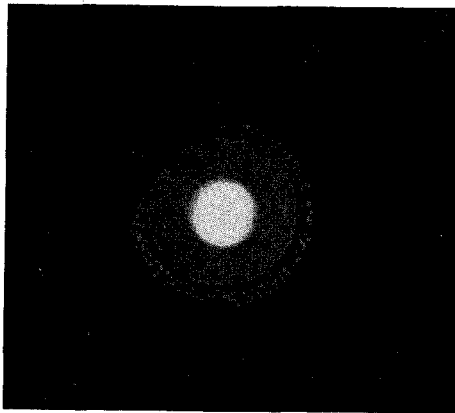
光纖維에는 다중모드광섬유와 단일모드광섬유의 두 종류가 있으며 각 광섬유는 코아 내에서의 屈折率분포에 따라 다시 계단분포(step-index) 광섬유와 경사분포(graded-index) 광섬유로 구분되어진다.

다중모드광섬유는 코아직경이 0.05mm 程度로서 많은 光을 코아속으로 입사시킬 수 있는 반면에 이를 통해 보낼 수 있는 情報量은 단일모드광섬유보다 더 적다.

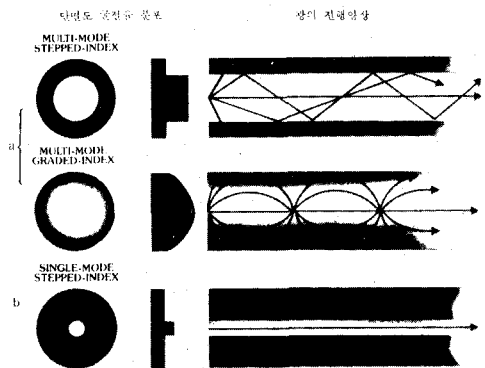
또한 同一한 단일모드광섬유에서도 계단분포광섬유보다 경사분포광섬유가 더 많은 情報를 傳送시킬 수 있다.



<그림-1> 光纖維의 구조



<그림-2> 光纖維의 단면



a) 다중모드광섬유 b) 단일모드광섬유

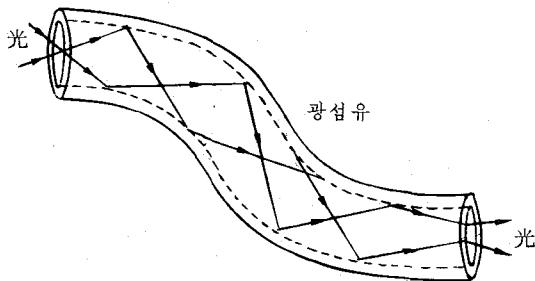
<그림-3> 光纖維 속에서의 光의 進行상과 코아의 屈折率 분포

단일모드光纖維는 코아직경이 0.005 mm 以下로 대단히 작아서 光을 코아속으로 입사시키는 것이 어려운 반면에 이를 통해 보낼 수 있는 情報量은 다중모드광섬유보다 수십배 이상되는 장점을 갖고 있다.

다중모드광섬유와 단일모드광섬유로 光이 입사되어 光纖維 軸을 따라 進行하는 양상과 이들의 코아內에서의 屈折率분포 $n(r)$ 은 <그림-3>과 같다.

<그림-3>에서 보면 계단분포 다중모드광섬유의 경우에는 光은 코아內에서 直線的 運動을 하여 코아의 屈折率이 일정하고 경사분포다중모드광섬유의 경우에는 光은 코아內에서 곡선적 運動을 하며 코아의 굴절율이 中心으로부터 멀어질수록 서서히 감소함을 알 수 있다.

또한 단일모드광섬유의 경우에는 단지 光纖



<그림-4> 구부러진 光纖維 속에서의 光의 경로

維 軸에 平行하게 입사되는 光만 코아속에서 誘導될 수 있는 것을 알 수 있다.

<그림-4>는 계단분포 다중모드광섬유가 구부러져 있는 경우에 코아속으로 光이 誘導되는 양상을 보여 준다.

光纖維를 제조하는 方法에는 대표적으로 MCVD 법과 VAD 법이 있다.

여기서는 MCVD 법에 의한 光纖維 제조공정에 대해서 설명하기로 한다. <그림-5>는 MCVD 法을 보여준다.

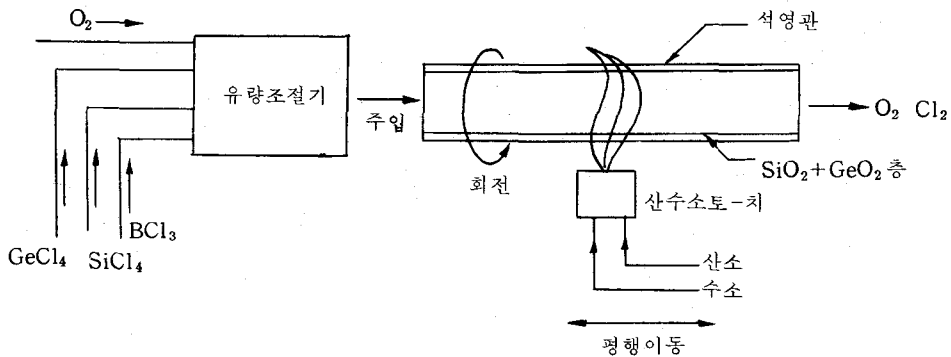
광섬유의 주요 재질은 산화규소인데 이 物質은 지구상에 무한히 存在하는 모래의 주성분이므로 광섬유를 제조하는데 使用되는 原料의 공급에는 문제가 없다.

광섬유 제조에 사용되는 高純度기체로는 $SiCl_4$ 와 $GeCl_4$ 를 들 수 있는데 이 기체들은 석영관 안으로 주입되면서 산수소 불꽃에 의해 1,200°C 의 고온에서 가열되어 산소와 반응함으로써 SiO_2 와 GeO_2 를 生成시킨다.

생성된 SiO_2 와 GeO_2 는 석영관 내벽에 증착되게 되며 원하는 두께만큼 증착이 완료되면 2,000°C 의 고온으로 석영관을 가열하여 수축시킨다.

수축과정이 완료되면 유리봉 모양의 광섬유모재 (preform)가 제조되는데 이 모재를 사출기에 삽입하여 직경이 0.1mm 정도되게 잡아 뽑으면 이것이 바로 光纖維이다.

그런데 광섬유는 습기에 접하게 되면 그의 강



<그림-5> MCVD 法

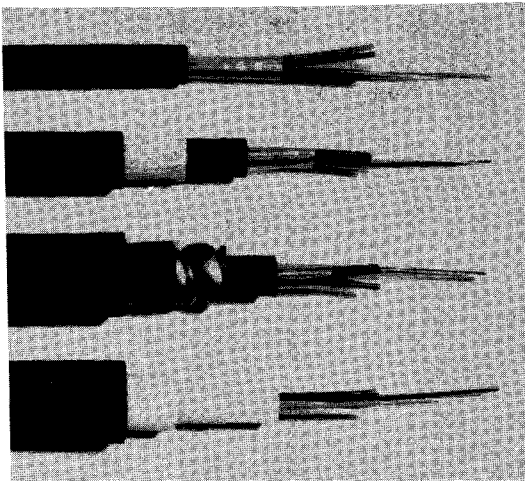
도가 약해지기 때문에 사출과정에서 곧바로 탄성이 좋은 실리콘 레진으로 피복되어진다.

광섬유코어의 屈折率 분포의 조절은 광섬유모재를 제조할 때에 석영관 안으로 주입되는 $GeCl_4$ 기체의 유량을 조절함으로써 可能케 된다.

피복된 光纖維를 다시 케이블링함으로써 직경이 5~10mm가 되는 광섬유케이블이 제조되는데 하나의 광섬유케이블에는 通常 4~6개의 光纖維가 내장되어 있으며 그 외에 케이블의 강도를 보강해 주는 강철선과 가는 銅線들이 같이 내장되어 있다. <그림-6>은 광섬유케이블의 모습이다.

3. 光纖維를 매개체로 한 光通信

光纖維를 매개체로 한 光通信의 개략도는 <그



<그림-6> 광섬유케이블

림-7)과 같다.

보내고자 하는 情報, 즉 입력정보에 비례하는 電氣的 信號를 구동기에 의해 光源에 걸어주면 光源은 電氣的 信號에 비례하는 강도변화를 갖는 光, 즉 변조광을 방출하게 된다.

變調光은 렌즈 L_1 에 의해 光纖維 코어로 입사되고 입사된 光은 光纖維 軸을 따라 誘導되어 情報를 보내고자 하는 곳까지 도달하게 한다. 도달된 光은 광섬유 밖으로 다시 나오게 되며 렌즈 L_2 에 의해 光檢出器 위로 집광되어진다.

光檢出器는 보내온 變調光의 강도변화에 비례하는 電氣的 信號, 즉 出力情報를 출력하게 되어 그 곳에 있는 사람이 애초에 보내고자 했던 入力情報를 감지할 수 있게 된다. 이것이 光通信의 기본원리이다.

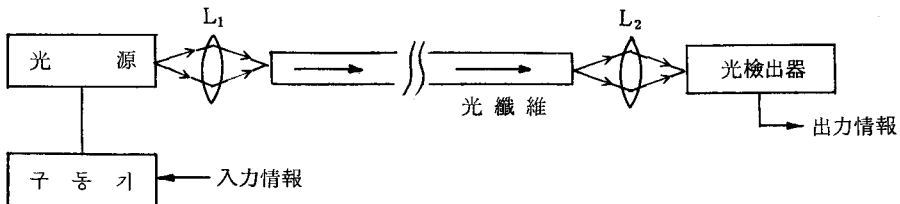
<그림-8>은 영상신호를 광통신에 의해 다른 장소로 전달하는 장치이다.

따라서 光通信을 설치하려면 光纖維뿐만 아니라 入力 및 出力부분에서의 단말장치들이 요구된다.

입력부분에서는 入力情報에 비례하는 電氣的 信號를 發生시키는 구동기의 제조가 요구되며 구동기로부터 出力되는 전압변화에 비례하는 강도변화를 출사시켜 줄 수 있는 光源이 요구된다.

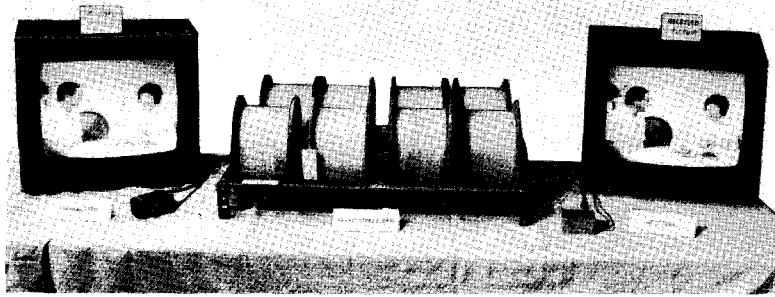
光通信에 使用되는 光源으로는 發光다이오드(LED)와 레이저다이오드 등이 使用되는데 發光다이오드는 출사되는 波長의 폭이 넓고 光이 퍼지는 特性을 갖고 있으며 출사되는 光의 강도도 약하다.

그러나 저전류에서도 作動이 可能的 장점을



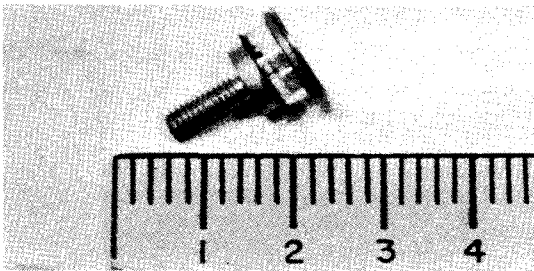
L_1, L_2 : 렌즈

<그림-7> 光通信의 개략도



(광섬유길이 = 10.4 km)

〈그림-8〉 光通信에 의한 영상신호의 傳達



〈그림-9〉 光通信에 사용되는 光源의 모습

갖고 있다.

레이저다이오드는 출사되는 波長폭이 좁으며 光이 쉽게 퍼지지 않아서 렌즈로 광섬유 코아 속으로 光을 집어 넣기가 용이하다. 또한 출사되는 光의 강도가 세다.

이러한 光源들은 GaAs나 InP 등의 반도체 物質을 사용하여 제조되고 있기 때문에 이들의 제조에는 반도체 물질의 가공과 박막제조기술 등이 요구된다.

시판되고 있는 發光다이오드나 레이저다이오드의 직경은 5 mm 내외이며 이들의 실제 모습은 〈그림-9〉와 같다.

光通信에 사용되는 光源들은 출사되는 波長이 보통 $0.8 \sim 0.9 \mu m$ (단 $1 \mu m = 0.001 mm$ 임)인 것과 $1.3 \sim 1.55 \mu m$ 인 것의 두 종류로 구분되어 있으며 최근에 유행하는 長波長帶 光通信에서는 후자의 경우를 사용하고 있다.

이러한 光源들은 그의 수명이 10.5 時間 以上이 되어야만 實用性을 갖추게 되는데 現在에도 수명기간을 늘리려는 研究가 선진각국에서 進行되고 있으며 더욱 긴 波長을 출사하는 光源의 제조방법에 대해서도 研究가 進行中이다.

出力부분에서는 光檢出器가 요구되는데 광검출기로는 실리콘 포토다이오드와 애벌런취 포토다이오드(APD) 등이 사용된다.

실리콘 포토다이오드는 감도는 좋으나 반응속도가 느려서 저주파수에서의 光通信용으로 사용되며 반면에 APD는 감도는 약하지만 반응속도가 매우 빨라서 고주파수 광통신용으로 사용된다.

이들의 크기와 모습은 〈그림-9〉에서 보인 光源들과 거의 同一하다.

光檢出器의 제조에는 Ge, Si, GaInAsP, InP 등의 반도체 물질이 사용된다.

光源과 光檢出器 외에도 光通信에서는 光纖維를 연결시키는 장치로서 콘넥터와 스플라이서(splicer)가 사용되며 광섬유를 통해 더 많은 情報를 보낼 수 있도록 하기 위해 波長多重 분할기와 時間多重분할기 등이 사용된다.

파장다중분할기는 여러 개의 波長을 同時에 光纖維에 집어 넣어 같이 誘導시킨 뒤에 광섬유 끝에서 光檢出器로 검출할 때에 光學필터를 사용하여 波長들을 各各 분리시켜서 검출하는 데 사용된다.

광섬유를 연결하는 장치인 스플라이서는 電氣 방전에 의해 發生되는 열로 광섬유의 이음새 부분을 가열하여 광섬유가 용융상태에 있으면서 서로 달라 붙도록 해주는 역할을 한다.

이 장치로 光纖維를 연결할 때 연결부분에서의 光損失을 가능한 적게 해주기 위해서는 광섬유 코어들이 서로 정확히 맞보고 있도록 배열해야 되며 이를 위해서 0.001 mm 以下の 정밀도를 갖는 미세이동장치가 부착되어 있다.

光纖維를 매개체로 하는 光通信에서 보낼 수 있는 情報量은 대단히 커서 양질의 단일모우드 광섬유를 使用하는 경우에는 1km의 거리까지 매 초당 1,000억개 (100 G bit/sec)의 光펄스를 전달시킬 수 있다.

따라서 1km의 거리를 送受信거리로 가정할 때에 위의 光纖維를 利用하면 단지 하나의 광섬유로 1,000만회선의 音聲電話 회로가 可能하게 된다. 이것은 기존의 通信체제에서는 상상도 할 수 없는 結果이다.

그러나 실지로는 구동기의 반응속도에 제한이 있고 위와 같이 고속으로 구동시키는데 요구되는 전자장치의 製造가 어렵기 때문에 現在에는 光纖維의 傳達能力을 最大化로 사용하지 못하고

있는 실정이다.

위와 같이 고속으로 구동시키려면 실리콘 반도체를 기판으로 한 전자회로로는 不可能하며 GaAs 나 InP를 기판으로 使用하여 제조하거나 또는 LiNbO₃와 같은 광전자효과가 있는 격자위에서 光을 變調시키는 장치를 제조하여 使用하여야 가능하다.

이러한 광변조장치의 구조는 <그림-10>과 같다. <그림-10>에서 보이는 광변조방법을 간접 구동법이라고 부르는데 이러한 장치를 製造하기 위해서는 集積光學技術이 우선 確立되어야 한다.

4. 展 望

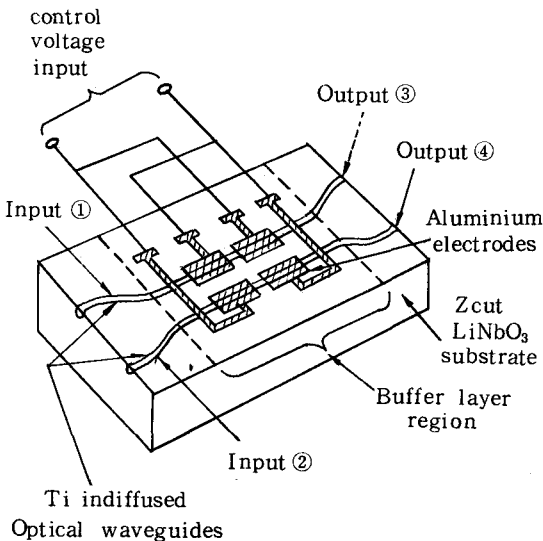
光纖維를 매개체로 한 光通信은 音聲信號뿐만 아니라 영상신호의 傳達用으로 탁월한 기능을 소유하기 때문에 CCTV 등에 분리 利用될 展望이며 이로 인해 가정이나 회사에서도 백화점에 있는 상품의 정보, 경매중계, 주식정보, 세계시장정보, 최신과학정보 등 원하는 情報를 저렴한 비용으로 받아 볼 수가 있고 상대방의 모습을 직접 보면서 通話할 수도 있게 될 것이다.

이것은 기존의 銅軸케이블에 의한 通信보다 光通信이 시설비가 훨씬 저렴하기 때문에 可能的 것이다.

光通信의 위력은 1984년 L.A 올림픽時에도 증명되었다.

대용량 컴퓨터가 점차로 보급되고 소형의 개인컴퓨터가 開發되어 각 가정이나 회사내에 비치되게 될 때 대용량 주컴퓨터와 개인컴퓨터 사이의 情報 교환에도 光通信이 이용될 것이며 먼 곳에 위치한 사람끼리도 직접 만나지 않고 영상신호에 의한 회의를 할 수 있게 해 줄 것이다.

또한 미래에 光컴퓨터가 開發되면 光컴퓨터內에서의 情報傳達用으로 使用이 될 것이며 국가와 국가간의 기밀을 요하는 通신탄으로도 使用될 목적으로 해저에 광섬유케이블이 설치되어 바야흐로 지상, 지하 및 해저 곳곳에서 光纖維를 통해 光들이 거의 광속에 가까운 速度로 복잡하게 進行하는 時代가 도래될 것이다. ♣



<그림-10> 광변조 장치