

# 光纖維를 利用한 光通信의 技術現況〔I〕

朴 漢 奎

延世大學校 電子工學科 (工博)

## I. 序 論

光通信이란 광 영역에 속하는 電磁波를 利用하여 通信하는 것을 말하며, 고전역학 및 量子光學과 고도의 電子通信工學의 結合으로 이룩된 새로운 通信 方法이다. 光學的 方法을 使用하여 情報를 전송하는 方法은 이미 數世紀 前부터 초보적인 方法으로나마 시도 되어 왔지만(봉화통신이나 함정간에 使用하는 조타통신은 광펄스를 使用한 원시적 형태라 할 수 있으며 이것은 코헤런트하지 않은 光波를 利用한 것이다), 레이저가 發明되고 광섬유(optical fiber)의 實用化가 이루어지면서 부터 코헤런트한 光을 利用한 光通信이 각광을 받게 되었다.

光通信은 종래의 通信 方法에 비해 다음과 같은 長點을 가지고 있다.

1. 주파수가 높은 빛을 사용하므로 周波數 대역폭이 넓어지고 따라서 대용량의 다중통신이 가능하다.
2. 외부 電磁波에 의한 간섭을 받지 않는다.
3. 혼선이 거의 없다.
4. 소형·경량이다.
5. 원료인 Si이 풍부해서 경제적이다.
6. 외부의 기후·습기등에 영향을 받지 않는다.
7. 현재 使用하는 시스템과 연결 使用이 可能

하다.

이와 같은 특징을 지니고 있는 光通信이 우리의 實生活에 利用 되는데에는 光纖維의 開發이 지대한 공헌을 하였다. 그 理由는 光通信에 使用하는데 가장 적합한(現 광섬유의 경우) 波長은  $0.8 \sim 1\mu\text{m}$  정도인데, 이를 大氣中에서 빔(beam)으로 보내면 공기중의 많은 分子나 이온(ion)들과 충돌, 공명하여 흡수됨으로 멀리 전파되지 못한다. 따라서 레이저 빔에 의한 通信은 空氣가 없는 宇宙 空間에서 使用하고 地上에서는 순수용융석영을 섬유 형태로 만든 광섬유(optical fiber)를 利用하여 通信하게 된다. 광섬유는 동축케이블이나 도파관과 性質이 유사하여 이의 理論들을 적용할 수 있다.

1966년 英國의 Kao와 Hockham이 광섬유를 利用한 통신의 가능성을 제시한 후 1970년에 英國의 Kaproh의 손실  $20\text{dB/km}$ 의 석영 유리섬유를 만들고, 1972년 Corning Glass Co.에서  $7\text{dB/km}$ , 1973년 Bell Lab에서  $2.5\text{dB/km}$ , 1978년 초에는  $1.2\text{dB/km}$ 의 저 손실을 갖는 fiber제작에 成功하였다. 이처럼 저 손실 광섬유와 半導體 레이저의 開發로 상온에서도 연속적인 oscillation이 가능하게 되고, 또한 가격도 저렴하고 實用性도 높아지므로써 국내에서도 1985년경에는 利用 되리라 전망된다.

광섬유를 利用한 光通信은 現在 세계적으로

작광을 받고 있으며, 국내에서도 한창 研究 開發 中이다.

이같은 光通信 시스템을 어떻게 갖추는가를 간단히 살펴보면 그림 1과 같이 電氣的 신호를 光 신호로 변환하는 송신부(transmission section) 송신부에서 수신부까지 光 신호를 전달하는 전송 매질(transmission media: optical fiber), 光 신호를 본래의 電氣的 신호로 재 변환하는 수신부(receiving section)로 구성된다.

일반적으로는 analoge 신호를 PCM신호로 변환하여 보내며 광파변조는 pulse의 경우나 analoge의 경우에 모두 IM(intensity modulation)을 사용한다.

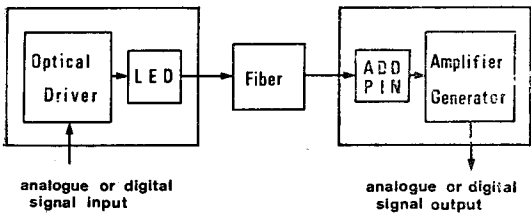


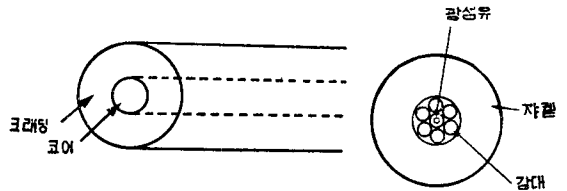
그림 1. 광통신시스템의 구성도

본 論文에서는 光通信시스템 중에서 전송 부분(transmedia)인 광섬유에 대하여 중심으로 論하고, 다음호에 계속하여 송·수신부와 기타 부분에 對하여 기술하고자 한다.

## II. 광섬유(Optical Fiber)

광섬유의 構造는 그림 2(a)와 같이 光이 전달되는 코어(core)부분과 이를 전반사 시키는 크래딩(cladding)부분으로 이루어져, 코어-크래딩의 경계면이 구성되고 있다. 여기서 코어의 굴절율은 크래딩의 굴절율보다 커야 되며, 송신 광

원을 광섬유에 結合(Coupling)시킬 때 코어-공기의 경계면이 생기기 때문에 공기의 굴절율과도 밀접한 관련을 가지게 된다. 이때에 光이 코어내로 投入되는 관계는 스넬의 법칙(Snell's law)을 따르게 된다.



(a) 단일코어 (b) 광섬유 Cable

그림 2. 광섬유(Optical fiber)의 구조

위와 같은 構造를 가진 光纖維의 特性和 構造에 對한 자세한 內容을 項目別로 나누어 생각하여 보기로 하겠다.

1. 入射光線(incident ray)과 코어내의 전송 문제, 軸芯光線(meridional ray)과 나선형 光線(skew ray)의 정의

그림 3과 같이 입사된 波는 코어-크래딩 경계면에서 反射 되면서 계속 進行 할 것이며 入射角이 작을 수록 進行 길이(path length)는 길어지고 반사 회수가 줄어 들기 때문에 입사각이 큰

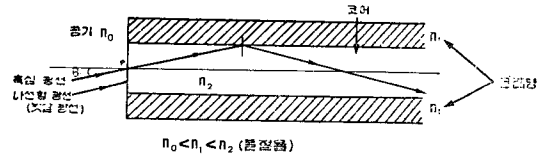


그림 3. 축심광선과 나선형 광선

경우보다는 감쇠가 적기 때문에 보다 원거리를 進行 할 수 있다.

공기-코어의 경계면에서 볼 때는 마치 빗방울이 떨어지는 것과 같이 數 많은 光線이 임의 方向에서 입사 하겠지만 임계각 以內에서 축심원점 P를 통과하는 光線만이 원거리 進行이 가능

하며 코어-클래딩 경계면에서 反射되는 반사파는 반드시 軸芯(core axial)을 통과하게 된다. 이러한 光線을 軸芯原點 通過光線 또는 단순히 軸光線 (meridional ray)이라 한다. 軸芯原點을 통과하지 않고 임의의 각으로 들어오는 빔살형 입사광선은 코어-클래딩 경계면에서 전반사되거나 굴절 투입 될 것이고 投入된 굴절과는 軸芯을 통과하지 않은 채 나선형의 궤적을 그리면서 軸芯 方向으로 進行할 것이다. 그러나 反射回數가 많아서 同一한 강도일 경우 軸芯光線보다는 훨씬 짧은 거리 밖에 도달하지 못 할 것이다. 이러한 光線을 빔살형 光線 또는 나선형 光線 (skew ray)이라 한다.

## 2. 開口數(Numerical Aperture: NA)의 정의

### 2-1 정의

축심 광선의 最大 入射角( $Q_{max}$ )은 입체각으로 表示할 수가 있으므로, 마치 원뿔형 (cone)을 이루며 어떤 光線이든 원뿔형 안에 들어오고 軸芯原點을 通過 하여야만 코어내에서 進行할 수가 있다. 이와 같은 원뿔형 立體를 光纖維에서의 開口(aperture)라 하고 開口각의 정현 함수에 상대 굴절율로 나타낸  $n_0 \sin Q_{max}$  값을 開口數(NA)라 정의한다.

空氣中에서  $n_0=1$ 이므로  $NA = \sin Q_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ 로 표시된다. 코어의 굴절율이 클래딩의 굴절율보다 크면 클 수록 NA가 커짐을 알 수 있고, NA와 코어의 직경간에는 아무런 관계

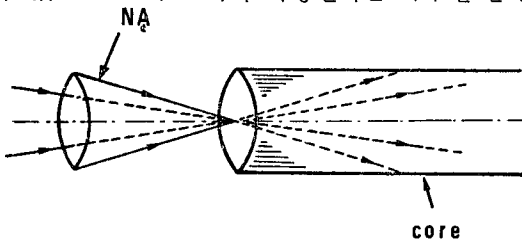


그림4. NA의 개념과 축심 광선과의 관계

가 없다. 그림 4는 NA를 깔대기와 같은 입체각으로 도형화 한 것이며 이 범위內로 들어와서 原點을 通過하는 光線만을 前記한 軸光線이라 한다.

### 2-2 코어의 직경과 입사파와의 관계

同一한 開口數를 가질 때 직경이 넓으면 빔살형 입사파가 들어 갈 확률은 높아진다. 따라서 多重모드가 생기고 전송 효율이 떨어져 감쇠가 많아진다. 반면에 직경이 좁으면 단일모드가 생기고 감쇄가 적어지므로 원거리 전송이 가능하나 직경이 적은 경우에는 결합(coupling)과 제조가 어려운 단점이 있다. 이런 관점에서 보면 NA란 軸光線이 들어갈 수 있는 입체각의 범위라고도 생각할 수 있다.

### 2-3. NA개념의 응용

NA는 입사광선이 굴절 투입되는 개념을 나타내는 광섬유의 중요한 인자로서 이 개념을 광섬유와 광원 사이를 연결하는 데에도 응용할 수 있으며 기타 여러 가지 현상을 설명하는데 유용하게 쓰인다. NA가 적으면 펄스의 퍼짐 현상도 작아서 (low pulse dispersion) 고속 펄스 전송 (high bit rate transmission)에는 유효하지만 마이크로 벤딩 (micro bending)에 의한 손실은 증가한다. 원거리 전송에는 작은 NA가 요구되지만 근거리인 경우에는 높은 NA도 무방하다.

### 2-4. 계단굴절형 (Stepped Index) 광섬유와 단계굴절형 (Graded Index) 광섬유

NA를 決定하는 要素는 코어 직경보다는 굴절율이 관계되므로 軸芯 근방에만 굴절율을 아주 크게하고 그 주위는 차차로 보다 작은 굴절율의 단계 (grade)를 만들면 軸光線만이 입사하게 되고 빔살 광선은 입사량이 적어 질 뿐 아니라 축방향으로 촛점이 생겨 모든 광선은 축방향으로 모아지기 때문에 손실이 적어진다. 이러한 형태

의 광섬유를 단계 굴절형 광섬유(graded index fiber)라 한다. 단계 굴절형 광섬유를 만드는 방법은 광섬유에 첨가해 주는 불순물(dopant)을 조절함으로써 가능하다. 이에 비해서 單一 굴절율로 된 코어를 계단 굴절형 광섬유(steped index fiber)라 한다.

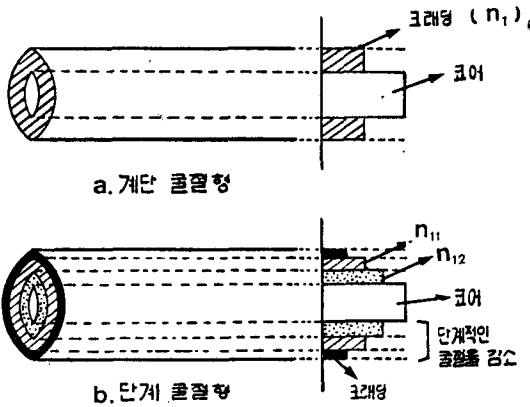


그림 5. (a) 계단 굴절형 (b) 단계 굴절형

### 3. 單一-모드(single-mode)와 다중모드(multi-mode)

직경이 작은 광섬유는 축심광선만이 入射가 可能하고 코어 안에서는 항상 軸心 주위의 光線 强度(light intensity)가 제일 강하고 軸心에서 멀어 질 수록 강도가 떨어진다. 따라서 强度 分布는 광섬유의 단면적에서 살펴보면 그림 6(a)와 같은 가우스 분포(Gaussian distribution)를 가지며 이를 가우스 빔(Gaussian beam)이라 한다. 단일모드는 가우스 빔 단면 분포 모양이 1개 일때를 말하며 직경이 큰 광섬유는 軸心 光線 뿐만 아니라 빛살형 입사파(Skew ray)가 많아지고 또 다른 軸心 光線이 생기므로 그림 6(b)와 같이 강도 분포는 여러 개가 생기는데 이를 다중모드라 한다. 다중모드에 관한 理論的 전개는 Hermite 다항식으로 나타내진다.

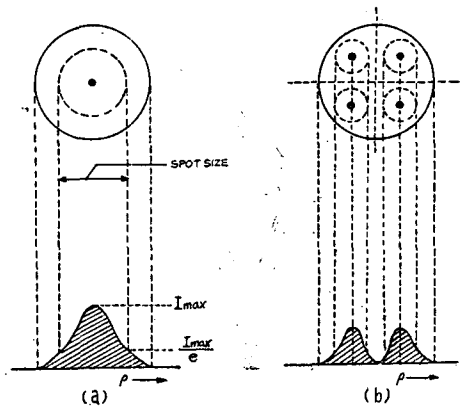


그림 6. 단일모드와 다중모드에 대한 강도 분포(가우스분포)

(a) 단일모드 (b) 다중모드

### 4. 單一-코어 光纖維(Single Core Fiber)와 다발코어 光纖維(Bundle Core Fiber)

코어의 使用上 기계적으로 여러 가지 問題가 있어서 코어 가닥을 1개로하여 使用하는 것 보다는 다발로 만드는 것이 유리할 때가 있다. 그러나 기계적 강도는 우수 할 지라도 同一한 단면적 일 경우 單一-코어에 비하여 전송 특성이 저하되는 短點이 있게 된다 보고된 바에 의하면 동일한 조건이고 19개의 다발로 묶었을 때 번들 감쇠가 약 3dB/km 정도이다. 다발 코어에도 코어의 수가 적은 저 손실형과 코어의 수가 많은 고손실형이 있으며 고 손실형은 단면적이 넓어지고, 직경이 커지므로 다중모드가 생겨 손실이 증가하는

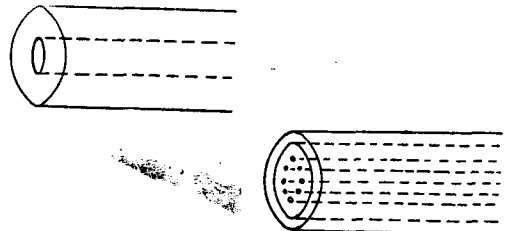


그림 7. (a) 단일코어 광섬유 (b) 다발코어 광섬유

것은 단일코어와 같은 이치이다. 그러나 기계적 강도가 우수할 뿐 아니라 결합(coupling)이나 스프라이싱(splicing) 등의 기술적 문제가 용이한 장점이 있다. 그림 7은 단일코어와 다발코어 광섬유의 모양을 보인 것이다.

### 5. 전송손실(Transmitting Loss)과 초과손실(Excess Loss)

전송손실이란 코어 自體 物質에서 생기는 흡수 산란손실을 말하며 초과손실이란 제작상의 결합 또는 외부적 요인에 의하여 생기는 손실을 말한다.

#### 5-1. 흡수손실(Absorbing Loss)

흡수손실은 코어 物質 自體에서 發生하는 내인성 흡수손실(intrinsic absorption loss)과 첨가 불순물에 의한 불순물 흡수손실(impurity absorption loss) 및 原子결합에 의한 원자결합흡수류실(atom defect absorption loss) 등의 3종류가 있다.

#### 5-2. 산란손실(Scattering Loss)

첨가 불순물과 코어 物質에 의해 發生하는 것으로 모든 투명체는 상온에서 과냉각 상태로 있기 때문에 주위 온도에 따라 原子 構成이 불규칙하게 구성될 가능성이 있고 이에 따라 밀도 및 굴절율의 차이가 생겨 산란이 생긴다.

#### 5-3. 초과손실(Excess Loss)

초과손실은 그림 7과 같은 벤딩에 의한 산란과 케이블을 만 들때 피막이나 피복 또는 강대(strengthening member; 케이블을 기계적으로 강하게 하기 위하여 넣어주는 강선가닥을 말함)에서 받는 압력이나 장력등에 의하여 發生한다. 초과손실 중에서는 벤딩에 의한 손실이 重要하

며 벤딩손실은 제작 과정이나 설치 과정에서 휘거나, 코어-클래딩의 경계면의 불균일로 인한 산란, 또는 돌출물(bump)에 의하여 휘어지거나 금이 생기는 마이크로 홈(crack)이나, 마이크로 벤딩에서 생긴다. 일반적으로 벤딩의 반경에 따라 손실의 크기가 작아되므로 될 수 있는 데로 벤딩의 반경이 클 수록 좋으며 10cm 이상일 경우는 이를 무시 할 수 있다고 한다.

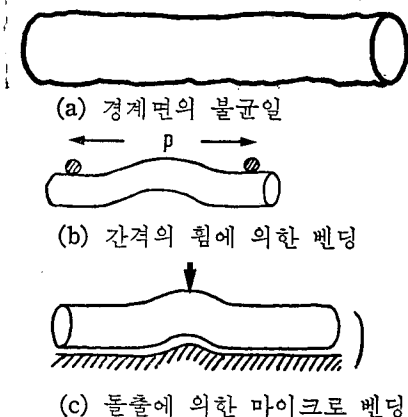


그림 8. 전송손실의 여러 가지 원인

### III. 結 論

앞에서 살펴 본 바와 같이 광섬유를 이용한 光通信의 이용 범위는 앞으로의 通信産業分野에서 가장 많은 각광을 받을 것이며, 이를 이루기 위한 수 많은 研究가 進行되고 있다. 現在 美國이나 日本에서는 레이저와 광섬유를 利用하여 “光通信 情報都市”를 이루어 實用化에 박차를 가하고 있으며, 이밖에도 광섬유를 利用하는 生物工學 및 기타 工學에 미치는 영향이 至大하다. 이에 國內에서도 ESS 시스템을 도입함과 아울러 光通信에 對한 研究가 활발히 이루어지고 있으며 많은 學者와 公학도들의 관심을 끌고 있다. (다음號에 繼續...)