

光通信技術

韓 · 弼 · 淳

空軍士官學校 教授, 理博

I. 序 論

光通信이란 光領域에 속하는 電磁波를 搬送波로 利用하여 通信하는 方法을 말한다. 現代光通信技術은 古典 및 量子光學과 量子電子光學 그리고 通信技術의 結合으로 이룩된 새로운 通信分野이다. 光學的方法을 써서 情報를 傳送하는 方法은 이미 數世紀前부터 初步的方法으로나마 試圖되어왔지만, 레이저가 發明된 後에야 비로소 光波를 利用하여 通信하는 方法의 可能性과 그러한 경우에 생기는 長點등이 本格的으로 진지하게 研究되기 시작하였다.

이와같은 努力이 傾注된 것은 대략 다음과 같은 理由때문이다.

첫째, 레이저의 特性때문에 初期 發明時부터 레이저通信의 將來성이 豫見되었기 때문이다. Theodore Maiman이 1960년 世界最初로 루비 레이저를 發生시키고난 직후 New York에서 行한 新聞인터뷰에서 將次 可能한 레이저應用分野의 하나는 電磁波의 光領域에서의 通信 分野를 들수 있다고 하였다.

둘째, 軍이나 產業界에서 날로 많은 情報量을 取扱하게 되어 그 結果 더욱 큰 채널容量이 要求된 것에 緣由된다. 그러한 면에서 볼때 光通信方法을 使用하면 10^{12} 비트/초(bits/second) 이상의 情報를 한 채널에 실어보낼 수 있다는 事實은 실로 魅力的이 아닐 수 없다.

세째, 레이저光通信은 레이저빔의 高度의 指向性때문에 다음과 같은 利點이 있기 때문이다.

1. 點對點通信이 可能하며 任意地點에서 레이저光線의 探知가 어렵게 되어 秘密通信이 保障된다. 그 結果 保安이 유지되며 妨害電波를 받을 可能性이 稀薄해진다.

2. 레이저 送信光이 아주 적은 立體角속에 集中되므로 작은 出力으로도 受信地點에 充分한 파워를 傳達할 수 있게 되며 이 結果 送受信裝置가 아주 簡單해지고 將次 레이저部品の 경제적 開發로 인해 레이저通信시스템의 값도 싸게 될 것이다.

이와같은 레이저의 長點때문에 레이저通信分野에 지난 10여년간 상당한 努力이 傾注되어 飛躍의인 發展을 가져왔다. 그러나 아직도 레이저通信이 갖고있는 根本的인 制限點등 몇가지 解決하여야 할 問題點들이있다. 그중 가장 큰 制限點은 光通信路(大氣 혹은 光道波管)에서 일어나는 레이저빔과 物質分子와의 相互作用에 起因한다. 특히 大氣中을 통한 光通信에서는 大氣分子에 의한 빛의 吸收 및 散亂作用에 의하여 光波의 에너지가 심하게 減少되는등 氣象條件에 크게 影響을 받는다. 그 結果로 大氣中을 통한 光通信의 경우에는 레이저通信시스템의 動作거리가 制限을 받게된다. 그러나 이와같은 難點은 大氣吸收 및 散亂이 가장 적게 일어나는 波長을 잘 선택하여 使用함으로써 어느정도 解決될 수

있다. 大氣中을 통한 光通信 대신에 光導波管을 통한 情報傳達도 가능하다. 光導波管은 섬유狀의 유리관으로 되어있어 광섬유(optical fiber)라고 불리운다.

본 小論에서는 光通信의 原理 및 現況을 소개하고 또한 問題點 및 將來展望에 대해서도 簡單히 言及하기로 한다.

II. 光通信의 原理

光通信은 在來의 라디오波나 極超短波 대신에 光波를 利用하여 通信하는 方法이다. $10^{13} \sim 10^{15}$ Hz 周波數帶의 光波를 搬送波로 使用하므로 帶域幅이 커져서 채널容量이 상당히 증가하게 된다. 거의 單波長이며 可干涉性의 光源인 레이저가 發明된으로써 光通信은 可能하게 되었다. 레이저通信시스템의 系通圖가 그림 1에 나와있다. 우리가 傳送하려고 하는 情報信號가 코더(coder)에서 變調型으로 變換되어서 變調器로 보내진다. 레이저 發生器에서 放出된 레이저빔이 變調器에 의해 變調된다. 때로는 이러한 變調를 레이저 cavity 內部에서하는 경우도 있다. 이렇게 變調된 레이저빔은 送信光學안테나에 의해 平行光으로 集束되어서 보내진다. 受信機로 들어온 光波는 受信光學안테나에 의해 光檢出器에 모여진다. 광검출기 앞에있는 帶域通過光濾터는 特定된 波長의 빛만을 通過시켜 背景雜音(background noise)등을 減少시키는 역할을 한다. 光波가 光檢出器에서 電氣的信號로 바뀌어져 復調器를 통해 復調되고 디코더(decoder)에서 원

래의 信號로 再生되게 된다.¹⁾

레이저通信시스템의 各部分別로 간략히 소개 하겠다.

1. 레이저

光通信에는 He-Ne(0.6328, 즉 1.15, 3.39 μ), GaAs(0.9040 μ), GaAlAs(0.82 μ), CO₂(10.6 μ) 레이저등이 使用된다. 그중 적외선 波長의 氣體레이저가 가장 많이 쓰이고있다. 특히 10.6 μ 의 CO₂ 레이저는 大氣속에서의 투과율이 높기때문에 가장 활발한 研究가 進行되고있으며 앞으로 安定性과 수명에 관련된 技術的 問題點들이 解決되면 大氣를 통한 光通信에 가장 널리 쓰일 것으로 豫상된다.²⁾ 광섬유를 통한 情報傳送에 그 波長에서 손실이 가장 적기때문에 (4dB/km) Ga AlAs레이저를 쓰는것이 좋다.

2. 變調 및 變調器

光搬送波를 變調할때도 無線電波를 變調하는데 쓰이는 方法을 거의 모두 쓸수있다. 그러나 레이저빔을 振幅變調하여 通信하는 것은 大氣亂流(atmospheric turbulence)에 의한 雜音때문에 實用的이 되지못한다. 이러한 難點을 해소시키기 위해 光通信에서는 光波周波數變調, 副搬送波周波數變調, 펄스코드變調 (PCM)方法등이 가장 많이 使用되고있다.³⁾

光通信에서는 넓은 周波數帶의 搬送波를 使用하기 때문에 廣帶域變調가 可能한 變調器를 써

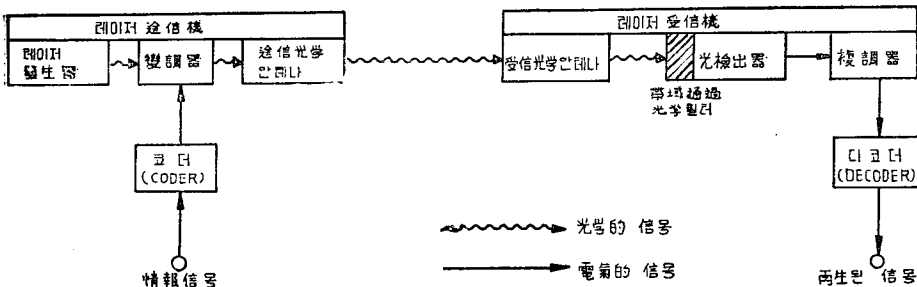


그림 1. 레이저通信 시스템의 系統圖

야한다. 크게 나누어서 다섯가지 方法의 變調器가 있다. 펌핑과워 (pumping power) 變調, 吸收變調, cavity 길이변화에 의한 光波周波數變調, 기계광학적 그리고 전자광학적 變調등이 그것이다. 그중 많이 쓰이는 電子光學的變調에 대해서는 다음 절에서 다시 설명하겠다.

3. 送受信光學안테나

送受信光學안테나는 일종의 빔集束器로써 送信되는 레이저빔의 퍼짐성을 줄여서 보내는 역할을 한다. 여러가지 종류의 送受信光學안테나의 原

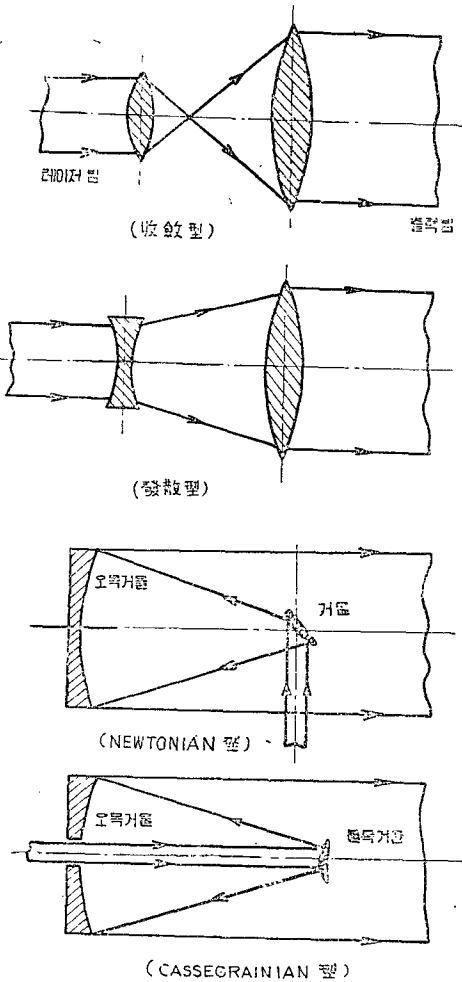


그림 2. 送受信光學안테나

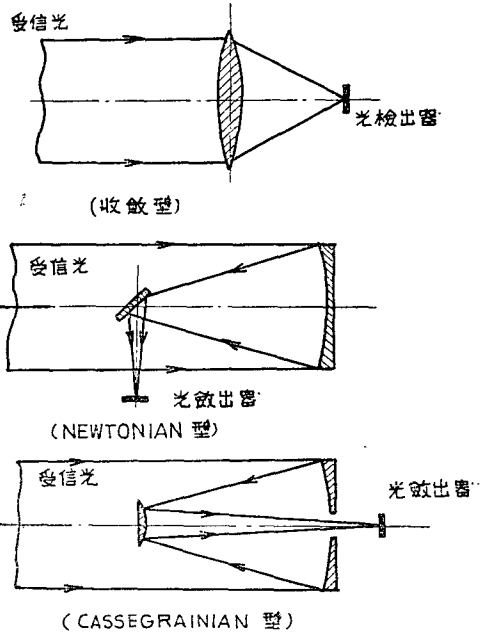


그림 3. 受信光學안테나

理圖가 그림 2에 나와있다. 送信出力빔의 폭이 작을때는 렌즈를 사용하는 方法을 쓰지만 빔의 직경이 수 센티미터 以上되면 거울을 利用한 方法을 많이 쓴다.

受信光學안테나는 受信된 빔을 光檢出器의 檢光素子(sensing area)에 集中시키는 역할을 한다. 그림 3에 여러종류의 受信光學안테나의 原理圖가 나와있다. 直接檢波의 경우에는 될수 있는대로 受信안테나의 직경이 클수록 좋지만 헤테로다인이나 호모다인 檢波의 경우에는 受信光의 可干涉性이 保存되는 면적때문에 受信光學안테나의 크기가 制限을 받게된다.

4. 光檢出器

光檢出器는 受信된 光搬送波의 세기를 電氣的인 信號로 바꾸어준다. 상당히 많은 종류의 光檢出器가 있으나 그중에서도 가시영역에서는 光電增倍管이 적외선영역에서는 실리콘다이오드나 실리콘 avalanche 光다이오드가 가장 많이 쓰인다.

5. 復 調

復調는 變調되어 있는 搬送波를 檢波하여 變調信號를 再生하는 과정이다. 光波復調에는 基

本周波數帶復調, 周波數變換方法, 變調媒介變數變換方法등 세가지 基本的方法이 있다.

첫번째 方法은 直接檢波 또는 호모다인檢波受信機를 使用하여 變調周波數를 搬送波周波數帶에서부터 基本周波數帶로 옮기시키는 方法이며 두번째 方法은 헤테로다인 受信機를 使用하여 光搬送波周波數帶에서부터 낮은 라디오周波數帶로 바뀌주는 方法이다.

마지막 方法은 먼저 受信된 搬送波의 變調方法을 다른 變調方式으로 變換시켜서 復調하는 方法이다. 復調에 使用되는 光學受信機에는 그림에 나와있는 바와같이 一般的으로 세가지 종류가 있다. 적외선領域을 檢光할 수 있는 光學的헤테로다인方法이 개발된 後에는 실제 光通信에서는 이 方法이 가장 많이 쓰이고 있다.

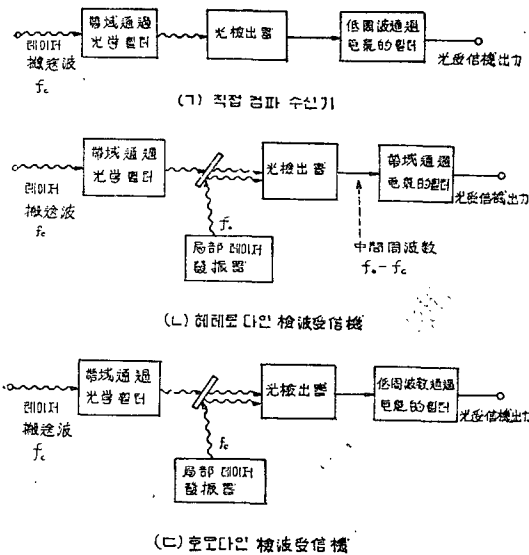


그림 4. 光學受信機

III. 電子—光學的 變調

光波를 變調시키는 方法中 光通信에 가장 많이 쓰이고 있으며 또한 비교적 簡單한 方法인 電子—光學的(electro-optic) 變調를 소개하겠다. 어떤 종류 的 結晶이나 液體는 電場을 걸어주면 그것에 比例해서 媒質의 굴절율이 變하는 性質을 갖고있다. 結晶에서의 이러한 現象을 포켈전 자광학效果(Pockel's electro-optic effect)라 한다. KDP(Potassium dihydrogen phosphate),

ADP(Ammonium dihydrogen phosphate), LiNbO₃, GaAs 등이 그러한 結晶들이다. 이러한 結晶을 利用하면 傳播하는 光波의 세기, 位相, 周波數등을 變調할 수 있다. 光通信에 많이 쓰이는 電子光學的 周波數變調 方法이 그림 5에 나와 있다. 포켈셀(Pockel's cell)에 X, Y方向으로 서로 直交하는 驅動電壓 $V_x = V \cos \xi$ $V_y = V \sin \xi$

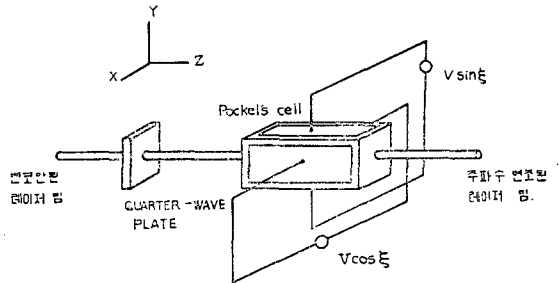


그림 5. 전자—광학적 주파수 변조기

를 걸어준다. 이렇게 되면 V의 값에 比例해서 포켈셀을 通過하는 빔의 位相이 Γ만큼 늦어진다. 또 ξ값에 比例해서 結晶의 屈折率橢圓體(index ellipsoid)가 θ만큼의 각도로 회전하게 된다. I₀의 세기를 가진 基準軸에 대해서 45°만큼 線偏光된 變調되지 않은 빔이 1/4 波長板(quarter-wave plate)을 通過하면 右側으로 圓偏光되어 서 나온다. 이러한 빔의 偏光行列, L₀는

$$L_0 = \sqrt{\frac{I_0}{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} e^{i\omega t} \quad (1)$$

로 표시된다. 變調器를 通過한 빔의 偏光行列 L은

$$L = \sqrt{\frac{I_0}{2}} \cos\left(\frac{\Gamma}{2}\right) e^{i\omega t} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \sqrt{\frac{I_0}{2}} i \sin\left(\frac{\Gamma}{2}\right) e^{i(\omega t - 2\theta)} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

가 빔을 理論的 計算을 통해 알수있다. (2)식의 結果에서 變調器를 通過해 나온 빛은 두가지 빔이 合成된 것임을 알수 있다. 하나는 $\cos\left(\frac{\Gamma}{2}\right)$ 에 比例하는 振幅을 가진 右側으로 圓偏光된 搬送波周波數의 빔이고 또 하나는 $\sin\left(\frac{\Gamma}{2}\right)$ 에 比例하는 振幅을 가진 左側으로 圓偏光된 周波數가 $\left(\omega - 2\frac{d\theta}{dt}\right)$ 인 빔이다. 이때 V의 값을 적당히

선택하여 Γ 가 π radian이 되게하면 (2)식에서 첫째項은 없어지게 된다. 그러면 周波數가 $(\omega - 2\frac{d\theta}{dt})$ 인 左側으로 圓偏光된 成分만 남게되어 驅動電壓을 周波數變調하면 곧바로 光搬送波를 周波數變調할 수 있게 된다.¹³⁾

IV. 光通信의 現況

레이저를 이용한 光通信은 衛星과 衛星間의 通信, 衛星과 地上과의 data傳送, 宇宙船과 地上과의 音聲通信, 大氣를 통한 音聲通信, TV傳送, data傳送등에 應用되고 있다. 1960年 레이저가 發明된 後 1962年 最初로 大氣를 통한 遠거리 레이저 通信이 Hughes社의 技術陣에 의해 實演되었다. He-Ne레이저빔을 세기變調하여 30km떨어진 거리에 명료한 音聲通信이 가능하였다. 1963년에는 North American Aviation社의 技術陣에 의해 레이저빔에 TV를 실어보내는데 成功하였다. 1965年 이후에 安定性있는 레이저光源이 開發됨에 따라 光通信技術의 發展이 加速化되어 많은 複雜精密한 레이저通信시스템

들이 제작되었다. 그중 대표적인 것들의 動作特性이 표 1에 요약되어 있다. 또한 정확도가 높은 指示 및 追跡裝置가 開發됨으로써 光波를 利用한 宇宙通信이 實用化되게 되었다.

光通信에서 적외선領域의 波長과 光學的헤테로다인檢波方式을 쓰는것이 최근의 추세이다. 또한 미래의 通信시스템에는 극히 큰 dynamic range와 높은 선형도(linearity)가 요구되고 있는데 電子-光學的 振幅變調, 偏光變調, 位相變調등은 非線型的이기 때문에 光波FM, 副搬送波FM, PCM등을 使用하는 것이 일반적인 경향이다. 副搬送波FM은 라디오周波數의 副搬送波를 써서 光波를 振幅變調하는 方法이다. 이때 受信部에서는 光檢出器에서 나온 信號가 副搬送波의 周波數에 同調되어 있는 보통의 受信機로 들어가 復調된다. 이 方式을 使用한 시스템의 한 예가 표 1에 들어있다.

레이저通信시스템의 初期모델에는 He-Ne이, 나 GaAs레이저가 주로 사용되었으나 효율적인 적외선(10.6 μ 근방) 檢光器의 개발과 적외선

표 1. 代表的인 레이저通信시스템의 動作特性

	波長 (μ)	파워 (Watts)	光檢出器	變調器	變調方式	코딩	PCM Bit Rate	基本帶 域	송각거리 (Miles)	년도
Hughes/U.S.AEC ¹⁾ SSB FM시스템	0.6328 (He-Ne)	0.003	Philco L 4501실리콘 광다이오드	KDP를 使 用한 SSB	搬送波 FM 876MHz \pm 1 MHz	PCM	250Kbps	1MHz	1	1965
ITT/NASA MSFC ²⁾ 시스템	0.6328 (He-Ne)	0.005	S-20 光電 増倍管	20cm transverse field KDP	PCM/PL	PCM 멀티	30Mbps	10MHz	5	1963
Hughes/NASA MSC ³⁾ 시스템	0.488/ 0.5154 (Ar-Ion)	5	S-11 光電 増倍管	50cm transverse field KDP	PCM/PL	PCM	30Mbps	10MHz	4.2	1966
Sylvania ARL ⁴⁾ 往 復通信시스템	0.6328 (He-Ne)	0.001	S-20 光電 増倍管	KD*P	偏 光	Analog		5MHz	7	1967
Hughes/NASA M- SC 廣帶域副搬送 波 PSK시스템	3.39 (He-Ne)	0.002	InAs 光다 이오드	GaAs(Cav ity 内部)	副搬送波 FSK	PCM	50Mbps	25MHz	1	1967
SBRC ⁵⁾ 적외선 레 이저通信機	0.904 (GaAs)	최대치: 2 평균치: 0.003	실리콘 av- alanche 광다이오드			PFM	6Kbps	2.3KHz	6	1968
Honeywell/NASA MSFC 헤테로다 인시스템	10.6 (CO ₂)	5	HgCdTe(헤 테로다인)	壓電結晶	光波FM	Analog		1MHz	3	1968
Hughes 레이저 往 復通信機	3.39 (He-Ne)	0.001	InAs(헤테 로다인) 30MHzIF	GaAs	Cavity 內 部에서 光 波FM	Analog		25MHz	1~3	1970
Nippon Electric Co. PCM/AM시스템	0.6328 (He-Ne)	0.003	실리콘 ava- lanche 광다이오드	Lithium tantalate	PCM/AM	PCM 멀티	492MHz	13.7MHz	9	1970

[註] (1); Army Electronics Command, (2); Marshall Space Flight Center, (3) Manned Spacecraft Center, (4) Applied Research Laboratory (5) Santa Barbara Research Center (6) Frequency Shift Keying

光헤테로다인方式의 成功, 그리고 CO₂레이저는 高出력을 낼수있고 大氣투과 특성도 좋다는 長點때문에 CO₂레이저 通信시스템에 관한 研究가 現在 활발히 進行되고 있다.

宇宙空間은 大氣中과는 달리 光波를 吸收하거나 散亂시키는 媒質이 없으므로 宇宙通信에는 레이저를 利用한 光通信方法이 가장 有利하게 된다. 특히 이러한 宇宙光通信은 높은 率의 data 傳送에 가장 많이 利用되고 있어 現在에는 20,000마일以上 떨어진 거리에 10⁹비트/초 정도까지의 率로 data를 傳送하는 것이 可能하게 되었으며 또한 mode-locked Nd-YAG레이저를 使用한 10¹²비트/초까지 可能한 시스템이 지금 開發中에 있다.⁶⁾

光導波管인 광섬유를 利用한 光通信은 低損失 光섬유의 發明과 이러한 섬유에 에너지를 注入 시키기에 알맞게 충분히 작은 半導體光源材料의 開發로 인하여 최근에 많은 發展을 이룩하였다. 지난 수년동안 低損失섬유開發分野에서는 Corning Glass Works社에 의해 1970년에 20dB/km의 障壁이 깨어진 後 1973년에는 GaAlAs레이저 波長인 0.82 μ 에서 損失이 4dB/km까지 開發되었다. 그림 6에 그러한 低損失광섬유중 Corning Glass Works社와 Bell Labs에 의해 만들어진 것의 波長에 따른 減少率이 같이 그래프로

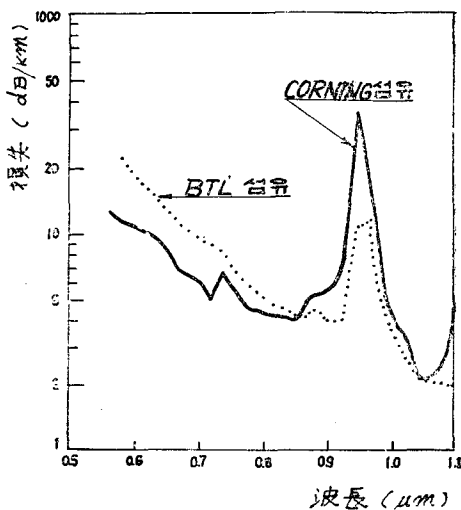


그림 6. 광섬유의 波長에 따른 減少率
 Corning 섬유 : 길이 = 1,200m, 직경 = 98 μ
 BTL 섬유 : 길이 = 723m, 직경 = 33 μ

나와있다. 그림中 0.95 μ 에서 損失이 커지는 것은 유리안에 있는 OH-이온에 의한 吸收때문이다 광섬유를 利用하든 基本周波數帶에 무관하게 이와같이 損失이 적다는 點이외에도 넓은 帶域幅의 情報를 傳送할 수 있으며 電磁氣의 干涉에 영향을 덜 받는다는 長點이 있다. 또한 光섬유는 무게가 가볍고 크기도 작으며(보통 외경이 1/50cm이하) 強靱하고(引張強度가 50,000~100,000 psi) 비교적 값도 싼 利點이 있다. 時間分割多重通信術을 使用하든 前에는 수백과운드의 電線이 필요하던 것이 아주작은 한개의 섬유광학부품으로도 可能하게 된다. 섬유光學을 利用한 方法이 航空機나 車輛內部에서 調整 data나 각종 計器들의 data를 傳達하는데 使用되고 있으며 音聲이나 映像을 傳送하는데에도 成功하고 있다.

V. 結 論

以上으로 光通信術의 原理와 現況을 簡單히 소개하였다. 宇宙通信에서는 光通信을 使用하는 것이 가장 效果의 일 것이다. 地上通信에 光波를 利用할 경우에는 氣象條件에 의해 심각하게 영향을 받게되어 대단히 制限된 거리의 通信을 제외하고는 全天候地上光通信은 아직 不可能하다. 그러한 이유에서 大氣를 통한 光通信을 産業이나 商業的인 面에 應用하는 경우의 市場 將來性은 아직 不確實하다. 그러나 앞으로 問題點들이 技術적으로 극복된다면 레이저의 타고난 長點때문에 처음 期待되었던 역할을 충분히 해 낼 수 있을 것이며 지금도 特殊한 應用分野에 다양하게 利用되고 있다. 또한 光通信에서도 光섬유를 통한 data傳送이 장차 가장 중요하고도 흥미로운 應用分野가 될 것이 分明하다.

參 考 文 獻

1. Walliam K.Pratt, Laser Communication Systems, John Wiley & Sons, Inc., N.Y. (1969)
2. Warren A. Birge, Optical Engineering, **13**, 372 (1974)
3. Frank E. Goodwin, Proc. IEEE, **58**, 1746 (1970)
4. Amnon Yariv, Introduction to Optical Electronics, Holt, Rinehart & Winston, Inc. (1971)
5. Monte Ross, Optical Engineering, **13**, 374 (1974)
6. M.DiDomenico, Jr. Optical Engineering, **13**, 423 (1974)