

工場電氣의 最新技術

레이저의 通信 · 計測制御에의 應用(1)

레이저應用技術과 함께 光技術의 最近의 發展은 눈부신바 있다. 그 가운데서도 顯著한 發展을 보이고 있는 것이 通信 및 計測制御의 分野이다. 이 背景에는 레이저라는 매우 훌륭한 人工의 光源以外에 엘렉트로닉스技術의 힘을 입는 여러가지의 오프트엘렉트로닉스 小形컴퓨터의 發展이 있다.

여기에서는 工場에 있어서의 레이저의 通信, 計測制御에의 應用에 대해 記述한다.

1. 概 要

(1) 通信에의 應用

通信에는 3 KHz~300GHz (1 GHz=10⁹ Hz)의 電磁波가 通信媒体로서 利用되고 있다. 3 KHz~10¹² Hz의 電磁波를 通常電波라고 부르고 있다. 이들 電磁波를 通信媒体로서 情報를 보내기 위해 다음과 같은 變調方式이 있다.

- (1) 振幅變調方式 (Amplitude Modulation, AM)
- (2) 周波數變調方式 (Frequency Modulation, FM)
- (3) 位相變調方式 (Phase Modulation, PhM)
- (4) 펄스符號變調方式 (Pulse Code Modulation, PCM)

搬送波는

$$e=A \sin(2 \pi f t+\phi)$$

로 表示되어 振幅變調로서는 振幅A를, 周波數變調로서는 周波數 f를, 位相變調로서는 位相φ를 變化시켜 情報를 傳送한다. 搬送波의 條件은(變調를 爲해 故意로 變化시키는 것은 別途로 하고) 振幅A, 周波數f, 位相φ가 一定不變한다.

빛도 電磁波의 一種이며 前記條件을 滿足하면 通信에 利用할 수 있으나 自然光은 振幅과 位相이 時間的으로 變化하며 많은 周波數를 갖는 波의 集結體이기 때문에 通信에는 利用할 수 없다.

그러나 人工光인 레이저光은 前記의 條件을 滿足한다.

即 레이저光은 코히런트한 빛으로서 單一周波數이며, 位相도 時間的으로 變化하지 않는다. 따라서 通信에 利用할 수 있는 레이저光에 의한 通信의 特徵은 다음과 같다.

- (1) 情報傳送容量이 飛躍的으로 增大한다.
- (2) 長距離 傳送이 可能하다.
- (3) 光線路는 電磁誘導의 念慮가 없다.
- (4) 入力和 出力間이 絶緣된다.
- (5) 短絡, 爆發의 念慮가 없다.
- (6) 小形 · 輕量이므로 運搬 · 布設이 容易하다.

工場에 있어서의 應用으로서는 표 1과 같은 것이 있다.

(2) 計測制御의 應用

레이저光은 時間的, 空間的으로 코히런스가 높은 빛이며 計測制御라는 觀點에서 보았을 경우 利用할 수 있는 性質은 다음과 같다.

- (1) 光의 指向性 · 集束性이 좋다.
- (2) 單色性, 干涉性이 훌륭하다.
- (3) 에너지의 時間的 · 空間的인 集中, 短펄스光의 發生이 可能하다.

레이저에 의한 計測制御는 이들 性質의 어느 것을 利用한 것이나 特徵은 다음과 같다.

〈表-1〉工場에 있어서의 光通信의 應用例

傳送路	應 用 例
光파이버	電話回線
	데이터링 시스템
	데이터웨이시스템
	와이어셰어링시스템
	텔레미터 / 텔레콘트롤시스템
空 間	光ITV 시스템
	移動機械스리프링레스傳送시스템
	地上機器 - 移動機械間의 信號傳送
	텔레비전圖像傳送 移動機械間의 信號傳送 遠隔制御

- (1) 周波數가 높고, 작은 效果를 擴大하여 測定할 수 있다.
 - (2) 非接觸으로 測定할 수 있다.
 - (3) 波長이 짧고, 分解性이 높다.
 - (4) 光을 캐리어로서 使用함으로써 遠隔測定이 可能하다.
 - (5) 電波의 性質을 利用할 수 있다.
 - (6) 波長이 可視光에 걸쳐서 있으며 從來부터의 光學技術이 사용된다.
 - (7) 測定對象에의 에너지의 集束, 測定器의 微小化가 容易하다.
 - (8) 電氣量에의 變換이 容易하다.
 - (9) 電磁的 노이즈의 影響을 받지 않는다.
 - (10) 瞬間的 計測이 可能하다.
 - (11) 二次元的, 三次元的 測定을 할 수 있다.
- 工場의 應用例는 表 2 와 같다.

2. 通信에의 應用

(1) 光通信의 特徵

레이저光에 의한 通信의 特徵은 前記와 같으나 좀 더 詳細하게 記述한다.

1) 情報傳送容量의 增大: 搬送周波數가 높게 될 수록 一定時間에 보낼 수 있는 情報量은 많아진다.

例로 搬送波 1MHz, 信號帶域이 1%의 10KHz의 경우, 送信할 수 있는 回線數는 3채널, 搬送波 1GHz (=1000MHz), 信號帶域이 1%의 10MHz의

〈表-2〉레이저의 計測制御에의 應用例

距離測定	距離測定, 길이·치수測定, 호퍼레벨測定, 熔融金屬液面測定, 板幅測定, 코일徑치수測定, 鏡測定, 비레트隙間檢知, 衝突防止裝置
形狀測定	熱延板端形狀測定, 코일端形狀測定, 비레트繼日檢出, 車輪形狀測定, 鋼管形狀測定, 볼트·나트測定
物體檢出	侵入警戒裝置, 콘베어上材料檢出, 테이블上材料檢出, 爐內物體檢知
檢 査	表面凹凸檢査裝置, 細線表面檢査裝置, 파이프表面傷檢査裝置, 金屬板表面傷檢査裝置
物理量測定	레이저도프러速度計, 자이로스코프, 壓力計, 振動加速度計, 溫度計, 電壓·電界센서, 電流·磁界센서
其他制御	코크스爐集塵機덤퍼 遠隔制御, 코크스爐와 押出機와 가이드車의 位置定하기, 코크스爐 押出機와 裝炭車의 位置定하기, 爐底監視裝置, 클레인無人運轉, 各種遠隔制御, 軌道閉塞裝置, 軌條轉轍機制御

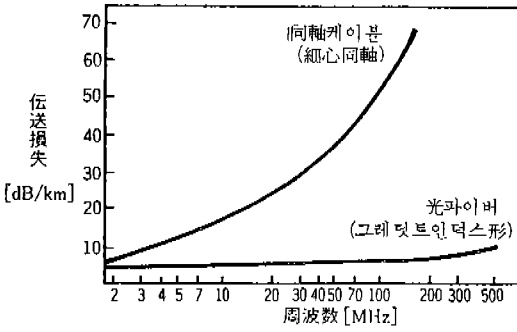
경우, 送信할 수 있는 電話回線數는 3000채널이 된다.

이때문에 搬送周波數는 漸次로 高周波化 하고 있으며, 마이크로波와 밀리波(波長이 數10cm 에서 數mm까지 即, 周波數가 8.3~100GHz程度의 電磁波를 말한다)가 超多重電話나 텔레비전의 中繼에 使用되고 있다.

빛은 約 10^{14} Hz(波長數 μm)의 極히 高周波의 電磁波이며, 마이크로波(周波數 1GHz=1000MHz로 하던)의 約 10萬倍의 周波數이기 때문에 送信할 수 있는 情報量은 飛躍的으로 增大한다.

2) 長距離, 廣帶域傳送이 可能: 傳送路가 空間이거나 有線이거나 損失이 있어 信號는 점차로 減衰해진다. 그 程度는 周波數가 높을수록 크다.

從來의 通信技術로서는 低損失, 低減衰 傳送路의 實現이 困難하므로 利用對象의 電磁波는 밀리波뿐이었으나 레이저와 低損失傳送路(光파이버케이블)의 出現에 의해, 大容量, 長距離傳送이 可能하게 되었다. 그림 1은 同軸케이블과 光파이버의 損失을 比較한 것이다. 光파이버는 廣帶域에 걸쳐 損失이 變함 없으며 同軸케이블에 數分の 1이다. 1dB/km



〈그림-1〉 광파이버의 周波數特性

의 광파이버도 可能하다.

3) 電磁誘導의 影響은 없다: 傳送媒体는 빛이며, 本來 絶緣物의 光파이버케이블内를 通하므로 强電回路나 電磁攆스, 高周波雜音, 雷에 의한 노이즈 등의 影響을 받지 않는다. 따라서 强電回路와 並設할 수 있다.

4) 入力과 出力間의 絶緣: 光線路는 電氣的으로 完全한 絶緣体이며 機器間의 接地電位差를 無視할 수 있다. 따라서, 通信시스템에 있어 不可欠의 케이블 遮蔽나 絶緣變換器는 不要하며 落雷에 의한 被害의 念慮도 없다.

5) 防爆性: (4)의 結果로서 絶緣이나 爆發의 念慮가 없으며, 引火源도 되지 않는다.

따라서 化學工場이나 가스工場, 危險物工場 등의 利用에 適合하다.

6) 小形·輕量을 위한 運搬·布設이 容易: 表3은 通信線路의 比較를 表示한 것이다. 光파이버케이블은 機械的으로 强하며, 小形·輕量이라는 것을 알 수 있다.

따라서 限定된 스페이스의 設置에 適合하다.

7) 機密保護: 光線路는 内部信號의 外部에의 放射는 없으며 또 外部信號에 의한 漏話의 念慮도 없어 機密保護를 할 수 있다.

표 4는 工場에 있어서의 데이터웨이의 傳送媒体의 特徵을 表示한 것으로서 光파이버方式이 高速·大容量, 長距離傳送에 適合하다는 것을 알 수 있다.

(2) 光通信의 基本原理

그림 2는 光通信시스템의 基本構成이다. 그 傳送過程을 順序的으로 說明한다.

1) 電氣信號를 電氣的變調回路로 電氣的으로 變

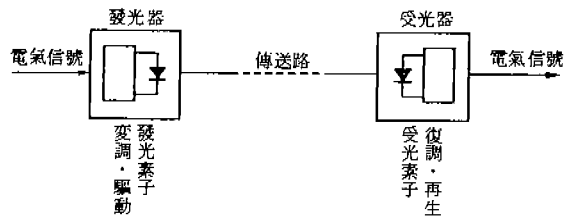
〈表-3〉 各種通信케이블의 比較

	外徑 [mm]	重量 [kg/km]	許容張力 [kg]	傳送容量 [ch]
트리스트케이블 (0.5#, PEF)	2	7	5	1
同軸케이블 (10C-2 V)	10	235	10	10 000
밀리波導波管	60	6 000	—	300 000
光파이버케이블 (單心)	2.8	8	30	15 000

傳送容量은 電話의 경우이다.

〈表-4〉 傳送媒体의 特徵

傳導媒体	傳送速度	無中繼距離	特 徵
트리스트케이블	100kbps ~數Mbps	1 km	電話케이블의 活用可能 誘導雜音에 弱함 低價格
同軸케이블 (베이스반도)	1 Mbps ~數十Mbps	3 km	端末의 接續容易
同軸케이블 (블로드밴드)	300MHz ~400Mbps	10km	誘磁誘導에 對해서 强한 端末의 接續에 分岐裝置必要
光파이버	멀티모드形 數Mbps ~100Mbps 싱글모드形 數百Mbps ~數Gbps	20km	電磁誘導에 의한 影響없다. 機密保護에 뛰어나다 細心·輕量 分岐·分波가 不自由



〈그림-2〉 光通信시스템의 基本構成

調한다.

變調方式으로서 FM 나 PCM 方式이 使用된다.

2) 變調된 電氣信號를 光信號에 變調한다.

빛은 10¹⁴ Hz과는 超高周波로서 이 光을 搬送波로 하여 그 振幅이나 位相에 情報를 실으며 또한 그것을 復調하는 技術은 確立되어 있지않아 實用的으로 利用할 수 있는 것은 그 電力이다. 즉 光變調는 光電力을 變化시키는 強度變調 (IM; Intensity Modulation) 이다. 1)과 2)의 組合은 FM-IM, PCMIM 등 이라고 부른다. 電氣-光變換은 發光素子로 行한다. 표 5는 發光素子の 例이다. LED, LD (*는 驅動

〈表-5〉發光素子の 主要特性例

項目	發光다이오드 (LED)	半導體레이저 (LD)	固體레이저
勵起方法	電流	電流	光
變調	直接變調 ~100 MHz	直接變調 ~1 GHz	外部變調 1~2 GHz
스펙트럼폭	300~400 Å	10~20 Å	1 Å 以下
出力레벨	2~3 mW	~10 mW	數十 mW
파이버結合損	10~15 dB	2~3 dB	1 dB 以下

電流對 光出力의 關係로서 直接 變調가 되나, 固體 레이저는 外部光變調器와 組合할 必要가 있다.

그림 3 은 光變調의 原理圖이다.

3) 光信號는 傳送路(空間과 光파이버)에 의해 傳送된다.

光파이버라 함은 毛髮程度의 굵기의 유리纖維로서 그림 4 와 같이 屈折率 n_1 의 코어와 屈折率 n_2 의 크라드로 이루어진다. 外徑은 125~500 μm 와 대단히 작다. 屈折率에 의해 그림 5 (a)와 같이 스테프인덱스形과 그레드드인덱스形이 있다. 빛이 코어內에 갇힌채 反射를 되풀이 하면서 傳播한다. 原理는 그림 6 과 같다. 光의 屈折과 反射의 原理에 의해

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

의 關係가 成立한다. $n_1 > n_2$ 이니, $\theta_2 > \theta_1$ 이며, 入射角 θ_1 이 있는 角度(臨界角)가 되면, θ_2 는 90°가 된다. θ_1 이 더욱 크게되면 透過光은 零이 되어 反射光만이 된다. 따라서 光은 코어內에서 反射를 되풀이 하면서 傳播해 간다.

(*) LED, LD의 發振波長은 0.7 μm ~1.5 μm 程度이다.

그리고 光파이버케이블과 코드는 光파이버 몇個를 넣어 만든 케이블로서, 外觀은 電氣의 케이블과 같다.

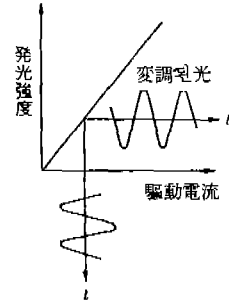
4) 受光器側에서는 먼저 光-電氣變換을 하며 電氣의 復調回路를 거쳐 普通의 電氣信號로 變換된다.

(3) 光通信의 利用

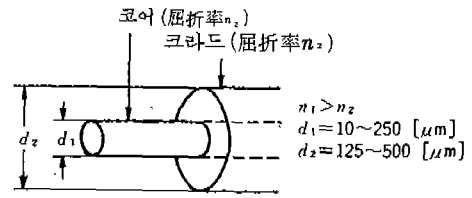
(1) 光파이버傳送方式

工場에 있어서의 光通信의 應用例는 표 1 과 같으며 電話回線, 컴퓨터네트워크, 데이터링시스템, 데이터웨이시스템, 와이어샤링시스템 등에 使用되고 있다.

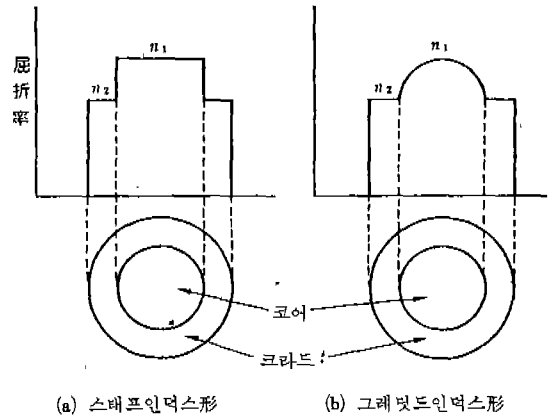
이러한 것들은 大衆의인 使用方法이다. 여기서는



〈그림-3〉發光다이오드(LED)의 變調特性

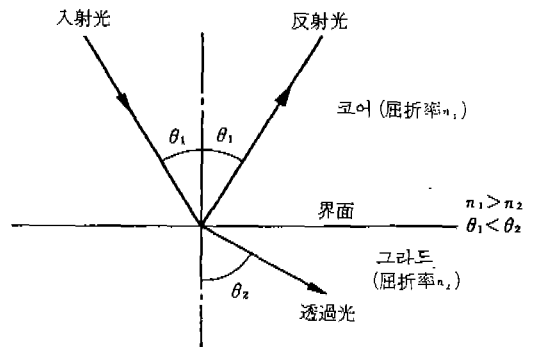


〈그림-4〉光파이버의 概念圖



(a) 스테프인덱스形 (b) 그레드드인덱스形

〈그림-5〉光파이버의 屈折率



〈그림-6〉光의 反射

유니크한 使用方法인 光ITV시스템과 移動機械스리프링레스 傳送시스템에 對해 記述한다.

ITV(工業用텔레비전)는 各種 遠隔監視에 사용되고 있으나 画像傳送路로서는 同軸케이블이 使用되는 것이 普通이다. 그러나 損失이 크기때문에 無中繼距離가 짧으며 (600m 정도) 또한 誘導障害도 받기 쉽다. 光파이버에 의한 画像傳送은 長距離의 無中繼 (3m 정도) 画像傳送을 할 수 있으며 또한 誘導障害도 없으므로 解明한 画像을 얻을 수 있다.

따라서 遠距離監視시스템으로 採用하게 되었다.

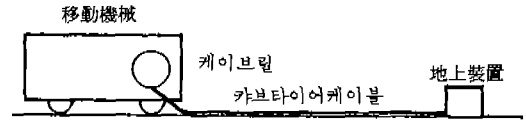
그림 7은 光 ITV시스템의 例이다.

光파이버케이블은 2心이며, 画像信號(베이스 밴드 4 MHz)傳送, 直接IM 變調와 制御信號(ITV의 遠隔制御用信號)를 傳送할 수 있다.

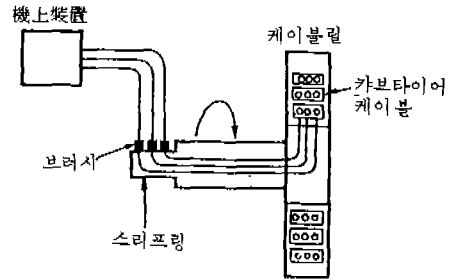
다음에 移動機械스리프링레스 傳送시스템의 例에 對해 記述한다.

그림 8은 從來의 移動機械의 信號, 或은 파워의 供給方式이다.

移動機械에는 케이블이 있으며 카브타이어케이블이 감겨 있다. 移動機械의 移動에 連動하여 케이블릴이 回轉하며, 케이블의 두루마리, 되돌리를 하여 地上에 둔 케이블릴을 調節하며 信號傳送 或은 파워의 供給을 한다.



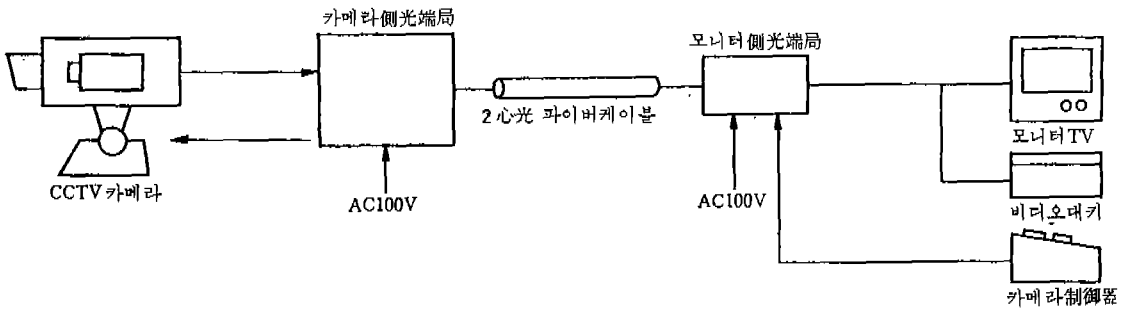
(a) 全体構成



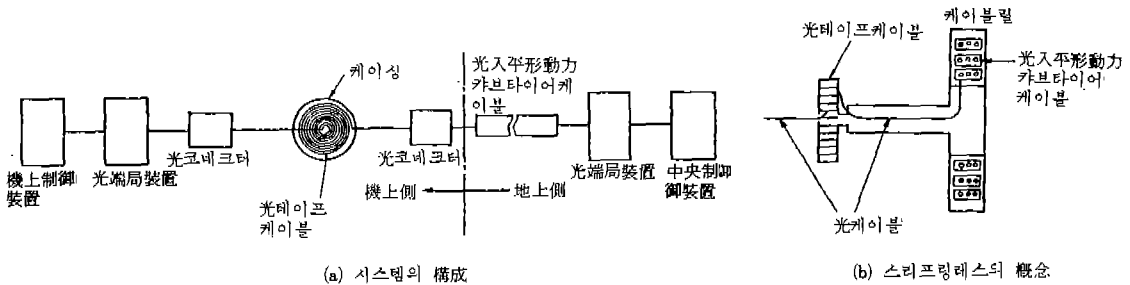
〈그림- 8〉 移動機械에의 信號供給方法

그림 8·(b)는 스리프링의 構造이다. 케이블의 두루마리·收納部와 스리프링으로 構成된다. 地上으로부터의 信號는 스리프링, 브러시를 거쳐 機上裝置에 傳送된다.

最近, 荷役機械·클레인·台車 等の 移動機械는 無人運轉化되는 傾向에 있으며 이에따라 機上-地上間에 各種데이터나 센서의 信號를 傳送할 必要가 있다. 그러나 그림 8의 電氣의 케이블을 사용한 方



〈그림- 7〉 ITV 시스템의 例



〈그림- 9〉 스텝링레스傳送시스템의 例

式으로서는 強電回路로 부터의 誘導, 漏話, 스프링에 있어서의 接觸不良과 信號의 瞬斷現象에 있어 信賴性있는 信號傳送路는 構成할 수 없다. 이를 解決한 것이 스프링레스傳送시스템이다.

構成은 그림 9 와 같다. 從來의 스프링의 部分은 光테이프케이블로 構成된다.

光테이프케이블이 스프링狀으로 감겨 있으며, 一端은 固定되어 있다. 다른 端은 케이블의 回轉에 따라 回轉하며, 光테이프케이블은 케이스속에서 풀리거나, 조이게 된다. 풀리는 것은 光테이프케이블 自體의 스프링力에 의한다. 이와같은 原理로 스프링레스傳送이 可能하다.

캡타이어케이블에는, 光파이버 入動力케이블이 使用되고 있다. 즉 1개의 케이블속에 파워供給의 銅導體와 信號傳送用의 光파이버가 들어 있으며 1개의 케이블로 誘導나 漏話의 問題도 없으며 3000V의 電力供給과 信號傳送이 可能하다.

이 시스템은 移動距離 900m의 荷役機械에 實用化되고 있다.

(2) 空間傳送方式

可視에서 近赤外의 光은 안개나 스모그에 의한 減衰가 현저하며, 또한 비나 눈에 의해서도 減衰를 받는다. 이와같은 일로 해서 레이저光에 의한 空間傳送은 1, 2km程度가 信賴性이라는 點에서 限度가 된다.

그러나 1, 2km라고 하는 것은 普通의 工場에서는 充分한 距離이며, 利用價値가 높다. 空間傳送方

式으로서는 電波에 의한 無線通信이 있으나 레이저光에 의한 空間傳送의 特徵은 다음과 같다.

(1) 雜音의 영향이 없다.

(2) 無線과 같이 混信과 다른 無線으로부터의 妨害를 받거나 주는 일이 없다.

(3) 指向性이 높다. 따라서 通信은 點對點의 通信이 된다. 한편 無線은 거의 指向性이 없다. 이 特徵은 (2)와 같은 長點이 있는 同時에 이와는 反對로 通信個所가 限定된다는 弱點도 있다.

(4) 電波法의 規制를 받지 않으며 免許도 不要하다.

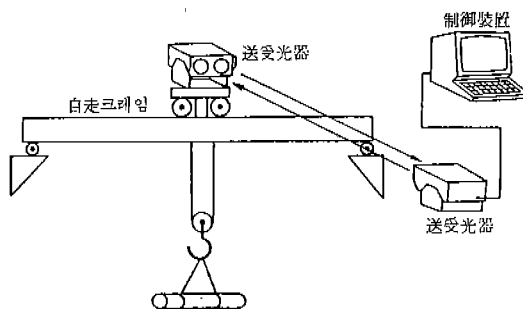
(5) 高速大容量 通信이 可能하다.

(6) 無線機를 使用하는 경우는 混信을 避하기위해 하나의 設備마다 다른 周波數를 採用하지 않으면 안 된다. 따라서 無線裝置가 增加하면 周波數 割當이 飽和하게 되나, 레이저光通信의 경우는 指向性이 強하므로, 같은 周波數를 사용해도 混信의 念慮는 없다.

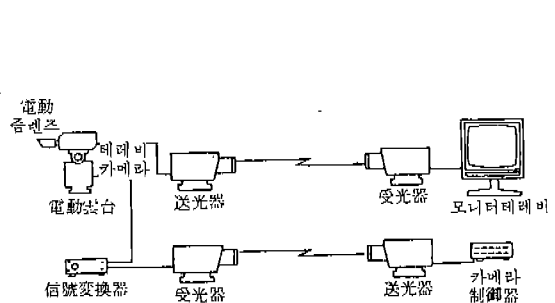
(7) 制御 或은 데이터信號의 傳送에 適合하다. 電氣-光의 變換이 容易하며 디지털處理를 하여 코드化한 脈스로 傳送할 수 있어 어떠한 情報도 傳送이 可能하다.

應用例를 표 1에 表示한다. 그림 10은 空間傳送시스템의 應用例이다.

音聲, 画像傳送用으로서는 傳送距離 1600m 以內 遠隔制御信號 傳送用으로서는 傳送距離 70m 以內, 傳送速度 2~9 kbps의 것이 市販되고 있다.



(a) 크레인의 遠隔運轉



(b) ITV의 遠隔制御와 画像傳送

(그림-10) 空間傳送시스템의 應用例

*