

# 통신을 爲主로 한 Analog와 Digital 技術

柳 榮 俊  
泰光電子(株) 常務理事

## 1. 序 論

通信이란 단순히 멀리 떨어진 相互間의 意思 疏通을 의미하여 왔으나 現在에 이르러서는 멀리 떨어진 相對가 電氣信號나 電磁波를 媒体로 情報를 交換하는 過程 및 技術을 意味하게 되었다. 現代의 通信은 19世紀의 두 가지 發明에 그 根源을 두고 있다. 하나는 1876年 Alexander Graham Bell이 發明한 電話器였으며 또 하나는 1896年 Guglielmo Marconi가 電氣信號의 On-Off를 Morse符號方式에 의하여 意思를 전달하는 電信이었다.

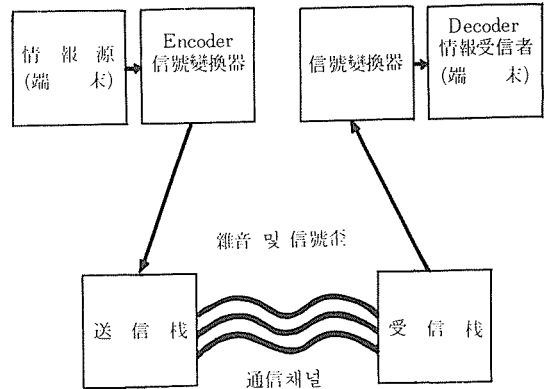
이러한 電信의 on-off 펄스와 音聲電流의 연속적인 흐름을 이용한 電話器는 오랜 기간 동안 相異한 技術로 생각되어 왔다. 그러나 現在와 같이 Data pulse와 音聲을 동일한 通信網에 傳送하기에 이르러 兩者間의 技術上의 區分은 거의 없어지게 되었다. 通信이라는 定義는 극히 자주 듣는 말이지만 사람들에게 각양각색의 의미를 부여하고 있다. 通信網의 基本 概念과 電氣信號가 情報傳達에 이용되는 手段을 觀察하면 이에 대한 分명한 概念이 파악될 수 있으리라 본다. 따라서 情報의 概念에 대하여 記述하고 Analog와 Digital의 差異點 및 長短點을 검토하여 보기로 한다.

### 가. 通信系統의 基本 要素

通信系統의 基本 要素를 例示하면 그림 1과 같다. 情報源에서는 受信者에게 보내는 音聲, 画像, 音樂 등으로 된 메시지를 선택하고 이를 送

信機로 보낼 수 있는 信號로 encode한다. Encode (또는 信號의 變換)란 예컨대 電話器의 炭素마이크를 사용하여 音聲의 可聽音壓을 電流의 強弱으로 바꾸는 것과 같이 간단한 原理로 되어 있다. 또 다른 예는 記錄된 文字를 點 또는 데쉬(dash)와 같이 電流를 간헐적으로 中

그림 1. 通信系統의 基本 要素



斷하여 간단한 符號(code)로 바꾸는 電信도 또한 예이다. 이 반면 복잡한 예로서는 記錄된 메시지를 數字의 列로 變換시켜 送信하는 경우도 이와 같다. 效果의인 encode方式을 택하면 情報의 傳送量을 증가시킬 수 있으나 불행하게도 送信되는 情報의 正確도와 Coding 過程의 原價 및 速度 遲延이 이와 直接 관련되어 通信 채널에 信號를 효율적으로 送信하는 데에는 信號變換 過程의 追加가 필요하게 된다. 예를 들

면 信號를 變調하여 振幅 또는 周波數를 變경시키거나 그 이외에도 高度의 通信技術을 이용하여 信號群을 하나의 다발(Bundle)로 묶어 한 개의 채널로 傳送하는 多重의 方法 등이다. 通信채널로는 2 對撚線, 同軸케이블, 無線電波, 마이크로 웨이브 빔, 光纖維 빔에서부터 衛星中繼까지 있다. 受信端에서는 信號가 原狀態로 decoding 되어 메시지는 受信者에게 전달되나 傳送過程에서 불필요한 雜音이 들어가거나 信號歪가 생겨 受信메시지의 正確度를 떨어 뜨리는 예가 흔하다.

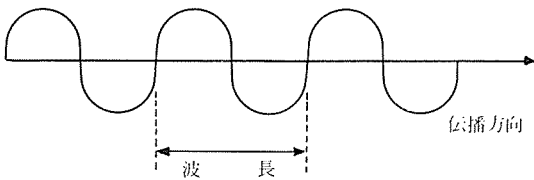
나. 端末機器

通信系統에 情報가 出入하는 地點을 端末이라 부른다. 端末이라는 用語는 간단한 電話器에서부터 텔레프린터, 팩시밀 및 디스플레이와 키보드를 구비한 知能터미널 등에 이르기 까지 사용된다. 이들 端末機器는 打字과 画像入力を 受信할 수 있을 뿐만 아니라 航空予約, 商去來 CAD 등 特殊用途로도 쓰여진다. 通信系統의 간단한 예로서는 단지 送受信端 相互間의 對話에만 사용되는 것을 들 수 있으나 많은 사람과의 同時通話 등에는 채널의 Network化가 필요하며 特殊交換을 爲한 處理가 必要하게 된다.

다. 信號의 傳送

電氣信號는 하나의 波로서 導體를 媒体로 하여 빛과 같은 速度로 進行하며, 無線傳送은 電磁波로서 空氣를 媒体로 하여 빛과 같은 速度로 進行한다. 電磁波는 1873年 James Clerk

그림 2. 電磁波



Maxwell 에 의하여 理論이 전개되었으며 후에 Heinrich Herz 에 의하여 확인되었다.

電磁波는 電界 및 磁界의 變化에 의하여 特徵 지워지며 이의 波長 및 周波數는 各各 傳播速度를 周波數를 나눈 것과 1秒當의 周波數로 표시되며 周波數의 單位는 Hertz(Hz)를 사용한다. 電磁波의 범위는 數Hz의 低周波(長波)

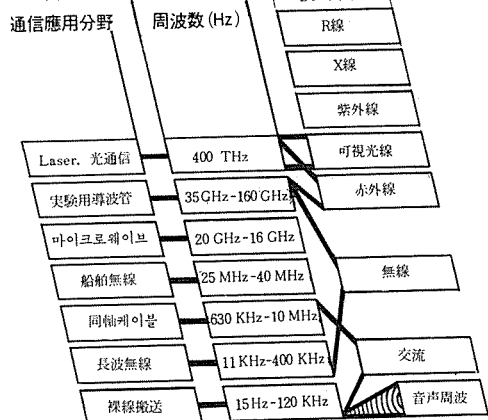
에서 300GHz의 極超短波에까지 이르고 赤外線, 可視光線, 紫外線, X-線, γ-線 領域에까지 미친다. 현재 이 범위 중 극히 일부분만이 사용되고 있으나 새로운 發明으로 인하여 그 領域은 上側帶로 확대되고 있다.

라. 帶域幅

通信채널로 傳送되는 周波數 범위를 帶域幅이라 한다. 即 傳送周波數의 上限과 下限의 差를 말하는 것으로서 예를 들면 300 Hz에서 3,300Hz의 信號를 傳送하는 周波數帶域幅은 3,000Hz 또는 3KHz가 된다. 信號는 傳送에 필요한 帶域幅에 따라 다르게 된다. 點과 대쉬(dash)로 構成되는 電信은 단지 40Hz 만을 필요로 하며 人間의 聽覺으로 感知할 수 있는 소리는 3Hz부터 20,000Hz에 달하고 있어 帶域幅은 거의 20KHz가 된다.

理論적으로 어떤 信號이건 간에 變化하고 있는 동안에는 그 周波數 成分은 무한대까지 이르고 있으나 實用上 필요한 周波數 成分은 다 행히도 좁은 범위에 한정되어 있다. 예를 들면 사람이 말하는 energy의 거의 대부분은 300Hz와 3,100 Hz 간에 집중되고 있으나 電話채널로는 단지 3KHz의 帶域幅만으로서 對話가 가능하게 되어 있다. 그 반면 Hi-Fi, 音樂의 傳送에는 3 내지 20,000Hz의 周波數範圍가 필요하며 컬러 TV는 6MHz의 帶域幅이 必要하게 된다. 信號가 빨리 變하고 있으면 있을수록(또는 우리가 빨리 信號를 보내고 싶으면 있을수록) 필요한 帶域幅은 커진다. Pulse 信號의 경우에도 마찬가지이다.

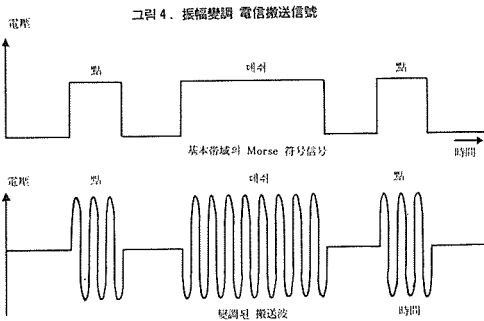
그림 3. 電磁波의 範圍



### 마. 變調

周波數範圍가 변하고 있는 信號(목소리, 圖像 및 data 等)를 2對의 電線 또는 無線으로 送信하는 것은 간단한 것같이 보일는지 모른다. 그러나 실제로 마이크에 이야기한 목소리를 可聽周波數와 동등한 電流로 變換하여 이를 직접 無線으로 送信함은 불가능하다. 왜냐하면 效率의 이유로 送信하기 위한 通信채널은 周波數가 한정되어 있기 때문이다. 無線電波를 送信하기 위한 送信안테나는 送信되는 電波의 波長과 거의 동일한 길이어야 한다. 音聲周波數의 波長은 몇 百 km에 달하므로 이를 效率의 이유로 放出하기 위하여는 웅대한 크기의 안테나와 거대한 送信出力이 필요하게 된다. 반면 高周波信號는 低周波에 비할 때 단지 몇 분의 1의 電力으로서 먼 거리까지 쉽게 送信할 수 있다. 특히 거의 모든 通信線路는 音聲周波數보다 훨씬 큰 周波數帶域을 가지고 있다. 同軸케이블의 예를 볼 때 몇

따라 電壓의 on 또는 off로 搬送波를 變調시킬 수 있다(그림 4 參照). 이와 같은 on-off는 振幅變調의 한 형태이다. 왜냐하면 搬送波의 振幅은 最大값과 零의 값 사이를 변화하고 더욱이 pulse의 幅은 點과 데쉬의 값엔 따라 變調되기 때문이다.



百 MHz에 이르는 周波數를 送信할 수 있는 容量을 가지고 있다. 同軸 케이블에 단지 하나의 通話信號를 傳送함은 浪費가 될 것이며 이러한 理由로 當初의 低周波信號는 通信채널에 적합한 高周波搬送信號에 疊혀(重疊)서 보내게 된다. 送信할 情報에 맞추어 搬送波가 변화되는 과정을 變調라 하고 搬送波로부터 當初의 信號로 복귀되는 반대의 과정을 復調라 한다. 變調信號에 의하여 변화되는 搬送波의 特性은 3가지가 있다. 즉 振幅 周波數 및 位相이다. 이 3가지 形態의 變調 중 한가지만이 變調에 사용된다.

#### (1) 振幅變調

우리는 Morse 符號電信의 點(dot)과 데쉬에

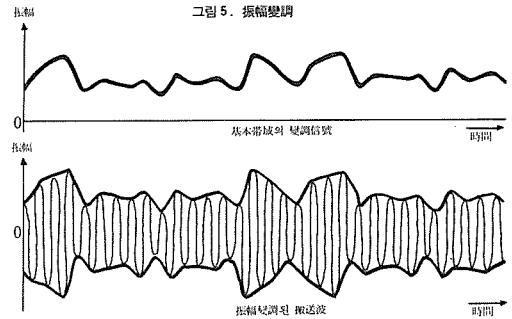
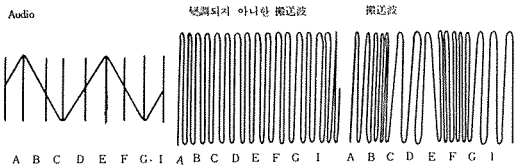


그림 5는 電話通信과 같이 연속적으로 변화하는 信號에 상응한 搬送裝置의 振幅變調를 나타낸 것이다. 여기에서 原信號는 變調된 搬送波의 振幅「內皮」안에 傳送되고 이「內皮」안의 信號는 目的地點에서 搬送波의 復調 과정에서 再生된다. 振幅變調의 적용시 正弦搬送波는 波形에 歪가 發生하여 새로운 周波數의 발생을 초래한다. 새로운 周波數의 半은 搬送周波數와 變調周波數의 和과 같으며 나머지 半은 그 差와 같다. 만일 주어진 帶域幅에서 變調信號가 搬送波에 印加되어 있다면 上側波帶와 下側波帶가 生成됨과 동시에 당초의 變調信號 帶域幅의 2倍의 搬送周波數를 가지게 된다. 따라서 2側波帶 중 하나를 제거할 수 있어 單側波送信 技法이 발생된 것이다.

#### (2) 周波數變調

振幅을 변화시키는 대신 變調信號의 振幅에 상응시켜 搬送波의 周波數를 변화시킬 수 있다. (그림 6 參照). 이 경우 搬送波의 振幅은 일정하여 振幅의 크기를 변화시키는 환경 및 人工雜音을 배제시킬 수 있다. 그 결과 동일한 出力에 대한 信號對雜音比는 크게 改善된다.

그림 6. 라디오周波搬送波의 周波數變調

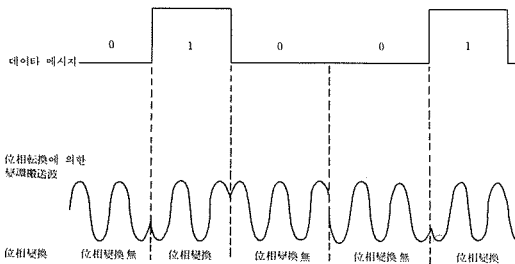


그러나 그 代價로 傳送信號의 帶域幅의 확대가 필요하게 된다. 즉 信號對雜音比가 좋아질수록 필요한 帶域幅은 커진다는 점이다. 따라서 20~15,000Hz (帶域幅 15KHz)의 低雜音, 高忠實度音을 傳送하기 위하여 FM 放送局은 일반적으로 變調信號의 10배나 되는 150KHz의 帶域幅을 필요로 하게 된다.

### (3) 位相變調

位相變調는 變調信號의 振幅에 따라 搬送波의 位相을 變換시키는 技法이다(그림 7 參照).

그림 7. 位相變調



位相變調는 周波數變調에 비하여 雜音 免疫이 더 크나 缺點으로서는 最大位相 變換이 180°이며 이 角度 이하의 變換으로서는 送信이나 檢出이 어렵다는 점이다. 따라서 位相變調는 연속적으로 振幅이 變하는 信號의 送信에는 거의 적용되지 아니하고 「0」 또는 「1」을 사용하는 데이터 送信에 일반적으로 많이 사용하고 있다.

### 바. 信號, 雜音 및 帶域幅

雜音, 歪曲 및 기타 불필요한 信號는 通信 채널의 特性을 低下시키므로 通信에 있어서 해결

하여야 할 主要한 問題이다. 따라서 通信에 있어서 技術開發의 많은 부분이 이러한 雜音과 歪曲을 해결하는 데 소비되고 있다.

信號傳送에 있어서 항상 內在되는 조직적인 歪曲의 形態는 通信信號의 損失과 減衰이며 이와 동시에 位相遲延과 波形歪曲 및 高周波歪曲이다. 이들은 傳送時 予測이 可能하므로 어느 정도는 그 歪曲을 미리 방지할 수는 있으나 불행하게도 予測치 못한 사이에 야기되는 많은 雜音과 歪曲도 있게 된다. 이들 중에는 電氣裝置로부터 나오는 Impulse 雜音으로 인한 Click과 Crackle, 遮斷器의 Chattering, 채널 간의 漏話, echo, 大氣雜音, 信號位相의 갑작스러운 變動, 無線信號의 Fading에서 일어나는 것이 있다. 이들은 때때로 最小限으로 減少시키거나 시정될 수 있는 경우가 있기는 하나 전적으로 억제되기는 매우 어렵다.

音聲이나 映像傳送時 雜音과 歪曲으로 야기되는 Blank는 앞뒤 내용으로 보아 感知할 수 있으나 Data 傳送에 있어서는 그렇지 않다. Impulse 雜音의 돌연한 發生은 1個 또는 그 이상의 Pulse를 말살시키거나 새로운 Pulse를 추가시키거나 한다. 그러나 高度의 誤謬檢知矯正技術로 때로는 이러한 損傷을 제거시킬 수 있다. 기타 電子信號에 있어서 統計적으로 予測이 가능한 背景의 任意 雜音이 있다 예를 들면 FM受信器를 켜면 背景音인 Hiss가 이에 해당하고 이는 종종 White noise, thermal noise 또는 Gauss noise로 알려져 있는 것 등이다. 우리는 信號電力과 雜音電力의 비율을 信號對雜音比(S/N)로 定義하고 있으며 通信系統에 있어서는 最小許容信號對 雜音比의 標準이 정하여져 있다.

## 2. 情報과 이의 符號化

通信에 있어서 기본적인 主要 質問은 대략 아래와 같은 類形들이다.

- 通信에 있어서 「情報」란 무엇을 意味하며 이는 어떻게 測定할 수 있는가?

- 通信채널에 있어서 雜音이 존재하는 경우와 존재하지 아니하는 경우, 情報容量은 얼마

나 되는가?

• 情報을 最大限으로 送信할 수 있는 가장 效果的인 信號의 符號化에는 어떠한 것이 있는가?

이들 質問에 대한 答을 얻기 위하여는 analog와 digital 信號의 符號化의 差異와 이들 양자간의 變換技法을 명백히 하여야 할 것으로 보인다.

#### 가. 情報의 意味

通信의 과정을 이해하기 위하여는 數理的으로 취급할 수 있으며 쉽게 풀이될 수 있는 情報量의 測定이 필요하다. 情報를 定義하기 위해 앞서 아래와 같은 몇 가지 觀察이 필요하다.

첫째로 變換이 불가능한 信號는 點滅하지 않는 懷中電燈과 같아 情報를 전달할 수 없다는 점이다. 電話器에서 受話器를 드는 경우 단지 Dial 信號밖에 보낼 수 없다는 점도 이와 같은 예가 된다.

둘째로 送信할 메시지를 선택하는 것은 자유이나 受信側이 情報로 받아들이기 위하여는 이를 완전히 이해하지 아니하면 안된다는 점이다.

가장 基本이 되는 것은 送信하여야 할 메시지에 대하여 선택이 필요하다. 예컨대 이 메시지는 Pulse 電流의 有無, 즉 Key-switch의 「on」 「off」로 「yes」 「no」 또는 「+」 「-」를 나타낸다고 前提하면 Pulse가 존재할 때 「1」, 존재하지 아닐 때 「0」이라고 해석될 수 있다.

OFF	NO	0	-
ON	YES	1	+

「1」 또는 「0」을 單位情報라고 하며 그單位를 bit라고 한다. bit는 情報의 汎用單位로서 電信, 音聲, 画像 및 컴퓨터 Data 信號의 情報傳送速度와 채널容量에 흔히 사용된다. 일반적으로  $n$  bit 情報는  $2^n$  가지의 선택 또는 메시지를 가진다. 예를 들면 書面 Text, 말하자면 Telex는 最少 字當 5 bit를 필요로 한다.

#### 나. 채널容量

만일 「on」 「off」 電流의 Pulse를 秒當  $n$  bit로 보낼 때 無雜音채널에 소요되는 帶域幅은  $n/2$  Hz가 된다. 다른 符號化 방법으로서는 同一 帶域幅에 있어서 훨씬 그 속도가 빨라진다. 가장 觀心을 끄는 것은 White noise下에서의 最

大理論容量이다. 채널容量은 帶域幅에 비례하여 증가하나 帶域幅을 증가하면 雜音 周波數가 介在되어 信號對雜音比는 떨어지게 된다. 通信 채널의 最大理論容量과 信號速度는 符號化技術이 아무리 정교하다 하더라도 單純히 증가시킬 수 있는 問題는 아니다. 모든 數值理論을 제시하는 것은 여기에서 논할 성질이 아니다. 그러나 하나의 예로서 信號對雜音比가 1000對1이며 帶域幅이 3000Hz의 音聲電話線의 最大容量은 30000 bit/秒이다. 실제로 이는 實現化된 사실이 없으며 현재의 技術로는 9600bit/秒가 限界가 되고 있다. 그 이유는 매우 복잡한 符號化가 速度遲延을 초래하고 있으며 이를 만족시키기 위하여는 많은 費用이 필요하기 때문이다.

#### 다. 符號化의 效率性

容量  $C$  bit/秒를 가진 無雜音채널에 있어서 個別情報를 傳送하는 데에  $H$  bit가 필요한 경우 最大傳送容量은  $C/H$  bit/秒이다. 예를 들면 채널 容量( $C$ )이 10,000 bit/秒이고 情報源이 평균 5 bit ( $H$ )의 文字를 발생하는 경우 文字를 傳送하는 最大傳送容量은 秒當 2,000字이다. 아래 表는 典型的인 文字나 메시지를 傳送하는 데 필요한 bit數이다.

典型的인 메시지에 필요한 bit數	
메시지別	受信 bit數
간략한 電話音聲 메시지	1 百万
「Vocoder」 電話音聲 메시지	100,000
Facsimile 形態의 文書	200,000
Computer code의 文書 (1,200 文字)	10,000
典型的인 事務室間의 메모 (600字)	3,000
典型的인 電報 (15字)	400
新聞寫眞	100,000
高品質의 컬러 寫眞	2 百万
Picturephone의 frame	100,000
Computer 商去來 (典型的인 것)	500

### 3. Analog와 Digital 信號

情報는 通信채널에 보낼 수 있는 信號로 Encode 되지 않으면 안된다. 필요한 情報로 Encoding 함에는 두 가지 基本 形態가 있다. 즉 Analog와 Digital이다. 실제로 어떠한 情報든지 Analog나 Digital로 Encoding된 信號로 送受

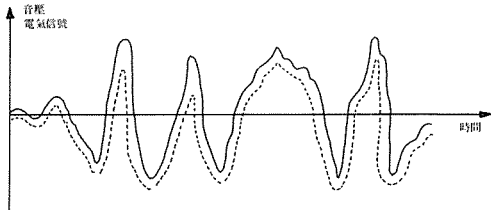
신된다.

가. Analog 信號의 Encoding

Analog 信號는 原來의 情報를 1對 1로 표현한다. 이 電氣信號는 連續的으로 情報의 模型 그대로를 묘사한 형태이다. 예를 들면 일반 電

그림 8. 電話信號

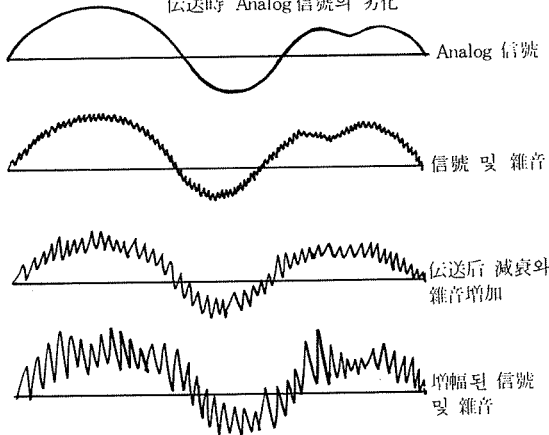
音聲變動에 따른 電話信號



話器의 送話匣에서 發生하는 電流는 그 振幅과 周波數가 音聲의 高壓變動에 相應하여 연속적으로 變한다. 時間을 橫軸으로 하여 Graph 를 그리면 電氣信號의 變化는 音聲變動과 相似形

그림 9. Analog 信號의 劣化 Analog

伝送時 Analog 信號의 劣化

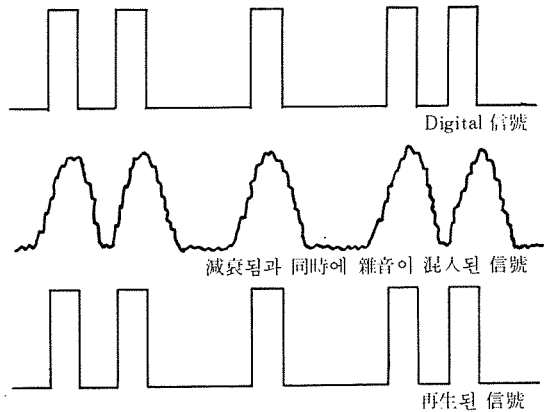


이 된다. (그림 8 參照). 이와 유사한 예로서 黑白 TV 카메라의 出力信號는 瞬間的으로 走査한 画素의 상대적인 밝기에 비례한다.

나. Digital 信號의 Encoding

Digital 信號는 斷續的인 Pulse의 組合 형태로서 情報를 傳達한다. 電信은 Morse符號의 點과 데쉬에 따라 點減時間을 달리하고 있는 Digital 信號이다(실제로 點과 데쉬의 間격은 第3의 記號가 되고 있다). 혼한 表現으로서 Digital 信號는 「1」 또는 「0」 단 두 가지 값을 가지는 Pulse의 흐름이라고 할 수 있다. 「1」과 「0」은 2進數이며 2進數는 10進數의 어느 數

그림 10. Digital 信號의 再生



나 表現할 수 있다.

10進數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2進數	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011

다. Digital 의 長點

이미 설명한 바와 같이 어떠한 형태의 情報인 건 간에 Analog 나 Digital 方式으로 Encode될 수 있다. 音聲과 같은 本來의 Analog의 信號마저 왜 Digital 信號가 바람직할까?

중요한 이유의 하나로서 Digital 信號는 雜音과 歪曲이 아주 적어 Analog 信號보다 品質이 良好하다는 것이다. 앞의 그림 9에서 典型的인 Analog 信號의 경우를 보자. 一般的인 電信網에 있어서 回路가 接續되면 信號는 減衰되면서 通話路의 雜音, 漏話 및 歪와 混合되고 反復增幅(雜音과 섞여) 되면서 通話路를 구성한다. 信號가 回路의 選擇, 同調, 增幅 및 復調 등의 단계를 많이 거치면 거칠수록 雜音, 漏話, Hum 및 歪는 더 커진다. 信號가 最終的으로 受話者에게 도달하여 音聲으로 變換되었을 때에 原音의 충실한 再生은 기대할 수 없게 된다.

이에 반하여 Digital 信號는 走行距離에도 불구하고 거의 雜音, 干涉, 歪에는 영향을 받지 않는다. Digital 信號가 「1」 또는 「0」으로 인식되는 한 周期的으로 새로운 Pulse로 대체될 수 있어 그림 10에서 보는 바와 같이 원래의 信號로 再生될 수 있다. 비록 歪曲으로 인하여 때

때로 Pulse가 衰失(또는 追加) 되기는 하나 이러한 誤差率은 극히 微少하다.

라. 2進信號의 性質

2進化 Digital 信號는 電氣的으로 「on」 또는 「off」의 狀態로서 電子回路의 「on」 또는 「off」로 調整된다. 이러한 回路는 다른 回路보다 複雑하고 實用的이며 信賴性이 높다.

Digital 信號가 實用的으로 뛰어난 점은 傳送速度가 큰 데 있으며 現存하는 Digital 交換機와 다른 通信裝置와 混合할 때 經濟的이 된다.

그러나 基礎的인 物理特性面으로 볼 때 비록 원하는 결과를 얻기 힘들고 經濟性이 없다고 하더라도 Digital 信號가 할 수 있는 어떠한 역할도 Analog 信號가 할 수 있다는 사실을 잊어서는 안될 것이다.

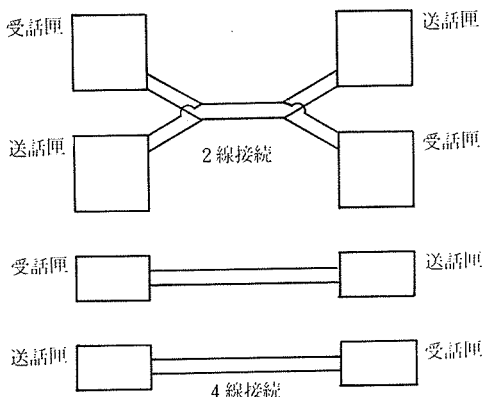
마. 信號의 品質

Digital 傳送의 特異한 점은 情報를 적절하게 受信하거나 또는 전혀 受信하지 못한다는 點이다. 만일 受信되는 경우, 그 信號는 同一 채널에 다른 信號가 있건 없건간에 마치 專用線에 의하여 傳送된 것과 같이 效果的으로 目的地點에 도달한다. 이는 쌍방간의 Digital 通信이 4線式(즉 2對의 線은 送信用, 나머지 2對의 線은 受信用)임을 나타내고 있다.

Analog 傳送의 1次 障礙는 電話設備를 2線에 연결하여 양방향에 同時 傳送하여야 한다는 點이다. 케이블의 特性 變動 때문에 echo 및 Singing 등 傳送品質의 低下를 감수하지 않고는 回路 損失과 歪曲을 제거하기란 불가능하다.

2個의 電話器間에 가장 좋은 品質을 얻을 수

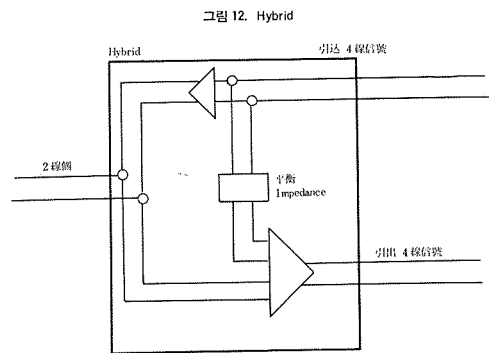
그림11. 2線과 4線接統方式



있는 接統은 그림11과 같이 2對의 線의 한쪽 端子를 受話器, 다른 한쪽 端子를 送話器에 연결하고 나머지 2對의 線의 한쪽 端子를 前者의 送話器, 다른 端子를 后者의 受話器에 연결하는 方法이다. 加入者에서 加入者로 이어지는 通話路가 완전히 Digital 化된 通信網만이 最大의 傳送品質을 얻을 수 있다.

바. 信號의 變換

2線方式에서 4線方式으로의 變換은 2傳送方向을 분리시킬 수 있는 Hybrid 방식의 活用이다. 그림12에서와 같이 그 基本動作은 2線側 信號로부터 引込 4線信號를 差減하여 引出 4線



信號를 얻는 것이다. 이는 變成器나 增幅器 또는 단순히 抵抗만을 사용하면 될 수 있다.

어떠한 경우에 있어서나 效率性의 關鍵이 되는 것은 平衡임피던스를 어떻게 하면 精確하게 2線側임피던스에 整수시키느냐에 있다. 만일 整수가 精確하게 이루어지는 경우, Hybrid 는 完全하게 되어 引込 4線信號는 引出 4線信號에 混入하지 아니하게 된다. 이러한 경우, 4線側의 引込 및 引出方向에 충분한 入득을 얻을 수 있어 Echo 또는 Singing의 위험이 없게 된다.

實用面에서 線路의 物理的 特性, 주위 環境, 길이, 두께 및 多重接統으로 인하여 임피던스는 精確하게 整수되지 않는다. 때로는 불충분한 整수로 인하여 Hybrid Device의 損失조차 보완시킬 수 없게 된다.

Digital 交換機에 있어서 内部交換接統의 損失을 없애기 위하여 加入者線路의 임피던스 整수性 향상이 필요하게 된다. 이러한 整수性 향상은 예컨대 여러 임피던스값 중 하나를 선택하는

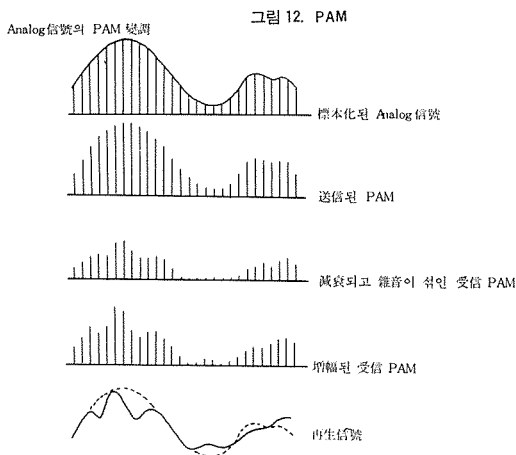
등의 방법으로 加入者線路에서 이루어진다. 이 방법은 Hybrid의 Echo特性을 향상시켜 加入者가 Digital 交換局을 통하여 相對方을 呼出時 Echo의 干涉現象을 감소시켜 준다. Subset間的 Digital 接續의 경우 Hybrid는 불필요하게 되어 Echo는 일어나지 않게 되므로 信號 Level은 거리에 관계없이 最適의 상태가 된다.

#### 4. Analog와 Digital의 相互 變換

##### 가. Analog 信號의 Digital 變換

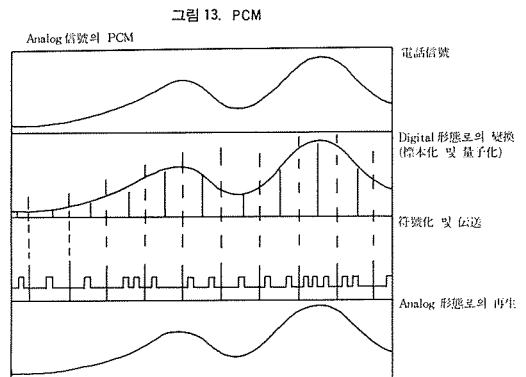
Analog 信號는 Digital 信號로 變換될 수 있다. 예를 들면 연속적으로 변하는 Analog 信號는 高速 Digital 信號로 變換, 傳送되어 受信端에서 다시 원래의 電話信號로 再生하게 된다. Analog 信號를 Pulse의 흐름으로 바꾸려면 일정한 同期間隔으로 變動되는 振幅을 標本化하여야 하나 全周波數를 연속적으로 나타낼 필요는 없다. 단지 傳送되는 周波數 중 最大周波數의 2배에 해당하는 수만큼을 標本化하면 된다. 즉 4,000 Hz에 이르는 音聲周波數는 원래의 情報로 再生시키기 위하여는 最少限 秒當 8,000本の 標本을 취하지 않으면 안된다(일반적인 Analog 電話器에서 音聲周波數는 通常 3,400Hz로 한정되어 있다).

Pulse를 標本化 및 符號化하는 데에는 몇가지 方法과 變形이 있다. 가장 간단한 것으로서



Analog 信號의 振幅에 비례하는 標本化 Pulse를 發生하는 PAM (Pulse Amplitude Modulation)이 있으며(그림12 參照) Pulse의 振幅은 연속적으로 변화하고 信號의 振幅과 유사하다. PAM은 Digital 技法에 속하고 있지 않으며 情報는 Analog의 形態로서 傳送된다. 더욱 연속적으로 변화하는 Pulse는 AM 信號와 마찬가지로 線路損失, 雜音 및 歪를 발생하게 된다. PAM 信號는 數미터 이상의 傳送 距離가 되면 再生할 수 없게 되므로 그 技法은 信號處理 rack 內에서만 適用할 수 있다.

Analog 信號를 Digital로 變換 하는 데 있어서 가장 普遍的으로 사용되는 것은 PCM (Pulse Code Modulation)이다. PCM은 他技法과 마찬가지로 Analog 信號의 最大周波數의 2배에 해당하는 數의 標本을 취하면 된다(통상 音聲周波數에 있어서 秒當 8000本). 그 다음에 標本으로 취한 連續振幅을 固定 Pulse로 分割하고 量子化하게 된다(그림13 參照)



이 과정에서 구형 Pulse의 주위는 円形으로 變形되므로 인하여 약간의 歪曲이 생기게 되며 이를 量子化雜音(Quantizing noise)라 한다. 標本化된 Pulse가 量子化되고 나면 다음에는 적절한 Code로 符號化(보통은 2進符號化)된다. 이러한 信號는 歪曲을 제거하기 위하여 간헐적으로 再生되면서 Pulse의 다발(束)을 이루어 傳送된다. 受信端에서 이 2進 符號化 Pulse는 다듬어져 원래의 Analog 信號로 再生된다.



CCITT 規定에 따라 2.56 量子化 Level ( $\pm 128$  Level) 이 사용된다. 이들은 각각 標本當 8-bit 로 표시할 수 있게 되어 PCM 音声채널에서 필요한 bit rate는 秒當 8,000 標本  $\times$  8 bit / 標本 으로 되어 64,000 bps (bit per second) 가 된다.

傳送되는 情報의 量을 감소하기 위하여 標本은 동일한 振幅의 Pulse 로 變換되며 標本間의 거리만이 상이한 2進數 형태로 Encode 된다. 이를 DPCM (Differential Pulse Code Modulation) 이라 한다.

Delta 變調라는 특수한 형태의 技法 역시 동등한 振幅의 Pulse 로 되나 이는 標本當 단지 1-bit 를 사용하고 있다. 信號의 振幅이 앞의 標本보다 작든지 크지에 따라 2進數의 「1」 또는 「0」이 사용된다.

#### 나. Digital 信號의 Analog 變換

通信채널에 傳送하기 위하여 Digital 로 變換된 Analog 信號는 受信時 원래의 情報로 환원시키기 위하여는 Analog 形態로 變換되지 않으면 안된다. 이와 유사한 방법으로 Digital 信號 (예컨대 Computer Data) 를 Analog 用으로 設計된 通信채널을 통하여 高品質로 傳送하고자 할 때에는 이는 Analog 信號로 變調되어야 하며 受信時에는 원래의 Digital 信號로 復調 되어야 한다.

Digital 에서 Analog 로의 變換은 振幅變調, 周波數變調 또는 位相變調의 方法에 의하여 Digital 信號를 Analog 搬送波에 중첩시켜 이루어진다. 電話網에서 Computer Data 를 보내려면 送信端에서의 變調와 受信端에서의 復調가 필요하다. 이들 變換을 하기 위한 Interface

Device 를 Modem (Modulator/Demodulator) 이라 부른다. Computer Data 를 傳送하는 Analog 線路端에는 Modem 이 있어야 한다. Digital 에서 Analog 로의 變換技法인 FSK (Frequency Shift Keying) 가 때때로 modem 에 사용된다. FSK 는 2進數의 「0」 및 「1」을 表現하기 위하여 搬送周波數를 上向 또는 下向으로 약간 遷移시킨 周波數變調의 한 형태이다. FSK 는 1800 bps 이하의 低速裝置用으로서 가장 적합한 반면, 位相變調 Modem 은 비교적 고속으로 동작시키는데 적합하다. Modem 設計에 있어서 가장 고려하여야 할 점은 帶域幅과 誤動作이다. 振幅變調는 帶域 이용면에서 유리하며 FM 은 雜音과 誤動作 抑制面에서 유리하다. Modem 은 Data 속도가 9,600 bps 까지의 使用에 適合하다.

## 5. 多重化

多重化란 간단히 말하면 여러 信號가 하나의 傳送路를 같이 사용하는 것을 말한다. 多重化에는 電話通話와 같은 Analog 信號 또는 Digital 信號의 어느것으로도 가능하다. 실제로 모든 傳送媒體는 1개 이상의 音声채널을 送信할 수 있으므로 多重化는 현재의 通信連結手段으로서는 보다 經濟的으로서 原價 引下와 使用者의 부담을 輕減시킨다. 通信線路에 1개 이상의 信號를 傳送하는 方法으로서 空間分割多重化 (SDM) 周波數分割多重化 (FDM) 및 時分割多重化 (TDM) 세 가지가 있다.

그림 14. FSK

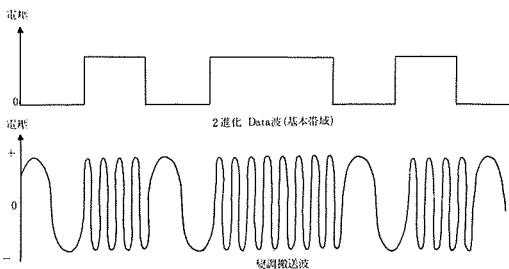
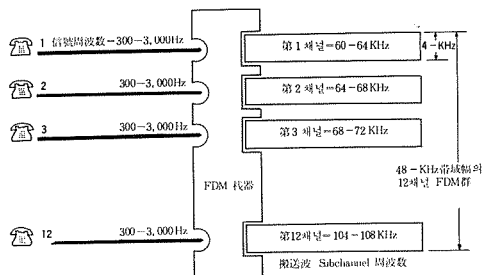


그림 15. 周波數分割多重化



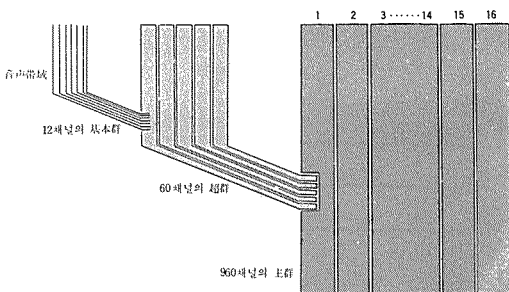
空間分割多重化는 數百의 線對를 하나의 케 이블로 묶는 것과 같이 단순히 物理傳送 媒體 를 하나로 묶는 것을 말한다.

周波數分割 및 時分割多重化는 주어진 周波數帶域을 細分시키는 方法으로서 周波數帶域을 보다 좁은 周波數帶域의 群으로 分割(FDM) 하거나 또는 各信號를 時間的으로 割當(TDM) 하는 技法을 말한다. 周波數分割多重化에 있어서는 사용할 수 있는 周波數空間을 分割하여 보다 적은 채널을 만들고 이 分割된 채널에 各單位信號를 分擔시킨다. 이에 반하여 時分割多重化는 各信號를 時間的으로 割當하여 채널에 삽입시킨다. 兩多重化技法은 Analog 또는 Digital 信號에 모두 사용할 수 있으나 周波數分割을 가장 흔히 사용하는 것은 Analog 信號이며 時分割多重化는 Digital 信號에 많이 사용한다.

가. 周波數分割多重化

周波數分割多重化에 있어서 個個 채널의 信號는 주어진 周波數帶域이 恰 恰 때까지 隣近 周波數帶에 配列시키게 된다. 多重化時에는 原信號帶域보다 넓은 새로운 周波數帶域을 가지게 되므로 信號의 汜過가 필요하며 인근채널간의 간섭을 방지하기 위하여 保護帶域을 가져야 한다. 예를 들면 3 KHz 帶域으로 사용할 수 있는 信號는 4 KHz의 채널을 割當시켜 간섭을 방지시키고 있다. 그림 15는 12개의 音聲信號, 帶域幅 4 KHz, 搬送周波數 60~108 KHz를 가진 現用 周波數分割多重化를 예로 든 것이다.

그림 16. 同波數分割多重化的 裝置



이렇게 하여 多重화된 信號는 단 하나의 線對를 통하여 傳送될 수 있다. 이들 5개로 된 群(Group)은 다시 超群(Supergroup)으로 多

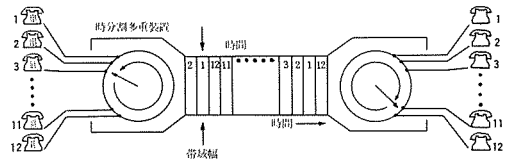
重化되어 60 채널을 구성하여 周波數帶域은 312 ~ 552 KHz로 된다. 16개의 超群은 다시 多重化되어 962채널의 主群(Master group)을 이루게 된다. (그림 16 參照) 目的地에 이르면 搬送波는 復調되고 필요한 信號만 汜過시켜 원래의 信號로 再生된다.

나. 時分割多重化

連續的인 Analog 信號에 반하여 Digital 信號는 간헐적으로 傳送된다.

時分割多重化는 Digital Pulse의 간격을 교묘하게 活用하여 동일한 傳送채널에 各 獨立된 信號를 定하여진 時間 동안만 보내는 多重化 方法으로 되어 있다. 그림 17에서와 같이 各人力信號 Pulse를 周期的으로 走査할 수 있는 機械式 로터리 스위치로 된 多重 裝置를 생각하면 그 原理를 쉽게 이해할 수 있다.

그림 17. 時分割多重化



스위치가 1회轉하는 동안에 傳送한 Pulse의 標本을 Frame 이라 한다. 실제로 通信機器에서 이러한 스위칭은 高速電子 Switch나 Gate로 하게 된다.

이미 記述한 바와 같이 音聲信號는 每秒 8000회 標本化, 量子化되며 8-bit Pulse의 標本으로 Encode 된다. 每 125 μs 間에 總24 채널로 되는 Frame을 傳送하기 위하여는 채널同期뿐만 아니라 Frame 同期가 필요하게 된다. 이를 위하여 24채널 뒤에 1個의 Frame 同期 Pulse를 두고 있어 1Frame을 193 (8×24+1) bit로 구성하고 있다. 또 채널同期를 위하여는 8-bit 중 最終 bit를 信號 bit로 사용하고 있어 실제 音聲 bit는 7個로 되고 있다(그림 18參照) 秒當 8,000 本의 標本, 標本當 8 bit, Frame 同期 1 bit가 필요함을 볼 때 每秒當 必要한 線搬送은 8,000×(8×24+1), 즉 1,544,000 bps가 된다.

그림 18. PCM Pulse의 列

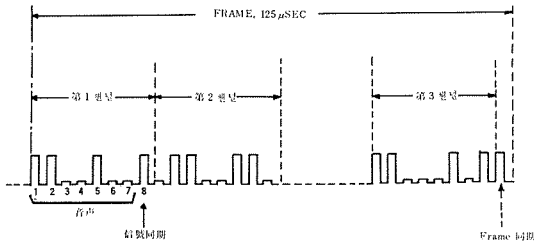
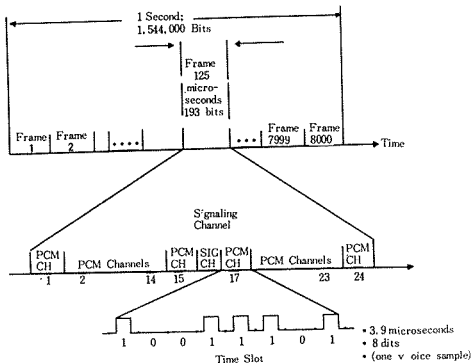


그림 19. Bit의 構成



## 6. 通信網의 連結

通信網에는 Analog 또는 Digital 信號를 모두 傳送할 수 있다. 現在 하는 通信網은 線對(Wire pairs), 同軸케이블, 마이크로웨이브, 超短波, 衛星通信과 최근에 등장한 光通信으로 構成되고 있다.

가. 線對

1對의 銅撚線은 交換機에 연결된 加入者 相互間的 交信을 가능하게 한다. 통상 數百의 線對가 하나로 묶여 架空 또는 地中에 설치된다. 線對는 電磁的인 간섭을 가능한 한 최소한으로 하기 위하여 서로 꼬아져야 하며 線路損失은 信號의 減衰를 초래하므로 케이블에는 몇 km마다 增幅器(中繼器라 한다)를 삽입하여야 한다. 音声級線路는 加入者間的 兩方向 通話가 가능하도록 되어 있어 큰 帶域幅을 필요로 한다. 音声周波數 채널을 高周波搬送周波數로 變調 및 多

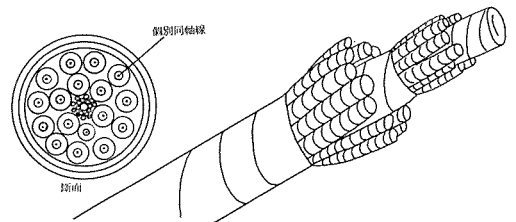
重化시키면 2對의 線路로 많은 通話가 가능하게 된다. 1對의 幹線에는 통상 동시에 12通話 채널이나 24 Digital PCM 音声채널을 傳送할 수 있다.

加入者線對는 兩側에 Modem을 사용하여 Data 傳送到에 이용될 수 있다. 보통 音声級線路는 兩方向으로 秒當 1,200 bit를 傳送할 수 있어 手 作業에 의한 Data (주로 Keyboard 作業으로서 秒當 30~150 bps) 傳送到에는 충분하다. 歪曲을 감소시키기 위하여 設計된 裝置를 사용하면 1 對로 보낼 수 있는 Data는 9,600 bps 까지 올릴 수 있어 Smart Terminal 또는 低走査画像 등을 傳送할 수 있다.

나. 同軸케이블

中心의 銅導體와 銅遮蔽外皮間에 Plastic 絕緣體로 분리되어 있는 同軸케이블은 撚線보다

그림 20. 同軸케이블

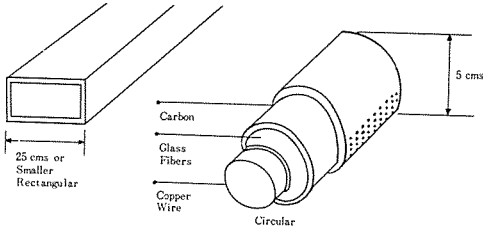


훨씬 높은 周波數를 傳送할 수 있다. 同軸케이블은 10MHz로부터 몇 百 MHz에 이르는 帶域幅에 사용할 수 있으며 2線을 묶은 同軸케이블에는 f 이상의 音声채널을 傳送시킬 수 있으며 22個線을 한꺼번에 묶을 때 4線電話通話를 동시에 10萬 이상 傳送할 수 있다. 同軸케이블은 單線에 많은 音声채널을 傳送시킬 수 있을 뿐 아니라 여러 가지 歪와 漏話를 最小限으로 억제시킬 수 있다. 撚線對와 비교할 때 同軸케이블은 原價面을 제외하고는 많은 長點을 가지고 있다.

다. 無線通信網

Microwave 通信網은 大容量, 長距離通信 및 TV 프로그램傳送到에는 同軸케이블과 競争關係에 있다. Microwave는 빛과 거의 同一한 性質의 높은 周波數信號를 傳送하므로 안테나는 서로 보이도록 큰 建物이나 山頂에 설치하여야 한다. Microwave 안테나는 32~48km에 하나씩 설치하여 TV 또는 電話를 중단하므로써 全國

그림 21. 導波管



網을 구성하도록 하여야 한다. 1TV 채널은 1,200電話 채널에 해당하나 單位 거리당 소요되는 增幅器數는 同軸케이블보다 Microwave가 적게 된다. Microwave는 空間通信 媒體와 같이 日氣에 간섭을 받으며 山이나 建物, 기타 物體에 反射되는 결점이 있다. 그러나 이에 사용되는 導波管은 그러한 영향을 받음이 없이 Microwave를 傳送시킬 수 있다. 25cm幅의 銅 또는 黃銅 튜브로 된 矩形導波管은 Microwave 안테나 Fedder 또는 短距離 傳送용으로 사용된다. 현재 100 GHz 이상의 극히 높은 周波數를 傳送할 수 있는 5 cm 파이프의 円形 導波管이 최근 큰 관심을 끌고 있다.

라. 衛星通信

衛星通信은 Microwave 中繼裝置의 한 종류이다. 1965年 第1號 商用衛星인 「Early Bird」가 地球上 36,000km의 停止軌道에 진입되었다 (이 高度에서 衛星은 時間當 11,000km 走行하여 약 24시간에 1회轉하므로 地球 表面上에 停止되어 있는 것과 사실상 동일하다). 현재 地球上에는 많은 通信衛星이 있으며 4-6 GHz의 C-band를 사용하고 있어 隣接衛星間에 최소한 4° 이상의 거리 유지가 필요하다.

현재와 같은 급격한 通信衛星 增加 추세로 볼 때 不遠한 장래에 이 거리 유지는 힘들 것으로 보여진다. 이러한 상황으로 인하여 世界 先進各國은 12~14GHz의 周波數를 갖는 Ku-band와 20~30GHz의 K-band 周波數帶域의 衛星 開發에 열을 올리고 있다.

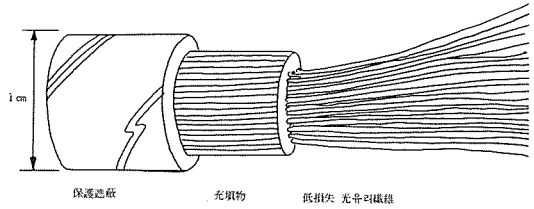
이 帶域의 衛星이 實用化될 경우 그 帶域幅이 커질 뿐만 아니라 地上局이 작아지고 價格이 낮아져 직접 사용자가 設置, 受信 가능할 것으로 보인다. 日本에서는 12~14 GHz 範圍內에서 동작되는 放送衛星이 發射되어 현재 山間地帶의 家庭에 컬러TV 信號를 提供하고 있다.

이 周波數 범위에서의 큰 결점은 氣象 간섭과 동시에 이 受信 빔 사이에 새가 날아 가는 경우조차도 受信 障害를 일으키게 된다는 점이다.

마. 光纖維

可視 또는 準可視 光線에서 動作하는 光纖維는 거의 무한대에 가까운 帶域幅을 가지고 있어 大容量의 長距離通信 系統用으로써 脚光을

그림 22. 光纖維케이블



받고 있다. 光纖維는 高透明度를 갖는 유리실로서 單色光을 傳送하는 일종의 導波管이다. 최근의 技術 개발로 인하여 光纖維는 損失이 미소하게 되고 있다. 100個 이상의 光纖維를 한 다발로 묶어 直径 1 cm의 케이블로 만들어 사용하고 있으며 이 케이블은 銅線만큼 柔軟性을 가지고 있으며 reel에 말거나 풀거나 할 수 있다. 光纖維은 高帶域幅임과 동시에 他通信채널에 끼치는 여러 가지 영향(信號누설, 漏話, 電氣 간섭 및 기타 雜音)으로부터의 障害가 없다는 것이 큰 長點이 되어 있다. 따라서 雜音과 誤謬가 없는 傳送에 가장 적합하여 현재 美國, 英國, 西獨, 日本, 캐나다 등 先進國에서 많이 사용하고 있으며 장차 廣帶域通信 Service에 가장 유망한 방식으로 추측된다.

바. 全 Digital 通信網

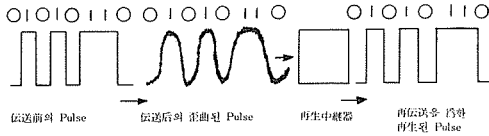
이미 앞에서 설명한 바와 같이 Data 및 Digital Pulse 信號는 찝막찝막이 傳送되어 時分割 多重化로 필요한 帶域幅을 얻게 된다. 이에 비하여 電話器나 기타의 Analog 信號는 연속적으로 傳送되고 周波數分割多重化시켜 채널帶域幅을 확대하게 된다. Data를 Analog 通信網을 통하여 傳送하는 데는 經濟的으로나 技術的으로 많은 不利點이 있다.

Analog 傳送의 主缺點은 信號와 함께 雜音과 歪도 동시에 增幅된다는 점이다. 즉 信號가 增幅裝置를 몇 단계 거치는 동안 雜音이 누적하게 된다는 점이다. 이에 반하여 Digital로 傳

送된 情報은 각 中繼裝置에서 Pulse를 재생시키면 品質 저하가 일어나지 않는다. 예외적으로 큰 雜音 Impulse가 한 個 이상의 bit 數를 없애버리는 경우가 있으나 誤謬校正技法에 의하여 訂正할 수 있을 때가 많다. 따라서 Ana-

그림 23. Pulse의 再生

再生中繼器에 의하여 再生된 Pulse 列



log 電話網에서 발생하는 損傷(雜音, 漏話, 混變調 및 Echo)은 Digital 에서는 제거될 수 있다. Digital 傳送의 主缺點은 Pulse가 Analog 信號보다 넓은 帶域幅을 요구한다는 점이다. 그러나 Pulse는 傳送路를 경유하면서 때때로 재생되고 단지 「1」과 「0」은 識別만 가능하면 되므로 信號對雜音을 가지게 되어 동일 거리간의 Analog 信號傳送時보다 쉽게 歪曲, 偏歪 및 지연되지 않는다. 廣帶域幅으로 인한 間接적인 効果는 Digital 音声網에서는 Analog 音声網보다 몇 10倍 더 많은 Data를 傳送할 수 있다는 점이다.

높은 bit 容量을 傳送함에는 Digital Pulse를 數km 거리의 再生中繼裝置로 자주 재생시키 주므로써 歪를 제거하지 않으면 안된다. 標準 PCM方式에서 1,544,000bps 이므로 中繼裝置는 毎秒 이러한 bit 量을 處理할 수 있어야 한다. 그림 23에서 보는 바와 같이 Pulse가 中繼裝置에 도달하였을 때 歪曲되어 振幅이 축소되므로 이를 Companding 技法으로 재생시키므로써 원래의 信號로 복구시켜야 한다.

〈參考〉

單位에 사용되는 接頭語는 다음 表와 같다.

單位에 붙여 있는 乘數	接 頭 語	
	名 稱	記 號
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	Giga	G
$10^6$	Mega	M
$10^3$	Kilo	K
$10^2$	Hecto	h
10	Deca	da
$10^{-1}$	Deci	d
$10^{-2}$	Centi	C
$10^{-3}$	Milli	m
$10^{-6}$	Micro	$\mu$
$10^{-9}$	Nono	n
$10^{-12}$	Pico	p
$10^{-15}$	Femto	f
$10^{-18}$	Ato	a

