

PCM/Digital Audio의 現況과 展望

李 忠 雄

서울工大 電子工學工 副 教授(工博)

I. 序 論

最近에 와서는 電卓이나 디지털時計를 비롯하여, Microprocessor 등 종던 싫은 「디지털」機器를 가까이 하지 않을 수 없게 되어 가고 있다. 오디오나 비디오의分野에 있어서도 디지털技術이 活潑히 導入되고 있다. 이 디지털技術의 導入에는 制御系에의 導入과 信號系에의 導入으로 大別할 수 있다.

制御系에의 디지털技術의 導入은 比較的 일찍이 이루어졌으며 例를들면 턴·테이블의 서어보(quartz clock式等), Synthesizer方式의 튜너, 테이프·레코더의 Function control, 텔레비전의 選局의 Remote control, VTR의 回轉系의 서어보 및 Function control等 實로 多様多岐하다. 또 業務用으로는 스튜디오錄音時의 fader의 制御(컴퓨터·믹싱)나 텔레비전의 SMPTE(society of motion picture and television engineers) 타임·코우드等の 實用化에 利用되고 있다.

이에 對해서 信號系에의 디지털技術의 導入例는 限定되어 있으며, 家庭用오디오分野에 導入하게 된 것은 極히 最近의 일이다. 이것은 元來에 擬로그信號인 오디오나 비디오信號를 一旦 디지털化하여 傳送·處理한 다음 다시 擬로그로 復元하기 爲한 行程이 複雜하여 處理速度에 制約이 있었기 때문이다.

그러나 最近에는 디지털演算素子の 集積도와

動作速度가 向上됨에 따라 高速處理가 要求되는 비디오信號에 對해서 까지도 디지털信號處理가 可能하게 되었다.

音響分野에서는 音聲의 分析 및 合成研究는 比較的 일찍부터 컴퓨터가 導入되어 디지털信號處理가 이루어지고 있다. 또 電話回線의 PCM多重傳送이나 衛星通信에는 hardware에 依한 디지털傳送이 이미 實用化된 것은 周知의 事實이다. 그러나 廣帶域音響信號를 取扱하는 오디오分野에서는 A/D, D/A 變換素子の 動作速度나 精密度, 記憶素子の 容量이나 信賴性等的 制約으로 因해서 디지털技術이 導入되게 된 것은 最近의 일이다.

實用化例로서는 레코드를 製作하기 爲한 PCM테이프·레코더, 遲延裝置나 殘響付加裝置等的의 스튜디오機器, 英國BBC 放送프로그램의 PCM中繼等的의 業務用, 또는 研究用機器에 限定되어 있었으나 最近 1,2年 사이에 民生用디지털·오디오機器, 특히 PCM錄音·再生裝置가 開發·販賣되게 된 것은 잘 알고 있는 일이다.

信號를 디지털傳送할 때 생기는 長點은 어떠한 傳送系를 使用하여도 符號틀림(code error)만 일어나지 않으면 信號의 劣化가 없고 傳送시스템의 質이 根本적으로 根本化 周波數와 量子化 시스템에 依해서만 左右되는 點이다.

放送이나 레코드에 있어서 對象으로 하는 音이 聽取者의 귀에 到達하기 까지는 收音, 錄音, 傳送, 再生等的의 處理過程을 通한다. 即 信

號는 數 많은 機器를 通過하게 되나, 一般的으로 널리 使用되고 있는 애널로그處理에서는 機器를 通過할때 마다 多少 信號의 劣化가 생긴다. PCM錄音이나 PCM中繼는 레코드製作이나 放送 프로그램의 傳送系에서 생기는 信號劣化的 隘路點을 디지털技術을 利用하여 對處한 것이라고 볼 수 있다.

PCM錄音의 起源으로는 前述한 바와 같이 音聲分野에서는 일찍부터 컴퓨터에 依한 處理가 行하여졌으며, 코아나 磁氣테이프 裝置 등의 記憶裝置에 音聲信號의 디지털記錄이 行하여 진 것들을 생각할 수 있다. 特히 Bell 研究所나 MIT의 Lincoln 研究所에서는 1960年代前半부터 廣帶域音響信號를 記錄, 再生할 수 있는 컴퓨터·시스템이 使用되었다. 이것은 어디까지나 컴퓨터에 依한 信號解析 手段으로서의 디지털記錄으로서, 오디오分野의 애널로그傳送路에서의 隘路가 되고 있는 테이프·레코더에 着目한 單體로서의 錄音機는 아마도 1968년에 NHK 技術研究所에서 試作機를 發表한 것이 最初이며, 實用化는 1972年 日本콜롬비아가 내놓은 DN-034 R形 8 채널 PCM마스터·테이프·레코더가 最初라고 볼 수 있다.

PCM에 依한 放送中繼는 英國에서 BBC放送이 1972年以來 PCM Link 라고 稱하는 디지털中繼網을 架設하여 英國 全國土를 모두 이미 커버하고 있다. BBC에서는 局間中繼 뿐만 아니라 中繼車로부터 局으로 中繼하는 데도 積極적으로 디지털傳送을 使用하고 있다. 日本에서는 後述하겠지만 FM스테레오放送中繼용으로 實用化試驗을 하고 있는 段階이다.

디지털處理技術이 信號系에 導入된 實用化例는 PCM錄音機나 放送프로그램의 PCM中繼와 같은 業務用, 또는 研究用으로 限定되어 있으나 最近 2~3年 동안에 民生用을 包含하는 많은 PCM錄音機, 디지털·오디오·디스크 등이 發表, 販賣되고 있다.

한편 비디오分野에서도 이미 放送局에서 디지털·타임·베이스·콜렉터, 프레임·싱크로나이저, 特殊效果裝置 등이 實際로 使用되고 있다. 家庭用 VTR를 使用한 PCM오디오·프로세서의 規格이 最近에 日本電子機械工業會에서 制定하였으나 國際的인 規格이 나올려면 아직 먼 것으로 생각된다. 한편 디지털·비디오의 國際規準化는 CCIR의 2個의 研究會(SGII, CMI)에서 1974년부터 檢討를 거듭하여 이미 報告書가 나와 있다(報告 629, 報告 646).

비디오信號에는 水平, 垂直同期, 칼라信號의 서브·캐리어周波數等, 元來 디지털處理를 하는데 必要한 基準이 되는 數值가 이미 定해져 있었으며, 또 導入의 效果가 크므로 円滑하게 디지털處理가 導入된 것으로 생각된다.

예를들면 타임·베이스·콜렉터(時間軸補正裝置)는 VTR와 같은 時間軸의 變動(jitter, wow, flutter)이 있는 信號를 時間軸의 變動에 맞춘 速度를 記憶裝置에 記憶시켜 安定된(一般的으로 放送局의 時間基準에 맞춘) 一定한 速度를 잃어 내어 畫面의 흔들림을 除去하는 裝置로서 VTR 放送의 必需品이다. 從來는 애널로그·딜레이·라인으로 構成되어 있었으며 補正範圍도 1H(水平區間 約 $64\mu s$) 程度로서 4 헤드形 VTR의 補正에는 充分하였으나 1인치·헤리칼 VTR나 U規格 VTR의 補正이 困難하였다. 디지털記憶은 前述한 바와 같이 아무리 長時間 記憶시켜도 信號의 劣化가 없으므로 긴 補正時間을 가진 타임·베이스·콜렉터가 實現可能하게 되었다(그림 1 참조). 디지털·타임·베이스·콜렉터의 導入에 依해서 從來 家庭용으로 開發된 U規格的 VTR가 放送에도 使用할 수 있게 되어 特히 携帶用 VTR에 依한 뉴스放送 등이 盛行되고 있는 것은 周知의 事實이다. 이것은 特히 ENG (electric news gathering, 電子뉴스取材) 라고 부르고 있다.

日本에 비해서 實用的인 것은 무엇이든지 使

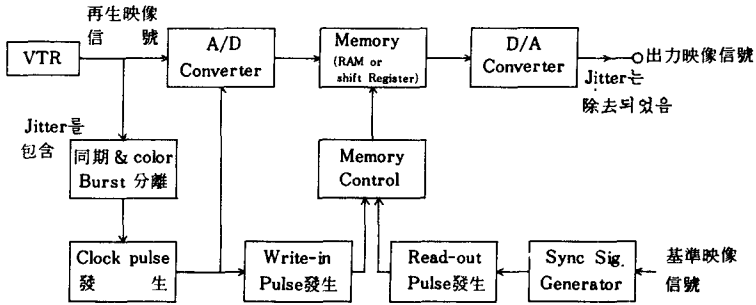


그림 1. Digital time base collector 의 原理圖

用하는 現實的인 美國의 放送局에서는 β 規格 이나 VHS規格의 VTR를 利用한 뉴스放送을 하고 있다. 이것은 디지털技術이 analog系의 問題點을 훌륭히 解決(이 경우는 jitter를 除去한 뿐이기는 하지만)한 例라고 볼 수 있다.

以下 오디오分野에서 PCM를 中心으로한 디지털技術의 導入에 關하여 하드웨어構成 및 運用的 兩面을 살펴 보기로 한다.

II. 現行 analog·시스템과 PCM의 導入

1. 現行 analog·시스템의 問題點

現在 使用하고 있는 테이프·레코더에는 오디오信號에 高周波(50~500 KHz)를 重疊하여 記錄하므로써 磁性體의 非線形歪曲의 減少를 제한 高周波바이어스記錄方式이 使用되고 있다. 오디오용 테이프·레코더는 性能이 優秀하여 一般的으로 要求되는 錄音特性을 滿足시키고 있다.

最近에는 走行系의 進歩, 메탈·테이프의 實用化에 依해서 카세트·테이프·레코더의 特性도 音樂을 듣고 즐기기를 爲한 傳送媒體로서는 充分한 程度까지 와 있음은 周知하고 있는 바와 같다.

그러나 特히 高忠實度記錄이 要求되는 收音, 波形記憶을 要求하는 研究, 또는 複製를 몇번이고 反復하는 경우에는 그 傳送時性이 반드시 滿足되고 있다고 볼 수 없다.

그런데 테이프·레코더에 依한 傳送特性劣化는

主로 記錄媒體에 磁性體를 塗布한 테이프를 使用하고 있는 點과 테이프의 走行系를 갖는 2가지의 原因에 依해서 發生한다. 即 磁性體의 磁化特性, 磁性體의 塗布不均一(drop-out)에 依한 歪曲, 다이내믹·레인지의 制約, 레벨의 變動, 轉寫, 스테레오의 境遇의 cross talk, 保存에 依한 特性劣化等이 生기고, 走行系의 速度變動 및 테이프의 伸縮에 依한 wow·flutter, 變調雜音等이 生진다. 따라서 複寫할 경우에 이 影響이 重疊되어 特性이 더 劣化된다.

또한 充分한 特性을 내기 爲하여는 錄音時에 錄音테이프에 最適한 高周波바이어스量이나 錄音等價特性의 設定, 錄音헤드와 再生헤드의 角度를 一致시키기 爲한 角度(azimuth) 調整等이 必要하다.

한편 現行的 디스크·레코더는 良質의 프로그램·소오스를 大量으로 提供할 수 있는 시스템으로서 널리 世界에 定着해 있는 優秀한 記錄媒體이다. 그러나 커팅時와 트레이싱時에 바늘과 盤과의 사이의 角度가 달라짐으로 해서 生기는 垂直, 水平트레이싱 歪曲, 커팅速度가 相對速度(外周가 크고 內周가 작음)를 넘지 못하는데 基因하는 原理的인 커팅의 限界, 隣接音溝으로 부터의 크로스·토오크, 턴·테이블의 回轉不均一性, 커브, 偏心에 依한 워우·프러터(wow-flutter), 아암의 低域共振等의 特性劣化의 要因이 存在한다.

磁性體나 테이프走行系, 盤質이나 回轉系의 改良이 여러 가지로 試圖되고 있는 것은 周知의 事實이나 그 特性의 改善은 飽和點에 達하고 있어서, 이제는 大幅的인 特性改善은 期待할 수 없다고 볼 수 있다.

2. PCM의 導入

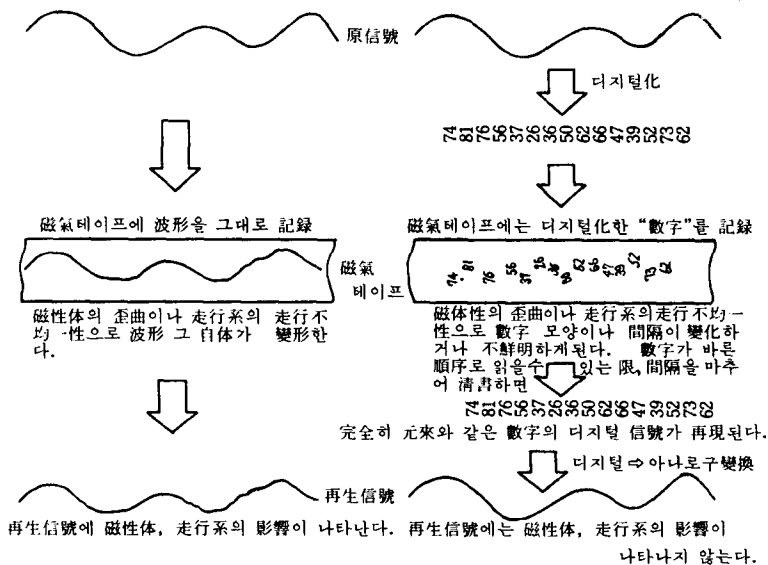
音響信號와 같이 振幅(電圧 또는 音壓)이 時間의 經過와 더불어 連續的으로 變化하는 信號를 애널로그信號라 하며, 이에 對해서 時間에 따라, 振幅이 離散的으로 變化하는 信號를 디지털信號라 한다. 애널로그信號의 時間方向의 離散化를 標本化, 各標本の 振幅方向의 離散化를 量子化라 한다.

現行的 錄音方式은 애널로그信號波形을 高周波바이어스를 使用하여 그대로 테이프上에 磁化하거나, 또는 디스크의 音溝에 對應하게 記錄하는 方式인데 對해서, 信號를 一旦 디지털化하여 各標本을 量子化한 數字 一符號一을 테이프上에 磁化하거나 디스크의 溝(groove)에 對應시키는 方式을 PCM錄音方式이라 한다.

테이프·레코더의 例를들면 그림 2에서 보는 바와 같이 磁性體의 磁化特性에 依한 歪曲이나

走行系의 變動에 依해서 現行的 애널로그·테이프·레코더는 完壁하게 再生하여도 波形이 찌그러져 있다. 反面에 PCM테이프·레코더는 磁性體에 依한 歪曲으로 數字의 模樣(펄스로 된 符號의 波形)이 일그러지고 走行速度의 變動으로 數字間隔이 變化했다라도 數字(符號)를 틀리지 않고 바른 順序대로 읽어내지만 하면(實際로 日常生活의 경우를 생각해 보면, 數字는 잉크가 번져서 鮮明하지 못하거나 또는 筆跡이 달라도 判讀이 可能하다), 이것을 淨書하므로써 完全히 元來의 等間隔의 數字列을 再現可能케 할 수 있다. 다시 말하면 信號의 劣化가 안생긴다. 勿論 複寫를 여러번 하여도 그때마다 淨書가 可能하므로 信號의 劣化가 일어나지 않는다(그림 2에서 數字가 알기 쉽게 하기 위하여 10進으로 되어 있으나, PCM錄音에서는 2進法이 使用되고 있다).

사진 1은 VTR를 利用한 PCM錄音프로세서로 音響信號를 符號化했을 때의 TV畫面의 寫眞이다. 2進信號의 "0"과 "1"은 各各 畫面의 黑과 白(實際로는 灰色)에 對應하고 있다. 따라서 VTR로 記錄再生한 結果, 畫面이 多少不鮮明하



애널로그錄音

디지털錄音

그림 2. 애널로그錄音과 디지털錄音의 概念圖

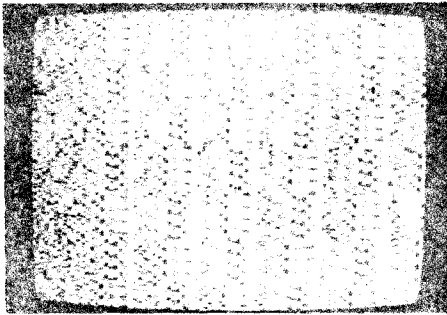


사진 1. 音響信號를 符號化한 TV 畫面

거나 jitter 로 흔들려도 黑白이 判定만 되면 音質의 劣化는 全혀 생기지 않는다. 錄音에 뿐만 아니라 디지털 傳送에서도 “數字”가 읽을 수 없을 程度로 劣化되기 前에 한번 읽어 “淨書”하여 다시 傳送하므로써 劣化가 없는 信號의 傳送이 可能하다. 이것은 디지털 傳送의 큰 長點으로서 再生中繼라 한다.

PCM錄音에서는 數字判讀의 틀림(error) — 符號의 틀림(code error) — 만 없으면 디지털 段에서의 信號의 劣化는 생기지 않는다. 따라서

傳送特性은 에널로그信號를 디지털化할때의 標本化周波數와 量子化스텝에 依해서 決定된다. 實際의 錄音機 경우에는 테이프의 磁性體塗布不均 — 이나 먼지에 依한 信號欠損(drop out) 等に 基因하는 符號의 틀림에 對處하는 어떠한 對策이 必要하다.

사진 2 에서 A, B는 業務用에널로그·테이프·레코더(放送局仕樣)의 高周波歪曲, 混變調歪曲 特性과 PCM錄音機(14bit 均一量子化, 標本化周波數 48 KHz)의 特性과 比較한 것이다. 이 寫眞에서 보면 兩者의 特性上的 差는 wow flutter 에 起因되는 것으로 생각되는 變調雜音의 差異가 顯著하다. 寫眞A-3, B-3는 10KHz의 正弦波를 再生한 波形이다. 에널로그에서는 drop out에 依해서 레벨의 變動이 생기나 PCM에서는 全혀 안생김을 알 수 있다.

3. PCM錄音機의 基本構成

그림 3은 PCM錄音機의 一般의인 構成을 나타낸다. 人力信號는 필터로 帶域幅이 制限되고 있으며, sample holder 回路에서 標本化, A/D變換器를 共用하는 경우에는 multiplexer

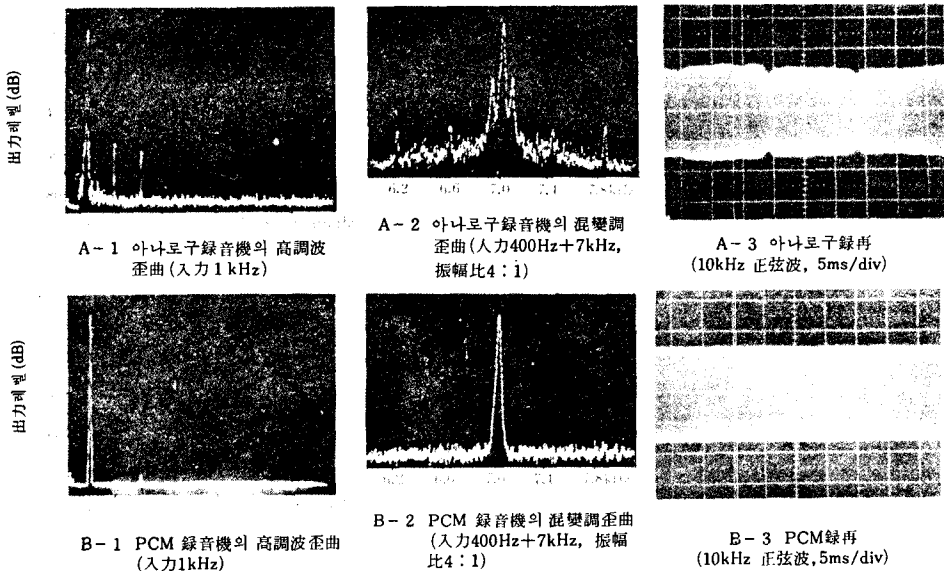


사진 2.

로 多重化, A/D變換器에서 量子化, 再生時的 틀림(error) 檢出訂正閉의 符號를 附加하여 變調하고 磁氣테이프, 디스크, 필립 등의 記憶媒體에 記錄한다. 이 경우에 記憶媒體의 連續한 틀림(burst error)의 影響을 分散시키는 目的으로 데이터의 順序를 바꾸어 넣는 操作(interleave)을 하는 경우가 있다.

프로세서 등이 있다. 모두들 回轉헤드形 VTR를 그대로 또는 若干 改造하여 使用하고 있으며 專用 回轉헤드形 PCM테이프·레코더의 發表는 아직 없다.

여기에 對해서 固定헤드形에는 電子計算機의 磁氣테이프裝置나 工業用데이터·레코더를 利用한 것과 Sony, 3M, Ampex, 三菱, 松下, 英

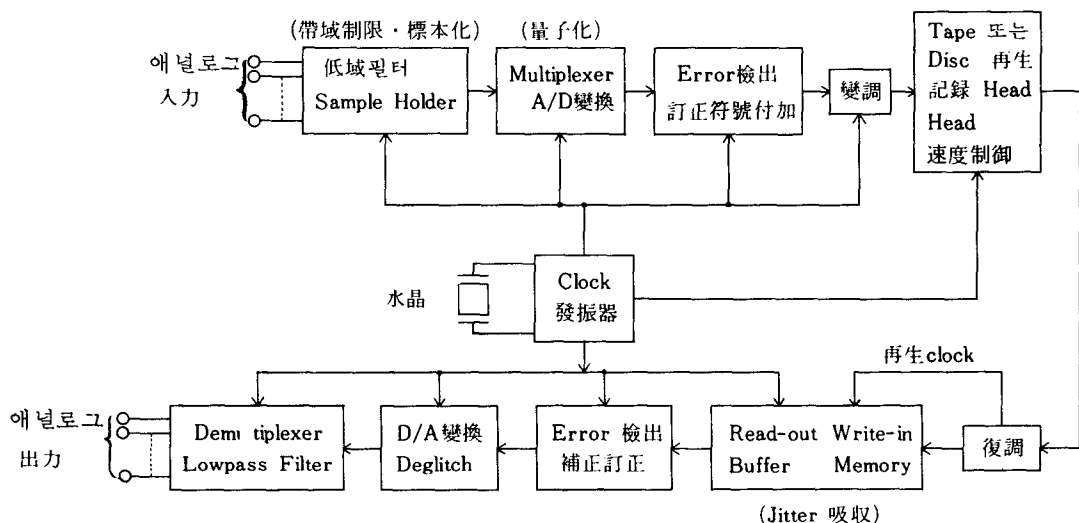


그림 3. PCM 錄音機의 構成

再生系에서는 復調된 Jitter가 包含된 信號를 走行系에 追從하는 clock 로 buffer memory 에 써넣어(write-in), PLL 나 水晶 등으로 만든 正規의 clock 로 읽어내어(read-out) jitter 를 吸收, Error 檢出, 補正訂正 하여 D/A變換器, 低域필터를 通하여 에널로그信號를 復元한다.

4. PCM테이프·레코더

PCM테이프·레코더는 記憶媒體에 從來의 에널로그·테이프·레코더와 마찬가지로 磁氣테이프를 使用한 錄音再生裝置로서, 回轉헤드形과 固定헤드形으로 大別된다.

回轉헤드形에는 NHK技術의 試作機, 日本콜롬비아의 實用機, Sony PCM-1, 最近 日本電子機械工業會에서 規格承認이 난 PCM오디오·

國 Decca 등이 發表發賣하고 있는 PCM錄音專用으로 開發된 固定헤드形 PCM레코더가 있다.

이들 裝置의 概略을 回轉헤드形, 固定헤드形으로 나누어 表示하면 표 1, 표 2 와 같다.

日本電子機械工業會로부터 家庭用 VTR에 PCM錄音을 하기 爲한 PCM audio processor (PCM adapter)의 規格('video 信號와의 互換性이 있는)이 發表되어, 數社로부터 이 規格에 맞는 製品이 나와 發賣되게 되었다. 이 規格의 內容을 簡略하게 說明하면, 入力오디오信號는 필터로 帶域이 制限되고, sample holder 回路에서 標本化, A/D變換器로 量子化하고 再生時에 생기는 틀림(error)檢出, 訂正用的 符號를 附加하여 16H(水平區間)의 interleave 를 行하여 NTSC標準 TV信號에 準據한 形式의

變調, 即 2進數를 畫面的 濃淡(黑과 灰色)에 對應시켜 VTR에 記錄하는 것으로 되어 있다.

再生系에서 復調된 jitter를 包含하는 信號를 jitter를 追從하는 clock으로 buffer memory에 써넣어(write-in) PLL으로 jitter를 吸收한 clock로 읽어낸다(read out). 이때에 Interleave된 標本을 正規의 順序로 復元하는 1deinterleave도 同時에 하여, 틀림(error)의 檢出, 訂正을 하고, D/A變換器, Deglitch와 Aperture 補正을 하여 低域필터로 애 널로그信號를 復元한다.

變調된 video信號는 垂直同期나 VTR의 헤드 切換區間에서의 信號를 避하기 爲하여 1V(垂直區間)=262.5H中 245H로 信號를 傳送하는 以外에 音樂等の 信號의 高域成分이 적은 것을 利用하여 實效다이나믹·레인지를 擴大할 目的으로 使用하는 時定數 50 μ s와 15 μ s의 pre-emphasis의 有無를 表示하는 識別信號(再生時에 이 信號에 依해서 自動으로 emphasis 回路로 切換한다), 記錄된 테이프의 copy 禁止를 나타내는 識別信號(이 信號가 있는 경우에, digital copy用 出力을 遮斷한다) 등이 附加되어 있다.

데이터부의 1H의 信號形式을 그림 4에 表示한다. 디지털信號의 "0", "1"은 記錄密度를 올리기 爲하여 黑과 白이 아니고 黑과 灰色으로 對應시키고 있다.

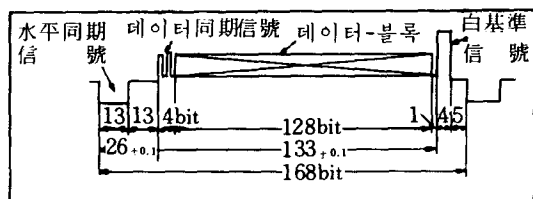


그림 4.

마지막의 白레벨은 peak AGC形의 VTR에 맞게 하기 爲한 레벨規正信號이다.

傳送信號形式은 標本化 周波數 44.056 KHz 이

고 量子化特性은 14bit 均一이다. 實際의 製品은 14bit A/D變換器로 均一한 量子化를 하는 形式과 一旦 12bit 程度의 A/D變換器와 analog comparator를 使用하여 非均一量子化를 한다음, 디지털演算으로 14bit 均一量子化特性으로 變換하는 方式이 있다.

또 틀림(error)의 檢出訂正에는 1H當 16bit의 CRCC(cyclic redundancy check code), pointer eraser用的 parity P(14bit)와 B adjustment 符號Q(14bit)가 들어 있다. 訂正을 P만으로 하여 傳送bit數를 늘이는 것이 認定되고 있는 것 같으나 現在까지는 이 形式의 15, 16bit의 processor는 發表되어 있지 않다.

各社에서 發賣, 發表하고 있는 統一規格에 準據한 PCM processor(adaptor)의 仕様은 표3에 表示한 바와 같다.

5. PCM / 디지털·오디오 디스크

現在 오디오에서 主가 되는 프로그램·소오스는 周知하고 있는 바와 같이 디스크·레코드와 디스크·레코드에 依한 放送이라고 볼 수 있다. 이와 같이 디스크·레코드가 널리 普及되어 있는 理由는 數많은 聽取者에게 값이 싸고 質이 높은 音樂을 傳達하기 爲해서 不可欠한 大量複製(press)의 容易性을 가지고 있는 點과 現行 放送에 充分히 滿足할만한 音質을 가지고 있기 때문이라고 할 수 있다. 바꾸어 말하면 現行的 레코드가 오랜 歲月의 技術改革을 通하여 만드는 側과 듣는 側과의 合意가 이루어진 形態, 即 hard·soft 兩面에서 集大成된 統一規格이 存在하기 때문이다.

한편 비디오쪽으로 눈을 돌려보면 TV放送은 生放送과 VTR나 필름에 收錄된 프로그램放送이 있다. 最近 先進國에서는 家庭用 VTR가 急速히 普及되고 있으나 그 프로그램·소오스로는 TV放送프로나 비디오·카메라로 自作한 비디오·레이프와 市販되고 있는 레코드된 테이프가 이

표 1. 固定 磁 三 方式 PCM錄音機

製作者	日立	BBC Sony	Sony	東芝	松下	Sony	三菱	Sound Stream	3M/BBC	Ampex	Sony	早大
名稱			X12-DTC			X22-DTC					PCM 3200	
標本化周波數(KHz)	35.7	32	52	50	49.52	50	44.1	50	50	50	50.35/44.056	40.96
量子化特性	12bit 直線	13bit 直線	13bit 直線	14bit 7 直線	12bit 7 直線	12bit 直線	15bit 直線	16bit 直線	16bit 直線	16bit 直線	16bit 直線	12bit 直線
剩餘誤差	2	2	2	2	2	2	2	4	4/32	2/24/48	2/4/8/16/24/32/48	2
테이프 폭 (inch)	1/2	1/2	2	1/4	1/4	1/4	1/4	1	1/2	1/2	1/2	1/2
트랙 수	13	16	56	32	60	7	8	4	4/32	4/48/96	4/8/16/32/48/64/96	9
트랙 폭 (mm)				0.14	0.09 (錄) 0.08 (再)		0.625					
테이프 속도 (IPS)	15	30	30	30	15	15	15	30	45	30	22.5	75
기록 밀도 (BPI)	5.55k	1.64k	1.64k	3.3k	3.3k	17.89k	17.64k	MFM	27k	25k	30.7k/26.8k	1.6k
變調方式	MFM	NRZ	NRZ	Bi:0	Bi:0	MFM	MFM	MFM	MFM	M ² FM	3PM	PE
驅動系	日本 Columbia 製	特製	特製	AMPEX AG 440	特製	特製	特製	Bell Honeywell 테이프 레코더	Isoloop		特製	計算機用MT(改)
에로制御方式	Parity 補間		二重으로	CRCC	Parity	隣接符號	隣接符號	Interleave	Interleave	Interleave	Interleave	垂直, 水平 Parity
最大記錄時間(min)				1977	60				45		80	16
發表時期												1975
備考												1977
備												計算機의 音響信號 入出力裝置로서 使用

표 2. 回轉 磁 三 方式 PCM錄音機

製作者	NHK 技研	日本 Columbia	T E A C	NHK 日本 Columbia	NFK Sony	Sony	Sony	E I A J 統一規格	早大
名稱									
標本化周波數(KHz)	30	47.25	46.08	47.25	44.1	44.056	44.056	44.056	44.056/47.203
量子化特性	12bit 5 折線	14bit 直線	12bit 15 折線(μ)	14bit 直線	16bit 直線	16bit 直線	13bit 3 折線	14bit solt	16bit 直線
剩餘誤差	2	2/4/8	4	2	2	2	2	2	2/4
使用 V T R	1' 헤리퀸	放送用 how band	U-matic						
테이프 속도 (IPS)	7 1/4	15	33/4						β max(改)/U-matic
相對速度 (m/s)	16	40	10.4						4cm/s / 33/4 IPS
트랙 폭 (cm)									2cm/s
記錄密度 (BPI)	1.524k	4.560k	0.085						6.9/10.4
에로制御方式	Parity 補間	Parity 二重으로	Parity 二重으로	Parity 部分的 二重으로	8.751k ORC, CRCC Interleave	8.751k Interleave Cross Word	6.494k Interleave CRCC 補間	Interleave CRCC eraser	0.059 / 0.085
最大記錄時間(min)	1968	120	1972	60					0.029 / 0.029
發表時期									14.842k / 17.657k
備考									CRCC
備									垂直 Parity
									90 (L 750)
									180 (使用)
									20 (KCS 20 使用)
									60 (KCN 60 使用)

표 3. 電子機械工業會規格에 準據한 各社의 PCM 프로세서

Maker	SONY	SONY	SONY	東 芝
名 稱	PCM digital audio processor	再生專用 PCM digital audio processor	PCM - 100	PCM digital recording processor
A D 部 式	PCM-10	PCM-100	PCM-100	PCM MARK-11
記 錄 送 入 方 式	12bit 3折線	14bit 一線	14bit 一線	12bit 5折線
傳 送 方 式	14bit 一線	14bit 一線	14bit 均一	14bit 一線
標 本 化 周 波 數	NTSC TV信號에 準據			
Emphasis	2			
入 力	LINE - 10dB / 50kΩ 不均應 (canon pin)	50μs 15μs 錄音時手動 ON, OFF, 再生時自動切換	44.056 kHz	MIC
出 力	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin)	同 左	DIGITAL TTL / 75Ω (BNC)	LINE
	LINE - 10dB / 100Ω 不平衡 (canon pin)	同 左	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (BNC)	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin)
	EXT - 10dB (pin)	同 左	EXT - 10dB / 50Ω 平衡 (canon)	LINE (固定 / 可變)
	HEAD PHONE - 10dB / 8Ω	同 左	DIGITAL TTL 不平衡 (pin)	HEADPHONE
			DIGITAL TTL / 75Ω (BNC)	
			VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (BNC)	
Level 表 示	LCD peak program meter	同 左	同 左	同 左
Dubbing 能 力	Reset 是 Manual 或 Auto (1.7 秒) 切換	digital dubbing S.W. 付	digital dubbing S.W. 付	step) peak / hold 切換
重 複 價 值	480 × 200 × 400mm (W × H × D)	同 左	同 左	450 × 170 × 390 mm
電 力	30W	同 左	同 左	25kg
格 式	60W	50W	60W	75 萬圓
考 慮	70 萬圓	50 萬圓	150 萬圓	video monitor 出力
	6 / 10 半吋 變注	6 / 10 半吋 變注	6 / 10 半吋 變注	digital REC MUTE Button 付
				tracking check LED 付
				6 / 1 半吋 變注
Maker	松 下	Sh a r p	日 立	三 菱
名 稱	PCM recording processor	PCM digital audio adaptor	PCM digital audio unit	PCM audio processor
A D 部 式	SH-P1	PCM-1	PCM-14000	OTTO PCA-10
記 錄 送 入 方 式	12bit 3折線	12bit 3折線	14bit 均一	14bit 相當
傳 送 方 式	12bit 3折線	12bit 3折線	14bit 均一	14bit 相當
標 本 化 周 波 數	NTSC TV信號에 準據			
Emphasis	2			
入 力	MIC - 66dB / 600Ω	50μs, 15μs 錄音時手動 ON, OFF, 再生時自動切換	44.056 kHz	MIC - 60dB
出 力	CREDIT MIC - 66dB / 100kΩ	同 左	DIGITAL	LINE - 10dB
	LINE 142mV _{rms} / 50kΩ 不平衡	同 左	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin, M)	
	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin)	同 左	LINE HEAD PHONE	
	LINE 250mV _{rms} / 560Ω 不平衡	同 左	DIGITAL, 外部同期	
	HEAD PHONE	同 左	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin, M)	
			LED (28 個 / channel)	
Level 表 示	VIDEO 1V _{p-p} / 75Ω (pin)	同 左	LED (28 個 / channel)	
Dubbing 能 力	LED peak meter (33 個 / channel, 2dB step)	同 左	Digital dubbing unit 付加	LCD peak program meter
重 複 價 值	Digital dubbing unit 付加	同 左	Dubbing 用 Video 出力端子付	440 × 150 × 430mm
電 力	450 × 205 × 480mm (W × H × D)	同 左	478 × 175 × 460 mm	60 W
格 式	22kg	同 左	30kg	80 W
考 慮	100 W	同 左	60 W	58 萬圓
	80 萬圓	同 左	150 萬圓	8 / 1 半吋 變注
	音響 Track memo 錄音可	同 左	表示付 DS/LC (Data Slice Level Control) 回路	
	錄音自動切換	同 左		
	Monaural 時帶域 40 kHz	同 左		
	Tracking indicator	同 左		
	6 / 13 半吋 變注	同 左		

다. 이것은 오디오·카세트·테이프·레코더에 對應된다.

오디오의 디스크·레코드에 對應하는 비디오·디스크는 여러 가지方式이 開發, 發表되고 있으나 아직 널리 普及이 되어 있지 않다. 이것은 하드웨어新技術의 開發이 進行中이고, 價格과 質이 流動的이기 때문에 soft 側에서 需要 및 最適한 記錄內容을 把握할 수 없기 때문이라고 생각된다. 따라서 現在 使用하고 있는 分野에서도 特定한 業務, 教育과 같은 限定된 範圍에서 試驗的으로 利用되고 있을 程度이다.

비디오·디스크는 1970年 獨逸의 Telefunken 社가 圧電針에 依한 方式을 發表하였고 1972年에는 和蘭의 Philips 社가 laser를 利用한 VLP를, 美國의 RCA 社는 容量檢出에 依한 selector vision을, 1977年에 日本의 松下는 VISC, 日本 Victor 는 VHD方式을 發表하였다.

이들의 어느 方式이나 디스크의 製作過程에서 原盤 또는 機械式 cutting을 하며 오디오·레코드와 마찬가지로 stamper를 만들어 press를 한다.

그런데 前述한 바와 같이 비디오·디스크는 몇 가지의 하드웨어方式이 이미 確立되어 있음에도 不拘하고 비디오의 分野에서 大量複製의 利點을 살린 software가 供給되기에 이르지 못하고 있으며 主로 教育用, 또는 microfilm 등을 代身하는 大量의 映像 file로서 一部에서 使用하고 있는 것에 不遇하다. 그러나 1977年 여름부터 가을에 걸쳐 三菱, Teac, 東京電化의 3社, Sony, 日立와 日本 Columbia에 이어서 philips type의 비디오·디스크에 音響信號를 PCM으로 記錄하는 PCM/Digital audio disc가 發表된 以後 오늘날까지 各社에서 各種方式이 發表되고 있다. 이것을 紹介하면 표 4와 같다.

PCM/디지털·오디오·디스크는 現行레코드의 輕量性과 마스터와 다른없는 音を 家庭에 提

표 4. 디지털·오디오·디스크

製作者	三菱, TEAC 東京電化	Sony	日立·日本 Columbia	Philips	松下	Victor	Sony	日立·日本 Columbia	Sony	三菱	三洋	東芝
名	46.08	44.056	47.25	44.33	44.056	44.056	44.056	47.25	44.056	44.056	44.056	44.056
稱	12bit 直線	13bit 直線	14bit 直線	14bit 直線	13bit 折線	14bit 直線	14bit 直線	16bit 直線	16bit 直線	2	13bit 折線	14bit 直線
基本化周波數	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
量子化特性	VIDEO	MFM	VIDEO	MFM	VIDEO	MFM	VIDEO	MFM	MFM	MFM	VIDEO	VIDEO
Channel數	光學的	光學的	光學的	光學的	光學的	VHD/AHD	光學的	光學的	光學的	光學的	光學的	光學的
變調方式	≈ 300	≈ 300	≈ 300	115	225	≈ 300	≈ 300	≈ 300	≈ 300	≈ 300	≈ 300	≈ 300
Pick up方式	1,800	1,800	1,800	線速度一定	450cm/s	900	900	450	450	450	450	450
Disc直徑(mm)	30	30	30	1.1	2	60×2	60	90	60	120	30	60×2
回轉數	'77	'77	'77	1000回以上	'78	'78	'78	'78	'78	'78	'78	'78
壽命												
Disc壽命												
演奏時間(mm)												
發表												

供하고 또한 取扱不注意가 없는 限 劣化가 거의 없는 프로그램·소오스를 實現하는 可能性을 갖고 있기 때문에 큰 注目を 끌고 있다.

그림 4는 PCM오디오·디스크의 製造工程, 그림 5는 마스터링의 原理를 나타낸다.

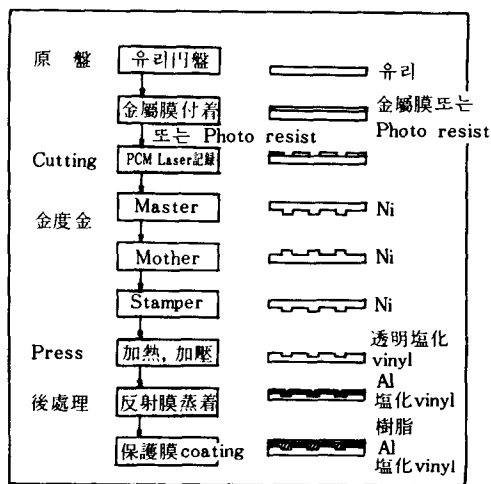


그림 4. PCM光 Disc 製作工程

初期에는 VTR를 使用하는 PCM프로세서와 마찬가지로 標準TV信號에 準據한 信號로 變調하는 方式, 다시 말하면 비디오·디스크를 流用할 것이 主가 되었으나 점차적으로 變調方式이 直接디지탈化된 音響信號를 MFM나 3PM로 記錄하는 方式, 더우기 비디오·디스크를 떠나 音響信號記錄專用的 디스크도 發表되게 되었다.

특히 日本의 各社가 HiFi를 追求한 結果로서 PCM/디지탈·오디오·디스크를 開發한데 對해서, Philips가 오디오·디스크·레코드의 小形化를 겨냥한 結果로서 Compact Disc를 發表한 것이 注目할 만 하다.

레이프·레코더이거나 디스크이거나 現行 애널로그·시스템은 거의 飽和點에 達하고 있어서 大幅의 性能向上을 期待할 수 없을 뿐만 아니라 若干 改良하려고 해도 큰 費用이 드는 狀況에 있다. 특히 애널로그記錄에서는 機械系의 特性이 그대로 再生音質에 影響을 주므로, 改良은 코스

트의 上昇과 더불어 크기와 重量의 增加를 同伴하기 쉽다. 이에 對해서 디지탈記錄을 導入하로서 값이 싸고 小形輕量인 機械系를 使用하는 것이 可能하게 되기 때문에 小形輕量化가 可能할 뿐만 아니라 애널로그 部品の 價格은 거의

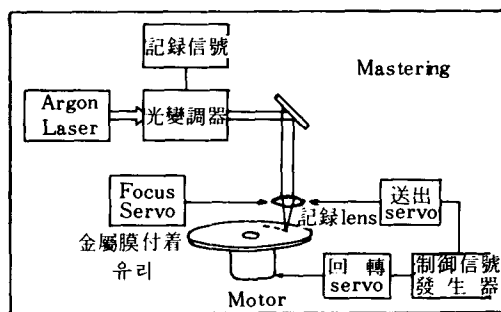


그림 5.

變動이 없는데 比해서 디지탈部品の 價格은 急速한 低下傾向이 當分間 繼續될 것으로 생각되므로 코스트면에서도 디지탈로 하는 것이 有利할 可能性이 있다.

結局 PCM/디지탈·오디오·테크닉은 user 側에서 볼 때 再生專用的 媒體이므로 規格의 統一과 소프트·웨어의 充實, 플레이어 및 디스크價格의 低下, 시스템의 普及과 定着化의 열쇠를 쥐고 있다고 할 수 있다.

6. FM스테레오放送의 PCM中繼

先進諸國과 우리나라에서 FM스테레오放送이 開始되어 상당한 時間이 흘러서 現在는 널리 普及되어 音樂프로그램·소오스로서 定着되어 있는 것은 周知의 事實이다.

TV나 라디오放送의 全國中繼가 常識化되어 있는 오늘에도 FM스테레오放送이 複寫한 테이프를 輸送하여 各放送局으로부터 放送하고 있는 事實은 그리 알려져 있는 것 같지 않다. 一部 로 칼局에서는 키이局的 FM放送波를 比較的의 條件이 좋은 場所에서 受信하여 放送하는 放送中繼方式을 하고 있으나, 日本에서도 FM스테레오는

표 5. 方式概要

有效帶域幅	스테레오左右CH各各 40KHz~ 15KHz
過負荷레벨	+12dBm
標本化周波數	32 kHz/채널
符號化方式	13bit直線符號化+圧伸
圧伸則	7折線 디지털圧伸 (13bit → 11bit)
Error 訂正符號	Convolutional 符號
Burst error 對策	無音置換
送符號 bit 數	12 bit/sample
傳送容量/스테레오 1CH	768 k bit/s
他信號와의 結合	데이터 및 電話信號와 結合可能

FM모노放送이나 TV放送과 같이 電電公社의 中繼回線을 통한 全國中繼는 하지 못하고 있다.

이것은 스테레오放送은 雜音規格이 嚴格할 뿐 아니라 左右의 時間差(位相差)가 音의 定位나 擴散感에 크게 影響을 주므로 現行 中繼回線을 그대로 2 채널使用하여서는 2 채널間의 時間差(位

相差)가 스테레오放送이 要求하는 規格을 넘을 可能性이 있기 때문이다.

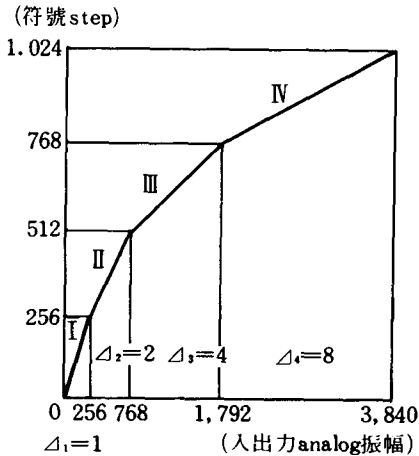
日本에서는 電電公社가 1973年頃부터 스테레오放送中繼方式의 檢討를 始作하여 各種實驗을 거쳐 1978年 디지털傳送에 依한 高品質스테레오放送中繼方式이 確立하여 實用化를 爲한 試驗을 하고 있다.

이 中繼方式의 概要를 紹介하면 표 5와 같다. 이表를 보면 FM放送規格이 滿足되고 있으며, 디지털化에 依해서 左右時間差(位相差)의 問題는 없거나 量子化雜音과 符號틀림(error)에 對한 對策이 必要하다.

(1) 標本化周波數와 量子化特性

FM스테레오放送의 帶域은 左右各各 15KHz이다. 따라서 標本化周波數는 各 채널마다 30 KHz 以上 必要하며 電話音聲의 標本化에 使用되는 8 KHz의 4 배인 32 KHz가 使用된다.

한편 量子化는 13bit 均一量子化를 한 後에 디지털段에 그림 6에 表示한 바와 같이 7折線非均一量子化特性으로 變換하여 11bit로 壓縮하고 있다. 이때에 信號對量子化雜音特性은 그림 7과 같다. 符號는 折返 2進符號符號(reflected binary code)이다.



Δ_i : 第 1 折線內의 step size
Rome 數字는 折線番號
그림은 正側만을 表示함. 負側은 이것과 對稱임.

그림 6. 量子化 特性

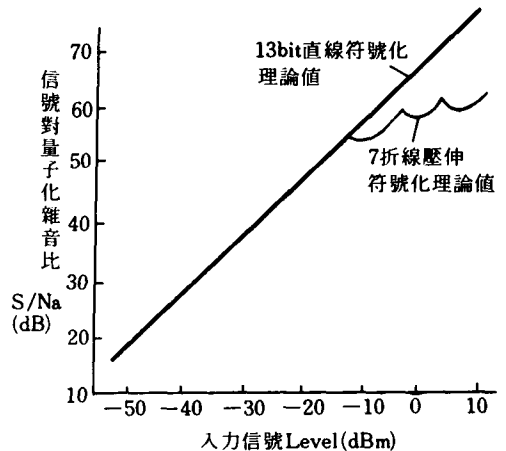


그림 7. 信號對 量子化 雜音比 特性

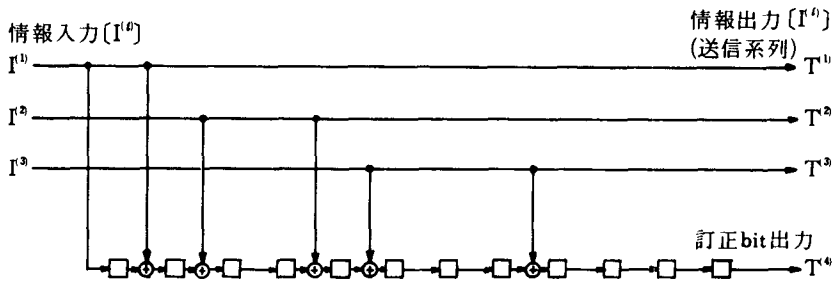
(2) 符號틀림(error)對策

前述한 業務用PCM錄音機는 放送用 프로그램이나 레코드를 製作하는 源泉이 되므로 그 에로對策도 完璧한 訂正을 目標로 設計되어 있으나 FM放送用の 中繼는 傳送系가 거의 끝나가는 곳에 位置하여 있으므로 符號의 틀림對策도 되도록 적은 冗長bit로 聽感上 充分한 效果를 올리는 것을 目標로 하여 構成되어 있다.

換言하면, 聽感上 에로의 影響이 큰 上位3bit의 에로만을 訂正토록 하고 13標本에 걸쳐 cor-

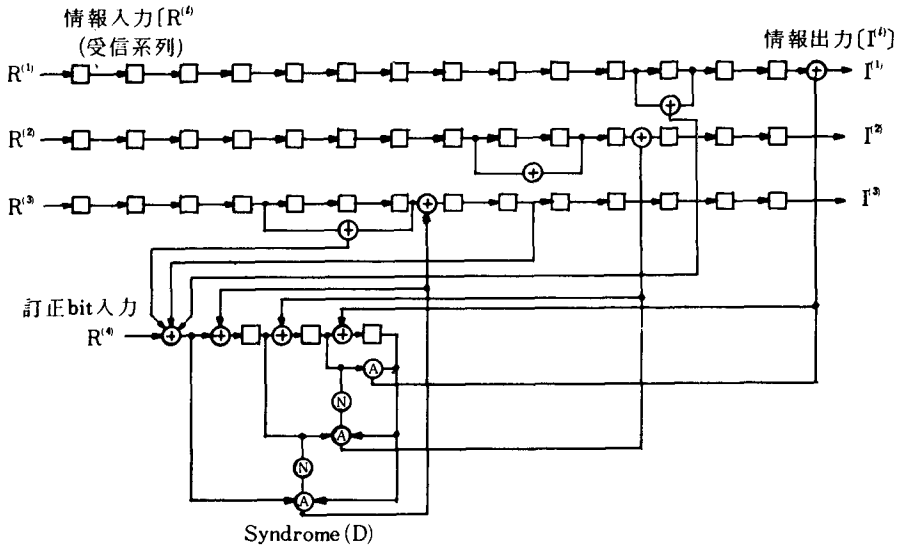
voluntional code의 演算에 依해서 生成되는 冗長bit가 1標本에 1bit씩 附加되어 있다. 傳送符號의 配置와 에로訂正符號器의 構成을 그림 8에, 復號器의 構成을 그림 9에 表示한다.

이 訂正方式은 拘束長(1個의 情報bit가 影響을 미치는 範圍) $4 \times 13 = 52\text{bit}$ 에서 4 bit의 連續한 틀림(burst error)까지 訂正이 可能하나 그以上 긴 burst error가 생기면 放送에 큰 雜音이 나가게 된다. 이 버어스트·틀림(error)의 對策으로서 復號器의 Syndrome S(D)



(注) 回路圖略號 □ : 1標本遲延回路 ⊕ : 排他的論理和 gate (i): bit番號를 表示

그림 8. Error 訂正符號器의 構成



□ : 1標本遲延回路 (j): bit番號를 表示 (A): 理論積 gate ⊕ : 排他的論理和 gate (N): 否定回路

그림 9. Error 訂正復號器의 構成

{S(D)는 傳送系의 에로가 없으면 恒常“0”}가 26bit 中 6bit 以上 “1”이 되는 경우에 Burst error로 判斷하여 無音(muting)을 選出하여 雜音의 送出을 防止하고 있다.

Ⅲ. PCM/Digital Audio의 展望

以上 PCM錄音을 中心으로 오디오에 있어서의 디지털技術에 關해서 記述하였으나 여기서는 이것의 展望에 關해서 생각해 보기로 한다.

프로그램·소오스製作에 使用되는 愛널로그機器는 技術的인 面에서 거의 飽和點에 達하고 있으며 集積回路化나 새로운 素子에 依한 大幅의 價格의 引下를 期待할 수 없다. 한편 디지털分野에서의 價格低下는 今後에도 繼續될 것으로 생각된다.

實際로 10餘年前에는 12bit의 A/D, D/A 變換器의 값은 日本서 20萬円을 넘어섰다. 現在는 그 값의 거의 1/10로 入手可能하게 되었다. 이것은 諸物價의 昂騰을 생각하면 驚異의으로 價格이 싸진 것이라고 아니할 수 없다.

따라서 錄音에 뿐만 아니라 더욱 더 넓은 範圍에 걸쳐 디지털信號處理技術이 導入되게 될 것이다.

앞에서 言及하였지만 愛널로그傳送에서는 信號系에 存在하는 모든 機器가 再生音質에 寄與하고 있으나, 多少 特性이 劣化됨을 避할 수 없다. 따라서 現在 거의 飽和狀態에 있는 레코드나 테이프레코더의 現行시스템을 改良하려고 하면 尨大한 費用이 걸릴뿐더러 機械系는 大形化, 重量化가 되는 境遇가 생기기도 한다. 이에 對해서 PCM/디지털傳送에서는 傳送波形 그自體가 劣化되어도 再生中繼에서 波形을 整形하게 되므로 信號의 劣化가 없는 傳送이 可能하다. 따라서 H, F; 信號의 愛널로그傳送에서는 도저히 생각할 수 없는 價格이 低廉한 小形이고 輕量인 記錄傳送媒體(특히 機械系)를 使用하는 것이 可能한 경우가 있다. 家庭用 VTR를 利用한 PC

M Processor나, Compact digital audio disc 등을 보아도 짐작이 가나 今後 더욱 더 이와 같은 使用例, 即 高品質, 低코스트를 追求한 當然한 歸結로서 디지털의 導入例가 增加하는 것으로 생각된다.

現在의 愛널로그傳送的 隘路를 디지털化하므로서 除去하려는 試圖를 많이 볼 수 있으나, 특히 디지털特有的인 信號處理가 오디오에 恩惠를 베풀 可能性이 큰 것으로 생각된다. 例를들면 낡은 레코드나 air check source의 雜音 및 歪曲을 디지털信號處理에 依해서 除去하고 디지털測定技術을 利用한 listening room의 音場制御 등을 생각할 수 있다. 一般的으로 人間이 感知할 수 있는 雜音이나 歪曲, 房에 따라 音이 달라지는 點은, 반드시 解決될 수 있을 것이므로……, 命題가 不合理하지 않는 限, 디지털信號處理技術은 반드시 이것을 實現할 수 있을 것이다.

이미 家庭用, 業務用의 PCM錄音機가 販賣되고 있으나, 家庭에까지 디지털化된 音이 널리 提供될려면, 放送 또는 現在의 디스크·레코드에 該當하는 傳送媒體가 값싸게 供給되지 않으면 안된다. 現時點에서 가장 可能性이 큰 것은 디지털·오디오·디스크라고 할 수 있겠으나 半導體 메모리나 磁氣버블 등의 可動部分을 갖지 않는 記憶素子의 集積度의 向上과 價格의 低減速度를 생각하면, 그리 멀지 않은 將來에, 業務用錄音은 勿論 家庭에서의 再生에도 “固體디지털·레코드”, “固體레코드”가 出現할 可能性이 있다. 實際로 合成音이라도 別相關이 없는 一部서비스放送에 音聲合聲 ROM이 導入되어, 테이프摩耗가 심한 用途用으로 高信賴性이 要求되는 比較的 짧은 메세지用으로 “固體錄音”의 實用化가 이미 始作되었다.

그런데 디지털·오디오에서는 符號틀림 對策이나 量子化雜音이나 granular distortion, 또는 標本化에 依한 帶域 등의 問題가 있다. 그러나 이것은 모두 愛널로그의 問題이며, 本質的으

로는 디지털·오디오의 問題點이기는 하지만 디지털의 問題點은 아니다. 卽 符號틀림(error)의 問題는 PCM테이프·레코더나 디스크에서 사용하는 記錄媒體에 記錄·再生하는 애널로그波形的의 感知上的 틀림이고 量子化雜音이나 帶域은 A/D變換時的 標本化周波數와 量子化特性的 問題이기 때문이다. 따라서 前者는 테이프나 디스크에 디지털信號를 記錄하는 애널로그技術의 問題이며, 後者는 애널로그信號의 디지털化的의 파라메터의 問題라고 할 수 있다.

勿論 이들은 重要的한 問題이다. 特히 量子化特性에 關係서는 애널로그測定器나 高級오디오·앰프에서 생기는 雜音, 歪曲特性을 低레벨時에도 確保하기가 前述한 理由에 依해서 容易하지는 않다. 卽 現在로는 16bit 均一量子化가 購入할 수 있는 變換모듈의 限界이며, 特性的으로도 充分하고 業務用으로도 견딜 수 있다고 한다. 그러나 必要的한 다이내믹·레인지를 確保하고 저레벨時

에도 充分한 量子化시스템을 維持하려면 16bit 로는 明白히 不足하다. 卽 16 bit 라고 하지만 Full scale에 對해서 量子化시스템은 $1/65,536$, 卽 15ppm 이다. 前述한 바와 같이 抵抗精度에 依存하는 現在の 均一量子化的 A/D 變換器로서는 이以上 精度를 높이는 것은 相當히 어려운 일이다. 精度를 向上시키는 여러 가지의 方式이 檢討되고 있으나 이보기는 聽覺을 包含한 오디오信號를 考慮한 非均一量子化를 包含하는 量子化特性을 積極的으로 檢討하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

애널로그 傳送機器의 特性이나 規格이 音을 만드는 立場, 傳送하는 立場, 聽取하는 立場 等の 各立場에서 서로 合意하여 오랜 歲月을 거쳐 確立되었던 것과 같이, 디지털 傳送機器에 對해서도 各各의 立場의 要求를 滿足하는 것이 아니면 안되며, 合意가 되어 確立될때 까지는 若干의 時間이 걸릴 것으로 생각된다.

