

固定헤드方式 디지털 테이프 錄音機

李 忠 雄

(正 會 員)

서울大學校 電子工學科 教授 (工博)

I. PCM 디지털 錄音의 필요성

1. 오디오 시스템의 발자취

1877년에 T. Edison이 圓筒型 蓄音機를 發明한 以來 1901년에 P. Berliner가 圓筒型 蓄音機를 圓盤型 蓄音機로 改良하여 蓄音機를 大量生産할 수 있게 함으로써 第1次 오디오時代가 열리게 되었다. 그 後 1925년에 J. P. Maxfield에 依해서 電氣式 蓄音機가 登場됨으로써 機械式 蓄音機時代는 물러가고 보다 더 音質이 좋은 第2次 오디오時代가 열리게 되었다.

그러나 1948년에 P. Goldmark에 依해서 LP 圓盤이 出現되기까지는 아직 音響再生에 있어서 Hi-Fi의 概念이 導入되지 않았다. 그 後에 LP圓盤의 登場과 더불어 테이프 錄音機의 出現은 한층 더 Hi-Fi 오디오時代의 到來를 促進하여 第3의 오디오時代를 맞이하게 되었다.

이와같이 Edison의 圓筒型 蓄音機로부터 LP圓盤의 Hi-Fi 音響再生時代까지는 長足の 눈부신 發展을 하였으나 이것은 本質적으로 아날로그方式이며, 在來式 LP 圓盤이나 테이프를 利用한 오디오시스템은 아날로그方式으로서는 넘을 수 없는 技術적인 限界點에 到達해 있음을 1970年代에 痛感하게 되었다.

이리하여 1977년에 日本의 土井(Toi)에 依해서 本質적으로 方式을 달리한 PCM 디지털 錄音方式이 오디오 시스템에 導入됨으로써 아날로그오디오 技術의 限界를 뛰어 넘게 되었다.

여기서 PCM을 利用한 디지털錄音 技術을 오디오시스템에 導入하므로써 얻을 수 있는 技術적인 長點을 들면 다음과 같다.

(1) 디지털 오디오 시스템의 長點

a. 다이내믹 레인지가 넓다.

디지털方式: 97dB以上(無歪曲最大振幅/量子化雜音)

아날로그方式: 70dB程度(1KHz)(歪曲率 5%以下)

(低域, 高域에서는 數dB~拾數dB低下)

b. 歪曲率이 적다.

디지털方式: 0.005%以下(16bit)

아날로그方式: 0.5%

c. 와우 플러터가 없다.

디지털方式: 水晶振動子精度(0.0001%以下, 檢知限界以下)

아날로그方式: 0.02% ω rms 程度

d. S/N比가 높다.

디지털方式: 66dB以上

아날로그方式: 60dB程度

e. 再生周波數帶域이 平坦하다.

디지털方式: 10Hz~20KHz(± 0.5 dB)

아날로그方式: 30Hz~20KHz(± 3 dB)

한편 디지털 오디오시스템의 短點 몇가지를 들면 다음과 같다.

(2) 디지털 오디오시스템의 短點

a. 回路가 複雜하고 生産價가 높아진다. 消費電力도 크다.

b. 넓은 周波數帶域幅이 必要하다.

2. 現行 아날로그式 테이프 레코더의 問題點

現行 아날로그式 테이프 레코더는 信號에 高周波(50~500KHz)를 重畳시켜 記錄함으로써, 磁性體의 線形歪曲을 低減시키는 高周波 바이어스 記錄方式을 使用하고 있다. 最近에는 테이프 레코더의 走行系의 進歩와 메탈테이프의 實用化에 依해서 카세트 테이프 레코더의 特性도 音樂을 즐기기 爲한 轉送媒體로서 充分한 境界까지 와 있음은 周知하고 있는 바와 같다.

그러나 테이프 레코더에 依한 轉送特性劣化는 주로 記錄媒體에 磁性體를 塗布한 테이프를 使用하고 있는

點과, 테이프 走行系를 갖고 있다는 2가지의 原因에 依해서 생긴다. 즉 磁性體의 磁化特性, 磁性體의 drop out에 依한 歪曲, 다이나믹 레인지의 制約, 레벨變動, 轉寫時의 特性劣化, 스테레오時의 크로스토크, 保存時의 特性劣化 등이 생기며, 走行系의 速度變動 및 테이프의 伸縮에 依한 와우플러터, 變調雜音 등이 생긴다. 轉寫를 할 경우에는, 이 影響이 重疊되어 特性이 더욱 劣化된다.

그리고 充分한 特性을 내기 爲해서는 記錄할 테이프에 最適 高周波 바이어스량이나, 錄音等價特性的 設定, 錄音헤드와 再生헤드를 一致시키기 위한 角度 (azimuth) 調整등이 必要하다. 이러한 諸特性的 改善 技術은 거의 飽和點에 達해 있으며, 더 以上 大幅의 特性改善을 期待할 수 없다고 하여도 過言이 아니다.

3. PCM의 導入

現行 錄音方式은 아날로그 信號波形을 高周波 바이어스를 使用하여 그대로 테이프상에 磁化시키는 데 反하여, 信號를 일단 디지털化하여 各標本을 量子化한 符號펄스를 테이프상의 磁化에 對應시켜 記錄하는 것을 PCM(pulse code modulation) 錄音方式이라 한다.

現行 아날로그 테이프 레코더에서는 磁性體의 磁化 特性에 依한 歪曲이나 走行速度 變動에 依해서, 再生 波形 그 自體가 일그러진다. 한편 PCM 테이프 레코더에서는 磁性體에 依한 일그러짐에서 符號펄스의 모양이 찌그러지고, 走行速度 變動에 依해서 그 펄스 符號間隔이 變하더라도, 符號가 틀리지 않고 바른 順序로 읽혀지지만 하면, 그 符號펄스를 다시 깨끗하게 만들어 줄 수 있으므로 完全하게 元來의 等間隔의 符號펄스를 再現할 수 있다.

PCM錄音에서는 符號펄스의 읽기에서 틀리지만 않는다. 디지털段에서의 信號의 劣化는 생기지 않는다. 따라서 傳送特性은 아날로그 信號를 디지털化할 때의 標本化 周波數와 量子化 스텝에 依해서 決定된다. 實際의 錄音機에서는 테이프 磁性體의 塗布不均一이나 먼지에 依한 信號缺損(drop out) 등에 起因하는 符號 에러에 對處하는 어떠한 對策이 必要하다.

PCM을 錄音機에 應用하는 最初의 研究는 1967年 日本의 NHK에서 始作되었으며, 放送用 VTR을 利用한 PCM 錄音機의 試作品이 1969年에 發表되었다. 이 成果를 應用하여 日本의 콜럼비아가 放送用 4헤드 VTR을 使用하여 LP圓盤用 마스터 테이프(master tape) 製作用 PCM 錄音裝置를 實用化함으로써 實際로 많은 레코드가 製造되었다. 이것이 PCM 錄音한

것의 音質이 좋음을 널리 알리게 된 契機가 되었다. 한편 VTR을 利用하지 않는 方式 즉 從來의 테이프 錄音機와 같은 固定헤드를 使用한 PCM 錄音機의 開發도 進行되었다. 最初의 試作機가 1972年에 BBC에 依해서 發表되었다.

日本에서는 日立, SONY, 三菱電機, 松下電器 등이 1977~1978年 사이에 多數의 試作結果를 發表하였으며, 放送用으로서도 使用되기 始作하였다.

一般 民生用으로서는 家庭用 VTR의 普及에 따라 이것을 利用한 PCM adapter의 發開이 各社에서 이루어졌으므로, 이것의 規格統一을 爲한 符號化方式 등의 標準化가 問題 되었다. 1979年에는 日本 電子機械工業會의 主管으로 PCM adapter에 關한 標準化가 行하여져 常用 LSI의 開發이 進展되어 一部는 販賣되고 있다.

또한 民生用으로서 固定헤드 테이프 錄音機의 開發도 進展이 있어, 이것에 關한 技術標準도 日本 電子機械工業會가 作成中에 있다.

II. 디지털 錄音方式의 種類

PCM化된 音響信號를 高忠實度로 記錄, 再生하는 데는 넓은 帶域(數MHz)에 걸쳐 平坦한 特性을 가진 記錄裝置가 必要하다. 이와같은 信號를 記錄, 再生하는 데는 磁性體를 使用하는 方法 以外에 光學的인 方法도 있겠으나, 民生用으로 使用하는 것을 前提로 할 경우, 性能의 安定性, 使用上의 容易性, 코스트 등을 考慮할 때, 現在 販賣되고 있는 家庭用 VTR(VHS, β -max 등)에 記錄, 再生할 수 있는 adapter 方式, 또는 이것을 一體로 한 錄音機로 하는 것이 가장 손쉬운 方法이다.

이러한 연유에서 音響기기 메이커는 十數年前부터 各社가 獨自의 方式인 VTR adapter 方式인 PCM 錄音機의 開發을 始作하였다. 1979年 日本에서는 日本 電子機械工業會에서 審議한 것을 基礎로 하여 EIAJ技術 파일(file) "STC-007 PCM Encoder-Decoder"가 作成되었다. 여기서는 上記한 VTR adapter 方式의 PCM 錄音機에 關하여 說明한다.

1. 回轉헤드方式 PCM 錄音機

(1) 概要

VTR adapter 方式 PCM 錄音機의 構成을 說明하기 前에 通常의 VTR에 錄된 標準 TV信號에 關하여 簡略하게 說明하기로 한다.

標準 TV信號는 奇數필드·偶數필드의 2個 필드

로 되어 있으며, 畫面의 走査線 525個를 262.5個씩 나누어 交代로 走査한다(그림 1 참조). 水平 1走査(1H)는 약 63.5 μ sec(15.750KHz) 垂直 1走査(1V)는 약 16.7msec(60Hz)이다. 水平, 垂直에 各各 同期 펄스와 브랭크(blank) 區間이 있다(그림 2 참조).

回轉 헤드方式 PCM 녹음機는 이들 同期信號 사이에 存在하는 畫像의 濃淡을 決定하는 輝度信號가 들어갈 자리에 A/D變換된 音響信號를 디지털 記錄한다.(그림 3 참조)

그림 4는 PCM adapter의 블록도(block diagram)이다. 入力된 L ch, R ch, 2個의 音響信號는 低域 필터로 聽感上 充分한 帶域(DC~20KHz)으로 制限된다. 이 信號를 sample & hold 回路로 標本化한다. 예를 들면 2KHz의 正弦波를 이 回路에 入力하면 그림 5와 같은 階段波形式이 出力으로 나온다.

이 스텝狀의 波形은 A/D 變換回路에 依해서 各 스텝마다 디지털 符號로 變換된다.

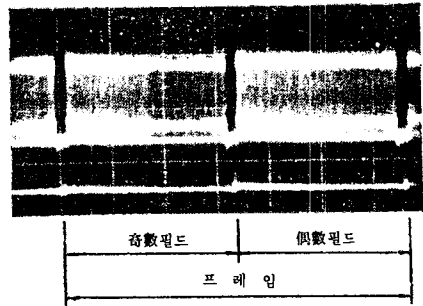


그림 3. 標準 TV信號波形 (VTR再生時)

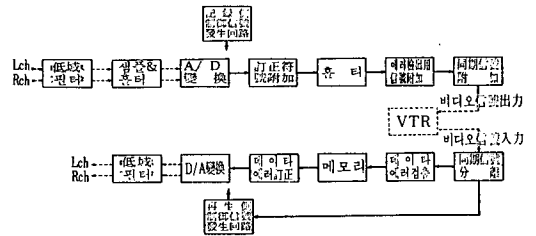


그림 4. PCM adapter의 블록도

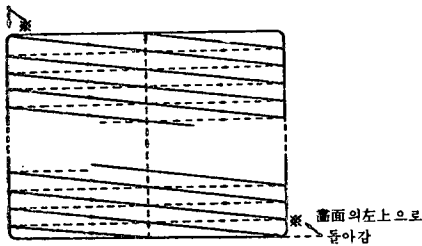


그림 1. 標準 TV信號가 TV畫面을 走査하는 모양

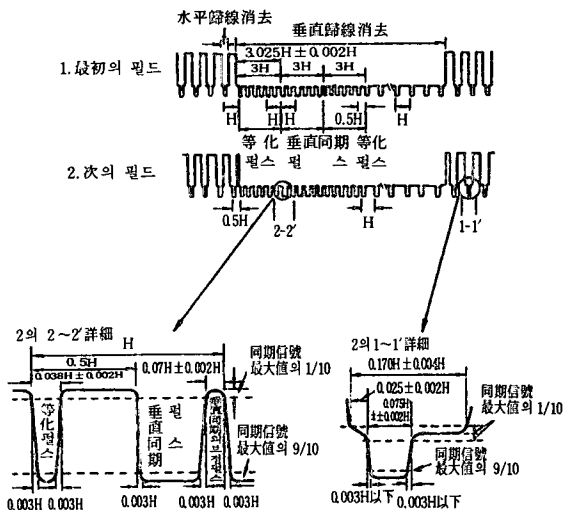


그림 2. 標準 TV信號의 形式

A/D 變換에는 여러가지 方法이 있으나 音響信號와 같이 높은 精度와 10~20 μ sec 程度의 變換時間이 要求되는 경우에는, 逐次比較法과 積分法이 一般的이다.

디지털로 變換된 데이터는 VTR 테이프에 記錄, 再生할 때 데이터 에러를 發生한다. 이것을 救濟하기 위하여 에러訂正符號를 附加하여, 데이터 에러가 實用上 問題가 되지 않을 程度까지 減少시킨다.

以上的 데이터를 메모리에 써넣고 읽어낼 때에 上記 데이터의 順序를 隣接 데이터가 에러에 대해서 相關性(correlation)을 갖지 않도록 配列하고(interleave) 標準 TV信號의 輝度信號 代身에 데이터를 插入할 수 있는 타이밍이 되도록 制御한다.

그리고 1H마다 데이터 에러를 檢出하는 信號(CRCC)

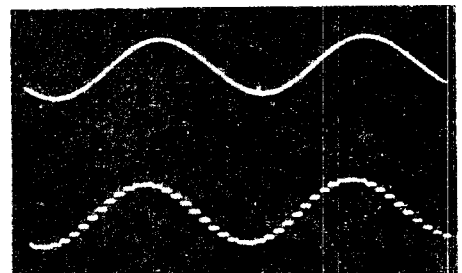


그림 5. 2KHz의 正弦波와 그 sample & hold 波形

를 附加하고, 제일 끝에 디지털 信號와 同期信號를 合成하여 記錄信號로서 出力되어 VTR에 記錄된다.

VTR로부터의 再生出力은 그림 3 과 같은 波形 으로 出力된다. PCM adapter에 入力되는 信號는 同期信號와 데이터로 分離된다. 同期信號中에 垂直同期信號는 再生系의 制御信號를 形成하기 위한 發振回路의 制御용으로 使用되며, 水平同期信號는 데이터의 位置를 檢出하기 위한 基準信號로 使用된다. 데이터는 1H 마다 正誤 檢出用 信號로 正誤가 判別되고, 이 플랙(flag)과 같이 메모리에 써넣게 된다. 메모리에서는 記錄時에 行한 데이터 配列의 變換을 元來의 配列로 復元시키고 VTR의 지터(jitter) 등에 依해서 生기는 時間變調를 吸收하고, 읽어내는 間隔도 記錄時와 同一한 샘플링의 타이밍으로 읽어내게 된다.

데이터의 에러 訂正은 正誤의 플랙에 따라 行해지며, 訂正不能의 데이터에 대해서는 前後의 데이터의 關係에 依해서 補間을 行하고, 이 데이터는 D/A 變換된 후, 低域필터를 通過시켜 元來의 音響信號波 形이 再生된다.

(2) PCM adapter의 構成

PCM adapter의 構成은 그림 6 과 같다.

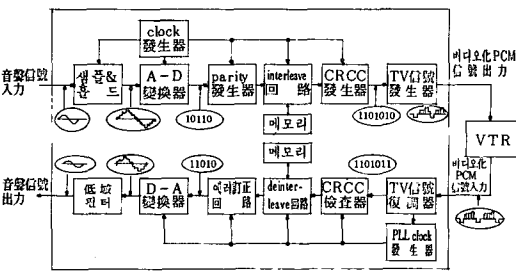


그림 6. PCM adapter의 構成

錄音側에서는 入力信號(analog)가 LPF(low pass filter)로 帶域制限을 받은 後에 sample & hold 回路에 入力된다. sample & hold 回路는 44.1KHz로 入力信號를 標準化한다. 이 信號는 A/D變換器에 依해서 14bit의 精度로 量子化된다. 패리티(parity) 發生器에서는 6word 入力마다 P 및 Q의 패리티가 發生한다. 6word의 데이터 및 P, Q의 8 데이터는 일단 메모리에 記錄된 後에 인터리브(interleave) 回路에 依해서 1word씩 分離되어 出力된다.

CRCC 發生器에서는 8word, 112bit마다 16bit의 에러檢査 word가 發生되어, 8word後에 附加된다. 이

128bit를 하나의 블록(block)으로 하여 TV信號의 1 水平同期區間(1H)의 映像信號 部分에 NRZ變調로 記錄한다. TV信號 發生器에서는 水平同期信號나 垂直同期信號 등 VTR을 動作시키는데 必要한 同期信號를 發生시켜 데이터에 附加한다. 이 信號는 비디오 出力端子에서 出力된다.

再生側에서는 비디오化 PCM 信號 入力으로부터 먼저 TV信號 復調器에 依해 水平同期信號가 引出되며 이 信號와 PLL 回路로 PCM信號의 클럭이 抽出된다. 이 클럭이 모든 回路를 制御한다. 클럭에 依해서 引出되어 復調된 信號는 우선 CRCC 檢査器로 1H 마다 에러의 有無를 檢査한다. 다음에 디인터리브(deinterleave) 回路와 메모리에 依해서 인터리브된 데이터를 復元한다. 이어서 에러訂正 回路에 依해서 에러가 있으면 訂正되어, 바른 데이터가 D/A 變換器에 들어간다. D/A 變換을 한 段階에서 信號는 아날로그로 되며, 이것은 다시 저역여파기를 통한 後에 音響信號가 되어 出力으로 나온다.

PCM adapter는 音響信號를 비디오化한 PCM信號로 變換(錄音側), 또는 이것의 逆作用(再生用)을 하는 裝置라고 할 수 있다. PCM adapter는 반드시 VTR 과 1組가 되어 使用한다. 어댑터와 VTR을 一台에 設置한 裝置는 一體型 錄音機라고 불리운다.

(3) PCM adapter의 信號 포맷(format)

PCM adapter의 信號 포맷은 이미 日本電子機械工業會에서 標準化하였으며, 日本의 各社는 이 포맷에 依해서 製品을 만들고 있다. 이 標準仕樣은 VTR方式에 따른 區別(VHS方式 또는 β-max 方式)이없다. 標準方式의 adapter는 어떤 方式의 VTR과도 組合하여 使用할 수가 있다.

PCM adapter의 標準仕樣은 표 1 과 같다.

이 方式의 諸定數가 基本이 되고 있는 것은 TV의 水平同期周波數(f_H , 15.734KHz)이다. f_H 와 標準化 周波數 f_s 와의 關係는 다음과 같다.

$$f_s = 3f_H \frac{490}{525}$$

이 式에서 525는 1프레임(frame) 當의 水平走査線數, 490은 525中에서 PCM信號에 使用되고 있는 走査線數이다. 係數 3은 1 水平走査間(1H) 當 3 samples/channel의 데이터가 記錄됨을 意味한다.

Adapter의 量子化는 14bit 直線量子化로 한다. 이 量子化 定數로 86dB 다이내믹 레인지를 얻는다. 이보다 더 큰 다이내믹 레인지를 얻기 爲해서는 preemphasis와 deemphasis를 부가해야 한다.

표 1. PCM adapter의 標準仕樣

傳送 채널數	2 채널
標準化 周波數	44.056 KHz(PAL의 경우 44.1KHz)
量子化 비트數	14bit 直線量子化
符號化	2의 補數
傳送 rate	2.64Mbit/s
에러 檢出方式	CRCC
에러 訂正方式	二重에러 訂正可能
interleave	16H의 interleave
同期信號	NTSC 標準 TV信號에 準據한다.
變調方式	NRZ波形
preemphasis	可能
비디오화 信號 規定 入出力레벨	1V _{pp}
오디오 信號 規定 入出力레벨	142mV
標準 錄音레벨	디지털의 最大 錄音레벨로부터 15dB 낮은 레벨

그림 7과 그림 8은 1H內的 데이터 配列과 構成 및 PCM 信號波形을 나타낸다.

(4) PCM adapter의 性能

PCM adapter와 VTR을 組合한 家庭用 PCM 錄音 시스템의 登場은 오디오광(audio mania)에게 劃期

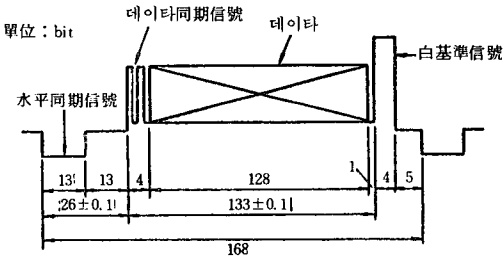


그림 7. 1H 內的 데이터 配列과 構成. 水平同期信號는 標準 TV信號에 準據한다.

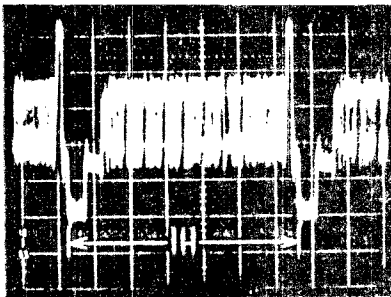


그림 8. PCM信號波形

的인 사건이었다. 이 녹음機의 性能과 從來의 아날로그型 錄音機의 性能을 比較하면 다음과 같다.

a. 다이내믹 레인지

PCM adapter의 量子化가 14비트 直線量子化이므로 다이내믹 레인지는 86.1dB까지 얻을 수 있다. emphasis 效果를 넣으면, 90dB 程度의 다이내믹 레인지를 얻을 수 있다. 아날로그型 카세트 테이프 레코더의 경우에는 다이내믹 레인지가 55dB 程度이고 오픈 릴(open reel)型의 경우에는 70dB 程度이다.

b. 再生信號의 周波數 特性

PCM adapter의 경우에는 DC~20KHz까지 ±0.5dB의 周波數特性을 갖는다. 從來의 錄音機에서는 헤드(head)나 테이프의 特性을 이퀄라이징(equalizing) 回路를 使用하여 周波數補正을 하고 있으나 再生帶域內에서도 特性이 平準하지는 않다. 再生의 上限은 카세트型의 경우에 15KHz, 오픈 릴型인 경우에는 18KHz 程度이다. DC의 再生은 되지 않는다.

c. 歪曲率 特性

PCM adapter에서는 全帶域에 걸쳐 0.01% 정도로 하는 것이 可能하다. PCM의 경우에 歪曲率은 주로 D/A 變換器와 이것의 다음에 오는 저역여파기 性能에 左右된다. 이 部分의 改良이 進展되면 理論적으로 0.003%까지 低減시킬 수 있다. 카세트型 錄音機의 경우에는 0.3% 程度, 오픈 릴型인 경우에는 0.1% 程度이나 이것도 全帶域에서 保證하기 困難하다.

d. 와우 플러터(wow flutter)

PCM adapter의 경우에는 와우 플러터를 水晶의 精度까지 낮출 수 있으며 거의 零이라고 할 수 있다. 아날로그의 경우에는 테이프가 良質인 경우 0.03% 程度이다.

e. 演奏時間

VHS 標準모드 再生에서는 連續으로 2時間 演奏가 可能하다. 現在 3倍모드(VHS인 경우 6時間)는 標準化되어 있지 않으나 아날로그型에서는 2時間 連續 演奏되는 것이 없다. 카세트 C120 테이프를 使用하면 片道 60分, 오픈 릴의 경우에는 20分 程度이다.

2. 固定 헤드方式 PCM 錄音機

日本에서는 PCM 機器의 開發이 눈부시게 活潑하고 民生用 分野에서의 D. A. D.(digital audio disc) player는 이미 規格化 되었으며, 또한 VTR을 使用하여 PCM 錄音을 하는 PCM processor도 販賣되고 있다.

이와같은 狀況속에서, 固定 헤드方式의 PCM 錄音技術을 콤팩트 카세트(compact cassette) 테이프 錄音

機에 應用하는 研究가 日本의 各社에서 行하여지고 있으며, 現在 日本에서는 日本電子機械工業會 主管으로 거의 規格이 統一된 것으로 推定된다. 여기서는 一般의인 固定헤드 PCM 錄音機의 構成과 이것의 信號處理에 對해서 說明한다.

(1) 固定헤드 PCM 錄音機의 特徵

固定헤드 PCM 錄音機는 PCM 방식에 依한 性能上的 長點 以外에도

- a. 테이프가 小型이므로 取扱이 容易하다.
- b. 錄音時에 再生 모니터링이 된다.
- c. 操作性이 좋고, 特히 再生버튼을 누르고 나서부터 소리가 나올때까지의 時間이 짧다.
- d. 테이프의 走行系가 簡單하고 信賴性이 높다.
- e. 一般의으로 track數가 많으므로 이에 따른 回路量이 많아진다.

등과 같은 特徵이 있다. 그리고 콤팩트 카세트 PCM 錄音機는 오픈 릴형 PCM 錄音機에 比해서 테이프의 길이方向, 幅方向으로 다같이 아주 높은 記錄 密度가 要求되는 技術的인 難點이 있었으나 近年에 와서는 테이프, 헤드 및 信號處理技術의 向上에 依해서 實現의 可能性이 보인다.

(2) 要求되는 仕様

a. 테이프 速度

從來의 아날로그형의 카세트 錄音機는 테이프 速度가 4.76cm/s이며, 테이프 種類에 對한 演奏時間은 표 2와 같다. 原理的으로 테이프의 速度가 빠르면 빠를수록 PCM 記錄·再生이 容易해지나, 테이프의 길이는 主로 演奏時間에 依해서 設定된 것이므로, PCM 用으로 使用될 경우에도 이 點을 充分히 考慮할 必要가 있다. 또한 테이프의 두께도 現在의 카세트 메카니즘(mechanism)의 性能을 생각할 때, 이것 以上 얇게 하는 것은 機械的인 強度를 考慮하면 어려우며, 現在보다 더 긴 테이프는 期待하기 어렵다.

이와같은 理由에서, 테이프 速度는 4.76cm/s로 往復使用, 또는 2.38cm/s로 片道使用하는 것이 實用化에의 基準이라 할 수 있다.

표 2. 카세트 테이프의 길이와 演奏時間

테 이 프	길이 (m)	演奏時間(分)	
C-46	67.5	片 道23	往 復46
C-60	90	" 30	" 60
C-90	135	" 45	" 90
C-120	180	" 60	" 120

b. 카세트 하프(cassette half)

從來型의 카세트와 달리 PCM 방식에서는 트랙幅이 좁아져 테이프 走行精度가 要求되므로, 의당 카세트 하프의 形狀精度를 確保할 必要가 있다. 그리고 高記 錄密度化를 實現하기 위하여 테이프의 磁氣材料 등이 PCM 專用으로 開發될 경우에 從來型의 테이프와 混同使用에 의한 トラブル을 避하기 위하여 카세트 하프는 從來의 것과 識別可能하도록 配慮가 必要하다.

c. 電氣의 特性

콤팩트 카세트형 固定헤드 PCM 錄音機에 있어서 音質性能이나 소프트웨어의 互換性을 考慮하여D. A. D., PCM processor등 다른 PCM 機器와 同等한 性能을 가질 것이 要望된다. 즉

音聲 채널數: 2 (스테레오, L/R)

周波數 特性: 20(또는 DC)~20KHz

다이내믹 레인지: 85~90dB 以上이 되어야 한다.

따라서 여기에도

量子化 비트數: 14~16bit

標本化 周波數: 44.1KHz

로서 D. A. D. 나 PCM processor와 같은 정수를 取하는 것이 妥當하다. 그러므로 必要한 信送帶域幅은

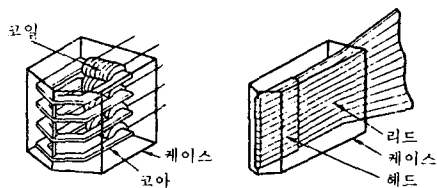
$$2(\text{채널}) \times 16(\text{bit}) \times 44.1(\text{KHz}) \approx 1.41(\text{Mbit/s})$$

가 된다. 實際에 있어서는 音聲데이터 以外에 同期信號나 에러 訂正符號등을 追加해야 하므로 約 2Mbit/s의 傳送帶域幅을 確保해야 한다.

d. 錄音 再生헤드

콤팩트 카세트 固定헤드형 PCM 錄音機의 헤드에는 卷線型(從來型) 헤드와 薄膜磁氣헤드의 2種類가 있다. 그림 9는 卷線型헤드와 薄膜磁氣헤드의 模樣을 나타낸다. 그림 10은 薄膜磁氣헤드의 構造를 表示한다. 어느형이거나 高記錄密度化를 위하여 core의 gap을 좁게할 必要가 있으며, 特히 再生側에서는 0.2~0.5 μ m 精度로 만들지 않으면 안된다.

여기서 各헤드의 特徵을 들면 다음과 같다.



(a) 從來벌크헤드

(b) 薄膜헤드

그림 9. 從來形 벌크헤드와 薄膜헤드

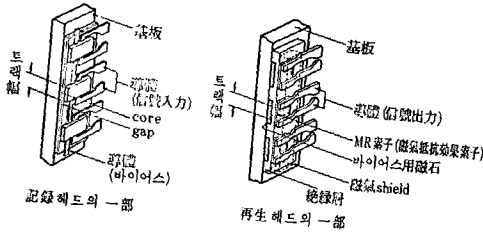


그림10. 薄膜磁氣헤드의 構造模式圖

㉓ 卷線型 헤드의 特徵

- (i) 코어(core) 材料등 選擇의 自由度가 크다.
- (ii) 一般의 으로 헤드의 效率이 높다.
- (iii) 트랙의 幅, 갭(gap) 등의 高精度化가 어렵다.
- (iv) 多트랙化가 困難하다.
- (v) 크로스 토크(Cross-talk) 發生이 쉽다.
- (vi) 一般의 으로 形狀이 커진다.
- (vii) 微分型的 再生應答이기 때문에 테이프 速度를 느리게 하면, 出力도 低下하고 S/N比가 劣化된다.

㉔ 薄膜磁氣헤드의 特徵

- (i) 量産性이 크며, 品質의 安定化가 용이하다.
- (ii) 트랙幅, gap 등의 高精度化가 容易하다.
- (iii) 多트랙化에 適合하다.
- (iv) 크로스 토크가 생기기 어렵다.
- (v) 磁氣抵抗效果型의 경우에는 再生出力이 크고 出力의 크기가 테이프 速度에 依存하지 않는다.
- (vi) 一般的으로 높은 헤드效率을 얻기 어렵다.

以上과 같이 各型의 헤드는 得失이 있으므로 카세트 用으로서 現在까지 公表되어 있는 것을 보면 트랙數로 區別이 되며, 卷線型헤드는 8~10트랙, 薄膜磁氣헤드는 18~38트랙으로 되어 있다.

지금 必要한 信號傳送量을 디지털 오디오 디스크(D. A. D.)와 같이 2.16 Mbit/s, 테이프 速度를 4.76cm/s로 하면, 데이터用으로 割當하는 트랙數 N과 各트랙當의 記錄密度 D(單位=KBPI)와의 關係는

$$D = \frac{1}{N} \times \frac{2160 \times 2.54}{4.76} \approx \frac{1153}{N} \text{ (KBPI)}$$

가 된다. 여기서

$$N = 10 \text{ 으로 하면 } D \approx 115 \text{ (KBPI)}$$

$$N = 16 \text{ 으로 하면 } D \approx 72 \text{ (KBPI)}$$

가 되어 實現에 高度의 技術이 要求되는 값이다. 이미 120 KBPI의 實驗例도 報告되어 있으나 實際로는 어느程度의 餘裕가 必要하며, 數 10KBPI가 實用限度가 될 것이다.

(3) 콤팩트 카세트 固定헤드型 PCM 녹음기의 테이프의 速度나 트랙數가 다른 여러가지 콤팩트 PCM 녹음기가 公表되어 있으나 그 基本的 成은 同一하다.

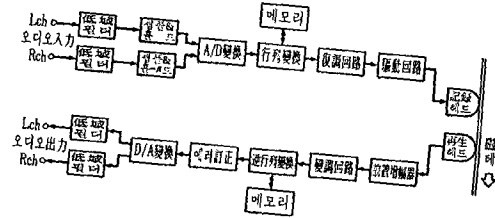


그림11. 콤팩트 카세트 PCM 녹음기 블록도

그림11은 콤팩트 카세트 固定헤드型 PCM 녹음기 블록도인데, 上半部는 錄音系, 下半部는 再生系이다. 먼저 錄音系에서는 2채널의 오디오信號를 低域필터로 通過시켜 帶域制限을 시킨다.

다음에는 샘플&홀드 回路로 샘플링한 다음 A/D 變換한다.

이 A/D 變換된 데이터가 버퍼 메모리(buffer memory)를 使用한 行列變換回路에 依해서, 後述하는 데이터 포맷(data format)으로 變換된다. 이 操作은 데이터를 여러개의 트랙으로 分配하여 記錄하는 것으로서, 테이프 速度를 減少시키는 것을 目的으로 하고 있다. 그리고 여기서 에러訂正符號나 에러檢出符號, 또한 同期信號의 附加도 行한다. 이 에러訂正符號를 비롯한 데이터 포맷은 各社가 各各 獨自的인 方式을 採用하고 있다.

變調回路에서는 上記 데이터를 磁氣記錄에 適合한 變調를 한 後에, 錄音헤드 驅動回路를 通하여 테이프 上에 信號를 記錄한다. 이 變調의 目的은 通常 磁氣 記錄, 再生을 하였을 경우에 再生出力이 테이프上的 磁束變化에 對應하여 나타나므로 時間經過를 正確하게 認識할 수 있게 하는데 있다. 따라서 一定한 數의 bit 以內에 반드시 磁束의 反轉이 있는 데이터로 變換시킨다. 그리고 이 變調回路 및 헤드驅動回路는 트랙의 數와 같은 數가 必要하므로 너무 多트랙化되어 回路量이 많아지는 缺點이 있다.

再生系에서는 먼저 再生헤드로부터 읽어낸 信號를 前置增幅器로 增幅한 後에 復調回路로 復調再生한 PCM 信號를 얻는다. 通常 이 테이프로부터 再生된 PCM 信號에는 테이프의 速度變動에 의한 지터를 包含하고

있으므로, 버퍼 메모리로 이 지터의 影響을 除去함과 동시에 逆行列變換을 하고, 테이프의 drop out에 依해서 생긴 符號에러를 에러訂正回路로 訂正하여 바른 PCM信號를 얻게된다.

다음에는 이 PCM信號를 D/A 變換한 後, 低域필터를 通하여 音聲信號出力을 얻는다.

(4) 錄音트랙의 配列

콤팩트 카세트 테이프의 테이프幅은 約3.8mm이다. 이 테이프상에 多트랙화된 信號를 記錄하는 方法에는 다음 몇가지가 있다.

그 中의 하나는 從來의 오디오 카세트와 마찬가지로 테이프의 片側반쪽에 片道分の 記錄을 하고, 테이프를 뒤집어 다른 片側에 記錄하는 往復型이다(그림12(a)참조). 이 方法은 通常의 테이프 速度로 演奏時間을 確保할 수 있으며, 片側消去도 容易하나, 헤드自體의 隣接 트랙間의 距離가 짧아지므로 크로스 토크(cross-talk)가 생기기 쉽고 헤드製作이 어렵다.

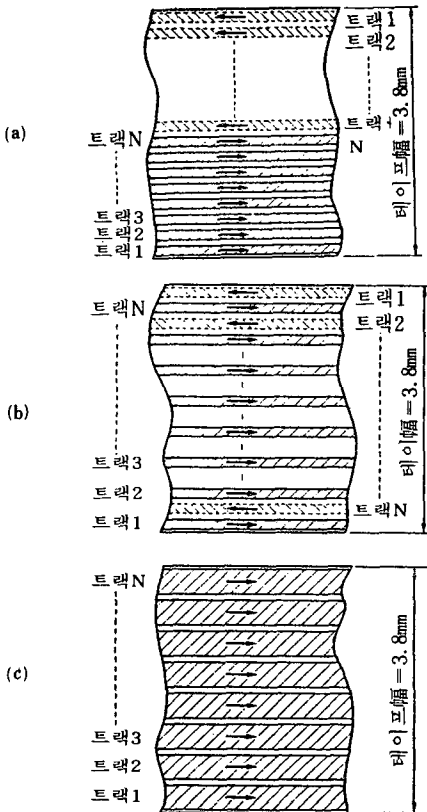


그림12. 錄音트랙의 配列

다음도 역시 往復型이나, 헤드의 트랙間 距離가 좁은 配列을 하는 方式으로 그림12(b)와 같다. 다만 이 方式은 記錄한 데이터의 片側만을 消去하고 싶은 경우에, 高精度의 消去헤드가 必要하게 되는 경우가 있다(디지털 記錄의 경우에 使用 테이프등의 條件에 의해서 반드시 “消去”를 必要로 하지 않는 경우도 있다.).
 끝으로 片道全幅 記錄의 例를 그림12(c)에 表示한다. 이 方式은 演奏時間이 1/2로 되므로 標準 카세트와 同一한 演奏時間을 確保하기 위해서는 테이프의 速度를 1/2로 낮추어야 할 必要가 있다.

(5) 記錄포맷(format)

여기서 記錄 포맷(format)은 日本 Sharp社에서 實施하고 있는 것을 例로 들어 說明한다.

音聲信號는 標準화된 順序에 따라서, 左右(스테레오音聲) 채널을 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n, \dots$ 또는 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n, \dots$ 과 같이 符號化한다. 符號化後 L, R 各各 3 word씩, 合計 6word의 信號에 對하여 P_n, Q_n 의 2word의 訂正符號를 附加하여 1個의 블록을 形成한다. 이 블록을 構成하는 信號 및 訂正 word는 各 트랙에 分散되어 配置된다. 이 모양을 그림13에 나타낸다.

그림13에서 보는 바와 같이 블록內의 8個의 word는 各各 1트랙씩 건너뛰어 配置되어, 서로 隣接한 트랙에 同一 블록의 word가 오지 않도록 配列되어 있다.

트랙番號	列番號	1	2	8
1	SYNC	L(0)	L(6)	...	L(42) CRC
2	SYNC	L(3)	L(9)	...	L(45) CRC
3	SYNC	R(0)	R(6)	...	R(42) CRC
4	SYNC	R(3)	R(9)	...	R(45) CRC
5	SYNC	L(1)	L(7)	...	L(43) CRC
6	SYNC	L(4)	L(10)	...	L(46) CRC
7	SYNC	R(1)	R(7)	...	R(43) CRC
8	SYNC	R(4)	R(10)	...	R(46) CRC
9	SYNC	L(2)	L(8)	...	L(44) CRC
10	SYNC	L(5)	L(11)	...	L(47) CRC
11	SYNC	R(2)	R(8)	...	R(44) CRC
12	SYNC	R(5)	R(11)	...	R(47) CRC
13	SYNC	P(0)	P(6)	...	P(42) CRC
14	SYNC	P(3)	P(9)	...	P(45) CRC
15	SYNC	Q(0)	Q(6)	...	Q(42) CRC
16	SYNC	Q(3)	Q(9)	...	Q(45) CRC

SYNC=固定패턴

그림13. 테이프상의 데이터 포맷(format) (sharp)
 (그림에서 굵은 네모내의 데이터가 하나의 블록을 구성한다.)

이것은 drop out가隣接하는 트랙에 同時에 일어나는 확률이 높으므로 블록內의 各 word를 分散記錄하여 1블록內에 復數個의 word 에러가 생기기 어렵도록 配應한 것이다. 그리고 SYNC라고 表示한 것은 同期信號로서, 여기서는 16비트의 固定패턴을 記錄하고, 再生時에 固定패턴과 再生信號와의 相關을 取함으로써 同期를 檢出한다. 그리고 CRC(cyclic redundancy check)는 에러檢出 word로서 方向의 8個(例: L_0, L_1, \dots, L_7)의 데이터를 一組로 하여 이들中의 符號 에러를 檢出하는데 使用한다.

(6) 磁氣記錄用 變調

앞에서도 說明한 바와같이 在來式헤드는 微分型的 再生應答이고 지터등의 時間的인 變動이 있으므로 PCM 信號를 테이프에 記錄할 때 일단 記錄하기 쉬운 波形으로 變換시켜 記錄하며, 再生原理는 그림 14에 나타내는 바와 같으나 여기서 再生 클럭이나 檢出窓은 上述한 時間的인 影響을 除去하기 위하여, 再生信號 自體로부터 만들어 내는 것을 使用할 必要가 있다. 이와같이 再生信號로부터 클럭信號를 만드는 것을 self-clocking이라 한다.

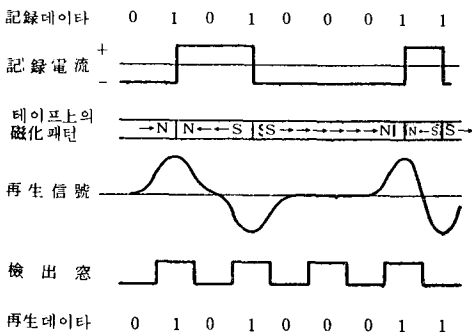


그림 14. 디지털 磁氣記錄의 原理. (그림은 NRZI로 變調한 경우를 나타낸다.)

디지털 信號를 高密度로 記錄하기 爲해서는 優秀한 變調方式이 必要하며, 이 變調에서 特別히 要求되는 事項은 다음과 같다.

- a. self-clocking이 容易할 것.
 - b. 再生時에 에러傳搬이 작을 것.
 - c. 最小 磁化 反轉間隔 T_{min} 이 클 것.
 - d. 最大 磁化 反轉間隔 T_{max} 가 작을 것.
 - e. 檢出窓幅 T_w 가 클 것.
- 前부터 잘 알려진 變調方式인 FM方式, MFM方式은

信號의 스펙트럼이 比較的 高域에 集中되기 때문에 固定헤드型 D. A. T.에는 그리 適合한 變調方式이 못된다. 從來는 하드웨어(hardware) 規模가 커지기 쉬운 그룹 부호화(group coding)에 依한 變調方式이 近年 LSI 技術의 進歩에 依해서 克服되었으며, 最近에 많이 使用되게 되었다. 固定헤드型 D. A. T. (digital audio tape recorder)用 디지털 變調는 앞에 記述한 條件과 테이프 및 헤드로서 決定되는 周波數特性을 充分히 把握하고 變調後의 信號스펙트럼을 檢討해야 한다. 그림 15에 代表的인 디지털 變調方式의 波形을 나타낸다. 여기서 MFM方式과 3PM方式을 比較하여 보면 兩쪽이 다같이 $T_w \approx 0.5T$ 이나 3PM方式은 T_{min} 이 1.5배, T_{max} 가 3배이다. 따라서 3PM이 클럭 抽出에 多少 어려움이 있으나 信號의 스펙트럼이 MFM方式보다 低域에 分布되어 있으므로 信號의 pick-up에 有利하다. 표 3은 代表的인 디지털 變調方式의 主要한 特性을 나타낸다.

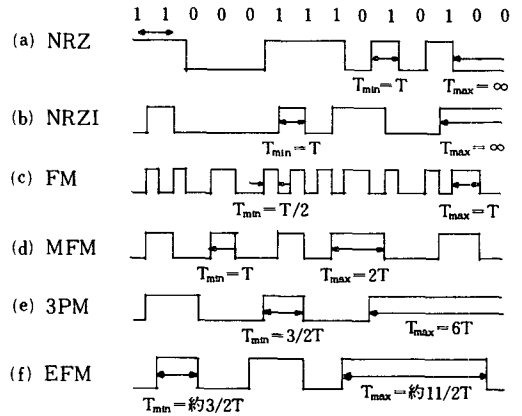


그림 15. 變調方式과 波形

표 3. 디지털 變調方式의 主要 特性

變調方式 파라미터	NRZ	MFM	M'FM	2/3M	3PM	1/2M	2/4M	2/5M	EFM (參考)
T_{max}	∞	2T	3T	5.33T	6T	4T	4T	9.2T	5.18T
T_{min}	T	T	T	1.33T	1.5T	1.5T	1.5T	2T	1.41T
T_w	T	0.5T	0.5T	0.66T	0.5T	0.5T	0.5T	0.4T	0.47T
T_{max}/T_{min}	∞	2	3	4	4	2.67	2.67	4.2	3.7
DC 成分	無	有	無	有	有	無	有	有	無

표 4는 3PM 變調方式의 變換表로서 데이터 3bit를 符號6bit로 割當하여 NRZI로 記錄하는 것이다. 이 NRZI로 記錄하는 符號는 1과 1사이에는 적어도

표 4. 3PM의 코드變換表

데 이 타	變 換 符 號					
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
0 0 0	0	0	0	0	1	0
0 0 1	0	0	0	1	0	0
0 1 0	0	1	0	0	0	0
0 1 1	0	1	0	0	1	0
1 0 0	0	0	1	0	0	0
1 0 1	1	0	0	0	0	0
1 1 0	1	0	0	0	1	0
1 1 1	1	0	0	1	0	0

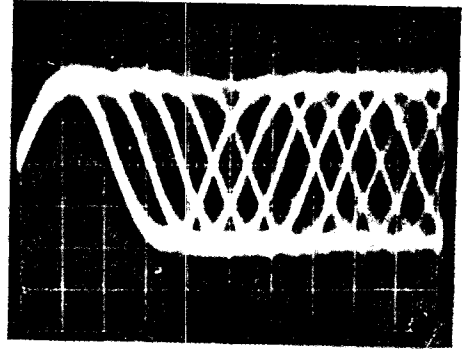


그림 16. 3PM의 아이 패턴 (eye pattern)

“0”이 2個들어 가게 되어 있으므로 最小反轉間隔은 1.5bit에 相當하게 된다.

따라서 最短記錄波長을 一定하게 維持할 경우에, 1.5 倍의 記錄密度를 얻게되는 것이 이 變調方式의 特徵이다. 이 3PM方式으로 再生한 아이 패턴 (eye pattern)을 그림 16에 나타낸다.

以上 記述한 바와같이 小型테이프에 高密度의 記錄을 하기 爲해서는 헤드, 메카니즘, 테이프, 信號 포맷 등 새로운 技術開發이 必要하다. 표 5는 1982年 現在로 日本의 몇 메이커가 개발한 固定헤드方式 PCM錄音機의 一覽表이다.

(7) 固定헤드 PCM錄音機의 開發目標

카세트 테이프를 利用한 PCM錄音機는 將來 디지털 오디오의 中心이 될 것으로 보고 있으며, D. A. D. (digital audio disc)와 더불어 D. A. T. (digital audio

tape)로 불리우게 되었다. D. A. T.의 實用化는 技術開發目標의 達成과 規格의 標準化가 條件이 될것이다.

技術開發目標의 첫번째는 高密度記錄헤드이다. 現在 벌크헤드 (bulk head)를 使用한 것과 薄膜헤드를 使用한 것이 試作되고 있으나 高密度 記錄이라는 點에서 薄膜헤드가 有利하다. 이미 트랙當 70KBPI (kilobit per inch)의 것이 試作되고 있다.

高密度 記錄을 하기 爲해서는 테이프의 開發도 重要하다. 아날로그 카세트 錄音機의 性能은 메탈테이프의 使用에 依해서 改善되었으나 디지털 信號의 記錄에서도 메탈테이프의 使用이 效果의이라는 것이 報告되어 있다. Video용으로 開發된 抗磁力 H_c가 800 Oe인 테이프나, 이보다 더 高抗磁力의 테이프가 注目되고 있다.

표 5. 固定헤드方式 PCM錄音機의 一覽表

(1982年 現在)

會社名	사 아 프	日 立	松 下	赤 井	三洋電機	트 리 오	맥 셀
項 目	사 아 프	日 立	松 下	赤 井	三洋電機	트 리 오	맥 셀
카 세 트 型	C카세트	C카세트	C카세트	C카세트	C카세트	C카세트	C카세트
使 用 테 이 프	메탈테이프	酸化鐵系	온 구 례	MCMT	메탈테이프	코발트系	MCMT
테이프速度 (cm/s)	4.76	4.76	9.5	9.5	4.76	9.5	4.76
演 奏 時 間 (分)	往復90	45	往復60	22.5	45	22.5	45
헤 드	薄 膜	薄 膜	벌 크	벌 크	薄 膜	薄 膜	薄 膜
트 락 數	16+2	14+2	12+2	16+2	17+1	24	14+2
標本化周波數 (KHz)	44.1	44.1	44.1	44.1	44.056	44.1	44.1
量子化方式 (bit)	14	14	16	14	14	14	14
에 러訂正方式	2parity	2parity	3parity	2parity	2parity	2parity	2parity
變 調 方式	3 PM	MFM	3 PM相當	MFM	3 PM	MFM	MFM
記錄密度 (KBPI)	70.6	63	65	36	70	23.4	63.5
轉送 rate (MBPS)	2.116	1.646	-	-	2.247	-	-

(注) MFM: Modified Frequency Modulation, C 카세트: Compact Cassette.

표 6. D. A. T. 의 目標仕樣例(1)

錄音方式	스테레오往復
테이프 幅	3.8mm
테이프 速度	4.75cm/s
演奏時間	往復90分(C 90使用)
標本化 周波數	44.1KHz 또는 48KHz
量子化 方式	14bit 또는 16bit
轉送 rate	約 2MBPS

표 7. D. A. T. 의 目標仕樣例(2)

錄音方式	스테레오往復
테이프 幅	3.8mm
테이프 速度	4.75cm/s
演奏時間	往復90分(C 90使用)
標本化 周波數	32KHz
量子化 方式	10bit 또는 12bit
轉送 rate	約 1MBPS

멀티트랙(multi-track)化에 따라 트랙幅이 極端的으로 좁아진다. 從來의 카세트 테이프의 規格은 트랙幅이 500 μ m인데 對해서, 片道 16트랙, 往復 32트랙인경우에 트랙幅이 50 μ m가 된다. 테이프의 走行을 安定하

표 8. 헤드의 目標仕樣例

트랙 數	16+control track
트랙 幅	50 μ m
트랙 pitch	100 μ m
記錄 密度	70KBPI

게 하고 트래킹(tracking)을 正確히 하게 하는 것이 問題가 되고 있다.

信號의 포맷은 規格化 段階에서 여러가지로 論議되었으며, 特히 標本化 周波數에 關해서는 國際적으로 32KHz, 48KHz로 하려는 움직임속에서 PCM adapter나 콤팩트 디스크(compact disc)가 採用한 44.1KHz와의 關係가 注目된다.

D. A. T.를 構成하는 回路는 約 1,000餘個의 IC로 이루어진다. 게이트(gate)數로 하면 20~30萬個의 素子가 된다. VLSI 技術의 應用이 實用化의 열쇠이다. 以上과 같은 狀況에 있으나 各 方面에서 開發이 日本等地에서 進行되고 있으므로 2, 3年後에는 實用化의 時期가 올것으로 推定된다.

표6, 7, 8은 D. A. T. 目標仕樣의 例이다. *

◆ 用語 解説 ◆

Acoustic Coupler (음향 결합기)

프린터나 디스플레이 단말 장치를 일반 전화선과 접속 가능하게 하는 접속기

Algorithm(알고리즘)

주어진 입력으로부터 원하는 출력을 유도해 내는 정의된 과정이나 규칙들의 집합. 주어진 작업을 수행하기 위한 일련의 공식이나 논리적, 대수적 절차

APT(Automatically Programmed Tools) : 자동 프로그램 도구

수치 제어기기, 재단기, 제도기 또는 이와 유사한 기구들의 프로그램을 쉽게 작성할 수 있게 도와 주는 컴퓨터 이용 프로그램의 이름

ARU(Audio Response Unit) : 음성 응답장치

컴퓨터 시스템을 전화기에 연결하여서 질의에 대하여 음성으로 대답하도록 설계한 장치

bps(bits per second)

직렬 전송에 있어서 장치나 채널이 문자를 전송할 때의 순간적인 비트의 속도