

# SD와 HD 영상 측정 가이드

Tektronix, 번역 김세훈

2021년 5월 22일



# 차례

0.1	안내	4
1	시작	5
1.1	전통적인 텔레비전	5
2	새로운 디지털 텔레비전	7
2.1	아날로그 세계를 설명하는 숫자들	7
2.2	컴포넌트 디지털 비디오	8
3	아날로그에서 디지털로	9
3.1	RGB 컴포넌트 신호	9
3.2	감마 보정	10
3.3	감마 보정은 CRT 반응에 대한 보정 이상을 의미한다	10
3.4	R'G'B' 신호의 휘도와 색상차 신호로의 변환	11

## 0.1 안내

이 문서는 Tektronix 사의 허가 아래 SBS의 김세훈이 번역하였습니다. 모든 저작권은 Tektronix사에서 설정한 바에 따릅니다.

# 제 1 장

## 시작

디지털 텔레비전은 뭔가 매우 과학적이고 복잡한 것이라고 생각하기 쉽다. 하지만 최종 결과물은 친숙한 것이다. 텔레비전 엔지니어들이 처음부터 계속 추구해온 것, 계속해서 좋아지는 경험, 아티스트의 퍼포먼스를 시청자들에게 더 잘 전달하는 양질의 비디오와 오디오. 디지털 텔레비전에서 유일하게 다른 것은 메시지가 전달되는 방법 뿐이다.

메시지가 어떻게 전달되는지가 정말 중요할까? 아티스트와 시청자들(그리고 많은 나라에서 광고주들)은 신호가 전달되는 경로를 신경쓰지 않을 것이다. 그들은 디지털 텔레비전의 개선된 품질만을 누릴 뿐이지 자세한 것은 모른다. 하지만 이론, 이것이 재미있는 것이다. 텔레비전의 기술적인 부분에 관련있는 우리는 신경을 쓴다. 그리고 지난 60년 이상의 시간 동안 크게 발전한 텔레비전 이론의 혜택을 누린다. 그 중에서 지난 20년간 디지털 텔레비전이 가져온 발전을 특히 더 누린다.

프로그램 영상, 디지털 오디오, 그리고 관련된 부가 데이터 신호들이 모여서 디지털 텔레비전 신호를 이룬다. 아날로그 텔레비전 세상에서는 비디오와 오디오는 완전히 분리된 경로로 소스로부터 가정의 수상기로 전달된다. 디지털 신호들은 비디오, 오디오 및 다른 신호들이 하나의 데이터 흐름으로 엮여서 훨씬 더 자유롭게 구성될 수 있다. 우리가 알아야 할 것은 데이터가 어떻게

구성되어서 우리가 원하는 것을 어떻게 골라낼 수 있는지 뿐이다.

### 1.1 전통적인 텔레비전

아날로그 비디오와 아날로그 오디오를 전통적인 텔레비전의 요소라고 할 수 있을 것이다. 하지만 우리는 전통적인 목표를 이루기 위해, 어쩌면 더 많은 것을 이루기 위해 노력한다는 것을 알아야 한다. 디지털 텔레비전은 아날로그에 기반하고, 디지털 텔레비전에 대한 이해는 아날로그 텔레비전에 대해 이미 아는 것에 기반한다. 밝은 카메라 렌즈로 들어가고 소리는 마이크로 들어가는데 이는 아날로그이다. 디스플레이에서 빛이 나오고 소리가 귀로 들어가는 것 역시 아날로그 현상이다.

우리는 이미 아날로그 비디오는 빛의 값을 샘플링한 것임을 알고 있다. 밝기 값은 전압으로 표현된다. 거기에 추가적인 정보가 샘플의 색상을 알려준다. 샘플들은 전송 시스템에서 동기화되어 디스플레이에서 원래 이미지를 다시 만들어내게 된다. 아날로그 비디오는 수상기가 적절히 처리하는 방법을 알면 그림을 다시 만들어낼 수 있는 데이터들을 담고 있는 전압값들의 직렬 흐름으로서 전달된다. 따라서 단순히 몇몇 단어만 바꾸고, 지

난 50년간 배워온 것들을 이용하기 위해서 몇몇 가지만 다르게 하면 디지털 비디오는 아날로그 비디오와 그리 다르지 않음을 알 수 있다.

그럼, 아날로그 빛에서 시작해서 아날로그 빛으로 끝난다면 디지털 비디오를 도대체 왜 쓰는 것일까? 많은 경우, 카메라 센서는 아날로그 비디오를 만들어내지만, 거의 즉시 순간순간의 비디오를 나타내며 변동하는 아날로그 전압값을 디지털로 바꿔서 근본적으로 손실없이 다룰 수 있게 한다. 컴퓨터 그래픽과 같은 몇몇 경우에는 비디오가 디지털로 시작해서 최신의 디지털 텔레비전 시스템 내에서는 아날로그로 가는 일 없이 디스플레이로 도달한다.

우린 텔레비전 신호를 여전히 아날로그 NTSC, PAL, SECAM 전송 방식으로 보낼 수 있지만, 더 높은 품질과 더 높은 효율의 텔레비전 신호를 보내기 위해서 디지털 전송을 하고 있다. 디지털 텔레비전은 일상 생활내에서 누릴 수 있는 일부가 되었다. 누군가는 이를 이용하며 발전에 기여할 것이고, 누군가는 세부사항을 모른 채 혜택을 누릴 것이다.

## 제 2 장

# 새로운 디지털 텔레비전

디지털 신호는 몇 년간 텔레비전의 일부가 되어왔는데, 처음에는 테스트 신호와 자막 생성기 같은 장비 내에서 보이지 않게 묻혀있다가, 나중에는 전체 시스템으로 퍼졌다. 이 글에서는 쉽게 접근하기 위해 우선 텔레비전 신호의 비디오 부분을 다룰 것이다. 오디오 또한 마찬가지로 디지털일 것이고, 디지털 데이터가 복원되는 텔레비전 수상기에서 재생될 것이다. 디지털 오디오는 뒤의 장들에서 다뤄질 것이다.

디지털 비디오는 아날로그 비디오의 간단한 확장이다. 한번 아날로그 비디오를 이해하고 나면, 디지털 비디오가 어떻게 만들어져서 다뤄지고, 처리되고, 아날로그 신호와 어떻게 상호 변환되는지 이해하기 쉽다. 아날로그와 디지털 비디오에는 많은 비슷한 제약 조건들이 있고, 디지털 영역에서 발생할 수 있는 많은 문제들은 나쁜 아날로그 소스 비디오에 기인한다. 따라서, 아날로그와 디지털 비디오 장치의 설계와 작동에 대한 기준이 되는 표준을 마련하는 것이 중요하다.

### 2.1 아날로그 세계를 설명하는 숫자들

초기 디지털 비디오는 단순히 아날로그 NTSC나 PAL 컴포지트 비디오 신호의 디지털 표현일 뿐이었다. 표준들은 작동 한계를 설명하고 각 전압 레벨을 설명하는 숫자들과 각 숫자들이 어떻게 만들어지고 복원되는지를 규정했다. 데이터 속도가 빨랐기 때문에 디지털 비디오 데이터를 내부적으로 8비트나 10비트 버스로 다루는 게 일반적이었고, 초기 표준들은 여러 선을 이용한 외부 연결을 다뤘다. 표준들은 수상기와 전달된 데이터들을 동기화하고 또 임베디드 오디오와 같은 추가적인 기능을 제공하는 특정한 부가 데이터와 관리 데이터들을 설명했다. 나중에, 고속 처리가 가능해지자, 단일 선을 이용한 직렬 인터페이스 표준이 만들어졌다. 기본적으로, 디지털 비디오는 아날로그 전압의 숫자 표현이며, 빠르게 변하는 비디오와 필요한 부가 데이터를 담기 충분하게 빠르게 나타나는 숫자 데이터들이다.

## 2.2 컴포넌트 디지털 비디오

초기 아날로그 효과 장치 설계자들은 빨강, 초록, 파랑 채널을 신호처리 과정에서 최대한 분리하는 것의 이점을 깨달았다. NTSC와 PAL 인코딩/디코딩 과정은 투명하지 않으므로(역주: 정보를 그대로 보존하지 않으므로) 여러 번 인코딩하고 디코딩하는 것은 점점 신호를 열화시킨다. 카메라 신호는 빨강, 초록, 파랑 각각의 독립적인 정보에서 시작하고, 이 신호들을 시스템 내에서 최대한 덜 포맷 변환을 해서 NTSC나 PAL 신호로 인코딩해서 시청자들에게 보내는 게 가장 좋다. 하지만 이 세 개의 서로 관련있는 정보의 채널을 개별적으로 방송국 내에서 다루는 것은 물류 문제(역주: 케이블 포설 등)와 신뢰성 문제를 일으킨다. 실질적인 관점에서, 이 세 신호는 하나의 선 혹은 동축 케이블 내에 같이 존재해야 한다. 이 세 가지 빨강, 초록, 파랑 비디오 채널들을 행렬을 이용하여 섞어서 보다 효율적인 휘도와 두 가지 색차 신호로 만들어서 각각을 디지털화한 후 하나의 동축 케이블에 다중화해서 담으면 되는 것으로 밝혀졌다. 이 데이터 신호를 NTSC나 PAL 콤포지트 비디오 다루듯이 다룰 수 있다. 이제 우리는 고속의 숫자 데이터 흐름을 다루고 있다. 이 데이터 신호는 NTSC나 PAL 비디오 신호의 5.6 MHz 신호보다 훨씬 빨리 변하는 에너지를 담고 있지만, 어느 정도 실질적인 거리까지는 손실 없이, 별다른 조치 없이 다룰 수 있다. 한번 비디오 신호가 디지털 영역으로 들어오면, 우리는 디지털 영역 내에서 추가적인 손실이나 채널 간 영향 없이 각 구성 요소들을 뽑아서 개별적으로 처리하고 다시 합칠 수 있다.

각 요소와 디지털 기술은 비디오 품질 관리에 큰 도움을 주었으며, 디지털 장치들의 속도는 HD 비디오의 대역폭을 실현 가능하게 했다. 디지털은 필요한 데이터량을 줄일 수 있게 해주는 다양한 압축 알고리즘을 이용한 처리가 가능하게 한다. 이제 HD 비디오와 다채널 오디오

오를 고품질 실시간 아날로그 비디오에서 요구되는 대역폭 내에서 전송할 수 있다. 비디오 압축이라는 주제는 많은 출판물에서 다뤄지고 있으며(참고 문헌을 보라) 이 글에서는 다루지 않을 것이다.



## 제 3 장

# 아날로그에서 디지털로

디지털 데이터 스트림은 각각의 개별 구성 요소들로 쉽게 분해될 수 있는데, 이들은 보통 아날로그에서 대응되는 것들과 같은 역할을 한다. 아날로그와 디지털 비디오 영역을 설명하고 비교하는 동안 계속 이 관계를 사용할 것이다. 한번 아날로그와 디지털 비디오의 유사성을 이해하고 나면 HDTV를 다룰 수 있는데, 보통 이는 이에 대응되는 HD 아날로그 포맷의 디지털적 표현이다.

NTSC와 PAL 비디오 신호들은 색의 삼원색인 빨강, 초록, 파랑 세 개의 카메라 채널의 합성인데, 행렬을 이용하여 합쳐져서 휘도를 만들고 이는 두 개의 색상 정보를 담고 있는 반송파 억압 변조의 결과물과 합쳐진다. 세 번째 단일 채널 컴포지트 전송 시스템은 SECAM 시스템인데, 이는 색상 정보를 전달하기 위해 한 쌍의 주파수 변조된 반송파들을 이용한다. 스튜디오에서는 카메라의 RGB 감지 장치와 종단 디스플레이의 RGB 채널 사이의 어느 단에서도 신호가 NTSC, PAL 혹은 SECAM이 되어야 할 특별한 요구 조건은 없다. NTSC, PAL 또는 SECAM에 대한 이해가 충분히 유용한 이상, 컴포지트 비디오에 대해서 더 많은 이해를 위해 투자하진 않을 것이다.

### 3.1 RGB 컴포넌트 신호

비디오 카메라는 이미지를 빛의 삼원색인 빨강, 초록, 파랑으로 분할한다. 카메라의 센서들은 이 각각의 단색 이미지들을 분리된 전기 신호로 변환한다. 그림의 왼쪽 끝과 최상단을 알려주는 동기 정보가 이 신호들에 추가된다. 디스플레이를 카메라와 동기화시키는 정보가 초록 채널에, 때로는 모든 채널에 더해지거나 아니면 별도로 전달된다.

가장 간단한 배선은 그림 1에 나와 있듯이 R, G, B를 카메라에서 그대로 뽑아서 모니터에 연결하는 것이다. 여러 선을 이용한 전송 시스템은 아날로그 SD에서나 HD 비디오에서나 같다. 여러 선을 이용한 연결은 작고, 영구적으로 구성된 부분 시스템에서 사용될 수 있을 것이다.

이 방법은 카메라에서 디스플레이까지 고품질의 이미지를 만들어내지만, 신호를 세 분리된 채널로 전송하기 위해선 엔지니어가 각 채널이 신호를 처리할 때 같은 이득, 직류 오프셋, 시간 딜레이와 주파수 응답을 갖게 해야 한다. 각 채널의 이득이 다르거나 직류 오프셋에 오차가 생기면 최종 디스플레이 출력에서 미묘한 색상 변화가 일어날 것이다. 시스템에 타이밍 오차가 있을 수도 있는데, 이는 케이블 길이가 다르거나 각 신호를

카메라에서 디스플레이까지 라우팅하는 경로가 달라서 생길 수 있다. 이는 채널간 타이밍 오프셋을 만들 것이고 영상이 뭉개지게 만들 것이고, 심한 경우 이미지가 분리되어 여러 개가 나타날 것이다. 주파수 응답의 차이는 채널이 합쳐질 때 일시적인 악영향을 만들 것이다. 분명히 세 채널을 하나로 다룰 방법이 필요하다.

NTSC나 PAL 인코더와 디코더를 그림 2와 같이 추가하는 것은 방송국 내에서 신호가 하나의 선으로 다뤄지는 것 외에는 단순화에 도움을 주지 못한다. 시스템 대역폭은 세 비디오 신호의 에너지를 4.2 MHz(NTSC)나 5.0에서 5.5 MHz(PAL) 내에서 다루기 적절하게 정해진다. 단일 선 구성은 비디오 라우팅을 쉽게 해 주지만, 더 먼 경로에 대해서 주파수 응답과 타이밍 문제를 고려해야 한다. NTSC와 PAL 신호 모두에서 색상차와 휘도는 4.2 MHz(NTSC) 또는 5.0이나 5.5 MHz(PAL)의 대역폭을 공유하므로, 여러 번의 인코딩과 디코딩은 피해야 한다. (역주: 좁은 대역폭 안에 신호가 들어가므로 열화를 피해야 함)

위의 시스템에서 NTSC/PAL 인코더와 디코더를 컴포넌트 디지털 인코더와 디코더로 대체함으로써 그림 3의 구성은 더 복잡하지도 않으면서 더 좋은 성능을 보인다. 하나의 동축 케이블에 들어있는 에너지는 SD 신호일 경우 270 Mb/s, HD 신호일 경우 1.485 Gb/s 이상의 속도이다. SD 신호는 전통적인 방송 텔레비전 채널을 통한 전송을 하기 위해 아날로그 NTSC나 PAL로 변환될 수 있다. HD 신호는 기존의 NTSC나 PAL 채널의 대역폭에 맞춰져서 공중파로 전송되기 위해서 압축되어야 한다.

## 3.2 감마 보정

비디오 신호를 다룰 때 고려해야 할 아날로그 요소는 비디오 디스플레이는 장면의 각 요소들의 밝기를 정확

하게 표현한다는 생각이다. 음극선관(CRT) 디스플레이는 근본적으로 비선형 장치로서, 디스플레이에 가해지는 전압은 비선형적인 함수에 따라 정해지는 빛의 양으로 출력된다. 이 함수가 장치의 감마이다. 선형적인 응답을 얻기 위해서, TV 시스템 내에서 보정 요소가 가해져야 한다. 따라서, 카메라의 RGB 신호는 CRT의 역함수에 의해서 감마 보정이 이루어진다. 감마 보정된 신호는 R', G', B'와 같이 프라임(')마크가 붙어서 감지 장치에서 디스플레이로의 전달 함수에 대한 보정이 들어갔음을 나타낸다. 프라임 마크가 귀찮고, 때로 부적절하게 생략되긴 하지만, 표준 문서를 따르기 위해서 이 글에서 계속 사용될 것이다.

LCD와 PDP가 보편적인 오늘날에는(역주: 이 글이 처음 쓰인 지 꽤 시간이 지났다) 감마 보정이 더이상 필요 없을 것이라고 생각될 수도 있다. 하지만, 인간의 밝기에 대한 시각 반응도 지수함수적인데, 약 1/3승을 따른다. 가장 좋은 명암 표현과 신호대잡음비(S/N, SNR)을 위해서 비디오 인코딩은 같은 지수함수를 이용한다, 이를 인지적 코딩이라고 한다.

## 3.3 감마 보정은 CRT 반응에 대한 보정 이상을 의미한다

CRT를 위한 감마 보정은 거의 최적의 인지적 보정이다. 이러한 이유로, 감마 보정 장치에 의해 보정 요소가 있는 시스템을 평가할 때는 유의해야 한다.

그림 4는 ITU-R BT.709 표준에 따른 0.45승을 이용한 감마 보정을 보여주는데, 이 표준은 디지털 HD 비디오에 대한 보편적인 표준이다. 이 감마 보정은 CRT의 비선형성 교정과 인지적 코딩을 위해서 카메라에 적용된다. CRT의 비선형성은 2.2에서 2.6의 지수승을 갖는 지수함수이고, 대부분의 CRT는 2.5의 지수승을 갖는

다. 최종적인 전체 시스템의 감마는 약 1.2로 일반적인 시청 환경에서 거의 이상적인 값이다. 이 응답은 대략적으로 인간의 밝기 인지 특성에 적합하고, 결과적으로 비디오가 전송을 위해 디지털화될 때에 필요한 비트 수를 줄여준다.

### 3.4 R'G'B' 신호의 휘도와 색상차 신호로의 변환

빨강, 초록, 파랑의 비디오 요소들은 카메라의 감지 장치의 근본적인 것들이고 비디오 색상을 다룰 때 거의 항상 이용된다. 하지만 RGB는 비디오 처리를 할 때 이미지를 전달하는 가장 대역폭 효율적인 방법은 아닌데 이는 세 신호가 모두 같은 대역폭을 가져야 하기 때문이다. 인간의 시각은 색의 변화보다 밝기의 변화에 더 민감하고, 이를 이용해서 휘도 정보에 전체 대역폭을 할당하고 색차 신호들에는 남는 공간을 할당하는 방법을 통해서 대역폭 효율을 올릴 수 있다.

비디오 신호 요소들을 휘도와 색차 값으로 처리하는 것은 전달되어야 하는 정보량을 줄여준다. 밝기와 신호의 세부 표현을 담당하는 휘도 채널( $Y'$ )에 전체 대역폭을 할당함으로써, 두 개의 색차 채널( $R'-Y'$ 와  $B'-Y'$ )은 휘도 채널 대역폭의 절반 정도만 사용해도 충분한 색 정보를 제공할 수 있다. 이를 이용해서 간단한 선형 행렬로  $R'G'B'$ 와  $Y', R'-Y', B'-Y'$ 를 상호 변환할 수 있다. 색차 신호 채널의 대역폭 제한은 행렬을 이용해서 할 수 있다. 채널이 디스플레이에서  $R'G'B'$ 로 복원될 때, 밝기 세부 정보는 전체 대역폭을 이용해서 복원되고 공간적인 색 세부 정보는 수용 가능한 정도로 제한된다. 다음에 나오는 문단과 표에서 인코더와 디코더 내에서 일어나는  $R'G'B'$ 에서  $Y', R'-Y', B'-Y'$ 로의 변환을 다룰 것이다. 감마 보정된  $R'G'B'$  요소들은 행렬을 이용해서 감마 보

정된 휘도( $Y'$ )와 두 개의 색차 요소로 바뀐다. 휘도와 색차 요소들은 표1에 나온 값들을 이용해서  $R', G', B'$ 로부터 나온다(각 계수들의 단위는 볼트이다).

표1은  $R'G'B'$ 에서  $Y', (R'-Y'), (B'-Y')$ 로의 변환에 사용되는 전압의 범위를 알려준다. 휘도 신호는 0에서 700 mV의 다이내믹 레인지를 갖는다. 색차 신호들인  $R'-Y'$ 와  $B'-Y'$ 는 여러 요소 포맷들에 따라 달라지는 배율에 의해 다른 다이내믹 레인지를 가질 수 있다.  $Y'P'bP'r$ 로 표기되는 아날로그 요소 포맷에서는 두 색차 값은  $\pm 350$  mV의 다이내믹 레인지를 갖는다. 이는 비디오 신호 처리를 더 단순하게 해준다. 아날로그  $Y'P'bP'r$  값은 오프셋이 더해져서 디지털 표준에서 보통 사용되는  $Y'C'bC'r$ 이 된다. 이로부터 나오는 비디오 요소들은 흑백 비디오 신호와 비슷한  $Y'$  또는 휘도 채널과 두 개의 색차 채널인  $C'b$ 와  $C'r$ 인데 이들은 밝기 정보 없이 색상 정보만 전달하며 이 세 신호는 모두 디지털 데이터로 변환되기 적절하게 배율이 곱해진다.

여러 다른 색차 포맷들이 다양한 상황에서 사용된다. 컴포지트 PAL, SECAM과 NTSC 인코딩에서 현재 사용되는 계수 값들이 표2에 나와 있는 것처럼 다르다는 것을 아는 것은 특히 중요하다.