

IP 방송제작 기술 7

PTP와 SMPTE 타임코드

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

이번 연재에서는 주로 PTP를 이용한 비디오 동기화에 관해 다루었던 이전 연재들과는 다르게 PTP를 이용한 SMPTE 타임코드 생성에 관해 알아보겠습니다.

이따금 TV에 방송국 내부가 나올 때 방송용 기기들이 가득한 방 벽면에 수많은 모니터들이 있고, 그 모니터 화면 안에 [그림 1]의 시간처럼 보이는 것이 영상과 함께 흐르는 것을 보신 적이 있나요? 이 시간과 비슷해 보이는 것이 타임코드라고 불리는 것입니다.

22 : 42 : 44 : 29

시 분 초 프레임

그림 1. 타임코드

그렇다면 타임코드라는 것은 무엇일까요? 가장 간단히 이야기하면 1초에 수십 번 연속으로 찍은 여러 장의 정지영상을 한 장씩 순차적으로 화면에 표시해 움직이는 동영상을 만드는 TV에서 각각의 정지영상을 구분하기 위한 식별코드라고 보면 됩니다. 그 활용은 여러 가지가 될 수 있습니다. 예를 들면, 드라마에서 같은 장면을 여러 번 반복 촬영 후 가장 잘 찍힌 장면의 타임코드를 기억했다 그 타임코드로 해당 장면을 식별하거나, 여러 카메라로 동시에 한 장면을 찍은 후 각 카메라의 샷을 번갈아 이어 붙일 때 타임코드로 각 카메라 영상의 촬영 순서를 일치시키는 등의 활용을 할 수 있습니다. 이 타임코드는 [그림 1]과 같이 [시간 : 분 : 초 : 프레임]으로 이루어져 있습니다. 타임코드도 이용분야에 따라 각각의 버전이 있지만, 방송에서 일반적으로 쓰는 타임코드는 미국의 SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)에 의해 1960년대에 만들어진 'SMPTE 타임코드'입니다.

SMPTE 타임코드는 초당 24, 25, 29.97, 30프레임의 영상을 표시할 수 있는 타임코드이며, 프레임은 정지영상 1장을 나타냅니다. 그러므로 초당 30프레임 영상이라고 하면 1초에 30장의 정지영상을 순차적

으로 표시하여 동영상을 만드는 방식입니다. SMPTE 타임코드가 표시되는 방식을 초당 30프레임 영상을 예로 들어 설명하겠습니다. 초당 30프레임의 영상을 표시할 때, SMPTE 타임코드의 경우 [그림 1]의 프레임은 1/30초마다 0~29까지 30개의 숫자를 순차적으로 반복하고, [그림 1]의 초는 영상의 30프레임이 1초와 같으므로 프레임 숫자가 29에서 0으로 리셋될 때 1씩 증가합니다. [그림 1]의 분과 시간도 같은 원리로 증가하며 사실상 겉모습은 프레임의 두 자리 숫자만 제외하면 시계와 큰 차이가 없습니다. SMPTE 타임코드가 표현할 수 있는 초당 프레임 수 중에 24프레임은 영화에서, 25프레임은 주로 유럽의 TV, 29.97프레임과 30프레임은 북미의 TV에서 주로 사용됩니다. 그런데 정수인 24, 25, 30과 달리 29.97프레임은 뭘까요? 어떻게 1초에 표시되는 프레임의 수가 정수가 아닌 소수일 수 있을까요? 그리고 어떻게 이 소수의 프레임 수를 SMPTE 타임코드를 사용해서 나타낼 수 있을까요? 이를 설명하기 위해 북미의 TV 역사를 잠시 들여다보겠습니다.

흑백 TV가 처음 세상에 나왔을 때 TV에서 영상 프레임의 갱신 주기를 가정의 교류전기 주파수인 60Hz와 맞추지 않으면 화면에 줄이 생기는 문제가 있었다고 합니다. 하지만 당시 아날로그 전송 대역폭이 6MHz였던 탓에 초기 흑백 TV 영상은 초당 60프레임의 전송이 불가능하였고, 대신 60프레임의 절반인 초당 30프레임의 영상을 전송할 수밖에 없었다고 합니다. 그러나 30프레임 영상은 화면의 깜박거림이 눈에 보인다는 문제가 있었고, 이를 해결하기 위해 [그림 2]와 같이 초당 60프레임의 영상에서 홀수 번째 프레임은 홀수 라인, 짝수 번째 프레임은 짝수 라인만 발체해서 서로 번갈아가며 표시하는 비월주사(Interlaced) 방식을 개발하였다고 합니다. 참고로, 각각의 프레임에서 발체된 홀수 라인, 짝수 라인 영상을 필드라고 불렀습니다.



그림 2. 영상의 프레임과 필드

이렇게 필드를 번갈아 표시하면 눈의 잔상효과로 인해 화면의 깜박거림이 사라지며 전송되는 영상신호의 정보량은 30프레임 방식과 같고, 60Hz의 전기와도 잘 맞는 장점이 있었습니다. 그리고 덤으로 후에 녹화용 카메라가 개발되었을 때 60Hz의 교류전기로 카메라의 영상 프레임 촬영 속도를 제어하는 것 또한 매우 편리했다고 합니다. 이런 흑백 TV 방송 시스템의 특성으로 인해 북미에서는 초당 30프레임(30Hz)의 영상을 사용하였고, 유럽은 50Hz의 교류전기를 사용하였으므로 초당 25프레임(25Hz)의 흑백 TV 시스템을 사용하였습니다. 그러다 이윽고 컬러 TV 시대가 도래했고, 북미 TV 엔지니어들은 6MHz 전송 대역 안에 컬러 정보도 같이 보내면서 기존 흑백 TV와 호환성도 유지해야 하는 기술적 숙제를 풀어야 했습니다. 화면에 어떤 오류도 발생시키지 않으면서 추가의 컬러 정보를 더 싣다 보니 어쩔 수 없이 1초에 30장의 영상 프레임(60장의 필드)을 못 보내고 1.001초에 30장의 영상 프레임을 보내는 방식을 개발하게 됩니다. 1.001초에 30장의 영상 프레임을 보내려면 당연히 방송 카메라도 1.001초에 30프레임의 영상을 찍어야 하고, TV도 1.001초에 30프레임의 영상을 보여줘야 하겠죠? 이런 사정으로 매초 $30/1.001 = 29.97$ 프레임을 사용하는 컬러 TV 영상이 생겨나게 된 것입니다.

그런데 초당 29.97프레임의 영상에 SMPTE는 어떻게 타임코드를 붙였을까요? 타임코드는 [시 : 분 : 초 : 프레임]에 모두 정수를 사용해야 하므로 어떤 수를 기반으로 프레임을 세던 맞출 수가 없습니다. 일단 정수를 사용해서 프레임을 세면 어떤 문제가 생기는지 30프레임 기반의 타임코드로 예를 들어보겠습니다. 30프레임 기반의 타임코드를 이용해서 초당 29.97프

레이 영상에 맞춰 0시 0분 0초 0프레임에서 시작한 타임코드가 1시간을 가리킬 때까지 타임코드를 생성하면 다음과 같은 계산이 나옵니다.

우선 초당 29.97프레임 영상을 초당 30프레임으로 세는 타임코드가 1초를 가리키기 위해서는 실제로 영상의 30프레임이 경과해야 합니다. 초당 29.97프레임 영상은 30프레임에 1.001초가 걸리므로 타임코드가 1초를 가리킬 때 실제로 흐른 시간은 1.001초입니다. 이 1.001초가 60번 반복되어 $1.001 \times 60 = 60.06$ 초가 흘러야 타임코드가 1분을 가리킵니다. 그리고 60.06초가 60번 반복되어 $1.001 \times 60 \times 60 = 3603.6$ 초가 흘러야 타임코드가 1시간을 가리킵니다. 1시간은 실제로 3600초이므로 초당 29.97프레임의 영상에 30프레임 기반의 타임코드를 붙이면 실제로 1시간하고도 3.6초가 지났을 때 타임코드가 1시간을 가리킵니다. 실제 시간과 타임코드의 시간에 3.6초의 오차가 생기는 것입니다. 이렇게 매시간 3.6초의 오차가 누적될 경우 하루가 지나면 $3.6 \times 24 = 86.4$ 초의 오차가 발생하여 타임코드와 실제 시간의 차이가 1분을 넘기게 됩니다. 이렇게 계속 오차가 누적되는 상황이라면 초당 29.97프레임 영상에 30프레임 기반의 SMPTE 타임코드를 붙이는 것은 불가능할 것만 같습니다. 그렇지만 SMPTE는 'Drop Frame Timecode'라는 것을 고안하여 30프레임을 세야 1초가 올라가는 방법 때문에 발생하는 타임코드와 실제 시간 간의 오차가 심각히 누적되지 않게 했습니다. 그럼 Drop Frame Timecode라는 것은 무엇일까요?

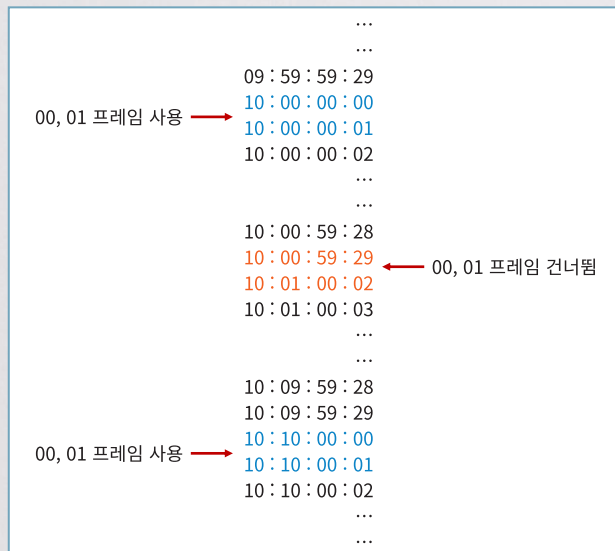


그림 3. Drop Frame Timecode

[그림 3]을 통해 Drop Frame Timecode를 한 방에 이해할 수 있습니다. Drop Frame Timecode라는 것은 결론부터 이야기 하면 경우에 따라 [그림 3]의 빨간색으로 표시된 부분처럼 프레임을 건너뛰며 영상에 타임코드를 붙이는 것입니다. 그렇다면 어떤 규칙으로 프레임을 건너뛰며 타임코드를 붙이는 걸까요? 규칙은 간단합니다. Drop Frame Timecode에서는 0, 10, 20, 30, 40, 50분을 제외한 모든 분의 0초에서 0과 1의 두 프레임을 건너뛰니다. 여기서 건너뛰는 것은 영상의 프레임을 진짜로 빼거나 하는 게 아니라 영상은 그대로 두고 영상의 프레임에 붙이는 타임코드만 건너뛰는 것입니다. 이런 방식으로 타임코드의 프레임을 건너뛰면 어떻게 되는지 간단한 산수를 해보겠습니다.

우선 초당 30프레임을 가정하여 생성한 타임코드가 1시간 경과하려면 $30 \times 60 \times 60 = 108,000$ 프레임이 필요합니다. 그런데 Drop Frame Timecode에서는 0, 10, 20, 30, 40, 50분을 제외한 모든 분의 0초에서 0과 1의 두 프레임을 건너뛰므로 60분에서 0, 10, 20, 30, 40, 50의 6개분을 제외한 54개분의 0초에서 2프레임의 타임코드를 건너뛰어 $54 \times 2 = 108$ 개에 해당하는 프레임 수를 건너뛰므로 Drop Frame Timecode가 1시간 경과하는 데는 $108,000 - 108 = 107,892$ 개의 영상 프

레이미 경과하면 됩니다. 이제 초당 29.97프레임 영상이 107,892프레임 경과하는데 1시간이 걸리면 30프레임 기반의 타임코드에서 특정 프레임의 타임코드를 건너뛰는 Drop Frame Timecode 방식을 통해서 초당 29.97프레임 영상의 타임코드와 실제 시간의 오차를 제거할 수 있다는 것을 확인하는 계산만 남았습니다. 초당 29.97프레임 영상은 1.001초에 30프레임이 대응되므로 영상 1프레임에 걸리는 시간은 1.001/30초이고 107,892프레임에 걸리는 시간은 $107,892 \times 1.001 / 30 = 3,599.9964$ 초 입니다. 실제 1시간인 3,600초와 비교해서 $3,599.9964 - 3,600 = -0.0036$ 초, 다시 말해서 -3.6ms의 오차만 존재합니다. 아쉽게도 Drop Frame Timecode를 사용해도 29.97프레임 영상의 경우 타임코드와 실제 시간을 완벽히 일치시킬 수는 없습니다.

그렇다면 이 오차는 시간이 지날수록 어떻게 될까요? 우선 1시간에 -3.6ms의 오차가 발생하므로 하루인 24시간 후에는 $-3.6 \times 24 = -86$ ms의 오차가 발생합니다. 매우 작은 오차라서 하루 이틀 정도는 실용적 레벨에서 무시하고 써도 상관없습니다. 하지만 이 오차가 누적되어 초 단위로 실제 시간과 차이가 나는 것이 눈에 보이기 시작하면 무슨 조치를 해야겠지요? 그래서 SMPTE에서는 Jam이라는 것을 정의합니다. Jam은 타임코드를 실제 시간과 강제로 일치시키는 일종의 리셋 같은 겁니다. 예를 들어 정파 시간 등 타임코드를 리셋해도 괜찮은 시간에 강제로 타임코드를 실제 시간과 똑같이 맞춤으로써 Drop Frame Timecode로도 해결 안 되는 작은 오차의 누적을 해결합니다.

그런데 [그림 2]에서 북미의 TV 엔지니어들이 비월주사 방식을 개발하였고, 이 방식은 프레임이 아닌 필드를 사용한다고 했는데, 어떻게 이 영상에 프레임을 세는 타임코드를 붙일까요? 해결 방법은 복잡하지 않습니다. 2개의 필드를 1개의 프레임으로 간주하므로, 홀수 라인 필드와 짝수 라인 필드에 똑같은 프레임을 나타내는 타임코드를 붙입니다. 같은 타임코드가 붙은 두 필드에서 하나는 홀수 라인 필드이고 다른 하나는 짝수 라인 필드이므로 같은 타임코드가 붙어있다고 해도 필드를 구분하는 것에 실용적 문제는 없습니다. 참고로, 초당 29.97 영상의 타임코드를 실제 시간과 일치시키기 위해 특정 프레임을 건너뛰는 방식인 Drop Frame Timecode와 반대로 모든 프레임을 다 세는 방식은 Non Drop Frame Timecode라고 부릅니다.

이상으로 SMPTE 타임코드에 대해 설명드렸습니다. 마치기에 앞서 Drop Frame Timecode에서 Drop Frame이라는 용어가 만들어낸 한 가지 큰 오해에 대해 이야기 드리겠습니다. 독자분들 중에 방송기술계에서 현직에 계셨거나, 현재 현직에 계신 분들은 아마도 1001장마다 한 장씩 영상을 빼서 초당 30프레임 영상을 초당 29.97프레임 영상으로 만든다고 이야기하는 것을 들어보셨을 겁니다. 언뜻 그럴듯한 이야기로 들립니다. 그리고 많은 분이 이 이야기를 별 의심없이 믿으셨을 겁니다. 그런데 1001장마다 영상 프레임 1장을 빼면 영상이 정말 괜찮아 보일까요? 현직에서 영상을 담당해본 분들은 한 프레임만 영상이 튀어도 눈에 보인다는 것을 아실 겁니다. 실제 영상의 프레임이 아닌 타임코드에서 프레임 숫자만을 건너뛰는 타임코드를 Drop Frame Timecode라고 이름 붙이고, 이 Drop Frame Timecode에서 Drop Frame이라는 용어가 마치 실제 영상의 프레임을 빼는 것으로 사람들을 착각하게 하여 이런 잘못된 믿음이 생겼던 것 같습니다. 사실 이는 우리나라만이 아니라 전 세계에서 똑같이 나타난 현상입니다. 북미의 엔지니어들도 Drop Frame Timecode라는 용어 때문에 실제로 영상의 프레임을 빼는 것으로 착각하는 사람들이 많다고 합니다. 이제 Drop Frame Timecode에 대해서 정확히 아셨으니 더는 이런 잘못된 소문을 믿지 마시기 바랍니다.

다음 연재에서는 PTP를 이용하여 SMPTE 타임코드를 생성하는 부분에 대해 설명드리겠습니다. 그럼 독자 여러분 더위에 건강관리 잘하세요!!! ☺