

IP 방송제작 기술 6

PTP와 비디오 프레임 동기화

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

PTP에 관한 지금까지의 연재를 통해서 어떻게 네트워크 내의 Master Clock(동기화 소스)과 Slave Clock(방송장비)들이 동기화되는지를 설명해 드렸습니다. 하지만, 이는 장비 내부의 시계들이 일치하게 만드는 것일 뿐, 각 장비가 처리하는 비디오 프레임의 장비 간 동기화는 어떻게 이루어지는 것일까요? 기존 SDI 시스템에서는 비디오의 프레임마다 기준이 되는 신호를 발생시키는 Sync Generator라는 장치로부터 비디오 프레임의 시작을 알리는 신호를 받았으나, PTP 시스템에서는 장비들의 시계만 맞춰놓았을 뿐, 비디오 신호를 언제 발생시켜서 언제 출력해야 하는지에 관한 구체적 방법에 대해서는 언급이 없었습니다. PTP를 이용하여 Master Clock하고 Slave Clock들의 시간을 나노 세컨드 단위의 오차 이내로 정확히 맞출 수 있다고 이런저런 설명들을 늘어놓았으나, 비디오 프레임 동기화에 관한 내용이 아직 없다 보니 단무지 없이 자장면을 먹는 것 같이 방송기술인으로서 여러분의 마음 또한 허전함을 금할 수 없음이 절절히 느껴집니다.

여러분의 마음에 분명 차오르고 있을 이런 허전함을 해소해드리기 위해 이번 연재에서는 핵심 중의 핵심인 'PTP를 이용한 비디오 프레임 동기화 방법'에 대해 다루도록 하겠습니다. PTP를 이용한 비디오 프레임 동기화를 설명하기 위해서는 epoch라는 개념이 필요합니다. epoch는 '한 시대의 시작', 또는 '특정 시대나 시기'의 의미를 가진 영단어이며 PTP 네트워크 내 시간 정보의 기준이 됩니다. epoch와 관련하여 좀 더 자세히 이야기해보면, PTP 네트워크에 있는 Master Clock 중에 백업이 아닌 단독 메인 장비로 동작하는 Master Clock을 Grandmaster Clock이라고 부릅니다. 이 Grandmaster Clock이 PTP 네트워크 전체 장비에 보내주는 시간 정보는 1970년 1월 1일 0시 0분 0초에서 현재까지 경과한 시간을 초(second)로 나타낸 것입니다. epoch는 바로 1970년 1월 1일 0시 0분 0초를 말합니다.

그렇다면 epoch와 비디오 프레임 동기화는 어떤 관계가 있을까요? [그림 1]과 같이 Grandmaster Clock이 네트워크 내의 Slave Clock들에 보내는 PTP time은 epoch에서 시작한 시간입니다. 설명을 위해 [그

림 1]의 '1 frame'으로 표시한 주기를 갖는 특정 frame rate의 무한 비디오(영상)도 epoch와 동시에 시작되었다는 가정을 더 해보겠습니다. PTP time을 Grandmaster Clock이 네트워크에 연결된 장비들에 알려주고, 이 시간 정보에 네트워크 내 비디오 장비(Slave Clock)들의 내부 Clock이 정밀하게 맞추어지면, PTP time/frame rate의 간단한 나눗셈을 통해 Grandmaster Clock과 모든 네트워크 내 Slave Clock들은 epoch에서 시작한 무한 비디오가 현재 몇 번째 프레임을 지나고 있는지 쉽게 알 수 있습니다. 만약 무한 비디오가 현재 n 번째 프레임을 지나고 있다면 $n+1$ 번째 프레임은 PTP time으로 언제 시작되는지를 $(n+1) \times \text{frame rate}$ 의 간단한 곱셈으로 계산할 수 있습니다.

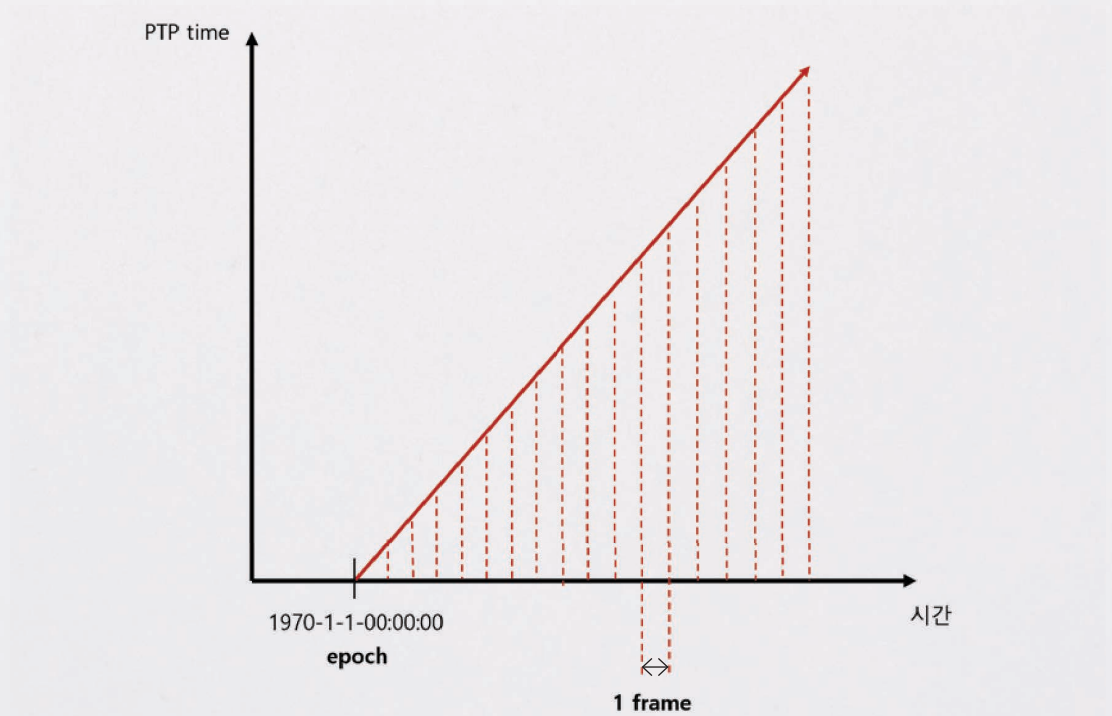


그림 1. PTP time과 비디오 프레임 동기화

약간 허무한 감이 없지 않아 있지만, PTP를 이용한 비디오 프레임 동기화의 핵심은 위의 내용이 전부입니다. 네트워크 내 Grandmaster와 비디오 장비(Slave Clock) 간 PTP time 동기화를 기반으로 epoch에서 시작된 특정 frame rate를 갖는 가상의 무한 비디오를 가정하여 $(N-1) \times \text{frame rate}$ 의 식을 적용하면 N 번째 프레임이 시작하는 PTP time을 간단히 알 수 있고, 이 PTP time에 N 번째 프레임을 출력하면 자연스럽게 네트워크 내 비디오 장비 간 프레임 동기화가 이루어지게 됩니다.

[그림 2]는 PTP time을 이용하여 비디오 프레임을 동기화하는 제작시설의 예입니다. 흥미로운 것은 좌측 붉은색으로 표시한 SDI 장비를 가진 시설입니다. 붉은색 그림에는 Sync 신호를 발생하는 장비로 PTP 장비인 Grandmaster Clock이 그려져 있는데 이 Grandmaster Clock이 출력하는 신호는 PTP time이 아닌 SDI 시스템에서 쓰는 Sync 신호입니다. 실제 방송용 상용제품의 경우 PTP Master Clock 장비가 SDI 장비용 Sync 신호도 동시에 발생시켜주기도 합니다. 이렇게 SDI용 Sync 신호도 발생시키는 상용의 PTP Master Clock 장비가 Sync 신호를 만드는 기본 원리도 앞서 설명한 PTP time과 frame rate를 이용한 방법입니다.

이제 PTP가 무엇이고, 이를 통해 어떻게 방송제작 시설에서 비디오 프레임을 동기화할 수 있는지에 관해 거의 다 이해하셨을 것 같습니다. 그러면 여기서 마지막 화룡점정 응용편으로 들어가 보겠습니다. 이 응용편의 핵심은 앞서 설명된 방법을 그

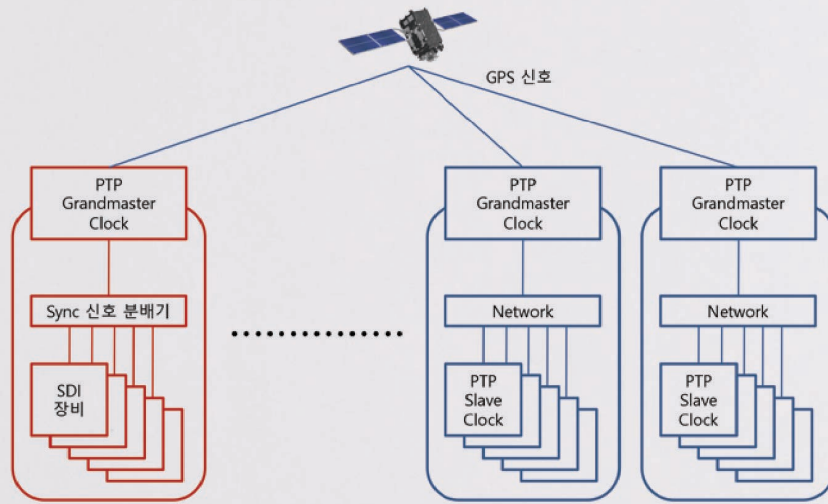


그림 2. PTP time과 비디오 프레임 동기화 가능 Sync 신호

대로 적용해서는 비디오 프레임 동기화가 어려운 경우에 관한 것입니다. 그럼 최상위 고난도 응용편을 위해 [그림 3]을 보겠습니다. [그림 3]은 PTP 네트워크로 묶인 시설이 있고, 이 시설이 SDI 시스템으로 이루어진 상위의 시설과 동기화되어야 하는 경우입니다.

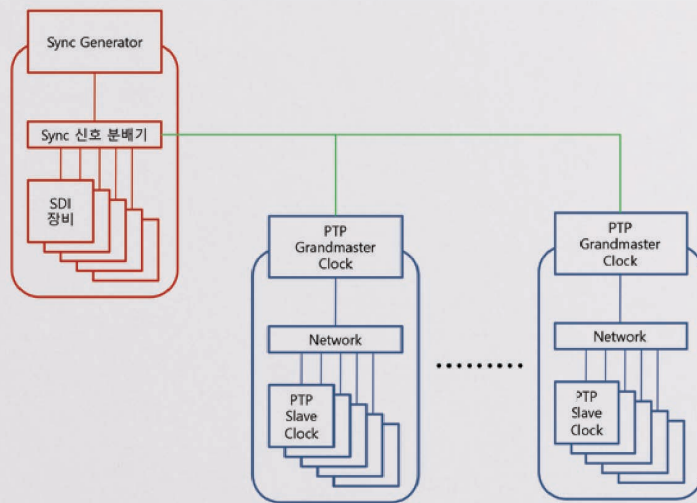


그림 3. Sync 신호와 비디오 프레임 동기화가 가능 PTP time

상용 PTP Master Clock의 경우 앞서 예와 같이 PTP time으로부터 SDI용 Sync 신호를 발생시키기도 하지만, 역으로 [그림 3] 우측의 경우처럼 SDI용 Sync 신호로부터 PTP time을 발생시키는 기능이 있기도 합니다. 그렇다면 어떻게 Sync 신호로부터 PTP time을 발생시키는 걸까요? 매우 거창하게 최상위 고난도 응용편이라고 과장광고를 했지만, 내용은 매우 간단합니다. 앞에서 PTP time으로부터 Sync 신호를 발생시키기 위하여 epoch에서 시작하는 임의의 무한 비디오를 가정했다면, Sync 신호로부터 PTP time을 발생시키기 위해서는 임의의 비디오 프레임 시작점을 epoch로 정하면 됩니다. 네, 그렇습니다. 일반적으로 1970년 1월 1일 00:00:00을 epoch로 사용하지만, 특수한 경우 이 epoch를 [그림 4]와 같이 임의로 지정해서 PTP time을 발생시켜도 됩니다.

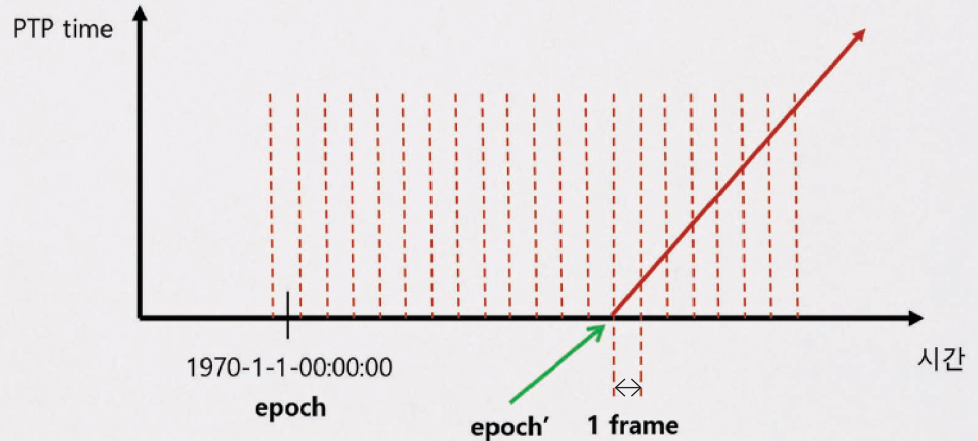


그림 4. Sync 신호와 비디오 프레임 동기화 가능 PTP time 발생 방법

[그림 4]의 수직 붉은 점선들은 [그림 3] 상위 SDI 시스템의 비디오 프레임 주기를 시간 축에서 확장해 나타낸 것입니다. [그림 4]에서 원래의 epoch인 1970-1-1-00:00:00은 상위 SDI 시스템의 비디오 프레임 주기 시작점과 맞지 않으므로 이를 이용해 PTP time을 발생시키면 상위 SDI 시스템과 하위 PTP 시스템의 비디오 프레임 동기화를 이룰 수 없습니다. 이 문제를 해결하는 방법은 다음과 같습니다. 하위 PTP 시스템의 Grandmaster Clock은 입력받는 상위 SDI 시스템의 Sync 신호로부터 임의의 프레임 시작점을 [그림 4]의 epoch'로 설정하고 이를 0초로 하여 PTP time을 발생시킵니다. 이렇게 하면 Grandmaster Clock에 동기화된 다른 Slave Clock들이 계산하는 프레임들의 시작점과 끝점은 상위 SDI 시스템의 Sync 신호가 주는 프레임들의 시작점과 끝점에 일치되게 됩니다. 허무할 만큼 간단하죠?

그렇다면 방송제작에서 비디오와 함께 중요한 요소인 오디오의 동기화는 어떨까요? 오디오 동기화도 비디오 동기화와 다르지 않습니다. 오디오도 오디오 프레임에 할당된 시간 단위로 PTP time에 맞춰 각 Slave Clock에서 처리하고 출력, 전송하면 비디오와 똑같은 원리로 동기화를 구현할 수 있습니다.

지금까지 PTP를 이용한 비디오 프레임 동기화를 설명드렸습니다. 그리고 비디오 동기화와 같은 원리로 PTP 기반의 오디오 동기화도 가능하다는 것도 알려드렸습니다. 다음 연재에서는 방송제작의 또 다른 핵심요소이지만 의외로 현장에서 많은 오해를 안고 있는 타임코드에 대해 다루고 타임코드와 PTP의 관계도 다루어보도록 하겠습니다. 📺