

IP 방송제작 기술 4

PTP(Precision Time Protocol) 개론

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

지난 연재를 통해 PTP 동기화의 기본 원리를 설명해 드렸습니다. 이번 연재에서는 이를 바탕으로 IP 네트워크에서 어떻게 PTP 동기화가 구현되는지에 관한 것들을 설명하겠습니다. IP 네트워크에서 PTP를 구현할 때에는 Ordinary Clock, Boundary Clock, Transparent Clock과 같은 세 가지 종류의 PTP Clock들이 네트워크상에 존재하게 됩니다. 우선 Clock의 종류별로 특징을 요약해보겠습니다.

Ordinary Clock

- 시스템 동기화를 위한 전용 Clock 또는 비디오/오디오 처리 장치
- 동작 방식이나 목적에 따라 아래와 같이 3가지 종류가 있음
 - ① Grandmaster
 - 네트워크 내에서 다른 기기들이 시간의 기준으로 삼는 Mater Clock으로만 동작하고 Mater Clock 이 네트워크를 통해 보내는 시간 정보에 동기화되는 Slave Clock으로는 동작하지 않는 Clock
 - Grandmaster는 일반적으로 GPS 등의 표준 시간을 수신할 수 있고, 정확도 높은 시간 정보를 생성하기 위해 정밀한 오실레이터를 내장하고 있음
 - ② Master / Slave Clock
 - 주로 Slave Clock으로 동작하지만 Grandmaster에 이상이 발생했을 때 Mater Clock의 역할을 수행할 수 있는 Clock
 - ③ Slave only Clock
 - Slave Clock으로만 동작하는 Clock

Boundary Clock

- 네트워크 스위치 장비
- 하나의 포트가 Slave 모드로 동작
- Slave 모드의 포트를 제외한 나머지 포트는 전부 Master 모드로 동작

Transparent Clock

- 네트워크 스위치 장비
- Master Clock의 Sync, Follow up 메시지의 Correction filed를 통하여 Master Clock의 Sync, Follow up 메시지가 Transparent Clock을 통과하는데 소요된 딜레이 정보를 전달

이 3종류의 Clock 중에 Ordinary Clock은 기준이 되는 시간 정보를 발생시키거나, 시간 정보에 동기화되어 비디오/오디오를 처리하는 장치들이므로 기존의 SDI 시스템과 비교해서 낫설지 않습니다. 하지만 Boundary Clock과 Transparent Clock은 '네트워크 스위치 장비'라고 하는데 왜 Clock일 필요성이 있는 걸까요? 이유는 네트워크 스위치가 실시간으로 데이터를 전달하는 장비가 아니기 때문입니다. 네트워크 스위치는 데이터가 입력으로 들어오면 이를 큐(queue)에 저장한 후 순차적으로 목적지로 보내는 것이 일반적입니다. 그 때문에 한 번에 많은 양의 데이터가 들어오면 동시에 보내는 것이 불가능해서 데이터 전송에 지연이 발생합니다. 만약, Grandmaster와 다수의 Slave Clock(Ordinary Clock)들 가운데 네트워크 스위치가 존재하고 PTP 동기화를 위한 Sync/Follow up 메시지가 Grandmaster와 Slave Clock들 사이를 오갈 때 네트워크 스위치에서 지연이 발생하면 PTP 동기화가 이루어질 수 있을까요? 바로 이 한계를 극복하기 위해 PTP 동기화가 필요한 IP 네트워크에서 Boundary Clock과 Transparent Clock이라는 네트워크 스위치를 사용합니다. 그러면 Boundary Clock과 Transparent Clock의 사용으로 어떻게 네트워크 스위치의 특성이 극복되어 PTP 동기화가 가능해지는지 알아보겠습니다.

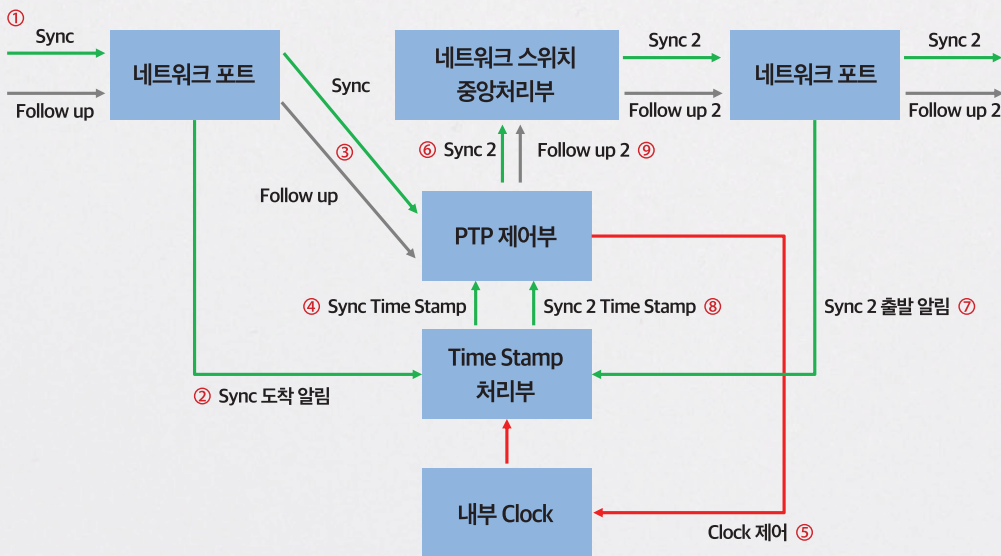


그림 1. Boundary Clock

우선 Boundary Clock에 대해서 알아보겠습니다. Boundary Clock은 Grandmaster에 Slave 모드로 동작하여 자기 자신을 동기화시킨 후, 네트워크 종단의 Slave Clock들에는 Master Clock으로 동작하여 PTP 동기화 메시지를 발생시키는 네트워크 스위치입니다. 자기 자신이 Grandmaster에 동기화되어서 다른 Slave Clock들에 Master Clock으로 동작하므로 Grandmaster로부터의 PTP 동기화 메시지가 내부 큐에 의한

데이터 전송의 지연을 겪지 않습니다. 상세한 설명을 위해 [그림 1]에 Boundary Clock의 내부를 개념화해서 나타내었습니다. [그림 1]은 Boundary Clock의 동작을 설명하기 위한 개념도에 가까우므로 실제 Boundary Clock의 내부구조와 다를 수 있습니다.

지난 연재에서 설명해 드렸듯이 Grandmaster는 PTP 동기화를 위해 Slave Clock들에 Sync/Follow up 메시지를 연속해서 보냅니다. 이 Sync/Follow up 메시지가 [그림 1]의 ①과 같이 Boundary Clock의 포트로 들어옵니다. 포트로 들어온 Sync/Follow up 메시지는 ③과 같이 Boundary Clock 내부의 PTP 제어부로 들어가며, 포트에 Sync 메시지가 들어올 때마다 이를 알리는 신호도 ②와 같이 Boundary Clock 내부의 Time Stamp 처리부로 들어갑니다. Time Stamp 처리부는 Sync 도착 알림 신호가 들어올 때마다 내부 Clock의 시간을 기준으로 ④와 같이 Sync Time Stamp를 생성하여 Sync 메시지의 수신 시간을 PTP 제어부에 알려줍니다. PTP 제어부는 Follow up 메시지 안에 들어있는 Sync 메시지 송신 시간과 Time Stamp 처리부가 보낸 정보로 Sync 메시지가 수신된 시간을 모두 알 수 있으므로 지난 연재에 소개된 방법을 통해 ⑤와 같이 내부 Clock을 정밀하게 제어하여 Grandmaster와 Boundary Clock을 동기화 시킵니다(PTP 동기화에는 Sync 메시지 이외에 Delay request 및 Delay response 메시지가 추가로 더 필요하지만, 복잡함을 피하기 위해 그림에서는 생략했습니다). ①~⑤를 통해서 Grandmaster에 완벽히 동기화가 되면 Boundary Clock은 자신에게 연결된 다른 Slave Clock들에 Master Clock으로 동작하게 됩니다. 이를 위해서 Boundary Clock은 Grandmaster의 Sync/Follow up이 아닌 자신이 만든 Sync 2/

Follow up 2 메시지를 자신의 내부 Clock 시간을 기준으로 생성하여 Slave Clock들에 전달합니다. 이 과정은 다음과 같습니다. 우선 ㉔과 같이 PTP 제어부에서 Sync 2 메시지를 만들어서 포트를 통해 Slave Clock들에 전달합니다. 이때 포트에서는 ㉕과 같이 Sync 2 신호가 전송됐음을 알리는 신호를 Time Stamp 처리부에 전달하고, 이 순간의 시간 정보를 담은 Sync 2 Time Stamp가 ㉖와 같이 PTP 제어부에 전달됩니다. PTP 제어부는 이 Time Stamp를 담은 Follow up 2 메시지를 생성하여 Slave Clock들에 전달합니다. 지금까지 설명된 바와 같이 Boundary Clock은 Grandmaster에게는 Slave로 동작하여 PTP 동기화되고, 이 PTP 동기화를 바탕으로 Slave Clock들에는 Master Clock으로 동작하여 앞에 언급된 네트워크 스위치의 동작 특성에도 불구하고 전체 시스템의 PTP 동기화를 이룰 수 있게 해줍니다.

[그림 1]의 Boundary Clock은 Follow up 메시지를 사용하고 있습니다. 하지만 지난 연재에서 이미 설명해 드렸듯이 예전 PTP 장비의 경우 Time Stamp가 포함된 Sync 메시지를 만들고, 이를 네트워크로 전송하기 위해 전기적 신호로 변환하는데 걸리는 시간이 PTP 동기화의 정밀도를 구현하기에는 충분히 빠르지 못해서 우선 Time Stamp가 없는 Sync 메시지를 보내고, 이어서 Sync 메시지가 전송된 시간의 Time Stamp 정

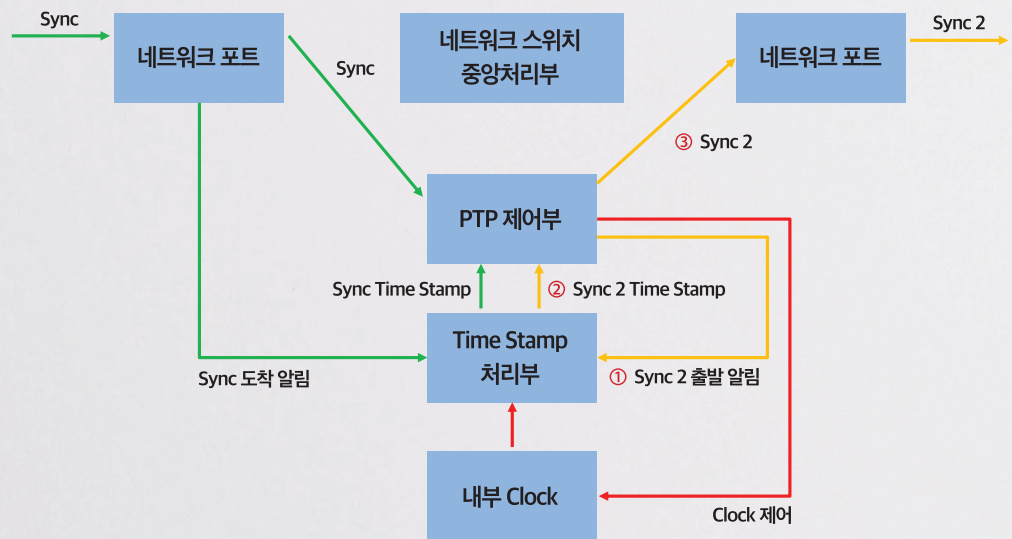


그림 2. Follow up 메시지를 사용하지 않는 Boundary Clock

보를 포함한 Follow up 메시지를 보냈지만, 현재의 PTP 장비들은 성능이 개선되어 Sync 메시지 안에 Time Stamp를 직접 삽입해서 전송해도 메시지 전송 처리속도에 문제가 없기 때문에 Follow up 메시지를 사용하지 않는 장비가 많습니다. 그렇다면 Follow up 메시지를 사용하는 Boundary Clock과 그렇지 않은 Boundary Clock의 동작은 어떤 차이가 있을까요? [그림 2]에 Follow up 메시지를 사용하지 않는 Boundary Clock의 구조를 개념적으로 나타내보았습니다. Follow up 메시지를 사용하지 않는 Boundary Clock이 Follow up 메시지를 사용하는 Boundary Clock과 가장 크게 차이나는 부분은 [그림 2] 우측의 Sync 2 메시지를 생성하고 보내는 부분입니다. Follow up 메시지를 사용하지 않는 경우 [그림 2]의 ㉑와 같이 PTP 제어부가 Sync 2 메시지를 보낼 준비가 되면 Time Stamp 처리부에 Sync 2 메시지를 보내겠다는 신호를 주고 ㉒의 Sync 2 Time Stamp를 받아서 삽입한 Sync 2 메시지를 생성하여 ㉓와 같이 네트워크 포트를 통해 Slave Clock에 전송합니다.

지금까지 Boundary Clock의 동작 방식을 이해하는데 적절한 설명이 된 것 같습니다. 그렇다면 이제 남은 것은 Transparent Clock에 관한 설명입니다. Transparent Clock도 네트워크 스위치라고 했는데 Boundary Clock과는 어떻게 다른 걸까요? [그림 3]을 보며 이야기하겠습니다. Transparent Clock의 경우 Sync 메시지가 입력 네트워크 포트에서 PTP 제어부로 가지 않고 네트워크 스위치 중앙처리부를 거쳐 출력 포트로 직접 나간다는 것을 제외하면 ㉑~㉕의 과정을 통해서 Grandmaster에 내부 Clock을 동기화시키는 과정은 [그림 1]의 Boundary Clock과 동일합니다. 하지만 Transparent Clock의 경우 Boundary Clock처럼 Slave Clock들에 Master Clock으로 동작하지 않고, 단지 Sync 메시지가 자기 자신을 통과하며 얼마의 지연이 발생했는지만을 Slave Clock들이 알게 하여 Slave Clock 스스로가 이 지연시간을 차감하여 Grandmaster에 PTP 동기화할 수 있게 해주는 네트워크 스위치입니다. 이를 위해 Transparent Clock은 ㉖와 같이 Grandmaster로부터의 Sync 메시지가 자신을 통과하여 Slave Clock들로 가는 포트를 통과할 때 Time Stamp 처리부에 알림 신호를 줍니다. 이 신호를 받

은 Time Stamp 처리부는 내부 Clock의 시간으로부터 Time Stamp를 만들어 PTP 제어부에 제공합니다. PTP 제어부는 이 Time Stamp 정보를 Grandmaster로부터 온 Follow up 메시지 안의 Correction field에 실어서 만든 Follow up' 메시지 (Grandmaster에서 온 Follow up 메시지의 수정 메시지)를 Slave Clock에 전달합니다. 이 Follow up' 메시지를 받은 Slave Clock들은 메시지 안의 Correction field를 통해서 Sync 메시지가 Transparent Clock을 통과하며 지연된 시간을 알 수 있고, 이 시간만큼을 보상하여 Grandmaster에 PTP 동기화를 수행할 수 있습니다.

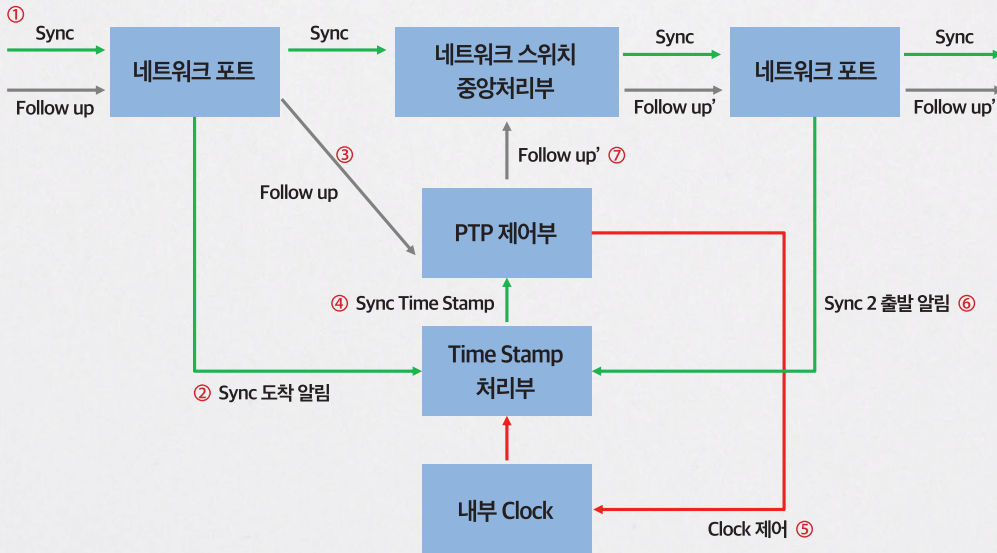


그림 3. Transparent Clock

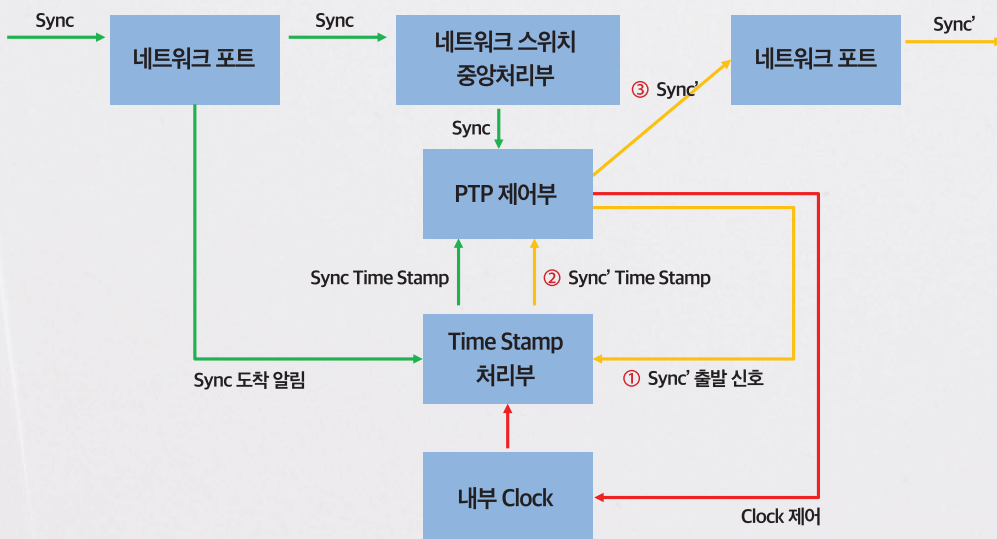


그림 4. Follow up 메시지를 사용하지 않는 Transparent Clock

또한, 최근의 Transparent Clock도 Boundary Clock과 마찬가지로 [그림 4]와 같이 Follow up 메시지를 사용하지 않는 방식이 일반화되고 있습니다. [그림 4]에서 보듯이 Follow up 메시지를 사용하지 않는 Transparent Clock의 ①, ② 단계의 동작은 [그림 2]의 Boundary Clock과 동일한 방식으로 동작하지만 Transparent Clock은 Boundary Clock과 달리 Grandmaster에서 온 Sync 메시지의 Correction field를 수정하여 해당 메시지가 자기 자신을 통과하며 지연된 시간을 기록해주는 방식이므로 PTP 제어부가 새로운 Sync 메시지를 생성하는 대신 ③과 같이 Grandmaster의 Sync 메시지의 Correction field에 Time Stamp 정보를 수정한 Sync' 메시지(Grandmaster에서 온 Sync 메시지의 수정 메시지)를 생성하여 네트워크 포트로 Slave Clock에 전송합니다.

위와 같이 PTP 동기화를 위한 네트워크를 구성하는 핵심요소들인 Ordinary Clock, Boundary Clock, Transparent Clock에 대해서 간단히 알아보았습니다. 다음 연재에서는 IP 네트워크에서 위 세 Clock이 어떻게 연결되어 PTP 동기화가 구현되는지 알아보겠습니다. ☞