

IP 방송제작 기술 18

SMPTE ST 2022-7

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

이번 연재는 SMPTE ST 2022 표준 시리즈의 마지막인 SMPTE ST 2022-7 ‘Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams’ 표준 문서에 대해 다루겠습니다. 우선, 제목의 Datagram 이라는 단어가 낯선 독자 여러분이 계실 것 같습니다. Datagram을 인터넷에서 찾아보면 ‘헤더 및 페이로드로 구분된 패킷 교환 네트워크의 기본 전송단위’ 정도로 표현되어 있습니다. 독자 여러분은 Datagram이 대략 SMPTE ST 2022 연재를 통해 보셨던 RTP 패킷이나 IP 패킷 등과 같은 거라고 보셔도 무방할 것 같습니다. 이전 연재를 통해 설명되었던 SMPTE ST 2022-1부터 2022-6 까지의 표준 문서들은 모두 비디오, 오디오, 부가데이터, FEC 스트림의 전송에 관한 것들이었습니다. SMPTE ST 2022-7은 [그림 1]과 같이 SMPTE ST 2022로 전송되는 스트림의 이중화를 통해 송신단과 수신단 사이의 메인 전송경로에 문제가 발생한 경우 백업 전송경로를 통해 전송된 스트림으로 Seamless하게 절체하여 문제없이 비디오, 오디오 등을 수신하는 방식에 관한 표준입니다.

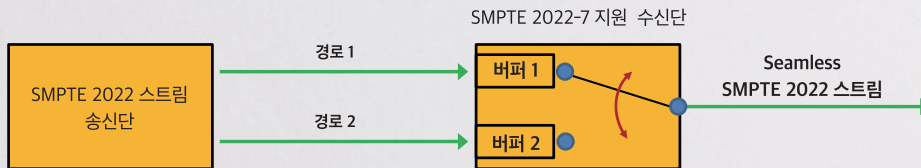


그림 1. SMPTE ST 2022-7 Seamless 스위칭

그렇다면 어떤 방식으로 Seamless 스위칭을 지원하는지 알아보기 위해 [그림 2]를 보겠습니다. [그림 2]에서와 같이 SMPTE 2022-7을 지원하는 수신단은 송신단으로부터 두 개의 다른 경로를 통해 동일한 패킷들을 수신합니다. 이때 수신단의 ‘버퍼 1’과 ‘버퍼 2’가 동일한 패킷을 각각 [그림 2]의 P1, P2의 지연으로 받았다고 가정합니다. P1과 P2는 네트워크 사정으로 인해 시시각각 변할 수 있습니다. P1과 P2가 측정되면 경로 사이의 지연 차를 나타내는 PD(Path Differential)는 [수식 1]로 구해집니다.

$$[\text{수식 1}] \quad \dots\dots PD = |P1 - P2|$$

[그림 2]의 PT는 수신단이 정상 동작하기 위한 최대 지연시간이고, EA는 수신단이 정상동작하기 위한 최소 지연시간이며, [표 1]의 기준을 이용하여 계산할 수 있습니다. PT, EA의 계산에 관해서는 [표 1]의 설명 이후에 설명하겠습니다. 그리고 마지막으로 P1과 P2의 최대 지연차인 MD(Maximum Differential)는 [수식 2]와 같습니다.

$$[수식 2] \quad \dots\dots MD = (PT - EA)$$

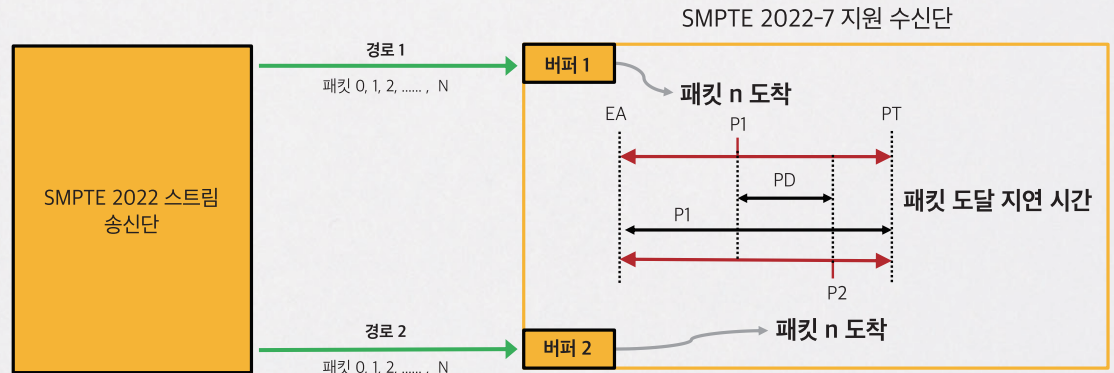


그림 2. SMPTE ST 2022-7 전송지연 파라미터

SMPTE ST 2022-7에서는 경로 간 전송지연 차이에 따라 Seamless 스위칭을 위한 SMPTE 2022-7 지원 수신기의 성능 요건을 Class A, B, C로 분류하고 있습니다. 작은 전송지연 차이를 가정한 Class A 수신기는 [수식 1]의 PD가 10ms 이하인 경우에 Seamless 스위칭을 보장하며, 가장 큰 전송지연 차이를 가정한 Class C 수신기에서는 비압축 스트림(SMPTEST 2022-5/6)의 경우 150ms의 PD까지 Seamless 스위칭을 보장하고, 압축 스트림(SMPTEST 2022-1/2/3/4)의 경우 450ms의 PD까지 Seamless 스위칭을 보장합니다. 수신기의 Class에 따라 가장 중요한 요소는 Seamless 스위칭을 보장하기 위한 수신 버퍼 사이즈입니다. PD가 커질수록 수신 버퍼 사이즈도 커질 수밖에 없습니다.

표 1. 전송지연 차이와 SMPTE 2022-7 지원 수신기 성능 요건

수신기 클래스	압축 스트림	비압축 스트림
Class A	PD : 10ms 이하	PD : 10ms 이하
Class B	PD : 50ms 이하	PD : 50ms 이하
Class C	PD : 450ms 이하	PD : 150ms 이하

[표 1]을 통해 수신기 클래스에 따른 Seamless 스위치 보장을 위한 PD 값의 범위를 알았으니, 이를 이용해 앞서 이야기한 PT와 EA를 계산하는 방법을 설명하겠습니다. 제작사마다 각자의 PT, EA 계산방식을 추구할 수 있으나, 표준 문서에서 예시를 드는 PT, EA 계산법은 수신단을 송신단에 처음 연결했을 때 두 경로 중 더 빨리 패킷을 수신한 버퍼의 전송지연을 P_{Faster} 라고 가정하고 각 수신기의 클래스에 따라 [수식 3]을 적용하는 것입니다. [수식 3]의 PD_{max} 는 [표 1]의 수신기 클래스별 PD의 최대값을 나타냅니다.

$$[수식 3] \quad \dots\dots PT = P_{Faster} + PD_{max}, \quad EA = P_{Faster} - PD_{max} = PT - 2PD_{max}$$

여기서 한 가지 주목해야 할 점은 일반적으로 수신기에서 P1과 P2의 절대값을 알 수 없다는 것입니다. 일반적으로 수신기에서 알 수 있는 값은 P1과 P2의 차이인 PD뿐입니다. 그렇다면 어떻게 PT와 EA를 계산하고, 이를 바탕으로 수신 버퍼의 사이즈를 정하고 관리하여 Seamless 스위칭을 구현할 수 있을까요? [수식 3]을 추상적으로 해석하면 실마리가 보입니다. [수식 3]을 보면 절대값을 알 수 없는 최초 수신 패킷의 전송지연 P_{Faster} 를 기준으로 PT와 EA를 계산하는데, 이는 결국 최초의 P_{Faster} 를 기준으로 앞뒤로 PD_{max} 의 전송지연 범위 안에 들어오는 패킷들을 수신 버퍼에 저장하여 처리하는 것과 같은 이야기가 되며, 이는 PT, EA의 개념만 필요로 할 뿐 그 절대값은 필요로 하지 않습니다.

설명이 모호할 수 있어 1080p/60Hz HD-SDI 스트림을 이용한 예를 하나 들어보겠습니다. 1080p/60Hz HD-SDI 스트림의 경우 2.97Gbps의 전송용량을 가지며 1376바이트의 비압축 SMPTE ST 2022 패킷들로 변환하여 전송하면 [수식 4]와 같이 초당 약 270,000개의 패킷으로 전송됩니다. 이를 클래스 A 수신기로 수신할 경우 최초 수신 패킷 P_{Faster} 를 기준으로 앞뒤 10ms, 총 20ms 구간의 패킷들을 저장할 수 있는 버퍼를 가지고 있으면 [수식 3]의 PT, EA를 충족시킬 수 있습니다.

$$[\text{수식 4}] \quad \dots\dots\dots 2.97 \times 10^9 \div 1376 \div 8 \approx 270,000$$

초당 270,000개의 패킷은 20ms당 5,400개이므로 클래스 A 수신기의 경우 각 경로를 통해 들어오는 패킷을 5,400개 저장할 수 있으면 [수식 3]을 만족시키며 $PD \leq 10\text{ms}$ 가 유지되는 조건에서 Seamless 스위칭을 보장할 수 있습니다. 또한, 같은 비압축 스트림을 클래스 C 수신기로 수신할 경우 최초 수신 패킷 P_{Faster} 를 기준으로 앞뒤 150ms, 총 300ms 구간의 81,000개(1080p/60Hz HD-SDI의 초당 270,000개의 패킷은 300ms당 81,000개) 패킷들을 저장할 수 있는 버퍼를 가지고 있으면 [수식 3]을 만족시키며 $PD \leq 150\text{ms}$ 가 유지되는 조건에서 Seamless 스위칭을 보장할 수 있습니다.

지금까지의 설명으로 독자 여러분 생각에 Seamless 스위칭이 대략 어떤 방식으로 구현되는지 그림이 그려지는 것 같으면서도, 다른 한편으로 뭔가 부족한 느낌도 강하게 들 것 같습니다. 그렇습니다. 수신기의 클래스에 맞는 PD에 따라 계산된 PT, EA를 지원하는 버퍼가 장착되어 있더라도, 실제로 Seamless 하게 스위칭을 하려면 각기 다른 버퍼에 있는 같은 패킷들의 쌍을 특정할 수 있어야 합니다. 서로 다른 버퍼에 존재하는 같은 패킷들의 쌍을 특정하는 것은 RTP 헤더 안의 정보를 통해 가능합니다. 지난 연재를 통해 RTP 헤더 안에는 16비트의 Sequence Number와 32비트의 time stamp 정보가 있다고 알려드렸습니다. Sequence Number와 time stamp는 패킷이 송신되는 순서에 따라 1씩 증가합니다. 그러므로 수신단의 서로 다른 버퍼에 같은 Sequence Number나 time stamp를 갖는 패킷이 하나씩 있다면, 이 두 패킷은 동일한 패킷이라고 할 수 있습니다. 하지만, Sequence Number나 time stamp 모두 유한한 비트수로 표현되기 때문에 동일 패킷의 특징에 사용하려면 다음과 같이 수신단 버퍼 사이즈를 체크해야 합니다.

예를 들어 16비트의 Sequence Number는 0 ~ 65,535의 값을 가지므로 5,400개의 패킷을 저장할 수 있는 클래스 A 수신기의 서로 다른 버퍼 사이에서 같은 패킷들을 찾는데 문제가 없습니다. 하지만, 81,000개의 패킷을 가지는 비압축용 클래스 C 수신기의 각 버퍼에는 동일한 Sequence Number를 가지는 서로 다른 패킷들이 존재할 수밖에 없습니다(65,535 다음에는 0으로 Sequence Number가 리셋 되므로). 이 경우 Sequence Number 대신 32비트(0 ~ 4,294,967,295)의 time stamp를 사용하면 81,000개의 패킷을 저장하는 같은 버퍼에 동일한 time stamp를 갖는 서로 다른 패킷들이 존재할 수 없으므로, time stamp로 서로 다른 버퍼에 존재하는 동일한 패킷을 특정할 수 있습니다.

지금까지 내용으로 Seamless 스위칭이 구현되는 방법에 대해 어느 정도 구체적 설명이 된 것 같습니다. 정리하는 차원에서 [수식 5] ~ [수식 7]의 내용으로 SMPTE ST 2022-7의 설명을 마무리하겠습니다. [수식 5]와 같이 P1, P2 모두가 PT와 EA 사이에 존재하면 한쪽 경로를 통한 수신 실패 시 Seamless 스위칭이 가능하며, 두 경로로 들어오는 스트림으로부터 비디오/오디오 등을 복원하는 것에 문제가 없습니다. [수식 6]과 같이 P1과 P2 중 하나만 PT와 EA 사이에 들어오는 경우는 Seamless 스위칭은 불가하며, 한 경로의 스트림으로부터만 비디오/오디오 등을 문제없이 복원할 수 있습니다. 마지막으로, [수식 7]과 같이 P1, P2가 모두 PT와 EA 사이에 있지 않은 경우 Seamless 스위칭은 고사하고 어느 경로의 스트림으로부터도 정상적인 비디오/오디오 등을 복원할 수 없습니다.

$$[\text{수식 5}] \quad \dots\dots\dots 0 < EA < P1, P2 < PT$$

$$[\text{수식 6}] \quad \dots\dots\dots 0 < EA < P1, P2 \text{ 중 하나만 } < PT$$

$$[\text{수식 7}] \quad \dots\dots\dots 0 < P1, P2 < EA < PT \text{ or } 0 < EA < PT < P1, P2$$

지금까지 SMPTE ST 2022 표준 문서들에 대한 설명을 모두 마치겠습니다.

다음 연재부터는 MPEG-2 TS나 SDI 신호를 IP 패킷으로 대체한 SMPTE ST 2022를 개선하기 위한 SMPTE ST 2110 표준에 관해 설명하겠습니다. 📺