

IP 방송제작 기술 13

SMPTE ST 2022-2

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

지난 연재에서 SMPTE ST 2022 표준을 정의하는 7개 문서의 첫 문서이며, IP 네트워크에서 전송 손실이 발생한 경우 '순방향 오류 제어'를 통해 복원하는 방법을 정의한 SMPTE ST 2022-1에 관해 소개드렸습니다.

이번 연재에서는 SMPTE ST 2022-1에서 소개한 '순방향 오류 제어'의 대상이 되는 방송제작용 IP 전송 스트림에 관한 표준인 SMPTE ST 2022-2에 대해서 설명하겠습니다.

SMPTE ST 2022-2

SMPTE ST 2022-2는 방송제작을 위한 비디오/오디오/부가 데이터의 IP 전송에 관한 표준이며 제목은 'Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks'입니다. 제목에도 나타나 있듯이 SMPTE ST 2022-2는 IP 네트워크를 통해 MPEG-2 Transport Stream(이하 MPEG-2 TS)을 전송하는 방법을 정의하고 있으며, MPEG-2 TS를 이용한다는 사실로부터 기존 디지털 방송시스템의 주요 근간을 IP로 옮긴 방식이라는 추정을 하게 만드는 것 같습니다(추후의 연재에서 SDI를 IP로 옮긴 내용도 포함됩니다). 전체적인 흐름을 이해하기 위해서 MPEG-2 TS를 간단히 살펴보겠습니다. MPEG-2 TS는 디지털 방송에서 비디오/오디오/부가 데이터를 전송하기 위한 규격이며, 188byte 또는 204byte 단위의 연속된 패킷으로 이루어진 스트림입니다. MPEG-2 TS의 중요한 특징으로는 복수의 프로그램(콘텐츠)을 전송할 수 있으며, TV의 채널 전환과 같은 사용자의 임의접근이 허용되는 점 등이 있습니다.

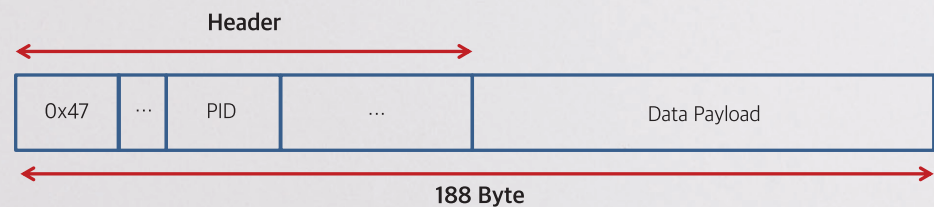


그림 1. MPEG-2 TS 구조

MPEG-2 TS는 [그림 1]과 같이 188byte 길이의 패킷들의 연속이며, 각 패킷은 헤더와 데이터 페이로드로 구성되어 있습니다(MPEG-2 TS가 204byte 패킷을 쓰는 경우는 Reed-Solomon FEC를 사용할 때인데, 대개 188byte를 사용하므로 설명은 188byte 패킷에 국한하겠습니다). MPEG-2 TS의 개요를 파악하기 위한 최소한의 요소는 [그림 1] 헤더 부분의 0x47(Sync)과 PID(Packet ID), 그리고 Data Payload입니다. 모든 MPEG-2 TS 패킷은 0x47로 시작하고 이를 통해 패킷의 시작을 알 수 있습니다. 그리고 0x47 이후 특정 위치에 PID 정보가 있어서 패킷이 전달하는 실제 데이터인 Data Payload의 종류를 알 수 있습니다. 그렇다면 [그림 1]의 구조를 가지는 MPEG-2 TS 패킷을 통해 어떻게 프로그램(콘텐츠)이 전달되는 걸까요? [그림 2]를 통해 이에 대한 답을 알아보겠습니다.

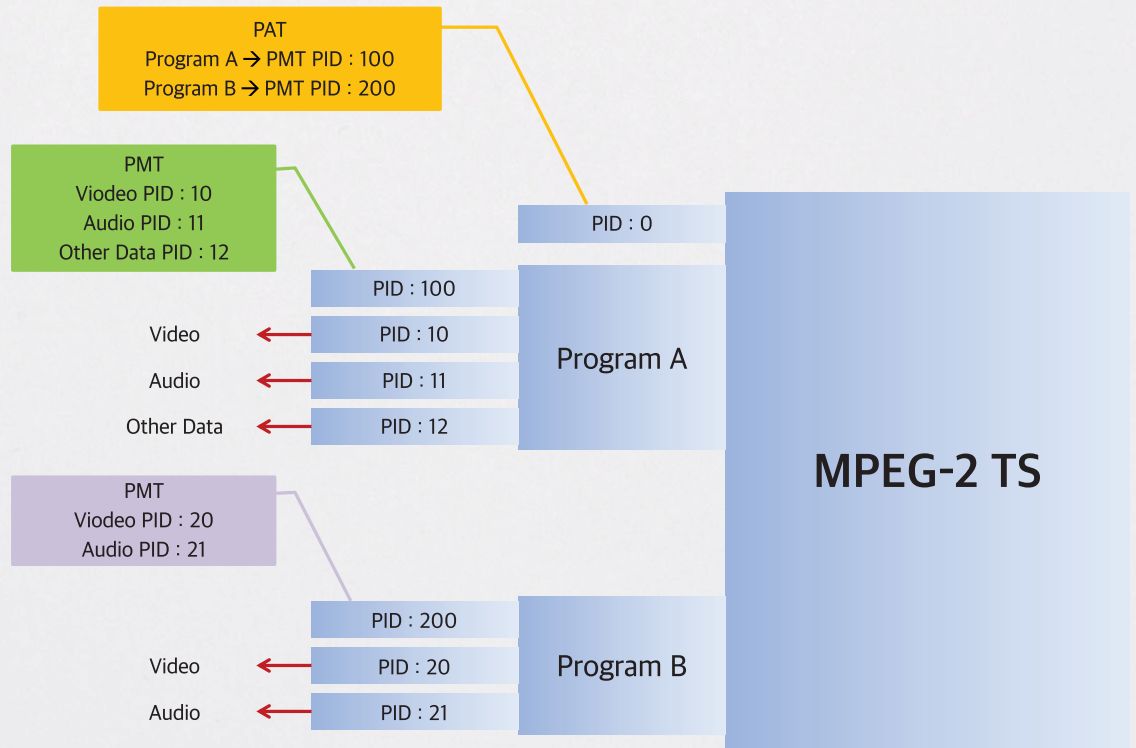


그림 2. MPEG-2 TS 구조

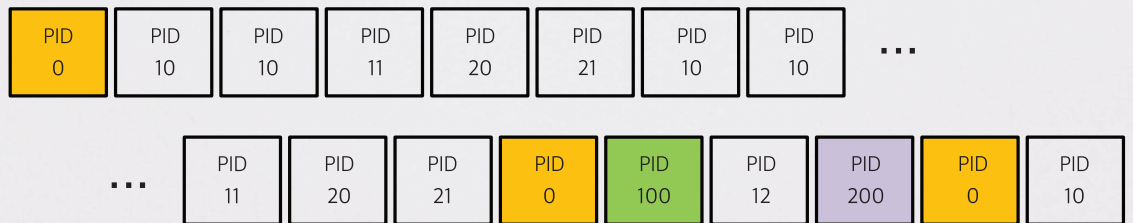


그림 3. MPEG-2 TS 패킷 구성

[그림 2]에서 PID라고 적힌 상자들은 [그림 1]의 MPEG-2 TS 패킷들입니다. 각 패킷은 앞서 설명된 바와 같이 PID를 가지고 있어서 해당 패킷이 무엇을 위한 패킷인지 파악할 수 있게 해줍니다. MPEG-2 TS 패킷으로부터 프로그램(콘텐츠)을 분리해내는데 가장 중요한 정보는 PID가 0인 패킷에 담겨 있습니다. PID가 0인 패킷은 [그림 2]의 노란색 상자와 같이 PAT(Program Association Table)라는 정보를 담고 있고, PAT는 MPEG-2 TS 안에 담긴 프로그램과 각 프로그램을 구성하는 비디오/오디오/부가 데이터 등에 관한 정보를 담고 있는 PMT(Program Mapping Table) 패킷의 PID를 알 수 있게 해줍니다. 그럼 PAT를 간단히 살펴보겠습니다. [그림 2]에서 PAT는 해당 MPEG-2 TS를 통해 전송되는 프로그램

(Program A, Program B)의 목록과 각 프로그램의 PMT를 담고 있는 패킷의 PID를 알려줍니다. PAT 패킷의 경우 PID가 0으로 정해져 있지만 각 프로그램의 PMT 패킷의 경우 PID가 따로 지정되어 있지는 않아서 임의의 PID 사용이 가능합니다. [그림 2]의 PAT를 바탕으로 PID가 100 또는 200인 PMT 패킷을 열면 다시 [그림 2]의 녹색, 보라색 상자와 같이 각 프로그램을 구성하는 비디오/오디오/부가 데이터 패킷의 PID를 알 수 있고, 이를 통해 최종적으로 MPEG-2 TS 안에서 프로그램을 구성하는 요소들(비디오/오디오/부가 데이터 등)을 추출해 사용자에게 온전한 콘텐츠로 제공할 수 있게 됩니다.

MPEG-2 TS가 어떻게 패킷을 통해 프로그램을 전달하는지 독자 여러분께서 [그림 2]를 통해 이해하셨겠지만, 오직 앞으로 한가지 첨언하면, MPEG-2 TS는 [그림 2]와 같이 데이터 패킷을 병렬로 전달하지는 않습니다. MPEG-2 TS는 [그림 2]를 풀어서 그린 [그림 3]과 같이 시리얼로 전달되는 데이터 패킷들이며, 중간에 수신해도 MPEG-2 TS에 담긴 프로그램과 각 프로그램을 구성하는 데이터 패킷들에 관해 알 수 있도록 PAT와 PMT 패킷이 반복적으로 중간중간에 삽입되어 있습니다.

지금까지 SMPTE ST 2022-2 'Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks'에서 제일 첫걸음인 MPEG-2 TS에 관해 간략히 알아보았으니, 다음 단계인 MPEG-2 TS의 IP 전송에 관해 설명하겠습니다.

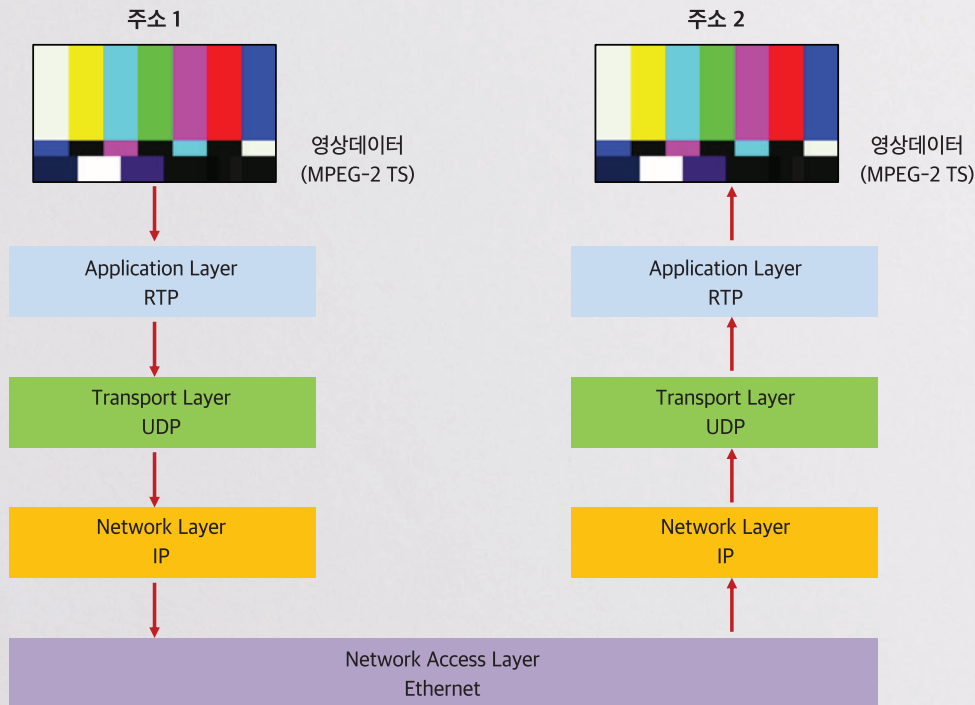


그림 4. SMPTE 2022 IP 전송의 4계층 모델

SMPTE 2022는 IP 전송을 위한 표준이므로 당연히 IP(Internet Protocol)를 사용합니다. IP를 사용하는 경우 보통 [그림 4]와 같이 Application Layer, Transport Layer, Network Layer, Network Access Layer의 4계층으로 이루어진 네트워크 통신 모델이 이용된다고 합니다. 독자 여러분도 많이 알고 계신 OSI(Open Systems Interconnection) 7계층 모델에서 일부 계층을 뺀 것과 비슷한 구조입니다. C군이 컴퓨터 네트워크 통신 모델에 관해 크게 아는 바는 없

지만, 부족한 지식이나마 짜내어 독자 여러분께서 SMPTE 2022-2 표준이 정의하는 IP 전송을 쉽게 이해하실 수 있도록 [그림 4]의 각 계층과 SMPTE 2022-2 표준의 내용을 연계하여 하나하나 설명해보도록 하겠습니다.

[그림 4]는 '주소 1'에서 '주소 2'로 SMPTE 2022-2를 이용하여 영상 데이터를 전송하는 과정을 컴퓨터 네트워크 통신의 계층 모델을 이용하여 표현한 것입니다. '주소 1'에서 '주소 2'로 영상 데이터를 전송하기 위한 첫 단계로 '주소 1'의 영상 데이터를 Application Layer에서 RTP(Real-time Transport Protocol)로 포장합니다. 이때 영상 데이터는 MPEG-2 TS로 변환된 데이터라고 가정합니다. RTP는 비디오/오디오 관련 데이터 전용의 프로토콜이므로, RTP로 포장된 데이터는 비디오/오디오 관련이라는 것은 모든 사람이 다 알고 있는 사실입니다. 이렇게 보내는 데이터의 용도에 맞게 해당 프로토콜로 포장이 되므로 이 계층을 Application Layer(응용계층)라고 부르는 것 같습니다.

내용물이 비디오/오디오 관련 데이터임을 알리는 RTP라는 포장을 씌웠으면, [그림 4]의 영상 데이터를 보내고 받는 전체 주소 중에 발신인 및 수취인 이름만 적어 다시 한번 UDP(User Datagram Protocol)로 덧포장을 합니다. 예를 들면 [보내는 사람 : ○○○ / 받는 사람 : □□□]와 같이 UDP 포장 위에 적는다고 보면 됩니다. UDP의 경우 발신인이 수취인에게 무언가 보낼 때, 받든 말든 그냥 보낸다고 보면 됩니다. 마찬가지로 수취인은 발신인이 무얼 보냈는지 안 보냈는지 모르므로 오는 것만 받고, 뭐가 안 오는지는 신경 안 씁니다. 만약 TCP(Transmission Control Protocol)라는 포장을 사용하면 이는 발신인이 수취인에게 무언가 등기로 보내는 것과 유사하다고 보면 됩니다. 등기로 보내므로 제대로 전달이 되었는지 안되었는지 확인이 되고, 전달이 안 되었으면 다시 보낼 수 있습니다. SMPTE 2022-2에서 UDP를 사용하는 이유는 눈에 안 보이는 작은 데이터 손실을 수정하려 송신측에 다시 요청해 사라진 데이터를 받는 동안 전체 영상을 제시 간에 구성하지 못해 지연을 일으키는 것보다는 그 정도 오류는 감수하는게 방송제작 적용에 있어 현실적으로 더 유용하기 때문입니다. SMPTE 2022-2를 이용하는 경우 품질이 보장되는 전용망 사용을 가정하기 때문에 UDP를 사용하더라도 전송이 불안정한 것은 아닙니다. UDP와 TCP의 예에서 보았듯이 이 계층을 통해 등기 우편과 일반 우편의 구분과 유사하게 데이터의 전송 방법을 정하고 관리하게 되므로 Transport Layer(전송계층)라고 부릅니다.

UDP로 포장한 다음에는 [발신 주소] : ○○시 ○○구 ○○동 ○○아파트, [수신 주소] : □□시 □□구 □□동 □□아파트와 같이 발신지와 수신지 주소를 적어서 IP(Internet Protocol)로 포장합니다. IP 포장 이후 발신 주소에서 수신 주소까지는 이 두 주소를 연결하는 복수의 전송 거점들이 있을 수 있고, 이 거점들을 지나서 '주소 1'과 '주소 2'를 연결하는 경로는 때때로 변경될 수 있습니다. 이렇게 IP로 데이터를 포장하는 계층은 주소 체계를 통해 모든 주소를 연결할 수 있는 네트워크상에서 두 주소를 연결하는 경로에 관계하게 되므로 이 계층을 Network Layer라고 부르는 것 같습니다.

마지막으로 같은 경로라도 무언가를 오토바이로 배달할 수도 있고, 트럭으로 배달할 수도 있는 것과 같이 가능한 물리적 방법이 달라질 수 있습니다. 이렇게 실제로 데이터를 전달하는 물리적 방법의 채택이 달라질 수 있으므로 이 레이어를 Network Access Layer라고 부릅니다. 현재 SMPTE 2022의 구현은 Network Access Layer에 대체로 Ethernet을 채용하는 것으로 알고 있습니다. [그림 4]와 같이 SMPTE 2022-2를 통해 '주소 1'의 MPEG-2 TS 영상 데이터가 Application Layer → Transport Layer → Network Layer → Network Access Layer를 거치면 [그림 5]의 1, 4, 또는 7개(이 개수는 SMPTE 2022-2가 정의하는 개수이며, 이 이외의 개수는 사용이 불가합니다)의 188byte MPEG-2 TS 패킷 묶음에 RTP, UDP, IP 헤더를 차례로 씌운 패킷으로 변환되어 '주소 2'로 전달되고, '주소 2'에서는 '주소 1'과는 역순으로 Network Access Layer → Network Layer → Transport Layer → Application Layer를 통해 포장을 하나씩 열어서 마지막으로 영상 데이터를 얻을 수 있게 됩니다.

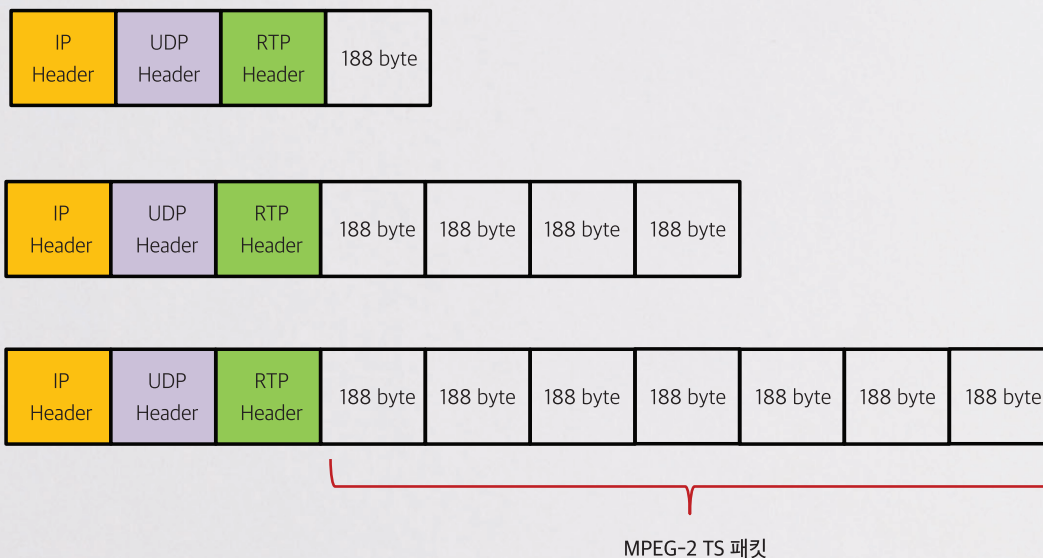


그림 5. SMPTE 2022-2 IP 패킷

이제 간단한 내용을 하나만 더 설명드리면 SMPTE 2022-2에 관한 대부분의 설명이 완료됩니다. SMPTE 2022-2 표준 문서의 제목인 ‘Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks’를 자세히 보면 다른 단어들은 왜 제목에 사용되었는지 직관적으로 이해가 되는데 ‘Constant Bit Rate’는 왜 제목에 붙었는지 금방 느낌이 오지 않을 수도 있을 것 같습니다. 이에 관해 이야기하면 MPEG-2 TS는 ‘Constant Bit Rate’와 ‘Variable Bit Rate’ 두 가지 모드가 있습니다. 그리고 SMPTE 2022-2는 시간에 대해 일정한 비트레이트를 갖는 Constant Bit Rate MPEG-2 TS의 IP 전송에 관한 표준을 담고 있습니다. 그렇다고 SMPTE 2022가 Variable Bit Rate MPEG-2 TS를 버린 것은 아닙니다. Variable Bit Rate MPEG-2 TS의 IP 전송에 관한 표준은 SMPTE 2022-3에 담겨있고, 이는 다음 연재에서 소개하도록 하겠습니다. 📺