

IP 방송제작 기술 12

SMPTE ST 2022-1

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

지난 연재에서 SMPTE의 방송제작용 IP 전송표준의 하나인 ST 2022 구성의 아웃라인을 간단히 소개해드렸습니다. 아웃라인을 통해 SMPTE ST 2022 전송표준은 SMPTE ST 2022-1부터 SMPTE ST 2022-7까지 총 7개의 문서로 정의되어 있다는 내용을 알려드렸으며, 이번 연재부터 차례로 이 7개 문서 각각의 내용을 하나씩 구체적으로 살펴보겠습니다.

SMPTE ST 2022-1

지난 연재에서도 소개되었듯이 SMPTE ST 2022 표준을 정의하는 7개 표준 문서의 하나인 SMPTE ST 2022-1의 제목은 'Forward Error Correction for Real-Time Video/Audio Transport Over IP Networks'입니다. 'Forward Error Correction'은 '순방향 오류 제어'로 번역되며 약어로 FEC라고 부릅니다. 앞으로의 설명에서는 편의를 위해 'Forward Error Correction'이나 '순방향 오류 제어' 대신 FEC로 줄여 부르겠습니다. FEC는 전달하고자 하는 데이터와 함께 오류 정정을 목적으로 하는 부가 정보를 함께 전송하여 수신 오류 발견 시 전송된 부가 정보를 이용하여 오류를 정정하는 기술입니다. 명칭에 '순방향(Forward)'이라는 표현이 쓰인 이유는 오류가 발생하여도 송신단에 재전송을 요구하지 않고 수신단에서 오류를 수정하는 방식이기 때문입니다. SMPTE ST 2022-1은 표준 문서의 제목 그대로 IP 네트워크에서 데이터 패킷 손실이 발생하는 경우 '순방향 오류 제어'를 통해 손실을 복원하는 방법을 정의하고 있습니다.

A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

표 1. XOR 연산

FEC의 원리는 생각보다 간단합니다. 논리 연산자 중 하나인 exclusive-OR(XOR)만 알면 FEC를 쉽게 이해할 수 있습니다. XOR 연산은 [표 1]과 같이 A와 B가 모두 0이거나 1이면 0, A와 B 둘 중에 하나만 1인 경우 1의 값을 갖습니다. 그렇다면 이 XOR 연산으로 어떻게 오류 정정을 할 수 있을까요? 이를 설명하기 위해서 우선 XOR 연산의 특성을 알아야 합니다. [표 1]의 A, B, A XOR B를 그대로 이용하여 (A XOR B) XOR B와 (A XOR B) XOR A를 수행한 결과를 [표 2]와 [표 3]에 각각 정리하였습니다.

A XOR B	B	(A XOR B) XOR B = A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
0	1	1

표 2. 'A XOR B'와 'B'의 XOR 연산

A XOR B	A	(A XOR B) XOR A = B
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	1

표 3. 'A XOR B'와 'A'의 XOR 연산

[표 2]의 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } B$ 를 수행한 결과는 A와 동일하며, [표 3]의 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } A$ 를 수행한 결과도 B와 같습니다. 이로부터 A XOR B를 알고 있다면, A나 B 중 하나가 사라져도 A XOR B를 통해 사라진 값을 복원할 가능성을 확보할 수 있습니다. 참고로 XOR 연산자의 경우는 교환법칙이 성립하여 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } B = B \text{ XOR } (A \text{ XOR } B)$ 와 같이 순서를 바꿔도 같은 결과를 얻을 수 있습니다. [표 2], [표 3]의 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } B = A$ 와 $(A \text{ XOR } B) \text{ XOR } A = B$ 를 이용하여 전송 패킷의 오류를 정정하는 방법의 개념을 [그림 1]을 통해 나타내었습니다. [그림 1]과 같이 A 패킷과 B 패킷을 전송할 때 A XOR B를 같이 전송하면 전송경로의 문제 등으로 인해 A, B 중 한 패킷이 전송되지 않아도 수신단에서 A와 B 중에 제대로 전송된 패킷과 A XOR B를 이용하여 제대로 전송되지 못한 패킷을 복원할 수 있습니다. 이렇게 전송된 패킷들의 XOR 값을 이용하여 수신단에서 오류를 정정하는 방법을 FEC라고 합니다. 하지만 이 방법도 만능은 아닙니다. A, B, A XOR B 중 하나의 패킷 전송에 문제가 있을 때만 오류를 정정하는 것이 가능하며, 동시에 두 개 패킷 전송에 문제가 생길 경우에는 오류의 정정이 불가능합니다.

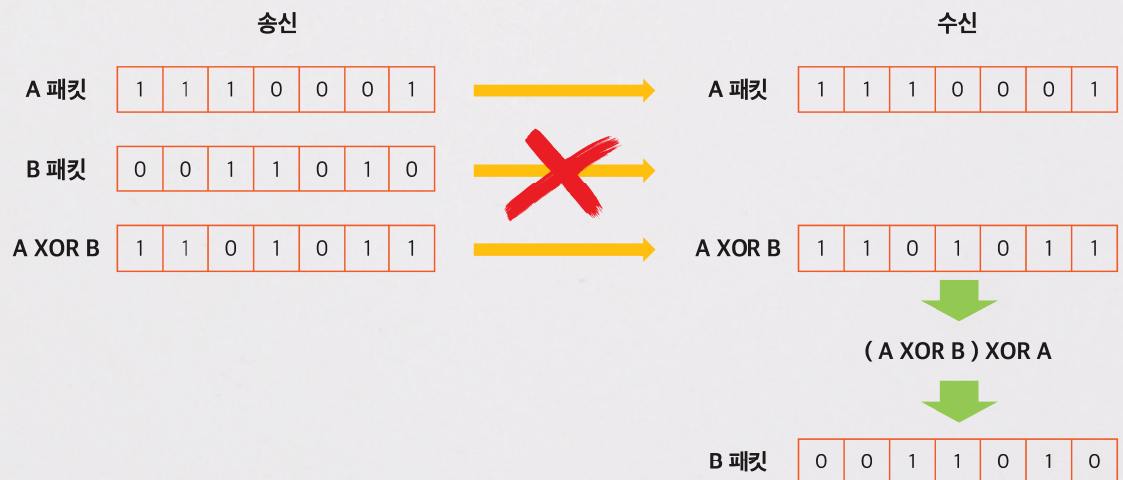


그림 1. XOR 연산을 이용한 FEC 개념

[그림 1]과 관련 설명을 통해 FEC의 기본 개념을 알았으므로 SMPTE ST 2022-1에서 규정한 구체적 내용으로 좀 더 깊이 들어가 보겠습니다. 수차례 반복되는 감이 있지만 SMPTE ST 2022-1의 제목은 'Forward Error Correction for Real-Time Video/Audio Transport Over IP Networks'입니다. 이 제목의 'Real-Time Video/Audio Transport Over IP Networks'로 부터 쉽게 유추 가능 하듯이 SMPTE 2022에서 쓰는 전송 프로토콜은 RTP(Real-time Transport Protocol)를 기반으로 하고, SMPTE ST 2022-1은 이 RTP 프로토콜을 이용한 전송에 관한 FEC를 정의하고 있습니다.

[그림 2]는 SMPTE ST 2022-1에 정의된 RTP 패킷의 FEC를 나타냅니다. FEC_col은 열(세로) 방향의 FEC 패킷이며, FEC_row는 행(가로) 방향의 FEC 패킷입니다. [그림 1]에서는 두 개 패킷을 이용하여 FEC의 개념을 설명하였지만, XOR 연산이 3개 이상의 변수에 대해서도 계산 가능하므로 [그림 2]와 같이 임의의 M, N개로 확장이 되어도 그대로 적용 가능합니다. SMPTE ST 2022-1 표

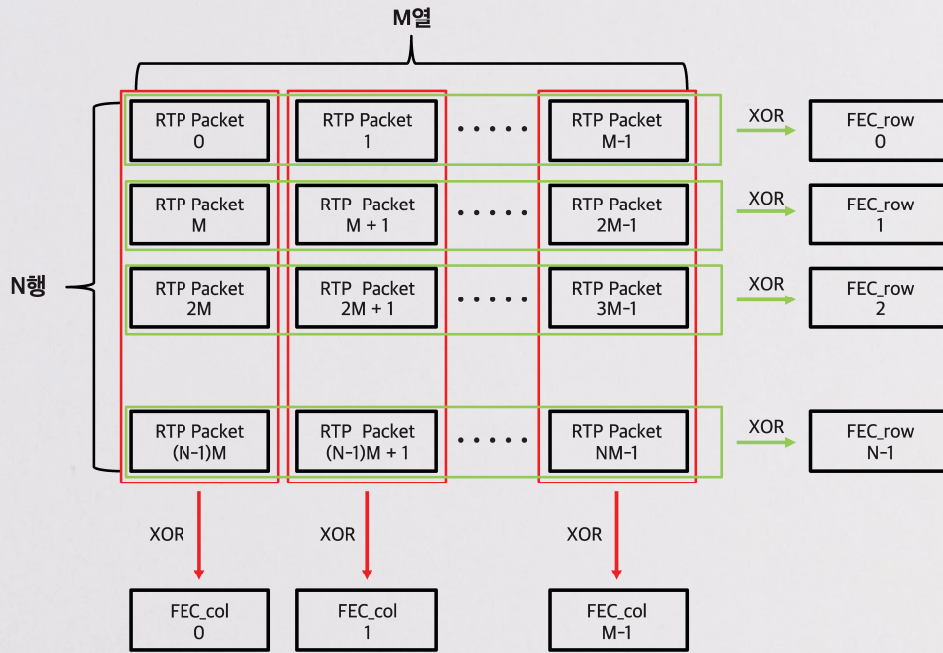


그림 2. RTP 패킷과 FEC

준을 따른다는 것은 비디오/오디오 데이터를 SMPTE 2022 방식으로 전송할 때 [그림 2]에 FEC_col, FEC_row로 표시된 FEC 패킷을 같이 전송한다는 것입니다. 여기서 재미있는 것은 SMPTE ST 2022-1에서는 FEC를 Level A와 Level B로 나누고 있는 것입니다. Level A는 [그림 2]의 FEC_col과 같이 열(세로) 방향의 FEC만을 사용하는 것이며, Level B는 [그림 2]의 FEC_col과 FEC_row 같이 열(세로) 방향과 행(가로) 방향의 FEC를 모두 사용하는 방식입니다. Level A를 사용하면 FEC를 위한 추가 데이터 패킷의 전송 부담은 줄어들지만 오류 정정 능력이 Level B에 비해 약하며, Level B를 사용하면 FEC를 위한 추가 데이터 패킷의 전송 부담은 늘어나지만 오류 정정 능력은 강화됩니다.

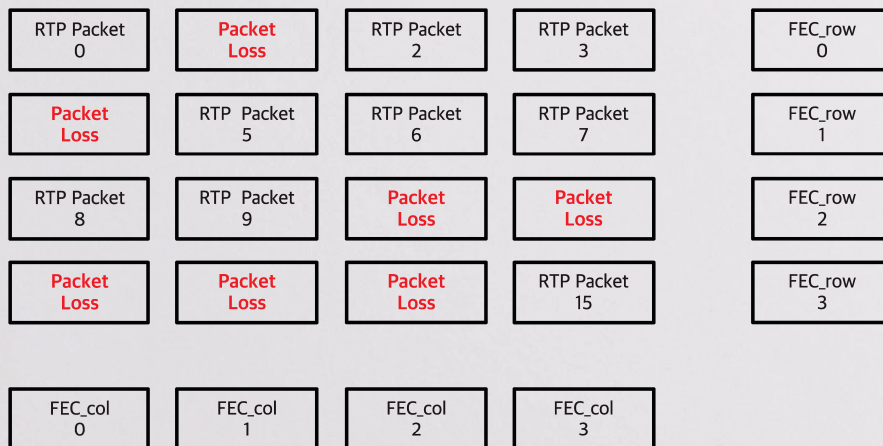


그림 3. 패킷 손실 상황

[그림 3]~[그림 6]을 통해서 Level B를 이용한 오류 정정의 예를 들어보겠습니다. Level B만을 예로 드는 이유는 Level A의 경우 매우 직관적이라서 별도의 설명이 필요 없기 때문입니다. [그림 3]과 같이 FEC가 적용된 RTP 패킷 중에 붉은색으로 표시된 부분의 패킷이 전송 오류로 수신되지 않았다고 가정합니다. 이 패킷 전송 오류의 정정을 위해 Level B의 FEC를 적용한 경우에는 다음과 같은 FEC 수행 절차를 따릅니다.

- FEC 수행 절차 -

- ① 행(가로) 방향으로 패킷 전송 오류 스캔
- ② 한 개 패킷에만 손실이 있으면 FEC_row를 이용한 XOR 연산으로 오류를 정정하고, 해당 행에 패킷 손실이 두 개 이상이면 건너뛴
- ③ 행(가로) 방향 스캔이 끝나면 열(세로) 방향으로 스캔 시작
- ④ 한 개 패킷에만 손실이 있으면 FEC_col를 이용한 XOR 연산으로 오류를 정정하고, 해당 열에 패킷 손실이 두 개 이상이면 건너뛴
- ⑤ 열(세로) 방향 스캔이 끝나면 행(가로) 방향으로 다시 한번 스캔
- ⑥ 한 개 패킷에만 손실이 있으면 FEC_row를 이용한 XOR 연산으로 오류를 정정하고, 해당 행에 패킷 손실이 두 개 이상이면 건너뛰며, 이 과정이 완료되면 오류 정정을 마침

위에서 설명한 FEC 수행 절차 ①~②를 [그림 3]에 적용하면 [그림 4]와 같이 파란색으로 표시된 FEC_row 0와 FEC_row 1을 이용하여 RTP Packet 1과 RTP Packet 4를 복원할 수 있습니다.

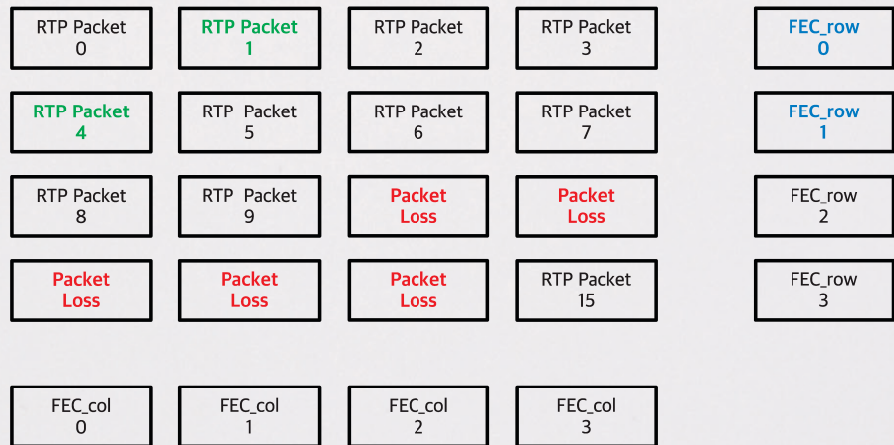


그림 4. FEC_row를 이용한 행(가로) 방향 패킷 복원

[그림 4]에 다시 위 FEC 수행 절차 ③~④를 적용하면 [그림 5]와 같이 파란색으로 표시된 FEC_col 0, FEC_col 1 및 FEC_col 3을 이용하여 RTP Packet 11, RTP Packet 12, RTP Packet 13을 복원할 수 있습니다.

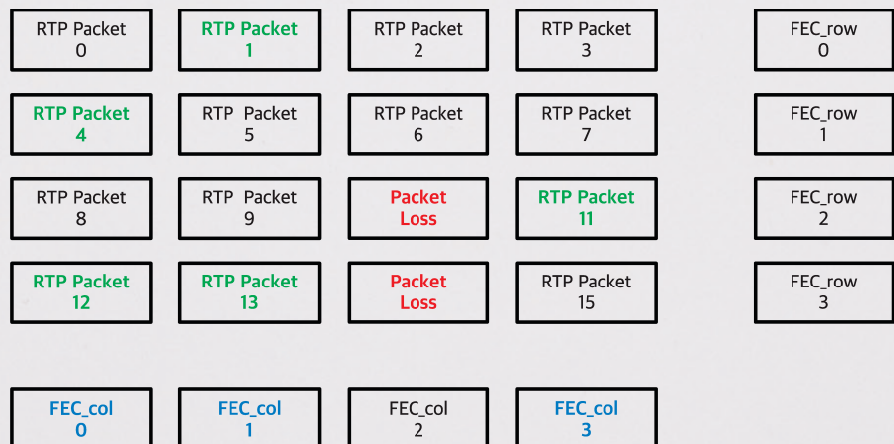


그림 5. FEC_col을 이용한 열(세로) 방향 패킷 복원

[그림 5]에 마지막으로 위 FEC 수행 절차 ⑤~⑥을 적용하면 [그림 6]과 같이 파란색으로 표시된 FEC_row 2와 FEC_row 3을 이용하여 RTP Packet 10과 RTP Packet 14를 복원하여 손실된 패킷 모두를 복원할 수 있습니다.

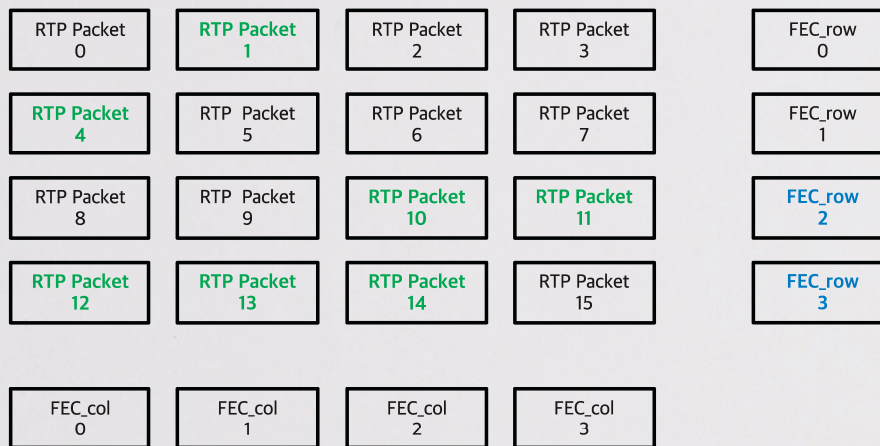


그림 6. 패킷 복원 완료

[그림 3]~[그림 6]을 통해서 패킷 전송 오류가 발생했을 경우 FEC를 통한 복구의 예를 보았습니다. [그림 3]~[그림 6]의 예에 시는 FEC 패킷에 오류가 발생한 경우를 다루지는 않았지만, FEC 패킷에 오류가 발생했을 때에도 경우에 따라 RTP 패킷의 복원이 가능합니다. 하지만 FEC도 만능은 아닙니다. [그림 7]과 같은 전송 오류가 발생한 경우에는 Level B의 FEC로도 복구가 되지 않습니다.

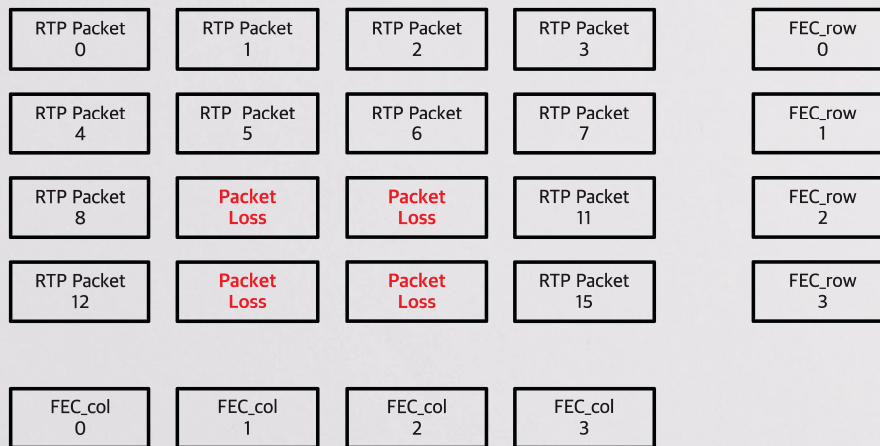


그림 7. FEC를 통한 오류 정정이 불가능한 경우

지금까지 SMPTE ST 2022 표준을 구성하는 7개 표준 중의 하나인 SMPTE ST 2022-1에 관해 설명드렸습니다. 다음 연재에서는 SMPTE ST 2022-2에 관한 내용을 소개하겠습니다. 📖