

# IP 기반 라이브 방송제작 워크플로우 표준기술 동향 - 1

## 연재 목차

1. IP 기반 라이브 방송제작 기술 동향과 PTP 동기화 기술 표준(SMPTE ST2059)
2. 에센스 분리 전송기술 표준(SMPTE ST2110)과 방송시스템 관리 표준(NMOS)

최근 미디어와 엔터테인먼트 산업은 라이브 방송, 캐치업 TV, VOD, OTT 등 다양한 플랫폼으로 확장되고 있으며, 초고해상도(4K/8K UHD), 고프레임율(HFR), 광색역(WCG), 고명암비(HDR) 등으로 콘텐츠가 대용량, 고품질화되고 있다. 이러한 미디어의 빠른 발전 속도에 효과적으로 대응할 수 있도록 기존 SDI(Serial Digital Interface) 기술의 확장성 한계와 전송 속도 및 거리 제한을 극복하고 다양한 서비스를 수용할 수 있는 IP 기반 방송제작 기술이 주목받고 있다.

IP 기술은 기존 방송제작 환경을 기능적으로 분리하여 소프트웨어화를 가속화하고 효율적으로 다양한 워크플로우를 적용할 수 있도록 한다. 본 원고에서는 IP 기반 UHD 라이브 스튜디오 방송제작 워크플로우의 기반이 되는 IP 기반 방송제작 기술 동향과 핵심 표준기술에 대해서 살펴보겠다.

## IP 기반 라이브 방송제작 기술 동향

UHD 방송제작 환경에서 IP 제작기술이 화두가 되고 있다. 방송 미디어 산업이 다양화되고 있으며 대용량, 고품질로 발전하고 있는데, 이러한 발전 방향에 효율적으로 대응할 수 있는 것이 IP 기술이다. IP는 TCP/IP 기반의 인터넷망을 통하여 패킷을 전달하는 프로토콜로서 이메일, 파일, 메시지, 음성, 오디오, 비디오 등 다양한 포맷의 콘텐츠를 하나의 통신기술로 양방향 전송이 가능하다.

IP 제작기술의 특징은 기능은 분리하고 관리는 중앙집중하는 것이다. 라이브 방송 제작에서의 IP 기술의 도입은 기존 방송제작 워크플로우의 변화를 예측할 수 있다. 스튜디오와 기계실 및 조정실이 하나의 세트로 구성되어 있는 기존의 제작 환경이 기능적으로 분리되어 데이터센터를 중심으로 스튜디오와 조정실이 독립적으로 구성될 수 있다. 이러한 구성은 프로그램의 성격에 따라 여러 스튜디오를 하나의 조정실에서 컨트롤할 수 있는 통합 부조정실 제작 모델과 광범위한 지역에서 동시다발적으로 진행되는 스포츠 중계와 같은 원격 제작 워크플로우를 유연하게 하는 장점을 가진다. 글로벌 방송제작사 NEP 및 유럽의 BBC와 TV2 등은 All-IP 인프라를 구축하고 있으며 다양한 제작 워크플로우를 적용한 효과적이고 비용효율적인 방송제작을 시도하고 있다.

IP 기반 라이브 스튜디오 방송시스템은 [그림 2]와 같이 네트워크 스위치를 중심으로 기존 SDI 케이블이 IP 케이블로 바뀐 것을 제외하고 물리적인 구성은 유사하다. 하지만 내부적으로는 장비 간의 콘텐츠(비디오, 오디오, 메타데이터 등) 전송이 IP 기반의 프로토콜로 이루어지고 장비 간의 동기 신호도 프레임 Sync 신호가 아닌 PTP(Precision Time Protocol) 신호를 사용하는 등 큰 변화가 있다. 또한 방송장비와 네트워크 장비의 관리/제어를 보다 효율적으로 할 수 있는 개방형 양방향 관리/제어 기술인

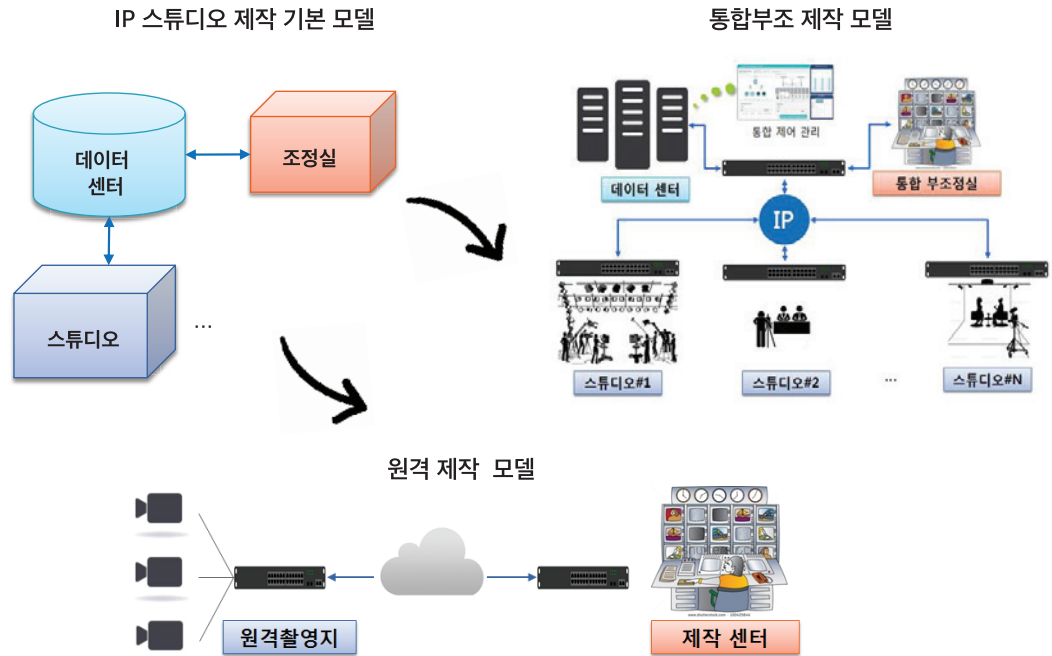


그림 1. IP 기반 방송제작 모델 개념도

NMOS(Networked Media Open Specifications)와 SDN(Software Defined Network) 기술로 제작효율성을 높일 수 있다. 이와 같이 IP 기반 라이브 스튜디오 방송 제작을 위한 기반 기술은 크게 전송 기술, 동기화 기술, 장비 등록/관리 및 SDN 기술로 나눌 수 있다. 이러한 기술은 최근 표준화가 완료되었고 압축과 관련된 일부 표준이 남아 있다.

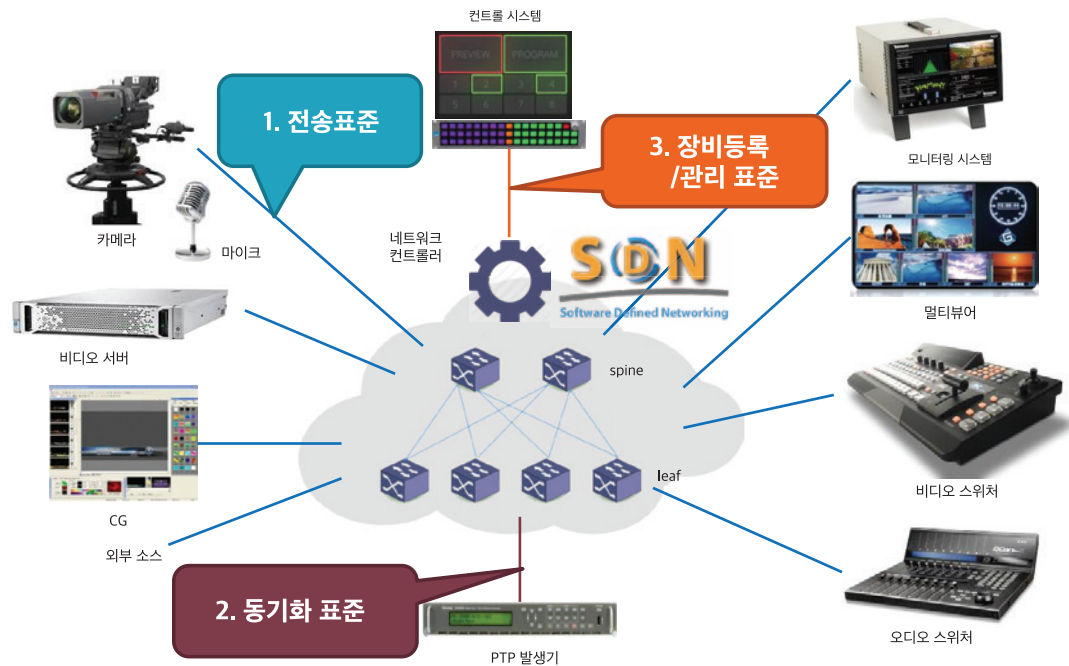


그림 2. IP 기반 라이브 방송제작 시스템 및 표준

EBU(European Broadcasting Union), AMWA(Advanced Media Workflow Association), VSF(Video Service Forum), SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)는 JT-NM(Joint Taskforce on Networked Media)을 구성하고 공개 표준기반 IP 제작기술 기술표준 로드맵을 제시하였다. 개방형 표준 IP 산업협력체인 AIMS(the Alliance for IP Media Solutions)가 이를 채택함으로써 관련 장비의 개발과 상호운용성 실험이 활발히 이루어지고 있다.

JT-NM의 로드맵은 [그림 3]과 같이 4단계로 이루어져 있다. 기존 단계 “SDI” 기술로써 1.5G HD SDI의 SMPTE 292M, 3G-SDI의 SMPTE 424M 그리고 최근 UHD 4K에 대응할 수 있는 12G의 SMPTE ST2082 표준이 완료되었다.

1단계는 IP 네트워크상에서 SDI 신호를 그대로 패킷화하여 전송하는 표준으로써 순방향 오류 정정(FEC, Forward Error Correction)과 높은 비트율의 콘텐츠 전송 그리고 스트림 이중 전송을 통한 무결절성(Seamless) 스위칭에 관한 기술이 SMPTE ST2022-5,6,7 표준 문서에 마련되었다.

2단계는 비디오, 오디오 및 메타데이터 등 콘텐츠 객체들이 독립적으로 전송되는 차세대 전송기술 표준 단계이다. 관련 기술인 SMPTE ST2110 표준의 핵심 부분이 최근 표준화가 완료되었다.

3단계는 IP 시스템의 자동 관리 단계로 네트워크상에서 방송장비의 자동 발견, 등록, 연결 및 제어에 대한 표준을 담고 있다.

4단계는 방송장비의 클라우드화에 대한 단계로 방송시스템의 효율성을 극대화할 수 있는 컴퓨팅/스토리지/네트워크 가상화 및 보안에 대한 표준화가 연구 중에 있다.

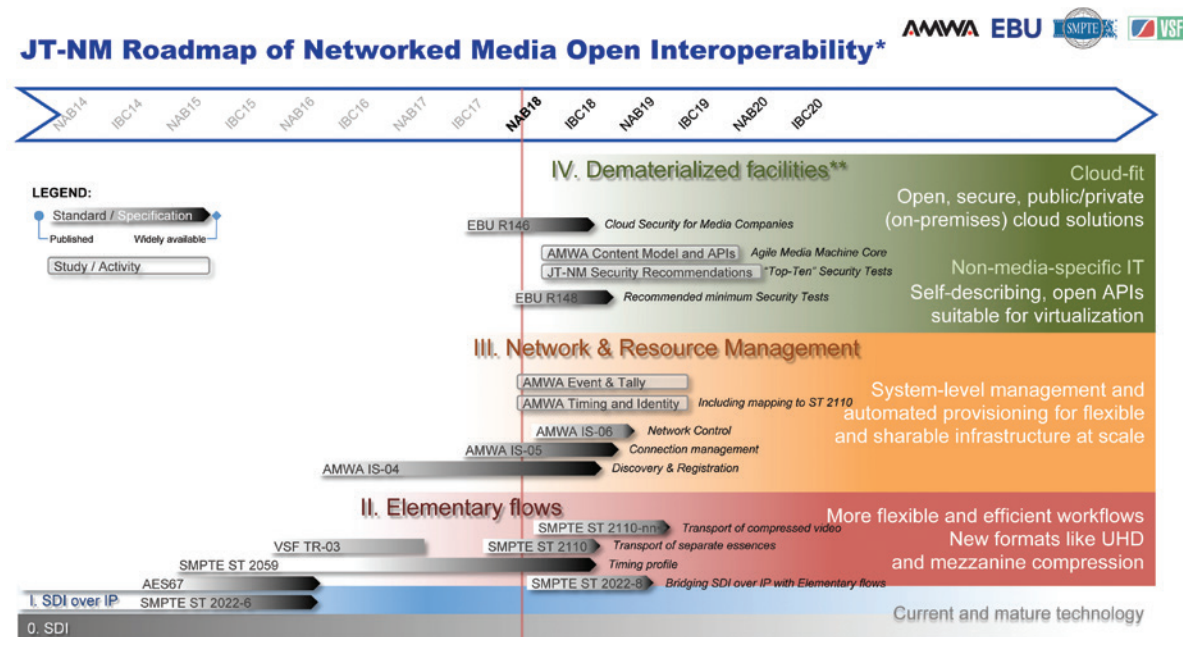


그림 3. IP 기반 방송제작 기술표준 로드맵

## PTP 동기화 기술 표준

IP 방송제작 환경에서는 장비 간의 동기 신호를 기존 SDI 제작 시스템의 프레임 Sync 신호와는 다른 PTP 방식을 사용한다. PTP는 LAN과 같은 네트워크 내에서 고정밀 시간 동기화를 위한 표준이며, 시스템 내에서 백만분의 1초 미만의 동기화 오차를 유지할 수 있는 것으로 알려져 있다. 방송분야에 적용되는 PTP 표준은 IEEE 1588-2008, SMPTE ST2059-1, SMPTE ST2059-2이며, PTP의 방송적용에 관한 가이드라인으로 SMPTE ST2059-10이 있다. IEEE 표준은 PTP 자체에 대한 표준을 정의하고 SMPTE 표준은 PTP의 방송응용에 관한 표준을 정의하고 있다.

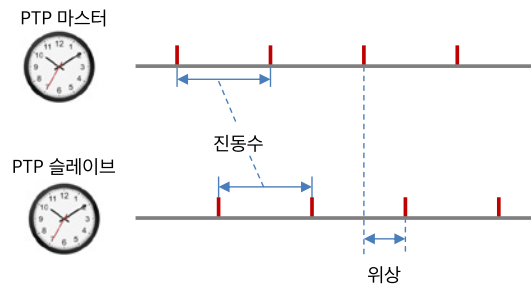
PTP 동기화 방식은 PTP 마스터와 PTP 슬레이브 간 진동수와 위상을 제어하는 방식으로 동기화한다.[그림 4(a)] 이를 위해 PTP 마스터와 PTP 슬레이브 사이에는 주기적으로 메시지의 교환이 일어난다. Sync 메시지는 PTP 마스터가 PTP 슬레이브에 주기적으로 보내는 메시지이고 Delay\_Req 메시지는 PTP 슬레이브가 PTP 마스터에게 주기적으로 보내는 메시지이다. 이들 메시지에는 메시지를 보낸 시간과 메시지를 받은 시간 등에 관한 정보가 타임스탬프 형태로 포함되어 있다. PTP 마스터와 PTP 슬레이브 간의 진동수를 동기화하기 위해서는 [그림 4(b)]와 같이 PTP 슬레이브는 PTP 마스터가 Sync 메시지 안에 삽입해 보내는 발신 시간의 간격( $\Delta T$ )과 자신이 Sync 메시지를 받은 시간의 간격( $\Delta t$ )이 같아지도록 진동자를 제어하여 자신의 시계가 마스터의 시계와 동일한 진동수를 갖게 한다. 그리고 PTP 마스터와 PTP 슬레이브 간의 위상 동기화는 [그림 4(c)]와 같이 각 Sync 메시지와 Delay\_Req 메시지의 발신 시간과 수신 시간의 차를 이용한다. 즉, PTP 마스터가 PTP 슬레이브에 Sync 메시지를 보내는 경우 발신 시간과 수신 시간의 차이는 네트워크 지연과 시간 위상차의 합이 되며, PTP 슬레이브가 PTP 마스터에 Delay\_Req 메시지를 보내는 경우 발신 시간과 수신 시간의 차이는 네트워크 지연과 시간 위상차의 차가 된다. 이 두 개의 관계식으로부터 네트워크 지연을 상쇄하면 시간 위상차를 구할 수 있으므로, PTP 슬레이브는 이 시간 위상차만큼을 자신의 시간으로부터 보정하여 마스터와 동기화한다.

$$T2 - T1 = \text{Network Delay} + \text{Time Difference} \quad \text{----- (1)}$$

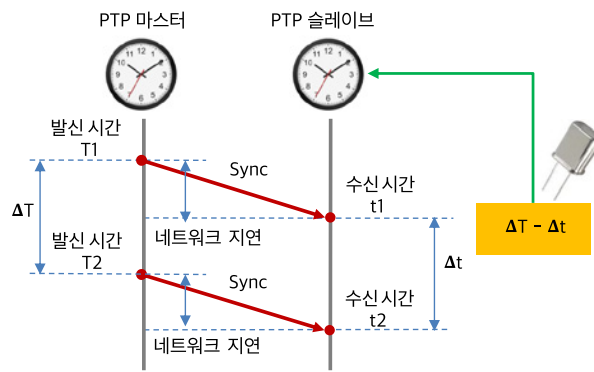
$$T4 - T3 = \text{Network Delay} - \text{Time Difference} \quad \text{----- (2)}$$

$$(1) - (2) \rightarrow \text{Time Difference} = \frac{(T2 - T1) - (T4 - T3)}{2} \quad \text{----- (3)}$$

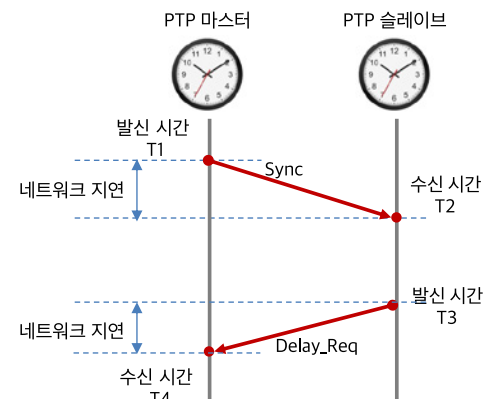
정확한 동기화를 위해서는 네트워크 딜레이에 의한 변인을 제거하는 것이 중요하다. 또한 동기화에 걸리는 시간을 단축하기 위해서는 Sync 메시지를 보내는 간격을 줄이는 것이 바람직하다.



(a) 진동수와 위상제어를 통한 시간 동기화



(b) 진동수 제어



(c) 위상차 제어

그림 4. PTP 마스터와 PTP 슬레이브간의 진동수와 위상제어를 통한 동기화 방법

SMPTE ST2059-1은 PTP 동기화 방식을 이용하여 아날로그/디지털 영상 신호, 오디오 신호, 타임코드를 생성하는 방법을 규정하고 있다. 여기에서 실시간 비디오/오디오 신호의 정렬에 절대적인 기준이 되는 SMPTE Epoch를 정의한다. SMPTE Epoch는 1970년 1월 1일 새벽 0시 정각이며, PTP 동기화된 슬레이브 장치에서 사용하는 현재 시간인 PTP Time은 SMPTE Epoch로부터 경과된 시간을 초로 환산한 것이다. SMPTE Epoch와 동시에 비디오/오디오 신호가 시작되었다고 가정하면 프레임 레이트에 따라 현재 PTP Time에서 몇 번째 비디오/오디오 프레임이 진행 중인지(타임코드), 비디오는 몇 번째 라인에 몇 번째 픽셀의 신호를 출력해야 하는지, 오디오는 몇 번째 프레임에 몇 번째 샘플을 출력해야 하는지 등을 알 수 있으며, SMPTE ST2059-1에 관련 수식이 정의되어 있다.

SMPTE ST2059-2는 다양한 산업계에서 활용되고 있는 PTP를 방송에 적용하기 위한 Profile을 정의하고 있다. SMPTE Profile로 불리기도 하는 방송용 PTP Profile의 식별자는 '68-97-E8-00-01-00'이며 SMPTE에 의해 지정되었다. SMPTE Profile은 PTP 마스터의 장애발생시 다른 PTP 마스터로 스위치하여 시스템을 동기화하는 알고리즘으로 Best Master Clock Algorithm(BMCA)이라 명명된 IEEE 1588-2008에서 정의한 알고리즘을 사용한다. BMCA 알고리즘은 네트워크상의 PTP Clock들의 성능을 비교하여, PTP 마스터에 장애발생시 다른 PTP Clock 중에서 제일 성능이 좋은 PTP Clock을 마스터로 결정하는 알고리즘이다. Alternate Master 옵션은 현재 PTP 마스터는 아니지만 마스터로 사용 가능한 장치들과 PTP 슬레이브 간의 타이밍 정보 교환을 허용하며, 원래의 PTP 마스터에 문제 발생 시 적은 위상변화를 유지하며 PTP 슬레이브가 새 PTP 마스터로 스위치하여 동기화 할 수 있다.

SMPTE ST2059-10은 PTP의 방송적용을 위한 가이드라인 성격의 문서이다. IEEE 1588 PTP(Precision Time Protocol)의 기본 동작 원리와 클럭 및 타임소스의 종류 등에 관해 설명한다. IEEE 1588에는 세 종류의 클럭을 정의하고 있는데 Ordinary Clock은 네트워크에 하나의 포트로 연결된 단말로써 PTP 마스터와 PTP 슬레이브와 같은 일반적인 장치가 가지는 클럭 타입이다. Transparent Clock과 Boundary Clock은 네트워크에 두 개 이상의 포트로 연결된 장치가 주로 가지는 클럭 타입이다. Transparent Clock은 PTP 메시지 안에 네트워크 스위치를 통과하면서 소요된 시간 정보를 포함시킴으로써 PTP 슬레이브가 동기화 과정에서 네트워크 지연을 상쇄할 수 있도록 하는 특수 용도의 네트워크 스위치용 클럭이다. 한편, PTP 그랜드마스터에 많은 슬레이브가 연결되어 있으면 PTP 그랜드마스터가 처리해야 하는 PTP 메시지의 양이 많아져 동기화에 영향을 줄 수 있다. 이런 경우 Boundary Clock은 네트워크 스위치가 PTP 마스터 역할을 하게 하여 PTP 메시지 부하를 분산함으로써 동기화 안정성을 유지할 수 있도록 하는 클럭이다. 마지막으로 타임소스는 PTP 마스터가 GPS 등의 초고정밀 시계에 동기화되어 시간정보를 생성하는 경우와 블랙버스트 등의 A/V 동기화 신호를 사용하는 방법 그리고 이들을 혼용하여 임의 단위 시간 정보를 생성하는 경우 등의 내용을 담고 있다.

이번 호에서는 최근 이슈가 되고 있는 IP 기반 라이브 방송제작 기술 동향과 네트워크 장비 간의 동기화 기술인 PTP 동기화 기술 표준에 대해서 살펴보았다. 다음 호에서는 비압축 에센스 전송기술 표준인 SMPTE ST2110의 특징과 네트워크 장비의 개방형 관리/제어 표준인 NMOS에 대해서 살펴보겠다. 