

IP 기반 라이브 방송제작 워크플로우 표준기술 동향 - 2

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)

지난 호에서는 IP 기반 라이브 방송제작 기술 동향과 네트워크 환경에서의 시스템 동기화 방식인 PTP 동기화 기술 표준에 대해서 살펴보았다. 이번 연재에서는 차세대 방송제작 전송표준으로 관심이 높아지고 있는 SMPTE ST2110 기술과 방송시스템 관리 표준인 NMOS에 대해서 살펴보고 KBS에서 구축 중인 IP 기반 UHD 방송제작 워크플로우 테스트베드에 대해서 간단히 소개하겠다.

에센스 분리 전송기술 표준 (SMPTE ST2110)

IP는 자체적으로 멀티플렉스 신호이다. [그림 1]은 IP 네트워크상에서 디지털 오디오/비디오 신호를 전송하는 방법에 대한 두 가지 표준의 특징을 보여준다. SMPTE ST2022-6은 비디오, 오디오 및 보조 데이터 신호(블랭킹 및 패딩 포함)가 SDI 신호로 묶여 단일 IP 스트림으로 래핑되어 있는 멀티플렉스 내에 멀티플렉스를 가지는 이중 멀티플렉스 구조이다. 어떤 한 에센스만을 필요로 하는 수신기는 네트워크에서 전체 스트림을 전송받아 원하는 부분을 추출해야 한다. 한편, SMPTE ST2110은 ST2022와는 달리 비디오, 오디오, 보조 데이터가 분리되어 있으며 별도로 라우팅이 가능한 구조이다.

표준명	내용	상태
ST 2110-10	System timing model & Session Description	완료
ST 2110-20	Uncompressed Active Video	완료
ST 2110-30	PCM Audio Based on AES67	완료
ST 2110-40	Ancillary Data	완료
ST 2110-22	Compressed Video	작업 중
ST 2110-31	AES3 Transparent Transport	작업 중

따라서 수신기는 원하는 것을 정확히 요구할 수 있으며, 그것만 받을 수 있다. ST2110은 블랭킹 구간 없이 액티브 영역만 전송하기 때문에 HD(1080p@59.94)와 4K UHD(2160p@59.94) 기준 ST2022-6 대비 약 16.3%의 대역폭이 절약된다. SMPTE ST2110 표준 패밀리에는 표와 같다.

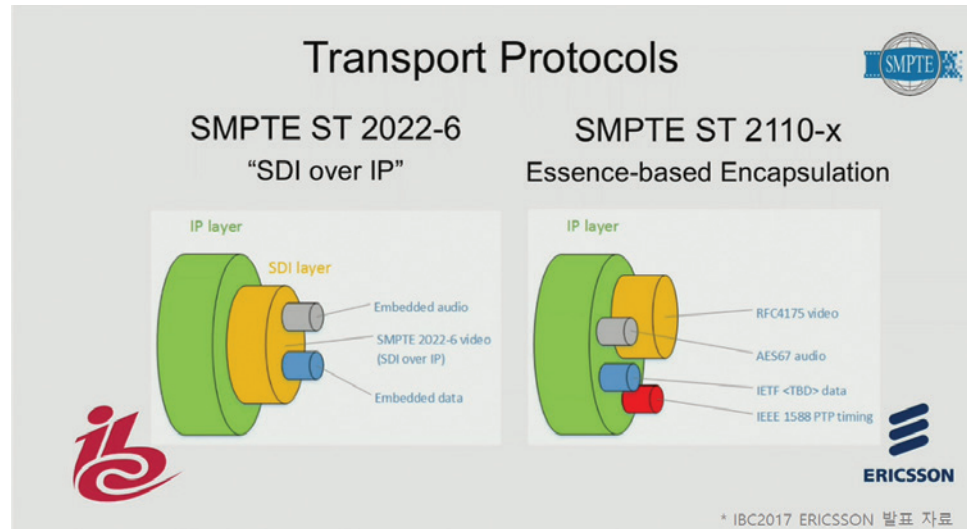


그림 1. IP 기반 콘텐츠 전송 표준 비교

SMPTE ST2110-10 : 시스템 타이밍 모델

ST2110-10에서는 IP 네트워크에서 전문 미디어에 대한 시스템 타이밍과 정의에 대해 기술한다. 주요 내용은 네트워크 인터페이스 요구사항과 시스템 타이밍 모델 그리고 SDP(Session Description Protocol)이다. 네트워크 인터페이스 요구사항에는 RTP, UDP, RTCP(may)를 지원하고 UDP 최대 크기는 1460Bytes이다. 확장 UDP 크기는 8960Bytes이며 유니캐스트와 멀티캐스트를 지원한다. 시스템 타이밍 모델은 내부 클럭(internal clock), 공통기준 클럭(common reference clock), 미디어 클럭(media clock), 샘플링 클럭, RTP 클럭, RTP 타임스탬프를 사용한다. 내부 클럭은 공통기준 클럭과 동기되어야 하고 모든 장치는 SMPTE ST 2059-2 PTP Profile를

지원해야 한다. 미디어 클럭은 내부 클럭과 주파수 동기화되어 있으며 SMPTE Epoch에서 zero 값을 가진다. 샘플링 클럭은 미디어 클럭에서 디지털 미디어 신호를 복원하기 위해 사용된다. 비디오 미디어 클럭률은 90kHz이고 오디오 미디어 클럭률은 48kHz 또는 96kHz이다. RTP 클럭은 미디어 클럭과 동일한 속도로 진행해야 한다. 다양한 발신자로부터 RTP 스트림을 동기화하기 위해 사용되는 RTP 타임스탬프는 RTP 클럭의 샘플이다.

스트림을 발생시키는 모든 발신기는 스트림 속에 어떤 정보가 있는지 수신기가 쉽게 해석할 수 있도록 SDP를 생성한다. SDP는 네트워크에서 멀티미디어 세션 정보를 기술하는 프로토콜이다. SDP에 표현되는 정보는 프로토콜 버전과 세션 이름, 생성자, 세션이 활성화되는 시간, 세션에 포함되는 미디어 종류 및 특성(비디오/오디오 포맷, 코덱 정보, RTP 클럭 등), 멀티캐스트 IP 주소, 공통기준 클럭 정보 등이다. 출력을 가지는 모든 장치는 RTP 스트림마다 하나의 SDP 개체를 구성해야 한다.

```
v=0
o=- 123456 11 IN IP4 192.168.100.2
s=Example of a SMPTE ST2110-20 signal
i=this example is for 720p video at 59.94
t=0 0
a=recvonly
a=group:DUP primary secondary
m=video 50000 RTP/AVP 112
c=IN IP4 239.100.9.10/32
a=source-filter:incl IN IP4 239.100.9.10 192.168.100.2
a=rtpmap:112 raw/90000
a=fmtp:112 sampling=YCbCr-4:2:2; width=1280; height=720;
exactframerate=60000/1001; depth=10; TCS=SDR; colorimetry=BT709;
PM=2110GPM; SSN=ST2110-20:2017;
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:37
a=mediaclock:direct=0
a=mid:primary
m=video 50020 RTP/AVP 112
c=IN IP4 239.101.9.10/32
a=source-filter:incl IN IP4 239.101.9.10 192.168.101.2
a=rtpmap:112 raw/90000
a=fmtp:112 sampling=YCbCr-4:2:2; width=1280; height=720;
exactframerate=60000/1001; depth=10; TCS=SDR; colorimetry=BT709;
PM=2110GPM; SSN=ST2110-20:2017;
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:37
a=mediaclock:direct=0
a=mid:secondary
```

그림 2. SDP 예제 (SMPTE ST2110-10 문서 부록에서 발췌)

SMPTE ST2110-20 : 비압축 비디오 전송 규격

이 문서는 IP 네트워크를 통한 비압축 액티브 비디오 에센스의 실시간 RTP 전송과 SDP 메타데이터에 대해 기술한다.

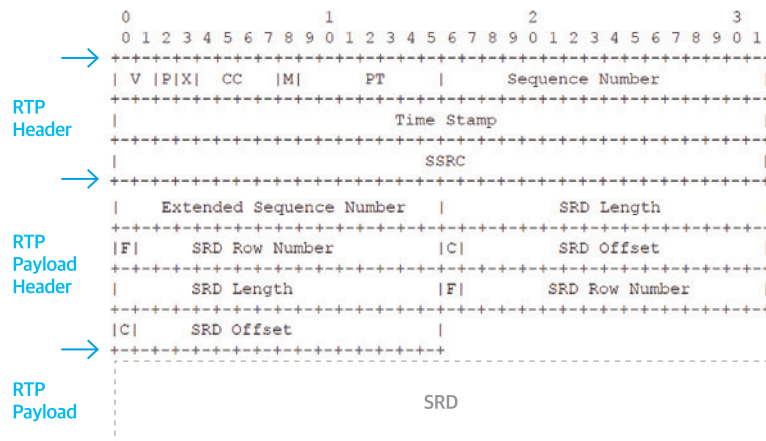


그림 3. SMPTE ST2110-20 RTP 구조

RTP는 네트워크상에서 다수의 종단 간에 비디오나 오디오 패킷의 실시간 전송을 지원하기 위한 프로토콜이다. RTP의 Payload Type(PT)는 RFC 3550, 3551 문서에 정의되어 있으며 SMPTE ST2110의 Payload Type(PT)은 dynamic이라는 이름의 96~127 범위를 사용한다. RTP는 실시간 통신에 필수적인 시간 정보 및 매체의 동기화 기능을 제공한다. 시간정보는 순서번호(Sequence Number)와 타임스탬프(Time Stamp)를 제공한다. 수신기는 순서번호를 통해 패킷 손실을 검출하거나 패킷의 순서를 재구성한다. 그리고 수신된 타임스탬프를 이용해 데이터를 적절한 시간순서 및 시간 내에 재생할 수 있도록 한다. 정보매체의 동기화 기능으로는 비디오 또는 오디오 등에 대하여 어떤 부호화 방식을 채택하였는가를 알려주는 Payload Type(RT)과 여러 스트림을 단일 스트림으로 혼합할 때 각각을 식별할 수 있도록 식별부호를 부여하는 미디어 소스 동기 정보(SSRC, CSRC)를 제공한다. SMPTE ST2110-20에는 RTP payload에 RTP payload 헤더를 가지고 있다. RTP payload 헤더는 확장 순서번호를 가지고 있으며 1~3개의 SRD(Sample Row Data) 헤더를 제공한다. SRD는 현재 전달하고 있는 패킷 데이터의 크기와 콘텐츠의 몇 번째 라인인지 알려주는 필드와 SRD 오프셋 필드를 제공한다.

SDP에는 미디어타입과 서브타입 속성으로 'video'와 'raw'를 명기하고 rtpmap에는 90kHz 미디어 클럭률을 명기해야 한다. 비디오 특성을 표기하는 미디어 타입에는 Sampling과 depth, 비디오의 가로세로 크기, 프레임률 그리고 HDR, WCG와 같은 색체계 정보를 표시한다. ST2110-20은 최대 32k×32k 크기의 이미지를 지원하며, 색표현은 YCbCr, RGB, XYZ, ICtCp를 제공한다. 또한 4:2:2/10, 4:2:2/12, 4:4:4/16 및 그 이상을 지원하고, HDR(PQ & HLG)도 지원한다.

SMPTE ST2110-30 : 비압축 오디오 전송 규격

Dante, RAVENNA, WheatNet-IP, Livewire, Q-LAN 등과 같은 IP 기반 오디오 시스템은 제조사별로 서로 다른 표준을 사용하기 때문에 상호호환 되지 않는다. AES에서는 이들 시스템과 상호호환성을 보장하기 위해 최소한의 공통 스펙으로 구성된 AES67 표준을 만들었다. ST2110-30은 이 AES67 표준을 기반으로 한다. AES67은 IP 네트워크를 통해 PCM 오디오 샘플을 RTP 패킷으로 전송한다. 하나의 패킷 시간 간격은 1msec이고 48개의 샘플이 포함되며 스트림당 1~8채널(최대 64채널)까지 지원한다. 샘플당 16/24bit로 인코딩하고 미디어 클럭은 48kHz이며 페이로드 사이즈는 최대 1440Bytes이다. RTP/UDP/IP를 지원하고 IPv4 네트워크에서 IGMPv2를 이용한 unicast 및 multicast를 지원한다. ST2110-30 문서에는 오디오 채널 심벌과 채널 순서 규칙이 정의되어 있다.

SDP 예) a=fmtp:101 channel-order=SMPTE2110.(51,ST)

만약 SDP에 위와 같이 명기되어 있다면, 처음 6개 채널은 5.1채널(L(Front Left), R(Front Right), C(Center), LFE(Low Frequency Effects), Ls(Surround Left), Rs(Surround Right))이고 나머지 두 채널이 스테레오(Left, Right) 오디오 채널 순서로 전송됨을 의미한다.

방송시스템 관리 표준(NMOS : Networked Media Open Specifications)

NMOS는 AMWA(Advanced Media Workflow Association)에서 만든 IP 기반 방송장비 관리 및 제어에 관한 개방형 표준 기술이다. NMOS 기술은 개방형 플랫폼을 지향하고 있어 기술사용에 따른 저작권료가 없으며 특정 독점적인 방송장비 제조사에 종속될 우려가 없다. 표준의 종류는 3가지로 IS-04와 IS-05가 정식 배포되었으며 IS-06은 표준화 작업 중이다. NMOS 표준 문서는 MD(Mark Down) 포맷으로 작성되어 있고 깃허브(Github)에서 다운로드 가능하다. 다운로드 주소는 다음과 같다. <https://github.com/AMWA-TV/nmos>

NMOS 표준 종류

표준명	내용	상태
IS-04	Discovery and Registration : NMOS 시스템 안에서 장비의 자동 발견 및 등록하기 위한 요구 조건, 절차	완료
IS-05	Device Connection Management : 전송단과 수신단 사이의 연결 관리하기 위한 장치 제어	완료
IS-06	Network Control : NMOS 시스템과 제어기 간 네트워크를 생성하고 관리하는 컨트롤 API 정의	작업 중

Node 구조 및 데이터 모델

Node는 NMOS 시스템에 연결된 개별 장치로써 논리적 호스트(logical host)를 지칭한다. [그림 4]는 Node의 구조를 나타낸다. Node가 역할을 수행하기 위해서 다음의 3가지 기능을 가져야 한다. Node의 자원을 읽고 변경하기 위한 HTTP API, 콘텐츠 전송을 위한 RTP 인터페이스, 타이밍 및 동기화를 위한 PTP 인터페이스 기능을 가져야 한다. 모두 Restful API로 동작이 수행된다.

Node가 제공하는 HTTP API의 종류에 따라 클라이언트(Node API)와 서버(Registration API, Query API)로 나뉜다. Node API는 모든 클라이언트 노드의 필수 구현 API로 리소스 탐색 도구로 사용된다. Registration/Query API는 NMOS 서버가 구현해야 할 API이다.

NMOS에서는 JT-NM Reference Architecture에 기반하는 논리적 데이터 모델을 사용하고 있으며 이 모델을 통해 방송 장비와 콘텐츠 간 관계를 정의한다. [그림 5]와 같이 데이터 모델은 계층적 구조를 가지며 가장 최상위에 Node가 있고 최하위 레벨에는 video grain, audio grain, data grain이 존재한다. Grain은 에센스를 구성하는 요소(예: 비디오 프레임, 오디오 샘플링, 자막)이며 Grain이 모여 Flow가 되고 Source, Sender, Device 등으로 전달된다. 'http://node의 IP주소/self'에 접근하면 해당 노드에 대한 정보를 얻을 수 있다.

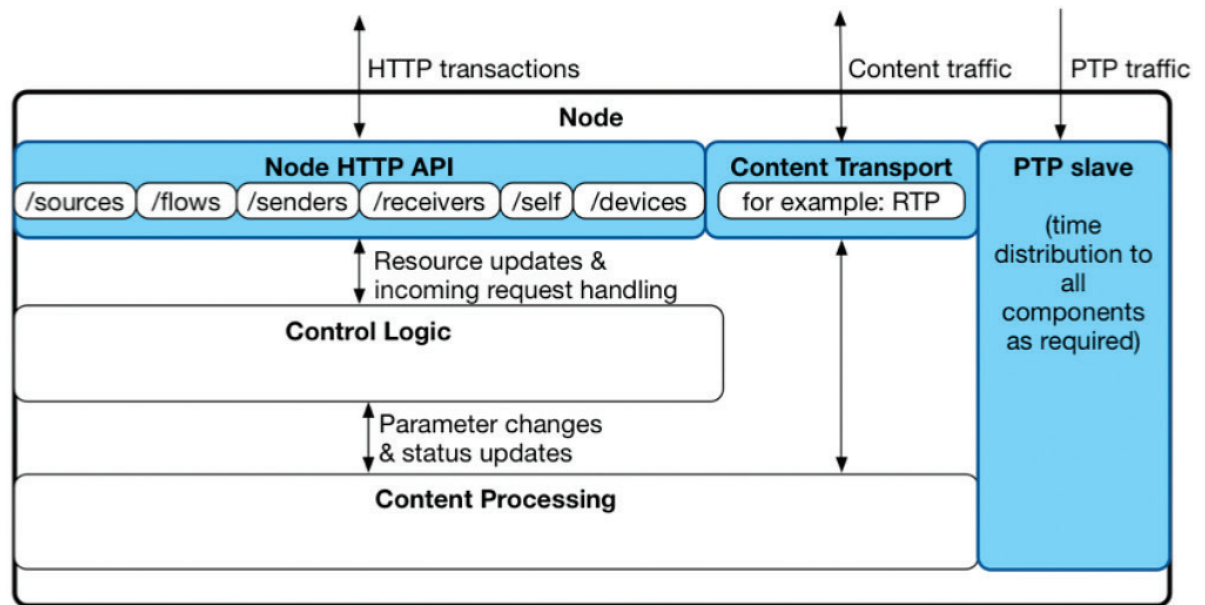


그림 4. Node의 구조

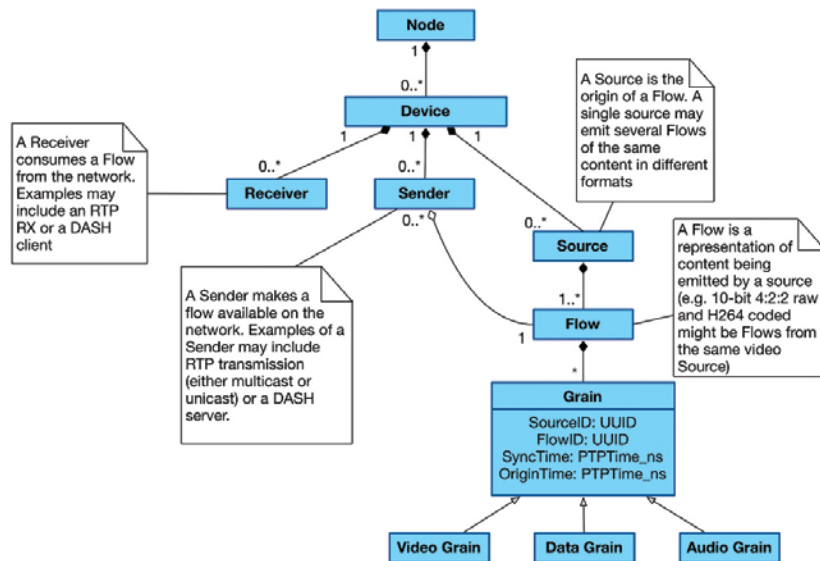


그림 5. Node 데이터 모델

발견과 등록(Discovery and Registration)

NMOS 표준 중 네트워크에 연결된 장비를 자동으로 발견하고 등록하는 방법에 대해 기술하고 있다. 기존에 출시된 장비들은 사용자가 수동으로 장비에 대한 설정을 해줘야 사용이 가능했지만 IS-04를 이용하면 스위치에 연결된 장비의 이름, 유형, 시리얼 번호, IP 주소, 기타정보 등을 자동으로 인식할 수 있다.

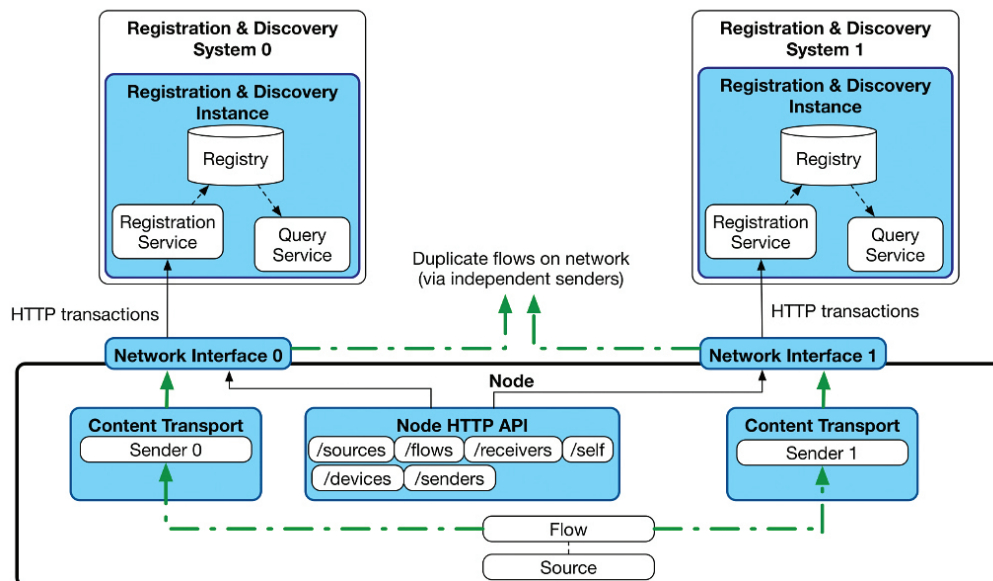


그림 6. RDS 구조

RDS(Registration & Discovery System)는 Node들을 관리하는 중앙 서버를 지칭하며, 내부에 RDI(Registration & Discovery Instance)라는 개별 객체로 구성된다. RDI는 Registration Service(노드 리소스 등록), Query Service(노드 질의응답), Registry Service(리소스 저장소) 기능을 가진다. 장비를 발견하고 등록하는 방식으로 Registered Discovery와 Peer-to-peer Discovery 두 가지 방법이 있다.

Peer-to-peer Discovery는 RDS 없이 Node끼리 서로 통신하는 방식이다. Registered Discovery는 자신이 제공할 수 있는 서비스를 동일 네트워크에 연결된 모든 Node에 전달하고 이 정보를 전달받은 Node는 자신의 정보를 RDS에 등록한다. 등록과정이 끝나면 Node는 Keepalive/heartbeat 메시지를 주기적으로 RDS에 전송하여 생사여부를 확인시켜준다. RDS는 자신의 저장소에 등록된 노드들 중 이 메시지가 일정 시간 수신되지 않으면 Node가 더 이상 유효하지 않은 것으로 간주하고 저장소 리스트에서 Node를 삭제한다. 그리고 Node들은 shutdown 시 삭제 API를 통해 registry에서 자신을 삭제한다. 삭제 순서는 최하위 리소스에서 상위 리소스 순으로 삭제를 한다. 만약 순서를 어겼을 경우, 서버는 Node를 대신해서 삭제를 수행한다. 만약, 네트워크 케이블이나 전원이 비정상적으로 오프 되었을 때는 서버가 garbage collection으로 Node를 제거한다.

SDN(Software Defined Network) 기술

기존 IP 기반 네트워크 장비는 제조사 전용의 하드웨어, OS, 소프트웨어가 일괄 구현된 단독 제품 형태로 타사 제품과 호환 시 제약이 있다. 또한 장비별로 독립적으로 네트워크 제어 및 패킷 전달 기능을 수행하도록 제작되어 운영과 관리에 어려움이 있다. 그리고 고품질 대용량의 UHD 방송 제작을 위해 하나의 네트워크에서 서로 다른 QoS 속성을 가진 영상/음성/파일/제어 데이터 트래픽 간의 차별적인 제어와 장비 간 통합적인 관리가 어려운 점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 소프트웨어 정의 네트워크(SDN) 기술을 기반으로 하는 네트워크 제어 기술이 NMOS IS-06에서 표준화 작업 중에 있다. SDN은 네트워크 장비를 기능적으로 분리하여 중앙 제어/관리가 가능하도록 하는 기술이다. SDN 기술은 네트워크 제어(Control Plane)와 패킷 전송(Data Plane) 기능을 분리하고, 논리적으로 중앙 집중적인 컨트롤러와 패킷 전송 기능 간의 통신을 위한 표준화된 인터페이스와 프로토콜(OpenFlow 등)을 사용하며, 분산 네트워크 요소들을 중앙에서 용이하게 관제할 수 있는 인터페이스를 제공한다. Data Plane은 기존 스위치에서 하드웨어적으로 수행하고, Control Plane은 별도의 중앙 집중형 서버에 소프트웨어적으로 구현한다.

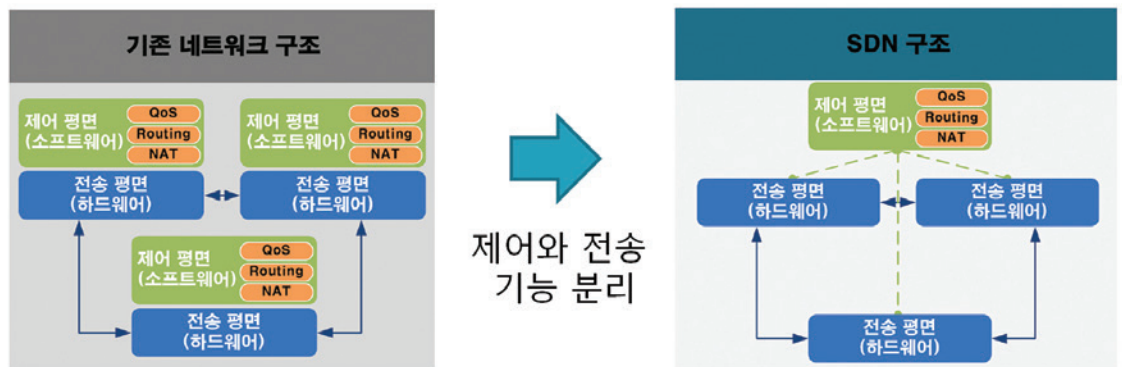


그림 7. 기존 네트워크 구조와 SDN 구조 비교

SDN 컨트롤러는 UHD 방송 스트림 및 관련 데이터 패킷이 전달되는 네트워크를 중앙 집중형태로 관리한다. 이로 인해 SDN 컨트롤러의 장애가 발생하면 전체 네트워크 기능에 장애가 발생할 수 있다. 이를 극복하기 위해 하나 이상의 SDN 컨트롤러들을 클러스터로 구성하여 장애 발생 시 정상 동작하는 컨트롤러가 장애 컨트롤러의 기능을 대신 수행함으로써 네트워크 장애를 방지할 수 있는 Active-Active 이중화 구성이 요구된다. 또한 네트워크 간 링크 결절이 발생하였을 때, 다른 링크로의 끊김 없는 스트림 전송 전환이 가능하도록 하는 스위치간의 Spine-Leaf 네트워크 토폴로지 구성이 필요하다.

IP 기반 UHD 방송제작 워크플로우 테스트베드 구축

KBS에서는 미디어 환경이 다양화되고 콘텐츠가 고품질 대용량화됨에 따라 뉴미디어 환경에 효율적으로 대응하고 향후 확장성 등을 고려하여 UHD 방송 제작 인프라를 개방형 IP 표준기반으로 구축하기로 정책 결정하였다. 이에 KBS에서는 IP 기반 방송제작 환경의 다양

한 워크플로우를 실험하고 검증하여 IP 전환 시 발생할 수 있는 다양한 시행착오를 최소화하기 위한 공개표준형 IP 기반 UHD 방송제작 테스트베드를 구축하고 있다. IP 기반 UHD 방송제작 테스트베드는 방송 장비 간 콘텐츠 전송(SMPTE ST2110) 기술, 동기화(SMPTE ST2059) 기술 그리고 효율적인 워크플로우 관리/제어(NMOS)의 개방형 표준 기술을 기반으로 개발하고 있다. 또한 네트워크 기술이 중앙 집중형 SDN으로 발전함에 따라 방송제작에 적용하기 위해 SDN 기반의 방송 네트워크 제어/관리 기술도 개발하고 있다. 이를 바탕으로 'IP 기반 UHD 방송제작 워크플로우 플랫폼 기술 개발' 국책과제를 추진하고 있으며 IP 신호변환기와 IP 비디오 스위처 등 관련 장비를 과제를 통해서 개발하고 있다. 테스트베드 운영 및 실험은 디바이스의 인식 등록 등 IP 제작 장비의 연동 테스트부터 시작하여 점차적으로 네트워크 관리 기능으로 확대하여 실험할 예정이다. 또한 효율성, 활용률, 관리 용이성 평가와 더불어 제작 운용 실험도 실시하고 편의성 평가를 통해 테스트베드 시스템도 개선할 계획이다.

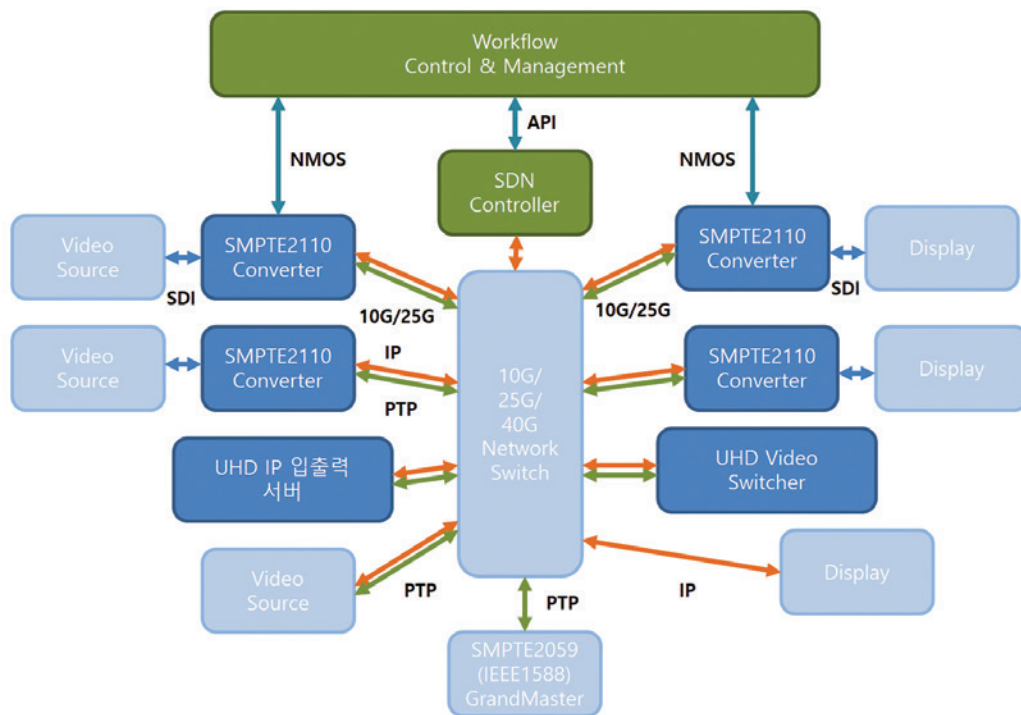


그림 8. IP 기반 UHD 방송제작 워크플로우 테스트베드 구성도

방송장비의 IP화는 기존 하드웨어 장비의 소프트웨어화를 의미한다. IP 기술은 방송장비를 효율적으로 운용하고 관리가능하며 자유로운 확장 및 유연성을 증대시켜준다. 이들의 집합체인 IP 기반 방송제작 인프라는 자원의 활용도와 확장성을 높여 다양한 뉴미디어 서비스에 신속하게 대응 가능하게 하여 장기적으로는 인프라 투자비용을 절감할 것으로 기대된다. 지금까지 IP 기반 방송 제작 기술 동향과 관련 표준에 대해 알아보았다. 방송제작 인프라의 IP화는 지상파 방송의 큰 도전이자 기회이다. 📺