ATSC 3.0 물리계층 표준기술

□ 권선형, 박성익, 이재영, 임보미, 김흥묵 / 한국전자통신연구원

요약

최근 UHD 방송에 대한 관심이 높아지면서, 지상파 UHD 방송을 위한 전송표준에 대한 관심도 자연스레 높아지고 있다. 국내에서도 이러한 흐름에 맞추어, 2009년 9월 제정된 유럽 방식인 DVB-T2를 기반으로 HEVC(High Efficiency Video Coding) 비디오 코덱을 적용한 실험방송이 진행되고 있다. 한편, 미국의 ATSC[1]에서는 2013년부터 HEVC 비디오 코덱을 적용하여 고정수신 UHD 방송과 이동수신 HD 방송의 동시서비스를 고려한 ATSC 3.0 표준화를 현재까지 진행하고 있다. 특히, ATSC 3.0 표준화에서는 국내 가전사와 ETRI가 주도적으로 참여하고 있으며, 유럽의 DVB[2]와 중국의 NERC-DTV[3], 일본의 NHK, Sony 등 전세계의 여러 방송 관련 기관들도 참여하고 있다. 본 고에서는 최신 지상파 방송표준인 ATSC 3.0의 표준화 동향과 물리계층 요소기술에 대해서 살펴보고자 한다.

1. 서 론

ATSC 3.0은 미국의 차세대방송표준으로 기존 ATSC 표준들과의 역호환성을 제공하지 않는 새로운 방송표준이다. ATSC 3.0은 물리계층, 제어 및 프로토콜, 응용계층에 관한 내용을 모두 담고 있으나, 본 고에서는 ATSC 3.0의 여러 계층 중에서 물리계층에 관한 기술들을 설명하고자 한다.

ATSC에서는 2013년 3월 Call for Proposals를 발행하였으며, 2013년 10월 총 12개의 제안서를 접수 받았다. 12개의 제안서 가운데는 물리계층 전체를 포함하는 제안서뿐 아니라, 특정 기술분야만을 포함하는 제안서도 제출되었다. ATSC 3.0 물리계

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [R0101-15-294, 융합형 실감방송 서비스 및 전송 기술 개발]

1) Advanced Television Systems Committee(atsc.org)
2) Digital Video Broadcasting(www.dvb.org)
3) National Engineering Research Center(www.nercdtv.org)

층 표준은 2015년 9월 Candidate Standard(CS)로 승인되었으며, 2016년 말까지 표준절차를 마무리할 예정이다.

기존의 1세대 디지털방송표준인 ATSC A/53 디지털지상파방송 표준[1]과 비교하여, ATSC 3.0은 최소 30% 증대된 전송용량을 제공한다. ATSC 3.0은 1세대 디지털방송표준을 능가하는 성능을 제공하는 것에 그치지 않고, 2세대 디지털방송표준인 유럽의 DVB-T2[2]/NGH[3]보다 개선된 성능, 기능, 유연한 서비스 및 효율성을 제공하는 것을 목표로 표준화가 진행되었다. 특히, ATSC 3.0 물리계층의 경우, UHD TV 서비스를 전송하기 위해 향상된 시스템 전송용량을 제공하고, 강인한 실내수신을 제공하기 위한 기술들을 포함하고 있다. 또한, 급격히 증가하고 있는 무선통신서비스의 수요증가로 인해 충분한 방송주파수 대역확보가 어려운 상황에서, 효율적인 스펙트럼 사용을 비롯하여 수신강인성 및 유연한 서비스 제공이 중요한 요소로 고려되었다.

ATSC 3.0 물리계층은 보다 향상된 성능과 유연한 서비스를 위하여, 많은 최신의 기술들을 포함하고 있으며 넓은 동작 SNR 영역을 제공하는 장점을 가지고 있다. 방송사들은 넓은 동작 SNR 영역 중 필요한 SNR 영역에서 작동하는 mode를 적절히 선택하여 사용할 수 있다. 각 방송사들이 선택하여 사용하는 mode는 각 방송사들이 서비스를 하고자 하는 대상에 따라 달라질 수 있다.

ATSC 3.0 물리계층은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 기반으로, 우수한 성능의 LDPC(Low-Density Parity Check) 코드를 사용하는 것을 특징으로 한다. 또한, QPSK부터 4096QAM에 이르는 총 6개의 변조기법을 제공하고 있다. 다중화 기법으로는 일반적으로 널리 사용되는 TDM, FDM 뿐만 아니라 송신전력을 나누어 사용하는 LDM(Layered Division Multiplexing) 기법이 새롭게 채택되었다.

한 개의 서비스는 최대 4개의 PLP로 구성될 수 있으며, 예를 들어 비디오, 오디오, 메타데이터가 하나의 서비스로 묶일 수 있다. 또한, 하나의 RF 채널에 존재할 수 있는 최대 PLP 개수는 64개로 제한되어 있다. 6MHz 채널 기준으로 제공될 수 있는 전송용량은 최소 1Mbps부터 최대 57Mbps 수준이며, 이에 대응되는 작동 SNR 영역은 AWGN 채널 기준으로 최소 −6.2dB부터 최대 32dB이다.

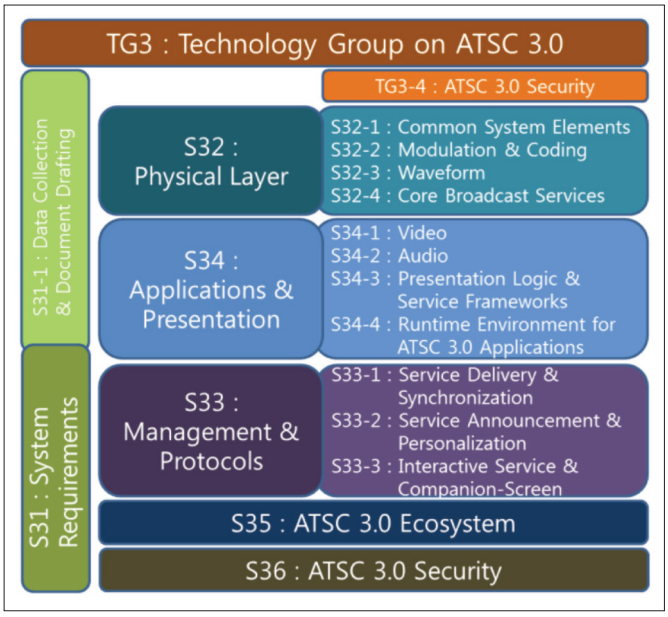
본 고에서는 ATSC 3.0의 표준화 동향에 대해 살펴보고 물리계층의 요소기술에 대해 설명하고자 한다.

II. ATSC 3.0 표준화 동향

ATSC에서는 2016년 말까지 표준완료를 목표로 ATSC 3.0 표준화 작업이 진행 중이다. ATSC 3.0의 주요 요구사항으로는 고정수신을 위한 UHD방송과 이동수신을 위한 HD방송의 동시서비스, 하이브리드 방송, 개인화 및 양방향 서비스, 스펙트럼의 유연한 사용 등이 있다.

2011년 11월부터 TG3(Technology Group on ATSC 3.0)에서 표준화 논의가 시작되었으며, ATSC 3.0 물리계층의 경우 2015년 9월에 후보표준(CS)[4]으로 승인되었고, 2016년 4월까지 CS 검토기간을 가진다. 이와 동시에 ATSC 3.0 물리계층 표준기술의 검증을 위한 Validation & Verification이 진행 중이다.

물리계층전송 표준에 국한된 유럽의 DVB-T2와는 다르게 ATSC 3.0은 물리계층뿐만 아니라, 매니지먼트 및 프로토콜계층, 애플리케이션 및 서비스 표현계층 표준을 모두 포함하고 있다. ATSC 표준 조직



〈그림 1〉 ATSC 3.0 표준그룹 조직도[9]

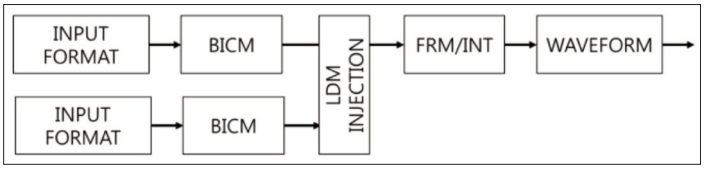
은 〈그림 1〉과 같이 전체총괄 역할을 수행하는 TG3 산하에 6개의 전문가 그룹(Specialist Group)과 13개의 임시그룹(Ad Hoc Group)으로 구성되어 있다.

1. 물리계층 표준 전문가 그룹 활동

6개의 전문가 그룹 중 S32에서 물리계층 관련 표준화를 담당한다. S32는 S32-1부터 S32-4까지 총 4개의 AHG를 두고 있다.

S32-1에서는 공통 시스템 요소인 RF 앰프 및 noise figure, 주파수 변환, RF gain 컨트롤, 아날로그 필터 등 아날로그 튜너 설계에 관련된 사항들에 대해 정의한다. 물리계층 표준 대상은 디지털 영역에 관한 것이므로, S21-1에서 논의하는 내용이 물리계층 표준과 직접적으로 관련이 있는 영역은 아니지만, 후보표준의 하드웨어 검증이나 수신기 제작 가이드라인을 제시할 때 도움을 줄 것으로 보인다.

S32-2에서는 변조 및 코딩과 관련된 기술들을



〈그림 2〉 ATSC 3.0 물리계층 블록도

정의한다. 입력 포맷을 시작으로 FEC 코드, 신호성상, 인터리버, MISO/MIMO, 시그널링 등에 관한 것을 정의한다.

S32-3에서는 Waveform에 관한 것들을 정의한다. Waveform 생성과 관련된 기술은 크게 Pilot, MISO, OFDM, PAPR, Bootstrap 및 Preamble이 있다. 다중화 기법 중 하나인 LDM의 경우 표준화 진행과정에서는 S32-3에서 논의가 이루어졌으나, 채택 후에는 S32-2에서 다루는 변조 및 코딩부분에 반영되었다.

S32-4는 핵심 방송서비스(Core Broadcast Service)에 관한 AHG으로 송신기의 송출전력, 송출타워 높이, 송수신기의 수를 고려하여 다양한 방송환경에서 방송망 내의 고정 및 실내수신/이동방송수신 등을 위한 데이터 전송률 및 요구 SNR을 정의한다.

Ⅲ. ATSC 3.0 물리계층 요소기술

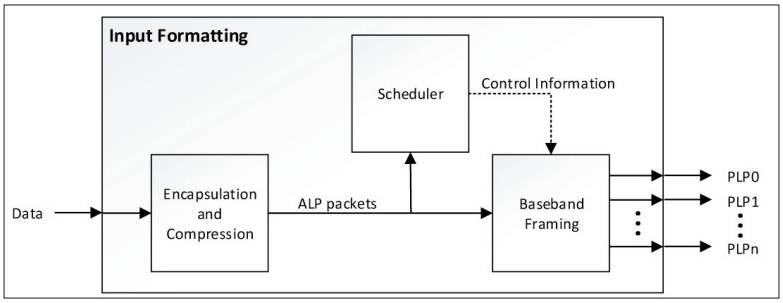
ATSC 3.0 시스템의 물리계층은 〈그림 2〉와 같이 4개의 주요 부분인 Input formatting, BICM(Bit-Interleaved and Coded Modulation), Framing 및 Interleaving, Waveform 생성부로 구성되어 있다. 입력 데이터는 Input formatting 모듈에서 포매팅되어 BICM 모듈로 전달된다. BICM 모듈에서는 FEC(Forward Error Correction)를 이용하여 부호화한 후 성상신호로 매핑하는 과정을 수행한다. Framing 및 Interleaving 블록에서는 시간과 주파수 영역에서 인터리빙을 수행하며, 마지막으로 송신을 위한 파형이 Waveform 생성부에서 만들어진다.

1. Input Formatting

Input formatting은 〈그림 3〉과 같이 캡슐화 및 압축, Baseband framing, 스케줄러 블록으로 구성되어 있다.

1) 캡슐화

IP packet, Transport stream packet, 또는 generic data를 비롯한 다양한 형태의 데이터를 입력 받을 수 있다. 캡슐화 과정을 거치면서 다양한 형태의 데이터들은 generic packet 형태로 가공되며, 이때 generic packet의 길이는 최소 4 bytes부터 최대 64k bytes의 길이를 가질 수 있다.



〈그림 3〉 Input Formatting 블록도[4]

2) 스케줄러

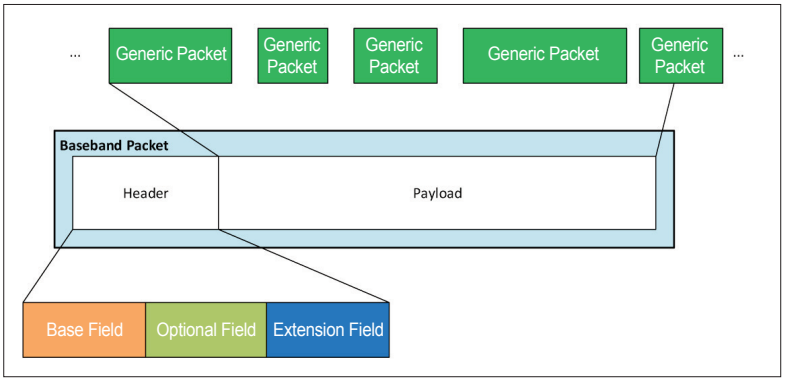
스케줄러는 캡슐화된 generic packet을 물리계층 자원에 어떻게 할당할지를 알려주는 블록이다. 이 때, 스케줄러는 시스템 버퍼 모델과 정의된 PLP (Physical Layer Pipes), 그리고 가용 주파수대역을 고려하여 작동한다. 또한, 입력데이터가 가지고 있는 QoS(Quality of Service) 요구사항과 기타 컨트롤 정보들도 고려해주어야 한다. 최종적으로 스케줄러의 출력은 전송하고자 하는 데이터를 언제 그리고 어떤 자원을 이용하여 보낼지에 대한 것이다.

3) Baseband framing

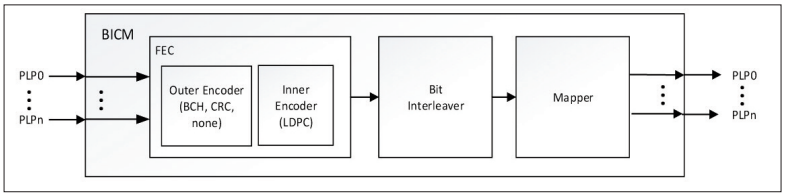
Baseband framing은 Baseband packet 생성부, Baseband packet 헤더 생성부, Baseband packet 스크램블링으로 구성되어 있다. Baseband packet은 〈그림 4〉와 같이 헤더와 페이로드로 구성된다. 이 때, Baseband packet 길이는 해당 PLP에서 사용되는 FEC 코드와 코드의 길이에 의해 결정되는 값을 가진다.

2. Bit Interleaved and Coded Modulation (BICM)

BICM은 방송시스템의 성능에 핵심적인 역할을 수행하는 블록이다. BICM은 〈그림 5〉와 같이 3가지 부분으로 구성되어 있다. Forward Error Correction (FEC) 블록은 inner code와 outer code로 구성되어 있으며, FEC 블록은 baseband packet을 입력 받아 FEC frame을 생성한다. FEC frame은 baseband packet의 페이로드와 FEC 패



〈그림 4〉 Baseband packet 구조[4]



〈그림 5〉 BICM 구성도[4]

러티가 순차적으로 연접되어 있는 systematic 형태로 구성되어 있다.

1) Forward Error Correction

Inner code는 BICM의 에러정정 능력을 주로 담당하는 부분으로 LDPC(Low-Density Parity Check) 코드가 사용된다. 16200 bit 길이와 64800 bit 길이를 가지는 2가지 길이의 LDPC 코드가 사용되며, 부호율은 2/15부터 13/15까지 총 12개의 부호율이 사용된다. 이때, LDPC 코드는 부호율에 따라서 A타입과 B타입을 사용하도록 되어 있다. 일반적으로 A타입은 낮은 부호율에서 좋은 성능을 보이며, B타입은 중간과 높은 부호율에서 좋은 성능을 보인다.

Outer code로는 총 3가지 옵션이 존재한다. 첫 번째는 BCH(Bose, Ray-Chaudhuri and Hocquenghem) 코드를 사용하는 것이고, 두 번째는 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 사용하는 것이며, 마지막으로는 아무것도 사용하지 않을 수도 있다. 일반적으로 오류정정효과는 Inner code에서 대부분 얻으며, Outer code는 Inner code의 오류마루를 제거하는 등 부수적인 역할을 수행한다고 볼 수 있다. BCH 코드의 경우 16200 bit LDPC를 위해서는 168 bit, 64800 bit LDPC를 위해서는 192 bit 길이를 사용한다. CRC는 LDPC 코드 길이에 관계없이 32 bit 길이를 사용한다.

2) Bit Interleaver

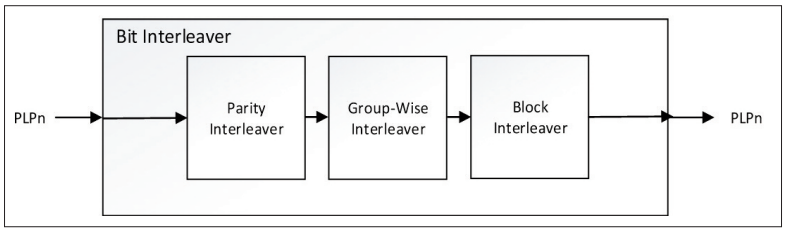
비트 인터리버는 열악한 채널환경에서 군집오류가 발생하였을 때도 BICM이 최적의 성능을 갖도록 LDPC 부호어를 적절히 섞어주는 역할을 수행한다. 비트 인터리버는 〈그림 6〉과 같이 패리티 인터리버(Parity Interleaver), 그룹단위 인터리버(Group-wise Interleaver), 블록 인터리버(Block Interleaver)로 구성된다.

그룹단위 인터리버는 LDPC 부호어를 360bit 단위의 비트그룹으로 구분 지은 후 비트그룹단위로 섞어주는 역할을 수행한다. 그룹단위 인터리버는 3가지 인터리버 중에서 시스템 성능을 결정짓는 가장 중요한 역할을 수행한다.

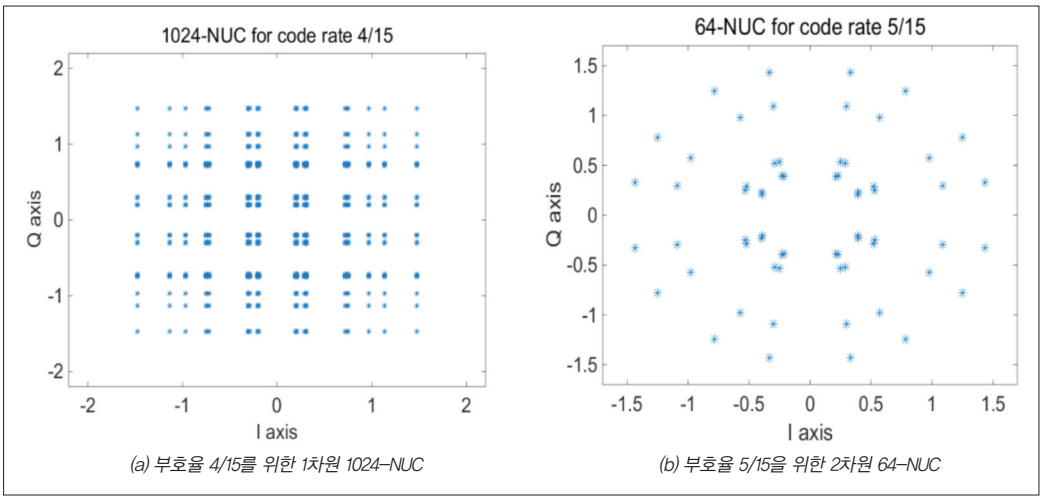
3) Modulation

성상매핑에서는 균등성상인 QPSK와 5종류의 비균등 성상(NUC:Non-Uniform Constellation)이 사용된다. 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM은 2차원 비균등 성상으로 설계되었으며, 1024-QAM과 4096-QAM은 낮은 복호 복잡도를 위해 1차원 비균등 성상으로 설계되었다.

비균등 성상은 〈그림 7〉과 같이 성상을 의도적으로 왜곡하여 송신신호의 amplitude 분포가



〈그림 6〉 비트 인터리버 구성도[4]



(a) 부호율 4/15를 위한 1차원 1024-NUC (b) 부호율 5/15을 위한 2차원 64-NUC

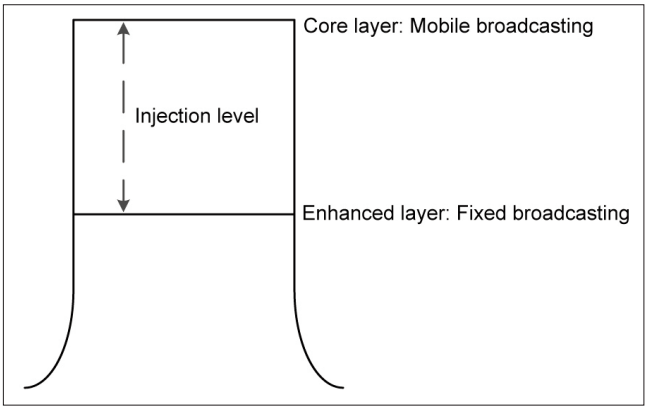
〈그림 7〉 비균등 성상도 예시

Gaussian 분포에 가깝도록 한다[5]. 비균등 성상은 각 부호율과 성상차수의 조합에 따라 고유한 값을 가지도록 설계되어 있다.

3. Layered Division Multiplexing

LDM 기술은 여러 개의 방송 스트림을 한 RF 채널에 보내기 위한 멀티플렉싱 기술의 한 종류로, ASTC 3.0 물리계층에 최초로 반영된 기술이다. LDM은 시간이나 주파수 자원을 각 방송 스트림별로 나누어 사용하는 기존의 TDM, FDM과는 달리 전송신호의 전력만을 나누어 사용하는 것을 특징으로 한다[6].

ATSC 3.0 물리계층에 반영된 LDM에서는 최대 2개의 서로 다른 방송 스트림을 고려하고 있다. 상



〈그림 8〉 LDM 2계층 전송 스펙트럼 개념도[7]

위에 위치한 방송 스트림을 core layer라고 명명하고, 하위에 위치한 방송 스트림을 enhanced layer라고 명명하고 있다. 일반적으로 core layer는 enhanced layer보다 더 강인한 ModCod(Modulation and Coding) 조합을 사용한다.

두 개의 layer를 결합할 때에는 〈그림 8〉과 같이 계층간의 삽입레벨(injection level)에 따라, core layer 아래에 enhanced layer를 위치시킨다. 수신기에서는 core layer를 우선적으로 복조하며, 이때 enhanced layer는 간섭으로 간주한다. Core layer의 성공적인 복조가 이루어지면, 수신신호로부터 core layer 신호를 제거하여 enhanced layer 신호만을 남겨 놓은 후 enhanced layer 신호의 복조를 수행한다.

〈표 1〉은 LDM 방식이 TDM 방식 대비 요구 SNR 측면에서 상당한 이득이 있음을 보여준다. LDM은 서로 다른 서비스가 공통된 OFDM부를 사용하므로, 결과적으로 단일 OFDM 파라미터 값이 서로 다른 서비스에 공통적으로 적용된다. 본 실험에서는 LDM의 경우에는 16K FFT와 1/16 GI가 사용되는 것을 가정하였다. 반면, TDM의 경우에는 core layer에 대응되는 모바일 서비스에는 8K FFT와 1/8 GI가 사용되고 enhanced layer에 대응되는 고정수신 서비스에는 32K FFT와 1/32 GI이 사용되는 것을 가정하였다.

LDM core layer의 전송률이 4.1Mbps인 경우에는 TDM의 Mobile 40% 상황에서 4.0Mbps경우와 비교하여 약 3.7dB의 SNR 이득을 가지며, 이때, en-hanced layer의 측면에서도 전송률이 24.6Mbps 인 경우를 고려하면 TDM의 Fixed 60%보다 약 2.3dB의 SNR 이득을 가진다.

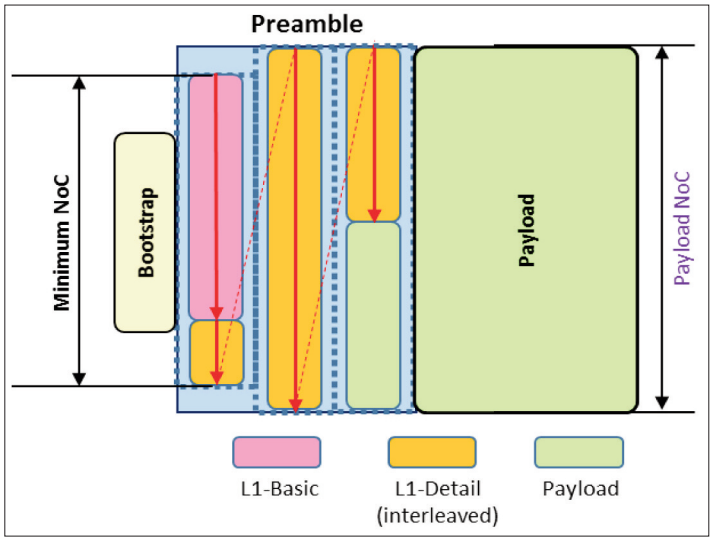
DVB에서도 이러한 LDM의 장점에 주목하여, 2014년 9월 차세대 유럽지상파방송 전송표준을 위한 Study Mission Report에 LDM을 소개하였다[8].

4. 전송 Frame 구조

ATSC 3.0 프레임은 〈그림 9〉와 같이 총 3개의

〈표 1〉 LDM vs. TDM 요구 SNR 비교[7]

LDM			TDM					
			Mobile 55%		Mobile 40%		Mobile 30%	
	Data rate	SNR	Data rate	SNR	Data rate	SNR	Data rate	SNR
Core Layer	2.7 Mbps QPSK 4/15	-0.3 dB	2.7 Mbps QPSK 8/15	1.3 dB	2.7 Mbps QPSK 11/15	3.7 dB	2.6 Mbps 16Q 7/15	5.3 dB
	4.1 Mbps 16Q 3/15	**2.7 dB**	4.1 Mbps 16Q 6/15	4.3 dB	**4.0 Mbps 16Q 8/15**	**6.4 dB**	3.7 Mbps 16Q 10/15	8.5 dB
4 dB injection level			Fixed (TDM) 45%		Fixed (TDM) 60%		Fixed (TDM) 70%	
Enhanced Layer	14.3 Mbps 64Q 7/15	14.6 dB	14.4 Mbps 256Q 11/15	18.9 dB	14.4 Mbps 64Q 11/15	14.4 dB	15.3 Mbps 64Q 10/15	13.0 dB
	24.6 Mbps 256Q 9/15	**21.2 dB**	-	N/A	**24.0 Mbps 1 KQ 11/15**	**23.5 dB**	24.4 Mbps 256Q 12/15	20.7 dB
	30.1 Mbps 256Q 11/15	24.4 dB	-	N/A	-	N/A	30.6 Mbps 1 KQ 12/15	25.6 dB



〈그림 9〉 ATSC 3.0 전송프레임 구조[4]

큰 요소로 구성되어 있다. 첫 번째로 프레임의 가장 처음에 등장하는 bootstrap, 이어서 등장하는 preamble, 그리고 나머지 부분에 데이터 페이로드를 위치 시킨다.

Bootstrap 신호는 가장 기본적인 정보를 담고 있다. Bootstrap 신호는 가장 강인하게 설계되어, 열악한 환경에서도 수신기가 bootstrap 신호를 수신할 수 있도록 설계되었다. 다음으로 preamble은 bootstrap 신호보다는 덜 강인하지만, 데이터 페이로드 신호보다는 더 강인하도록 설계되었다. Preamble은 Layer 1(L1) 컨트롤 시그널링 정보와 데이터 페이로드의 프레임 구성에 대한 정보를 담고 있다. 한편, 한 개의 프레임은 여러 개의 서브프레임으로 구성될 수 있다. 이 때, 각 서브프레임은 동일한 FFT 수, GI 길이, scattered pilot 패턴 및 유효 subcarriers 수를 가지는 것을 특징으로 한다. ATSC 3.0 프레임은 최소 50 ms부터 최대 5초의 길이를 가진다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 표준화가 마무리단계에 있는 ATSC 3.0 표준과 관련하여 각 전문가 그룹의 활동 내역과 물리계층 요소기술에 대해 간략히 소개하였다. 특히, 새롭게 채택된 LDM의 개념과 TDM 대비 성능이득에 대해서도 살펴보았다. LDM 기술은 이동 HD방송과 고정 UHD방송을 동시에 서비스하기 위한 기술로 주목 받고 있으며, TDM 대비 우수한 실내수신 성능을 기대하고 있다. 전반적으로 ATSC 3.0이 DVB-T2와 비교하여 우수한 성능을 제공하고 있어, 국내의 지상파 UHD 전송방식 결정에 있어 많은 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] ATSC A/53, "ATSC Digital Television Standard," Parts 1-6, Jan. 2007.

[2] DVB-T2, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," ETSI EN 302 755 v.1.3.1, Apr. 2012.

[3] DVB-NGH, "Digital Video Broadcasting (DVB); Next Generation broadcasting system to Handheld, physical layer specification (DVB-NGH)," Draft ETSI EN 303 105 v.1.1.1, Nov. 2012.

[4] ATSC A/322, "ATSC Candidate Standard S32 Physical Layer Standard,"Oct. 2015

[5] C. Fragouli, R. D. Wesel, D. Sommer, and G. P. Fettweis, "Turbo codes with nonuniform constellations," IEEE ICC, Jun. 2001.

[6] Y. Wu, B. Rong, K. Salehian, and G. Gagnon, "Cloud transmission: A new spectrum-reuse friendly digital terrestrial broadcasting transmission system", IEEE Trans. on Broadcasting, 58(3), pp. 329-337, Sep. 2012.

[7] 이재영, 권선형, 박성익, 김흥묵, "ATSC 3.0 기술 및 표준화 현황", 한국전자파학회지, 제 25권, 제 5호, pp. 33-41, 2014년 9월.

[8] DVB TM-T, "DVB Technical Module MIMO Study Mission Report", Rev. 20, DVB TM-T0016r3, Sep. 2014.

[9] 음호민, 서재현, 김흥묵, 허남호, "실감 지상파 디지털 방송기술", 한국통신학회지(정보와통신), 32(2), 2015.1, 63-72 (10 pages).

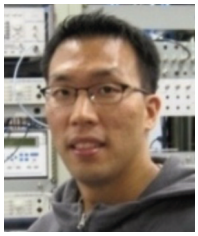
필 자 소 개

권 선 형

– 2008년 : KAIST 전자전공 공학사
– 2010년 : KAIST 전기및전자 공학석사
– 2010년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원
– 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 통신 신호처리

박 성 익

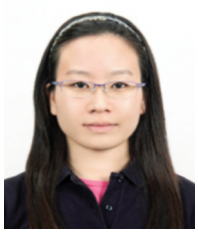
– 2000년 : 한양대학교 전자전기공학부 공학사
– 2002년 : 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사
– 2011년 : 충남대학교 정보통신공학과 공학박사
– 2002년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
– 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리



이 재 영

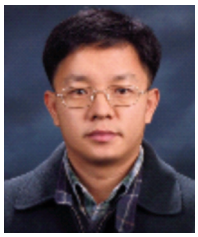
– 2013년 : Simon Fraser 대학교 공학 박사
– 2003년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
– 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 방송시스템

필 자 소 개



임 보 미

– 2008년 : 아주대학교 전자공학부 공학사
– 2010년 : KAIST 정보통신공학과 공학석사
– 2010년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
– 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 통신 신호처리



김 흥 묵

– 1993년 : 포항공대 전자전기공학과 공학사
– 1995년 : 포항공대 전자전기공학과 공학석사
– 2013년 : KAIST 정보통신공학과 공학박사
– 1993년 ~ 2001년 : POSCO 기술연구소 연구원
– 2002년 ~ 2003년 : ㈜맥스웨이브 연구개발팀장
– 2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 지상파방송연구실장
– 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 방송/통신 신호처리