

FBMF Technical Report

기술보고서

FBMF-TR-018

제정일 2024. 11. 29.

디지털 라디오 표준기술 분석서(기술보고서)

Analysis of Digital Radio Standard
(Technical Report)



기술보고서 초안 검토 위원회 모바일방송응용분과위원회
 기술보고서안 심의 위원회 운영위원회

	성명	소 속	직위	위원회 및 직위
기술보고서(과제) 제안	서정일	동아대학교	교수	모바일방송응용분과 위원장
기술보고서 초안 작성자	이재영	ETRI	책임	모바일방송응용분과 간사
	서영우	KBS	수석	모바일방송응용분과 위원
	박두경	MBC	차장	모바일방송응용분과 위원
	김정훈	마루이엔지	이사	모바일방송응용분과 위원
	이우철	마루이엔지	대표	모바일방송응용분과 위원
	이용준	현대모비스	책임	모바일방송응용분과 위원
	김홍국	광주과학 기술원	교수	모바일방송응용분과 위원
	이용주	ETRI	책임	모바일방송응용분과 위원
	박호종	광운대학교	교수	모바일방송응용분과 위원
	이석진	경북대학교	교수	모바일방송응용분과 위원
	주영주	MMB	이사	모바일방송응용분과 위원

사무국 담당 함상진 KBS 미래방송표준포럼
사무총장

본 문서에 대한 저작권은 미래방송미디어표준포럼에 있으며, 미래방송미디어표준포럼과 사전 협의 없이 이 문서의 전체 또는 일부를 상업적 목적으로 복제 또는 배포해서는 안 됩니다.

본 표준 발간 이전에 접수된 지식재산권 확약서 정보는 본 표준의 ‘부록(지식재산권 확약서 정보)’에 명시하고 있으며, 이후 접수된 지식재산권 확약서는 미래방송미디어표준포럼 웹사이트에서 확인할 수 있습니다.

본 표준과 관련하여 접수된 확약서 외의 지식재산권이 존재할 수 있습니다.

발행인 : 미래방송미디어표준포럼 의장
 발행처 : 미래방송미디어표준포럼
 06130, 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 신관 1108호
 Tel : 02-568-3556, Fax : 02-568-3557
 발행일 : 2024.11

서 문

1 기술보고서의 목적

이 기술보고서의 목적은 국내 지상파 방송 중 유일하게 디지털 전환이 이루어지지 않은 라디오 방송에 대한 디지털화를 추진하기 위해 국내외에서 표준화 되었거나 상용서비스가 이루어지고 있는 디지털 라디오 표준과 오디오 코덱에 대한 기술분석을 진행함으로써 국내 방송 및 서비스 환경에 적합한 디지털 라디오 표준을 선정하기 위한 기초자료로 활용하기 위함이다.

2 주요 내용 요약

이 기술보고서는 4장에서 국내외 디지털 라디오 표준에 대해서 분석한다. 5장에서는 디지털 라디오에 적용된 오디오 코덱 및 최신 오디오 코덱 기술들을 설명하고, 오디오 코덱의 기술개발 동향과 국내 디지털 라디오 서비스를 위한 오디오 코덱을 제안한다. 6장에서는 ATSC 3.0에서 진행중인 디지털 라디오 표준개발 현황을 설명한다. 마지막으로 7장에서는 본 기술보고서의 결론 및 시사점을 기술한다.

3 인용 표준과의 비교

해당사항 없음

Preface

1 Purpose

The purpose of this technical report is to serve as a foundational resource for selecting a digital radio standard suitable for the Korean domestic digital radio broadcasting service environment by conducting a technical analysis of digital radio standards and audio codecs that have been standardized or are in commercial service both domestically and internationally. This is particularly aimed at promoting the digitalization of radio broadcasting, which remains the only terrestrial broadcast service in Korea yet to undergo digital transformation.

2 Summary

This technical report analyzes domestic and international digital radio standards in Chapter 5. Chapter 6 outlines the audio codecs applied to digital radio, along with the latest audio codec technologies, and proposes an audio codec suitable for Korean domestic digital radio services based on the trends in technology development. Chapter 7 details the current status of digital radio standard development under ATSC 3.0. Finally, Chapter 8 presents the conclusions and implications drawn from the findings of this technical report.

3 Relationship to Reference Standards

N/A

목 차

1	적용 범위	1
2	인용 표준	1
3	용어 및 약어 정의	1
4	디지털 라디오 표준 분석	3
4.1	서론	3
4.2	디지털 라디오 표준 개요	3
4.3	DAB/DAB+	4
4.4	DRM	5
4.5	HD Radio	7
4.6	SiriusXM	8
5	오디오 코덱 기술 분석	10
5.1	디지털 오디오 코덱의 개요	10
5.2	MPEG-1/2 Audio	11
5.3	AAC (Advanced Audio Codec)	12
5.4	xHE-AAC	14
5.5	MPEG-H 3D Audio	16
5.6	AC-4	18
5.7	기타 주목할 만한 코덱	19
5.8	오디오 코덱의 미래 동향	20
5.9	국내 디지털 라디오 서비스를 위한 오디오 코덱 제안	20
6	ATSC 3.0 표준화 동향 분석	22
6.1	ATSC 3.0 표준 개요	22
6.2	디지털 라디오 전송을 위한 ATSC 3.0 표준 주요 이슈 현황	23
6.3	ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 서비스 예시	28
7	결론 및 시사점	31
7.1	디지털 라디오 방식 결정을 위한 주요 고려사항	31
7.2	국내 디지털 라디오 서비스를 위한 제안	36
부록 I -1	지식재산권 요약서 정보	39
I -2	시험인증 관련 사항	40
I -3	본 기술보고서의 연계(Family) 기술보고서	41

I -4 참고 문헌	42
I -5 영문기술보고서 해설서	45
I -6 기술보고서의 이력	46

디지털 라디오 표준기술 분석서(기술보고서) (Analysis of Digital Radio Standard (Technical Report))

1 적용 범위

본 기술본서는 국내 지상파 방송 중 유일하게 디지털 전환이 이루어지지 않은 라디오 방송에 대한 디지털화를 추진하기 위해 국내외에서 표준화 되었거나 상용서비스가 이루어지고 있는 디지털 라디오 표준과 오디오 코덱에 대한 기술분석을 담고 있다.

이 기술보고서 7장의 결론 및 시사점은 미래방송미디어표준포럼 모바일방송응용분과에 참여하고 있는 해당 분야 전문가 의견을 참고용으로 기재한 것으로서, 미래방송미디어표준포럼이나 모바일방송응용분과의 공식 의견이 아님을 밝혀 둔다.

2 인용 표준

해당사항 없음

3 용어 및 약어 정의

AAC	Advanced Audio Coding
AAC-LD	Low Delay AAC
AC-4	Advanced Codec-4
AFS	Alternative Frequency Signaling & Switching
ALAC	Apple Lossless Audio Codec
ALS	Adaptation Layer Support
AM	Amplitude Modulation
AR	Augmented Reality
ATSC	Advanced Television Systems Committee
DAB	Digital Audio Broadcasting
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP
DCP	Distribution and Communication Protocol
DRC	Dynamic Range Control
DRM	Digital Radio Mondiale
FLAC	Free Lossless Audio Codec
FM	Frequency Modulation
HE-AAC	High Efficiency AAC
HLS	HTTP Live Streaming
IBOC	In-Band On-Channel
IETF	Internet Engineering Task Force
LC-AAC	Low Complexity AAC

MDI	Multiplex Distribution Interface
MMT	MPEG Media Transport
MP3	MPEG Audio Coding Layer III
MPEG	Moving Picture Experts Group
MUSICAM	Masking-pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing
NGA	Next Generation Audio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPUS	Opus Interactive Audio Codec
PS	Parametric Stereo
RS	Reed-Solomon
ROUTE	Real-Time Object Delivery over Unidirectional Transport
SBR	Spectral Band Replication
UHDTV	Ultra High Definition Tele-Vision
VHF	Very High Frequency
VR	Virtual Reality
xHE-AAC	Extended High-Efficiency AAC

4 디지털 라디오 표준 분석

4.1 서론

전파가 방송매체에 도입된 이후 시작된 라디오 방송은 아직도 많은 청취자들로부터 사랑을 받고 있다. 라디오는 오디오만을 사용하므로 적은 대역의 주파수나 전송률로도 방송할 수 있다는 것이 최대의 장점이지만, 2000년부터 시작된 방송의 디지털화 초점은 오히려 영상을 포함한 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하는 방향으로 집중되었다.

하지만 라디오 시청자는 라디오방송을 들으면서 자유롭게 움직이며 일을 하거나, 운전도 하기도 하고, 인터넷을 즐기기도 한다. 때로는 라디오 소리와 함께 소파에 기대어 명상에 잠기기도 하고 산책을 하기도 한다. 이렇듯 오디오만 전달하는 단순한 수단이 주는 장점과 특징은 매우 커서 라디오방송의 가치는 세기가 바뀌어도 지속될 전망이다. 따라서 라디오의 디지털화를 도입하려면 이러한 라디오의 장점과 특징을 우선적으로 깊이 고려해야 할 필요가 있다.

전파를 이용한 라디오의 특징은 주어진 영역에서 실시간으로 언제 어디서나 쉽게 접할 수 있다는 것이 특징이다. 반면에 인터넷이나 통신기능을 이용한 라디오 기능은 공간과 시간에 관계없이 접근과 이용이 가능할 수 있다. 그러나 대출력의 전파가 가져다주는 수신환경은 시청자에게 활동의 자유와 접근의 단순함을 제공하며 디지털화가 되었을 때는 다른 수단을 이용한 라디오 기능 못지않게 또 다른 혜택을 제공할 수 있을 것임을 기대할 수 있으므로 디지털 라디오로의 전환은 필수 불가결한 것이다.

디지털 라디오 전송방식 선정에서 가장 중요하게 여겨야 하는 것은 (1) 안정적인 수신율, (2) FM 라디오와 차별화된 고음질, (3) 효율적 주파수 자원 활용이며, 부가적으로 (4) 수신기 보급과 서비스 개발의 용이성과 (5) 디지털 라디오 서비스 사업자의 자율성 제공이 필요하다. 라디오 서비스 사업자가 송신기, 중계기, 갭필러 설치에 대한 허가와 운용이 자유로워지고 유료 방송을 포함한 다양한 서비스 제공이 가능해진다면 사업자간 경쟁을 통한 발전과 시청자 혜택을 기대할 수 있다.

디지털 라디오 전송방식은 DAB/DAB+, IBOC(HD-Radio), DRM 등이 있다. 방식에 따라 사용 주파수 대역이 다르므로 주파수 활용과 효과에 대한 검증과 FM 라디오 방송을 서비스하고 있는 기존 방송사의 의견도 고려되어야 한다.

본 절에서는 방송망 기반 디지털 라디오 표준들에 대해서 살펴보고, 디지털 라디오의 미래를 전망함과 동시에 국내 디지털 라디오 서비스를 위한 제안을 논해보고자 한다.

4.2 디지털 라디오 표준 개요

아날로그 AM 라디오 방송은 1927년 경성 방송국의 라디오 방송으로 시작하여 1948년 아날로그 TV가 출현하기 전까지 종합오락매체로서 시청자에게 친숙한 전파매체로서 위상을 갖고 있었다. 이후 1965년 서울 FM 방송국 개국으로 FM 라디오 방송 시대를 연 이후 1980년대 초반까지는 최고의 오디오 음질을 제공하는 오디오 매체로서 위상을 지켜왔으나 CD로 시작된 오디오 매체의 디지털화와 고음질화가 급속히 진행되면서 현재는

상대적으로 음질면에서 열악한 위치에 있다.

1980년대부터 디지털 오디오 기술의 발달로 유럽에서는 디지털 방송 프로젝트를 추진하여 1990년대 DAB(Eureka-147)방식을 개발하였고, 1995년 영국에서 세계최초로 디지털 라디오 방송을 개시하였다. 또한 미국에서는 1990년대초 디지털 라디오 방송 연구가 시작되어 기존의 아날로그 FM 채널과 그 주변대역을 이용하는 디지털 방식인 IBOC(In Band On Channel)을 개발하여 2002년 10월 공식 표준으로 채택하였다.

현재 디지털 라디오로 전환을 한 국가도 있지만 우리나라를 포함하여 아직 전환을 하지 않은 국가나 전환을 준비하는 국가가 많다. 그 배경에는 TV의 디지털 전환으로 인해 상대적으로 주목을 받지 못하는 면도 있지만, 기술발전에 따라 생겨난 다양한 기술표준들 중 자국에 유리한 선택이 되도록 신중을 기하는 국가들도 있기 때문이다. 아래 표 2는 디지털 라디오를 도입한 주요 국가별 도입 현황을 정리한 것이다.

표 1. 주요 국가별 디지털 라디오 도입 현황

국가	도입 현황
영국	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세계 최초로 디지털 라디오를 도입한 국가 ▪ BBC를 비롯한 주요 방송사가 DAB/DAB+를 통해 방송 중이며, 전국적으로 광범위한 커버리지 확보
독일	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DAB+를 주요 사용하며, 적극적으로 커버리지를 확대 중 ▪ 다양한 상업 및 공공 방송사가 디지털 라디오 서비스를 제공 중
노르웨이	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세계 최초로 아날로그 FM 방송을 완전히 종료하고 DAB+로 전환 (2017년) ▪ 모든 주요 라디오 방송이 DAB+를 통해 제공
호주	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요 도시에서 DAB+ 서비스가 제공 중이며, 전국적으로 커버리지 확대 중 ▪ 상업 방송사와 공영 방송사 모두 DAB+ 서비스 제공 중
미국	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HD Radio를 주로 사용하며, 아날로그 FM 및 AM 방송과 병행하여 디지털 라디오 서비스를 제공 중 ▪ 주요 도시와 지역에서 HD Radio 방송이 활성화되어 있음 ▪ SiriusXM 위성 라디오 서비스가 북미 전역에서 광범위한 채널과 서비스를 제공하고 있으며, 월간 또는 연간 구독료를 받는 유료 방송임
인도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DRM을 주요 디지털 라디오 방송 방식으로 채택하여, 주로 중파(MW) 대역에서 방송 중 ▪ All India Radio를 비롯한 주요 방송사가 DRM 서비스를 제공 중
인도네시아, 파키스탄, 남아공	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DRM을 디지털 라디오 방송 방식으로 채택

4.3 DAB/DAB+

유럽은 1987년 Eureka-147 프로젝트를 결성하여 DAB(Digital Audio Broadcasting) 기술 개발을 시작하여 1995년 표준을 개발하였고, 이 표준을 기반으로 같은 해 영국의

BBC 방송국에서 세계 최초로 디지털 라디오 서비스를 개시하였다. 2007년에는 이를 개선한 DAB+ 기술 표준을 개발하였으며, 호주 및 유럽의 일부 국가를 중심으로 상용 서비스를 실시하고 있다. DAB는 그림 1에서와 같이 일명 MUSICAM(Masking-pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing)이라고 불리는 MPEG-1/2 layer II 오디오 코덱 기반의 오디오 서비스와 다양한 데이터 서비스를 제공한다.

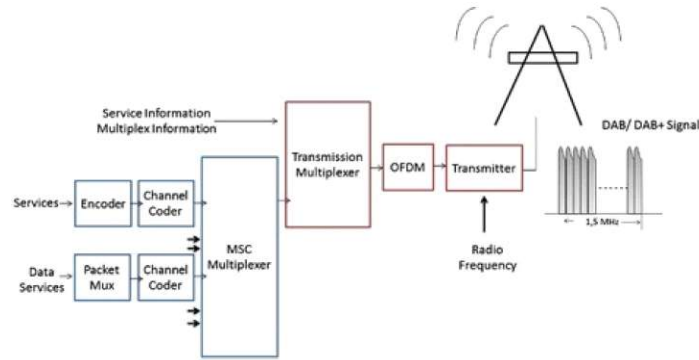


그림 1. DAB 전송 시스템 개요도

DAB에서 사용하는 오디오 코덱인 MUSICAM은 압축 효율이 낮아 주파수 활용도가 떨어지는 것이 문제였으며, 이를 개선하기 위해 DAB 시스템에 MPEG-4 HE-AAC(High Efficiency Advanced Audio Coding) v2 프로파일의 오디오 코덱을 이용하여 48kbps 정도의 낮은 비트율에서도 CD와 유사한 음질(CD like quality)의 오디오 서비스를 제공할 수 있도록 설계된 것이 DAB+이다. DAB+는 그림 2에서와 같이 HE-AAC v2 오디오 프로파일로 인코딩된 오디오 스트림을 DAB 전송 프레임에 동기화하여 싣기 위하여 슈퍼프레임 구조를 사용하며, 에러 정정 효율을 높이기 위해 추가적으로 RS(Reed-Solomon) 코드와 virtual interleaving을 사용한다. 같은 음질 기준으로 DAB+는 MUSICAM 기반의 DAB 오디오 대비 최대 약 3배까지의 압축 효율을 가지며, DAB+는 DAB와 동일하게 오디오와 동기화된 텍스트 기반의 데이터 서비스를 제공할 수가 있다. 이들 데이터 서비스는 단순 텍스트 기반의 데이터 서비스가 아닌 사용자 중심의 interactive 서비스를 제공할 수 있다. 또한 broadband 기반의 인터넷 라디오 환경에서도 DAB/DAB+ 서비스를 제공하기 위한 목적으로 hybrid radio 기술도 적용되어 있다.



그림 2. DAB+ 오디오 코덱 및 멀티플렉서 구조도

4.4 DRM

DRM은 장파, 중파, 단파(AM 밴드) 및 VHF 밴드 I-III(중중 FM 밴드로 불리는 밴드 II 포함) 등 모든 라디오 방송 주파수 대역을 지원하는 유일한 개방형 디지털 라디오 표준

이다. 한편, VHF 밴드용 모드는 DRM의 확장개념으로 추가되었으며 원래 DRM+로 참조되었었다. 그러나 이 용어가 종종 혼란을 야기함에 최근에는 더 이상 사용되지 않는다. 궁극적으로 모든 주파수 대역에서 동일한 기능을 제공하는 하나의 DRM 표준이 마련되었으며, 각 방송 주파수에 최적화된 변조 매개 변수를 제공하고 있다. AM 밴드에서 DRM은 기존의 AM 방송 주파수 대역을 사용하며, 9 kHz 또는 10 kHz 대역폭의 신호를 기반으로 기존 AM 방송 대역 계획에 맞게 설계되었다. 또한 4.5 kHz 또는 5 kHz 대역폭만 요구하는 모드와 더 넓은 대역폭(18 kHz 또는 20 kHz)을 활용할 수 있는 모드도 있어 DRM이 전 세계 모든 시장에서 AM 방송과 함께 운영될 수 있게 되었다. VHF/FM 밴드에서 DRM은 100 kHz 채널을 차지한다. DRM은 ETSI 표준(ETSI ES 201 980)이다. DRM 컨소시엄은 ITU 및 각국 행정 기관과 긴밀히 협력하여 DRM이 전 세계적으로 배포될 수 있도록 노력하고 있다. ITU-R은 AM 밴드와 VHF 밴드에서 사용할 수 있는 DRM 시스템 권고사항 및 방송계획 매개 변수 권고사항을 발표하였다. 그림 3은 DRM의 전송시스템 구조도를 도시한다. DRM은 최대 4개의 서비스를 다중화하여 제공할 수가 있다.

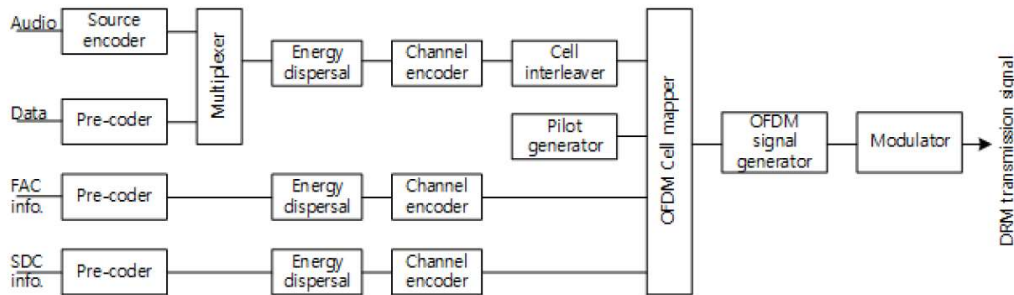


그림 3. DRM 전송 시스템 구조도

그림 4는 최종 송출되는 DRM의 전송 프레임 구조를 나타낸다. 전송 프레임은 400ms의 길이를 갖는 슈퍼프레임의 형태로 전송되며, 슈퍼프레임은 100ms의 길이를 갖는 4개의 전송 프레임으로 구성된다. 각 전송 프레임은 40개의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼을 포함하고 있다. 그림 5에서와 같이 변조된 신호는 100kHz의 대역폭을 갖는 DRM 신호 형태로 송출된다. 100kHz 라는 좁은 대역폭으로 인해 FM 주파수 대역에서는 기존의 FM 라디오와 동시에 송출할 수 있다. 그러나 아날로그 FM 신호 사이에 신호를 송출하는 과정에서 DRM 신호와 아날로그 FM 신호 사이에 간섭이 발생할 수 있으므로, 간섭을 최소화하기 위해 DRM 신호의 송출 전력을 조절해야 하는 단점이 있다. DRM은 DRM 신호와 연동된 아날로그 FM 신호가 물리적으로 동일한 위치에 있을 필요가 없다. DRM 수신기는 DRM의 AFS(Alternative Frequency Signaling & Switching, 대체 주파수 신호 전송 및 전환)를 통해 아날로그 FM 신호와 DRM 신호 간의 원활한 전환을 가능하게 한다.

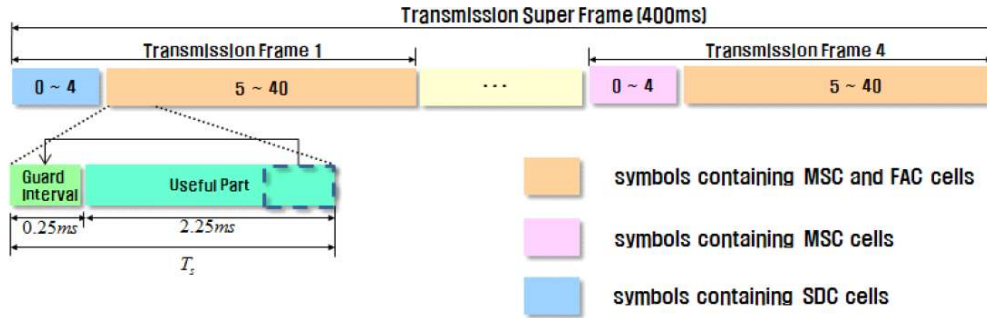


그림 4. DRM 전송 프레임 구조

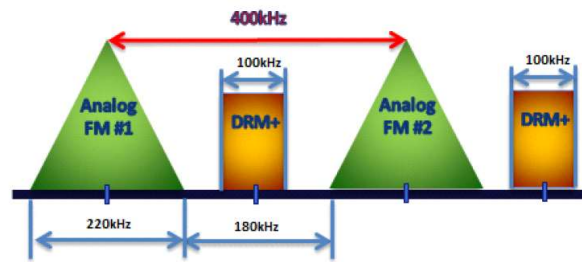


그림 5. 아날로그 FM과 DRM을 동시에 서비스 하는 경우의 스펙트럼 개념도

4.5 HD-Radio

HD Radio는 FM 라디오의 디지털 전환을 순차적으로 추진하기 위하여 Hybrid 모드와 All digital 모드를 모두 지원할 수 있도록 설계되었다. Hybrid 모드는 기존 아날로그 FM 신호와 디지털 신호를 결합하여 두 신호를 동시에 송출하며, All digital 모드는 아날로그 FM 신호 대신 디지털 신호를 송출하게 된다.

Hybrid 모드에서는 그림 6(a)와 같이 아날로그 FM 신호의 측면에 약 70kHz 대역폭의 디지털 신호를 삽입하며, FM 신호 전체 전력보다 약 $-23 \sim -13$ dB 낮은 전력 레벨로 전송한다. 또한 그림 6(b)와 같이, Hybrid 모드의 디지털 신호와 아날로그 FM 신호의 양쪽 주변 약 27kHz 대역폭을 활용하여 부가적인 디지털 신호를 송출할 수 있는 Extended Hybrid 모드도 있다. All Digital 모드는 그림 6(c)와 같이, Hybrid 모드와 Extended Hybrid 모드의 디지털 신호를 포함하며, 가운데 아날로그 FM 신호를 디지털 신호로 교체한다.

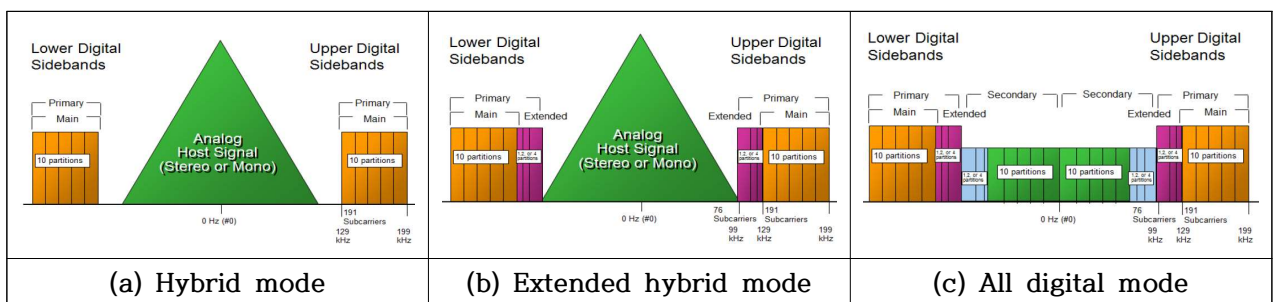


그림 6. HD-Radio의 모드별 스펙트럼 구성 개념도

그림 7은 HD Radio 시스템의 기능 블록도를 나타낸 것이다. 디지털 라디오 신호와 아날로그 FM 신호와의 동시 방송을 위하여 두 신호를 시간 동기화를 시켜 결합한다. 따라서 디지털 신호의 수신에 열악한 환경에서는 동일한 콘텐츠의 아날로그 FM 신호를 수신하는 것이 가능하다. All Digital 모드에서는 그림 7의 아날로그 결합 부분이 삭제되고, 디지털 신호만 송출하게 된다.

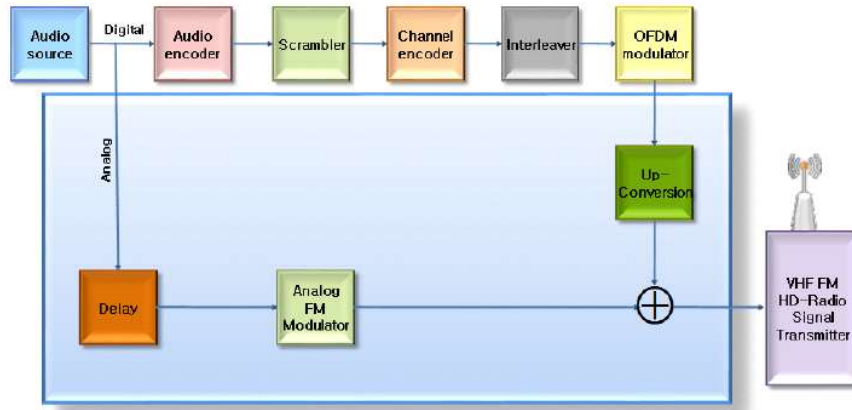


그림 7. HD-Radio 시스템의 기능 블록도

4.6 SiriusXM

2008년 Sirius Satellite Radio사와 XM Satellite Radio사가 합병하여 설립된 SiriusXM은 북미지역에 위성 라디오와 온라인 오디오 서비스를 제공하는 기업이다. SiriusXM 라디오 신호는 지상에 위치한 송신 시설에서 위성으로 업링크되며, 위성은 지구 정지 궤도에 위치하여 북미지역 전역에 신호를 전송한다. 또한 도시 지역이나 신호가 약한 지역에서는 위성에서 전송된 신호를 수신하여 재송신하는 지상 중계기를 이용하여 넓은 수신 커버리지를 제공한다. SiriusXM 위성 라디오는 이동 중에서도 안정적인 수신에 가능한다는 점에서 큰 장점을 가지고 있으므로 특히 차량에서 다양한 콘텐츠를 안정적으로 제공받을 수 있다.

SiriusXM은 오디오 압축을 위해 AAC(Advanced Audio Codec) 계열의 오디오 코덱을 사용하며, AAC는 MP3보다 더 효율적인 압축을 제공하여 동일한 비트레이트에서 더 나은 음질을 제공한다. 인코딩된 오디오 데이터는 다중화 과정을 통해 여러 채널의 데이터를 하나의 신호로 통합하여 송출된다.

SiriusXM은 월간 또는 연간 구독료를 지불하고 서비스를 이용하는 구독 기반 모델로 운영되고 있으며, 다양한 구독 플랜이 제공되어 사용자들이 필요에 맞게 선택할 수 있다. 음악, 스포츠, 뉴스, 토크쇼, 코미디, 엔터테인먼트 등 수백개에 달하는 다양한 장르의 채널을 제공하고 있으며, 2024년 2사분기 현재 구독자 수는 약 3천 4백만명 정도로 보고되었다.

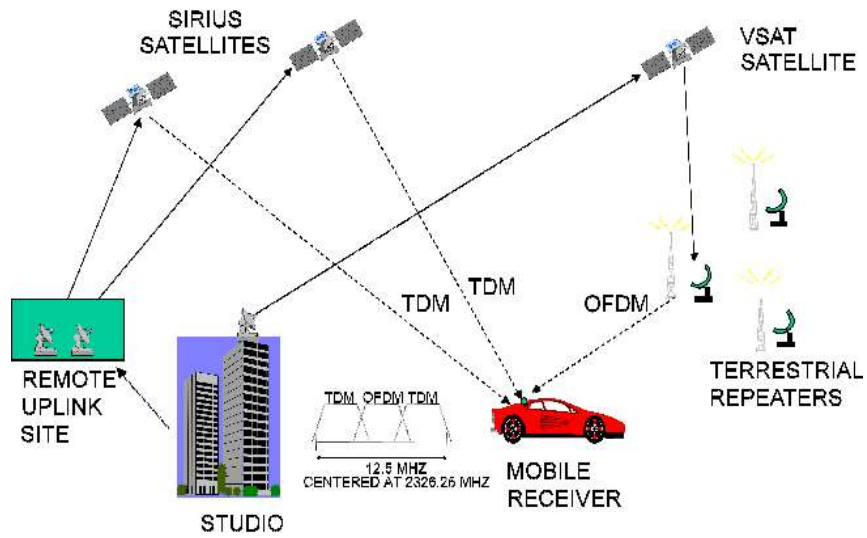


그림 8. SiriusXM 전송 시스템 개념도

5 오디오 코덱 기술 분석

본 장에서는 디지털라디오에 활용될 수 있는 오디오 코덱 기술에 대하여 조사하고, 그 특성에 대해서 간략하게 기술한다.

5.1 디지털 오디오 코덱의 개요

디지털 오디오 코덱(Digital Audio Codec)은 디지털 오디오 데이터를 인코딩하거나 디코딩하는 알고리즘 또는 장치를 의미한다. 인코딩(Encoding)은 아날로그 오디오 신호를 디지털 데이터로 변환하는 것을 의미하며, 이 과정에서는 데이터의 크기를 줄이기 위해 압축 알고리즘이 사용될 수 있다. 디코딩(Decoding)은 디지털 데이터를 다시 아날로그 오디오 신호로 변환하여 재생 가능한 형태로 만드는 것을 의미한다.

오디오 코덱은 복원된 신호와 원본 신호와의 차이에 기반하여 무손실 코덱과 손실 코덱으로 나눌 수 있다. 무손실 코덱(Lossless Codec)은 오디오 데이터를 압축하면서도 원본 데이터를 완벽하게 복원할 수 있는 코덱이다. 대표적인 예로 FLAC(Free Lossless Audio Codec), ALAC(Apple Lossless Audio Codec) 등이 있다. 손실 코덱(Lossy Codec)은 데이터를 압축할 때 일부 정보를 제거하거나, 근사화하여 압축 데이터의 용량을 줄이는 코덱이다. 이로 인해 복원된 신호는 원본과 정확히 일치하지는 않지만, 인간의 청각으로서는 차이가 적도록 설계된다. MP3, AAC(Advanced Audio Coding), Ogg Vorbis 등이 이러한 손실 코덱에 속한다.

현재 다양한 분야에서 많이 활용되고 있는 코덱은 아래와 같은 것들이 있는데, 이후의 절에서는 각 코덱에 대해서 좀 더 자세하게 조사하여 기술한다.

- MP3 (MPEG-1 Audio Layer 3): 가장 널리 사용되는 손실 오디오 코덱으로, 높은 압축률과 다양한 기기에서의 호환성이 특징이다.
- AAC (Advanced Audio Coding): MP3보다 더 효율적인 압축률을 제공하는 손실 코덱으로, 방송, 통신 등의 다양한 분야에서 많이 사용된다. 압축 성능의 향상을 통한 HE-AAC, xHE-AAC 등의 버전으로 발전해왔다.
- MPEG-H 3D audio: 차세대 오디오 코덱 표준으로, 몰입형 오디오 경험을 제공하기 위해 설계되었으며, 객체 기반 오디오(object-based audio), 채널 기반 오디오(channel-based audio), 그리고 장면 기반 오디오(scene-based audio)를 모두 지원한다.
- AC-4: Dolby의 기존 오디오 코덱인 Dolby Digital AC-3의 후속 기술로, 다양한 기능 향상과 고효율 압축을 통해 다채널 서라운드 사운드, 몰입형 오디오, 객체 기반 오디오 등을 지원한다.
- FLAC (Free Lossless Audio Codec): 무손실 압축 코덱으로, 오디오 애호가들 사이에서 고음질을 유지하면서 파일 크기를 줄일 수 있는 선택지로 인기가 높다.
- ALAC (Apple Lossless Audio Codec): Apple에서 개발한 무손실 코덱으로, FLAC과 유사한 특성을 가지며, 주로 Apple 기기에서 사용된다.

- Opus: 매우 효율적이고 다용도로 사용이 가능한 코덱으로, VoIP, 스트리밍, 게임 오디오 등에서 많이 사용되며, 낮은 비트레이트에서도 높은 음질을 제공한다.

오디오 코덱은 음악, 방송, 영화 등 다양한 분야에서 활용되는데, 각 응용에서 코덱을 선택할 때는 아래와 같은 요소들이 고려될 수 있다.

- 파일 크기와 음질: 무손실 코덱은 고음질을 제공하지만 파일 크기가 큰 반면, 손실 코덱은 파일 크기가 작지만 음질이 저하될 수 있다.
- 호환성: 사용하려는 기기나 소프트웨어가 특정 코덱을 지원하는지 여부를 고려해야 한다.
- 사용 목적: 음악 감상, 스트리밍, 통신 등 용도에 따라 요구되는 특성일 다를 수 있으므로 적합한 코덱이 달라질 수 있다.

디지털 오디오 코덱은 다양한 환경에서 오디오 데이터를 효율적으로 관리하고 전달하기 위해 필수적인 기술이다. 기술이 발전함에 따라 더 높은 압축 효율성과 품질을 제공하는 새로운 코덱들이 계속해서 등장하고 있으며, 각 코덱은 고유한 장점과 단점을 가지고 있으므로, 사용 목적과 상황에 맞는 코덱을 선택하는 것이 중요하다.

5.2 MPEG-1/2 Audio

MPEG-1/2 Audio는 동영상 및 오디오 압축 표준을 개발하는 국제 표준화 기구인 ISO/IEC Moving Picture Experts Group(MPEG)에 의해 정의된 오디오 압축 표준이다. 이 표준은 주로 디지털 오디오 및 비디오 콘텐츠의 저장과 전송을 위해 사용되는데, MPEG-2 Audio는 MPEG-1을 확장하여 멀티채널 오디오와 같은 추가 기능을 제공한다.

MPEG-1 Audio는 1993년에 처음 발표되었는데, 이 표준은 CD 품질의 오디오를 디지털 화하고 압축하여 데이터 크기를 줄이면서도 청각적으로 우수한 품질을 유지하는 것을 목표로 하였다. MPEG-1 Audio는 세 개의 레이어로 나뉘어진다. Layer I은 가장 단순한 형태로, 기본적인 압축을 제공한다. 구현이 간단하지만 압축 효율이 낮다. Layer II는 Layer I 보다 개선된 압축 효율을 제공하며, 방송용 오디오와 같은 다양한 용도로 사용되었다. Layer III는 MPEG-1 Audio에서는 가장 발전된 형태로, MP3로 널리 알려져 있다. 높은 압축률과 음질의 균형을 이루며, 가장 널리 사용되는 디지털 오디오 형식 중 하나이다. MP3는 1990년대 말부터 2000년대 초까지 디지털 음악 배포의 표준이 되었다.

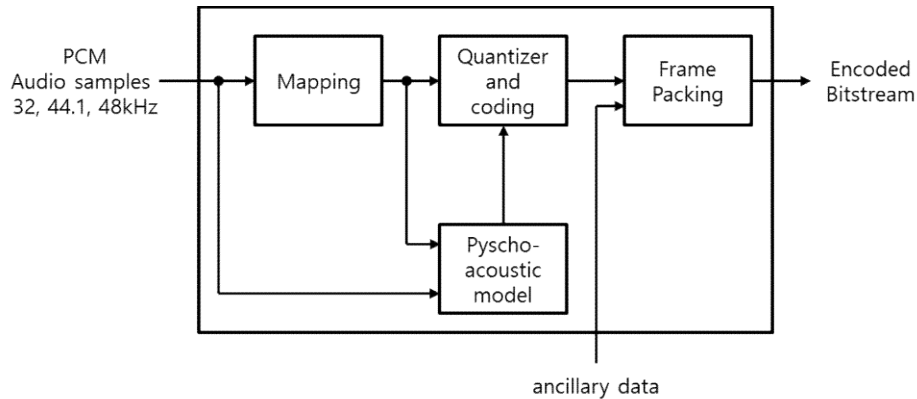


그림 9. MPEG-1 Audio encoder 구조

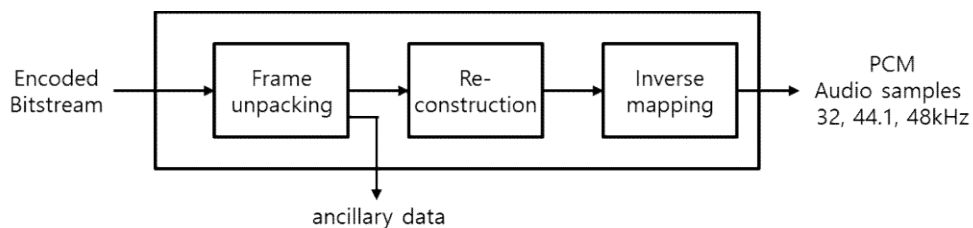


그림 10. MPEG-1 Audio Decoder 구조

MPEG-2 Audio는 1995년에 발표되었으며, MPEG-1 Audio를 확장하여 더 높은 비트레이트, 더 많은 오디오 채널(예: 5.1 서라운드 사운드) 및 향상된 음질을 제공한다. 이는 디지털 텔레비전 방송, DVD, 그리고 홈 시어터 시스템에서 멀티채널 오디오를 지원하는데 중요한 역할을 하였다. MPEG-2 Audio는 MPEG-1 Audio의 세 가지 레이어(Layer I, II, III)를 모두 지원하지만, 주로 멀티채널 오디오를 위한 Layer II를 많이 사용한다. MPEG-2 Audio는 5.1채널 서라운드 사운드를 포함한 다양한 오디오 채널 구성을 지원하며, 이는 DVD 및 디지털 방송과 같은 애플리케이션에서 다채널 오디오를 효율적으로 압축하고 재생할 수 있게 한다.

MPEG-1 Audio Layer 3(MP3)는 디지털 음악 플레이어와 인터넷을 통한 음악 배포에 혁신적인 변화를 가져왔으며, MPEG-2 Audio는 DVD와 디지털 텔레비전 방송의 오디오 압축 표준으로 널리 사용되고 있다. 이와 같이, MPEG-1/2 Audio는 디지털 오디오 압축의 역사에서 중요한 역할을 했으며, 특히 MP3 형식은 디지털 음악 산업을 근본적으로 변화시켰다. MPEG-2 Audio는 멀티채널 오디오를 지원하고, 다양한 멀티미디어 애플리케이션에서 사용될 수 있도록 하였으며, 오늘날에도 MPEG 오디오 표준은 디지털 오디오의 핵심 기술로 자리잡고 있다.

5.3 AAC (Advanced Audio Codec)

AAC(Advanced Audio Codec)는 MPEG에서 개발한 고급 오디오 코덱으로, 주로 디지털 오디오의 압축 및 전송에 사용된다. AAC는 MP3의 후속 코덱으로 개발되었으며, 더 높은 압축 효율과 음질을 제공하는 것이 특징이다. AAC는 다양한 디지털 미디어 환경에서 널

리 사용되며, 특히 Apple의 iTunes, iOS 기기, YouTube, 스트리밍 서비스 등에서 기본 오디오 형식으로 사용된다.

AAC는 1997년에 처음 발표되었으며, MPEG-2와 MPEG-4 오디오 표준의 일부로 개발되었는데, MP3의 한계를 극복하고 더 높은 음질과 압축 효율을 제공하기 위해 설계되었다. AAC는 MPEG-2 Part 7과 MPEG-4 Part 3의 일부로 표준화 되었는데, 이후 MPEG-4 오디오의 발전과 함께 AAC는 다양한 변형(프로파일)과 기능을 포함하게 되었다.

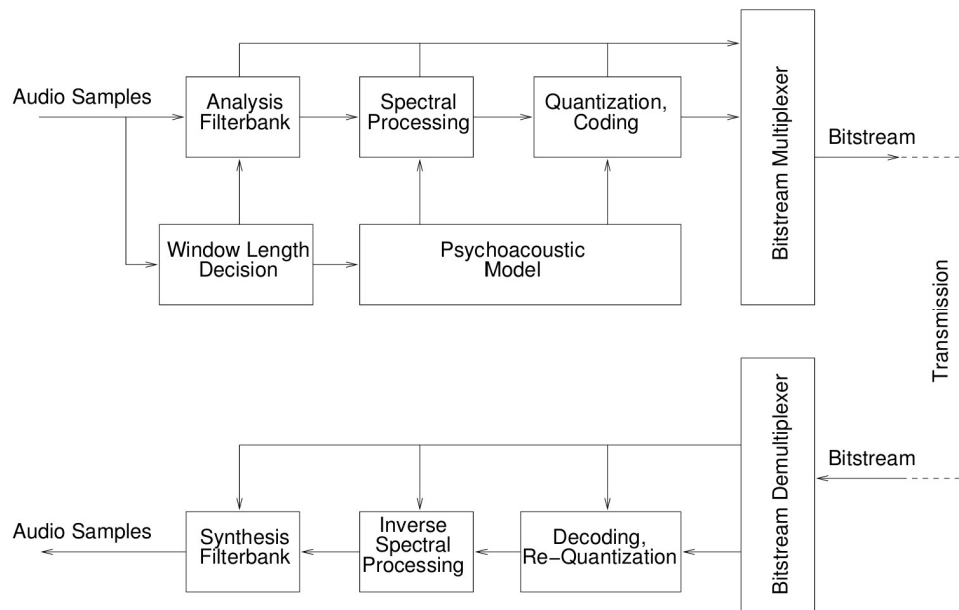


그림 11. MPEG-2/4 AAC 코덱 구조도

AAC는 MP3보다 약 30% 더 높은 압축 효율을 제공한다. 즉, 같은 음질에서 AAC 파일은 MP3 파일보다 크기가 작을 것이며, 같은 비트레이트에서 AAC는 MP3보다 더 나은 음질을 제공한다. AAC는 8Hz에서 최대 96kHz까지의 광범위한 주파수를 지원하며, 최대 48개의 오디오 채널을 지원할 수 있어, 5.1채널 서라운드 사운드와 같은 고급 오디오 설정에 적합하다. 또한, AAC는 다양한 기능 모듈(예: 스펙트럴 밴드 복원(SBR: Spectral Band Replication), 파라메트릭 스테레오(PS: Parametric Stereo))를 통해 음질을 최적화하고, 다양한 비트레이트와 응용 환경에 적응할 수 있다.

AAC는 위에서 언급한 기능 모듈을 활용한 다양한 프로파일을 가지는데, 아래와 같다.

- LC-AAC (Low Complexity AAC): 가장 널리 사용되는 AAC 프로파일로, 높은 음질과 낮은 컴퓨팅 요구사항을 제공한다. 대부분의 소비자용 기기에서 사용된다.
- HE-AAC (High-Efficiency AAC): 낮은 비트레이트에서도 높은 음질을 제공하기 위해 설계된 프로파일로, 스트리밍 서비스와 같은 환경에서 주로 사용된다. HE-AAC는 SBR(Spectral Band Replication) 기술을 사용하여 더 적은 데이터로 고음역을 재현한다.

- HE-AAC v2: HE-AAC에 파라메트릭 스테레오(PS) 기능이 추가되어, 더욱 낮은 비트레이트에서도 높은 음질을 유지한다. 주로 모바일 스트리밍과 인터넷 라디오에 사용됩니다.
- AAC-LD (Low Delay AAC): 실시간 통신(예: 화상 회의)에서 낮은 지연시간과 높은 음질을 동시에 요구하는 애플리케이션을 위해 설계되었다.

AAC는 앞에서 살펴본 것과 같이, 동일한 비트레이트에서 MP3보다 더 나은 음질을 제공하며, 다양한 프로파일을 통해 여러 응용 환경에 활용될 수 있는데, 대부분의 멀티미디어 재생 기기와 소프트웨어에서는 AAC를 지원하는 상황이다. AAC의 경우 MP3에 비해 상대적으로 구현이 복잡하며, 인코딩 및 디코딩에 더 높은 연산 능력이 필요하다는 단점이 있는데, 최근에는 DSP나 프로세서의 성능이 발전하여 크게 문제가 되지는 않을 것으로 생각된다.

AAC는 Spotify, Apple Music, YouTube와 같은 음악 스트리밍 서비스에서 주요 오디오 형식으로 사용되는데, 특히 HE-AAC는 낮은 비트레이트에서 우수한 음질을 제공하기 때문에, 네트워크 대역폭이 제한된 환경에서도 음악 스트리밍 서비스에 유리하다. AAC는 iTunes, iPhone, iPod, iPad 등 Apple의 모든 디바이스에서 기본 오디오 포맷으로 채택되어 활용되고 있다. 또한, 디지털 라디오 방송(DAB), 인터넷 라디오, 디지털 방송 등에서도 널리 사용되며, MP4, 3GP, MKV와 같은 비디오 파일 포맷에서 오디오 트랙으로 AAC가 자주 사용되는 등 전 세계적으로 많은 응용에서 활용되고 있다. 이와 같이, AAC는 디지털 오디오 압축에서 MP3를 뛰어넘는 성능과 효율성을 제공하며, 다양한 디지털 오디오 애플리케이션에서 중요한 역할을 하고 있다.

5.4 xHE-AAC (Extended High-Efficiency Advanced Audio Codec)

xHE-AAC(Extended High-Efficiency Advanced Audio Codec)는 MPEG-D의 Part 3에 해당하는 오디오 코덱으로, HE-AAC의 발전된 버전이다. 기존의 HE-AAC가 주로 고음질을 유지하면서도 낮은 비트레이트에서 효율적인 오디오 스트리밍을 제공하는 데 중점을 두었다면, xHE-AAC는 이보다 더 다양한 기능과 높은 성능을 제공하기 위해 설계되었다. 아래의 그림은 xHE-AAC와 기존의 AAC 코덱과의 관련성을 그림으로 나타낸 것이다.

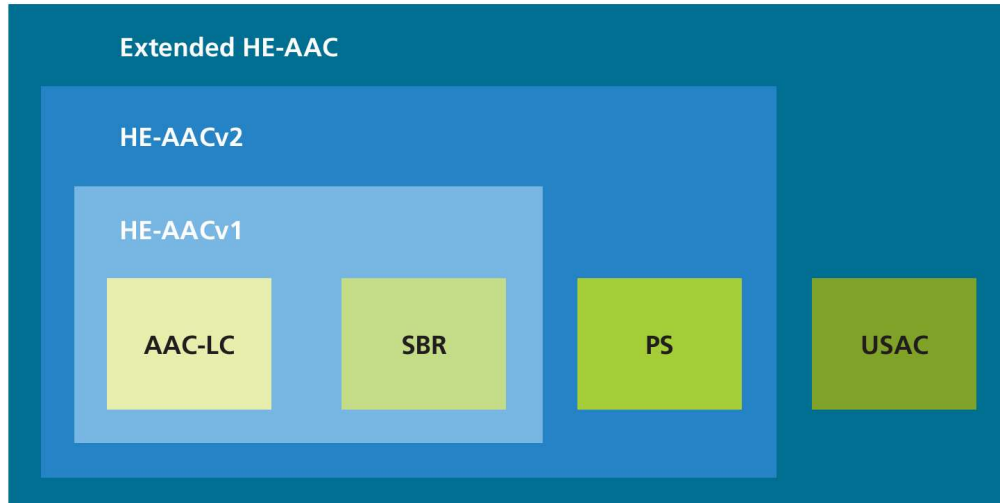


그림 12. xHE-AAC 코덱의 AAC 코덱 제품군과의 연관성

xHE-AAC는 특히 적응형 스트리밍(Adaptive Streaming) 환경에서 효율적으로 작동하도록 개발되었는데, 이는 모바일 네트워크나 가변적인 네트워크 환경에서 네트워크 대역폭의 변화에 따라 오디오 품질을 동적으로 조정해, 사용자에게 일관된 청취 경험을 제공한다. xHE-AAC의 주요 기술과 특징으로는 아래와 같은 것들이 있다.

- 넓은 비트레이트 범위: xHE-AAC는 초저비트레이트(12kbps 이하)에서부터 고비트레이트(500kbps 이상)까지 매우 넓은 범위의 비트레이트를 지원한다. 이는 다양한 네트워크 환경에서 동일한 파일이 유연하게 재생될 수 있게 도와주며, 저비트레이트에서도 음질 저하가 적다. 예를 들어, 128kbps의 비트레이트로 스트리밍할 때도 CD에 가까운 음질을 제공할 수 있으며, 낮은 비트레이트에서도 효율적인 압축을 통해 깨끗한 음질을 보장한다.
- MPEG-D DRC (Dynamic Range Control): DRC는 오디오의 동적 범위를 제어하여, 청취 환경에 맞는 최적의 오디오 출력을 제공한다. 예를 들어, 시끄러운 환경에서는 다이내믹 레인지를 줄여 음성이 더 명확하게 들리도록 하거나, 조용한 환경에서는 풍부한 다이내믹 레인지를 유지해 음악의 깊이를 살릴 수 있다. DRC는 스트리밍 및 방송에 매우 유용하며, 특히 이어폰이나 스마트폰 스피커와 같은 작은 스피커에서도 최적화된 사운드를 제공한다.
- ALS (Adaptation Layer Support) 및 적응형 스트리밍: xHE-AAC는 MPEG-DASH, HLS(HLS - HTTP Live Streaming) 같은 적응형 스트리밍 기술과 잘 호환되며, 이를 통해 네트워크 상황에 따라 실시간으로 비트레이트와 오디오 품질을 조정할 수 있다. 이로 인해 네트워크 속도가 느려지더라도 오디오 스트리밍이 끊기거나 음질이 급격히 나빠지지 않으며, 사용자는 일관된 오디오 경험을 유지할 수 있다.
- 향상된 음성 및 음악 처리: xHE-AAC는 음악뿐만 아니라 음성 콘텐츠에도 최적화되어 있다. 이는 팟캐스트, 오디오북, 음성 메시지와 같은 콘텐츠에 이상적이다. 음성 콘텐츠의 경우에도 적은 데이터 사용량으로도 명확하고 깨끗한 사운드를 제공한다. 또한, 음악 콘텐츠에서도 낮은 비트레이트로 스트리밍할 때도 고음질을 유지하며, 풍부한 저음과 선명한 고음을 효과적으로 표현할 수 있다.

- 음질 보전 및 적은 지연: xHE-AAC는 오디오 지연(Latency)을 최소화하도록 설계되어, 실시간 스트리밍 환경에서도 빠르고 안정적인 오디오 전송이 가능하다. 이는 특히 비디오와 오디오의 동기화가 중요한 환경(예: 실시간 스트리밍, 비디오 통화)에서 유용한데, 비트레이트가 낮더라도 복잡한 오디오 데이터를 효율적으로 처리하여 음질 손실을 줄이는 기술이 적용되어 있다.
- 다채널 오디오 및 몰입형 사운드 지원: xHE-AAC는 최대 7.1 채널을 지원하여, 서라운드 사운드를 제공할 수 있다. 이는 몰입감 있는 음향 환경을 구축하는 데 적합하며, 영화나 게임과 같은 콘텐츠에서 더욱 생동감 있는 사운드를 제공한다. 스테레오 오디오뿐만 아니라 다채널 오디오를 매우 효율적으로 처리할 수 있어, 대역폭을 덜 사용하면서도 서라운드 사운드를 감상할 수 있게 해준다.

xHE-AAC는 HE-AAC보다도 넓은 비트레이트 범위와 향상된 압축 성능을 자랑하며, 더 적은 데이터로 더 높은 음질을 제공한다. 아래의 그림은 xHE-AAC의 음질 성능을 기존의 코덱과 비교하여 나타낸 것이다.

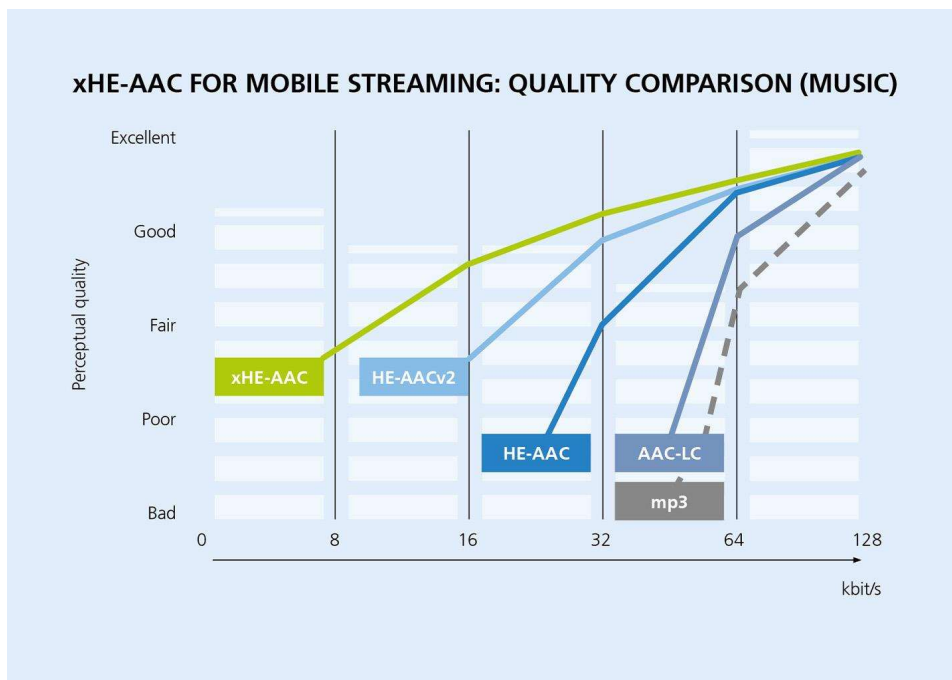


그림 13. xHE-AAC의 음질 성능

xHE-AAC는 DRM에서 표준코덱으로 선정되었고, Spotify와 같은 음악 스트리밍 서비스, 팟캐스트 및 음성 콘텐츠, YouTube, Netflix와 같은 영상 스트리밍 플랫폼에서 HE-AAC를 대체하는 표준 코덱으로 자리잡고 있으며, 향후 더욱 많은 서비스에서 채택될 가능성이 높을 것으로 판단된다.

5.5 MPEG-H 3D Audio

MPEG-H 3D Audio는 차세대 오디오 코덱 표준으로, MPEG에 의해 개발되었다. 이 코덱

은 몰입형 오디오 경험을 제공하기 위해 설계되었으며, 객체 기반 오디오, 채널 기반 오디오, 그리고 장면 기반 오디오를 모두 지원한다. MPEG-H 3D Audio는 특히 가상 현실(VR), 증강 현실(AR), 울트라 고화질 텔레비전(UHDTV) 등에서 활용될 수 있도록 설계되었다.

MPEG-H 3D Audio는 기존의 스테레오나 서라운드 사운드를 넘어, 모든 방향에서 소리가 들리는 3차원 오디오 환경을 제공하는 것을 목표로 하는데, 이는 청취자가 소리의 위치와 방향을 더욱 정확하게 인식할 수 있게 하여, 보다 현실적이고 몰입감 있는 오디오 경험을 제공한다. 이 표준을 통하여 UHDTV, VR, AR 등 차세대 미디어 포맷에서의 오디오 요구를 충족시키고자 하였으며, 또한, 방송, 스트리밍, 블루레이 디스크 등 다양한 배포 플랫폼에서도 호환성을 제공한다.

MPEG-H 3D Audio는 현실적이고 몰입감 있는 오디오 경험을 제공하기 위하여 아래와 같은 특징을 가진다.

- 객체 기반 오디오 지원: 개별 오디오 객체(예: 사람의 목소리, 특정 효과음)를 별도로 인코딩하여, 재생 시 사용자의 위치나 환경에 맞게 동적으로 배치할 수 있다. 예를 들어, VR 콘텐츠에서 사용자가 고개를 돌리면, 소리의 위치도 이에 맞게 변화할 수 있다.
- 채널 및 장면 기반 오디오 지원: 기존의 채널 기반 오디오(예: 5.1, 7.1 서라운드)와 장면 기반 오디오도 지원하여, 다양한 오디오 소스와의 호환성을 유지한다.
- 유연한 렌더링 지원: MPEG-H 3D Audio는 다양한 스피커 설정 환경이나 헤드폰 재현 환경에서 최적의 오디오 경험을 제공하기 위해 유연한 렌더링을 지원한다. 예를 들어, 사용자가 몇 개의 스피커만 사용할 수 있을 때도, 시스템이 오디오 재현 환경을 고려한 렌더링을 수행하여, 주어진 재현 환경에서 최대한의 음질과 몰입감을 제공한다.
- 사용자 인터랙션 지원: 청취자가 오디오 믹스에 인터랙션할 수 있는 기능을 제공한다. 예를 들어, 사용자는 특정 오디오 트랙의 볼륨을 조절하거나, 특정 음향을 강조할 수 있다. 이는 스포츠 방송이나 다중 언어 콘텐츠에서 유용하게 사용될 수 있다.
- 높은 효율성: MPEG-H 3D Audio는 고품질의 오디오를 제공하면서도, 효율적인 압축을 통해 데이터 전송량을 줄일 수 있다. 이는 스트리밍 서비스나 방송에서 중요한 이점이다.

이와 같은 특징으로 인해, MPEG-H 3D Audio는 몰입감 있는 오디오 경험을 제공할 수 있다는 장점이 있으나, 고급 오디오 처리가 필요하므로, 구현 및 처리에 더 많은 연산 자원이 필요할 수 있으며, 기존의 오디오 시스템이나 기기에서는 이 새로운 코덱을 지원하지 않을 수 있다는 단점을 가지고 있다.

MPEG-H 3D Audio는 차세대 오디오 기술로, 기존의 오디오 코덱을 뛰어넘는 몰입형 3D 오디오 경험을 제공할 수 있는 기술이다. 이미 국내 UHDTV 표준에서는 MPEG-H

3D Audio를 오디오 코덱 규격으로 채택하였으며, 북미의 방송 표준인 ATSC 3.0에서도 AC-4와 함께 MPEG-H 3D Audio를 오디오 코덱 중 하나로 채택하였다. MPEG-H 3D Audio는 UHDTV, VR/AR, 스트리밍 서비스와 같은 미래의 디지털 오디오 서비스에서 중요한 위치를 차지할 것으로 예상된다.

5.6 AC-4

AC-4 오디오 코덱은 Dolby Laboratories에서 개발한 차세대 오디오 코덱으로, 방송, 스트리밍, 디지털 미디어 전송에 최적화된 고효율 오디오 포맷이다. AC-4는 Dolby의 기존 오디오 코덱인 Dolby Digital (AC-3)의 후속 기술로, 다양한 기능 향상과 고효율 압축을 통해 다채널 서라운드 사운드, 몰입형 오디오, 객체 기반 오디오 등을 지원한다.

AC-4는 MPEG-H 3D Audio 등과 같은 차세대 오디오 코덱과도 경쟁하지만, Dolby Atmos와 같은 몰입형 오디오와의 호환성 덕분에 매우 강력한 생태계를 형성하고 있으며, 기존의 Dolby Digital (AC-3) 시스템과 호환되도록 설계되어, 새로운 코덱을 채택하더라도 기존의 인프라와 기기에서 문제가 발생하지 않도록 지원하는데, 이는 새로운 기술로 전환하는 과정에서의 호환성 문제를 최소화할 수 있다.

AC-4는 높은 압축 효율성을 제공하여, 낮은 비트레이트에서도 고음질을 유지할 수 있다. 기존 Dolby Digital (AC-3) 코덱보다 대략 50% 정도 더 효율적이어서, 동일한 음질을 제공하면서도 적은 데이터량을 요구한다. 이는 인터넷 스트리밍, 방송 서비스, 모바일 네트워크 환경에서 적합하다. 아래의 표는 기존의 Dolby Digital Plus와 AC-4의 대표적인 비트레이트에 대한 음질평가 결과를 정리한 것이다. 전체적으로 비트레이트를 기존 대비 50%만 소비해도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

(단위 kbps)	Dolby Digital Plus		Dolby AC-4		향상율 (%)
	중음 (Good)	매우 좋음 (Excellent)	중음 (Good)	매우 좋음 (Excellent)	
모노 (대화소리)	48	64	24	32	50
모노 (일반)	64	96	40	56	40
스테레오	96	160	56	96	40
5.1채널	192	256	96	160	40~50
7.1채널	384	640	160	256	60
몰입형 오디오	384	896	256	384	30~60
전체					50

AC-4는 실시간 스트리밍이나 방송에서 중요한 요소인 저지연 특성을 제공하는데, 이는 실시간 이벤트 중계나 라이브 스포츠, 비디오 통화 같은 상황에서 오디오와 비디오의 동기화를 원활하게 해준다. 또한, AC-4는 Dolby Atmos와 같은 몰입형 오디오(Immersive Audio)와 객체 기반 오디오를 지원한다. 몰입형 오디오는 전통적인 스테레오 및 서라운드 사운드를 넘어, 3D 공간에서 오디오가 위치하는 듯한 경험을 제공하며, 객체 기반 오

디오는 사용자가 선호하는 오디오 믹스를 선택할 수 있도록 지원한다. 예를 들어, 방송 중 특정 언어의 음성 트랙을 선택하거나, 특정 해설 트랙을 끄거나 켜는 등 다양한 사용자 정의가 가능하다. 이는 다양한 언어 트랙을 지원해야 하는 국제 방송이나 스포츠 중계에서 매우 유용합니다. 이러한 특성을 기반으로, AC-4는 사용자가 청취하는 환경에 맞춰 오디오를 자동으로 조정하는 기능을 가지고 있다. 이는 TV 스피커, 사운드바, 헤드폰 등 다양한 출력 장치에서 최적화된 오디오 품질을 제공하며, 다이내믹 레인지 제어 및 오디오 레벨링 기능을 통해, 소리가 너무 크거나 너무 작은 것을 방지하며, 안정적이고 일관된 볼륨을 유지할 수 있다.

AC-4는 Next Generation Audio (NGA) 시스템을 기반으로 설계되었다. 이는 방송과 스트리밍 서비스에서 효율적이고 확장 가능한 오디오 전송을 가능하게 하며, DVB (Digital Video Broadcasting), ATSC 3.0 등의 차세대 방송 표준에서 채택되어 4K, HDR 같은 고해상도 비디오 콘텐츠와 함께 고품질 오디오를 전달하는 데 활용되고 있다. 또한, Netflix, Amazon Prime Video, HBO Max 등과 같은 방송 및 스트리밍 서비스에서 이미 활용되고 있다.

5.7 기타 주목할 만한 코덱

FLAC, Opus, ALAC는 디지털 오디오 코덱으로, 각각 고유의 특성과 목적을 가지고 있다. 이 코덱들은 음질, 압축률, 호환성 등의 측면에서 서로 다른 강점을 지니고 있으며, 특정 용도에 적합하게 사용된다.

5.7.1. FLAC (Free Lossless Audio Codec)

FLAC은 무손실 오디오 압축 코덱으로, 데이터를 압축하면서도 원본 음질을 손실 없이 복원할 수 있는 것이 특징이다. FLAC은 오픈 소스 형식으로, 많은 디지털 오디오 기기와 소프트웨어에서 널리 지원된다.

FLAC의 압축률은 일반적으로 30~50% 정도로, 손실 코덱(MP3, AAC)보다는 파일 크기가 크지만, 오디오 애호가들 사이에서 고품질의 음악을 저장하거나 아카이브하는 용도로 많이 사용된다. FLAC은 다양한 플랫폼과 장치에서 지원되며, 특히 고품질 음원 재생을 지원하는 미디어 플레이어와 오디오 시스템에서 많이 사용된다.

5.7.2. ALAC (Apple Lossless Audio Codec)

ALAC은 Apple에서 개발한 무손실 오디오 코덱으로, FLAC과 유사하게 데이터를 압축하면서 원본 음질을 유지한다. Apple 생태계에서의 호환성이 뛰어나며, 주로 iTunes와 iOS 기기에서 사용된다.

ALAC은 FLAC과 비슷한 압축률을 제공하지만, Apple 제품에서의 호환성이 더 높아서, Apple 기기를 사용하는 사용자들이 CD 리핑이나 고품질 오디오 파일을 저장할 때 주로 사용된다. iTunes와 같은 Apple의 소프트웨어와 완벽하게 통합되며, iPhone, iPad, Mac

등의 기기에서 손쉽게 재생할 수 있다. FLAC처럼 모든 플랫폼에서 널리 사용되지는 않지만, Apple 기기 사용자에게는 최적의 선택이다.

5.7.3. Opus

Opus는 실시간 오디오 및 통신에 최적화된 손실 오디오 코덱으로, 매우 효율적인 압축을 제공하면서도 다양한 비트레이트에서 우수한 음질을 유지하는 것이 특징이다. IETF (Internet Engineering Task Force)에서 표준화되었으며, 오픈 소스이다.

Opus는 범용성이 뛰어나 저비트레이트(6 kbps)부터 고비트레이트(510 kbps)까지 다양한 범위에서 최적화된 성능을 제공하는데, 비트레이트가 낮을 때도 상대적으로 높은 음질을 유지할 수 있어, VoIP, 게임 오디오, 스트리밍 음악 등에서 널리 사용된다.

5.8 오디오 코덱의 미래 동향

오디오 코덱 기술은 계속해서 진화하고 있으며, 앞으로도 더 나은 음질, 효율성, 그리고 몰입감을 제공하기 위해 새로운 발전이 기대된다. 최근의 오디오 코덱과 관련된 주요한 이슈로는 아래와 같은 것들이 있다.

최근 머신러닝/딥러닝 기술을 이용한 음성 및 오디오 신호를 압축하는 연구가 많이 이루어지고 있는데, 이러한 기술은 실시간으로 오디오 신호를 분석하고 최적화하여, 기존의 오디오 코덱 대비 높은 압축 효율을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 고해상도 오디오 콘텐츠에 대한 수요가 증가하면서, 무손실 오디오 코덱의 사용이 더욱 확산될 것으로 기대된다. FLAC, ALAC와 같은 무손실 코덱은 고품질 오디오를 원하는 사용자들에게 중요한 역할을 하게 될 것이며, 이 보다 좋은 압축 효율을 가지는 무손실 코덱의 개발도 지속적으로 연구가 될 것으로 생각된다.

객체기반 오디오 및 3차원 공간 음향 기술을 기반으로 하는 몰입형 오디오가 더욱 발전할 것으로 기대된다. 객체 기반 오디오는 개별 음향 요소를 독립적으로 제어할 수 있어 더욱 몰입감 있는 경험을 제공한다. MPEG-H 3D Audio, AC-4 등이 이러한 오디오 코덱이라 할 수 있는데, 이를 통해 사용자는 소리의 위치를 보다 정확하게 느낄 수 있게 된다. 3차원 공간 음향 기술은 사용자가 소리를 3차원 공간에서 경험할 수 있도록 하는 것으로, 음악, 영화, 게임에서의 몰입감을 크게 향상시킬 수 있다. 현재 MPEG에서 표준화가 진행 중인 MPEG-I Immersive Audio가 공간 음향 오디오의 예라고 할 수 있는데, 이러한 기술은 가상 현실(VR)이나 증강 현실(AR)과 같은 새로운 미디어 환경에서 활용될 것으로 예상된다.

5.9 국내 디지털 라디오 서비스를 위한 오디오 코덱 제안

국내 디지털 라디오 서비스를 위한 오디오 코덱은 다양한 기술적 요구 사항과 사용 환경을 고려해야 할 것으로 생각된다. 이와 관련해 중요한 요소는 음질, 전송 효율성, 호환

성, 채널 용량 등이 있을 것이다. 다음은 이러한 요소들을 고려하였을 때, 국내 디지털 라디오 서비스에 적합할 수 있는 오디오 코덱들을 다음과 같이 제안한다.

xHE-AAC는 HE-AAC의 확장형으로, 더 낮은 비트레이트에서 고품질 오디오를 제공할 수 있다. 이를 통해, 제한된 대역폭에서도 고음질의 방송이 가능하다. 이미 DRM, DVB 등에서 디지털 라디오를 위한 오디오 코덱으로 활용하고 있는 상태이다.

MPEG-H 3D Audio 또는 AC-4는 객체 기반 오디오를 지원하여 몰입형 오디오 경험을 제공할 수 있다. 이는 청취자가 오디오 신호의 공간적 요소를 경험할 수 있게 하여, 차별화된 라디오 서비스를 가능하게 한다. 최근 서비스를 시작한 360 Reality Audio 또는 Dolby Atmos Music 등도 MPEG-H 3D Audio 또는 AC-4를 기반으로 하고 있어, 최신 음악 서비스를 제공하는 것이 가능하다. 다만, 객체 기반 오디오 서비스를 위해 다소 높은 비트율을 요구한다는 점은 디지털 라디오 측면에서는 단점이 될 수 있을 것이다.

6 ATSC 3.0 표준화 동향 분석

6.1 ATSC 3.0 표준 기술 개요

ATSC 3.0(Advanced Television Systems Committee 3.0)은 차세대 디지털 TV 방송 표준으로, 기존 ATSC 1.0에 비해 향상된 방송 품질과 다양한 기능을 제공하기 위해 개발되었다. 최신 인코딩 및 변조 기술 채택으로 한정적인 스펙트럼 자원을 보다 효율적으로 사용함으로써, UHD(초고화질) 방송, 고음질 오디오, 모바일 방송, 대화형 서비스 등 다양한 기능을 지원하도록 규격이 개발되었으며, 특히 ALL IP(Internet Protocol) 기반으로 설계되어 인터넷 및 다른 IP 기반 서비스와의 효율적인 융합 및 다양한 부가서비스 제공을 통해 방송 환경의 혁신을 목표로 하고 있다

ATSC 3.0 전송 규격은 OFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식을 채택하여 많은 직교 캐리어를 사용하므로 이동 상황 등 다중경로 환경에서도 안정적인 신호 전송이 가능하며, 스펙트럼을 효율적으로 사용하는 SFN(Single Frequency Network) 구성이 용이하다. 최신 LDPC(Low Density Parity Check) 코드와 BCH(Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 코드의 결합, 그리고 변조에 NUC(Non-Uniform Constellation)를 채택하여 이론상 사용 가능한 채널 용량이 Shannon 한계에 도달하도록 설계되었다. 또한 LDM(Layer Division Multiplexing)과 같은 최신 기술을 통해 이동 수신 및 고정 수신에서 효율적인 동시 수신 환경을 실현하게 되었다.

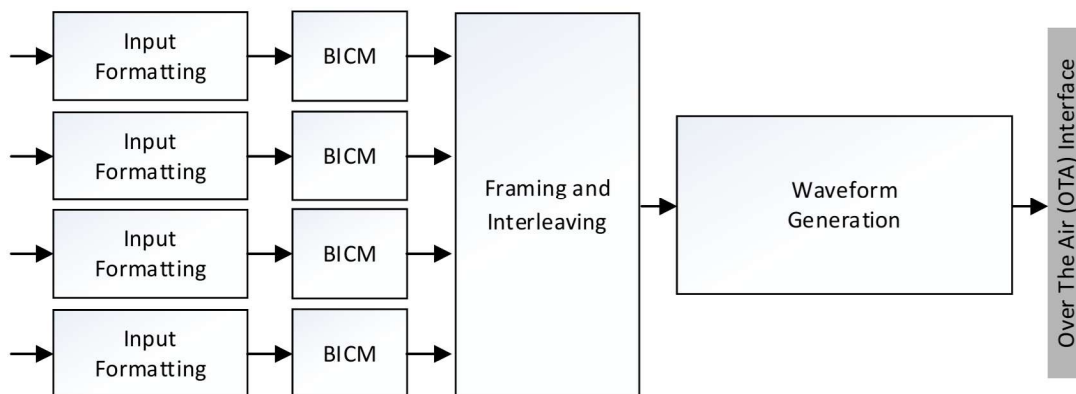


그림 14. ATSC 3.0 전송시스템 구성도

ATSC 3.0 트랜스포트 계층 규격은 IP(Internet Protocol) 기반 전송을 통해 인터넷과의 원활한 연동을 가능하도록 설계되었으며, 대화형 서비스, 맞춤형 광고 등과 같은 다양한 부가 서비스를 지원한다. MMT(MPEG Media Transport)와 ROUTE(Real-Time Object Delivery over Unidirectional Transport) 프로토콜 채택하여 대용량 방송 데이터 전송의 효율성과 유연성을 높일수 있게 되었다.

ATSC 3.0 어플리케이션 계층 규격에서는 4K 및 8K 해상도의 초고화질 방송을 지원하여 시청자에게 생생하고 몰입감 있는 영상 경험을 제공하며, HDR(High Dynamic Range) 기술을 통해 더욱 넓은 명암비와 풍부한 색감을 구현할 수 있게 되었다. 또한, 강인하고 유연한 전송 모드 지원을 통해 모바일 디바이스를 통한 방송 시청이 가능하며, 이는 스마트폰, 태블릿, 자동차 내 디스플레이 등 다양한 디바이스에서의 활용을 가능하게 하고 있다.

6.2 디지털 라디오 전송을 위한 ATSC 3.0 표준 주요 이슈 현황

6.2.1 디지털 라디오 전송을 위한 L2/L3 프로토콜 주요 이슈

‘23년부터 ATSC 이사회는 ATSC 3.0 전송 표준을 활용하여 디지털 라디오를 서비스하기 위한 NPP(New Project Proposal)을 승인함으로써 디지털 라디오 신규 표준화 작업을 수행하고 있다. 디지털 라디오 전송을 위한 신규 표준화 아이템은 아래 4가지로 구분하였다.

○ 디지털 라디오 프로토콜 정의 (A/330)

- ATSC 3.0 전송 표준 기반 디지털 라디오 서비스에 적합한 효율적인 L2/L3 Packaging 및 Multiplexing 방법을 정의하기 위해 기존 A/330 Link Layer Protocol 문서 개정 논의

○ 디지털 라디오 프로토콜을 위한 방송 게이트웨이 정의 (A/324)

- ATSC 3.0 전송 표준 기반 디지털 라디오 서비스를 위하여 A/324 Scheduler / Studio to Transmitter Link 표준에서의 디지털 라디오 서비스 운용 관련 스케줄링, 시그널링 관련 사항 개정 논의

○ 디지털 라디오 게이트웨이 규격

- ATSC 3.0 전송 표준 기반 디지털 라디오 서비스 운용을 위한 Radio Gateway 신규 규격 개발 및 기존 Broadcast Gateway (A/324 관련)과의 Interface 정의

○ 디지털 라디오 전송을 위한 기술권고안 개발

- ATSC 3.0 전송 표준 기반 디지털 라디오 서비스 표준화 완료 이후 제품 구현 및 필드 운용에 따른 기술적인 사항들을 다루는 Recommended Practices 문서 개발

ATSC 3.0 기반의 효율적인 디지털 라디오 서비스를 위하여 다양한 프로토콜 스택 구조가 제안, 논의되었으나, 기본적으로 그림 7-2와 같이 ATSC 3.0 물리계층 규격(A/321, A/322), 링크계층 규격(A/330)을 기반으로 UDP/IP 프로토콜을 활용하는 구조로 결정되었다. 다만 디지털 라디오 전송 프로토콜 규격은 기존 ATSC 3.0에 정의된 MMT/ROUTE를 사용하지 않고, DRM 규격에 정의된 MDI(Multiplex Distribution Interface)/DCP(Distribution and Communication Protocol) 규격을 사용하도록 결정되었다.

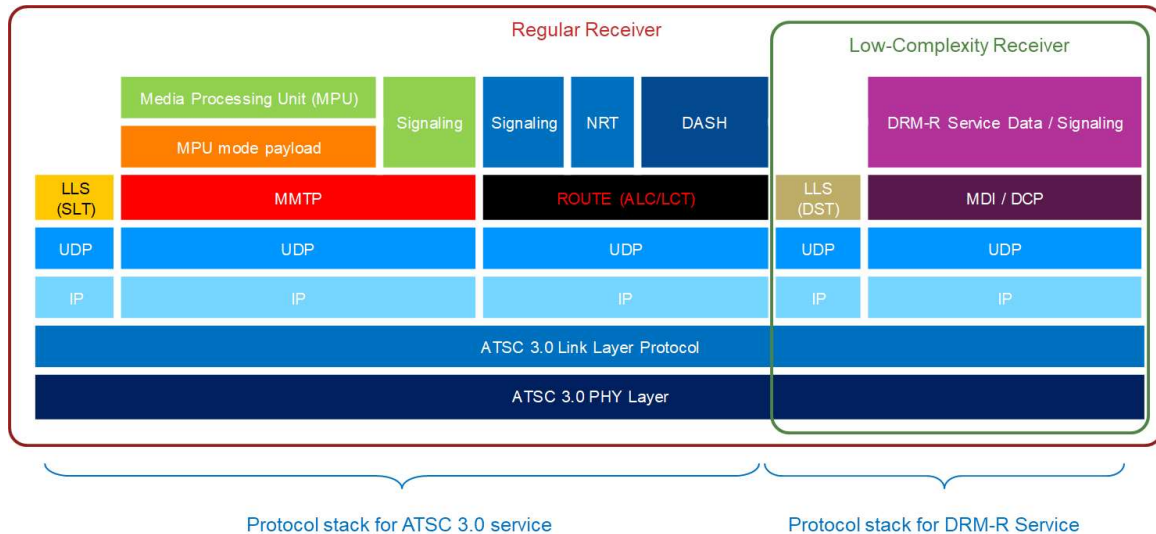


그림 15. ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 프로토콜 스택

ATSC 3.0 표준 기반의 디지털 라디오 서비스를 위하여, 휴대성 및 이동성 보장을 위한 Low Complexity 수신기 구조에 대한 논의가 진행되고 있으며, 제안된 Low Complexity 수신기는 PLP(Physical Layer Pipe) 복조를 1개까지만 허용하는 등 디지털 라디오 수신기의 복잡도를 줄이기 위한 프로파일 작업을 수행하고 있다.

그림 7-2에서 제시된 프로토콜 스택을 위하여 ATSC 3.0 A/331, Signaling, Delivery, Synchronization and Error Protection 표준의 추가 사항들이 논의되고 있으며, SLT(Service List Table)의 시그널링 정보인 SLT.Service.BroadcastSvcSignaling@slsProtocol의 시그널링 정보를 그림 7-4와 같이 변경하여 기존의 MMT와 ROUTE만 지원하던 표준에 디지털 라디오 전송을 위한 MDI/DCP 값을 추가하여 표준 규격 변경이 진행중에 있다¹⁾.

1) ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 표준화는 '24년 11월 현재 표준화 진행중이므로, 표준화 완료 시점에는 일부 변경 또는 업데이트 될 수 있다.

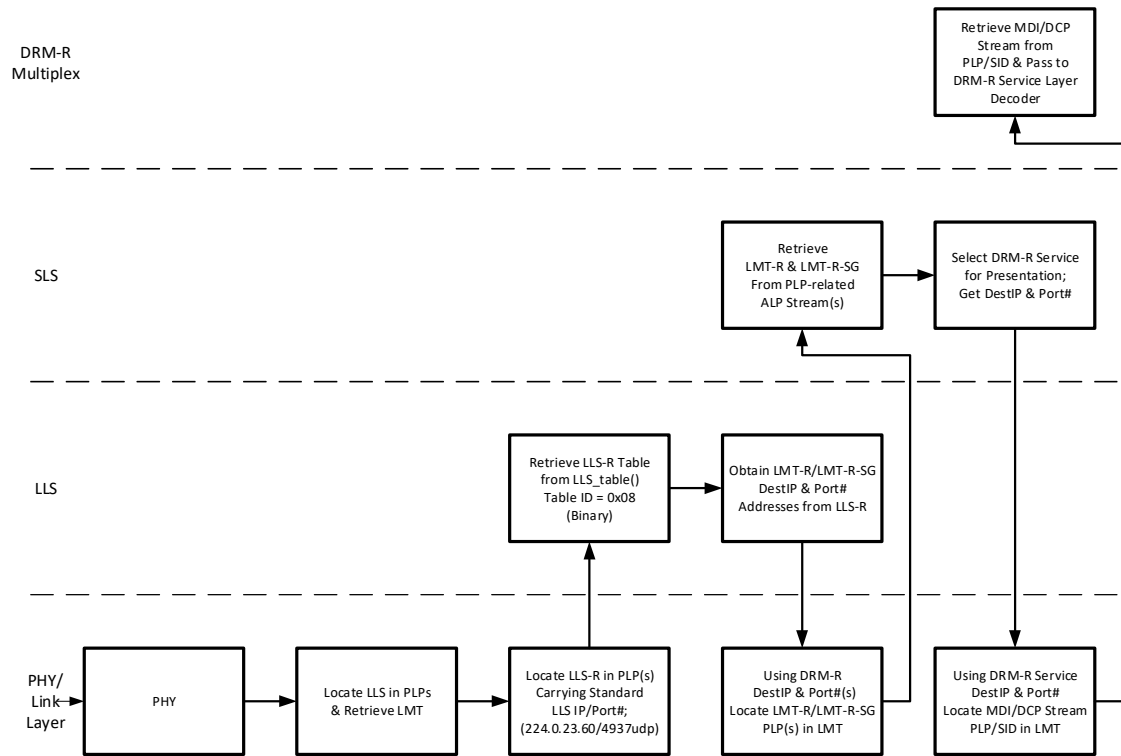


그림 16. ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 서비스를 위한 Low Complexity 수신기 구조도

slsProtocol	Meaning
0	ATSC Reserved
1	ROUTE
2	MMTP
3	MDI/DCP(Digital Radio)
other values	ATSC Reserved

그림 17. ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 서비스를 위한
SLT.Service.BroadcastSvcSignaling@slsProtocol 코드값

6.2.2 DCP 표준 현황

DRM(Digital Radio Mondiale) FM 대역에서 디지털 라디오 방송을 제공하도록 설계된 표준이다. DRM은 아날로그 FM 방송과 디지털 라디오의 장점을 결합하여 더 나은 음질과 효율적인 주파수 사용을 목표로 30MHz 이상의 주파수 대역에서 작동하며, 주로 VHF 대역(Band I, Band II, Band III)에서 사용된다.

Distribution and Communications Protocol (DCP) 표준은 DRM 시스템에서 데이터 전송을 위한 핵심 프로토콜이다. 이 프로토콜은 ETSI(유럽 통신 표준화 기구)에서 정의하고 관리한다. DCP는 컴퓨터 네트워크 상에서 소프트웨어 컴포넌트의 배포와 통신을 위한

체계적인 방법을 정의한 것이며, DRM 시스템에서 데이터를 전송하기 위한 프레임워크를 제공하며, 다음과 같은 주요 특징을 가지고 있다.

- 프로토콜 스택: DCP는 DRM 시스템에서 데이터 전송을 위한 프로토콜 스택을 제공한다. 이 스택은 DCP, DCP-DRM, MID, RSCI, MCI, SDI 등 다양한 프로토콜을 포함한다.
- RS232 인터페이스: DCP는 RS232 프로토콜을 사용하여 데이터 전송을 지원한다. RS232 인터페이스는 9핀 SUB-D 커넥터와 DTE(Data Terminal Equipment) 프레젠테이션을 사용하며, 최소 115,200 bps의 비트레이트를 지원한다. 또한, 8N1(8 데이터 비트, 패리티 비트 없음, 1 스톱 비트) 설정을 사용하며, 플로우 컨트롤을 지원하지 않는다.
- 이더넷 인터페이스: DCP는 이더넷 프로토콜을 사용하여 IP 패킷을 전송한다. 이더넷 인터페이스는 로컬 및 장거리 연결을 지원하며, 최소 요구 사항은 포인트 투 포인트 또는 포인트 투 멀티포인트 단방향 전송을 지원한다. 또한, IPv4 호스트로 작동하며, IP 주소, 서브넷 마스크, 기본 게이트웨이를 설정할 수 있다[2].
- 네트워크 레이어: DCP는 IPv4 호스트로 작동하며, IP 주소, 서브넷 마스크, 기본 게이트웨이를 설정할 수 있다. 또한, DCP 스트림을 전송하는 장비는 목적지 IP 주소를 설정할 수 있으며, 수신 장비는 소스 IP 주소를 설정할 수 있다.
- 링크 레이어: DCP는 이더넷 프로토콜을 사용하여 데이터 전송을 지원한다. 이더넷 인터페이스는 IEEE 802.3 10Base-T LANs를 지원하며, 하프 듀플렉스 멀티포트 리피터(허브)를 사용한다.
- 보안: DCP는 보안 메커니즘을 제공하지 않는다. 보안은 여러 레이어에서 구현할 수 있다.

주로 대규모 분산 시스템에서 소프트웨어의 일관된 배포와 효율적인 통신을 보장하기 위해 개발된 DCP 표준은 다음과 같은 주요 요소들로 구성되어 있다

○ 컴포넌트 등록 및 조회

DCP는 중앙 레지스트리 서버를 통해 컴포넌트를 등록하고 관리한다. 각 컴포넌트는 고유한 식별자와 메타데이터를 가지며, 이를 통해 네트워크 상의 다른 시스템이 해당 컴포넌트를 조회하고 사용할 수 있다. 레지스트리 서버는 컴포넌트의 버전 정보, 의존성, 배포 위치 등을 관리한다.

○ 컴포넌트 배포

DCP는 컴포넌트를 원격 시스템에 배포하는 과정을 자동화한다. 배포 과정은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

- 패키징 : 컴포넌트를 패키지로 묶어 배포 가능한 형식으로 만든다.
- 전송 : 네트워크를 통해 패키지를 원격 시스템으로 전송한다. 전송 과정에서 데이터의 무결성을 보장하기 위해 암호화와 체크섬을 사용한다.
- 설치 : 원격 시스템에서 패키지를 받아 설치한다. 설치 과정에서는 필요시 기존 버전을 대체하거나 업데이트하는 작업이 포함된다.

○ 버전 관리

DCP는 각 컴포넌트의 버전을 체계적으로 관리하여 호환성을 유지한다. 버전 관리는 다음과 같은 기능을 포함한다.

- 버전 태그 : 각 컴포넌트에 고유한 버전 태그를 부여하여 서로 다른 버전을 구분한다.
- 업데이트 정책 : 새로운 버전이 출시되면 기존 시스템에 자동으로 업데이트하거나, 사용자가 수동으로 업데이트할 수 있도록 정책을 설정한다.
- 롤백 : 문제가 발생한 경우 이전 버전으로 롤백할 수 있는 기능을 제공한다.

○ 의존성 관리

DCP는 컴포넌트 간의 의존성을 관리하여, 필요한 다른 컴포넌트들이 함께 설치되도록 한다. 의존성 관리는 다음과 같은 방식으로 이루어진다.

- 의존성 선언 : 각 컴포넌트는 자신이 의존하는 다른 컴포넌트의 목록을 선언한다.
- 의존성 해결 : 배포 과정에서 의존성을 확인하고, 필요한 경우 누락된 의존성을 자동으로 다운로드하여 설치한다.
- 충돌 해결 : 서로 다른 버전의 의존성이 충돌할 경우, 이를 해결하기 위한 정책을 적용한다.

○ 보안

DCP는 배포와 통신 과정에서 보안을 유지하기 위한 다양한 메커니즘을 제공한다.

- 인증 : 컴포넌트와 통신하는 각 시스템의 신원을 확인한다.
- 암호화 : 데이터 전송 과정에서 암호화를 사용하여 중간에서 데이터가 탈취되거나 변조되지 않도록 한다.
- 무결성 검사 : 전송된 데이터의 무결성을 확인하기 위해 체크섬이나 해시값을 사용한다.

○ 에러 처리

DCP는 배포 및 통신 과정에서 발생할 수 있는 오류를 감지하고 처리하는 메커니즘을 갖추고 있습니다.

- 로깅: 오류 발생 시 로그를 남겨 문제의 원인을 파악할 수 있도록 한다.

- 복구: 오류가 발생한 경우, 자동으로 복구 절차를 실행하여 시스템을 정상 상태로 되돌립니다.
- 알림: 오류 발생 시 관리자나 관련 시스템에 알림을 보내 빠르게 대응할 수 있도록 한다.

○ 통신 프로토콜

DCP는 컴포넌트 간의 통신을 위한 표준화된 프로토콜을 정의한다. 이 프로토콜은 다음과 같은 요소를 포함한다.

- 메시지 형식: 컴포넌트 간에 주고받는 메시지의 형식을 정의하여 일관된 통신을 보장한다.
- 전송 메커니즘: 메시지를 효율적으로 전송하기 위한 메커니즘을 제공한다. 예를 들어, HTTP, TCP/IP, WebSocket 등을 사용할 수 있다.
- 에러 처리: 통신 과정에서 발생하는 오류를 감지하고 처리한다.

6.3 ATSC 3.0 기반 디지털 라디오 서비스 예시

ATSC 3.0(Advanced Television Systems Committee 3.0)은 차세대 방송 표준으로, 주로 TV 방송을 염두에 두고 개발되었지만 라디오 서비스에도 적용될 수 있다. ATSC 3.0은 기존의 ATSC 1.0 표준을 대체하여, 더 나은 신호 강도와 커버리지를 제공하고, 이동 중에도 안정적인 라디오 청취를 가능하게 하며 더 높은 품질의 영상 및 음성, 그리고 다양한 부가 서비스를 제공하는 것이 특징이다. 라디오 서비스에 ATSC 3.0을 적용할 경우 다음과 같은 장점을 가질 수 있다.

○ AM, FM, 위성라디오의 품질 향상

ATSC 3.0은 더 높은 비트레이트와 향상된 오디오 코덱을 통해 고음질 오디오 전송을 지원한다. 이는 기존 라디오 방송의 음질을 크게 향상시킬 수 있다.

- AM 라디오: ATSC 3.0은 AM 라디오의 품질과 수신 범위를 향상시키며, 특히 차량에서 AM 수신의 문제를 해결할 수 있다. 차량에서 AM 튜너가 제거되는 추세에 따라, ATSC 3.0은 AM 방송이 차량에서 여전히 존재할 수 있는 플랫폼 역할이 가능하다.
- FM 및 위성 라디오: FM과 위성 라디오도 비트레이트를 조정하여 품질을 향상시킬 수 있다. 이는 전통적인 AM/FM 라디오의 품질을 손실없이 디지털 라디오의 장점을 제공하는 것이 가능하다.

○ 멀티채널 오디오

다채널 오디오 전송이 가능하여, 스테레오 이상의 서라운드 사운드를 제공할 수 있다.

○ 데이터 방송

ATSC 3.0의 데이터 전송 기능을 이용하여, 라디오 방송과 함께 부가적인 텍스트 정보 (예: 곡명, 아티스트 정보), 이미지, 그리고 기타 데이터를 전송할 수 있다.

○ 인터랙티브 서비스

양방향 통신을 통해 청취자가 방송국과 상호작용할 수 있는 기능도 제공할 수 있다. 예를 들어, 청취자가 곡을 요청하거나 투표에 참여하는 서비스도 생각해 볼 수 있다.

○ 하이브리드 방송

ATSC 3.0은 인터넷과의 결합을 통해 하이브리드 방송 서비스를 제공할 수 있다. 이를 통해, 인터넷을 통한 추가 콘텐츠 제공이나, VOD 서비스 등을 결합한 라디오 방송이 가능해진다.

○ 효율적인 인터넷 및 위성전송

- 비용 절감: ATSC 3.0은 인터넷 및 위성 전송 비용을 절감할 수 있다. 특히, 대규모 제공자들은 가장 많이 청취되는 스트림을 ATSC 3.0으로 전송하여 비용을 줄일 수 있다.
- 신호 손실 대비: ATSC 3.0은 신호 손실이나 시장 변화 시 인터넷으로 전환할 수 있다. 이는 신호 안정성과 유연성을 제공한다.

○ 디지털 라디오 표준 통합

ATSC 3.0은 기존의 라디오와 UHD방송 표준을 통합할 수 있다. 이는 AM, FM, ATSC 3.0 또는 인터넷을 통해 신호를 수신하고 동일한 방식으로 사용자에게 제공할 수 있는 RF 독립적인 전달 방법도 가능하다. 이를 통해 폭넓은 가용성과 가장 낮은 배포 비용을 제공할 수 있다.

○ 재난 경보 서비스

ATSC 3.0은 맞춤형 재난 정보 전달을 가능하게 하는 AEAT(Advanced Emergency Alert Table)를 지원한다. 이를 통해 재난 정보를 효율적으로 전송할 수 있다.

<표 5-1> 이동 방송 서비스를 위한 변조와 부호율 조합 ($N_{inner}=16200$)

Code Rate/ Constellation	2/ 15	3/ 15	4/ 15	5/ 15	6/ 15	7/ 15	8/ 15	9/ 15	10/ 15	11/ 15
QPSK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
16QAM				✓	✓	✓	✓			✓
64QAM				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

아래 표는 “지상파 UHDTV 기반 모바일 방송 송수신 정합 규격 - 파트 2. 물리계층”표준에서 정한 “이동 방송 서비스를 위한 변조와 부호율 조합<표5-1>”에 따른 라디오 서비스 개수와 요구되는 신호대 잡음비이다.

Modulation	Code Rate	유효 전송율(Mbps)	서비스 개수 ²⁾	SNR(AWGN) ³⁾
QPSK	2/15	1.274	(10/9)	-5.5 dB
	3/15	1.925	(15/14)	-3.7 dB
	4/15	2.577	(20/19)	-2.3 dB
	5/15	3.228	(25/23)	-1.2 dB
	6/15	3.880	(30/28)	-0.2 dB
	7/15	4.531	(35/33)	0.6 dB
	8/15	5.183	(40/38)	1.5 dB
	9/15	5.834	(45/43)	2.3 dB
16QAM-NUC	10/15	6.486	(50/47)	3.1 dB
	5/15	6.457	(50/47)	3.3 dB
	6/15	7.760	(60/57)	4.6 dB
	7/15	9.063	(70/67)	5.7 dB
	8/15	10.366	(80/77)	6.6 dB
64QAM-NUC	11/15	14.274	(111/106)	9.8 dB
	5/15	9.685	(75/71)	6.8 dB
	6/15	11.639	(90/86)	8.1 dB
	7/15	13.594	(106/101)	9.5 dB
	8/15	15.548	(121/135)	10.7 dB
	9/15	17.503	(136/129)	12.0 dB
	10/15	19.457	(152/144)	13.2 dB
	11/15	21.411	(167/158)	14.7 dB

2) 서비스 개수는 6MHz 대역폭을 사용하는 경우 오디오 비트레이트를 128Kbps 로 가정한 이론적인 최대 서비스 개수와 오버 헤드를 고려한 실제 운용 가능한 최대 서비스 개수를 표기하였음. (이론적 최대치 / 실제 운용 예상치)

3) ATSC A/327 Guideline에 따른 LDPC/BCH Decoding 이후 $BER=10^{-6}$ 시뮬레이션 결과값을 표기함

7 결론 및 시사점

7.1 디지털 라디오 방식 결정을 위한 주요 고려사항

디지털 라디오 방식 결정에서 고려되어야 할 사항은 수신 성능, 오디오 품질, 주파수 효율, 부가 방송서비스, 사업자 운용방식 등 다양하다. 라디오 방송은 얼마나 수신이 잘 되며, 얼마나 쉽게 접근할 수 있는가가 가장 중요한 요소이며, 그 다음이 오디오와 서비스 품질이 좋아야 시청자의 호감을 얻을 수 있다. 그 외 사항들은 사실 시청자 입장에서 중요하지 않지만 서비스 주체인 방송사 입장에서 매우 중요한 요소가 된다.

주파수 효율 측면은 기술적인 면으로 동일한 리소스를 얼마나 최대한 활용하느냐의 문제이다. 디지털 오디오 코덱 기술이 발전함에 따라 가장 최근에 표준화된 코덱이 유리한 입장일 것이고, 부가 방송서비스 측면에서는 기존의 오디오 방송 외에 발생하는 여유대역을 어떻게 방송사에게 유리한 서비스로 구성하느냐의 문제이다. 또한 사업자 운영방식이 있는데 방송사 입장에서 가장 민감한 문제일 수 있다. DAB+ 방식은 DAB/DMB 구조와 동일하여 멀티플렉스(앙상블) 사업자가 되느냐 못되느냐에 따라 운용자로서의 지위 차이가 나게 된다, 반면에 HD-Radio 방식이나 DRM 방식은 기존방식처럼 사업자별로 주파수 사용허가와 송신권역이 허가되므로 경쟁과 투자에 의해 서비스와 효과가 달라지게 된다.

7.1.1 주파수 효율 측면

아날로그 FM방송은 20MHz(88~108MHz) 대역폭에서 각 방송국은 약 200kHz의 대역폭을 할당받으므로 최대 50개의 채널 운용이 가능하다. 그러나 각 FM 방송국 사이에는 간섭을 방지하기 위한 100~200kHz 정도의 주파수 간격(Guard Band)이 필요하며, 신호 대 잡음비(SNR)를 높이기 위해 넓은 대역폭을 사용하기 때문에 실제 운용할 수 있는 채널 수는 제한적이다. 또한 방송 권역별로 혼선을 막기 위해 동일한 채널이라 하더라도 다른 대역을 사용하여야 하기 때문에 전국단위 방송에는 비효율적이다. 디지털로 전환하게 되면 주파수 효율을 상당히 높일 수 있으므로 주요 디지털 라디오 방식인 DAB+, HD-Radio, DRM에 대해 주파수 효율 측면을 살펴 보도록 하겠다.

(1) DAB+

DAB 방식은 DMB와 동일한 방식으로 멀티플렉스 사업자와 프로그램 사업자로 나뉘고, 프로그램 사업자는 할당받은 채널에 대한 이용권한만을 가질 수 있도록 하는 방식이다. DAB는 MPEG Audio Layer II 오디오 코덱을 사용하며 멀티플렉스 당 9개의 채널을 할당할 수 있는 반면, DAB+는 HE-AACv2와 같은 고효율 오디오 코덱을 사용하기 때문에 멀티플렉스 당 최대 24개 스테레오 채널 할당이 가능하다. 따라서 현재의 아날로그 FM이 사용하는 20MHz 대역에는 약 240개의 채널 운용이 가능하므로 현재보다 5배 정도의 주

파수 효율이 증가한다고 볼 수 있다.

(2) HD-Radio

HD-Radio는 기존의 아날로그 주파수 양쪽 옆 가드밴드를 서브채널로 할당하여 전환 기에는 현재의 아날로그 방송을 하면서 동시에 디지털 방송을 하는 하이브리드 모드(Hybrid Mode)로 방송하다가 디지털로 전환 후에는 전디지털 모드(Full Digital Mode)로 방송게 된다. 디지털 전환 후 HD-Radio는 하나의 400Hz 아날로그 채널 내에서 최대 3개의 디지털 서브채널을 포함할 수 있으며, 현재의 20MHz FM 대역에서 400Hz 대역폭으로 구성되는 아날로그 채널 50개에 3개의 디지털 서브채널을 제공한다고 가정하면, $50 * 3 = 150$ 개의 디지털 서브채널을 수용할 수 있다. 실제로는 모든 아날로그 채널이 동시에 HD-Radio를 사용할 수 없거나, 모든 채널이 3개의 서브채널을 최대한 활용하지 않을 수 있기 때문에 디지털 서브채널의 수는 150개보다 적을 수 있다.

(3) DRM

DRM은 In-Band와 Out-of-Band 방식을 모두 사용할 수 있다. FM 방송에서 In-Band 방식으로 사용할 경우 100KHz 만으로도 아날로그 방송과 동시전송이 가능하기 때문에 채널당 대역폭이 200KHz로 고르게 분배 된 경우 In-Band 방식으로 사용하기에 알맞은 디지털 라디오 방식이다. DRM은 아날로그 FM 서비스의 측면에서 100 kHz의 대역폭만을 필요로 하며, 100 kHz 내에서 최대 3개의 오디오 서비스와 1개의 데이터 서비스를 실시할 수 있다. FM 대역에서 DRM 서비스를 도입하는 데 권장되는 옵션으로서, band-II(또는 III)의 빈 공간에 디지털 채널들을 추가하고 기존 아날로그 FM 송신기를 그대로 운영하는 방안을 고려할 수 있다. 한편으로 FM 대역이 매우 복잡하고 디지털채널을 추가하면 간섭이 우려되는 나라에서는 30MHz~175MHz 주파수 대역에서 FM대역(88~108MHz)을 제외한 Out-of-Band에서 순수하게 100KHz 혹은 200KHz 폭으로 디지털 채널을 할당 받아 디지털 라디오와 부가서비스를 운용할 수 있는 장점이 있다. 이론적으로도 DRM 방식의 주파수 효율이 DAB+나 HD-Radio에 비해 우수하다고 알려져 있다. 아래 표3은 서울지역 아날로그 FM 주파수를 나타내며 채널당 간격이 일정하지는 않지만 “KFN 라디오(101.1MHz)”를 제외하고는 DRM으로 아날로그 FM과 디지털 라디오를 동시에 서비스 할 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2 서울지역 아날로그 FM 주파수

주파수(MHz)	방송명	간격(KHz)	주파수(MHz)	방송명	간격(KHz)
89.1	KBS 2FM	600	99.9	OBS 라디오	600
89.7	WBS (원음방송)	600	100.5	TBN 경인교통방송	600
90.3	KBS 제1라디오	400	101.1	KFN 라디오	200
90.7	경인방송	1200	101.3	TBS eFM	600
91.9	MBC FM4U	1200	101.9	BBS	800
93.1	KBS 1FM	800	102.7	AFN Korea	800
93.9	CBS 음악FM	600	103.5	SBS 러브FM	1000
94.5	YTN 라디오	600	104.5	EBS FM	400
95.1	TBS FM	800	104.9	KBS 제3라디오	400
95.9	MBC 표준FM	800	105.3	cpbcFM	800
96.7	KFN 라디오	600	106.1	KBS 제2라디오	800
97.3	KBS 제1라디오	800	106.9	극동방송	800
98.1	CBS 표준FM	1000	107.7	SBS 파워FM	
99.1	국악방송	800			

7.1.2 사업자 운영 측면

(1) DAB+

DAB+ 방식은 DMB처럼 멀티플렉스(양상블) 사업자로 선정되면 플랫폼 운영자가 되어 다양한 서비스를 할 수 있는 반면 멀티플렉스 사업자가 되지 못하면 하나의 오디오 채널을 임차 운영하는 PP 역할을 하게 된다. 이 방식은 여러 개의 FM채널을 운영하는 대규모 사업자가 선호하는 방식이라면, 소규모 방송사업자들은 현재와 규모가 같거나 오히려 상대적으로 축소될 우려가 있어 선호하지 않을 수 있다. 수신환경 개선에 있어서도 오로지 멀티플렉스 사업자의 의지에 의해서만 개선을 가져올 수 있으며 PP사업자는 프로그램만 제공할 뿐 수신환경이나 영역변경에 대한 권한과 방법이 없다. 그리고 서비스 대역을 기존 대역에서 DAB대역으로 이동해야 하는 OUT-OF-BAND 방식이므로 현재 서비스에서 비교우위를 점하는 사업자도 대역이동이 가져올 변수가 크므로 마찬가지로 선호하지 않을 수 있다.

(2) HD-Radio

HD-Radio방식은 IN-BAND방식으로 현재의 아날로그 채널에서 디지털 서비스를 승계하는 방식을 말한다. 그래서 현재 서비스대역에서 비교우위에 있는 사업자들은 현재 방식을 고수하려고 하는 경향이 있다. 단지 이 방식은 초기에는 아날로그와 디지털방송을 기존 아날로그 채널 주파수에서 동시에 송신해야 하므로 지금의 FM대역이 매우 혼잡하거나 인접채널에 혼신을 유발할 가능성이 있다면 이 방식으로 선정하기 어려워진다.

그러나 이 방식의 장점으로 꼽을 수 있는 것은 아날로그 방송 종료 후 디지털 영역과

아날로그 영역 모두를 기존 방송 사업자가 계속 확보할 가능성이 크며, 이 경우 다양한 부가서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 그러므로 디지털 전환을 동일 대역을 통해 할 수 있고 여유대역까지 확보할 수 있어 현재 사업자중 중소방송사들은 이 방식을 선호할 가능성이 높다.

DAB+방식처럼 멀티플렉스 사업자가 되지 못하더라도 자기 채널 내에서라도 기존의 오디오 방송 외에 다양한 부가서비스를 할 수 있다. 하지만 주파수를 추가로 확보해 방송 사업을 원하는 방송사가 늘어나고, 모두 새로운 주파수를 할당해야 하는 입장이라면 이 방식은 다소 한계가 있다.

(3) DRM

DRM 방식은 In-Band 방식과 Out-of-Band 방식 모두 사용 가능한 방식으로 CD수준의 라디오방송을 위해 100KHz의 대역폭에 최대 190kbps의 전송률을 지원한다. Out-of-Band에서 All Digital 형태로 사용할 때 100KHz 대역을 하나의 작은 블록으로 사용하기 때문에 현재 FM 운용처럼 블록단위로 묶는다면 다른 방식보다 서비스를 체계적으로 정리할 수 있다는 장점이 있다.

DRM방식에서 100KHz를 하나의 블록으로 생각하는 것은 마치 장난감 레고brick처럼 마음대로 조작해서 전체적인 모양을 만들 수 있는 것처럼 주파수를 새롭게 설계해야 하는 입장이라면 선호할 수 있는 방식으로 볼 수도 있다. 즉, FM 밴드에서 In-Band 방식으로 사용할 경우에는 아날로그 FM채널폭 오른쪽이나 왼쪽 중 한쪽 Guide Band 영역에 디지털 블록을 설정할 수 있다.

반면에 Out-of-Band로 사용할 경우는 VHF Low~High 밴드 30~174MHz 주파수 대역에서 All Digital형태로 블록을 사용할 수 있다. 만약 DTV 디지털전환 이후에 사용한다면 TV Ch.5번과 6번 주파수를 사용하여 Out-of-Band 에서 DRM All Digital Radio방송을 함으로써 넉넉히 대역을 사용할 수 있으며 기존 FM방송과 함께 안테나도 콤바인하여 사용할 수 있어 장점을 많이 가지고 있다. 특히 FM보다 낮은 주파수 영역을 사용함으로써 수신능률이 상승하는 효과도 얻을 수 있다.

7.1.3 서비스 모델 측면

아날로그 라디오 방송을 디지털로 전환하게 되면 현재 실시하고 있는 오디오 서비스의 품질 개선과 더불어 디지털 전환으로 발생하는 여유대역에 다양한 부가서비스가 가능하다. 디지털라디오 단말기들은 대부분 일정한 크기의 디스플레이를 가지고 있기 때문에 다양한 멀티미디어 서비스를 수용하기에 무리가 없다. 라디오 방송의 디지털 전환에 따라 기대되는 주요 서비스를 정리하면 다음과 같다.

○ EPG(Electronic Program Guide)

- 채널이 증대되면 사용자가 라디오 프로그램을 찾고, 선택하고 듣고, 녹음하는데 필

요한 기능으로, 오디오와 데이터에 대한 프로그램 리스트 정보를 제공하고 사용자가 서비스, 프로그램 및 관련 콘텐츠를 선택하는데 많은 도움을 준다.

- 현재보다 향상된 CD수준의 고음질 서비스(5.1채널 포함)
- 다양한 전문 채널 증가
 - 가치관, 취향, 기호, 유행, 전문성 등 다양한 장르의 채널을 방송 가능
 - 지역방송, 소출력 방송
- 적절한 수준에서의 다양한 멀티미디어 서비스
 - 오디오, 비디오, 정지영상 등 적절한 수준의 TV와 다소 차별화된 멀티미디어 서비스
- 정지영상서비스(Slide Show Service)
 - 오디오와 결합된 정지영상서비스로 해당채널이나 음반, 노래, 가수 등에 대한 정보
- 뉴스, 증권, 교통, 날씨 등의 다양한 부가 데이터 서비스
- TPEG(Traffic Protocol Expert Group)
 - 전통적으로 라디오는 운전자에게 도로 사정이나 교통정보를 전달하기에 이상적이면서도 경제적인 매체임.
 - 아날로그 FM에서도 RDS(Radio Data System), TMC(Traffic Message System)을 통해 교통정보제공 기능을 수행했음
- 다운로드(Download) 서비스
 - 프로그램과 연동하여 오디오나 텍스트 등 짧은 클립 다운로드 받을 수 있도록 하여 수신자 특히 학습자에게 도움을 줌
 - 방송의 배경이 되는 해설내용이나, 전문지식(의학, 여행, 학습상담 등)도 다운 가능
- Journaline
 - DAB+와 DRM을 통한 뉴스와 유사한 고급 텍스트 응용프로그램
 - 실시간 정보 제공: 라디오 방송과 별개로 실시간 정보를 텍스트 형식(HTML tag)으로 제공하며, 청취자는 자신이 관심 있는 주제를 선택해서 볼 수 있음
 - 멀티미디어 정보: 뉴스, 날씨, 교통 상황, 금융 정보, 스포츠 결과 등 다양한 주제를 포함하며, 이는 기존 라디오 방송의 오디오와 병행하여 제공
 - 상호작용 가능: Journaline 서비스는 메뉴 형태로 구성되어 있어, 사용자가 주제별로 원하는 정보를 선택하고 탐색 가능
 - 저전력 및 경제성: 인터넷 연결이 필요 없으며, 전파를 통해 데이터를 제공하기 때문에 저전력 장치에서도 쉽게 사용될 수 있음. 특히 인터넷이 어려운 지역에서도 실시간 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있음

○ EWF(Emergency Warning Functionality) 비상 경고 기능

- 국내 DMB 표준에 포함되어 있는 EWS(Emergency Warning Service)와 유사
- 오디오, Journaline의 다국어 텍스트, 경고 신호의 결합을 통해 최대한 빠르고 널리 재난에 대한 정보를 대중과 관련 기관에 전달할 수 있음. 이를 통해 통신망이 중단 되더라도 잘 통제되고 신뢰할 수 있는 방송 채널을 통해 청취자에게 정보를 전달할 수 있음. 수신기는 비상 프로그램으로 자동 전환되며, 대기 모드에 있는 수신기도 자동으로 켜짐

7.2 국내 디지털 라디오 서비스를 위한 제안

라디오는 청취를 중심으로 하는 매체로 생활시간에서 부차적 이용(동시적 이용)으로 즐길 수 있는 특성을 지닌다. 즉 볼 수 없다는 측면 보다는 보지 않아도 청취만으로 충분히 콘텐츠를 즐길 수 있다는 장점이 있다. 또한 전국 어디에서나 쉽게 안정적인 청취가 가능하다는 장점도 가지고 있다. 라디오는 일상생활이나 휴식시간 중에, 그리고 가사노동이나 단순노동 중에, 여가를 즐기는 산책이나 산행 중에, 버스나 지하철로 이동하는 중에 언제 어디서든 기본 생활시간대에서 다양한 채널과 프로그램을 즐길 수 있다. 2018년부터는 스마트폰으로 FM 라디오의 직접수신이 가능해짐에 따라 시청자가 직접 방송에 참여하거나 다양한 부가 서비스를 제공할 수 있는 환경이 마련되었다.

우리나라에서 라디오 정책을 총괄하는 곳은 방송통신위원회 지상파방송정책과이며, 기술적 총괄은 과학기술정보통신부의 전파방송관리과이다. 라디오를 담당하는 부처가 두 곳으로 양분되어 있어 라디오와 관련한 이슈는 주로 방송통신위원회에, 때로는 과학기술정보통신부에 정책을 건의하고 논의하는 상황이다. 또한 TV에 비해 상대적으로 시장규모가 작은 라디오에 대한 정책은 사실상 지속적으로 소외의 대상이었으며, UHD TV 방송 등 뉴미디어 환경의 급격한 변화에도 라디오에 대한 정책은 심도있게 다루어지지 못한 것이 현실이다.

라디오는 청취형 미디어로 오랜 기간 고유한 미디어적 가치를 발현해 왔다. 보지 않아도 즐길 수 있고, 사람들의 삶 속에서 때론 부차적으로, 때론 중심으로 청취되어 왔다. 그러다 보니 사람들의 감성을 공유해주고, 때론 치유해주는 독특한 가치를 실천하기도 했다. 무료 보편적서비스로 가치를 지니면서 사회적 지위에 상관없이 소외계층에게도 차별 없이 서비스를 제공하고, 재난/전시 등의 특수한 상황에서는 국민들의 생명과 자산을 지키는 데 일조하기도 했다. 급변하는 미디어 환경에서 사실상 라디오는 점차 경쟁력을 잃어왔지만, 여전히 사람들의 일상생활의 한 부분을 충실히 채워주고 있다. 일상생활에서 산책이나 산행, 운동 및 야외활동, 운전이나 가사 및 단순노동 시에 사람들의 옆에서 귀를 채워주고 마음을 채워주고 있고, 특정 직업군(자영업, 운전업, 사무직, 가내수공업, 농업/어업 등)의 사람들에게는 끊임없이 지속해서 휴식과 여유, 감동을 제공하고 있다.

하지만 라디오는 이제 이러한 감성적 평가에만 머물러 있을 수는 없는 시기가 됐다.

영상서비스들에게 밀리는 것에 더해, 이제는 팟캐스트 및 음악 스트리밍 서비스들이 강하게 도전하고 있다. 지상파 라디오의 강점이 분명하게 드러나기도 하지만, 결국 제일 중요한 것은 콘텐츠 경쟁력과 서비스 경쟁력이다. 자사 콘텐츠를 드러내기 위해 조금은 파격적인 시도와, 동시에 라디오의 특성이 그대로 묻어나는 건전하고 유용한 콘텐츠로 사람들의 사랑을 지속해서 얻어내야 한다. 서비스의 편리성에 더해 자사 콘텐츠가 더욱 돋보이고 의미가 커지도록 부가서비스, 신규서비스들을 시도해야 할 것이다. 대부분의 청취자들이 좋아하는 특정 진행자의 목소리를 토대로 한 파생 상품(예를 들어, 진행자가 책/신문 등을 읽어주기, 심야에 재워주기, 듣고 싶은 노래 불러주기 등)도 개발해 보고, 현재 실시간으로 진행되는 프로그램을 꾸며주는 부가정보서비스도 개발해야 한다. 동시에 비실시간 영역의 광고 상품 개발이나 부가서비스 영역을 활용하는 수익창출 노력도 시도해야 한다. 콘텐츠가 범람하는 뉴미디어 환경, 그리고 AI 서비스가 사람들의 취향과 선호, 습관을 바로바로 인식해 추천하는 환경에서 라디오의 경쟁력을 높이기 위한 다양한 시도가 이루어져야 한다.

따라서 기존의 라디오 서비스를 혁신적으로 개선하는데 필요한 요구사항들은 아래와 같이 요약할 수 있다.

○ 다양한 콘텐츠와 서비스 제공을 위한 채널 수 확대

- 20MHz 대역폭에서 30개 내외의 채널로만 서비스되고 있는 FM 라디오의 채널 수를 200~300개까지 확대하여 채널 다양성 확보
- 현재의 라디오 채널 뿐만 아니라 음악전문 채널, 교육 채널, 독서 채널 등 다양한 콘텐츠 제공

○ 열악한 FM 라디오 음질 개선

- 최신 디지털 오디오 압축기술을 이용하여 CD급의 고음질 서비스를 FM 라디오보다 낮은 대역폭으로 제공함으로써 음질개선 뿐만 아니라 주파수 효율 증대

○ 다양한 분야의 라디오 사업자 유도

- 채널확대와 제도개선을 통해 지상파 방송사, 뉴스 사업자, 종교단체 등으로만 구성되어 있는 라디오 서비스 사업자 영역을 스포츠, 쇼핑, 팟캐스트 등 다양한 영역의 사업자들도 참여할 수 있는 기회를 마련하여 콘텐츠 다양성 확보

○ 다양한 부가서비스 제공

- 방송되고 있는 콘텐츠에 대한 부가정보 제공
- 차량 청취자를 위한 위치, 교통, 네비게이션 등 다양한 지리정보 제공
- DAB+/DRM에서의 Journaline 데이터 서비스 활용

○ 재난정보 비상정보 제공 서비스

- EWS 또는 EWF 비상 경고 기능 제공

○ 인공지능 서비스 도입

- 실시간 채널 검색 및 추천 등을 포함한 라디오 서비스 및 콘텐츠를 활용할 수 있는 인공지능 서비스 제공

기존의 FM 라디오의 가치를 보전하면서도 라디오의 매체 가치를 극대화하기 위해서는 디지털 라디오로의 전환이 필수적이다. DAB+, DRM, HR-Radio, DMB 등 다양한 디지털 라디오 방식이 개발되어 있고, 각국에서 이미 서비스가 시작되어 방식별 장단점이 확인되고 있으므로, 하루라도 빨리 우리나라 실정에 적합한 디지털 라디오 방식을 선정하고 아날로그 FM에서 디지털 라디오로의 전환을 위한 중단기 계획을 수립하는 것이 적절하다. 또한 일부 국가에서는 수입차량에 디지털 라디오 수신기 탑재를 법제화하여 단말기 보급을 유도하고 있으므로, 국내 디지털 라디오 보급을 가속화하기 위해 관련 법제화도 표준개발과 함께 진행되는 것을 제안한다.

부 록 1-1

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

지식재산권 요약서 정보

해당 사항 없음

부 록 1-2

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

시험인증 관련 사항

해당 사항 없음

부 록 1-3

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

본 기술보고서의 연계(family) 표준

해당 사항 없음

부 록 | -4

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

참고 문헌

[4 디지털 라디오 표준분석]

- [1] 조영준 외, “방송과 인터넷을 이용한 디지털 라디오 서비스 동향”, 방송공학회지 17권 2호, 2012.
- [2] 김영훈(2008), U.S.A.-아이팟에 밀린 위성 라디오, Media Worldwide, 2008.
- [3] 방송통신위원회, 2008년도 디지털라디오 추진준비반 서비스.제도분과 최종결과 보고서, 2008.
- [4] 은혜정 외, EBS라디오 방송의 Interactivity 발전방안 연구, 2011.
- [5] 이재홍, 지상파 디지털라디오 방송 추진계획, 2006
- [6] 이용태, 디지털라디오 기술 개요 및 실험방송 추진현황, ETRI, 2010.
- [7] 정중호, 『 팟캐스팅: 새로운 콘텐츠 유통 채널?』, SW정책연구센터@KIPA, 2006.
- [8] 한국전파진흥원, 디지털라디오 비교실험방송 추진을 위한 해외 디지털라디오 서비스 현황, 동향분석 및 추진협의회 운영, 2010.
- [9] 최완 외, “온 디맨드 소프트웨어 스트리밍 기술현황 및 개발방향”, 2004.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_radio
- [11] <http://www.ebs.co.kr/actions/IRadioIntro>
- [12] www.worldddab.org
- [13] 양규태 외, “디지털 라디오 기술, 표준화 및 서비스 현황”, 한국전자파학술지, 2014.
- [14] 강민구, 권기원, 이경택, 이민수, "DAB/DAB+과 DRM의 동향분석", 한국인터넷정보학회지, 12(4), pp. 30-35, 2011년 12월.
- [15] 한국정보통신기술협회, "지상파 디지털멀티미디어 방송(DMB) 송수신 정합", TTAK.KO-07.0024/R2, 2009년 6월.
- [16] ETSI EN 300 401 V1.4.1, "Radio broadcasting systems; Digital audio broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers", Jun. 2006.
- [17] ETSI TS 102 563 V1.2.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Transport of advanced audio coding(AAC) audio", May 2010.
- [18] ISO/IEC 14496-3, "Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 3: Audio", Sep. 2009.
- [19] ETSI ES 201 980 V4.1.1, "Digital radio mondiale (DRM); System specification", Jan. 2014.
- [20] M-S. Baek, S. Park, G. Kim, Y-H. Lee, H-S. Lim, Y-J. Song, C-H. Im and Y-T. Lee, "Laboratory trials and evaluations of in-band digital radio technologies: HD Radio and DRM+", IEEE Trans. Broadcasting, 59(1), pp. 1-12, 2013.
- [21] 이상운, "DRM+에 의한 FM 라디오 방송채널의 간섭 연구", 통신위성우주산업연구회 논문지, 6(2), pp. 35-40, 2011년.

- [22] iBiquity Digital, "HD Radio™ air interface design description series", Aug. 2007.
- [23] NRSC-5-C, "In-band/on-channel digital radio broadcasting standard", Sep. 2011.
- [24] ETSI TS 101 498-1 V2.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Broadcast website; Part 1: User application specification", Jan. 2006.
- [25] ETSI TS 101 498-2 V1.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Broadcast website; Part 2: Basic profile specification", Sep. 2000.
- [26] ETSI TS 101 498-3 V2.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Broadcast website; Part 3: TopNews basic profile specification", Oct. 2005.
- [27] ETSI TS 101 499 V2.3.1, "Digital audio broadcasting (DAB); MOT Slideshow; User application specification", May 2013.
- [28] ETSI TS 102 652 V1.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Intellitext; Application specification", Oct. 2007.
- [29] ETSI TS 102 979 V1.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Journaline; User application specification", Jun. 2008.
- [30] ETSI TS 102 980 V1.1.1, "Digital audio broadcasting(DAB); Dynamic label plus(DL Plus); Application specification, Sep. 2008.
- [31] WorldDMB, "WorldDMB global update: Digital radio broadcasting using the DAB family of standards", Sep. 2013.
- [32] Ofcom, "The communication market report", Aug. 2014.
- [33] Ofcom, "Digital radio report 2013", Sep. 2013.
- [34] ACMA, "Communications report 2012-2013", Nov. 2013.
- [35] L. Cornel, "Result of the DRM+ high power field trial in the United Kingdom", BBC Research White Paper WHP199, Jul. 2011.
- [36] www.ibiquity.com, "Explosive growth in HD Radio equipped vehicles, boosts digital radio listening to over 3.8billion annualized hours", Apr. 2014.

[5 오디오 코덱 기술분석]

- [37] Markus Schnell, M. Schmidt, M. Jander, T. Albert, R. Geiger, V. Ruoppila, P. Ekstrand, M. Lutzky, B. Grill, 'Enhanced MPEG-4 Low Delay AAC - Low bitrate high quality communication', AES Conference Paper, May 2007.
- [38] Fraunhofer IIS, 'Extended HE-AAC - Bridging the gap between speech and audio coding', Technical Paper, Aug. 2019.
- [39] <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/amm/broadcast-streaming/xheaac.html>
- [40] 김재현, 'AC-4, 새로운 방송 환경을 위한 차세대 오디오 포맷', 방송과 기술, Jan 2016

[6 ATSC 3.0 표준 동향 분석]

- [41] ATSC: "ATSC Standard: Physical Layer Protocol," Doc. A/322:2024-04, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, 3 April 2024.

- [42] ATSC: “ATSC Standard: Scheduler / Studio to Transmitter Link,” Doc. A/324:2024-04, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, 3 April 2024.
- [43] ATSC: “ATSC Standard: Link Layer Protocol,” Doc. A/330:2024-04, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, 3 April 2024.
- [44] ATSC: “ATSC Standard: Signaling, Delivery, Synchronization, and Error Protection,” Doc. A/331:2024-04, Advanced Television Systems Committee, Washington, DC, 3 April 2024.
- [45] <https://www.smptedcp.com/resources/what-is-the-smpte-dcp>
- [46] https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/102358/01.01.01_60/ts_102358v010101p.pdf
- [47] <https://www.radioworld.com/columns-and-views/guest-commentaries/atsc-3-0-audio-services-the-how-and-why>
- [48] https://www.rohde-schwarz.com/kr/technologies/terrestrial-broadcast/atsc3-0/atsc3-0-technology_230362.html
- [49] [https://ettrends.etri.re.kr/ettrends/207/0905207006/043-053.%20음중선_207호\(v3\).pdf](https://ettrends.etri.re.kr/ettrends/207/0905207006/043-053.%20음중선_207호(v3).pdf)
- [50] <http://tech.kobeta.com/atsc-3-0-기반-uhd-방송기술-동향/>
- [51] <https://www.radioworld.com/columns-and-views/guest-commentaries/atsc-3-0-audio-services-the-how-and-why>
- [52] <https://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=112812>
- [53] 지상파 UHDTV 기반 모바일 방송 송 수신 정합 규격 - 파트 2. 물리계층, 미래방송미디어 표준포럼 FBMF-STD-011, 2018년 10월.

※ 상기 기재된 참고 문헌의 발간일이 기재된 경우, 해당 표준(문서)의 해당 버전에 대해서만 유효하며, 연도를 표시하지 않은 경우에는 해당 표준(권고)의 최신 버전을 따름

부 록 1-5

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

영문기술보고서 해설서

해당 사항 없음

부 록 I-6

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

기술보고서의 이력

판수	채택일	기술보고서번호	내용	담당 위원회
제1판	2024.11.29.	제정 FBMF-TR-018	디지털 라디오 표준 분석서	모바일방송응용 분과위원회
오류정정				
제2판				