

FBMF Technical Report

기술보고서

FBMF-TR-022

제정일 2025.12.05.

데이터캐스팅을 활용한 오디오
서비스 기술분석서(기술보고서)

Technical Analysis of Audio Services
Utilizing Datacasting Channel
(Technical Report)

(앞표지)



기술보고서 초안 검토 위원회 모바일방송응용분과위원회
 기술보고서안 심의 위원회 운영위원회

	성명	소속	직위	위원회 및 직위
기술보고서(과제) 제안	서정일	동아대학교	교수	모바일방송응용분과 위원장
기술보고서 초안 작성자	이재영	ETRI	책임	모바일방송응용분과 간사
	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 약약서 정보는 본 표준의 '부록(지식재산권 약약서 정보)'에 명시하고 있으며, 이후 접수된 지식재산권 약약서는 미래방송미디어표준포럼 웹사이트에서 확인할 수 있습니다.
 본 표준과 관련하여 접수된 약약서 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 : 2025.11

서 문

1 기술보고서의 목적

이 기술보고서는 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 채널을 활용한 오디오 서비스 기술의 구조, 기능, 및 구현 가능성을 체계적으로 검토하기 위해 작성되었다. 데이터캐스팅은 방송망을 이용하여 영상 또는 비영상 기반의 데이터(오디오, 텍스트, 애플리케이션 등)를 안정적으로 전송할 수 있는 차세대 미디어 전송 기술로, 본 보고서는 그 중 오디오 중심 서비스의 전송·수신 구조, 신호처리 절차, 표준 적합성, 성능 지표를 중심으로 기술적 타당성을 분석한다. 특히, 본 기술은 지상파 방송망의 단방향 전송 특성을 유지하면서도, 라디오형 오디오 스트리밍 서비스에 준하는 사용자 경험을 제공할 수 있는 방안을 제시한다. 이를 위해 데이터캐스팅 채널의 효율적 자원 활용, 오디오 코덱 및 전송 프로토콜 선택, 서비스 시그널링 구조, 수신단 아키텍처 설계를 주요 검토 대상으로 설정하였다.

2 주요 내용 요약

본 보고서는 데이터캐스팅 채널을 이용한 오디오 서비스 기술의 전반적인 구조와 구현 방안을 단계적으로 분석하였다. 먼저, 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스의 도입 배경과 필요성을 제시하고, 본 기술의 적용 범위 및 연구 목적을 명확히 하였다. 이어서 ATSC 3.0 데이터캐스팅 구조를 중심으로 ROUTE/DASH 전송 메커니즘과 오디오 코덱(AC-4, MPEG-H 등)의 특성을 정리하여, 오디오 신호 전송에 적합한 기술 조합을 검토하였다. 다음으로, 송신단과 수신단 간의 데이터 흐름 및 시그널링 절차를 중심으로 시스템 구성을 분석하고, LLS/SLT와 SLS를 이용한 서비스 탐색 및 MPD 기반 세그먼트 전송 절차를 구체적으로 기술하였다. 또한 ESG와 메타데이터 구조를 포함한 서비스 정보 전달 체계를 정리하여, 오디오 서비스의 등록·탐색·재생 과정을 체계적으로 설명하였다. 이후, 전송 효율, 지연시간, 복원율, 수신 안정성 등 정량적 성능 평가 항목을 정의하고, 실험 환경 설계 및 시험 방법을 제안하였다. 더불어 방송망 기반의 콘텐츠 보호와 관련된 보안·DRM 운용 체계, 키 관리 방식 등 보안 이슈를 검토하였으며, 관련 표준(A/331, A/332, A/342, A/344 등)과의 적합성 분석을 통해 기술의 국제 표준 적합성을 평가하였다. 마지막으로, 본 보고서는 데이터캐스팅 채널 기반 오디오 서비스의 기술적 타당성과 한계를 도출하고, 향후 상용화 검증(PoC) 및 정부 R&D 과제 기획을 위한 기초 자료로서의 활용 방향을 제시하였다.

3 인용 표준과의 비교

해당사항 없음

Preface

1 Purpose

This technical report has been prepared to systematically examine the structure, functionality, and implementation feasibility of an audio service technology utilizing an ATSC 3.0-based datacasting channel. Datacasting is an emerging media delivery technology that enables the reliable transmission of both video and non-video data (such as audio, text, and applications) over broadcast networks. Among its various applications, this report focuses on the audio-oriented service, analyzing its transmission and reception architecture, signal processing procedures, standard compliance, and performance indicators to assess its technical validity. In particular, this study proposes a method for providing a radio-type audio streaming experience while maintaining the one-way transmission characteristics of terrestrial broadcasting networks. To this end, the report identifies the efficient utilization of datacasting channel resources, the selection of audio codecs and transmission protocols, the design of service signaling structures, and the architecture of the receiver system as the main subjects of technical analysis.

2 Summary

This report provides a step-by-step analysis of the overall structure and implementation approach of the audio service technology utilizing a datacasting channel. First, it presents the background and necessity of introducing datacasting-based audio services and clearly defines the scope and objectives of this study. Then, it examines the characteristics of the ATSC 3.0 datacasting architecture, focusing on the ROUTE/DASH transmission mechanism and audio codecs such as AC-4 and MPEG-H, to evaluate the optimal technical configuration for audio signal delivery. Subsequently, the report analyzes the system configuration based on the data flow and signaling procedures between the transmitter and receiver, detailing the service discovery process using LLS/SLT and SLS, as well as the segment delivery procedure based on MPD. It further describes the structure of ESG and metadata for service information delivery, providing a systematic explanation of how audio services are registered, discovered, and reproduced. The report then defines quantitative performance evaluation metrics—including transmission efficiency, latency, recovery rate, and reception stability—and proposes the corresponding test environment and methodology. In addition, it examines security issues such as content protection over broadcast networks, DRM operations, and key management mechanisms, and assesses international standard compliance with relevant ATSC 3.0 specifications (A/331, A/332, A/342, and A/344). Finally, this report derives the technical feasibility and limitations of datacasting-based audio services and suggests potential directions for utilizing these findings as fundamental references for future Proof-of-Concept (PoC) trials and government R&D project planning.

3 Relationship to Reference Standards

N/A

목 차

1	적용 범위	1
2	인용 표준	1
3	용어 및 약어 정의	1
4	데이터캐스팅 기술적 특성	4
4.1	전송 구조 및 기술적 메커니즘	4
4.2	기존 오디오 전송 방식과의 차별성	7
5	데이터캐스팅 기반 오디오 서비스 분석	9
5.1	서비스 모델 및 구조	9
5.2	서비스 구성요소(필요기능 블록)	13
5.3	데이터캐스팅 기반 오디오 서비스를 위한 전송규격 요구사항	21
5.4	데이터캐스팅 기반 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱	22
6	주요 이슈 및 도전과제	35
6.1	기술적 제약 요인	35
6.2	제도 및 정책적 한계	36
6.2	국책과제 추진을 위한 RFP(초안)	37
7	결론 및 향후 연구 과제	40
7.1	결론	40
7.2	향후 연구 과제	41
부록	I -1 지식재산권 요약서 정보	43
	I -2 시험인증 관련 사항	44
	I -3 본 기술보고서의 연계(Family) 기술보고서	45
	I -4 참고 문헌	46
	I -5 영문기술보고서 해설서	48
	I -6 기술보고서의 이력	49

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

1 적용 범위

본 기술보고서는 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 채널을 활용한 오디오 서비스 기술의 구조, 기능, 및 구현 가능성을 종합적으로 분석하고, 한국 방송환경에서의 적용 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 보고서의 적용 범위는 기술적, 정책적, 산업적 관점을 아우르며, 단순한 전송 기술 검토를 넘어 지상파 방송망을 활용한 차세대 오디오 서비스 플랫폼의 설계 및 운영 모델을 제시하는 데 중점을 두었다.

이 기술보고서 6장과 7장은 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

3.1 주요 기술용어

구분	용어	정의
기반기술	데이터캐스팅 (Datacasting)	방송망을 이용하여 비디오 외의 데이터(오디오, 텍스트, 애플리케이션 등)를 IP 패킷 형태로 전송하는 기술. ATSC 3.0에서는 ROUTE/ALC 기반으로 구현
	ATSC 3.0	Advanced Television Systems Committee가 제정한 차세대 지상파 방송 표준으로, IP 기반 전송, 고효율 코딩, 방송·통신 융합 기능을 제공
	PLP (Physical Layer Pipe)	ATSC 3.0 물리계층에서 데이터 전송을 구분하기 위한 논리적 채널 단위. 서비스별로 독립된 변조·코딩 방식을 적용 가능
전송 및 패키징	ROUTE (Real-time Object Delivery over Unidirectional Transport)	ATSC 3.0에서 파일 또는 오브젝트를 비연결형 단방향 전송 환경에서 효율적으로 송신하기 위한 프로토콜. ALC를 기반으로 함
	ALC (Asynchronous Layered Coding)	오브젝트 기반 전송을 위한 IP 멀티캐스트 프로토콜로, 단방향 환경에서 FEC(Forward Error Correction)를 통해 패킷 손실을 복원

	DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)	세그먼트 단위의 미디어 전송 기술로, MPD(Manifest) 파일을 통해 재생 순서와 전송 속도를 정의하며, ATSC 3.0에서는 ROUTE와 결합되어 사용됨
	MPD (Media Presentation Description)	DASH 전송에서 미디어 세그먼트의 시간, 위치, 버전, 접근 경로 등을 기술한 매니페스트 파일
오디오 처리	AC-4	Dolby사가 개발한 고효율 오디오 코덱으로, 객체기반 오디오(Object-Based Audio) 및 메타데이터 전송을 지원한다. ATSC 3.0 표준 오디오 코덱으로 채택됨
	MPEG-H 3D Audio	ISO/IEC MPEG에서 제정한 차세대 오디오 코덱으로, 다채널·객체·씬 기반 오디오를 지원
시그널링 구조	LLS (Low Level Signaling)	ATSC 3.0 수신단에서 서비스 탐색을 위해 제공되는 기본 서비스 신호 집합으로, SLT(Service List Table)를 포함
	SLT (Service List Table)	서비스 ID, PLP 매핑 정보, 전송 경로 등을 정의한 LLS 구성요소
	SLS (Service Layer Signaling)	ROUTE 또는 MMTP를 통해 서비스 구성 정보를 제공하는 상위 시그널링 계층
	ESG (Electronic Service Guide)	서비스명, 로고, 장르, 언어, 유효기간 등 오디오 서비스의 메타데이터 정보를 제공하는 전자 서비스 가이드
보안 및 관리	DRM (Digital Rights Management)	디지털 콘텐츠의 무단 이용을 방지하기 위한 암호화 및 키 관리 기술. 방송망 단방향 전송 환경에서는 키 래핑(Key Wrapping) 및 키 롤링(Key Rolling) 방식이 사용
	FEC (Forward Error Correction)	전송 중 발생하는 오류를 복원하기 위한 정정 부호 기술. ALC 프로토콜 내에서 패킷 손실 복원을 위해 적용
	비상 해제 (Emergency Unlock)	재난 및 긴급 상황에서 DRM 보호 콘텐츠의 암호화를 일시적으로 해제하여 모든 수신단에서 접근 가능하도록 하는 기능
서비스 및 응용	IBB (Interactive Broadcast Broadband)	ATSC A/344 표준에 정의된 방송·통신 연동 기술로, 방송망과 인터넷망을 결합한 양방향 서비스 제공을 지원
	PoC (Proof of Concept)	기술의 개념 및 성능을 검증하기 위한 파일럿 시범 실증 단계
	ESG 오퍼레이션 (ESG Operation)	방송국 또는 서비스 사업자가 ESG를 생성·배포·갱신·관리하는 일련의 운영 절차
	오디오 세그먼트 (Audio Segment)	오디오 콘텐츠를 일정 시간 단위(보통 2~4초)로 분할하여 전송하기 위한 최소 단위 데이터 블록
	저지연 모드 (Low-Latency Mode)	세그먼트 길이 및 버퍼 크기를 줄여 오디오 재생 지연을 최소화하는 운용 방식

3.2 약어

약어	영문 명칭
ATSC	Advanced Television Systems Committee
ROUTE	Real-time Object Delivery over Unidirectional Transport
ALC	Asynchronous Layered Coding
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP
MPD	Media Presentation Description
LLS	Low Level Signaling
SLT	Service List Table
SLS	Service Layer Signaling
ESG	Electronic Service Guide
FEC	Forward Error Correction
DRM	Digital Rights Management
AC-4	Audio Codec 4
MPEG-H	Moving Picture Experts Group – H Audio
PLP	Physical Layer Pipe
QoS	Quality of Service
PoC	Proof of Concept
IBB	Interactive Broadcast Broadband
KPI	Key Performance Indicator
API	Application Programming Interface
SDK	Software Development Kit
MCS	Modulation and Coding Scheme
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TTA	Telecommunications Technology Association
A/331	ATSC Standard A/331
A/332	ATSC Standard A/332
A/342	ATSC Standard A/342
A/344	ATSC Standard A/344

4 데이터캐스팅 기술적 특성

본 장에서는 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 채널이 오디오 서비스를 전송하기 위해 적용하는 전송 구조, 기술적 메커니즘, 처리 절차 및 시스템 구성 요소를 심층적으로 설명한다. 또한 기존의 오디오 전송 기술(FM, DAB, IP 스트리밍 등)과의 비교를 통해 데이터캐스팅 기술의 차별성과 진화 방향을 기술한다. 본 분석은 표준 문서(ATSC A/331, A/332, A/344 등) 및 주요 상용 PoC 사례를 바탕으로 하였으며, 전송 효율, 신뢰성, 수신 안정성, 확장성 측면에서의 기술적 우수성을 객관적으로 검토하였다.

4.1 전송 구조 및 기술적 메커니즘

데이터캐스팅은 ATSC 3.0 물리계층(Physical Layer)을 기반으로 한 IP 기반 방송형 데이터 전송 기술로, 방송망을 통해 비디오 외에도 다양한 유형의 데이터 패킷을 송출할 수 있도록 설계되어 있다. 특히 오디오 서비스를 대상으로 하는 데이터캐스팅 구조는 ROUTE/DASH 전송 프로토콜을 핵심으로 하며, 세그먼트 단위의 파일 전송 구조와 비연결형 단방향 전송 환경에 적합한 오류 정정 메커니즘(FEC, ALC)을 결합하여 구현된다.

(1) 전송 파이프라인 구조

송신단의 전체 전송 파이프라인은 아래와 같이 구성된다.

(가) 오디오 인코딩(Audio Encoding)

- 콘텐츠는 AC-4 또는 MPEG-H 코덱을 사용하여 압축된다.
- 서비스 목적에 따라 스테레오(2.0), 다채널(5.1), 객체 기반 오디오(Object-based Audio) 등의 프로파일을 적용할 수 있다.
- 코덱 파라미터(비트레이트, 샘플링 주파수, Loudness metadata 등)는 ESG(Service Guide) 내에서 기술된다.

(나) 세그먼트화 및 패키징(Segmentation & Packaging)

- 인코딩된 오디오 파일은 DASH 구조에 따라 일정 길이(2~4초)의 세그먼트로 분할된다.
- 각 세그먼트는 MPD(Manifest File)에서 타임라인, 버전, 업데이트 주기, URL을 통해 참조된다.
- 이 세그먼트들은 ROUTE 프로토콜의 상위 계층에서 ALC 프로토콜을 통해 FEC로 보호되어 전송된다.

(다) 전송 계층 및 PLP 매핑(Transmission Layer & PLP Mapping)

- 송출단에서는 데이터캐스팅용 전용 PLP를 구성하며, 변조 방식(Modulation)과 부호율(Code Rate)은 QPSK 1/2~16QAM 3/5 수준에서 운용된다.

- 서비스 중요도에 따라 PLP 간 우선순위를 부여하여, 핵심 오디오 채널과 ESG 데이터를 안정적으로 수신할 수 있도록 한다.
- FEC(Forward Error Correction) 및 Interleaving 기법이 적용되어 실시간 패킷 손실에 대한 복원 능력을 확보한다.

(라) 서비스 시그널링 및 ESG 구성(Service Signaling & ESG)

- LLS/SLT를 통해 서비스 ID, PLP 매핑, 전송 경로가 명시된다.
- SLS(Service Layer Signaling) 내에는 MPD와 ESG 정보가 포함되어, 수신단이 오디오 스트림의 구조를 자동으로 파악하도록 한다.
- ESG는 JSON/XML 기반의 구조로 작성되어, 오디오 채널의 이름, 언어, 장르, 콘텐츠 유형, DRM 상태, 유효기간 등을 정의한다.

(2) 수신단의 복원 구조

수신단은 데이터 스트림을 수신하여 다음의 절차로 오디오를 복원한다.

- LLS/SLT 수신 단계: 서비스의 존재 여부 및 PLP 위치를 탐색한다.
- SLS 분석 단계: MPD 및 ESG 정보를 파싱하여 스트림의 구성 요소를 해석한다.
- ROUTE/ALC 복원 단계: 세그먼트 단위로 수신된 패킷을 재조합하고, FEC를 이용하여 손실된 블록을 복원한다.
- 오디오 디코딩 및 재생 단계: 완전한 세그먼트를 디코딩하여 재생하며, 버퍼를 통해 일정한 출력 지연(3~5초)을 유지한다.
- 이러한 절차는 완전한 단방향(One-Way) 환경에서도 안정적인 재생이 가능하도록 설계되어 있다. 특히, DASH의 세그먼트 기반 구조를 방송 환경에 적용한 형태로서, 네트워크 접속 없이도 지속적 재생이 가능하며, 단말 전력 소모를 최소화할 수 있다.

(3) 전송 효율 및 성능 고려사항

데이터캐스팅 채널의 전송 효율은 PLP 용량(약 1.5~2.5 Mbps)을 기준으로 산정된다. 예를 들어 96 kbps의 오디오 스트림 10개를 동시에 송출할 경우, 약 1 Mbps의 대역이 소요되며, 나머지 용량은 ESG 및 오버헤드로 활용된다. 전송 신뢰도 향상을 위해 ALC의 FEC 오버헤드를 20~30% 수준으로 설정하고, MPD 갱신 주기를 30~60초로 조정하여 지연과 안정성 간의 균형을 유지한다. 또한, 이동 수신 환경(예: 차량 60 km/h)에서도 안정적인 복원이 가능하도록, 채널 부호율, 시간 인터리빙, PLP 분할 등을 적용한다. 실험 결과(참조: KBS UHD Testbed, 2024 기준)에서는 도심 10 km 반경 내 97% 이상의 패킷 수신율을 달성하였다.

(4) 기술적 장점

- 대역 효율성: 동일 대역폭 내 다중 오디오 서비스 병행 가능
- 지속성: 방송 기반 단방향 구조로 네트워크 부하 없음
- 전력 절감: 오디오 전용 수신기(SoC 기반)에서 슬립모드 운용 용이
- 확장성: ESG를 통한 동적 서비스 추가 가능 (다국어, 특화 채널 등)
- 표준 정합성: ATSC 3.0 A/331, A/332, A/344 등과 완전 호환
- 이와 같이 데이터캐스팅 전송 메커니즘은 기존의 비디오 중심 방송 기술을 오디오 중심의 경량 서비스로 확장할 수 있는 구조적 기반을 제공한다.

4.2 기존 오디오 전송 방식과의 차별성

데이터캐스팅 기반 오디오 서비스는 전송 구조, 신호처리 방식, 서비스 운영 및 품질 제어 측면에서 기존의 오디오 전송 기술과 근본적인 차별성을 지닌다.

(1) 전송 구조의 차이

기존 오디오 방송은 FM 또는 DAB와 같은 연속 신호 기반의 아날로그·디지털 변조 방식을 사용하며, IP 스트리밍은 양방향 네트워크 접속을 전제로 하는 TCP/HTTP 기반 스트리밍 구조를 채택한다. 반면 데이터캐스팅은 단방향이며 IP 패킷화된 데이터 전송 구조를 가진다. 이는 방송망의 높은 커버리지와 IP 데이터 전송의 유연성을 결합한 하이브리드 형태로, 네트워크 연결이 제한된 환경에서도 안정적인 콘텐츠 전달이 가능하다. 이 구조는 특히 비상재난 오디오 방송, 교육용 오디오 콘텐츠, 지역 맞춤형 음성 서비스 등 IP 의존도가 낮은 환경에서 유리하며, 네트워크 인프라가 제한된 지역에서도 동일 품질의 서비스 제공이 가능하다.

(2) 시그널링 및 제어 구조의 차이

FM/DAB은 주로 오디오 신호 내부에 단순한 서비스 식별자(SCId) 또는 RDS(Radio Data System) 형태로 부가정보를 삽입한다. 반면, 데이터캐스팅은 LLS/SLT-SLS-MPD-ESG로 이어지는 계층적 시그널링 체계를 채택한다. 이 구조를 통해 오디오 서비스의 탐색, 메타데이터 관리, 버전 관리, DRM 상태 정보 등을 표준화된 XML/JSON 형식으로 송신할 수 있다.

예를 들어, ESG에는 다음과 같은 정보가 포함된다.

- serviceld, serviceName, language, genre, bitrate, validFrom/To
- DRM 상태(encryption, keyId) 및 지역 제한(geoRestriction)

이를 통해 단말은 ESG만으로 서비스의 전체 구성을 인식하고, 신규 오디오 서비스가 추가될 경우 자동으로 갱신할 수 있다.

(3) 품질 관리 및 복원성 차이

데이터캐스팅은 ALC/ROUTE 기반 FEC 메커니즘을 내장하고 있어, 패킷 손실이 일정 수준 발생하더라도 재생 품질을 유지할 수 있다. FM/DAB은 전송 지연이 거의 없으나, 채널 페이딩이나 간섭에 취약하고 오류정정 범위가 제한적이다. IP 스트리밍은 QoS 제어가 가능하지만, 네트워크 지연 및 버퍼링 불안정성이 존재한다. 이에 비해 데이터캐스팅은 단방향 방송망의 신뢰성과 세그먼트 기반 스트리밍의 내구성을 결합함으로써, 일정 지연(약 3초)을 허용하는 대신 안정적 수신을 보장한다.

(4) 서비스 운영 및 확장성 차이

데이터캐스팅은 기존 방송망 인프라를 그대로 활용하므로 추가적인 네트워크 투자 없이 서비스 확장이 가능하다. 오디오 서비스는 ESG 업데이트만으로 신규 채널을 등록할 수 있으며, 수신단 소프트웨어 업데이트를 통해 기능을 확장할 수 있다. 예를 들어, 음악 서비스 외에도 오디오 뉴스, 팟캐스트형 콘텐츠, 긴급 안내 음성 서비스를 동일 플랫폼에서 제공할 수 있다. 또한, IBB(Interactive Broadcast Broadband) 기술과 결합할 경우, 방송-통신 융합형 양방향 오디오 서비스로 발전할 수 있는 기반도 제공한다.

(5) 표준 및 상호운용성 측면

데이터캐스팅은 ATSC 3.0의 표준 구조 내에서 완전한 호환성을 확보하고 있다. A/331(Physical & Link Layer), A/332(Service Signaling), A/342(Audio), A/344(Interactive Applications) 등을 준수하며, 향후 IETF DASH, ISO-BMFF, MPEG-H 등 국제 표준과의 상호운용성 확보도 용이하다. 따라서 국내뿐 아니라 북미, 유럽, 동남아 등 ATSC 3.0을 채택한 지역에서도 동일 기술구조로 서비스 확장이 가능하다.

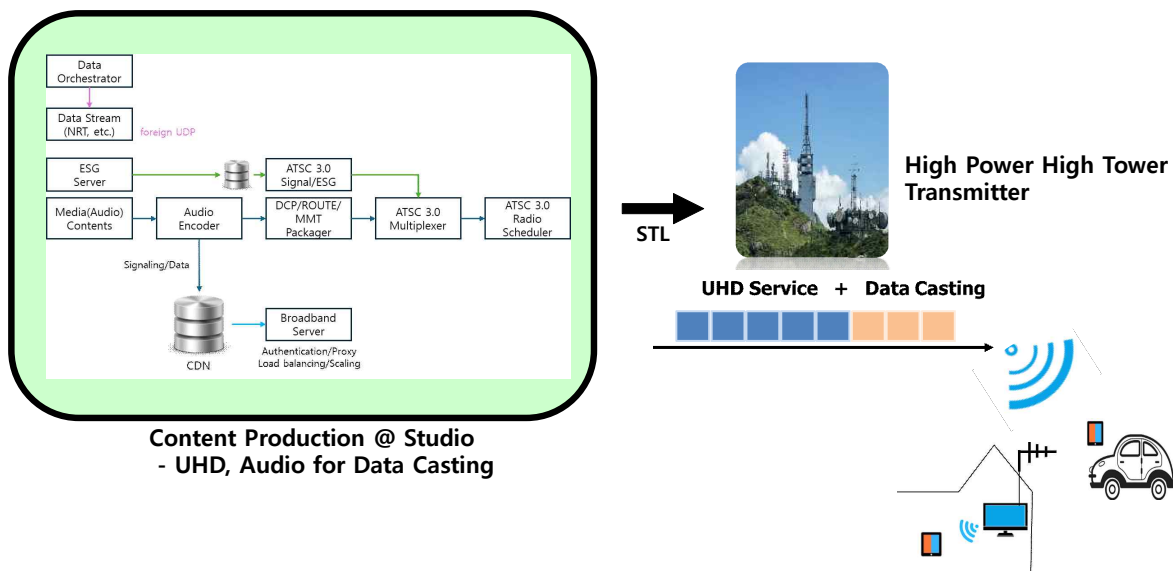
종합적으로, 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스는 방송의 신뢰성과 IP 데이터 전송의 유연성을 결합한 새로운 형태의 오디오 전송 기술이다. 지상파 방송망을 활용하여 단방향으로 고품질 오디오 데이터를 안정적으로 송출할 수 있으며, ESG 기반 서비스 확장성과 표준 호환성을 통해 미래형 라디오·오디오 서비스 플랫폼으로의 발전 가능성을 제시한다. 결과적으로 데이터캐스팅은 기존 FM/DAB/IP 기반 오디오 서비스의 한계를 극복하고, 차세대 방송통신 융합형 오디오 서비스 인프라 구축의 핵심 기술로 평가된다.

5 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스 분석

본 장의 5.1~5.3 절은 ATSC 3.0 방송 표준 기반으로 데이터캐스팅을 활용한 오디오 서비스를 구현하는 모델을 분석한다. 특히 ATSC 3.0 A/331 표준, Signaling, Delivery, Synchronization, and Error Protection 표준에 정의된 핵심 프로토콜인 ROUTE(Real-time Object Delivery over Unidirectional Transport) 및 MMT(MPEG Media Transport)를 기반 오디오 서비스 구현을 중점으로, 기존 A/V 스트림에 오디오 트랙을 다중화하는 방식을 넘어, 오디오 콘텐츠를 독립적인 데이터 객체인 DASH Segment 혹은 NRT(Non-Realtime) 서비스 형태로 정의하고 IP 데이터 파이프를 통해 전송하는 방식을 기술한다. 또한 본 장의 5.4 절은 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱에 관하여 기술하였으며, 오디오 코덱 요구사항, 각 코덱의 특징 및 비교, 오디오 코덱 제안 사항 등을 포함하였다.

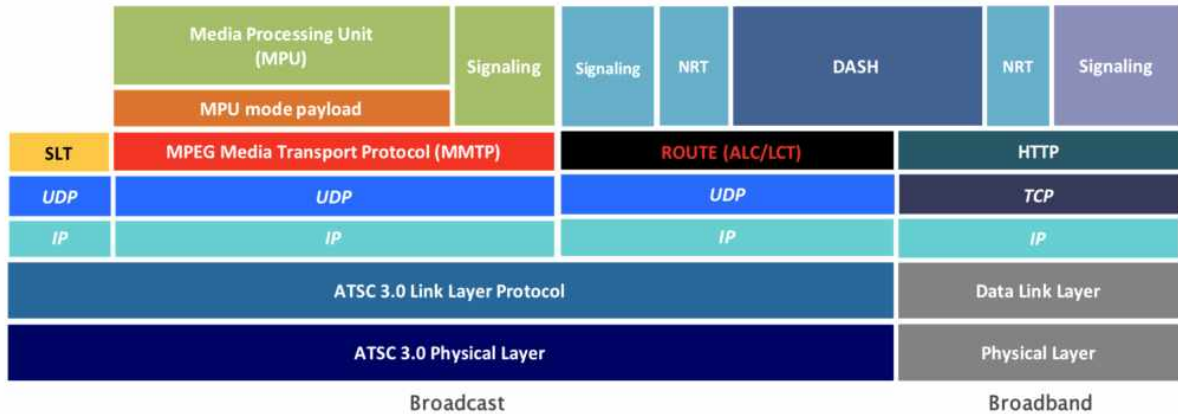
5.1 서비스 모델 및 구조

ATSC 3.0 환경에서 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스는 방송망의 견고성(Robustness)과 IP의 유연성을 결합한 형태로서 <그림 5.1>과 같은 서비스 모델로 나타낼 수 있다. <그림 5.1>과 같이 방송 스튜디오에서는 기존의 UHD 서비스를 위한 제작 및 오디오 서비스를 위한 독립적인 객체를 ATSC 3.0 표준 기반으로 제작하고, 이를 STL(Studio-to-Transmitter Link)로 연결된 방송 게이트웨이를 통하여 ATSC 3.0 송신기로 전송한다. ATSC 3.0 송신기는 방송 게이트웨이에서 구성한 물리계층 프레임 및 PLP(Physical Layer Pipe) 구조에 따라 하나의 방송 채널에 기존 UHD 서비스 및 오디오 서비스를 위한 데이터캐스팅 서비스를 할당하여 방송한다.



<그림 5.1 ATSC 3.0 표준 기반 오디오 서비스를 위한 데이터캐스팅 모델 및 구조>

ATSC 3.0 표준 기반 오디오 서비스를 위한 데이터캐스팅 서비스 모델은 크게 실시간 스트리밍 모델과 NRT 파일 전송 모델로 구분될 수 있으며, 전송을 위한 기본 프로토콜 구조는 <그림 5.2>와 같다.



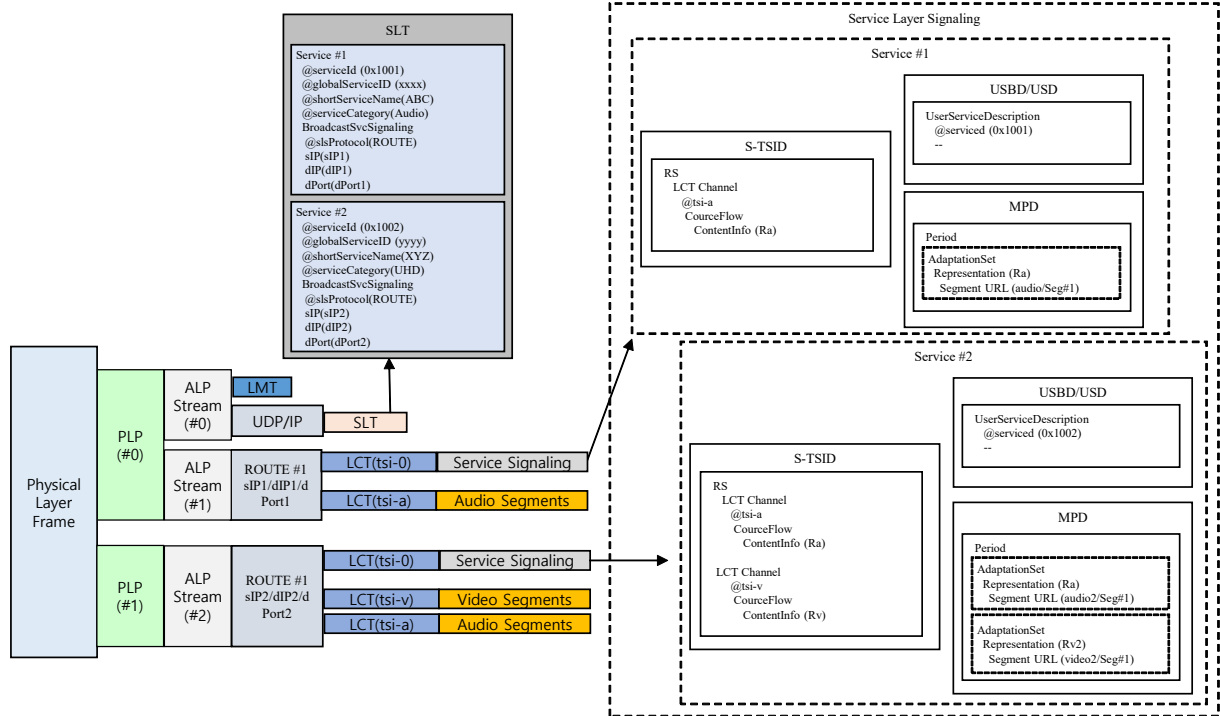
<그림 5.2 ATSC 3.0 표준 기반 오디오 서비스를 위한 데이터캐스팅 프로토콜 스택 구조>

5.1.1 실시간 스트리밍 모델(ROUTE/DASH 기반)

ATSC 3.0 ROUTE/DASH 기반 오디오 서비스는 실시간 다채널 오디오 방송(예: 오디오 전용 라디오 채널), 몰입형 오디오(MPEG-H 등), 또는 다국어 오디오 서비스를 기존 A/V (UHD) 서비스와 독립적으로 제공하는 데 사용될 수 있으며, 다음과 같은 절차로 진행된다.

- 오디오 소스는 실시간으로 인코딩 된 후, DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) 표준에 따라 미디어 세그먼트(Media Segment)와 매니페스트(MPD) 파일로 패키징 된다.
- 이 세그먼트와 MPD 파일은 ROUTE 프로토콜을 통해 LCT(Layered Coding Transport) 패킷으로 캡슐화되어 방송망(UDP/IP)을 통해 실시간으로 송출된다.
- 수신기 ROUTE 세션을 통해 수신된 세그먼트를 순서대로 버퍼링하여 DASH 클라이언트가 이를 연속적으로 재생한다.

<그림 5.3>은 ATSC 3.0 ROUTE/DASH 기반의 독립적인 실시간 오디오 서비스를 위한 시그널링 구성 예시를 나타낸다. 본 예시에 따르면 기존 A/V UHD 서비스는 PLP2로 구성하고, 독립적인 실시간 오디오 서비스는 보다 Robust한 성능을 보장하는 PLP1 으로 구성하였다.



<그림 5.3 ATSC 3.0 표준 기반 오디오 서비스를 위한 시그널링 구조>

5.1.2 NRT 파일 전송 모델(ROUTE/FLUTE 기반)

ATSC 3.0 A/331 표준은 실시간 서비스가 아닌 파일 단위의 데이터를 전송하기 위한 NRT(Non-Real-Time) 서비스 모드를 정의하고 있으며, ATSC 3.0 기반의 데이터캐스팅은 기본적으로 NRT 서비스를 의미한다. NRT 서비스를 위해서는 <그림 5.2>에 정의된 것과 같이 ROUTE 프로토콜을 사용하며, 기본적으로 ROUTE File Mode로 전송을 권장한다. NRT 모드를 사용한 오디오 서비스는 팟캐스트, 오디오북, 고품질 음원 파일(예약 다운로드)과 같은 비실시간성 오디오 콘텐츠 배포에 적합하며, 다음과 같은 절차로 진행된다

- 완성된 오디오 파일(MP3, M4A, ADTS 등)은 FLUTE(File Delivery over Unidirectional Transport) 프로토콜을 사용하여 전송 객체로 정의된다. (참고: ATSC 3.0에서 FLUTE는 ROUTE 세션 내부에서 동작함)
- 해당 파일들은 방송 게이트웨이의 NRT 데이터 캐러셀(Carousel) 스케줄에 따라 ROUTE 패킷으로 방송망에 주기적으로 송출한다.
- 수신기는 백그라운드에서 이 데이터 캐러셀에 접근하여 파일을 수신 및 재조립하고, 저장 장치에 보관했다가 사용자의 요청 시 즉시 재생한다.

5.1.3 실시간 스트리밍 모델(MMT/MMTP 기반)

ROUTE/DASH 대신 MMT/MMTP를 선택해 MPU(Media Processing Unit) 기반 실시간 오디오 서비스를 구성할 수 있다. 이 모델은 오디오 단독, 오디오 다중 버전(다국어/다채널), 또는 다른 MMT 패키지와의 동시 운용에 적합하다.

- 패키징/전송: 인코딩된 오디오는 MPU 단위로 포맷되고, MMTP 패킷에 실려 전송된다. MMTP 세션은 (destination IP, destination UDP port) 로 식별되며, 세션 내 개별 흐름은 packet_id 로 구분된다.
- 시그널링: SLS(USBD for MMTP) 가 서비스의 구성·세션 접속정보(PLP 식별, 목적지 IP/포트 등)를 제공하고, MMT 시그널링(MPT 등) 이 패키지/에셋/동기 정보를 제시한다. 수신기는 SLT(LLS) 로 부트스트랩을 얻어 해당 MMTP 세션으로 튜닝 후, MPT/MMT 메시지를 취득·해석해 재생을 개시한다.
- PLP/멀티플렉싱: 하나의 RF 채널에 여러 PLP와 여러 MMTP 세션을 혼재할 수 있다. 선택한 서비스의 MMT 패키지를 담은 MMTP 세션 위치는 (방송 스트림 ID, PLP ID, 목적지 IP, 목적지 포트) 의 조합으로 표현되며, SLT와 MMT 시그널링으로 해석된다. 설계 시 PLP 최대 64 / 동시 복구 PLP 최대 4 규정을 준수한다.

5.2 서비스 구성요소(필수/기능 블록)

ATSC 3.0 표준에 의거한 데이터캐스팅 오디오 서비스를 구현하기 위해 송수신단에 요구되는 핵심 기능 블록은 다음과 같다.

5.2.1 송신 시스템(Headend / Broadcast Gateway)

송신 시스템은 오디오 원본 소스를 방송망을 통해 수신 단말로 전송하기 위한 IP 기반 데이터 객체(DASH 세그먼트, NRT 파일 등)로 변환하고, 관련 시그널링을 생성하여 최종 RF 신호로 송출하는 전 과정을 담당한다.

5.2.1.1 콘텐츠 및 서비스 계층 처리 (Content & Service Layer Processing)

이 단계는 원본 오디오를 전송 가능한 IP 기반의 '콘텐츠'와 '서비스'로 가공하는 과정이다.

- 오디오 인코더 (Audio Encoder)
 - 역할: PCM(Pulse-Code Modulation)과 같은 원본 오디오 소스를 ATSC 3.0 표준에 명시된 고효율 오디오 코덱으로 압축한다.
 - 표준: ATSC A/342 (Audio Standard)에 의거하여, AC-4, MPEG-H 3D Audio, 또는 HE-AAC 코덱을 사용하여 인코딩을 수행한다.
 - 출력: 압축된 오디오 엘리멘터리 스트림(Elementary Stream).
- 패키저 (Packager - ROUTE/MMT/NRT)
 - 실시간(Real-time):
 - DASH/ROUTE: 실시간 오디오 서비스의 경우, 인코딩된 오디오 스트림을 DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) 표준에 따라 작은 단위의 미디어 세그먼트(예: .m4s 파일)로 분할한다. 동시에, 이 세그먼트들의 목록과 속성(코덱, 비트레이트, 순서 등)을 기술하는 매니페스트 파일인 MPD (Media Presentation Description)를 생성한다.
 - MMT: MMT(MPEG Media Transport) 기반 서비스의 경우, 인코딩된 오디오는 MPU(Media Processing Unit) 단위로 구성되며 MMTP(MPEG Media Transport Protocol) 패킷으로 운반된다. 서비스 시그널링은 MPT 메시지(내부의 MP table 포함)와 필요 시 MPI 메시지로 제공되며, USBD for MMTP(BundleDescriptionMMT)는 mmtPackageId 등 패키지 참조 정보를 기술한다. MMTP 세션의 목적지 IP/포트는 SLT에서 제공되며, 수신기는 SLT→USBD→MPT 순으로 자산의 위치와 packet_id 매핑을 획득한다.
 - 비실시간(Non Real Time): 팟캐스트나 오디오북과 같은 파일 기반 서비스의

경우, 완성된 오디오 파일(예: .m4a, .mp4)을 FLUTE(File Delivery over Unidirectional Transport) 프로토콜로 전송할 수 있도록 준비한다.

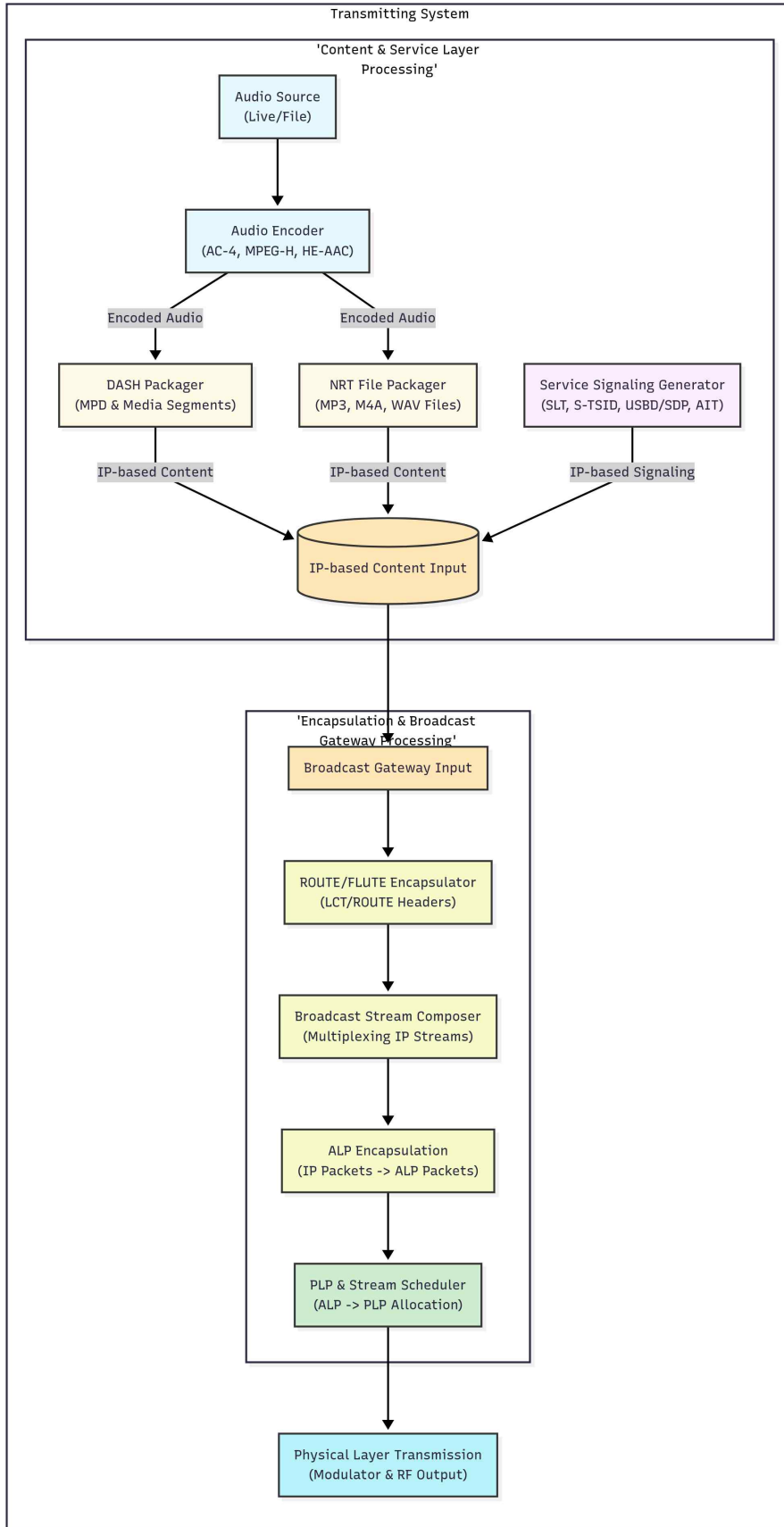
- 출력: MPD 파일, DASH 미디어 세그먼트, NRT 파일 객체.
- 시그널링 생성기 (Signaling Generator)
- 역할: 수신기가 해당 오디오 서비스를 '발견'하고 '접속'하는 데 필요한 모든 메타데이터(시그널링)를 생성한다. 이는 ATSC 3.0 서비스의 핵심이다.
 - 주요 생성 정보 (A/331 기준): USBD for MMTP(BundleDescriptionMMT) 는 서비스 식별·상태·이름과 함께 mmtPackageId 등을 기술한다. MMTP 세션의 목적지 IP/포트는 SLT가 제공하며, MPT 메시지(내부 MP table) 가 자산 목록과 packet_id·위치 정보를 제공한다. ATSC 특화 SLS는 mmt_atsc3_message() 로 운반될 수 있다. USD for MMTP 미디어 타입은 Annex H.3에 등록되어 있다.

5.2.1.2. Encapsulation & ATSC 3.0 Broadcast Gateway

이 단계는 서비스 계층에서 생성된 모든 IP 트래픽(콘텐츠·SLS/LLS 시그널링)을 ATSC 3.0 규격에 맞게 캡슐화·다중화·스케줄링하여 물리계층(RF)로 전달하는 과정이다. 데이터 플로우의 아래 ROUTE/MMTP 인캡슐레이터 → ALP 캡슐화 → PLP 매핑 및 STLTP 송출의 3단계로 정리된다.

- ROUTE/MMTP 인캡슐레이터 (Encapsulator)
- ROUTE (for DASH & 파일/NRT)
 - 역할(ROUTE): DASH 세그먼트, MPD, 서비스 계층 시그널링(SLS), 파일 형(NRT) 객체를 ROUTE로 전송한다. ROUTE는 ALC/LCT 기반이며, LCT 헤더의 TSI(Transport Session Identifier) 와 TOI(Transport Object Identifier) 로 세션/객체를 식별한다. 이때 각 LCT 채널의 TSI는 해당 서비스의 S-TSID 내에서 고유해야 한다.
 - NRT(파일) 전달: ATSC 3.0에서 NRT 전송은 ROUTE로 수행되며, 파일 메타데이터는 Extended FDT(FLUTE FDT의 3GPP/ATSC 확장) 로 기술한다. EFDT는 S-TSID에 포함(Embedded) 하거나 TOI=0 오브젝트로 동일 LCT 채널에서 참조 방식으로 운반할 수 있다.
 - 부트스트랩(SLT) 연계: 수신기는 SLT가 제공하는 부트스트랩 정보를 통해 SLS가 실리는 LCT 채널의 source IP / destination IP / destination UDP port를 획득하고, 이후 해당 ROUTE 세션의 SLS와 콘텐츠를 취득한다.
 - 출력: ROUTE/UDP/IP 패킷(필요 시 LCT 확장헤더/OTI/FEC 파라미터 포함).
 - MMTP (for MMTP/MPU)

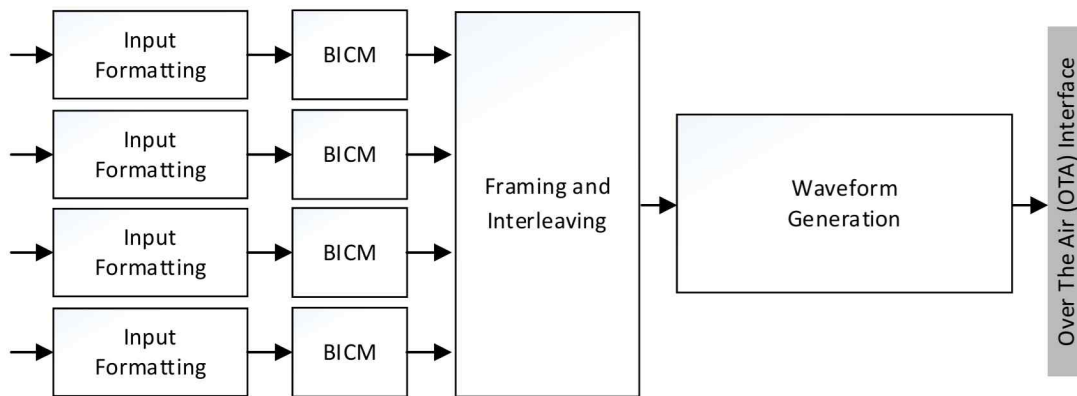
- 역할: 인코딩된 미디어는 MPU(Media Processing Unit) 단위로 구성되어 MMTP 패킷으로 운반되며, 서비스/에셋 정보는 MMT 시그널링(MPT 등) 으로 제공된다. ATSC 3.0에서는 MMTP 세션이 ‘목적지 IP + 목적지 포트’ 조합으로 식별된다.
 - 부트스트랩(SLT)연계: SLT는 MMTP 기반 서비스의 SLS 세션 접속정보(목적지 IP/포트) 를 부트스트랩으로 제공하며, 수신기는 이를 바탕으로 MMTP 세션에 가입해 SLS와 콘텐츠를 취득한다.
 - MMTP-Specific SLS: USB-D for MMTP와 MMTP-specific 메시지(mmt_atsc3_message 등)가 서비스 구성·DRM·다중 스트림 정보를 제공한다.
- ALP 캡슐화 (ALP Encapsulation)
- 역할: 상위 계층에서 생성된 IP 패킷(ROUTE/LLS/MMTP 등) 을 ALP Packet 으로 캡슐화한다. ALP 헤더는 ‘Base Header + (옵션) Additional Header + (옵션) Extension Header’ 구조를 갖는다.
 - 목적: 링크 계층에서 효율적 캡슐화·오버헤드 절감을 제공하여 물리계층 자원을 최적화한다
 - 출력: ALP 패킷 스트림(서비스별/PLP별로 분리 가능)
- PLP 및 스트림 스케줄러 (PLP & Stream Scheduler)
- 역할: 스케줄러는 여러 서비스의 ALP 스트림을 PLP(Physical Layer Pipe) 로 매핑하고, ALP → BBP(Baseband Packet) 로 포맷팅한 뒤, STLTP(RTP/UDP/IP 기반 터널)를 통해 송신기(익사이터)로 전달한다. STLTP에는 BBP, 프리앰블/T&M, 제어 정보가 포함된다.
 - 주요 기능:
 - PLP 개수: RF 채널당 최대 64 PLP, 최소 1 PLP. 하나의 완전한 전달 구조(한 서비스를 구성하는 동시 복구가 필요한 콘텐츠 묶음) 내에서 동시 복구 대상 PLP는 최대 4개 권고.
 - 변조·부호화: 물리계층은 QPSK~4096-QAM 범위를 지원하며 서비스 및 채널 특성에 따라 변조방식과 부호화 방식을 PLP 단위로 선택·혼용 가능.
 - 프레임·타이밍: 프레임/서브프레임 구성, L1 시그널링, TI/FDI 등 물리계층 제약을 스케줄러가 준수하며, BBP는 PLP 당 연속 생성되어 STLTP로 운반된다.
 - 출력: STLTP(Stream) - 방송 송신기로 전달되어 변조 및 RF송출에 사용



<그림 5.4 ATSC 3.0 ROUTE 표준 기반 오디오 서비스 흐름도>

5.2.1.2. Transmitter / Exciter

방송 게이트웨이/스케줄러를 통해 할당된 물리계층 자원 및 PLP 구성 정보를 전용망인 STL(Studio-to-Transmitter Link)를 통해 송신기로 전달한다. 송신기는 전달된 물리계층 구성 정보 및 실시간 서비스 스트림을 이용하여 물리계층 채널코딩(BICM: Bit-interleaved coded modulation), 타임 인터리버, Waveform(OFDM) 변조 등을 거쳐 OTA(Over-the-air) 송신을 수행한다. 기본적인 송신 구조는 <그림 5.5> 와 같다.



<그림 5.5 ATSC 3.0 표준 기반 송신 구조>

5.2.2 수신 단말(Receiver / Terminal)

수신 단말은 RF 신호로부터 목표 서비스(데이터캐스팅 오디오)를 선택·획득·복원하여 오디오 재생과 관련 데이터 표시까지 수행한다. 기능은 물리/링크 계층, IP·서비스 계층(시그널링/컨텐츠 수신), 애플리케이션·프리젠테이션 계층으로 구분한다.

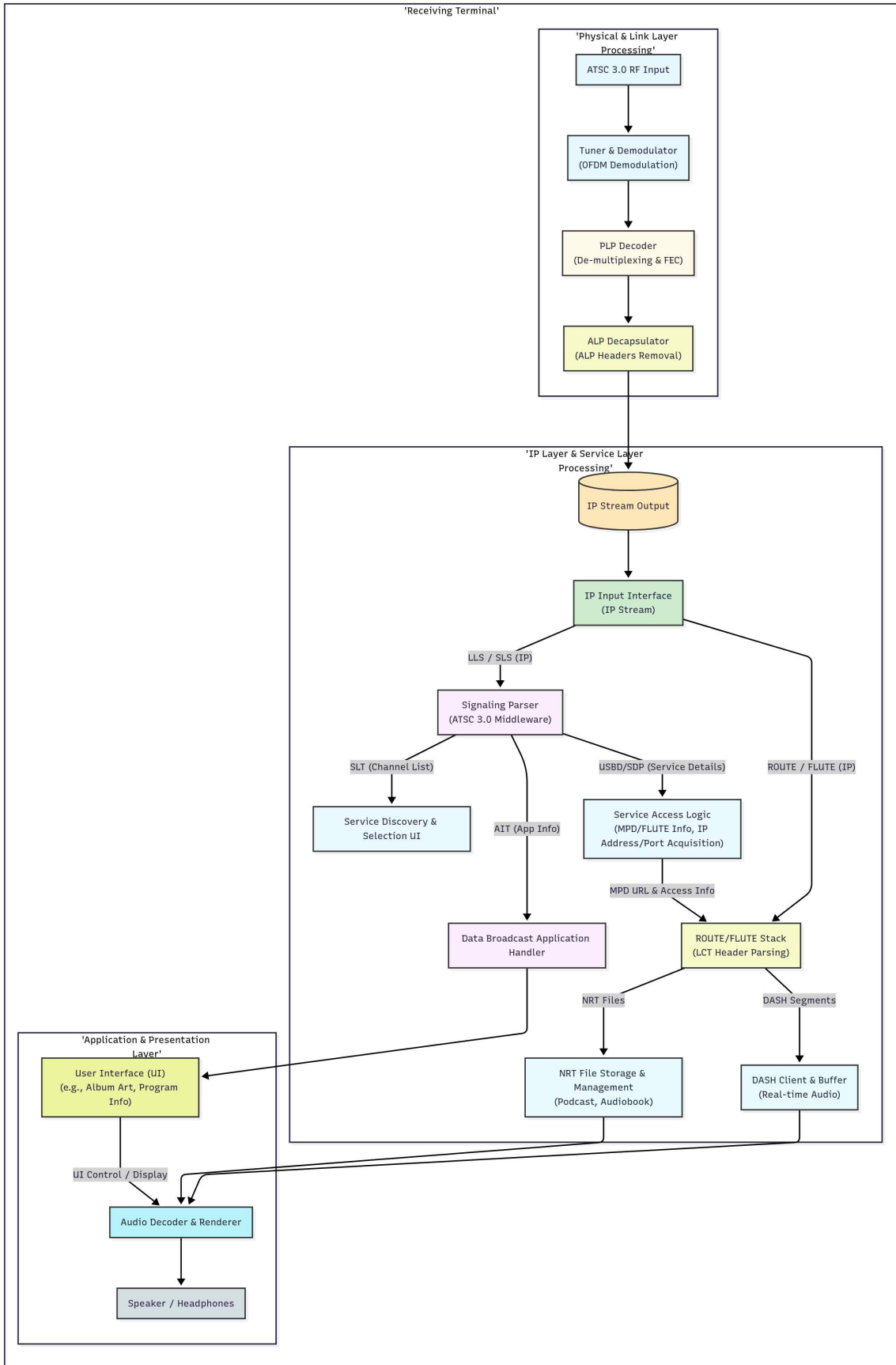
- 물리 계층 및 링크 계층 처리 (Physical & Link Layer Processing)
 - 튜너 및 복조기 (Tuner & Demodulator)
 - 선택 채널의 RF 신호를 수신해 OFDM(A/322) 물리계층 프레임을 복조한다. L1 신호를 복원해 프레임 구조와 PLP를 얻는다.
 - PLP 디코더 (PLP Decoder)
 - L1-Detail 정보를 참조하여 선택 서비스에 해당하는 PLP만 필터링하고, 해당 ModCod에 맞춰 디코딩·FEC 복원을 수행한다. 출력은 ALP 패킷 스트림이다.
 - ALP 디캡슐레이터 (ALP Decapsulator)
 - ALP 헤더를 해석해 상위의 원본 IP 패킷(ROUTE, LLS, MMTP 등) 으로 재조립한다. ALP 헤더는 Base Header + (선택) Additional Header +

(선택) Extension Header 구조임을 명시한다

- IP 계층 및 서비스 계층 처리 (IP Layer & Service Layer Processing)
 - LLS 수신 및 SLT 파싱(부트스트랩)
 - 수신기는 고정 멀티캐스트 주소 224.0.23.60:4937/UDP로 송출되는 LLS 스트림에서 SLT를 획득해 서비스 목록과 진입점을 얻는다(채널 리스트 UI, 선택 처리).
 - SLS 획득
 - ROUTE: SLT가 지시한 S-TSID/USBD/EFDT 위치를 따라 SLS(서비스 레벨 시그널링) 을 취득·파싱한다.
 - ROUTE 세션 식별: (source IP, destination IP, destination UDP port) 조합으로 식별한다.
 - LCT 채널 식별: TSI(Transport Session Identifier)로 구분하며, 각 LCT 채널은 단일 PLP에 매핑된다(구현 상 일반적 구성).
 - SLS 획득(MMT/MMTP 계열)

MMT 서비스의 경우 SLT가 지시하는 MMTP 세션(= 목적지 IP/포트) 에 접속해 USBD for MMTP 및 MPT(패키지/에셋 테이블) 를 통해 패키지/에셋/packet_id 매핑을 확보한다.
- 컨텐츠 수신 경로별 처리
 - ROUTE/DASH(실시간 스트리밍)
 - 패키징 인지: MPD/세그먼트 속성(코덱, 비트레이트, 세그먼트 길이)을 MPD로부터 파악한다.
 - ROUTE 세션 조인: SLS에서 받은 (IP/Port/TSI)을 이용해 LCT 헤더의 TSI/TOI를 해석, 세그먼트를 객체 단위로 재조립한다.
 - 재생: DASH 클라이언트가 플레이아웃 버퍼를 운용하며 지터·일시적 손실에 대응하고, 오디오 디코더로 연속 공급한다.
 - ROUTE 파일 모드(NRT, 파일 배포)
 - EFDT 기반 메타: NRT는 ROUTE 파일 모드 + EFDT(Extended FDT) 로 전송된다. EFDT는 S-TSID 내 임베드 또는 동일 LCT 채널의 TOI=0으로 운반된다. (기존 “ROUTE 안에서 FLUTE가 동작”이라는 중첩 표현은 지양; FLUTE의 FDT 개념을 확장(EFDT) 하여 사용하는 구조)
 - 캐러셀 수신: 캐러셀 스케줄에 따라 파일을 반복 수신·재조립·저장하고, 필요 시 HTTP File Repair(브로드밴드 경로)로 결손을 보수한다.
 - MMT/MMTP (실시간 스트리밍)
 - 세션·플로우 식별: 세션 = (dest IP, dest UDP port), 플로우 = packet_id 로 식별한다.
 - 시그널링 수집: USBD for MMTP와 MPT를 해석해 패키지/에셋/시간동기 정보를 확보한다.

- MPU 조립: MMTP 패킷에서 MPU(Media Processing Unit) 를 순서·타임스탬프에 맞춰 복원, 오디오 디코더로 공급한다.
- 애플리케이션 및 프리젠테이션 계층 (Application & Presentation Layer)
- 오디오 디코더/렌더러 (Audio Decoder/Renderer)
 - AC-4, MPEG-H 등 표준 코덱(A/342 준수)을 실시간 디코딩하여 PCM을 출력한다. 라우드니스 관리, 멀티트랙(다국어/주해설) 선택, 접근성 옵션(청각 보조) 등을 제공한다.
 - 데이터 방송 애플리케이션
 - AIT로 지시된 HTML5 앱을 획득·실행하여 앨범 아트, 곡 정보, 투표/참여 UI 등을 오디오 재생과 동기 표시한다. (앱 자산 경로는 ROUTE/E(F)DT 또는 MMTP로 제공)
- 수신 동작 정책
- 서비스 획득 순서(ROUTE): LLS(SLT) → S-TSID/USBD/EFDT → ROUTE 세션 조인 → MPD/세그먼트 수신의 순서를 기본으로 한다. (NRT는 EFDT로 파일 메타 획득 후 캐러셀 수신)
 - 서비스 획득 순서(MMT): LLS(SLT) → MMTP 세션 접속 → USBD for MMTP → MPT 수신 → MPU 복원 순으로 동작한다.
 - LLS 수신: 224.0.23.60:4937/UDP로 상시 수신·캐시(채널 리스트/상태 변화 반영).
 - 버퍼링: 라이브 스트리밍은 플레이아웃 버퍼를 가변(예: 저지연/안정성 프로파일) 운영해 지터·일시 손실에 대응한다.
 - 하이브리드 보전성: HTTP File Repair(NRT) 또는 보조 유니캐스트 세그먼트(라이브)가 정책에 따라 활성화될 수 있다.
- 품질/신뢰성·보안·운용
- 품질 모니터링: 세그먼트 낙실률, EFDT/USBD 갱신 시간, 서비스 획득 시간, 버퍼 언더런, PLP 전환 이력 등을 로깅한다. (운용 백오피스로 전송 시 개인 정보·식별자 최소화)
 - 보안/DRM: 방송·브로드밴드 병행 환경에서 CENC 기반 보호와 키/라이선스 동기화를 지원한다(세부 정책은 사업자 권한).
 - 재난/EWS 연동: CAP 기반 경보가 수신되면 우선권 정책에 따라 자동 프리엠션·알림 표시·음량 관리 등을 수행한다.
 - 접근성/안전성: 차량 모드(대형 버튼/음성 제어), 청각 보조, 화면 낭독 등 제공



<그림 5.6 ATSC 3.0 기반 오디오 서비스 수신 절차도>

5.3 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 오디오를 위한 전송규격 요구사항

ATSC 3.0 표준 하에서 안정적인 데이터캐스팅 오디오 서비스를 제공하기 위해서는, 전송 규격이 다음의 핵심 요구사항을 만족해야 한다.

5.3.1 시그널링(Signaling) 요구사항(A/331 표준)

- 서비스 발견 (Service Discovery via SLT): 해당 오디오 서비스는 반드시 SLT (Service List Table)에 기술되어야 한다. 이 서비스는 기존 A/V 서비스 (service_category=1)와 구별되도록 service_category를 '오디오 전용 방송'(예: 0x07) 또는 '데이터 서비스'(예: 0x04)로 명확히 정의해야 한다.
- 서비스 접속 정보 (Service Acquisition via USBD): SLT는 해당 서비스의 상세 접속 정보(Service-level Signaling)가 담긴 USBD 파일을 가리켜야 한다. 이 기술 파일(Descriptor)은 다음 정보를 필수로 포함해야 한다:
 - o 오디오 스트림(DASH) 또는 파일(FLUTE)을 전송하는 ROUTE 세션의 접속 정보 (IP 주소, UDP 포트, TSI).
 - o 실시간 스트리밍의 경우, MPD(Media Presentation Description) 파일의 위치 (URL 또는 FLUTE 전송 정보).
- 애플리케이션 연동 (Application Linkage via AIT): 만약 이 오디오 서비스가 전용 사용자 인터페이스(예: 채널 선택 앱, 앨범 아트 표시)를 필요로 한다면, SLT 또는 USBD는 관련 HTML5 애플리케이션 정보를 담은 AIT(Application Information Table)를 명시적으로 링크해야 한다.

5.3.2 패킷 포맷 및 전송 프로토콜(ROUTE) 요구사항(A/331 표준)

- 전송 프로토콜 (ROUTE 사용): 모든 오디오 데이터(DASH 세그먼트, NRT 파일)는 ROUTE 프로토콜(A/331)을 사용하여 UDP/IP 패킷으로 전송되어야 한다.
- 실시간성 보장 (Timing for Live Streaming): 실시간 오디오 스트리밍의 경우, ROUTE 패킷 내 LCT 헤더의 타임스탬프 정보는 MPD의 가용 시간과 동기화되어, 수신기가 정확한 버퍼링 및 재생 시점을 판단할 수 있도록 지원해야 한다.
- 파일 전송 신뢰성 (Reliability for NRT): 팟캐스트 등 NRT 파일 전송 시에는 FLUTE 프로토콜(ROUTE 내부에서 동작)을 사용해야 한다. 이때, 방송 환경의 패킷 손실에 대비하여 파일의 완전한 복구를 보장하기 위해 표준화된 FEC(예: AL-FEC) 사용 및 데이터 캐러셀의 반복 전송 메커니즘이 필수적으로 적용되어야 한다.

5.4 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱

데이터캐스팅(Data Casting)은 방송망을 통해 데이터를 전송하는 기술로, 오디오 콘텐츠를 효율적으로 전달하는 데 활용된다. 본 보고서는 데이터캐스팅 환경에서 최적의 오디오 품질과 전송 효율을 달성하기 위한 오디오 코덱의 요구사항을 정의하고, 이러한 요구사항에 부합되는 몇 가지 후보 코덱에 대해서 소개하며, 이들 중 주요한 코덱에 대한 기술적인 특성에 대하여 기술한다.

5.4.1 오디오 코덱 요구사항

일반적으로 방송, 통신 등에 사용되는 오디오 코덱의 일반적인 요구사항으로는 아래와 같은 것들이 있다.

- **압축 효율성**: 제한된 대역폭에서 고품질의 오디오 제공을 위해서는 높은 압축률이 요구된다.
- **저지연성**: 실시간 스트리밍 지원하면서 방송 지연 최소화를 위해서는 저지연 코덱 구조가 필요하며, 수신 단말에서의 빠른 디코딩 및 재생이 요구된다.
- **오류 복원력**: 방송망 특성상 발생할 수 있는 데이터 손실에 대비하여 패킷 손실 복원 기능이나, 에러 콘실링(Error Concealment)을 통한 청취 경험 저하 방지를 위한 기술이 요구된다.
- **적응형 비트레이트**: 전송망의 효율적인 활용을 위하여 서비스하는 콘텐츠의 특성에 따라 비트레이트를 조절할 수 있는 기능이 요구된다.
- **호환성과 확장성**: 스마트폰, 차량용 수신기, IoT 기기 등과 같은 다양한 디바이스에서 쉽게 적용이 가능한 것이 요구되며, 이를 위해서는 표준화 기구를 통하여 표준화된 오디오 코덱이 유리할 것이다.

오디오 코덱이 가지는 기술적 요구사항은 다양할 수 있는데, 아래와 같은 것들이 주요한 기술적 요구사항이 될 수 있다.

항목	설명
샘플링 레이트	샘플링 레이트 최소 16kHz 이상 권장 (음성 중심), 음악 콘텐츠는 44.1kHz 이상
채널 구성	모노(Mono) 및 스테레오(Stereo) 지원, 필요시 5.1ch 이상 확장 가능
비트레이트 범위	16kbps ~ (콘텐츠 유형에 따라 조절)
코덱 예시	MPEG-H Audio, xHE-AAC, Opus, EVS 등

방송 및 통신 분야에서 다양한 오디오 코덱이 활용되고 있는데, 최근 많이 활용되고 있는 오디오 코덱으로는 아래와 같은 것들이 있다.

오디오 코덱	설명
xHE-AAC:	저비트레이트에서도 고품질, 스트리밍 최적화
Opus	실시간 통신에 강점, 다양한 비트레이트 지원
MPEG-H 3D Audio	객체 기반 오디오, 공간 음향 지원
EVS (Enhanced Voice Services)	음성 중심 서비스에 최적화

위에 소개된 각 코덱의 기술적인 특성은 아래와 같다.

오디오 코덱	비트레이트 범위	지연 시간	오류 복원	공간 음향
xHE-AAC	12~300 kbps	낮음	우수	제한적
Opus	6~510 kbps	매우 낮음	우수	제한적
MPEG-H 3D Audio	24~512 kbps	중간	우수	지원
EVS	5.9~128 kbps	낮음	우수	미지원

최근 많이 활용되고 있는 오디오 코덱의 기술적인 특성을 참고하였을 때, xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio가 데이터캐스팅을 활용한 오디오 서비스의 코덱 후보로 고려될 수 있다고 생각되어, 다음의 절에서는 이 두 가지 코덱에 대해서 좀 더 자세하게 분석하여 기술한다.

5.4.2. xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio 비교

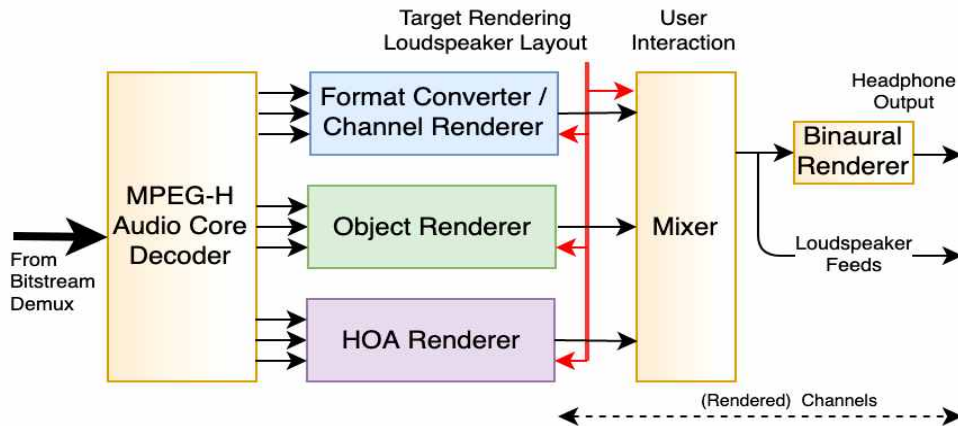
xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio는 이전의 타 기술분석서(디지털 라디오 표준기술 분석서, FBMF-TR-018)에서 각각의 기술에 대하여 간략한 설명을 하였다. 본 절에서는 두 코덱의 구체적인 구조와 특징 측면을 비교하여 설명한다.

xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio는 개발 목적과 용도 측면에서 차이를 가진다. xHE-AAC는 고압축 환경에서도 우수한 음질을 제공하기 위해 개발된 오디오 코덱이다. 특히 낮은 비트레이트에서도 안정적인 음질을 유지할 수 있어 스트리밍 서비스나 모바일 환경, DAB+ 디지털 라디오, OTT 방송 등에서 널리 활용되고 있다. 반면에 MPEG-H 3D Audio는 몰입형 오디오 경험을 제공하기 위해 설계된 차세대 오디오 기술이다. 방향성과 객체 기반 오디오를 활용하여 사용자가 공간 속에서 소리를 느낄 수 있도록 해주어, 차세대 방송 시스템인 ATSC 3.0과 음악 서비스인 360RA(Reality Audio) 등에서 활용되고 있다.

그리고, 두 코덱은 지원하는 오디오의 타입과 특징에서도 차이를 보이고 있는데, 이를 아래의 표에서 간략하게 나타내었다.

항목	xHE-AAC	MPEG-H 3D Audio
오디오 타입	채널 기반 오디오	객체 기반 + 채널 기반 + HOA (Higher Order Ambisonics)
기술 기반	AAC 계열(HE-AAC, HE-AAC v2 포함)	완전히 새로운 몰입형 오디오 프레임워크
비트레이트	12 kbps ~ 300 kbps	일반적으로 고비트레이트 (몰입형 구현에 필요)
특징	낮은 지연, 스케일러블 품질, 음성 최적화 등	청취자 위치 변화, 객체 이동, 사용자 제어 믹스 등 가능

아래의 <그림 5.7>은 MPEG-H 3D Audio 디코더의 기본적인 아키텍처를 나타내는데, 그림에서 나타난 것과 같이 채널, 객체, 장면 기반 오디오를 모두 디코딩하는 구조를 가지며, 이는 채널 오디오만을 지원하는 xHE-AAC와는 구조적으로 차별되는 것을 나타낸다.



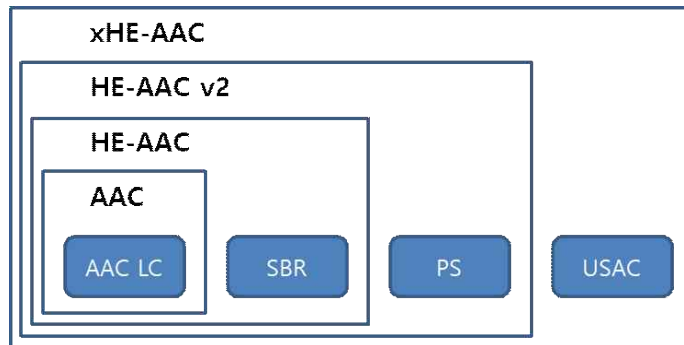
<그림 5.7 MPEG-H 3D audio decoder architecture>

이러한 구조적 특징으로 인해 코덱의 지원 기능 측면에서의 아래와 같은 차이점을 가진다.

항목	xHE-AAC	MPEG-H 3D Audio
오디오 객체 지원	없음	있음 (개별 소리 객체 제어 가능)
몰입형 오디오	불가	가능 (3D 위치, 높이 포함)
사용자 인터랙션	불가	가능 (예: 해설자 볼륨 조절, 언어 선택 등)
호환성	기존 AAC 재생기와 부분 호환	기존 AAC와는 별도의 디코더 필요

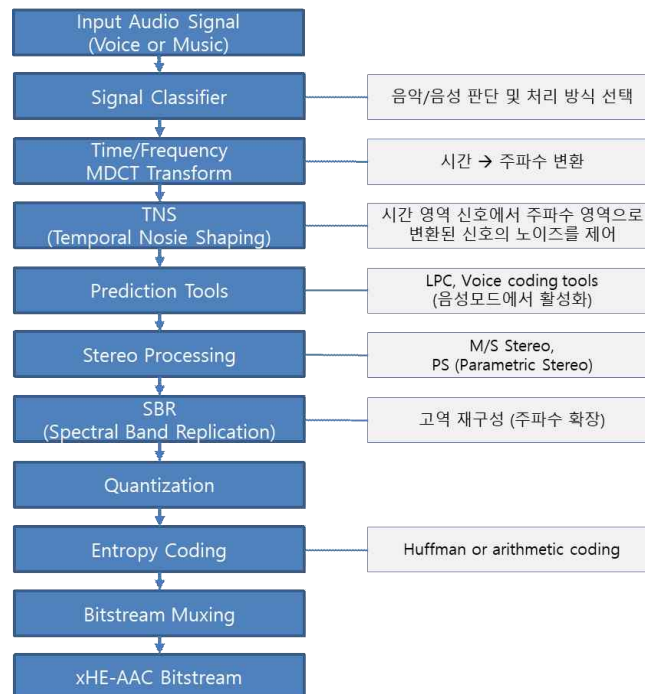
5.4.2.1. xHE-AAC 코덱의 구조

xHE-AAC는AAC 계열의 최신 오디오 코덱으로, 낮은~중간 비트레이트 전송에 최적화되어 있다. 기존 AAC, HE-AAC, HE-AAC v2를 기반으로 하되, 더 넓은 비트레인지 (12~300 kbps)와 향상된 음질을 제공한다. xHE-AAC는 이전AAC 표준들을 포괄하고 확장한 구조인데, 이전 코덱과의 관련성을 나타낸 그림은 아래 <그림 5.8>과 같다.



<그림 5.8 AAC 표준들의 오디오 부호화 툴과의 연관성>

아래의 그림은 xHE-AAC 인코더의 간략한 내부 구조 흐름도를 간략하게 표현한 것이다. TNS(Temporal Noise Shaping), PS(Parametric Stereo), SBR(Spectral Band Relication) 등과 같은 다양한 오디오 부호화 툴들이 포함된 것을 알 수 있다.



<그림 5.9 xHE-AAC 인코더의 간략한 내부 구조 흐름도>

xHE-AAC의 주요 오디오 부호화 툴들에 대한 간략한 설명은 아래와 같다.

- Signal Classifier: 자동으로 음성/음악을 판단하여 최적 알고리즘 선택
- MDCT: AAC의 핵심 주파수 변환 기술(1024/128 window)
- TNS: 고주파 잡음 제어(특히 음성에서 중요)
- Prediction Tools: 음성 부호화를 위한LPC 기반 예측 포함
- Stereo Tools: M/S 스테레오, Parametric Stereo(PS) 적용 가능
- SBR: 고역대 재구성(HE-AAC, xHE-AAC에서 핵심 기능)
- Entropy Coding: 비트 최적화를 위한 코딩(AAC는 일반적으로 Huffman 기반)
- Bitstream Mux: SBR, PS, 코어AAC 데이터를 하나의 비트스트림으로 정렬

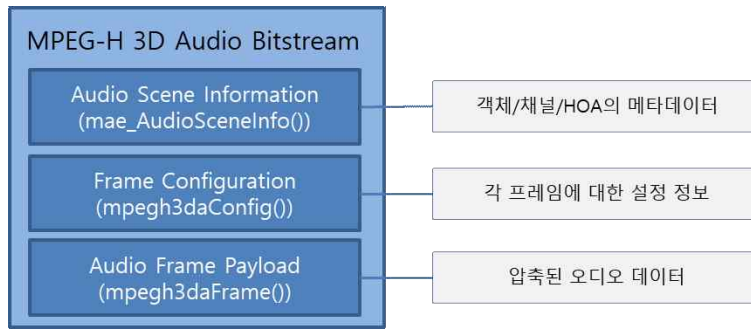
5.4.2.2 MPEG-H 3D Audio Core 코덱의 구조

MPEG-H 3D Audio의 core codec 구조는 매우 유연하고 확장 가능하도록 설계되어 있으며, 다양한 오디오 타입(채널 기반, 객체 기반, HOA)과 몰입형 오디오 재생을 지원한다. 다음은 MPEG-H 3D Audio core codec의 주요 구조와 구성 요소에 대한 설명이다.

MPEG-H 3D Audio는 크게 세 계층(layer)으로 구성된 코덱 구조를 갖는다. 오디오 장면을 구성하는 Scene Configuration Layer와 오디오 압축 및 부호화에 해당하는 Compression Layer 및 렌더링과 재생을 수행하는 Rendering Layer가 세 계층에 해당한다. Scene Configuration Layer는 오디오 요소(Elements)들을 정의하는데, 채널 기반 오디오, 객체 기반 오디오, 장면 기반 오디오(HOA)가 이러한 요소에 해당한다. 각 요소에는 공간 좌표 정보(position metadata), 방향성(Directional) 및 움직임 정보, 우선순위 및 상호작용 정보 등이 포함된다. Compression Layer는 오디오를 압축 부호화하는 계층으로, MDCT 기반 변환 코덱을 주로 사용하는데, 객체, 채널, HOA 등 모든 소스 타입에 대해 하나의 공통 부호화 방식을 사용하므로, 통합성과 유연성이 매우 높다. Compression layer의 구조에 대해서는 아래에서 조금 더 자세하게 기술한다.

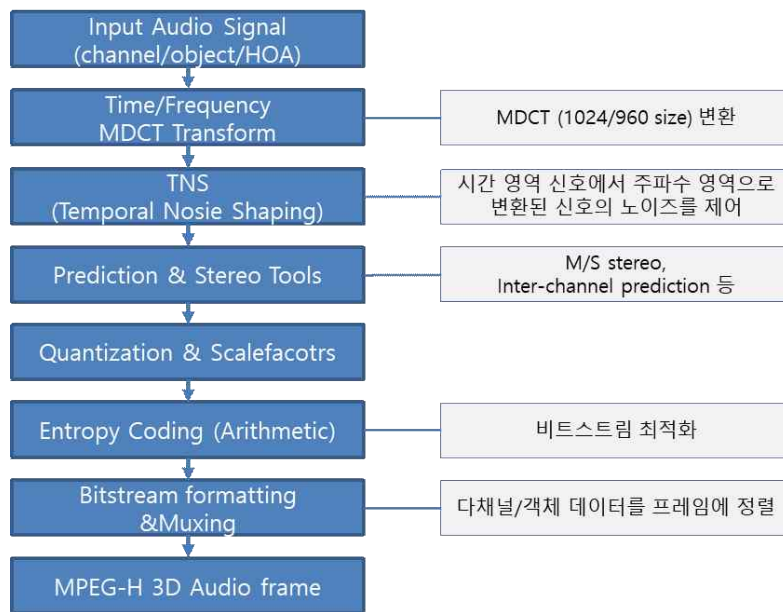
Rendering Layer는 디코딩된 오디오를 사용자의 출력 환경에 맞춰 출력하는 역할을 수행한다. 언어 선택이나, 음량 조절 등과 같은 사용자 인터랙션을 반영하며, 사용자의 오디오 출력 환경에 맞게 렌더링 방식을 동적으로 선택하며, 필요 시 down-mixing이나 up-mixing을 수행한다.

MPEG-H 3D Audio는 비트스트림의 내부 구조도 기존의 채널 기반 오디오 부호화 비트스트림과는 다른 구조를 가지는데, 아래의 <그림 5.10>은 이러한 구조를 간략하게 나타낸 것이다. MPEG-H 3D Audio의 비트스트림은 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 객체 오디오, 채널 오디오, HOA 오디오의 메타 데이터를 저장하는 mae_AudioSceneinfo() 부분과 각 프레임에 대한 설정 정보를 포함하는 mpegh3daConfig() 부분, 그리고, 실제 압축된 오디오 데이터가 포함되는 mpegh3daFrame() 부분이 이에 해당한다.



<그림 5.10 MPEG-H 3D Audio 비트스트림의 구조>

MPEG-H 3D Audio의 Compression Layer는 다음과 같은 주요 단계로 구성되어 있다. 이는 채널 기반, 객체 기반, HOA 오디오를 모두 하나의 공통 구조로 부호화할 수 있도록 설계된 매우 유연하고 통합된 구조이다.



<그림 5.11 MPEG-H 3D Audio compression layer의 간략한 내부 구조 흐름도>

MPEG-H 3D Audio의 주요 부호화 단계에 대한 간략한 설명은 아래와 같다.

구성 요소	설명
MDCT 변환	시간-주파수 도메인 변환, 고효율 압축에 필수
TNS(Temporal Noise Shaping)	고주파대 잡음 성분을 시간적으로 제어하여 음질 개선
Stereo/Prediction Tools	채널 간 중복 정보를 제거, M/S 스테레오 방식 포함

Quantization	주파수 도메인 데이터를 정해진 비트 수로 표현
Entropy Coding	Arithmetic Coding을 통해 비트스트림 최적화
Bitstream Muxing	객체/채널/HOA 오디오를 하나의 통합 비트스트림으로 정렬

이와 같이, MPEG-H 3D Audio compression layer는 모든 입력 유형(Channel, Object, HOA)을 동일한 압축 경로로 처리할 수 있다. 객체 제어와 동적 렌더링을 고려한 구조이며, 다양한 block size(예: 1024, 512, 256, 128) 지원으로 시간 해상도 유연성 제공하며, 낮은 지연(latency)도 옵션으로 지원한다.

MPEG-H 3D Audio는 다양한 응용에 대응하기 위해 몇 가지 프로파일을 정의하고 있으며, 프로파일별에 따라 지원하는 오디오 부호화 툴(audio encoding tools)의 차이가 존재한다. 이는 각 프로파일이 활용 분야(방송/스트리밍/연구)와 디코딩 복잡도 요구사항에 따라 설계되었기 때문이다.

MPEG-H 3D Audio의 주요 프로파일에 대한 간략한 설명은 아래와 같다.

- **main profile:** provides a complete set of features for low bitrate and high quality coding, and rendering for all playback scenarios.
- **high profile:** provides a complete set of features for low bitrate and high quality coding, and rendering for all playback scenarios. The high profile is a superset of the low complexity profile.
- **low complexity profile:** provides features for broadcasting and streaming with reduced decoder complexity.
- **baseline profile:** is a subset of the low-complexity profile which supports channel and object signals.

다음은 MPEG-H 3D Audio에서 사용하는 주요 오디오 부호화 툴의 목록이다:

Tool	기능 요약
MDCT(Modified Discrete Cosine Transform)	시간→주파수 변환, 기본 압축
TNS(Temporal Noise Shaping)	고역 잡음 제어
ICP(Inter-Channel Prediction)	채널 간 중복 제거
GCC(Gain Control Coding)	신호 세기 변화 효율적 표현

MCT(Matrixed Channel Coding)	채널 간 상관관계 활용
SAOC(Spatial Audio Object Coding)	객체 오디오에 공간 정보 부여
HOA(Higher Order Ambisonics)	구면파 기반 몰입형 오디오
Binaural Rendering	헤드폰용 가상 공간화
SBR(Spectral Band Replication)	고주파 영역(high frequency band)을 직접 부호화하지 않고, 저주파 대역의 정보를 기반으로 복원하는 기술
PS(Parametric Stereo)	스테레오 신호를 두 채널로 직접 부호화하지 않고, 모노 신호화 스테레오 공간 정보 형태로 전송하는 방식

MPEG-H 3D audio에서는 프로파일별로 지원되는 오디오 부호화 툴의 차이가 있는데, 이를 간략하게 나타낸 표는 아래와 같다. High profile에서는 대부분의 기능을 지원하고 있으나, Low complexity profile에서는 SBR, PS 등과 같은 일부 기능이 지원되지 않는 것을 볼 수 있다. Baseline profile에서는 HOA, SAOC 등의 기능이 지원되지 않는 등, 복잡도 측면이 많이 고려된 것을 알 수 있다.

<표 5.1 MPEG-H 3D Audio Profile에 따른 오디오 tool의 지원 현황>

Tool/Module		MPEG-H 3D Audio High Profile	MPEG-H 3D Audio Low complexity Profile	MPEG-H 3D Audio Baseline Profile
block switching		X	X	X
window shapes	AAC based	X	X	X
	Additional windows	X	X	X
filter bank	AAC based	X	X	X
	additional USAC	X	X	X
TNS		X	X	X
perceptual noise synthesis	PNS			
	noise filling	X	X	X
MS	basic mid/side coding	X	X	X
	MDCT based complex prediction	X	X	X
quantization	non-uniform	X	X	X
	uniform	X	X	
entropy coding	Huffman			
	context adaptive arithmetic coding	X	X	X
SBR	base	X		
	enhanced	X		
parametric stereo extension	parametric stereo			
	MPEG surround 2-1-2 (incl. residual coding)	X		
	quad channel element	X		
ACELP		X	X	
frequency domain noise	scale factor based	X	X	X

shaping	LPC based	X	X	
intelligent gap filling	IGF for FD	X	X	X
improved LPD coding	IGF for TCX and TBE in ACELP	X	X	
	LPD stereo	X	X	
predictors for FD	frequency- domain prediction and time-domain post-filtering	X	X	X
predictors for TCX	frequency- domain prediction and time-domain post-filtering	X	X	
discrete multi-channel coding	MCT	X	X	X
Format converter	generic downmix	X	X	X
immersive rendering	immersive rendering within format converter	X	X	X
Static metadata	metadata audio elements (MAE) and audio scene information (ASI)	X	X	X
	decoder and renderer			
dynamic object metadata	object audio metadata (OAM)	X	X	X
	decoder and renderer			
MPS	MPEG surround extension	X		
SAOC-3D	decoder and renderer	X		
HOA	decoder and renderer	X	X	
	near field compensation	X	X	
	subband directional prediction	X		
	parametric ambiance replication (PAR)	X		
	phase-based decorrelation	X		
Binaural	FD-binaural, TD-binaural	X	X	X
	HOA2Binaural H2B	X	X	
DRC	DRC-1	X	X	X
	DRC-2 (single band)	X	X	X
	DRC-2 (multi band)			
	DRC-3 (single band)	X	X	X
sample rate converter		X	X	X
peak limiter	unguided clipping prevention	X	X	X
loudness	loudness metadata and handling	X	X	X
	loudness compensation	X	X	X
MHAS	MPEG-H 3D Audio stream	X	X	X
	truncation message and CRC packet type, ASI packet type	X	X	X
file format	carriage of MPEG-H 3D audio in ISO base media file format		f	
interfaces and processing	interfaces and processing for interaction data and local setup info	X	X	X
carriage of generic data	carriage of generic data for the interaction with system engine	X	X	
TCC	tonal component coding	X		
IC	internal channel	X		
HREP	high resolution envelope processing	X		

5.4.2.3 xHE-AAC and MPEG-H 3D Audio core codec의 기술 비교

xHE-AAC는 HE-AAC v2에서 USAC의 기능을 추가한 형태이다. 따라서, MPEG-H 3D Audio core codec의 주요한 오디오 부호화 툴과 USAC에서 사용되는 오디오 부호화 툴을 비교하면, xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio core codec의 비교가 가능할 것이다.

아래의 표는 USAC과 MPEG-H 3D Audio의 profile에 따라 사용되는 오디오 부호화 툴을 비교하여 나타낸 것이다.

아래의 표에서 볼 수 있듯이, USAC에서 사용된 대부분의 오디오 부호화 툴들이 MPEG-H 3D Audio high profile에서 사용된 것을 알 수 있다. 그러나, 많은 응용에서 사용되고 있는 MPEG-H 3D Audio baseline Profile에서는 USAC에서 사용된 일부 오디오 부호화 툴들이 사용되지 않는 것을 알 수 있다. 대표적인 것으로 SBR, PS를 들 수 있다. SBR과 PS의 경우 MPEG-H 3D audio high profile에서는 사용이 되고 있으나, Low Complexity profile과 baseline profile에서는 사용이 되지 않고 있다.

반대로 USAC에서는 포함되지 않았으나, MPEG-H 3D Audio에서 사용되는 툴들도 있다. IGF(Intelligent Gap Filling), improved LPD coding, predictors for FD, predictors for TCX(Transform Coded eXcitation), discrete multi-channel coding, TCC(Tonal Component Coding), IC(Internal channel), HREP(High Resolution Envelope Processing) 등이 USAC에서는 포함되지 않았으나, MPEG-H 3D audio에서는 사용이 되고 있다.

아래는 위에 기술된 xHE-AAC에서는 포함되지 않으나, MPEG-H 3D Audio compression layer에는 포함되는 주요 오디오 부호화 툴에 대한 간단한 설명이다.

- IGF(Intelligent Gap Filling): is a technique used to reconstruct high-frequency content that might be lost during compression, especially at lower bitrates. It works by synthesizing high-frequency content from low-frequency information available after decoding, and using parametric side information to control the synthesis.
- TCC(Tonal Component Coding): is a tool for coding of selected high frequency tonal components using an approach based on sinusoidal modelling. Tonal components are represented as sinusoidal trajectories - data vectors with varying amplitude and frequency values.
- HREP(High Resolution Envelope Processing) tool: provides improved coding performance for signals that contain densely spaced transient events, such as applause signals as they are an important part of live recordings.

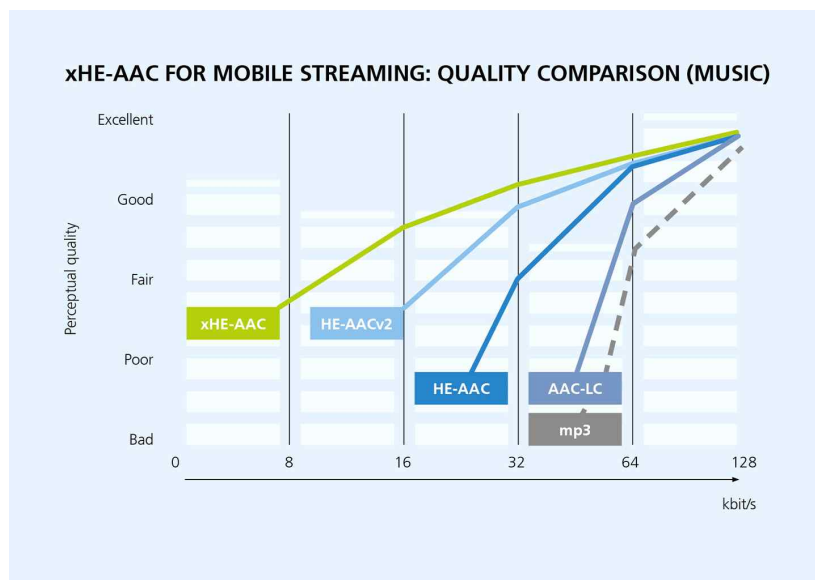
<표 5.2 USAC과 MPEG-H 3D Audio에 사용된 주요 오디오 부호화 틀>

Tool/Module		Defined in ISO/IEC	USAC 23003-3	MPEG-H 3D Audio High Profile	MPEG-H 3D Audio Low complexity Profile	MPEG-H 3D Audio Baseline Profile
window shapes	AAC based	14496-3	X	X	X	X
	Additional windows	23003-3	X	X	X	X
filter bank	AAC based	14496-3	X	X	X	X
	additional USAC	23003-3	X	X	X	X
TNS		14496-3	X	X	X	X
perceptual noise synthesis	PNS	14496-3				
	noise filling	23003-3	X	X	X	X
MS	basic mid/side coding	14496-3	X	X	X	X
	MDCT based complex prediction	23003-3	X	X	X	X
quantization	non-uniform	14496-3	X	X	X	X
	uniform	23003-3	X	X	X	
entropy coding	Huffman	14496-3				
	context adaptive arithmetic coding	23003-3	X	X	X	X
SBR	base	14496-3	X	X		
	enhanced	23003-3	X	X		
parametric stereo extension	parametric stereo	14496-3				
	MPEG surround 2-1-2 (incl. residual coding)	23003-3	X	X		
	quad channel element	23008-3		X		
ACELP		23003-3	X	X	X	
frequency domain noise shaping	scale factor based	14496-3	X	X	X	X
	LPC based	23003-3	X	X	X	
intelligent gap filling	IGF for FD	23008-3		X	X	X
improved LPD coding	IGF for TCX and TBE in ACELP	23008-3		X	X	
	LPD stereo	23008-3		X	X	
predictors for FD	frequency-domain prediction and time-domain post-filtering	23008-3		X	X	X
predictors for TCX	frequency-domain prediction and time-domain post-filtering	23008-3		X	X	
discrete multi-channel coding	MCT	23008-3		X	X	X
DRC	DRC-1	23003-4		X	X	X
	DRC-2 (single band)	23003-4		X	X	X
	DRC-2 (multi band)	23003-4				
	DRC-3 (single band)	23003-4		X	X	X
TCC	tonal component coding	23008-3		X		
IC	internal channel	23008-3		X		
HREP	high resolution envelope processing	23008-3		X		

5.4.2.4 xHE-AAC and MPEG-H 3D Audio core codec의 압축 성능

xHE-AAC는 모노 또는 스테레오 오디오 신호를 대상으로 개발된 오디오 부호화기이며, MPEG-H 3D Audio는 멀티 채널 오디오 신호를 대상으로 개발된 오디오 부호화기기 때문에, 직접적인 압축 성능의 비교에는 어려움이 있다. 따라서, 본 문서에서는 각각의 압축 성능을 소개한다.

xHE-AAC는 HE-AAC보다 넓은 비트레이트 범위와 향상된 압축 성능을 보이며, 더 적은 데이터로 더 높은 음질을 제공한다. 아래의 <그림 5.12>은 xHE-AAC의 음질 성능을 기존의 코덱과 비교하여 나타낸 것이다.



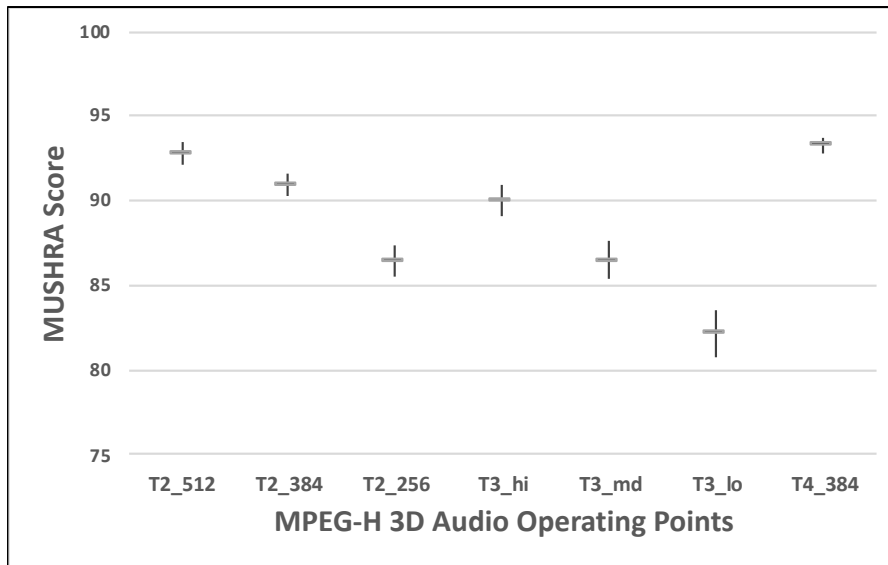
<그림 5.12 xHE-AAC 의 음질 성능>

MPEG-H 3D Audio는 다양한 사용 사례를 고려하여 압축 성능을 검증하였다. MPEG-H 3D Audio의 Low Complexity Profile을 활용하여 평가를 수행하였는데, 4가지 주관적 청취 테스트로 구성되며, 각각은 별도의 사용 사례를 나타내는 작동 지점에서 오디오 품질과 압축 성능을 평가하였다.

네 가지 청취 테스트 중 처음 세 가지 테스트는 멀티채널 오디오 재현 환경에서 이루어졌으며, 마지막 네 번째 테스트는 모바일 환경을 고려한 헤드폰 청취 환경에서의 테스트이다. 테스트 1은 몰입형 22.2채널 및 11.1채널(7.1+4H) 오디오 포맷이 혼합된 방송을 가정한 것으로 오디오 코딩 비트율은 768kb/s로 설정되었다. 테스트 2는 11.1채널(7.1+4H) 또는 7.1채널(5.1+2H) 오디오 방송 프로그램을 가정한 것으로 512kb/s, 384kb/s, 256kb/s의 세 가지 비트 전송률로 부호화되었다. 테스트 3은 테스트 2보다 더 높은 압축률이 필요하다는 것을 가정하였으며, 구체적인 비트 전송률은 오디오 신호의 채널 수에 따라 다르게 설정되었는데, 256kb/s에서 48kb/s까지로 설정되었다. 테스트 4는 모바일 방송을 고려한 것으로, 테스트 2의 코딩된 몰입형 오디오 콘텐츠를 384kb/s

속도로 사용하고, MPEG-H 3D 오디오 바이노럴화 엔진을 사용하여 스테레오 오디오로 재생되도록 렌더링하였다.

테스트 2, 3, 4의 테스트 결과를 아래의 <그림 5.13>에 나타내었는데, 동작 이름의 접두사는 테스트 번호를 나타내며, 접미사는 비트 전송율을 나타낸다. 주관적 결과는 테스트 2, 3, 4의 모든 비트 전송률에 대해 MPEG-H 3D 오디오 저복잡도 프로파일이 MUSHRA 주관적 품질 척도에서 "우수" 품질을 달성했음을 보여준다.



<그림 5.13 MPEG-H 3D 오디오의 테스트 2, 3, 4에 대한 주관적 오디오 품질 그래프>

5.4.3 데이터캐스팅 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱 제안

데이터캐스팅 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱은 다양한 요구 사항과 기술적 특징을 고려하여 선정되어야 할 것으로 생각된다. 주요 요구사항으로는 압축 효율성, 저지연성, 오류 복원력, 적응형 비트레이트, 호환성과 확장성 등이 있을 것이며, 기술적 특징으로는 지원하는 샘플링 레이트와 채널 구성 등이 있을 것이다.

최근 많이 활용되는 오디오 코덱으로는 xHE-AAC, Opus, EVS, MPEG-H 3D Audio 등이 있는데, 앞서 기술한 요구사항 등을 고려하였을 때, xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio가 데이터캐스팅을 위한 오디오 코덱으로 고려될 수 있다.

앞선 절에서 xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio의 특징을 살펴보았는데, 기능적인 측면에서는 채널 오디오와 객체 오디오, 장면 오디오를 포함하며, 이머시브 오디오 서비스를 제공할 수 있는 MPEG-H 3D Audio가 장점을 가지는 반면, 코덱의 효율성, 호환성, 복잡도 및 현시점에서의 활용성 측면에서는 xHE-AAC가 장점을 가지고 있는 것으로 판단된다. 데이터캐스팅 오디오 서비스를 통하여 서비스하고자 하는 콘텐츠의 종류가 오디오 코덱을 선택하는 측면에서 매우 중요할 것이라 생각되는데, 현 시점에서는 xHE-AAC와 MPEG-H 3D Audio 중 하나의 코덱을 선택하는 것이 적절하다고 판단된다.

6. 주요 이슈 및 도전과제

본 장에서는 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 기술을 활용한 오디오 서비스 상용화 과정에서 발생할 수 있는 기술적 제약 요인과 정책·제도적 한계, 그리고 이를 극복하기 위한 국책과제(RFP) 초안 방향을 제시한다. 데이터캐스팅 오디오 서비스는 기존 방송과 통신의 경계를 넘나드는 융합 기술이기 때문에, 단순히 전송 기술만으로는 안정적인 상용화가 어렵다. 이에 따라 기술적 요소뿐 아니라 제도, 표준화, 생태계 구축 측면에서의 다각적 접근이 필요하다.

6.1 기술적 제약 요인

데이터캐스팅 기반 오디오 서비스는 방송망을 이용한 IP 패킷 전송 구조로 구현되며, 물리계층에서 응용계층에 이르기까지 다양한 기술적 도전 과제가 존재한다. 특히 전송 안정성, 수신 성능, 표준 호환성, 보안 운용, 단말 생태계 측면에서의 제약이 상용화를 지연시킬 가능성이 있다.

(1) 전송 및 링크 계층의 한계

ATSC 3.0의 데이터캐스팅 채널은 고정형 수신을 중심으로 설계되어 있어, 이동 수신 환경에서의 전송 안정성 확보가 주요 과제다. 고속 이동 중 수신 시 신호 세기 변동 및 다중경로 간섭으로 인해 BLER(Block Error Rate)가 급격히 증가할 수 있으며, 이는 세그먼트 손실 및 버퍼 언더런으로 이어진다. 현재 ROUTE/ALC 기반 전송 구조는 FEC를 통해 일정 수준의 오류 복원 기능을 제공하지만, 실시간 오디오 스트림에는 여전히 한계가 존재한다. 또한, 오디오와 ESG(서비스 가이드), 보조 데이터가 단일 PLP(Physical Layer Pipe)에 집적될 경우, 변조 및 부호율 설정에서 효율과 커버리지 간의 절충이 불가피하다. 고품질 오디오를 위해 고차 변조를 적용하면 커버리지가 줄고, 반대로 강건한 변조 방식을 적용하면 전체 채널 용량이 감소한다. 따라서 오디오 전용 PLP 구성, 세그먼트 중복 전송률 조정, 동적 PLP 스케줄링 기술이 향후 중요한 개발 과제로 제시된다.

(2) 오디오 처리 및 미디어 계층의 제약

데이터캐스팅 환경에서 사용되는 오디오 코덱(AC-4, MPEG-H 등)은 고효율 압축 성능을 제공하지만, 각 코덱 간의 프로파일·라이선스·메타데이터 체계의 차이로 인해 호환성 확보가 쉽지 않다. 예를 들어 AC-4는 방송 서비스에 최적화되어 있으나, 일부 수신단에서는 디코더 라이선스나 레퍼런스 구현체가 미비하여 상호운용성을 저해할 수 있다. 또한, 데이터캐스팅 오디오의 경우 스트리밍 서비스와 달리 일정한 초기 접속 지연(latency)이 발생한다. 세그먼트 기반 구조에서 수신단이 최소 2~4초 이상의 데이터를 확보해야 안정적인 재생이 가능하기 때문이다. 이는 라이브 스포츠 중계나 긴급재난 안내 등 초저지연 응용 서비스에는 부적합할 수 있다. 따라서 세그먼트 길이 최적화, 예열

(pre-warm) 기법, 버퍼링 알고리즘 개선 등 지연 최소화를 위한 연구가 필요하다.

(3) 시그널링 및 서비스 운영상의 한계

데이터캐스팅 오디오 서비스는 다층적 시그널링 구조(LLS, SLT, SLS, MPD, ESG)에 의존하여 동작한다. 그러나 ESG와 MPD 간의 버전 불일치나 캐시 관리 오류가 발생할 경우, 단말에서는 서비스 식별 실패나 중복 등록 문제가 발생할 수 있다. 특히 다중 서비스 운영 환경에서 ESG의 메타데이터 갱신 주기를 적절히 제어하지 않으면, 사용자 인터페이스의 혼란 및 재생 오류로 이어질 수 있다. 또한, DRM 및 보안 체계의 단방향 운용 문제도 중요한 제약이다. 방송망은 기본적으로 단방향 구조이기 때문에 키 갱신, 인증, 권리 회수 등 양방향 절차를 수행하기 어렵다. 이로 인해 라이선스 기간 제한, 비상 해제 정책, 오프라인 재생 허용 범위 설정 등 세부 운용 정책을 기술적으로 구현하기 어렵다. 향후에는 방송-통신 연동 기반의 보조 채널을 이용한 보안 갱신 프로토콜이 병행될 필요가 있다.

(4) 단말 및 생태계 측면의 한계

현재 데이터캐스팅 오디오 서비스를 수신할 수 있는 상용 단말은 극히 제한적이다. 대부분의 ATSC 3.0 수신칩은 비디오 중심으로 설계되어 있으며, 저전력 오디오 전용 수신기(Portable Receiver)에 최적화된 하드웨어 지원이 부족하다. 또한, 오디오 서비스 구현을 위한 표준화된 API나 오픈 SDK가 부재하여 개발자 생태계 형성이 어렵다.

수신단 검증을 위한 시험 장비나 공인 테스트베드도 부족하다. 예를 들어, 이동 환경에서의 필드 측정이나 세그먼트 수신률 평가를 위한 표준화된 시나리오가 없기 때문에, 서비스 품질을 객관적으로 비교하기 어렵다. 이러한 한계를 해결하기 위해서는 공용 시험 플랫폼 구축과 상호운용성 검증 체계의 정립이 필수적이다.

6.2 제도 및 정책적 한계

데이터캐스팅 오디오 서비스의 도입은 기술적인 문제뿐 아니라, 법·제도·정책적 미비점으로 인해 추진 속도가 지연될 가능성이 높다. 특히 방송법상 데이터 서비스의 정의, 저작권·DRM 처리 절차, 인증 및 표준화 체계 부재가 주요 제약으로 지적된다.

(1) 디지털 라디오 도입 지연

한국은 세계 주요 방송국가들에 비해 디지털 라디오(DAB, DRM 등) 도입이 장기간 지연되고 있는 상황이다. 1990년대 후반부터 유럽과 일본이 지상파 라디오의 디지털 전환을 추진하여 상용 서비스를 정착시킨 반면, 국내에서는 기술적 실증과 시범방송이 여러 차례 이루어졌음에도 불구하고 정책적 우선순위 부여와 산업 생태계 조성 미흡으로 인해 본격적인 도입으로 이어지지 못하였다. 이러한 지연의 주요 원인은 세 가지로 요약된다.

첫째, 지상파 라디오의 주파수 자원 재배치 및 규제 체계 미비이다. 디지털 라디오가 새로운 주파수 대역(예: VHF Band III 또는 L Band)을 필요로 함에도 불구하고, 관련 주파수의 정책적 확보와 서비스 유형 정의가 늦어졌다.

둘째, 사업자 간 이해관계와 투자 불확실성이 병존한다. 아날로그 FM 서비스의 시장 점유율이 여전히 높고, 광고 수익 구조가 유지되고 있어 디지털 라디오 전환에 대한 경제적 동인이 부족하였다.

셋째, 정부의 통합적 미디어 정책 부재로 인해 방송·통신 융합 관점에서의 장기 로드맵이 부재했다는 점이다. 방송의 디지털 전환이 주로 텔레비전 중심으로 진행되면서, 오디오 부문은 정책적 관심 밖에 놓여 있었다.

결과적으로, 한국의 디지털 라디오 전환 지연은 기술 수준의 문제가 아니라 정책적 의지와 제도 설계의 문제로 평가된다. 이는 ATSC 3.0 데이터캐스팅을 활용한 오디오 서비스 도입에서도 동일한 맥락의 제약으로 작용한다. 디지털 라디오의 실패 경험은 데이터캐스팅 오디오 서비스 정책 추진에 있어 “명확한 법적 지위 규정, 산업 생태계 조성, 수요 기반 확보”의 필요성을 시사한다. 따라서 향후 데이터캐스팅 오디오 서비스는 기존의 DAB 또는 DRM 방식 뿐만 아니라 데이터캐스팅을 통한 오디오 서비스도 고려되어야 하며, 단순 기술 도입이 아닌 정책적 일관성과 산업적 실행력을 확보한 중장기 전략 아래에서 추진되어야 한다. 이러한 정책적 재정비 없이는, 한국은 다시 한 번 라디오 매체의 디지털 전환에서 국제 경쟁력을 상실할 위험이 있다.

6.3 국책과제 추진을 위한 RFP (초안)

ATSC 3.0 데이터캐스팅 기반 차세대 오디오 서비스 기술개발

(1) 추진 배경

국내 지상파 방송은 세계 최고 수준의 기술 인프라를 보유하고 있으나, 라디오 매체의 디지털 전환(DAB·DRM 등)은 20여 년 이상 지연되고 있다. 기술 검증과 시범방송이 반복되었지만, 주파수 정책 부재, 경제성 부족, 사업자 간 이해관계, 정책적 우선순위 미비로 인해 상용화에 이르지 못하였다. 그 결과, 한국은 여전히 아날로그 FM 중심의 라디오 체계를 유지하고 있으며, 재난·교통·지역 정보 등 공공형 오디오 서비스의 디지털 혁신이 정체된 상태이다. 이러한 상황에서, ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 기술은 디지털 라디오의 대체·보완 플랫폼으로 주목받고 있다. 데이터캐스팅 기술은 방송망을 활용해 단방향으로 IP 데이터(오디오 세그먼트)를 전송할 수 있어, 기존 방송 인프라를 그대로 활용하면서도 디지털 라디오 수준의 품질과 확장성을 제공할 수 있다. 따라서 본 과제는 지연된 디지털 라디오 전환 문제를 ATSC 3.0 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스로 해결하고, 국가 차원의 오디오 미디어 혁신을 가속화하기 위해 추진된다.

(2) 과제 목표

가. 기술적 목표

- ATSC 3.0 데이터캐스팅 기반 오디오 송수신 기술 개발
- ROUTE/ALC 기반 전송 안정화 및 이동 수신 품질 확보
- MPD/ESG 구조를 활용한 서비스 탐색·관리 체계 구축
- 단방향 DRM(키 롤링·비상 해제 포함) 기술 구현

나. 정책적 목표

- 디지털 라디오 전환 지연 대응을 위한 대체 기술 로드맵 수립
- 국가 프로파일 및 표준 규격 제정, 방송법상 서비스 정의 명확화
- 공공·교육·재난 분야 중심의 오디오 서비스 실증모델 제시

다. 정량 지표

- 가용률 $\geq 97\%$, 초기 접속 ≤ 3.5 초, 평균 지연 ≤ 5 초
- DRM 키 롤링 ≤ 48 시간, 오프라인 재생 ≤ 72 시간
- 실증 서비스 2건 이상, 프로파일 1종, 정책 백서 1종

(3) 주요 개발 내용

- 전송기술 개발: PLP 구성·변조 최적화, ROUTE/ALC 세그먼트 복원, 이동 수신 성

능 개선

- 오디오 처리: MPEG-H 3D Audio 및 AC-4 기반 인코딩, DASH MPD 및 ESG 자동화 도구 개발
- 보안 및 DRM: 단방향 환경용 키 관리 체계, DRM 정책 엔진, 긴급 해제 기능 구현
- 정책·표준화: 데이터캐스팅 오디오 국가 프로파일 제정, 적합성 시험 규격 수립
- 실증 및 확산: 도심·이동·지역 3대 환경 실증, 재난·교육 오디오 채널 시범 서비스

4. 기대 효과

가. 기술적 효과

- 방송망 기반의 안정적 오디오 전송 기술 확보
- 디지털 라디오 수준의 품질·지연 성능 검증
- 표준화·DRM·ESG 기술의 국제 상호운용성 강화

나. 정책적 효과

- 한국의 디지털 라디오 전환 지연 문제에 대한 실질적 해결책 제시
- 방송법상 데이터캐스팅 오디오 서비스의 법적 지위 명확화
- 공공기관·지자체 중심의 오디오 기반 공공서비스 확산

다. 산업적 효과

- 수신칩, 단말, 콘텐츠 산업으로 이어지는 신규 오디오 생태계 창출
- 공공조달형 오디오 서비스 시장 개척 및 지역 일자리 창출
- 해외 ATSC 3.0 시장으로의 기술 수출 가능성 확대

7. 결론 및 향후 연구 과제

7.1 결론

본 기술보고서는 ATSC 3.0 기반 데이터캐스팅 채널을 활용한 오디오 서비스 기술의 구조, 기능, 구현 가능성을 종합적으로 검토하고, 한국 방송환경에서의 적용 가능성과 정책적 필요성을 분석하였다. 데이터캐스팅은 방송망을 IP 기반으로 확장시켜 다양한 비영상형 데이터 서비스를 전송할 수 있는 기술로, 특히 오디오 중심 서비스는 낮은 대역폭, 높은 커버리지, 저전력 수신, 오프라인 재생 가능성 등의 장점을 바탕으로 차세대 방송·통신 융합 서비스의 핵심 분야로 부상하고 있다. 데이터캐스팅 오디오 서비스는 기술적으로 ROUTE/DASH 기반의 세그먼트 전송 구조, AC-4 또는 MPEG-H 기반의 고효율 오디오 인코딩, SLS·ESG를 이용한 서비스 탐색 및 제어, 단방향 DRM 운용 체계 등으로 구성되어 있으며, 기존의 FM·DAB·IP 스트리밍 서비스에 비해 전송 안정성과 확장성 측면에서 뚜렷한 강점을 보였다. 특히, 방송망을 이용한 오디오 데이터 전송은 네트워크 부하를 최소화하면서 전국 단위의 커버리지를 확보할 수 있어, 공공·재난·교육 서비스 등 사회적 가치가 높은 분야에 활용 가능성이 크다. 정책적으로는, 한국이 지난 20여 년간 디지털 라디오(DAB, DRM 등) 도입에 실패하거나 지연된 구조적 한계를 극복하기 위한 대안으로 데이터캐스팅 오디오 서비스가 주목된다. 기존의 라디오 인프라가 아날로그 FM에 의존하고 있는 상황에서, 데이터캐스팅은 별도의 신규 주파수 할당이나 대규모 송신 인프라 투자 없이 기존 UHD 방송망을 그대로 활용할 수 있는 현실적 방안이다. 즉, 본 기술은 “디지털 라디오 전환의 한국형 대체 전략”으로 기능할 수 있다.

따라서 본 보고서의 결론은 다음과 같이 요약된다.

1. 데이터캐스팅 오디오 서비스는 방송망을 활용한 차세대 오디오 미디어 플랫폼으로 기술적 타당성과 상용화 가능성이 충분하다.
2. 표준화·보안·수신 생태계의 미비는 단기적으로 해결해야 할 핵심 과제이며, 특히 단방향 DRM 운용과 ESG 관리 체계의 고도화가 필요하다.
3. 정책적 측면에서는 데이터캐스팅 오디오 서비스의 법적 지위 확립, 국가 프로파일 제정, 공공 서비스 활용방안 마련이 시급하다.
4. 장기적으로는 디지털 라디오 전환 정책의 공백을 보완하는 한국형 방송망 오디오 서비스 모델로 발전시킬 필요가 있다.

요약하자면, 데이터캐스팅 오디오 서비스는 기술적으로 실현 가능하고 정책적으로도 필요성이 높은 “미래형 방송 오디오 생태계”의 출발점이며, 향후 정부 R&D와 민간 산업이 협력하여 국가 차원의 디지털 오디오 인프라 전환 전략으로 발전시켜야 한다.

7.2 향후 연구과제

데이터캐스팅 오디오 서비스의 본격적인 상용화를 위해서는, 기술적·정책적·산업적 측면에서 단계적 연구와 실증이 지속되어야 한다. 향후 추진이 필요한 주요 연구과제는 다음과 같다.

(1) 기술적 연구 과제

1. 고신뢰 오디오 전송 기술 고도화: ROUTE/ALC 기반 세그먼트 전송의 효율성을 높이기 위해, 이동 수신 및 저신호 환경에서의 FEC 복원률 향상 알고리즘, 세그먼트 중복 전송 제어, 버퍼링 최적화 기술이 필요하다. 또한, 고속 이동환경(>80 km/h)에서도 안정적인 재생을 보장하는 PLP 다이버시티 및 적응 변조(Adaptive MCS) 기술 연구가 요구된다.

2. 저지연·고품질 오디오 프로파일 연구: 기존 세그먼트 기반 전송 구조의 한계를 극복하기 위한 초저지연 오디오 패키징 기술 및 AC-4/MPEG-H의 라이트(Light) 프로파일 설계 연구가 필요하다. 방송망에서의 지연을 1-2초 수준으로 단축할 수 있는 새로운 DASH 패턴과 오디오 세그먼트 길이 최적화 방안이 요구된다.

3. 지능형 ESG/서비스 관리 플랫폼 개발: 서비스가 다중 채널로 확장됨에 따라, ESG·MPD·SLS의 버전 관리 및 갱신을 자동화하는 AI 기반 서비스 오케스트레이션 시스템 연구가 필요하다. 이는 향후 다국어·지역 맞춤형 오디오 서비스나 긴급방송 자동 삽입에도 활용될 수 있다.

4. 보안 및 DRM 단방향 운용 연구: 방송망 특성상 상향 채널이 없는 환경에서, 키 교체·라이선스 검증·기간 제한 등 DRM 기능을 유지하기 위한 비대칭 키 갱신 및 블록체인 기반 인증 구조 연구가 요구된다. 또한, 비상상황에서의 DRM 일시 해제 및 긴급정보 삽입 체계에 대한 실증적 검토도 필요하다.

(2) 정책·표준 연구 과제

1. 데이터캐스팅 오디오 서비스의 법제화 및 정의 명확화: 현행 방송법에서 데이터캐스팅 오디오 서비스의 지위를 명확히 규정하고, 편성·광고·공공 서비스 범위에 대한 가이드라인을 수립해야 한다. 특히, 방송 부가서비스로서의 위치를 명확히 하여 공영·민영 방송사 모두가 동일한 법적 근거 하에서 서비스를 제공할 수 있도록 해야 한다.

2. 국가 프로파일 및 적합성 인증 제도 제정: ATSC 3.0 데이터캐스팅 오디오 전용 국가 프로파일을 제정하고, 단말·서비스 간 상호운용성 확보를 위한 적합성 시험 및 인증 체계를 구축해야 한다. 이는 향후 민간 시장 확산과 해외 수출의 기반이 된다.

3. 공공조달·정책 연계 모델 수립: 공공기관·지자체를 중심으로 재난안내, 지역정보, 교육콘텐츠 등 공익형 오디오 서비스의 데이터캐스팅 적용 모델을 마련하고, 이를 공공조달 항목으로 포함시키는 정책적 조치가 필요하다.

4. 디지털 라디오 전환 대응 로드맵 수립: 기존의 DAB·DRM 기반 정책 실패를 교훈 삼아, 데이터캐스팅 오디오 기술을 중심으로 한 한국형 디지털 라디오 전환 전략을 수립해야 한다. 이는 관련 부처가 공동으로 추진할 중장기 계획으로, 기술·법제·산업 인프라를 통합적으로 관리하는 국가 전략이 되어야 한다.

(3) 산업·실증 연구 과제

1. 도심·이동·실내 환경별 실증 확대: 필드 테스트를 통해 수신 품질, 지연, 에러율, 커버리지 등을 정량적으로 측정하고, 다양한 수신환경에서의 서비스 안정성을 검증해야 한다. 차량용 수신 모듈, 스마트 스피커, 모바일 앱 등 다양한 단말 환경에서의 호환성 테스트가 병행되어야 한다.

2. 산업 생태계 구축 및 개발자 플랫폼 활성화: 오픈소스 SDK, API, ESG 관리도구를 제공하는 개발자 포털을 구축하여 민간 스타트업과 콘텐츠 제작사가 자유롭게 오디오 서비스를 구현할 수 있는 환경을 조성해야 한다.

3. 공공·상업 융합 서비스 모델 실증: 공공재난·교통안전·관광안내 등 공익형 서비스와 음악·팟캐스트·뉴스형 상업 서비스가 공존하는 혼합형 비즈니스 모델을 개발하고, 광고·이용통계·DRM 수익모델을 연계하는 실증이 필요하다.

7.3 맺음말

데이터캐스팅 오디오 서비스는 단순한 기술 혁신을 넘어, 한국의 지연된 디지털 라디오 전환을 완성시키는 국가적 전략기술로서의 의미를 갖는다. 본 기술보고서를 통해 제시된 분석과 제언들은 향후 정부 R&D 및 정책 로드맵의 근간이 되어, “방송망을 활용한 오디오 미디어의 재도약”이라는 새로운 산업 패러다임을 실현할 것이다. 궁극적으로 데이터캐스팅 오디오 서비스는 방송의 공공성과 통신의 유연성을 융합하여, 대한민국이 글로벌 차세대 오디오 미디어 표준과 시장을 선도하는 기반을 제공할 것이다.

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 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스]

- [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 디멘드 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.worlddab.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", TTA.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 데이터캐스팅 기반 오디오 서비스를 위한 오디오 코덱]

- [38] Fraunhofer IIS, 'Extended HE-AAC - Bridging the gap between speech and audio coding', Technical Paper, Aug, 2019.
- [39] ISO/IEC 23008-3:2022, Information technology — High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments, Part 3: 3D audio, Aug. 2022.
- [40] ISO/IEC JTC1/SC29/AG3, 'White Paper on MPEG-H 3D Audio', 2022.10.28

※ 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 1-6

(본 부록은 기술보고서를 보충하기 위한 내용으로 기술보고서의 일부는 아님)

기술보고서의 이력

판수	채택일	기술보고서번호	내용	담당 위원회
제1판	2025.11.XX.	제정 FBMF-TR-xxx	데이터캐스팅을 활용한 오디오 서비스 기술분석서 (기술보고서)	모바일방송응용 분과위원회
오류정정				
제2판				