

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제23권 제6호, 2018년 11월 (JBE Vol. 23, No. 6, November 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.6.790>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## ATSC 3.0 기반 UHD 방송 수신기의 구현

김 용 석<sup>a)†</sup>, 서 재 현<sup>b)</sup>, 이 봉 호<sup>b)</sup>, 김 흥 묵<sup>b)</sup>

### Implementation of UHD Broadcasting Receiver Based on ATSC 3.0 Standards

Yong Suk Kim<sup>a)†</sup>, Jae Hyun Seo<sup>b)</sup>, Bong Ho Lee<sup>b)</sup>, and Heung Mook Kim<sup>b)</sup>

#### 요 약

국내에서는 ATSC 3.0 기반의 UHD 방송이 실시되고 있으며 ATSC 3.0 기반의 이동방송에 대해서도 논의가 진행되고 있다. ATSC 3.0 규격은 기존의 전통적인 방식의 방송 서비스뿐만 아니라 통신서비스와 연동된 방송통신융합 서비스의 구현을 용이하기 위해 IP 규격을 대거 도입하였다. 이러한 과정에서 수신기에 대한 다양한 요구사항이 도출되어 있고 수신기 제품을 개발하기 위해 고려해야 할 요소들도 증가하게 되었다. ATSC 3.0 방송은 현재 서비스의 도입 단계이고 본격적인 시장이 형성되는 과정까지 수신기와 관련된 추가적인 기술 개발 및 제품 구현이 진행되어야 하는 상태이다. 이와 관련하여 본 논문에서는 ATSC 3.0 기반의 UHD 수신기를 개발하기 위해 고려해야 할 사항들과 개발된 수신기를 검증하기 위한 시험 과정을 기술한다.

#### Abstract

UHD broadcasting based on ATSC 3.0 is being implemented in Korea, and discussion on mobile broadcasting based on ATSC 3.0 is underway. The ATSC 3.0 standard introduces internet protocol based standards in order to facilitate the implementation of conventional broadcasting services as well as broadcasting and communication convergence services interlocking with communication services. In this process, various requirements for the receiver have been derived, and factors to consider for developing the receiver product have also increased. ATSC 3.0 broadcasting is currently in the introduction stage of the service, and additional technology development and product implementation related to the receiver should proceed until the full-scale market is formed. In this regard, this paper describes the considerations for developing UHD receiver based on ATSC 3.0 and the test procedure for verifying developed receiver.

Keyword : ATSC 3.0, UHD, Mobile Broadcasting

a) 주식회사 로와시스 (LowasIS, Inc.)

b) 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹(Media Transmission Research Group, Electronics and Telecommunications Research Institute)

† Corresponding Author : 김용석(YongSuk Kim)

E-mail: [yskim@lowasis.com](mailto:yskim@lowasis.com)

Tel: +82-70-4896-6227

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9108-5243>

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “한국방송·미디어공학회 2018년 학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received September 7, 2018; Revised October 10, 2018; Accepted October 15, 2018.

## I. 서 론

방송 방식은 통신 규격에 비해 그 변화가 빠르지는 않지만 변화가 있을 때마다 관련 산업이나 시장에 미치는 영향은 매우 크다. 1950년대를 전후로 아날로그 방식의 TV규격이 만들어지고 이에 따라 제작된 텔레비전은 당시 사회에 문화적이나 산업적으로 많은 변화를 가져왔다<sup>[1]</sup>. 이후 국내에서는 해외에 비해 상대적으로 늦은 시기에 컬러텔레비전의 보급 및 방송이 시작되었다. 2000년대를 앞두고 디지털 기술의 발전으로 방송 규격에도 관련 기술들이 도입되면서 새로운 디지털방송 규격에 대한 논의가 이루어졌다. 그에 따른 결과로 아날로그방송을 대신하는 디지털방송이 시작되었으며 전 세계에서 디지털방송으로의 전환이 이루어지고 있다. 디지털방송을 통해 제한된 주파수 자원을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있게 되었으며 아날로그방송에 비해 보다 고품질의 비디오와 오디오를 다양하게 서비스하고 있다.

디지털방송은 이러한 장점들에도 불구하고 산업적인 환경의 변화로 인해 이를 극복하기 위한 기술적인 새로운 기회와 도전을 동시에 마주하고 있다. 통신시장의 확대와 함께 기존에 방송용으로 사용하고 있던 주파수 자원의 일부를 통신용으로 재배치하는 작업이 전 세계적으로 일어나고 있다<sup>[2]</sup>. 이로 인해 줄어든 방송용 주파수 문제를 해결하기 위해서는 새로운 기술과 서비스의 도입이 필수적이 되었다.

국내의 방송 규격은 방송 초기부터 미국 방식을 따르고

있으며 최근에는 국내 기술을 바탕으로 관련 규격을 선도하는 역할까지 수행하고 있다. 국내에서는 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 3.0 기반의 국내 규격<sup>[3]</sup>을 기반으로 기존 ATSC 기반의 HD(High Definition) 방송에 추가하여 2017년부터 ATSC 3.0 기반의 UHD(Ultra High Definition) 방송을 시작하였다. ATSC 3.0은 기존 ATSC에 비해 30% 이상 향상된 전송률 제공이 가능하며, 4K UHD 방송 서비스를 제공한다. 또한 ATSC 3.0은 UHD 방송 서비스 뿐만 아니라 이동방송, 방송통신융합 서비스, 개인맞춤형 서비스, 긴급경보방송 및 실감미디어방송 등 새로운 서비스의 구현이 가능한 표준이다. 표 1은 기존의 ATSC 1.0 규격과 ATSC 3.0 규격의 차이를 보여준다<sup>[4][5]</sup>.

또한 ATSC 3.0 규격은 그림 1과 같이 UHD 방송 채널에 이동방송 서비스가 동시에 가능하다. 이는 기존 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 기반의 이동방송이 추가적인 주파수 자원을 필요로 하는 반면, ATSC 3.0 규격에서는 주파수의 추가 없이 Full HD 이상의 고화질 이동방송 채널의 서비스가 가능하다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 ATSC 3.0에서 제공하는 고정 UHD 방송과 이동방송을 수신할 수 있는 ATSC 3.0 기반 수신기의 구현에 대해 알아보고자 한다. 2장에서는 수신 환경에 따른 ATSC 3.0 수신기의 여러 형태에 대해 설명한다. 3장에서는 ATSC 3.0 수신기를 구현하기 위한 기술적 요소 및 고려사항들을 다룬다. 4장에서는 실제 구현된 내용을 설명하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

표 1. ATSC 표준의 비교  
Table 1. The Comparison of ATSC standards

	ATSC 1.0	ATSC 3.0
Modulation	8-VSB	OFDM
Services	Fixed HD	Fixed UHD/Mobile HD
Video codec	MPEG-2 Video	HEVC, SHVC
Audio codec	AC-3	AC-4, MPEG-H
CH Multiplexing	-	LDM, TDM, FDM
Error correction	TCM + RS	LDPC + BCM
Data bandwidth	19.4 Mbps	26 ~ 59.1 Mbps
Protocol	TS	IP

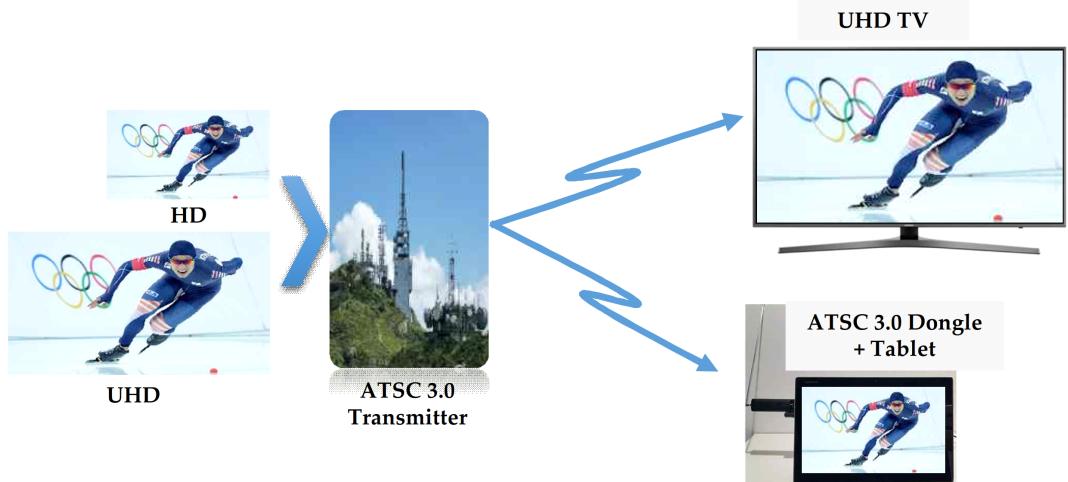


그림 1. ATSC 3.0 고정 UHD 및 이동방송 서비스  
Fig. 1. ATSC 3.0 Based Fixed and Mobile Broadcasting

## II. ATSC 3.0 수신기의 형태

기존의 디지털방송 규격과 달리 ATSC 3.0 규격은 통신 서비스와의 상호 작용 및 연동을 위한 기능을 포함하고 있다. ATSC 3.0 표준은 그림 2 와 같이 다양한 통신 규격들을 채택하여 인터넷 환경에서 동작하고 있는 통신 기반의 서

비스들을 큰 수정 없이 그대로 ATSC 3.0 방송과 함께 사용된다. 이에 따라 ATSC 3.0 수신기는 기존의 비디오와 오디오 중심의 방송 수신 기능뿐만 아니라 다양한 서비스를 지원하기 위한 미디어 플랫폼 기기가 되어야 하고 지원이 가능한 서비스의 종류에 따라 다양한 형태의 수신기가 가능하다. 이러한 수신기들은 모두 ATSC 3.0 규격에 기반하고

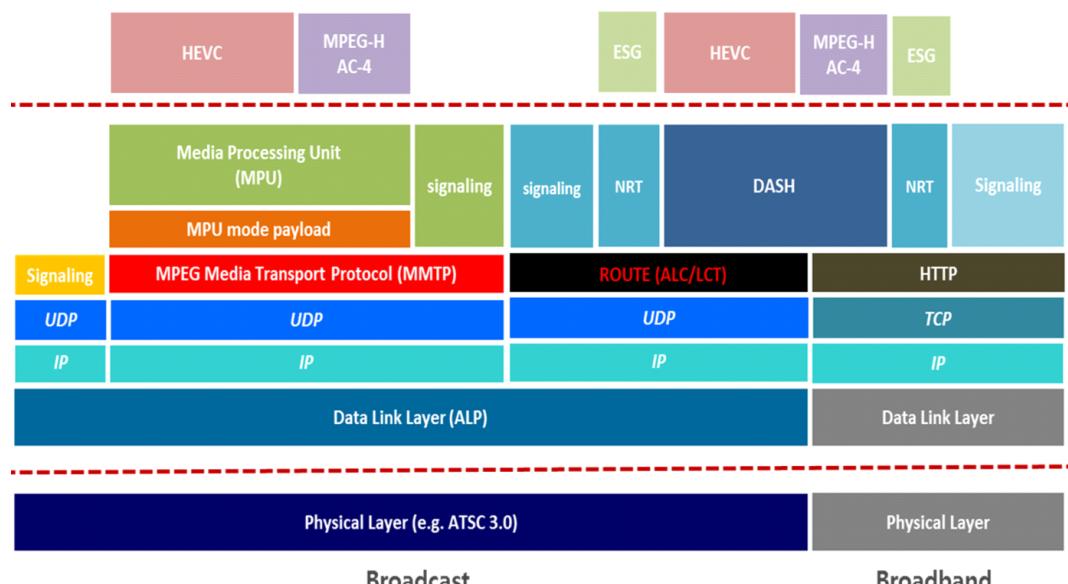


그림 2. ATSC 3.0 규격의 프로토콜 구조  
Fig. 2. Protocols Structure of ATSC 3.0 Standards

있지만 그 용도나 기능적인 요구사항들은 서로 다르게 구성된다.

ATSC 3.0에서 사용되고 있는 IP(Internet Protocol) 기반의 프로토콜은 이미 ATSC-MH(Mobile/Handheld)로 알려진 ATSC 2.0 규격에 포함되어 사용되었지만, ATSC 2.0 규격에서는 기존의 MPEG-TS(Motion Picture Expert Group - Transport Stream) 기반의 방송서비스와 신규의 IP 기반 서비스가 같이 병렬로 존재하고 있었다. 이로 인해 신규 서비스를 기준 방송 서비스와 통합하는 것은 여전히 어려운 문제였다. 반면 ATSC 3.0 규격에서는 IP 기반의 프로토콜이 기존의 MPEG-TS 규격을 대체하고 있으므로 방송과 통신이 융합된 형태의 서비스가 다양하게 구성 가능하다.

기존의 ATSC 규격이 최대 1080i HD급 화질의 비디오를 지원하는 반면, ATSC 3.0 규격은 4K UHD 해상도의 비디오 서비스가 가능하다. 하지만 ATSC 3.0 규격의 방송서비스에서도 4K 해상도의 UHD 비디오를 서비스하는 대신 늘어난 데이터 대역폭을 이용하여 다채널의 HD 서비스를 할 수도 있다. 수신기에서 지원 가능한 비디오 해상도에 따라서 수신기가 구분 가능하다.

ATSC 3.0 수신기는 TV와 같이 고정된 위치에서 고화질의 방송을 수신하는 것이 주요한 목적인 경우도 있지만, 자동차와 같은 고속의 이동 환경에서 이동방송을 수신하는 것이 목적인 경우도 있다. 목적에 따라 ATSC 3.0 수신기는 전통적인 방식의 셋탑박스 및 TV 내부에 설치되는 모듈 형태, PC(Personal Computer)나 스마트기기 등 다른 기기에 연결하여 ATSC 3.0 서비스를 지원하는 동글 형태, 혹은 수신한 ATSC 3.0 방송을 다른 기기에 전달하는 미디어 게이트웨이와 같은 다양한 제품이 가능하다.

단순 수신기능의 ATSC 3.0 수신기의 경우 기존의 일반

적인 디지털방송 수신기와 같이 RTOS(Real Time Operating System)나 리눅스(Linux)와 같은 성능 중심의 OS를 사용하여 구현할 수도 있다. 이 경우 상대적으로 성능이 낮은 하드웨어로도 구현이 가능하므로 수신기 구현을 위한 비용을 줄일 수 있다. 반면 통신서비스와의 연동 및 애플리케이션 기반의 서비스 등을 지원하기 위해서는 보다 다양한 기능을 지원하는 OS가 필요하게 된다. 또한 관련 요구 사항에 따라 필요한 내장 메모리 등 하드웨어 구성이 달라진다.

그 외에도 ATSC 3.0의 데이터 전송 기능을 이용하는 경우, 비디오와 오디오 복호화 기능을 가지고 있지 않은 순수한 통신 기능의 수신기와 같이 기존 방송 수신기와는 전혀 다른 형태의 수신기가 존재할 수 있게 되었다.

### III. ATSC 3.0 수신기의 구현 및 시험

ATSC 3.0 기반의 디지털방송 수신기는 다양한 기능을 수행하지만 하드웨어 구조는 기존의 디지털방송 수신기와 크게 다르지 않다. ATSC 3.0 수신기는 다음과 같은 기능 요소로 구성된다.

- 투너: 원하는 주파수를 선택한다.
- 복조기: ATSC 3.0 규격의 RF 신호를 디지털 데이터로 복원한다.
- 디믹스(DEMUX): 다양한 형태의 디지털 데이터가 섞여 있는 디지털 데이터로부터 필요한 데이터를 추출하고 이를 처리할 수 있는 다른 모듈로 전달한다.
- 복호기: 비디오 및 오디오 등의 압축된 데이터를 원래의 데이터로 복원한다.

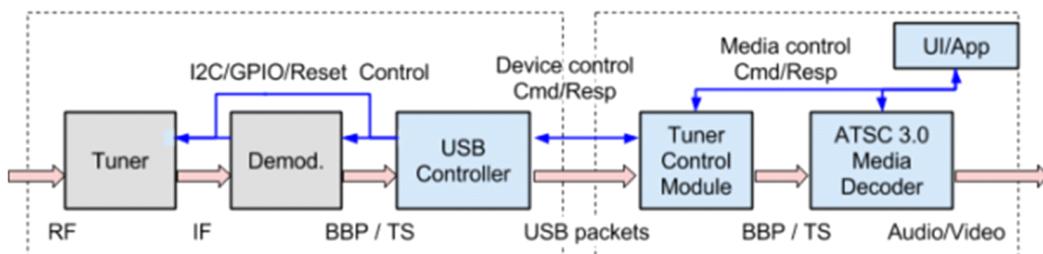


그림 3. ATSC 3.0 수신기의 하드웨어 구조  
Fig. 3. Hardware Structure of ATSC 3.0 Receiver

- 인터페이스 처리부: 입출력의 다양한 인터페이스 신호를 처리하고 이의 기능을 제어한다.
- 프로토콜 처리부: ATSC 3.0 기반의 프로토콜을 처리한다.
- 통신 기능 처리부: 양방향 통신 기능을 수행한다.

각 기능 요소들은 별도의 하드웨어나 전용 칩으로 구현되거나, CPU(Central Processing Unit)에 의해 소프트웨어로 처리된다. 그림 3은 ATSC 3.0 기반의 디지털방송 수신기의 하드웨어 구조 및 데이터 흐름이다. ATSC 3.0 수신기는 튜너와 복조기로 구성되는 부분과 디렉스 및 복호기로 구성되는 부분으로 나누어진다. 두 부분들 사이는 USB(Universal Serial Bus) 인터페이스로 연결된다.

하드웨어를 제어하여 디지털 데이터를 처리하기 위한 소

프트웨어가 필요하고 이러한 소프트웨어는 실시간 처리가 가능해야 한다. 이러한 드라이버 소프트웨어는 하드웨어의 각 구성요소를 제어하고 디지털 데이터를 버퍼에 저장하거나 다른 구성 요소로 전달하는 역할을 한다. 그림 4는 복조기의 출력인 ATSC 3.0 데이터가 복호기에서 처리되기까지의 흐름을 보여준다. 복조기의 출력 형식인 BBP(Baseband Packet)로부터 IP를 추출하고 ROUTE(Real-time Object delivery over Unidirectional Transport) 및 MMT(MPEG Media Transport) 프로토콜을 처리한다. 파서(Parser)를 거친 데이터는 미디어 복호기가 처리할 수 있도록 미디어 처리기(Media Packager)에서 시간 단위에 맞게 분할하여 복호기로 전달된다.

ATSC 3.0 프로토콜을 처리하기 위한 파서 및 데이터 처리부는 전체 기능이 원활하게 동작할 수 있도록 각 기능

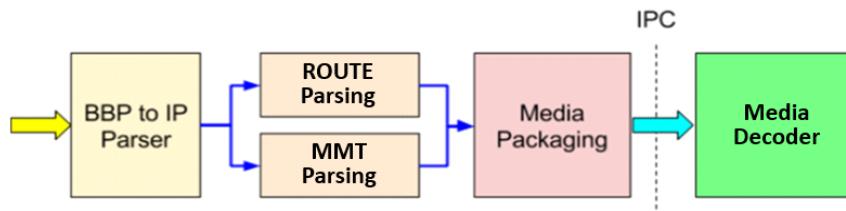


그림 4. ATSC 3.0 데이터의 흐름  
Fig. 4. Data Flow of ATSC 3.0 Data

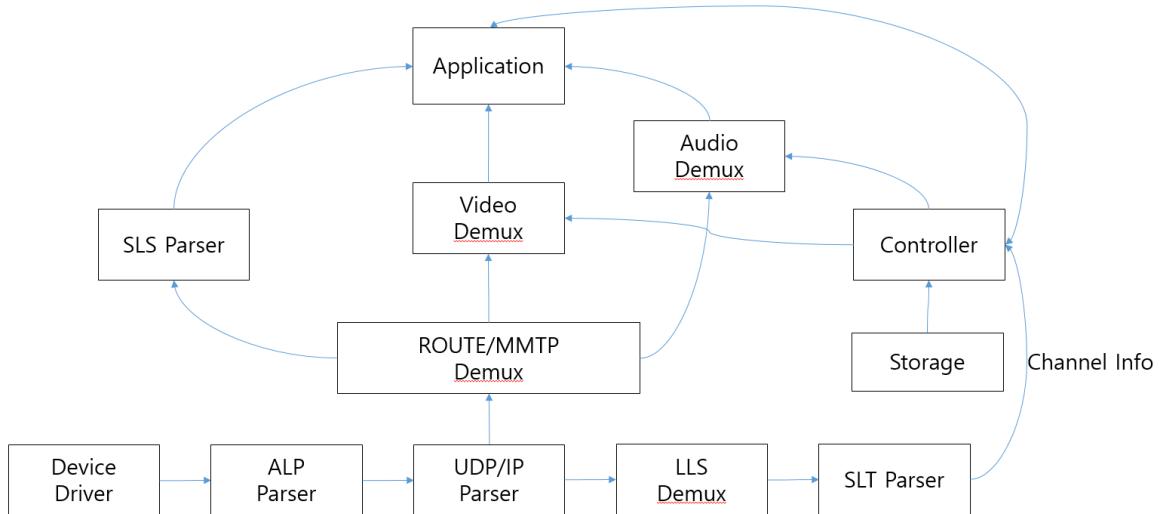


그림 5 ATSC 3.0 데이터 처리부  
Fig. 5. ATSC 3.0 Data Processing

요소들의 처리 시간 및 동작을 고려하여 설계되어야 한다. 특히 방송과 통신 기능이 융합되어 있는 서비스의 경우, 데이터가 전달되는 통로가 다양하고 각 데이터의 전달 지연 시간의 오차가 크므로 복잡한 예외 상황을 고려하여야 한다. 그림 5는 ATSC 3.0 데이터 처리를 위한 기능 요소들 간의 관계를 표시한다. 각 프로토콜을 처리하는 모듈들은 서로 처리 결과를 주고받을 수 있게 설계되어야 하고 이를 전체적으로 제어할 수 있는 제어 모듈을 포함해야 한다.

또한 수신된 데이터로부터 출력까지의 시간을 줄이기 위해 각 모듈은 동시 처리가 가능하도록 적절한 수준으로 모듈화 하여 설계하였다. 현재 구현된 시스템은 RF 신호 입력으로부터 복호기를 거친 출력까지 1.5초 이내에 처리가 가능하고 실제 복호기의 처리 시간을 제외한 프로토콜의 처리 시간은 0.5초 이내이다. 최종 출력 단에서의 AV 싱크 및 지터(jitter) 수준은 사용자가 인식이 불가능한 수준인 내부 기준을 만족하도록 구현되었다.

구현된 수신기는 성능이 검증된 환경에서 시험을 거쳐야 한다. ATSC 3.0 규격은 아직 송수신기 간에 정합 시험 등이 충분히 이루어지지 않은 상태이므로 각 기기 간 다양한



그림 6. 개발된 ATSC 3.0 수신기 제품  
 Fig. 6. Developed ATSC 3.0 Receiver Product

시험 및 정합을 통해 상호 호환성을 개선하는 것이 필수적이다. ATSC 3.0의 규격을 기반으로 하는 다양한 전송 방법 및 서비스에 대해 수신 기능을 확인하는 것은 많은 경험과 시간을 필요로 하는 과정이다. 그림 6은 최종적으로 구현된 ATSC 3.0 수신기이다. 구현된 수신기는 MCX(Micro Coaxial Connector) 형태의 RF 입력 단자로 부터 신호를 수신하고 USB를 통해 처리된 데이터를 출력한다. 그리고 그림 7은 수신기를 시험하기 위한 검증된 송신 환경의 구성

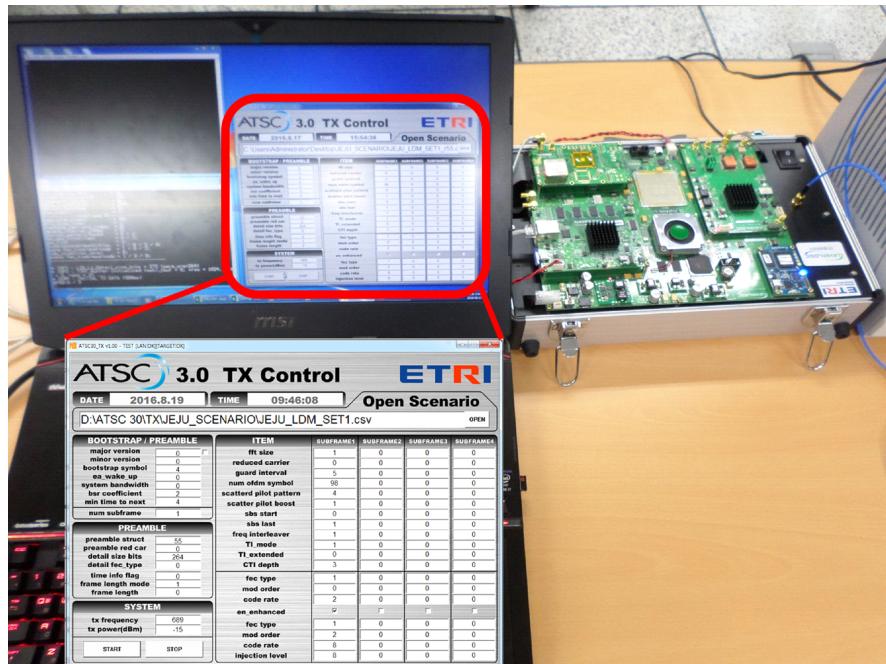


그림 7. ATSC 3.0 시험 환경  
 Fig. 7. Test Environment of ATSC 3.0

을 보여준다. 수신기 시험 환경은 송신 신호의 프로토콜을 분석할 수 있는 프로그램과 ATSC 3.0 RF 신호를 수신하고 이를 처리할 수 있는 FPGA 기반의 처리 모듈로 구성된다. 프로토콜 정합성 및 기능 시험을 마친 수신기는 실제 환경에서의 필드테스트가 필요하다. 실제 방송 환경에서는

주변 환경에 따라 수신 성능이 실험실과는 차이가 많은 경우가 발생한다. 개발된 수신기는 UHD 방송이 실시되고 있는 수도권 환경에서 실제 방송 수신 시험을 마쳤고, 2018년 평창동계올림픽 기간 중 실시된 ATSC 3.0 기반의 이동방송 환경에서도 시험을 진행했다<sup>[7]</sup>. 평창동계올림픽 기간 중



그림 8. ATSC 3.0 이동방송 체험 버스  
Fig. 8. Bus Systems to test ATSC 3.0 Mobile Broadcasting

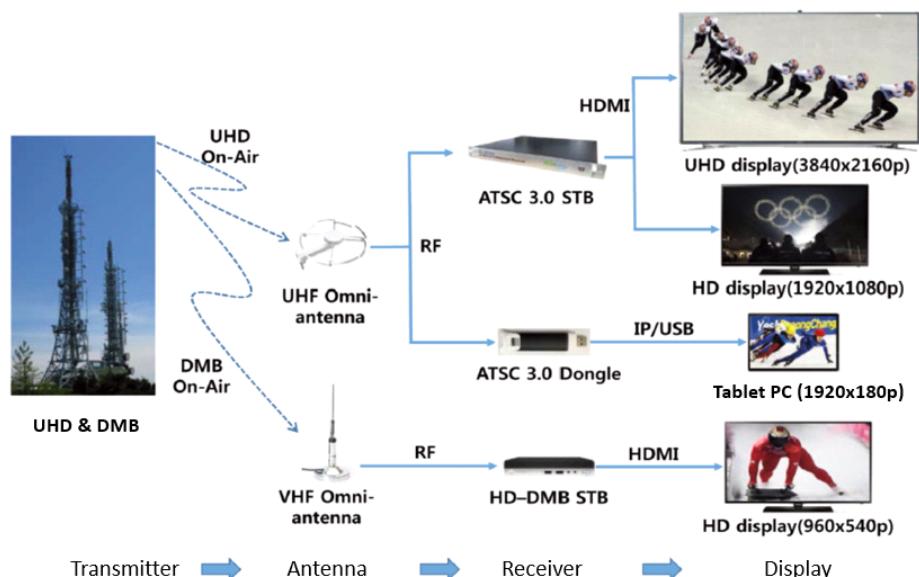


그림 9. ATSC 3.0 이동방송 시험차량의 구성  
Fig. 9. The Architecture of the Test Vehicle for ATSC 3.0 Mobile Broadcasting

강릉 지역의 폐방산 송신소에서 UHD 방송 및 이동방송 시범서비스를 실시하였고, 올림픽에 참가하는 국내외의 미디어 관계자들을 대상으로 하는 그림 8과 같은 체험 버스를 운행했다. 체험 버스에 개발된 ATSC 3.0 수신기를 설치하여, 실제 속도로 운행 중인 차량 내에서의 수신 시험을 진행

했다. 그림 9는 ATSC 3.0 이동방송 시험차량에 설치된 수신기 장비들의 구성이며 그림 10은 실제 설치된 차량 내의 환경을 보여준다.

평창올림픽 기간 중 다양한 기후 환경에서의 장기간의 시험을 통해 개발된 제품의 신뢰성 및 수신 성능을 검증하



그림 10. 시험차량 내 수신기 설치 환경

Fig. 10. The Devices and Environments of the Test Vehicle

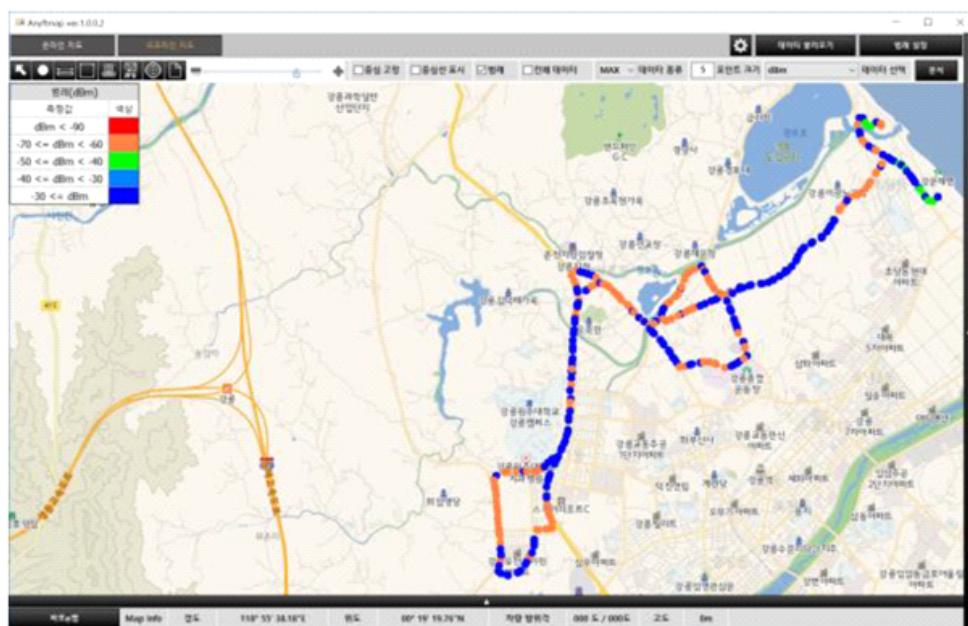


그림 11. 시험차량의 운행 경로 및 결과

Fig. 11. The Route to Test Reception Performance and The Result

였다. 그림 11은 강릉에서의 시험 차량의 운행 경로 및 시험 결과를 보여주고 있다. 시험 차량의 이동 경로에서 측정된 신호의 세기를 색깔로 표시하고 있으며 경로 상에서 수신 문제가 발생하지는 않았다. 해당 지역은 고층의 아파트 지역과 호수 주변의 평활지가 연속적으로 구성되어 있는 구간으로 신호 세기의 변화가 심한 환경이다. 시험 차량의 이동 경로에서 -70dBm 수준의 미약한 신호에서 수신 시험 차량이 100km 이상의 속도로 주행하는 경우에도 정상적으로 방송 수신이 가능했다. 결과적으로 실제 차량의 운행 환경에서 고화질의 ATSC 3.0 방송 서비스를 안정적으로 수신하는 것이 가능하고, 향후 추가적인 양방향 통신 환경의 구축을 통해 보다 다양한 서비스의 구현이 가능함을 검증하였다. 추가적으로 UHD 방송이 실시 중인 수도권 환경에서도 UHD 방송 및 이동방송 서비스가 동시에 안정적으로 가능함을 실제로 확인할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 ATSC 3.0 규격을 기반으로 하는 UHD 수신기를 개발하기 위한 고려해야 할 내용들에 대해 살펴보고 실제 구현 과정과 개발된 수신기를 시험 및 평가하는 과정에 대해 설명하였다.

현재 HD 해상도의 디지털방송과 함께 UHD 방송을 동시에 실시하고 있으나 주파수의 효율적인 사용을 위해서 장기적으로는 HD 방송을 UHD 방송으로 전환하기 위한 과정

이 계획되어 있다. 이를 위해서는 여러 가지 기술적인 고려와 추가적인 개발이 필요한 상황이다. 그 중에서도 수신기 부분은 소비자와 직접적으로 영향이 있고 안정적인 서비스를 위해서는 필수적인 부분이다. 그러므로 다양한 서비스와 수신 환경에 대해 수신기의 성능 및 안정성을 시험하는 것은 무엇보다 중요하다. 본 고에서는 ATSC 3.0 규격을 기반으로 하는 UHD 수신기를 구현하고 결과물에 대해 시험을 진행한 결과 성능 및 안정성에서 만족할 만한 결과를 얻었다.

#### 참 고 문 헌 (References)

- [1] Bernard Grob, *Basic Television And Video Systems*, McGRAW-HILL, pp.2-20, 1999.
- [2] Nick Higham, *TV broadcasters fear digital frequency spectrum battle*, BBC News, <https://www.bbc.com/news/business-25799928>, Jan. 20, 2014.
- [3] TTA Standard, *Transmission and Reception for Terrestrial UHDTV Broadcasting Service*, TTAK.KO-07.0127/R1, 2016.
- [4] ATSC Standard, *Physical Layer Protocol, ATSC (Advanced Television Systems Committee) Std.*, A/322, Feb. 2017
- [5] ATSC Standard, *ATSC(Advanced Television Systems Committee) Digital Television Standard*, Doc. A/53, Parts 1-6, Jan. 2007.
- [6] Seo Jae Hyun, Kwon Sunhyoung, Kim Heung Mook, Kim Yongsuk, "Simultaneous UHD and HD Services Using Scalable Video Coding Scheme," *2018 Winter Proceedings of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp.1416-1417, 2017.
- [7] Jae Hyun Seo, Bong Ho Lee, Heung Mook Kim, Yongsuk Kim "Mobile HD Broadcasting Field Test for ATSC 3.0 Transmitting/Receiving Systems," *Broadcasting and Media Magazine*, Vol.232, No.2, pp.37- 51, 2018.

---

#### 저 자 소 개

##### 김 용 석



- 1991년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1994년 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 1997년 : 경북대학교 전자공학과 박사
- 1997년 ~ 2000년 : 한국전자통신연구원 방송미디어연구부 선임연구원
- 2001년 ~ 2017년 : (주)디지털스트림테크놀로지 연구소장
- 2017년 ~ 현재 : 주식회사 로와시스 연구소장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9108-5243>
- 주관분야 : 디지털방송 시스템, 디지털신호처리, 컴퓨터비전

---

## 저자 소개

---

### 서재현



- 1999년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 2001년 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2016년 : 경북대학교 정보통신공학과 박사
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 책임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4727-5581>
- 주관심분야 : 디지털방송 시스템, 디지털통신 신호처리

### 이봉호



- 1997년 : 한국항공대학교 전자공학과 학사
- 1999년 : 한국항공대학교 전자공학과 공학석사
- 1999년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 책임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-4502-1361>
- 주관심분야 : 디지털방송 시스템, 모바일방송

### 김홍목



- 1993년 : 포항공과대학교 전자전기공학과 학사
- 1995년 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
- 2013년 : 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
- 1993년 ~ 2001년 : 포스코 기술연구소 선임연구원
- 2002년 ~ 2003년 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 그룹장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4756-7912>
- 주관심분야 : RF 방송신호처리, 디지털방송/통신 신호처리