

지상파 UHD 방송망 구축 현황 및 확장 기술

글. 이재권 KBS 미디어기술연구소

개요

2017년 5월 31일, 세계 최초로 시작한 지상파 UHD 본방송 서비스는 고품질 4K 비디오/다채널 오디오 서비스뿐만 아니라 재난재해서비스, 양방향 인터랙티브 서비스 등 다양한 고품질 방송 서비스를 제공하여 나가는 방식으로 발전하고 있다. 특히 하나의 RF 채널에서 모바일 HD 콘텐츠와 고정형 UHD 콘텐츠를 서로 다른 전송 모드로 동시에 송신하여, 수신환경이 열악한 환경에서는 모바일 HD 콘텐츠만 수신하고, 수신환경이 우수한 환경에서는 고정형 UHD 콘텐츠를 수신하는 등 유연한 형태의 서비스 제공이 가능하다.

또한, 지상파 UHD 방송망 구축 관점에서 보면, 복수의 UHD 송신기가 모두 동일한 주파수로 방송 정보를 전송하는 SFN 기술을 적용하여, 주파수 사용 효율을 높이고 하나의 RF 채널로 전국 방송 서비스 제공이 가능하다. KBS에서는 이러한 방송 서비스들이 모든 시청자에게 무료 보편적으로 제공될 수 있도록, 수도권을 시작으로 광역시권 및 강원권까지 UHD 송신시설을 구축하였으며, 매년 순차적으로 UHD 송신시설을 추가로 설치하여 UHD 방송 수신 지역을 확장할 계획이다.

본 고에서는 ATSC 3.0 기반 지상파 UHD 방송 표준과 이를 활용한 KBS의 지상파 UHD 방송망 구축 현황에 대해 살펴보고, SFN 기반의 UHD 방송망을 확장하기 위해 어떤 기술들이 필요한지 살펴보려고 한다.



그림 1. 지상파 UHD 본방송 개시

ATSC 3.0 기반 지상파 UHD 방송 표준

지상파 UHD 방송 서비스는 ATSC 3.0 표준 기술을 이용하여 제공한다. ATSC 3.0 표준은 향상된 성능과 유연한 서비스 제공을 위하여 OFDM 파형 생성기술, LDPC 오류정정기술, NUC 변조기술, 다중화 및 인터리빙 기술 등 많은 최신의 전송 요소 기술을 포함하고 있다. 이러한 기술들의 조합을 통해 [그림 2]에 나타난 것처럼 ATSC 3.0 표준은 기존의 ATSC 1.0 표준보다 넓은 송수신 동작영역을 제공할 수 있다. 또한 6MHz 채널 대역폭 기준으로 ATSC 1.0 표준의 경우 19.39Mbps 전송용량을 지원하는 반면, ATSC 3.0 표준의 경우 최소 1Mbps부터 최대 57Mbps까지 전송용량을 지원할 수 있다.

다만, 전송용량과 수신 성능은 서로 반비례 관계이기 때문에, 전송용량이 높은 모드의 경우에는 수신 성능이 낮아지지만 전송용량이 낮은 모드의 경우에는 수신 성능이 향상하게 된다. 따라서 방송사에서는 넓은 동작영역 중 각 방송사의 시설구축 및 제반 환경 그리고 방송 서비스를 하고자 하는 대상을 고려하여, 필요한 수신 성능에서 작동하는 송수신 모드를 적절히 선택하여 사용해야 한다. 현재 지상파 방송사는 17Mbps 전송용량을 지원하면서 약 15.55dB SNR 동작영역에서 작동하는 모드를 이용하여 UHD 방송 서비스를 제공하고 있다.

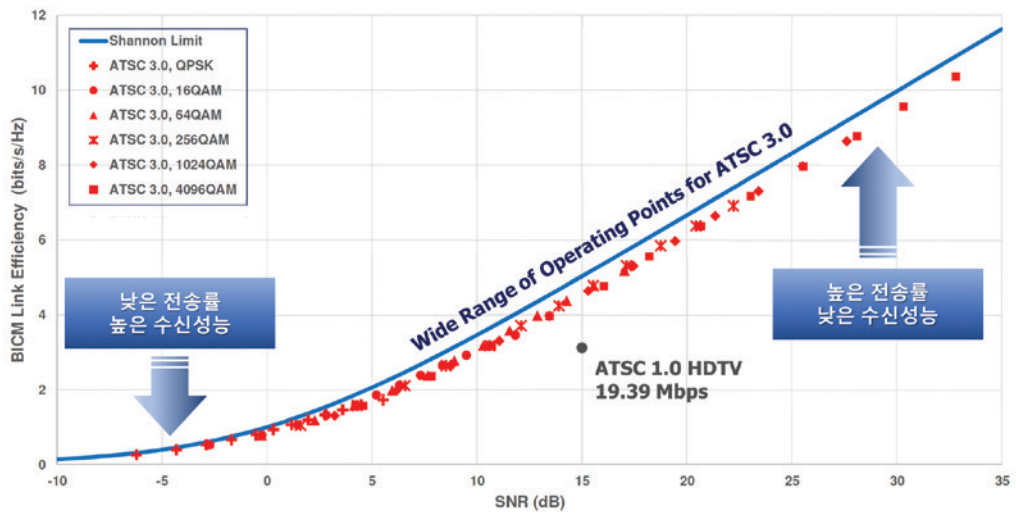


그림 2. ATSC 3.0 표준 전송 성능

지상파 UHD 방송시스템 구성

지상파 UHD 방송시스템은 [그림 3]에 나타난 것처럼 크게 UHD 송출과 송신 파트로 나뉘게 된다. 송출 파트에는 촬영된 방송용 콘텐츠를 UHD 화질에 맞게 인코딩하고 관련된 시그널링 정보를 결합하여 최종적으로 ATSC 3.0 게이트웨이 신호를 생성하는 역할을 한다. 이 모든 과정에서 ATSC 3.0 표준은 이더넷 케이블 기반 IP 프로토콜을 이용하여 데이터를 전달하기 때문에 보다 효율적으로 콘텐츠를 제작, 전달, 아카이빙, 배포 등이 가능하다. 또한 IP 프로토콜을 활용함으로써 전통적인 방송 서비스뿐만 아니라, ESG, HTML5 앱 서비스, 주문형 비디오, 타겟 광고 등 통신망과 하이브리드 방송환경 조성을 통한 다양한 부가서비스를 제공할 수 있다.

이렇게 생성된 ATSC 3.0 게이트웨이 신호는 STL 프로토콜 기반 마이크로웨이브 무선 링크를 통해 각 송신소로 전달되게 된다. 이 경우 모든 송신기에는 동일한 게이트웨이 신호가 전달되게 되며, 송신 파트에서는 입력된 ATSC 3.0 게이트웨이 신호를 동일한 주파수의 RF 신호로 변조한 후, 안테나를 통해 전파를 발사하는 역할을 한다. 이 경우, 송출 장비와 송신 장비를 SFN으로 구성하기 위해서는 모든 장비 간에 시각 동기가 반드시 일치되어야 한다. 다만 송출 장비는 본사 주조정실에 설치되어 있고, 송신 장비는 주요 거점 지역의 송신소에 설치되어 있으므로, 물리적으로 서로 다른 위치에 설치된 장비 간의 시각 동기를 일치하기 위해서는 국제원자시 기반의 시각기준원 장비를 활용해야 한다.

일반적으로 [그림 4]에 나타난 것처럼 송출 장비는 IP 기반의 PTP 방식의 시각기준원 장비를 사용하며, 송신 장비는 RF 기반의 GPS 방식의 시각기준원 장비를 사용하는데, 두 방식 모두 국제원자시를 기준으로 하므로 결과적으로 동일한 시각 동기가 가능하다.

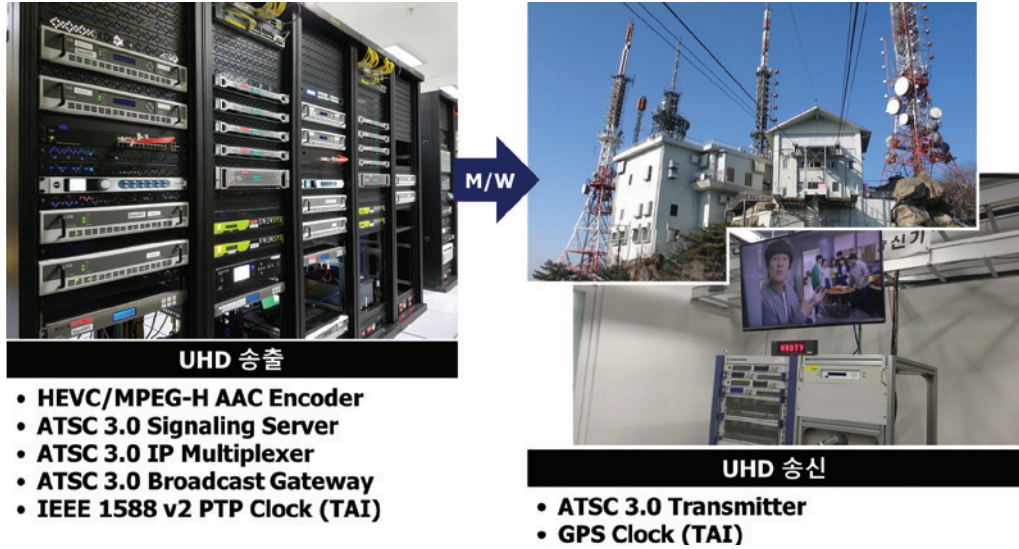


그림 3. 지상파 UHD 방송시스템 구성

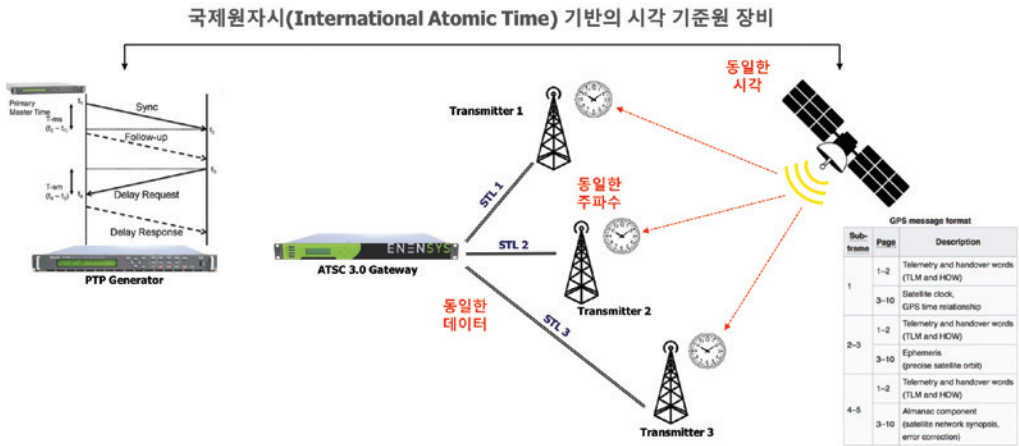


그림 4. 지상파 UHD 방송시스템의 SFN 구성 (동일한 데이터, 동일한 주파수, 동일한 시각)

지상파 UHD 방송망 구축 현황

[표 1]은 지상파 UHD 본방송을 시작한 이래로 KBS에서 지금까지 구축한 UHD 송신시설의 재원 정보를 나타낸다. 2017년에는 남산, 관악산, 광교산 송신소에 UHD 송신시설을 구축하고 세계 최초 UHD 상용서비스를 했고, 2018년에는 평창 동계올림픽 개최에 맞춰 부산·대구·광주·대전·울산 및 평창·강릉 인근 지역에 UHD 송신시설을 구축하면서 UHD 방송망을 전국 단위로 확장하였다. 2019년에는 수도권 UHD 수신환경 강화를 목표로 광명·성남·용문산에 UHD 송신시설을 추가로 구축하여 수도권 UHD 전파 음영지역 해소 및 방송망 확장에 기여하였다.

[그림 5]는 지금까지 구축한 UHD 송신 재원 정보를 바탕으로, 수도권 UHD 방송망을 예측한 결과와 실제 필드테스트를 통해 얻은 실측 결과를 비교하여 나타낸다. 이때 UHD 양시청 판단 기준은 ‘방송구역 전계강도의 기준·작성요령 및 표시 방법’ 고시에 따른 45dBμV/m를 적용하였다. 예측과 실측 결과를 비교 분석한 결과, 수도권 UHD 방송 수

대상시설	출력	채널 및 매체	지역	구축년도
남산	5kW	52(KBS1) 56(KBS2)	수도권	2017
관악산	5kW			
광교산	2kW			
횡령산	5kW		광역시권 & 강원권	2018
무릉산	5kW			
팔공산	5kW			
무등산	5kW			
식장산	5kW			
계룡산	2kW			
괘방산	5kW			
태기산	2kW			
계양산	2kW			
백련 TVR	900W		수도권	2019
불광 TVR	900W			
장위 TVR	900W			
용문산	2kW			
광명 TVR (실험국)	900W			
성남 TVR (실험국)	900W			

표 1. KBS UHD 송신시설 자원정보

신환경은 양호하고 안정적으로 설계되었으며 현재까지 이상 없이 운영되고 있음을 확인하였다.

향후에도 단계적으로 UHD 방송망 커버리지를 확대해나갈 계획이며, UHD 수상기 보급률, 기술 발전 상황 등을 종합적으로 고려하여 2027년에는 HD 방송을 종료할 예정이다. 다만, 최근 급변하는 방송미디어 환경 변화에 따라 방송통신위원회에서는 지상파 UHD 정책에 대한 재검토가 논의 중이며, 2020년 7월까지 새로운 지상파 UHD 방송 정책 방안을 수립하여 발표할 예정이다. 따라서 올해부터는 새로 수립된 정책 방안을 바탕으로 시·군 지역 지상파 UHD 송신시설 구축 및 방송망 확장을 추진할 계획이다.

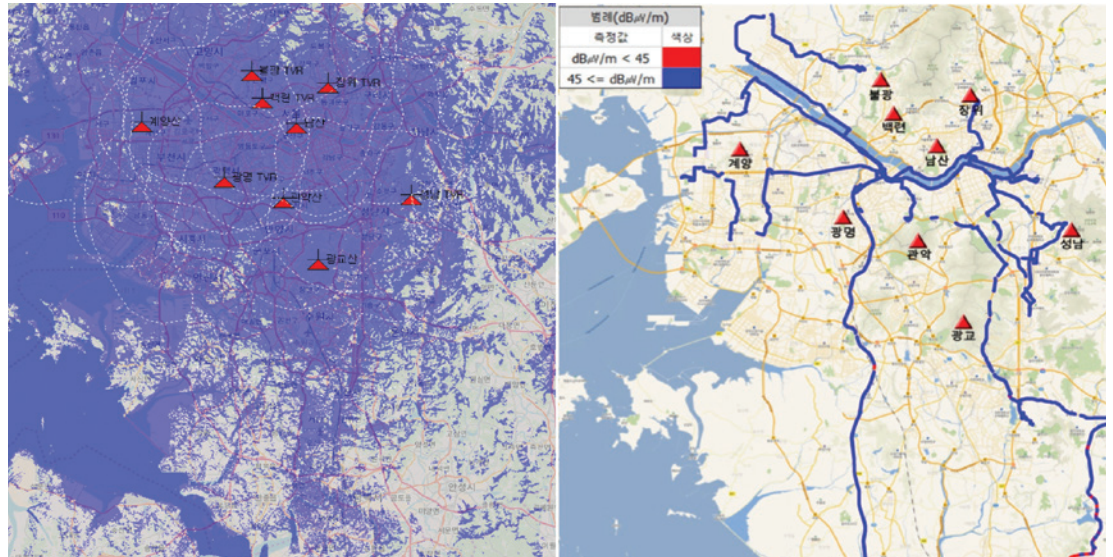


그림 5. 지상파 UHD 방송 커버리지 예측 및 실측 비교

지상파 UHD 방송망 최적화 기술

모든 송신기가 동일한 주파수로 방송 정보를 전송하는 SFN 기술은 RF 신호를 수신하는 입장에서 보면, 채널 검색 과정에서 기존의 HD 방송처럼 동일한 방송 채널이 여러 개 검색되거나 수신 안테나 방향을 송신소 방향으로 잘 조정해야 하는 등 불편한 일이 발생하지 않는다. 하지만 복수의 송신기 신호가 중첩되다 보면 원치 않는 동일채널 간섭이 발생할 수 있으며, 이로 인해 수신 성능이 나빠지는 일이 발생할 수 있다. 따라서 복수 송신기의 출력 레벨 또는 딜레이 오프셋 등을 제어하여 동일채널 간섭이 최소화하는 방향으로 UHD 방송망을 최적화할 필요가 있다. [그림 6]에 나타난 것처럼, 단순히 UHD 송신시설을 설치하고 UHD 방송망을 운영할 경우에는 일부 지역에서 동일채널 간섭으로 인한 SFN 손실이 발생한다. 이 경우 송신기의 출력 레벨 또는 딜레이 오프셋을 제어한다면 동일채널 간섭으로 인한 SFN 손실 영향을 최소화할 수 있으며, 결과적으로 SFN 이득을 얻을 수 있음이 예상된다.

따라서 UHD 송신시설을 구축하고 RF 신호를 발사한 후에는, 필드테스트를 통해 UHD 방송망 최적화 작업을 반복적으로 수행해야 한다. 이를 용이하게 하기 위해, ATSC 3.0 표준에서는 송신기 식별부호라는 기술이 제안되었으며, [그림 7]은 서울 마포구 상암동 하늘공원에서 송신기식별부호를 활용한 지상파 UHD 방송망 성능분석 예시를 나타낸다. [그림 7]에 보는 것처럼, 하늘공원에서는 백련, 남산, 계양, 광명의 UHD 송신 신호가 중첩되어 들어오는 것을 확인할 수 있으며, 각각의 상대 전력과 딜레이 오프셋을 송신기 식별부호 분석을 통해 얻을 수 있다. 이러한 측정 결과를 종합적으로 판단하여 동일채널 간섭이 최소한으로 발생하는 적절한 출력 레벨 또는 딜레이 오프셋을 도출하고 이를 반복적으로 적용하면서 방송망을 최적화할 수 있다.

지상파 UHD 방송망 확장 기술

기존 기간국 송신망 구축 계획에 따라 UHD 시설구축이 완료되면 대부분의 도심지에 거주하고 있는 시청자들은 UHD 방송 서비스를 무료 보편적으로 받을 수 있다. 하지만 [그림 8]에 나타난 것과 같이, 산간벽지 및 도서 지역의 자연적인 난시청과 신규 건축물 등으로 인한 인위적 난시청으로 인해서 UHD 방송망 내에서 음영 지역이 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 이를 해소하고 송신 커버리지를 확장하기 위해서는 UHD 중계기 적용이 필요하다.

UHD 중계기는 1) 전용 회선을 이용하는 IP 타입 중계기와 2) RF 신호를 직접 받는 동일채널 중계기로 구분된다. IP 타입 중계기의 경우 본사 주조정실에 생성한 ATSC 3.0 게이트웨이 신호를 IP 전용 회선을 통해 중계기까지 전달하는 방식이다. 이 방식은 입력받은 신호의 품질이 우수하여 출력 RF 신호의 품질도 항상 일정하게 고품질을 유지할 수 있으며, SFN 구성도 쉽게 가능하다. 하지만 IP 타입 중계기의 경우 중계소까지 IP 전용회선을 연결해야 하는데, 대부분의 중계소가 고지대 산악 지역에 있어 통신사의 전용회선을 구성하기 매우 어려운 환경이거나 아니면 값비싼 설치비용이 발생하게 된다. 따라서 지상파 UHD 방송망을 확장을 효율적으로 하기 위해서는 새로운 중계망 구성방안에 대한 검토가 필요하며, 최근에는 동일채널 중계기를 이용한 UHD 방송망 확장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

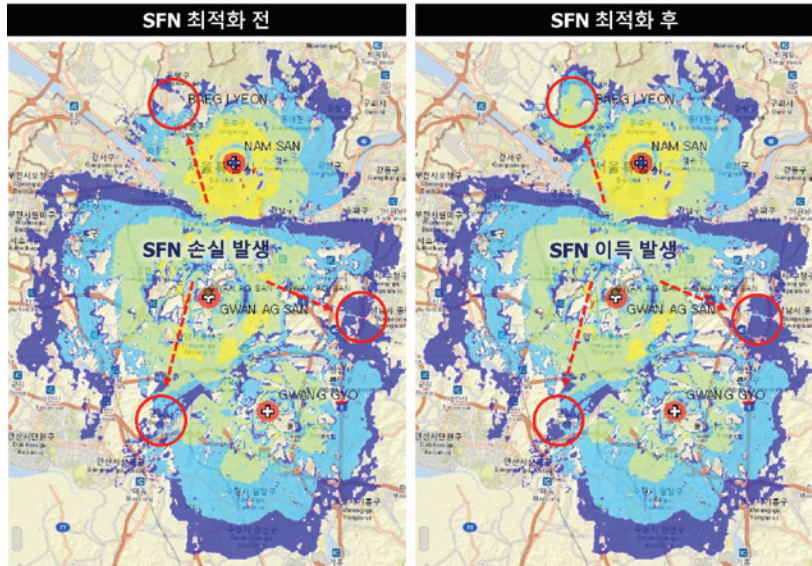


그림 6. 지상파 UHD 방송망 SFN 최적화 예측 결과



그림 7. 송신기 식별부호를 활용한 지상파 UHD 방송망 성능분석 결과

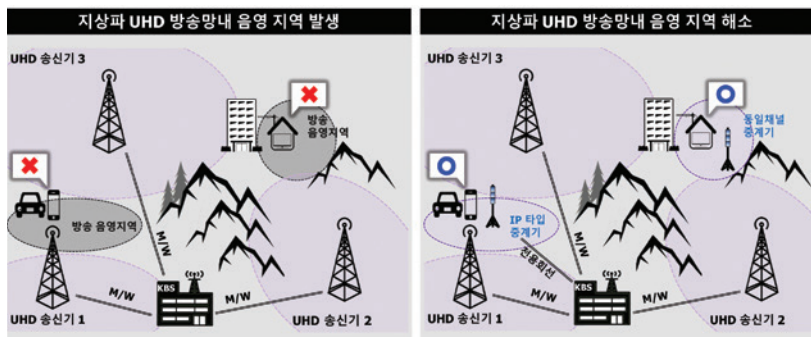


그림 8. 지상파 UHD 방송망 확장 방안



그림 9. UHD 방송망 확장을 위한 중계기

동일채널 중계기는 UHD 송신기 모국 신호를 입력받아서 이를 단순 증폭만 하거나 재변조하여 전송하는 방식을 말한다. 단순 증폭형 동일채널 중계기의 경우 신호처리 시간이 짧은 장점이 있으나, 인접채널 제거 성능 및 송신 출력이 낮은 문제점이 있으며 중계기 출력 신호 품질은 입력 신호 품질보다 향상하기 어려워, 입력 신호 품질이 나쁜 환경에서는 운용하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 최근에는 중계기 입력 신호 품질이 나쁘더라도, 출력 품질을 항상 일정하게 유지할 수 있는 등화 기능을 탑재한 재변조형 동일채널 중계기의 연구가 함께 진행되고 있다. 그러나 재변조형 동일채널 중계기는 추가적인

디지털신호처리 기능 탑재로 인해 신호처리 시간이 길어지는 단점이 존재하며, 따라서 이를 얼마나 짧게 줄이는지가 매우 중요한 이슈라 할 수 있다. 또한 모든 동일채널 중계기는 출력 신호가 입력 신호로 궤환되어 시스템의 안정성을 낮추는 문제점을 발생하는데, 이를 제거하기 위해서는 ICS 기능이 필수적으로 포함되어야 한다.

KBS는 UHD 방송망 확장을 위한 IP 타입 중계기 국산화 개발을 완료하였고, 현재 국산 동일채널 중계기를 개발 중이다. 개발이 완료되면 그 성능을 실험실 테스트 및 필드 테스트를 통해 검증하고, 실 방송환경에서 안정적으로 사용할 수 있도록 지속해서 업데이트를 해나갈 계획이다.

결론

본 고에서는 지상파 UHD 방송 서비스를 위한 방송 시스템 구성 및 방송망 구축 현황을 소개하고, 단일주파수 방송망의 최적화를 하는 기술에 대해서 살펴보았으며, 마지막으로 지상파 수신환경 개선을 위한 최신의 방송망 확장 기술에 대해 간략히 알아보았다. ATSC 3.0 표준기반 UHD 방송은 현존하는 가장 최신의 차세대 방송기술이며, 기존의 ATSC 1.0 표준기반의 HD 방송과는 달리 다채널 방송, 모바일 방송 등 다양한 부가서비스가 가능하다. 이러한 부가서비스가 시청자들에게 잘 전달되기 위해서는 방송망 수신환경을 강화하고 효율화하는 것이 지상파 방송사 입장에서 중요한 과제라고 할 수 있다. 이와 더불어 UHD 정책 방안에 있어서도 규제 완화와 지속할 수 있는 환경 조성이 함께 이루어질 때 무료 보편적 방송플랫폼으로 UHD 활성화를 기대할 수 있으리라 생각한다. 📺

약어정리

ATSC : Advanced Television Systems Committee
ESG : Electronic Service Guide
GPS : Global Positioning System
HD : High Definition
HTML : HyperText Markup Language
IP : Internet Protocol
LDPC : Low-Density Parity Check
NUC : Non-Uniform Constellation

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PTP : Precision Time Protocol
RF : Radio Frequency
SFN : Single Frequency Network
SNR : Signal-to-Noise Ratio
STL : Studio to Transmitter Link Transport
UHD : Ultra High Definition