

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제19권 제6호, 2014년 11월 (JBE Vol. 19, No. 6, November 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.6.767>

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

차세대 지상파 4K UHD & HD 융합방송을 위한 전송 시스템 개발에 관한 연구

오종규^{a)}, 원용주^{a)}, 이진섭^{a)}, 김용환^{b)}, 백종호^{c)}, 김준태^{a)}

A Study of Development of Transmission Systems for Next-generation Terrestrial 4K UHD & HD Convergence Broadcasting

JongGyu Oh^{a)}, YongJu Won^{a)}, JinSub Lee^{a)}, YongHwan Kim^{b)}, JongHo Paik^{c)}, JoonTae Kim^{a)}†

요 약

세계적으로 아날로그 방송에서 디지털 방송으로의 전환이 마무리되고 있는 가운데, 앞으로 다가올 UHDTV 등 실감의 대용량 방송 및 방송-통신 융합 환경에 대비하기 위한 새로운 차기 방송 표준에 관한 연구의 필요성이 날로 높아져 가고 있다. 특히, 저해상도 서비스에 머물러 있던 모바일 방송에서는 기존 HD급의 서비스 제공이 가능한 모바일 실감방송으로 진화하기 때문에 고정/이동 방송 서비스가 동시에 가능한 고효율 전송 원천 기술 개발이 이루어질 필요가 있다. 이에 최근 지상파 단일 채널을 통해 4K UHD (거치형) & HD (모바일) 방송 서비스를 동시에 제공하는 융합방송 시스템 개발에 대해서 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 최신의 디지털 방송 전송 기법 및 영상 압축 기술에 대해서 소개하고, 지상파 단일 채널을 통해 4K & HD 융합방송 서비스를 제공하기 위한 서비스 모델 및 전송 요구 사항들에 대해서 분석한다. 이후 최신의 방송 전송 기법 및 영상 압축 기술을 적용하였을 때, 6MHz & 8MHz 대역폭에서 지상파 4K UHD & HD 융합방송을 전송하기 위해 필요한 최적의 전송 파라미터를 도출하고 이를 이용해 AWGN 및 TU-6 채널에서의 융합방송 수신 성능을 검증하였다. 이를 통해 6MHz 대역폭에서의 원활한 HD 모바일 데이터의 수신이 140 Km/h 수신기 속도까지는 가능하나, 그 이상에서는 대역폭의 한계로 인해 원활한 수신이 이루어지지 않음을 확인하였다. 그리고 대역폭을 8 MHz로 확장할 경우, 매우 빠른 다중경로 페이딩 채널에서도 4K UHD 및 HD 계층 데이터의 수신이 원활히 이루어지는 것을 보였다.

Abstract

The worldwide transition from analog to digital broadcasting has now been completed and the need to study next generation standards for Ultra High Definition TV (UHDTV) broadcasting, and broadcasting & communication convergence systems is rapidly growing. In particular, high resolution mobile broadcasting services are needed to satisfy recent consumers. Therefore, the development of highly efficient convergence broadcasting systems that provide fixed/mobile broadcasting through a single channel is needed. In this paper, a service scenario and requirements for providing 4K UHD & HD convergence broadcasting services through a terrestrial single channel are analyzed by employing the latest transmission and A/V codec technologies. Optimized transmission parameters for 6 MHz & 8 MHz terrestrial bandwidths are drawn, and receiving performances are measured under Additive White Gaussian Noise (AWGN) and time-varying multipath channels. From the results, in a 6 MHz bandwidth, the reliable receiving of HD layer data can be achieved when the receiver velocity is maximum 140 Km/h and is not achieved when the velocity is over 140 Km/h due to the limit of bandwidth. When the bandwidth is extended to 8 MHz, the reliable receiving of both 4K UHD and HD layer data is achieved under a very fast fading multipath channel.

Keyword : Digital convergence broadcasting, 4K UHD broadcasting, Mobile HD broadcasting, Digital broadcasting transmission systems

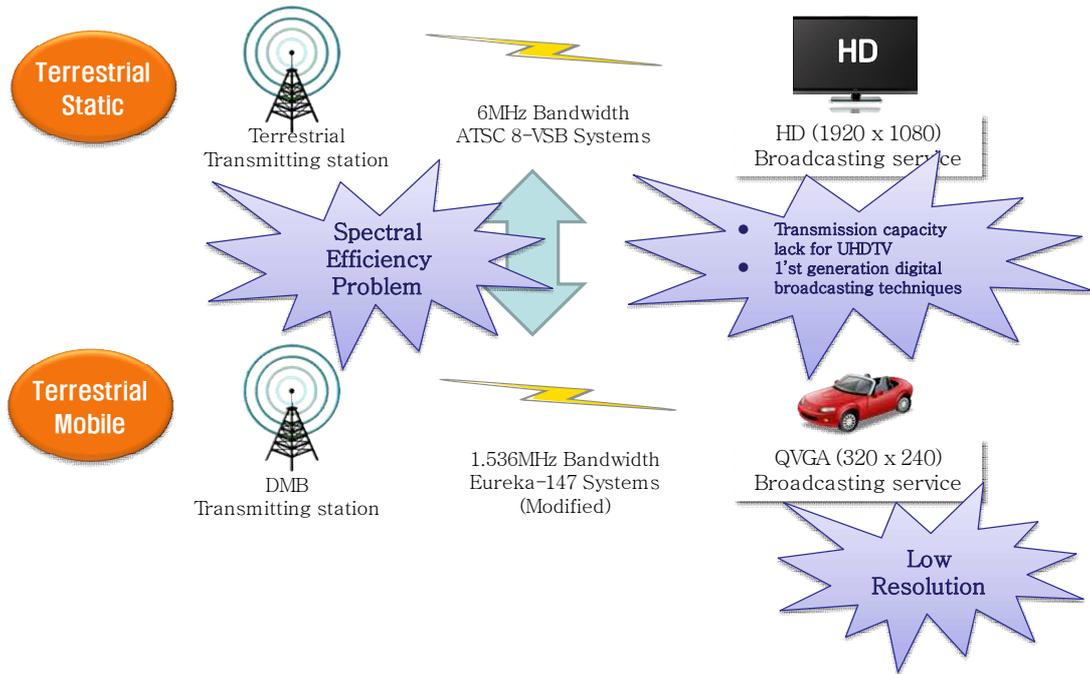


그림 1. 국내 지상파 거처형 & 모바일 디지털 방송 서비스 현황 및 문제점
 Fig. 1. Domestic terrestrial static & mobile digital broadcasting services, systems, and problems

1. 서론

세계적으로 아날로그 방송에서 디지털 방송으로의 전환이 거의 마무리되어감에 따라, Post-HD 시대에 UHD TV (Ultra High Definition TV) 등 실감의 대용량 방송 및 방송-

- a) 건국대학교 전자공학과 차세대방송통신연구실 (Department of Electronic Engineering, Konkuk University)
- b) 전자부품연구원 멀티미디어IP 연구센터 (Multimedia IP Research Center, Korea Electronics Technology Institute)
- c) 서울여자대학교 멀티미디어학과 (Department of Multi Media, Seoul Woman's University)

✉ 교신저자 : 김준태 (Joon-Tae Kim)
 E-mail: jtkim@konkuk.ac.kr
 Tel: +82-2-450-4269 Fax: +82-2-458-9714

※ 본 연구는 미래창조과학부의 “정보통신미디어산업원천기술개발”의 연구결과로 수행되었음 (2013-140-10047135)

This research was supported by the Ministry of Science, ICT and Future Planning, Korea, under the Information Communication and Media Original Technology Development project (2013-140-10047135)

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “한국방송공학회 2014년 하계학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received July 9, 2014 Revised October 21, 2014 Accepted October 21, 2014

통신 융합 환경에 대비한 새로운 차기 방송 표준에 관한 연구의 필요성이 날로 높아져 가고 있다. 이러한 가운데 ATSC (Advanced Television Systems Committee), DVB (Digital Video Broadcasting), EBU (European Broadcasting Union), NHK, ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute) 등 14개 기관이 2011년 11월 FoBTV (Future of Broadcast TV)를 결성하여, 브로드밴드 에코시스템 기반 방송의 역할, 차세대 공중파 방송 시스템의 특성, 스펙트럼 스퀴즈 등 미래 방송 시스템에 대한 논의를 시작한 상태이다. 또한 고도화 추세에 있는 이동통신 기술과 더불어 방송의 디지털 전환이 완료되고 있는 시점에서, 고도화된 차세대 방송 기술에 대한 기술 선점을 위해 유럽에서 DVB 2.0 시스템을, 미국에서는 ATSC 3.0 시스템을, 일본에선 ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) - Tmm (Terrestrial mobile multi-media) 시스템에 관한 기술 개발을 이미 추진하고 있는 실정이며, 이에 국내에서도 관련 미래 방송 기술에 대한 원천 기술 및 신규 서비스

를 위한 장비 개발에 대한 연구개발이 필요한 상황이다^{[1][2]}.

현재 국내에서는 그림 1과 같이 6MHz 대역폭을 통해 ATSC 8-VSB (Vestigial SideBand) 시스템^[3]을 이용하여 거치형 지상파 디지털 HD 방송을 서비스하고 있으며, 모바일 방송을 위해서 별도의 1.536 MHz 대역폭을 통해 유럽의 DAB (Digital Audio Broadcasting) 전송 시스템인 Eureka-147 시스템을 수정한 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 전송 시스템^{[4][5]}을 이용하여 QVGA (320x240 해상도)급의 모바일 방송을 제공하고 있다. 하지만 1세대 미국형 디지털 방송 전송 시스템인 ATSC 8-VSB 시스템은 이미 1990년도에 표준이 완료된 시스템으로, 현재의 ATSC 8-VSB 시스템을 이용하여 지상파 UHDTV 방송 전송을 위해 필요한 전송률을 달성하기는 어려운 측면이 있다^[6]. 또한 지상파 모바일 DMB 시스템의 경우 고속의 채널 환경에서의 원활한 수신 성능 등으로 인해 큰 인기를 얻었으나, LTE와 같은 고속의 이동통신 시스템의 보급이 본격화된 이후로는 QVGA급의 낮은 해상도 문제로 인해 Pooq나 Tving과 같은 이동통신 기반의 고해상도 (1280x720 해상도) 모바일 방송에 판도를 내어준 상황이다. 또한 현재 국내에서 지상파 HD 방송과 모바일 방송을 제공하기 위해서 서로 별도의 대역폭을 통해 서로 다른 시스템을 이용하여 전송하고 있는 실정이며, 앞으로 이동통신사와 방송사간의 주파수 갈등이 심화될 것으로 예상되는 가운데 별도의 대역폭 및 시스템을 이용한 지상파 방송 서비스는 주파수 효율적인 측면에서 떨어지는 단점을 가진다.

이러한 점들을 살펴볼 때, 앞으로 다가올 Post-HD 시대를 대비하여 높은 주파수 효율을 가지는 하나의 방송 전송 시스템을 이용하여 지상파 4K UHD 및 고화질의 모바일 방송을 전송할 수 있는 방법에 대해서 연구가 진행이 되어야 할 필요성이 있다. 이에 최근 서울여자대학교·전자부품연구원·IPTV Korea·건국대학교 등을 중심으로 ‘스마트 환경에서의 네트워크 독립형 융합방송 장비 및 모니터링 시스템 개발’에 관한 연구 개발을 진행 중에 있으며, 방송과 통신 기반의 융합형 방송 서비스를 사용자가 고정 & 이동 환경에서 방송망 및 통신망을 통해 최적화된 고품질의 콘텐츠를 이용할 수 있도록 하는 네트워크 독립형 융합방송 장비 및 모니터링 시스템에 대한 연구개발을 진행하고 있

다. 본 논문에서는 최신의 전송 기법, 채널 부호 기법, 영상 압축 기법 등을 채용하였을 때, 지상파 단일 채널을 통해 4K UHD & HD 융합 방송 서비스를 제공하는 방송 전송 시스템의 전송 성능을 검토해 보고 모의실험을 통해 성능을 검증해 보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 4K UHD & HD 융합 방송 서비스를 제공하기에 적합한 전송 기법을 채용하고 있는 최신의 DVB-T2 (2nd Generation Terrestrial) 방송 전송 시스템^[7]과 현재 표준 개발 중인 HEVC (High Efficiency Video Coding) - SHVC (Scalable HEVC) 영상 압축 기술^{[8][9]}에 대해서 간단하게 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 목표로 하고 있는 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & 모바일 방송 서비스의 개념에 대해서 설명한다. 그리고 SHVC 영상 압축 기술을 채용하였을 때 앞서 설명한 방송 서비스를 위한 데이터 전송률을 분석하고 최신의 전송 기법을 적용한 전송 시스템의 구조에 대해서 살펴본다. 이어서 4장에서는 3장에서 분석된 전송률 및 전송 시스템을 적용하였을 때 6MHz & 8MHz 주파수 대역폭에 적합한 최적의 전송 파라미터를 도출하고, 모의실험을 통한 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 및 TU (Typical Urban) - 6 채널에서의 전송 성능을 검증해 본다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 앞으로 추가 연구되어야 할 부분에 대하여 기술하며 본 논문의 끝을 맺는다.

II. DVB-T2 방송 전송 시스템 및 HEVC-SHVC 영상 압축 기법

1. DVB-T2 지상파 방송 전송 시스템

DVB (Digital Video Broadcasting)- T2 (2nd Generation Terrestrial) 시스템^[7]은 유럽형 2세대 지상파 디지털 방송 전송 시스템으로써, 2009년에 표준이 완료되어 현재 유럽에서 시범 서비스 및 상용화가 한창인 최신의 지상파 디지털 방송 시스템이다. DVB-T2 시스템은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반^[10]의 전송 시스템으로서 <표 1>에 나타난 바와 같이 최신의 채널 부호 기

법인 LDPC (Low Density Parity Check) & BCH 연계 부호^{[11][13]}를 채용하고 있으며, 최대 256 QAM 변조 기법과 다양한 종류의 FFT 및 보호구간 사이즈 등의 전송 모드를 채용하여 데이터 전송률을 최대화 하였다. 비트 (Bit), 셀 (Cell) 인터리빙, 시간 및 주파수 축의 다양한 종류의 인터리빙 기법을 채용하고, 회전 성상도 변조 및 사이클릭 (Cyclic) Q 지연 기법 등을 이용하여 시변 다중 경로 채널에 강인하도록 고안되었다.

표 1. DVB-T2 방송 시스템 전송 기술 및 제공 모드
Table 1. DVB-T2 broadcasting systems and transmission modes

| FEC | LDPC & BCH |
|-------------------|---|
| Channel code rate | 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 |
| Constellation | QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM |
| Guard Interval | 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128 |
| FFT Size | 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K |
| Pilot M0de | PP1~PP7 (전체 부반송파 대비 1% ~ 8% 차지) |

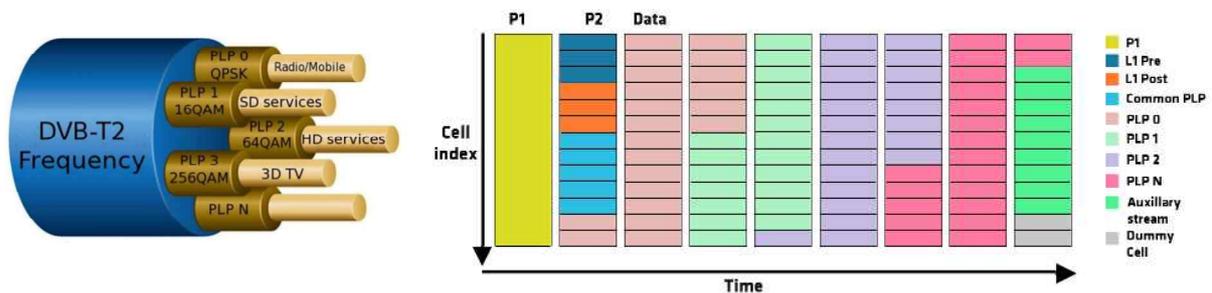
특히 DVB-T2 시스템은 그림 2와 같이 단일 지상파 채널을 통해서 다수 계층의 방송 서비스를 다중화하여 전송하는 Multiple-PLP (Physical Layer Pipeline) 전송 기법을 채용하고 있는데, 각각의 PLP를 서로 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하고 하나의 전송 프레임 내에서 다중화하여 전송하는 기법이다. 예를 들어 그림 2(a)와 같이 PLP 1으로는 SD (Standard Definition) 방송 데이터를 16 QAM으로 변조하고 3/4의 부호율로 부호화 하고, PLP3으로는 3D TV 방송 데이터를 256 QAM으로 변조하고 4/5의 부호율

로 부호화 한 뒤, 그림 2(b)와 같이 하나의 단일 프레임 내에 Multiple-PLP 데이터를 다중화하여 전송하는 기법이다. 이 경우, 송신되는 신호가 같은 채널 상황을 겪더라도 PLP1 계층으로 전송되는 SD 방송 데이터는 PLP3로 전송한 3D TV 방송 데이터에 비해 채널에 더 강인한 면을 보이게 된다. 그러므로 각각의 수신기는 채널의 상황에 따라 선택적으로 PLP 계층의 데이터를 취하여 수신할 수 있게 된다. 이 때, 단일 프레임 내 OFDM 심벌들의 FFT 및 보호구간의 크기는 변하지 않으며, 그림 2(b)에 나타난 P1 & P2 OFDM 심벌은 시스템 정보와 같은 부가적인 정보를 전송하는데 이용된다.

2. HEVC-SHVC 영상 압축 기술

HEVC (High Efficiency Video Coding) 기법은 최신의 영상 압축 기술인 H.264 기법 이후의 차세대 기술로써 표준이 현재 진행 중에 있으며 최대 H.264 기법 대비 50%의 압축률 향상을 목표로 하고 있다. HEVC 영상 압축 기술은 앞으로 다가올 UHDTV 방송 시대에 대비하여 초고해상도 & 초고화질에 대응하기 위한 영상 압축 기술로써, 넓은 범위의 해상도와 색 깊이, 무손실 코덱, 그리고 스케일러블 (Scalable) 비디오 코딩 기법 등을 다양하게 고려하고 있다^{[8][9]}.

그 중에서도 스케일러블 비디오 코딩 기법인 SHVC (Scalable HEVC) 기법은 기존의 H.264 압축 기술에서 스케일러블 비디오 코딩 기법의 복잡도가 매우 높았던 문제점을 해결하고자, 최대한 구현 복잡도를 낮추는 것에 초점을 맞추고 있다. 그림 3은 SHVC 압축 기법을 설명한 그림



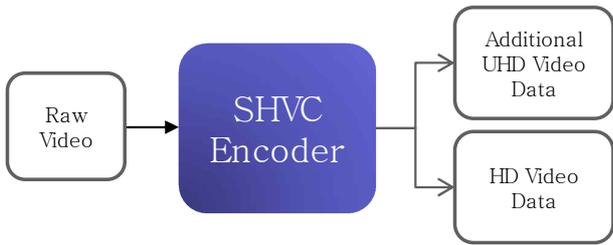
(a) Multiple PLP 개념

(b) 단일 프레임 내의 Multiple-PLP 데이터 다중화 개념

그림 2. DVB-T2 Multiple-PLP 전송 기법^[14]

Fig 2. DVB-T2 Multiple-PLP Transmission Technique

으로, UHD 원 비디오 영상을 SHVC 기법으로 압축을 수행



부가적인 UHD 부가 비디오 데이터이고, 다른 하나는 HD 기존 비디오 데이터를 얻을 수 있다. HD 기본 비디오 데이터는 SHVC 복호 기법을 이용할 경우 온전히 HD 급의 영상을 재생할 수 있는 반면, 부가적인 UHD 비디오 데이터만을 이용하여 UHD 영상을 재생할 수는 없다. SHVC로 압축이 된 부가적인 UHD 비디오 데이터와 HD 비디오 데이터 모듈을 이용해야만 풀 UHD 영상을 재생할 수 있다.

Scalable High efficiency Video Coding

그림 3. SHVC 영상 압축 기술
 Fig 3. SHVC audio/video compression technique

할 경우 두 종류의 비디오 데이터를 얻을 수 있다. 하나는

III. 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 방송 전송 시스템

1. 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 서비스 구상도 및 요구 데이터 전송률

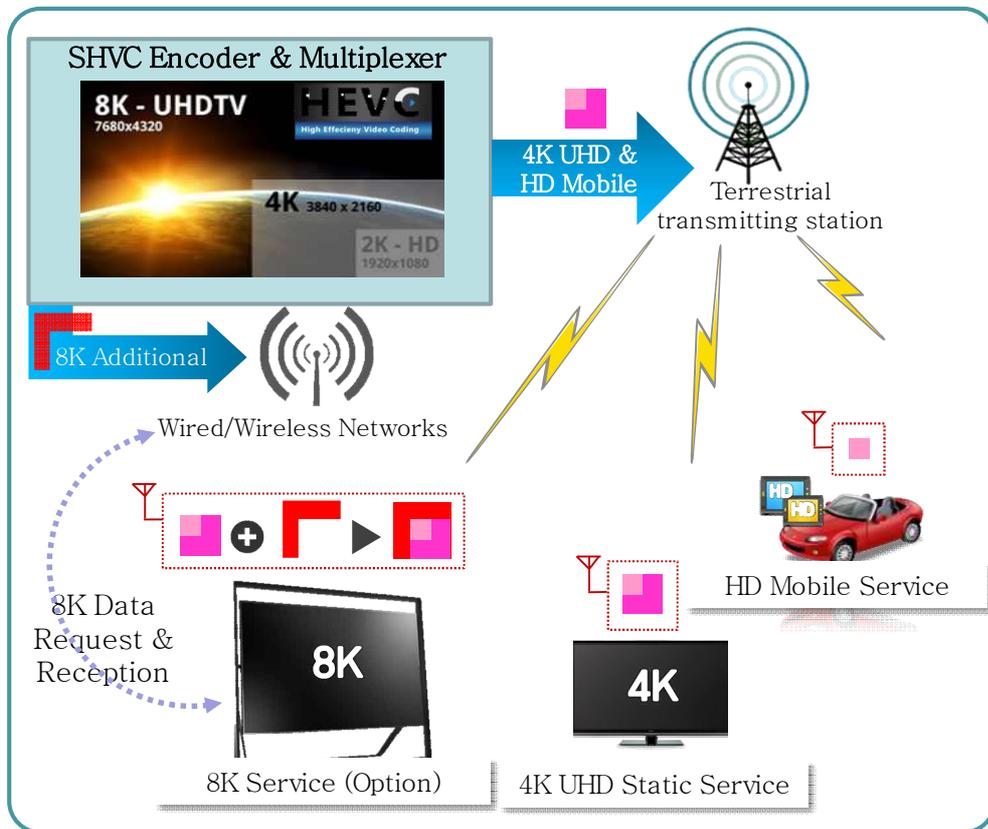


그림 4. 단일 채널을 통한 지상파 4K UHD & HD 융합방송 서비스 구상도
 Fig 4. Terrestrial 4K UHD & HD convergence broadcasting service through single channel diagram

본 논문에서 목표로 하고 있는 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 서비스 구상도는 그림 4와 같다. SHVC 영상 압축 기술로 8K UHD 영상을 압축하여, 8K UHD 부가, 4K UHD 부가 그리고 HD 영상 데이터를 취득한다. 그리고 단일 융합방송 전송 시스템을 이용하여 지상파 방송망을 통해서 4K UHD 부가 & HD 영상 데이터를 전송한 뒤, 거치형 수신기에서는 4K UHD 부가 및 HD 데이터를 모두 수신하여 4K UHD 영상을 재생하고 모바일 수신기에서는 HD 비디오 데이터만을 수신하여 HD 영상을 재생하게 된다. 또한 통신망에 연결된 거치형 수신기에서는 8K UHD 부가 정보를 통신망을 통해서 수신하고 방송망을 통해서 수신한 4K UHD 및 HD 정보와 결합해서 8K UHD 영상을 재생할 수 있게 된다. 본 논문에서는 방송망을 통해서 4K UHD 부가 및 HD 비디오 데이터를 전송하고 모바일 & 거치형 수신기에서 4K UHD 또는 HD 영상을 수신할 수 있는 단일 융합방송 전송 시스템에 대해서 다루고자 한다.

앞서 설명한 지상파 4K UHD & HD 융합방송 서비스의

가능성을 검증해 보기 위해서는, SHVC 영상 압축 기술을 이용했을 경우의 데이터 전송률을 분석하고 이를 바탕으로 현재의 6 MHz 지상파 대역폭을 통해서 전송이 가능한지를 검증해 보아야 한다. 그림 5에서 보듯이, 현재 수준의 실시간 HEVC 영상 인코더 (Encoder)를 이용하여 worst-case의 단일 4K UHD 원영상을 압축할 경우 최대 25 Mbps의 데이터 전송률을, 그리고 worst-case의 단일 HD 원영상을 압축할 경우 최대 7 Mbps의 데이터 전송률을 요구한다고 알려져 있다. 이와는 다르게 4K UHD 원영상을 SHVC 기술로 압축할 경우, 압축된 HD 기본 영상 데이터의 전송률은 동일한 반면 4K UHD 부가 영상 데이터는 21.25 Mbps의 데이터 전송률을 요구하며 이는 HEVC 기술로 단일 4K UHD 원영상을 압축할 경우보다 데이터 전송률이 최대 16.5% 감소한다고 알려져 있으며^[9], 평균적으로 15% 감소한다고 알려져 있다. 즉, 단일 채널을 통한 지상파 4K UHD & HD 융합방송을 위해서는 서로 다른 계층의 4K UHD 부가 데이터를 21.25 Mbps의 전송률을, HD 기본 데이터는 7 Mbps의 전송률을 필요로 함을 예상할 수 있다. 이 후 실시

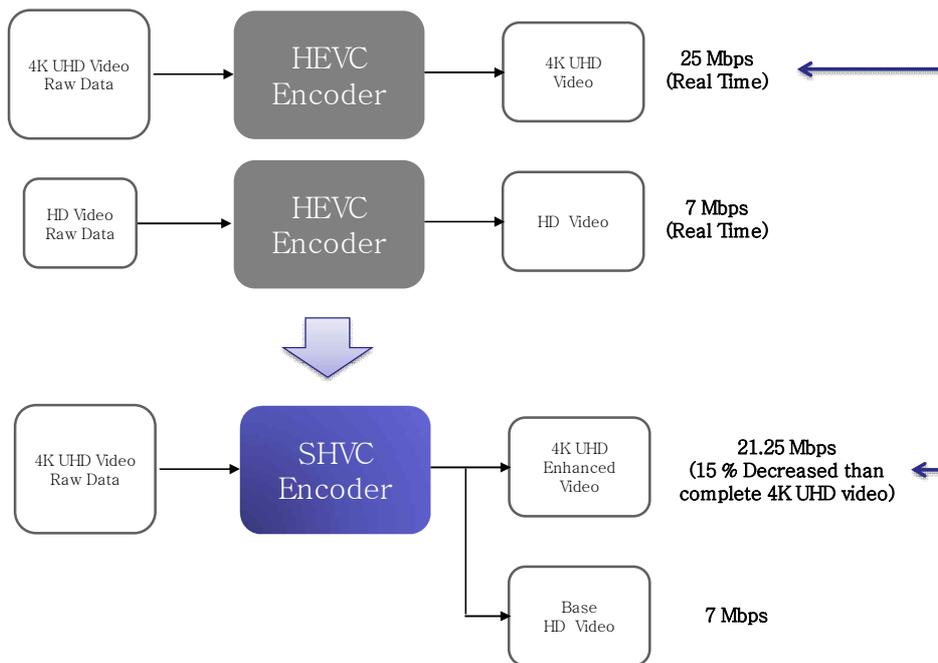


그림 5. SHVC를 이용하여 압축된 4K UHD 부가 및 HD 영상 데이터 용량
 Fig 5. 4K UHD additional & HD video data capacity employing SHVC

간 HEVC 영상 인코더의 성능이 개선되거나 비실시간 인코더를 이용한 영상을 전송할 경우, 요구되는 데이터 전송률을 낮아질 것으로 예상된다.

2. 지상파 단일 채널 4K UHD & HD 융합방송 전송 시스템 구조

앞서 2-1절에서 최신의 전송 기법들과 Multiple-PLP 전송 기법을 적용하였을 때, 지상파 단일 채널 4K UHD & HD 융합방송 전송시스템의 구조는 그림 6과 같다.

SHVC 영상 압축 기술을 통해 얻어진 두 종류의 영상 데이터인 4K UHD 부가 영상 데이터와 HD 기본 영상 데이터

는 각각 다른 부호율로 채널 부호화가 되고 다른 변조 성상도로 사상된 뒤 셀 및 시간 축 인터리빙을 거친다. 이 후, 두 계층의 데이터들은 Multiple-PLP 기법을 이용하여 시스템에 관련한 부가 정보와 함께 단일 전송 프레임으로 구성되며, 단일 전송 프레임의 구조는 그림 7과 같다. 그림 7에 나타난 바와 같이 단일 전송 프레임은 2048개의 부반송파로 이루어진 P1 심벌, FFT 크기에 따라 다수의 부반송파로 구성된 P2 심벌, 그리고 두 계층의 데이터를 전송하는 부반송파들로 구성이 된다.

두 계층의 데이터들은 그림 7과 같이 단일 전송 프레임으로 구성된 후, 주파수 축 인터리빙을 거치고 이 후 OFDM 심벌 변조를 하여 단일 주파수 대역 통해서 송신된다. 채널

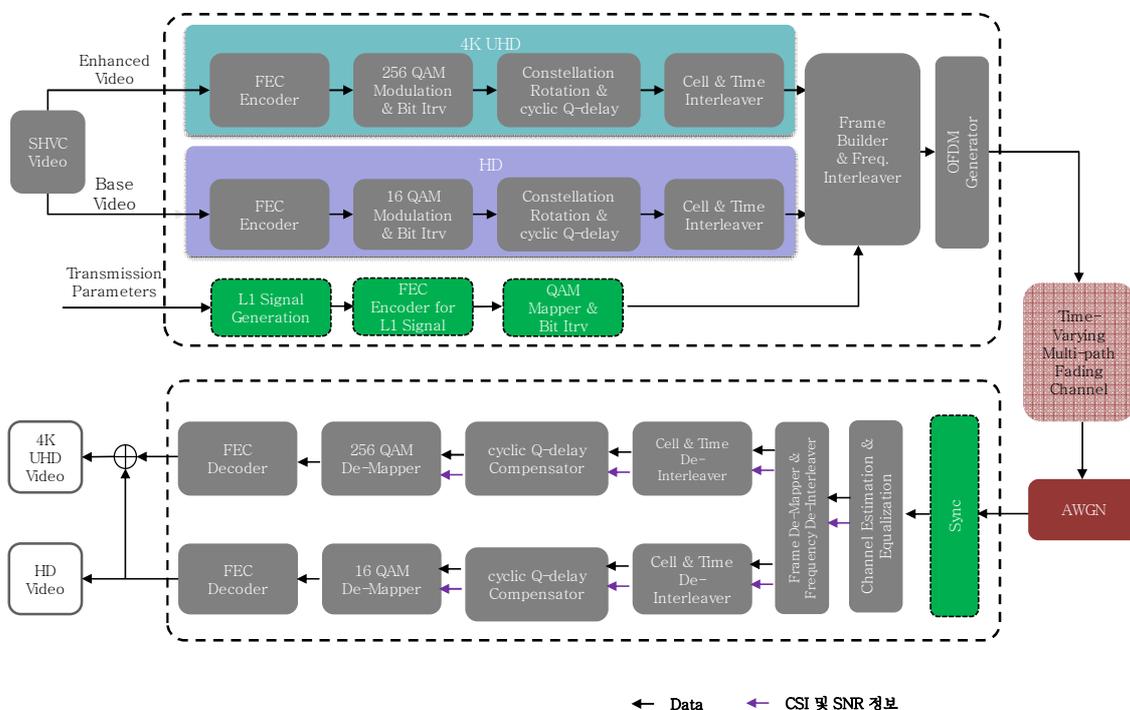


그림 6. 지상파 단일 채널 4K UHD & HD 융합방송 전송 시스템 구조

Fig 6. Terrestrial 4K UHD & HD convergence broadcasting transmission systems through single channel structure

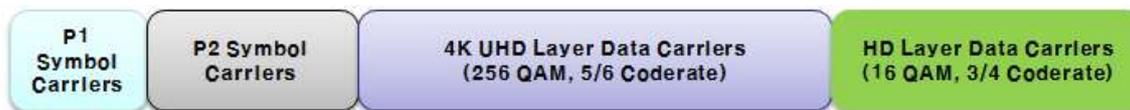


그림 7. 지상파 4K UHD & HD 융합방송을 위한 전송 프레임 구조

Fig 7. A transmission frame structure for Terrestrial 4K UHD & HD convergence broadcasting

을 거쳐 수신된 신호에 대해 OFDM 심벌 수준에서 동기 복구 및 채널 등화를 수행한다. 그리고 주파수 역 인터리빙을 거치고 각각의 계층으로 분리된 후, 각 계층 별로 복호를 수행하게 된다. 거처형 수신기는 복호된 두 계층의 데이터를 모두 이용하여 4K UHD 영상을 재생하고, 모바일 수신기는 복호된 HD 데이터만을 이용하여 HD 영상을 재생한다.

IV. 최적의 전송 파라미터 도출 및 모의실험 결과

3장에서 분석한 SHVC 압축 후의 데이터 전송 요구량을 바탕으로, 4장에서는 6MHz 대역폭을 통해 두 계층의 데이터를 전송할 수 있는 최적의 전송 파라미터를 도출하고, 이에 따른 수신 성능을 다양한 채널 하에서 검증해 보았다. 이 때, 각각의 계층의 데이터 전송률은 전송 모드 (변조 성상도, 부호율, FFT & 보호구간 크기, 파일럿 삽입 모드 등), 전송 모드에 따른 전체 부반송파의 수, 유효 부반송파의 수,

부가 정보의 비중 등^[7]을 고려하여야 하며, 6MHz 대역폭에서 아래와 같은 프레임 구성 조건에 따라 도출된 전송 파라미터는 <표 2>와 같다.

- * 4K UHD 계층 단일 프레임 내 데이터 차지 비중: 60%
- * HD 계층 단일 프레임 내 데이터 차지 비중: 40%
- * 단일 프레임의 최대 길이: 250 ms^[7]
- * Elementary Period T for 6 MHz Bandwidth: 7/48 us^[7]

4K UHD 및 HD 계층 각각의 변조 성상도는 모든 조건을 고려하였으나, 4K UHD 계층은 256 QAM 변조 방식으로, HD 계층은 16 QAM 변조 방식을 취해야만 3-1절에서 분석한 요구 데이터 전송률을 달성할 수가 있다. 또한 HD 계층의 데이터가 전송되는 모바일 환경을 고려하여, 16K, 32K FFT 크기를 제외하였다. 이렇게 도출된 전송 파라미터를 살펴보면, 6MHz 대역폭의 한계로 인해 4K UHD & HD 계층의 부호율이 다소 높고 FFT 크기가 8192인 것을 알 수 있으며 또한 보호구간의 크기가 최고 1/32로 제한이 된다. 이는 도출된 전송 파라미터를 이용할 경우 시변 채널의 환경에

표 2. 6MHz 대역폭에서의 도출된 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 2. Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 1 | 28,439,336 | 21,329,502 | 7,109,834 | 4/5 | 4/5 | 8192 | 1/128 | PP7 | 200 | 243.51 ms |
| 2 | 29,344,584 | 22,234,750 | 7,109,834 | 5/6 | 4/5 | 8192 | 1/128 | PP7 | 200 | 243.51 ms |
| 3 | 28,949,373 | 21,712,029 | 7,237,343 | 5/6 | 5/6 | 8192 | 1/32 | PP7 | 200 | 249.16 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

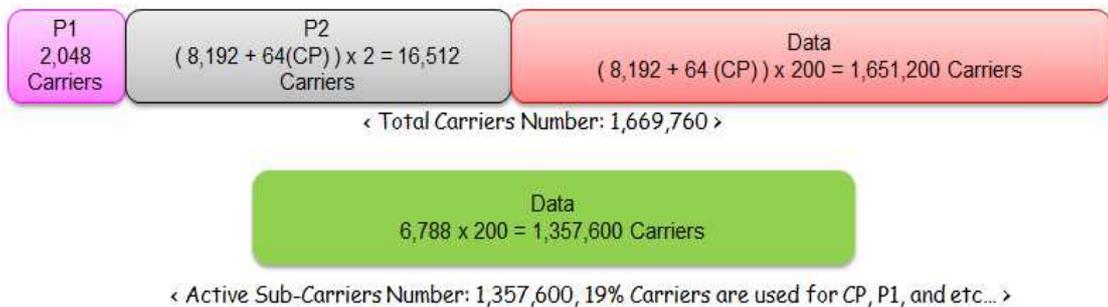


그림 7. No.1 전송 파라미터에 따른 단일 전송 프레임 내 전체 부반송파 및 유효 부반송파의 개수

Fig 7. Number of total carriers and active carriers in a transmission frame of transmission parameter No. 1

상대적으로 수신 성능이 취약할 수 있음을 예상할 수 있다.

FFT 크기, 보호구간인 Cyclic Prefix (CP) 크기, 프레임 내 OFDM 심벌의 수, 파일럿 모드에 따라 단일 전송 프레임 내의 전체 부반송파 및 유효 부반송파의 수가 결정된다. 이 때, 전체 부반송파 중 유효 부반송파만이 실제적인 데이터 전송에 이용되고 이를 제외한 나머지 부반송파는 파일럿, 시스템 정보 등의 전송에 이용된다. 그림 7은 1번 전송 파라미터에 따른 단일 프레임 내의 전체 부반송파와 유효 부반송파의 개수를 나타낸 그림으로, 하나의 단일 프레임은 P1 심벌, P2 심벌, 그리고 데이터 심벌로 구성된다. 이 때, P1 심벌과 P2 심벌은 시스템 동기를 이루고 시스템 파라미터 (FFT 크기, CP의 크기, 프레임 내 OFDM 심벌의 수 등)를 전송하는데 이용된다. P1 심벌은 FFT 크기에 상관없이 2048개의 부반송파로 이루어지고, FFT 크기가 8192이고 P2 심벌의 개수는 2개이다. 보호구간인 CP로 1/32의 크기를 이용하고, 단일 프레임 내 OFDM 심벌의 개수를 200개로 설정하였으므로, 단일 프레임 내 전체 부반송파의 개수는 그림 7에 나타난 바와 같이 1,669,750개이다. 그리고 OFDM 심벌 당 8192개의 부반송파 중에서 실제 데이터 전송에 이용되는 부반송파는 6,788개이기 때문에 단일 프레임 내 유효 부반송파의 개수는 $6,788 \times 200 = 1,357,600$ 개가 된다. 하나의 샘플에 해당하는 부반송파 전송되는 시간인 Elementary Period T는 6 MHz 대역폭에서 $7/48 \text{ us}$ 이므로, 단일 프레임이 전송되는 시간은 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Number of total carriers} \times T \\ & = 1,669,760 \times \left(\frac{7}{48} \text{ us}\right) = 243.51 \text{ ms} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)을 통해 243.51 ms 동안 1,357,600개의 유효 부반송파가 전송이 되는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 1초 동안 전송되는 유효 부반송파의 수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & 1,669,760 \text{ carriers} \times T: 1,357,600 \text{ carriers} \\ & = 1 \text{ second}: x \text{ carriers} \\ & x \text{ carriers} \\ & = (1,357,600/1,669,760)/T = 5,387,987 \text{ carriers} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 통해 1초 동안 약 5,387,987개의 유효 부반송파가 전송이 될 수 있음을 알 수 있다. 이를 토대로 4K UHD 계층에 이용되는 유효 부반송파의 비율이 60%, 변조 성상도는 256 QAM (하나의 유효 부반송파에 8 bits를 전송), 채널 부호율은 4/5이므로 4K UHD 계층의 데이터 전송률을 계산해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & 5387987 \times 8 (256 \text{ QAM}) \times 0.6 (60\%) \times (53840/6480) \\ & = 21,329,502 \text{ bps} \end{aligned} \quad (3)$$

또한 HD 계층에 이용되는 유효 부반송파의 비율이 40%, 변조 성상도는 16 QAM (하나의 유효 부반송파에 4 bits를 전송), 채널 부호율은 4/5이므로 HD 계층의 데이터 전송률을 계산해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & 5387987 \times 4 (16 \text{ QAM}) \times 0.4 (40\%) \times (53840/64800) \\ & = 7,109,834 \text{ bps} \end{aligned} \quad (4)$$

이렇게 분석된 전송 파라미터를 이용하여 다음과 같은 모의실험 환경 하에서 각각의 송수신 성능을 측정해 보았다. 이 때, 수신되는 신호 내 시스템 정보의 복호와 동기는 이상적이라고 가정하였다.

- * 채널 환경: AWGN, TU-6 채널
- * 파일럿 심벌을 이용한 채널 추정 기법: Least-Square 기법^[15]
- * 주파수 축 채널 보간 기법: 큐빅 스플라인 (Cubic-Spline) 보간 방식^[16] (보간에 이용되는 파일럿 심벌의 개수: 12)
- * 시간 축 채널 보간 기법: 선형 보간 방식^[17]
- * 4K UHD 계층의 시간 축 인터리빙 길이: 113개 FEC (Forward Error Correction) 채널 부호 프레임
- * HD 계층의 시간 축 인터리빙 길이: 35개 FEC (Forward Error Correction) 채널 부호 프레임
- * 중심 주파수 (Center Frequency): 476 MHz (디지털 TV 채널 주파수 14번)

표 3. 6MHz 대역폭에서의 1번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 3. No. 1 Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|--------------|
| 1 | 28,439,336 | 21,329,502 | 7,109,834 | 4/5 | 4/5 | 8192 | 1/32 | PP7 | 243.51 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

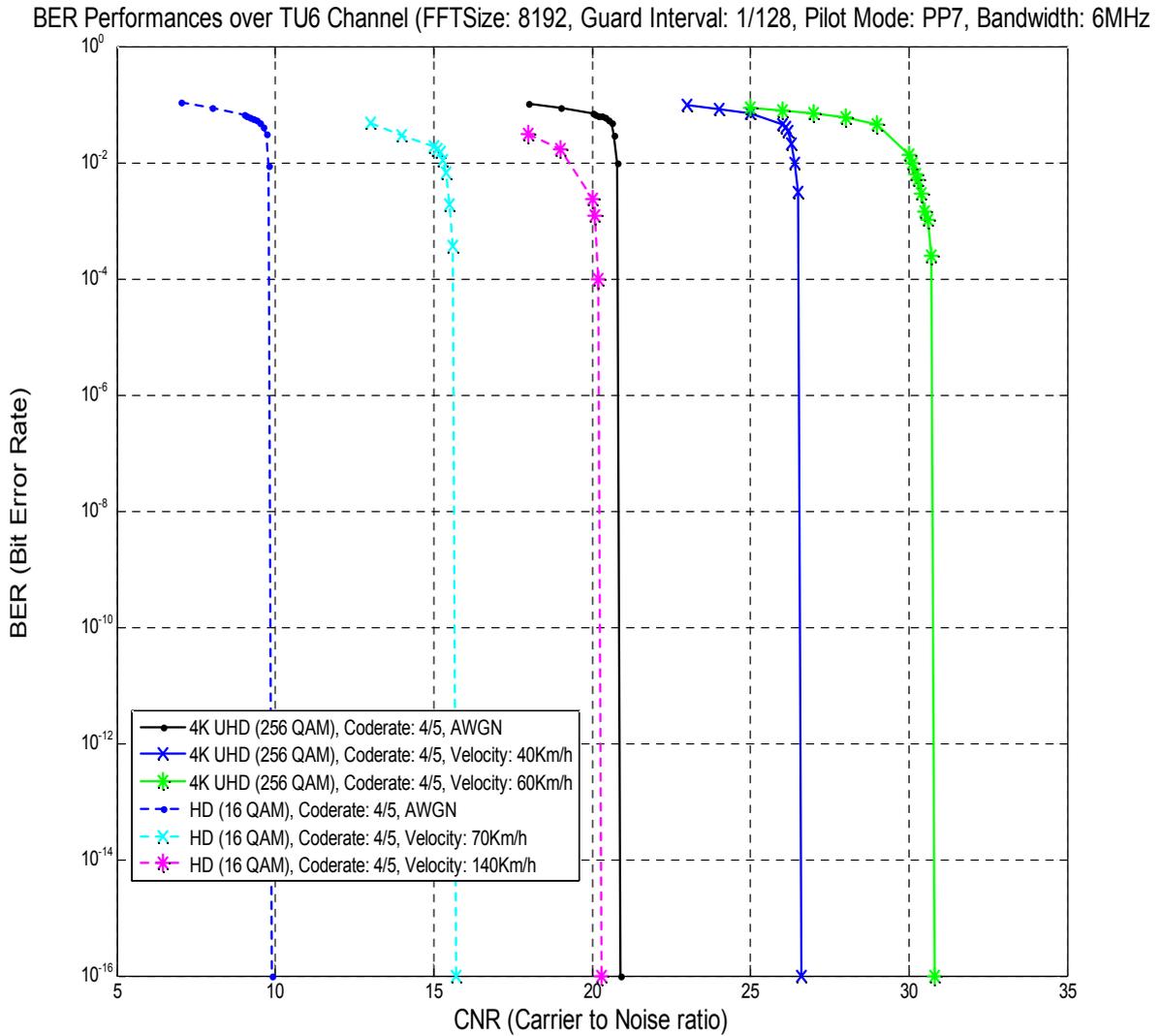


그림 8. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 1번, 6MHz 대역폭)

Fig 8. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 1, 6 MHz bandwidth)

표 4. 6MHz 대역폭에서의 2번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 4. No. 2 Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 2 | 29,344,584 | 22,234,750 | 7,109,834 | 5/6 | 4/5 | 8192 | 1/128 | PP7 | 200 | 243.51 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

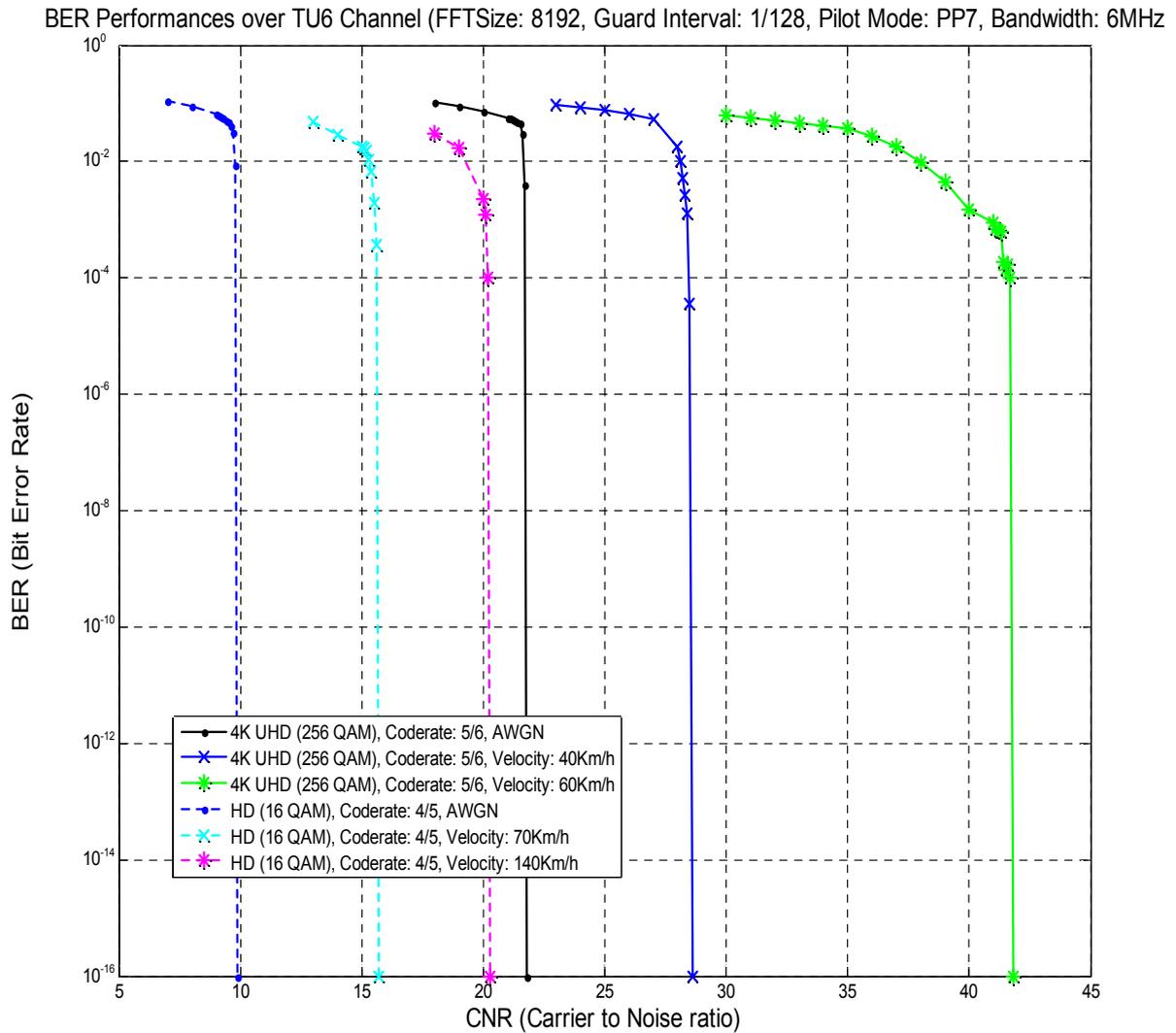


그림 9. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 2번, 6MHz 대역폭)

Fig 9. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 2, 6 MHz bandwidth)

표 5. 6MHz 대역폭에서의 3번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 5. No. 3 Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 3 | 28,949,373 | 21,712,029 | 7,237,343 | 5/6 | 5/6 | 8192 | 1/32 | PP7 | 200 | 249.16 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

BER Performances over TU6 Channel (FFTSize: 8192, Guard Interval: 1/32, Pilot Mode: PP7, Bandwidth: 6MHz)

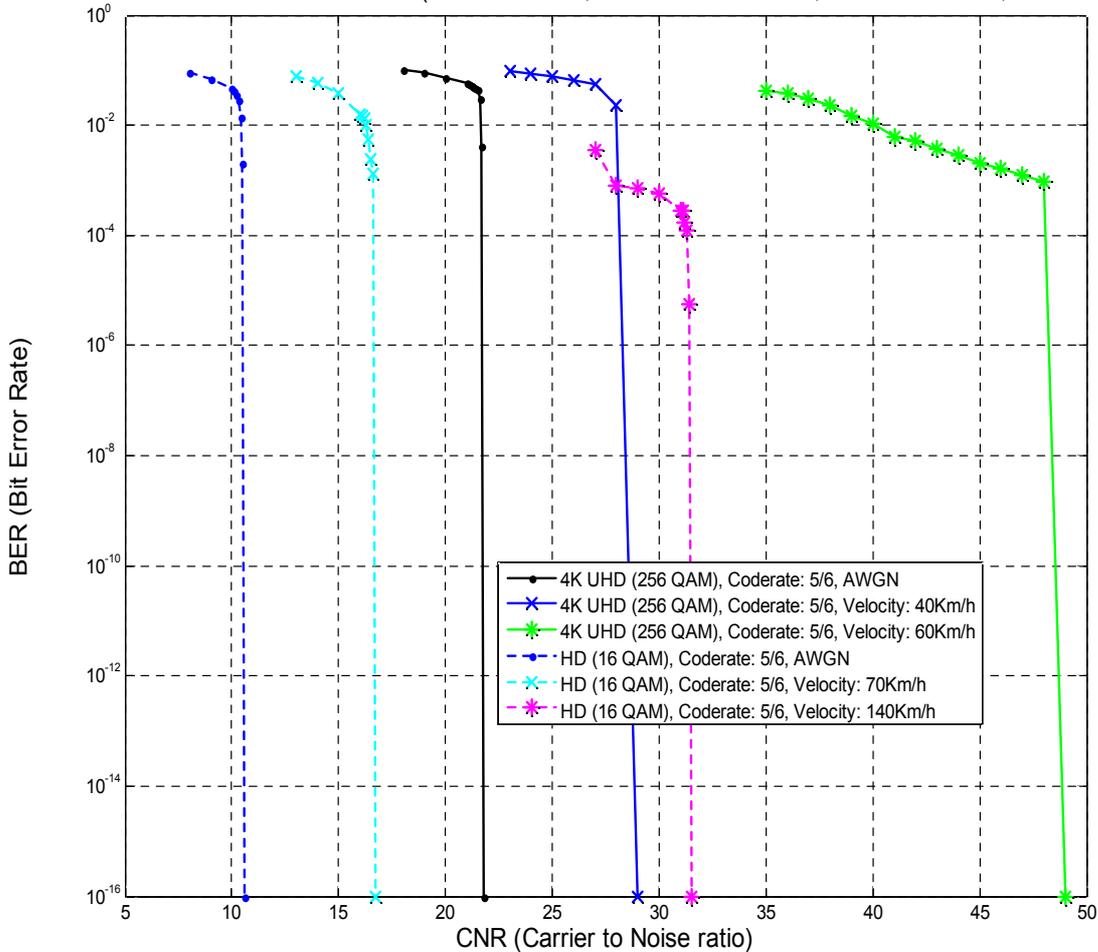


그림 10. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 3번, 6MHz 대역폭)

Fig 10. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 3, 6 MHz bandwidth)

그림 8~10은 전송 파라미터 1~3번에 따라 각각 수신기의 속도가 4K UHD 계층에서는 40Km/h, 60Km/h, HD 계층에서는 70Km/h, 110Km/h인 TU-6 채널 하에서의 Bit Error

Rate (BER) 성능을 나타낸 그래프로써, 대체로 4K UHD 계층은 40Km/h의 수신 속도에서는 26.6 ~ 28.6 dB 그리고 60 Km/h의 수신 속도에서는 30.8 ~ 41.8 dB에서 Threshold of

Visibility (TOV)가 나타남을 알 수 있다. TOV는 약 10^{-6} 이하의 수신 BER 성능을 나타내며, 수신된 영상이 원활히 재생되는 한계 성능을 뜻한다. 모든 전송 모드에서 26 dB 이상의 TOV를 요구하므로, 모바일 상황에서는 수신이 불가능하다고 여겨진다. 하지만 3-1절에서 얘기하였듯이 4K UHD 계층은 거치형 수신기에서의 수신 상황을 가정하였기 때문에, 고정적인 (static) 채널 환경에서는 AWGN 채널에 비해 그리 높지 않은 TOV를 보일 것으로 여겨진다.

이보다 TU-6 채널에서의 성능을 우선적으로 고려해야 하는 HD 계층의 경우엔, 채널 부호율이 4/5에 해당하는 전송 파라미터 1 & 2번에서 15.6 dB (70 km/h), 20.3 dB (140 km/h)의 TOV 성능을 보이므로 140 km/h 수신 속도까지의 모바일 환경에서는 원활한 수신 성능을 보일 것으로 여겨진다. 하지만 140 km/h 이상의 수신 속도에선 원활한 수신 성능을 달성하기는 어려울 것으로 보이며, 3번 전송 파라미터의 경우 1 & 2번에 비해 보호구간의 크기를 크게 하였으나 이로 인해 채널 부호율이 높아져 TU-6 채널에서의 수신 성능은 전송 파라미터 1 & 2번에 비해 떨어짐을 알 수 있다.

국내와는 다르게 유럽에서는 8MHz의 대역폭을 지상파 채널에 할당하고 있으며, 지금 현재 정부, 방송사, 그리고 이

동통신사간에 주파수 대역폭 확장에 관한 논의가 계속 진행 중에 있다. 이러한 점들을 고려하고, 6 MHz의 대역폭의 한 계로 인한 성능 열화를 극복하고자, 앞서 6MHz에서 전송 파라미터를 도출했던 것처럼 주파수 대역폭을 8MHz로 상정하여 전송 파라미터를 도출해 보았다. 이에 8MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라미터는 <표. 3>에 나타내었다.

- * 4K UHD 계층 단일 프레임 내 데이터 차지 비중: 60%
- * HD 계층 단일 프레임 내 데이터 차지 비중: 40%
- * 단일 프레임의 최대 길이: 250 ms^[7]
- * Elementary Period T for 8 MHz Bandwidth: 7/64 us^[7]

4K UHD 및 HD 계층 각각의 변조 성상도는 모든 조건을 고려하였으나, 6MHz와 마찬가지로 4K UHD 계층은 256 QAM 변조 방식으로, HD 계층은 16 QAM 변조 방식을 취해야만 3-1절에서 분석한 요구 데이터 전송률을 달성할 수가 있다. 6 MHz 대역폭의 경우와는 달리, HD 계층의 부호율을 최대 3/4로 제한하고 파일럿 모드 또한 PP4, 5, 6, 7은 제외하였다. 그리고 도출된 최적의 전송 파라미터를 이용하여 모의 실험 환경 하에서 각각의 송수신 성능을 측정해 보았다.

표 6 6MHz 대역폭에서의 도출된 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 6 Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 1 | 28,439,336 | 21,329,502 | 7,109,834 | 4/5 | 4/5 | 8192 | 1/128 | PP7 | 200 | 243.51 ms |
| 2 | 29,344,584 | 22,234,750 | 7,109,834 | 5/6 | 4/5 | 8192 | 1/128 | PP7 | 200 | 243.51 ms |
| 3 | 28,949,373 | 21,712,029 | 7,237,343 | 5/6 | 5/6 | 8192 | 1/32 | PP7 | 200 | 249.16 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

표 7. 6MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라미터에 따른 TOV (Threshold of Visibility) 성능

Table 7. TOV (Threshold of Visibility) of optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth

| 4K UHD Layer | | | |
|--------------|---------|----------------|-----------------|
| Parameter No | AWGN | TU-6 (40 Km/h) | TU-6 (60 Km/h) |
| 1 | 20.8 dB | 26.6 dB | 30.8 dB |
| 2 | 21.8 dB | 28.6 dB | 41.8 dB |
| 3 | 21.8 dB | 28.6 dB | 41.8 dB |
| HD Layer | | | |
| Parameter No | AWGN | TU-6 (70 Km/h) | TU-6 (140 Km/h) |
| 1 | 9.9 dB | 15.6 dB | 20.3 dB |
| 2 | 9.9 dB | 15.6 dB | 20.3 dB |
| 3 | 10.6 dB | 16.7 dB | 31.5 dB |

표 8. 8MHz 대역폭에서의 도출된 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)>

Table 8. Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 1 | 30,318,345 | 23,101,054 | 7,217,290 | 4/5 | 3/4 | 1024 | 1/8 | PP2 | 1,900 | 243.51 ms |
| 2 | 30,251,372 | 23,039,165 | 7,197,955 | 4/5 | 3/4 | 2048 | 1/8 | PP2 | 950 | 243.51 ms |
| 3 | 31,008,536 | 23,919,515 | 7,089,020 | 3/4 | 2/3 | 2048 | 1/16 | PP4 | 1000 | 249.16 ms |
| 4 | 30,508,286 | 23,245,780 | 7,262,506 | 4/5 | 3/4 | 4096 | 1/8 | PP2 | 475 | 241.64 ms |
| 5 | 31,294,731 | 24,140,281 | 7,154,449 | 3/4 | 2/3 | 4096 | 1/16 | PP4 | 500 | 240.128 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

표 9. 8MHz 대역폭에서의 1번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 9. No. 1 Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 1 | 30,318,345 | 23,101,054 | 7,217,290 | 4/5 | 3/4 | 1024 | 1/8 | PP2 | 1,900 | 243.51 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

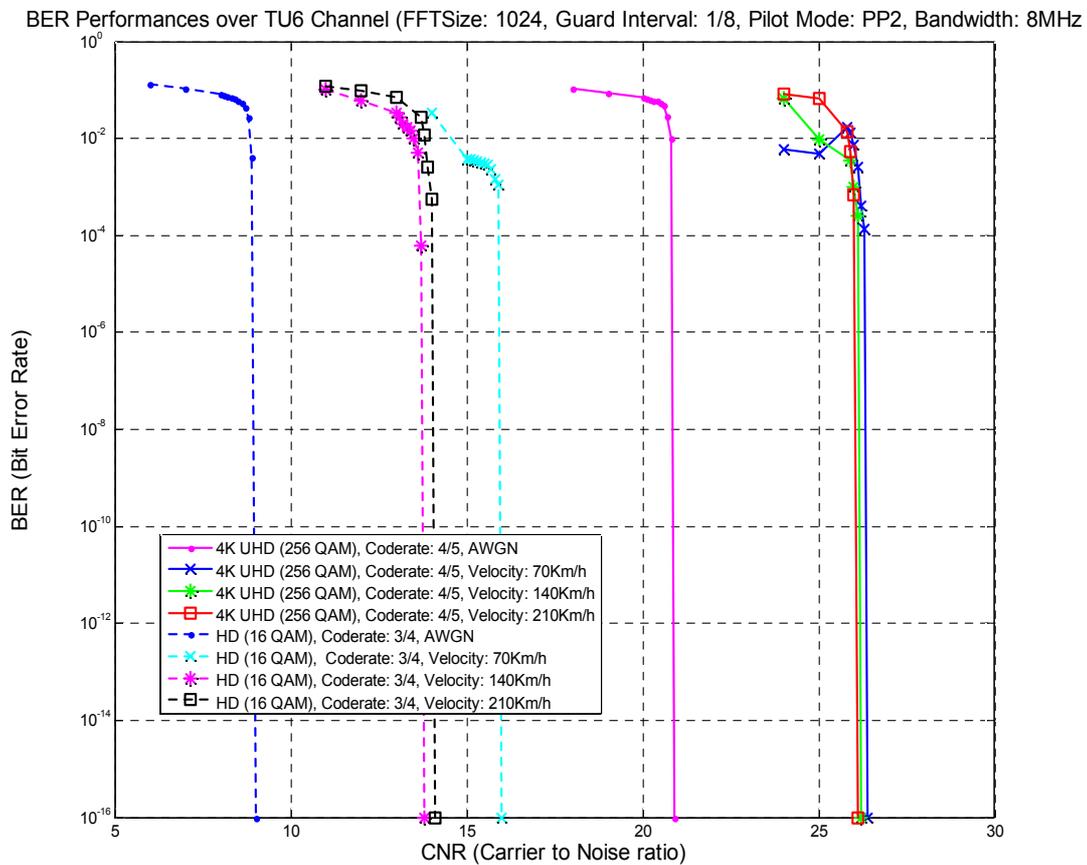


그림 11. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 1번, 8MHz 대역폭)

Fig 11. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 1, 8 MHz bandwidth)

표 10. 8MHz 대역폭에서의 2번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 10. No. 2 Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 2 | 30,251,372 | 23,039,165 | 7,197,955 | 4/5 | 3/4 | 2048 | 1/8 | PP2 | 950 | 243.51 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

BER Performances over TU6 Channel (FFTSize: 2048, Guard Interval: 1/8, Pilot Mode: PP2, Bandwidth: 8MHz)

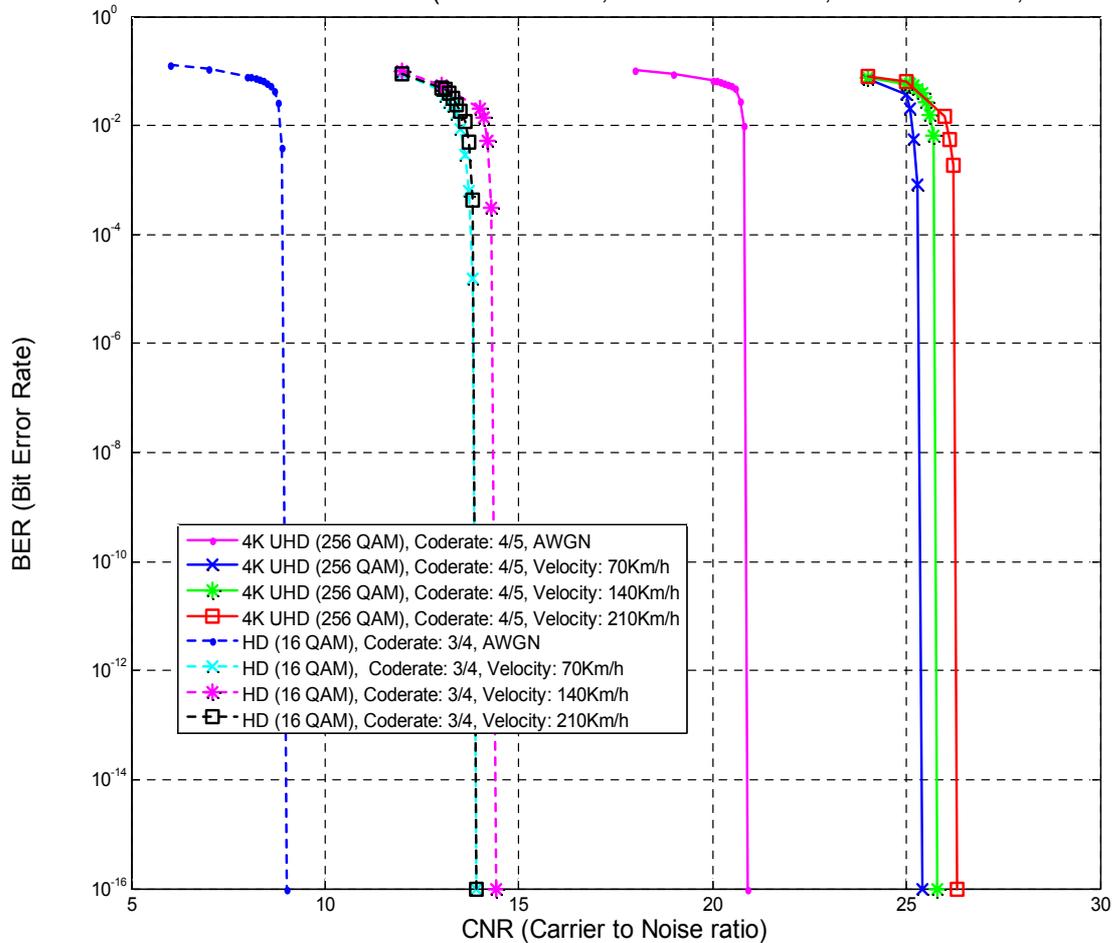


그림 12. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 2번, 8MHz 대역폭)

Fig 12. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 2, 8 MHz bandwidth)

표 11. 8MHz 대역폭에서의 3번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 11. No. 3 Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 3 | 31,008,536 | 23,919,515 | 7,089,020 | 3/4 | 2/3 | 2048 | 1/16 | PP4 | 1000 | 249.16 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

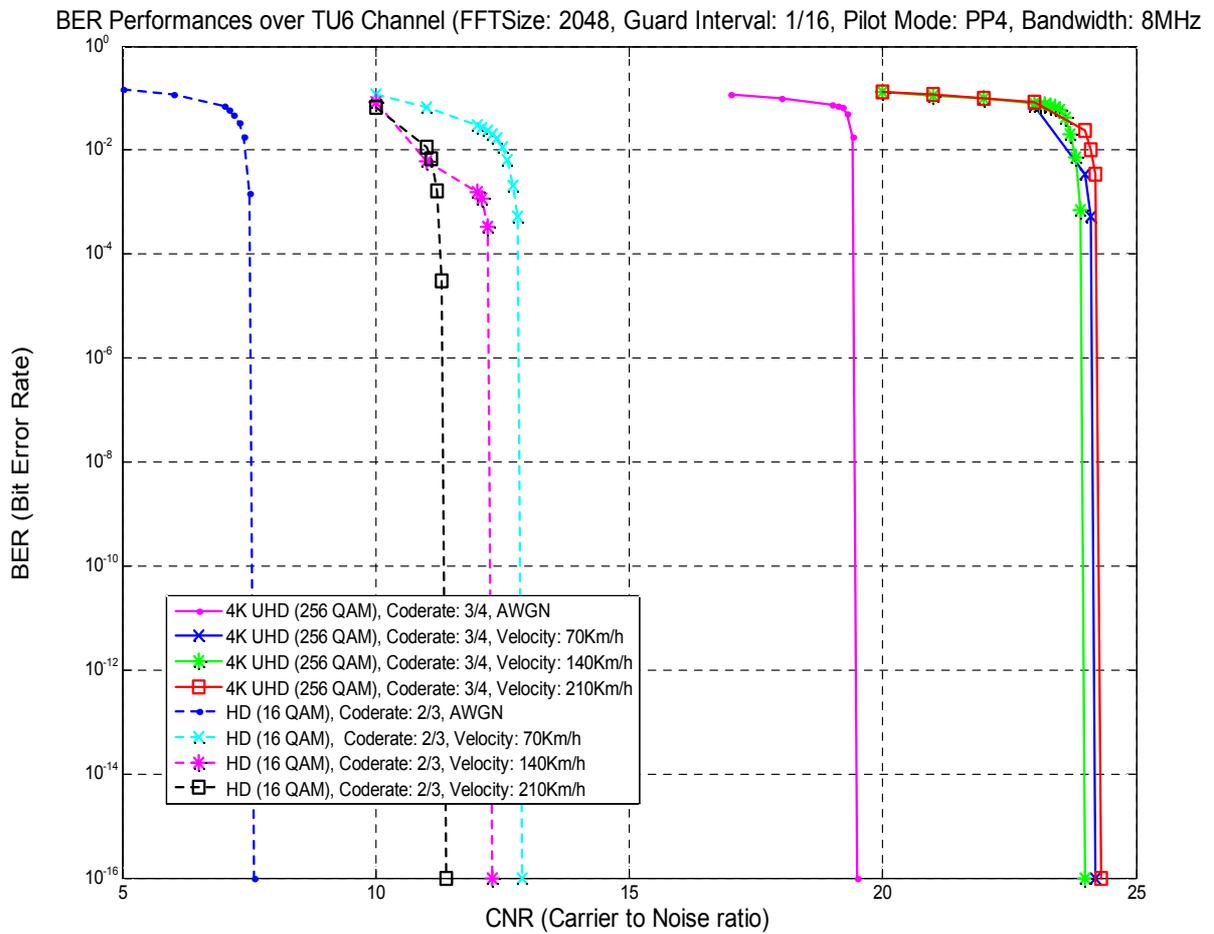


그림 13. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 3번, 8MHz 대역폭)

Fig 13. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 3, 8 MHz bandwidth)

표 12. 8MHz 대역폭에서의 4번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 12. No. 4 Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 4 | 30,508,286 | 23,245,780 | 7,262,506 | 4/5 | 3/4 | 4096 | 1/8 | PP2 | 475 | 241.64 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

BER Performances over TU6 Channel (FFTSize: 4096, Guard Interval: 1/8, Pilot Mode: PP2, Bandwidth: 8MHz)

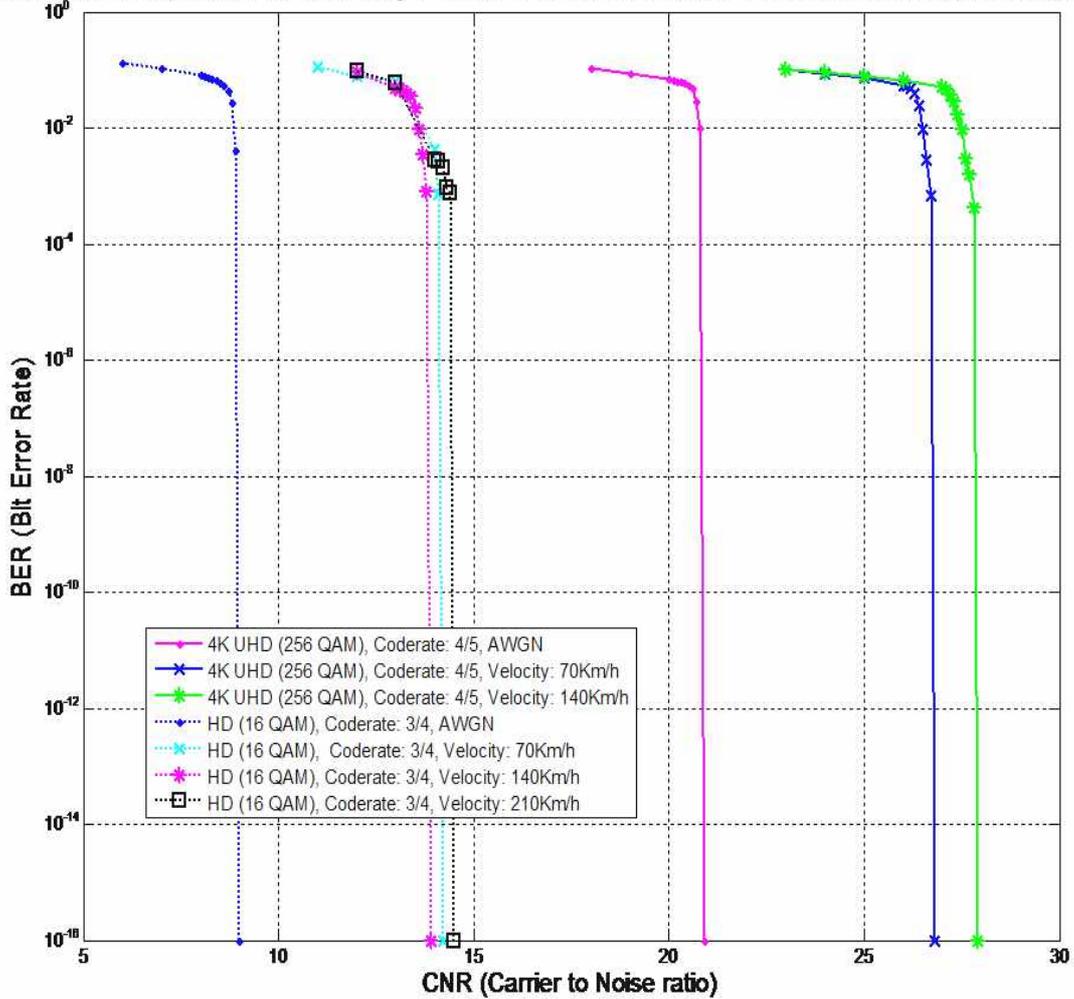


그림 14. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 4번, 8MHz 대역폭)

Fig 14. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 4, 8 MHz bandwidth)

표 13. 8MHz 대역폭에서의 5번 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 13. No. 5 Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 5 | 31,294,731 | 24,140,281 | 7,154,449 | 3/4 | 2/3 | 4096 | 1/16 | PP4 | 500 | 240.128 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

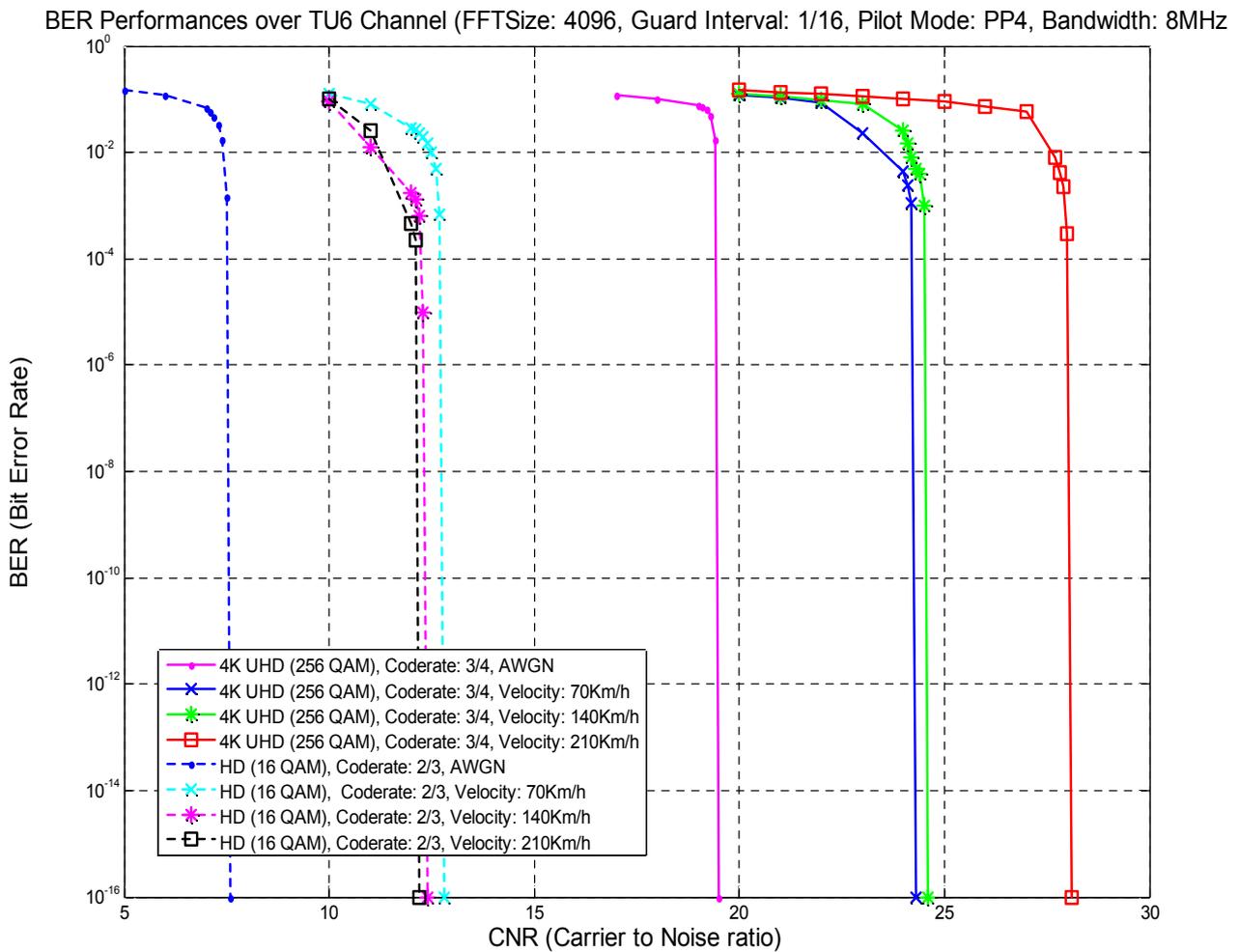


그림 15. TU6 & AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라미터 5번, 8MHz 대역폭)

Fig 15. 4K UHD & HD layer BER performances under TU6 channel and AWGN (Transmission parameter No. 5, 8 MHz bandwidth)

표 14. 8MHz 대역폭에서의 도출된 전송 파라미터 (4K UHD 계층: 256 QAM 변조, HD 계층: 16 QAM 변조)

Table 14. Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth (4K UHD layer: 256 QAM modulation, HD layer: 16 QAM modulation)

| No. | Total Data Rate(bps) | 4K Layer Data Rate (bps) | HD Layer Data Rate(bps) | 4K Layer Coderate | HD Layer Coderate | FFT Size | Guard Interval | Pilot Mode | Num. of Syms* | Frame Length |
|-----|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|----------------|------------|---------------|--------------|
| 1 | 30,318,345 | 23,101,054 | 7,217,290 | 4/5 | 3/4 | 1024 | 1/8 | PP2 | 1,900 | 243.51 ms |
| 2 | 30,251,372 | 23,039,165 | 7,197,955 | 4/5 | 3/4 | 2048 | 1/8 | PP2 | 950 | 243.51 ms |
| 3 | 31,008,536 | 23,919,515 | 7,089,020 | 3/4 | 2/3 | 2048 | 1/16 | PP4 | 1000 | 249.16 ms |
| 4 | 30,508,286 | 23,245,780 | 7,262,506 | 4/5 | 3/4 | 4096 | 1/8 | PP2 | 475 | 241.64 ms |
| 5 | 31,294,731 | 24,140,281 | 7,154,449 | 3/4 | 2/3 | 4096 | 1/16 | PP4 | 500 | 240.128 ms |

* Number of OFDM Symbols in a frame

표 15. 8MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라미터에 따른 TOV (Threshold of Visibility) 성능

Table 15. TOV (Threshold of Visibility) of optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth

| 4K UHD Layer | | | | |
|---------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| Parameter No. | AWGN | TU-6 (70 Km/h) | TU-6 (140 Km/h) | TU-6 (210 Km/h) |
| 1 | 20.9 dB | 26.4 dB | 26.2 dB | 26.1 dB |
| 2 | 20.9 dB | 25.4 dB | 25.8 dB | 26.3 dB |
| 3 | 19.5 dB | 24.2 dB | 24.0 dB | 24.3 dB |
| 4 | 20.9 dB | 26.8 dB | 27.9 dB | X |
| 5 | 19.5 dB | 24.3 dB | 24.6 dB | 28.1 dB |
| HD Layer | | | | |
| Parameter No. | AWGN | TU-6 (70 Km/h) | TU-6 (140 Km/h) | TU-6 (210 Km/h) |
| 1 | 9.0 dB | 16.0 dB | 13.8 dB | 14.1 dB |
| 2 | 9.0 dB | 13.9 dB | 14.4 dB | 13.9 dB |
| 3 | 7.6 dB | 12.9 dB | 12.3 dB | 11.4 dB |
| 4 | 9.0 dB | 14.2 dB | 13.9 dB | 14.5 dB |
| 5 | 7.6 dB | 12.8 dB | 12.4 dB | 12.2 dB |

그림 12~15와 표 15는 전송 파라미터 1~5번에 따라 각 수신기의 속도가 70Km/h, 140Km/h, 210Km/h인 TU-6 채널 하에서의 성능을 나타낸 그림이다. 이를 통해 8 MHz 대역폭에서 도출된 모든 전송 파라미터들을 이용할 때 TU-6 채널 하에서 4K UHD 계층의 경우 24.3 dB ~ 28.1 dB의 TOV를, HD 계층의 경우 12.8 dB ~ 16.0 dB의 TOV를 보임을 알 수 있다. 이를 통해 고정 (static) 채널 환경에서 4K UHD 계층 데이터의 원활한 수신을 확인할 수 있고, 또한 최고 210 Km/h 수신 속도의 매우 빠른 모바일 환경에서의 HD 계층 데이터의 원활한 수신을 확인할 수 있다. 특이할 만한 점은 전송 파라미터 1번과 2번의 수신

성능이 크게 차이가 나지 않는다는 점이며, 이는 최고 210 Km/h의 수신 속도에서 1024와 2048의 FFT 크기에 따른 수신 성능이 거의 없다는 것을 의미한다. 또한 전송 파라미터 2번과 3번, 4번과 5번의 결과를 통해 보호 구간의 크기를 줄이고 채널 부호율을 높일 경우 모바일 환경에서 더 좋은 성능을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. 마지막으로 FFT 크기가 충분히 작을 경우, 대체로 채널 상황이 매우 빠르게 변화하는 모바일 환경 (수신 속도: 210 Km/h)에서의 성능이 채널 상황이 더디게 변화하는 채널 상황 (수신 속도: 70 Km/h)에서의 수신 성능보다 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 진행 사항 및 방향

본 논문에서는 지상파 단일 채널을 통한 4K & HD 융합 방송 서비스를 제공하기 위해 필요한 전송 요구 사항들에 대해서 분석하였고, DVB-T2 시스템에 채용된 최신의 전송 기술 및 현재 개발 중인 SHVC 영상 압축 기술을 적용했을 때 지상파 4K & HD 융합방송 서비스를 제공하기 위한 데이터 전송률을 분석하였다. 또한 최신의 채널 부호화 기법, 다중화 기법, 송수신 기법들을 채용하여 차세대 융합방송 전송 시스템의 연구 개발을 위해 적합한 전송 파라미터들을 도출한 뒤, 다양한 채널에서의 송수신 성능들을 검증하였다. 이를 통해 6MHz 대역폭에서의 HD 계층의 수신 성능이 약 140 Km/h의 수신 속도까지의 모바일 환경에서 원활한 수신 성능을 보임을 확인하고, 그 이상의 수신 속도에서는 대역폭의 제한으로 인해 원활한 수신을 이루기 어렵다는 것을 보였다. 그리고 대역폭을 8MHz로 확장하여 적합한 전송 파라미터를 다시 도출한 뒤, 모의실험을 통해 4K UHD & HD 계층의 데이터가 거치형 또는 수신 속도가 매우 빠른 모바일 환경에서 원활히 수신 가능할 수 있음을 보였다.

본 논문에서 고려한 Multiple-PLP 전송 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 서로 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하여 하나의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리할 수가 없다. 하지만 거치형 수신기를 상징하는 4K UHD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기와 모바일 수신기를 상징하는 HD 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 동일하게 가져가야할 필요성은 없다. 오히려 데이터 전송 효율 면에선 4K UHD 계층 데이터의 FFT 크기는 크게 하고 보호구간을 줄이며, HD 계층 데이터의 FFT 크기는 되도록 작게 그리고 보호구간의 크기를 크게 하는 것이 좋다고 여겨진다. 이러한 가운데 최근 FEF (Future Extended Frame) 또는 DVB-T2 Lite^[7]와 같은 전송 기법들이 소개 되었고, 이러한 전송 기법들을 이용하면 다른 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 달리하여 전송할 수 있을 것으로 여겨진다. 그러므로 본 논문에서 측정된 결과를 바탕으로 FEF 기법과 같은 전송 기법들을 이용하여,

지상파 단일 채널을 통한 4K & HD 융합방송 전송 시스템에 대한 연구를 진행하도록 할 것이다.

또한 실시간 HEVC 영상 인코더의 성능이 개선되거나 비실시간 인코더를 이용한 영상을 전송할 경우 요구되는 데이터 전송률은 본 논문에서 예상하고 있는 요구 데이터 전송률보다 낮아질 것이며, 이 경우에는 각 대역폭에 대한 새로운 전송 파라미터를 도출하여 수신 성능 및 데이터 전송률을 검증해 보아야 할 것이다.

참고 문헌 (References)

- [1] J. H. Seo, B. M. Lim, H. M. Eum, H. M. Kim, and N. H. Hur, "Trend of Technology Development and Standardization for Digital," 2014 Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 29, No. 3, pp. 27-36, June 2014.
- [2] J. Kutzner, S. Pizzi, "Current Status of ATSC 3.0", 20 February 2013.
- [3] ATSC "ATSC Digital Television standard", ATSC Doc.A/53, 1995.9.5.
- [4] ETSI TS 102 427 V1.1.1, Digital audio broadcasting (DAB); Data broadcasting - MPEG-2 TS streaming, ETSI (July 2005).
- [5] ETSI TS 102 563 V1.1.1, Digital audio broadcasting (DAB); Transport of advanced audio coding audio, ETSI (February 2007).
- [6] J. G. Oh, and J. T. Kim, "A Modification of ATSC Transmission System for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting," Journal of Broadcast Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 681~696, September 2010.
- [7] Digital Video Broadcasting (DVB): Frame structure channel coding and modulation systems for a second generation digital terrestrial television broadcasting system(DVB-T2), ETSI EN 302 755 v1.3.1 2011-11
- [8] G. J. Sullivan, J. R. Ohm, W. J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard," IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology vol. 22, No. 12, pp. 1649 - 1668, December 2012.
- [9] Y. Ye, and P. Andrivon, "The Scalable Extensions of HEVC for Ultra-High-Definition Video Delivery," IEEE Multimedia, vol. 21, no. 3, pp. 58 - 64, July 2014
- [10] W. Y. Zou, Y. Wu, "COFDM: An Overview," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 41, No. 1, pp. 1-8, March 1995.
- [11] R. G. Gallager. Low Density Parity-Check Codes. MIT Press, Cambridge, MA, 1963.
- [12] A Hocquenghem, "Codes correcteurs d'erreurs," Chiffres, vol. 2, pp. 147 - 156, September 1959.
- [13] R. C. Bose, and D. K. R. Chaudhuri, "On A Class of Error Correcting Binary Group Codes," Information and Control, vol. 3, No. 1, pp. 68-79, March 1960.
- [14] ENENSY, "BENEFITS OF USING MULTIPLE PLP IN DVB-T2", [http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSY%](http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSY%20)

20Technologies%20-%20Benefits%20of%20using%20multi-
ple%20PLP%20in%20DVB-T2.pdf

- [15] J.-J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson, and P. O. Börjesson, "On channel estimation in OFDM systems," in Proc. 45th IEEE Veh. Technol. Conf., Chicago, IL, pp. 815 - 819, July 1995.

[16] McKinley S, Levine M. Cubic spline interpolation. <<http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/laproj/Fall98/SkyMeg/proj.pdf>>.

- [17] Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 102 831 v1.2.1 2012-08

저 자 소 개



오 종 규

- 2007년 : 건국대학교 전자공학과 학사과정 졸업
- 2009년 : 건국대학교 전자공학과 석사과정 졸업
- 2009년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 시스템, 채널 추정 및 등화, 동기



원 용 주

- 2014년 : 건국대학교 정보통신공학과 학사과정 졸업
- 2014년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 차세대 방송통신시스템, 통신시스템 설계



이 진 섭

- 2014년 : 건국대학교 정보통신공학과 학사과정 졸업
- 2014년 ~ 현재 : 건국대학교 정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 시스템, 디지털 시스템



김 용 환

- 1996년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 졸업(공학사)
- 1998년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)
- 2008년 8월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 졸업 (공학박사)
- 1998년 2월 ~ 1999년 3월 : 영산정보통신
- 1999년 4월 ~ 2001년 8월 : 성진씨앤씨
- 2001년 9월 ~ 현재 : 전자부품연구원
- 2014년 : 건국대학교 정보통신공학과 학사과정 졸업
- 주관심분야 : 디지털방송, 2D/3D 비디오 코딩 알고리즘 및 구현 최적화

저 자 소 개



백 종 호

- 1997년 : 중앙대학교 전기공학과 공학석사
- 2007년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학박사
- 1997년 ~ 2011년 : 전자부품연구원 모바일단말연구센터 센터장
- 2011년 ~ 현재 : 서울여자대학교 멀티미디어학과 조교수
- 주관심분야 : 차세대 방송통신시스템, 차세대 영상시스템, 소프트웨어 테스트



김 준 태

- 1990년 : 한국과학기술원 학사과정 졸업
- 1993년 : 한국과학기술원 석사과정 졸업
- 1998년 : 한국과학기술원 박사과정 졸업
- 1998년 ~ 2003년 : LG전자 DTV 연구소 책임연구원
- 2003년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학부 교수
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 융합, 위성 및 이동통신, 통신시스템 설계