정규논문 (Regular Paper)
방송공학회논문지 제20권 제2호, 2015년 3월 (JBE Vol. 20, No. 2, March 2015)
http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.2.310
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

FEF (Future Extension Frame) 다중화 기법을 이용한 지상파 단일 채널 고정 4K UHD & 이동 HD 융합방송 전송시스템 개발에 관한 연구

오 종 규[a)], 원 용 주[a)], 이 진 섭[a)], 김 준 태[a)‡]

A study of Development of Transmission Systems for Terrestrial Single Channel Fixed 4K UHD & Mobile HD Convergence Broadcasting by Employing FEF (Future Extension Frame) Multiplexing Technique

JongGyu Oh[a)], YongJu Won[a)], JinSeop Lee[a)], and JoonTae Kim[a)‡]

요 약

UHDTV (Ultra High Definition TV)와 같은 실감의 대용량 방송과 방송망과 통신망을 결합한 융합방송 (Convergence Broadcasting)에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 최근 DVB (Digital Video Broadcasting) - T2 (2nd Generation Terrestrial) 방송 전송 시스템에 채용된 Multiple-PLP (Physical layer Pipe) 다중화 및 전송 기법들과 최근 표준이 완료된 SHVC (Scalable High efficiency Video Coding) 영상 압축 기술을 채용하여, 지상파 단일 채널을 통해 4K UHD & HD 모바일 방송을 전송하는 전송시스템 개발에 관한 연구가 수행되었다. 하지만 Multiple-PLP 다중화 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 각각 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하여 하나의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레임 내의 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심벌의 크기나 보호 구간의 크기는 달리할 수가 없다. 이에 본 논문에서는 다른 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 달리하여 전송할 수 있는 FEF (Future Extension Frame) 다중화 기법을 이용한 지상파 고정 4K UHD & 이동 HD 융합 방송의 전송 가능성 및 성능을 검증해 보았다. 이를 위해 DVB-T2 지상파 방송 전송 시스템에 채용된 전송 기법들과 FEF 다중화 기법을 적용한 지상파 단일 채널 고정 4K UHD & 이동 HD 융합방송 전송시스템의 구조들을 제안하였다. 이후에는 예측 분석한 SHVC 압축 후의 데이터 전송 요구량을 바탕으로, 제안한 융합방송 전송 시스템을 통해 6 MHz & 8 MHz 대역폭에서 두 계층의 데이터를 전송할 수 있는 최적의 전송 파라메터를 도출하고, 이에 따른 TOV (Threshold of Visibility)를 찾기 위해 AWGN (Additive White Gaussian Noise), 정적 Brazil-D, 그리고 TU (Typical Urban)-6 채널 하에서 수신 성능을 검증해 보았다. 그리고 이를 통해 6MHz 및 8MHz 대역폭에서 4K UHD & HD 계층의 데이터를 고정 수신 그리고 수신 속도가 매우 빠른 이동 환경에서 원활히 수신할 수 있음을 보였다.

Abstract

In this paper, the possibility of a terrestrial fixed 4K UHD (Ultra High Definition) and mobile HD (High Definition) convergence broadcasting service through a single channel employing the FEF (Future Extension Frame) multiplexing technique in DVB (Digital Video Broadcasting)-T2 (Second Generation Terrestrial) systems is examined. The performance of such a service is also investigated. FEF multiplexing technology can be used to adjust the FFT (fast Fourier transform) and CP (cyclic prefix) size for each layer, whereas M-PLP (Multiple-Physical Layer Pipe) multiplexing technology in DVB-T2 systems cannot. The convergence broadcasting service scenario, which can provide fixed 4K UHD and mobile HD broadcasting through a single terrestrial channel, is described, and transmission requirements of the SHVC (Scalable High Efficiency Video Coding) technique are predicted. A convergence broadcasting

transmission system structure is described by employing FEF and transmission technologies in DVB-T2 systems. Optimized transmission parameters are drawn to transmit 4K UHD and HD convergence broadcasting by employing a convergence broadcasting transmission structure, and the reception performance of the optimized transmission parameters under AWGN (additive white Gaussian noise), static Brazil-D, and time-varying TU (Typical Urban)-6 channels is examined using computer simulations to find the TOV (threshold of visibility). From the results, for the 6 and 8 MHz bandwidths, reliable reception of both fixed 4K UHD and mobile HD layer data can be achieved under a static fixed and very fast fading multipath channel.

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

Ⅰ. 서 론

전 세계적인 아날로그 방송에서 디지털 방송으로의 전환이 거의 마무리 되었고, 이에 따라 Post-HD 시대를 대비하여 본격적으로 UHDTV (Ultra High Definition TV) 등 실감의 대용량 방송과 방송망과 통신망을 결합한 융합방송 (Convergence Broadcasting) 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 가운데 유럽 지상파 방송사들과 세계적

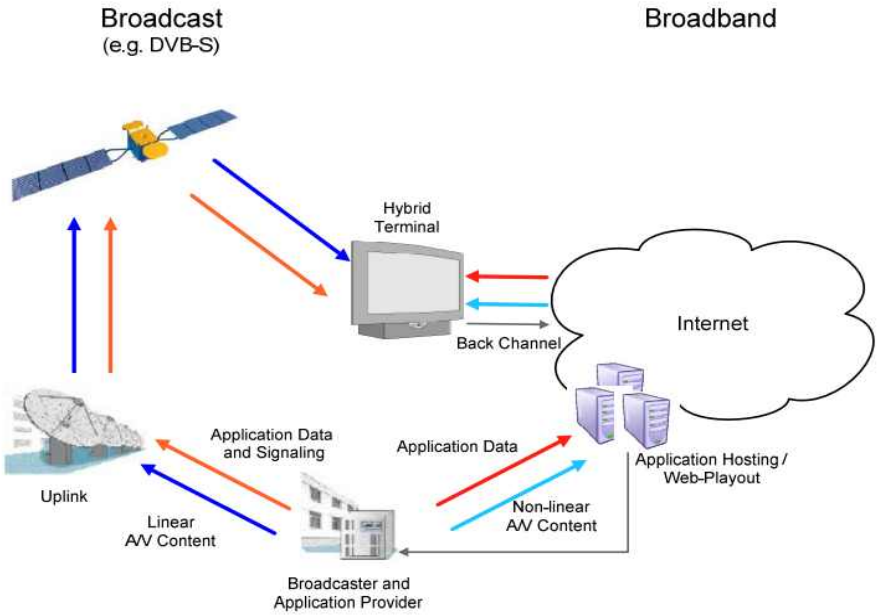

그림 1. DVB-S 위성방송전송시스템을 이용한 HbbTV 하이브리드 터미널 구성도
Fig. 1. HbbTV Hybrid Terminal System Overview with DVB-S satellite broadcasting transmission system

a) 건국대학교 전자정보통신공학과 차세대방송통신연구실(Department of Electronic Engineering, Konkuk University)
‡ Corresponding Author : 김준태(Joon Tae Kim)
E-mail: jtkim@konkuk.ac.kr
Tel: +82-2-458-9714
ORCID: 0000-0001-6953-5482
※ 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)
· Manuscript February 11, 2015; received March 30, 2015; Accepted March 30, 2015.

인 가전제품 및 셋탑 (Set-Top) 회사들이 모여 새로운 융합 방송 개발을 목표로 하는 HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband TV)가 결성되어 현재 왕성히 활동 중이다[2]-[4]. 또한 일본의 NHK 2014 Openhouse에서는 Hybridcast for 8K Super Hi-vision 서비스 시나리오를 목표로 하고 있음을 나타냈고[5], 미국의 ATSC 3.0 표준화에서는 HbbTV와 연계한 융합방송 서비스에 관련한 사항을 진행하고 있으며, 유럽 등지에서도 나라별로 융합방송에 관한 연구개발이 활발히 진행되고 있다[4][6].

HbbTV는 현재 해외에서 가장 활발히 융합방송 시스템을 개발하고 있는 단체이며, 그림 1과 같이 기존의 방송망과 통신망을 융합하여 실시간 방송을 제공함과 동시에 리턴 패스 (Return Path)를 통한 하이브리드 방송의 개발을 추구하고 있다. HbbTV에서는 새로운 기술을 개발하기 보단 시청자에게 제공하는 서비스에 초점을 맞추어 기존의 방송 및 통신 융합 콘텐츠를 결합하고, 네트워크 단의 시그널링 (Signalling) 및 사용자 어플리케이션 (Application)을 개발하여 하이브리드 융합 방송을 제공하는데 목표를 두고 있다[3]. 이러한 HbbTV의 개발 목표 및 방향으로 인해 방송사 및 장비 개발사가 넘어야 할 기술 진입 장벽이 낮아, 현재 유럽의 다수의 국가에서 HbbTV를 탑재한 상용 셋탑박스 (Set-Top Box)와 TV를 출시하여 융합방송을 시청자들에게 제공하고 있다[4]. 하지만 HbbTV는 방송망과 통신망에서 제공하는 각각의 기존 콘텐츠를 융합하여 방송을 제공한다는 점과 새로운 방송전송시스템을 개발하기보단 네트워크 단의 시그널링 및 사용자 어플리케이션의 개발한다는 점에서 한계를 가진다고 볼 수 있다.

한편 일본의 NHK 2014 Openhouse에서는 지상파 방송 채널 및 통신망을 결합하여 8K SHV 방송을 제공하는 Hybridcast for 8K Super Hi-vision 서비스 시나리오를 목표로 하고 있음을 나타내었으나[5], 전송 기술, 요구 사항, 수신 성능 등에 관한 구체적인 사항은 밝히지 않고 있으며 고정 (fixed) 방송 서비스만 고려하고 아직까진 이동 (Mobile) 방송은 고려하고 있지 않다.

하지만 이에 비해 국내에서는 그림 3과 같이 6MHz 대역폭을 통해 ATSC 8-VSB (Vestigial SideBand) 시스템[7]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 Eureak-147 시스템을 수정한 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 전송 시스템[8][9]을 이용하여 QVGA (320x240 해상도)급의 모바일 방송을 제공하고 있다. 하지만 1세대 미국향 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. 또한, 지상파 모바일 DMB 시스템의 경우 고속의 채널 환경에서의 원활한 수신 성능 등으로 인해 큰 인기를

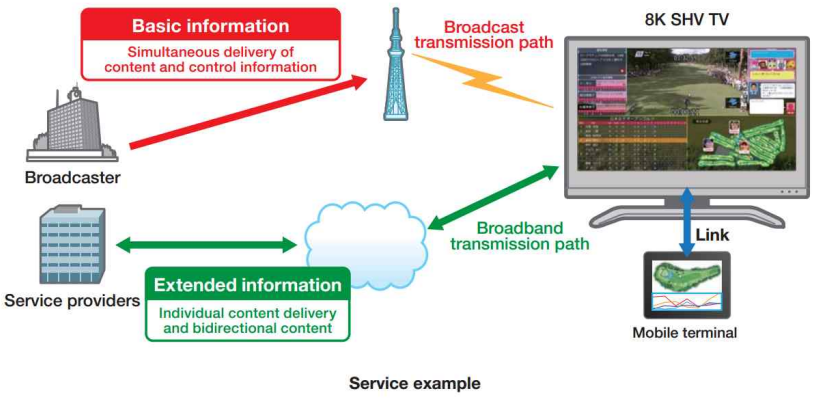

그림 2. Hybridcast for 8K Super Hi-vision 서비스 시나리오 (NHK 2014 openhouse)
Fig. 2. Hybridcast for 8K Super Hi-vision service scenario (NHK 2014 openhouse)

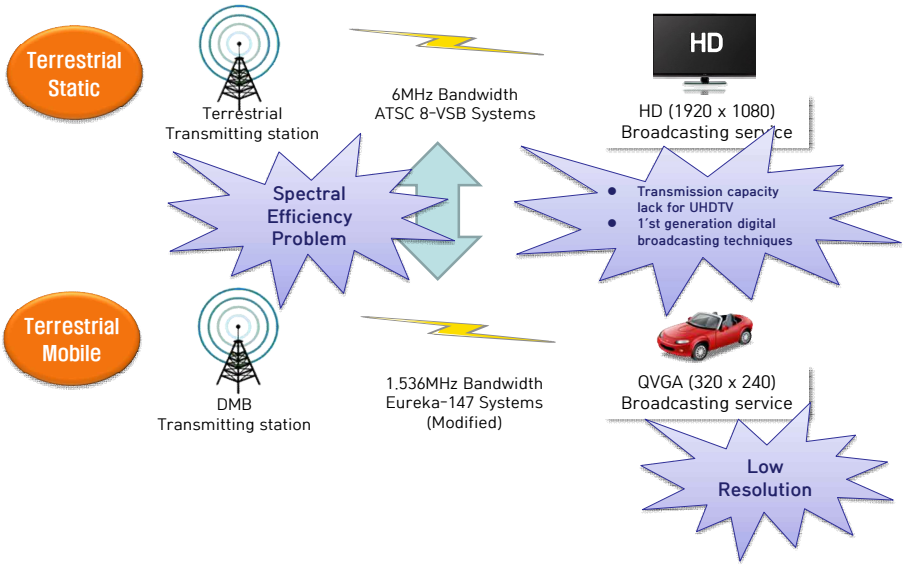

그림 3. 국내 지상파 거치형 & 모바일 디지털 방송 서비스 현황 및 문제점[10]
Fig. 3. Domestic terrestrial static & mobile digital broadcasting services, systems, and problems[10]

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. 현재 국내에선 지상파 HD 방송과 모바일 방송을 제공하기 위해 서로 별도의 대역폭을 통해 서로 다른 시스템을 이용하여 전송하고 있으며, 앞으로 이동통신사와 방송사 간의 주파수 갈등이 심화될 것으로 예상하는 가운데 별도의 대역폭 및 시스템을 이용한 지상파 방송 서비스는 주파수 효율적인 측면에서 떨어지는 단점을 가진다.

이에 최근 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 연구개발이 수행되었다[10]-[11]. 이 중 [10]에서는 DVB (Digital Video Broadcasting) - T2 (2nd Generation Terrestrial) 방송 전송 시스템[12]에 채용된 다중화 기법 및 전송 기법들과 최근 표준이 완료된 HEVC (High Efficiency Video Coding) - SHVC (Scalable HEVC) 영상 압축 기술[13][14]을 채용하여, 지상파 단일 채널을 통해 4K UHD & HD 모바일 방송을 전송하는 전송시스템 개발에 관한 연구가 수행되었다. 이에 [10]에서는 SHVC 영상 압축 기법을 채용하고 필요한 데이터 전송량을 예측 분석하였으며, 압축된 4K UHD 부가 및 HD 기본 영상 데이터를 DVB-T2 시스템에서 채용한 Multiple-PLP (Physical Layer Pipe) 기법을 이용하여 다중화 한 뒤 단일 프레임을 통해서 전송하였다. 또한 분석된 전송률 및 전송 시스템을 적용하였을 때 6MHz & 8MHz 주파수 대역폭에 적합한 최적의 전송 파라메터를 도출하고, 모의실험을 통해 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 및 TU (Typical Urban) - 6 채널에서의 전송 성능을 검증하였다.

하지만 [10]에서 고려한 Multiple-PLP 전송 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 각각 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하여 하나의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리할 수가 없다. 반면 긴 지연 경로를 가지는 정적 (static) 다중경로 채널 상황에 대응해야 하는 4K UHD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기와, 매우 빠르게 변화하는 이동 모바일 수신 상황을 상정하는 HD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 같게 가져가야 할 필요성은 없다. 또

한 수신단에서 SHVC 복호를 하는 경우, 4K UHD 계층의 데이터 보다 HD 계층의 데이터가 원활한 복호에 더 중요한 측면이 있다. 그러므로 채널 상황과 SHVC 복호의 특성을 고려할 경우, 4K UHD 계층 데이터의 FFT 크기는 크게 하고 보호구간의 비중을 줄이며, HD 계층 데이터의 FFT 크기는 되도록 작게 그리고 보호구간의 비중을 크게 하는 것이 동일하게 양 계층의 FFT & 보호구간의 크기를 가져가는 것보다 유리하다. 이러한 가운데 최근 FEF (Future Extension Frame) 다중화 기법을 이용한 DVB-T2 Lite profile[12] 전송 기법이 소개되었고, 이러한 전송 기법들을 이용하면 다른 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 달리하여 전송할 수 있는 장점을 가진다. 이에 본 논문에서는 기존 [10]에서 고려하였던 Multiple-PLP 다중화 기법 대신 FEF 기법을 채용하였을 때 지상파 4K UHD & HD 융합방송의 전송 가능성 및 성능을 검증해 보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 본 논문과 [10]에서 목표로 하는 지상파 단일 채널을 통해 고정 4K UHD 및 이동 HD 융합방송 서비스 구상도에 대해서 설명하고, 융합방송 전송을 위한 영상 압축 기술 및 전송 요구사항을 알아본다. 3장에서는 간단히 DVB-T2 지상파 방송 전송 시스템에 대해서 설명하고, FEF 다중화 기법에 대해서 살펴보다. 그리고FEF 다중화 기법을 이용한 지상파 단일 채널 고정 4K UHD & 이동 HD 융합방송 전송시스템 구조를 제안한다. 이 후 4장에서는 3장에서 제안된 융합방송 전송시스템을 이용하여 2장에서 예측 분석된 데이터 전송률을 달성할 수 있는 최적의 전송 파라메터를 도출한다.

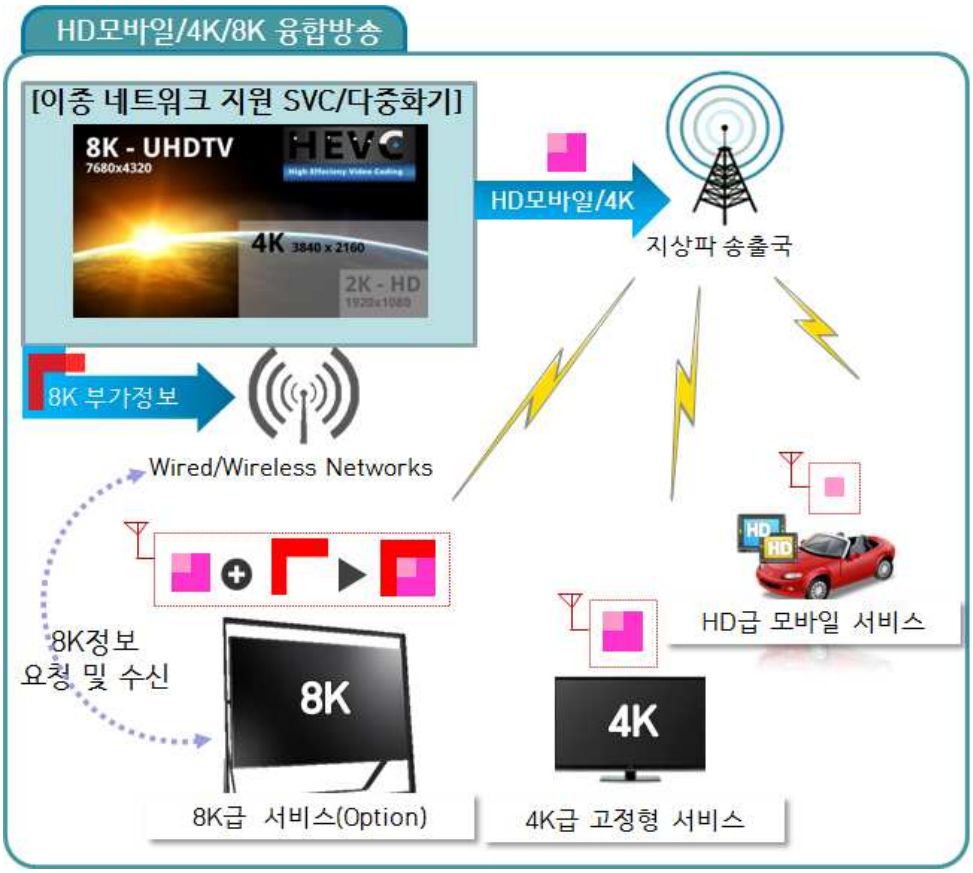

그림 4. 지상파 단일 채널을 통한 고정 4K UHD & HD 이동 융합방송 서비스 구상도
Fig. 4. Fixed 4K UHD & mobile HD convergence broadcasting service diagram through single terrestrial channel

그리고 도출된 전송 파라메터에 따른 TOV (Threshold of Visibility)를 찾기 위해, AWGN, Brazil-D, 그리고 시변 TU-6 채널에서의 융합방송 수신 성능을 모의실험을 통해서 검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 앞으로 추가 연구되어야 할 부분에 대하여 기술하며 본 논문의 끝을 맺는다.

II. 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 방송 서비스

1. 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 서비스 구상도

본 논문 및 [10]에서 목표로 하는 지상파 단일 채널을 통한 4K UHD & HD 융합방송 서비스 구상도는 그림 4와 같다. SVC (Scalable Video Coding) 영상 압축 기술을 이용하여, 8K UHD 원영상을 압축한 뒤 세 개의 계층 영상 데이터인 8K UHD 부가 (Enhanced), 4K UHD 부가 그리고 HD 기본 (Base) 영상 데이터를 취득한다. 이렇게 얻어진 계층 영상 데이터 중 4K UHD 부가 및 HD 영상 데이터를 지상파 단일 채널을 통해 방송망으로 전송한다.

고정 수신기는 4K UHD 부가 및 HD 기본 영상 데이터를 모두 수신하여 4K UHD 영상을 재생하고, 이동 수신기는 HD 기본 비디오 데이터만을 수신하여 HD 영상을 재생하게 된다. 그리고 부가적으로 통신망에 연결된 고정 수신기는 방송망을 통해서 수신한 4K UHD 부가 및 HD 기본 영상 데이터를, 통신망을 통해서 수신한 8K UHD 부가 영상 데이터와 결합해서 8K UHD 영상을 재생할 수 있다.

본 논문에서 목표로 하는 지상파 단일 채널 고정 4K UHD 및 이동 HD 융합방송 서비스가 제공되면, 서로 다른 대역폭과 전송 시스템을 통해서 제공되던 고정 HD 방송과 낮은 해상도의 이동 DMB 방송을 대신하여 그림 5에 나타

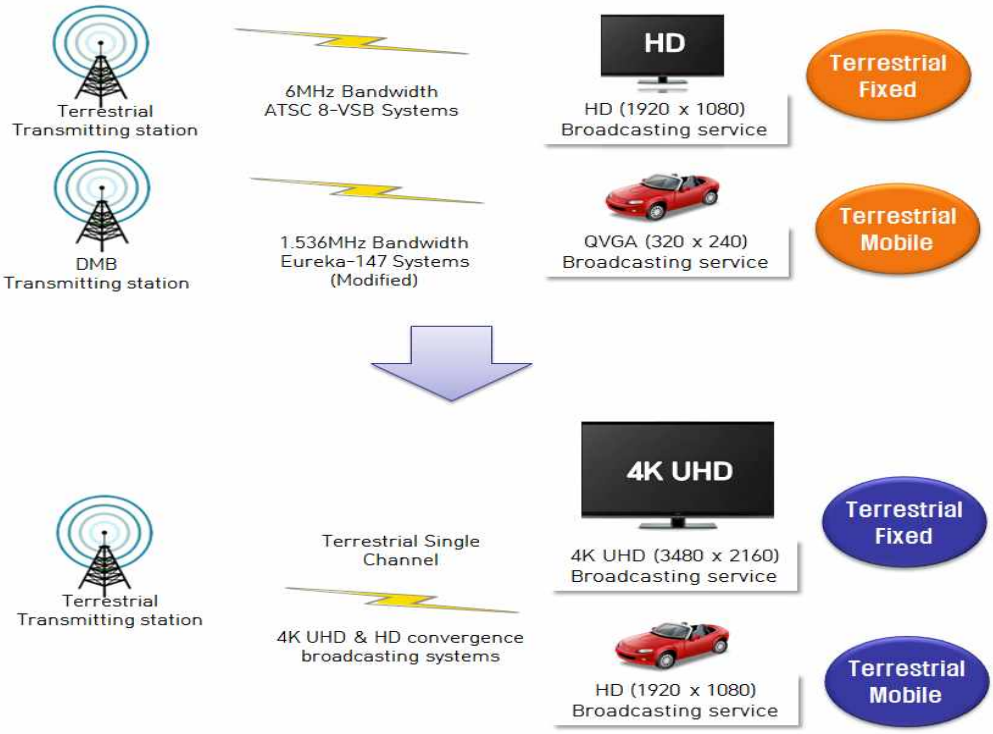

그림 5. 고정 4K UHD 및 이동 HD 융합방송 서비스 제공시 기존 고정 및 이동 방송 서비스 대체 구상도
Fig. 5. Service replacement diagram when fixed 4K UHD & mobile HD convergence broadcasting services are provided

난 바와 같이 초고해상도의 고정 4K UHD 방송과 고해상도의 HD 이동 방송 서비스를 제공할 수 있다. 또한, 본 논문에서 제시하는 융합방송 서비스를 제공하는 전송 시스템은 지상파 단일 채널을 통해서 고정 4K UHD 방송과 고해상도의 HD 이동 방송 전송하기 때문에, 주파수 효율 측면에서도 큰 이점을 가진다.

2. 융합방송 전송을 위한 영상 압축 기술 및 전송 요구 사항

앞서 설명한 지상파 4K UHD & HD 융합방송 서비스를 가능하게 하기 위해서는, SVC 영상 압축 기술을 이용하여 8K UHD 원 영상을 압축하여 세 개의 계층 영상 데이터를 취득해야하며 압축된 4K UHD 부가 및 HD 기본 영상의 데이터 전송률이 지상파 단일 채널의 대역폭을 통해서 전송할 수 있는지를 검증해 보아야 한다.

현재 SVC 기법을 채용하고 있는 H.264 영상 압축 기술은 MPEG-2 기술보다 2배 높은 압축률을 보인다고 알려져 있으나, SVC 기법의 높은 복잡도와 압축 효율 면에서 많은 문제점을 보이는 단점을 보인다[15]. HEVC (High Efficiency Video Coding) 기법은 최신의 영상 압축 기술인 H.264 기법 이후의 차세대 기술로써 표준이 최근 완료되었으며, MPEG-2 기술보다 최대 2배 높은 압축률을 보이는 H.264 기법 대비 최대 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[13][14].

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[14]. 그림 6은 SHVC 압축 기법을 설명한 그림으로, UHD 원 비디오 영상을 SHVC 기법으로 압축을 수행할 경우 두 종류의 비디오 데이터를 얻을 수 있다. 하나는 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 데이터

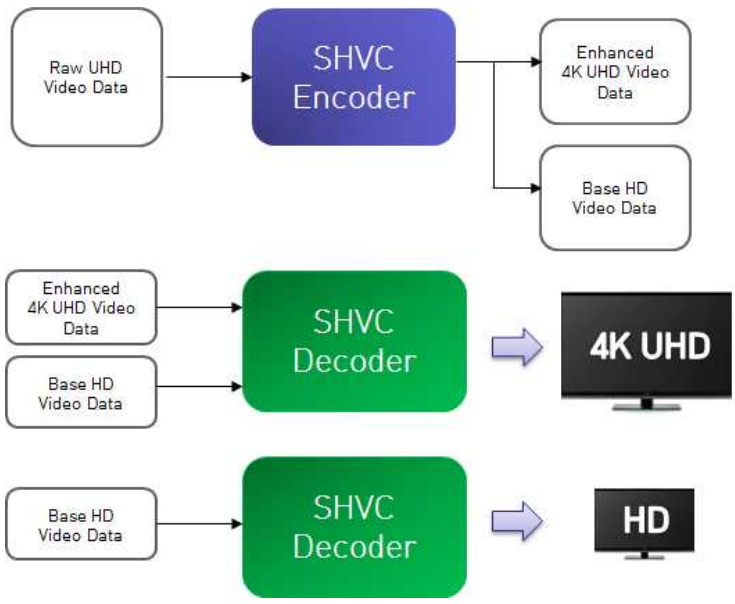

그림 6. SHVC 영상 압축 기술 개념도
Fig. 6. SHVC Encoding & Decoding technique concept diagram

만을 이용하여 UHD 영상을 재생할 수는 없다. SHVC로 압축이 된 부가적인 UHD 비디오 데이터와 HD 비디오 데이터 모두를 이용해야만 풀 UHD 영상을 재생할 수 있다.

SHVC 영상 압축 기법을 선정한 이후에는 현재의 6 & 8 MHz 지상파 대역폭을 통해서 압축된 4K UHD 및 HD 영상을 전송하기 위한 데이터 전송률을 검증해 보아야 한다. 그림 7에서 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 원 영상을 압축할 경우보다 데이터 전송률이 최대 16.5% 감소한다고 알려져 있으며[14], 평균적으로 15 % 감소한다고 알려져 있다. 즉, 단일 채널을 통한 지상파 4K UHD 및 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 실시간 HEVC 영상 인코더의 성능의 개선되거나 비실시간 인코더를 이용한 영상을 전송할 경우 또는 화질의 감소를 수용할 경우, 요구되는 데이터 전송률은 본 논문에서 예측한 것보다 낮아질 것으로 예상된다.

III. FEF (Future Extension Frame) 기법을 이용한 지상파 단일 채널 4K UHD & HD 융합방송 전송 시스템

1. DVB-T2 지상파 방송 전송 시스템

DVB (Digital Video Broadcasting) - T2 (2nd Generation Terrestrial) 시스템[12]은 1세대 디지털 지상파 방송 전송 시스템인 DVB-T 시스템에 이은 유럽향 2세대 지상파 디지털 방송 전송 시스템으로써, 2009년에 표준이 완료되어 현재

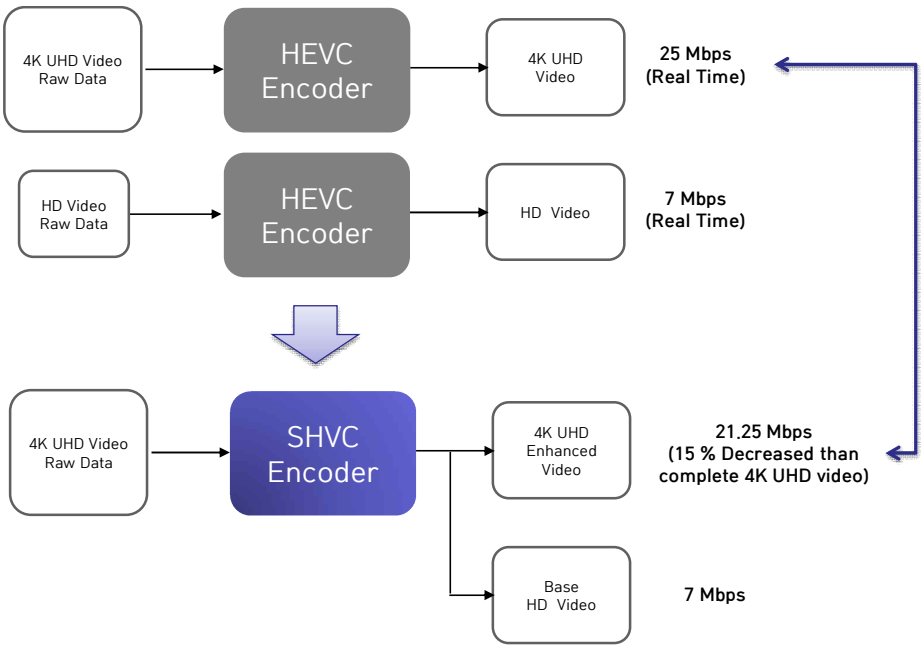

그림 7. SHVC를 이용하여 압축된 4K UHD 부가 및 HD 영상 데이터 용량
Fig. 7. Required data rate of 4K UHD & HD video by employing SHVC

유럽에서 시범 서비스 및 상용화가 한창인 최신의 지상파 디지털 방송 전송 시스템이다. 국내에서도 지상파 4K UHD 전송 시스템으로서의 가능성을 확인하기 위해 KBS를 비롯한 방송사에서 DVB-T2 시스템을 이용한 시험 방송을 실시한 바 있다[1][16].

DVB-T2 시스템은 CP (Cyclic Prefix) - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 전송 시스템으로서, 다중경로 채널에 대한 보호구간으로 CP를 이용한다[17]. <표 1>에 나타난 바와 같이 최신의 채널 부호 기법인 LDPC (Low Density Parity Check)[18] & BCH 연계 부호[19][20]를 FEC (Forward Error Correction) 기법으로 채용하고 있으며, 64,800 또는 16,200 비트의 FEC 프레임 크기를 제공한다. BCH & LDPC 연계 부호의 주파수 효율은 이론적인 한계라고 일컬어지는 섀넌 한계 (Shannon Limit)에 거의 근접하며, 현존하는 채널 부호 기법 중에서 매우 우수한 성능을 나타낸다고 알려져 있다[21]. DVB-T2 시스템에서는 QPSK, 16QAM, 64 QAM 그리고 256 QAM 변조 성상도 (Constellation)를 채용하고 있으며, DVB-T 시스템에 비해 256 QAM 변조 성상도를 새로 채용하여 데이터 전송률을 최대화하였다. 또한 비트, 셀 (Cell), 시간 및 주파수 축의 다양한 종류의 인터리빙 (Interleaving) 기법을 채용하고, 회전 성상도 변조 및 사이클릭 (Cyclic) Q 지연 기법 등을 이용하여 주파수 선택적인 다중 경로 채널에 강인하도록 고안되었다[22]. 회전 성상도 변조 기법은 성상도를 각 모드에 따라 일정 위상으로 회전 시켜서 전송하는 기법이고, 사이클릭 Q 지연 기법은 한 FEC 블록에 해당하는 셀 블록 (예: 16200 Cell = 64800 / 4 (16 QAM)) 내에서 허수 셀 값을 사이클릭 회전 시켜서 전송하는 기법이다.

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

FEC	LDPC & BCH (FEC 크기: 64800 및 16200 비트)
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 Mode	PP1~PP8 (전체 부반송파 대비 1% ~ 8% 차지)

2. FEF 다중화 기법 & DVB-T2 Lite 프로파일

[10]에서 채용한 Multiple-PLP 전송 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 각각 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하여 하나의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레

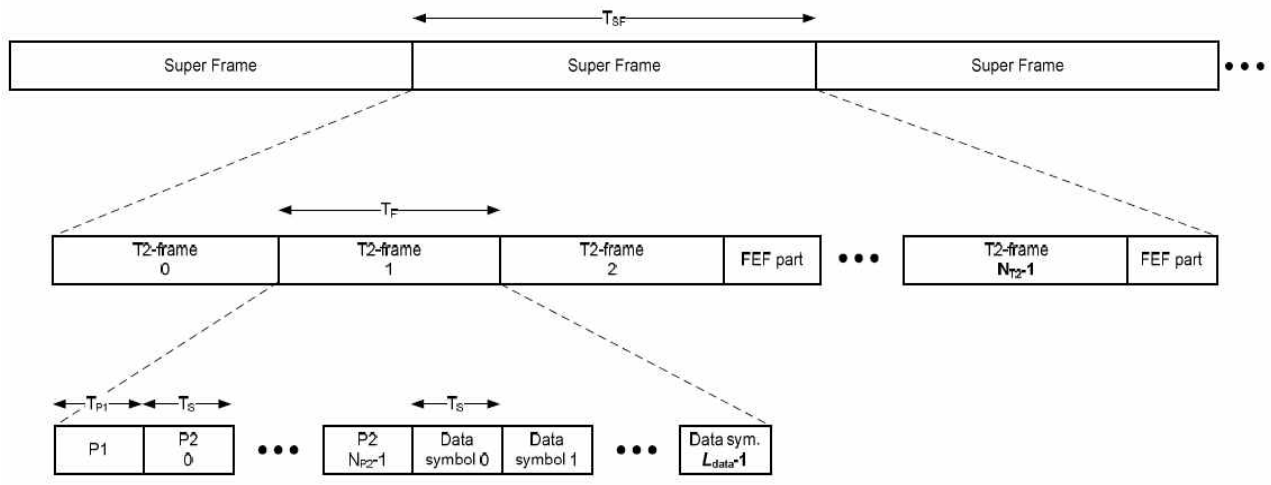

그림 8. FEF 기법을 적용한 DVB-T2 전송 프레임 구조
Fig. 8. DVB-T2 transmission frame structure employing FEF

임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리 할 수가 없다. 반면 긴 지연 경로를 가지는 정적 (static) 다중경로 채널 상황에 대응해야 하는 4K UHD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기와, 매우 빠르게 변화하는 이동 모바일 수신 상황을 상정하는 HD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 같게 가져가야 할 필요성은 없다. 또한 수신단에서 SHVC 복호를 하는 경우, 4K UHD 계층의 데이터 보다 HD 계층의 데이터가 원활한 복호에 더 중요한 측면이 있다. 그러므로 채널 상황과 SHVC 복호의 특성을 고려할 경우, 4K UHD 계층 데이터의 FFT 크기는 크게 하고 보호구간의 비중을 줄이며, HD 계층 데이터의 FFT 크기는 되도록 작게 그리고 보호구간의 비중을 크게 하는 것이 동일하게 양 계층의 FFT & 보호구간의 크기를 가져가는 것보다 유리하다. 이러한 가운데 최근 FEF (Future Extension Frame) 다중화 기법을 적용한 DVB-T2 Lite profile[12]이 소개 되었고, FEF 기법을 이용하면 다른 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 달리하여 전송할 수 있는 장점이 있다. 하지만 P1 & P2 심벌들의 빈도는 증가하기 때문에 데이터 전송 효율 면에서는 Multiple-PLP 다중화 기법에 비해 떨어지는 단점이 있다.

FEF 전송 기법은 DVB-T2 표준화 시에 향후 시스템의 확장 가능성을 열어두기 위해서 채택한 기법으로, 그림 8에 나타난바와 같이 단일 슈퍼 프레임을 주기적인 다수의 T2 프레임과 FEF 프레임으로 구성하여 전송하는 기법이다[12]. [10]에서 채택한 Mutliple-PLP 전송 기법은 단일 슈퍼프레임이 다수의 T2프레임만으로 구성이 되므로 전송 프레임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리할 수가 없는 반면, FEF 기법을 적용할 경우 T2 프레임과 FEF 프레임의 OFDM 심벌, 보호구간의 크기 및 프레임 내 OFDM 심벌의 수 등을 각각 다르게 가져갈 수 있는 장점이 있다.

2011년도에는 DVB-T2 표준에 FEF 기법을 적용한 DVB-T2 Lite 프로파일을 Annex-I로 정식 추가하여 기존의 T2 전송 사항 등을 T2-Base 프로파일로 명명하였고, 2개의 추가적인 부호율을 추가하고 FEC 프레임 크기를 16200 비트로 제한하는 등 모바일 환경에 적합하도록 고안되었다. 자세한 DVB-T2 Lite 프로파일의 사항은 아래 <표 2>과 같다.

표 2. DVB-T2 Lite 프로파일
Table 2. DVB-T2 Lite profile

FEC	LDPC & BCH, 16200 Bits Only
Channel code rate	1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4
Constellation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM
Guard Interval	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT Size	2K, 4K, 8K, 16K
Pilot Mode	PP1~PP7
Maximum T2-Lite Frame Length	1 Second (250 ms for T2-Base profile)

표 3. T2-Lite 프로파일에서의 채널 부호율과 성상도에 따른 회전 성상도 적용 유무
Table 3. Combinations of modulation, code rate for which rotated constellation may be used for data with T2-Lite profile

Channel Code rate	Constellation			
	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM
1/3	√	√	√	X
2/5	√	√	√	X
1/2	√	√	√	X
3/5	√	√	√	X
2/3	√	√	√	NA
3/4	√	√	√	NA

√ means that this combination may be used with or without constellation rotation.
X means that constellation rotation shall not be used for this combination
NA means that this combination shall not be used.

<표 3>은 T2-Lite 프로파일에서 채널 부호율과 성상도의 조합에 따른 회전 성상도 적용유무를 나타낸 표로써, 256 QAM일 경우 일부 부호율에 대한 적용을 제한하거나 혹은 조합 자체를 고려하지 않고 있음을 알 수 있다.

<표 4>는 T2-Lite 프로파일에서 FFT 및 보호구간의 크기에 따른 Scattered 파일럿 패턴을 나타낸 표이며, T2-Base 프로파일과는 다르게 PP8 패턴은 고려하지 않고 있음을 알 수 있다.

표 4. T2-Lite 프로파일에서의 FFT 및 보호구간의 크기에 따른 Scattered Pilot 패턴 조합 (SISO 전송 모드)
Table 4. Scattered pilot pattern to be used for T2-Lite for each allowed combination of FFT size and guard interval in SISO mode

FFT Size	Guard Interval						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
16K	PP7	PP6 PP7	PP4 PP5	PP2 PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
8K	PP7	PP4 PP7	PP4 PP5	PP4 PP5	PP2 PP3	PP2 PP3	PP1
4K, 2K	NA	PP4 PP7	PP4 PP5	NA	PP2 PP3	NA	PP1

* NA means that this combination shall not be used.

그림 9는 DVB T2-base 및 T2-Lite 신호로 이루어진 프레임 구조를 나타낸 그림으로, 각각의 블록은 OFDM 심벌을 나타내며 보호구간인 CP (Cyclic Prefix)는 편의상 생략하였지만 실제 전송 시엔 P1 심벌을 제외한 모든 OFDM 심벌에 추가되어 전송된다. 또한 T2-Base 프로파일의 FFT 크기는 32,768로 그리고 T2-Lite 프로파일의 FFT 크기는 2,048로 상정하였고, 하나의 T2-base 슈퍼 프레임 내 연속적인 T2-base 프레임의 수 (T2-base FEF_INTERVAL)은 3으로 그리고 하나의 T2-Lite 슈퍼 프레임 내 연속적인 T2-Lite 프레임의 수 (T2-lite FEF_INTERVAL)은 2로 상정하였다. 각각의 Base 및 Lite 슈퍼 프레임은 최소 2개 이상의 Base 또는 Lite 프레임으로 구성되며, P1 심벌은 각 전송 프레임의 맨 처음에 존재하고 FFT 크기에 상관없이 2048 X T (Elementary Period[12])의 길이를 가진다. P1 심벌 이후에는 시스템 정보를 전송하는 P2 심벌들이 각각 존재하는데 <표 5>에 따라서 T2-Base 프로파일의 FFT 크기가 32,768일 때 Base P2 심벌의 수 (Np2_base)는 1이며, T2-Lite 프로파일의 FFT 크기가 2,048일 때 Lite P2 심벌의 수

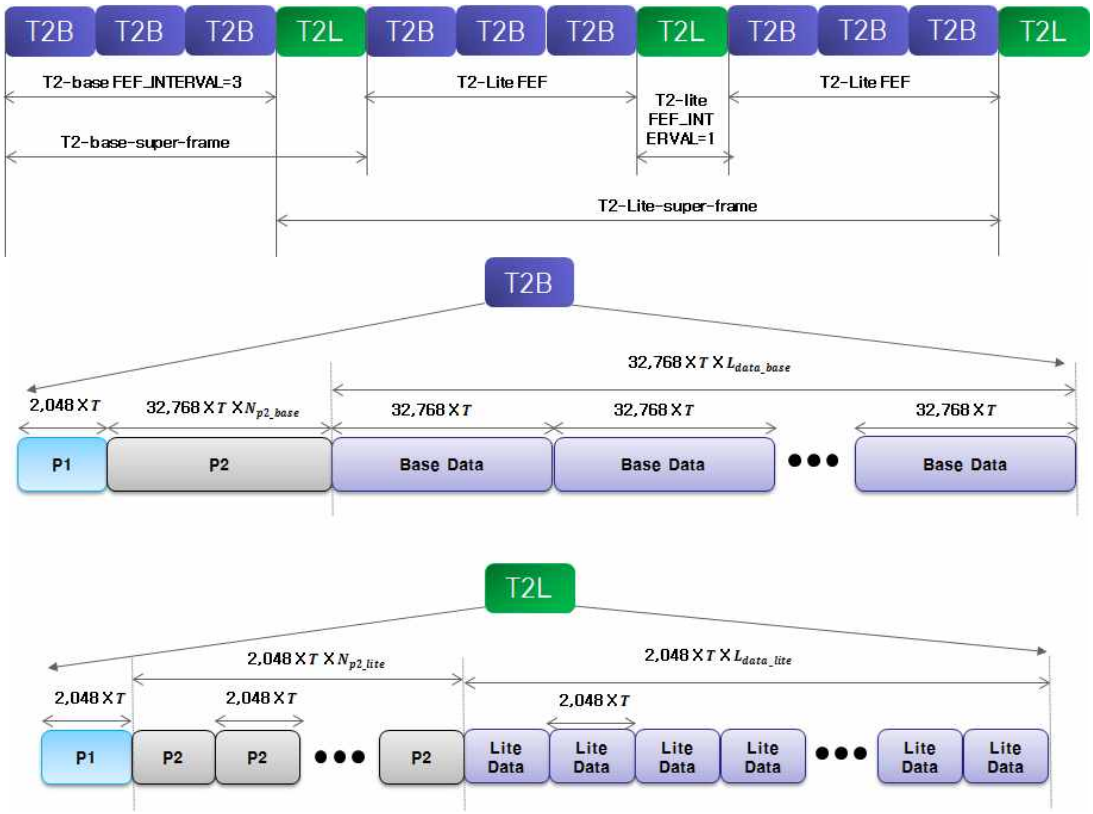

그림 9. DVB T2-base 및 T2-Lite 신호로 이루어진 프레임 구조
Fig. 9. The frame structure of DVB T2-base and T2-Lite signal

(Np2_lite)는 8이다. 이 후에는 각 프로파일에 해당하는 데이터 OFDM 심벌의 수 (Ldata_base, Ldata_lite)에 해당하는 OFDM 심벌들로 구성된다.

표 5. FFT 크기에 따른 Np2
Table 5. NP2 depend on FFT Size

FFT 크기	Np2
1,024	16
2,048	8
4,096	4
8,192	2
16,384	1
32,768	1

이러한 프레임 및 슈퍼 프레임으로 구성된 Base 및 Lite 신호를 각 수신기에서는 선택적으로 취할 수 있는데, 이는 <표 5>에 정리된 P1 심벌에 전송되는 S1 필드 정보를 통해서 취할 수 있다. 각각의 수신기는 매 전송 프레임 마다 P1 심벌을 우선적으로 복호하여, 프로파일에 맞는 프레임을 복호하여 적합한 데이터를 수신할 수 있다.

3. FEF 다중화 기법을 이용한 지상파 단일 채널 4K UHD & HD 융합방송 전송 시스템

앞서 2장에서는 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 예측 분석하였다. 하지만 [10]에 도출된 6 MHz 대역폭에서 Multiple-PLP 기법을 적용하였을 때 도출된 전송 파라메터들을 살펴보면 대역폭의 한계로 인해 FFT 크기가 8192로 고정되고 두 계층의 채널 부호율 또한 높아져 수신 성능의 열화가 일어난다. 이에 본 논문에서는 6MHz 및 8 MHz 대역폭에서 각각 다른 데이터 요구 전송률을 상정하여 전송 파라메터들을 도출하고자 한다. 다소 화질 열화나 발생하긴 하나 샘플링율, 프레임률 등을 낮추는 경우, 또는 실시간 HEVC 영상 인코더의 성능 개선이나 비실시간 인코더를 이용한 영상 전송 경우 등을 고려하여 6 MHz 대역폭에서는 [10]에서 예측 분석된 각 계층의 전송률 대비 15% 감소한 데이터 전송률을 상정하였다. 그리고 8 MHz 대역폭에서는 [10]에서 예측 분석된 전송률을 그대로 적용하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

앞서 소개한 FEF 다중화 기법, DVB-T2 시스템에 채용된 전송 기법, 그리고 SHVC 영상압축 기술을 적용한 지상파 4K UHD & HD 융합방송 전송 시스템 구조는 10과 같다. <표 7>은 제안된 융합방송 전송시스템을 위한 전송 파라메터의 예를 들고 있으며, SHVC 인코딩으로 얻은 4K UHD 부가 영상 데이터는 Base 프로파일에 따라, HD 기본

표 7. 대역폭에 따른 4K UHD 및 HD 계층 요구 데이터 전송률
Table 7. Required transmission data rate of each 4K UHD & HD layer for 6 & 8 MHz bandwidth

Bandwidth	4K UHD Layer	HD Layer
8 MHz	21.25 Mbps	7 Mbps
6 MHz	18.0625 Mbps (15% decreased than the data-rate in 8MHz)	5.95 Mbps (15% decreased than the data-rate in 8MHz)

표 6. P1 심벌에 전송되는 S1 필드 정보
Table 5. S1 Field Information which are carried by P1 symbol

S1	Preamble Format / P2 Type	Description
000	T2_SISO	The preamble is a T2-base preamble and the P2 part is transmitted in its SISO format
001	T2_MISO	The preamble is a T2-base preamble and the P2 part is transmitted in its MISO format
010	Non-T2	-
011	T2_LITE_SISO	The preamble is a preamble of a T2-Lite signal (see annex I). The P2 part is transmitted in its SISO format
100	T2_LITE_MISO	The preamble is a preamble of a T2-Lite signal (see annex I). The P2 part is transmitted in its MISO format
101 110 111	Reserved for future use	These combinations may be used for future systems, including a system containing both T2-frames and FEF parts, as well as future systems not defined in the present document

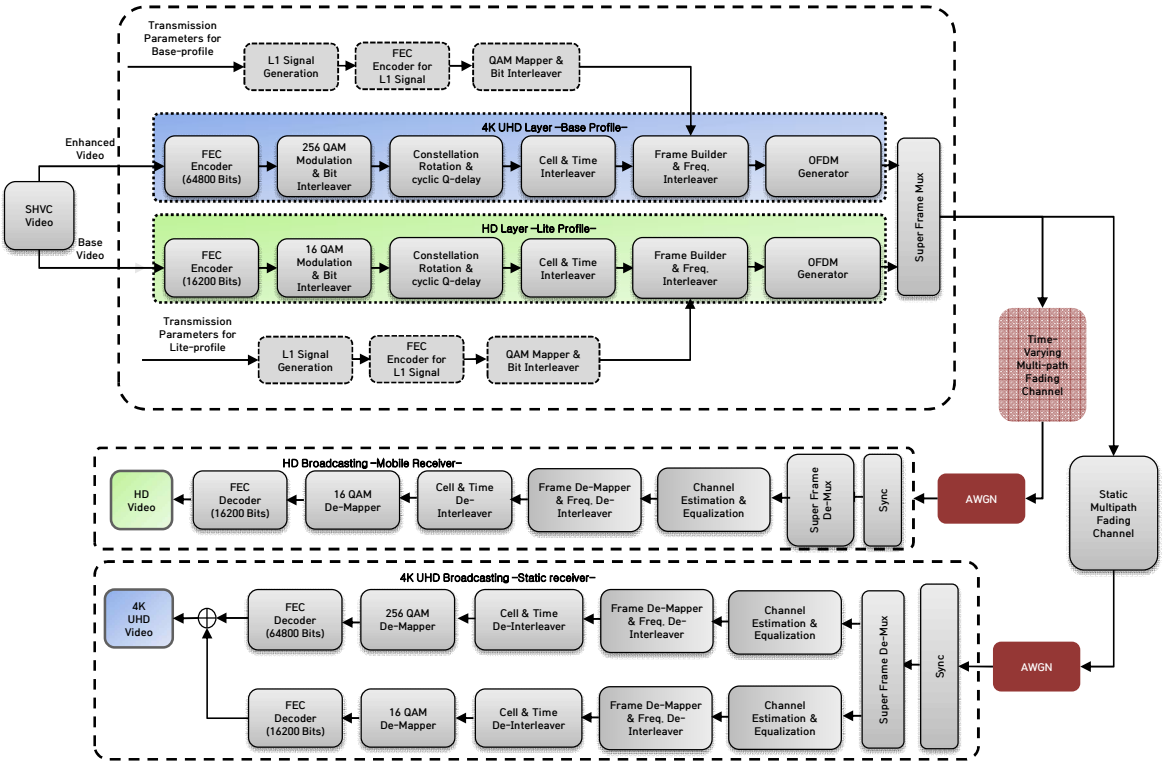

그림 10. FEF 다중화 기법을 이용한 지상파 4K UHD & HD 융합방송을 위한 전송 시스템 구조
Fig. 10. Terrestrial 4K UHD & HD convergence broadcasting transmission system structure employing FEF multiplexing technique

영상 데이터는 Lite 프로파일에 따라 각각 다른 채널 부호화, 변조, 비트 & 셀 & 시간축 인터리빙을 거친다. 그리고 각 프로파일에 따른 FFT & CP 크기, 파일럿 패턴, 한 프레임 내 데이터 OFDM 심벌의 수 등에 의해 각 계층의 데이터 및 시스템 정보가 단일 프레임으로 구성인 된다. 이 후, 각 계층의 프레임은 M-PLP 다중화 기법과는 다르게 각각의 FFT 및 보호구간의 크기에 따라 OFDM 변조가 되고 최종적으로 전송 프레임 레벨에서 슈퍼 프레임으로 다중화가 되고 단일 주파수 대역폭을 통해서 전송된다. 그림 11은 <표 7>의 전송 파라메터의 예시에 따른 융합방송 전송 시

표 7. 전송 파라메터 예시
Table 7. Transmission parameters example

	4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	19,065,495	5/6	32,768	1/128	PP7	15, 77.355 ms	3
	HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
25,093,671	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
	6,028,176	3/4	4,096	1/8	PP2	290, 197.867 ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame
** Transmission Frame Length

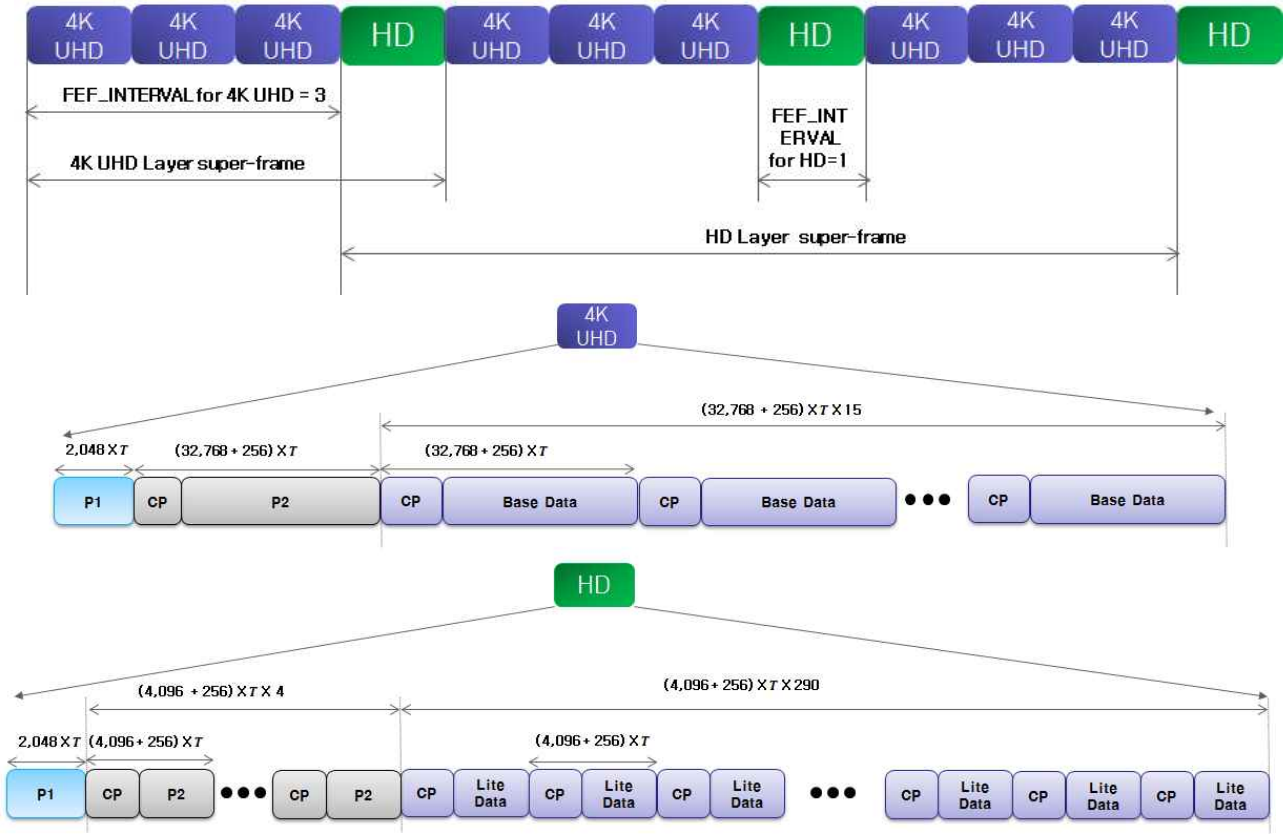

그림 11. 표 14의 전송파라메터 예시에 따른 전송 프레임 구조
Fig. 11. Transmission frame structure depend on example transmission parameter in Table 14

스템의 프레임 구조를 나타낸 그림이다.

고정 수신기는 정적 (static) 다중경로채널을 거쳐 수신된 신호를 취하여 P1 심벌을 먼저 복호한 뒤, 복호된 S1 필드 정보를 이용하여 전송 프레임을 역다중화한다. 역다중화된 각 계층의 전송 프레임들은 프로파일 (P1 & P2 심벌 내에 존재하는 시스템 정보를 이용하여 복호)에 따라 계층별로 복호가 되며, 최종적으로 얻어진 두 계층의 영상 데이터 (4K UHD 부가 및 HD 기본 영상 데이터)를 모두 이용하여 4K UHD 방송을 재생한다. 이에 반해 이동 수신기는 빠르게 변화하는 시변 다중경로 채널을 통해서 수신되는 신호를 취하여 P1 심벌을 복호한 뒤, S1 필드 정보를 이용하여 Lite 프로파일에 해당하는 전송 프레임만을 취하고 Base 프로파일에 해당하는 전송 프레임을 무시한다. 그리고 Lite 프로파일에 해당하는 전송 프레임을 복호한 뒤, 최종적으로 HD 기본 영상 데이터를 이용하여 방송을 수신한다.

IV. 최적의 전송 파라메터 도출 및 모의실험을 통한 수신 성능 측정

앞서 2장에서 예측 분석한 SHVC 압축 후의 데이터 전송 요구량을 바탕으로, 3장에서는 제안된 FEF 다중화 기법을 이용한 4K UHD 및 HD 융합방송 전송시스템을 통해 6 MHz & 8 MHz 대역폭에서 두 계층의 데이터를 전송할 수 있는 최적의 전송 파라메터를 도출하였다. 그리고 도출된 전송 파라메터에 따른 수신 성능을 AWGN (Additive White Gaussian Noise), 브라질 D 고정 채널, TU (Typical Urban)-6 하에서 검증해 보았다. 이 때, 각각의 계층의 데이

표 8. 6 MHz 대역폭에서의 전송 조건
Table 8. Transmission conditions for 6 MHz bandwidth

	4K UHD Enhanced Layer	HD Base Layer
T for 6 MHz Bandwidth	7/48 us	
Required Data Rate	18.0625 Mbps	5.95 Mbps
FEC Frame Size	64800 bits	16200 bits
Maximum Frame Length	250 ms	1 second
FEF Interval	3	1

터 전송률은 전송 프로파일 (변조 성상도, 부호율, FFT & 보호구간 크기, 파일럿 삽입 모드, FEF Interval 등), 전송 프로파일에 따른 전체 부반송파의 수, 유효 부반송파의 수, 부가 정보의 비중 등 [12]을 고려하여야 하며, 6 MHz 대역폭에서 <표 8>과 같은 전송 조건에 따라 도출된 전송 파라메터는 <표 9>와 같다. 다만, [12]에서 DVB-T2 Lite의 최대 전송률을 4 Mbps로 제한하였으나 본 논문에서는 최대 전송률을 제한하지 않았다.

4K UHD 및 HD 계층 각각의 변조 성상도는 모든 조건을 고려하였으나, 4K UHD 계층은 256 QAM 변조 방식으로 그리고 HD 계층은 16 QAM 변조 방식을 취해야만 앞서 본 논문에서 예측 분석한 요구 데이터 전송률을 달성할 수

표 9. 6MHz 대역폭에서의 도출된 최적의 전송 파라메터
Table 9. Optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth

No								
1		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	19,065,495	5/6	32,768	1/128	PP7	15, 77.3ms	3	
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	25,093,671	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
	6,028,176	3/4	4,096	1/8	PP2	290, 197.8ms	1	
2		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	18,912,877	5/6	32,768	1/128	PP7	14, 72.5ms	3	
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,996,827	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
	6,083,948	2/3	4,096	1/16	PP4	290, 186.8ms	1	
3		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	18,325,594	5/6	32,768	1/128	PP7	13, 67.6ms	3	
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,295,492	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
	5,969,898	3/5	4,096	1/32	PP7	295, 184.4ms	1	
4		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	18,161,477	5/6	32,768	1/128	PP7	17, 86.9ms	3	
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,138,097	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
	5,976,619	3/5	8,192	19/256	PP5	193, 250.5ms	1	

* Number of Data OFDM Symbols in a frame
** Transmission Frame Length

가 있었다. 4K UHD 계층에서 고려하는 채널 환경은 긴 다중경로를 가지고 고정적 (Static)인 채널환경이고 데이터 전송률을 최대로 높이기 위해, 4K UHD 계층 프로파일의 전송파라메터는 모두 FFT 크기를 가장 긴 32,768로 그리고 CP의 크기를 가장 작은 1/128, 채널 부호의 부호율을 제일 높은 5/6으로, 그리고 파일럿 패턴은 데이터 전송률이 제일 높은 PP7으로 하였다. FFT 크기가 32,768이기 때문에 CP의 크기를 1/128로 가져가더라도 보호구간의 시간축 길이는 32768 / 128 * T에 해당하는 37.33 us의 긴 보호구간을 가진다. 이에 반해, HD 계층 프로파일의 전송 파라메터는 매우 빠르게 변화하는 시변 다중경로채널에 강인하도록 작은 FFT 크기를 가지고 다중경로 채널에 대응하기 위해 다소 큰 CP 사이즈를 가지도록 하였다. 그리고 채널 부호율 또한 4K UHD 계층에 비해 낮은 채널 부호율과 파일럿이 다수 삽입되는 PP2, 4, 5패턴을 채택하였다. 4K UHD 프로파일을 위한 FEF Interval은 3로 HD 프로파일을 위한 FEF Interval 은 1로 설정하였으며, 하나의 Base 슈퍼 프레임 내에는 3개의 4K UHD 전송 프레임과 HD 전송 프레임이 연달아 존재하도록 구성된다.

각 전송 파라메터에 따른 데이터 전송률을 계산할 때는, 각 계층의 FFT 크기, 보호구간인 CP의 크기, 프레임 내 OFDM 심벌의 수, 파일럿 모드에 따라 결정되는 단일 전송 프레임 내의 전체 부반송파 및 유효 부반송파의 수와 FEF_Interval을 고려해서 계산하여야 한다. 그림 12는 <표 9>의 2번 전송 파라메터에 따른 슈퍼 프레임 및 각 계층의 전송 프레임 구조를 나타내고 있다. 각 계층의 전송 프레임내의 P1 심벌의 부반송파 개수 (K_{P1})는 FFT 크기에 상관없이 2048이며, 4K UHD 계층 전송 프레임의 FFT 크기 (K_{FFT-4K})는 32,768이고 이에 따른 P2 심벌의 개수 (N_{P2-4K})는 1이다. 보호구간인 CP로 1/128의 크기를 이용하고, 전송 프레임 내 OFDM 심벌의 개수 ($N_{data-4K}$)를 14로 설정하였으므로, 4K UHD 계층 단일 전송 프레임 내 전체 부반송파의 개수

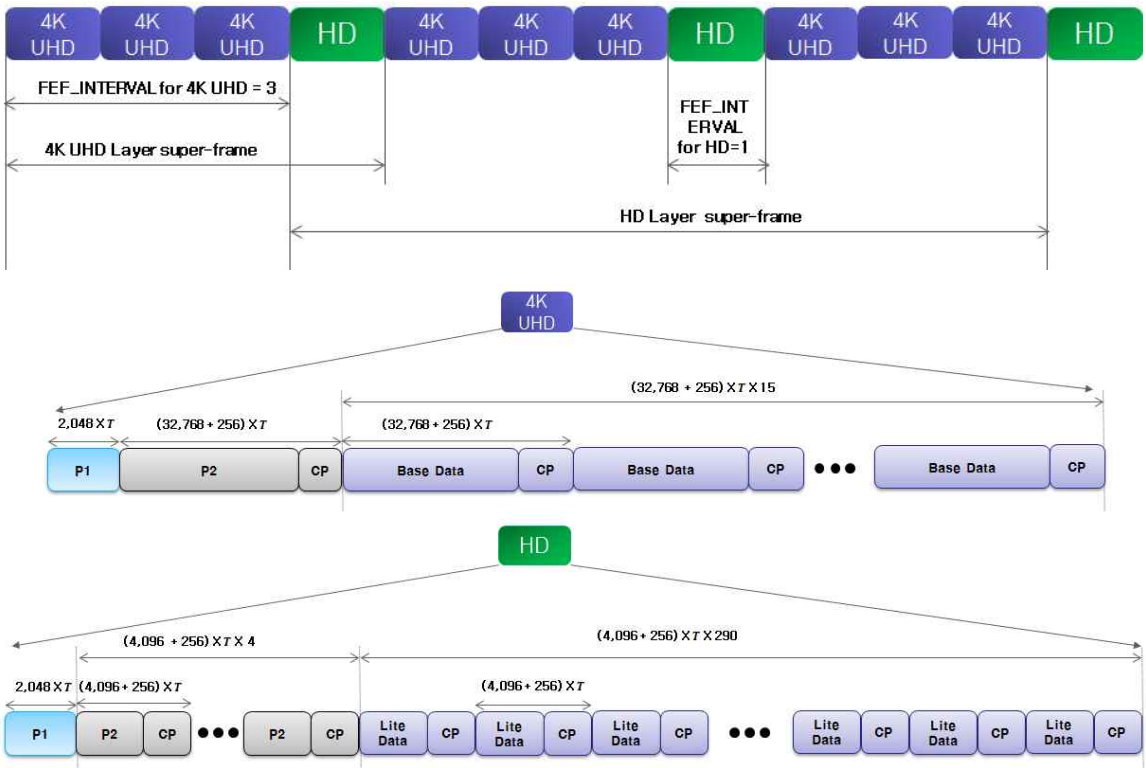

그림 12. <표 9>의 2번 전송파라메터에 따른 슈퍼 프레임 및 전송 프레임 구조
Fig. 12. Super frame & transmission frame structure depend on No. 2 transmission parameter in Table 9

($K_{frame-4K}$)는 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} & K_{frame-4K} \\ &= K_{P1} + (N_{P2-4K} + N_{Data-4K})(K_{FFT-4K} + \frac{K_{FFT-4K}}{128}) \\ &= 2048 + (1+14)(32{,}768 + \frac{32{,}768}{128}) = 497{,}408. \end{aligned} \quad (1)$$

HD 계층 전송 프레임의 경우, FFT 크기 (K_{FFT-HD})는 4,096이고 이에 따른 P2 심벌의 개수 (N_{P2-HD})는 4이며, 보호구간인 CP로 1/16의 크기를 이용하고, 전송 프레임 내 OFDM 심벌의 개수 ($N_{data-HD}$)를 290개이므로, HD 계층 단일 전송 프레임 내 전체 부반송파의 개수 ($K_{frame-HD}$)는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} & K_{frame-HD} \\ &= K_{P1} + (N_{P2-HD} + N_{Data-HD})(K_{FFT-HD} + \frac{K_{FFT-HD}}{128}) \\ &= 2048 + (4+290)(4{,}096 + \frac{4{,}096}{16}) = 1{,}281{,}536. \end{aligned} \quad (2)$$

하나의 4K UHD 계층 슈퍼 프레임 내에는 3개의 4K UHD 계층 전송 프레임과 1개의 HD 전송 계층 전송 프레임이 존재하므로, 4K UHD 계층 슈퍼 프레임 내의 전체 부반송파의 개수 (K_{SF})는 식(3)과 같고, 하나의 부반송파가 전송되는 시간인 T (Elementary Period)를 적용하여 계산하면 하나의 4K UHD 계층 슈퍼 프레임의 길이 (T_{SF})는 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} K_{SF} &= K_{frame-4K} \times 3 + K_{frame-HD} \times 1 \\ &= 497{,}408 \times 3 + 1{,}281{,}536 \times 1 \\ &= 2{,}773{,}760. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} T_{SF} &= K_{SF} \times T = 2{,}773{,}760 \times (7/48 \times 10^{-6}\,\mathrm{second}) \\ &= 404.506667\,ms. \end{aligned} \quad (4)$$

4K UHD 계층의 경우, FFT 크기와 파일럿 패턴의 조합에 따라 Frame Closing 심벌 (일반 데이터 OFDM 심벌보다 많은 파일럿을 전송하는 OFDM 심벌로써 마지막 데이터 OFDM 심벌로 전송됨)이 존재하지 않는다[13]. 그리고 파일럿 패턴이 PP7이고 확장 모드[13]를 적용하였기 때문에, 하나의 데이터 OFDM 심벌 내 유효 부반송파의 수 ($C_{data-4K}$)는 <표 10>과 같이 27,404이다. 반면 HD 계층의 경우 FFT 크기와 파일럿 패턴의 조합에 따라 Frame Closing 심벌이 존재하며, 전송 프레임 내 데이터 OFDM 심벌의 수가 290개이므로 전송 프레임 내에는 289개의 데이터 OFDM 심벌과 1개의 Frame Closing 심벌이 존재한다. 그리고 단일 데이터 OFDM 심벌 내의 유효 부반송파 ($C_{data-HD}$)의 수는 FFT 크기와 파일럿 패턴의 조합에 따라 <표 10>과 같이 3,234이며, Frame Closing 심벌 내 유효 부반송파의 수 ($C_{data\,of\,FC-HD}$)는 <표 11>과 같이 2,831이다. 그러므로 하나의 4K UHD 계층 슈퍼 프레임 내에 4K UHD 계층의 데이터를 전송하는 총 유효 부반송파의 수 ($C_{frame-4K}$)는 식(5)와 같고, HD 계층의 데이터를 전송하는 총 유효 부반송

표 10. FFT 크기와 파일럿 패턴에 따른 데이터 OFDM 심벌 당 유효 부반송파의 수 (C_{data})

Table 10. Number of active sub-carriers in a data OFDM symbol depend on FFT size and pilot pattern

FFT Size		Cdata							
		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
1K		764	768	798	804	818			
2K		1,522	1,532	1,596	1,602	1,632		1,646	
4K		3,084	3,092	3,228	3,234	3,298		3,328	
8K	Normal	6,208	6,214	6,494	6,498	6,634		6,698	6,698
	Extended	6,296	6,298	6,584	6,588	6,728		6,788	6,788
16K	Normal	12,418	12,436	12,988	13,002	13,272	13,288	13,416	13,406
	Extended	12,678	12,698	13,262	13,276	13,552	13,568	13,698	13,688
32K	Normal		24,886		26,022		26,592	26,836	26,812
	Extended		25,412		26,572		27,152	27,404	27,376

* An empty entry indicates that the corresponding combination of FFT size

표 11. FFT 크기와 파일럿 패턴에 따른 Frame Closing OFDM 심벌 당 유효 부반송파의 수 ($C_{data\,of\,FC}$)
Table 11. Number of active sub-carriers in a Frame Closing OFDM symbol depend on FFT size and pilot pattern

FFT Size		Cdata							
		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
1K		568	710	710	780	780			
2K		1,136	1,420	1,420	1,562	1,562		1,632	
4K		2,272	2,840	2,840	3,124	3,124		3,266	
8K	Normal	4,544	5,680	5,680	6,248	6,248		6,532	
	Extended	4,608	5,760	5,760	6,336	6,336		6,624	
16K	Normal	9,088	11,360	11,360	12,496	12,496	13,064	13,064	
	Extended	9,280	11,600	11,600	12,760	12,760	13,340	13,340	
32K	Normal		22,720		24,992		26,128		
	Extended		23,200		25,520		26,680		

* An empty entry indicates that frame closing symbols are never used for the corresponding combination of FFT size and pilot pattern.

파의 수 ($C_{frame-HD}$)는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} C_{frame-4K} &= C_{data-4K} \times N_{data-4K} \times 3 \\ &= 27{,}404 \times 14 \times 3 \\ &= 1{,}150{,}968. \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} & C_{frame-HD} \\ &= C_{data-HD} \times (N_{data-HD} - 1) + C_{data\,of\,FC-HD} \times 1 \\ &= 3{,}234 \times 289 + 2{,}831 \times 1 = 937{,}457. \end{aligned} \tag{6}$$

식 (3)~(6)을 통해 약 404.506667 ms 동안 4K UHD 계층의 데이터는 1,150,968개의 부반송파를 통해 전송이 되고, HD 계층의 데이터는 937,457개의 부반송파를 통해서 전송이 됨을 알 수 있다. 이를 통해 1초 동안 전송되는 4K UHD 계층의 유효 부반송파의 수 ($C_{frame-4K/\mathrm{sec}}$)는 식(7)과 같이, HD 계층의 유효 부반송파의 수 ($C_{frame-HD/\mathrm{sec}}$)는 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{frame-4K/\mathrm{sec}} &= C_{frame-4K} / T_{SF} \\ &= 1{,}150{,}968 / 0.404506667 \\ &\cong 2{,}845{,}362 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} C_{frame-HD/\mathrm{sec}} &= C_{frame-HD} / T_{SF} \\ &= 937{,}457 / 0.404506667 \\ &\cong 2{,}317{,}532 \end{aligned} \tag{8}$$

식(7)을 통해 1초 동안 약 2,845,362개의 4K UHD 계층의 유효 부반송파가 전송이 되고, 식(8)을 통해 약 2,317,532개의 HD 계층의 유효 부반송파가 전송이 됨을 알 수 있다. 이를 토대로 4K UHD 계층의 변조 성상도가 256 QAM (하나의 유효 부반송파에 8 bits를 전송), 채널 부호율은 5/6이므로 4K UHD 계층의 데이터 전송률 ($R_{4K\,UHD}$)을 계산해 보면 다음과 같다.

$$R_{4K\,UHD} = 2{,}845{,}362 \times 8 \times \frac{53840}{64800} \cong 18{,}912{,}877\,bps \tag{9}$$

또한 HD 계층의 변조 성상도가 16 QAM (하나의 유효 부반송파에 4 bits를 전송), 채널 부호율은 2/3이므로 HD 계층의 데이터 전송률 (R_{HD})을 계산해 보면 다음과 같다.

$$R_{HD} = 2{,}317{,}532 \times 4 \times \frac{10632}{16200} \cong 6{,}083{,}948\,bps \tag{10}$$

이렇게 도출된 전송 파라메터를 이용하여 다음과 같은 모의실험 환경 하에서 각각의 송수신 성능을 측정해 보았다. 이 때, 수신되는 신호 내 시스템 정보의 복호와 동기는 이상적이라고 가정하였다. 모의실험에 사용된 TU-6 채널은 <표 12>에 나타난 모델 프로파일로 구현되었으며, 각 탭의 Rayleigh 채널 모델은 [23]에 제안된 방법을 이용하였다. 또한 Brazil-D 채널 모델은 <표 18>에 나타난 모델 프로파일에 따라 구현되었다.

* 채널 환경: AWGN, Brazil-D, TU-6 채널

* Elementary Period T for 6 MHz Bandwidth: 7/48 us[12]
* 파일럿 심벌을 이용한 채널 추정 기법: Least-Square 기법[24]
* 주파수 축 채널 보간 기법: 큐빅 스플라인 (Cubic-Spline) 보간 방식[25] (보간에 이용되는 파일럿 심벌의 개수: 12)
* 시간 축 채널 보간 기법: 선형 보간 방식[26]
* 중심 주파수 (Center Frequency): 476 MHz (국내 디지털 TV 주파수 14번)

표 12. TU-6 채널 모델 프로파일 [26]
Table 12. TU-6 channel model profile

Tap Number	Delay (us)	Power (dB)	Fading Model
1	0.0	-3.0	Rayleigh
2	0.2	0.0	Rayleigh
3	0.5	-2.0	Rayleigh
4	1.6	-6.0	Rayleigh
5	2.3	-8.0	Rayleigh
6	5.0	-10.0	Rayleigh

표 13. Brazil-D 채널 모델 프로파일 [27]
Table 13. Brazil-D channel model profile

Tap Number	Delay (us)	Power (dB)	Fading Model
1	0.15	-0.1	Static
2	0.63	-3.8	Static
3	2.22	-2.6	Static
4	3.05	-1.3	Static
5	5.86	0.0	Static
6	5.93	-2.8	Static

그림 13~그림 16은 <표 9>의 전송 파라메터 1~4번에 따라 각각 고정 Brazil-D 채널에서의 4K UHD 계층의 CNR (Carrier-to-Noise ratio) 대비 BER (Bit Error Rate) 성능을, 그리고 HD 계층의 수신 속도 70Km/h, 140Km/h, 210Km/h인 TU-6 채널 하에서의 CNR 대비 BER 성능을 나타낸 그래프이다. <표 18>에서는 각각의 전송 파라메터에 따른 TOV (Threshold of Visibility) 성능을 나타내었다. TOV는 3×10^{-6}보다 작은 BER을 보이기 시작하는 CNR 값을 뜻하며[28], 원활한 방송 수신이 가능한 전송 시스템 수준에서

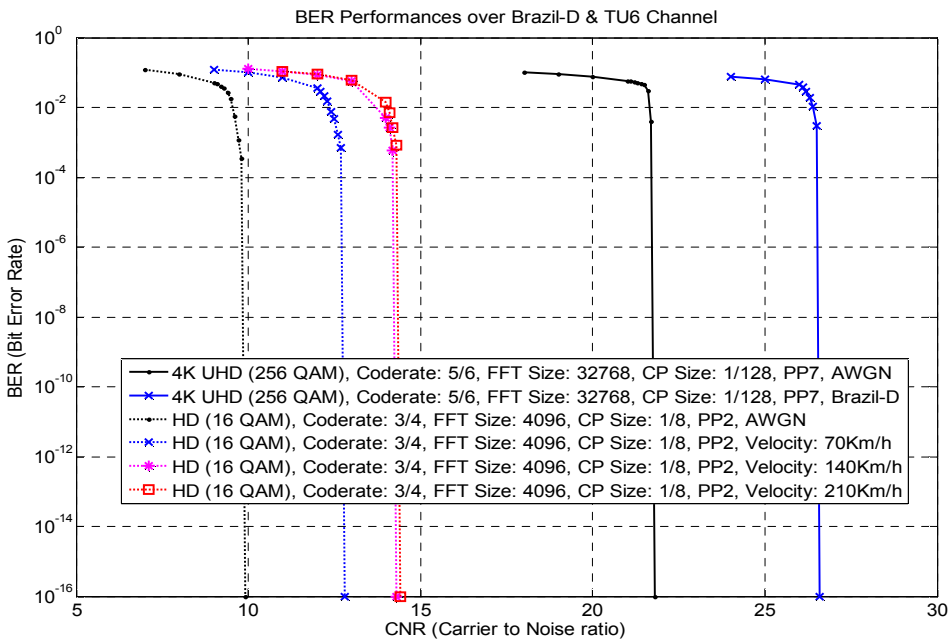

그림 13. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 1번, 6 MHz 대역폭)
Fig 13. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 1 Transmission parameter, 6 MHz bandwidth)

표 14. 6 MHz 대역폭에서의 1번 전송 파라메터
Table 14. Transmission parameters No. 1 for 6 MHz bandwidth

No								
1		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	19,065,495	19,065,495	5/6	32,768	1/128	PP7	15, 77.3ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	25,093,671	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		6,028,176	3/4	4,096	1/8	PP2	290, 197.8ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

표 15. 6 MHz 대역폭에서의 2번 전송 파라메터
Table 15. Transmission parameters No. 2 for 6 MHz bandwidth

No								
2		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	18,912,877	18,912,877	5/6	32,768	1/128	PP7	14, 72.5ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,996,827	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		6,083,948	2/3	4,096	1/16	PP4	290, 186.8ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

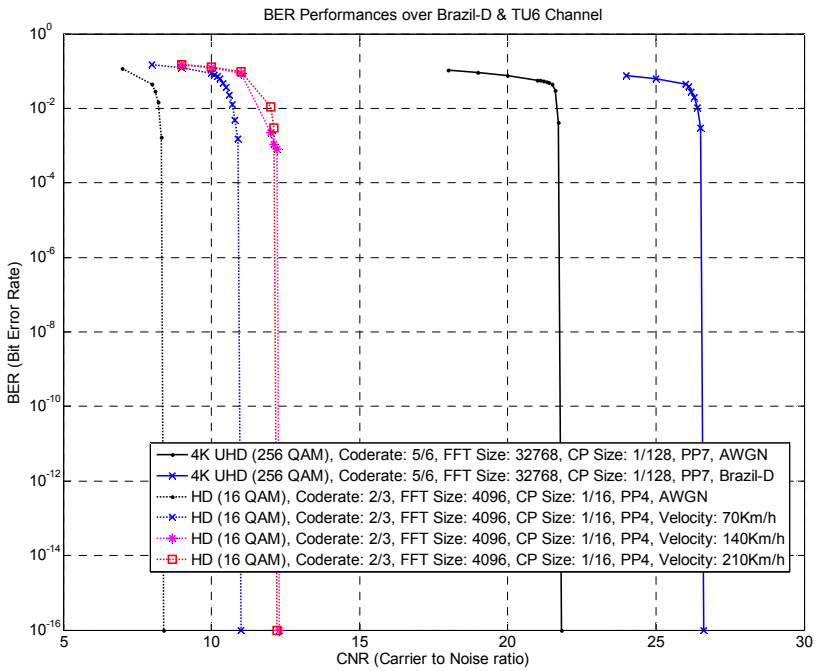

그림 14. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 2번, 6 MHz 대역폭)
Fig 14. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 2 Transmission parameter, 6 MHz bandwidth)

의 한계치를 뜻한다. 일반적인 방송 환경에서는 리턴 패스(return path)가 존재하지 않기 때문에, 수신기가 각 채널 상황에 맞는 TOV 이상의 CNR을 보일 경우, 시청자가 원활한 방송을 시청할 수 있다. 예를 들면 <표 18>의 파라메터 2번의 경우, 수신기가 210 Km/h의 속도로 움직일 경우 12.2 dB 이상의 CNR 상황에서 원활한 방송 신호를 수신할 수 있다.

표 16. 6 MHz 대역폭에서의 3번 전송 파라메터
Table 16. Transmission parameters No. 3 for 6 MHz bandwidth

No								
3		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		18,325,594	5/6	32,768	1/128	PP7	13, 67.6ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,295,492	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		5,969,898	3/5	4,096	1/32	PP7	295, 184.4ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame
** Transmission Frame Length

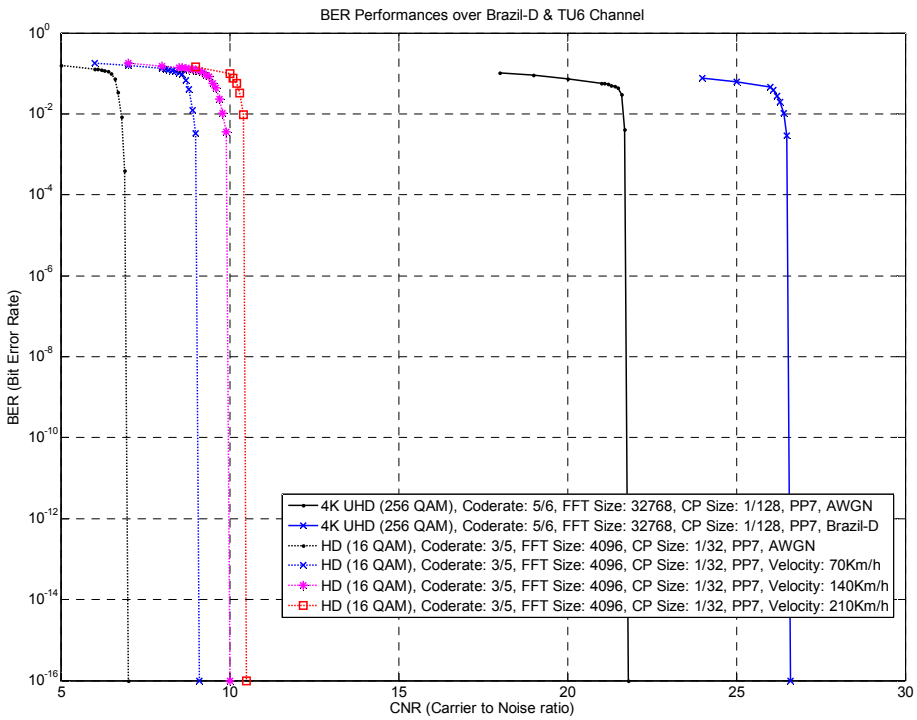

그림 15. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 3번, 6 MHz 대역폭)
Fig 15. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 3 Transmission parameter, 6 MHz bandwidth)

표 17. 6 MHz 대역폭에서의 4번 전송 파라메터
Table 17. Transmission parameters No. 4 for 6 MHz bandwidth

No								
4		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
	18,161,477	5/6	32,768	1/128	PP7	17, 86.9ms	3	
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	24,138,097	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		5,976,619	3/5	8,192	19/256	PP5	193, 250.5ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

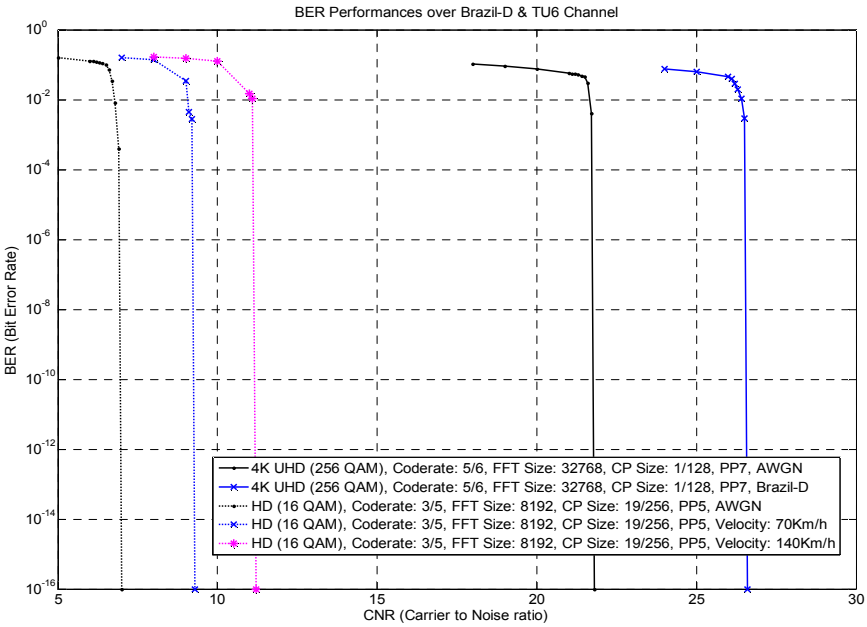

그림 20. 그림 16. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 4번, 6 MHz 대역폭)
Fig 16. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Barzil-D, TU-6, AWGN channel (No. 4 Transmission parameter, 6 MHz bandwidth)

표 18. 6 MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라메터에 따른 TOV 성능
Table 18. TOV performances of optimized transmission parameters for 6 MHz bandwidth

4K UHD Enhanced Layer				
Parameter No	AWGN		Static Brazil-D Channel	
1	21.8 dB		26.6 dB	
2	21.8 dB		26.6 dB	
3	21.8 dB		26.6 dB	
4	21.8 dB		26.6 dB	
HD Base Layer				
Parameter No	AWGN	TU-6 (70 Km/h)	TU-6 (140 Km/h)	TU-6 (210 Km/h)
1	9.9 dB	12.8 dB	14.3 dB	14.4 dB
2	8.4 dB	11.0 dB	12.3 dB	12.2 dB
3	7.0 dB	9.1 dB	10.0 dB	10.5 dB
4	7.0 dB	9.3 dB	11.2 dB	X

4K UHD 계층은 고정 Brazil-D 채널에서 26.6 dB의 TOV를 보임을 알 수 있는데, 이는 다중경로 채널로 인해 AWGN 보다 4.8 dB의 성능 열화가 발생함을 알 수 있다. 하지만 고정 Brazil-D 채널에서 목표로 하는 실내 수신(Indoor) 환경에서 무리 없는 수신이 가능할 것으로 여겨진다[27]. HD 계층의 경우 70~210Km/h의 수신 속도에서 9.1 ~ 14.4 dB에서 TOV가 형성되어 이동 환경에서 원활히 수신이 가능할 것으로 보이나, 다만 4번 전송 파라메터의 경우 8,192의 FFT 크기의 한계로 인해 채널이 매우 빠르게 변화하는 210Km/h의 TU-6 채널의 수신은 불가능하였다. 주목할 점은 3번 전송 파라메터로 FFT 크기가 4,096으로 동일한 상황에서 1번 및 2번 파라메터보다 파일럿 삽입의 빈도가 낮은 PP7으로 가져가고 채널 부호율을 낮은 3/5로 가져갈 경우 제일 좋은 성능을 보인다는 점이다.

다음으로는 주파수 대역폭을 8MHz로 상정하여 <표. 19>와 같은 전송 조건에서 파라메터를 도출해 보았다. 앞

표 19. 8MHz 대역폭에서의 전송 조건
Table 19. Transmission conditions for 8 MHz bandwidth

	4K UHD Enhanced Layer	HD Base Layer
T (Elementary Period) for 8 MHz Bandwidth	7/64 us[12]	
Required Data Rate	21.25 Mbps	7 Mbps
FEC Frame Size	64800 bits	16200 bits
Maximum Frame Length	250 ms[12]	1 second[12]
FEF Interval	3	1

표 20. 8 MHz 대역폭에서의 도출된 최적의 전송 파라메터
Table 20. Optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth

No								
1		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		21,325,164	4/5	32,768	1/128	PP7	12, 47.18ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	29,012,926	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,347,699	3/5	2,048	1/8	PP2	600, 153.4ms	1
2		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		21,994,129	4/5	32,768	1/128	PP7	14, 54.40ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	29,523,782	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,178,923	2/3	2,048	1/4	PP1	600, 170.4ms	1
3		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		22,357,368	4/5	32,768	1/128	PP7	13, 50.79ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	29,839,890	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,125,997	3/5	4,096	1/8	PP2	298, 152.4ms	1
4		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		22,369,552	4/5	32,768	1/128	PP7	14, 54.4ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	29,870,920	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,144,651	2/3	4,096	1/4	PP1	290, 164.8ms	1

서 6 MHz 대역폭에서의 전송 파라메터를 도출하기 위해 이용한 데이터 전송률은 대역폭의 한계로 인한 수신 성능 열화를 방지하고자 2장에서 예측 분석한 전송률 대비 15 % 감소한 전송률이었다. 하지만 8 MHz 대역폭에서의 전송 파라메터는 2장에서 예측 분석한 전송률을 그대로 이용하므로 고품질의 4K UHD & HD 방송 영상을 전송할 수 있다. 이에 8MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라메터는 <표. 20>에 나타내었다.

4K UHD 및 HD 계층 각각의 변조 성상도는 모든 조건을 고려하였으나, 6MHz 대역폭에서와 동일하게 4K UHD 계층은 256 QAM 변조 방식으로, HD 계층은 16 QAM 변조 방식을 취해야만 본 논문에서 예측 분석한 요구 데이터 전송률을 달성할 수가 있다. 그리고 4K UHD 계층 프로파일의 전송파라메터는 6 MHz 대역폭에서와 동일하게 FFT 크기를 가장 긴 32,768로 그리고 CP의 크기를 가장 작은 1/128로 제한하였으나, 8 MHz 대역폭의 확장으로 인해 채널 부호율을 5/6에서 4/5로 낮출 수 있다. HD 계층의 경우, 부호율을 최대 2/3으로 제한하고 파일럿 모드 또한 PP4, 5, 6, 7은 제외하였다. 도출된 전송 파라메터 1번과 2번의 경우, 확장된 대역폭으로 인해 HD 계층의 FFT 사이즈를

표 21. 8 MHz 대역폭에서의 1번 전송 파라메터
Table 21. Transmission parameters No. 1 for 8 MHz bandwidth

No								
1		4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
	Total Bit Rate (bps)	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		21,325,164	4/5	32,768	1/128	PP7	12, 47.18ms	3
		HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
	29,012,926	Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,347,699	3/5	2,048	1/8	PP2	600, 153.4ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

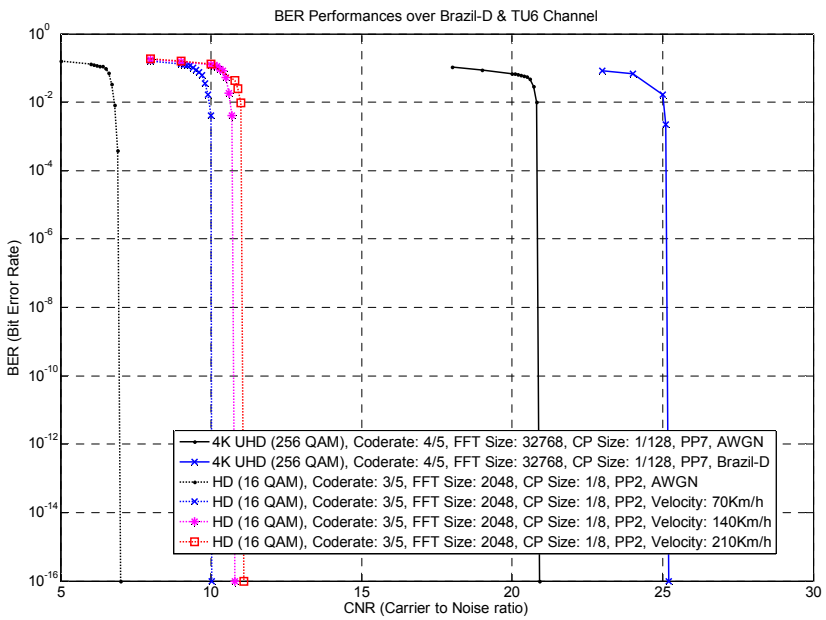

그림 17. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 1번, 8 MHz 대역폭)
Fig 17. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 1 Transmission parameter, 8 MHz bandwidth)

2048로 가져갈 수 있으며 보호구간 또한 길게 1/8과 1/4로 가져갈 수 있다. 비슷한 경향으로 도출된 전송 파라메터 3번과 4번의 경우, FFT 사이즈를 4096으로 가져갈 수 있으며 보호구간을 1/8과 1/4로 가져갈 수 있다. 전송 파라메터 1번과 3번, 그리고 2번과 4번의 경우 각각 보호구간을 줄이고 채널 부호율을 낮추거나, 채널 부호율을 올려서 보호구간을 늘렸다.

이렇게 분석된 전송 파라메터를 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, Brazil-D, TU-6 채널
* Elementary Period T for 8 MHz Bandwidth: 7/64 us[12]
* 파일럿 심벌을 이용한 채널 추정 기법: Least-Square 기법[24]
* 주파수 축 채널 보간 기법: 큐빅 스플라인 (Cubic-Spline) 보간 방식[25] (보간에 이용되는 파일럿 심벌의 개수: 12)
* 시간 축 채널 보간 기법: 선형 보간 방식[26]
* 중심 주파수 (Center Frequency): 476 MHz (국내 디지털 TV 주파수 14번)

표 22. 8 MHz 대역폭에서의 2번 전송 파라메터
Table 22. Transmission parameters No. 2 for 8 MHz bandwidth

No								
2	Total Bit Rate (bps)	4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		21,994,129	4/5	32,768	1/128	PP7	14, 54.40ms	3
	29,523,782	HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,178,923	2/3	2,048	1/4	PP1	600, 170.4ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

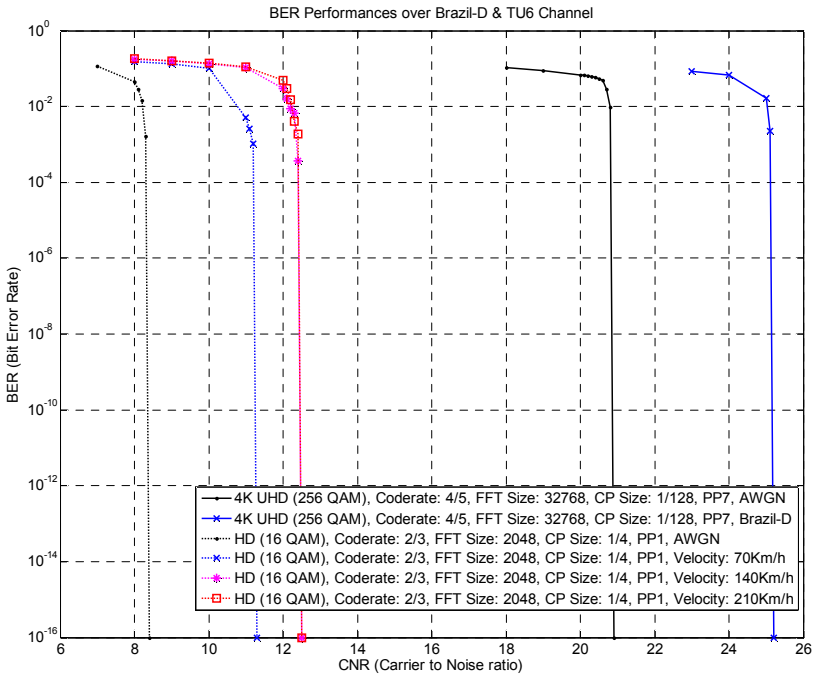

그림 18. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 2번, 8 MHz 대역폭)
Fig 18. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 2 Transmission parameter, 8 MHz bandwidth)

표 23. 8 MHz 대역폭에서의 3번 전송 파라메터
Table 23. Transmission parameters No. 3 for 8 MHz bandwidth

No								
3	Total Bit Rate (bps)	4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		22,357,368	4/5	32,768	1/128	PP7	13, 50.79ms	3
	29,839,890	HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,125,997	3/5	4,096	1/8	PP2	298, 152.4ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

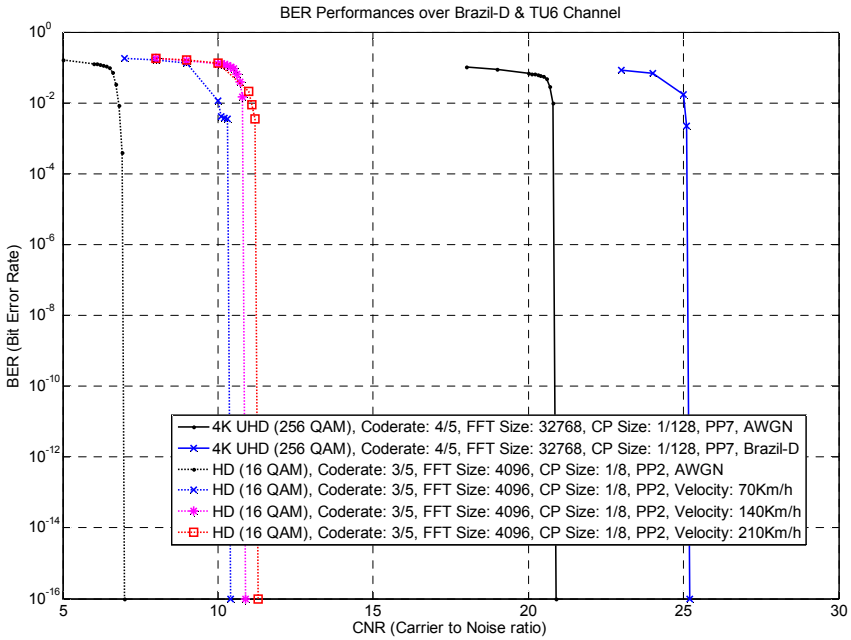

그림 19. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 3번, 8 MHz 대역폭)
Fig 19. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 3 Transmission parameter, 8 MHz bandwidth)

표 24. 8 MHz 대역폭에서의 4번 전송 파라메터
Table 24. Transmission parameters No. 4 for 8 MHz bandwidth

No								
4	Total Bit Rate (bps)	4K UHD Enhanced Layer (256 QAM) -Base Profile, Extended Mode-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for 4K UHD
		22,369,552	4/5	32,768	1/128	PP7	14, 54.4ms	3
	29,870,920	HD Base Layer (16 QAM) -Lite Profile-						
		Bit Rate (bps)	Code rate	FFT Size	CP Size	Pilot Pattern	Num. of Syms*, Frm. Len**	FEF Interval for HD
		7,144,651	2/3	4,096	1/4	PP1	290, 164.8ms	1

* Number of Data OFDM Symbols in a frame ** Transmission Frame Length

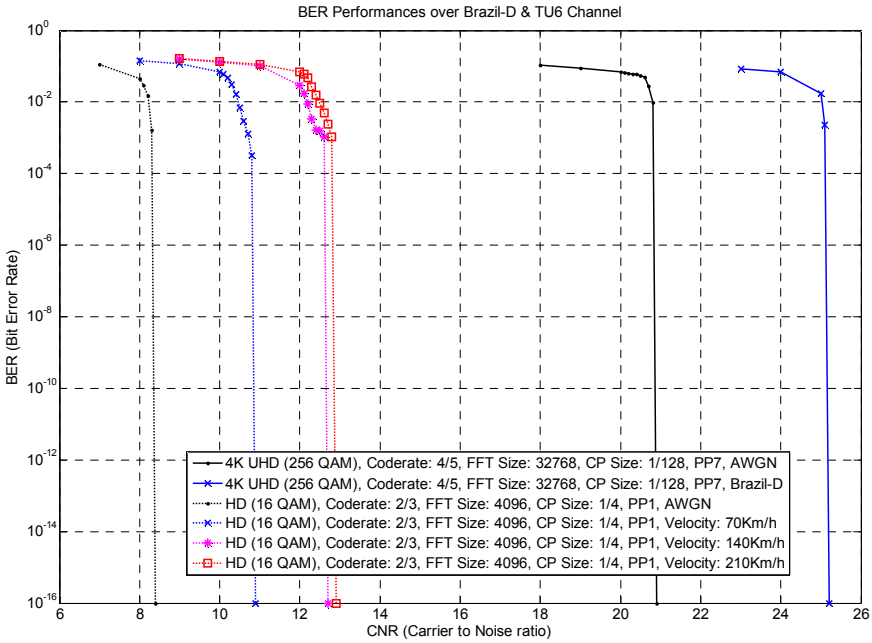

그림 20. Brazil D, TU-6, AWGN 채널에서의 4K UHD & HD 계층 BER 성능 (전송 파라메터 4번, 8 MHz 대역폭)
Fig 20. BER performances of 4K UHD & HD layer transmission under Brazil-D, TU-6, AWGN channel (No. 4 Transmission parameter, 8 MHz bandwidth)

표 25. 8 MHz 대역폭에서 도출된 전송 파라메터에 따른 TOV 성능
Table 25. TOV performances of optimized transmission parameters for 8 MHz bandwidth

4K UHD Enhanced Layer				
Parameter No	AWGN	Static Brazil-D Channel		
1	20.9 dB	25.2 dB		
2	20.9 dB	25.2 dB		
3	20.9 dB	25.2 dB		
4	20.9 dB	25.2 dB		
HD Base Layer				
Parameter No	AWGN	TU-6 (70 Km/h)	TU-6 (140 Km/h)	TU-6 (210 Km/h)
1	7.0 dB	10.1 dB	10.8 dB	11.1 dB
2	8.4 dB	11.3 dB	12.5 dB	12.5 dB
3	7.0 dB	10.4 dB	10.9 dB	11.3 dB
4	8.4 dB	10.9 dB	12.7 dB	12.9 dB

그림 17~그림 20은 <표 20>의 전송 파라메터 1~4번에 따라 각각 고정 Brazil-D 채널에서의 4K UHD 계층의 CNR 대비 BER 성능을, 그리고 HD 계층의 수신 속도 70Km/h, 140Km/h, 210Km/h인 TU-6 채널 하에서의 CNR 대비 BER 성능을 나타낸 그래프이다. <표 25>에서는 각각의 전송 파라메터에 따른 TOV 성능을 나타내었다. 4K UHD 계층의 부호율이 6MHz 대역폭에선 5/6이었던 반면, 8MHz 대역폭에서는 4/5까지 달성할 수 있었고, 고정 Brazil-D 채널에서 25.2 dB의 TOV를 보임을 알 수 있다. 그러므로 6MHz 대역폭에서와 마찬가지로 실내 수신 (Indoor) 환경에서 무리 없는 수신이 가능할 것으로 여겨진다. HD 계층의 경우, 모든 전송 파라메터에서 70Km/h부터 매우 속도가 빠른 210Km/h의 수신 속도 하에서 10.1 ~ 12.9 dB의 TOV가 형성되어 급격하게 채널이 변화하는 이동 환경에서 원활히 수신이 가능할 것으로 보인다.

V. 결론 및 향후 연구 진행 사항 및 방향

[10]에서 고려한 Mutliple-PLP 전송 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 각각 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적

용하여 하나 의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리할 수가 없다. [10]에서 채용한 Multiple-PLP 전송 기법은 서로 다른 계층의 데이터를 각각 다른 채널 부호율과 변조 성상도를 적용하여 하나의 프레임을 통해서 전송할 수 있는 반면, 프레임 내의 OFDM 심벌의 크기나 보호구간의 크기는 달리할 수가 없다. 반면 긴 지연 경로를 가지는 정적(static) 다중경로 채널 상황에 대응해야 하는 4K UHD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기와, 매우 빠르게 변화하는 이동 모바일 수신 상황을 상정하는 HD 계층 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 같게 가져가야 할 필요성은 없다. 또한 수신단에서 SHVC 복호를 하는 경우, 4K UHD 계층의 데이터 보다 HD 계층의 데이터가 원활한 복호에 더 중요한 측면이 있다. 그러므로 채널 상황과 SHVC 복호의 특성을 고려할 경우, 4K UHD 계층 데이터의 FFT 크기는 크게 하고 보호구간의 비중을 줄이며, HD 계층 데이터의 FFT 크기는 되도록 작게 그리고 보호구간의 비중을 크게 하는 것이 동일하게 양 계층의 FFT & 보호구간의 크기를 가져가는 것보다 유리하다.

이에 본 논문에서는 다른 계층의 데이터의 FFT & 보호구간의 크기를 달리하여 전송할 수 있는 FEF 다중화 기법을 이용한 지상파 고정 4K UHD & 이동 HD 융합 방송의 전송 가능성 및 성능을 검증해 보았다. 이를 위해 DVB-T2 지상파 방송 전송 시스템에 채용된 전송 기법들과 FEF 다중화 기법을 적용한 지상파 단일 채널 고정 4K UHD & 이동 HD 융합방송 전송시스템의 구조들을 제안하였다. 이후에는 예측 분석한 SHVC 압축 후의 데이터 전송 요구량을 바탕으로, 제안한 융합방송 전송 시스템을 통해 6 MHz & 8 MHz 대역폭에서 두 계층의 데이터를 전송할 수 있는 최적의 전송 파라메터를 도출하고, 이에 따른 TOV를 찾기 위해 모의실험을 통해 수신 성능을 AWGN, 정적 Barzil-D, 그리고 TU-6 채널 하에서 검증해 보았다. 그리고 검증된 TOV 성능을 바탕으로 6MHz 및 8MHz 대역폭에서 4K UHD & HD 계층의 데이터를 고정 또는 수신 속도가 매우 빠른 이동 환경에서 원활히 수신할 수 있음을 보였다.

최근 디지털 방송 및 이동 통신시스템의 대역폭의 넓어지고 이로 인해 T 또는 샘플 시간이 짧아지는 가운데, OFDM 시스템에서 필수적으로 요하는 보호구간 (또는 CP)은 일정한 시간 축 길이를 요구함에 따라 주파수 효율이 떨어지는 문제점을 보이고 있다. 이러한 가운데 최근 시간 및 주파수 축에서 잘 고안된 원형 필터 (Prototype Filter)를 채용하여 기타의 보호구간이나 CP를 필요로 하지 않는 FBMC (Filter Bank Multi Carrier) (또는 OFDM-Offset QAM) 시스템이 주목받고 있다 [29]-[30]. 그러므로 추후에는 FBMC 시스템의 변조 및 전송 기법들을 이용하여, 지상파 4K & HD 융합방송 전송의 가능성 및 수신 성능을 검증해 보는 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌 (Referecnes)

[1] J. H. Seo, B. M. Lim, H. M. Eum, H. M. Kim, and N. H. Hur, “Trend of Technology Development and Standardization for Terrestrial Digital Broadcasting,” 2014 Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 29, No. 3, pp. 27-36, June 2014.

[2] Hbbtv, “Hbbtv Homapage”, <https://www.hbbtv.org>

[3] J. P. Kim, “Standardization trends of Hybrid Broadcast and Broadband TV”, TTA Journal, No. 128, pp.95-100, March 2010.

[4] Department of Convergence Policy Studies, “Introduction Trends and Perspectives of foreign countries surrounding HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband TV)”, KCA Trends & Perspectives : Broadcasting·Communication·Radio Wave, No. 59, pp.48-60, February 2013.

[5] NHK openhouse, “Hybridcast for 8K Super Hi-Vision”, <http://www.nhk.or.jp/strl/open2014/tenji/pdf/tenji01_e.pdf>

[6] B. Hayes, “ATSC 3.0 Today, Tomorrow & Beyond”, IEEE BTSGOLD Workshop, Brasov Romania, May 2014.

[7] ATSC “ ATSC Digital Television standard”, ATSC Doc.A/53, 1995.9.5.

[8] ETSI TS 102 427 V1.1.1, Digital audio broadcasting (DAB); Data broadcasting – MPEG-2 TS streaming, ETSI (July 2005).

[9] ETSI TS 102 563 V1.1.1, Digital audio broadcasting (DAB); Transport of advanced audio coding audio, ETSI (February 2007).

[10] J. G. Oh, Y. J. Won, J. S. Lee, Y. H. Kim, J. H. Paik and J. T. Kim, “A study of development of transmission systems for next-generation terrestrial 4K UHD & HD convergence broadcasting,“ Journal of Broadcast Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 767~788, November 2014.

[11] Y. J. Shon, M. J. Cho and J. H. Paik, “Design of MMT-based Broadcasting System for UHD Video Streaming over Heterogeneous Networks,” Journal of Broadcast Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 16~25, January 2015.

[12] 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
[13] 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.
[14] 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
[15] H. Schwarz, D. Marpe and T. Wiegand, “Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard,” IEEE Trans. Circuits Syst. VideoT echnol., vol. 17, no. 9, pp. 103-120, Sep. 2007
[16] S. J. Ham, “Current state of terrestrial UHDTV experimental broadcasting,” KBS Technical Research Institute, November 2012.
[17] W. Y. Zou and Y. Wu, "COFDM: An Overview," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 41, no. 1, pp. 1-8, March 1995.
[18] R. G. Gallager. Low Density Parity-Check Codes. MIT Press, Cambridge, MA, 1963.
[19] A Hocquenghem, “Codes correcteurs d'erreurs,” Chiffres, vol. 2, pp. 147 – 156, September 1959.
[20] 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.
[21] G. Liva, W. E. Ryan and M. Chiani, “Quasi-Cyclic Generalized LDPC Codes with Low Error Floors,” IEEE Trans. Comm., vol. 56, no. 1, pp. 49-57, January 2008
[22] L. Polak, and T. Kratochvil, “Performance of the rotated constellation in DVB-T2,”in proceedings of 7th International Conference on Digital Telecommunications (ICDT 2012), Chamonix/Mont Blanc France, April 2012.
[23] S. A. Fechtel, “A Novel Approach to Modelling and Efficient Simulation of Frequency-Selective Fading Channels,” IEEE Trans. Sel. Areas Commun., vol. 11, no. 3, pp. 422-431, Apr. 1993.
[24] 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.
[25] S. McKinley, and M. Levine, “Cubic spline interpolation”, <http://online.redwoods.edu/instruct/darnold/laproj/fall98/skymeg/proj.pdf>.
[26] 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.
[27] Mackenzie, “General description of laboratory tests”, DTV Field Test Report in Brazil
[28] Y. T. Lee, S. I. Park, S. W. Kim, C. T. Ahn, and J. S. Seo, “ATSC terrestrial digital television broadcasting using single frequency networks,” ETRI Journal, vol. 26, no. 2, pp. 92 – 100, Apr. 2004.
[29] P. Siohan, C. Siclet and N. Lacaille, “Analysis and Design of OFDM/OQAM Systems Based on Filterbank Theory,”, IEEE Trans. Signal Process., vol. 50, no. 5, pp. 1170-1183, May 2002.
[30] M. Bellanger, “FBMC physical layer : a primer”, <http://www.ict-phydyas.org/teamspace/internal-folder/FBMC-Primer_06-2010.pdf>

저 자 소 개

오 종 규

- 2007년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 학사과정 졸업
- 2009년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 석사과정 졸업
- 2015년 : 건국대학교 전자정보통신공학과 박사과정 졸업
- ORCID : 0000-0003-0326-7774
- 주관심분야 : 차세대 융합방송시스템, 채널 추정 및 등화, 동기 복구, FBMC 변복조 시스템

원 용 주

- 2014년 : 건국대학교 정보통신공학과 학사과정 졸업
- 2014년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 석사과정
- ORCID : 0000-0002-9359-464X
- 주관심분야 : 차세대 방송통신시스템, FBMC 변복조 시스템

저 자 소 개

이 진 섭

- 2014년 : 건국대학교 정보통신공학과 학사과정 졸업
- 2014년 ~ 현재 : 건국대학교 정보통신공학과 석사과정
- ORCID : 0000-0003-0419-6576
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 시스템, Digital Pre-Distortion

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
- ORCID : 0000-0001-6953-5482
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 융합, 위성 및 이동통신, 통신시스템 설계