

# UHDTV 시스템을 위한 다중 반송파와 단일 반송파 기반 전송 방식의 수신 성능 비교

이 유리\*, 강인웅\*, 김형남<sup>o</sup>

## Performance Comparison of Multi-Carrier and Single-Carrier Based Transmission Techniques for UHDTV Systems

Yu-Ri Lee\*, In-Woong Kang\*, Hyoung-Nam Kim<sup>o</sup>

### 요 약

세계 여러 나라들은 향상된 방송 서비스를 제공하기 위해서 지상파 UHDTV (Ultra High Definition Television) 전송방식에 관한 연구를 진행하고 있으며, 대부분이 다중경로에 강건한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 다중 반송파 전송방식을 고려하고 있다. 일부 국가에서는 이를 기반으로 하는 DVB-T2 (Digital Video Broadcasting 2nd generation Terrestrial) 표준에 향상된 대용량 데이터 압축기술을 더해 UHDTV 실험 방송을 진행 중이다. 그러나 다중경로에 취약하다고 알려진 단일 반송파 전송방식에서도 수신기에서 주파수 영역에서 채널 등화를 수행하는 SC-FDE (Single Carrier-Frequency Domain Equalizer)를 사용하면 이러한 단점을 보완할 수 있기 때문에, 두 방식 간의 성능 차이가 미미하게 나타난다. 이를 고려해 본 논문에서는 UHDTV 방송을 위해서 고차 신호 성상을 전송하는데 다중 반송파와 단일 반송파 중 어느 방식이 적합한지에 대한 판단 근거를 제공하고자 두 방식의 수신 성능을 비교한다.

**Key Words** : UHDTV, OFDM, FDE, high-order modulate, LDPC code

### ABSTRACT

Transmission methods for terrestrial UHDTV broadcasting have been actively studied in order to provide enhanced broadcasting service in many countries. Most of the countries are considering multi-carrier transmission methods based on OFDM and some of them have performed UHDTV experimental broadcasting by using the DVB-T2 standard with the adoption of an improved data compression technique. However, since single carrier transmission methods, which are known to be susceptible to multi-path fading, could remedy this defect by using the SC-FDE method where a frequency domain equalizer is utilized in the receiver, they may achieve a similar transmission performance with multi-carrier transmission methods. In consideration of these circumstances, we compare the transmission performances of two-type methods to provide a decision criterion on a suitable transmission method for UHDTV broadcasting.

\* 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

◆ First Author : Pusan National University Department of Electrical and Computer Engineering, leeyuri@pusan.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Pusan National University Department of Electronics Engineering, hnkim@pusan.ac.kr, 종신회원

\* Pusan National University Department of Electrical and Computer Engineering, helaman88@pusan.ac.kr

논문번호 : KICS2014-04-143, Received April 29, 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

## I. 서 론

현재 세계의 대부분의 나라들이 아날로그 방송을 디지털 방송으로 전환을 완료하면서 HDTV (High Definition Television) 서비스를 제공하고 있으며, 이에 따라 시청자들의 차세대 고품질 방송 서비스에 대한 관심과 기대가 점차 증대되고 있다. 이러한 기대에 부응하여 세계 각국에서는 디스플레이 기술의 진화와 전송 기술의 고도화를 바탕으로 UHD (Ultra High Definition)급 영상 서비스를 도입하여 향상된 고품질 방송 서비스를 제공하기 위해 노력하고 있다<sup>1,2</sup>. UHDTV는 HD 해상도 (1920×1080)에 비해 최소 4배 (3840×2160), 최대 16배 (7680×4320) 더 큰 해상도를 가지는 초고화질 영상을 제공하는 방송 서비스이다<sup>2</sup>. 따라서 UHDTV 서비스를 제공하기 위해서는 매우 높은 데이터 전송속도 (data rate)를 필요로 하기 때문에 기존의 HD급 전송 방식으로는 요구되는 전송속도를 만족하기가 어렵다. 하지만 최근에 대용량 비디오 압축 방식인 HEVC (High Efficiency Video Coding)가 개발되면서, 기존의 HD급 전송 방식보다 데이터 전송속도를 2~3배 정도만 증가시키면 UHDTV 서비스 제공이 가능하다<sup>2</sup>.

현재 HDTV 서비스를 제공하는 지상파 디지털 방송 표준은 크게 ATSC (Advanced Television Systems Committee), DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial), ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting-Terrestrial), DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast)로 나뉜다. 미국 지상파 방송 표준단체인 ATSC의 데이터 전송 방식은 단일 반송파 (Single-Carrier, SC) 전송 방식을 사용하고, 다른 지상파 방송 표준의 데이터 전송 방식은 OFDM 기반의 다중 반송파 (Multi-Carrier) 전송 방식을 사용한다. OFDM 기반 전송 방식을 사용하는 지상파 방송 표준 중 DVB-T는 2008년에 256-QAM, LDPC와 같은 높은 차원의 변조 및 코딩 기술을 포함하는 DVB-T2 표준을 제정하였고, 현재 디지털 지상파 방송 표준 중 가장 높은 전송률을 제공할 수 있다. 이러한 DVB-T2의 유용성을 반영하여 국내외에서는 새로운 압축방식인 HEVC를 DVB-T2에 적용해 UHDTV 방송 실험을 진행 중이다<sup>3</sup>. SC 기반 전송 방식을 사용하는 ATSC는 2011년 말부터 2015년 완료를 목표로 HEVC 압축방식을 적용한 UHDTV를 포함하는 차세대 방송표준 (ATSC 3.0) 제정 작업을 진행 중이고, ATSC 3.0 제정 작업에서 데이터 전송 방식으로 SC 기반 전송 방식을 고수할 지 아니면 새

롭게 OFDM 기반 전송 방식을 채택할 지 그 결과가 주목되고 있는 상황이다. ATSC의 기존 SC 기반 전송 방식은 PAPR이 낮고 주파수 오프셋에 둔감하다는 장점이 있지만, 수신기에서 시간영역 등화기를 사용하고 있어 수신단의 복잡도가 비교적 크고 연산량이 많다는 단점이 있다<sup>4</sup>. 그러나 이러한 문제를 해결하기 위해서 OFDM 방식에서와 같이 주파수 영역 등화기를 사용하여 SC 기반 전송 방식의 단점을 보완할 수 있는 SC-FDE (Frequency Domain Equalizer)가 제안되었으며, 이를 적용할 경우 두 전송 방식 간의 수신단의 복잡도나 성능 등에 있어서 그 차이가 미미하게 나타난다<sup>5</sup>. 이에 따라 기존 SC 기반 전송 방식의 장점을 활용할 수 있도록, SC 기반에서 데이터 전송률을 늘리는 연구도 다각도로 진행 중이다<sup>6,7</sup>.

본 논문에서는 이러한 지상파 DTV 방송의 세계적 흐름에 맞춰 OFDM 기반 전송 방식과 SC-FDE 기반 전송 방식을 모두 고려하며, 각 전송 방식에서 신호 성상의 차수를 높여 데이터 전송속도를 증가시켰다. 그리고 채널이나 잡음에 의한 영향을 줄이기 위해 강력한 오류 정정 능력을 가진 LDPC (Low-Density Parity-Check) 채널 코딩을 사용하여, 고차 신호 성상을 적용했을 때 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 수신 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 UHDTV 서비스에 대해 살펴보고, III장에서는 기존의 HDTV 서비스를 제공하기 위해 사용되던 OFDM 기반 전송 방식과 SC의 단점을 보완하는 SC-FDE 기반 전송 방식에 관해 기술한다. IV장에서는 지상파 UHDTV 방송 서비스 전송을 위해 데이터 전송률을 증가시키기 위한 방법으로 고차 신호 성상을 적용하는 방법에 대해 설명하고, 실제로 이를 적용할 때 고려해야 할 사항에 대해 기술한다. V장에서는 UHDTV 서비스를 위한 채널 환경에서 고차 신호 성상이 적용된 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 BER 성능 차이를 분석하고, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. UHDTV 방송 서비스 기술

세계 각국에서 HDTV 방송 서비스가 상용화됨에 따라 고품질 실감 미디어 (immersive media) 방송기술에 대한 개발 필요성이 확대되어 UHDTV 방송 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 실감 미디어는 가상의 환경을 현실세계에 근접하게 재현하고자 하는 차세대 미디어로 공간의 제약을 극복하면서 현

실감과 선명함을 제공하는 미디어 정보들을 의미한다. 이러한 실감미디어는 HDTV (2K)가 제공하는 해상도보다 4배 (4K-UHD) ~ 16배 (8K-UHD) 높은 해상도의 초고화질 영상 및 10개 이상의 채널을 가지는 오디오 신호의 전송을 통해 실현이 가능하다.

디지털 영상의 화질은 해상도뿐만 아니라 화면 주사율 (refresh rate), 화소당 비트 수, 컬러 포맷에 의해 결정된다. 해상도는 디스플레이 장치에서 한 화면을 표현하는 데 사용되는 픽셀 수를 의미하며, 4K-UHD는 3840×2160, 8K-UHD는 7680×4320 크기의 화면을 가진다. 화면 주사율은 초당 화면에 나타나는 프레임 수이며, 이 값이 클수록 자연스러운 동영상상을 표현할 수 있다. 화소당 비트 수는 하나의 픽셀을 나타내는 데 사용되는 비트 수를 의미하는데, 이 값이 클수록 한 픽셀 내에서 풍부한 색을 표현할 수 있다. 일반적으로 n 개의 비트가 사용될 경우, 2n 개의 색을 표현할 수 있다. 컬러 포맷은 색을 나타내는 방법을 말하며 RGB, YUV, TCbCr 등 여러 종류가 있는데, 방송에서는 색을 나타내는 방법으로 YUV를 사용한다. ITU-R (International Telecommunication Union-Recommendations) 및 SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) 표준에 정의된 지상파 UHDTV의 주요 특징을 살펴보면, 화면 주사율은 30, 60 fps 를 사용하고, 화소당 비트 수는 8, 10, 12 bit를 가지며, 컬러 포맷은 YUV 4:2:0, 4:3:3, 4:4:4를 가진다. 기존의 HDTV와 비교하면 최소 4배 ~ 최대 96배까지 데이터양이 늘어나게 되므로<sup>[8]</sup>, 실감미디어의 제공을 위해서는 UHD급 화질을 전송할 수 있는 대용량의 전송 방식 개발이 필요하다.

일본, 미국, 유럽에서는 이미 UHDTV와 관련한 방송 기술 연구가 진행되고 있다<sup>[8]</sup>. 일본은 일본 방송 협회인 NHK (Nippon Hoso Kyokai, NHK)를 중심으로 2000년대 초반부터 UHD 방송을 위한 국제표준 제정 및 관련 장비 개발을 진행하였고, 2015년에 실험 방송을 시작할 예정이며, 2020년에는 본방송을 목표로 하고 있다. 미국은 DCI (Digital Cinema Initiative)사를 중심으로 디지털 시네마를 위한 UHD 기술개발 및 표준화를 선도하고 있다. 또한, 영국 BBC (British Broadcasting Corporation)는 2012년 런던 올림픽대회를 UHD로 촬영하여 NHK와 공동으로 UHD 방송을 위성으로 중계하였고, 지상파 UHD 기술개발을 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 우리나라 역시 지상파 UHDTV 서비스를 위한 송수신정합 표준을 개발하고 있는 중이다<sup>[8]</sup>.

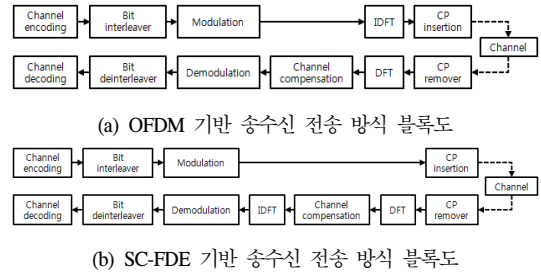


그림 1. OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식 블록도  
Fig. 1. Block diagrams of OFDM and SC-FDE based transmission system

### III. HD급 방송 서비스를 위한 기존 전송 방식

#### 3.1 OFDM 기반 전송 방식

OFDM 기반 전송 방식은 좁은 대역폭으로 분할된 부반송파에 송신 데이터들을 병렬로 삽입하여 하나의 심볼로 전송하는 방식이다<sup>[9]</sup>. OFDM 기반 전송 방식은 각 부반송파간 직교성을 유지함으로써 각 부반송파간의 간격을 최소화하여 높은 주파수 이용효율을 가진다. OFDM 기반 전송 방식은 그림 1(a)와 같은 구조를 가지며, 각 부반송파에 진폭 및 위상을 설정하고 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)하여 하나의 송신 심볼을 생성할 수 있다. IDFT로 생성된 송신 심볼은 각 심볼의 후반 몇 개 샘플과 동일한 샘플인 Cyclic Prefix(CP)를 송신 심볼의 앞부분에 삽입하는데, 이는 채널에 의해 생기는 심볼간 간섭 (Inter-Symbol Interference, ISI)을 제거하면서 부반송파간의 직교성을 유지하기 위함이다. 이후, 채널에 의해 왜곡된 신호는 수신단의 입력으로 들어오게 된다. 입력된 수신 신호는 CP를 제거한 후에 DFT (Discrete Fourier Transform)하여 단일 탭 등화기 (one-tap equalizer)로 왜곡된 신호를 보상해준다.

OFDM 기반 전송 방식은 주파수 선택적 채널 (frequency selective channel)의 영향이 각 부반송파에서 협대역 플랫 페이딩 (flat fading)의 영향과 같고, 채널의 영향은 각 부반송파 신호에 크기 (amplitude)와 위상 (phase)의 곱으로 나타난다. 따라서 OFDM은 채널 보상 시 단일 탭 등화기로 간단하게 보상이 가능하다는 장점이 있어 IEEE 802.11a, IEEE 802.16a/d, DAB/DMB, DVB-T 등의 통신 및 방송 표준에 채택되어 사용되고 있다<sup>[10]</sup>.

#### 3.2 SC 기반 전송 방식

기존의 SC 기반 전송 방식에서는 대부분의 수신기에서 시간영역 등화기를 사용하였다. SC 기반 전송

방식은 일반적으로 심볼 길이가 짧기 때문에 채널에 의한 지연 왜곡이 심할 경우에 원래의 심볼 (original symbol)에서 시간적으로 거리가 먼 심볼까지 ISI가 발생하게 된다. 이로 인해 시간 영역 등화기는 지연 정도가 길어지게 되면 탭(tab) 수가 늘어나게 되고, 왜곡이 제거된 심볼을 얻기 위한 연산량이 증가해 시스템의 복잡도와 연산 속도가 매우 증가하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 주파수 영역 등화기를 적용한 SC 기반 전송 방식인 SC-FDE 기반 전송 방식이 제안되었다<sup>11,5)</sup>.

SC-FDE 기반 전송 방식은 그림 1(b)와 같은 구조를 가진다. SC-FDE 기반 전송 방식은 기존의 SC 기반 전송 방식과 같이 하나의 반송파에 데이터를 직렬로 변조하여 신호를 전송하고, 추가적으로 OFDM 기반 전송 방식과 같이 생성된 각 심볼 블록의 앞부분에 CP를 삽입한다. 이는 ISI를 없애기 위함은 아니라, 수신측에서 주파수 영역 등화를 위해 신호와 채널의 순환 컨볼루션 (circular convolution)이 성립되도록 하기 위함이다. CP가 삽입된 신호는 채널에 의해 왜곡되어 수신단의 입력으로 들어오고, 이 신호는 CP가 제거된 후에 DFT하여 주파수 영역으로 변환되어 채널의 주파수 응답 (frequency response)의 역을 곱하여 왜곡된 채널이 보상되면 IDFT하여 다시 시간영역으로 변환된다.

SC-FDE 기반 전송 방식은 기존의 SC 기반 전송 방식과 다르게 주파수 영역에서 등화를 함으로써 기존의 시간영역 등화기와는 달리 채널의 길이가 길어져도 계산량 및 필요한 탭 개수가 크게 늘어나지 않아 알고리즘 복잡도가 낮아져 OFDM과 같이 채널 보상이 간단해진다. 그리고 OFDM과 비교해 PAPR이 더 작아 송수신 시 비선형 증폭기에 의한 측대역의 영향이 작고, 주파수 오프셋에 비교적 둔감하여 동기에 관한 수신기의 설계가 비교적 간단한 장점이 있어, 일대다 통신인 LTE (Long Term Evolution)의 상향링크 (uplink) 시스템에서 사용되고<sup>12)</sup>, 무선 브로드밴드 표준인 IEEE 802.16에서 OFDM을 대신하여 쓰이기도 한다<sup>13)</sup>.

#### IV. UHDTV 방송 서비스를 위한 고차 신호 성상

UHDTV 영상은 HD 해상도 (1920×1080)에 비해 최소 4배 (3840×2160)에서 최대 16배 (7680×4320)의 해상도를 제공한다. 따라서 UHD급 데이터 전송을 위해서는 전송속도를 크게 증가시켜야 한다. 일반적으로 송수신용 모델에서 전송속도를 증가시키기 위한

방법으로는 크게 두 가지가 있다. 하나는 주파수 대역폭 (Bandwidth)을 늘리는 방법이고, 다른 하나는 신호 성상의 차수를 증가시키는 방법이다. 그런데 국내 통신용으로 사용할 수 있는 주파수는 주파수 사용에 대한 규약에 따라 대역폭이 할당되어 있다. 방송을 위한 주파수 대역폭은 국내외에서 6 MHz 또는 8 MHz로 지정되어 있기 때문에, 실제적으로는 OFDM과 SC 기반 전송 방식 모두 주파수 대역폭을 늘릴 수 없다.

이에 반해 신호 성상의 차수를 증가시키는 방법은 심볼당 비트 수를 늘리는 방식으로 주파수 대역폭과 같은 제약 사항이 없으므로 OFDM 과 SC 기반 전송 방식에 모두 적용이 가능하다. 기존 지상파 DTV 표준의 데이터 전송속도를 살펴보면, OFDM 기반 전송 방식을 사용하는 DVB-T2는 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 변조 방식을 사용하여 약 40 Mbps의 데이터 전송속도를 가질 수 있고, SC 기반 전송 방식을 사용하는 ATSC 2.0은 8-VSB (Vestigial Side Band) 변조 방식을 사용하여 약 20 Mbps의 데이터 전송속도를 가진다. 두 DTV 표준의 영상 압축 방식은 모두 H.264/AVC MPEG-4 이다<sup>14,15)</sup>. ITU-R 및 SMPTE 표준에 의해 정해진 8K-UHDTV 서비스를 제공하기 위해서는 압축 방식을 적용하지 않을 시에 최소 12 Gbps 이상으로 데이터를 전송해야 한다<sup>8)</sup>. 기존의 압축방식인 H.264/AVC MPEG-4는 1/100의 압축률을 가지고 있어, 8K-UHD급 화질을 제공하기 위해서는 120 Mbps 이상의 데이터 전송률이 필요하기 때문에 현실적으로 구현이 어렵다. 하지만 최근 ISO/IEC MPEG과 ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group)가 협력하여 개발한 HEVC는 기존의 H.264/AVC MPEG-4 방식에 비해 압축률이 2배 더 뛰어나<sup>16)</sup> 지상파 UHDTV를 위한 압축방식으로 적용될 예정이다. 따라서 HEVC 압축 방식을 사용하는 8K-UHDTV 는 최소 60 Mbps의 데이터 전송속도가 필요하므로, 신호 성상의 차수를 증가시켜 기존 방식에 비해 데이터 전송속도를 2~3배 증가시킬 수 있다.

이렇게 신호 성상의 차수를 증가시키면 데이터 전송속도가 증가하게 되지만, 실제로 적용하기 위해서 고려해야 할 사항이 있다. 각 차수를 가지는 성상 (constellation)의 평균 에너지를 동일하게 유지하는 경우에 성상의 차수가 높을수록 성상의 신호 점들이 가까워지기 때문에 잡음에 더 민감해진다. 예를 들어, 그림 2와 같이 동일한 평균에너지를 가지는 QAM의 신호 성상을 나타냈을 때, 신호 성상의 차수가 증가할수록 신호 점들이 급격히 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 성상의 차수가 높을수록 비트 오류율

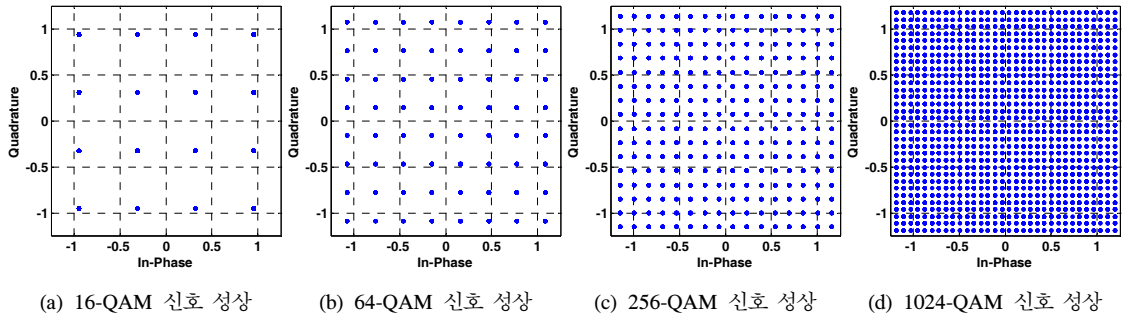


그림 2. 동일한 평균 에너지를 가지는 QAM의 신호 성상  
 Fig. 2. Constellation diagram for QAM with same average energy

(bit error rate)이 커지게 되고, 이를 방지하기 위해서는 신호의 크기를 키우거나 잡음을 줄여 높은 SNR (signal-to-noise ratio)을 확보해야 한다. 또한 방송 채널에서는 다중경로에 의한 간섭으로 인해 SC 전송 방식에서 ISI가 발생할 수 있고, OFDM 전송 방식에서 부반송파간 간섭 (Inter-Carrier Interference, ICI)이 발생할 수 있다. 이러한 간섭을 받은 수신 신호를 성상으로 나타내면, 원래 성상 (original constellation)의 주위에 퍼지는 형태가 된다<sup>[7]</sup>. 신호 성상의 차수가 높아 성상의 신호 점들이 가까이 있으면 다중 경로 간섭에 의해 주위 신호 점들의 간격이 감소하므로 수신기에서 신호를 복원하는 것이 어렵게 된다. 따라서 수신기에서는 ICI를 제거하는 기법들과 ISI를 제거하는 등화기, 그리고 강력한 오류 정정 능력을 가지는 채널 코딩이 필요하다.

## V. 모의실험을 통한 수신 성능 비교 및 분석

### 5.1 모의실험 환경

모의실험에서 사용된 채널 코딩 방식은 최대 64800 비트의 코드워드 (codeword) 길이를 가지는 LDPC (Low-Density Parity-Check) 코드이고, 부호율은 3/4을 사용하였다. 그리고 수신기에서 LLR (Log Likelihood Ratio) 값을 이용해 연관정 복호 (soft decision decoding)를 하였다. 신호 성상은 디지털 통신 시스템에서 주로 사용되는 QAM을 선택하였다. OFDM 기반 전송 방식의 DFT 크기는 현재 DVB-T2에서 사용하고 있는 크기인 4096으로 고정하였고, SC-FDE 기반 전송 방식의 CP 삽입을 위한 심볼의 블록화에서 OFDM과의 데이터 전송량을 맞추기 위해 역시 4096 개의 심볼을 하나의 블록이 되도록 고정하였다. CP 삽입 길이는 블록 하나 길이의 1/64로 약 10.67 us이다. 주파수 대역폭은 국내의 방송을 위해

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation parameters

Parameters	Specifications
Channel coding	LDPC (64800,48600) Code rate : 3/4 Decoder : LLR-based soft decision
Signal constellation	QAM
DFT length (Block length)	4096
Frequency bandwidth	6 MHz
Cyclic prefix	1/64
Channel compensation	MMSE
Channel environments	Time-invariant channels (Brazil A, Brazil C, TU-6)

지정된 주파수 대역폭과 동일한 6MHz로 고정하였으며, 이에 따라 SC-FDE의 심볼 시간은  $1/6 \approx 0.1667$  us이고, OFDM의 심볼 시간은  $4096/6 \cdot (1+1/64) \approx 0.6935$  ms이다. SC-FDE의 채널 보상 방법으로는 MMSE (Minimum Mean Square Error) 등화기를 사용하였고, 채널 추정 성능에 대한 영향을 배제하기 위하여 모든 채널 정보는 알고 있다고 가정하였다. 표 1은 모의실험 파라미터를 정리한 것이다.

지상파 UHDTV 서비스는 빠른 데이터 전송속도를 가진 송수신 방식을 필요로 한다. 일반적으로 고용량의 데이터를 송수신하는 방식은 채널이나 잡음에 의한 영향에 민감하기 때문에, 고용량의 데이터 전송과 이동성은 양립할 수 없어 지상파 UHDTV 서비스는 시분변 채널에서 송수신 방식을 개발하는 것을 목표로 한다. 따라서 모의실험에서 사용된 채널은 시분변 채널인 Brazil A, Brazil C, TU-6 채널이다. Brazil A 채널은 도시 외곽의 실외 수신 환경을 나타내는데, 표 2와 같이 부경로 (subpath) 신호의 크기가 작고 비교

표 2. Brazil A 채널의 다중경로 프로파일

Table 2. Channel profile of Brazil-A

Delay(us)	Amplitude(dB)
0.00	0
0.15	-13.8
2.22	-16.2
3.05	-14.9
5.86	-13.6
5.93	-16.4

표 3. Brazil C 채널의 다중경로 프로파일

Table 3. Channel profile of Brazil-C

Delay(us)	Amplitude(dB)
0.000	-2.8
0.089	0
0.419	-3.8
1.506	-0.1
2.322	-2.5
2.799	-1.3

표 4. TU-6 채널의 다중경로 프로파일

Table 4. Channel profile of TU-6

Delay(us)	Amplitude(dB)
0.0	-3
0.2	0
0.5	-2
1.6	-6
2.3	-8
5.0	-10

적 긴 채널 지연을 가진다. Brazil C 채널은 실내 수신 환경을 나타내며, 표 3과 같이 부경로 신호의 크기가 크고 짧은 채널 지연을 갖는다. TU-6 채널은 도심 수신 환경을 말하며, 표 4와 같이 비교적 긴 채널 지연을 가지면서 부경로 신호의 크기가 크고 Rayleigh fading을 가지는 것이 특징이다.

### 5.2 신호 성상의 차수에 따른 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 수신 성능 차이

그림 3은 TU-6 채널에서 신호 성상의 차수를 높여 가며 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 SNR에 따른 uncoded BER 성능을 나타낸 것이다. OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식은 주파수 영역에서 채널을 보상하게 되는데, OFDM 기반 전송 방식에서는 채널에 의한 null 영향이 각 부분송파의 데이터에 직접적으로 영향을 주는 반면에 SC 기반 전송 방식에서는 채널 왜곡을 보정한 후 시간 영역으로 DFT 되면서 채널에 의한 null 영향이 시간영역으로 퍼진 상태에서 수신 신호를 판별한다. 채널의 null이 비교적 작을 경

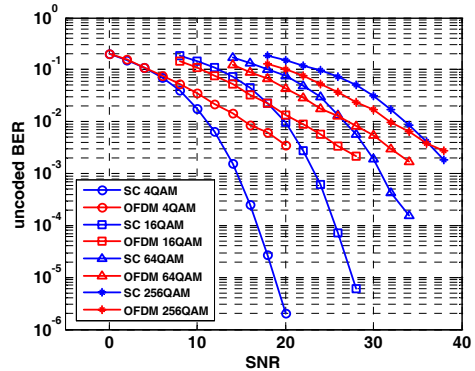


그림 3. 성상의 차수에 따른 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 uncoded BER 성능 (TU-6 채널)

Fig. 3. Uncoded BERs of OFDM and SC-FDE according to modulation depth

우, OFDM은 null이 발생하는 부분송파에서 오류가 생기게 되지만, SC-FDE는 시간 영역에서 데이터를 판별하므로 null의 영향이 퍼져 낮은 성상의 차수일 때는 심볼 간 거리가 멀기 때문에 오류가 생길 확률이 줄어들어 OFDM 기반 전송 방식에 비해 더 좋은 uncoded BER 성능을 가지게 된다<sup>5)</sup>. 하지만 신호 성상의 차수가 증가하게 되면 OFDM 기반 전송 방식의 경우에 DFT 크기가 달라지지 않으므로 채널에 의한 null 영향을 받는 부분이 크게 달라지지 않아 성능이 나빠지는 정도가 크지 않지만, SC-FDE 기반 전송 방식의 경우에는 채널에 의한 영향이 시간영역에서 전체 블록 데이터에 영향을 주게 되어 신호 성상의 차수가 증가할수록 심볼 간 거리가 좁아지게 되어 데이터 판별에 더 큰 오류가 생기게 된다. 따라서 그림 3과 같이 신호 성상의 차수가 증가할수록 SC-FDE 기반 전송 방식이 OFDM 기반 전송 방식에 비해서 성능 열화가 커지면서, 결국 256-QAM 성상일 때 OFDM과 거의 비슷한 수신 성능을 가지는 것을 볼 수 있다.

### 5.3 고차 신호 성상 적용 시 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 수신 성능 비교

본 절에서는 1024-QAM의 고차 신호 성상을 가지는 데이터를 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식을 사용해 UHD 채널을 통과시킨 후 수신된 신호의 Coded BER 성능을 확인한다. 그림 4는 AWGN 채널을 통과한 신호의 수신 성능이다. AWGN 환경에서는 다중경로 채널 (multipath fading)에 의한 왜곡이 없기 때문에 OFDM과 SC-FDE 기반 전송 방식의 성능 차이가 없다. 그림 5는 비교적 신호의 왜곡이 적게 일어나는 Brazil A 채널을 통과한 각 방식의 수신 성능을 나타

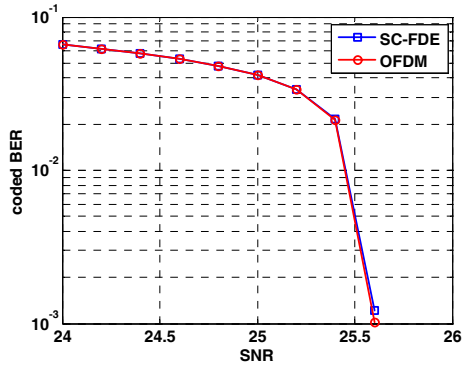


그림 4. 1024-QAM 을 사용한 SC-FDE와 OFDM 기반 전송 방식의 coded BER 성능 (AWGN 채널)  
 Fig. 4. Coded BER of SC-FDE and OFDM modulated by 1024-QAM (AWGN channel)

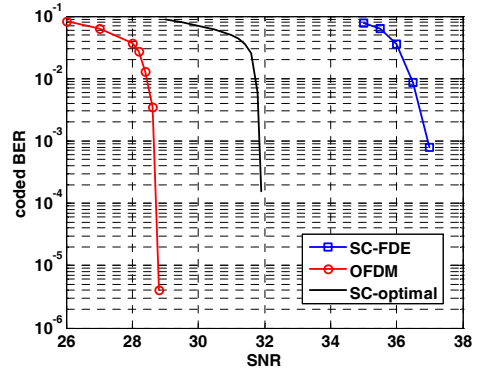


그림 6. 1024-QAM 을 사용한 SC-FDE와 OFDM 기반 전송 방식의 coded BER 성능 (Brazil C 채널)  
 Fig. 6. Coded BER of SC-FDE and OFDM modulated by 1024-QAM (Brazil C channel)

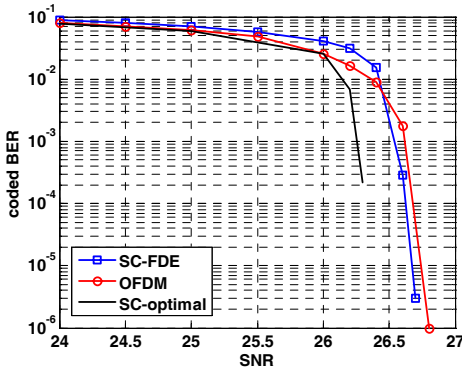


그림 5. 1024-QAM 을 사용한 SC-FDE와 OFDM 기반 전송 방식의 coded BER 성능 (Brazil A 채널)  
 Fig. 5. Coded BER of SC-FDE and OFDM modulated by 1024-QAM (Brazil A channel)

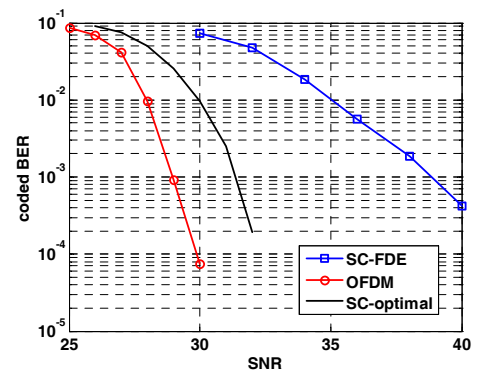


그림 7. 1024-QAM 을 사용한 SC-FDE와 OFDM 기반 전송 방식의 coded BER 성능 (TU-6 채널)  
 Fig. 7. Coded BER of SC-FDE and OFDM modulated by 1024-QAM (TU-6 channel)

낸다. 여기서 SC-optimal은 본 논문에서의 SC 기반 전송 방식의 최적 성능을 나타낸다. 이 방식은 LDPC 코드의 입력 성분으로 최적의 LLR (log-likelihood ratios)을 구하기 위하여 모든 이전 심볼들은 정확하게 판단되었다고 가정된 상태로 수신된 현재 심볼에서 채널에 의한 ISI를 제거한 후 LLR을 구하였다. 여기서 SC-optimal은 다중경로 채널에 의한 영향을 크게 받지 않아 OFDM 기반 전송 방식에 비해 약 0.3dB 정도 높은 성능을 가지지만, MMSE를 사용하여 채널을 보상해 준 SC-FDE 기반 전송 방식은 OFDM과 유사한 성능을 가짐을 볼 수 있다. 그림 6은 신호의 왜곡이 크게 일어나는 Brazil C 채널을 통과한 각 방식의 수신 성능을 나타낸 것이며, SC-optimal은 다중경로 채널에 의한 영향을 크게 받아 OFDM 기반 전송 방식에 비해 약 3.5dB 정도 낮은 성능을 가지고, MMSE를 사용하여 채널 보상을 한 SC-FDE 기반 전송

송 방식의 경우에는 약 8dB 정도 낮은 성능을 가짐을 확인할 수 있다. 그림 7은 신호의 왜곡이 크게 일어나고 채널 지연도 긴 TU-6 채널을 통과한 각 방식의 수신 성능을 나타내며, 그림 6에서와 비슷하게 SC-optimal은 다중경로 채널에 의한 영향을 받아 OFDM 기반 전송 방식에 비해 약 2dB 정도 낮은 성능을 가지고, MMSE를 사용하여 채널 보상을 한 SC-FDE 기반 전송 방식의 경우에는 약 7dB 정도 낮은 성능을 가짐을 볼 수 있다.

OFDM 기반 전송 방식은 앞서 설명했듯이 채널에 의한 null 영향을 받는 부반송파와 데이터에 오류가 생기게 되는데, 채널의 왜곡이 클수록 null이 많아져 성능이 나빠지게 되지만 그 영향은 채널에 의한 null이 나타나는 주파수에 해당하는 부반송파에 국한된다. 하지만 SC-FDE 기반 전송 방식은 주파수 영역에서 등화하게 되더라도 시간 영역으로 DFT 하여 채널의 왜

곡이 DFT 블록의 전체 데이터에 영향을 주게 된다. 1024-QAM과 같이 차수가 높을 때 심볼 간의 거리가 좁으면, OFDM의 경우에 null이 생긴 부분만 영향을 받는 반면 SC-FDE의 경우에는 DFT 블록의 전체 데이터가 영향을 받아 채널 왜곡이 클수록 오류가 발생하는 데이터가 많아지게 된다. 그리고 OFDM은 채널 보상을 한 후에 왜곡이 일어난 부반송파의 신호들과 왜곡이 없는 부반송파의 신호들이 LDPC 채널 디코딩을 거치면서 비교적 많은 오류들이 정정되었다. SC-FDE는 채널 보상을 한 후에 null의 영향이 작은 경우에는 DFT 블록 전체적으로 심볼 간 거리에 비해 왜곡이 작아 LDPC 채널 디코딩을 거치면서 오류 정정이 잘 되었지만, null의 영향이 크다면 DFT 블록 전체적으로 심볼 간 거리에 비해 왜곡이 커져 LDPC 채널 디코딩을 거쳐도 오류 정정 정도가 크지 않았다. 이러한 이유로 고차 성상의 신호를 보낼 때 신호의 왜곡이 크게 나타나는 Brazil C 채널과 TU-6 채널에서는 SC-FDE 기반 전송 방식이 OFDM에 비해 채널에 의한 영향을 크게 받으며, 그림 5-7에서 SC-optimal과 SC-FDE를 비교해 봤을 때 등화기의 성능에 따라 시스템의 수신 성능이 크게 달라짐을 볼 수 있다. 그러나 SC-FDE 전송 방식이 신호의 왜곡이 비교적 적게 일어나는 Brazil A 채널에서는 OFDM과 비슷한 성능을 가진다는 점과 PAPR이 낮고 주파수 오프셋에 둔감하다는 장점을 감안하면, 채널 왜곡이 크지 않은 경우에는 UHDTV 서비스를 위한 전송 방식으로 고려될 수 있을 것이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 지상파 UHDTV 서비스를 위하여 신호 성상의 차수를 높이는 방식으로 데이터 전송속도를 증가시킬 경우에 OFDM 기반의 다중 반송파 전송 방식과 SC-FDE 기반의 단일 반송파 전송 방식의 수신 성능을 비교하였다. 신호 성상의 차수가 증가할수록 두 방식은 거의 비슷한 uncoded BER 수신 성능을 보이며, LDPC 코드를 적용한 고차 신호 성상을 가지는 데이터의 경우에는 다중경로 채널의 왜곡이 작으면 영향이 비슷하여 두 전송 방식이 비슷한 성능을 보인다. 다중경로 채널의 왜곡이 크면 SC-FDE 기반 단일 반송파 전송 방식이 채널에 의한 영향을 비교적 크게 받게 되기 때문에, OFDM 기반 다중 반송파 전송 방식이 더 우수한 수신 성능을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 다양한 환경에서 강건하게 동작하는 UHDTV를 위한 전송 방식을 위해서는 다중 반송파

전송 방식이 유리하다고 할 수 있겠다. 그러나 SC-FDE 기반의 단일 반송파 전송 방식은 PAPR이 작아서 송수신 시 비선형 증폭기에 의한 측대역에서의 영향이 작고, 주파수 오프셋에 둔감하여 동기에 관한 수신기의 설계가 비교적 간단한 장점이 있기 때문에 채널 환경이 좋은 경우에는 SC-FDE 기반 단일 반송파 전송 방식이 UHDTV 서비스를 위한 전송 방식으로 고려될 수도 있을 것으로 보인다. 이러한 측면에서 본 논문에서 분석된 결과는 향후 고차 신호 성상을 이용해 데이터를 송신하고자 할 때 단일 반송파 전송 방식과 다중 반송파 전송 방식 중 어느 방식을 선택할지를 판단하는 데 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] H. Y. Lee, S. Y. Choi, and D. S. Park, "Technical standardization present condition and industrial trend of UHDTV," *Information and Commun. Mag.*, vol. 28, no. 6, pp. 4-10, Jun. 2011.
- [2] C. H. Ahn, "Technology and standardization trends of UHD(Ultra High Definition) TV," *KSBE Mag.*, vol. 13, no. 1, pp. 97-112, 2008.
- [3] S. K. Park, Y. J. Jo, D. W. Kim, and G. M. Park, "A study on terrestrial UHDTV broadcasting and construction of direct reception environment by DVB-T2," *J. KSBE*, vol. 18, no. 4, pp. 572-588, Jul. 2013.
- [4] D. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 4, pp. 58-66, Apr. 2002.
- [5] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no. 2, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [6] J. K. Kim, S. Y. Lee, J. W. Lee, and J. M. Ahn, "Analysis of reception scheme based on smart antenna to overcome multipath channel in single frequency network for terrestrial 3D-HDTV based on SC-FDE," in *Proc. KSBE*, pp. 184-186, Jeju, Korea, Jul. 2012.
- [7] D. C. Shin, J. K. Kim, and J. M. Ahn, "A channel estimation scheme in unique-word



based SC-FDE system for terrestrial 3DTV transmission,” in *Proc. KSBE*, pp. 125-126, Seoul, Korea, Nov. 2010.

- [8] S. H. Jo, *Development of UHDTV transmission and reception standard*, Trends/Research Report, ETRI, 2010.
- [9] L. J. Cimini, “Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 33, no. 7, pp. 665-675, Jul. 1985.
- [10] Y. S. Jo, “OFDM technique for next generation mobile communication,” *J. TTA*, vol. 1, no. 91, pp. 142-152, Jan.-Feb. 2004.
- [11] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, “Frequency-domain equalization of mobile radio and terrestrial broadcast channels,” in *Proc. GLOBECOM'94*, vol. 1, pp. 1-5, San Francisco, CA, USA, Nov.-Dec. 1994.
- [12] Harri Holma and Antti Toskala, *LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access*, NY: John Wiley & Sons, 2009.
- [13] Jianfei Li, Du Yan, and Liu Yang, “Comparison of spectral efficiency for OFDM and SC-FDE under IEEE 802.16 scenario,” in *Proc. IEEE Symp. Computers and Commun. (ISCC'06)*, Pula-Sardinia, Italy, Jun. 2006.
- [14] Advanced Television Systems Committee Inc., *ATSC standard: Video system characteristics of AVC in the ATSC digital television system*, Document A/72 Part 1, 2008.
- [15] DVB, *Press Release 125: DVB approves new guidelines for H.264/avc video & high efficiency AAC audio codecs*, 2004.
- [16] Gray J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm, Woo-Jin Han, and Thomas Wiegand, “Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard,” *IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Technol.*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.
- [17] M. Huemer, H. Witschnig, and J. Hausner, “Unique word based phase tracking algorithms for SC/FDE-systems,” in *Proc. GLOBECOM'03*, vol. 1, pp. 70-74, San Francisco, CA, USA, Dec. 2003.

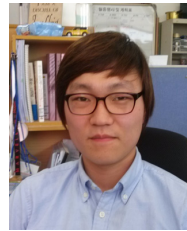
**이 유 리 (Yu-Ri Lee)**



2010년 2월: 부산대학교 전자  
전기통신공학부 학사  
2012년 2월: 부산대학교 전자  
전기공학과 석사  
2012년 3월~현재: 부산대학교  
전자전기컴퓨터공학과 박사  
과정

<관심분야> 디지털신호처리, 생체 신호처리, 디지털  
방송신호처리, 부채널공격

**강 인 웅 (In-Woong Kang)**



2011년 2월: 부산대학교 전자  
전기통신공학부 학사  
2011년 3월~현재: 부산대학교  
전자컴퓨터공학과 석박사통  
합과정

<관심분야> 디지털 방송신호처  
리

**김 형 남 (Hyoung-Nam Kim)**



1993년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 학사  
1995년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 석사  
2000년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 박사  
2000년 3월~2000년 4월: 포항

공과대학교 전자컴퓨터공학부 박사 후 연구원  
2000년 5월~2003년 2월: 한국전자통신연구원 선임  
연구원  
2003년 3월~2007년 2월: 부산대학교 전자공학과 조  
교수  
2007년 3월~2012년 2월: 부산대학교 전자전기공학  
부 부교수  
2012년 3월~현재: 부산대학교 전자공학과 교수  
<관심분야> 적응신호처리, 레이더 및 소나 신호처  
리, 디지털 방송신호처리, 생체신호처리