

논문-06-11-2-09

## 등화형 디지털 동일채널 증계기의 시간지연을 최소화하기 위한 변조 및 전치등화 방법

박 성 익<sup>a)‡</sup>, 김 흥 목<sup>a)</sup>, 서 재 현<sup>a)</sup>, 음 호 민<sup>a)</sup>, 이 용 태<sup>a)</sup>, 이 재 영<sup>a)</sup>, 이 수 인<sup>a)</sup>

### Modulation and Pre-equalization Method to minimize time delay in Equalization Digital On-Channel Repeater

Sung Ik Park<sup>a)‡</sup>, Heung Mook Kim<sup>a)</sup>, Jae Hyun Seo<sup>a)</sup>, Homin Eum<sup>a)</sup>, Yong-Tae Lee<sup>a)</sup>,  
Jae Young Lee<sup>a)</sup>, and Soo-In Lee<sup>a)</sup>

#### 요 약

본 논문에서는 ATSC 지상파 디지털 TV 방송방식을 사용하는 등화형 디지털 동일채널 증계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)에서의 신호처리 시간지연을 최소화하기 위한 변조 및 전치등화 방법을 제안하고, 그 성능을 다양한 각도에서 분석한다. 제안된 변조 방법은 VSB 펄스성형필터로 기존의 SRRC (Square Root Raised Cosine) 필터 대신 ER (Equi-Ripple) 필터를 사용한다. 그리고, 제안된 전치등화 방법은 기준신호인 기저대역 신호와 복조된 증계기 출력신호를 이용하여 전치등화 필터계수를 계산하고, ER 필터계수와 컨볼루션하여 새로운 펄스성형 필터를 생성한다. 새롭게 생성된 VSB 펄스성형 필터는 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연이 최소화되고, ER 필터 및 마스크 필터에 의해 야기된 선형 왜곡을 보상한다.

#### Abstract

In this paper we propose and analyze a novel modulation and pre-equalization method to minimize signal processing time delay for the Equalization Digital On-Channel Repeater (EDOCR) in ATSC (Advanced Television Systems Committee) terrestrial digital TV system. The proposed modulation method uses Equi-Ripple (ER) filter coefficients instead of conventional Square Root Raised Cosine (SRRC) filter coefficients for VSB (Vestigial Side Bands) pulse shaping. And the proposed pre-equalization method calculates pre-equalizer filter coefficients by using baseband signal as reference signal and demodulated repeater output signal, then generates a new VSB pulse shaping filter coefficients by convolutioning ER filter coefficients and pre-equalizer filter coefficients. The newly generated pulse shaping filter does not have minimized time delay by adjusting the number of pre-taps of the filter, but also compensates linear distortions caused by ER filter and mask filter.

Key words: ATSC, SFN, EDOCR, Modulator, Pre-equalizer

## 1. 서 론

a) 한국전자통신연구원 전파방송연구단  
Radio & Broadcasting Research Division, ETRI  
‡ 교신저자 : 박성익(psi76@etri.re.kr)

일반적으로 지상파 TV 방송사업자는 방송서비스를 위해 방송사의 방송권역에 따라 그리고 방송권역 내의 지형

지물에 따라 송신기 및 중계기를 설치하여 운영하고 있다. 지금까지 아날로그 TV 방송 뿐 아니라, ATSC (Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 또는 중계기에 서로 다른 주파수를 할당하여 방송망을 구성하는 다중 주파수 망(Multiple Frequency Network: MFN)을 통해 서비스되고 있다. 그러나 MFN을 통한 방송망 구축은 동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용측면에서 매우 비효율적인 방송망 구성방법이다.

따라서 다수의 송신기와 중계기가 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 방송 주파수의 이용 효율을 높이고, 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있는 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN)에 대한 필요성이 대두되고 있다. 특히 현재와 같은 지상파 아날로그 TV 방송과 지상파 디지털 TV 방송이 동시 방송되고 있는 상황에서는 각 방송사의 송신기 및 중계기에 할당할 방송 주파수의 부족으로 인해 SFN 망구성에 대한 요구가 더욱 커지고 있다.

ATSC 방식의 지상파 디지털 TV 방송에서 SFN 구성을 위한 기술로는 송신기간에 동일 주파수를 사용하는 분산 송신기(Distributed Transmitters: DTxT) 기술과 송신기와 중계기가 동일 주파수를 사용하는 디지털 동일채널 중계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR) 기술로 크게 나누

어진다<sup>1)</sup>. DTxT를 이용하는 방법은 이미 많이 설치되어 있는 송신기에 송신기간의 동기를 맞추기 위한 새로운 장치를 추가해야 하는 점과 송신기들 사이의 거리가 제한된다는 단점을 가지고 있다. 반면에 DOCR을 이용한 방법은 기존에 설치된 송신기의 변경없이 SFN 구성이 가능하므로 망 구성이 용이하나, 출력 전력이 낮고 출력 신호의 품질이 떨어진다는 단점이 있었다. 기존의 DOCR이 가지는 단점을 보완하기 위해 등화형 동일채널 중계기(Equalization DOCR: EDOCR) 기술이 제안되었다<sup>2-4)</sup>.

본 논문에서는 EDOCR에 사용되는 변조기 및 전치등화기의 요구사항에 대하여 알아보고 그러한 요구사항을 만족하기 위한 변조기 및 전치등화기의 구성방법을 제안한다. 또한, 전산 실험을 통해 제안된 변조 및 전치등화 방법에 관해 분석하고 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 변조기 및 전치등화기의 성능을 검증한다.

## II. EDOCR의 특징

DOCR은 그림 1처럼 송신기의 방송 신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송 영역을 넓히는 역할을 한다. 그러나 기존의 RF

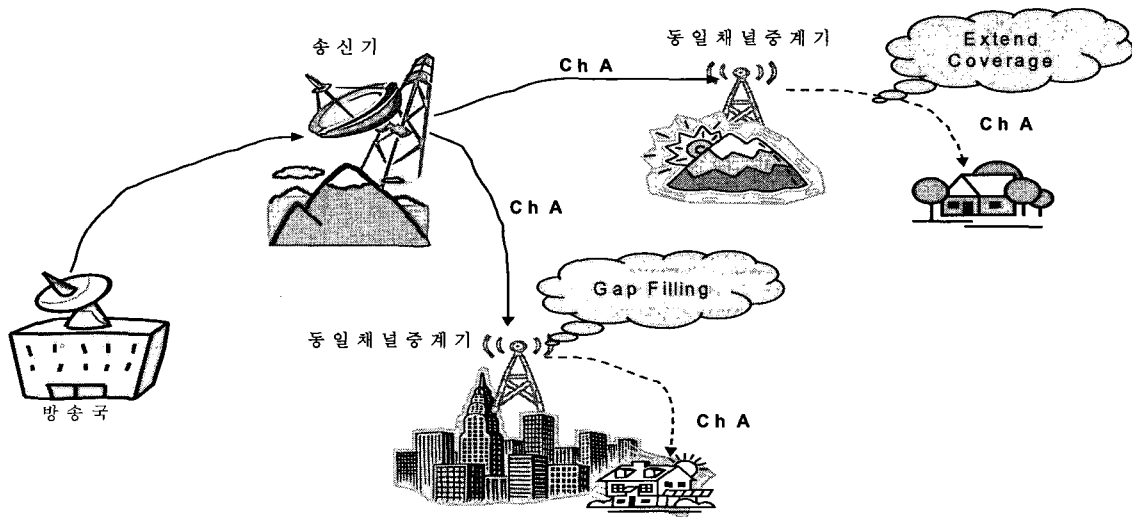


그림 1. DOCR 개념도  
Fig. 1. Configuration of DOCRs

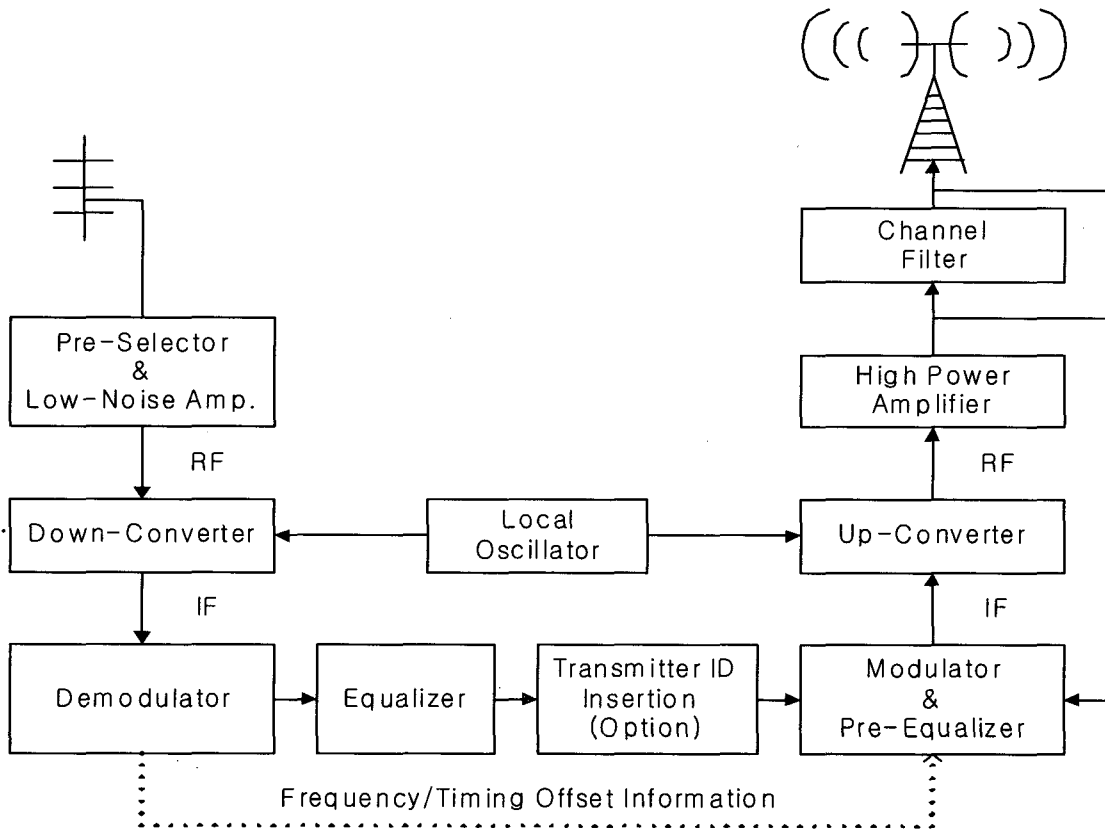


그림 2. EDOCR의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of EDOCR

증폭형 또는 IF 변환형 DOCR은 신호처리 시간이 짧은 장점을 가지고 있으나 인접채널 제거 성능 및 출력신호 품질이 떨어질 뿐 아니라 송신 출력이 낮은 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 참고문헌 [2~4]에서는 EDOCR을 제안하였으며, 그 구조는 그림 2와 같고 다음과 같은 특징들을 가진다.

- EDOCR은 FEC(Forward Error Correction) 복호 및 부호부를 사용하지 않기 때문에 DOCR 입력 신호와 출력 신호가 서로 다른, 즉 모호성(ambiguity) 문제를 가지지 않는다.
- EDOCR은 복조부에서 정합필터를 사용하기 때문에 수신 신호의 선택성이 우수하다. 즉, 인접 채널 제거 능력이 우수하다.

- EDOCR은 TBD(Trellis Back Depth)가 1인 트렐리스 복호기를 판정 장치(decision device)로 가지는 블라인드(blind) DFE(Decision Feedback Equalizer)를 사용한다<sup>[5]</sup>. 이러한 블라인드 DFE는 송신기와 EDOCR 사이의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 출력 신호 품질을 입력 신호보다 우수하게 만든다. 또한, EDOCR 송/수신 안테나의 낮은 격리도(isolation)로 인해 야기된 왜곡 신호를 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 송신 출력을 기존 DOCR 대비 10배 이상 높일 수 있다.
- EDOCR은 변조부를 사용하기 때문에 송신 신호의 품질이 우수하다.

그러나 많은 디지털 신호처리로 인해 기존의 DOCR에

비하여 송수신 신호간의 지연 시간이 긴 단점이 있다. 하지만 FEC 복호 및 부호부를 사용하지 않으므로 전체적인 신호처리 시간을 5 ~ 6 us 이내로 제한할 수 있다<sup>[4]</sup>. EDOCR의 각 블록별 시간지연을 보면 Demodulator에서 1 us 이내, Equalizer에서 1 us 이내, Modulator에서 3 us 이내, 그리고 그 외의 RF 시스템 및 케이블에서 1 us 이내의 시간지연이 발생한다.

### III. EDOCR을 위한 변조 및 전치등화 방법

#### 1. EDOCR을 위한 변조 방법

ATSC 방식의 지상파 DTV 송신기 혹은 중계기에서 사용하고 있는 변조기의 구조는 그림 3과 같으며, 다음과 같은 3 단계로 구성된다.

- 1 단계: 등화기 출력 신호, 필드(field) 및 세그먼트(segment) 동기 신호로 구성된 프레임(frame) 신호는 파일럿(pilot) 신호가 삽입되고, 업 샘플링(up-sampling) 된다.
- 2 단계: 업 샘플링된 프레임 신호는 VSB I/Q 펄스성형 필터에 의해 필터링 된다.
- 3 단계: 중심 주파수가 2.69 MHz인 VSB 필터링된 I/Q

성분은 I/Q 상향 변환기에 의해 중심 주파수가  $f_{IF}$ 에 위치하도록 변환되며, IF 대역의 디지털 VSB 신호를 형성하기 위해 합쳐진다.

ATSC DTV 변조기에서는 VSB 펄스성형 필터로 SRRC (Square Root Raised Cosine) 필터를 사용하는 것이 일반적이며, SRRC 필터를 기반으로 한 VSB I/Q 필터는 다음과 같다.

$$\text{VSB I Filter} : g(n) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{VSB} \cdot nT)$$

$$\text{VSB Q Filter} : g(n) \cdot \sin(2\pi \cdot f_{VSB} \cdot nT)$$

여기서,  $n$ 은 시간 인덱스를,  $g(n)$ 은 시간 인덱스에 따른 SRRC 필터의 계수를,  $f_{VSB}$ 는 2.69MHz를,  $T$ 는 한 심볼 주기(약 93ns)를 각각 나타낸다.

일반적으로 ATSC DTV 변조기에 의해 생성된 신호는 FCC(Federal Communications Commission)에서 요구하는 그림 4와 같은 Spectrum Mask를 만족해야 하며, 27 dB 이상의 SNR(Signal to Noise Ratio)을 가져야 한다<sup>[6]</sup>. 그림 5는 심볼들이 ATSC 심볼율의 4배 만큼 업 샘플링되었다고 가정할 때, SRRC 필터의 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance를 나타낸다. 여기서, Shoulder distance는 대역 내 신호전력 대비 대역 내 비선형 잡음전력의 비율

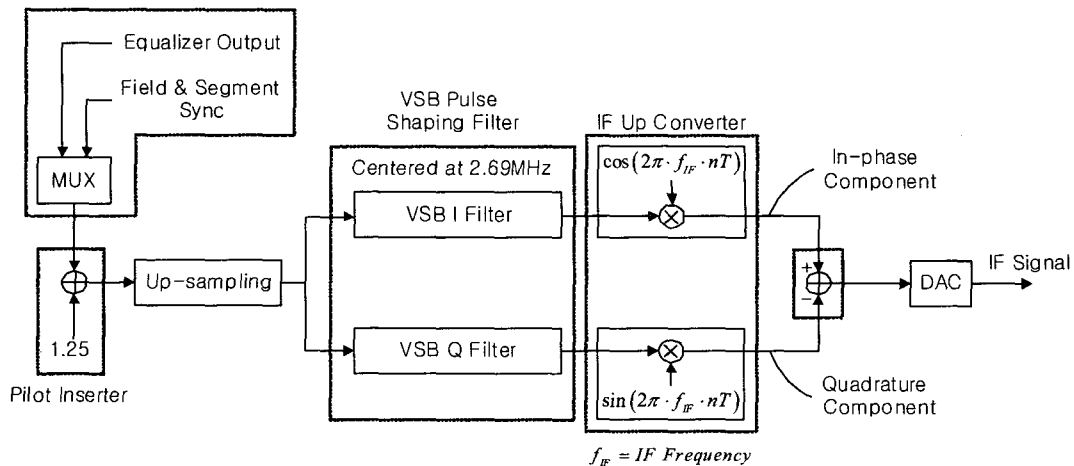


그림 3. ATSC 변조기 구조  
Fig. 3. Configuration of ATSC modulator

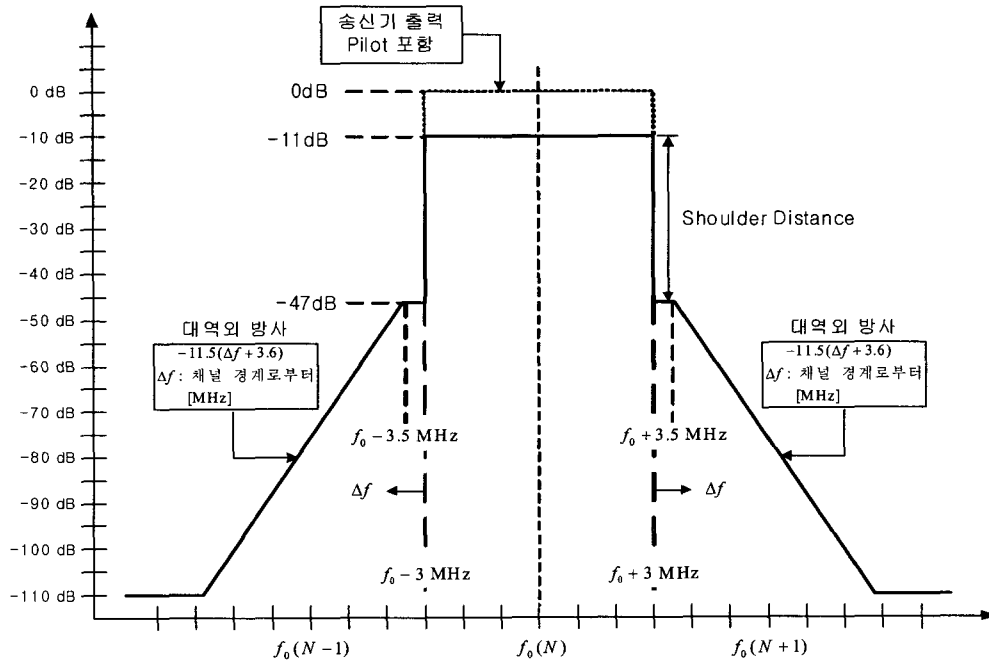


그림 4. ATSC 스펙트럼 마스크  
Fig. 4. ATSC spectrum mask

나타내는 것으로 pilot 신호가 배제된 DTV 평균 출력전력 (-10.3 dB)에서부터 shoulder level (-47 dB)까지의 거리를 의미하며, 36.7dB 이상이 되어야 Spectrum Mask 규격을 만족한다. 또한, SNR을 측정하기 위해 수신부 정합필터의 탭 수는 121로 두었고, 다중경로와 잡음 신호가 없는 이상적인 채널을 가정하였으며, 200,000 심볼을 관찰하였다. 그림 5에 의하면, SRRC 필터계수를 사용하여 생성된 VSB 펄스성형 필터는 이론적으로 약 420 탭 이상을 사용해야 요구되는 SNR 및 Spectrum Mask를 동시에 만족한다. 하지만 420 탭 이상의 SRRC 필터는 4배 오버샘플링된 신호에서 약 4.9 us 이상의 시간지연을 가지므로 이를 EDOCR 변조부에 적용한다면 전체 시간지연을 증가시키는 요인이 된다. 따라서 변조부에서는 3 us 이내의 지연시간을 가지는 새로운 펄스성형필터가 필요하다. 그림 5에 의하면 필터 탭 수는 SNR 보다는 Shoulder distance에 의해 결정되므로, 새로운 펄스성형필터는 적은 탭 수로 Shoulder distance가 큰 필터를 구현하는 것이 중요한 목표가 된다.

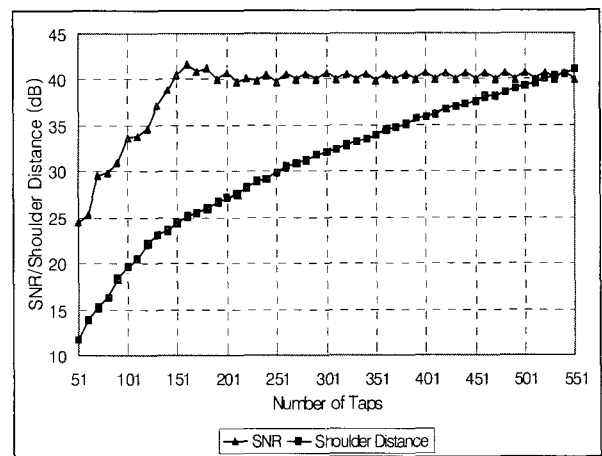


그림 5. SRRC 필터 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance  
Fig. 5. SNR and Shoulder distance according to the number of the SRRC filter taps

EDOCR에서는 짧은 시간 지연을 가지는 펄스성형필터로서 대역내의 리플을 많이 가지지만 대역외 억압 특성이 우수한 ER(Equi-ripple) 필터를 제안한다. ER 필터를 기반으로 한 VSB I/Q 필터는 다음과 같다.

$$\text{VSB I Filter} : e(n) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{\text{VSB}} \cdot nT)$$

$$\text{VSB Q Filter} : e(n) \cdot \sin(2\pi \cdot f_{\text{VSB}} \cdot nT)$$

여기서,  $n$ 은 시간 인덱스를,  $e(n)$ 은 시간 인덱스에 따른 ER 필터의 계수를,  $f_{\text{VSB}}$ 는 2.69MHz를,  $T$ 는 한 심볼 주기(약 93ns)를 각각 나타낸다. 그림 6은 ER 필터의 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance를 나타내며, 여기서 사용된 ER 필터계수는 Parks-McClellan 알고리즘에 의해

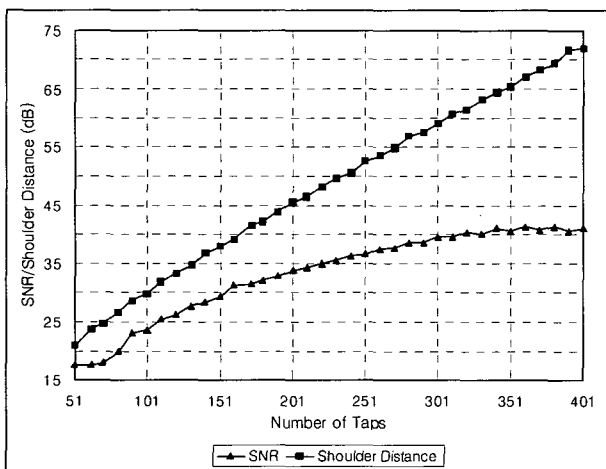


그림 6. ER 필터 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance  
Fig. 6. SNR and Shoulder distance according to the number of the ER filter taps

생성된다<sup>[7-8]</sup>. 그림 6에 의하면 이론적으로 약 140 탭 이상의 ER 필터계수를 사용하여 생성된 VSB 펄스성형 필터는 요구되는 SNR 및 Spectrum Mask를 모두 만족한다. 또한, 140 탭 이상의 ER 필터는 4배 오버샘플링된 신호에서 약 1.6 us 이상의 시간지연을 가지므로 EDOCR 변조부의 펄스성형 필터로 적절하다. ER 필터는 대역외 억압 특성이 우수하지만 대역 내 리플이 많기 때문에, 즉 이상적인 Nyquist 펄스성형 필터가 아니기 때문에 동일한 탭 수를 가지는 SRRC 필터에 비해 출력신호 SNR이 낮게 나타난다.

### 2. 전치등화 방법

EDOCR은 FCC Spectrum Mask를 만족하기 위하여 고 출력증폭기 후단에 대역 외 억압특성이 우수한 채널필터(channel filter)를 사용한다. 대역 외 억압 특성이 우수한 채널필터는 대역 내에서 많은 군지연(group delay) 변화를 가지게 되고 이러한 군지연 변화는 출력신호의 SNR을 저하시키는 요인이 된다. 또한 EDOCR은 펄스성형필터로 ER 필터를 사용하므로 대역 내의 리플이 많아 추가적인 SNR 감소 요인을 가지게 된다. 이러한 SNR 감소를 보상하기 위하여 전치등화기(pre-equalizer)를 사용하게 된다. 그림 7은 기존의 전치등화기가 포함된 변조부 및 EDOCR

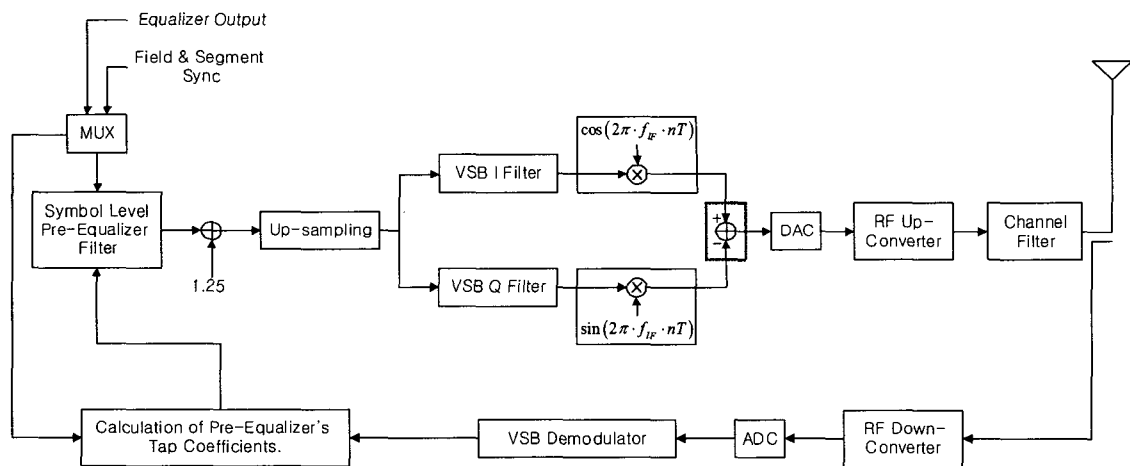


그림 7. 기존의 전치등화기가 포함된 EDOCR 변조부 및 송신부 구조  
Fig. 7. The modulator and EDOCR transmitter including conventional pre-equalizer

의 송신부 구조를 나타낸다. 전치등화기에서는 전송하고자 하는 기저대역 신호와 EDOCR 마지막 단계에 위치한 채널필터 출력신호를 재복조한 기저대역 신호를 비교하여 전치등화 필터의 계수를 계산한다.

일반적으로 전치등화 필터는 선형필터로 구성되며, 필터의 탭 계수는 LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 이용하여 계산된다. 전치등화기의 탭 계수 갱신에 대해 알아보기 위해서 다음과 같은 변수들을 정의한다.

- $x[k]$  : 시간  $k$ 에서의 전송하고자 하는 기저대역 신호,
  - $\hat{x}[k]$  : 시간  $k$ 에서의 채널 필터를 통과한 후 복조된 신호,
  - $y[k]$  : 시간  $k$ 에서의 전치등화기 출력신호,
  - $c_i[k]$  : 시간  $k$ 에서의 전치등화기  $i$ 번째 필터 탭 계수.
- 이 때 전치등화기의 출력은 다음과 같다.

$$y[k] = \sum_{i=0}^{N-1} c_i[k] \cdot x[k-i]$$

여기서  $N$ 은 전치등화 필터의 탭 수를 나타내며, 탭 수는 채널이 어느 정도의 선형 왜곡이 있느냐에 따라 결정된다. 즉, 어느 정도의 군지연까지 보상을 할 것인가에 의하여 탭 수가 결정이 된다. 탭 계수 갱신을 위한 에러 신호,  $e[k]$ 는 다음과 같다.

$$e[k] = x[k] - \hat{x}[k]$$

전치등화기 필터 탭 계수 갱신은 다음 식에 의해 이루어진다.

$$c_i[k+1] = c_i[k] - \mu \cdot e[k] \cdot x[k-i], \quad i = 0, 1, \dots, N-1$$

여기서  $\mu$  는 스텝 크기(step size)로서 수렴속도와 정상상태(steady state)에서의 MSE (Mean Square Error)를 결정한다.  $\mu$  가 크면 수렴속도는 빨라지지만 정상상태에서의 잔류 MSE가 크지고,  $\mu$  가 작으면 잔류 MSE는 작아지

지만 수렴속도가 느려지게 된다. EDOCR에서는 탭 계수 갱신을 위한 훈련열(training sequence)로 전치등화기 출력신호의 결정치가 아닌 실제 알고있는 심볼을 사용한다. 따라서 수렴속도가 느리더라도 잔류 MSE를 줄이기 위하여  $\mu$  를 작게 하는 것이 좋다<sup>[9]</sup>. 이러한 전치등화 필터가 있는 변조부는 채널필터에 의한 선형왜곡 및 ER 필터의 사용으로 인한 대역 내의 리플을 보상하여 신호를 전송함으로써 최종 중계기 출력신호의 SNR을 높일 수 있다.

### 3. 변조 필터와 전치등화 필터의 결합

그림 7에 나타나는 기존의 심볼단위의 전치등화 필터는 EDOCR에 있어 새로운 시간지연 요소가 된다. 이러한 시간지연을 최소화하기 위하여 본 절에서는 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 결합시키고, 결합된 필터의 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연을 최소화하는 방법을 제안한다. 즉, 전치등화 필터와 펄스성형 필터의 컨볼루션 결과에서 전치 탭 수를 절단(truncation)하는 방식으로 시간지연을 줄인다. 제안된 방식의 전치등화기가 포함된 변조부 및 EDOCR의 구조는 그림 8과 같고, 전치등화 필터와 펄스성형 필터의 결합 및 탭 수 조절 과정은 그림 9와 같다. 전체 탭 수가  $(N1 + M1 + 1)$ 이며, 메인 탭은  $(N1 + 1)$ 의 위치에 있는 전치등화 필터와 전체 탭 수가  $(N2 + M2 + 1)$ 이며 메인 탭은  $(N2 + 1)$ 의 위치에 있는 VSB I/Q 필터를 가정하자. 전치등화 필터와 VSB I/Q 필터를 컨볼루션하면 전체 탭 수가  $(N1 + N2 + M1 + M2 + 1)$ 이며 메인 탭은  $(N1 + N2 + 1)$ 의 위치에 있는 전치등화 기능을 가지는 VSB I/Q 필터가 생성된다. 시간지연을 줄이기 위해 생성된 VSB I/Q 필터의 전치 탭 수( $N3 \leq N1 + N2$ )를 조정하고 필요에 따라 후치 탭수( $M3 \leq M1 + M2$ )를 조정하면 전체 탭 수가  $(N3 + M3 + 1)$ 이며, 메인 탭은  $(N3 + 1)$ 의 위치에 있는 새로운 VSB 펄스성형 필터가 생성된다. 이렇게 생성된 VSB 펄스성형 필터는 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연이 최소화되고, ER 필터 및 채널 필터에 의해 야기된 선형 왜곡을 보상함으로써 EDOCR 출력신호의 SNR을 높일 수 있다.

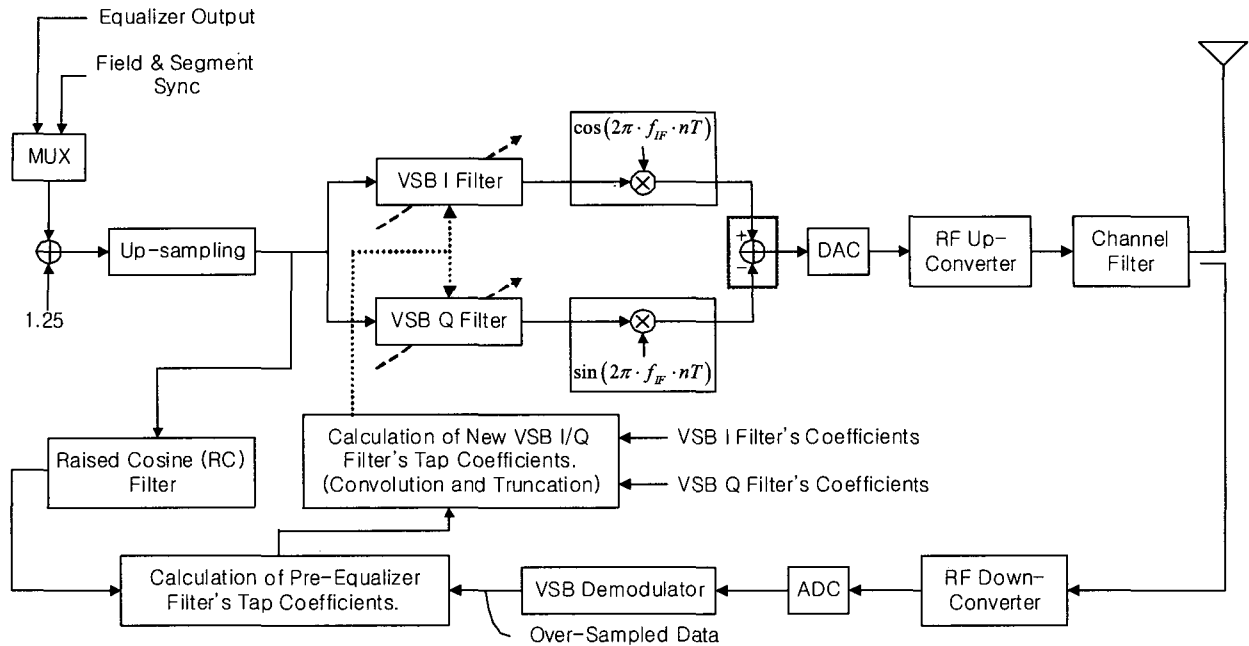


그림 8. 제안된 전치등화기가 포함된 EDOCR 변조부 및 송신부 구조  
 Fig. 8. The modulator and EDOCR transmitter including proposed pre-equalizer

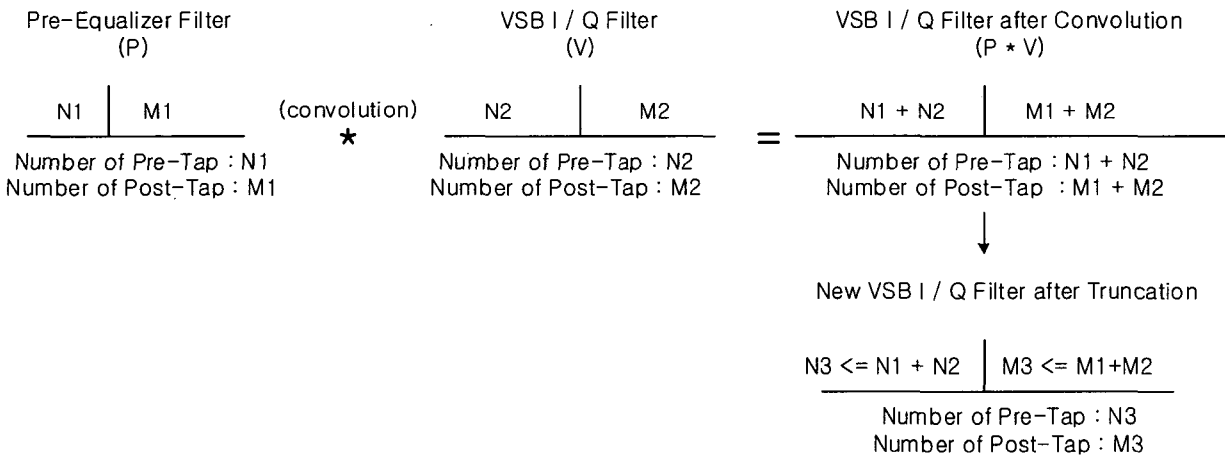


그림 9. 전치등화 필터와 펄스성형 필터 결합 및 전치 탭 수 조절 과정  
 Fig. 9. Process of combining pre-equalizer filters and pulse shaping filter, and adjusting the number of its pre-taps

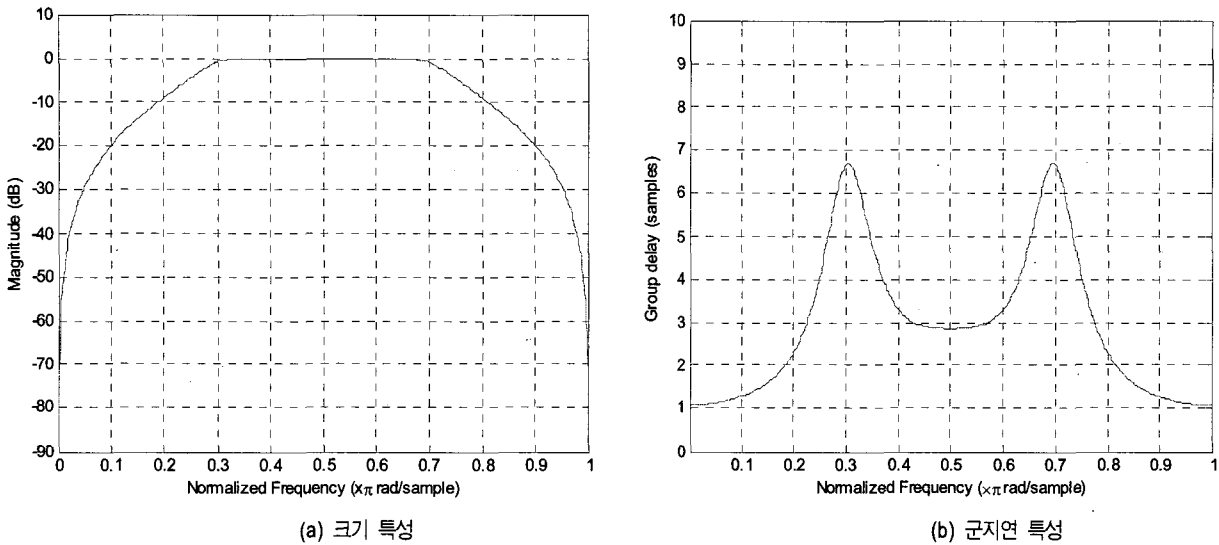
#### 4. 전산 실험 결과 및 실험실 테스트 결과

##### 4.1 전산 실험 결과

전산실험은 그림 8의 EDOCR 송신부 구조를 기반으로

심볼들이 ATSC 심볼들의 4배 만큼 업 샘플링되었다고 가정하였으며, 펄스성형 필터로는 191 탭의 ER 필터를 사용하였다. 또한, 고전력 증폭기에 의한 비선형 왜곡은 제외하였으며 채널필터 모델로는 8차의 Chebyshev 필터를 사용





(a) 크기 특성

(b) 군지연 특성

그림 10. 8차 Chebyshev 필터의 크기 및 군지연 특성

Fig. 10. Magnitude and group delay characteristic of 8th order Chebyshev filter

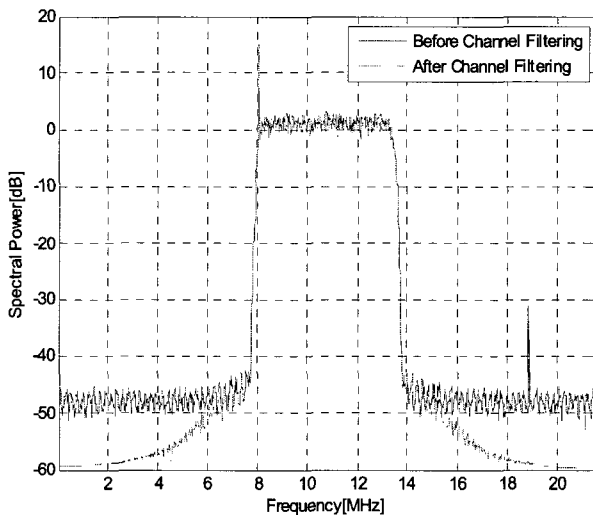


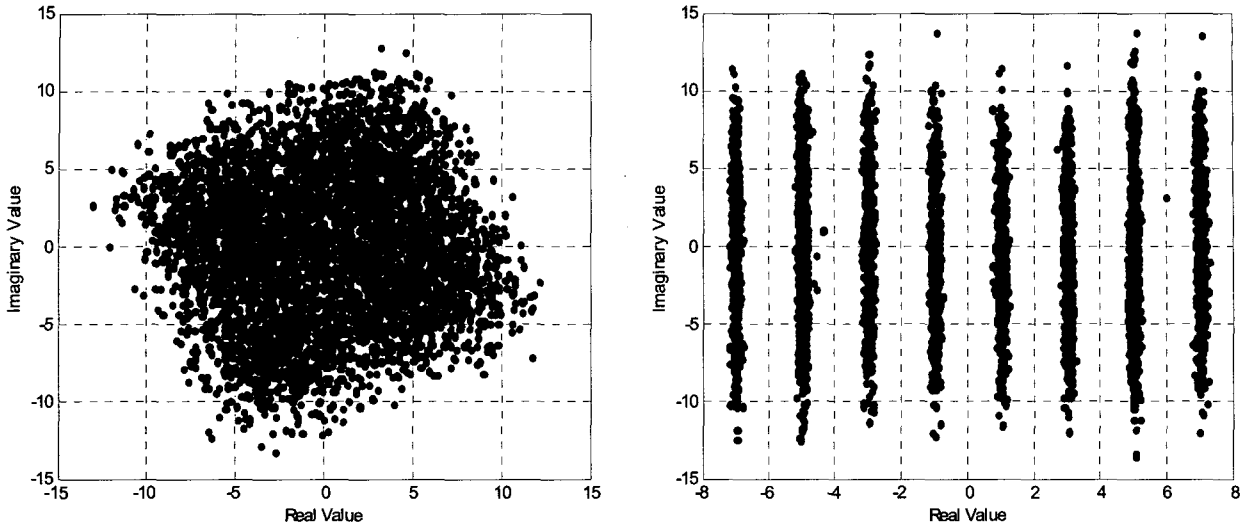
그림 11. 채널필터 전후에서의 EDOCR 출력신호 스펙트럼

Fig. 11. Spectrum of EDOCR output signal before and after channel filtering

하였다. 그림 10은 8차 Chebyshev 필터의 크기 및 군지연 특성을 나타내며, 그림 11은 채널필터 전후에서의 EDOCR 출력 신호 스펙트럼을 각각 나타낸다.

전치등화 필터계수 계산을 위해 LMS 알고리즘을 사용하였으며, 계산된 전치등화 필터계수는 심볼을 데이터에서 출력 SNR을 35 dB 이상 유지하기 위하여 전체 탭 수

를 101 탭으로, 메인 탭의 위치를 40 탭에 두었다. 이러한 전치등화 필터는 약 3.72 us의 상당히 큰 시간지연을 가지게 된다. SNR을 측정하기 위해 수신부 정합필터의 탭 수는 121로 두었고, 다중경로와 잡음 신호가 없는 이상적인 채널을 가정하였으며, 200,000 심볼을 관찰하였다. 그림 12는 그림 7과 같이 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 별도로 둔 경우의 전치등화 결과를 나타내고 있다. 그림 12 (a)는 전치등화를 적용하지 않은 EDOCR 출력 신호의 성상을 보여주고 있는 것으로 출력 SNR은 약 14.1 dB이며, 그림 12 (b)는 전치등화를 적용한 EDOCR 출력 신호 성상으로 SNR은 약 35.2 dB 이다. 전치등화를 적용한 경우의 SNR이 그림 6의 191 탭 ER 필터의 SNR 32.88 dB 보다 높은 것은 전치등화필터에 의해 ER 필터의 대역 내 리플이 보상되었기 때문이다. 그림 13은 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 컨볼루션한 후 전치 탭수를 조절 한 경우의 SNR과 Shoulder distance를 나타낸 것이다. Shoulder distance 37 dB 이상, SNR 27 dB 이상을 만족하는 결합된 필터의 전치 탭 수는 약 100 탭 이상이며 이때의 시간지연은 약 2.32 us 가 된다. 따라서 전치등화필터와 펄스성형필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수를 조절 하여 시간지연과 출력 SNR 및 Shoulder distance를 모두



(a) 전치등화 전의 EDOCR 출력 신호 성상 (SNR = 14.1 dB)

(b) 전치등화 후의 EDOCR 출력 신호 성상 (SNR = 35.2 dB)

그림 12. 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 별도로 적용한 경우, 전치등화 전후의 EDOCR 출력 신호 성상

Fig. 12. Constellation of EDOCR output signal before and after pre-equalization when pre-equalizer filter and pulse shaping filter were saperated

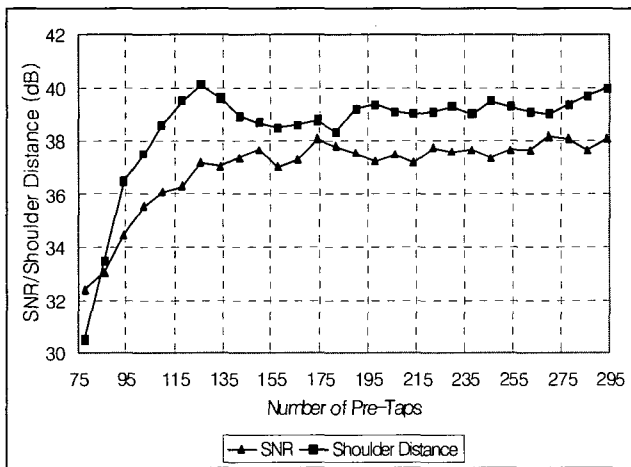


그림 13. 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수에 따른 SNR과 Shoulder distance.

Fig. 13. SNR and Shoulder distance according to the number of pre-taps after convolution of pre-equalizer and pulse shaping filter

만족하는 새로운 필터를 얻을 수 있다.

#### 4.2 실험실 테스트 결과

본 논문에서 제안한 변조 및 전치등화 방식을 검증하기

위해 EDOCR을 실제 제작하였으며, EDOCR 최종 출력신호를 RFA300A VSB 계측장치로 확인하였다. 실제 제작된 EDOCR은 191 탭의 ER 필터를 사용하며 전치등화 필터는 LMS 알고리즘을 적용하여 심볼율 데이터에서 메인 탭의 위치가 40 탭에 있도록 설계되었다. 시간지연을 줄이기 위하여 ER 필터와 전치등화 필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수를 조절하였으며, 최종적으로 전치 탭 수를 95 탭으로 설정하였다. 따라서, 전치등화 기능이 포함된 변조부의 시간지연은 ER 필터의 시간지연과 동일한 2.21 us로 설정하였다. 실제 제작된 EDOCR의 최종 출력신호를 계측장치로 확인한 결과는 그림 14와 같으며, 전치등화 전후의 EDOCR 출력 스펙트럼, 주파수 응답 및 군지연, 그리고 성상을 각각 나타낸다. 측정 결과에 의하면 EDOCR 출력 신호는 Spectrum Mask 및 요구되는 SNR을 모두 만족하였다. 이상의 실험결과로부터 추측할 수 있는 것은 결합된 필터의 전치 탭 수가 원래의 펄스성형 필터의 전치 탭 수보다 크다면, 두 필터를 결합하지 않은 것에 비해 성능은 떨어지지만 FCC에서 요구하는 기준 성능을 만족한다는 것이다.

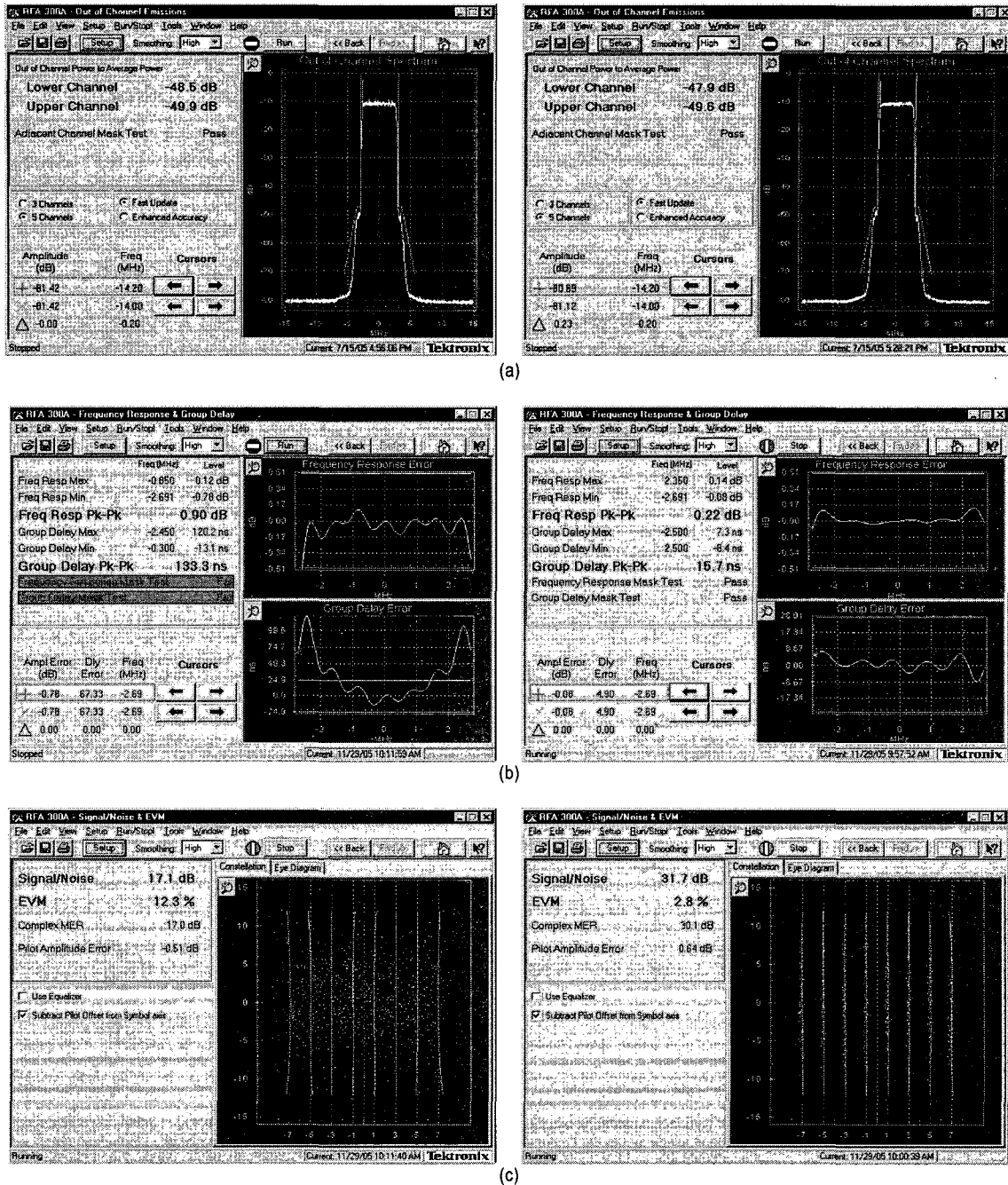


그림 14. 전치등화 전후의 EDOCR 출력 신호의 스펙트럼, 주파수 응답 및 군지연, 그리고 상상 (a) EDOCR 출력 신호의 스펙트럼 (좌: 전치등화전, 우: 전치등화후) (b) EDOCR 출력 신호의 주파수 응답 및 군지연 (좌: 전치등화전, 우: 전치등화후) (c) EDOCR 출력 신호의 신호상상 (좌: 전치등화전, 우: 전치등화후)  
 Fig. 14. Spectrum, Frequency Response & Group Delay, and Constellation before and after pre-equalization (a) Spectrum of EDOCR Output Signal (Left: Before Pre-equalizing, Right: After Pre-equalizing) (b) Frequency Response & Group Delay of EDOCR Output Signal (Left: Before Pre-equalizing, Right: After Pre-equalizing) (c) Constellation of EDOCR Output Signal (Left: Before Pre-equalizing, Right: After Pre-equalizing)

## V. 결론 및 향후 전망

본 논문에서는 EDOCR에 적용하기 위해 시간지연이 최소화된 변조 및 전치등화 방법을 제안하였다. 제안된 변조 방법은 VSB 펄스성형 필터로 기존의 SRRC 필터 대신 ER 필터를 사용하는 것이다. 그리고 제안된 전치등화 방법은 기준신호인 기저대역 신호와 복조된 중계기 출력신호를 이용하여 전치등화 필터계수를 계산하고, ER 필터계수와 컨볼루션한 후 결합된 필터의 전치 탭 수를 조절하는 것이다. 전산 실험 및 실험실 테스트 결과에 의하면 제안된 변조 및 전치등화 방법은 결합된 필터의 전치 탭 수를 원래의 펄스성형 필터의 전치 탭 수보다 크게 하면 FCC에서 요구하는 규격을 만족하였다. 따라서, 제안된 방법은 EDOCR 송신부에서의 시간지연을 최소화하면서 FCC에서 요구하는 SNR 및 Spectrum Mask 조건을 만족하므로 EDOCR에서의 변조 및 전치등화 방법으로 유용하게 사용될 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks, Doc. A/111, Sept. 2004.
- [2] S. W. Kim, Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo, and H. M. Kim, "Equalization Digital On-Channel Repeater in Single Frequency Networks," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 52, No. 2, June 2006.
- [3] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍목, 서재현, 김형남, 김승원, "ATSC 지상파 디지털 TV 방송의 단일 주파수 망 구성을 위한 등화형 디지털 동일 채널 중계기," 방송공학회논문지, 제9권, 제4호, pp. 371~383, 2004년.
- [4] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍목, 서재현, 김형남, 김승원, "ATSC 지상파 DTV 시스템의 등화형 디지털 동일 채널 중계기를 위한 디지털 신호 처리 기술," 방송공학회논문지, 제9권, 제4호, pp. 357~370, 2004년.
- [5] H.-N. Kim, S. I. Park, and S. W. Kim, "Performance Analysis of Error Propagation Effects in the DFE for ATSC DTV Receivers," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 49, Sept. 2003.
- [6] Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, Doc. A/64 Rev. A, May, 2000.
- [7] T. W. Parks and J. H. McClellan, "Chebyshev approximation for nonrecursive digital filters with linear phase," IEEE Trans. On Circuit Theory, Vol. CT-19, pp. 189-194, 1972.
- [8] T. W. Parks and J. H. McClellan, "A Program for the Design of Linear Phase Finite Impulse Response Filters," IEEE Trans. On Audio Electroacoustics, Vol. AU-20, pp. 195-199, 1972.
- [9] G. A. Clark, S. K. Mitra, and S. R. Parker, "Block Implementation of Adaptive Digital Filters," IEEE Trans. On Circuits and Systems, Vol. 28, No. 6, June 1981.

## 저 자 소 개



### 박 성 익

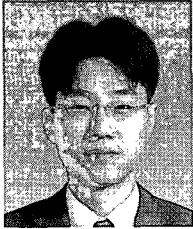
- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 채널코딩, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



### 김 홍 목

- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 ~ 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 근무
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템

저 자 소 개



서 재 현

- 1993년 3월 ~ 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리



음 호 민

- 1992년 3월 ~ 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 영상 신호처리, DTV 전송시스템



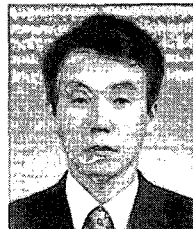
이 용 태

- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
- 1993년 8월 ~ 1995년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 1995년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



이 재 영

- 1996년 9월 ~ 2001년 5월 : Rutgers University 전자공학과 (공학사)
- 2001년 9월 ~ 2003년 5월 : University of Wisconsin 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 6월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



이 수 인

- 1980년 3월 ~ 1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 3월 ~ 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 3월 ~ 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 그룹장
- 주관심분야 : 디지털 통신/방송 시스템, 오류정정부호