

등화형 동일채널 중계기를 위한 시간지연 최소화 전치등화 방법

김홍묵, 박성익, 서재현, 음호민, 이용태, 김승원

한국전자통신연구원

hmkim@etri.re.kr

Pre-equalization Method to reduce delay time in Equalization Digital On-Channel Repeater for ATSC Terrestrial DTV System

Heung Mook Kim, Sung Ik Park, Jae Hyun Seo

Homin Eum, Yong-Tae Lee and Seung Won Kim

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문에서는 ATSC 지상파 디지털 TV 방송방식을 사용하는 등화형 동일채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)에서의 신호처리 시간지연을 최소화하기 위한 전치등화 방법에 대하여 기술하고 그 결과를 다양한 각도에서 분석한다. 제안된 전치등화 방법은 기준신호인 기저대역 신호와 복조된 중계기 출력신호를 이용하여 전치등화필터계수를 계산하고 펄스성형필터계수와 컨볼루션을 통해 얻어진 새로운 펄스성형필터를 이용하는 것이다. 새로운 펄스성형필터의 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연을 최소화하고, 마스크필터에 의한 선형왜곡을 보상할 뿐 아니라, 원래 펄스성형필터의 대역 외 방사 특성의 열화를 최소화할 수 있다. 이를 컴퓨터 시뮬레이션 및 제작된 전치등화기를 이용하여 검증하였다.

1. 서론

일반적으로 지상파 TV 방송사업자는 방송서비스를 위해 방송사의 방송권역에 따라 그리고 방송권역 내의 지형에 따라 송신기 및 중계기를 설치하여 운영하고 있다. 지금까지 아날로그 TV 방송 뿐 아니라, ATSC 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 또는 중계기에 서로 다른 주파수를 할당하여 방송망을 구성하는 복수 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 이용 측면에서 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 아날로그 지상파 방송과 디지털 지상파 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 나누어진다. 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^[1].

본 논문에서는 EDOCR에 사용되는 전치등화기의 요구사항에 대하여 알아보고 그러한 요구사항을 만족하기 위한 전치등화기의 구성 방법을 기술한다. 또한 제안된 전치등화 방법에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 분석하고, 제작된 전치등화기를 통해 제안된 전치등화 방법의 유용성을 검증하였다.

2. EDOCR을 위한 전치등화 방법

가. EDOCR의 특징

DOCR은 송신기의 방송 신호가 약하게 수신되는 지역에 설치되어 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송 영역을 넓히는 역할을 한다. 그러나 기존의 RF 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 있었다.

이러한 단점을 보완하기 위한 EDOCR은 수신부에 정합필터를 사용함으로써 인접채널 제거 성능을 향상시키며, 등화부를 사용함으로써 송신 안테나에서 수신 안테나로의 궤환 신호를 제거할 수 있고, 재변조부를 사용함으로써 출력 신호 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 많은 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^[2].

그림 1은 EDOCR의 간단한 블록도를 나타낸 것이다.

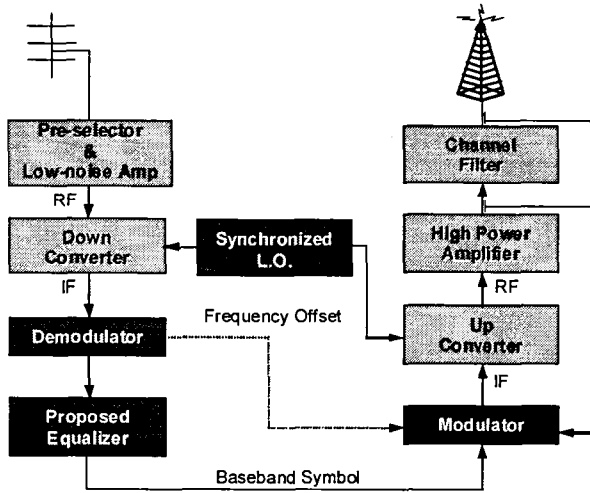


그림 1. EDOCR의 블록도

EDOCR의 각 블록별 시간지연을 보면 Demodulator에서 1 us 이내, Proposed Equalizer에서 1 us 이내, Modulator에서 3 us 이내, 그리고 그 외의 RF 시스템 및 케이블에서 1 us 이내의 지연이 발생한다.

나. EDOCR을 위한 변조부

그림 2는 EDOCR에서 사용하고 있는 변조부의 구조를 나타낸 것으로 ATSC 방식의 지상파 DTV 중계기의 변조부에는 펄스성형필터로 SRRC 필터를 사용하는 것이 일반적이다.

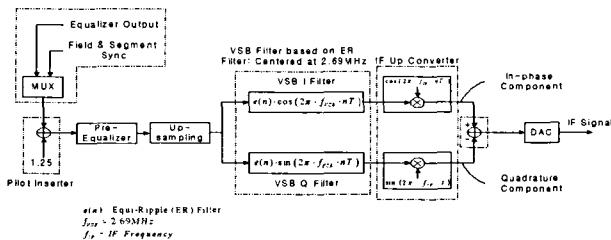


그림 2. EDOCR 변조부의 구조

하지만 출력신호의 SNR 및 대역외 방사 조건을 만족하기 위한 SRRC 필터의 시간지연이 너무 길어서 EDOCR 변조부에 SRRC 필터를 사용할 수 없다. 그림 3은 4배 오버샘플링된 신호에 적용되는 SRRC 필터의 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance를 나타낸 것이다.

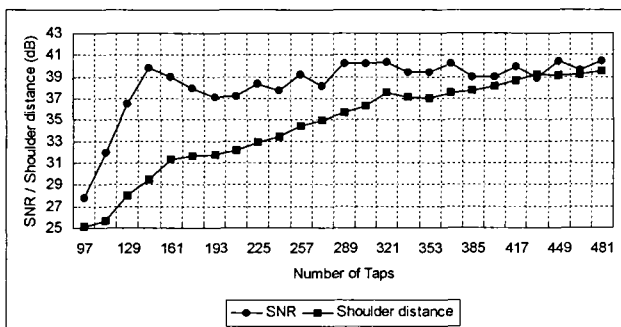


그림 3. SRRC 필터 탭 수에 따른 SNR 및 Shoulder distance

ATSC 방식의 지상파 DTV 송신기에서는 SNR의 경우 27 dB 이상이어야 하고, FCC Mask를 만족하기 위한 Shoulder distance는 37 dB 이상이어야 한다. Shoulder distance는 대역 내 신호전력 대비 대역 내 비선형 잡음전력의 비를 나타내는 것으로 스펙트럼상에서 대역 내의 스펙트럼 크기와 대역 에지에서의 스펙트럼 크기의 차이로 볼 수 있다^[3].

따라서 그림 3에 의하면 SRRC 필터의 경우 위의 조건을 만족하기 위해 약 380 탭 이상이 필요함을 알 수 있다. 하지만 380 탭 이상의 SRRC 필터는 4배 오버샘플링된 신호에서 약 4.4 us 이상의 시간지연을 가지게 되므로 EDOCR 전체 시간지연을 증가시키는 요인이 된다.

따라서 변조부에서 목표로 하는 2.5 us 이내의 지연시간을 가지는 새로운 펄스성형필터가 필요하게 된다. SRRC의 경우에서 알 수 있듯이 필터 탭 수는 SNR 보다는 Shoulder distance에 의해 결정되므로 새로운 펄스성형필터는 적은 탭 수로 Shoulder distance가 큰 필터를 구현하는 것이 중요한 목표가 됨을 알 수 있다.

EDOCR에서는 짧은 시간 지연을 가지는 펄스성형필터로서 ER(Equi-ripple) 필터를 사용한다. ER 필터는 일반적으로 대역내의 리플을 많이 가지지만 대역외 억압 특성이 좋으므로 선택되었다. 표 1은 ER 필터의 탭 수에 따른 SNR, Shoulder distance 및 시간지연을 나타내고 있다.

표 1. 필터 탭 수에 따른 ER 필터 특성

필터 탭 수	SNR (dB)	Shoulder Distance (dB)	Time Delay (us)
121	22.15	35.0	1.39
141	28.75	35.5	1.63
191	33.94	38.0	2.21
201	29.30	41.5	2.32

표 1에서 알 수 있듯이 ER 필터의 경우 약 190 탭 이상이면 출력 신호 SNR 과 Shoulder distance 조건을 동시에 만족시킬 수 있음을 알 수 있다. ER 필터가 동일한 탭 수를 가지는 SRRC 필터에 비해 출력 신호 SNR이 낮게 나타나는 이유는 대역 내 리플이 많기 때문이다.

다. 변조필터와 전치등화필터의 결합

EDOCR은 FCC Mask를 만족하기 위하여 고출력증폭기 후단에 대역 외 억압특성이 우수한 채널필터를 사용한다. 대역 외 억압 특성이 우수한 채널필터는 대역 내에서 많은 그룹지연 변화를 가지게 되고 이러한 그룹지연 변화는 출력신호의 SNR을 저하시키는 요인이 된다. 또한 EDOCR은 펄스성형필터로 ER 필터를 사용하므로 대역 내의 리플이 많아 추가적인 SNR 감소 요인을 가지게 된다.

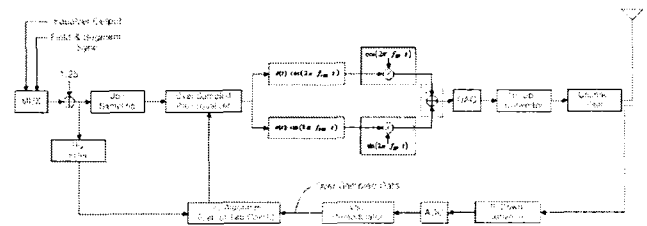


그림 4. 전치등화기가 포함된 변조부 및 EDOCR 송신부 구조

이러한 SNR 감소를 보상하기 위하여 전치등화기를 사용하게 된다. 그림 4는 전치등화기가 포함된 변조부 및 EDOCR의 송신부 구조를 나타내고 있다. 전치등화기에서는 전송하고자 하는 기저대역 신호와 채널필터를 통과한 중계기 출력신호의 복조 신호를 비교하여 전치등화필터 계수를 계산한다. 전치등화필터가 있는 변조부는 채널필터에 의한 선형왜곡을 보상하여 신호를 전송함으로써 최종 중계기 출력신호의 SNR을 높일 수 있다.

하지만 추가된 전치등화필터는 EDOCR에 있어 새로운 시간지연 요소가 된다. 이러한 시간지연을 최소화하기 위하여 본 논문에서는 전치등화필터와 펄스성형필터를 결합시켜 결합된 필터의 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연을 최소화하고자 하였다. 즉, 전치등화필터와 펄스성형필터의 컨볼루션 결과에서 전치 탭 수를 조절하는 방식으로 시간지연을 줄일 수 있었다. 그림 5는 제안된 방식의 전치등화기가 포함된 변조부 및 EDOCR의 구조를 나타낸다.

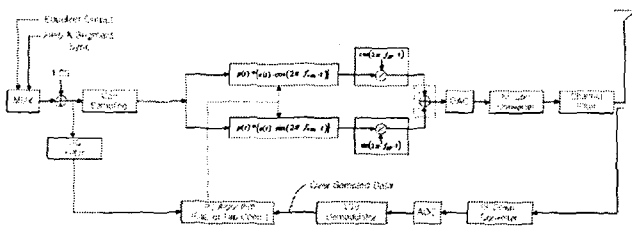


그림 5. 제안된 방식의 변조부 및 EDOCR 송신부 구조

라. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서는 그림 5의 송신부 구조를 기반으로 4배 오버샘플링된 데이터를 사용하였고, 펄스성형필터로는 191 탭의 ER 필터를 사용하였다. 또한, 고진력 증폭기에 의한 비선형 왜곡은 제외하였으며 채널필터 모델로는 8차의 Chebyshev 필터를 사용하였다. 전치등화필터 계수 계산을 위한 전치등화기 알고리즘은 일반적인 LMS 알고리즘을 사용하였다. 계산된 전치등화필터는 심볼을 데이터에서 출력 SNR을 37 dB 이상 유지하기 위하여 메인 탭의 위치가 40 탭에 있는 필터로서 약 3.72 us의 상당히 큰 시간지연을 가지게 된다.

그림 6은 그림 4와 같이 전치등화필터와 펄스성형필터를 별도로 둔 경우의 전치등화 결과를 나타내고 있다. 그림 6(a)는 전치등화를 적용하지 않은 EDOCR 출력 신호의 성상을 보여주고 있는 것으로 출력 SNR은 약 16.4 dB 이며, 그림 6(b)는 전치등화를 적용한 EDOCR 출력 신호 성상으로 SNR은 약 37.8 dB 이다. 전치등화를 적용한 경우의 SNR이 표 1의 191 탭 ER 필터의 SNR 33.94 dB 보다 높은 것은 전치등화필터에 의해 ER 필터의 대역내 리플이 보상되었기 때문이다. 또한 전치등화필터 적용 전후의 전력밀도함수를 보면 대역외 방사특성에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 7은 전치등화필터와 펄스성형필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수를 조절한 경우의 SNR과 Shoulder distance를 나타낸 것이다. Shoulder distance 37 dB 이상, SNR 27 dB 이상을 만족하는 전치 탭 수는 약 100 탭 이상이며 이 때의 시간지연은 약 2.32 us 가 된다. 따라서 전치등화필터와 펄스성형필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수를 조절하여 시간지연과 출력 SNR 및 Shoulder distance를 모두 만족하는 새로운 필터를 얻을 수 있었다.

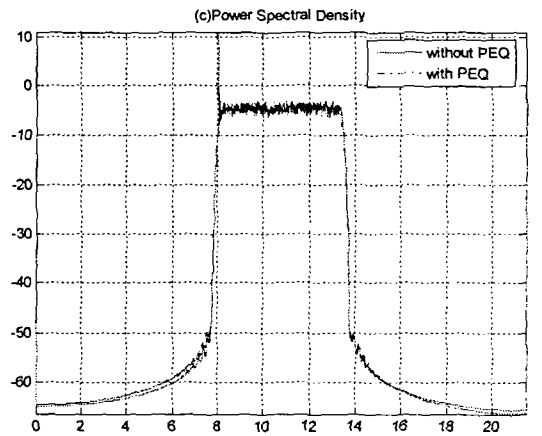
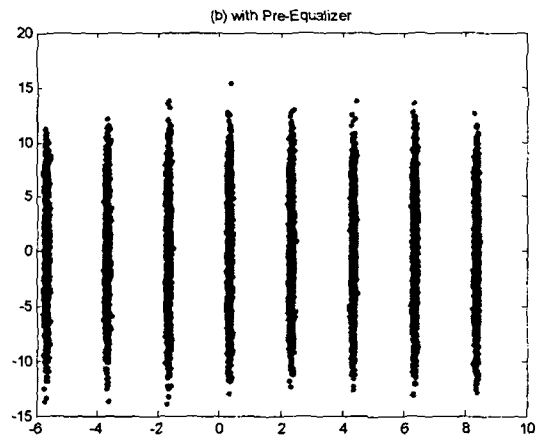
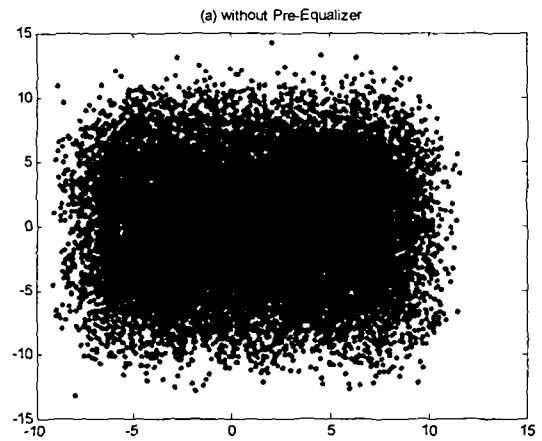


그림 6. 전치등화필터와 펄스성형필터를 별도로 적용한 경우 (a) 전치등화를 적용하지 않은 EDOCR 출력 성상, SNR=16.4 dB (b) 전치등화를 적용한 EDOCR 출력 성상, SNR=37.8 dB (c) 전력밀도함수

마. 실험결과

본 논문에서 제안한 방식을 적용한 EDOCR을 제작하여 EDOCR 최종 출력 신호를 RFA300A VSB 측정장치로 확인한 결과는 그림 8에 나타나 있다. 실험에서는 191 탭의 ER 필터를 사용하였으며 전치등화필터는 LMS 알고리즘을 적용하여 심볼을 데이터에서 메인 탭의 위치가 40 탭에 있도록 설계하였다. 시간지연을 줄이기 위하여 전치등화필터와 ER 필터를 컨볼루션한 후 전치 탭 수를 조절하며 실험한 결과

최종적으로 전치 탭 수는 95 탭으로 설정하였다. 따라서 전치등화기능이 포함된 변조부의 시간지연은 ER 필터의 시간지연과 동일한 2.21 us로 설정하였다. 실험결과 스펙트럼(FCC Mask)과 성상(SNR) 모두 기준을 만족함을 알 수 있었다.

이상의 실험결과로부터 추측할 수 있는 것은 결합된 필터의 전치 탭 수가 원래의 펄스성형필터의 전치 탭 수보다 큰 경우는 두 필터를 결합하지 않은 것에 비해 성능은 떨어지지만 기준 성능을 만족한다는 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 EDOCR에 적용하기 위한 시간지연이 적은 전치등화방법을 제안하였다. 제안된 방법은 계산된 전치등화필터와 펄스성형필터를 컨볼루션한 후 결합된 필터의 전치 탭 수를 조절하여 전치등화에 의한 시간지연을 줄이기 위한 것이다. 시뮬레이션 및 실험결과에 의하면 결합된 필터의 전치 탭 수를 원래의 펄스성형필터의 전치 탭 수보다 크게 하면 원하는 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 제안된 동일채널 중계기용 전치등화 방법은 동일채널중계기에서 요구하는 시간지연을 최소화하면서 SNR 및 Shoulder distance 조건을 만족하므로 동일채널 중계기용 전치등화 방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

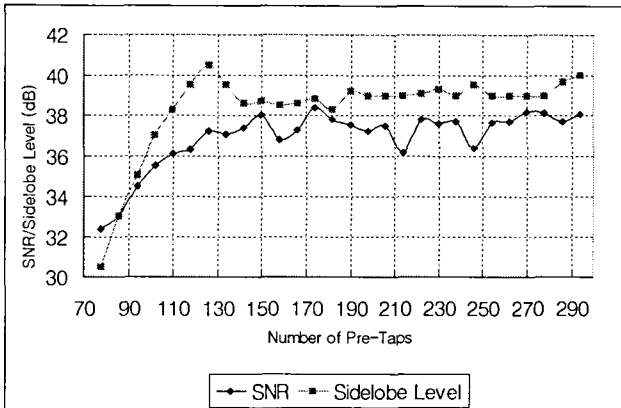
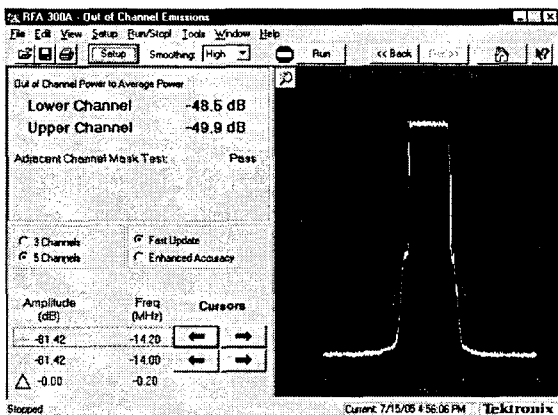
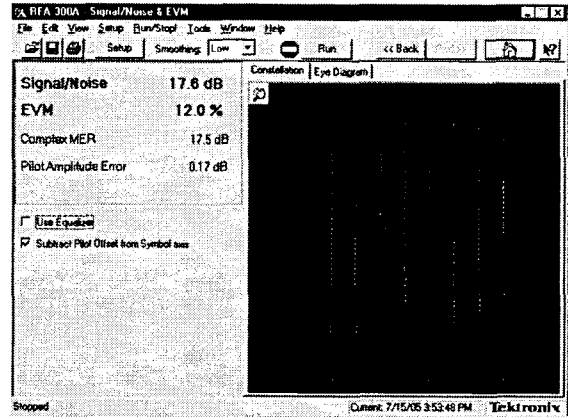


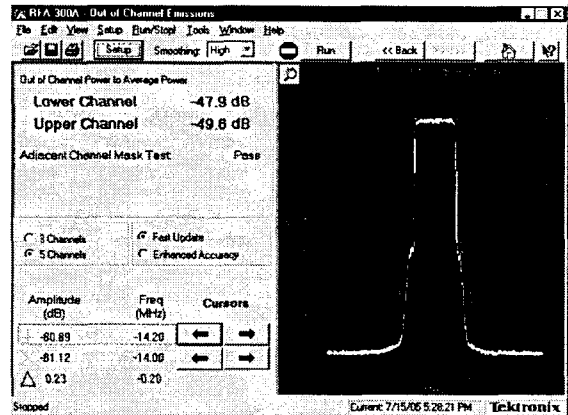
그림 7. 전치등화필터와 펄스성형필터의 결합 후 전치 탭 수 조절에 따른 SNR 및 Sidelobe Level 변화



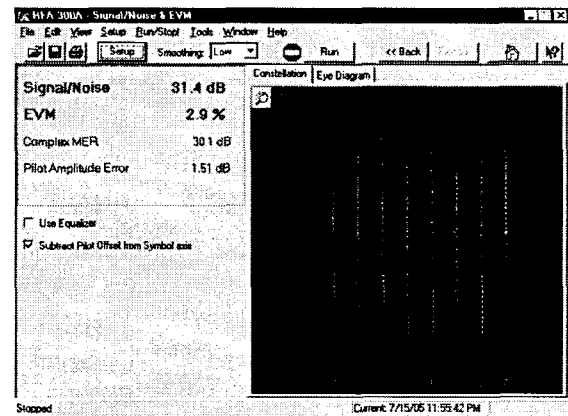
(a) 전치등화필터를 사용하지 않은 경우의 스펙트럼



(b) 전치등화필터를 사용하지 않은 경우의 성상



(c) 전치등화필터와 ER필터를 결합한 필터(전치 탭 수=95)를 적용한 경우의 스펙트럼



(d) 전치등화필터와 ER필터를 결합한 필터(전치 탭 수=95)를 적용한 경우의 성상

그림 8. 전치등화필터의 적용여부에 따른 스펙트럼과 성상

4. 참고문헌

- [1] ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks, Doc. A/111, Sept. 2004.
- [2] 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.
- [3] Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, Doc. A/64 Rev. A, May, 2000.