

# T-DMB 시스템에서 궤환간섭 제거기를 가지는 등화형 OCR

박성익, 음호민, 박소라, 김건, 이용태, 김홍묵  
한국전자통신연구원  
psi76@etri.re.kr

## Equalization OCR with Feedback Interference Canceller in T-DMB System

Sung Ik Park, Homin Eum, So Ra Park, Geon Kim, Yong-Tae Lee, and Heung Mook Kim  
Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요약

본 논문에서는 T-DMB 시스템의 단일 주파수 망 구성을 위해 궤환신호 제거기를 가지는 등화형 OCR (Equalization On-Channel Repeater, E-OCR)을 제안한다. 제안된 OCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 궤환신호를 궤환간섭 제거기를 통해 제거하여 송신출력을 높일 뿐만 아니라, 송신기와 중계기 사이의 다중경로 신호를 등화기를 통해 제거하여 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 또한, 본 논문에서는 전산실험을 통해 제안된 OCR의 성능을 살펴보고 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 OCR의 성능을 검증한다.

### 1. 서론

한국의 이동방송 표준인 T-DMB 시스템은 Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) 시스템을 기반으로 하며<sup>[1]</sup>, OFDM 전송 기술을 사용한다. T-DMB 시스템은 고층건물에 의해 둘러 쌓인 도심 지역 혹은 고속주행이 많은 고속도로와 같은 열악한 환경에서 방송 신호의 원활한 수신을 목적으로 한다. 특히, 이동 중 T-DMB 방송 신호의 원활한 수신을 위해서는 일정 레벨 이상의 전계강도와 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구축이 반드시 요구된다.

일반적으로 방송망에서 SFN을 구성하기 위한 기술로는 GPS를 이용하여 송신기간 동일한 주파수를 사용하는 DTxT (Distributed Transmitter) 기술과 송신기와 중계기가 동일한 주파수를 사용하는 OCR (On-Channel Repeater) 기술로 크게 나누어지며, 두 기술을 혼용하여 SFN을 구성하는 것이 일반적이다<sup>[2]</sup>. T-DMB 방송망에서 DTxT를 이용하는 방법은 출력전력이 높고 송신신호의 품질이 우수한 장점이 있지만, OFDM 시스템의 보호구간(guard interval) 길이에 따라 송신기들 사이의 거리가 제한되고 유지 및 보수 비용이 높다는 단점을 가지고 있다. 반면에 OCR을 이용하는 방법은 설치가 용이하고 유지 및 보수 비용이 낮지만, 출력전력이 낮고 출력신호의 품질이 열악하다는 단점이 있다. 기존의 OCR이 가지는 단점을 보완하기 위해 등화형 OCR (Equalization OCR: E-OCR) 기술이 제안되었다<sup>[3]</sup>. 등화형 OCR은 등화기를 통해 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 궤환신호와 송신기와 중계기 사이의 채널에서 발생하는 다중경로 신호를 동시에 제거하여 높은 송신출력과 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 하지만, 등화형 OCR은 입력신호의 전계강도보다 높은 전계강도를 가지는 궤환신호가 입력되면 등화기에서 제거하지 못 할 뿐만 아니라 수신채널의 역채널을 추정하지 못해 오작동하는 한계가 있다. 이러한 궤환신호 제거능력의 한계로 인해 등화형 OCR은 송출전

력이 낮아 기존 중계시설을 충분히 활용하지 못한다.

본 논문에서는 궤환신호 제거기를 가지는 등화형 OCR을 제안한다. 제안된 OCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 궤환신호를 궤환간섭 제거기(Feedback Interference Canceller: FIC)를 통해 제거하여 송신출력을 높일 뿐만 아니라, 송신기와 중계기 사이의 채널에서 발생하는 다중경로 신호를 등화기를 통해 제거하여 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 또한, 본 논문에서는 전산실험을 통해 제안된 OCR의 성능을 살펴보고 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 OCR의 성능을 검증한다.

### 2. OCR의 요구사항 및 기존 OCR

T-DMB 시스템을 위한 OCR은 그림 1에서와 같이 방송신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 주송신기의 전송영역을 넓히는 역할을 하며, 잘 디자인된 OCR은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

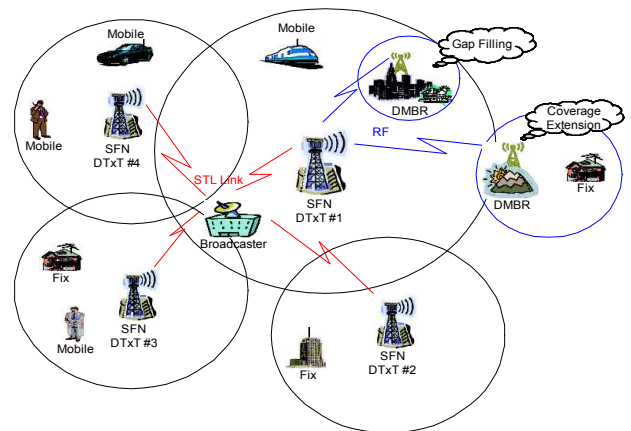


그림 2. T-DMB 시스템을 위한 SFN 구성도

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-016-03, 지상파 DTV 분산중계기술 개발]

① OCR은 송/수신 신호의 주파수가 동일해야 한다. 만약 주송신

기 송신신호와 OCR 송신신호의 주파수가 다르다면 도플러 천이 (Doppler shift) 성질을 가지는 고스트 신호성분을 야기시키고, 이것은 수신기 성능저하의 요인으로 작용하게 된다.

② OCR은 송/수신 안테나의 낮은 분리도(isolation)로 인한 케환 신호를 제거해야 한다. 만약 송수신 안테나의 분리도가 충분히 확보되지 못하면, 송신신호가 수신 안테나로 케환되어 수신신호를 간섭한다. 이러한 케환신호는 OCR 수신신호의 품질을 열화시키고 OCR 송신전력에 많은 제한을 주게 된다.

③ OCR 출력신호는 좋은 품질을 가져야 한다. 즉, 주송신기 송신 안테나와 중계기 수신안테나 사이의 다중경로로 인해 수신신호가 왜곡되더라도, OCR 출력신호는 좋은 품질을 가져야 한다. 이를 위해 OCR은 다중경로 신호를 제거하는 능력, 즉 등화기능을 가져야 한다.

④ OCR은 짧은 시간지연을 가져야 한다. 만약 OCR의 시간지연이 길다면 보호구간보다 긴 시간지연을 가지는 프리고스트 (pre-ghost)를 생성시킬 수 있고, 이것은 수신기 성능저하 요인으로 작용하게 된다. 일반적으로 OCR에서 허용되는 시스템 지연은 보호구간의 10분의 3, 즉 약 74 us이다.

일반적으로 OCR은 수신안테나, 수신부, 신호처리부, 송신부, 그리고 송신안테나로 구성된다. 기존의 OCR들은 아날로그 형태의 RF 및 IF OCR과 디지털 형태의 FIC (Feedback Interference Canceller)를 가지는 OCR 및 등화기를 가지는 OCR로 구분되며, 그 구조는 그림 2와 같다.

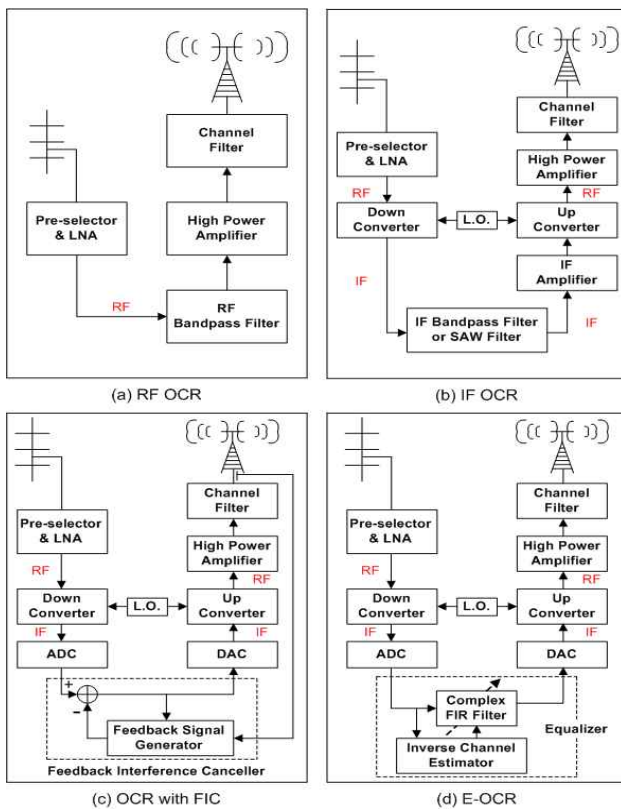


그림 2. 기존 OCR의 구조

RF OCR은 송/수신 신호의 주파수가 항상 일치하고, 간단한 구조로 인해 가장 짧은 시간지연을 가진다. 하지만, 중계기 송수신안테나의 낮은 격리도 의한 케환신호를 제거할 수 없어 송출전력이 낮고, 주

송신기와 중계기 사이의 채널에서 발생한 다중경로 신호를 제거할 수 없어 송신신호의 품질이 열악하다. IF OCR은 RF OCR보다 수신 신호의 선택성은 우수하지만, 그 외 다른 특성들은 좋지 않다. FIC를 가지는 OCR은 케환신호를 제거할 수 있어 송출전력이 높다. 하지만, 시간지연이 RF 및 IF OCR 보다 길고, 중계기 송신신호의 품질이 RF 및 IF OCR 보다 우수하지만 여전히 송신기와 OCR 사이의 다중경로 신호는 제거하지 못한다. 마지막으로, 등화형 OCR은 케환신호 및 다중경로 신호를 제거할 수 있어 송출전력이 높고 송신신호의 품질이 우수하다. 하지만, 등화형 OCR은 입력신호의 전계강도보다 높은 전계강도를 가지는 케환신호가 들어오면 등화기에서 제거하지 못 할 뿐만 아니라 수신채널의 역채널을 추정하지 못해 오작동하는 한계가 있다.

### 3. 제안된 OCR

본 절에서는 기존 OCR의 단점들을 보완한 그림 3과 같은 구조의 케환간섭 제거기를 가지는 등화형 OCR을 제안한다. 제안된 OCR의 수신부는 프리셀렉터, LNA, 제1 주파수 하향 변환기, 그리고 제1 ADC로, 신호 처리부는 케환간섭 제거기와 등화기로, 송신부는 DAC, 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 각각 구성된다. 또한, 케환간섭 제거기를 위한 제2 주파수 하향 변환기와 제2 ADC가 포함된다. 제안된 OCR의 구조는 그림 2 (c)의 케환간섭 제거기를 가지는 OCR과 그림 2 (d)의 등화형 OCR의 결합된 형태이며, 다음과 같은 특징을 가진다.

A. 제안된 OCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 케환신호를 케환채널 추정기, 제1 FIR 필터, 그리고 감산기로 구성된 케환간섭 제거기를 통해 제거할 수 있기 때문에, 기존의 OCR보다 송신출력을 높일 수 있다.

B. 제안된 OCR은 송신기와 중계기 사이의 다중경로 및 선형왜곡, 그리고 잔존하는 케환신호를 등을 포함하는 수신채널의 역채널을 역채널 추정기를 통해 주기적으로 추정하고, 추정된 수신채널의 정보를 가지는 복소 FIR 필터를 통해 수신채널의 왜곡을 보상함으로써 OCR 출력신호 품질을 입력신호 보다 우수하게 만든다.

C. 제안된 OCR은 복조 및 등화를 위한 FFT (Fast Fourier Transform)와 재변조를 위한 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 사용하지 않고, 케환신호 제거를 위한 케환간섭 제거기와 채널보상을 위한 등화기를 가지는 간단한 구조로 인해 상대적으로 짧은 시스템 지연을 가진다. OCR의 시간지연은 복소 FIR 필터의 전치 탭 수에 의해 주로 결정되며, 전치 탭 수의 조정을 통해 보호구간 보다 짧은 시간지연을 가지는 OCR을 설계할 수 있다.

그림 3과 같은 제안된 E-OCR 디지털 신호 처리부는 케환신호 제거를 위한 케환간섭 제거기와 수신채널 왜곡을 보상하기 위한 등화기로 구성된다. 케환간섭 제거기는 케환채널 추정기와 제1 FIR 필터를 통해 케환신호의 레플리카(replica)를 생성하고, 감산기를 통해 수신신호로부터 케환신호를 제거한다. 등화기는 역채널 추정기를 통해 케환신호가 1차적으로 제거된 수신신호로부터 수신채널의 역채널을 추정하고, 복소 FIR 필터를 통해 채널의 왜곡(다중경로 신호와 잔존하는 케환신호에 의한 왜곡)을 보상한다.

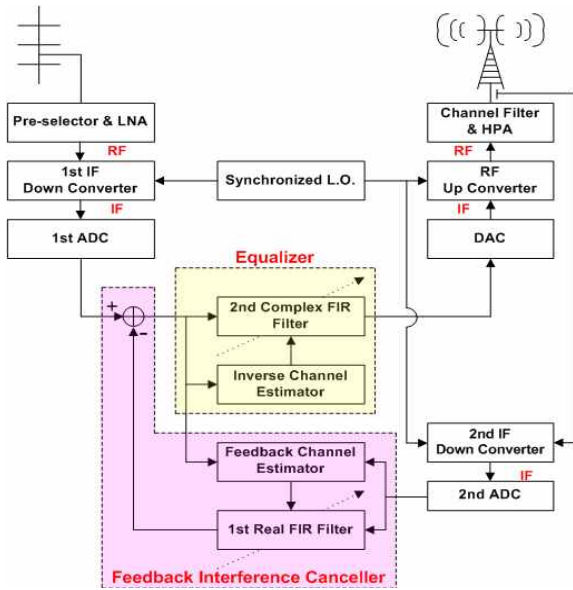


그림 3. 제안된 E-OCR의 구조

## 4. 전산 및 실험실 테스트 결과

### 4.1 전산 실험 결과

전산실험에서는 수신신호보다 40 dB 큰 케환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 케환간섭 제거기만을 가지는 OCR과 제안된 OCR의 작동에 따른 T-DMB 수신기 성능을 살펴보았다. 일반적으로 OCR이 설치되는 지역은 30 dB 이상의 CNR (Carrier to Noise Ratio) 과 주송신기로부터 LOS (Line of Sight)가 확보되는 산 꼭대기 혹은 높은 건물의 옥상이다. 이러한 지역은 정적(static) 채널을 가지며 유효 다중경로의 최대 시간지연이 7 us 이내 이므로 브라질 실험실 테스트에서 발견된 변형된 Brazil A 채널로 표현 가능하다<sup>[4]</sup>. 변형된 브라질 채널 A의 채널 프로파일은 표 1과 같다. 케환신호의 크기는 +40 dB이며, 시간지연은 OCR 시스템 지연에 대응되는 31 us이다. 또한, 케환간섭 제거기를 위한 제1 FIR 필터의 탭 수는 21이며, 등화기를 위한 제2 복소 FIR 필터의 탭 수는 600이다. 구체적인 전산실험 파라미터는 표 2와 같다.

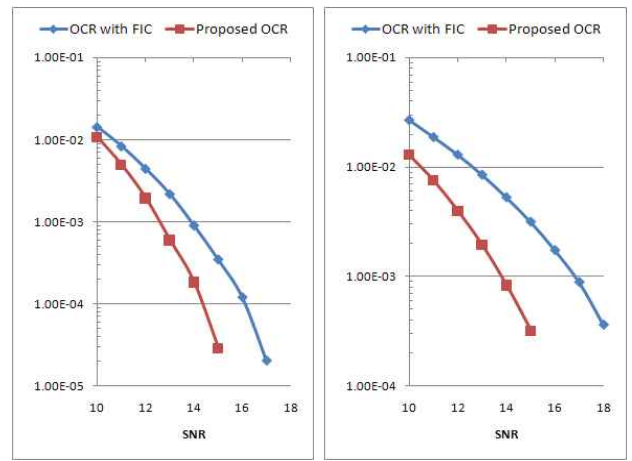
표 1. 변형된 Brazil A 채널의 다중경로 프로파일

	Delay[us]	Amplitude (dB)	Phase [deg.]
Main Signal	0.0	0.0	0
Post-ghost #1	0.15	-13.8	0
Post-ghost #2	0.22	-16.2	0
Post-ghost #3	3.05	-14.9	0
Post-ghost #4	5.86	-13.6	0
Post-ghost #5	5.93	-16.4	0
Feedback	31.0	+40.0	0

표 2. 변형된 Brazil A 채널의 다중경로 프로파일

Parameter	Specifications
IF Center Frequency	2.048 MHz
CNR	10 ~ 20 dB
# of 1st FIR Filter Taps	21
# of 2nd Complex FIR Filter Taps	600
System Delay	31 us
Channel	Modified Brazil A

전산실험의 목적은 기존 및 제안된 OCR의 사용에 따른 T-DMB 수신기 성능을 비교하는 것이므로 T-DMB 수신기에서 동기획득의 오차가 없다고 가정하였으며, 어떠한 오류정정보호도 사용하지 않았다. 그림 4는 주송신기와 중계기사이의 채널이 30 dB의 CNR과 40 dB의 케환신호를 가지는 변형된 브라질 A 채널이고, 중계기와 T-DMB 수신기사이의 채널이 AWGN 및 브라질 A 채널일 때, 케환간섭 제거기만을 가지는 기존 OCR과 제안된 OCR의 작동에 따른 T-DMB 수신기 성능을 나타낸다. 그림 4 (a)와 (b)는 중계기와 T-DMB 수신기사이의 채널이 AWGN 및 브라질 A일 때 차등복조(differential demodulation) 이후 측정된 BER (Bit Error Rate)를 각각 나타낸다. 그림 4에 의하면, 케환간섭 제거기만을 가지는 기존 OCR 출력신호를 수신하는 T-DMB 수신기는 제안된 OCR 출력신호를 수신할 때 보다 BER =  $10^{-3}$ 에서 AWGN 채널에서는 약 1.5 dB, 브라질 A 채널에서는 3 dB의 성능열화를 가진다.



(a) AWGN 채널

(b) 변형된 Brazil A 채널

그림 4. 케환간섭 제거기만을 가지는 기존 OCR 및 제안된 OCR의 작동과 SNR( $E_s/N_0$ )에 따른 T-DMB 수신기의 Uncoded BER 성능

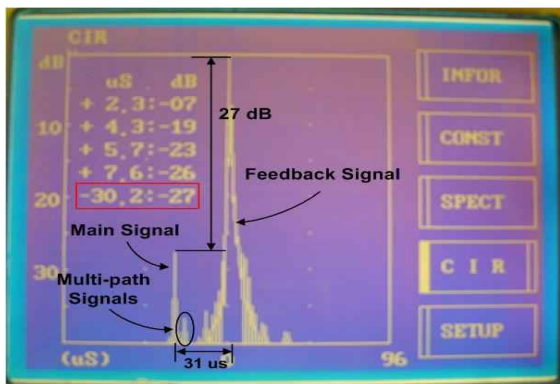
### 4.2 실험실 테스트 결과

본 절에서는 실제 제작된 OCR의 성능을 검증하기 위해 실험실 테스트를 수행하였다. 그림 5는 실제 제작된 OCR의 외부 및 디지털 신호 처리부를 나타낸다. 디지털 신호 처리부는 케환신호를 제거하는 케환간섭 제거기; 케환간섭 제거기 출력신호로부터 PRS 신호를 추출하는 복조기; 채널추정과 역변환 과정을 주기적으로 수행하는 DSP (Digital Signal Processor); 수신채널의 왜곡을 보상하는 복소 FIR 필터로 구성된다. 케환간섭 제거기를 위한 FIR 필터는 21 탭이며, 등화기를 위한 복소 FIR 필터는 200 탭 (전치 탭 = 20, 후치 탭 = 180)이다. 그림 6은 30 dB CNR과 27 dB 케환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 제안된 OCR의 입출력 CIR (Channel Impulse Response)를 나타낸다. 그림 6에 의하면, 실제 제작된 등화형 OCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 케환신호와 송신기와 중계기사이의 다중경로를 동시에 제거한다. 특히 입력신호보다 27 dB 큰 케환신호는 입력신호보다 약 35 dB 작게, 즉 약 50 dB 이상 억압된다. 그림 7은 30 dB CNR과 케환신호가 없는 변형된 Brazil A 채널에서 제안된 OCR의 입출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 7에 의하면, 제안된 OCR의 등화기는 송신기와 중계기 사이의 다중경로를 분명히 제거한다.

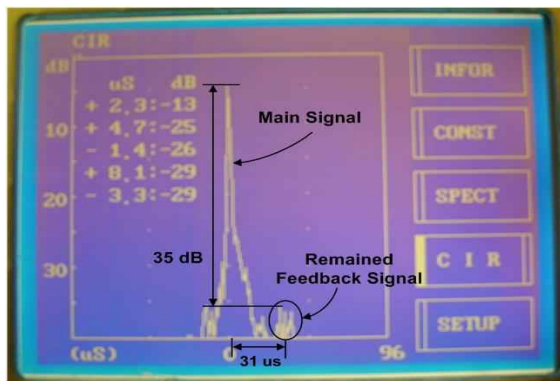


(a) 외부 (b) 디지털 신호 처리부

그림 5. 실제 제작된 OCR



(a) OCR 입력 CIR



(a) OCR 출력 CIR

그림 6. +27 dB의 퀘환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 제안된 OCR의 입출력 CIR

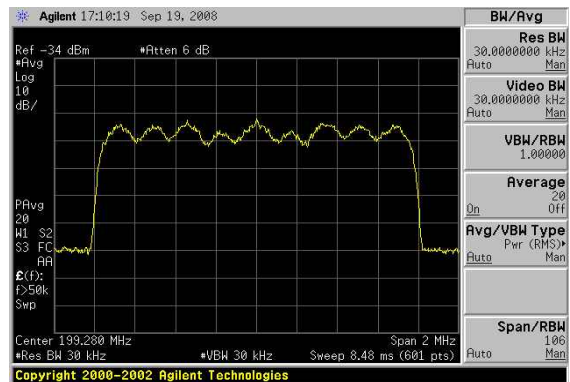
## 5. 결론

본 논문에서는 T-DMB 시스템을 위한 OCR의 요구사항에 대하여 고찰하였고, 그러한 요구사항을 만족하기 위한 퀘환간섭 제거를 가지는 등화형 OCR을 제안하였다. 제안된 OCR의 디지털 신호처리부는 송/수신 안테나의 층분치 못한 분리도로 인해 야기된 퀘환신호를 제거하기 위한 퀘환간섭 제거기와 송신기와 중계기 사이의 다중경로 신호를 제거하기 위한 등화기로 구성된다. 전산 및 실험실 테스트 결과

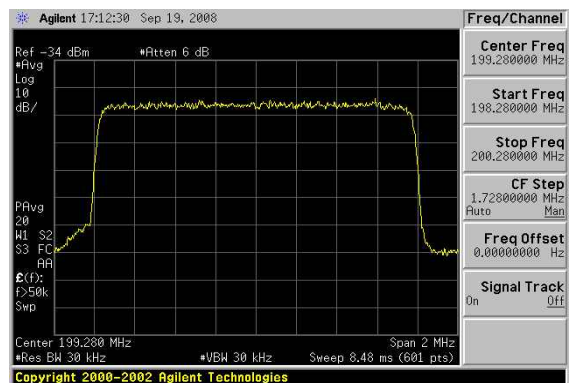
에 의하면, 제안된 OCR은 퀘환신호와 다중경로를 동시에 제거하여 높은 송신출력과 우수한 출력신호 품질을 보였을 뿐만 아니라, Emission Mask 규격도 만족하였다. 제안된 OCR은 KBS 용인 site와 TJB의 옥마산 site에서 현재 사용 중이며, DVB-T, ISDB-T, 그리고 Wibro 시스템과 같은 OFDM 전송방식을 사용하는 다른 표준으로 쉽게 확장 가능하다.

## 4. 참고문헌

- [1] ETSI, "Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," *ETSI EN 300 401 v1.3.3*, Sept. 2001.
- [2] ATSC, "Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks," Doc. A/111, Sept. 2004.
- [3] 박성익, 박소라, 음호민, 이용태, 김홍복, "T-DMB의 SFN을 위한 등화형 동일채널 중계기," 방송공학회논문지, 제13권, 제3호, pp. 365~379, 2008년.
- [4] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," *DTV Field Test Report in Brazil*, July 2000.



(a) OCR 입력 스펙트럼



(a) OCR 출력 스펙트럼

그림 7. 퀘환신호가 없는 Brazil A 채널에서의 제안된 OCR의 입출력 스펙트럼