

일반논문-08-13-3-08

## T-DMB의 SFN을 위한 등화형 동일채널 중계기

박성익<sup>a)‡</sup>, 박소라<sup>a)</sup>, 음호민<sup>a)</sup>, 이용태<sup>a)</sup>, 김흥묵<sup>a)</sup>

### Equalization On-Channel Repeater for Single Frequency Network of Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting

Sung Ik Park<sup>a)‡</sup>, So Ra Park<sup>a)</sup>, Homin Eum<sup>a)</sup>, Yong-Tae Lee<sup>a)</sup>, and Heung Mook Kim<sup>a)</sup>

#### 요 약

본 논문에서는 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN)을 통해 지상파 DMB 신호를 서비스하기 위해 필요한 동일채널 중계기(On-Channel Repeater, OCR)의 요구사항에 대하여 고찰하고, 그러한 요구사항을 만족하기 위한 등화형 OCR의 구조 및 구현방법을 제안한다. 등화형 OCR은 짧은 시스템 지연을 가질 뿐만 아니라 송/수신 안테나의 낮은 분리도로 인한 케환신호와 송신기와 중계기 사이의 다중경로 신호를 동시에 제거하여 높은 송신출력과 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 또한, 본 논문에서는 전산실험을 통해 등화형 OCR의 성능을 살펴보고 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 등화형 OCR의 성능을 검증한다.

#### Abstract

In this paper we consider technological requirements of the on-channel repeater to broadcast the terrestrial digital multimedia broadcasting (T-DMB) signals using single frequency networks (SFN) and propose the configuration and implementation method of the equalization on-channel repeater (OCR) that meet such requirements. The proposed equalization OCR not only has short time delay, but shows high output power and good quality of output signal by removing a feedback signal due to incomplete antenna isolation and multipath signal existing between the main transmitter and the OCR. In addition, computer simulations and laboratory tests results are provided to figure out performance of the proposed equalization OCR.

Keywords : T-DMB, SFN, OCR, Equalization

## 1. 서 론

한국의 이동방송 표준인 T-DMB(Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting) 시스템은 Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) 시스템을 기반으로 하며<sup>[1]</sup>, OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송기술을 사용한다<sup>[2][3]</sup>. T-DMB 시스템은 고층건물에 의해 둘러 쌓인 도심지역 혹은 고속주행이 많은 고속도로와 같은 열악한 환경에서 방송신호의 원활한 수신을 목적으로 한다<sup>[4]</sup>. 특히, 이동 중 T-DMB 방송신호의 원활한 수신을 위해서는 일정 레벨 이상의 전계강도와 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구축이 반드시 요구된다.

일반적으로 방송망에서 SFN을 구성하기 위한 기술로는 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 송신기간 동

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부

Broadcasting System Research Department, ETRI

‡ 교신저자 : 박성익(psi76@etri.re.kr)

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-016-03, Development of Distributed Translator Technology for Terrestrial DTV]

일한 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>5-9)</sup>. T-DMB 방송망에서 DTxT를 이용하는 방법은 출력전력이 높고 송신 신호의 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. OCR의 도입은 T-DMB 시스템의 SFN 구현을 가능케 하는 매우 핵심적인 기술로서, 주파수 이용 효율을 높일 수 있는 장점이 있지만, OCR 내부에서 발생하는 시간지연이 길면 수신기들의 수신성능이 영향을 받을 수 있다. 일반적으로 T-DMB 시스템을 위한 OCR에서 허용되는 최대 시스템 지연은 보호구간의 10분의 3, 즉 약 74 us이다<sup>10)[11]</sup>.

단일 캐리어(single carrier)를 사용하는 ATSC (Advanced Television Systems Committee) DTV (Digital Television) 시스템에서는 기존의 중계기가 가지는 단점을 보완한 EDOCR (Equalization Digital On-Channel Repeater)이 개발되어 사용되고 있다<sup>12-14)</sup>. ATSC 시스템을 위한 EDOCR은 복조(demodulation), 등화(equalization), 그리고 재변조

(re-modulation)로 구성되어 있으며, 각각의 구성요소는 성능저하를 최소화하면서 시간지연을 줄이는 쪽으로 초점을 맞추어 개발되었다. 하지만, T-DMB 시스템과 같이 OFDM 전송기법을 기반으로 한 시스템을 위한 중계기에서는 ATSC 시스템의 EDOCR과 같이 복조, 등화, 재변조 구조를 사용할 수 없다. 왜냐하면, OFDM 시스템에서는 복조 및 등화를 위한 FFT (Fast Fourier Transform), 재변조를 위한 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)가 필요한데, FFT 및 IFFT에 의해 ms 단위의 시간지연이 발생하기 때문이다.

본 논문에서는 SFN을 통해 T-DMB 신호를 서비스하기 위해 필요한 OCR의 요구사항에 대하여 알아보고, 그러한 요구사항을 만족하기 위한 등화형 OCR의 구조 및 구현방법을 제안한다. 또한, 전산실험을 통해 등화형 OCR의 성능을 살펴보고 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 등화형 OCR의 성능을 검증한다.

## II. 단일 주파수 망

### 1. 단일 주파수 망 구성

T-DMB 시스템을 위한 SFN은 다수의 DTxT와 OCR을 통해 구성될 수 있으며, 그림 1과 같다. 먼저, 방송국으로부터

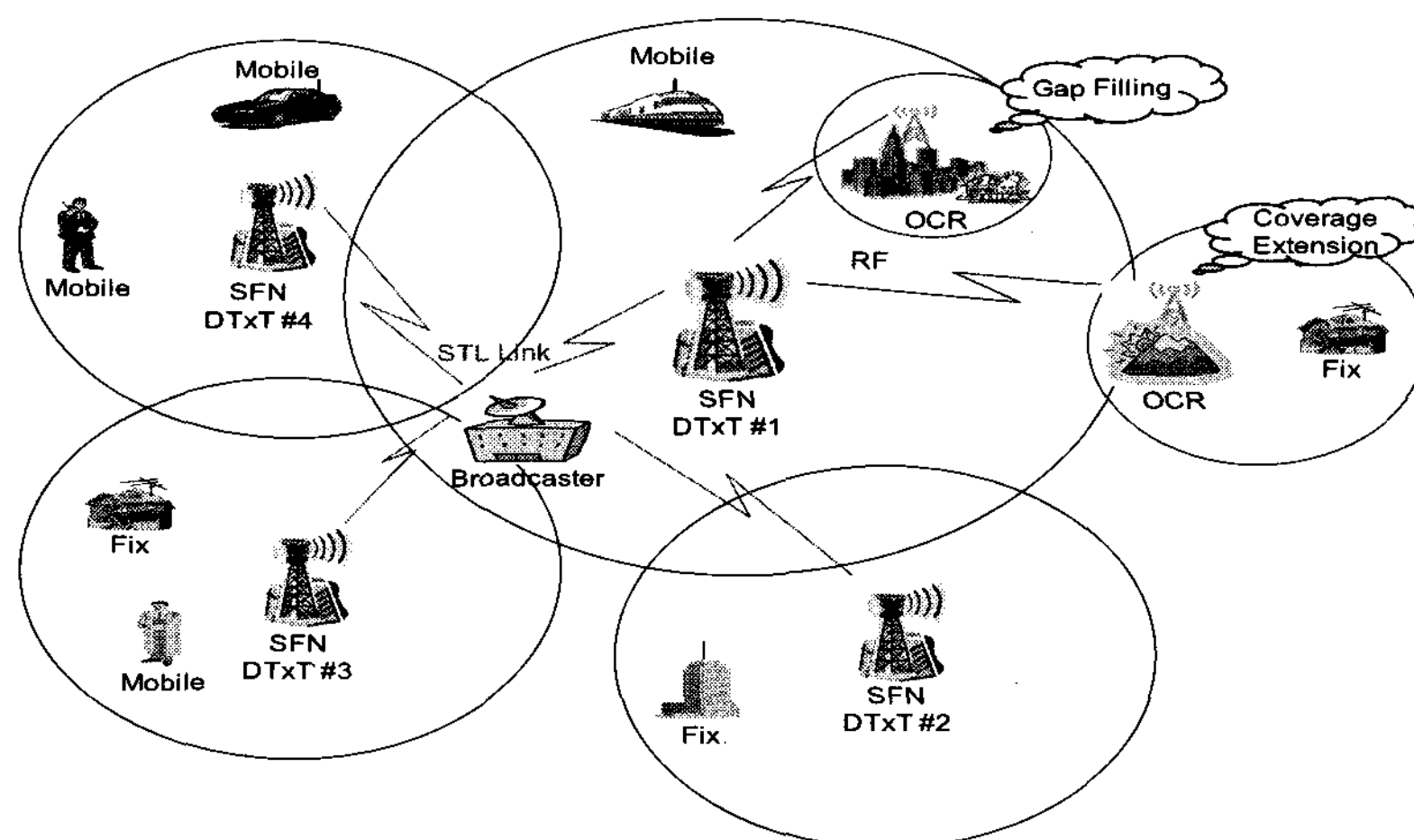


그림 1. T-DMB 시스템을 위한 SFN 구성도  
Fig. 1. SFN configuration for T-DMB system

터 STL (Studio to Transmitter Link)을 통해 다수의 DTxT 로 전송된 T-DMB 방송신호를 고출력으로 전송함으로써 대부분의 방송구역에 안정적인 방송신호를 제공한다. DTxT를 이용하여 SFN을 설계할 때는 다음과 같은 두 가지 사항을 고려해야 한다.

- T-DMB 시스템의 보호구간은 약 246 us이므로 두 송신기간의 최대 거리는 약 74 Km로 제한된다.
- DTxT를 통해 전송된 신호들이 겹치는 방송중첩 지역에서는 T-DMB 수신기들의 성능저하를 최소화하기 위해 DTxT의 송출시간을 적절히 조정해야 한다.

다음으로, DTxT를 통해 전송된 방송신호가 약하게 도달하는 난시청 지역(터널, 구릉지, 지하, 고층건물로 둘러 쌓인 지역), DTxT간 거리 제약으로 인해 DTxT를 설치할 수 없는 지역, 혹은 DTxT를 설치하기에 경제성이 떨어지는 지역 등에는 OCR을 설치하여 난시청 지역을 제거하거나 방송구역을 확장한다. 설치된 OCR은 DTxT로부터 T-DMB 방송신호를 입력 받아 DTxT와 동일한 주파수로 재전송한다.

## 2. 분산 송신기

방송국으로부터 STL을 통해 다수의 DTxT로 전송된

T-DMB 방송신호를 SFN을 통해 전송하기 위해서는 다음과 같은 세 가지의 요구사항을 만족해야 한다<sup>[15]</sup>.

- ① 주파수 동기(frequency synchronization): DTxT들은 동일한 주파수를 통해 신호를 전송해야 한다. 만약 DTxT들 간의 송신 주파수가 다르다면 도플러 천이된 고스트를 야기시키고, 이것은 수신기의 성능저하 요인이 된다.
- ② 시간 동기(time synchronization): DTxT들은 특정한 시간 관계를 가지며 신호를 전송할 수 있어야 한다. 즉, DTxT들의 송출 시간을 조절할 수 있어야 한다. DTxT들로부터 전송된 방송신호는 시간지연이 긴 고스트(ghost)를 야기할 수 있고, 이러한 시간지연이 긴 고스트 신호는 수신기의 성능저하 요인이 된다.
- ③ 데이터 동기(data synchronization): DTxT들은 동일한 입력신호에 대해 동일한 출력신호를 가져야 한다. 만약 동일한 입력신호에 대해 DTxT들간의 출력신호가 동일하지 않다면, 동일한 주파수 대역 내에서 송신기 출력신호들은 송신기 입력신호와 상호 연관성이 없는 잡음 신호가 된다. 이러한 잡음신호는 수신기에서 등화기 혹은 다른 장치로도 제거되지 않기 때문에 수신기 성능저하의 요인이 된다.

위의 세 가지 요구사항을 만족하기 위해, T-DMB 시스템

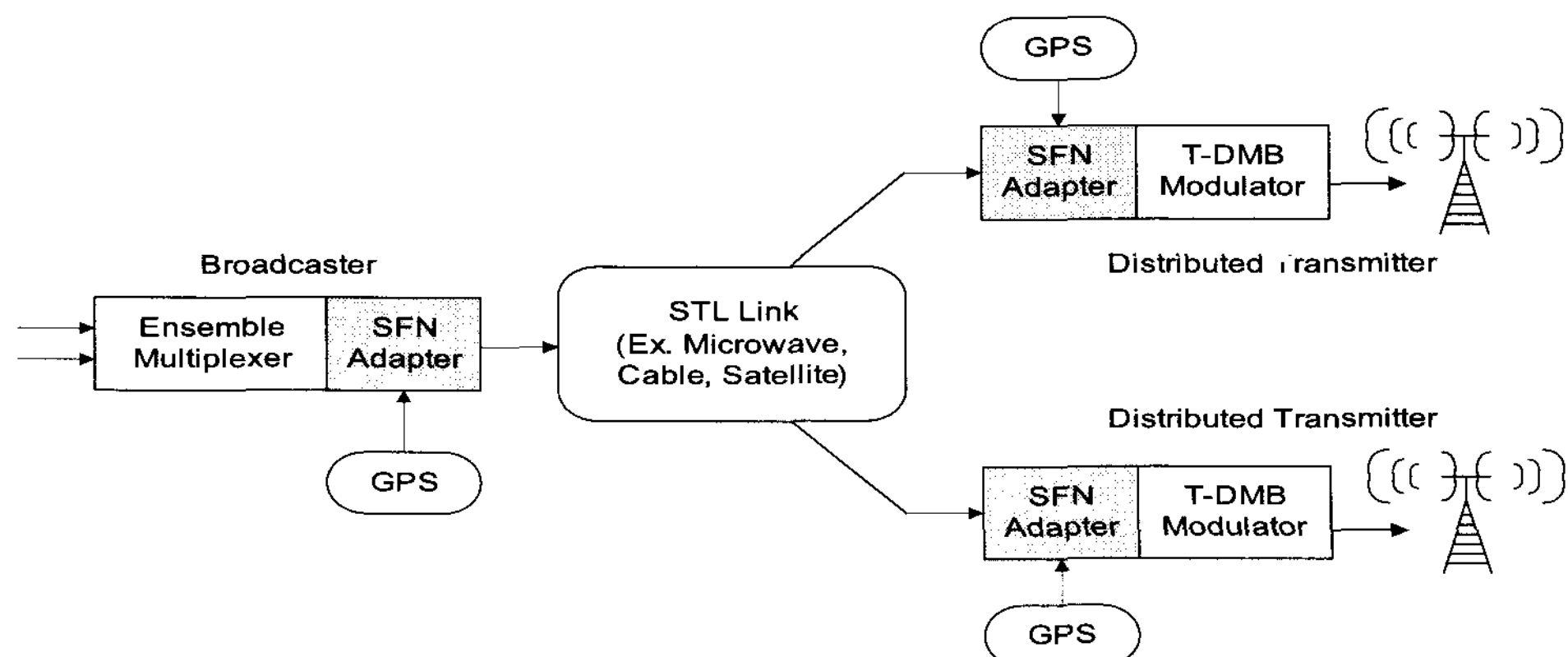


그림 2. T-DMB 송신기들 간의 SFN 방법  
Fig. 2. SFN Configuration of DTxTs for T-DMB system

은 GPS로부터 Frequency Reference (10 MHz)와 Time Reference (1 pps)를 받아 DTxT간 주파수 및 시간 동기를 일치시키고, MIP (Megafame Initialization Packet)를 삽입하여 데이터 동기를 획득한다<sup>[8],[9]</sup>. GPS와 MIP를 이용하여 세 가지 동기를 맞추는 방법은 T-DMB 시스템뿐만 아니라 ATSC, DVB-T/H 등의 DTxT에서도 동일하게 사용된다.

### 3. 동일채널 중계기

#### 3.1 동일채널 중계기의 요구사항

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

- ① OCR은 송/수신 신호의 주파수가 동일해야 한다. 만약 주송신기 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 궤환신호를 제거해야 한다. 만약 송수신 안테나의 분리도가 충분히 확보되지 못하면, 송신신호가 수신

안테나로 궤환(feedback)되어 수신신호를 간섭(interference)한다. 이러한 궤환신호는 OCR 수신신호의 품질을 열화 시키고 OCR 송신전력에 많은 제한을 주게 된다.

- ③ OCR 출력신호는 좋은 품질을 가져야 한다. 즉, 주송신기 송신안테나와 중계기 수신안테나 사이의 다중경로로 인해 수신신호가 왜곡되더라도, OCR 출력신호는 좋은 품질을 가져야 한다. 이를 위해 OCR은 다중경로로 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 최대 시스템 지연은 보호구간의 10분의 3, 즉 약 74 us 이내이다.

#### 3.2 기존 OCR의 구조

일반적으로 T-DMB 시스템을 위한 OCR은 수신부, 신호처리부, 송신부, 그리고 송신안테나로 구성된다. 기존의 OCR들은 아날로그 형태의 RF (Radio Frequency) 및 IF (Intermediate Frequency) OCR과 디지털 형태의 FIC (Feedback Interference Canceller)를 가지는 OCR로 구분되

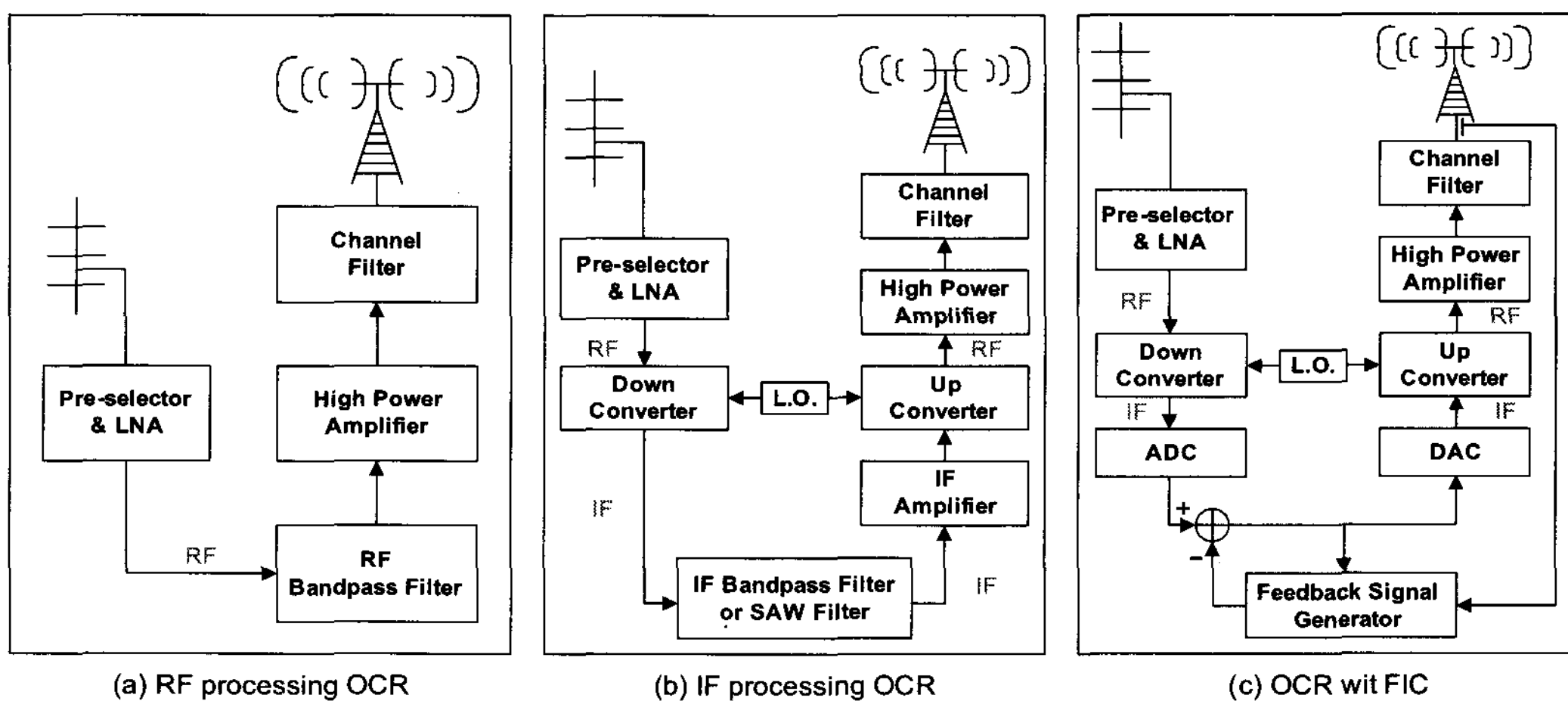


그림 3. 기존 OCR의 구조  
Fig. 3. Structures of conventional OCRs

며, 그 구조는 그림 3과 같다.

그림 3 (a)는 RF OCR을 나타내며, 수신부는 프리실렉터 (pre-selector)와 LNA (Low-Noise Amplifier)로, 신호처리부는 RF BPF (Band Pass Filter)로, 송신부는 HPA (High Power Amplifier)와 채널 필터로 각각 구성된다. 이러한 RF OCR은 주파수 상/하향 변환이 없을 뿐만 아니라 간단한 구조와 짧은 시스템 지연(약 0.5~1  $\mu$ s)을 가진다.

그림 3 (b)는 IF OCR을 나타내며, 수신부는 프리실렉터, LNA, 그리고 주파수 하향 변환기로, 신호 처리부는 아날로그 IF BPF 또는 아날로그 SAW (Surface Acoustic Wave) 필터로, 송신부는 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 구성된다. 이러한 IF OCR 역시 간단한 구조와 짧은 시스템 지연(약 1~2  $\mu$ s)을 가질 뿐만 아니라 RF OCR보다 BPF의 선택(selective) 특성이 더 우수하다.

그림 3 (c)는 디지털 형태의 FIC를 가지는 OCR을 나타내며, 수신부는 프리실렉터, LNA, 주파수 하향 변환기, 그리고 ADC (Analog to Digital Converter)로, 디지털 신호 처리부는 감산기와 케환신호 생성기로, 송신부는 DAC (Digital to Analog Converter), 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 구성된다. 이러한 FIC를 가지는 OCR은 케환신호를 제거할 수 있어 중계기 출력전력이 높을 뿐만 아니라 중계기 송신신호의 품질이 RF 및 IF OCR 보다 우수하다. 참고문헌 [10][16][17]에 의하면, FIC를 가지는 OCR은 이론적으로 수신신호보다 약 20 dB 큰 전력의 케환신호를 제거할 수 있고, 실제 제작된 OCR은 수신신호보다 약 10 dB 큰 전력의 케환신호를 제거할 수 있다.

### 3.3 기존 OCR의 특징

표 1은 기존 OCR의 특징을 상대적인 비교를 통하여 나

타낸 것이다. RF OCR은 송/수신 신호의 주파수가 항상 일치하고, 간단한 구조로 인해 가장 짧은 시간지연을 가진다. 하지만, 중계기 송수신 안테나의 낮은 분리도에 의한 케환신호를 제거할 수 없어 송출전력이 낮고, 주송신기와 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. 마지막으로, 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. 뿐만 아니라, 기존의 OCR은 인접채널이 존재하는 경우 DAB 및 T-DMB 송출 마스크 규격을 만족하지 못한다.

## III. T-DMB 시스템을 위한 등화형 OCR

### 1. 등화형 OCR의 구조 및 특징

본 절에서는 기존 OCR의 단점들을 보완한 그림 4와 같은 구조의 등화형 OCR을 제안한다. 등화형 OCR의 수신부는 프리실렉터, LNA, 주파수 하향 변환기, 그리고 ADC로, 신호 처리부는 복조기, 채널추정기, 역변환기로 이루어져 주기적으로 동작하는 역채널 추정기와 복소 FIR (Finite Impulse Response) 필터로, 송신부는 DAC, 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 각각 구성된다. 등화형 OCR의 구조는 감산기와 케환신호 생성기 대신 FIR 필터와 역채널 추정기의 사용을 제외하면 FIC를 가지는 OCR과 동

표 1. 기존 OCR의 특징

Table 1. Characteristics of conventional OCRs

|              | Feedback rejection capability | Multipath rejection capability | Processing Delay (<74 $\mu$ s) | Transmitting signal quality | Transmitting power | Emission Mask |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|
| RF OCR       | No                            | No                             | Pass (0.5 ~ 1 $\mu$ s)         | Low                         | Low (< 1 W)        | Failed        |
| IF OCR       | No                            | No                             | Pass (1 ~ 2 $\mu$ s)           | Low                         | Low (< 1 W)        | Failed        |
| OCR with FIC | Yes (up to 10 dB)             | No                             | Pass (10 ~ 20 $\mu$ s)         | Moderate                    | High (< 100 W)     | Failed        |

일하며, 다음과 같은 특징을 가진다.

- ① 등화형 OCR은 송신기와 중계기 사이의 다중경로 및 선형왜곡 등을 포함하는 수신채널의 역을 역채널 추정기를 통해 주기적으로 추정하고, 추정된 수신채널의 정보를 가지는 복소 FIR 필터를 통해 수신채널의 왜곡을 보상함으로써 OCR 출력신호 품질을 입력신호보다 우수하게 만든다.
- ② 등화형 OCR은 송/수신 안테나의 낮은 분리도로 인해 야기된 케환신호를 역채널 추정기와 복소 FIR 필터를 통해 제거할 수 있기 때문에, 기존의 RF 및 IF OCR보다 송신출력을 높일 수 있다.
- ③ 등화형 OCR은 복조 및 등화를 위한 FFT와 재변조를 위한 IFFT를 사용하지 않고, 채널보상을 위한 FIR 필터를 가지는 간단한 구조로 인해 상대적으로 짧은 시스템 지연을 가진다. OCR의 시간지연은 복소 FIR 필터의 전치 탭 수에 의해 결정되며, 전치 탭 수의 조정을 통해 보호구간 보다 짧은 시간지연을 가지는 OCR을 설계할 수 있다.

등화형 OCR의 다양한 특징들은 표 1에 있는 기존 OCR 방식과의 상대적인 비교지표를 통해 표 2에 나타난다.

## 2. 등화형 OCR의 디지털 신호 처리 기술

그림 4와 같은 등화형 OCR의 디지털 신호 처리부는 역채널 추정을 위해 주기적으로 동작하는 역채널 추정부와 추정된 역채널 정보를 이용해 채널의 왜곡(다중경로 신호와 케환신호에 의한 왜곡)을 보상하는 복소 FIR 필터부로 구성된다. 또한, 역채널 추정부는 복조부, 채널추정부, 그리

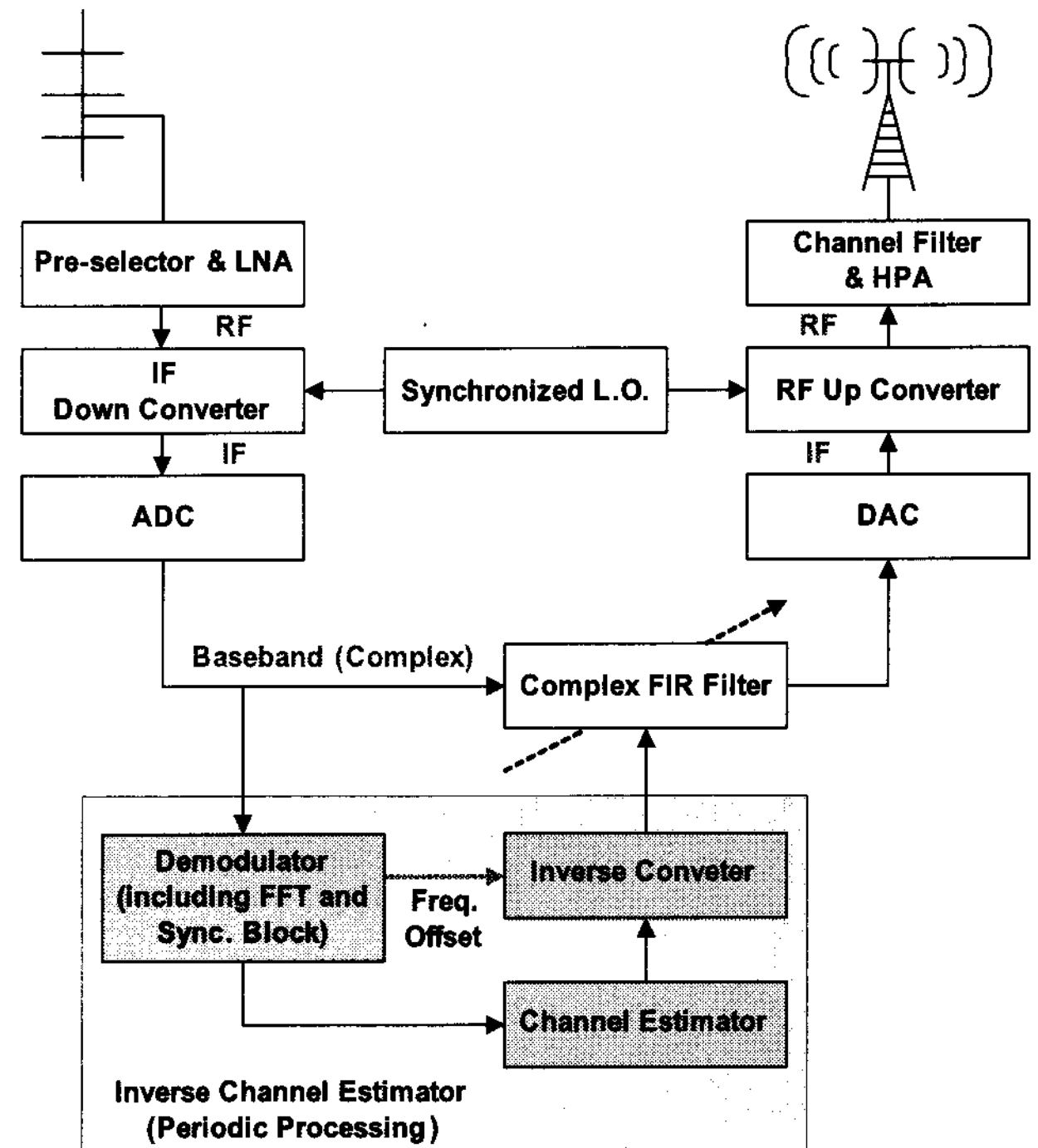


그림 4. 등화형 OCR의 구조  
Fig. 4. Structure of the equalization OCR

고 역변환부로 구성된다.

### 2.1 복조부

등화형 OCR의 복조부는 수신 채널추정을 위해 요구되는 PRS 신호와 주파수 보정을 위한 주파수 편이 추정값을 채널추정부로 보내주는 역할을 한다. T-DMB 전송신호의 구조는 그림 5와 같으며, PRS 신호 및 주파수 편이 추정값을 얻기 위해 프레임 동기, 심볼 동기, 주파수 동기 및 복조 과정이 필요하다.

이를 위한 등화형 OCR의 복조부는 그림 6과 같은 구조를 가지며, 송수신간 주파수 편이를 추정 및 보정하는 주파

표 2. 등화형 OCR의 특징  
Table 2. characteristics of the Equalization OCR

|              | Feedback rejection capability | Multipath rejection capability | Processing Delay (<74 $\mu$ s) | Transmitting signal quality | Transmitting power | Emission Mask |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Proposed OCR | Yes (up to -1 dB)             | Yes                            | Pass (adjustable)              | Good                        | Moderate (< 10 W)  | Pass          |



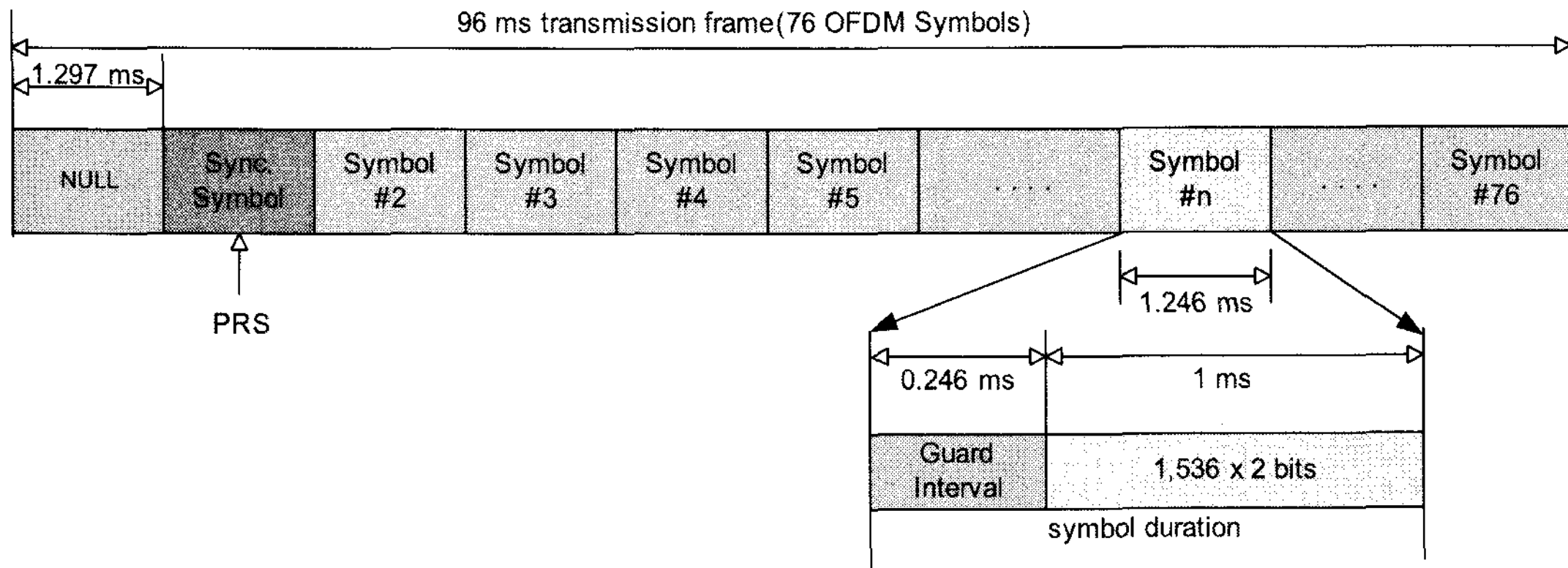


그림 5. T-DMB 전송신호의 구조.  
Fig. 5. Structure of T-DMB transmitting signal.

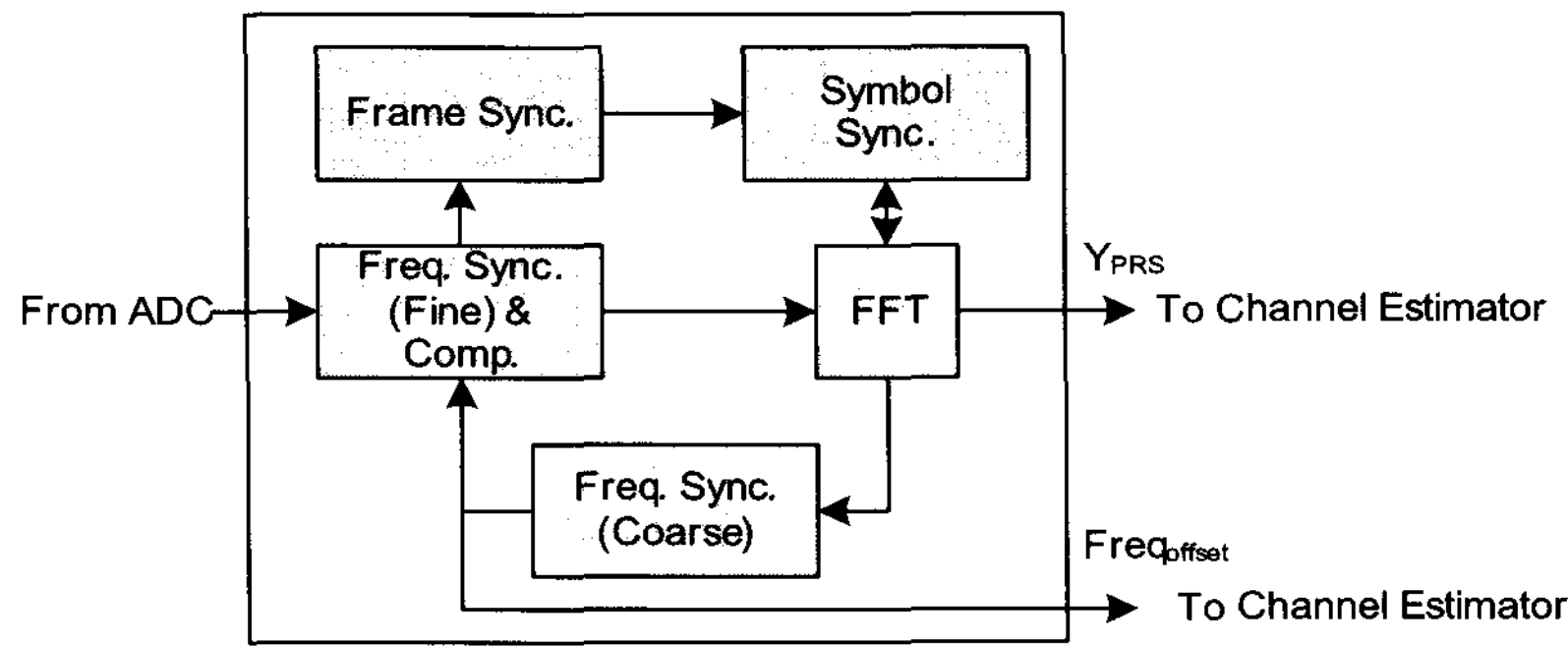


그림 6. 등화형 OCR을 위한 복조부의 구조  
Fig. 6. Demodulator structure of equalization OCR

수 동기부, Null 심볼 시간편이를 추정 및 보정하는 프레임 동기부, OFDM 심볼 시간편이를 추정 및 보정하는 심볼 동기부, 수신신호를 복조하는 FFT로 구성된다.

2.2 채널추정부

등화형 OCR의 채널추정부는 그림 7과 같은 구조를 가지며, 송신기 및 중계기 사이에 약속된 파일럿 신호, 즉 PRS 신호를 이용하여 수신신호의 왜곡이 포함된 채널을 추정한다. 먼저 복조부에서 추출된 파일럿 신호  $Y_{PRS}$ 를 약속된 PRS 신호  $X_{PRS}$ 와 주파수 영역에서 비교함으로써 수신신호의 채널을 추정한다. 채널의 임펄스 응답 시간이 보호구간보다 작고, 동기 획득에서의 오류가 없다고 가정하면, 추출된 파일럿 신호  $Y_{PRS}$ , 알려진 파일럿 신호  $X_{PRS}$ , 그리고 채널 전달 함수  $H$ 사이에서의 관계는 다음과 같다<sup>[18]</sup>.

$$Y_{PRS}(k) = H(k) \cdot X_{PRS}(k) + W_{PRS}(k), \quad 0 \leq k < N \quad (1)$$

여기서  $W_{PRS}(k)$ 는 복조 후 k-번째 PRS 부반송파에 대한 AWGN을 나타내고, N은 부반송파의 수를 나타낸다. 수신기에서 약속된 PRS 신호  $X_{PRS}$ 를 알고 있다고 가정하면, 파일럿 주파수에서 Least Square 방법을 통해 채널의 주파수 응답을 계산하면 다음과 같다:

$$H_{PRS}(k) = \frac{Y_{PRS}(k)}{X_{PRS}(k)} = H(k) + W'_{PRS}(k), \quad 0 \leq k < N \quad (2)$$

여기서  $W'_{PRS}(k)$ 는 추정된 채널에 남아있는 잡음을 나타낸다.

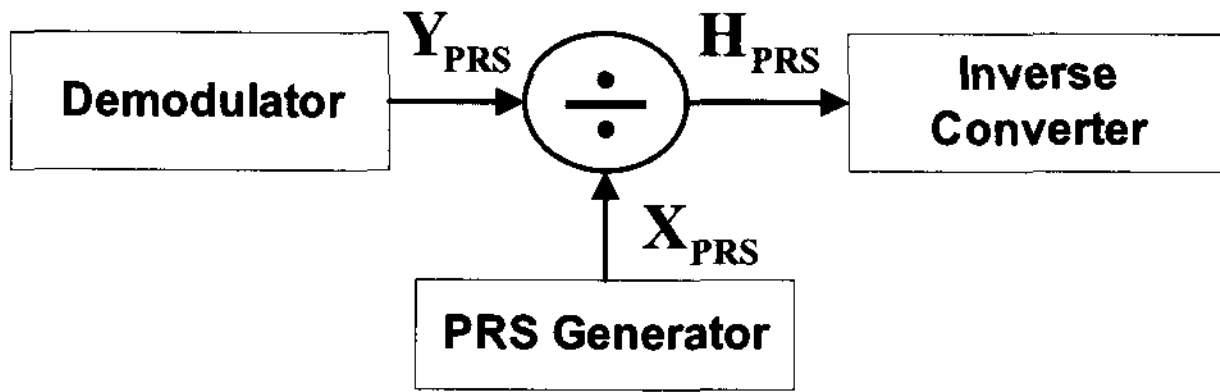


그림 7. 등화형 OCR을 위한 채널추정부의 구조  
Fig. 7. Structure of the channel estimator for equalization OCR

2.3 역변환부

등화형 OCR의 역변환부는 주파수영역에서 추정된 수신 채널  $H_{PRS}$ 의 역을 시간영역으로 안정성과 인과성이 보장되게 변환시킨다. 추정된  $H_{PRS}$ 로부터 그 역에 대응하는 시간영역의 신호  $h_{inv,prs}$ 를 생성하는 일반적인 방법은 수학적 (3)처럼 나눗셈을 이용한 직접적인 역변환 후, IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)를 통해 시간영역으로 변환하는 것이다.

$$H_{INV, PRS}(k) = \frac{1}{H_{PRS}(k)}, \quad 0 \leq k < N \quad (3)$$

이러한 역변환이 안정성(stability)과 인과성(causality)을 보장하기 위해서는 추정된  $H_{PRS}$ 의 z-평면상 폴-제로들이 그림 8 (b)처럼 단위원(unit circle) 안에 존재해야 한다. 하지만, 실제 추정된  $H_{PRS}$ 의 폴-제로들 중 일부는 그림 8(c)처럼

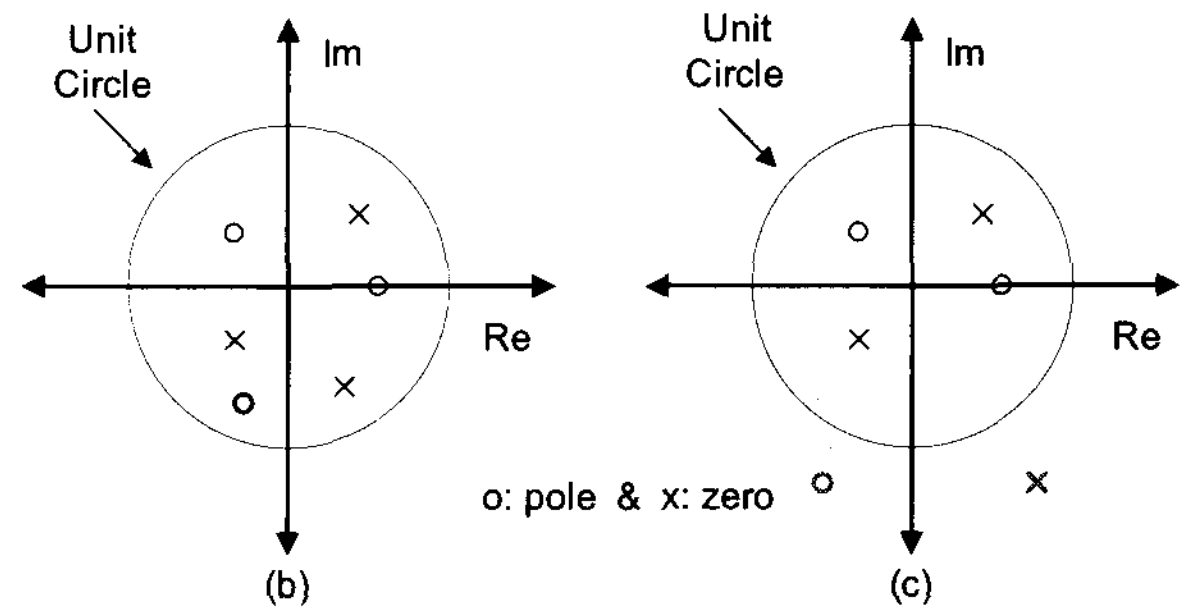
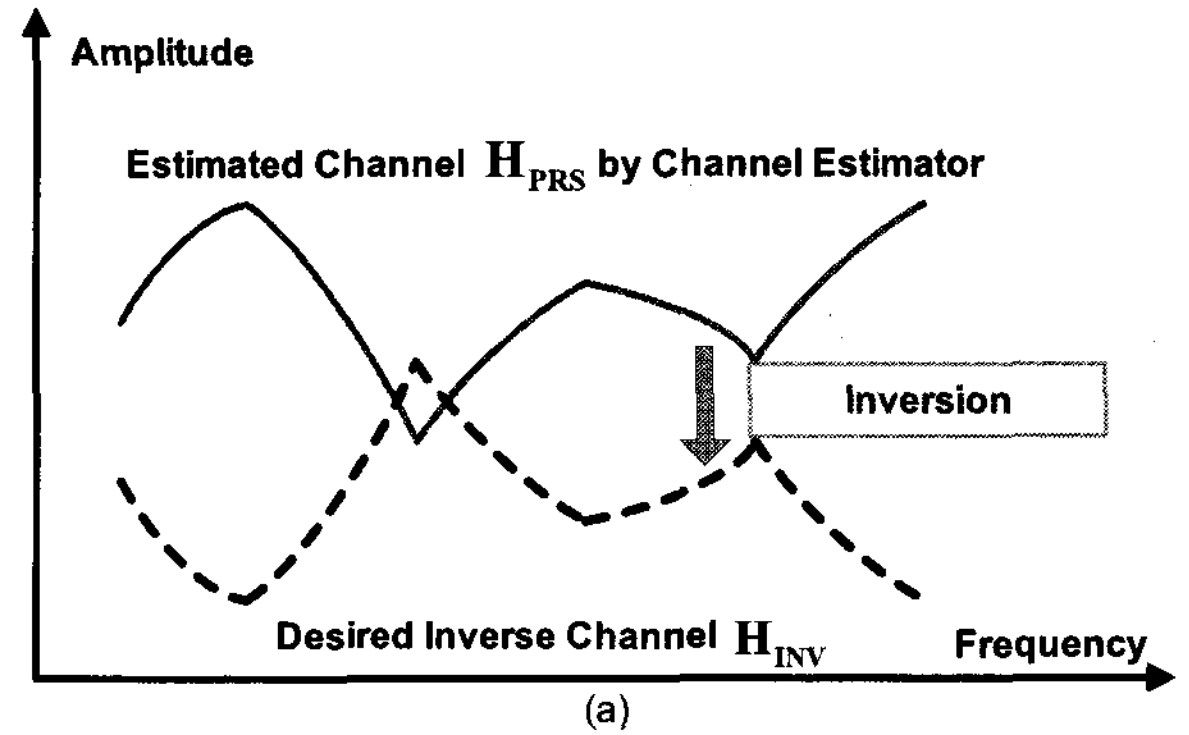
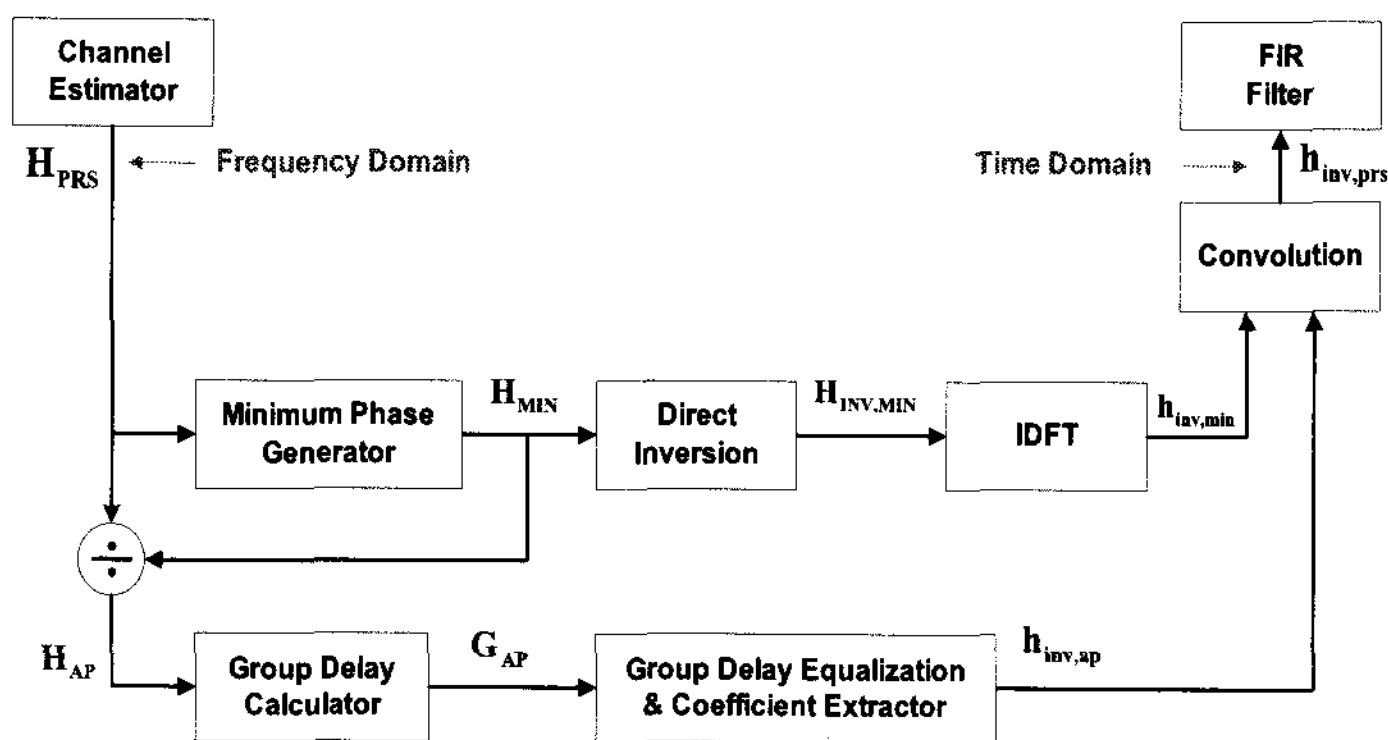


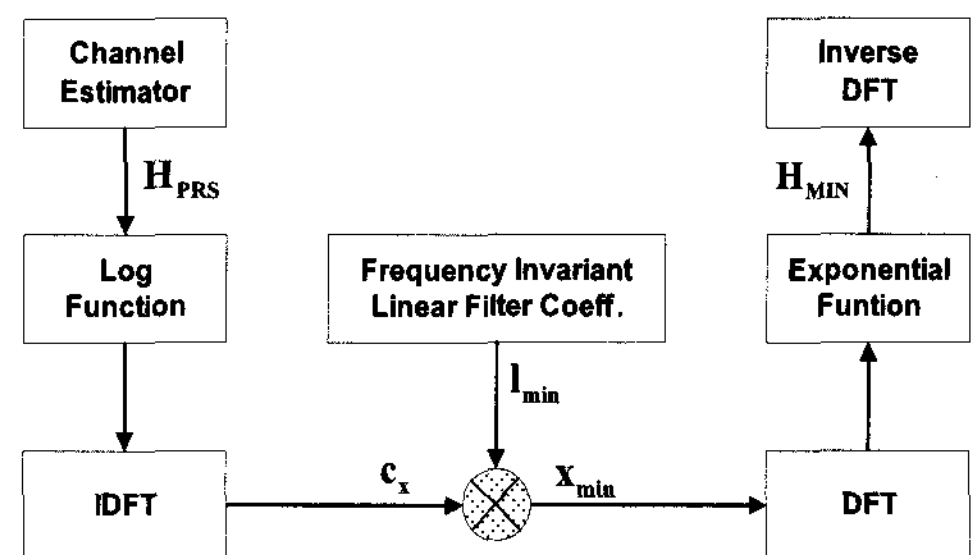
그림 8. 역 변환 개념도  
Fig. 8. Concept of Inverse conversion

단위원 밖에 존재할 확률이 높기 때문에 나눗셈에 의한 역채널 추정은 안정성과 인과성이 보장되지 않는다.

추정된  $H_{PRS}$ 로부터 그 역에 대응하는 시간영역 신호  $h_{inv,prs}$ 로 변환하는 다른 방법은 아래의 수학적 (4)와 같이



(a) 등화형 OCR을 위한 역변환부의 구조



(b) 역변환부에서 사용되는 최소위상 생성부의 구조

그림 9. 등화형 OCR을 위한 역변환부 및 최소위상 생성부의 구조  
Fig. 9. Structures of inverse converter and minimum phase generator for equalization OCR



추정된  $H_{PRS}$ 를 폴-제로들이 단위원 안에 존재하는 최소위상(minimum phase) 성분과 크기가 1인 올패스(allpass) 성분으로 재구성하는 것이며<sup>[19]</sup>, 그 구조는 그림 9 (a)와 같다.

$$H_{PRS}(k) = H_{MIN}(k) \cdot H_{AP}(k), \quad 0 \leq k < N \quad (4)$$

여기서  $H_{MIN}(k)$ 과  $H_{AP}(k)$ 는 추정된 채널의 k-번째 부반송파에 대한 최소위상 성분과 올패스 성분을 각각 나타낸다. 또한, 추정된  $H_{PRS}$ 로부터 최소위상 성분  $H_{MIN}$ 을 생성하기 위한 최소위상 생성부의 구조는 그림 9(b)와 같다<sup>[19]</sup>. 추정된  $H_{PRS}$ 에 복소 로그함수를 취한 후 IDFT하여 복소 켈스트럼(complex cepstrum) 신호  $c_x$ 를 생성하고, 수학적 식 (5)와 같이 주파수 불변 선형 필터계수  $l_{min}$ 를 곱한다.

$$x_{min}(k) = c_x(k) \cdot l_{min}(k), \quad 0 \leq k < N \quad (5)$$

여기서,  $l_{min}$ 은 다음과 같다:

$$l_{min}(k) = 2 \cdot u[k] - \delta[k], \quad 0 \leq k < N \quad (6)$$

수학적 식 (5)에 의해 계산된  $x_{min}$ 은 DFT 과정을 거친 후, 복소 지수함수에 의해 최소위상 성분  $H_{MIN}$ 으로 변환된다. 생성된  $H_{MIN}$ 은 안정성과 인과성이 보장되기 때문에 수학적 식 (3)처럼 나눗셈을 통한 직접 역변환 후, IDFT를 통해 시간 영역의 신호  $h_{inv,min}$ 으로 변환된다. 한편, 올패스 성분  $H_{AP}$ 는 추정된  $H_{PRS}$ 를 최소위상 성분  $H_{MIN}$ 로 나눔으로써 획득되며, 다음과 같다.

$$H_{AP}(k) = \frac{H_{PRS}(k)}{H_{MIN}(k)}, \quad 0 \leq k < N \quad (7)$$

생성된 올패스 성분  $H_{AP}$ 는 군지연(group delay) 등화를 통해 보상되고<sup>[20][21]</sup>, 군지연  $G_{AP}$ 는 아래의 수학적 식 (8)과 같이 올패스 성분의 위상정보를 미분함으로써 획득된다.

$$G_{AP}(k) = -\frac{d}{dk} \left\{ \arg [H_{AP}(k)] \right\}, \quad 0 \leq k < N \quad (8)$$

여기서,  $\arg[\cdot]$ 는 위상응답(phase response)를 나타낸다. 올패스 성분  $H_{AP}$ 의 역에 대응하는 시간영역의 신호  $h_{inv,ap}$ 는 군지연 등화 후 등화필터의 탭 계수이다. 마지막으로, 추정된 수신채널  $H_{PRS}$ 의 역에 대응하는 시간 영역의 신호  $h_{inv,prs}$ 는 최소위상 성분의 역에 대응되는  $h_{inv,min}$ 와 올패스 성분의 역에 대응되는  $h_{inv,ap}$ 를 수학적 식 (9)와 같이 결합함으로써 생성된다.

$$h_{inv,prs} = h_{inv,min} * h_{inv,ap} \quad (9)$$

여기서, \*는 곱셈(convolution)연산을 의미한다.

#### IV. 전산실험 결과 및 실험실 테스트 결과

##### 1. 전산실험 결과

전산실험에서는 궤환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 등화형 OCR의 성능과 OCR 등화기의 작동 여부에 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 정적(static) 채널을 가지며, 표 2와 같은 변형된 Brazil A

표 2. 변형된 Brazil A 채널의 다중경로 프로파일  
Table 2. Channel profile of modified Brazil channel A

|               | Delay [us] | Amplitude [dB] | Phase [degree] |
|---------------|------------|----------------|----------------|
| 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      | 10.0       | -1, -5, -10    | 0              |

채널로 묘사 가능하다<sup>[13]</sup>. 왜곡신호의 크기는 -1, -5, -10 dB로 변화하고, 지연의 길이는 OCR 시스템 지연에 대응되는

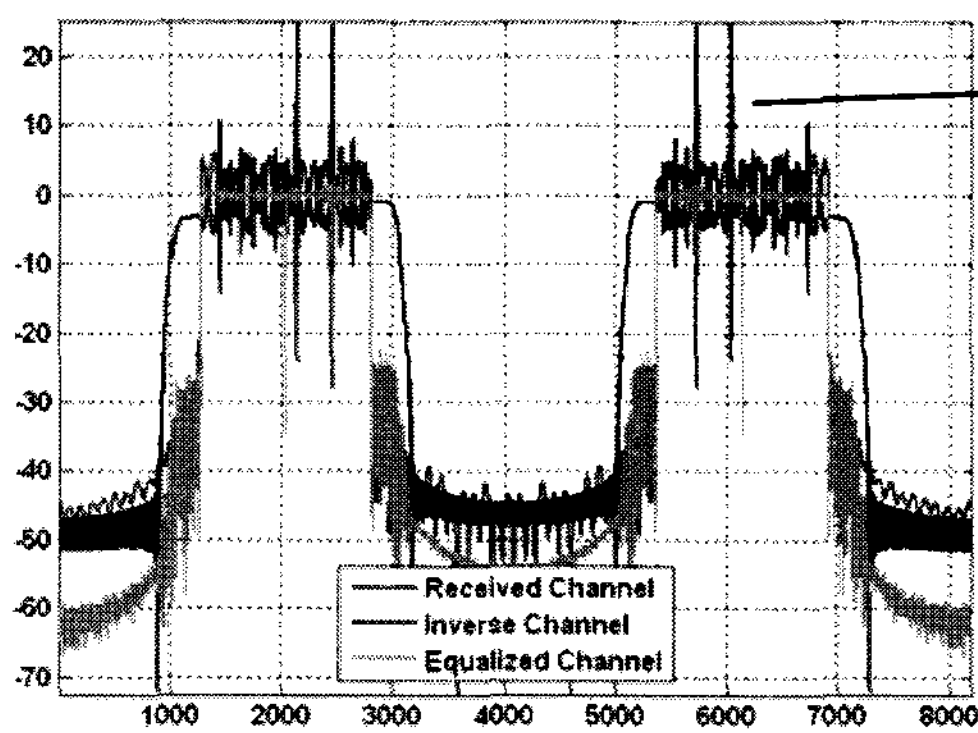
10 us를 가진다. 또한, 복소 FIR 필터는 600 탭으로 구성되며, 전치 탭(pre-tap)이 20이고, 후치 탭(post-tap)이 580이다. 구체적인 전산실험 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. 전산실험 파라미터

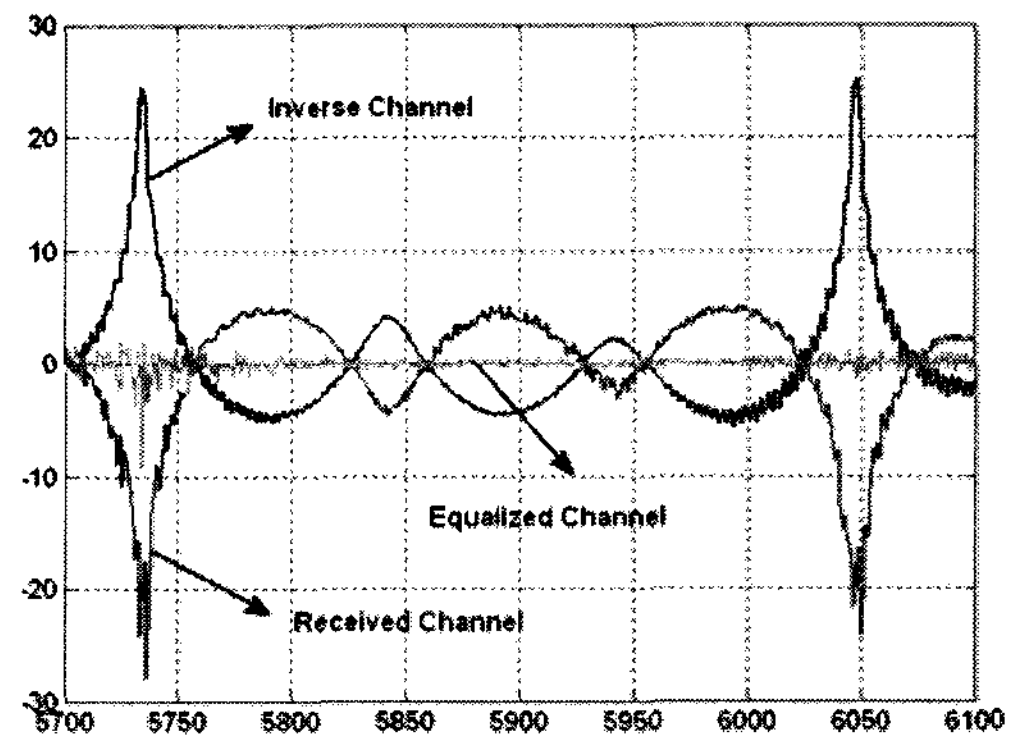
Table 3. Parameters of computer simulations

| Parameter                         | Specifications                          |
|-----------------------------------|---|
| IF Center Frequency               | 2.048 MHz                               |
| CNR                               | 10 ~ 30 dB                              |
| Number of Complex FIR Filter Taps | 600<br>(pre-taps = 20, post-taps = 580) |
| System Delay                      | 10 us                                   |
| Channel                           | Single Feedback & Modified Brazil A     |

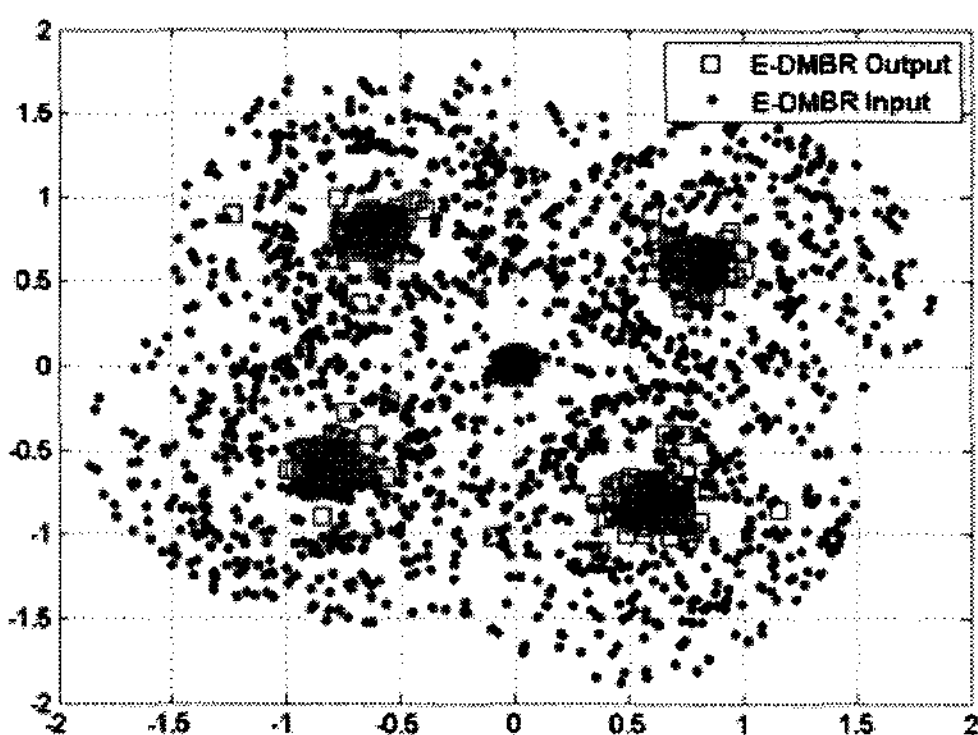
그림 10은 30 dB의 CNR과 -5 dB의 왜곡신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼, 신호성상, 그리고 복소 FIR 필터의 탭 계수(절대치)를 나타낸다. 그림 11은 단일 왜곡신호 및 왜곡신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 FFT 이후 측정된 등화형 OCR의 입력 및 출력 신호의 SER (Symbol Error Rate)을 나타낸다. 그림 11의 가로축은 CNR이며, 세로축은 SER이다. 그림 10과 11에 의하면, 다중경로 및 왜곡신호에 의한 채널왜곡은



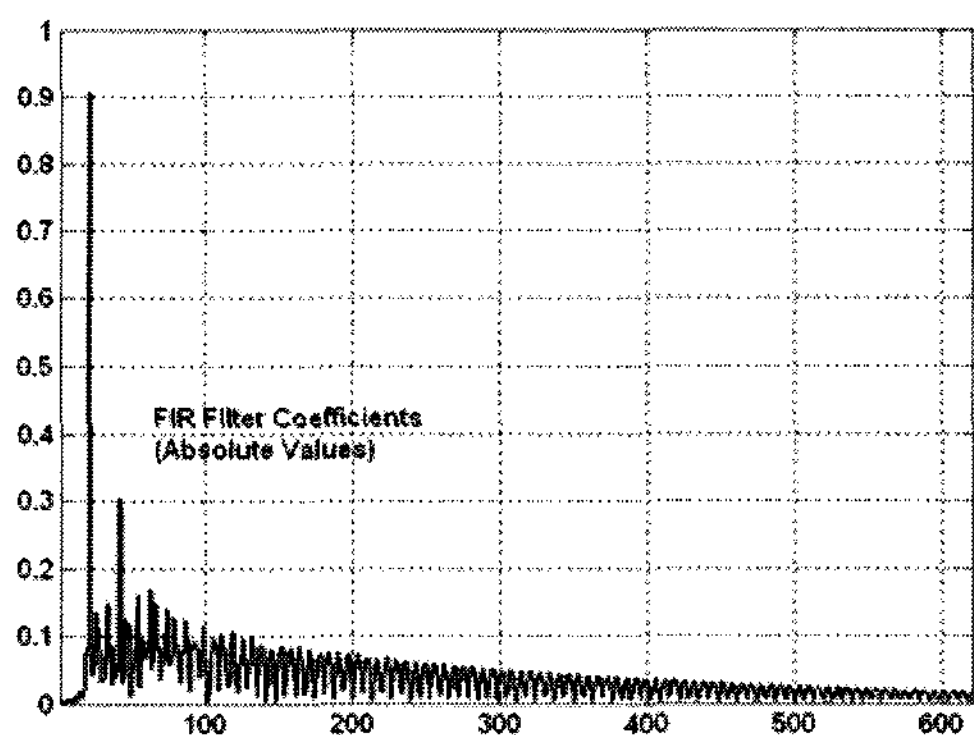
(a) Spectrum



(b) Expanded View



(c) Signal Constellation

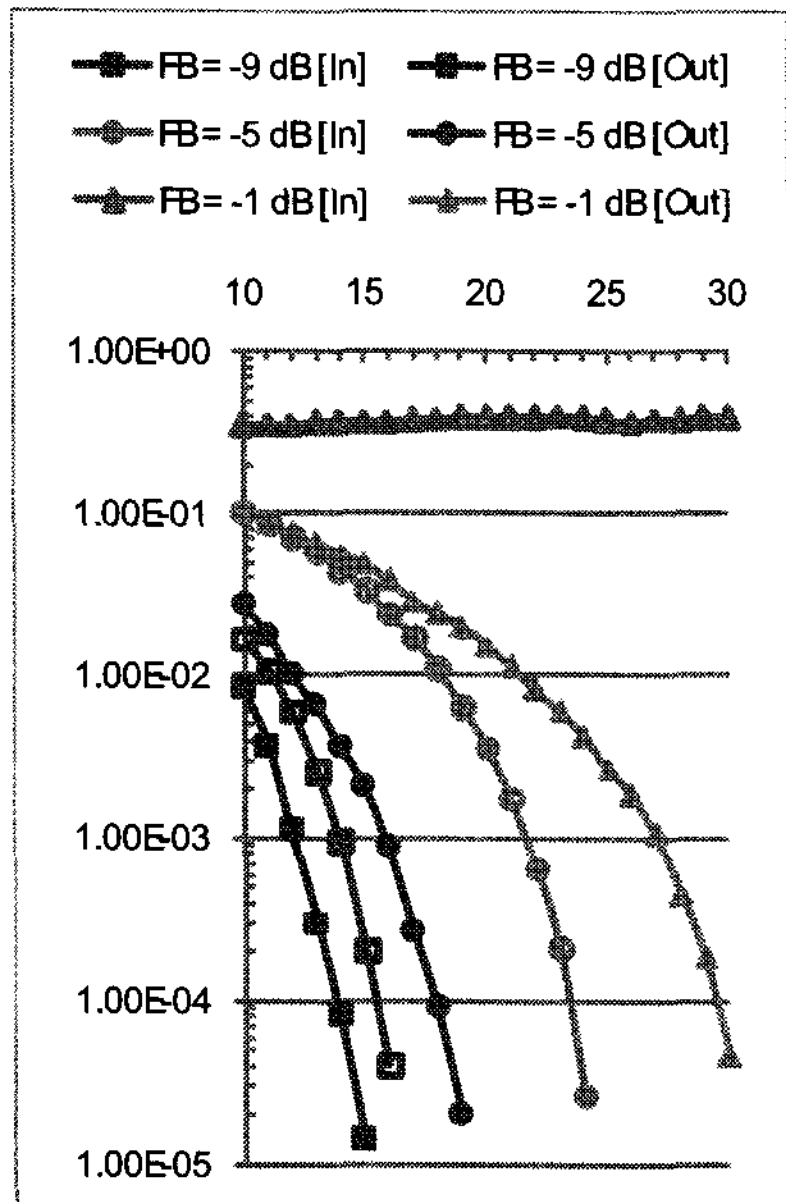


(d) Filter Coefficients

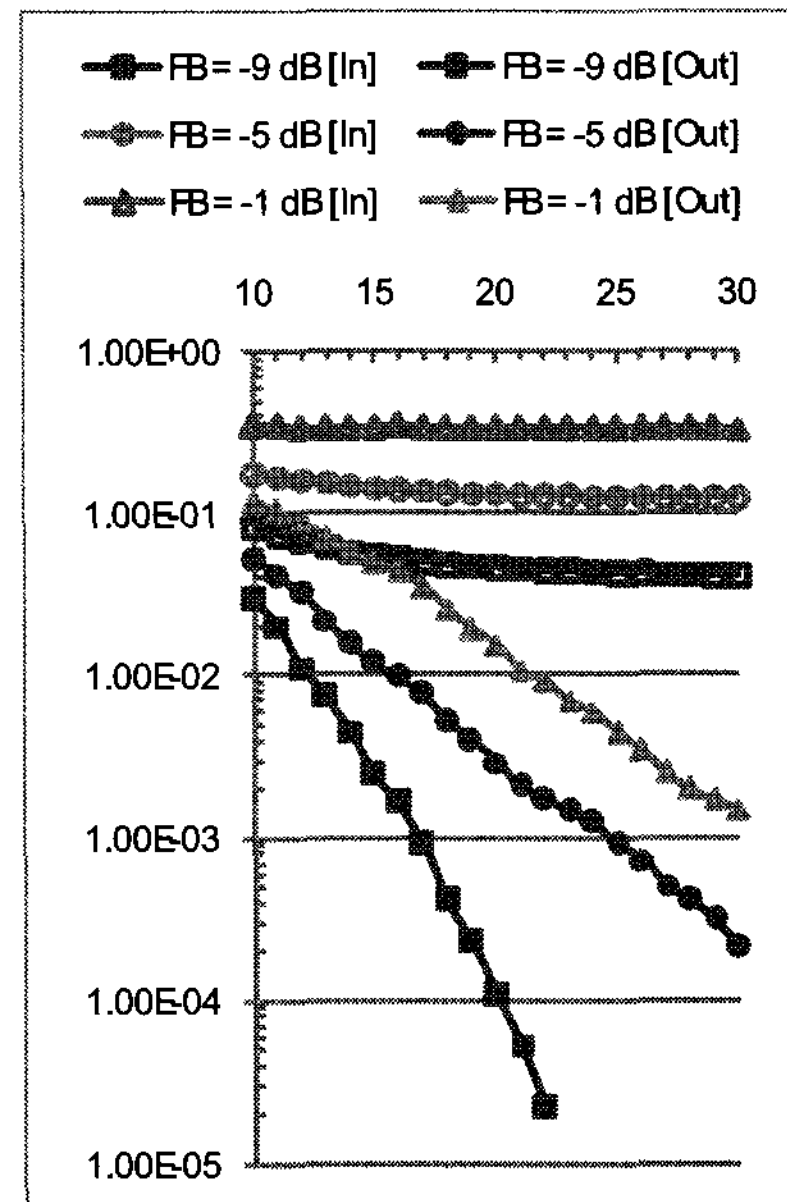
그림 10. 30dB의 CNR과 -5 dB의 왜곡신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서의 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼, 신호성상, 추정된 복소 필터계수(절대치).  
Fig. 10. Input and output spectrums, signal constellations, estimated filter coefficients (absolute) of equalization OCR in modified Brazil channel A with 30 dB CNR and -5 dB feedback signal

시간영역에서 작동하는 등화형 OCR의 등화기에 의해 제거됨을 알 수 있다. 그림 12는 주송신기와 중계기사이의 채널

이 30 dB의 CNR과 -5 dB의 궤환신호를 가지는 변형된 브라질 A 채널이고, 중계기와 T-DMB 수신기사이의 채널이

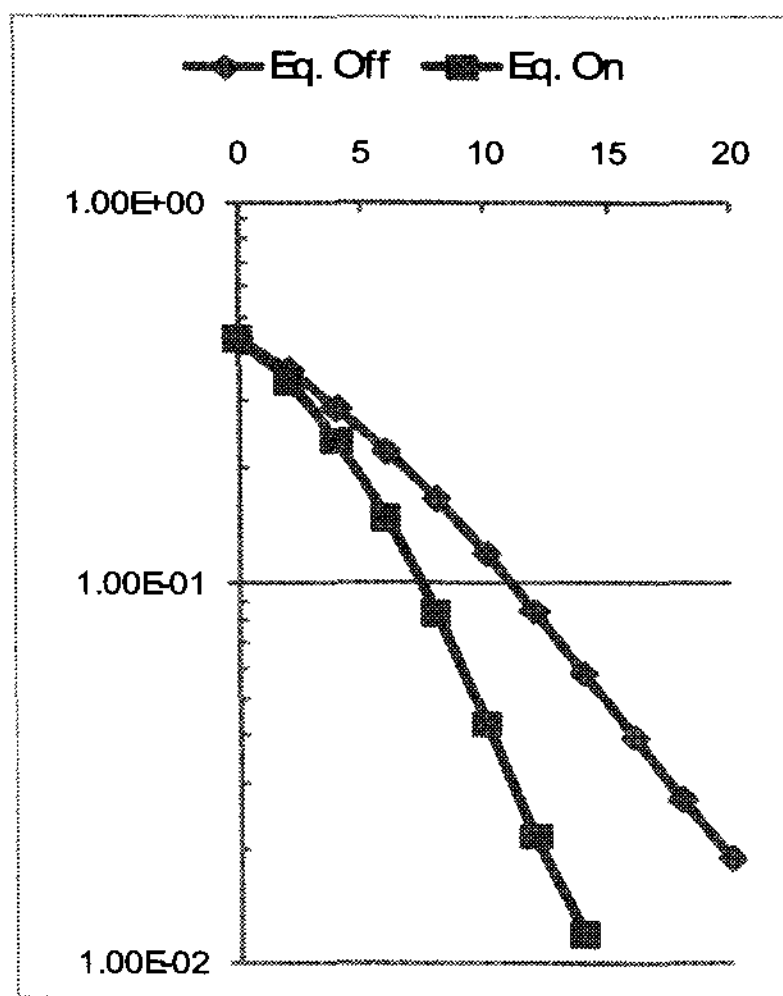


(a) 단일 궤환신호에 대한 SER

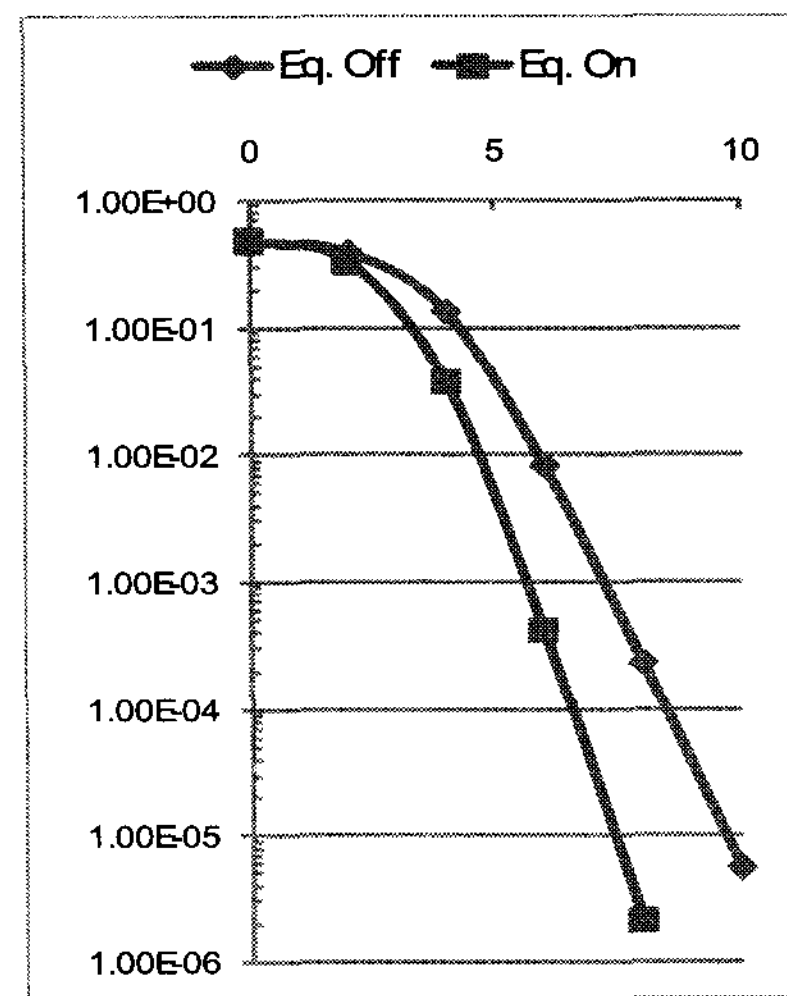


(b) Modified Brazil A 채널에서의 SER

그림 11. 단일 궤환신호 및 궤환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 FFT 이후 측정된 등화형 OCR의 입력 및 출력 신호의 SER  
Fig. 11. SER of equalization OCR input and output after FFT in single feedback signal and modified Brazil channel A



(a) SER (차등복조 이후)



(b) BER (Viterbi 복호 이후)

그림 12. 주송신기와 중계기사이의 채널이 변형된 브라질 A 채널(CNR = 30 dB, 궤환신호 = -5 dB)이고 중계기와 T-DMB 수신기사이의 채널이 브라질 A 채널일 때, OCR 등화기의 작동 여부와 SNR에 따른 T-DMB 수신기의 SER 및 BER 성능

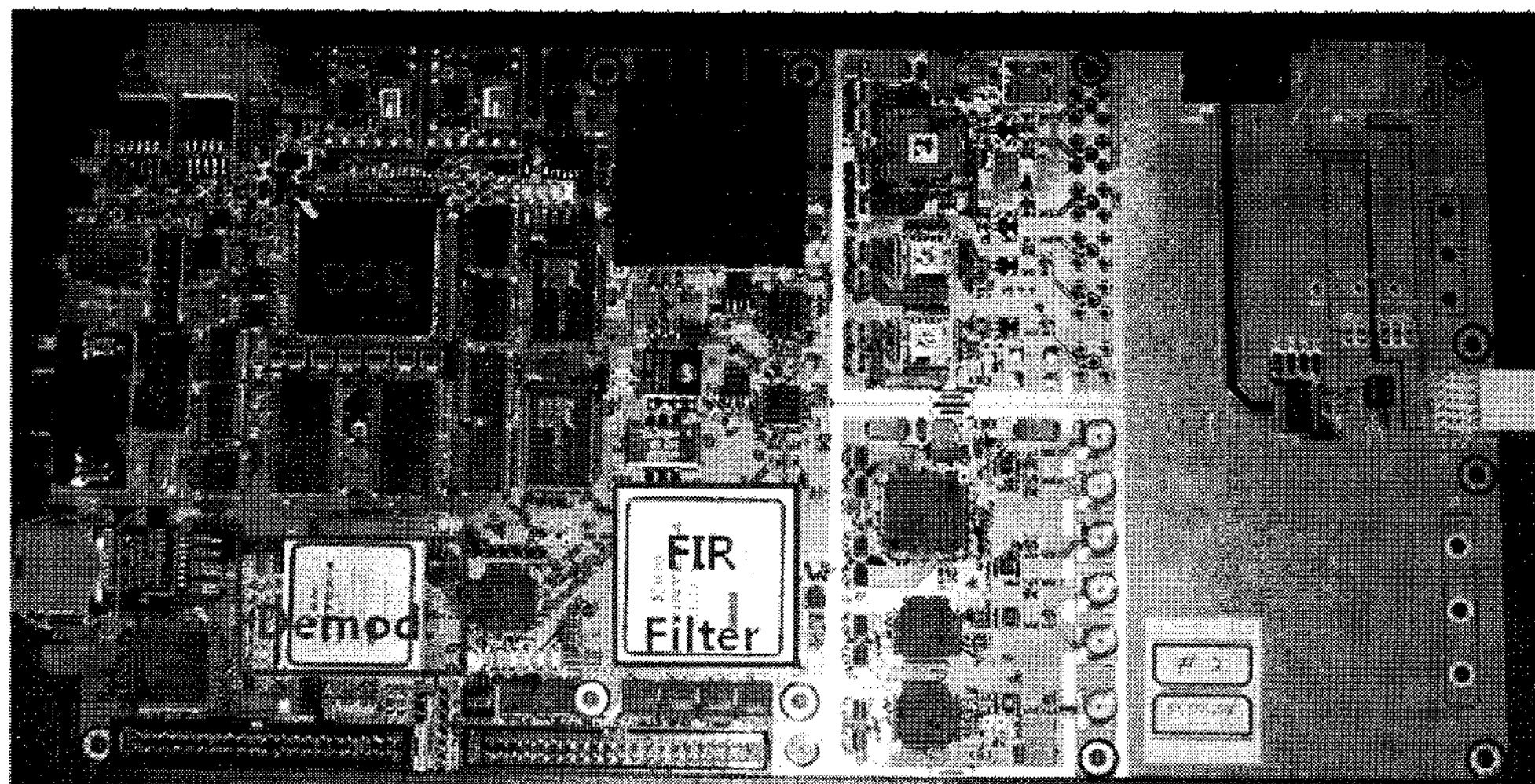
Fig. 12. SER and BER of T-DMB receiver vs. SNR when equalization is on and off in modified Brazil channel A (CNR = 30 dB, feedback signal = -5 dB) between main transmitter and OCR and Brazil channel A between OCR and T-DMB receiver

브라질 A 채널일 때, OCR 등화기의 작동 여부와 SNR에 따른 T-DMB 수신기의 성능을 나타낸다. 그림 12 (a)는 차등복조(differential demodulation)이후 측정된 SER이며, 그림 12 (b)는 Viterbi 복호 이후 측정된 BER이다. 그림 12에 의하면, 등화기능이 없는 OCR 출력신호를 수신하는 T-DMB 수신기는 등화기능이 있는 OCR 출력신호를 수신할 때 보다 약 2 ~ 3 dB의 성능열화를 가진다.

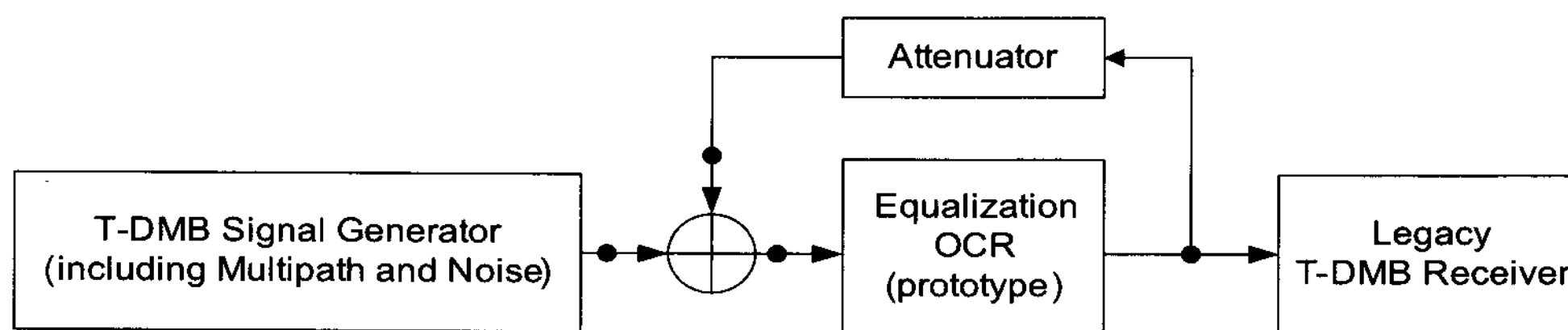
2. 실험실 테스트 결과

본 절에서는 실제 제작된 등화형 OCR의 성능을 검증하기 위해 실험실 테스트를 수행하였다. 그림 13 (a)는 실제 제작된 등화형 OCR의 디지털 신호 처리부이며, 그림 13 (b)는 실험실 테스트 구성도이다. 제작된 디지털 신호 처리

부는 수신된 신호로부터 PRS 신호를 추출하는 복조부; 채널추정과 역변환 과정을 주기적으로 수행하는 DSP (Digital Signal Processor); 수신채널의 왜곡을 보상하는 복소 FIR 필터로 구성된다. 복소 FIR 필터는 200 탭으로 구성되며, 전치 탭이 20이고, 후치 탭이 180이다. 등화형 OCR의 시스템 지연은 사용된 전치 탭 수에 의해 결정되며, 대략 10 us (= 20 \* 0.5 us)의 시스템 지연을 가진다. 또한, 전치 탭 수의 변경을 통해 등화형 OCR의 시스템 지연은 쉽게 조절 가능하다. 그림 14는 30 dB CNR과 -2 dB 단일 궤환 신호 및 -5 dB의 궤환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 14에 의하면, 실제 제작된 등화형 OCR은 송/수신 안테나의 낮은 분리도로 인한 궤환신호와 송신기와 중계기 사이의 다중경로를 동시에 제거함을 알 수 있다.



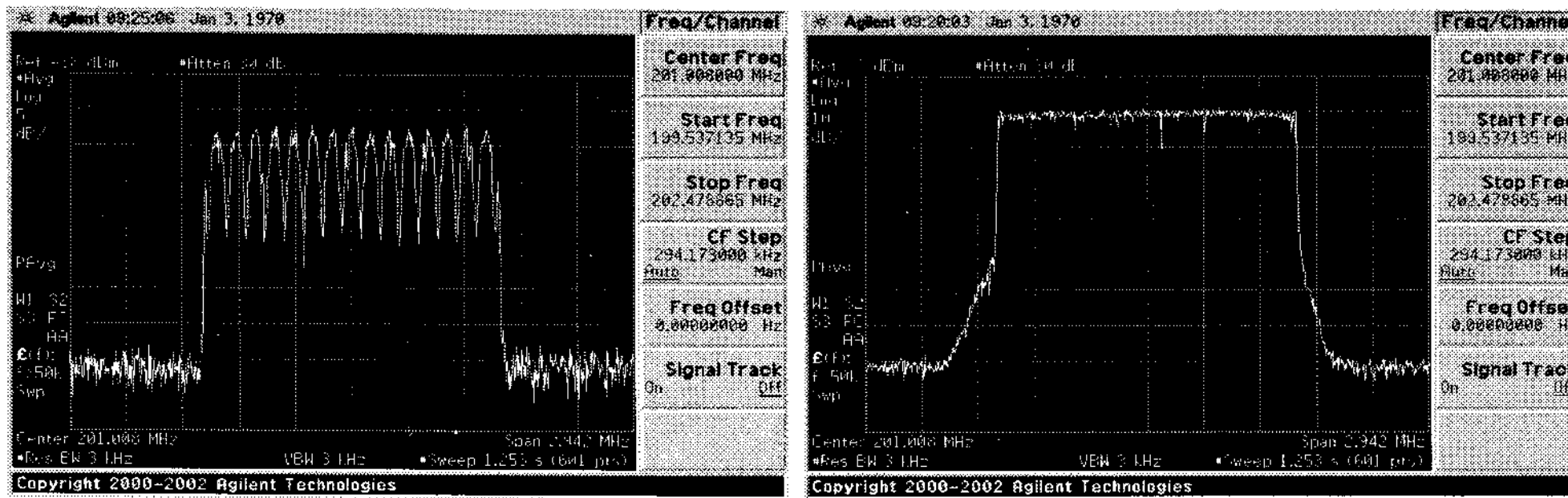
(a) 제작된 등화형 OCR의 디지털 신호 처리부



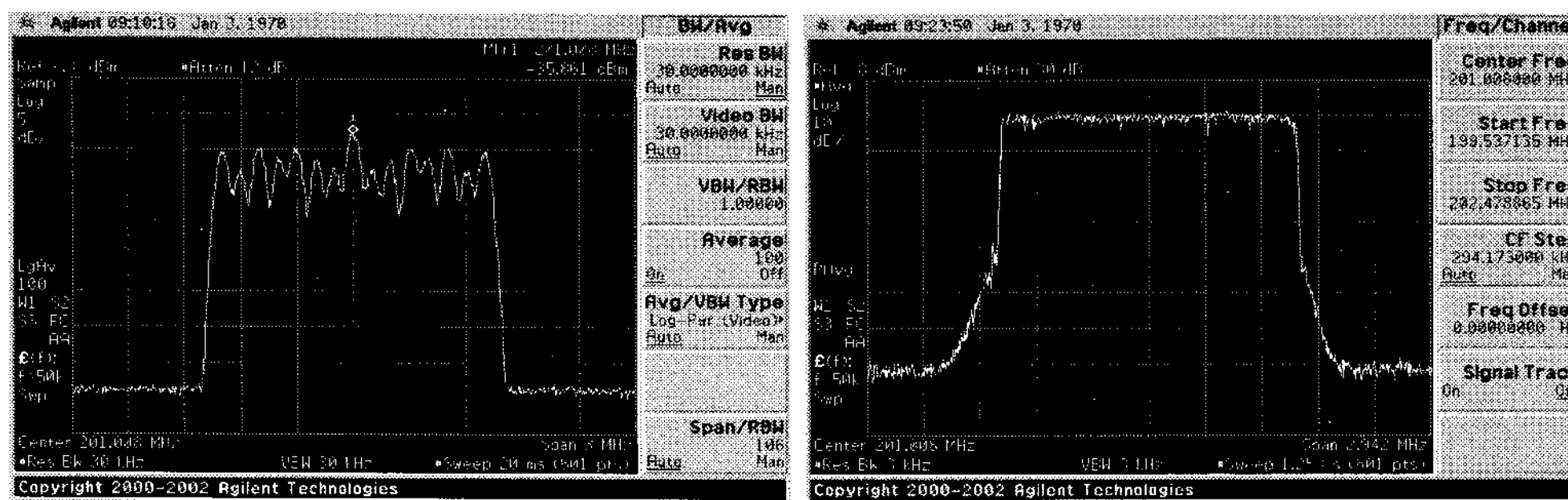
(b) 실험실 테스트 구성도

그림 13. 등화형 OCR의 디지털 신호 처리부 및 실험실 테스트 구성도  
 Fig. 13. Digital signal processing module and laboratory tests configuration of equalization OCR





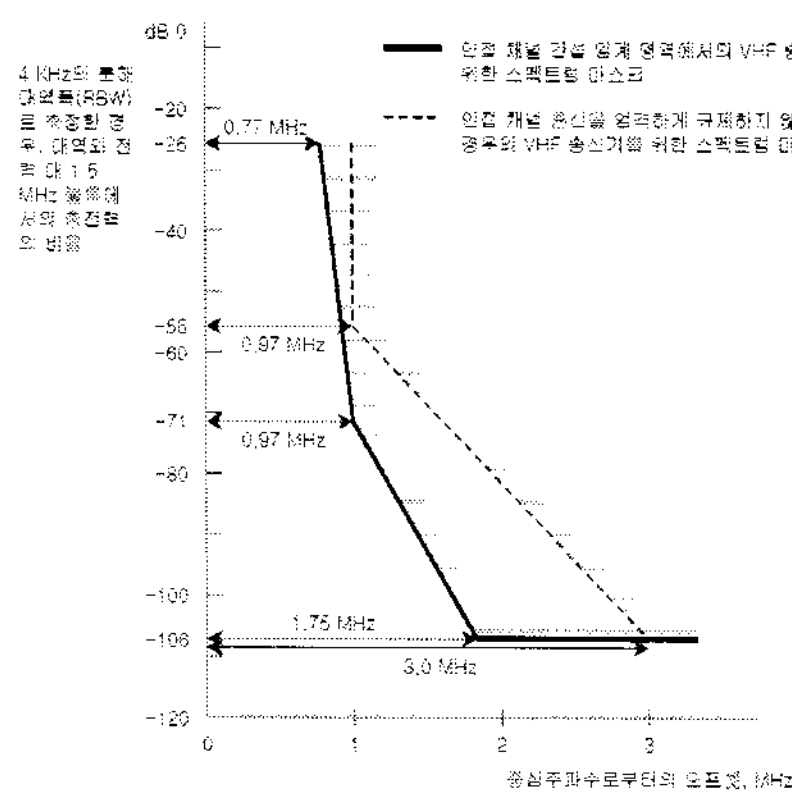
(a) -2 dB의 단일 레환신호가 존재할 때 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼



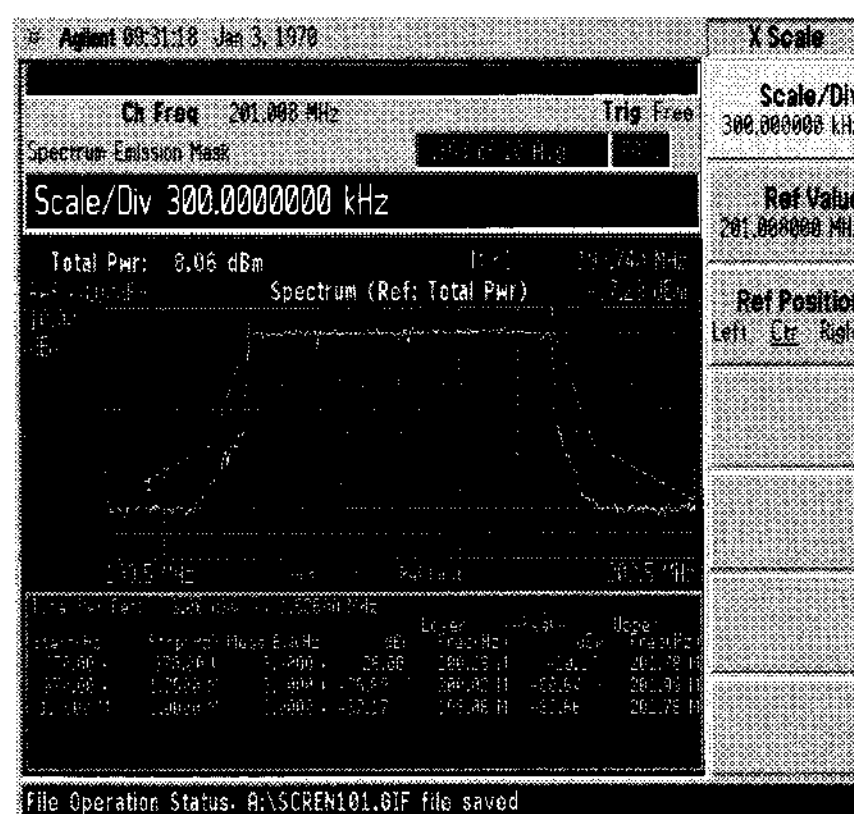
(b) -5 dB의 레환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼

그림 14. 30 dB CNR과 -2 dB의 단일 레환신호 및 -5 dB의 레환신호를 가지는 변형된 Brazil A 채널에서 등화형 OCR의 입출력 스펙트럼 (왼쪽: 입력, 오른쪽: 출력)

Fig. 14. Input/output spectrums of equalization OCR in -2 dB feedback signal with 30 dB CNR and modified Brazil channel A with -5 dB feedback signal (left: input, right: output)



(a) Emission Mask 규격



(b) Mask 테스트 결과

그림 15. T-DMB 송신신호의 Emission Mask 규격 및 등화형 OCR 출력신호의 Mask 테스트 결과

Fig. 15. Emission mask requirement of T-DMB transmitting signal and mask test result of equalization OCR

일반적으로 T-DMB 송신기에 의해 생성된 신호는 그림 15 (a)와 같은 Emission Mask 규격을 만족해야 한다<sup>[1]</sup>.

Emission Mask는 “인접채널 간섭 임계영역에서의 VHF 송신기를 위한 엄격한 스펙트럼 마스크”와 “인접채널 혼신을

엄격하게 규제하지 않아도 되는 VHF 송신기를 위한 스펙트럼 마스크 규격"으로 구분된다. 제작된 등화형 OCR은 엄격한 스펙트럼 마스크 규격을 만족하며, 그림 15 (b)와 같다.

## V. 결 론

본 논문에서는 SFN을 통해 지상파 DMB 신호를 서비스 하기 위해 필요한 동일채널 중계기의 요구사항에 대하여 고찰하였고, 그러한 요구사항을 만족하기 위한 등화형 OCR의 구조 및 구현방법을 제안하였다. 제안된 등화형 OCR의 디지털 신호 처리부는 복조기, 채널추정기, 역변환기, 그리고 복소 FIR 필터로 구성된다. 전산 및 실험실 테스트 결과에 의하면, 등화형 OCR은 왜곡신호와 다중경로를 동시에 제거하여 높은 송신출력과 우수한 출력신호 품질을 보였을 뿐만 아니라, Emission Mask 규격도 만족하였다. 제안된 등화형 중계기의 구조는 DVB-T, ISDB-T, 그리고 Wibro 시스템과 같은 OFDM 전송방식을 사용하는 다른 표준으로 쉽게 확장 가능하며, 왜곡신호 제거능력을 향상시키기 위해 부가적인 왜곡신호 제거기(FIC)를 추가하여 사용할 수 있다.

## VI. 참 고 문 헌

- [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] S. Cho, G. Lee, G. Bae, K. Yang, C.-H. Ahn, S. I. Lee, and C. Ahn, "System and Services of Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting (T-DMB)," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 53, No. 1, March 2007.
- [3] G. Lee, S. Cho, K.-T. Yang, Y. K. Hahm, and S. I. Lee, "Development of Terrestrial DMB Transmission System based on Eureka-147 DAB Systems," IEEE Trans. On Consumer Electronics, vol. 51, no. 1, pp. 63-68, Feb. 2005.
- [4] Y. Lee, S. Lee, Y. H. Kim, S. I. Lee, Z.-K. Yim, B. Choi, S. Kim, and J.-S. Seo, "Field Trials for Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting System," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 53, No. 1, March 2007.
- [5] Anders Mattsson, "Single Frequency Networks in DTV," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 51, no. 4, pp 413-422, Dec. 2005.
- [6] K. Salehian, M. Guillet, B. Carson, and A. Kennedy, "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 48, no. 2, pp. 97-102, June 2002.
- [7] ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks, Doc. A/111, Sept. 2004.
- [8] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) Synchronization," TS 101 191 v1.1.1, April 1997.
- [9] ETSI, "Digital Audio Broadcasting (DAB); Guidelines and Rules for Implementation and Operation; Part 2: System Features," ETSI TR 101 496-2 v1.1.2, May 2001.
- [10] A. Wiewiorka and P. N. Noss, "Digital On-Channel Repeater for DAB," BBC R&D White Paper WHP120, BBC, Sept. 2005.
- [11] K. M. Nasr, J. P. Cosmas, M. Bard, and J. Gledhill, "Performance of an Echo Canceller and Channel Estimator for On-Channel Repeaters in DVB-T/H Networks," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 53, no. 3, pp. 609-618, June 2002.
- [12] 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.
- [13] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo, H. M. Kim, S. W. Kim, and J. S. Seo, "A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 53, no. 1, pp 23-37, Mar. 2007.
- [14] H. M. Kim, S. I. Park, J. H. Seo, H. Eum, Y.-T. Lee, S. I. Lee, and H. Lee, "Modulation and Pre-equalization Method to Minimize Time Delay in Equalization Digital On-Channel Repeater," accepted for publication in IEEE Trans. on Broadcasting.
- [15] 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, April 2004.
- [16] Technical Document on "Transposer/Gap-Fillers R&S XLx8000", <http://www.rohde-schwarz.com>
- [17] Technical Document on "TX-DAB100 OCR", <http://www.txdigicast.com/prod2.htm>
- [18] 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.
- [19] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, International Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [20] S. S. Kidambi, "Closed-form Approach to Design of All-pass Digital Filters using Cepstral Coefficients," Electronics Letter, vol. 40, no. 12, June 2004.
- [21] G. R. Reddy and M. N. S. Swamy, "Digital All-pass Filter Design through Discrete Hilbert Transform," Proc. ICASSP, Albuquerque, NM, USA, 1990.

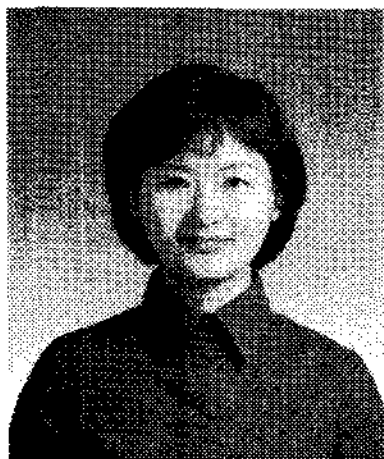


저 자 소 개



박 성 익

- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 지상파방송기술연구팀 연구원
- 2008년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리



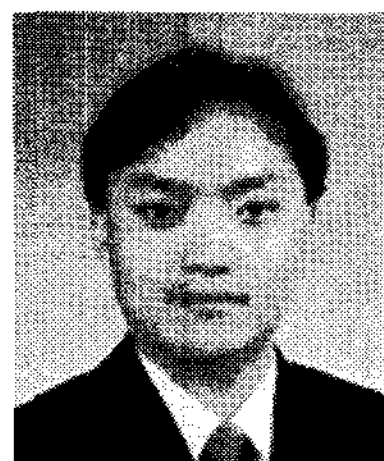
박 소 라

- 1990년 3월 ~ 1995년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 1월 ~ 1996년 11월 : 삼성전자 연구원
- 1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 1999년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 지상파방송기술연구팀 연구원
- 주관심분야 : 디지털 모뎀, 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 지상파방송기술연구팀 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 ~ 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 1995년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 지상파방송기술연구팀 연구원



김 흥 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 지상파방송기술연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템