

특집 디지털 송신기술

등화형 디지털 동일채널 중계기

□ 박성익, 이용태, 김흥목, 서재현, 음호민 / ETRI 방송시스템연구그룹

1. 서론

일반적으로 지상파 TV 방송사업자는 방송서비스를 위해 방송사의 방송권역에 따라 그리고 방송권역 내의 지형지물에 따라 송신기 및 중계기를 설치하여 운영하고 있다. 지금까지 아날로그 TV 방송뿐 아니라, ATSC (Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 또는 중계기에 서로 다른 주파수를 할당하여 방송망을 구성하는 다중주파수망(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 단일주파수 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 송신기 간에 동일 주파수를 사용하는 분산송신기(Distributed Transmitters: DTXT) 기술과 송신기와 중계기가 동일 주파수를 사용하는 디지털 동일채널 중계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR) 기술로 크게 나누어진다[1-4]. DTXT를 이용하는 방법은 이미 많이 설치되어 있는 송신기에 송신기 간의 동기를 맞추기 위한 새로운 장치를 추가해야 하는 점과 송신기들 사

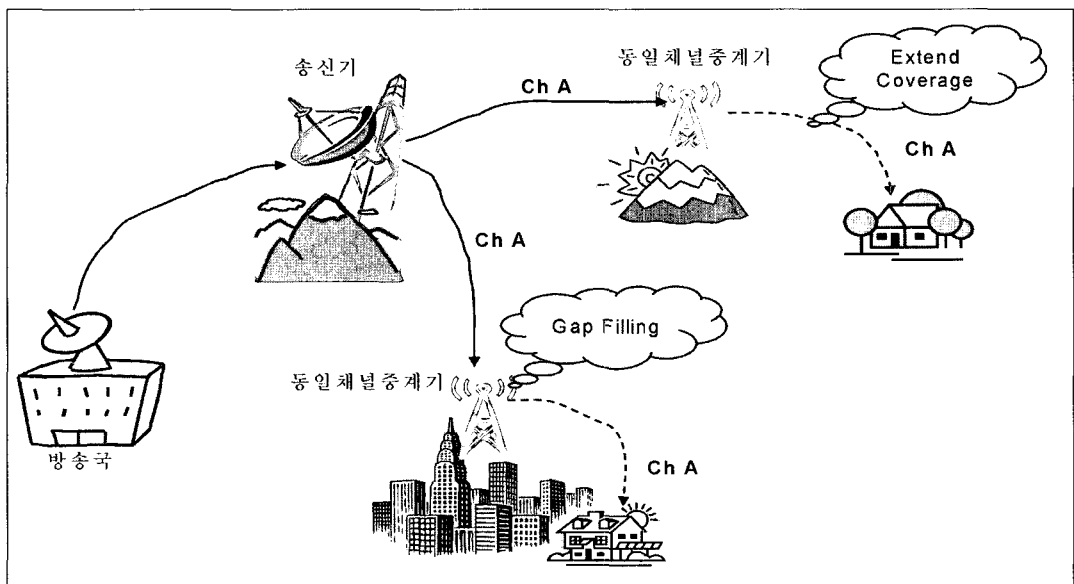
이의 거리가 제한된다는 단점을 가지고 있다. 반면에 DOCR을 이용한 방법은 기존에 설치된 송신기의 변경없이 SFN 구성이 가능하므로 망 구성이 용이하나, 출력 전력이 낮고 출력 신호의 품질이 떨어진다. 기존의 DOCR이 가지는 단점을 보완하기 위해 등화형 동일채널 중계기(Equalization DOCR: EDOCR) 기술이 제안되었다 [3-8]. EDOCR의 도입은 지상파 디지털 TV의 SFN 구현을 가능케 하는 매우 핵심적인 기술로서, 주파수 이용효율을 높일 수 있는 장점이 있지만, EDOCR 내부에서 발생하는 시간지연(time delay)으로 인해 기존 수신기의 수신 성능이 영향을 받을 수 있다는 문제가 제기되었다.

본 논문에서는 EDOCR의 구조 및 특징에 관하여 고찰하고, 시간지연을 최소화하기 위해 EDOCR에서 사용된 신호처리기술(복조, 등화, 변조, 주파수 일치, 그리고 전치등화)에 관하여 살펴본다. 또한,

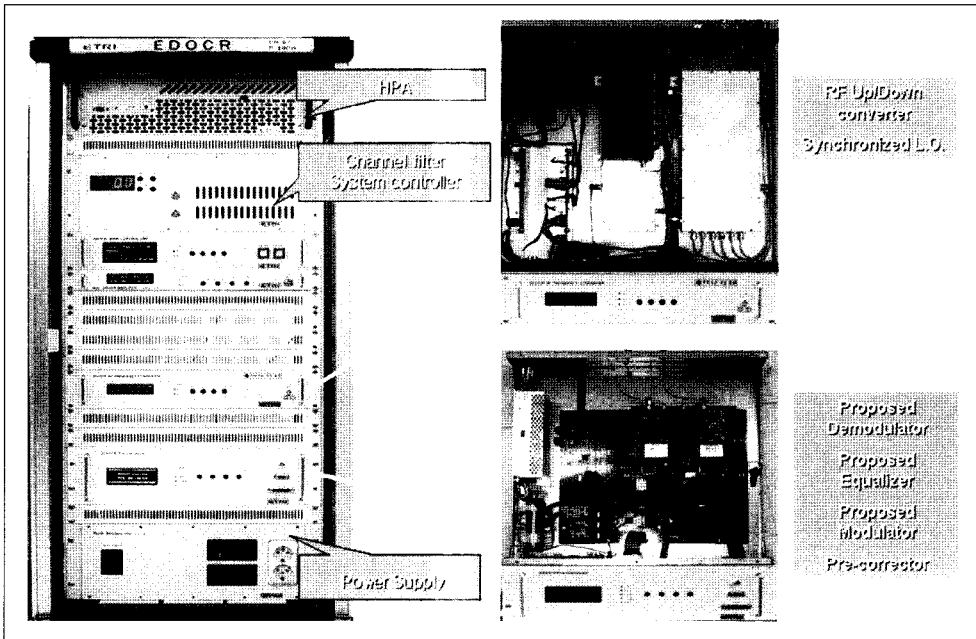
본 논문에서는 국내외에서 수행된 EDOCR의 필드 테스트 결과를 기술하여 EDOCR의 유용성을 검증한다.

II. EDOCR의 구조 및 특징

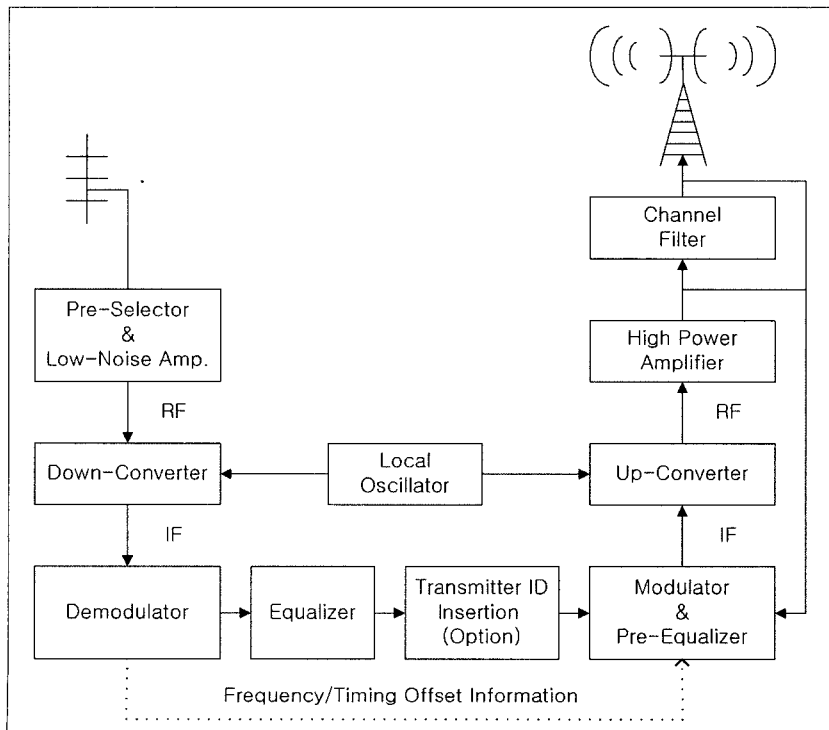
DOCR은 그림 1처럼 송신기의 방송 신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송 영역을 넓히는 역할을 한다. 그러나 기존의 RF 증폭형 또는 IF 변환형 DOCR은 신호처리 시간이 짧은 장점을 가지고 있으나 인접채널 제거 성능 및 출력신호 품질이 떨어질 뿐 아니라 송신 출력이 낮은 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 ETRI(Electronics and Telecommunication Research Institute)에서는 EDOCR을 제안하고, 그림 2와 같은 EDOCR 시



〈그림 1〉 DOCR 개념도



〈그림 2〉 EDOCR 시스템



〈그림 3〉 EDOCR의 블록도

스탐을 제작하였다. 제작된 EDOCR의 구조는 그림 3과 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 [9]. 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 계환 신호를 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 송신 출력률 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[6]. 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 신호처리 기술

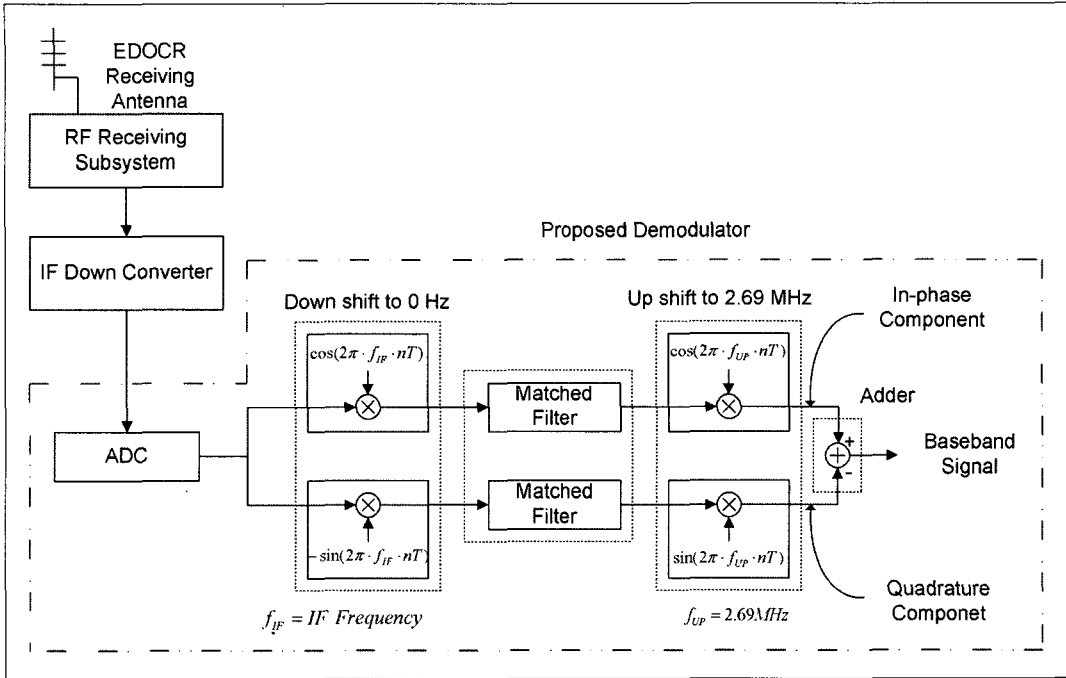
EDOCR을 위한 DSP 기술은 복조, 등화, 변조, 주파수 일치, 그리고 전치등화로 구성된다. 각각의 기술들은 EDOCR의 성능저하를 최소화 하면서 시간지연을 줄이는 쪽으로 초점을 맞추어 개발하였다.

1. 복조기술 [6]

EDOCR을 위해 제안된 VSB 복조방법은 그림 4와 같고, 다음과 같은 3 단계로 구성된다:

- 1 단계: 중심 주파수가 f_{if} 인 IF 신호는 I/Q 하향 변환기에 의해 중심 주파수가 0 Hz인 신호로 변환된다.
- 2 단계: 중심 주파수가 0 Hz인 I와 Q 성분은 기저 대역 정합 필터 쌍(pair)에 의해 필터링 된다.
- 3 단계: 필터링된 I와 Q 성분은 I/Q 상향 변환기에 의해 중심 주파수가 2.69 MHz에 위치하도록, 즉 파일럿 성분이 0 Hz에 위치하도록 변환되며, 기저 대역 VSB 신호를 형성하기 위해 합쳐진다.

제안된 복조기의 기저대역 정합필터는 수신 SNR(Signal to Noise Ratio)을 최대화시킬 뿐만 아니라 LPF(Low Pass Filter) 역할을 함께 수행한다. 따라서, 제안된 복조기는 하모닉(harmonic) 성분을 제거하기 위한 부가적인 LPF가 필요하지 않기 때문에 시간지연이 줄어들게 된다. 일반적으로 정합필터는 SRRC(Square Root Raised Cosine) 필터를 사용한다. 이론적으로 ISI(Inter-Symbol Interference)를 완벽히 제거하기 위해서는 무한대의 SRRC 필터 탭 수가 요구된다. 하지만, 실제적으로 수 백 탭의 SRRC 필터만으로도 ISI를 충분히 제



(그림 4) 제안된 복조기의 구조

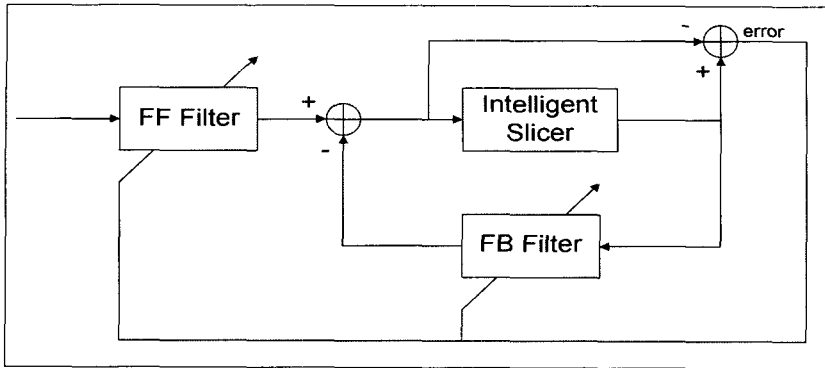
거할 수 있다. SRRC 필터 탭 수가 증가하면, SNR은 향상되지만 시간지연이 증가한다. 따라서, SRRC 필터의 탭 수는 SNR 성능과 시간지연을 고려하여 결정되어야 한다. EDOCR 시스템에서는 등화기가 수신 신호의 SNR을 향상시키고 짧은 탭의 정합 필터로 인해 야기된 왜곡들을 보상하기 때문에, SRRC 필터의 탭 수를 감소시켜 시간지연을 줄이는 것이 바람직하다.

2. 등화기술 [6],[9]

EDOCR에서 사용되는 등화기(Blind DFE)는 그림 5처럼 FF(Feed-Forward: FIR) 필터부, FB(Feed-Back: IIR) 필터부, 그리고 intelligent 양자화기(trace-back depth가 1인 트렐리스 복호기)

로 구성된다. 등화기는 다양한 형태의 선형 왜곡, 즉 다중경로 왜곡에 의한 수신 신호의 ISI, 낮은 송/수신 안테나 분리도에 의한 궤환(feedback) 신호, 인접 채널 간섭, 짧은 탭 정합 필터의 사용으로 인해 야기된 왜곡 등을 보상하기 위해 사용된다. 또한, intelligent 양자화기는 오류 정정 능력을 가지고 있기 때문에, SNR 대비 BER(Bit Error Ratio) 성능을 향상시킨다. 그러나, 이러한 EDOCR에서의 등화기의 도입은 불가피하게 시간지연을 발생시켜 EDOCR의 시스템 시간지연을 증가시키는 원인이 된다.

EDOCR의 시스템 지연은 기존 ATSC 수신기의 수신 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로, EDOCR을 통한 SFN 구현을 위해서는 등화기에서 발생하는 시간지연을 최소화 하여야 한다. 이를 위



〈그림 5〉 제안된 등화기의 구조

해, 등화기의 두 부분을 다음과 같이 고려하였다.

며, 다음과 같은 3 단계로 구성된다.

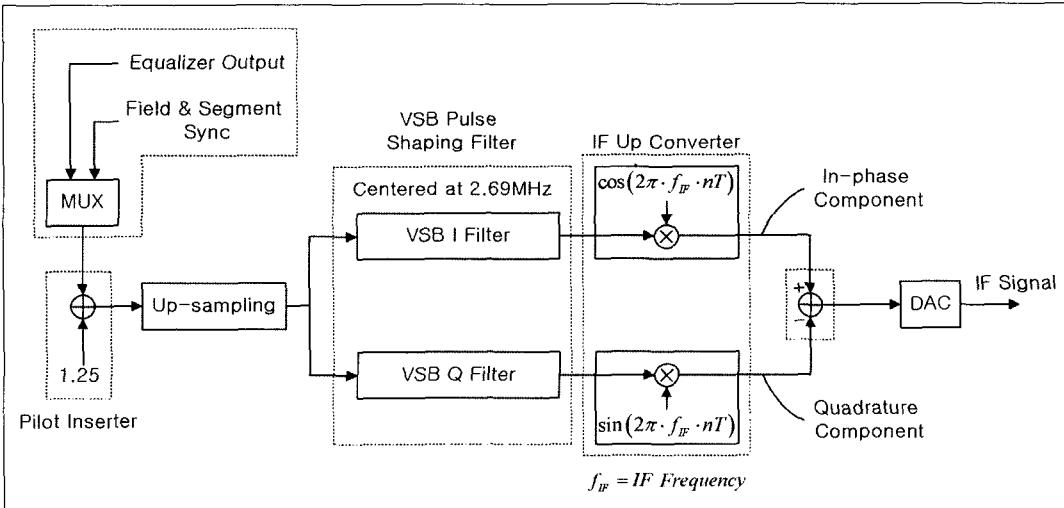
- 필터 탭 할당: 필터에 의한 시간지연은 FF 필터를 causal 부분과 anti-causal 부분으로 양분하는 reference 탭의 위치에 의해 결정된다. 시간지연을 최소화하기 위해서는 reference 탭의 위치를 최대한 왼쪽에 두어야 한다. 하지만, reference 탭의 위치는 등화기 성능에 영향을 미치기 때문에, 등화기의 성능과 시간지연의 trade-off를 고려해서 결정되어야 한다.
- Intelligent 양자화: 판정 장치의 시간지연을 없애기 위해, TBD가 1인 트렐리스 복호기를 사용한다. 여기서, 트렐리스 복호기의 출력은 8-VSB 심볼(일반적인 ATSC 기존 수신기의 트렐리스 복호과정에 의해 결정된 2-비트 데이터가 아님)이며, 동시에 등화기의 출력이다. 따라서, 트렐리스 복호기에 의한 복호 지연은 없다. 또한, 등화기의 출력력이 8-VSB 심볼이기 때문에, EDOCR 송/수신 신호가 다른 모호성 문제도 없다.

- 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.

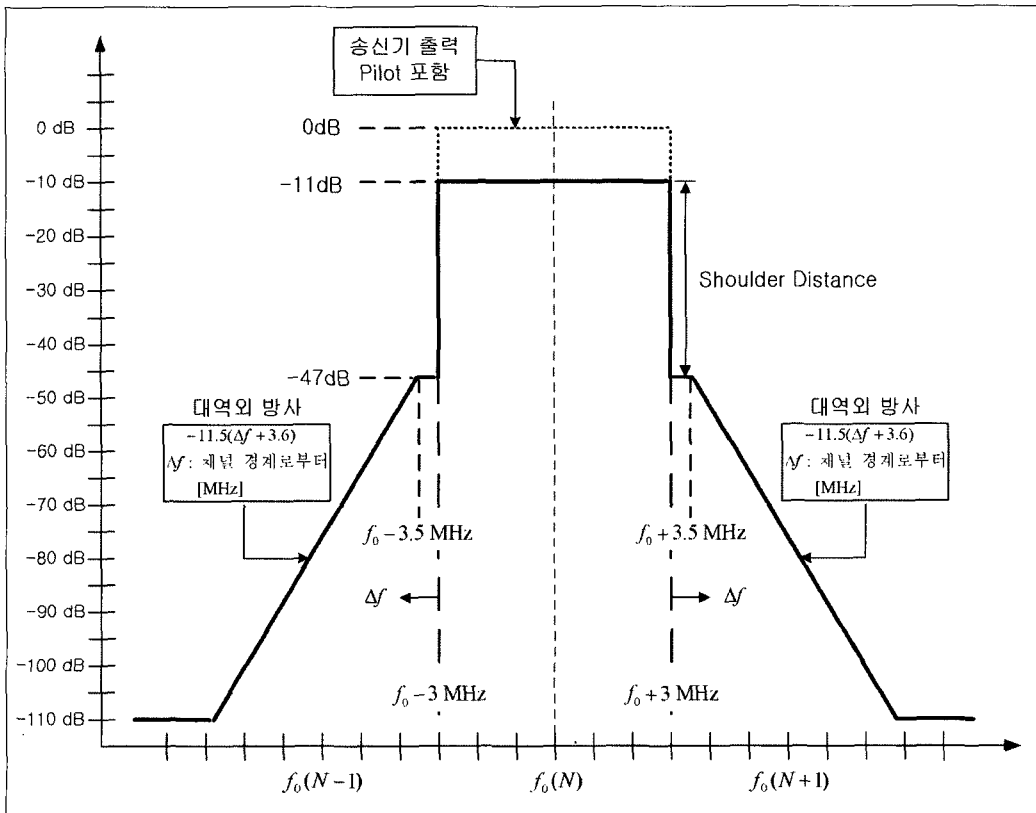
3. 변조기술 [6]

ATSC 방식의 지상파 DTV 송신기 혹은 중계기에서 사용하고 있는 변조기의 구조는 그림 6과 같으

일반적으로 ATSC DTV 변조기에 의해 생성된 신호는 FCC(Federal Communications Commission)에서 요구하는 그림 7과 같은 Spectrum Mask를 만족해야 하며, 27 dB 이상의 SNR(Signal to Noise Ratio)을 가져야 한다 [10]. ATSC DTV 변조기에서는 VSB 펄스성형 필터로 SRRC (Square Root Raised Cosine) 필터를 사용하는 것이 일반적이지만, EDOCR에서는 시간지연을 줄이기 위해 펄스성형 필터로서 대역내의 리플을 많이 가지지만 대역외



〈그림 6〉 제안된 변조기의 구조



〈그림 7〉 ATSC Spectrum Mask

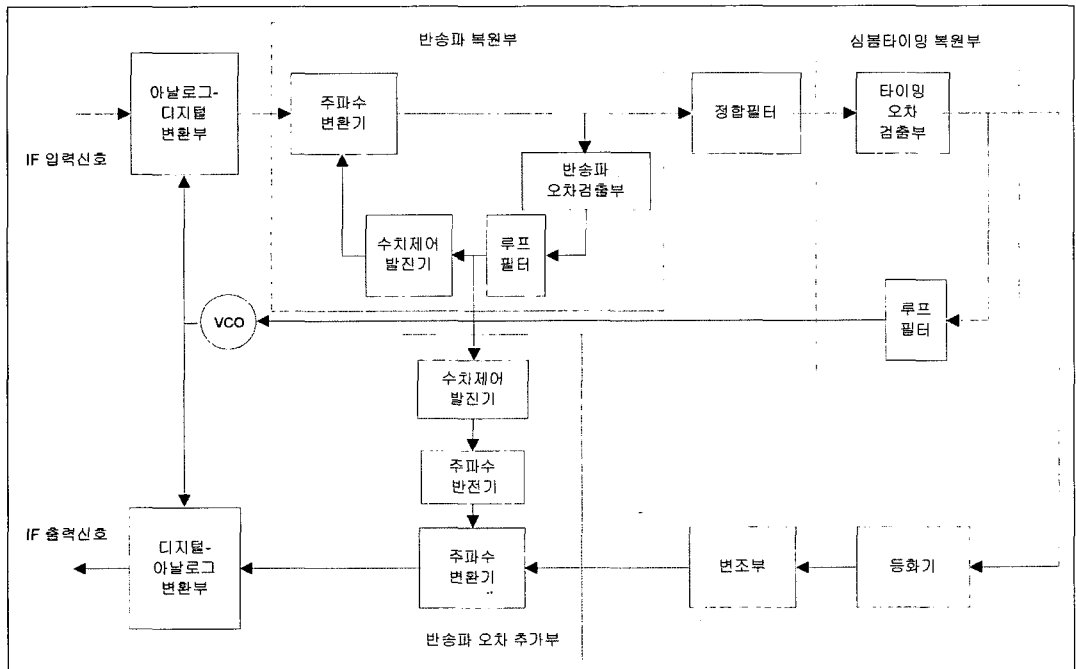
역압 특성이 우수한 ER(Equi-ripple) 필터를 사용한다. 참고문헌 [6]에 의하면, 이론적으로 약 140 탭 이상의 ER 필터계수를 사용하여 생성된 VSB 펄스성형 필터는 요구되는 SNR 및 Spectrum Mask를 모두 만족한다. 또한, 140 탭 이상의 ER 필터는 4배 오버샘플링된 신호에서 약 1.6 us 이상의 시간지연을 가지므로 EDOCR 변조부의 펄스성형 필터로 적절하다. ER 필터는 대역의 역압 특성이 우수하지만 대역 내 리플이 많기 때문에, 즉 이상적인 Nyquist 펄스성형 필터가 아니기 때문에 동일한 탭 수를 가지는 SRRC 필터에 비해 출력신호 SNR이 낮게 나타난다.

4. 송수신 신호의 주파수 일치 기술 [7]

EDOCR에서 수신된 RF 신호는 주 송신기의 주

파수 변환 혹은 DAC(Digital to Analog Converter)에 사용되는 발진기(oscillator) 고유의 오차 등으로 인해 이상적인 RF 주파수와는 다른 주파수를 가지며, 동기복원 과정에서 이러한 수신신호의 주파수 오차와 위상 오차는 제거된다. EDOCR의 출력신호에 이러한 주파수 오차가 반영되지 않을 경우, 주 송신신호와 중계신호는 그만큼의 주파수 차이를 갖게 되어 수신기의 수신성능은 물론 주파수가 다른 궤환신호로 인해 EDOCR 자체의 성능도 크게 저하된다. 따라서, EDOCR은 주파수 일치 알고리즘을 반드시 사용해야 하며, 주파수 일치 알고리즘을 사용하지 않을 경우 주 송신기와 중계기 각각에 GPS(Global Positioning System)와 같은 별도의 부가장치를 사용해야 한다.

EDOCR의 동기복원은 반송파 복원과 심볼타이밍



<그림 8> EDOCR의 송수신 주파수 일치

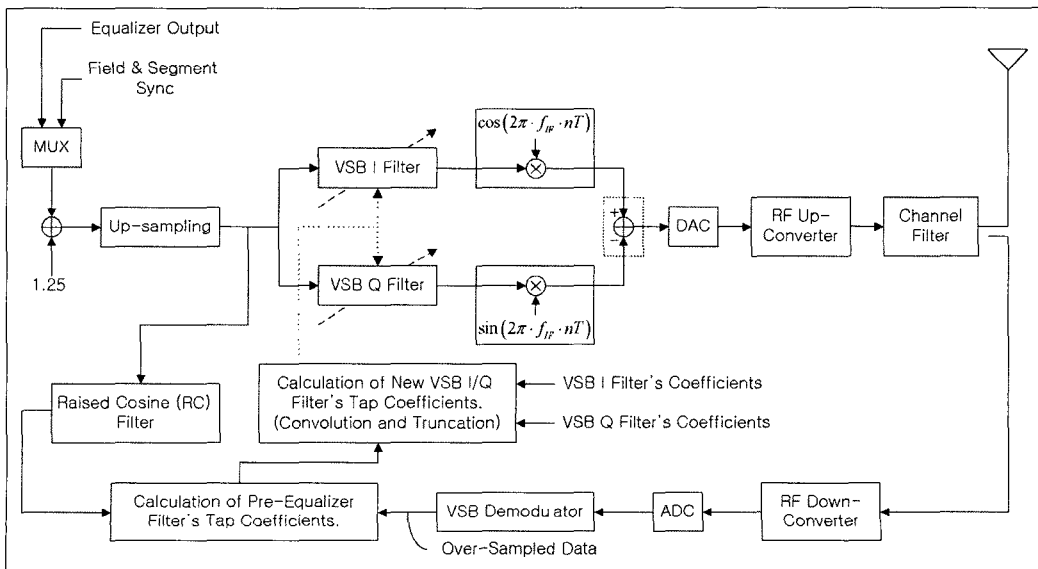
복원으로 구성되고, 반송파 복원은 수신신호의 반송파 오차를 제거하며 심볼타이밍 복원은 샘플링 타이밍 오차를 복원한다. 송수신 신호의 주파수가 일치되기 위해서는 두 오차가 중계기 송신신호에 모두 반영되어야 하며, 그 구조는 그림 8과 같다. 반송파 복원 후의 기저대역 신호에는 반송파 오차가 제거되어 있지만 루프필터 출력이 반송파 오차이므로 이 정보를 재변조 과정의 주파수 변환에 사용하면 송수신 신호는 동일한 반송파 주파수 오차를 가진다.

심볼타이밍 복원 후의 기저대역 신호는 주 송신 신호와 동일한 심볼타이밍을 갖게 되므로 ADC(Analog to Digital Converter)에 사용되는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 DAC에 공유하여 사용하면 중계기 송수신 신호는 동일한 심볼타이밍 주파수 오차를 가진다. 주파수 일치에서 중요하게 고려되어야 할 사항은 중계기 송신신호의 위상잡음이다. EDOCR 출력신호의 위상잡음에는

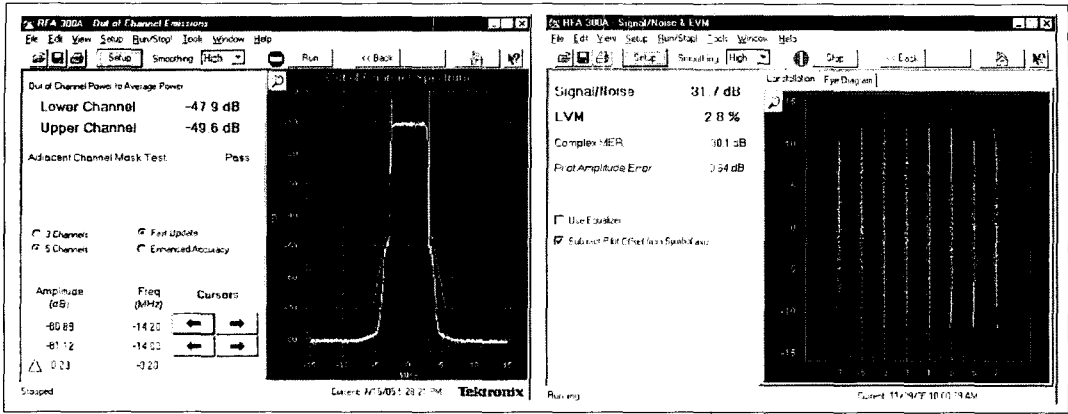
발전기 자체의 위상잡음이나 아날로그 주파수 변환시에 발생하는 위상잡음 외에 동기복원 과정에서 발생하는 위상잡음이 추가된다. 따라서, PLL(Phase Locked Loop)의 루프필터 대역폭을 너무 크게 할 경우 중계기 송신신호의 위상잡음이 커질 수 있으므로 중계기의 동기복원 성능을 고려하여 적당히 설정하여야 한다.

5. 전치등화 기술 [6],[8]

EDOCR은 Spectrum Mask를 만족하기 위하여 고출력증폭기 후단에 대역 외 억압특성이 우수한 채널필터(channel filter)를 사용한다. 대역 외 억압특성이 우수한 채널필터는 대역 내에서 많은 군지연(group delay) 변화를 가지게 되고 이러한 군지연 변화는 출력신호의 SNR을 저하시키는 요인이 된다. 또한 EDOCR은 펄스성형필터로 ER 필터를 사



(그림 9) 제안된 전치등화기가 포함된 EDOCR 변조부 및 송신부 구조



(그림 10) EDOCR 송신부의 Spectrum 및 신호성상

용하므로 대역 내의 리플이 많아 추가적인 SNR 감소 요인을 가지게 된다. 이러한 SNR 감소를 보상하기 위하여 전치등화기(pre-equalizer)를 사용하게 된다. 그림 9는 시간지연을 감소시키기 위해 제안된 전치등화기가 포함된 EDOCR 변조부 및 송신부 구조를 나타낸다. 제안된 전치등화기에서는 전송하고자 하는 기저대역 신호와 EDOCR 마지막 단에 위치한 채널필터 출력신호를 재 복조한 기저대역 신호를 비교하여 전치등화 필터의 계수를 계산한다. 그 후, 시간지연을 최소화하기 위하여 전치등화 필터와 펄스성형 필터를 결합시키고, 결합된 필터의 전치 탭 수를 조절함으로써 시간지연을 최소화한다. 즉, 전치등화 필터와 펄스성형 필터의 컨볼루션 결과에서 전치 탭 수를 절단(truncation)하는 방식으로 시간지연을 줄인다. 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 10은 전치등화부가 포함되어 제작된 EDOCR 변조부의 Spectrum Mask (좌) 및 SNR (우) 테스트 결과를 나타낸다 [11].

IV. 필드 테스트 결과

국내의 DTV 중계환경에서 EDOCR의 적용 가능성 및 서비스 커버리지를 측정하기 위하여, 2004년과 2005년에 걸쳐 네 차례의 필드테스트를 수행하였다.

1. 수원 팔달산 필드테스트 [12]

1) 1차 측정(2004년 4월~5월)

1차 측정에서는 총 39지점을 측정하였으며, 측정을 위해 2세대 표준 수신기(1999년)와 4세대 수신기(2002년), 4.5세대 수신기(2004년)가 사용되었다. 표 1은 지향성 안테나를 사용하였을 때, EDOCR의 적용여부에 따른 수신기 세대별 수신 성공율을 나타낸다. 2세대 수신기는 전체적인 수신율이 64%정도인 상황에서 EDOCR을 켜 경우 수신율이 56%로 떨어지면서 선행고스트(pre-ghost)에 매우 취약함을 보였으며, 자세한 내용은 표 2와 같다. 4세대 수신기는 EDOCR을 운용함에 따라 4지점에서 수신이 악화되었으나 다른 4지점에서 수신이 가능해져서

〈표 1〉 수신 성공율 (1차 측정)

수신기 종류	EDOCR OFF			EDOCR ON		
	2세대	4세대	4.5세대	2세대	4세대	4.5세대
수신 양호 지점 개수	25	32	36	14	32	38
수신 불가 지점 개수	14	7	3	25	7	1
비율(%)	64	82	92	56	82	97.5

〈표 2〉 EDOCR의 동작에 따른 수신상태의 변화 비교 (1차 측정)

수신기 종류	EDOCR ON		
	2세대	4세대	4.5세대
수신양호였으나 EDOCR로 수신이 악화된 지점	13	4	1
수신불가였으나 EDOCR로 수신이 개선된 지점	6	4	3

전체적인 수신 성공율에서는 변화가 없었다. 선행 고스트를 가장 길게 처리할 수 있는 4.5세대 수신기의 경우 기존 주송신소 신호에 대한 수신율도 높아졌을 뿐 아니라 EDOCR을 켜으로써 음영 지역 대부분이 수신 가능해졌다.

2) 2차 측정(2005년 3월~4월)

2004년의 1차 측정 이후로 등화기의 성능이 획기

적으로 개선된 5세대 수신기(2005년)가 출시되면서 EDOCR의 응용 범위가 그만큼 높아질 것으로 기대되어 2차 측정을 실시하였다. 2005년의 수원지역 2차 측정에서는 송출환경은 2004년과 동일하게 설정하였으며, 새로 개발된 5세대 수신기와 기존 2세대 표준 수신기를 비교하며 측정하였다. 측정지점은 1차 측정 결과에서 EDOCR의 동작 전 후로 기존 수신기들이 수신상태에 영향을 받는 지역 위주로

〈표 3〉 수신 성공율 (2차 측정)

수신기 종류	EDOCR OFF		EDOCR ON	
	2세대	5세대	2세대	5세대
수신 양호 지점 개수	7	20	8	24
수신 불가 지점 개수	17	4	16	0
비율(%)	29.2	83.3	33.3	100

〈표 4〉 EDOCR의 동작에 따른 수신상태의 변화 비교 (1차 측정)

수신기 종류	EDOCR ON	
	2세대	5세대
수신양호였으나 DOCR로 수신이 악화된 지점	3	0
수신불가였으나 DOCR로 수신이 개선된 지점	4	4

총 24지점이 선정되었다. 측정은 2005년 3월~4월 중 총 8일에 걸쳐서 수행되었으며, 그 결과는 표 3 및 4와 같다. 2세대 표준 수신기의 경우 수신율이 29%정도 밖에 되지 않을 정도로 수신전계 강도가 열악하였다. 새로 개발된 5세대 수신기의 경우 수신율이 83%까지 측정이 되어 감도 및 등화기의 개선으로 인한 성능의 차이를 알 수 있었다. 특히 동일채널 중계기를 작동시켰을 때, 수신율은 100%가 되어 선행고스트에 대한 처리가 완벽하게 이루어졌다.

2. 캐나다 오타와 필드테스트 (2004년 10월 ~11월) [13]

캐나다 측정에서는 오타와 시내의 음영지역에서 총 21지점을 측정하였으며, 측정을 위해 3세대 수신기(2001년), 4.5세대 수신기(2004년), 5세대 수신기(2005년)가 사용되었다. 표 5와 6은 지향성 및 무지향성 안테나를 사용하였을 때, EDOCR의 적용여부에 따른 수신기 세대별 수신 성공율을 각각 나타낸다. 지향성 수신안테나의 경우, 4.5세대와 5세대 수

신기는 전체적인 수신율이 33%정도인 상황에서 EDOCR을 켜 경우 수신율이 100%로 향상되어 선행고스트에 대한 처리가 완벽하게 이루어졌다. 또한, 무지향성 안테나의 경우, 4.5세대와 5세대 수신기는 전체적인 수신율이 5%정도인 상황에서 EDOCR을 켜 경우 수신율이 86%로 향상되었다. 무지향성 안테나의 테스트를 통해 고스트 방향이 일정하지 않은 실내 수신 성능도 개선될 수 있음을 추정할 수 있다.

3. 실험방송 필드테스트 [14]

EDOCR 실험방송은 EDOCR이 실제 현업에서 사용이 가능한지 검증하기 위해 광명 도덕산 KBS 중계소와 금산 만악산 TJB 중계소에서 실시되었다.

1) 광명 도덕산 실험방송 필드테스트 (2005년 9~10월)

실험방송에 적합한 중계소는 KBS의 관악산 송신소를 모국으로 하는 KBS의 광명 중계소가 선택되

(표 5) 수신 성공율 (지향성 안테나)

수신기 종류	EDOCR OFF			EDOCR ON		
	3세대	4.5세대	5세대	3세대	4.5세대	5세대
수신 양호 지점 개수	4	7	7	12	21	21
수신 불가 지점 개수	17	14	14	9	0	0
비율(%)	19	33	33	57	100	100

(표 6) 수신 성공율 (무지향성 안테나)

수신기 종류	EDOCR OFF			EDOCR ON		
	3세대	4.5세대	5세대	3세대	4.5세대	5세대
수신 양호 지점 개수	0	1	1	6	18	18
수신 불가 지점 개수	21	20	20	15	3	3
비율(%)	0	5	5	29	86	86

〈표 7〉 수신 성공율

수신기 종류	EDOCR OFF		EDOCR ON	
	3세대	5세대	3세대	5세대
수신 양호 지점 개수	19	24	24	26
수신 불가 지점 개수	7	2	2	0
비율(%)	73	92	92	100

〈표 8〉 EDOCR의 동작에 따른 수신상태의 변화 비교

수신기 종류	EDOCR ON	
	3세대	5세대
수신양호였으나 EDOCR로 수신이 악화된 지점	0	0
수신불가였으나 EDOCR로 수신이 개선된 지점	5	2

었다. 실험방송 필드테스트는 선정된 도덕산 중계소 서비스 지역을 대상으로 3세대 수신기(2001년)와 5세대 수신기(2005년)를 사용하여 26지점에서 수행되었다. 표 7과 8은 EDOCR 적용 여부 및 수신기에 따른 수신 성공율과 EDOCR 동작에 따른 수신 상태의 변화를 각각 나타낸다. 표 7에 의하면, EDOCR을 적용하면 3세대 수신기의 경우 수신율이 73%에서 92%로 증가하였고, 5세대 수신기의 경우 수신율이 92%에서 100%로 증가하였다. 표 8에 의

하면, EDOCR을 적용하면, 3세대 수신기의 경우 수신이 되지 않던 5개 지점에서 수신이 성공했고, 5세대 수신기의 경우 수신이 되지 않았던 2개 지점에서 수신이 성공했다. 하지만, 3세대와 5세대 수신기 모두 수신 악화지점은 없었다.

2) 금산 만악산 실험방송 필드테스트 결과 (2005년 11월)

EDOCR 실험방송은 EDOCR이 실제 현업에서

〈표 9〉 수신 성공율

수신기 종류	EDOCR OFF		EDOCR ON	
	3세대	5세대	3세대	5세대
수신 양호 지점 개수	22	32	31	38
수신 불가 지점 개수	18	8	9	2
비율(%)	55	80	77.5	95

〈표 10〉 EDOCR의 동작에 따른 수신상태의 변화 비교

수신기 종류	EDOCR ON	
	3세대	5세대
수신양호였으나 EDOCR로 수신이 악화된 지점	3	2
수신불가였으나 EDOCR로 수신이 개선된 지점	14	8

사용이 가능한지를 검증하기 위하여 실시되었다. 실험방송에 적합한 중계소는 TJB 식장산 송신소를 모국으로 하는 TJB의 금산 중계소가 선택되었다. 실험방송 필드테스트는 선정된 금산 중계소 서비스 지역을 대상으로 3세대 수신기(2001년)와 5세대 수신기(2005년)를 사용하여 40지점에서 수행되었다. 표 9와 10은 EDOCR 적용 여부 및 수신기에 따른 수신 성공율과 EDOCR 동작에 따른 수신 상태의 변화를 각각 나타낸다. 표 9에 의하면, EDOCR을 적용하면 3세대 수신기의 경우 수신율이 55%에서 77.5%로 증가하였고, 5세대 수신기의 경우 수신율이 80%에서 95%로 증가하였다. 표 10에 의하면, EDOCR을 적용하면, 3세대 수신기의 경우 수신이 되지 않던 14개 지점에서 수신이 성공했고, 5세대 수신기의 경우 수신이 되지 않았던 8개 지점에서 수신이 성공했다. 하지만, 3세대 수신기의 경우 3 지점에서, 5세대의 경우 2 지점에서 악화되었다.

V. 결론 및 향후 전망

본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 방송의 권역별 SFN 구축을 위한 요소기술인 EDOCR의 구조 및 특징에 관하여 고찰하였고, 시간지연을 최소화하기 위해 EDOCR에서 사용된 신호처리기술, 즉 복조, 등화, 변조, 그리고 전치등화 기술에 관하여 살펴

았다. 또한, 본 논문에서는 국내외에서 수행된 EDOCR의 필드테스트 결과를 기술하였고 EDOCR의 유용성을 검증하였다. ETRI에서 개발한 EDOCR은 송신기에서 수신된 신호와 동일한 주파수로 고품질의 중계신호를 송신한다. 따라서, 중계기를 위한 추가적인 채널할당이 필요치 않아 디지털 전환기의 주파수 부족 문제를 어느 정도 해소할 것으로 기대된다.

EDOCR 개발의 궁극적인 목적은 한 개의 송신기 방송권역 내에서 한 개의 방송채널만을 사용하는 것이다. 즉, EDOCR을 이상적으로 적용할 경우 DTV 방송망 구축에 있어서 방송권역 별로 방송 프로그램 수 만큼의 채널만 할당하면 된다는 뜻이다. 그러나 기존의 아날로그 방송 중계망을 그대로 이용할 경우 지형적인 특성, 중계소 배치상황 등에 의한 현실적인 어려움으로 인해 부분적으로 추가적인 채널할당은 불가피할 것으로 예상된다.

현재 디지털 전환시기의 방송주파수 부족 문제는 국내는 물론 디지털 전환을 추진하는 모든 국가에서 겪고 있으며, 이를 극복하기 위한 논의가 ATSC는 물론 DVB-T에서도 진행되고 있다. 주파수 자원의 효율적인 이용은 빠른 디지털 방송전환은 물론 잉여 주파수 자원의 다른 매체(DMB, Wibro 등)로의 활용 가능성 때문에 그 중요성이 날로 증가하고 있다.

● 참고 문헌 ●

- [1] Synchronization Standard for Distributed Transmission, Revision A, Doc. A/110A, July 2005.
- [2] ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks, Doc. A/111, Sept. 2004.
- [3] 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, pp. 137-146, June 2006.
- [4] 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, pp. 23-37, March 2007.
- [5] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍묵, 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.
- [6] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍묵, 서재현, 김형남, 김승원, "ATSC 지상파 DTV 시스템의 등화형 디지털 동일 채널 중계기를 위한 디지털 신호 처리 기술," 방송공학회논문지, 제9권, 제4호, pp. 357~370, 2004년.
- [7] 이용태, 음호민, 박성익, 서재현, 김홍묵, 김승원, 서중수, "등화형 디지털동일채널중계기의 송수신 신호간 주파수 동기화 기술", 한국통신학회논문지, 제 31권, 제 7A호, pp. 725~733, 2006년.
- [8] 박성익, 김홍묵, 서재현, 음호민, 이용태, 이재영, 이수인, "등화형 디지털 동일채널 중계기의 시간지연을 최소화하기 위한 변조 및 전치등화 방법," 방송공학회논문지, 제11권, 제2호, pp. 229~241, 2006년.
- [9] 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, pp. 249-257, Sept. 2003.
- [10] Transmission Measurement and Compliance for Digital Television, Doc. A/64 Rev. A, May, 2000.
- [11] 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍묵, 김승원, 이수인, "등화형 디지털 동일 채널 중계기 Part I : 실험실 테스트 결과," 방송공학회논문지, 제10권, 제2호, pp. 210~220, 2005년.
- [12] 서영우, 김영민, 목하균, 권태훈, 이상길, 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍묵, 김승원, "국내 DTV 방송망에서의 디지털 동일채널중계기의 적용," 방송공학회논문지, 제10권, 제4호, pp. 587~598, 2005년.
- [13] 박성익, 이용태, 음호민, 서재현, 김홍묵, 김승원, 이수인, "등화형 디지털 동일 채널 중계기 Part II : 필드 테스트 결과," 방송공학회논문지, 제10권, 제2호, pp. 221~237, 2005년.
- [14] 지상파 DTV SFN 송수신 기술 개발에 관한 연구, 한국전자통신연구원, 2005년 12월.

필자 소개



박 성 익

- 2000년 2월 : 한양대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 채널코딩, DSP, DTV 전송시스템

필자소개



이용태

- 1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 1995년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송, 디지털신호처리, RF 신호처리



김흥묵

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



서재현

- 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : DTV 전송시스템, DSP



음호민

- 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : 영상신호처리, DTV 전송시스템