

논문-05-10-2-10

등화형 디지털 동일 채널 중계기 Part 1 : 실험실 테스트 결과

박성익^{a)*}, 이용태^{a)}, 음호민^{a)}, 서재현^{a)}, 김홍묵^{a)}, 김승원^{a)}, 이수인^{a)}

Equalization Digital On-Channel Repeater Part 1 : Laboratory Test Results

Sung Ik Park^{a)*}, Yong-Tae Lee^{a)}, Homin Eum^{a)}, Jae Hyun Seo^{a)}, Heung Mook Kim^{a)},
Seung Won Kim^{a)} and Soo-In Lee^{a)}

요 약

본 논문에서는 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송 방식을 사용하는 등화형 동일 채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)에 대한 실험실 테스트 결과를 기술하고, 그 결과를 분석한다. 캐나다 CRC(Communications Research Centre)에서 수행된 EDOCR 실험실 테스트는 수신부 테스트, 송신부 테스트, 그리고 EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부 테스트로 구분된다. 수신부 테스트는 퀘환 신호, 랜덤 잡음, 단일 에코, 다중경로 양상블, NTSC와 DTV 간섭 테스트 등을 포함하며, 송신부 테스트는 대역의 방사, 송신신호의 품질, 위상 잡음 테스트 등을 포함한다. 실험실 테스트 결과에 의하면, EDOCR 수신부는 0 ~ 11s 범위 내의 평균 5.5dB 퀘환 또는 단일 에코 신호를 제거할 수 있으며, 랜덤 잡음에 대한 TOV(Threshold of Visibility)는 평균 18.6dB이다. 또한, EDOCR 송신부 출력 신호는 미국의 FCC(Federal Communications Commission) 규격을 만족하며, 송수신 신호의 주파수는 일치한다.

Abstract

This paper presents and analyzes laboratory test results of Equalization Digital On-Channel Repeater (EDOCR) using ATSC(Advanced Television Systems Committee) terrestrial digital TV broadcasting system. The EDOCR laboratory test, which is done at CRC(Communications Research Centre) Canada, is classified to receiver test, transmitter test, and synchronization test between transmission and reception frequencies. The receiver part includes feedback signal, random noise, single echo, multi-path ensemble, and NTSC/DTV interference test. The transmitter part includes out-of channel emission, quality of transmitting signal, and phase noise test. By the field test results, the receiver part of the EDOCR eliminates average 5.5 dB of feedback or single echo signal in range of 0 to 11 μ s and has average 18.6 dB at TOV(Threshold of Visibility) under random noise environment. Also, the transmitter part of the EDOCR satisfies the specification of US FCC(Federal Communications Commission), and frequency difference between transmitter and receiver is zero.

Keywords : ATSC, SFN, EDOCR, 실험실 테스트

I. 서 론

일반적으로 방송 서비스를 위해서는 주변 지형지물에 따라 그리고 방송사의 방송 구역에 따라 송신기 및 중계기를

배치한다. 현재 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 혹은 중계기마다 다른 주파수를 할당하여 방송망을 구성하는 복수 주파수 망(Multiple Frequency Network: MFN)을 통해 서비스되고 있다. 그러나 MFN을 통해 방송 신호를 전송하면 동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외

a) 한국전자통신연구원 디지털방송연구단
Digital Broadcasting Research Division, ETRI

하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 관점에서 매우 비효율적이다.

그러나, 만약 복수 개의 송신기 및 증계기가 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구성을 통해 방송 신호를 전송하면 방송 주파수의 이용 효율을 높이고, 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있다.

SFN 구성을 위한 기술은 분산 송신기(Distributed Transmitters: DTxT)를 이용하는 방법과 디지털 동일 채널 증계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR)를 이용하는 방법으로 나뉘어진다^[1]. ATSC 방식에서는 두 가지 방법 모두 SFN 구성이 가능하나, DTxT를 이용하는 방법은 ATSC 표준을 변경해야 한다는 것과 송신기들 사이의 거리가 제약된다는 단점이 있다. 반면 DOCR를 이용하는 방법은 기존에 설치된 송신기와 함께 SFN 구성이 가능하므로 망 구성이 용이하나, 출력 전력이 낮고 출력 신호의 품질이 떨어진다는 단점이 있었다. 기존 DOCR이 가지는 그러한 단점을 해결하기 위해 등화형 동일 채널 증계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)가 제안되었다^[2-4].

본 논문에서는 EDOCR에 대한 실험실 테스트 절차 및 결과를 기술하고, 그 결과를 다양한 각도에서 분석한다. 캐나다 CRC(Communications Research Centre)에서 수행된 EDOCR 실험실 테스트는 수신부 테스트, 송신부 테스트, 그리고 EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부 테스트로 구분된다. 수신부 테스트는 궤환 신호(feedback signal), 랜덤 잡음(random noise), 단일 에코(single echo), 다중경로 앙상블(multi-path ensembles), NTSC(National Television Systems Committee)와 DTV 간섭 테스트 등을 포함하며, 송신부 테스트는 대역외 방사(out of channel emissions), 송신신호의 품질, 위상 잡음(phase noise) 테스트 등을 포함한다. 뿐만 아니라, 본 논문에서는 EDOCR 실험실 테스트를 위한 장비 구성, 테스트를 위해 사용된 수신기의 성능에 관해서도 살펴본다.

II. EDOCR 이란?

DOCR은 송신기의 방송 신호가 약하게 수신되는 지역에

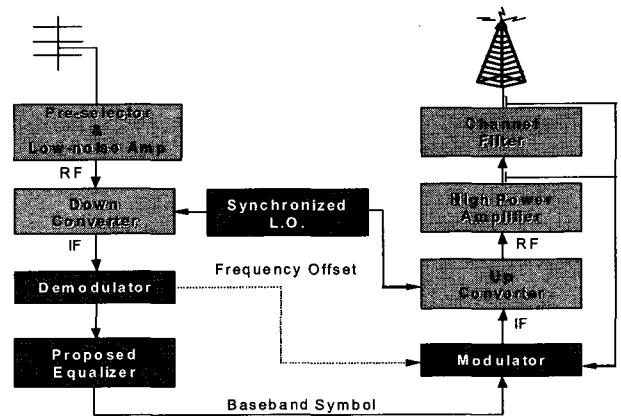


그림 1. EDOCR의 구조
Fig. 1. Structure of EDOCR

설치하여 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송 영역을 넓히는 역할을 한다. 참고 문헌 [2~4]에서 기존 DOCR이 가지는 단점을 해결한 EDOCR을 제안하였으며, 그 구조는 그림 1과 같다. EDOCR은 Pre-selector, LNA (Low Noise Amplifier), 주파수 하향 변환기, 복조기, 등화기, 변조기, 주파수 상향 변환기, HPA(High Power Amplifier), 그리고 채널 필터로 구성된다. EDOCR의 구조는 FEC(Forward Error Correction) 복호/부호화부를 사용하지 않는 것을 제외하면, baseband decoding DOCR의 구조와 동일하다^[2-4]. EDOCR이 가지는 특징들은 다음과 같다:

- ① EDOCR은 FEC 복호 및 부호화부를 사용하지 않기 때문에 DOCR 입력 신호와 출력 신호가 서로 다른, 즉 모호성(ambiguity) 문제를 가지지 않는다.
- ② EDOCR은 복조부를 사용하기 때문에 수신 신호의 선택성이 우수하다. 즉, 인접 채널 제거 능력이 우수하다.
- ③ EDOCR은 TBD (Trellis Back Depth)가 1인 트렐리스 복호기를 판정 장치(decision device)로 가지는 블라인드(blind) DFE (Decision Feedback Equalizer)를 사용한다^[5]. 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 분리도(isolation)로 인해 야기된 피드백 신호를 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 송신 출력을 기존 DOCR 대비 10배 이상 높일 수 있다.
- ④ EDOCR은 재변조부를 사용하기 때문에 송신 신호의 대역외 방사 규격을 만족한다.

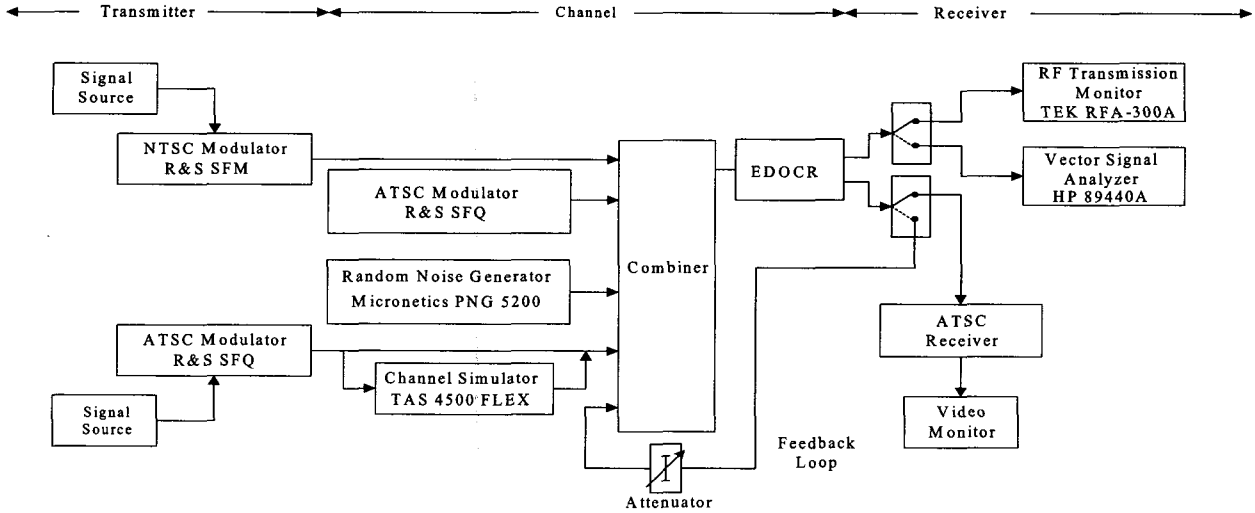


그림 2. 실험실 테스트를 위한 장비 구성
Fig. 2. Equipments set-up for laboratory test

III EDOCR 실험실 테스트를 위한 구성

EDOCR의 실험실 테스트를 위한 장비 구성은 송신부, 채널, 수신부로 구분되며, 그림 2와 같다.

1. 실험실 테스트를 위한 송신부의 구성

송신부는 EDOCR 입력 신호로 사용되는 디지털 8-VSB 신호생성부와 동일 및 인접 채널 간섭신호로 사용되는 아날로그 NTSC 신호 생성부로 구성된다. 8-VSB 신호는 MPEG(Motion Picture Experts Group)-2 스트림 생성기를 신호원으로 사용하며, R&S(Rohde & Schwarz)사의 디지털 TV 테스트 송신기인 SFQ를 이용하여 생성된다. NTSC 신호는 비디오 및 오디오 테스트 신호 생성기를 신호원으로 사용하며, R&S사의 아날로그 TV 테스트 송신기인 SFM을 이용하여 생성된다.

2. 실험실 테스트를 위한 채널부의 구성

채널부는 다음과 같이 구성된다.

- 인접 채널 간섭 신호로 사용되는 디지털 8-VSB 신호 생성부

- EDOCR 수신부의 랜덤 잡음에 대한 강인함을 테스트하기 위한 랜덤 잡음 생성부
- EDOCR 수신부의 다중 경로 신호에 대한 강인함을 테스트하기 위한 채널 시뮬레이터
- 제한 신호의 크기를 조절하기 위한 감쇄기
- 송신부 신호와 간섭 신호, 잡음 신호, 다중 경로 신호, 제한 신호 등을 조합하기 위한 조합기
- EDOCR

인접 채널 간섭 신호로 사용되는 8-VSB 신호는 SFQ를 통해 생성되며, SFQ 내부의 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 신호를 신호원으로 사용한다. 또한, 랜덤 잡음을 생성하기 위해 Micronetics NOD-5250 잡음 생성기와 다중 경로 신호를 생성하기 위해 TAS 4500 FLEX 채널 시뮬레이터를 각각 사용한다. 결합기 출력 신호(송신부 및 채널로부터의 신호)는 EDOCR에 연결되며, EDOCR 출력으로부터의 제한 신호는 감쇄기를 통해 결합기로 연결된다.

3. 실험실 테스트를 위한 수신부의 구성

EDOCR 출력 신호는 ATSC 수신기에 연결되며, TOV (Threshold of Visibility) 레벨을 결정하기 위해 MPEG 복호기 출력 신호는 비디오 모니터에 연결된다. 또한, EDOCR 출력 신호의 RF 품질을 측정하기 위하여 Tektronix사의 RFA-300A를 사용하며, DTV, NTSC, 다중경로 신호, 랜덤

잡음의 평균 전력 측정을 위해 Agilent 사의 HP89440A 벡터 신호 분석기를 사용한다.

4. 실험실 테스트를 위한 조건

EDOCR 실험실 테스트를 위해 67번 채널(788-794 MHz)을 사용하며, TOV 레벨을 결정하기 위하여 수신기 출력의 비디오 신호를 관찰한다. 다중경로 신호의 C/N을 측정하기 위하여, 에코 신호의 전력이 포함되지 않은, 즉 주송신기 신호의 전력만을 사용한다. 또한, 랜덤 잡음이 없을 때, TAS 4500 FLEX 채널 시뮬레이터는 33dB의 C/N을 가진다. 실험실 테스트는 다음과 같은 "Without Signal Re-acquisition(w/o. re-acq.)"과 "With Signal Re-acquisition (w. re-acq.)"의 두 경우로 수행된다.

- Without Signal Re-acquisition (w/o. re-acq.): RF 신호의 재연결이 없는 상황에서, 최대 간섭 및 잡음에서의 수신기 TOV를 결정
- With Signal Re-acquisition (w. re-acq.): RF 신호를 제거하고 다시 재연결한 상황에서, 최대 간섭 및 잡음에서의 수신기 TOV를 결정

NTSC 간섭 신호의 음성 캐리어는 영상 캐리어 최대 전력보다 7dB(20%) 낮으며, NTSC 비디오 신호로 Color Bar를, 오디오 신호로 400Hz 톤(tone)을 사용한다.

IV. 테스트 절차 및 결과

EDOCR의 성능을 평가하기 위한 실험실 테스트는 EDOCR 수신부 테스트, EDOCR 송신부 테스트, 그리고 EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부 테스트로 나누어져 수행되며, EDOCR 수신부는 다음과 같은 항목을 측정한다.

- 궤환 신호
- 랜덤 잡음
- 단일 에코
- 다중경로 양상불
- NTSC와 DTV 신호의 DTV 신호로의 간섭

EDOCR 송신부는 Tektronix 사의 RFA-300A를 사용하여 테스트되며, 다음과 같은 항목을 측정한다.

- 대역외 방사
- 송신신호의 품질
- 위상 잡음

1. EDOCR 수신부 테스트

EDOCR 수신부 테스트를 위한 DTV RF 입력 신호 레벨은 50 dBm으로 조정되었다. 또한, 다중경로 양상불은 표 1과 같은 브라질 A 채널을 사용하였다.

표 1. 브라질 A 채널 프로파일
Table 1. Brazil A channel profile

Delay (μs)	Attenuation (dB)	Phase (degrees)
0	0	0
0.15	13.8	0
2.22	16.2	0
3.05	14.9	0
5.86	13.6	0
5.93	16.4	0

1.1 궤환 신호 테스트

본 테스트의 목적은 랜덤 잡음이 존재하지 않는 상황에서 다중경로 양상불이 있는 경우와 없는 경우에서, 송수신 안테나의 낮은 격리도로 인해 야기된 궤환 신호에 대한 EDOCR 수신부의 강인함을 결정하는 것이다. TOV에 도달할 때까지 궤환 신호의 레벨은 증가되고, TOV에서의 궤환 신호의 레벨(D/U: Desired to Undesired)이 기록되며, 그 결과는 표 2와 같다. 표 2에서, 다중경로 양상불이 없을

표 2. 궤환 신호 테스트 결과
Table 2. Feedback signal test results

신호 레벨	다중경로 양상불 타입	궤환 신호 레벨, D/U (dB)	
		w/o. re-acq	w. re-acq.
-50 dBm	None	4.5 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5
	Brazil A	9.8	9.8

때 D/U가 4.5에서 5.5dB인 이유는 궤환 신호와 EDOCR 입력 신호의 위상 차이가 랜덤하기 때문이다. 만약 그림 3처럼 파일럿이 널(null)의 마루에 있거나 (EDOCR 입력 신호와 궤환 신호의 위상 차이가 0도인 경우), 그림 4처럼 파일럿이 널의 골에 있는 경우(EDOCR 입력 신호와 궤환 신호의 위상 차이가 180도인 경우)는 -0.5dB의 궤환 신호도 제거할 수 있다.

또한, EDOCR 시스템 지연을 조사하기 위해 궤환 신호가 존재하는 상황에서 EDOCR 입력에서의 임펄스 응답을 측정하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에 의하면, EDOCR 시스템 지연은 5.5 μ s이다.

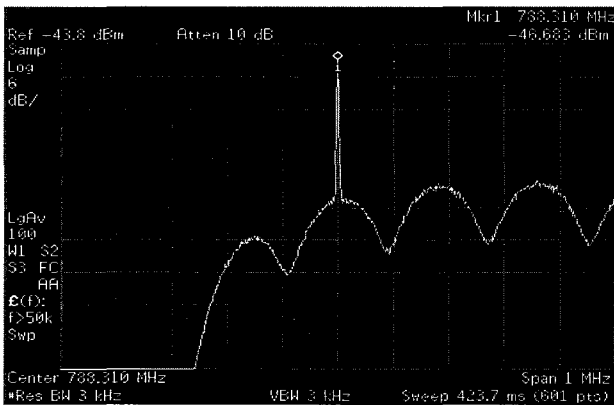


그림 3. 파일럿이 널의 마루에 있는 상황에서의 EDOCR 입력 스펙트럼
Fig. 3. EDOCR input spectrum when the pilot is located at the peak of null

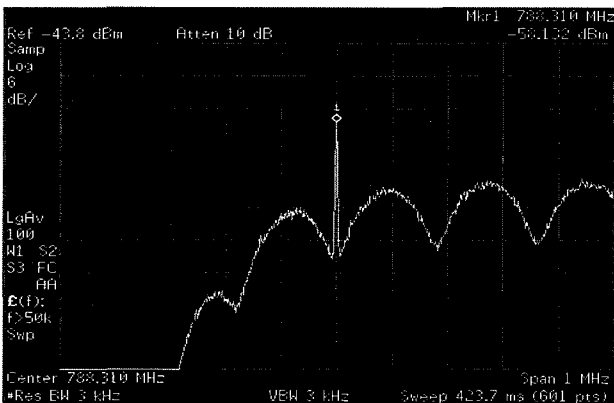


그림 4. 파일럿이 널의 골에 있는 상황에서의 EDOCR 입력 스펙트럼
Fig. 4. EDOCR input spectrum when pilot is located at the valley of null

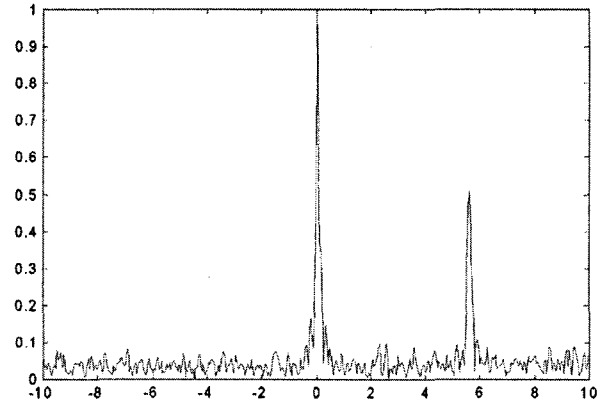


그림 5. 궤환 신호가 존재할 때, EDOCR 입력의 임펄스 응답
Fig. 5. Impulse response of the EDOCR with the feedback loop

1.2 랜덤 잡음 테스트

본 테스트의 목적은 궤환 신호가 있는 경우와 없는 경우, 다중경로 양상불이 있는 경우와 없는 경우에서의 랜덤 잡음에 대한 EDOCR 수신부의 강인함을 결정하는 것이다. 테스트를 위해 궤환 신호는 DTV 신호 레벨보다 6 및 10 dB 낮게 조정되었다. TOV에 도달할 때까지 잡음 레벨은 증가되고, TOV에서의 C/N 값이 기록되며, 그 결과는 표 3과 같다. 표 3에 의하면, 랜덤 잡음에 대한 평균 C/N 값은 18.6dB를 가진다. TOV에서의 EDOCR 수신부 C/N 값이 일반적인 수신기의 15dB와 다른 이유는 FEC(Forward Error Correction) 복호기를 가지지 않는 대신, 등화기 내에 TBD(Trellis Back Depth)가 1인 트렐리스 복호기를 사용하기 때문이다³⁻⁵⁾.

표 3. 랜덤 잡음 테스트 결과

Table 3. Random noise test results

신호 레벨	궤환 신호 레벨(dBm)	다중경로 양상불 타입	D/U (dB)	
			w/o. re-acq	w. re-acq.
-50 dBm	No Feedback Sign	None	18.2	18.2
	No Feedback Sign	Brazil A	18.7	18.7
	- 6 dB	None	18.6	18.6
	- 10 dB	None	18.4	18.4
	- 10 dB	Brazil A	19.1	19.1

1.3 단일 에코 테스트

본 테스트의 목적은 랜덤 잡음이 없는 경우(C/N = 33dB)에서의 에코 지연(delay) 변화에 따른 단일 정적 에코에 대한 EDOCR 수신부의 강인함을 결정하는 것과 랜덤 잡음이 있는 경우(C/N = 25dB)에서의 0.2, 1, 5Hz의 Doppler 비율을 가지는 단일 동적 에코에 대한 EDOCR 수신부의 강인함을 결정하는 것이다. 단일 정적 에코에 대한 테스트가 에코의 위상 변화에 무관하게 하기 위하여 0.2 Hz의 느린 Doppler가 삽입된다. 또한, 정적 에코의 위상이 0도 및 180도인 경우에 대한 테스트도 수행된다. TOV에서의 에코 지연 및 Doppler 비율에 따른 단일 정적 및 동적 에코의 레벨이 기록되며, 그 결과는 표 4와 같다. 표 4에 의하면, EDOCR 수신부는 0 ~ 11s 범위 내의 평균 5.5dB 단일 정적 에코 신호를 제거하며, 5µs의 지연과 5Hz의 Doppler 비율을 가지는 7.5dB의 동적 에코도 제거한다.

표 4. 단일 에코 테스트 결과
Table 4. Single echo test results

신호 레벨	에코 타입	에코 지연 (µs)	Doppler 비율 (Hz)	C/N (dB)	에코 전력 (dB)
-50 dBm	Static	-1.0	0.2	33	-22.5
		-0.5	0.2	33	-25.0
		1.0	0.2	33	-5.5
		3.0	0.2	33	-5.5
		5.0	0.2	33	-6.0
		7.0	0.2	33	-6.0
		9.0	0.2	33	-5.5
		11.0	0.2	33	-5.0
		12.0	0.2	33	-17.0
		13.0	0.2	33	-17.0
		15.0	0.2	33	-17.5
		5	Phase = 0°	33	-2.5
	5	Phase = 180°	33	-0.5	
	Dynamic	5	0.2	25	-6
		5	1	25	-7
5		5	25	-7.5	

1.4 NTSC 및 DTV 신호의 DTV 신호로의 간섭 테스트

본 테스트의 목적은 NTSC 인접(lower, upper) 채널 및 동일 채널 간섭, DTV 인접 채널 간섭에 대한 EDOCR 수신부의 강인함을 결정하는 것이다. NTSC 및 DTV 인접 채널 간섭 테스트는 RF 대역의 BPF(Band Pass Filter)가 있는 경우와 없는 경우로 구분된다. TOV에서의 NTSC 간섭 및 DTV 간섭 레벨(D/U)이 기록되며, 그 결과는 표 5 및 6과 같다. 또한, 표 5와 6에는 TOV에서의 2001년도에 제작된 상용 수신기의 NTSC 및 DTV 신호의 간섭 레벨이 EDOCR

표 5. NTSC 신호의 DTV 신호로의 간섭
Table 5. NTSC signal interference to DTV signal

신호 레벨	대역제한 필터	NTSC 간섭 신호	D/U (dB)		상용수신기 D/U (dB)
			w/o. re-acq.	w. re-acq.	
-50dBm	N/A	Co-channel	8.1	8.1	1.81
	OUT	Upper Adjacent (N+1)	-5.9	-5.9	-48.71
	IN	Upper Adjacent (N+1)	-6.9	-6.9	
	OUT	Lower Adjacent (N-1)	-6.3	-6.3	-47.73
	IN	Lower Adjacent (N-1)	-18.8	-15.3	
	OUT	N-2	-5.8	-5.8	-62.54
IN	N-2	-42.3	-42.3		

표 6. 인접 DTV 신호의 DTV 신호로의 간섭
Table 6. Adjacent DTV signal interference to DTV signal

신호 레벨	대역제한 필터	NTSC 간섭 신호	D/U (dB)		상용수신기 D/U (dB)
			w/o. re-acq.	w. re-acq.	
신호 레벨	OUT	Upper Adjacent (N+1)	-11.0	-8.5	-43.17
	IN	Upper Adjacent (N+1)	-14.5	-12.5	
	OUT	Lower Adjacent (N+1)	-11.5	-8.0	-41.98
	IN	Lower Adjacent (N+1)	-14.5	-11.0	

수신부와의 비교를 위해 보여진다. 표 5 및 6에 의하면, EDOCR 수신부는 comb 필터를 사용하는 상용 수신기보다 NTSC 동일 채널(co-channel) 간섭 신호 제거 능력이 낮으며, IF 대역의 SAW(Surface Acoustic Filter) 필터를 사용하는 상용 수신기보다 NTSC 및 DTV 인접 채널 제거 능력이 열악하다. EDOCR에서는 수신 SNR이 수신부 성능에 영향을 미치지 않기 때문에 그룹 지연이 큰, 즉 SNR 감소가 심한 IF 대역의 SAW 필터를 사용하는 것이 어렵다^{3)[4]}.

2. EDOCR 송신부 테스트

DTV 송신기 및 중계기 출력 신호의 특성은 Tektronix사의 RFA 300A를 사용하면, 쉽게 측정할 수 있다. 송신부 테스트는 RF 스펙트럼 분석을 통한 대역외 방사 측정과 8-VSB 신호의 복조를 통한 송신 신호 품질 측정 및 위상 잡음 측정으로 분류된다. 송신 신호 품질 측정은 SNR (Signal to Noise Ratio), MER(Modulus Error Ratio), EVM(Error Vector Magnitude), 주파수 응답 및 그룹 지연 측정을 포함한다.

2.1 대역외 방사 측정

FCC는 다른 공중파 서비스 혹은 DTV 및 NTSC 인접 채널로의 방송 신호의 누출을 최소화하기 위하여 그림 6과 같은 대역외 방사 마스크 만족을 의무화 한다. 그림 6의 FCC 마스크는 채널 경계로부터 0.5MHz 떨어진 곳에서의

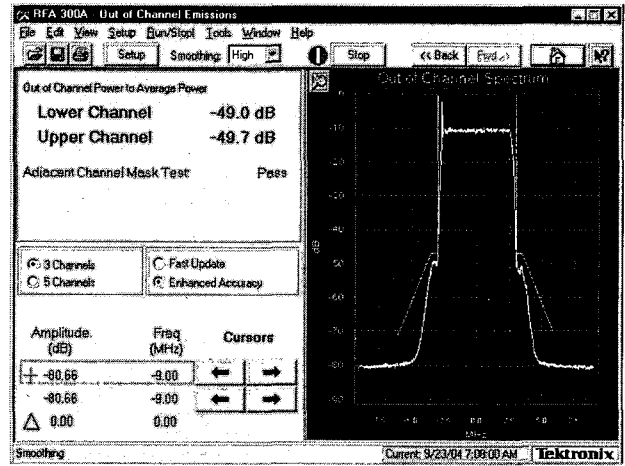


그림 7. FCC 마스크 테스트 결과
Fig. 7. FCC mask test result

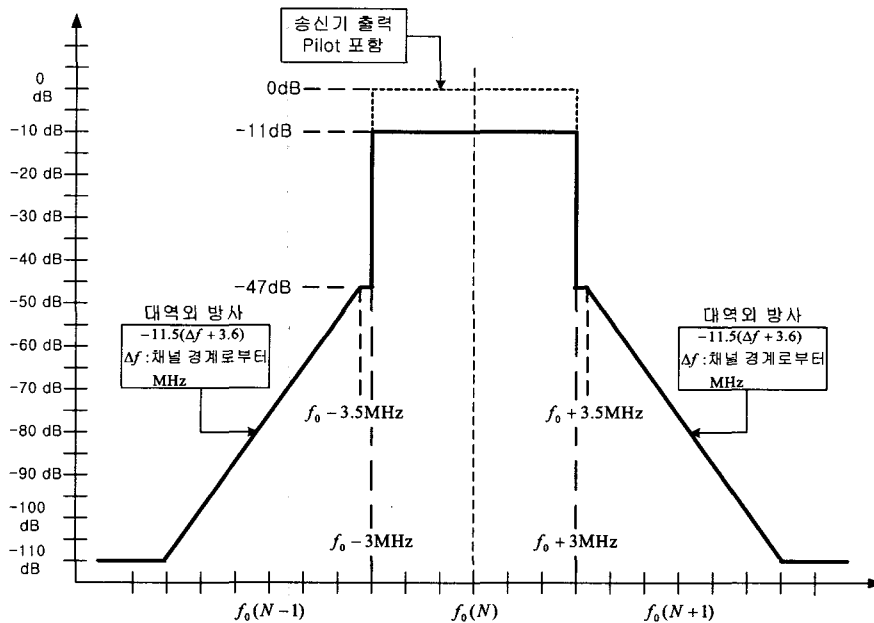


그림 6. 대역외 방사 마스크
Fig. 6. Out-of channel emission mask

송신기 출력 신호 레벨은 47dB, 6MHz 떨어진 곳에서의 레벨은 110dB로 규정한다. 그림 7은 EDOCR 출력신호의 대역외 방사 테스트 결과를 나타낸다. 그림 7의 테스트 결과에 의하면, EDOCR 송신부 출력 신호는 FCC 마스크를 만족한다.

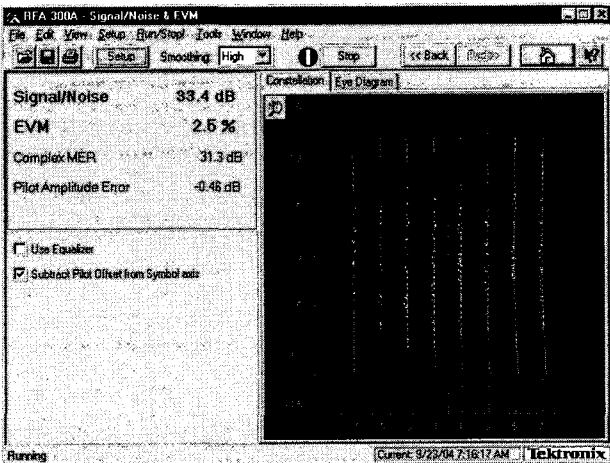


그림 8. EDOCR 출력 신호의 성상
Fig. 8. Constellation of the EDOCR output signal

2.2 송신신호 품질 측정

송신신호 품질 측정은 SNR, MER, EVM, 주파수 응답 및 그룹 지연 측정을 포함하며, SNR, MER, EVM의 정의는 다음과 같다:

$$SNR = \frac{\text{Power(Ideal I signal)}}{\text{Power(Ideal I signal - Actual I signal)}}$$

$$MER = \frac{\text{Power(Ideal I and Q signal)}}{\text{Power(Ideal I and Q signal - Actual I and Q signal)}}$$

$$EVM = \frac{\text{RMS(Ideal I and Q signal)} \times 100\%}{S_{\max}}$$

여기서, S_{\max} 는 8VSB 신호 성상(constellation)에서 가장 큰 값을 의미하며, +7이다. FCC에서는 8VSB 송신 시스템 출력 SNR을 27dB 이상으로 규정한다^[6]. 그림 8과 9는 EDOCR 출력 신호의 성상 및 눈 모양(eye-diagram)을 보여 주며, EDOCR 출력 신호의 품질은 표 7과 같다. 그림 8, 9와 표 7에 의하면, EDOCR 출력 신호의 품질은 FCC 규정을 만족함을 알 수 있다.

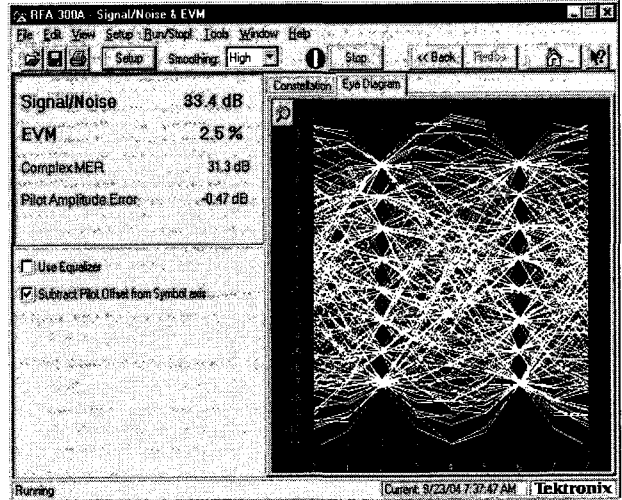


그림 9. EDOCR 출력 신호의 눈 모양
Fig. 9. Eye diagram of the EDOCR output signal

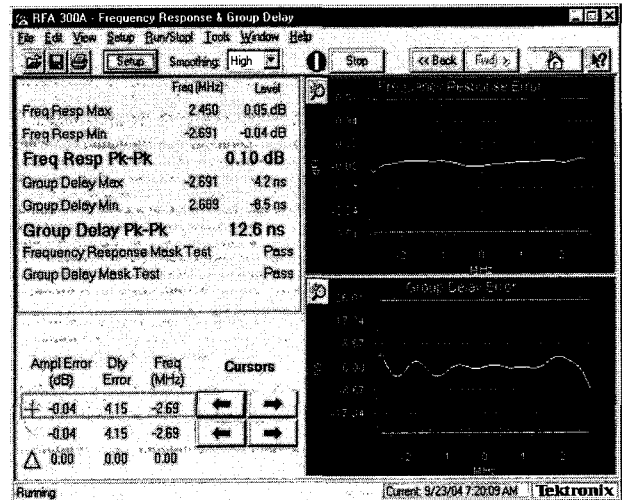


그림 10. EDOCR 출력 신호의 주파수 응답 및 그룹 지연 테스트 결과
Fig. 10. Frequency response and group delay test results of the EDOCR output signal

표 7. EDOCR 출력 신호의 품질
Table 7. Quality of the EDOCR output signal

측정 항목	측정 값
SNR	32~35 dB
MER	30~33 dB
EVM	2~3 %

주파수 응답 오차는 RRC(root raised cosine) 필터를 기반으로 한 이상적인 8VSB 신호와 실제 신호 사이의 주파수 응답 차이를 의미하며, 그룹 지연 오차는 이상적인 8VSB 신호와 실제 신호 사이의 주파수 천이에 의한 시간 지연 차이를 나타낸다. ATSC A/64에서는 주파수 응답 및 그룹 지연에 관한 표 8과 같은 규격을 정의한다⁶⁾. 그림 10은 EDOCR 출력 신호의 주파수 응답 및 그룹 지연 테스트 결과를 나타낸다. 그림 10에 의하면, EDOCR 출력 신호는 ATSC A/64에서 제안하는 표 8과 같은 규격을 만족한다.

표 8. 주파수 응답 및 그룹 지연에 관한 마스크

Table 8. Mask of frequency response and group delay

	주파수 (MHz)	레벨
주파수 응답 마스크	-2.69 ~ +2.69	-0.5 ~ +0.5 dB
그룹 지연 마스크	-2.69 ~ +2.69	- 25 ~ +25 ns

2.3 위상 잡음 측정

위상 잡음이란 디지털 변조 과정에서 사용되는 주파수 합성기의 위상 변화이다. 위상 잡음이 많으면 주파수 및 위상 편차를 야기하여 신호 정상이 회전하게 되고, 이로 인해 SNR이 감소하여 방송 구역 축소된다. ATSC A/64 문서에서는 위상잡음이 20KHz에서 104dBc/Hz 보다 낮을 것을 규격화한다⁶⁾. 그림 11은 EDOCR 출력 신호의 위상 잡음 테스트 결과를 나타낸다. 그림 11에 의하면, EDOCR 출력

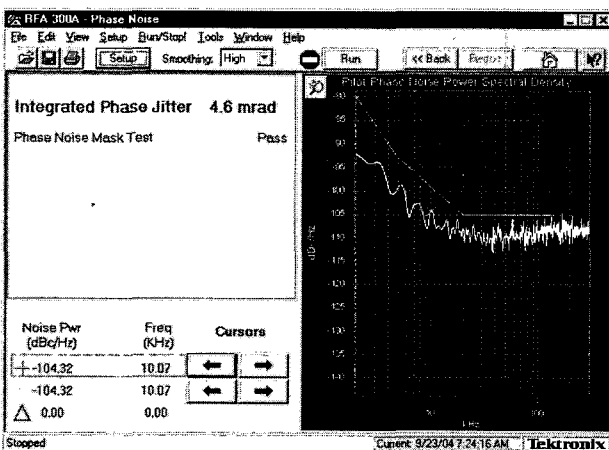


그림 11. EDOCR 출력 신호의 위상 잡음 테스트 결과
Fig. 11. Phase noise test results of the EDOCR output signal

신호는 위상 잡음 규격을 만족한다.

3. EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부 테스트

EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부는 송수신 신호가 합쳐진, 즉 케환 신호를 가지는 EDOCR 입력 신호의 스펙트럼을 통해 쉽게 확인할 수 있다. 그림 12는 케환 신

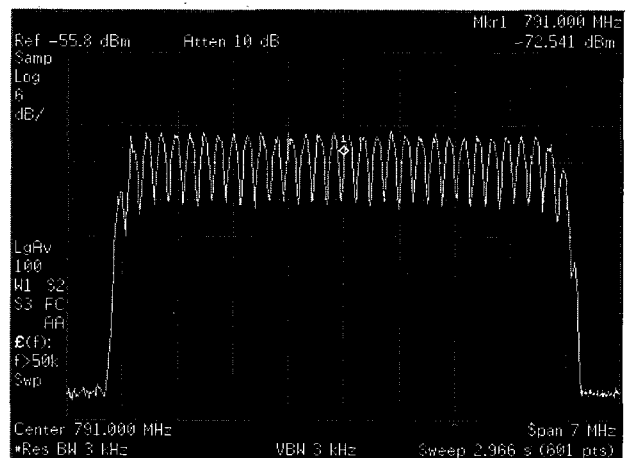


그림 12. EDOCR 송수신 신호의 주파수가 일치한 경우에서의 EDOCR 입력 신호의 스펙트럼
Fig. 12. Spectrum of the EDOCR input signal when frequency difference between transmission and reception frequencies is zero.

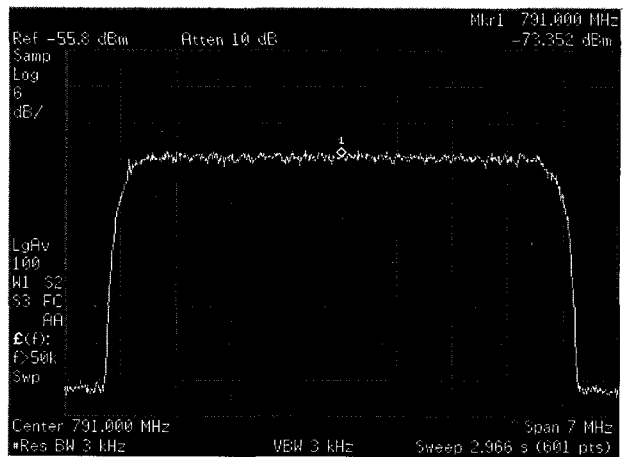


그림 13. EDOCR 송수신 신호의 주파수가 다른 경우에서의 EDOCR 입력 신호의 스펙트럼
Fig. 13. Spectrum of the EDOCR input signal when frequency difference between transmission and reception frequencies is not zero.

호가 존재하는 경우에서의 EDOCR 입력 신호에 대한 스펙트럼이며, 0.18MHz 간격의 넓이 존재한다. 만약, EDOCR 송수신 신호의 주파수가 완벽히 일치하지 않으면, 그림 13 처럼 EDOCR 입력 신호의 스펙트럼에는 넓이 존재하지 않는다. 그림 12와 13은 100번 평균된 스펙트럼이며, 그림 12를 통해 EDOCR 송수신 신호의 주파수는 완벽히 일치함을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 전망

본 논문에서는 ATSC 지상파 디지털 TV 방송 방식을 사용하는 EDOCR에 대한 실험실 테스트 결과를 기술하고, 그 결과를 분석하였다. EDOCR 실험실 테스트는 수신부 테스트, 송신부 테스트, 그리고 EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부 테스트로 구분되었다. 수신부 테스트는 케환 신호, 랜덤 잡음, 단일 에코, 다중경로 양상블, NTSC와 DTV 간섭 테스트 등을 포함하였으며, 송신부 테스트는 대역의 방사, 송신신호의 품질, 위상 잡음 테스트 등을 포함하였다. 또한, EDOCR 송수신 신호의 주파수 일치 여부를 테스트하기 위하여 케환 신호를 가지는 EDOCR 입력 신호의 스펙트럼을 관찰하였다. 실험실 테스트 결과에 의하면, EDOCR 수신부는 0 ~ 11µs 범위 내의 평균 5.5dB 케환 또는 단일 에코 신호를 제거하였으며, 랜덤 잡음에 대한

TOV(Threshold of Visibility)는 평균 18.6dB이었다. 또한, EDOCR 송신부 출력 신호는 미국의 FCC(Federal Communications Commission) 규격을 만족하였으며, 송수신 신호의 주파수는 일치하였다. 이러한 EDOCR을 이용하여 실제 방송환경에서 SFN을 구성하기 위해서는, 향후 필드 테스트, 실험 및 시험 방송, 주파수 배치 등과 같은 연구가 동반되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks, Doc. A/111, Sept. 2004.
- [2] Y. T. Lee, S. I. Park, H.M. Eum, H. N. Kim, S. W. Kim, and S. I. Lee, "A Novel Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network in ATSC System," NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings, pp. 128~133, 2004.
- [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.

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

저자 소개



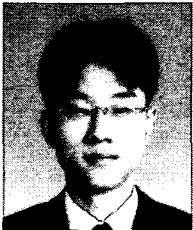
이 용 태

- 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



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



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



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 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



김 승 원

- 1982년 3월 ~ 1986년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1986년 3월 ~ 1988년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 ~ 1999년 2월 : Florida University ECE (Electrical & Computer Engineering) (공학박사)
- 1989년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 DTV 시스템연구팀 팀장
- 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