일반논문-10-15-1-03

분산 중계기 Part 2: 실험실 테스트 결과

박 성 익^{a)†}, 음 호 민^{a)}, 서 재 현^{a)}, 김 흥 목^{a)}, 이 수 인^{a)}

Distributed Translator Part 2: Laboratory Test Results

Sung Ik Park^{a)†}, Homin Eum^{a)}, Jae Hyun Seo^{a)}, Heung Mook Kim^{a)}, and Soo In Lee^{a)}

요 약

본 논문에서는 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송 방식에서의 분산 주파수 망(distributed frequency network)을 위해 개발된 분산중계기(Distributed Translator: DTxR)에 대한 실험실 테스트 결과를 기술하고, 그 결과를 분석한다. DTxR 실험실 테스트는 수신부 테스트와 송신부 테스트로 구분된다. DTxR 수신부 테스트는 dynamic range, 랜덤 잡음, 단일 에코, 인접채널 신호의 간섭 테스트 등을 포함하고, DTxR 송신부 테스트는 출력신호의 품질(대역외 방사, 송신 품질, 위상 잡음), 출력신호들의 주파수 일치, TxID (Transmitter Identification) 신호가 상용 수신기에 미치는 영향 평가 등을 포함한다. 실험실 테스트 결과에 의하면, DTxR 수신부는 0 ~ 17 us 범위 내의 평균 -2.5 dB의 단일 에코 신호를 제거하며, 랜덤 잡음에 대한 TOV (Threshold of Visibility)는 평균 17.5 dB이다. 또한, DTxR 송신부 출력 신호는 미국의 FCC (Federal Communications Commission) 규격을 만족하며, DTxR 출력신호들의 주파수 차이는 0.001 Hz 보다 작다.

Abstract

This paper presents and analyzes laboratory test results of distributed translator (DTxR) for distributed frequency network (DFN) in the ATSC (Advanced Television Systems Committee) terrestrial digital TV broadcasting system. The DTxR laboratory test is classified to receiving part test and transmitting part test. The receiving part test includes dynamic range, random noise, single echo, and adjacent channel interference. The transmitting part test includes quality of output signal (out-of channel emission, quality of transmitting signal, and phase noise), frequency synchronization among output signals, and TxID (Transmitter Identification) signal's affect to the legacy receiver. By the laboratory test results, the receiving part of DTxR eliminates average -2.5 dB of single echo and has average 17.5 dB at TOV (Threshold of Visibility) under random noise environment. In addition, the transmitting part of DTxR satisfies the specification of US FCC (Federal Communications Commission), and frequency difference among DTxR output signals is less than 0.001 Hz.

Keywords : ATSC, DFN, DTxR, 실험실 테스트

I. 서 론

본 논문은 분산중계기(Distributed Translator: DTxR) 개발의 연속으로서, DTxR에 대한 실험실 테스트 절차 및 결과를 기술하고, 그 결과를 다양한 각도에서 분석한다. 실험실 테스트는 2007년도에 제작된 1차 prototype과 2008년도

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부

Broadcasting System Research Department, ETRI

† 교신저자 : 박성익 (psi76@etri.re.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 신성장동력핵심 기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-016, 지상파 DTV 분산중계 기술개발] 및 [2009-S-015, 지상파 DTV 전송효율고도화 기술개발]
· 접수일(2009년9월14일), 수정일(2009년12월28일), 게재확정일(2009년12월28일)

에 제작된 2차 prototype을 사용하였으며, 다양한 잡음과 간섭 신호에 대한 DTxR 수신부의 성능을 평가하기 위한 수신부 테스트와, DTxR 출력신호의 품질, DTxR 출력신호들의 주파수 일치, TxID (Transmitter Identification) 신호가 상용 수신기에 미치는 영향 등을 평가하기 위한 송신부 테스트로 구분된다. 뿐만 아니라, 본 논문에서는 DTxR 실험실 테스트를 위한 장비 구성에 관해서도 살펴본다.

II. DTxR 이란?

DTxR은 송신기의 방송신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송영역을 넓히는 역할을 하며, 그 구조는 그림 1과 같다^[1-3]. DTxR은 Pre-selector, LNA (Low Noise Amplifier), 주파수 하향변환기, 복조기, 등화기, TxID 생성 및 삽입기, 변조기, 주파수 상향변환기, HPA (High Power Amplifier), 그리고 채널필터로 구성된다. DTxR의 구조는 기본적으로 EDOCR (Equalization Digital On-Channel Repeater)과 동일하지만^{[4],[5]}, 그 기능블록의 구현방법은 서로 다르며 다음과 같은 특징들을 가진다.

- ① DTxR은 FEC (Forward Error Correction) 복호 및 부호화부를 사용하지 않기 때문에 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 따라 DTxR의 출력신호가 다른, 즉 모호성(ambiguity) 문제를 가지지 않는다.
- ② DTxR은 수신신호로부터 기준주파수를 생성하여 DTxR간 송신 주파수를 일치시킨다. 즉, 수신신호로부터 복원된 주파수 및 타이밍 offset과 송수신 채널의 주파수 차이를 이용하여 DTxR간 송신 주파수를 일치시키며, 특히 복원된 offset 정보는 각 DTxR 내부 10 MHz LO (Local Oscillator)의 주파수 offset을 보정하기 위해 사용된다. 이러한 DTxR간 주파수 일치 방법은 기준주파수 생성을 위한 GPS가 필요 없다는 장점이 있다.
- ③ DTxR은 복조부를 사용하기 때문에 인접채널 제거능력이 우수하며, 변조부를 사용하기 때문에 송신신호의 RF Spectrum Mask 규격을 만족한다. 또한, DTxR은 TBD (Trace Back Depth)가 1인 트렐리스 복호기를 판정장치(decision device)로 가지는 블라인드(blind) DFE (Decision Feedback Equalizer)를 사용한다^[6]. 이러한 블라인드 DFE는 송신기와 DTxR 사이의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거

그림 1. DTxR의 구조

Fig. 1. Structure of the DTxR

할 수 있기 때문에, DTxR 출력신호 품질을 입력신호보다 우수하게 만든다.

- ④ DTxR은 중계기 식별을 위해 ATSC RP (Recommended Practice) A/110에서 제시된 TxID (Transmitter Identification) 신호를 사용하며^[7], 송출시간 제어를 통해 중계기간의 동일채널 신호 간섭을 최소화시킬 수 있다^[8].

III. DTxR 실험실 테스트를 위한 구성

DTxR 실험실 테스트는 다양한 잡음과 간섭 신호에 대한 DTxR 수신부의 성능을 평가하기 위한 수신부 테스트와, DTxR 출력신호의 품질, DTxR 출력신호들의 주파수 일치, TxID 신호가 상용 수신기에 미치는 영향 등을 평가하기 위한 송신부 테스트로 구분된다.

1. DTxR 수신부 테스트를 위한 구성

DTxR 수신부의 실험실 테스트를 위한 장비 구성은 송신부(송신기), 채널(송신기와 DTxR 사이의 채널), 그리고 수신부(DTxR 수신부)로 구분되며, 그림 2와 같다. 송신부는 DTxR 입력신호로 사용되는 8-VSB 신호 생성부와 인접채

널 간섭신호로 사용되는 8-VSB 간섭신호 생성부로 구성된다. DTxR 입력신호는 MPEG (Motion Picture Experts Group)-2 스트림 생성기(MTX-100)를 신호원으로 사용하며, R&S (Rohde & Schwarz) 사의 디지털 TV 테스트 송신기인 SFQ를 이용하여 생성된다. 또한, 인접채널 간섭신호는 R&S 사의 디지털 TV 테스트 송신기인 SFU를 이용하여 생성되며, SFU 내부의 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) 신호를 신호원으로 사용한다. 채널은 랜덤 잡음을 생성하기 위한 잡음 생성기(Micronetics PNG-5200), 다중 경로 신호를 생성하기 위해 채널 시뮬레이터(TAS 4500 FLEX), RF 신호의 크기를 조정하기 위한 감쇄기, DTxR 입력 신호와 간섭 신호, 잡음 신호, 다중 경로 신호 등을 조합하기 위한 조합기(combiner)로 각각 구성된다. 조합기 출력신호(송신부 및 채널로부터의 신호)는 DTxR 수신부와 스펙트럼 분석기에 각각 연결된다. 수신부는 DTxR, 상용 VSB 수신기, 비디오 모니터, 그리고 평균전력 측정을 위한 스펙트럼 분석기로 각각 구성된다. DTxR 출력 신호는 VSB 수신기에 연결되며, TOV (Threshold of Visibility) 레벨을 결정하기 위해 MPEG 복호기 출력 신호는 비디오 모니터에 연결된다. 여기서 TOV란 DTV 신호가 잡음 및 간섭 신호 등에 의해 오류가 생기기 시작하는 시점에서의 잡음 및 간섭 신호의 임계치이다.

그림 2. DTxR 수신부 테스트를 위한 장비구성

Fig. 2. Equipments set-up for DTxR receiver part test

2. DTxR 송신부 테스트를 위한 구성

DTxR 송신부의 실험실 테스트를 위한 장비 구성은 송신부(DTxR 송신부), 채널(DTxR과 수신기 사이의 채널), 그리고 수신부(상용 VSB 수신기)로 구분되며, 그림 3과 같다. 송신부는 DTxR 입력신호로 사용되는 8-VSB 신호 생성부와 2대의 DTxR 시스템으로 구성된다. DTxR 입력신호는 MPEG-2 스트림 생성기를 신호원으로 사용하여 디지털 TV 테스트 송신기인 SFQ를 이용하여 생성되며, 2대의 DTxR 시스템은 출력신호들의 모호성 문제를 없애기 위해 동일한 VSB 신호를 입력신호로 사용한다. 채널은 랜덤 잡음을 생성하기 위한 잡음 생성기, RF 신호의 크기를 조정하기 위한 감쇄기, 2대의 DTxR 출력신호를 결합하기 위한 결합기로 각각 구성된다. 또한, DTxR 시스템들에 의해 야기된 다중경로 환경에서 상용 수신기의 영향을 평가하기 위해 2대의 DTxR 출력신호들이 서로 다른 시간지연과 크기를 가지며 결합된다. 수신부는 DTxR 출력신호의 품질을 측정하기 위한 8-VSB 신호측정 장치(RFA 300A), DTxR 출력신호들의 주파수 일치 테스트를 위한 스펙트럼 분석기, 그리고 TxID 신호 및 DTxR 시스템들에 의한 다중경로 신호가 상용 수신기에 미치는 영향을 평가하기 위한 VSB 수

신기와 비디오 모니터로 각각 구성된다.

IV. 실험실 테스트 결과

DTxR 실험실 테스트는 2007년도에 제작된 1차 prototype과 2008년도에 제작된 2차 prototype을 사용하였으며, 수신 및 송신은 각각 38번 채널(614-620 MHz)과 46번 채널(662-668 MHz)을 사용하였다. TOV 레벨을 결정하기 위해 상용 수신기 출력의 비디오 및 오디오 신호를 60초 동안 관찰하였으며, 수신기 안정화를 위한 10초의 시간이 허용되었다. 또한, 다중경로 신호의 C/N (Carrier to Noise Power Ratio)을 측정하기 위해 에코 신호의 전력이 포함되지 않은, 즉 주신호(main signal)의 전력만을 사용하였다.

1. DTxR 수신부 테스트 결과

DTxR 수신부 테스트의 목적은 다양한 잡음과 간섭 신호에 대한 DTxR 수신부의 성능을 평가하는 것이며, 다음과 같은 항목을 측정한다.

그림 3. DTxR 송신부 테스트를 위한 장비구성

Fig. 3. Equipments set-up for DTxR transmitter part test

- Dynamic Range
- 랜덤 잡음
- 단일 에코
- 인접 DTV 신호의 간섭

DTxR 수신부 테스트를 위한 RF 입력신호 레벨은 표 1과 같이 3단계로 설정하고, 상용 DTV 수신기의 RF 입력신호 레벨은 -50 dBm으로 고정하였다.

표 1. RF 입력신호 레벨
Table 1. RF input signal level

Type	Signal Level [dBm]
Strong	-25
Moderate	-50
Weak	-65

1.1 Dynamic Range 테스트

본 테스트의 목적은 강전계 혹은 약전계 상황에서 DTxR 수신부의 수신감도를 측정하기 위한 것이다. 최대/최소 RF 레벨은 상용 수신기가 TOV 레벨에 도달할 때까지 DTxR 입력신호의 RF 레벨을 증가 혹은 감소시킴으로써 결정되며, 그 결과는 표 2와 같다. 표 2에 의하면, 강전계 상황에서 2nd prototype의 수신감도가 1st prototype보다 15 dB 이상 개선되었다.

표 2. Dynamic range 테스트 결과
Table 2. Dynamic range test result

	Minimum RF Level [dBm]	Maximum RF Level [dBm]
1 st Prototype	-76.8	-14.3
2 nd Prototype	-82.8	+1

1.2 랜덤 잡음 테스트

본 테스트의 목적은 랜덤 잡음에 대한 DTxR 수신부의 강인함을 확인하는 것이다. 상용 수신기가 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 1st prototype은 약 18.7 dB를, 2nd prototype은 약 17.4 dB를 각각 가진다. 즉, 2nd prototype이 1st

prototype보다 약 1.3 dB 개선되었다. 또한, TOV에서의 DTxR 수신부 C/N 값이 일반적인 수신기의 15 dB와 다른 이유는 FEC 복호기를 가지지 않는 대신, 등화기 내에 TBD가 1인 트렐리스 복호기를 사용하기 때문이다^{[3][6]}.

표 3. Random noise impairment 테스트 결과
Table 3. Random noise impairment test result

	Signal Level [dBm]	C/N [dB]
1 st Prototype	Strong	18.2
	Moderate	18.7
	Weak	19.2
2 nd Prototype	Strong	17.4
	Moderate	17.4
	Weak	17.5

1.3 단일 에코 테스트

본 테스트의 목적은 랜덤 잡음이 없는 상황에서 에코 지연(delay) 변화에 따른 단일 에코에 대한 DTxR 수신부의 강인함을 확인하는 것이다. 단일 에코에 대한 테스트가 에코의 위상 변화에 무관하게 하기 위하여 0.05 Hz의 느린 Doppler가 삽입되었으며, DTxR RF 입력신호 레벨은 -50 dBm으로 고정되었다. 상용 수신기가 TOV에 도달한 상황에서의 에코 지연 및 레벨이 기록되며, 그 결과는 그림 4와

그림 4. DTxR 수신부의 단일 에코 제거 능력
Fig. 4. Single echo susceptibility of DTxR receiver part

표 4. 인접채널 신호의 간섭 테스트 결과

Table 4. Adjacent channel interference test result

	Signal Level [dBm]	Undesired Interference	D/U [dB]	Legacy Receiver
1 st Prototype	Moderate	Lower Adjacent	-15.7	-43.17
		Upper Adjacent	-11.1	-41.98
	Weak	Lower Adjacent	-16.4	-
		Upper Adjacent	-11.1	-
2 nd Prototype	Moderate	Lower Adjacent	-24.0	-43.17
		Upper Adjacent	-22.5	-41.98
	Weak	Lower Adjacent	-23.8	-
		Upper Adjacent	-22.4	-

같다. 그림 4에 의하면, 1st prototype은 -0.5 ~ 17 ms 범위 내의 평균 -5.0 dB 단일 에코 신호를 제거하며, 2nd prototype은 -2.0 ~ 17 ms 범위 내의 평균 -3.0 dB 단일 에코 신호를 제거한다.

1.4 인접채널 신호의 간섭 테스트

본 테스트의 목적은 DTV 인접채널 간섭에 대한 DTxR 수신부의 강인함을 확인하는 것이다. 상용 수신기가 TOV에 도달한 상황에서의 DTV 간섭 레벨(D/U)이 기록되며, 그 결과는 표 4와 같다. 또한, 표 4에는 상용 수신기의 DTV 인접채널 간섭 레벨이 DTxR 수신부와 비교를 위해 보여진다. 표 4에 의하면, DTxR 수신부는 IF 대역의 SAW (Surface Acoustic Filter) 필터를 사용하는 상용 수신기보다 DTV 인접 채널 제거 능력이 열악하다. DTxR에서는 수신 SNR (Signal to Noise Ratio)이 수신부 성능에 영향을 미치기 때문에 그룹 지연이 큰, 즉 SNR 감소가 심한 IF 대역의 SAW 필터를 사용하는 것이 어렵다^{[3],[5]}.

2. DTxR 송신부 테스트 결과

DTxR 송신부 테스트의 목적은 DTxR 출력신호의 품질, DTxR 출력신호들의 주파수 일치, TxID 신호가 상용 수신기에 미치는 영향 등을 평가하는 것이며, DTxR 출력신호의 품질 평가를 위해 다음과 같은 항목을 측정한다.

- 대역외 방사
- 송신 품질
- 위상 잡음

DTxR 송신부 성능은 1st prototype과 2nd prototype이 동일하기 때문에, 2ndprototype의 성능을 나타낸다.

2.1 출력신호 품질

DTxR 출력신호 품질 테스트는 RF 스펙트럼 분석을 통한 대역외 방사 측정과 8-VSB 신호의 복조를 통한 송신신호 품질 측정 및 위상 잡음 측정으로 분류된다. 송신신호 품질 측정은 SNR, MER (Modulus Error Ratio), EVM (Error Vector Magnitude), 주파수 응답 및 그룹 지연 측정을 포함한다.

2.1.1 대역외 방사 측정

미국의 FCC (Federal Communications Commission)는 다른 공중파 서비스 혹은 DTV 및 NTSC 인접 채널로의 방송신호의 누출을 최소화하기 위하여 그림 5와 같은 대역외 방사 마스크 만족을 의무화 한다. 그림 5의 FCC 마스크는 채널 경계로부터 0.5 MHz 떨어진 곳에서의 송신기 출력신호 레벨은 -47 dB, 6 MHz 떨어진 곳에서의 레벨은 -110 dB로 규정한다. 그림 6은 DTxR 출력신호의 대역외 방사 테스트 결과를 나타낸 것으로 DTxR 송신부 출력신호는 FCC 마스크를 만족한다.

그림 5. 대역외 방사 마스크

Fig. 5. Out-of channel emission mask

그림 6. FCC 마스크 테스트 결과

Fig. 6. FCC mask test result

2.1.2 송신신호 품질 측정

송신신호 품질 측정은 SNR, MER, EVM, 주파수 응답 및 그룹 지연 측정을 포함하며, SNR, MER, EVM의 정의

는 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 8-VSB 신호 성상(constellation)에서 가장 큰 값을 의미하며, +7이다. FCC에서는 8-VSB 송신 시스템 출력 SNR을 27 dB 이상으로 규정한다^[9]. 그림 7은 DTxR 출력 신호의 성상을 보여주며, DTxR 출력 신호의 품질은 표 5와 같다. 그림 7과 표 5에 의하면, DTxR 출력 신호의 품질은 FCC 규정을 만족함을 알 수 있다.

표 5. DTxR 출력신호의 품질

Table 5. DTxR output signal quality

측정항목	측정값
SNR	36 ~ 40 dB
MER	36 ~ 40 dB
EVM	1 ~ 2 %

그림 7. DTxR 출력 신호의 성상

Fig. 7. DTxR output signal constellation

주파수 응답 오차는 RRC (Root Raised Cosine) 필터를 기반으로 한 이상적인 8-VSB 신호와 실제 신호 사이의 주파수 응답 차이를 의미하며, 그룹 지연 오차는 이상적인 8-VSB 신호와 실제 신호 사이의 주파수 천이에 의한 시간 지연 차이를 나타낸다. ATSC A/64에서는 주파수 응답 및 그룹 지연에 관한 표 6과 같은 규격을 정의한다^[9]. 그림 8은 DTxR 출력 신호의 주파수 응답 및 그룹 지연 테스트 결과를 나타낸 것으로 DTxR 출력 신호는 ATSC A/64에서 제안하는 표 6과 같은 규격을 만족한다.

표 6. 주파수 응답 및 그룹 지연에 관한 마스크

Table 6. Mask for 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

그림 8. DTxR 출력 신호의 주파수 응답 및 그룹 지연

Fig. 8. Frequency response and group delay of DTxR output signal

2.1.3 위상 잡음 측정

위상 잡음이란 디지털 변조 과정에서 사용되는 주파수 합성기의 위상 변화이다. 위상 잡음이 많으면 주파수 및 위상 편차를 야기하여 신호 성상이 회전하게 되고, 이로 인해 SNR이 감소하여 방송 구역이 축소된다. ATSC A/64 문서에서는 위상잡음이 20 kHz에서 -104 dBc/Hz 보다 낮을 것을 규격화한다^[9]. 그림 9는 DTxR 출력 신호의 위상 잡음 테스트 결과를 나타낸 것으로 DTxR 출력 신호는 위상 잡

그림 9. DTxR 출력 신호의 위상 잡음

Fig. 9. Phase noise of DTxR output signal

음 규격을 만족한다.

2.2 DTxR 출력 신호들의 주파수 일치 테스트

본 테스트의 목적은 DTxR 출력 신호들의 주파수 차이에 의한 상용 수신기의 성능열화를 확인하는 것이다. DTxR 출력 신호들의 주파수가 다르다면 도플러 쉬프트(Doppler shift) 성질을 가지는 동적(dynamic) 고스트 신호성분을 야기 시키고, 이것은 수신기의 적응 등화기의 성능열화의 요인으로 작용하여 방송구역을 축소시킨다. DTxR 출력 신호들의 주파수 일치 여부는 출력 신호들이 합쳐진 신호의 스펙트럼을 통해 쉽게 확인할 수 있으며, 그림 10과 같다. 만약, 합쳐진 신호의 주파수가 완벽히 일치하지 않으면, 스펙트럼의 널(null)은 위치가 고정되지 않고 주파수 차이에 해당하는 시간 단위로 널의 위치가 달라진다. 실제 측정된 두 대의 2nd prototype DTxR 출력 신호의 주파수 차이는 0.001 Hz 보다 작았다. 그림 11은 2 대의 DTxR 출력신호들의 결합에 의한 상용 수신기의 성능열화를 나타내며, 모든 위상변화를 가정하기 위해 한 대의 DTxR에 0.05 Hz의 느린 Doppler가 삽입되었다. 그림 11에 의하면, 2nd prototype DTxR 출력 신호들은 Ideal case에 비해 -10 ~ +10 ms 범위 내에서 평균 약 0.9 dB 열악하였으며, 1st prototype DTxR 출력신호들에 비해 평균 약 2.5 dB 개선되었다.

그림 10. 2 대의 DTxR 출력신호가 결합된 신호의 스펙트럼
Fig. 10. Spectrum of combined output signals of two DTxRs

그림 11. 2 대의 DTxR 출력신호들의 결합에 의한 상용 수신기의 성능열화
Fig. 11. Performance degradation of commercial receiver due to combined output signals of two DTxRs

2.3 TxID 신호가 상용 수신기에 미치는 영향

본 테스트의 목적은 DTxR 식별을 위한 TxID 신호의 삽입레벨(injection level)에 따른 상용 수신기의 영향을 확인하는 것이다. 본 테스트를 위해 04년, 05년, 08년에 제작된 4대의 수신기가 사용되었다. 상용 수신기 TOV에서 TxID 신호의 다양한 BR (Bury Ratio)에 따른 C/N 값이 기록되며, 그 결과는 표 7과 같다. 표 7에 의하면, -30 dB 보다 낮은 BR은 TOV 증가량이 0.2 dB 이하이기 때문에 상용 수신기에 미치는 영향이 매우 적다.

표 7. BR에 따른 상용 수신기의 평균 TOV (실험실 테스트)

Table 7. Average TOV of commercial receivers according to BR

BR [dB]	평균 TOV [dB]
-21	16.52
-24	15.80
-27	15.50
-30	15.34
-33	15.24
-36	15.20
-39	15.20
Off	15.20

V. 결 론

본 논문에서는 DFN을 위해 개발된 DTxR에 대한 실험실 테스트 결과를 기술하였고, 그 결과를 분석하였다. DTxR 실험실 테스트는 수신부 테스트와 송신부 테스트로 구분되었다. 수신부 테스트는 dynamic range, 랜덤 잡음, 단일 에코, 인접채널 신호의 간섭 테스트 등을 포함하였으며, 송신부 테스트는 출력신호의 품질(대역외 방사, 송신 품질, 위상 잡음), 출력신호들의 주파수 일치, TxID 신호가 상용 수신기에 미치는 영향 평가 등을 포함하였다. 실험실 테스트 결과에 의하면, DTxR 수신부(2nd prototype 기준)는 0 ~ 17 us 범위 내의 평균 -2.5 dB의 단일 에코 신호를 제거하였으며, 랜덤 잡음에 대한 TOV는 평균 17.5 dB였다. 또한, DTxR 송신부 출력 신호는 미국의 FCC 규격을 만족하였으며, DTxR 출력신호들의 주파수 차이는 0.001 Hz 보다 작았다. 개발된 DTxR을 이용하여 실제 방송환경에서 DFN을 구성하기 위해서는, 필드 테스트, 실험 및 시험 방송, 주파수 배치 등과 같은 연구가 동반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] ATSC, "Recommended Practice A/111: Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Sept. 2004.
- [2] H. M. Kim, S. I. Park, H. Eum, Y.-T. Lee, J. H. Seo, J. Y. Lee, and S. I. Lee, "Development of Distributed Translator," 57th IEEE Broadcast Symposium, Oct. 2007.
- [3] 김홍목, 박성익, 음호민, 서재현, 이용태, 임형수, 이수인, 이혁재, "분산 중계기 Part 1: 분산 중계 기술," 방송공학논문지, 제15권, 제1호, pp. 14-28, 2010년.
- [4] S. W. Kim, Y.-T. Lee, S. I. Park, H. 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, pp. 137-146, June 2006.
- [5] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. 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.
- [6] 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, no. 3, pp. 249 - 257, Sept. 2003.
- [7] S. I. Park, J.-Y. Lee, H. M. Kim, and W. Oh, "Transmitter Identification Signal Analyzer for Single Frequency Network," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 54, no. 3, pp. 383-393, Sept. 2008.
- [8] S. I. Park, H. M. Kim, and W. Oh, "Reception Power Estimation using Transmitter Identification Signal for Single Frequency Network," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 55, no. 3, pp. 652- 655, Sept. 2009.
- [9] 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 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리

— 저 자 소 개 —

음 호 민

- 1992년 3월 ~ 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 영상 신호처리, DTV 전송시스템

서 재 현

- 1993년 3월 ~ 1999년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 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 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 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 방송시스템연구부 부장
- 주관심분야 : 디지털 통신/방송 시스템, 오류정정부호