

논문 2010-47TC-8-14

다양한 채널환경 하에서의 RF 워터마크 역호환성 연구

(A Study of RF Watermark Backward Compatibility under Various Channel Environments)

김 정 창*, 박 성 익*, 최 대 원*, 임 형 수*, 김 흥 목**

(Jeongchang Kim, Sung Ik Park, Daewon Choi, Hyoungsoo Lim, and Heung Mook Kim)

요 약

ATSC (Advanced Television Systems Committee) 방식의 지상파 디지털 TV 방송 시스템은 단일주파수망을 구성하기 위하여 송신기들 및 중계기들이 단일 주파수를 사용할 경우 수신기에서 다중 송신기 및 중계기 신호들이 수신되어 간섭을 초래할 수 있다. 이러한 간섭 문제를 해소하고자 ATSC 기술권고 (recommended practice)에서는 RF 워터마크 (watermark) 방식의 고유한 송신기 식별 코드 (transmitter identification: TxID)를 각 송신기 및 중계기에 할당한 후 이를 송신 및 중계 신호에 부가하여 전송하고 TxID 신호분석기를 통하여 각 송신기 및 중계기에서 송출된 신호가 겪는 채널 환경을 검출하여 송신기와 중계기의 송출전력 및 상대적인 송출시간을 조정함으로써 간섭 문제를 해결하도록 하고 있다. 본 논문에서는 가산 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 및 다중경로 채널 하에서 TxID 신호가 부가된 지상파 디지털 TV 방송 신호의 역호환성을 분석한다. 전산 실험 및 실험실 테스트, 그리고 필드 테스트를 통하여 상용 디지털 TV 수신기의 threshold of visibility (TOV) 증가량은 AWGN 채널에 비해 다중경로 채널환경에서 더 높게 나타났으나 TxID 신호가 기존 디지털 TV 신호에 비해 30 dB 낮게 부가되어 전송될 경우 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량은 0.2 dB 이하로 관찰되었다. 이러한 실험 및 테스트 결과는 RF 워터마크 방식의 TxID 신호가 상용 디지털 TV 수신기에 거의 영향을 주지 않음을 보여준다.

Abstract

In a single frequency network (SFN) for Advanced Television Systems Committee (ATSC) terrestrial digital television (DTV) system, the interferences induced by the multiple transmitters and/or repeaters using the same frequency are inevitable. Since the presence of interferences results in performance degradation of the SFN, it is crucial to manipulate the interferences by adjusting the transmit power and timing of each transmitter and repeater. In the ATSC terrestrial DTV system, in order to facilitate the interference manipulation process, a transmitter identification (TxID) signal which is uniquely embedded in the signal to be transmitted from each transmitter and repeater is recommended. Even though the injection level of the TxID signal is much lower than the DTV signal, the TxID signal injection infects the DTV signal. Hence, the effect of the TxID signal on the DTV signal must be investigated before deployment. In this paper, the effect of the TxID signal on the performance of legacy DTV receivers under additive white Gaussian noise and multipath channel environments is investigated not only with computer simulation but also with laboratory and field tests. The test results show that the average threshold of visibility degradation of the legacy DTV receivers due to the TxID signal injection is less than 0.2 dB at the TxID injection level of -30 dB.

Keywords : ATSC, backward compatibility, multipath channel, SFN, TxID

* 정회원, ** 정회원-교신저자, 한국전자통신연구원 방송시스템연구부
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002067, 지상파 DTV 전송효율 고도화 기술 개발]

접수일자: 2010년4월20일, 수정완료일: 2010년8월13일

I. 서론

ATSC (Advanced Television Systems Committee) 방식의 지상파 디지털 TV 방송 시스템에서 단일주파수망 (single frequency network: SFN)을 구성하기 위한 기술로는 크게 송신기 간에 동일 주파수를 사용하는 분산송신기 (distributed transmitters: DTxT) 기술과 송신기와 중계기가 동일 주파수를 사용하는 디지털 동일채널 중계기 (digital on-channel repeater: DOCR) 기술이 있다^[1~6]. DTxT와 DOCR을 이용하여 단일주파수망을 구성할 경우 주파수 이용 효율을 높일 수 있다는 장점이 있으나 송신기들과 중계기들이 단일 주파수를 사용함에 따라 수신기에서 다중 송신기 및 중계기 신호가 수신되어 간섭을 초래할 수 있다^[2, 7~9]. 이러한 문제는 송신기와 중계기의 송출전력 및 상대적인 송출시간을 조정하는 방송망 제어를 통하여 해결될 수 있다^[2, 7~9]. 이러한 망 제어를 용이하게 하기 위하여 ATSC Recommended Practice (RP) A/111에서는 상관 (correlation) 특성이 우수한 송신기 식별 코드 (transmitter identification: TxID)를 각 송신기 및 중계기에 할당한 후 이를 송신 및 중계 신호에 부가하여 전송하고 TxID 신호분석기를 통하여 각 송신기 및 중계기에서 송출된 신호가 겪는 채널 환경을 검출하여 송신기와 중계기의 송출전력 및 상대적인 송출 시간을 조정함으로써 간섭 문제를 해결하도록 권고하고 있다^[2, 7~9]. TxID 신호는 RF 워터마크 (watermark) 형태로 기존 디지털 TV 신호에 부가되어 전송되므로 기존 디지털 TV 수신기는 TxID 신호를 잡음으로 인식한다. 따라서, 망 제어를 위한 TxID 신호의 사용으로 인하여 기존 디지털 TV 수신기의 성능 열화가 불가피하다.

본 논문에서는 RF 워터마크 형태의 TxID 신호로 사용되는 Kasami 수열의 생성 및 TxID 신호를 기존 디지털 TV 방송 신호에 삽입하는 방법에 대하여 살펴본다. 또한, 가산 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 및 다중경로 채널 하에서 TxID 신호가 부가된 지상파 디지털 TV 방송 신호의 역호환성을 분석한다. 전산 실험 및 실험실 테스트, 그리고 필드 테스트 결과는 AWGN 채널환경 뿐만 아니라 다중경로 채널환경 하에서도 TxID 신호가 기존 디지털 TV 신호에 비해 30 dB 낮게 부가될 경우 RF 워터마크 방식의 TxID 신호는 상용 디지털 TV 수신기에서의 영향을 주지 않음을 보여준다.

II. RF 워터마크 형태의 TxID 신호

1. TxID 신호를 구성하는 Kasami 수열

ATSC RP A/111에서는 단일주파수망을 구성하기 위한 송신기와 중계기의 TxID 신호로 Kasami 수열이 사용된다^[2]. Kasami 수열은 차수 n 이 짝수일 때 존재하며, 'large set'과 'small set'으로 분류된다^[10]. 여기서, 'large set'은 'small set'의 모든 수열들을 포함한다^[10]. 또한, Kasami 수열은 자기상관 (auto-correlation) 및 상호상관 (cross-correlation) 특성이 우수하고 큰 패밀리 사이즈 (family size)를 가지는 장점이 있다. 차수 n 인 Kasami 수열의 길이는 $N=2^n-1$ 이며 최대 상관값은 (2^n-1) 이다^[10]. 'large set'의 경우 최대 상관값을 제외한 나머지 상관값들의 집합은

$$\{-1, -s_n, s_n-2, -t_n, t_n-2\} \quad (1)$$

이고, 'small set'의 경우 최대 상관값을 제외한 나머지 상관값들의 집합은

$$\{-1, -s_n, s_n-2\} \quad (2)$$

이다^[10]. 여기서, $t_n = 1 + 2^{\lfloor (n+2)/2 \rfloor}$, $s_n = 1 + 2^{n/2}$ 이다. 'large set'을 F_L 이라 정의하고 'small set'을 F_S 라 정의하면 이들의 패밀리 사이즈 $|F_L|$ 과 $|F_S|$ 는 다음과 같다^[10].

$$|F_L| = \begin{cases} (2^n+1)2^{n/2}-1 & \text{if } n \bmod 4 = 0 \\ (2^n+1)2^{n/2} & \text{if } n \bmod 4 = 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$|F_S| = (N+1)^{1/2} \quad (4)$$

ATSC RP A/111에서 정의된 Kasami 수열은 $n=16$ 인 'large set'이며, 생성 다항식 (generator polynomial)은 $g(x)=f(x) \cdot \hat{f}(x) \cdot f'(x)$ 이다. 여기서, $f(x)$ 와 $\hat{f}(x)$, $f'(x)$ 는 다음과 같다^[11].

$$f(x) = x^{16} + x^{12} + x^3 + x + 1 \quad (5)$$

$$\hat{f}(x) = x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^9 + x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (6)$$

$$f'(x) = x^{16} + x^{12} + x^3 + x + 1 \quad (7)$$

차수 $n=16$ 인 'large set' Kasami 수열은 생성 다항

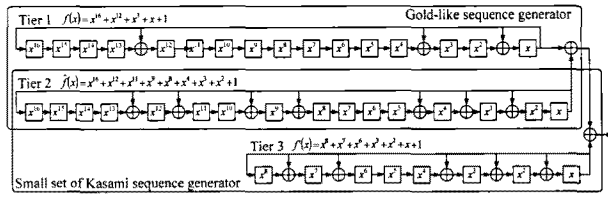


그림 1. Kasami 수열 생성기
Fig. 1. Kasami sequences generator.

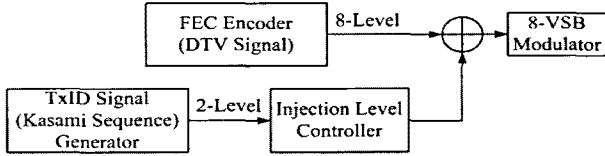


그림 2. Kasami 수열 삽입 구조
Fig. 2. Block diagram of Kasami sequence injection.

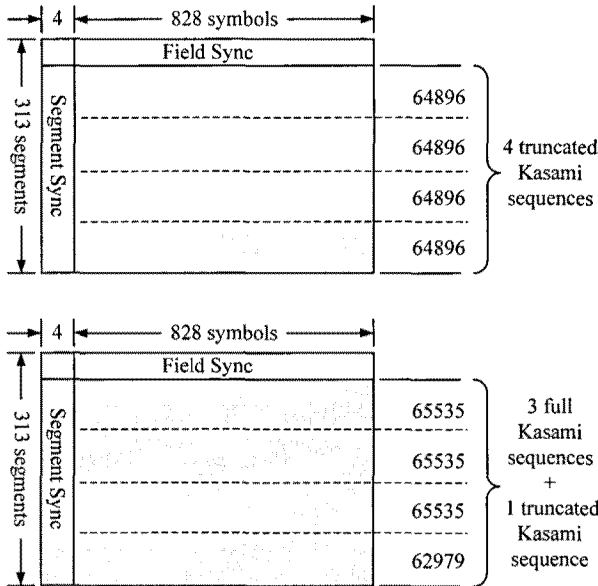


그림 3. Kasami 수열의 두 가지 삽입 방법
Fig. 3. Two types of Kasami sequence injection.

식 $f(x) \cdot \hat{f}(x)$ 인 Gold-like 수열과 생성 다항식 $\hat{f}(x) \cdot f'(x)$ 를 통해 생성된 'small set' Kasami 수열을 포함한다. Modular shift register generator (MSRG) 형태의 Kasami 수열 생성기는 그림 1과 같다^[1].

2. TxID 신호 삽입

Kasami 수열은 필드 싱크 (Field Sync) 신호를 제외한 모든 VSB (vestigial sideband) 심벌에 대해 그림 2와 같이 워터마크 형태로 계층변조된다^[8]. 한 필드에서 필드 싱크 세그먼트(segment)를 제외한 312 데이터 세그먼트의 총 심벌 수는 259,584 (=312×832)이고 Kasami 수열의 주기는 65,535 ($2^{16} - 1$)이다. 이에 따라,

Kasami 수열을 VSB 데이터에 삽입하기 위해서는 길이 65,535인 3개의 Kasami 수열과 길이 62,979인 1개의 truncated Kasami 수열을 사용하거나 길이 64,896 (=65,535-639)인 4개의 truncated Kasami 수열을 사용하는 방법이 있으며 그 구조는 그림 3과 같다^[1-2, 7-8]. 본 논문에서는 길이 64,896인 4개의 truncated Kasami 수열이 VSB 데이터에 삽입되는 경우를 가정한다.

시간 인덱스 k 에서의 ATSC 데이터, binary phase shift keying (BPSK) 변조된 Kasami 수열, 그리고 삽입레벨 (injection level)을 각각 $d(k)$, $x(k)$, α 로 정의하면, 8-VSB 신호와 계층변조된 Kasami 신호와의 평균 전력비로 정의되는 bury ratio (BR)는 다음과 같이 계산된다.

$$BR = 10 \log_{10} \left(\frac{\alpha^2 E\{x^2(k)\}}{E\{d^2(k)\}} \right) \tag{8}$$

VSB 데이터와 BPSK 변조된 Kasami 수열의 평균전력은 각각 $E\{d^2(k)\} = 21$ 와 $E\{x^2(k)\} = 1$ 이므로, 삽입레벨 α 는 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{21}{10^{-BR/10}}} \tag{9}$$

ATSC RP A/111에서는 표 1과 같이 8 단계의 BR을

표 1. BR에 따른 삽입 레벨
Table 1. Injection levels for various BRs.

BR [dB]	Injection level [Amplitude]
-21	0.40842248871983
-24	0.28914097913688
-27	0.20469613727266
-30	0.14491376746189
-33	0.10259109077387
-36	0.07262893022873
-39	0.05141734497976
Off	0

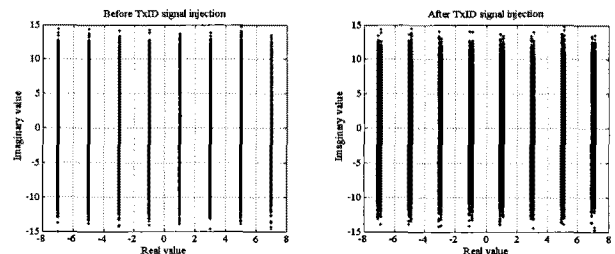


그림 4. Kasami 수열 삽입 전후에서의 신호 성상, BR=-21 dB
Fig. 4. Signal constellations before and after TxID signal injection, BR=-21 dB.

정의하고 있으며, 각각의 BR에 따른 삽입레벨 역시 표 1에 나타내었다^[2]. 한 가지 예로, BR=-21 dB인 경우 TxID 신호삽입 전후에서의 신호 성상은 그림 4와 같다.

III. TxID 신호의 역호환성 분석

1. 전산 실험

본 절에서는 RF 워터마크 형태로 삽입된 TxID 신호의 역호환성을 분석하기 위하여 AWGN 채널환경과 다중경로 채널인 Brazil A 채널환경에서 전산 실험을 수행하였다. Brazil A 채널은 line of sight가 확보되는 실외수신 채널 상황을 나타내며, 채널 프로파일은 표 2와 같다^[11]. 전산실험에서는 TxID 신호의 BR에 따른 기존 디지털 TV 수신기의 수신 성능 열화를 관찰하였다. TxID 신호로 사용되는 truncated Kasami 수열은 길이가 64,896이며, 한 필드에 4개씩 삽입되었다. 전산 실험에서 주파수 및 타이밍 동기는 완벽하다고 가정하였다. 송신기 펄스성형필터 (pulse shaping filter)와 수신기 정합필터 (matched filter)로는 각각 481 탭과 121 탭인 square root raised cosine (SRRC) 필터를 사용하였고,

표 2. Brazil A 채널의 채널 프로파일
Table 2. Channel profile of Brazil A channel.

Delay [μ s]	Amplitude [dB]	Phase [degree]
0.0	0.0	0
+0.15	-13.8	0
+2.22	-16.2	0
+3.05	-14.9	0
+5.86	-14.6	0
+5.93	-16.4	0

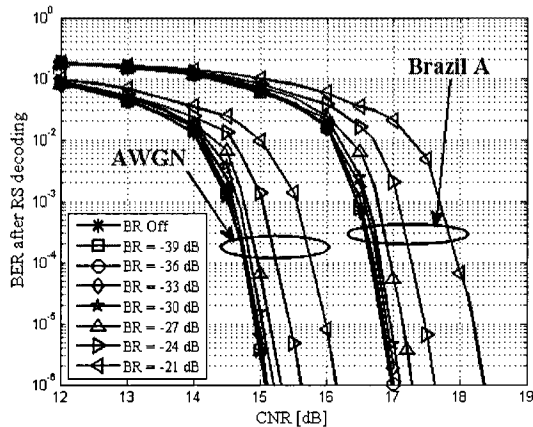


그림 5. TxID 신호의 BR에 따른 RS 복호기의 BER 성능
Fig. 5. BER curves of RS decoder for various BRs.

표 3. BR에 따른 TOV 증가량
Table 3. TOV increments for various BRs.

BR [dB]	TOV 증가량 [dB]	
	AWGN 채널	Brazil A 채널
Off	-	-
-39	0.007	0.02
-36	0.01	0.04
-33	0.04	0.08
-30	0.1	0.1
-27	0.2	0.3
-24	0.5	0.7
-21	1.0	1.3

IF 중심 주파수는 10.76 MHz로 설정하였다. 또한, 전산 실험에서 전치 탭 길이 40, 후치 탭 길이 128, trace-back depth가 1인 트렐리스 (trellis) 복호기를 양자화기로 가지는 decision feedback equalizer가 사용되었다^[12].

그림 5는 AWGN 및 Brazil A 채널에서 TxID 신호의 BR 변화에 따른 디지털 TV 수신기의 Reed-Solomon (RS) 복호 후 비트 오류율 (bit error rate: BER) 성능을 나타낸다. ATSC 디지털 TV 신호에 있어서 TxID 신호는 잡음으로 작용하기 때문에, TxID 신호의 삽입레벨이 높을수록 수신을 위한 threshold of visibility (TOV)가 필연적으로 증가한다. AWGN 및 Brazil A 채널에서 TxID 신호의 BR 변화에 따른 TOV 증가량은 표 3과 같다. 표 3에 의하면, TxID 신호의 삽입레벨이 높을수록 Brazil A 채널에서 TOV 증가량이 AWGN 채널보다 높았다. 하지만, -30 dB 이하의 BR은 AWGN 및 Brazil A 채널 모두에서 TOV 증가량이 0.1 dB 이하이기 때문에, 기존 ATSC DTV 신호에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

2. 실험실 테스트

본 절에서는 TxID 신호의 역호환성을 분석하기 위하여 TxID 신호 삽입기능이 포함된 DTV 분산중계기^[13, 14]를 제작하여 AWGN 채널환경 및 단일 에코 (echo)를 가지는 다중경로 채널환경에서 실험실 테스트를 수행하였다. 실험실 테스트의 구성도는 그림 6과 같으며 '04년, '05년, '08년에 제작된 4대의 상용 디지털 TV 수신기를 사용하여 AWGN 채널환경에서의 BR 변화에 따른 TOV 증가량 및 단일 에코 채널환경에서의 수신 등화 성능을 측정하였다. 특히, 단일 에코 채널에서의 수신 등화 성능 테스트에서는 단일 에코의 위상 변화에 대한 평균 성능을 측정하기 위하여 0.05 Hz의 느린 도플러

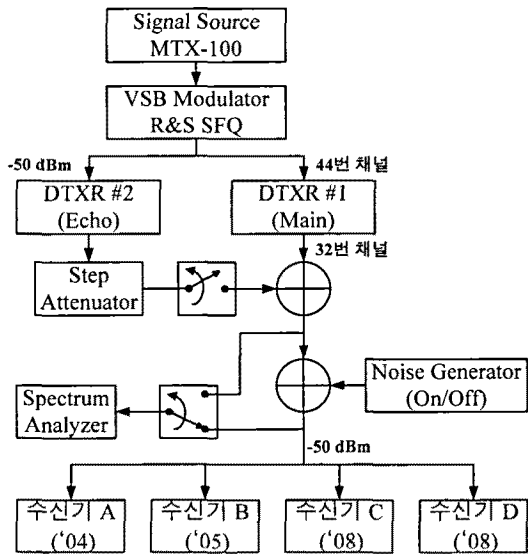


그림 6. 실험실 테스트 구성도
Fig. 6. Laboratory test configuration.

표 4. BR 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 TOV 증가량

Table 4. TOV increments of legacy DTV receivers for various BRs.

BR [dB]	TOV에서의 CNR [dB] (TOV 증가량 [dB])				
	수신기 A ('04)	수신기 B ('05)	수신기 C ('08)	수신기 D ('08)	평균
Off	15.3 (-)	15.2 (-)	15.2 (-)	15.1 (-)	15.20 (-)
-39	15.3 (0.0)	15.2 (0.0)	15.2 (0.0)	15.1 (0.0)	15.20 (0.0)
-36	15.3 (0.0)	15.2 (0.0)	15.2 (0.0)	15.1 (0.0)	15.20 (0.0)
-33	15.5 (0.2)	15.2 (0.0)	15.2 (0.0)	15.1 (0.0)	15.25 (0.05)
-30	15.5 (0.2)	15.3 (0.1)	15.3 (0.1)	15.2 (0.1)	15.33 (0.13)
-27	15.7 (0.4)	15.5 (0.3)	15.5 (0.3)	15.2 (0.1)	15.48 (0.28)
-24	15.9 (0.6)	15.8 (0.6)	15.8 (0.6)	15.6 (0.5)	15.78 (0.58)
-21	16.8 (1.5)	16.6 (1.4)	16.3 (1.1)	16.2 (1.1)	16.48 (1.28)

(Doppler)가 삽입되었다.

표 4는 AWGN 채널에서 측정된 BR 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 TOV 증가량을 나타낸다. 표 4에 의하면, BR=-30 dB이면 상용 수신기의 TOV가 평균 0.13 dB 증가하였고, BR=-21 dB이면 평균 1.28 dB 증가하였다. 이는 앞 절의 전산 실험 결과와 매우 유사하며, BR=-30 dB 이하이면 상용 디지털 TV 수신기에 미치는 영향이 미미함을 보여준다.

그림 7은 잡음이 없는 환경에서 -30 dB의 TxID 신호삽입에 따른 수신기의 등화 성능을 나타낸다. 그림 7에 의하면, -30 dB TxID 신호삽입에 따른 수신기의 등화 성능 열화는 0.2 dB보다 작다. 그림 8과 9는 CNR = 20 dB인 잡음 환경에서 -30 dB 및 -33 dB의 TxID 신호삽입에 따른 수신기의 등화 성능을 나타낸다. 그림 8

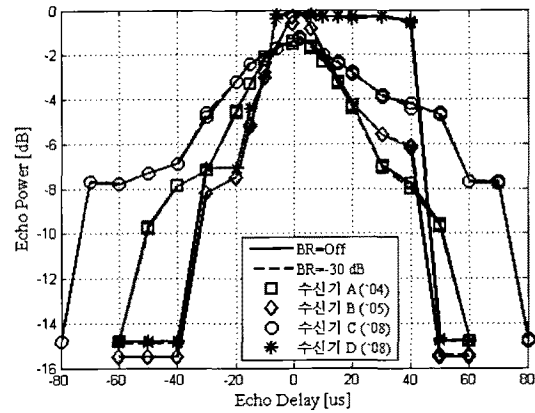


그림 7. 잡음이 없는 환경에서 -30 dB의 TxID 신호삽입에 따른 등화기 성능
Fig. 7. Equalizer performance with -30 dB TxID signal injection under noiseless environment.

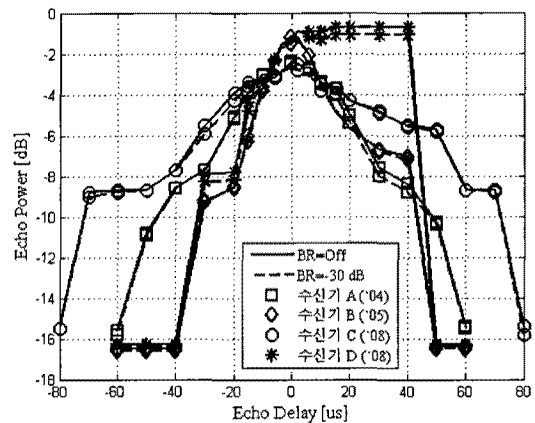


그림 8. CNR=20 dB인 경우 -30 dB의 TxID 신호삽입에 따른 등화기 성능
Fig. 8. Equalizer performance with -30 dB TxID signal injection and CNR=20 dB.

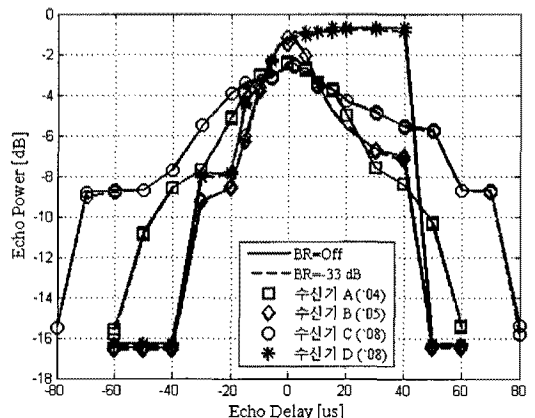


그림 9. CNR=20 dB인 경우 -33 dB의 TxID 신호삽입에 따른 등화기 성능
Fig. 9. Equalizer performance with -33 dB TxID signal injection and CNR=20 dB.

과 9에 의하면, CNR = 20 dB인 잡음 환경에서 -30 dB TxID 신호삽입에 따른 수신기의 등화 성능 열화는 최대 0.5 dB까지 관찰되지만, 삽입레벨이 -33 dB로 줄어들면 성능 열화는 0.2 dB보다 작아져 수신기에 미치는 영향은 미미함을 보여준다.

3. 필드 테스트

본 절에서는 TxID 신호의 역호환성을 분석하기 위하여 필드 테스트를 통해 측정된 결과를 분석한다. 본 필드 테스트에서는 실험실 테스트에서 사용된 분산중계기와 디지털 TV 수신기를 그대로 사용하였다. 분산중계기에서 송출되는 TxID 신호의 BR은 표 1과 같이 8 단계로 조정되었으며, 지표면으로부터 9 m 높이의 지향성 안테나를 사용하여 TxID 신호 삽입에 따른 기존 디지털 TV 수신기들의 TOV 증가량을 측정하였다. 필드 테스트를 위해 망운산 송신소를 모국으로 하는 3대의 분산중계기가 전라남도 여수 지역의 구봉, 쌍봉, 문수 중계소에 각각 설치되었으며, 송/중계기에 관한 정보는 표 5와 같다. 그림 10은 여수지역 측정지점들 (24개 지점) 및 송/중계기의 위치들을 나타낸다. 먼저, 구봉 중계기 신호의 수신 가능한 24개 지점들이 선정되었다. 선정된 24개 지점들 중에서 문수 또는 쌍봉 중계기 신호가 동시에 수신 가능한 곳은 12개 지점들이 있다. 측정 과정은 먼저 문수 및 쌍봉 중계기를 끈 후 선정된 24개 지점들에서 구봉 중계기의 TxID 신호 삽입레벨에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 TOV 증가량을 측정하였다. 그리고 좀 더 열악한 채널환경을 조성하기 위하여 24개 지점들 중에서 구봉 중계기 신호 뿐만 아니라 문수 혹은 쌍봉 중계기 신호가 동시에 수신되는 12개 지점들에서 문수 및 쌍봉 중계기를 켜 후 TxID 신호의 삽입레벨에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 TOV 증가

표 5. 송/중계기 제원

Table 5. Specifications of transmitter and repeaters.

송/중계기명	위치	높이 (m)	수신 채널	송신 채널	송출 전력
망운 송신기	34°50'12.64" (N) 127°50'48.80" (W)	810	-	44	1 kW
구봉 분산중계기	34°44'18.80" (N) 127°42'27.90" (W)	405	44	32	90 W
쌍봉 분산중계기	34°47'15.00" (N) 127°37'14.20" (W)	265	44	32	20 W
문수 분산중계기	34°45'39.76" (N) 127°41'41.30" (W)	360	44	32	10 W

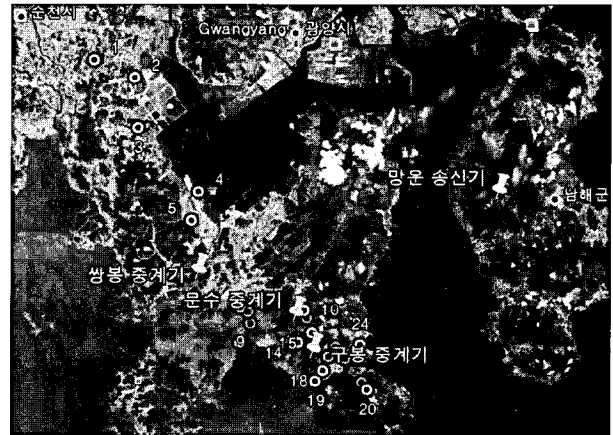


그림 10. 송/중계기의 위치 및 측정 지점
Fig. 10. Location of transmitter, repeaters and measurement points.

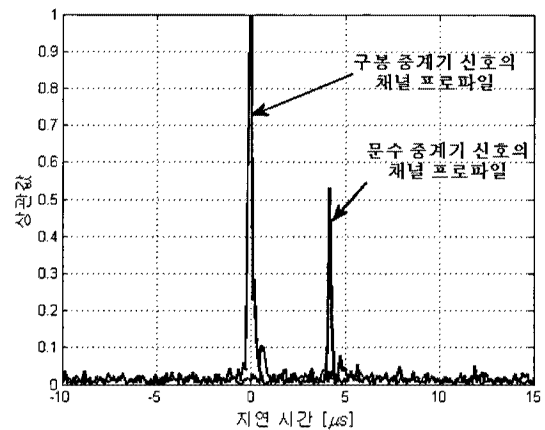


그림 11. 구봉과 문수 중계기 신호가 동시에 수신되는 한 측정 지점에서의 채널 프로파일의 예
Fig. 11. A snapshot of channel profile on the measurement point receiving the signals from both repeaters at Gubong and Munsu.

표 6. 36가지 경우의 측정들에 대해 평균적으로 구한 BR 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량

Table 6. Average TOV increments of legacy DTV receivers for various BRs with 36 measurement cases.

BR [dB]	평균 TOV 증가량 [dB]				
	수신기 A ('04)	수신기 B ('05)	수신기 C ('08)	수신기 D ('08)	평균
-39	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05
-36	0.08	0.05	0.09	0.06	0.07
-33	0.14	0.12	0.16	0.11	0.13
-30	0.15	0.14	0.18	0.12	0.15
-27	0.33	0.27	0.35	0.27	0.30
-24	0.66	0.61	0.69	0.60	0.64
-21	1.48	1.41	1.49	1.36	1.43

표 7. 19가지 경우의 측정에 대해 평균적으로 구한 BR 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량, AWGN 채널

Table 7. Average TOV increments of legacy DTV receivers for various BRs with 19 measurement cases, AWGN channel.

BR [dB]	평균 TOV 증가량 [dB]				
	수신기 A ('04)	수신기 B ('05)	수신기 C ('08)	수신기 D ('08)	평균
-39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-36	0.06	0.02	0.06	0.00	0.04
-33	0.11	0.06	0.11	0.04	0.08
-30	0.12	0.11	0.14	0.10	0.12
-27	0.18	0.12	0.20	0.12	0.15
-24	0.55	0.49	0.56	0.51	0.53
-21	1.26	1.20	1.29	1.18	1.23

표 8. 17가지 경우의 측정에 대해 평균적으로 구한 BR 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량, 다중경로 채널

Table 8. Average TOV increments of legacy DTV receivers for various BRs with 17 measurement cases, multipath channel.

BR [dB]	평균 TOV 증가량 [dB]				
	수신기 A ('04)	수신기 B ('05)	수신기 C ('08)	수신기 D ('08)	평균
-39	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05
-36	0.08	0.05	0.09	0.06	0.07
-33	0.14	0.12	0.16	0.11	0.13
-30	0.15	0.14	0.18	0.12	0.15
-27	0.33	0.27	0.35	0.27	0.30
-24	0.66	0.61	0.69	0.60	0.64
-21	1.48	1.41	1.49	1.36	1.43

량을 측정하였다. 따라서, 선정된 24개 지점들에서 모두 36가지 경우의 측정이 이루어졌다.

그림 11은 구봉과 문수 중계기 신호가 동시에 수신되는 한 측정 지점에서 TxID 신호분석기를 통해 측정된 채널 프로파일을 나타낸다. TxID 신호의 용이한 검출을 위해 앙상블 평균 (ensemble average) 횡수와 상관 길이를 각각 20회와 64,896심벌로 설정하였다.

표 6은 구봉 중계기 신호만 수신되는 24가지 경우의 측정과 구봉/문수 또는 구봉/쌍봉 중계기 신호들이 동시에 수신되는 12가지 경우의 측정, 즉 총 36가지 경우의 측정에 대해 TxID 삽입레벨 변화에 따른 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량을 나타낸다. 표 7과 8은 총 36가지 경우의 측정에서 AWGN 채널에 가깝다고 판단되는 19가지 경우의 측정 결과들과 다중경로 채널로 판단되는 17가지 경우의 측정 결과들에 대해 상용

디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량을 각각 나타낸다. 표 6~8에 의하면, 전산 실험 결과와 비슷하게 TxID 삽입레벨이 높을수록 다중경로 채널로 판단되는 환경에서 측정된 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량은 AWGN 채널에 가깝다고 판단되는 환경과 비슷하거나 최대 약 0.5 dB 더 높았다. 하지만, BR=-30 dB 이하에서는 AWGN 및 다중경로 채널로 판단되는 환경 모두에서 평균 TOV 증가량이 0.2 dB 이하이기 때문에, TxID 신호삽입이 기존 ATSC 디지털 TV 신호에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 RF 워터마크 형태의 TxID 신호로 사용되는 Kasami 수열의 생성 및 이를 디지털 TV 방송 신호에 삽입하는 방법에 대하여 살펴보았고, AWGN 및 다중경로 채널환경에서 TxID 신호의 역호환성을 전산 실험과 실험실 테스트, 그리고 필드 테스트를 통해 분석하였다. 전산 실험과 실험실 및 필드 테스트에서는 TxID 신호의 BR을 -39 dB ~ -21 dB 범위 내에서 3 dB 간격으로 조정하면서 TxID 미삽입 시의 상용 디지털 TV 수신기의 TOV와 비교하여 그 증가량을 측정하였다. 다양한 테스트 결과에 의하면 TxID 삽입레벨이 높을수록 AWGN 채널환경에 비해 다중경로 채널환경에서 측정된 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량은 최대 약 0.5 dB 더 높았다. 하지만, TxID 신호가 기존 디지털 TV 신호보다 30 dB 낮게 삽입되어 전송될 때 상용 디지털 TV 수신기의 평균 TOV 증가량은 0.2 dB 보다 작았다. 이는 -30 dB 이하의 삽입레벨을 사용할 경우 RF 워터마크 형태의 TxID 신호삽입이 기존 수신기에 미치는 영향은 무시될 수 있다는 것을 의미한다.

참 고 문 헌

- [1] ATSC, "Standard A/110: Synchronization standard for distributed transmission," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., July 2004.
- [2] ATSC, "Recommended practice A/111: Design of synchronized multiple transmitter networks," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., 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 the single frequency networks," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 52, no. 2, 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. Broadcast.*, vol. 53, no. 1, pp. 23-37, Mar. 2007.
- [5] S. I. Park, H. Eum, S. R. Park, G. Kim, Y.-T. Lee, H. M. Kim, and W. Oh, "Novel equalization on-channel repeater with feedback interference canceller in terrestrial-digital multimedia broadcasting system," *ETRI Journal*, vol. 31, no. 4, pp. 357-364, Aug. 2009.
- [6] K. Salehian, Y. Wu and B. Caron, "Design procedures and field test of a distributed-translator network, and a case study for an application of distributed-transmission," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 52, no. 3, pp. 281-289, Sept. 2006.
- [7] X. Wang, Y. Yu, and B. Caron, "Transmitter identification using embedded pseudo random sequences," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 50, no. 3, pp. 244-252, Sept. 2004.
- [8] S. I. Park, J.-Y. Lee, H. M. Kim, and W. Oh, "Transmitter identification signal analyzer for single frequency network," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 3, pp. 383-393, Sept. 2008.
- [9] S. I. Park, H. M. Kim, and W. Oh, "Reception power estimation using transmitter identification signal for single frequency network," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 55, no. 3, pp. 652-655, Sept. 2009.
- [10] D. V. Sarwate and M. B. Pursley, "Crosscorrelation properties of pseudorandom and related sequences," *Proc. IEEE*, vol. 68, no. 5, pp. 593-619, May 1980.
- [11] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," DTV Field Test Report in Brazil, July 2000.
- [12] 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. Broadcast.*, vol. 49, no. 3, pp. 249-257, Sept. 2003.
- [13] H. M. Kim, S. I. Park, H. M. Eum, Y.-T. Lee, J. H. Seo, J. Y. Lee, and S. I. Lee, "Development of distributed translator," *57th Annual IEEE Broadcast Symposium*, Oct. 2007.
- [14] H. M. Kim, S. I. Park, J. H. Seo, S. I. Lee, Y. Wu, and H. Lee, "Field test results of equalization distributed translators," *59th Annual IEEE Broadcast Symposium*, Oct. 2009.

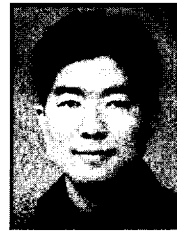
저 자 소 개



김 정 향(정회원)
 1996년 3월~2000년 2월 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과 공학사.
 2000년 3월~2002년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사.

2002년 3월~2006년 8월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학박사.
 2006년 9월~2008년 5월 포항공과대학교 정보통신연구소 박사후연구원
 2008년 5월~2009년 8월 포항공과대학교 미래정보기술사업단 연구조교수
 2009년 8월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원

<주관심분야 : MIMO/STC, OFDM, 무선통신, 디지털 방송시스템, 통신신호처리>



임 형 수(정회원)
 1988년 3월~1992년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사
 1992년 3월~1994년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사

1994년 3월~1999년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학박사
 1999년 3월~2000년 9월 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원
 2000년 9월~2001년 12월 DXO텔레콤 과장/선임연구원
 2002년 1월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원

<주관심분야 : 디지털 방송 시스템, 디지털 신호처리, 이동 통신 시스템>



박 성 익(정회원)
 1996년 3월~2000년 2월 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과 공학사.
 2000년 3월~2002년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사.

2002년 2월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원

<주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리>



김 흥 목(정회원)-교신저자
 1993년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사.
 1995년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사.
 1995년 3월~2001년 12월 포스코 기술연구소 연구원

2002년 1월~2003년 10월 (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
 2004년 2월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 팀장
 2005년 8월~현재 한국과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템>



최 대 원(정회원)
 2007년 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사 졸업.
 2009년 전남대학교 전자컴퓨터공학부 석사 졸업.
 2009년 7월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 연구원

<주관심분야 : MIMO, 이동통신, 디지털 방송시스템>