

# TxID 송수신 기술

□ 박성익, 이재영, 김홍목, 서재현, 음호민, 이용태 / 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 구성에 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]. DTxT와 DOCR를 이용하여 SFN을 구성할 경우 주파수 이용 효율은 높일 수 있으나 송신기들 사이의 단일 주파수 사용 혹은 송신기와 중계기 간의 단일 주파수

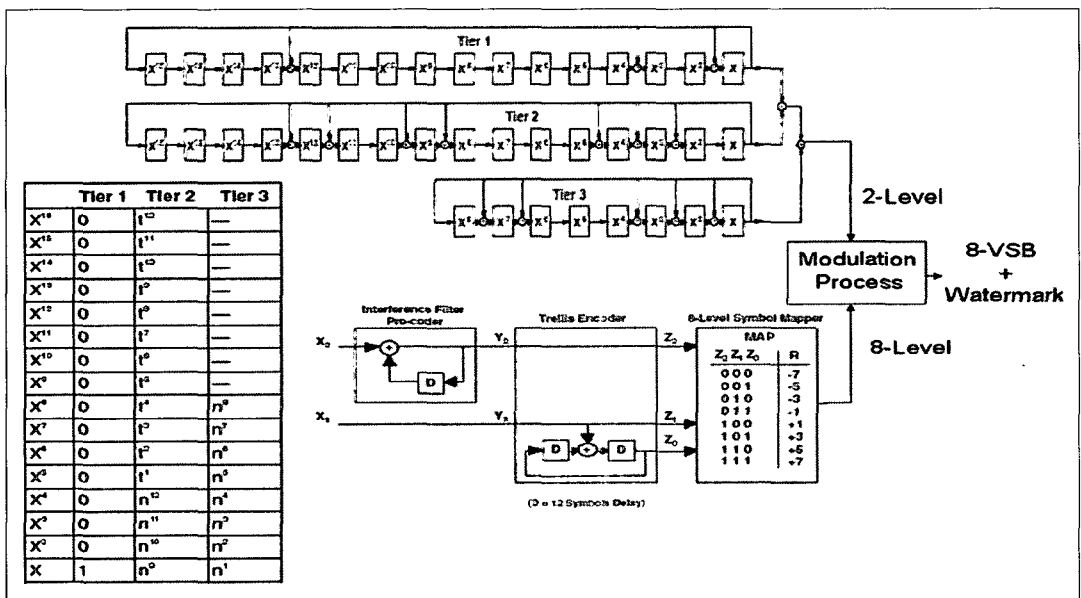
사용에 따라 수신기에서는 많은 간섭 신호가 존재하는 것으로 인식하게 된다. 이러한 문제는 송신기 혹은 중계기의 출력 및 상대적인 송출시간 조정으로 방송 망을 조절함으로써 해결할 수 있다. 이러한 망 조절을 용이하게 하기 위해 ATSC Recommended Practice (RP) A/111에서는 각 송신기 및 중계기에 상관 (correlation) 특성이 우수한 식별(TxID: Transmitter Identification)신호를 할당하여 송신 및 중계 신호에 부가하여 전송하고, TxID 신호분석기를 통하여 각 송신기 및 중계기에 의해 발생하는 채널환경을 검출할 수 있도록 한다[1][2].

본 논문에서는 TxID 신호로 사용되는 Kasami 수열의 생성 및 삽입방법에 관해 살펴보고, TxID 신호분석기의 구조 및 성능분석 기법을 제안한다. 또한, 전산실험을 통해 제안된 TxID 신호분석기의 성능분석 기법을 검증하고, 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 TxID 신호분석기의 성능을 확인한다.

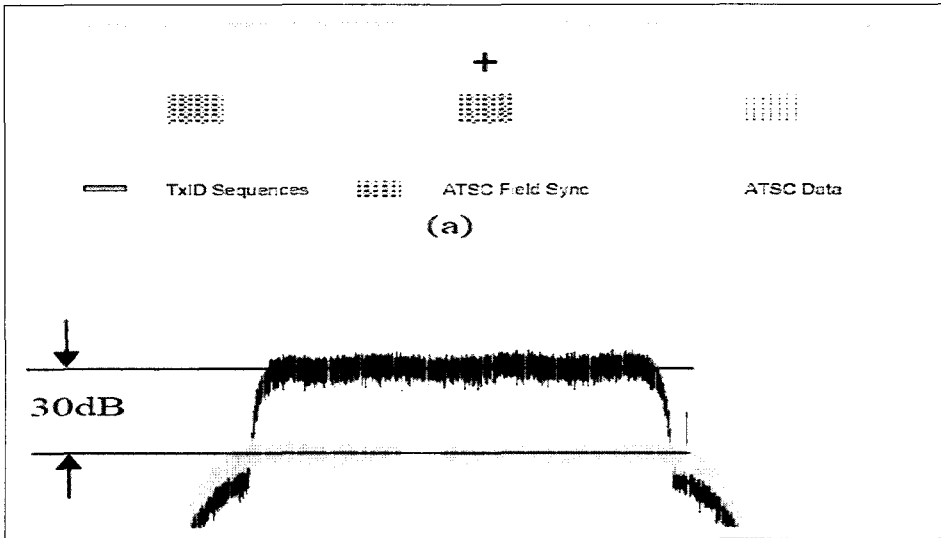
## II. TxID 신호 생성 및 삽입방법

ATSC RP A/111에서는 SFN 구성을 위해 송신기 혹은 중계기의 식별 신호로 Kasami 수열을 사용한다[2]. Kasami 수열은 차수  $n$ 이 짝수일 때 존재하며, 'Large set' 과 'Small set' 으로 분류되고, 'Large set' 은 'Small set' 의 모든 수열을 포함한다. 또한, Kasami 수열은 자기상관(auto-correlation) 및 상호상관(cross-correlation) 특성이 우수할 뿐만 아니라 많은 family size를 가지는 장점이 있다[5]. RP A/111에서 정의된 Kasami 수열은  $n=16$ 인 'Large set' 이며, MSRG (Modular Shift Register Generator) 형태의 Kasami 수열 생성기의 구조 및 8-VSB 신호에의 삽입 방법은 그림 1과 같다.

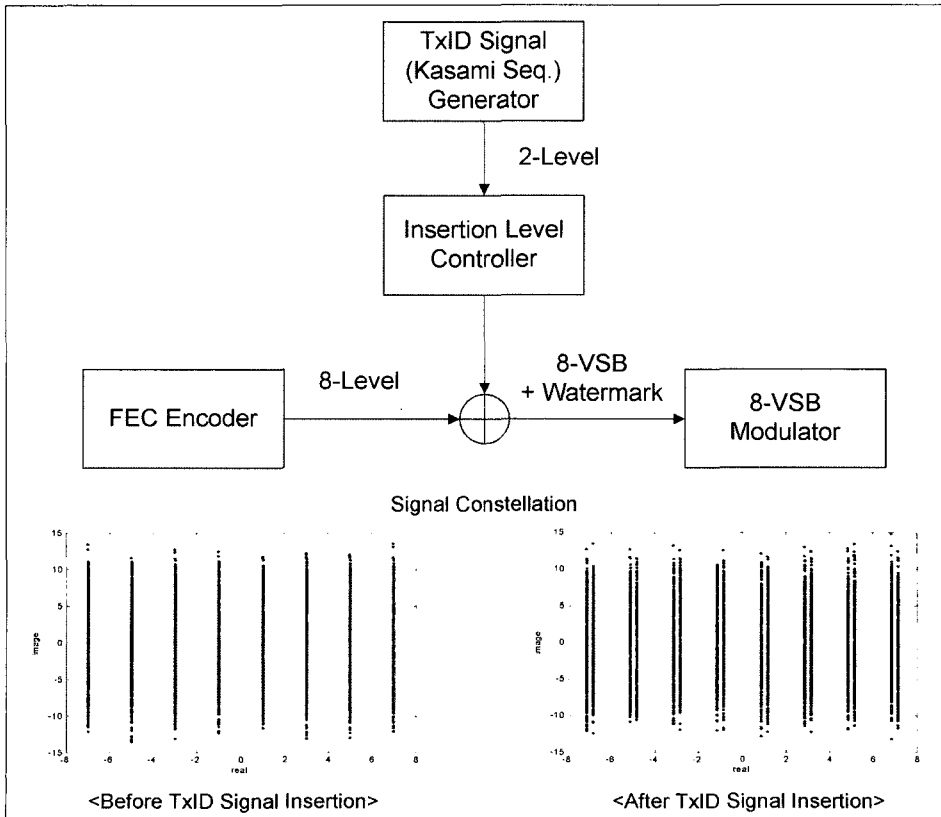
Kasami 수열은 필드싱크(field sync) 신호를 제외한 모든 VSB 데이터에 watermark 형태로 삽입되며, 시간 및 주파수 영역에서 삽입된 신호



(그림 1) Kasami 수열 생성기의 구조 및 삽입 방법



〈그림 2〉 Kasami 수열이 삽입된 ATSC DTV 신호 (a) 시간 영역, (b) 주파수 영역



〈그림 3〉 Kasami 수열 삽입 전후에서의 신호성상

는 그림 2와 같다. 또한, Kasami 수열 삽입 전후에서의 심볼의 신호성상은 그림 3과 같다.

시간 인덱스  $k$ 에서의 ATSC 데이터, BPSK 변조된 Kasami 수열, 그리고 삽입레벨(insertion level)을 각각  $d(k)$ ,  $x(k)$ , 그리고  $\alpha$ 라 두면, 8-VSB 신호와 확산대역(spread spectrum) 형태로 삽입된 Kasami 신호와의 평균 전력비, 즉, BR(Bury Ratio)은 다음과 같다[6]:

$$BR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{E\{d^2(k)\}}{\alpha^2 \cdot E\{x^2(k)\}} \right) \quad (1)$$

VSB 데이터의 평균전력은  $E\{d^2(k)\}=21$ 이고, BPSK 변조된 Kasami 수열의 평균전력은  $E\{x^2(k)\}=1$ 이므로, 삽입레벨  $\alpha$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{21}{10^{BR/10}}} \quad (2)$$

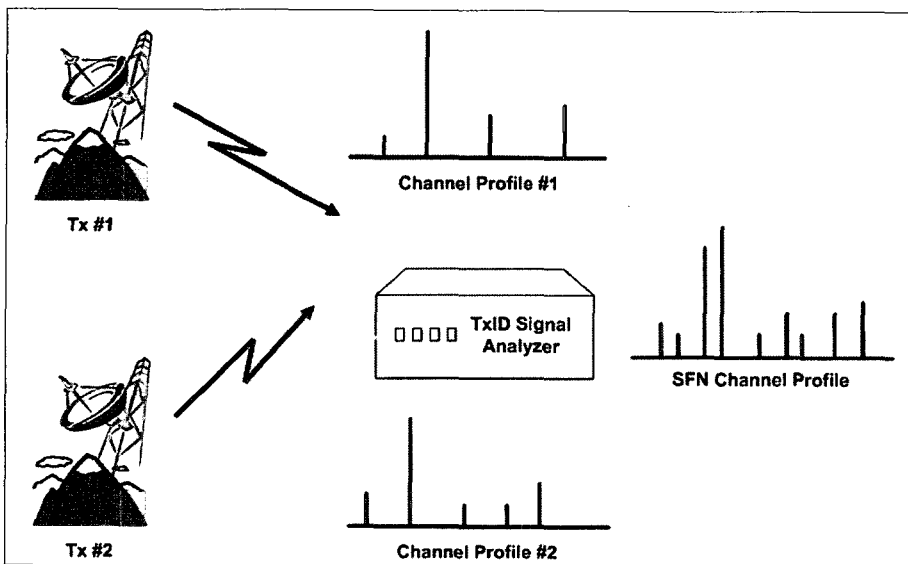
ATSC RP A/111에서는 표 1과 같이 8 단계의 BR을 정의하고 있으며, 각각의 BR에 따른 삽입레벨 역시 표 1에 나타난다.

〈표 1〉 BR에 따른 삽입레벨

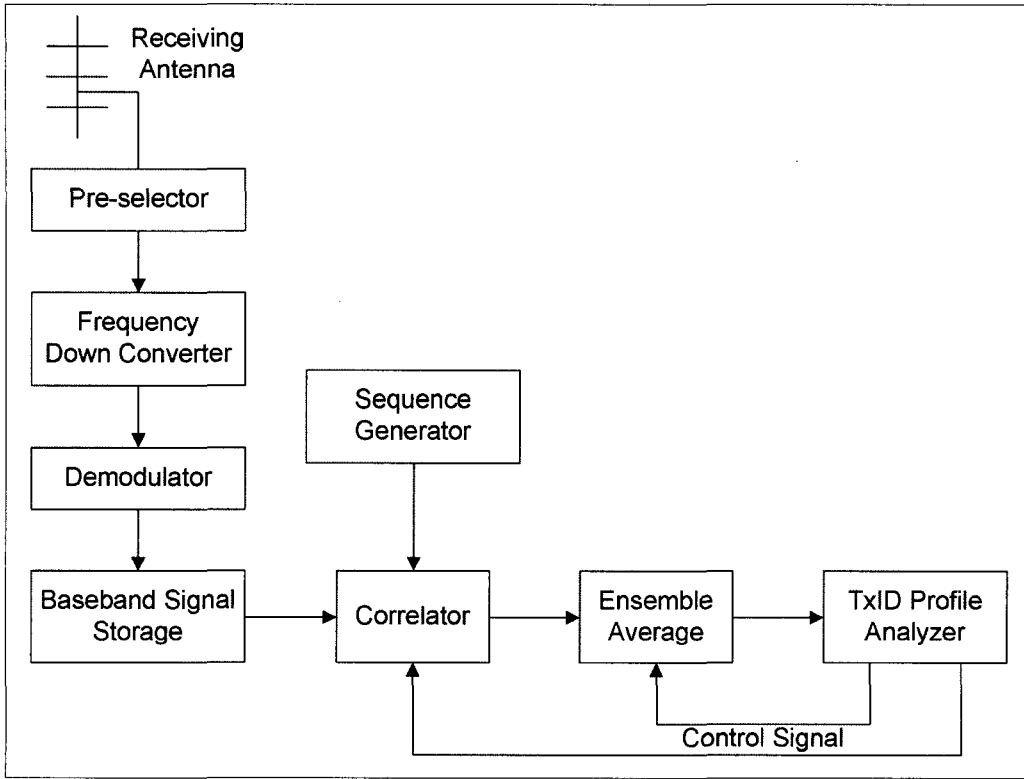
Bury Ratio	Insertion Level [Amplitude]
21 dB	0.40842248871983
24 dB	0.28914097913688
27 dB	0.20469613727266
30 dB	0.14491376746189
33 dB	0.10259109077387
36 dB	0.07262893022873
39 dB	0.05141734497976
Off	0

### III. TxID 신호 분석

TxID 신호분석기는 그림 4처럼 SFN 환경에서 각각의 송신기(혹은 중계기)에 대한 채널 프로파일 및 전체 망에 대한 채널 프로파일을 검출하며, 그



〈그림 4〉 TxID 분석기의 채널 프로파일 검출 및 결합



〈그림 5〉 TxID 신호분석기의 구조

구조는 그림 5와 같다. TxID 신호분석기는 송신기 혹은 중계기로부터 TxID 신호가 삽입된 방송신호를 수신하는 수신안테나(receiving antenna); 인접 채널을 제거하는 pre-selector; RF 대역의 신호를 IF 대역의 신호로 변환하는 IF 하향 변환부(down converter); IF 대역의 신호를 기저대역의 신호로 변환하는 복조부(demodulator); 복조된 신호를 저장하는 기저대역 신호 저장부(baseband signal storage); TxID 신호를 위한 수열을 생성하는 수열 생성부(sequence generator); 기저대역 신호 저장부에 저장된 신호와 수열 생성부에 의해 생성된 신호의 상관관계를 알아보는 상관부(correlator); 상관부 출력신호에서 잡음성분을

감소시키기 위한 앙상블 평균부(Ensemble Average); 앙상블 평균된 TxID 신호의 채널 프로파일을 분석하는 TxID 프로파일 분석부(profile analyzer)로 구성된다.

TxID 분석기 출력 프로파일에서 검출된 신호 대 DTV 잡음비(Signal to DTV Noise Ratio: SDR)는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 가정하였을 때, 다음과 같이 유도된다.

$$\text{SDR} \approx 10 \log_{10} \frac{\alpha^2 \cdot M}{T \cdot (21 + \sigma^2)} \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 삽입레벨,  $M$ 은 Kasami 수열의 길이

(=64,896),  $T$ 는 송신기 혹은 중계기의 수,  $\sigma^2$ 는 AWGN의 분산을 각각 나타낸다.

## IV. 전산실험 결과 및 실험실 테스트 결과

### 1. 전산실험 결과

전산실험에서는 단일 송신기 혹은 SFN 환경(3개의 송신기로 구성)에서 BR과 양상을 평균횡수에 따른 SDR과 채널 프로파일을 측정하였다. 전산실험을 위해 송신기 펄스성형 필터와 수신기 정합필터

로 481 탭과 121 탭의 SRRC (Square Root Raised Cosine) 필터를 각각 사용하였으며, IF 중심 주파수는 10.76 MHz로 설정하였다. 또한, 각각의 송신기에 표 2~4와 같은 다중경로 채널과 15dB의 CNR(Carrier to Noise Ratio)을 가정하였다. 송신기 1 (Tx #1)을 기준으로 송신기 2 (Tx #2)는 26 심볼(약 2.42us)의 후지연(post delay)을 가지며, 송신기 3 (Tx #3)은 8 심볼(약 0.74us)의 전지연(pre-delay)을 가진다.

그림 6은 송신기의 수와 BR에 따라 수학적 (3)에 의해 계산된 SDR과 전산실험을 통해 측정된 SDR의 비교를 나타낸다. 그림 6에 의하면, 계산된 SDR 값과 측정된 SDR 값과의 오차는 BR이 클수록(즉,

〈표 2〉 Tx #1의 다중경로 프로파일

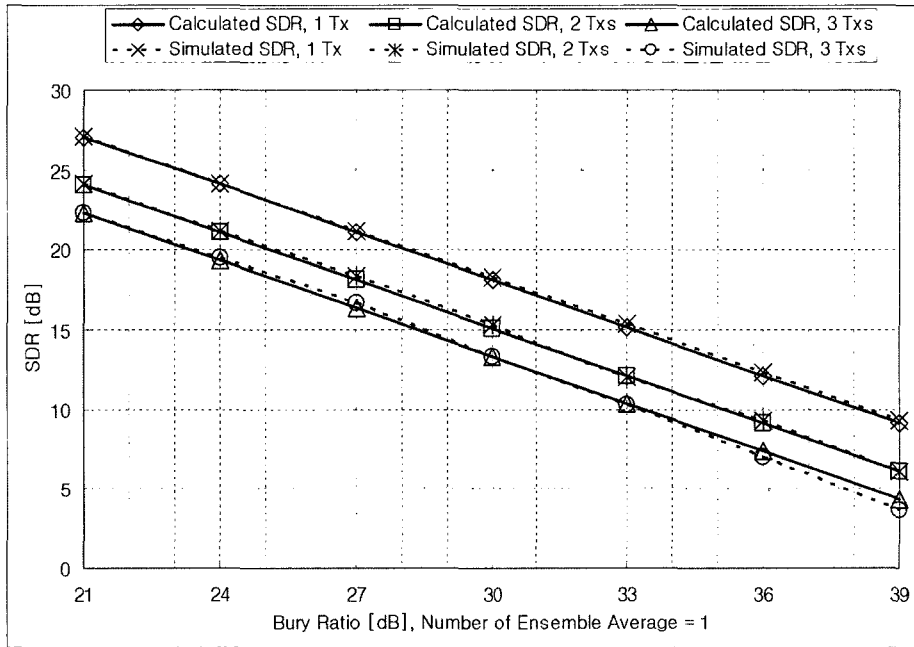
	Delay [us]	Amplitude [dB]	Phase [degree]
Pre-Ghost #1	-4.0	-6 (0.5012)	0
Main Signal	0.0	0.0 (1.0)	0
Post-Ghost #1	1.2	-3 (0.7079)	0
Post-Ghost #2	4.0	-6 (0.5012)	0
Post-Ghost #3	8.0	-9 (0.3548)	0
Post-Ghost #4	12.0	-10 (0.3162)	0

〈표 3〉 Tx #2의 다중경로 프로파일

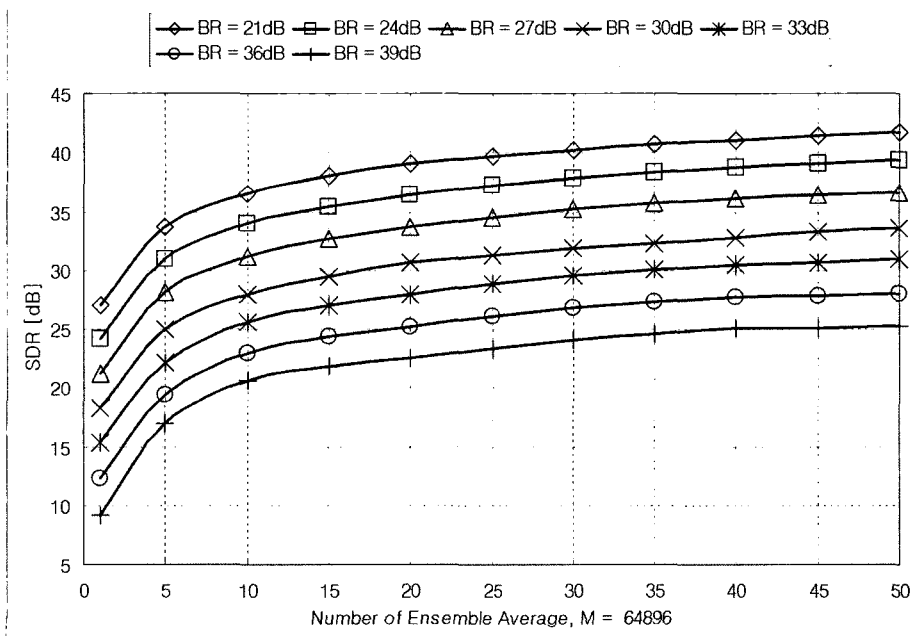
	Delay [us]	Amplitude [dB]	Phase [degree]
Pre-Ghost #1	-4.0	-8 (0.3981)	0
Main Signal	0.0	0.0 (1.0)	0
Post-Ghost #1	4.0	-6 (0.5012)	0
Post-Ghost #2	8.0	-5 (0.5623)	0

〈표 4〉 Tx #3의 다중경로 프로파일

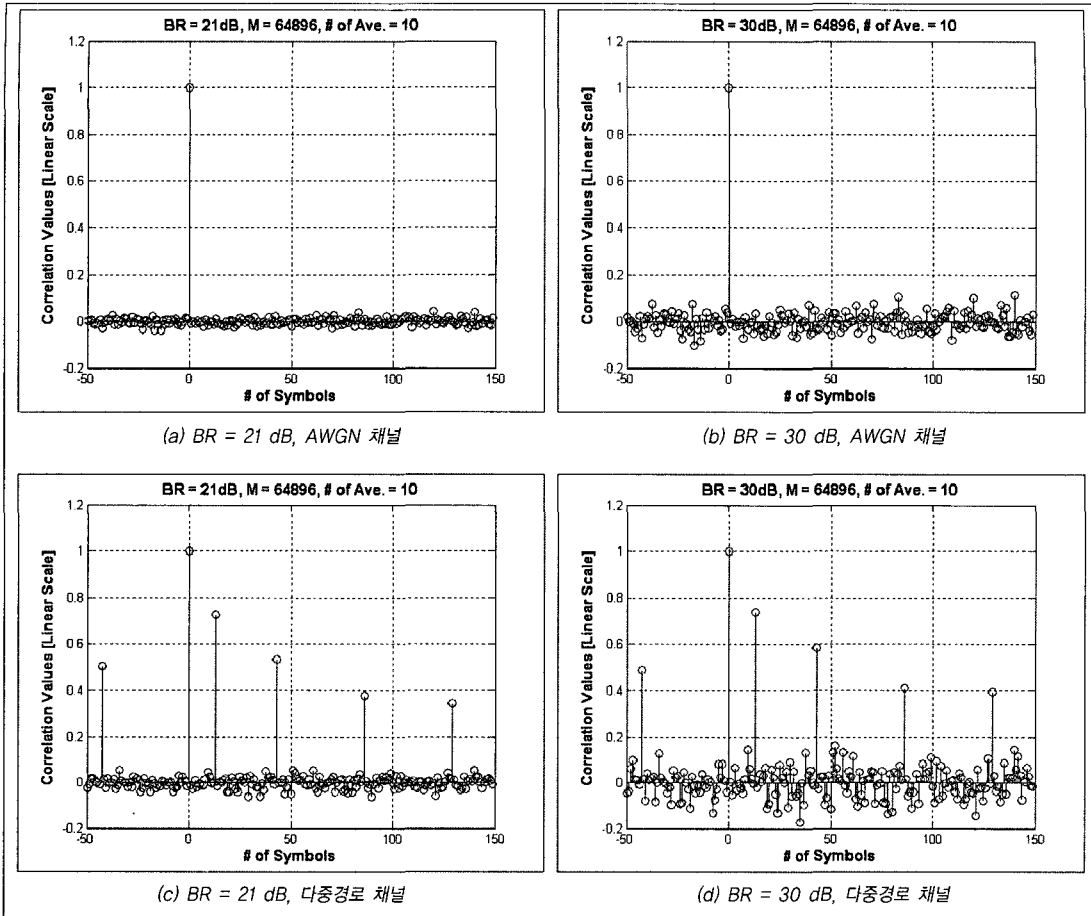
	Delay [us]	Amplitude [dB]	Phase [degree]
Main Signal	0.0	0.0 (1.0)	0
Post-Ghost #1	1.2	-3 (0.7079)	0
Post-Ghost #2	4.0	-6 (0.5012)	0



〈그림 6〉 송신기의 수와 BR에 따른 계산된 SDR과 측정된 SDR의 비교



〈그림 7〉 1개의 송신기에서 BR과 양상률 평균횟수에 따른 측정된 SDR



〈그림 8〉 1개의 송신기가 존재할 때, 10회의 앙상블 평균에서 BR에 따른 AWGN 채널 및 표 2와 같은 다중경로 채널에서의 채널 프로파일

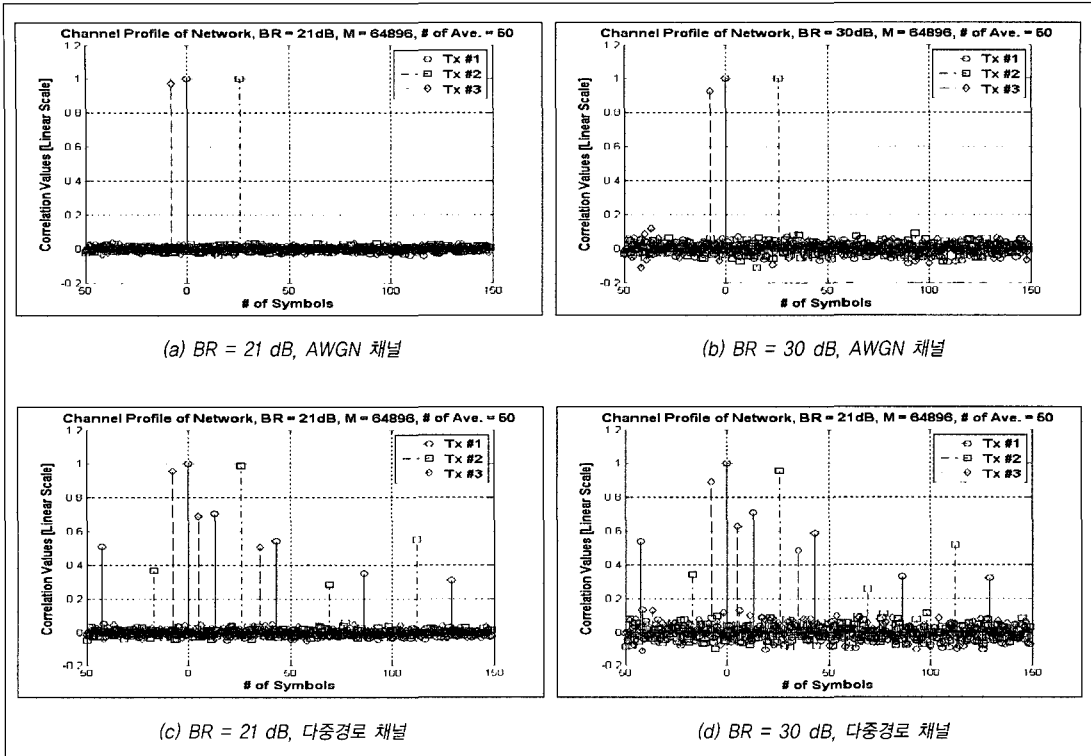
삽입레벨이 낮을수록), 그리고 송신기의 개수가 많을수록 증가하는 것을 볼 수 있으나, 대부분의 BR 사용 범위에서 미미한 값이므로 무시할 수 있다. 그림 7은 단일 송신기에서 BR과 앙상블 평균횟수에 따른 SDR 측정값을 나타낸다. 그림 7에 의하면, 측정된 SDR 값은 삽입레벨에 로그비율로 비례하고, 앙상블 평균횟수가 많을수록 증가한다. 그림 8은 단일 송신기(Tx #)와 10회 앙상블 평균에서 BR에 따른 AWGN 채널 및 표 2와 같은 다중경로 채널에서의 채널 프로파일을 나타내고, 그림 9는 SFN 환경

에서 각각의 송신기가 AWGN 채널 및 다중경로 채널을 가질 때, 50회 앙상블 평균에서 BR에 따른 SFN의 채널 프로파일을 나타낸다.

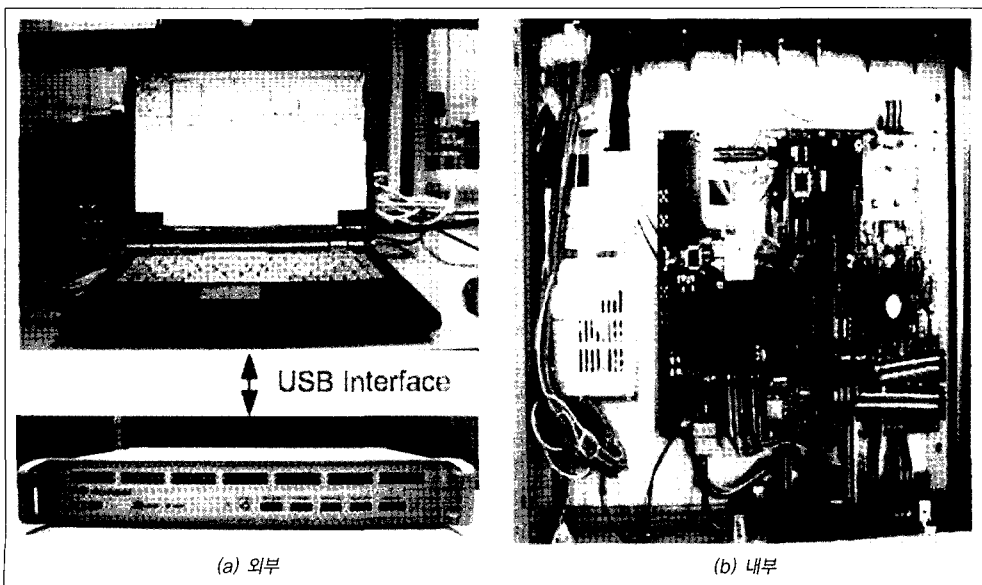
## 2. 실험실 테스트 결과

본 논문에서는 TxID 신호분석기의 성능을 검증하기 위해 신호분석기를 실제 제작하였으며, 그 모습은 그림 10과 같다. 앞 절의 전산실험에서 사용된 AWGN 채널 및 다중경로 채널에서 TxID 신호분석





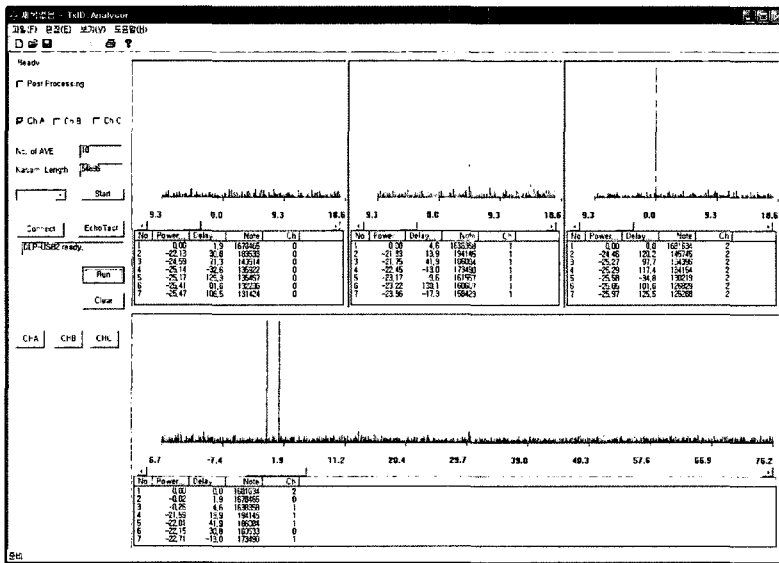
〈그림 9〉 SFN 환경(Tx #1, Tx #2, Tx #3)에서 각각의 송신기가 AWGN 및 다중경로 채널(표 2, 표 3, 표 4)을 가질 때, 50회 양상률 평균에서 SFN의 채널 프로파일



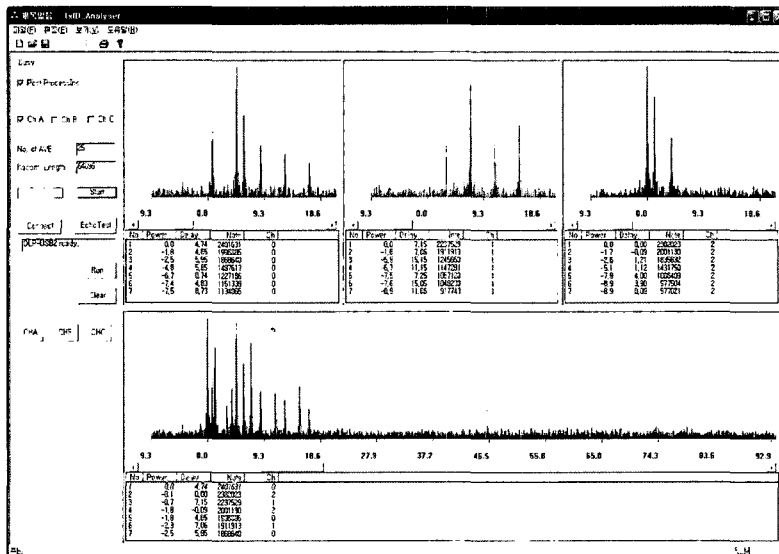
〈그림 10〉 실제 제작된 TxID 신호분석기(prototype). (a) 외부, (b) 내부

기의 성능을 살펴보면 그림 11 및 12와 같다. 그림 11과 12는 SFN 환경(3개의 송신기로 구성)에서 각각의 송신기가 AWGN 채널 및 다중경로 채널을 가

질 때, 20회의 앙상블 평균 및 BR = 21 dB에서 SFN의 채널 프로파일 및 각각의 송신기의 채널 프로파일을 나타낸다.



〈그림 11〉 SFN 환경에서 각각의 송신기가 AWGN(SNR = 15 dB) 채널을 가질 때, 20회의 앙상블 평균 및 BR = 21 dB에서 SFN의 채널 프로파일 및 각각의 송신기의 채널 프로파일



〈그림 12〉 SFN 환경에서 각각의 송신기가 다중경로(CNR = 15 dB) 채널을 가질 때, 20회의 앙상블 평균 및 BR = 21 dB에서 SFN의 채널 프로파일 및 각각의 송신기의 채널 프로파일

## V. 결론

본 논문에서는 TxID 신호로 사용되는 Kasami 수열의 생성 및 삽입방법에 관해 살펴보았고, TxID 신호분석기의 구조 및 성능분석 기법을 제안하였다. 또한, 전산실험을 통해 제안된 TxID 신호분석기의 구조 및 성능을 검증하였고, 실험실 테스트를 통해 실제 구현된 TxID 신호분석기의 성능을 확인하였다. 제안된 TxID 신호분석기의 성능은 TxID 신호의 삽입레벨의 제곱에 로그비율로 비례하였으

며, TxID 신호가 삽입된 송신기의 수와 잡음의 분산에 로그비율로 반비례하였다.

본 논문에서 고찰된 TxID 송수신 기술은 DTxT 혹은 DOCR을 이용하여 SFN을 구성할 때, 수신환경을 효율적으로 분석하고 방송망을 조절할 수 있도록 함으로써 인접 송신기 혹은 중계기에 의한 간섭 문제를 효과적으로 줄일 것으로 기대된다. 향후에는 TxID 신호분석기의 분석성능을 향상시키기 위한 새로운 알고리즘과 하드웨어의 개선에 대한 연구가 필요할 것이다.

### 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] D. V. Sarwate and M. B. Pursley, "Cross-correlation Properties of Pseudorandom and Related Sequences," IEEE Proc., Vol. 68, No. 5, pp. 593-619, May 1980.
- [6] X. Wang, Y. Yu, and B. Caron, "Transmitter Identification Using Embedded Pseudo Random Sequences," IEEE Trans. Broadcasting, Vol. 50, No. 3, pp. 244-252, Sept. 2004.

### 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

## 필자 소개



### 이재영

- 2001년 5월 : Rutgers University 전자공학과 (공학사)
- 2003년 5월 : University of Wisconsin 전자공학과(공학석사)
- 2003년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : DTV 전송시스템, DSP



### 김홍묵

- 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



### 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