

실내 TVWS 무선통신을 위한 송신 전력 설정 실험에 관한 연구

윤 덕 원*, 장 형 민*, 이 원 철^o

A Study on Experiment of Transmission Power Assignment for Indoor TVWS Wireless Communication System

Deok-won Yun*, Hyung-min Chang*, Won-cheol Lee^o

요 약

전 세계적으로 디지털 TV 방송 서비스로의 전환에 대해 미래의 주파수 부족을 해결하기 위한 방안으로 우수한 전파 특성을 가진 TV 화이트 스페이스(White Space)에 대한 관심이 미국과 유럽을 중심으로 높아지고 있다. 본 논문에서는 이러한 실내 환경에서 TV 화이트 스페이스 대역을 이용하는 TVBD(TV Band Device)의 송신기가 DTV(Digital TV) 수신기에 미치는 간섭에 대한 실측 실험을 수행하였으며, 이와 병행하여 SEAMCAT 툴을 이용한 몬테카를로 모의실험을 통해 통계적 간섭확률을 산출함으로써 실측 실험 결과와 비교분석을 수행하였다. 본 실측 실험 및 모의실험 과정에서 주어진 DTV 수신환경과 각각의 송신 파라미터들은 FCC에서 규정한 TVBD 송신 규격에 준하여 설정하였다. 이를 기반으로 실내 환경에서 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간의 거리에 따른 최적 공존을 위한 TVBD 송신 전력을 산출하였으며, 결론적으로 두 시스템이 상호 양립 가능한 기술기준을 확인하였다.

Key Words : TV White Space, TV Band Device, Emission Mask, Interference analysis, Coexistence

ABSTRACT

To overcome a scarcity of radio resources to mobile broadband service, the usage of TV white space gains much attraction around the world. This paper carries out an interference analysis either by performing realistic experiments or by executing statistical Monte-Carlo simulation to exploit interference probability. The results obtained from experiments are compared to those from simulations in order to clarify the coexistence of utilization of TV band devices (TVBD) in indoor circumstances. Along the execution of our experiment in the presence of DTV receiver, we apply to a variety of transmission parameters proposed in FCC for TVBD. According to experimental and simulation works, the allowable transmission powers of TVBD systems are exploited for the plausible which are coexist on the first as well as the second adjacent frequency bands. Throughout results, it can conclude that TVBD systems can be coexisted via achieving proper transmission powers depending on the locations of themselves without showing harmful interference to DTV reception.

※ 본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원[No. 20131010501720] 및 송실대학교 통신 및 신호처리 연구실 관리로 수행되었습니다.

※ 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2011-0016580) 및 송실대학교 통신 및 신호처리 연구실 관리로 수행되었습니다.

◆ First Author : 송실대학교 전자공학과 통신 및 신호처리 연구실, youn913@ssu.ac.kr, 정희원

◦ Corresponding Author : 송실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 신호처리 연구실, wlee@ssu.ac.kr, 종신희원

* 송실대학교 정보통신공학과 통신 및 신호처리 연구실, hmchang@ssu.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2012-07-309, 접수일자 : 2013년 7월 26일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 21일

I. 서 론

최근 무선 통신 데이터의 급격한 수요 증가와 새로운 무선통신 기술 및 서비스의 확산으로 인해 주파수 자원에 대한 수요가 크게 증가하고 있다¹⁾. 이에 따라 주파수 고갈 문제가 TV방송 서비스로의 전환을 맞이하여 미래 주파수 부족 현상을 해결하기 위한 방안으로써 우수한 전파 특성을 가진 TV 화이트 스페이스(TV White Space, TVWS)에 대한 관심이 미국과 유럽 등 선진국을 중심으로 높아지고 있으며, 방송통신 위원회에서는 2013년 디지털 방송 서비스 전환으로 인해 생성되는 TVWS대역에 대한 서비스 활용 방안을 검토하여 이에 대한 관련 정책 추진을 밝힌 바 있다. 또한 2012년에는 기존 할당 주파수의 회수 및 재배치 등을 통해 2020년까지 최대 650MHz에 해당하는 신규 주파수 확보 마련을 위한 모바일 광개토 플랜을 발표한 상태이다. 또한 현재 주요 국가들을 중심으로 기존 방송 서비스들에 대한 우선 사용자 보호기준 및 이용 형태에 따른 기기 구분, 이용 가능한 가용 채널, 송신전력 기준, 스펙트럼 센싱 기준 등과 같은 TVBD의 기술기준이 연구 중에 있다²⁻⁶⁾.

여기서 TV 화이트 스페이스란 DTV 방송대역인 2~51번(54MHz~698MHz) 중 방송국 간의 간섭을 방지하기 위하여 지역적으로 사용하지 않고 비워둔 주파수 대역을 의미한다. 이대역은 DTV 전환과 함께 사용 가능한 대역으로 방송과의 공존을 통해 이중무선 통신 서비스가 가능하다. 또한 전파 특성이 우수하여 1GHz 이상 높은 주파수에 비하여 서비스 커버리지가 넓기 때문에 공공안전, 지역 정보제공 서비스, 슈퍼 와이-파이(Super Wi-Fi) 등 다양한 용도의 서비스를 제공할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. TVWS 기술기준에 대하여 2장에서 소개하고, 3장에서는 TVBD 간섭 관리 방식과 본 논문에서 고려하는 간섭 분석에 대한 시나리오를 소개한다. 마지막으로 DTV와 TVBD와의 최적 공존을 위하여 FCC에서 제안된 기술기준을 바탕으로 실내 환경을 고려한 TVBD의 허용 가능한 송신전력 및 위치에 따른 간섭확률을 분석하고 전체 검토 결과를 정리하였다.

II. FCC와 국내 TVWS 기술기준

본 절에서는 미국 내 모든 지역의 통신행정 감독 및 국제 통신을 관장하는 미국 연방통신위원회(Federal Communication Commission; FCC)의 TVWS 정책

개정 진행사항 및 FCC에서 제안된 TVBD 기기 종류와 TVBD 기술기준을 확인한다. 그리고 국내 TVBD 송신전력에 대한 기술기준 마련을 위한 국내 기술기준을 확인하고, FCC 규격 적용에 대한 문제점을 파악한다.

2.1. FCC의 TVWS 정책개정 진행사항

미국은 2004년도부터 인지 라디오(Cognitive Radio) 기술을 이용하여 비면허 방식으로 화이트 스페이스 대역을 사용하기 위한 작업을 시작하였으며, 2006년 10월에 TV 방송대역에서의 고정형 TVBD의 사용을 골자로 하는 1st R&O/Further Notice를 발표하였다. 2007년과 2008년 TVBD의 성능 검증을 위한 두 차례의 실험이 실시되었고 이 실험은 주로 스펙트럼 센싱 기능에 대한 과정이었다. 하지만 이상적인 환경에서의 실험실 테스트에서만 성공을 거두었으며 실제 필드에서의 테스트는 대부분 실패하였다. 이에 2008년도에 FCC(Federal Communications Commission), OET(Office of Engineering & Technology) 주관으로 Adaptrum, I2R, Motorola, MS, Philips 5개사의 TVBD 프로토타입으로 진행된 두 번째 실험에서 데이터베이스 접속 기술을 통한 간섭방지 가능성을 입증함으로써 그 해 11월 2nd R&O를 통한 비 면허 기기의 사용을 허가한 계기가 되었다. 또한 FCC는 TV 방송대역의 일차 사용자인 방송 서비스 수신기, 무선마이크 등에 유해한 간섭을 유발하지 않는 조건을 만족하는 경우에만 사용을 허가하였으며, 간섭회피 방식으로서 TVBD는 스펙트럼 센싱 뿐만 아니라 데이터베이스 접속 기능을 필수적으로 갖추도록 규정하였다. 2010년 9월 무선마이크 사용자 등 기존 방송대역 사용자의 간섭 방지에 관한 의견수렴을 통해 2nd MO&O(Memorandum Opinion & Order)를 발표하였다. 기본적인 사항 외에 스펙트럼 센싱을 적용하고 무선 마이크 보호에 관한 사항에 대한 규칙을 수정하였으며 간섭회피 방식으로 위치측위 및 데이터베이스 접속 기능을 가진 기기에 한해서는 스펙트럼 센싱 기능의 의무적용 규정을 폐지하였다. 또한 무선 마이크 전용 2개 채널을 마련하고 비면허 무선 마이크에 대해서도 운용 지역을 TVWS 데이터베이스에 등록할 수 있도록 함으로써 간섭으로부터 보호받을 수 있도록 규정하였다.

2.2. FCC에서 제안된 TVBD 기기의 종류

FCC는 TV 화이트 스페이스 대역에서 동작 가능한 기기를 크게 고정형기기(Fixed device)와 개인/휴대형 기기(Personal/Portable device)로 구분하였으며, 각각

의 기기들에 대한 최대 송신전력, 안테나 이득, 최대 송신 실효 복사전력, 인접채널 송신전력에 관하여 규제하였다⁷⁾.

고정형 TVBD는 특정한 위치에서 전파 통신 신호를 송수신하는 기기로서 TVWS 데이터베이스에 접속하여 가용채널 리스트를 제공받아 스스로 동작 채널을 선택 가능하다. 또한 Mode I 개인/휴대용 TVBD에 가용채널 리스트를 제공한다. 개인/휴대용 기기는 위치 측위 기능과 TVWS 데이터베이스 접속 기능의 유무에 따라 Mode I 개인/휴대용 TVBD와 Mode II 개인/휴대용 TVBD로 나뉜다. Mode I TVBD는 가용채널 리스트를 얻기 위해 위치 측위 기능 및 데이터베이스 접속 기능을 사용하지 않으며 Mode II TVBD로부터 사용 가능한 채널 정보를 얻을 수 있다. Mode II TVBD는 가용채널 정보를 얻기 위하여 위치측위 기능 및 TVWS 데이터베이스 접속 기능을 사용하는 기기를 말하며 직접 인터넷으로 연결하거나 다른 고정형 혹은 Mode II TVBD를 통한 간접 접속이 이루어지면 스스로 채널을 선택하여 통신하고 네트워크의 일부로 동작할 수 있다.

2.3. TVBD 기술기준 요구사항

FCC에서는 TVBD를 이용하여 사용하지 않는 TVWS 대역을 효율적으로 사용하기 위한 기술기준을 표 1과 같이 정리하였다. 이를 통하여 기존 서비스에 간섭없이 더 넓은 범위의 서비스를 제공함으로써 고정형 TVBD의 운영비용을 줄이고, 시골 및 서비스가 미치지 못하는 지역까지 무선 광대역 서비스 증가를 목표로 하고 있다. 또한 DTV 방송 서비스를 수신하기 위하여 TVBD 송신기로부터 간섭을 받지 않는 간섭보호비를 23dB로 고정 되어 있으며, 방송 허가구역 외에서의 최대 송신전력 및 TVBD 송신기로부터 간섭영향을 받지 않기 위한 보호이격거리 등에 관한 규정이 정해져있다⁷⁾.

여기서 고정형 기기의 경우 안테나에서 송신되는 최대전력은 기기가 동작하는 6MHz 당 1W를 초과할 수 없다. 개인/휴대형 기기의 최대 EIRP(Effective isotropically radiated power)는 기기가 동작하는 6MHz당 100mW를 초과할 수 없다. 단 예외적으로 개인/휴대형 기기의 경우 인접채널 요구 조건을 만족하지 않을 경우 최대 EIRP는 기기가 동작하는 6MHz당 40mW로 제한하여 사용 가능하다. TVBD 송신 마스크 규격은 6MHz의 대역폭 크기를 갖는 대역 내 총 송신전력 밀도 대비 첫번째 인접채널에서는 100kHz 대역폭 크기를 기준으로 -72.8dB만

표 1. FCC의 TVBD 기술기준
Table 1. Technical requirements of TVBD in FCC

Type of TVBD	Fixed	Personal/Portable
Transmission Power	30dBm (1W)	20dBm (100mW)
EIRP	4W	100mW
Antenna Gain	6dBi	-
Adjacent Channel	Not Available	16dBm (40mW)

큼 TVBD의 송신전력을 감쇄시켜야 한다. 이를 6MHz 대역폭 크기로 환산할 경우 17.8dB가 합산되어 -55dB로 변환될 수 있다.

또한, 고정형 TVBD에 사용되는 송신 안테나는 지상으로부터 30m 이내 높이에 설치되어야 하고 HAAT가 76m 이상인 지점에서는 안테나를 설치할 수 없다. HAAT(Height Above Average Terrain)는 평균 지상 고를 의미하며 TVBD 안테나를 중심으로 3~16km 반경 내의 평균 고도를 의미한다.

2.4. 국내 TV화이트 스페이스 기술기준 및 문제점

국내 방송통신위원회는 기술기준 제정 및 TV 화이트 스페이스 정책 도출까지 다양한 변수 및 요구들에 대하여 2012년 1월 전파법 기술기준에 따라 무선설비 규칙 일부를 개정하여 고시하였으며⁸⁾, 고정형 무선설비 송신장치와 이동용 무선설비 송신장치, 대역 외 발사에 대한 조건을 표 2와 같이 정의한다. 표 2에서 고정형 무선설비 송신장치는 6MHz 대역폭당 30dBm, 100kHz 대역폭당 12.2dBm 이하이다. 대역외발사는 지정주파수로부터 ±3MHz 이상 ±9MHz 이내 주파수에서 100kHz 분해대역폭으로 측정할 경우에 -42.8dBm 이하이다. 이동용 무선설비 송신장치의 경우 동일 채널에서 공중선전력이 40mW 초과 100mW 이하인 경우 100kHz 대역폭 당 2.2dBm 이하이며, 40mW 이하인 경우 100kHz 대역폭 당 -1.8dBm 이하이다. 대역외발사는 공중선전력이 40mW 초과 100mW 이하인 경우 지정 주파수로부터 ±3MHz 이상 ±9MHz 이내 주파수에서 100kHz 분해대역폭으로 측정할 경우에 -52.8dB 이하이며, 공중선전력이 40mW 이하인 경우 지정주파수로부터 ±3MHz 이상 ±9MHz 이내 주파수에서 100kHz 분해대역폭으로 측정할 경우에 -56.8dBm 이하이다. 하지만 FCC에서

표 2. 국내 TVBD 기술기준
Table 2. Domestic technical requirements of TVBD

Kind of Radio Equipment	Fixed Radio Equipment for Transmission Device	Portable Radio Equipment for Transmission Device	
		Co-channel	Adjacent-channel
Antenna Power(6MHz)	30dBm(1W)	20dBm (100mW)	16dBm (40mW)
Antenna Power(100kHz)	12.2dBm	2.2dBm	-1.8dBm
Out-of-Band Emission(100kHz)	-42.8dBm	-52.8dBm	-56.8dBm

는 TVBD 최대 출력만을 제한하고 있으며 고정된 규격만을 고려하고 있기 때문에 국내 TVBD가 방송 허가구역 내에서 인접한 대역을 사용할 경우에 대한 기술기준이 명확하지 않다.

III. TVBD 간섭환경 시나리오 및 간섭 관리 방식

본 절에서는 TVBD 송신기가 DTV 수신기에 간섭 영향을 주는 시나리오를 통하여 간섭원으로부터의 수신전력 $iRSS$ (Interference Received Signal Strength)와 DTV 송신기로부터의 수신전력 $dRSS$ (Desired Received Signal Strength)를 구하는 과정을 정리하였으며, 주파수 측면에서 DTV 수신신호의 인근 대역에 TVBD가 신호가 존재할 때 DTV 수신기에 미치는 간섭을 분석하기 위하여 사용되는 ACIR(Adjacent Channel Interference Ratio)과 ACLR(Adjacent Channel Leakage Ratio), ACS(Adjacent Channel Selectivity)를 구하는 과정을 확인하였다⁸⁾.

3.1. 간섭환경 시나리오

그림 1은 DTV 방송 서비스 영역내에 존재하는 DTV 수신기 주변에 TVBD 송신기와 수신기가 서로 통신을 할 때 TVBD 송신기가 DTV 수신기에 간섭을 미치는 시나리오를 보여주고 있다. 여기서 $dRSS$ 는 DTV 송신기로부터 수신된 전력으로 정의되며 아래 식 (1)과 같다.

$$dRSS = P_{wt} + G_{wt \rightarrow vr} + G_{vr \rightarrow wt} - pl_{wt \leftrightarrow vr} \quad (1)$$

식 (1)의 P_{wt} 는 DTV송신기에서 DTV 수신기로 공급되는 송신 전력(dBm), $G_{wt \rightarrow vr}$ 는 DTV 송신기 안테나 이득, $G_{vr \rightarrow wt}$ 는 DTV 수신기 안테나 이득,

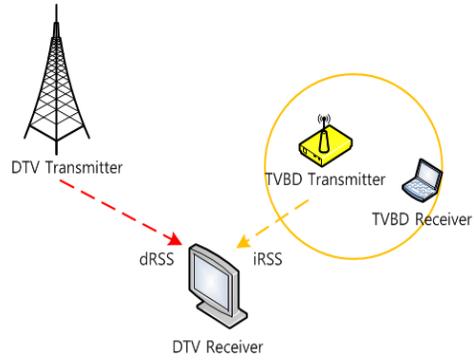


그림 1. 간섭환경 시나리오
Fig. 1. Interference Environment Scenario

$pl_{wt \leftrightarrow vr}$ 은 DTV 송신기와 DTV 수신기 사이의 경로손실을 의미한다. 여기서 경로손실은 방송대역에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 ITU-R P.1546-4 모델을 적용한다. 이 모델은 30~3000MHz까지의 운용 주파수, 전계강도의 확률분포인 1~50%까지의 시간을 범위에 대한 파라미터를 사용하며, 수신 전계강도를 나타내도록 되어있는 예측모델이다⁹⁾.

식 (2)와 (6)은 간섭 환경 시나리오 및 간섭원 종류에 따라 획득 가능한 간섭원의 수신신호에 대한 산출 식을 나타내고 있다. 식 (2)는 피 간섭원의 블로킹 필터가 정의되어 있을 경우 간섭원으로부터의 수신전력을 의미한다.

$$iRSS_{block} = 10 \log \left(\sum_{j=1}^n 10^{block_j/10} \right) \quad (2)$$

식 (2)의 $block_j$ 은 j 번째 간섭원으로부터 받은 전력으로 식 (3)와 같이 표현할 수 있다.

$$block_j = \left(P_i + G_{i \rightarrow vr} - pl_{i \leftrightarrow vr} - a_{vr}(\Delta f) + G_{vr \rightarrow i} \right)_j \quad (3)$$

식 (3)의 P_i 는 TVBD 송신기로부터 송신되는 수신 전력, $G_{i \rightarrow vr}$ 는 TVBD 송신기 안테나 이득, $G_{vr \rightarrow i}$ 는 DTV 수신기 안테나 이득, $pl_{i \leftrightarrow vr}$ 은 TVBD 송신기와 DTV 수신기간의 경로손실, $a_{vr}(\Delta f)$ 은 중심주파수에서 Δf 만큼 떨어진 지점에서의 수신기 필터의 감쇠를 나타낸다. 여기서 경로손실은 DTV 수신기와 TVBD 송신기는 실내 간섭분석을 위해 광범위하게 적용되고 있는 확장형 Hata-SRD 채널 모델을 사용하였다¹⁰⁾.

$$L = 32.4 + 20 * \log(f) + 10 * \log \left[d^2 + \frac{(H_b - H_m)^2}{10^6} \right] \quad (4)$$

식 (4)의 f 단위는 MHz이며, d 는 40m 미만으로 주어진다. H_b 와 H_m 는 지면으로부터 송수신기 안테나 높이의 최대, 최소값을 나타낸다.

$$H_b = \max(h_1, h_2), H_m = \min(h_1, h_2) \quad (5)$$

단, Extended Hata SRD 모델은 안테나 높이가 1.5m~3m를 넘어서는 안된다. 식 (6)은 TVBD 송신기의 송신 마스크에 따라 DTV 수신기에서 취득되는 수신전력을 나타내고 있다.

$$iRSS_{spur} = 10 \log \sum_{j=1}^{N_{active\ TVBD}} 10^{i_{spur_j}/10} \quad (6)$$

식 (6)의 i_{spur_j} 는 j 번째 TVBD 송신기로부터 받은 전력으로 다음과 같이 표현하며, $emission(f, f_{vr})$ 은 TVBD 송신기 적용 송신 마스크 함수를 나타낸다.

$$i_{spur_j} = (emission(f, f_{vr}) + G_{i \rightarrow vr}(f_{vr}) - pl_{i \rightarrow vr}(f_{vr}) + G_{vr \rightarrow i}(f_{vr})) \quad (7)$$

3.2. TVBD 간섭 관리 방식

본 논문에서는 TVBD가 DTV에 미치는 간섭을 분석하기 위하여 ACIR을 이용한다. 이는 각 시스템에 맞게 TVBD의 대역 내(In-Band) 및 대역 외(Out-of-band)출력을 제한하는 것이며, 식 (8)과 같이 정의한다^[11].

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACS} + \frac{1}{ACLR}} \quad (8)$$

여기서 ACLR은 DTV 수신 대역에 누설되는 TVBD 송신전력 간의 차이를 나타내며, 인접 주파수 채널의 간섭량을 나타내는 척도이다.

또한 ACS는 수신기의 선택도에 의해 인접채널로부터 받는 간섭을 의미하며, 인접채널의 신호를 거부하는 능력을 나타내는 척도이다.

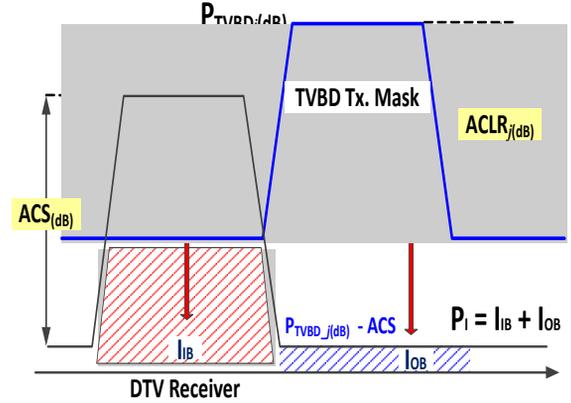


그림 2. 수신된 DTV 신호와 TVBD 신호 간의 관계
Fig. 2. Relationship between received DTV signal and TVBD signal

그림 2는 ACLR과 ACS의 개념을 보여준다. 여기서 P_I 는 TVBD 송신 마스크로부터 받는 총 간섭량으로 정의하며 P_I 와 ACLR사이의 관계식은 식 (9)에서 정의한다.

$$P_I = I_{IB} + I_{OB} = \frac{P_{AC}}{ACLR} + \frac{P_{AC}}{ACS} \quad (9)$$

여기에서 P_{AC} 는 j 번째 TVBD 송신 마스크가 적용되고 DTV에서 수신된 TVBD 수신전력을 의미하며, I_{IB} 와 I_{OB} 는 각각 $P_{TVBD_j} - ACLR_j$ 와 $P_{TVBD_j} - ACS$ 를 나타낸다.

IV. 실험

본 논문에서는 빌딩 내 전파환경을 고려하여 DTV와 TVBD 간의 거리에 따른 간섭확률과 TVBD의 허용 가능한 송신전력을 산출한다. 그리고 DTV의 인접한 대역에 존재하는 TVBD신호의 송신전력을 가변적으로 변경하였을 때, DTV 수신기에서의 간섭 여부를 확인하고 간섭이 발생하는 순간의 TVBD 수신전력을 측정한다. 또한 몬테카를로 모의실험(SEAMCAT)을 이용한 실측 실험과 동일한 환경에서 TVBD 신호가 DTV 수신기에 미치는 간섭확률을 산출하여 실측 실험의 결과를 검증하고 비교분석한다.

4.1. DTV 수신기와 TVBD 송신기간의 채널 양립성 분석 시스템 구성도

본 논문에서는 DTV와 TVBD 간의 양립성 분석을

위하여 그림 3과 같이 DTV 및 TVBS의 수신전력 측정용 시스템을 구성한다. 송신부는 TVWS 대역의 신호를 발생시킬 수 있는 신호발생기(Agilent E4432B)와 TVBS의 사용 가능한 최대전력을 확인하기 위하여 충분한 송신전력을 확보할 수 있는 RF 증폭기(Mini-Circuits ZFL-2500+)를 사용한다. 그리고 TVWS 대역에서 6dBi의 최대 이득을 갖는 지향성 안테나(LP410S)를 사용하였으며 TVBS의 송신전력은 FCC와 국내 기술기준에서 규정한 인접 대역의 개인/휴대형 기기 기준인 16dBm(40mW)로 설정한다. 수신부는 DTV수신기와 스펙트럼 분석기(Agilent N9340B)를 이용하여 TVBS로부터의 간섭 여부를 확인하고, DTV와 TVBS 간의 양립할 수 있는 허용 가능한 TVBS 송신전력을 실시간으로 관찰한다. 본 논문에서 사용하는 DTV 수신신호는 서울 관악산에서 송출하는 497MHz의 중심주파수를 갖는 EBS 채널을 선택하였다. 497MHz 인접한 채널에 5.5MHz 대역폭 크기를 갖는 WCDMA 신호를 발생 시켰을 때, DTV에 간섭을 미치지 않고 공존할 수 있는 허용 가능한 TVBS 송신전력을 산출하기 위하여 신호발생기의 송신전력을 가변적으로 조절한다. 표 3은 그림 3의 DTV와 TVBS 채널 양립성 분석을 위해 사용된 기구재들의 파라미터를 나타낸다.

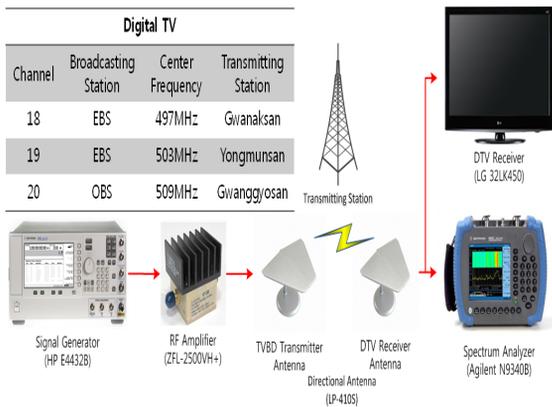


그림 3. DTV와 TVBS 채널 양립성 분석 시나리오
Fig. 3. DTV and TVBS channel compatibility analysis scenario

표 3. 측정 장비의 주요 파라미터
Table 3. Major parameter of measuring equipment

Product Name	Parameter	
ZFL-2500VH+	Gain	25.5dB
LP-410S	Gain	6dBi
Agilent N9640B	Resolution Bandwidth	100kHz

4.2. 측정 실험 시나리오

그림 4는 서울 상도동에 위치한 송실대학교 형남공학관 10~12층의 평면도를 나타내고 있으며, 형남공학관은 철근 콘크리트 구조의 15층 건물로 이루어져 있다. 또한 각층 복도는 일직선이며, 천장 재질은 석고 판넬로 구성되어 있다.

본 논문의 측정 실험은 먼저 건물 내 같은 층에 DTV 수신기와 TVBS 송신기가 있는 경우 TV 수신기를 12층에 중간에 위치시키고, DTV 수신기를 중심으로 왼쪽 8m, 오른쪽 각각 11m, 25m 위치에 TVBS 신호발생기를 위치한다. 그리고 DTV 수신기와 신호발생기가 각기 다른 층에 위치한 경우, DTV 수신기는 12층의 동일한 위치에 고정하고 신호발생기는 그림 4와 같이 층별로 지정된 위치에 설치한다. 이때 TVBS 송신전력은 16dBm이 되도록 설정하였으며, DTV 수신기와 상호 간섭 영향이 없이 공존할 수 있는 허용 가능한 TVBS 송신전력을 산출하기 위하여 신호발생기의 송신전력을 높이는 과정을 수행하였다.

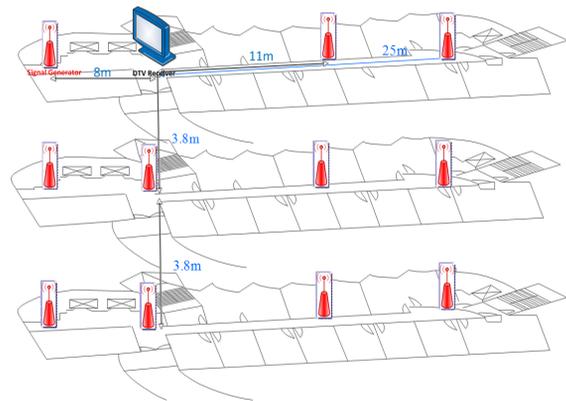


그림 4. 빌딩 내에서 DTV/TVBS 채널 양립성 분석 및 간섭확률 분석 시나리오
Fig. 4. DTV/TVBS channel compatibility analysis and interference-probability analysis scenario in building

4.3. 측정 실험 결과

본 논문에서는 TVBS 송신기가 DTV와 8m 거리에서 유효 등방성 복사전력 16dBm으로 송신할 때 DTV에 간섭을 주지 않는 것을 확인 후 송신전력을 높이는 과정을 수행하였다. 그 결과 TVBS가 16dBm 보다 10.9dB 높은 26.9dBm의 유효 등방성 복사전력으로 송신하여도 DTV 수신기에 영향이 없음을 확인하였다. 이때 DTV에서 수신한 인접채널의 TVBS 수신전력은 -31dBm임을 확인할 수 있었다. 이와 같이 그림 4의 시나리오 각 위치에서 다섯 번 측정하여 얻은 허용 가능한 TVBS의 송신전력의 평균을 표 4에 나타내었다.

표 4. DTV로의 영향 없이 최대 허용 가능한 TVBD 송신전력
Table 4. The maximum TVBD transmit power without DTV failure

12	distance	8m	DTV receiver	11m	25m
	503MHz	26.9 (dBm)		25.9 (dBm)	30.9 (dBm)
	509MHz	28.9 (dBm)		27.9 (dBm)	30.9 (dBm)
11	distance	8.9m	3.8m	11.6m	25.3m
	503MHz	26.9 (dBm)	25.9 (dBm)	37.9 (dBm)	37.9 (dBm)
	509MHz	27.9 (dBm)	26.9 (dBm)	39.9 (dBm)	40.9 (dBm)
10	distance	11.2m	7.6m	13.4m	26.1m
	503MHz	38.2 (dBm)	37.8 (dBm)	38.5 (dBm)	38.8 (dBm)
	509MHz	41.2 (dBm)	40.2 (dBm)	40.5 (dBm)	41.4 (dBm)

그 결과 유리창에 의한 손실로 인해 12층 8m 지점에서 측정된 송신전력이 11m에서의 송신전력보다 1dB 높은 것을 확인하였다. 또한, 11층의 일부 위치와 10층의 모든 위치에서는 실험에 사용 가능한 최대 송신전력인 37.9dBm, 40.9dBm으로 송신하여도 DTV에 영향이 없다는 사실을 그림 5와 같이 실시간으로 DTV 수신기와 스펙트럼 분석기를 관찰하여 확인하였다.

4.4. 측정 실험 결과 검증

본 논문의 모의실험에서는 실측 실험 결과를 검증한다. 이를 위하여 몬테카를로 알고리즘 기반 간섭분석 프로그램인 SEAMCAT틀을 통하여 TVBD와 DTV 송수신기가 존재하는 실제 간섭환경을 설정하였다.



그림 5. TVBD 송신전력에 따른 DTV 수신상태 검증
Fig. 5. DTV reception status verification in accordance with the TVBD transmit power

최대 25km의 송신 커버리지를 갖는 DTV 방송 서비스 영역 내 1개의 TVBD 송신기가 DTV 수신기를 중심으로 반경 27m 지역 내 특정 지점에 위치한다고 설정한다. 이와 관련된 DTV 시스템 및 TVBD 시스템의 모의실험 파라미터는 표 5에 나타낸다.

표 6은 dRSS가 -49.9dBm인 경우 몬테카를로 모의실험 시나리오에 따라 각 TVBD 송신기 위치에서 DTV 수신기와 거리, TVBD 동작 중심주파수 첫 번째 인근 대역 및 두 번째 인근대역 변화에 따른 간섭 신호 전력과 간섭확률 결과를 SEAMCAT틀을 통하여 총 20만 번의 이벤트를 발생시켜서 나타난 평균 결과들을 정리하였다. 또한, 표 6에 정리한 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간 거리 별 간섭확률을 그림 6과 같이 나타내었다. 여기서 TVBD의 송신전력은 FCC 기술기준에 명시한 16dBm을 사용하였으며, DTV 수신기와 TVBD 송신기 간의 거리가 멀어질수록 간섭확률이 비례해서 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 실측과 동일한 간섭환경에서 몬테카를로 모의실험을 이용하여 산출한 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간 거리에 따른 간섭확률을 나타내고 있다. 또한 LOS(line-of-sight) 상황이 NLOS(non-LOS) 상황보다 간섭이 더 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 TVBD의 중심주파수에 따라서 DTV의 첫 번째 인접채널인 503MHz의 중심주파수를 갖는 TVBD의 간섭확률에 비하여 두 번째 인접

표 5. 모의실험 파라미터
Table 5. Simulation parameters

DTV Transmitter	Received Power	73dBm(20.08kW)
	Bandwidth	6MHz
	Antenna	Height: 669m
		Gain : 7.8dBi Omnidirectional Antenna
Coverage	25km	
DTV Receiver	Sensitivity	-84dBm
	C/I	22.8dB
	Noise Floor	-99.2dBm
	Antenna	Height : 1.5m
Gain : 6dBi		
Directional Antenna		
TVBD Transmitter	Transmit Power	16dBm(40mW)
	Antenna	Height : 1.5m

표 6. DTV 수신기와 TVBD 송신기간 거리에 따른 iRSS 및 간섭확률

Table 6. iRSS and Interference probability according to the distance between DTV receiver and TVBD transmitter

12	distance	8		11	25
	Center Frequency	503MHz			
	iRSS(dBm)	-99.1	DTV Receiver	-107.8	-252.9
	Interference Probability	1.02		0.1	0
11	distance	8.9	3.8	11.6	25.3
	iRSS(dBm)	133.9	-94.6	-164.2	-338.1
	Interference Probability	0	2.75	0	0
10	diatance	11.2	7.6	13.4	26.1
	iRSS(dBm)	-148	-105.6	-253.5	-420.8
	Interference Probability	0	0.25	0	0

12	distance	8		11	25
	Center Frequency	509MHz			
	iRSS(dBm)	-128.2	DTV Receiver	-136.9	-282.1
	Interference Probability	0		0	0
11	distance	8.9	3.8	11.6	25.3
	iRSS(dBm)	-163.1	-123.7	-193.3	-367.7
	Interference Probability	0	0	0	0
10	diatance	11.2	7.6	13.4	26.1
	iRSS(dBm)	-177.1	-134.7	-282.6	-449.5
	Interference Probability	0	0	0	0

채널인 509MHz의 중심주파수를 갖는 TVBD의 간섭확률이 낮은 것을 확인할 수 있다.

실측 실험 결과와 표 6에서 정리한 모의실험 결과를 토대로 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간 거리에 따라서 기존 FCC에서 명시한 인접채널의 개인/휴대용 기기가 기술기준보다 높은 TVBD 최대 송신전력을 사용하더라도 DTV에 영향을 주지 않는다는 사실을 확인하였다. 이러한 결과를 기반으로 본 논문에서는 허용 가능한 TVBD 송신전력을 산출하기 위한 방안으로서 고정된 3% 간섭확률 허용치를 적용하여 허용 가능한 TVBD 송신전력을 산출하였다. 그림 7은 몬테카를로 모의실험을 이용하여 DTV 수신기의 간섭확률을 3%로 고정시켰을 때, 사용가능한 TVBD 송신전력을 나타내었다. 다만 일

정거리 영역 밖에서는 TVBD 송신전력이 일정하게 99dBm으로 유지되어 유효하지 않은 결과가 도출되었다. 여기서 DTV 수신기와 TVBD 송신기 사이의 거리가 3.8m지점에서는 각각 첫 번째 인접채널(503MHz)과 두 번째 인접채널(509MHz)에서 허용

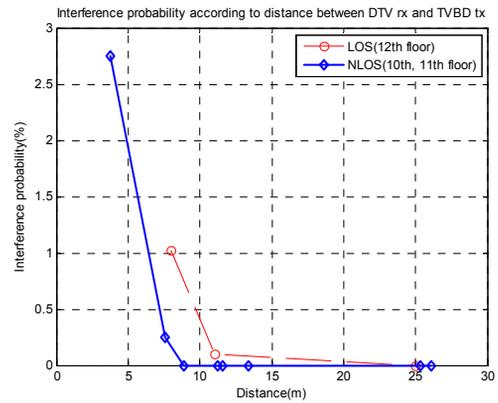


그림 6. DTV 수신기와 TVBD 송신기간 거리에 따른 간섭확률

Fig. 6. Interference probability according to the distance between DTV receiver and TVBD transmitter

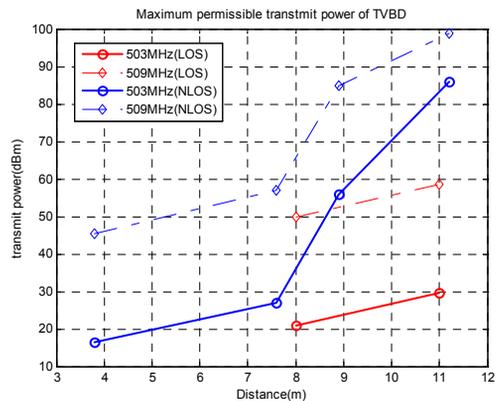


그림 7. 고정된 간섭확률에서 거리에 따른 송신전력

Fig. 7. Transmit power according to distance with the fixed interference probability

가능한 TVBD 송신전력이 16.5dBm과 45.5dBm으로 기술기준보다 각각 0.5dB와 29.5dB 높게 사용할 수 있다. 또한 모의실험을 통하여 산출된 TVBD 송신전력과 첫 번째 인접채널에서 측정된 실측값과 모의실험을 통해 산출된 허용 가능한 TVBD 송신전력이 8m지점에서 26.9dBm과 20.8dBm으로 실측값이 모의실험보다 6.1dB 더 높게 사용된다. 두 번째 인접채널에서도 위와 같이 8m지점에서 허용 가능한 TVBD 송신전력이 28.9dBm과 50dBm으로 실측값이 모의실험보다 21.1dB 더 높은 것을 확인하

였다. 전체적으로 첫 번째 인접채널보다 두 번째 인접채널에서 사용가능한 TVBD 송신전력이 약 29dB 더 큰 것을 알 수 있다. 또한, LOS 상황보다 NLOS 상황에서 더 큰 TVBD 송신전력으로 사용할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 TV 화이트 스페이스 대역을 이용하는 TVBD 송신기와 DTV 수신기 간의 거리에 따라 상호 공존할 수 있는 기술기준을 확인하기 위하여 실측 실험과 측정된 결과의 검증 및 비교분석을 위한 몬테카를로 모의실험을 수행하였다. 실측 실험은 실내 환경에서 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간의 거리에 따른 간섭 여부를 실제 측정을 통하여 수신 상태를 확인하였으며, 거리에 따른 허용 가능한 TVBD의 송신 전력의 경계값을 파악하였다. 또한 몬테카를로 모의실험을 통하여 DTV 수신기와 TVBD 송신기 간의 거리에 따른 간섭확률을 도출하였고, 일반적인 무선통신 시스템에서 간섭확률 허용치로 적용되고 있는 3%의 고정된 간섭확률을 만족하는 송신전력을 산출하였다. 그 결과 FCC에서 규정한 인근 대역에서 16dBm 이상의 송신전력을 사용하여도 DTV 수신기에 간섭 영향을 주지 않고 원활한 QoS를 만족할 수 있는 결과를 확인하였다. 그러나 실측결과와 모의실험 결과를 비교하였을 때, 20dB 이상의 큰 오차를 보였다. 이러한 결과를 정리하면 앞으로 TVBD 송신기 위치에 따른 송신전력 할당방안이 필요할 뿐만 아니라 실내 환경에 적합한 채널모델을 발굴하고, 이를 이용하여 실측실험과 모의실험을 비교분석하는 연구를 진행 할 것이다.

References

[1] S. Y. Lee, "Spectrum Sharing Technology and TVWS Policy Review," *J. Korea Inform. Soc. Development Inst. (KISDI)*, vol. 22, no. 14, pp. 24-44, Aug. 2010.

[2] Federal Communications Commission(FCC), "Mobile Broadband : The Benefits of Additional Spectrum," *OBI Technical Paper Series*, Oct. 2010.

[3] M. Nekovee, "Impact of Cognitive Radio on Future Management of Spectrum," in *Proc. IEEE CrownCom 2008*, pp. 1-6, Singapore, May 2008.

[4] Federal Communications Commission(FCC), *Second Memorandum Opinion and Order*, FCC 10-174, Sep. 2010.

[5] Korea Communication Commission(KCC), "The Study of TVWS Utilization and Service Activation," *KCC Technical Report*, Dec. 2011.

[6] G. E. Obregon and J. Zander, "Short range white space utilization in broadcast systems for indoor environments," in *Proc. IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum*, pp. 1-6, Singapore, Apr. 2010.

[7] Federal Communications Commission(FCC), *Third Memorandum Opinion and Order*, FCC 12-36, Apr. 2012.

[8] Korea Communication Commission(KCC), "The Revision some of The Radio Equipment Rules(Draft)," Jan. 2012, www.kcc.go.kr

[9] ITU-R, *Method for point-to-area prediction for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz*, ITU-R P.1546-3, Dec. 2007.

[10] COST 231, *Urban transmission loss models for mobile radio in the 900-and 1,800 MHz bands (Revision 2)*, COST 231 TD(90)119 Rev. 2, Sep. 1991.

[11] J. Deloziere, A. Toury, and M. L. Devendec, "SEAMCAT User Manual," *ERO*, Feb. 2004.

윤 덕 원 (Deok-won Yun)



2011년 8월 호서대학교 정보통신공학과 학사 졸업
 2012년 9월~현재 송실대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> TVWS, 스마트그리드, 전파전파

장 형 민 (Hyung-min Chang)



2005년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 학사 졸업
2007년 2월 숭실대학교 정보
통신공학과 석사 졸업
2007년 3월~현재 숭실대학교
정보통신공학과 박사과정
<관심분야> TVWS, M2M, 스

마트그리드

이 원 철 (Won-cheol Lee)



1986년 2월 서강대학교 전자
공학과 (공학사)
1988년 2월 연세대학교 전자
공학과 (공학석사)
1994년 5월 Polytechnic
Institute of New
York University (공학박사)

2009년 3월~2013년 2월 숭실대학교 산학협력단
단장

2013년 1월~현재 방송통신위원회 TVWS 운용작업
반 위원장

1995년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
교수

<관심분야> Cognitive Radio, Software Define
Radio, TVWS, 이동통신시스템, 적응 빔형성 기법,
디지털 필터