

실내 M2M 서비스를 위한 TVWS 전파 환경 분석

Analysis TVWS Propagation Environment for Indoor M2M Service

윤 덕 원 · 장 형 민 · 이 원 철*

Deok-Won Yun · Hyung-Min Chang · Won-Cheol Lee*

요 약

본 논문은 건물 내 환경에서 기존의 ISM(Industrial Scientific and Medical) 대역과 TVWS(TV White Space) 대역의 전파 특성을 이론 및 실험을 통하여 비교 분석하고, TVWS의 우수한 전파 특성을 확인한다. 이를 위하여 빌딩 전파 환경에서 503 MHz와 2.4 GHz의 중심 주파수를 갖는 전파 신호를 발생시켜 위치에 따른 수신 전력 강도를 측정하고, 측정된 경로 손실을 확인한다. 여기서 이론적 경로 손실을 계산하기 위하여 Hata, Extended Hata, Extended Hata(SRD), ITU-R P.1238 모델을 이용하였고, 측정된 경로 손실 값과의 비교 분석을 통하여 실내 환경에서 채널 모델의 신뢰성 정도를 분석한다.

Abstract

In this paper, the propagation characteristics for ISM(Industrial Scientific and Medical) and TVWS(TV White Space) in indoor building environment are analyzed in comparison with theoretical and experimental results, the excellent propagation characteristics of the TVWS is confirmed. To this end, signals which have center frequencies of 503 MHz and 2.4 GHz are generated in building propagation environment. Through that, received power strength is measured according to the location and measured path loss is analyzed. Theoretical path loss is calculated using Hata, Extended Hata, Extended Hata SRD, ITU-R P.1238 and reliability for channel model in indoor environment is analyzed.

Key words : TVWS(TV White Space), ISM(Industrial Scientific and Medical), Path Loss, Extended Hata SRD, ITU-R P.1238

I. 서 론

일반적으로 건물 내에서 M2M(Machine to Machine) 통신을 지원하기 위해서는 ISM(Industrial Science Medical) 대역을 이용하였지만, 최근 ISM 대역의 포화로 인해 M2M 통신에서의 QoS를 만족시키기가 어려워지고 있다^[1]. 이에 따라 현재 전 세계적으로 지상파 DTV 방송 서비스로의 전환 과정에서 새롭게 생성되는 TVWS(TV White Space) 대역에 대한 선진

국을 중심으로 활용 방안에 대한 관심이 증가하고 있으며, 방송통신위원회에서는 2013년 디지털 방송 서비스 전환으로 인해 생성되는 TVWS 대역에 대한 서비스 활용 방안을 검토하여 이에 대한 관련 정책 추진을 밝힌 바 있다. 최근에는 기존 할당 주파수의 회수 및 재배치 등을 통해 2020년까지 최대 650 MHz에 해당하는 신규 주파수 확보 마련을 위한 모바일 광개도 플랜을 발표한 상태이다^[2].

TVWS 주파수 대역의 전파 특성은 저대역으로

「본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업과 지식경제부/한국산업기술평가원의 IT 연구개발 프로그램 [10041864, 스펙트럼 자원 효율성 극대화를 통한 스마트 홈네트워크용 다중대역 WPAN 시스템 개발]의 연구결과로 수행되었음.」

송실대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Soongsil University)

*송실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronics Engineering, Soongsil University)

· Manuscript received June 5, 2013 ; Revised June 14, 2013 ; Accepted July 5, 2013. (ID No. 20130605-04S)

· Corresponding Author : Won-Cheol Lee (e-mail : wlee@ssu.ac.kr)

써 고주파 대역에 비하여 전파 도달거리가 넓고 건물 등에 대한 투과율이 뛰어나다. 따라서 소규모 통신망 구축 시 기존 WiFi보다 서비스 지역 커버리지가 확장되고, 지하 및 건물 내부까지 잘 전달되어 저렴한 비용으로 보다 넓은 지역 커버리지 확보 및 서비스가 가능하다^[3].

본 논문은 TVWS 전파 특성에 대해 실험적으로 확인하기 위하여 일반적인 건물 내 환경에서 각각 TVWS와 ISM 대역의 신호에 대하여 거리, 벽 투과에 따른 수신 전력 강도 및 경로 손실 값을 비교하는 과정을 수행하였다. 또한, 이론적인 경로 손실 값 확인을 통해 측정된 경로 손실 및 신뢰성을 분석하기 위하여 Hata, Extended Hata, Extended Hata SRD, ITU-R P.1238-7 채널 모델을 이용한다^{[4]~[7]}.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 서론에서는 TVWS와 ISM 대역 주파수 특성을 측정할 수 있는 신호 측정 시스템 구성을 소개하고, 본문에서는 실내환경에서 수신 전력 강도를 측정하고, 채널 모델을 이용하여 경로 손실 값을 비교하였으며, 마지막으로 결론에서는 전체 검토 결과를 정리하였다.

II. 본 론

2-1 수신 전력 측정 시스템 구성도

그림 1은 수신 전력 측정을 위해 구성된 시스템의 구성도로서 크게 송신부와 수신부로 구성된다. 송신부는 Single-Tone 신호 기반의 중심 주파수가 TVWS와 ISM 대역의 신호를 발생시킬 수 있는 신호 발생기(Agilent E4432B)와 신호 발생기의 부족한 최대 전력을 보충하기 위하여 RF 증폭기(Mini-Circuits ZFL-2500+)를 사용하였다. 그리고 무선통신을 위하여 TVWS 대역에서 사용된 안테나는 6 dBi의 최대 이득을 갖는 지향성 안테나(LP410S)를 사용하였으며, ISM 대역에서는 3 dBi의 이득을 갖는 다이폴 안테나(DATA-3G01R)를 사용하였다. 또한, 송신 전력은 FCC에서 규정한 인접대역의 개인/휴대용 기기 기준인 16 dBm(40 mW)으로 설정하였다. 수신부는 스펙트럼 분석기(Agilent N9340B)를 이용하여 수신 전력을 측정하였다.

표 1은 수신 전력 측정 시스템 구성 파라미터들의 파라미터 설정치를 나타내고 있다.

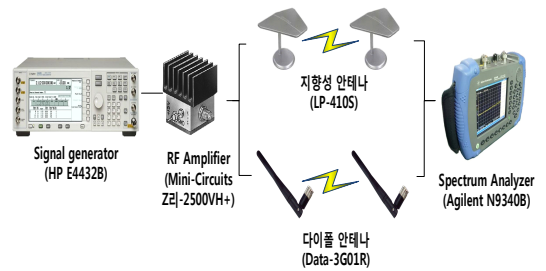


그림 1. 수신 전력 측정 시스템 구성도

Fig. 1. The received power measurement system configuration.

표 1. 수신 전력 측정 실험 파라미터

Table 1. The received power measurement parameter.

제품명	파라미터	
ZFL-2500VH+	TVWS	25.45 dB
	ISM	25.35 dB
LP-410S	이득	6 dBi
DATA-3G01R	이득	3 dBi
Agilent N9640B	Resolution bandwidth	100 kHz
	Video bandwidth	100 kHz

2-2 수신 전력 측정 시나리오

본 실험은 일반 건물 내 전파 환경에서 TVWS와 ISM 대역의 중심 주파수를 갖는 전파신호를 발생시켜 특정 위치에서의 두 신호의 수신 전력 강도를 측정한다.

그림 2는 서울 상도동에 위치한 숭실대학교 형남공학관 건물 10~12층을 나타내고 있다. 형남공학관 건물은 15층 건물로서 전체적인 건물 재질은 철근 콘크리트 구조이고, 건물의 엘리베이터 앞쪽은 유리로 되어 있다. 또한, 건물 각 층 천장의 재질은 석고 판넬이다. 중앙 복도를 기준으로 좌우 서로 다른 크기의 방들이 배치되어 있으며, 각 층의 양쪽 끝으로 아래층과 위층으로 통하는 계단이 있다. 각 층의 복도는 일직선상으로 되어 있으며, 형남공학관 건물 내에서의 채널 측정 실험 환경은 송수신 안테나를 같은 층에 둔 실험 환경, 송수신 안테나를 각기 다른 층에 둔 층 사이 실험 환경으로 구분하여 실시한다.

2-2-1 같은 층에서의 전파 실험

같은 층 실험에서는 그림 2의 12층에서 송신 안테

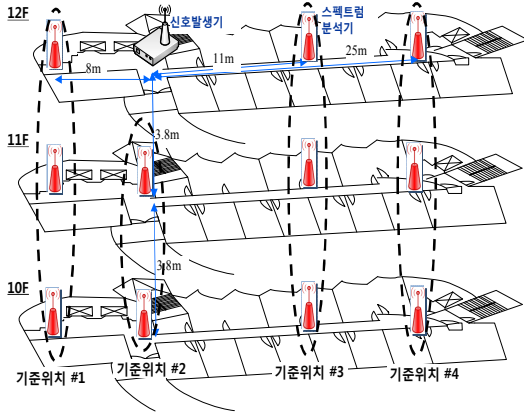


그림 2. TVWS 및 ISM 대역의 전파 특성 분석을 위한 실험 시나리오
 Fig. 2. Experimental scenario for the propagation characteristics analysis of the TVWS and ISM band.

나를 기준 위치 #2에 위치시키고, 수신 안테나는 각각 8 m, 11 m, 25 m 위치하였다. 그리고 TVWS 대역에서는 6 dBi의 이득을 갖는 지향성 안테나를 사용하였으며, ISM 대역 측정 시 3 dBi의 이득을 갖는 다이폴 안테나를 사용하였다. TVWS 대역 수신 전력 측정 시 지향성 안테나는 수신 안테나를 향하게 해서 실험한다.

2-2-2 층 사이의 전파 실험

그림 2는 같은 층 전파 실험을 포함한 층 사이 전파 실험 환경을 보이고 있다. 층 사이의 실험 환경에서 송신 안테나는 12층 기준 위치 #2에 위치에 고정하고, 수신안테나는 각각 11층(3.8 m), 10(7.6 m)층 기준 위치 #1에서 #4까지 12층과 동일한 위치에서

표 2. 각 측정 위치까지의 거리 및 LOS 여부
 Table 2. Measure the distance of each location and LOS.

	위치 #1		위치 #2		위치 #3		위치 #4	
	거리	LOS 여부	거리	LOS 여부	거리	LOS 여부	거리	LOS 여부
12층	8 m	LOS	전파방사		11 m	LOS	25 m	LOS
11층	8.9 m	NLOS	3.8 m	NLOS	11.6 m	NLOS	25.3 m	NLOS
10층	11.2 m	NLOS	7.6 m	NLOS	13.4 m	NLOS	26.1 m	NLOS

표 3. TVWS, ISM 대역 평균 수신 전력 강도
 Table 3. The received average power of TVWS and ISM band.

수신 전력(dBm)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4
12층	503 MHz	-16.2	전파방사	-11.4
	2.4 GHz	-31.6	(16 dBm)	-27.8
11층	503 MHz	-33.4	-34.6	-46.1
	2.4 GHz	-52.9	-59.8	-66
10층	503 MHz	-33.9	-45.1	-57.2
	2.4 GHz	-68.6	-68.5	-69.3

수신 안테나를 위치하여 수신 전력을 측정하였으며, TVWS 대역 수신 전력 측정 시 지향성 안테나는 수신 안테나를 향하게 해서 실험한다.

2-3 계측 실험 결과

표 3은 그림 2의 12층 위치#2에서 Single-tone 기반의 TVWS와 ISM 대역 신호를 16 dBm으로 방사하였으며, 각각의 기준 위치에서 측정된 수신 전력 강도에 안테나 이득을 고려한 공정한 상황으로 조정된 수신 전력 강도의 평균을 나타낸다.

표 4는 실험을 통해 측정된 송신 전력(P_T)과 수신 전력(P_R)의 차이를 식 (1)을 통해 계산하였으며, 8번의 실험을 통해 평균 경로 손실 값을 나타낸다.

$$PL = P_T - P_R \tag{1}$$

그림 3은 Single tone 기반의 503 MHz 중심 주파수를 갖는 TVWS 대역 신호의 경로 손실을 비교한 그림이다. 각 층별로 벽에 의한 감쇠의 영향으로 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 기준 위치#1

표 4. TVWS, ISM 대역 평균 경로 손실
 Table 4. Average pathloss of TVWS and ISM band.

경로 손실(dB)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4
12층	503 MHz	32	전파방사	27.4
	2.4 GHz	47.6	(16 dBm)	43.8
11층	503 MHz	49.4	50.6	62.1
	2.4 GHz	68.9	75.8	81.9
10층	503 MHz	49.9	60.1	73.2
	2.4 GHz	84.6	84.5	85.3

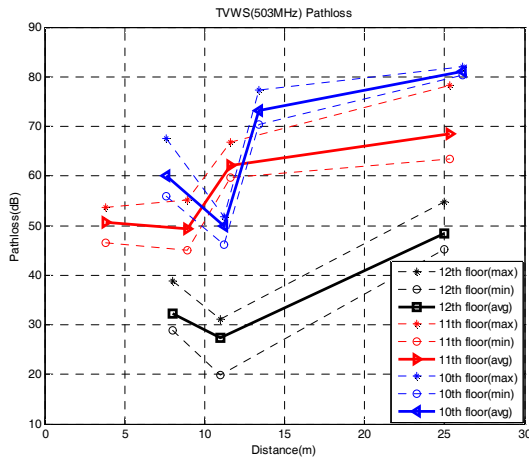


그림 3. 위치에 따른 TVWS 대역 경로 손실 비교
Fig. 3. Compare for TVWS path loss according to the location.

에 해당하는 11층의 9 m 위치와 10층의 11 m 위치는 창문의 영향으로 경로 손실이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 Single tone 기반의 2.4 GHz 중심 주파수를 갖는 ISM 대역 신호의 경로 손실을 비교한 그림이다. 각 층별로 벽에 의한 감쇠의 영향으로 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 11층의 일부 위치와 10층 전체 위치에서는 수신 전력 강도가 잡음마루보다 낮아 정상적인 측정이 불가능하였다. 또한, 기준 위치#1에 해당하는 11층의 9 m 위치는 창문의 영향으로 경로 손실이 감소하는 것을 확인할 수

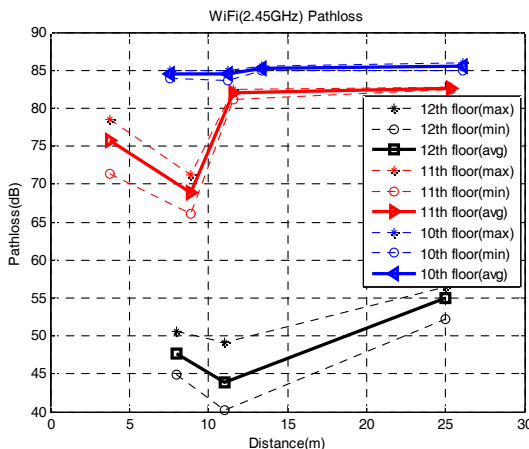


그림 4. 위치에 따른 ISM 대역 경로 손실 비교
Fig. 4. Compare for ISM path loss according to the location.

있다.

2-4 실내 전파 환경 모델

실내 전파 환경은 실외와는 달리 매우 열악하다. 건물의 구조, 재질, 안테나 방향 등에 따라 매우 많은 차이가 있으며, 사람이 움직이거나, 문을 닫거나 하는 움직임에도 매우 민감하게 변화한다.

본 논문에서는 Hata, Extended Hata, Extended Hata SRD, ITU-R P.1238 채널 모델을 통해 이론적인 경로 손실 값을 산출한다.

2-4-1 Okumura 모델 및 Hata 모델

Okumura 모델은 일본 동경과 교외 지역의 다양한 환경에서 육상 이동 무선 서비스의 VHF 대역과 UHF 대역에 전파 실험에 기초한 광범위한 측정 결과이다. 이 모델은 1 kW 유효복사 전력으로 다이폴 안테나에 의한 평균 전계 크기의 그래프와 보정곡선들로 이루어졌기 때문에 사용시마다 송신 전력에 대한 값으로 변환시켜야 하고, 지형과 지역 조건, 그리고 안테나 높이 등과 같은 파라미터에 따라 여러 보정곡선을 이용해서 보정계수 값을 취해야 하는 단점이 있다. 서비스 영역 평가 단계에서는 실용적이긴 하지만 적절한 변수 선정이 요구되는 시스템 계획 단계의 직접 사용은 부적절한 것으로 알려져 있다.

이의 대안으로 Hata는 Okumura의 예측방법을 육상 이동 무선 서비스 시스템에 활용하기 위해 전파 손실에 관한 경험식을 유도하였다. Hata는 경험식의 유도 과정에서 Okumura 모델의 복잡성을 피하기 위해 다음의 세 가지 사항을 가정하였다.

- ① 송수신 안테나 이득이 0 dB인 두 등방성 안테나 사이의 전파 경로 손실을 계산한다.
- ② 지형은 평탄하게 가정한다.
- ③ 도시 지역의 전파 경로 손실을 기본으로 하고, 다른 지역에 대해서는 보정을 행하도록 한다.

Hata의 공식을 사용하기 위해서는 4개의 파라미터인 기지국 안테나 높이 h_t , 이동국 안테나의 높이 h_r , 사용 주파수 f , 그리고 서비스 반경 r 을 필요로 한다. Hata는 도시 지형에 대한 전파 손실을 간단히 $L_p(dB) = A + B \log(r)$ 의 형태로 표현한 다음, Oku-

mura가 측정한 평균 전계 곡선들로부터 거리 r 에 따른 주파수와 안테나 높이의 함수인 A와 B를 계산하고, 위의 4개의 파라미터가 포함된 다음의 전파경로 손실 식을 유도했다.

$$L_p(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82(h_r) - a(h_r) + (44.9 - 6.55\log(h_r))\log(r) \quad (2)$$

여기서 f 의 단위는 MHz이며, r 은 km로 주어진다. $a(h_r)$ 은 dB 단위의 이동국 안테나 높이에 대한 보정인자로서 $h_r=1.5$ m에 대하여 $a(h_r)=0$ dB이다.

대도시에서 사용되는 보정인자 $a(h_r)$ 은 다음과 같다.

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\log(1.54 * h_r))^2 - 1.1 & : f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\log(11.75 * h_r))^2 - 4.97 & : f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (3)$$

Hata의 공식은 주파수 범위 100~1,500 MHz, 거리 1~20 km, 기지국 안테나 높이 30~200 m, 이동국 안테나 높이 1~10 m의 조건에서 UHF와 VHF 대역 육상 이동 무선 서비스를 위한 시스템 설계에 응용이 되고 있으며, 다른 전파 손실 예측 모델과의 비교 대상이 되고 있다.

2-4-2 Extended Hata 모델 및 SRD 모델

본 실험에서 측정되는 ISM 대역을 측정하기에는 Hata 모델을 사용하는데, 주파수 범위에 한계가 있다. 이를 보완하기 위한 모델로서 1,500~2,000 MHz 주파수 대역까지 확장된 Extended Hata 모델은 다음과 같다.

$$L_b = 46.3 + 33.9\log(f) - 13.82\log(h_B) - a(h_r) + (44.9 - 6.55\log(h_r))\log(d) + C_m \quad (4)$$

여기서 보정상수 C_m 은 다음과 같으며, 실험을 위하여 도심 밀집지역의 보정상수를 사용한다.

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB} : \text{중소도시 및 도심 외곽 지역} \\ 3 \text{ dB} : \text{도심 밀집 지역} \end{cases} \quad (5)$$

또한, Extended Hata 모델의 변형된 형태인 Extended Hata SRD(Short Range Device) 모델은 보통 낮은 안테나 높이에서 사용되며, 송신기와 수신기가

같은 빌딩 내 존재할 때 전파모델은 다음과 같다.

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

위 식은 거리가 40 m 미만인 경우 사용되는 경로 손실 식을 나타낸다. 여기서 H_b 와 H_m 은 지면으로부터 송수신기 안테나 높이의 최대, 최소 값을 나타낸다.

$$H_b = \max(h_1, h_2), H_m = \min(h_1, h_2) \quad (7)$$

단, 위 extended hata SRD 모델은 안테나의 높이가 1.5~3 m를 넘어서는 안된다.

2-4-3 ITU-R P.1238 모델

빌딩 내 환경에서 층간 손실 및 거리에 따른 손실을 고려하여 나타낸 수식은 다음과 같다.

$$L_{total} = 20\log_{10}f + N\log_{10}d + L_f(n_f) - 28 \quad (8)$$

여기서 f 는 본 모델에서 사용하는 주파수이고, N 은 실내 환경에서 송수신기 간 전력 손실 계수이다. 또한, d 는 송수신기 간의 거리이며, $L_f(n_f)$ 는 층간 발생하는 손실 값을 의미한다.

2-5 경로 손실 모델을 통한 이론적인 결과

본 실험은 single tone 기반의 중심 주파수가 503 MHz, 2.5 GHz인 전파의 특성을 이론적인 경로 손실 모델을 통하여 알아본다. 또한, 빌딩 내 환경을 대도시로 가정하였으며, 그림 2의 송신기로부터 기준 위치까지 거리 및 송수신기 안테나 높이(0.5 m)를 동일하게 설정하였다.

표 5는 위 파라미터 값을 식 (2)에 적용하여 계산된 이론적인 경로 손실 값을 나타낸다.

표 6은 도심 밀집 지역의 보정상수 C_m 을 3 dB로 설정하였으며, 식 (4)에 적용하여 계산된 경로 손실 값을 나타낸다.

표 7은 기준에 설정된 송수신기 간 거리 및 안테나 높이를 설정하였으며, 식 (6)에 적용하여 계산된 이론적인 경로 손실 값을 나타낸다.

표 8에서는 식 (8)의 이론적인 경로 손실을 계산

표 5. Hata 모델

Table 5. Hata model.

수신 전력(dB)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4	
12층	503 MHz	49.17	전파 방사	55.66	72.37
	2.4 GHz	67.16	(16 dBm)	73.65	90.36
11층	503 MHz	51.35	34.02	56.73	72.61
	2.4 GHz	69.33	52	74.73	90.6
10층	503 MHz	55.66	48.13	59.67	73.25
	2.4 GHz	73.65	66.12	77.66	91.23

표 6. 확장형 Hata 모델

Table 6. Extended Hata model.

수신 전력(dB)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4	
12층	503 MHz	49.79	전파 방사	56.28	73
	2.4 GHz	73	(16 dBm)	79.4	96.2
11층	503 MHz	51.96	34.63	57.36	73.24
	2.4 GHz	75.18	57.84	80.57	96.45
10층	503 MHz	56.28	48.75	60.29	73.87
	2.4 GHz	79.48	71.95	83.5	97.08

표 7. 확장형 Hata SRD 모델

Table 7. Extended Hata SRD 모델.

수신 전력(dB)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4	
12층	503 MHz	44.49	전파 방사	47.26	54.39
	2.4 GHz	58.25	(16 dBm)	61.01	68.14
11층	503 MHz	45.42	38.04	47.72	54.49
	2.4 GHz	59.17	51.79	61.47	68.25
10층	503 MHz	47.26	44.05	48.97	54.76
	2.4 GHz	61.01	57.8	62.73	68.52

표 8. ITU-R P.1238 모델

Table 8. ITU-R P.1238 model.

수신 전력(dB)	위치#1	위치#2	위치#3	위치#4	
12층	503 MHz	53.1	전파 방사	57.3	67.9
	2.4 GHz	66.9	(16 dBm)	71.1	81.7
11층	503 MHz	66.3	54.2	70.2	81.3
	2.4 GHz	85.1	72.9	88.9	100.1
10층	503 MHz	79.5	74.1	82.2	91.8
	2.4 GHz	88.2	82.9	91	100.5

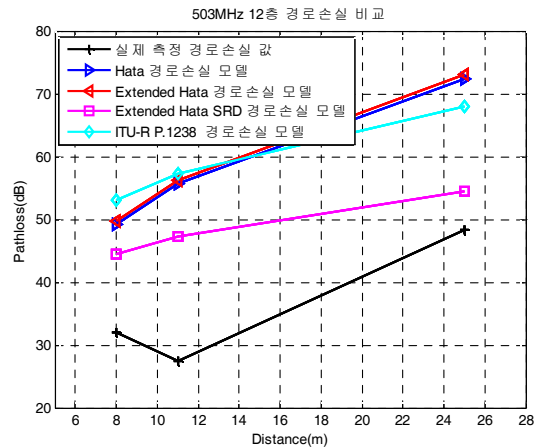


그림 5. 503 MHz 12층 경로 손실 비교

Fig. 5. Compare 503 MHz 12-layer path loss.

하기 위하여 사무실 환경에서의 전력 손실 계수 N 을 30으로 설정하였으며, 층간 손실 값 $L_f(n_f)$ 를 14 dB로 설정하였다^[7].

2-6 예측 및 측정 결과 비교 분석

본 논문에서는 실험을 통해 얻은 경로 손실 값과 이론적인 경로 손실 모델을 통해 얻은 경로 손실 값을 층별로 비교하여 실내 환경에 적합한 채널 모델을 분석한다.

그림 5는 송신기가 위치하고 있는 12층 LOS 환경에서 측정된 경로 손실 값과 이론적인 경로 손실 값을 비교하였다. 비교 결과, Hata 모델 및 Extended Hata 모델 그리고 ITU-R P.1238 모델을 통해 계산된 이론적인 경로 손실 값과 실측 결과 값과의 차이가 대략 10~20 dB 정도 차이가 나타난다. 반면, Extended Hata SRD 모델은 실측값과 대략 5~10 dB의 차이가 남을 확인하였다.

그림 6과 7은 8.9 m와 25.3 m에서 Hata, Extended Hata 모델을 통해 나타난 경로 손실 값과 실제 측정치와 대략 2~8 dB의 가장 근접한 결과를 나타냈다. 그러나 경로 손실 모델을 통해 이론적인 계산을 할 때 실내 전파 환경을 정확히 반영하지 않아 실제 측정치와 정확히 일치하는 형태의 그래프를 확인하기 어려웠다. 또한, 기준 위치 #1과 #2 위치는 창문의 영향으로 이론적인 결과 값과 실측 값 간의 차이가 나타남을 그래프를 통해 알 수 있다.

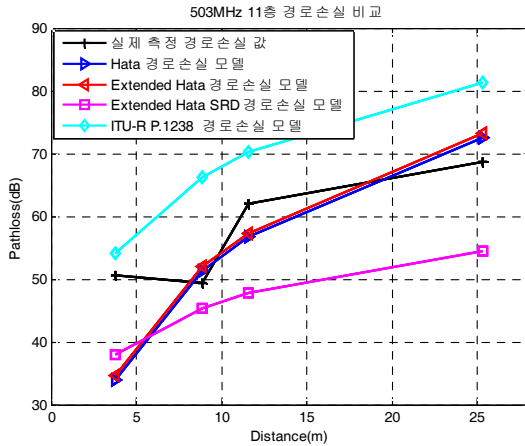


그림 6. 503 MHz 11층 경로 손실 비교
Fig. 6. Compare 503 MHz 11-layer path loss.

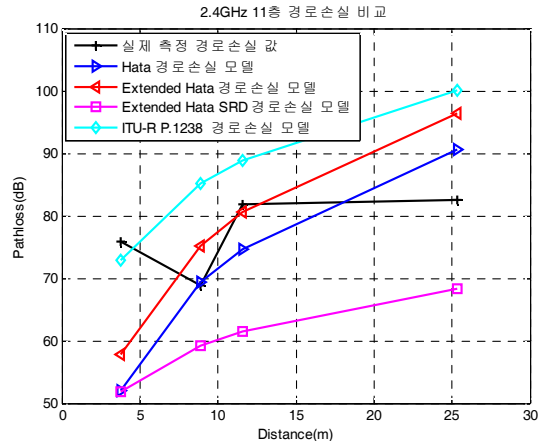


그림 9. 2.4 GHz 11층 경로 손실 비교
Fig. 9. Compare 2.4 GHz 11-layer path loss.

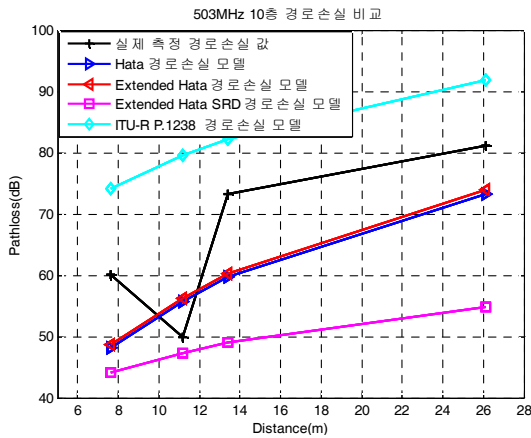


그림 7. 503 MHz 10층 경로 손실 비교
Fig. 7. Compare 503 MHz 10-layer loss.

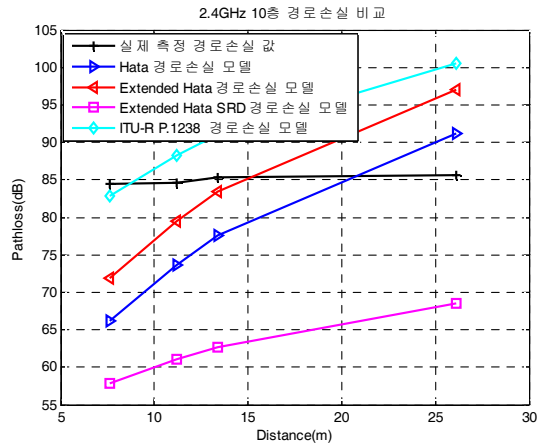


그림 10. 2.4 GHz 10층 경로 손실 비교
Fig. 10. Compare 2.4 GHz 10-layer path loss.

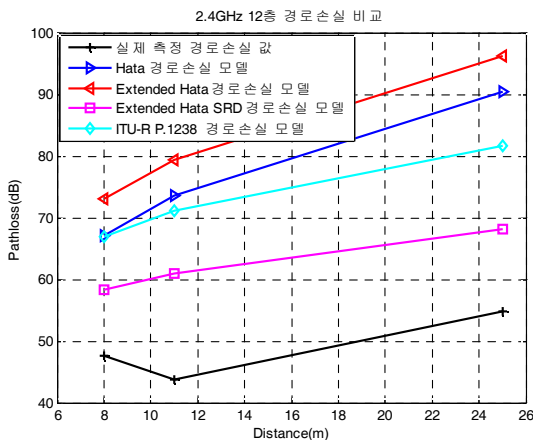


그림 8. 2.4 GHz 12층 경로 손실 비교
Fig. 8. Compare 2.4 GHz 12-layer path loss.

그림 8은 TVWS 대역의 전파 환경 측정과 동일하게 실시하였으며, 실제 측정된 경로 손실 값과 비교 시 Extended Hata SRD 모델을 통해 얻은 이론적인 계산값과 대략 10~15 dB의 차이를 나타냈다.

그림 9는 8.9 m, 11.6 m, 25.3 m 위치에서 Hata 모델을 통해 나타난 경로 손실 값과 실제 측정치와 대략 1~4 dB의 차이를 나타냈다.

그림 10은 Single tone 기반의 중심 주파수가 2.4 GHz인 신호를 12층에서 발생하였을 때, -75 dBm의 잡음마루로 인해 10층 도달되는 전파를 스펙트럼 분석기 상에서 측정하기 어려운 관계로 경로 손실 모델과 비교가 어렵다.

위 경로 손실 모델에 따라 계산하여 보면 주변 환경에 따라 다른 주파수에 있어서 파장이 긴 503 MHz의 경우가 경로 손실이 적음을 알 수 있다. 이는 파장이 상대적으로 긴 503 MHz의 경우가 전반적으로 파장이 짧은 2.45 GHz보다 투과가 더 잘 되는 것을 알 수 있다. 또한, 이론적인 계산 결과, 건물 내 복잡한 전파 환경을 정확히 고려하지 못하기 때문에 기준 위치 #1과 #2에서의 차이가 많이 나타남을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 빌딩 내 환경에서 기존에 많이 사용되는 ISM 대역과 TVWS 대역의 전파전파 특성을 실제 건물 내에서 계측 실험을 통하여 TVWS의 우수성을 확인할 수 있었으며, 건물 내에서 TVWS 대역을 이용하여 서비스를 제공하는 경우 ISM 대역에 비하여 적은 수의 액세스 포인트(AP)로도 더 넓은 지역을 커버할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, Hata, Extended Hata, Extended Hata SRD, ITU-R P.1238 모델을 이용한 이론적인 경로 손실 값과 계측 실험을 통해 나타난 경로 손실 값을 비교한 결과, 12층 LOS 환경에서는 Extended Hata SRD 모델과 11층, 10층 NLOS 환경에서는 평균적으로 Hata 모델이 다른 모델에 비하여 가장 근접한 값을 가짐을 확인하였다.

References

- [1] J. Park, S. Park, D. Kim, P. Cho, and K. Cho, "Experiments on radio interference between wireless LAN and other radio devices on a 2.4 GHz ISM band", *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, 2003.
- [2] 이상윤, "주파수 공유기술 및 TVWS 정책동향", *방송통신정책, KISDI*, 22(14), pp. 24-44, 2010년 8월.
- [3] 이원철, 최주평, "TV White Space 활용을 위한 Geolocation DB 기술", *한국통신학회지*, 30(1), pp. 47-57, 2013년 11월.
- [4] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile service", *Review of the Electrical Communication Laboratory*, vol. 16, no. 9-10, pp. 825-873, 1968.
- [5] 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, The Hague, The Netherlands, Sep. 1991.
- [6] <http://tractool.seamcat.org/wiki/Manual/PropagationModels/ExtendedHata>
- [7] ITU-R P.1238-7, "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication system and the radio local area network in the frequency range 900 MHz to 100 GHz", Feb. 2012.

윤 덕 원



2011년 8월: 호서대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2012년 9월~현재: 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] TVWS, 스마트 그리드, 전파전파

장 형 민



2005년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
 2007년 2월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] M2M, TVWS, 스마트 그리드

이 원 철



1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1994년 5월: Polytechnic Institute of New York University (공학박사)

2009년 3월~2013년 2월: 숭실대학교 산학협력단 단장

교 산학협력단 단장

2010년 2월~현재: 방송통신위원회 TV 유희대역 정책연구반 연구반장

2011년 4월~현재: 방송통신위원회 TV 유희대역 정책연구반 DB 분과 분과장

2012년 6월~현재: 방송통신위원회 TVWS 기술기준검증위원회 위원장

2013년 1월~현재: 방송통신위원회 TVWS 운용작업반 위원장

1995년 9월~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
[주 관심분야] Cognitive Radio, Software Define Radio, TV-WS, 이동통신시스템, 적응 빔형성 기법, 디지털 필터