

국내 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 분석

황석현*¹, 이영환**¹, 임선민*², 박승근**²

Domestic 5GHz Band Wi-Fi Indoor/Outdoor Penetration Loss Analysis

Seok-Hyun Hwang*¹, Young-Hwan Lee**¹, Sun-Min Lim*², and Seung-Keun Park**²

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임
(2019-0-00964, 스펙트럼 쉐어링을 통한 기존 무선국 보호 및 주파수 공유기술 개발)

요약

지속적으로 늘어나는 데이터 디바이스 및 트래픽에 따라 6GHz 비면허 대역의 효율적인 Wi-Fi 사용을 위하여, 국내형 6GHz 대역 주파수 공유채널 접속시스템을 개발 중이다. 현재 국내엔 6GHz 대역 AP들이 일부 설치되어 있지만, Wi-Fi 신호의 투과 손실 값 등의 특징을 도출하기엔 부족하다. 그래서 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 값을 측정하고 분석하여 추후 6GHz 대역으로 확장한다. 전국에 걸쳐 총 82,726개의 5GHz 대역 AP를 측정하였으며, 측정 데이터들을 분석한 결과 5GHz 대역 Wi-Fi 신호의 실내외 투과 손실 값은 6dB(CDF 0.1에서 값)로 도출하였다.

Abstract

In order to efficiently use Wi-Fi in the 6GHz unlicensed band according to the ever-increasing number of data devices and traffic, a domestic 6GHz band frequency sharing channel access system is being developed. Currently, some 6GHz band APs are installed in Korea, but it is insufficient to derive characteristics such as penetration loss values of Wi-Fi signals. Therefore, the indoor/outdoor penetration loss value of Wi-Fi in the 5GHz band is measured and analyzed and expanded to the 6GHz band later. A total of 82,726 5 GHz band APs were measured across the country, and as a result of analyzing the measured data, the indoor/outdoor penetration loss value of the 5 GHz band Wi-Fi signal was derived as 6 dB(at CDF 0.1).

Keywords

frequency sharing, Wi-Fi penetration loss, cognitive radio, software defined radio

* 한국정보통신산업연구원(*¹ 교신저자)

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-3582-8591>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0009-5023-6816>

** 한국전자통신연구원

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0002-2310-3056>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-4956-8775>

• Received: Dec. 11, 2023, Revised: Dec. 22, 2023, Accepted: Dec. 25, 2023

• Corresponding Author: Seok-Hyun Hwang

80, Haryul-ro 12 beon-gil, Jangan-gu, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Tel.: +82-31-231-3452, Email: hsh@kici.re.kr

I. 서 론

코로나-19 이후 세계적으로 디지털 전환(Digital transformation)이 시작되면서 모바일 디바이스 및 트래픽은 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 기존 5GHz 이하의 비면허 대역은 포화상태로 추가 주파수 확보의 필요성이 대두되고 있어 주파수 공유 및 효율적인 주파수 이용에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[1]. IEEE 802.11ax, 802.11be 등 상용화가 시작되고 있는 무선랜 표준부터 앞으로 나올 차세대 표준에 발맞춰 우리나라 정부는 6GHz 대역을 비면허 대역으로 활용하도록 실내이용과 기기 간 연결에 대한 기술기준을 마련하였으며, 국내형 AFC(Automated Frequency Coordination) 도입을 통해 이용 범위를 실외로 확대하는 방안을 준비하고 있다[2]-[4].

국내 상황에 맞는 6GHz 대역 주파수 공유채널 접속시스템 개발을 위해선 6GHz 대역에 존재하는 여러 신호들의 자료가 필요한데 현재 국내엔 6GHz 대역 Wi-Fi 인프라가 부족하여, 신뢰도 있는 Wi-Fi 신호 수집이 힘든 상황이다. 그래서 본 논문에서는 우선 5GHz 대역의 Wi-Fi 실내외 투과 손실 값을 측정하여 측정 방법과 결과를 확보하고, 추후엔 이를 참고하여 6GHz 대역으로 범위를 확장할 예정이다[5].

본 논문에서는 인구로 구분된 도심지역 25곳 및 비도심지역 25곳의 여러 건물들에 실제 설치된 5GHz 대역 AP들의 Wi-Fi 신호를 측정하고 분석하였다. 도심지역에서 49,705개, 비도심지역에서 33,021개의 AP를 측정하였으며, 전국에 걸쳐 총 82,726개의 AP를 측정하였다.

II. 측정 방법 및 측정 지역

2.1 측정 방법

국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)에서 전파의 투과 손실을 정의할 때 건물 재료 및 구조, 건물 재료별 비유전율 및 전도율을 고려한다[6]. 주파수 공유 및 호환성 관점에서 건물 투과 손실을 고려할 때 주파수 대역, 건물 중

류(열효율 건물과 일반 건물), 전파 경로와 건물 전면의 각도를 고려한다[7]. 실제 이를 바탕으로 여러 나라에서 측정한 데이터들이 있지만[8], 각 나라마다 일부 건물에서 측정한 데이터들의 결과라 실제 환경에 적용하기 적합한지 알 수 없다. 그래서 본 논문에서는 실제 환경을 바탕으로 한 데이터 산출을 위하여, 전국 여러 도시에서 약 500개 건물에서 실제 측정을 실시하고, 5GHz 대역 Wi-Fi 신호의 실내외 투과손실 값을 산출하였다. Android기반 스마트폰과 WiFi Analyzer(VREM Software Development社) 애플리케이션을 활용하여 측정하였다. WiFi Analyzer는 Android 기반 스마트폰에서 사용할 수 있는 가장 신뢰도 높은 오픈소스 Wi-Fi 분석앱이며, HT/VHT(High Throughput/Very High Throughput)를 감지하여 채널 대역폭 등을 알 수 있고, 802.11a/b/g/n/ac/ax 표준 구분 등 여러 Wi-Fi 관련된 정보들을 수집할 수 있다.

[8]에 나오는 주파수 공유 및 효율성 관점에서 전파의 건물 투과 손실을 고려할 때 사용되는 파라미터를 모두 고려하고, 많은 데이터를 수집하여 실제 환경을 파악하기엔 현실적으로 제약이 커서, 본 논문에서는 매우 많은 수의 데이터(25,000번의 측정)를 확보해서 평균하는 것으로 그것을 대체하기로 한다. 따라서, 건물 재질 및 구조, 안테나와 AP의 방향, AP 사양 등은 고려하지 않으며, 실제 환경에서 많은 수의 데이터 확보를 목적으로 한다. 그리고 외장 안테나는 따로 사용하지 않았으며, Android OS 11+의 운영체제가 설치되어 있는 스마트폰 내장 안테나로만 측정하였다.

그림 1과 같이 건물에서 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 값을 측정하는 방법은 다음과 같다. 한 건물당 실내 측정지점 다섯 곳(파란 원), 실외 측정지점 다섯 곳(빨간 별)을 선정하여, 실내외를 구분하는 벽을 기준으로 1m 거리에서 벽을 바라보고 측정한다. 한 건물 기준 측정지점마다 5회씩 총 50회(실내 25회, 실외 25회) 측정하였다. 만약 한 건물에서 물리적으로 다섯 곳의 측정지점 선정이 불가능할 시 그림 2와 같이 바로 옆 건물에서 연속적으로 측정하여, 다수의 건물을 하나의 측정 대상으로 묶었다.



그림 1. 한 건물에서 실내외 투과 손실 측정 환경
 Fig. 1. Measurement environment of indoor/outdoor penetration loss in a building

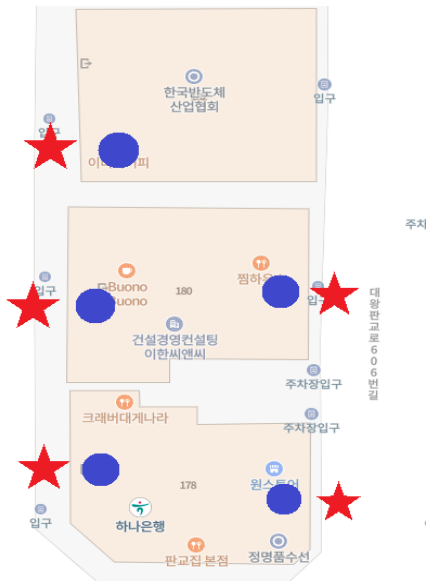


그림 2. 여러 건물에서 실내외 투과 손실 측정 환경
 Fig. 2. Measurement environment of indoor/outdoor penetration loss in several building

2.2 측정 지역

측정 지역은 도심지역과 비도심 지역으로 나누었다. 도심지역은 서울 내에서도 유동 인구가 특히 많은 강남역, 삼성역 등과 경기도 주요 도시 및 광역시 변화가로 선정하였고, 비도심 지역은 인구 50만 이하의 도시로 선정하였다. 비도심 지역에 비해 도심지역은 상대적으로 건물이나 인구수로 인해 지역의 복잡도가 높고, 유동 인구가 많음에 따라 AP 숫자가 많을 것으로 예상되어 구분하여 측정하였다.

그림 3과 같이 측정 지역에서 측정 대상 건물은 건물 간 거리 이격이 100m 이상 가지도록 고려하여 건물 간 AP들의 간섭이 없도록 선정하였다. 비도심 지역의 어떤 지역은 AP 밀집도가 낮아 한 지역 내 측정이 힘든 경우 50m 이상의 거리를 고려하여 측정 건물을 선정하였다. 그리고 측정 지역마다 10개의 측정 건물을 선정하였고, 건물마다 실내 25회, 실외 25회의 50회를 측정하여 각 측정 지역마다 총 500회를 측정하였다.

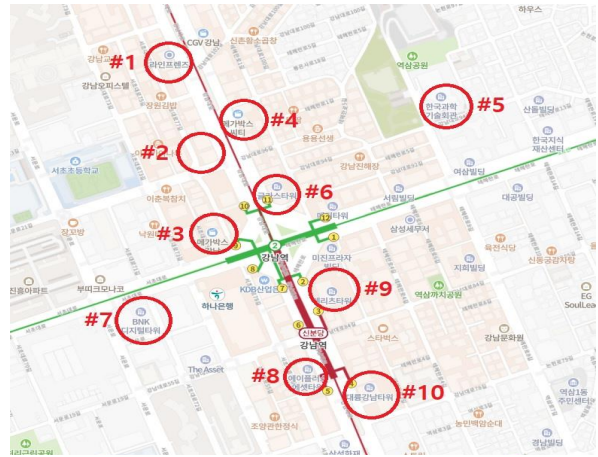


그림 3. 도심지역(강남역) 측정건물 선정 예시
 Fig. 3. Example of selecting a measurement building in an urban

2.3 도심지역

도심지역의 경우는 서울과 경기도 주요 도시 및 광역시에서 인구 밀집도가 높은 곳으로, 서울(여의도역, 삼성역, 강남역, 사당역, 남부터미널역, 용산역, 광화문역, 서울역), 수원(수원역, 수원시청역), 안양(범계역), 성남(판교역), 안산(중양역), 부천(부천역), 고양(정발산역), 부산(서면역, 센텀시티역), 인천(부평역, 주안역), 대구(반월당역, MBC 네거리 일대), 대전(중양로역, 정부청사역), 광주(상무역), 울산(삼산동 일대) 등 총 25개 지역에서 측정하였다.

2.4 비도심지역

비도심지역 측정은 경기(파주시, 김포시, 의정부시, 광주시, 하남시, 광명시, 군포시, 양주시, 오산시, 안성시, 구리시, 의왕시, 동두천시, 과천시), 충청(논

산시, 계룡시, 공주시, 세종시), 전라(익산시, 김제시, 군산시, 전주시), 경상(구미시, 경산시), 강원(춘천시) 총 25개의 지역에서 측정하였다.

표 1. 도심지역 측정도시
Table 1. Measurement city of the urban

Num.	City of the urban	
1	Seoul	Yeouido station
2		Samsung station
3		Gangnam station
4		Sadang station
5		Nambu terminal station
6		Yongsan station
7		Gwanghwamun station
8		Seoul station
9	Suwon	Suwon station
10		Suwon city hall station
11	Anyang	Beomgye station
12	Seongnam	Pangyo station
13	Ansan	Jungang station
14	Bucheon	Bucheon station
15	Goyang	Jeongbalsan station
16	Busan	Seomyeon station
17		Centum city station
18	Incheon	Bupyeong station
19		Juan station
20	Daegu	Banwoldang station
21		Around MBC intersection
22	Daejeon	Jungang-ro station
23		Government complex station
24	Gwangju	Sangmu station
25	Ulsan	Around Samsan-dong

표 2. 비도심지역 측정도시
Table 2. Measurement city of the non-urban

Num.	City of the non-urban	
1	Gyeonggi	Paju
2		Gimpo
3		Uijeongbu
4		Gwangju
5		Hanam
6	Gyeonggi	Gwangmyeong
7		Gunpo
8		Yangju
9		Osan
10		Anseong
11		Guri
12		Uiwang
13		Dongducheon
14		Gwacheon

15	Chungcheong	Nonsan
16		Gyeryong
17		Gongju
18		Sejong
19	Jeolla	Iksan
20		Gimje
21		Gunsan
22		Jeonju
23	Gyeongsang	Gumi
24		Gyeongsan
25	Gangwon	Chuncheon

III. 5GHz 대역 실내외 투과 손실 측정 결과

5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 측정은 도심과 비도심 각 250개 건물에서 실시하여, 도심지역 12,500개, 비도심 지역 12,500개 총 25,000개의 신호를 수집하였다.

3.1 도심지역 측정 결과

그림 4와 같이 도심지역에선 총 49,705개의 AP가 측정되었다. 실내에서만 7,244개의 AP가 측정되었고, 실외에서만 측정되는 AP는 18,287개, 실내외 양쪽에서 측정되는 AP는 24,174개였다. 본 논문에서는 AP 중 동일 MAC Address를 갖는 AP의 실내외 신호 세기 차이를 실내외 투과 손실로 정의하고, 실내외 투과 손실 분석은 실내외 모두에서 측정되는 24,174개의 AP에 대해 실시하였다.

그림 5는 실내외 투과 손실 값들을 히스토그램으로 그렸다. 히스토그램을 보면 알 수 있듯이 도심지역의 실내외 투과 손실 값은 중앙값 22dB 근처에 많이 분포한다.

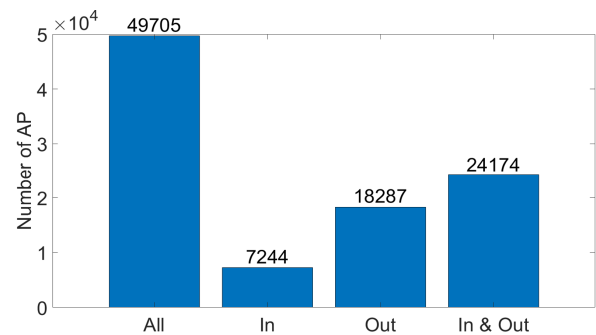


그림 4. 도심지역 AP 개수
Fig. 4. Number of APs in urban

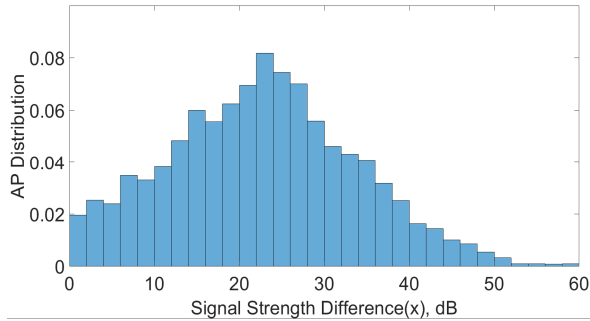


그림 5. 도심지역 실내외 투과 손실 히스토그램

Fig. 5. Histogram of indoor/outdoor penetration loss in urban

그림 6은 도심지역의 실내외 투과 손실 값을 정확히 파악하기 위하여 CDF를 그리고, 건물 투과 손실 CDF가 0.1이 되는 지점과 0.5가 되는 지점을 표시했다. 0.1이 되는 지점의 실내외 투과 손실 값은 6.1dB, 0.5가 되는 지점의 실내외 투과 손실 값은 21.3dB 정도이다.

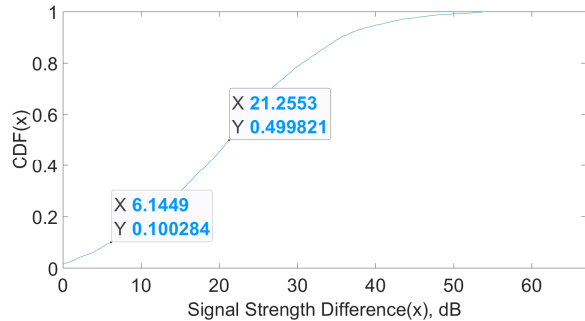


그림 6. 도심지역 실내외 투과 손실 CDF

Fig. 6. CDF of indoor/outdoor penetration loss in urban

3.2 비도심지역 측정 결과

그림 7과 같이 비도심지역에선 도심지역보다 적은 33,021개의 AP가 측정되었다. 도심지역과 마찬가지로 실내외 투과 손실 분석은 실내외 모두에서 측정되는 17,354개의 AP를 대상으로 실시하였다.

그림 8은 비도심지역 실내외 투과 손실의 히스토그램을 나타낸 것으로, 중심값이 22dB 근처에 분포함으로써 도심지역과 유사한 형태로 나타났다.

그림 9는 비도심 지역 실내외 투과 손실에 대한 CDF로 0.1이 되는 지점과 0.5가 되는 지점을 살펴봤다. CDF가 0.1인 경우 실내외 투과 손실 값은 5.6dB, CDF가 0.5인 경우의 실내외 투과 손실 값은 21.1dB 수준으로 나타났다.

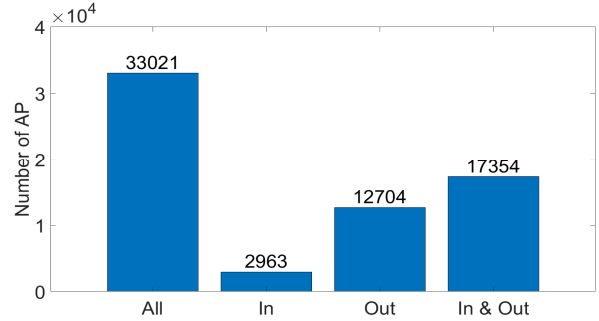


그림 7. 비도심지역 AP 개수

Fig. 7. Number of APs in non-urban

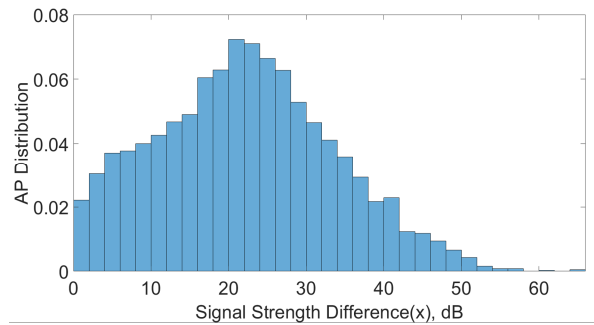


그림 8. 비도심지역 실내외 투과 손실 히스토그램

Fig. 8. Histogram of indoor/outdoor penetration loss in non-urban

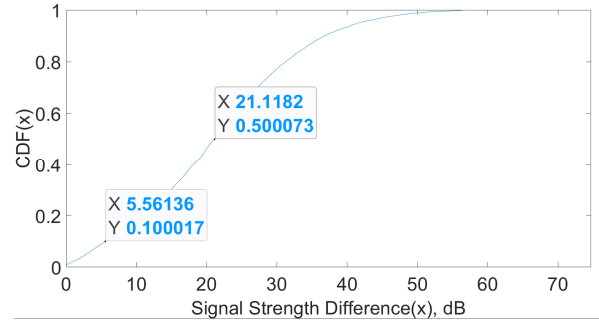


그림 9. 비도심지역 실내외 투과 손실 CDF

Fig. 9. CDF of indoor/outdoor penetration loss in non-urban

3.3 도심/비도심 측정 종합 결과

ITU 문서를 참고해서 측정을 설계하는 단계에서 유동 인구에 따라 나뉜 도심지역과 비도심 지역이 건물 밀집도나 AP 사용 인구에 따라 유의미한 실내외 투과 손실 차이를 보일 것으로 예상했으나, 실제 사용되는 AP의 도심지역 및 비도심 지역 측정을 통해 도심지역과 비도심 지역 구분 없이 비슷한 수준의 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 결과를 확인하였다.

그래서 국내 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 결과는 도심지역과 비도심 지역을 합쳐서 계산하고, 국내 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 CDF 결과를 도출한다.

그림 10은 도심지역과 비도심지역의 AP를 모두 종합하여 국내 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 값을 평균한 결과 CDF다. CDF가 0.1인 경우 실내외 투과 손실 값은 6dB 수준으로 나타났고, 0.5인 경우는 21.5dB 수준으로 나타났다.

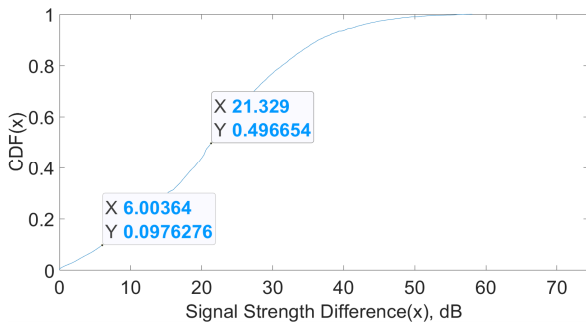


그림 10. 도심/비도심 지역 실내외 투과 손실 CDF
Fig. 10. CDF of indoor/outdoor penetration loss in urban and non-urban

IV. 결 론

디지털 전환이 시작되면서 모바일 디바이스 및 트래픽은 지속적으로 증가하여, 추가적인 주파수 수요를 야기시켰다. 이를 해결하기 위하여 더 효율적인 주파수 이용 및 추가 주파수 공급이 필수적으로 요구되고 있다. 하지만 효율적인 주파수 공유 환경 사용을 위한 국내의 실내외 투과 손실에 대한 자료가 매우 부족하다. 그리고 ITU에서 고려되는 주파수 공유 환경에서 투과 손실에 대한 모든 파라미터를 고려하면서 많은 수의 데이터를 확보하는 것은 현실적인 제약이 많고, 실제 AP 환경에 대한 현황 파악이 어렵다.

본 논문에서는 앞으로 사용하게 될 6GHz 대역 주파수 공유 접속시스템 도입에 앞서 필요한 기초 자료 수집을 목적으로 전국에 걸쳐 실제로 설치된 AP들을 대상으로 5GHz 대역 Wi-Fi 신호들의 실내외 투과 손실값을 측정하고 분석하였다. 5GHz 대역(5.15GHz ~ 5.825GHz)이라는 한정된 대역의 Wi-Fi 측정을 간소화해서 실시 하였지만, 기존 국내에서

고려되지 않았던 많은 수의 데이터(25,000개)를 확보하였다.

측정 데이터들을 분석한 결과 5GHz 대역 Wi-Fi 신호의 실내외 투과 손실 값은 6dB(CDF 0.1에서 값)로 도출하였다. 앞으로 5GHz 대역 Wi-Fi 실내외 투과 손실 값 및 측정 방법을 바탕으로 Wi-Fi 신호들의 실내외 투과 손실 측정 및 분석을 6GHz 대역으로 확장하여, 국내 주파수 공유 접속 시스템의 기초자료로 활용할 예정이다.

References

- [1] S. M. Lim, S. H. Hwang, and H. S. Kim, "Analysis of Wireless LAN Utilization in Unlicensed 5GHz Band and Review of Problems according to The Method of Frequency Common Use", Papers of Summer Annual Conference of the Institute of Electronics and Information Engineers, Jeju, Korea, pp. 834-835, Aug, 2020.
- [2] Ministry of Science and ICT, "5G+ Spectrum Plan", Dec. 2019.
- [3] Recommendation ITU-R F.383-10, "Radio-frequency channel arrangements for high-capacity fixed wireless systems operating in the lower 6GHz (5 925 to 6 425MHz) band", 2021.
- [4] Recommendation ITU-R F.384-11, "Radio-frequency channel arrangements for medium-and high-capacity digital fixed wireless systems operating in the 6425-7125MHz band", 2012.
- [5] S. H. Hwang and S. M. Lim, "Analysis of building penetration loss in 6GHz band", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 661-662, Nov. 2021.
- [6] Recommendation ITU-R P.2040-2, "Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz", 2021.
- [7] Recommendation ITU-R P.2109-1, "Prediction of building entry loss", 2019.
- [8] Report ITU-R P.2346-5, "Compilation of measurement data relating to building entry loss", 2023.

저자소개

황 석 현 (Seok-Hyun Hwang)



2017년 2월 : 부경대학교

전자공학과(공학사)

2019년 2월 : 부경대학교

전자공학과(공학석사)

2019년 4월 ~ 현재 :

한국정보통신산업연구원

통신자원관리실 연구원

관심분야 : 주파수 공유, 레이더 신호처리

이 영 환 (Young-Hwan Lee)



1984년 2월 : 숭실대학교

전자공학과(공학사)

1993년 8월 : 광운대학교

전자공학과(공학석사)

2007년 2월 : 한국정보통신대학교

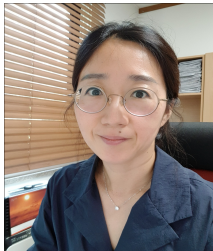
전자공학부(공학박사)

1989년 7월 ~ 현재 :

한국전자통신연구원 전파자원연구실 책임연구원

관심분야 : 스펙트럼 관리, 디지털통신, 주파수 공유

임 선 민 (Sun-Min Lim)



2000년 2월 : 충남대학교

정보통신공학과(공학사)

2002년 2월 : 충남대학교

정보통신공학과(공학석사)

2010년 2월 : 충남대학교

정보통신공학과(공학박사)

2015년 4월 ~ 현재 :

한국정보통신산업연구원 통신자원관리실 실장

관심분야 : 주파수 공유, 통신재난

박 승 근 (Seung-Keun Park)



1991년 2월 : 고려대학교

응용통계학과(공학사)

1993년 8월 : 고려대학교

응용통계학과(이학석사)

2004년 2월 : 충북대학교

정보통신공학과(공학박사)

1993년 8월 ~ 현재 :

한국전자통신연구원 전파연구본부 본부장

관심분야 : 스펙트럼 관리, 디지털통신, 주파수 공유