

# 이음5G 4.7 GHz 대역에서 건물간 전달손실 측정 및 분석

## Transmission Loss between Buildings in the e-Um5G 4.7 GHz Band: Measurements and Analysis

장 원 · 김동우\* · 조병록 · 오순수\*

Won Jang · Dong-Woo Kim\* · Byung-Lok Cho · Soon-Soo Oh\*

### 요 약

최근 이음5G(5G 특화망)를 산업시장에 확산하기 위해 수요 기반의 확산전략이 발표되었다. 본 연구에서는 건물 밀집 지역에서 건물단위의 소형 셀 형성을 위하여, 이음5 G 대역 중 4.7 GHz의 건물 간 전달손실을 측정하였다. 페이딩 효과를 제거하기 위하여 로컬에버리징 장치를 활용하였으며, 1미터 또는 2미터 간격으로 데이터를 추출하였다. 결과적으로 송신기에서 39 m 이격된 건물의 전달 손실은 56.6 dB이었으며, 95 m 이격된 건물은 69.1 dB이었다. 여기서 자유공간손실은 포함하고 있지 않다. 한편 송신기의 위치를 건물 입구와 가까도록 변경하여 측정한 39 m 이격된 건물의 전달손실은 49.5 dB이었다. 즉, 건물구조에 민감한 특성을 가짐을 확인하였다. 또한 본 연구의 측정 결과를 ITU-R(ITU radio-communication sector) SG(study group)3 기고문에서 제시한 건물인입 손실에 관점에서 분석하였다. 본 결과는 이음5 G 주파수 대역에서 주파수 공동사용과 건물단위의 소형 셀 구축에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

### Abstract

A demand-based deployment strategy has been recently proposed for e-Um5G in the industrial market. This study measured the transmission loss between buildings at a frequency of 4.7 GHz to initiate small cell deployment in certain areas. A local average apparatus was utilized to remove fading effects, and data were acquired at discrete points one or two meters apart. The transmission losses for buildings 39 m and 95 m from the transmitter were 56.6 dB and 69.1 dB, respectively, excluding free-space loss. The transmission loss was found to be sensitive to building structure and transmitter location, as the loss for a building 39 m away decreased to 49.5 dB when the transmitter was moved closer to the building entrance. The measured results were analyzed in terms of the ITU-R SG3 (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector, Study Group 3) definition of building entry loss and can be used for frequency sharing and building-level small cell deployment in the e-Um5G frequency band.

Key words: e-Um 5G, Local 5G, Small Cells, Propagation Measurement, Transmission Loss between Buildings

「이 연구는 2023학년도 조선대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음.」

순천대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sunchon University)

\*조선대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chosun University)

· Manuscript received May 22, 2023 ; Revised June 20, 2023 ; Accepted July 5, 2023. (ID No. 20230522-036)

· Corresponding Author: Soon-Soo Oh (e-mail: ssOH@chosun.ac.kr)

## I. 서 론

최근 무선 데이터 트래픽 사용량이 증가하면서 다양한 산업분야에서 ‘이음5G(5G 특화망)’에 대한 관심이 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. ‘이음(e-Um)5 G’는 초고속(eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC)의 5G 기술을 특정구역 내에서 제공하는 맞춤형 5G망을 의미한다<sup>[2]</sup>. 정부는 이음5G의 할당과 다양한 산업분야의 실증에 초점을 맞춘 정책을 21년에 도입하였고, 이음5G를 본격 시장에 확산하고 서비스를 발굴하기 위해 수호 기반의 확산전략을 새롭게 발표하였다<sup>[3]</sup>. 정부에서 공급한 이음5G 주파수는 4.7 GHz와 28 GHz이다. 4.7 GHz 대역에서는 공동사용 중인 UWB (ultra-wide-band)와의 간섭분석에 관한 연구도 진행 중이다<sup>[4]</sup>. 이음5G는 다수의 기업이 인접 주파수 대역을 제한된 공간에서 사용하는 건물단위의 소형 셀 형성에 필수적이다.

ITU에서는 건물의 인입 손실과 방출 손실 등에 대한 정의를 Rec. ITU-R P.2040-2에서 제공하고<sup>[5]</sup>, 건물의 인입 손실을 추정하는 방법과 건물의 분류를 Rec. ITU-R P.2109-1에서 제공한다<sup>[6]</sup>. Rec. ITU-R P.1238-11에서는 경로손실, 지연확산, 송수신기 위치 영향 등 다양한 실내 전파 모델을 제공하고<sup>[7]</sup>, Rec. ITU-R P.1411-11에서는 LOS (line-of-sight), NLOS(non line-of-sight) 환경과 건물 인입 손실 등의 실외전파 모델을 제공한다<sup>[8]</sup>. 위와 관련된 전파 실험, 분석, 시뮬레이션 결과 및 시나리오에 관한 정보가 Report. ITU-R P.2406-2에 제시되어 있다<sup>[9]</sup>.

건물 간 전달손실은 건물 내부에서 건물 외부로 방출되고, 다시 건물 내로 인입되면서 발생하는 전파손실로, 건물의 방출 및 인입 손실과 밀접한 관련이 있다. 다양한 환경에서 건물의 방출<sup>[10]~[13]</sup> 및 인입<sup>[14]~[16]</sup> 손실에 관련한 연구는 활발히 진행되고 있다. 방출 손실에 관련한 연구에서는 0.7~3.5 GHz 대역의 경로손실, 새도우 페이딩, 시뮬레이션 및 레이트레이싱 기반의 모델, SVD(singular value decomposition) 방법을 이용한 모델 등 다양한 전파 모델을 제시한다. 인입 손실에 관한 연구에서는 0.8~37 GHz 대역의 오피스 빌딩, UMi(urban microcell) 시나리오 등에서 경로손실 모델을 제시한다.

위에서 언급한 연구들은 일반적인 인입 또는 방출 환경에서 전파 특성을 다뤘다. 그러나, 건물단위의 소형 셀

을 위한 국제적 전파모델에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이음 5G를 적용할 사무실이나 공장 환경에서는 인접 건물 간의 간섭이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이음5G 주파수인 4.7 GHz에서 저간섭 소형 셀 기반 연구를 위해 건물밀집지역에서 인접 건물 간 전달손실을 측정하였다. 송신 건물에서 39 m 이격된 건물과 95 m 이격된 건물에 대한 전달손실을 측정하여 수신기 위치에 따른 전달손실을 분석하였다. 또한 송신기의 위치를 건물의 입구와 가깝도록 변경 후 전달손실을 측정하여 송신기 위치에 따른 전달손실을 분석하였다. 아울러, Rec. ITU-R P.2040-2와 Rec. ITU-R P.2109-2를 통해 건물 간 전달손실의 이론값을 도출하고, 이를 측정결과와 비교 분석을 수행하였다. 이를 위해 II장에서 측정 환경 및 시나리오를 정의하고, III장에서 측정 결과 및 분석하여 IV장에서 결론을 내린다.

## II. 건물 간 전파손실 측정환경 및 시스템

### 2-1 측정 환경

건물 간 전달손실을 측정하기 위해 건물밀집지역을 선정하였고, 그림 1의 위성지도에 제시하였다. Tx 건물은 사무실이 모여있는 대표적인 건물, Rx1 건물은 공장 환경의 대표적인 건물, Rx2 건물은 또 다른 사무실이 모여있는 대표적인 건물이다. Tx 건물을 기준으로 Rx1 건물은 39 m, Rx2 건물은 95 m 이격되어 있다.

그림 2에 제시한 바와 같이 Tx와 Rx1의 건물은 같은 지표면에 있고, Rx2의 건물은 Tx 및 Rx1 건물보다 낮은 지표면에 있다. 송·수신 안테나의 높이를 모두 동일하게 설정하기 위해서 Tx와 Rx1은 건물의 2층에 설치하고, Rx2는 건물의 4층에 설치하였다.

### 2-2 측정 시나리오

송신점의 위치에 따른 건물간 전달손실 측정을 위한 송신 안테나의 위치는 그림 3(a)의 Tx 건물도면에 나타내었다. 수신점의 위치에 따른 건물 간 전달손실 측정을 위한 수신 안테나의 위치는 그림 3(b)의 Rx2 건물 도면과 그림 3(c)의 Rx3 건물도면에 나타내었다. 건물 간 전달손실은 Tx1에서 Rx1, Tx1에서 Rx2, Tx2에서 Rx1까지 측정

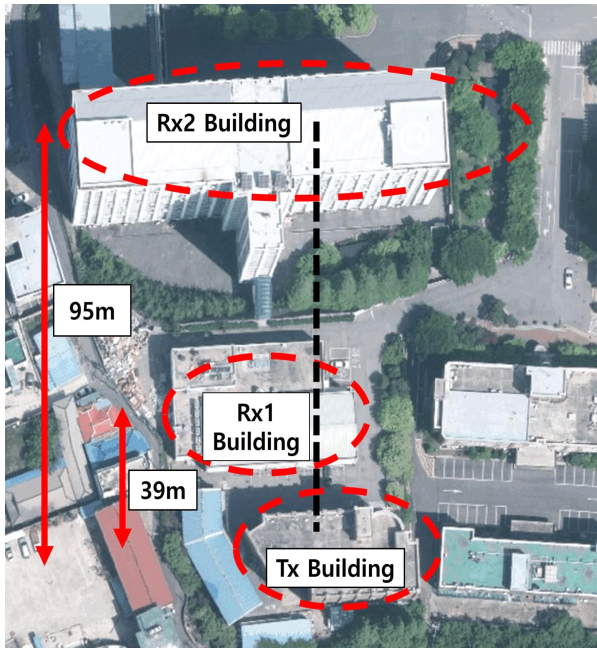


그림 1. 건물 간 전달손실을 분석하기 위한 측정선정 지역 위성지도

Fig. 1. The satellite map for analyzing the transmission loss between buildings.

Reference: <https://map.naver.com/>

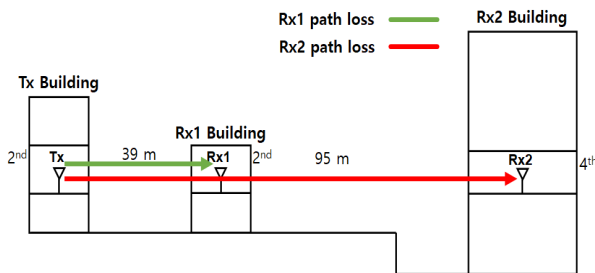
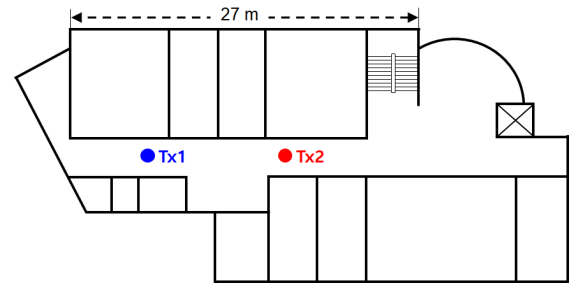


그림 2. 건물 간 전달손실을 보여주는 측면도

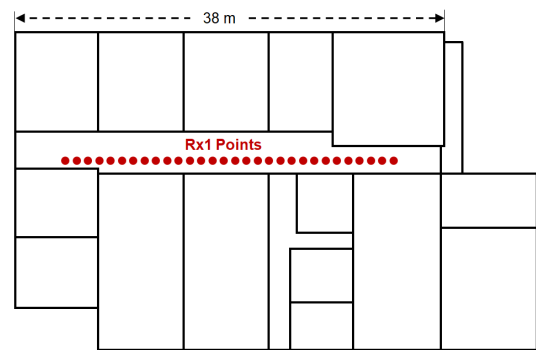
Fig. 2. Side view showing transmission loss between buildings.

하였다. Rx1은 38 m 길이의 복도에서 1 m 간격으로 이동하며, 최대 30 m까지 측정을 진행하였다. Rx2는 94 m 길이의 복도에서 2 m 간격으로 이동하며 최대 60 m까지 측정을 진행하였다. 송·수신 안테나의 높이는 지면으로부터 1.5 m로 고정하였다. 측정 주파수 대역은 이음5G 주파수인 4.7 GHz이다.



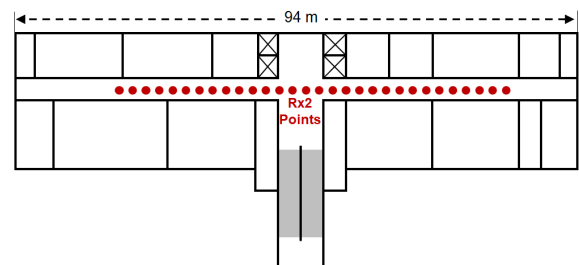
(a) Tx 건물

(a) Tx building



(b) Rx1 건물

(b) Rx1 building



(c) Rx2 건물

(c) Rx2 building

그림 3. 건물 간 전달손실 측정 환경

Fig. 3. Measurement position and building structure for transmission loss measurement.

## 2-3 측정 시스템

그림 4는 측정에 사용한 Tx 및 Rx 시스템을 나타내고 있다. Tx 시스템은 신호발생기(signal generator, SG), 전력 증폭기(power amplifier, PA), Biconical 무지향성 안테나, 2개의 RF 케이블로 구성되어 있고, Rx 시스템은 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer, SA), 저잡음 증폭기(low noise

### III. 측정 결과 및 분석

#### 3-1 수신점의 위치에 따른 건물 간 전달손실

4.7 GHz 주파수에서 수신점의 위치에 따른 건물 간 전달손실은 그림 6에 나타내었다. 건물 간 전달손실에 대한 누적분포함수(cumulative distribution function, CDF)는 그림 7에 나타내었다. 50 %의 누적분포 함수값을 기준으로

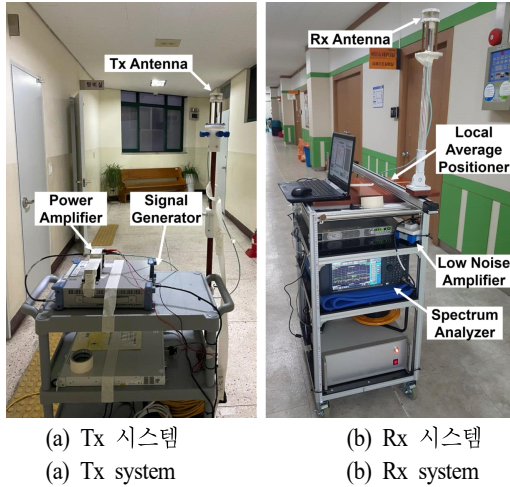


그림 4. 건물 간 전달손실을 분석하기 위한 송·수신기 측정 시스템

Fig. 4. The measurement system of Tx and Rx for analyzing the transmission loss between buildings.

amplifier, LNA), Biconical 무지향성 안테나, 2개의 RF 케이블로 구성되어있다.

SG(signal generator)의 모델은 R&S SMB 100A이며, 주파수 범위는 100 kHz~40 GHz이고, 최대 출력은 +16 dBm이다. SA의 모델은 KEYSIGHT N9030B이며, 주파수 범위는 3 KHz~26.5 GHz이다.

건물 내부에 위치한 안테나에서 수신된 신호들의 다중 경로 영향을 제거하기 측정 포인트마다 local average 장치를 이용하여 측정 경로에 평행한 방향으로 안테나를 이동시켜가며 측정을 수행하였다. Local average 장치는 약 2분 동안 일정한 속도로 1 m 이동하면서 총 171회의 수신 전력을 측정하도록 설계되어 있으며, 수신된 모든 신호들의 중간값을 사용하였다. Tx 및 Rx 측정 시스템의 블록도는 그림 5에 나타내었다.

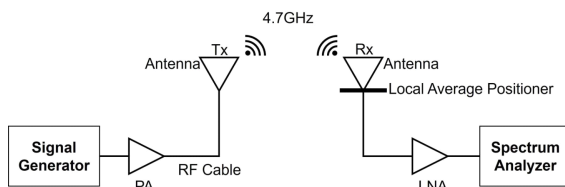


그림 5. 측정 시스템 블록도

Fig. 5. Block diagram of measurement system.

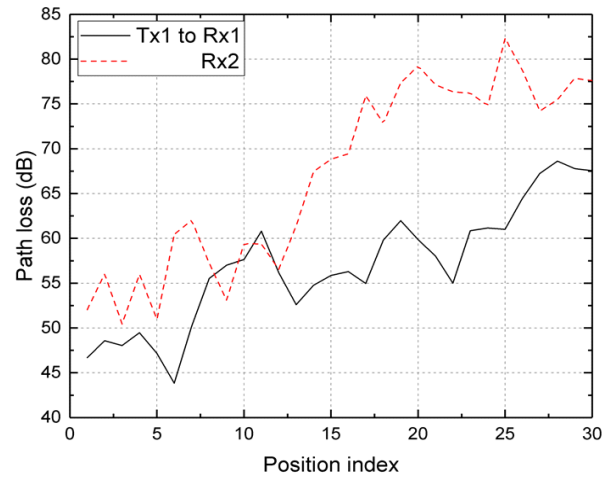


그림 6. 수신점 위치에 따른 건물간 전달손실 측정 결과  
Fig. 6. Measurement results of transmission loss between buildings based on receiver location.

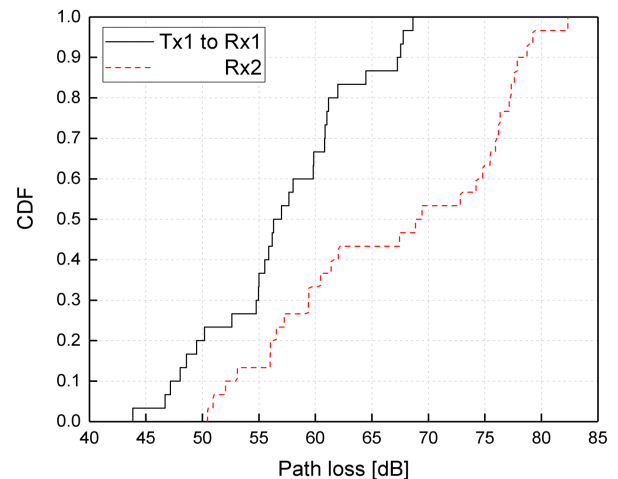


그림 7. 수신점 위치에 따른 건물 간 전달손실의 누적분포  
Fig. 7. CDF of transmission loss between buildings based on receiver location.

Tx1에서 Rx1까지 전달손실은 56.6 dB, Rx2까지는 69.1 dB이고, 자유공간감쇄까지 포함한다면 각 건물까지의 손실은 131.8 dB, 154.6 dB이다. 여기서 Tx1부터 Rx2 건물 사이에는 Rx1 건물이 포함되어 있으므로 손실이 더 발생하였다고 판단한다.

따라서 밀집지역 건물 간 소형 셀을 구축하기 위해서는 먼저 공간감쇄를 포함하지 않은 순수한 건물간 전달손실인 56.6 dB 또는 69.1 dB을 산정하고, 건물 사이의 거리에 따른 공간감쇄를 포함한 후 송신출력을 합하면, 실제 다른 건물에서 수신되는 전력을 계산할 수 있다.

### 3-2 송신점의 위치에 따른 건물 간 전달손실

4.7 GHz 주파수에서 송신점의 위치에 따른 건물간 전달손실은 그림 8에 나타내었다. 건물 간 전달손실에 대한 CDF는 그림 9에 나타내었다. 50 %의 누적분포 함수값을 보면 Tx1에서 Rx1까지 전달손실은 56.6 dB, Tx2에서 Rx1까지 전달손실은 49.50 dB이고, 공간감쇄까지 포함한다면 각 건물까지의 손실은 131.8 dB, 124.6 dB이다.

여기서 송신기 Tx2의 경우가 Tx1의 경우보다 손실이 작은 것은 그림 3(b)에서처럼 Tx 건물의 입구쪽으로 전파되는 파가 증가하기 때문으로 판단한다. 따라서 송신점의 위치와 건물의 구조에 따라 건물 간 전달손실은 차이가

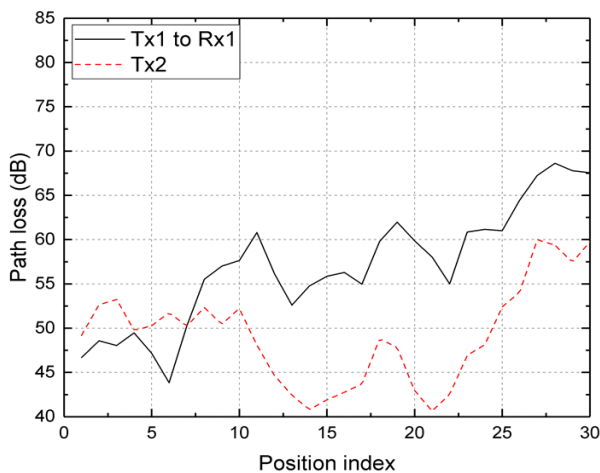


그림 8. 송신점 위치에 따른 건물 간 전달손실 측정 결과  
Fig. 8. Measurement results of transmission loss between buildings based on transmitter location.

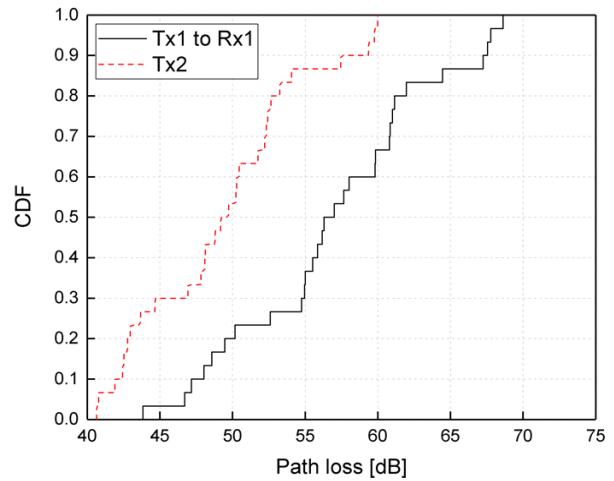


그림 9. 송신점 위치에 따른 건물 간 전달손실의 누적분포  
Fig. 9. CDF of transmission loss between buildings based on transmitter location.

발생할 수 있음을 인지해야 한다. 다만, 본 연구에서는 그 차이가 7 dB 정도이며, 체계적인 건물 분류와 추가적인 연구를 통하면 정확한 값을 산출할 수 있을 것이다.

### 3-3 측정 결과 비교

Rec. ITU-R P.2109-1에 따르면 4.7 GHz에서 비단열 전통적인 건물의 인입 손실은 약 17 dB이다<sup>[6]</sup>. Rec. ITU-R P.2040-2에 따라 건물 인입 손실과 방출 손실은 같다<sup>[5]</sup>. Tx1에서 Rx2 건물 사이에는 Rx1 건물이 포함되어 있어 전파 전달 경로는 인입-방출-인입을 거친다. 따라서, Tx1에서 Rx1까지 건물 간 전달손실은 34 dB, Rx2까지 건물 간 전달손실은 51 dB라 할 수 있다.

측정 결과에서 ITU에서 제시한 건물간 전달손실값과 비교하면 Tx1에서 Rx1까지 차이는 22.6 dB, Rx2까지 차이는 18.1 dB로 두 값은 유사하다. 본 연구에서 측정한 건물 간 전달손실은 인입 및 방출 손실뿐만 아니라 실내 전파 손실도 존재다. 따라서 발생한 차이는 실내 전파 손실로 판단된다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 건물밀집 지역에서 이음5G 주파수인 4.7 GHz에 대한 건물 간의 전달손실을 측정하였다. 송신

기에서 39 m 이격된 건물과 95 m 이격된 건물의 전달손실 측정을 통해 수신기 위치에 따른 전달손실을 분석하고, 송신기의 위치를 변경시켜 39 m 이격된 건물의 전달손실 측정을 통해 송신기 위치에 따른 전달손실을 비교 분석하였다.

송신기에 39 m 이격된 건물의 전달손실은 56.6 dB, 95 m 이격된 건물의 전달손실은 69.1 dB이고, 송신기의 위치를 건물 입구와 가깝도록 변경하여 측정한 39 m 이격된 건물의 전달손실은 49.5 dB이다. ITU-R에서 제시한 건물 인입 손실값과 차이를 확인하였으며, 그 값은 실내 전파 손실로 추측한다.

본 연구에서 활용한 측정 표본은 개수가 작아서 건물간 전달손실을 대표하기엔 한계가 있다. 체계적인 건물 분류와 추가적인 연구를 통하여 전파모델 등의 수립이 가능할 것이다. 그러나 본 연구의 도출결과는 이음5G 주파수인 4.7GHz 대역에서 소형 셀 구축에 활용 가능하며, 공동 사용 중인 UWB(ultra-wideband) 등과의 간섭분석에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## References

- [1] S. Y. Lee, "Private 5G(e-Um 5G) trend and promotion policy," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 7, pp. 531-540, Jul. 2022.
- [2] Ministry of Science and ICT, Korea Communications Agency, "Local 5G guideline," 2021. Available: <https://www.kca.kr/fileDownload.do?action=fileDown&mode=&boardId=NOTICE&seq=3485969&fileSn=1>
- [3] Etnews, "The Ministry of Science and ICT is launching a strategy to spread demand-based 5G specialized networks," 2023. Available: <https://www.etnews.com/20230314000067>
- [4] Y. M. Kim, Y. J. Yoon, "A spectrum-sharing policy to implement effective local 5G for smart factories," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 8, pp. 717-723, Aug. 2021.
- [5] *Effects of Building Materials and Structures on Radio-wave Propagation above about 100 MHz*, Recommendation ITU-R P.2040-2, Sep. 2021.
- [6] *Prediction of Building Entry Loss*, Recommendation ITU-R P.2109-1, Aug. 2019.
- [7] Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Indoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 450 GHz, *Recommendation ITU-R P.1238-11*, Sep. 2021.
- [8] Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Short-Range Outdoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 100 GHz, *Recommendation ITU-R P.1411-11*, Sep. 2021.
- [9] Studies for Short-Path Propagation Data and Models for Terrestrial Radiocommunication Systems in the Frequency Range 6 GHz to 450 GHz, *Report ITU-R P.2406-2*, Jul. 2021.
- [10] A. Valcarce, J. Zhang, "Empirical indoor-to-outdoor propagation model for residential areas at 0.9~3.5 GHz," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 682-685, Jul. 2010.
- [11] Y. Corre, J. Stephan, and Y. Lohanen, "Indoor-to-outdoor path-loss models for femtocell predictions," in *2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Toronto, ON, Sep. 2011, pp. 824-828.
- [12] Y. L. C. de Jong, P. Bouchard, and G. D. Shewan, "Experimental characterization of building shadowing and exit loss in a small-cell environment at 700, 2,600 and 4,900 MHz," in *the 8th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, The Hague, Apr. 2014, pp. 3291-3295.
- [13] B. Allen, S. Mahato, Y. Gao, and S. Salous, "Indoor-to-outdoor empirical path loss modelling for femtocell networks at 0.9, 2, 2.5 and 3.5 GHz using singular value decomposition," *IET Microwaves, Antennas &*



- Propagation*, vol. 11, no. 9, pp. 1203-1211, Jul. 2017.
- [14] M. Inomata, M. Sasaki, T. Onizawa, K. Kitao, and T. Imai, "Effect of reflected waves from outdoor buildings on outdoor-to-indoor path loss in 0.8 to 37 GHz band," in *2016 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP)*, Okinawa, Oct. 2016, pp. 62-63.
- [15] B. Guo, Y. Wu, J. Jiao, B. Lv, F. Zhou, and Z. Ma, et al., "Building entry loss model for 24 to 31GHz

- band," in *2016 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP)*, Okinawa, Oct. 2016, pp. 60-61.
- [16] T. Imai, K. Kitao, N. Tran, N. Omaki, Y. Okumura, and K. Nishimori, "Outdoor-to-indoor path loss modeling for 0.8 to 37 GHz band," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, Davos, Apr. 2016, pp. 1-4.

# 장 원 [순천대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0007-0025-8262>



2022년 2월: 순천대학교 전기전자공학부 (공학사)  
2022년 3월~현재: 순천대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전파전파, 무선통신, 인공지능 등

# 조 병 록 [순천대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-2366-6422>



1987년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)  
1990년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)  
1994년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)  
1994년 3월~현재: 순천대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 전파전파, 사물인터넷, 무선통신 등

# 김 동 우 [조선대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-0560-8392>



2016년 2월: 조선대학교 전자공학과 (공학사)  
2018년 2월: 조선대학교 전자공학과 (공학석사)  
2018년 9월~현재: 조선대학교 전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] 전파전파, 안테나 측정 시스템, 빔포밍 안테나 등

# 오 순 수 [조선대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-2913-4654>



1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
2000년 2월: 인하대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
2000년 8월: 고려대학교 초고주파 및 광파공학과 (공학박사)  
2003년 09월~2005년 4월: University of Manitoba, Post-Doc. Fellow

2005년 5월~2013년 8월: 한국전자통신연구원 전파기술연구부 선임연구원

2013년 9월~현재: 조선대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 전파전파, 안테나 측정 시스템, 배열 안테나 등