

3 GHz, 6 GHz 실내 환경의 지연 확산 측정 및 분석

이성훈* · 이화춘** · 조병록***

Delay Spread Measurement and Analysis in 3 GHz and 6 GHz Indoor Environments

Seong-Hun Lee* · Hwa-Choon Lee** · Byung-Lok Cho***

요약

본 논문에서는 건물의 실내 환경 전시관과 대회의실에 대한 지연 확산 측정 및 분석하였다. 두 건물의 실내 환경에 대해 시나리오를 작성하였다. 또한, 시스템 구성과 측정 방법을 같은 조건으로 진행하였다. 측정 조건은 중심 주파수인 3 GHz, 6 GHz로 하였고, 분석 대역은 2 GHz로 선정하였다. 측정시스템은 벡터 네트워크 분석기, 전력 증폭기, 무지향성 송·수신 안테나, 전송선로를 구성하였다. 두 건물의 실내 환경 시나리오에 따라 송신 안테나 위치를 기준으로 수신 안테나의 위치를 3개의 구역으로 나누고 각각 18개의 위치에 따라 1 m 간격으로 측정하였다. 두 건물의 전력 지연 프로파일, RMS 지연 확산, K-factor 결과를 비교 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper, delay diffusion for exhibition hall and conference room was measured and analyzed in the indoor environment of the building. Scenarios for the indoor environment of the two buildings were written. also, the system configuration and measurement methods were conducted under the same conditions. The measurement conditions were set to 3 GHz and 6 GHz of center frequencies and analysis band selected 2 GHz. The measurement system consisted of vector network analyzer, power amplifier, omni-directional transmit and receive antenna, and transmission line. According to the indoor environment scenario of the two buildings, the location of the receiving antenna was divided into three zones based on the location of the transmitting antenna and this was measured at 1 m intervals according to 18 locations. The power delay profiles, RMS delay spread, and K-factor results of two buildings were compared and analyzed.

키워드

Indoor, K-factor, Power Delay Profile, Propagation, RMS Delay Spread
실내 환경, K-인자, 전력 지연 프로파일, 전파, RMS 지연 확산

1. 서론

5G 이상 통신은 급격히 무선 데이터의 사용량이 증가하여 빠른 데이터 전송, 지연 속도, 접속 밀도, 에

너지 효율 등 통신 기술을 요구한다. 5G 통신 기술은 이동통신 데이터 이용 증가를 고려하여 주파수 6 GHz 이하 대역과 밀리미터파 대역도 고려하고 있다. 5G는 2~6 GHz 대역에서는 기존 4G와 유사하거나 더

* 한국전자과학회 (seonghoonyi@naver.com)

** 조선대학교 전자공학과 (oruf00@naver.com)

*** 교신저자 : 순천대학교 전기전자공학부

• 접수일 : 2019. 11. 17

• 수정완료일 : 2020. 01. 01

• 게재확정일 : 2020. 02. 15

• Received : Nov. 17, 2019, Revised : Jan. 01, 2020, Accepted : Feb. 15, 2020

• Corresponding Author : Byung-Lok Cho

Division of Electrical and Electronics Engineering, Suncheon University.

Email : blcho@scnu.ac.kr

높은 데이터 전송량으로 기존 4G 서비스의 전송속도를 개선을 위해 활용되고 있다. 높은 전송속도가 요구되는 VR/AR, 홀로그램, 고용량 영상 스트리밍 등은 대부분 실내 환경에서 서비스가 제공된다. 따라서, 5G 이상 통신에서 다양한 실내 환경의 전파 영향에 관한 기술 개발 및 연구 활동을 진행 중이다[1-3].

ITU-R은 전송 손실 모델과 RMS 지연 확산 모델에 대한 일부 시나리오 및 주파수 대역의 매개 변수에 대한 자료를 수집하고 있다. 여러 기관에 의해 밀리미터파 대역으로 확장하기 위한 연구가 진행 중이다[4-6]. 5G 통신 기술에 필요한 주파수 대역 및 시나리오에 따른 실내 환경의 기술 표준 개발에 포함되도록 제안하기 위해 연구가 필요하다.

본 논문에서는 건물의 실내 환경은 일반적인 회의실이면서도 다양한 사무 가구, 기기 등을 배치 구성한 구조를 가진 회의실과 다른 실내 환경의 텅 빈 넓은 공간인 전시관이다. 건물의 실내 환경에 대한 시나리오를 작성하였으며, 두 건물의 측정시스템 구성과 측정 방법을 같은 조건으로 진행하였다. 측정 조건으로는 중심 주파수인 3 GHz, 6 GHz이고, 분석 대역으로 2 GHz로 선정하였다. 측정 방법은 송신 안테나 기준으로 수신 안테나의 위치를 3개의 구역으로 나누고 각각 18개의 위치에 따라 측정 및 두 건물의 비교 분석으로 지연 확산에 대해 고찰하였다.

II. 실내 환경

2.1 건물의 실내 환경

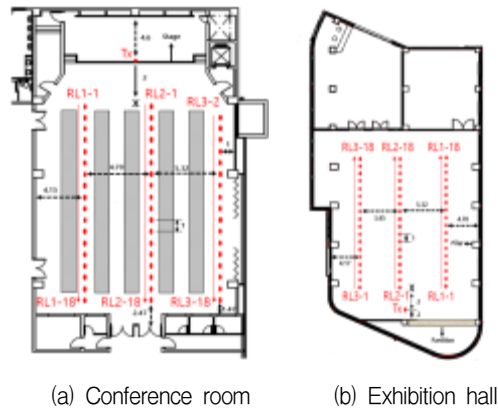
건물의 실내 환경은 국립순천대학교 70주년 기념관(B2) 2층 회의실과 국제문화컨벤션관(F1) 1층 전시관(범민홀)으로 그림 1에 제시하였다. 그림 1에 (a) 회의실은 무대, 단상, 책상, 의자, 사무 가구와 조명, 빔 프로젝트, 스피커, 기기에 대한 다양한 비치로 구성되어 있다. 중앙에는 책상과 의자로 진열되어 있으며, 천장은 무대 앞부분에 조명, 빔 프로젝트 및 중앙에는 에어컨이 설치되었다. (b) 전시관은 중앙에 사무 가구 및 기기가 없으며, 회의실과 대조되는 공간으로 두 건물의 경향을 비교하기 위하여 선정하였다.

2.2 실내 환경의 시나리오

건물의 실내 환경에 시나리오는 그림 2에 송·수신 안테나 위치와 측정 계획을 도면에 표시하였다. 그림 2는 (a) 회의실에서 송신 안테나는 무대 중앙 위로 끝을 기준으로 설치하였다. 수신 안테나는 3개 구역으로 RL1, RL2 구역에는 1 m 간격으로 18개 위치로 선정하였으며, RL3의 위치는 구조상 17개 위치로 진행하였다. (b) 전시관으로 실내 구조 및 크기가 다르나, 비교 분석을 위해 안테나 위치 및 간격을 같은 조건으로 시나리오를 구성하였다. 단, RL3의 위치에서는 실내 구조적으로 공간이 가능하여 18개를 측정하였다.



그림 1. 건물의 실내 환경
Fig. 1 The indoor environment of the building



(a) Conference room (b) Exhibition hall
그림 2. 건물의 실내 환경 시나리오

Fig. 2 Indoor environment scenario of a building

III. 측정시스템 구성

3.1 측정시스템 구성

측정시스템 구성은 벡터 네트워크 분석기(Vector network analyzer, VNA), 전력 증폭기(Power amplifier, PA), 전송선로(Cable), 송·수신 안테나(Tx/Rx Antenna)로 그림 3에 시스템 구성도를 나타내었다. 벡터 네트워크 분석기를 활용하여 주파수 영역(Frequency domain)에서 시간 영역(Time domain)으로 변환하며, 전력 증폭기는 전력 이득을 높이면서 전송선로 손실을 상쇄하는 역할을 한다. 송·수신 안테나는 무지향성(Omni-direction)으로 쌍원뿔(Bi-conical) 모양을 가진 안테나를 사용하였다. 또한, 안테나의 방사 패턴 및 이득은 그림 4에 제시하였다.

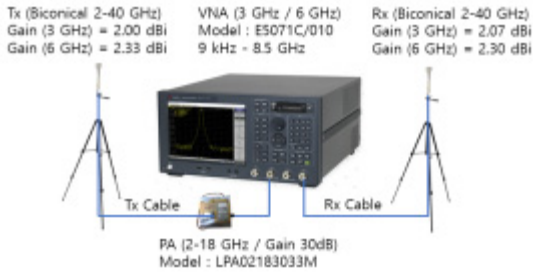


그림 3. 측정시스템 구성도

Fig. 3 Measurement system configuration

3.2 측정 조건

실내 환경의 측정을 위한 조건은 중심 주파수 대역은 3 GHz, 6 GHz로 분석 주파수 대역은 2 GHz를 선정하였다. 주파수 범위는 중심 주파수인 3 GHz 기준으로 2-4 GHz와 6 GHz 기준으로 5-7 GHz이며, 벡터 네트워크 분석기의 측정 포인트는 최대 1601로 설정하였다. 송·수신 안테나는 높이 1.5 m, 수신 안테나 간의 간격은 1 m로 선정하여 측정하였다.

IV. 측정 결과

4.1 전력 지연 프로파일

전력 지연 프로파일(Power delay profile, PDP)은 식 (1)을 이용하면 얻을 수 있다[7-8]. 실내 환경의 전시관과 대회의실의 RL1~RL3 구역에 대한 측정으로

전력 지연 프로파일을 얻었으며, 두 건물의 6 GHz로 3개의 구역 중 RL2 구역에 대한 거리에 따른 전력 지연 프로파일을 그림 5에 제시하였다.

$$P(\tau) = \overline{|h(t, \tau)|^2} \quad (1)$$

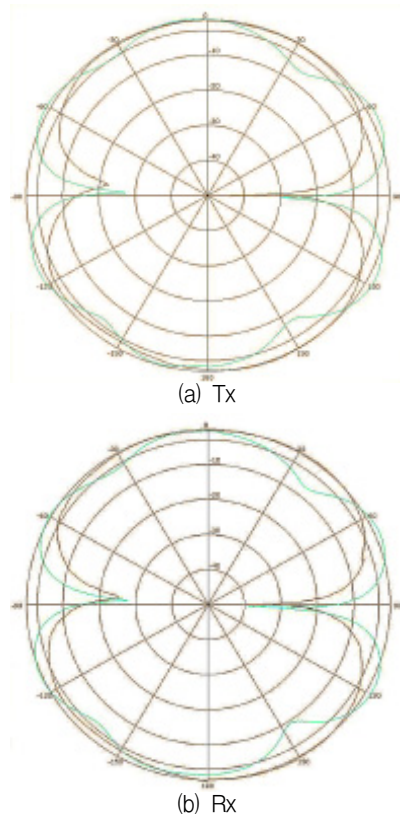
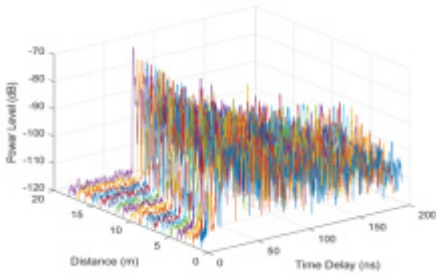
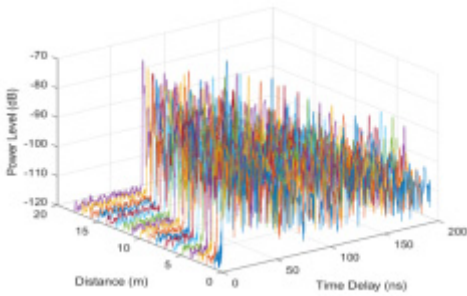


그림 4. 송·수신 안테나의 방사 패턴 및 이득 (3 GHz : Black, 6 GHz : Green)

Fig. 4 Radiation patterns and gains of transmit and receive antennas (3 GHz : Black, 6 GHz : Green)



(a) Exhibition hall



(b) Conference room

그림 5. 두 건물의 거리에 따른 전력 지연 프로파일 (6 GHz, RL2)

Fig. 5 Power delay profile based on the distance of two buildings (6 GHz, RL2)

4.2 RMS 지연 확산

RMS 지연 확산(Root mean square delay spread)은 식 (2)에 의해 RMS 값을 구할 수 있다[7-8]. 임계값(Threshold value)은 20dB 이내 기준으로 선정하여 계산하였다. 실내 환경으로 전시관과 대회의실의 3개 구역에 대한 3 GHz, 6 GHz로 표 1와 표 2에 제시하였다. 두 건물의 전체 구역을 RMS 지연 확산으로 누적 분포 확률을 비교한 그림 6에 제시하였다. 또한, 누적 분포 확률을 10%, 50%, 및 90%에 대한 값은 표 3으로 추정되었다. 전시관은 6 GHz가 3 GHz 보다 RMS 값이 낮으며, 대회의실은 반대로 3 GHz가 6 GHz 보다 RMS 값이 낮다는 것을 확인할 수 있다.

참고 문헌 [9-10]에서는 현대식 사무실 건물 내의 측정을 진행하여 3, 6 GHz 주파수 대역에 대한 RMS 지연 확산이 50ns 이내로 추정되었다. 본 논문에서는 두 건물의 실내 환경에 대하여 동일한 시나리오로 비

교 측정하여 모두 RMS 지연 확산이 50ns 이내에 포함되는 결과를 얻었다. 이 결과에서 3 GHz의 RMS 지연 확산 값은 권고서 ITU-R P.1238-10[11]에서 제시된 값들과 유사하다.

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} - \left(\frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \right)^2} \quad (2)$$

표 1. 전시관의 평균과 RMS

Table 1. Average and RMS of the exhibition hall

Location Number	3 GHz						6 GHz					
	RL1		RL2		RL3		RL1		RL2		RL3	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
RLx-1	21.6	18.0	14.2	15.9	33.0	19.4	16.6	10.2	10.1	9.6	27.4	13.4
RLx-2	25.6	18.0	19.3	20.4	34.8	18.6	21.2	14.2	14.9	13.2	28.4	14.0
RLx-3	30.8	21.6	22.3	20.3	37.7	20.2	22.9	14.3	20.2	16.6	31.2	15.6
RLx-4	34.3	21.8	27.2	20.4	39.5	18.2	28.8	17.2	23.0	14.7	32.0	12.2
RLx-5	35.7	24.0	33.0	21.7	43.6	19.7	30.8	18.8	27.3	17.2	36.1	16.0
RLx-6	41.1	23.4	39.1	24.0	44.0	19.4	34.9	21.4	32.6	20.8	40.1	18.5
RLx-7	45.2	25.0	44.7	24.1	48.8	21.7	41.0	22.3	35.5	18.9	42.5	18.2
RLx-8	48.4	25.9	46.6	21.8	52.8	22.2	43.2	24.0	38.7	17.6	45.0	17.1
RLx-9	56.7	30.6	52.1	23.6	57.2	24.0	49.1	21.9	42.7	15.4	47.2	15.1
RLx-10	58.1	27.0	55.8	22.1	57.1	21.6	51.3	22.2	46.4	17.5	48.9	14.0
RLx-11	61.8	24.9	59.6	21.7	62.4	22.2	58.2	28.0	48.7	15.2	52.0	12.6
RLx-12	64.1	22.8	62.8	21.7	67.7	21.9	59.9	23.3	51.9	14.3	55.8	15.3
RLx-13	69.4	22.2	65.1	21.6	75.7	20.5	58.1	17.0	55.6	13.2	68.6	20.3
RLx-14	69.6	20.3	68.0	18.9	74.3	18.1	63.8	15.1	59.7	13.6	69.1	18.5
RLx-15	71.1	17.0	70.1	17.1	75.3	17.3	68.5	19.2	61.9	11.7	65.3	14.0
RLx-16	74.4	16.6	74.6	15.9	78.2	16.0	69.4	14.2	64.6	10.8	68.8	13.7
RLx-17	77.9	14.8	76.3	16.7	79.2	16.3	70.4	12.5	68.6	10.6	71.9	9.3
RLx-18	76.1	12.7	78.9	14.4	81.9	16.4	73.7	11.8	71.7	11.5	75.0	12.3

표 2. 대회의실의 평균과 RMS

Table 2. Average and RMS of the conference room

Location Number	3 GHz						6 GHz					
	RL1		RL2		RL3		RL1		RL2		RL3	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
RLx-1	20.4	12.5	11.0	9.3			17.3	13.9	10.6	12.7		
RLx-2	21.9	12.5	14.7	10.9	31.3	14.4	20.3	15.7	14.5	15.3	29.0	19.4
RLx-3	24.6	15.7	19.4	13.4	32.2	12.3	23.1	17.7	19.5	19.5	31.8	18.4
RLx-4	27.7	13.9	23.3	13.2	34.1	13.4	28.3	16.9	23.5	20.9	32.5	14.6
RLx-5	33.1	16.0	26.5	11.9	37.6	15.0	33.1	15.3	31.2	22.7	35.8	14.5
RLx-6	36.1	18.1	33.1	18.2	41.3	15.4	37.8	25.4	38.3	24.3	36.5	12.5
RLx-7	39.4	17.2	41.5	21.7	46.1	18.0	41.8	23.6	46.2	24.8	42.5	15.3
RLx-8	46.6	19.1	42.1	19.4	49.6	18.9	46.1	25.0	47.4	26.9	49.5	22.2
RLx-9	49.4	19.8	45.6	17.1	51.2	19.4	53.4	30.0	53.1	27.9	59.0	23.0
RLx-10	53.1	18.0	53.6	22.5	55.0	18.4	55.3	23.7	59.5	26.8	67.1	23.3
RLx-11	58.4	17.9	58.0	21.3	58.7	17.9	57.9	24.9	65.9	27.2	73.9	22.9
RLx-12	61.3	18.0	58.8	19.5	61.6	17.8	67.0	21.4	73.4	24.0	75.1	22.1
RLx-13	63.8	19.7	62.3	20.0	61.7	14.8	68.8	22.3	83.8	27.6	73.5	20.3
RLx-14	66.1	16.8	64.2	18.9	66.1	16.4	74.0	17.5	75.6	27.9	77.1	17.7
RLx-15	69.7	15.5	67.0	16.4	68.9	15.3	68.4	16.7	84.0	27.3	71.7	18.5
RLx-16	69.3	13.3	71.2	16.5	69.2	13.5	75.8	21.7	75.5	20.9	72.6	19.2
RLx-17	73.9	13.5	73.2	13.2	71.3	12.8	88.7	28.5	76.4	17.2	75.1	17.8
RLx-18	75.1	13.9	75.9	12.3	72.9	10.7	80.2	21.5	75.8	15.4	77.0	16.2

표 3. 두 건물에서 RMS 지연 확산의 CDF 비교
Table 3. CDF comparison of RMS delay spread in two buildings

RMS delay spread (ns)	F1		B2	
	3 GHz	6 GHz	3 GHz	6 GHz
10%	16.04	11.54	12.27	15.27
50%	20.51	15.12	16.43	21.43
90%	24.17	21.88	19.73	27.27

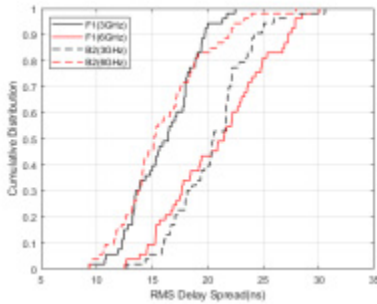


그림 6. 두 건물에서 RMS 지연 확산의 CDF
Fig. 6 CDF of RMS delay spread in two buildings

4.3 K-factor

K-factor는 Rician K-factor로 식 (3)에 의해 평균 및 RMS 값을 이용하여 K-factor를 구할 수 있다 [12-13]. 전체 3개 구역을 종합하여 K-factor에 대한 두 건물을 비교한 누적 분포 확률은 그림 7에 그래프를 나타내었다. 또한, 누적 분포 확률을 10%, 50%, 및 90%에 대한 값은 표 4로 추정되었다. 전시관은 6 GHz가 3 GHz 보다 K-factor 값이 높으며, 대회의실은 반대로 3 GHz가 6 GHz 보다 K-factor 값이 높은 것을 확인할 수 있다.

$$K = 10 \log_{10} \left(\frac{s^2}{2\sigma^2} \right) \quad (3)$$

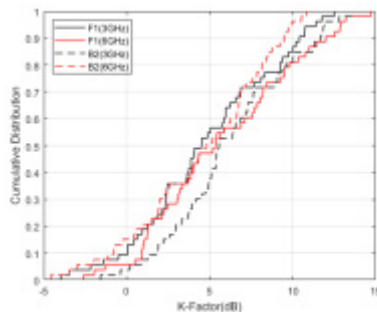


그림 7. 두 건물에서 K-factor에 대한 CDF
Fig. 7 CDF of K-factor in two buildings

표 4. 두 건물에서 K-factor의 CDF 비교
Table 4. CDF comparison of K-factors in two buildings

RMS delay spread (ns)	F1		B2	
	3 GHz	6 GHz	3 GHz	6 GHz
10%	0.07	0.91	1.88	-0.78
50%	4.51	5.35	5.57	4.82
90%	10.72	12.55	11.66	9.49

V. 결론

본 논문에서는 건물의 실내 환경으로 전시관과 대회의실에 대한 시나리오를 작성하였으며, 두 건물의 시스템 구성과 측정 방법을 같은 조건으로 진행하였다. 측정 조건은 중심 주파수인 3 GHz, 6 GHz로 분석 대역은 2 GHz를 선정하였다. 시스템 구성은 벡터 네트워크 분석기, 전력 증폭기, 무지향성 송·수신 안테나, 전송선로이다. 두 건물의 시나리오는 벡터 네트워크 분석기를 활용으로 송신 안테나 위치를 기준으로 수신 안테나의 위치를 3개의 구역으로 나누고 18개의 위치에 따라 1 m 간격으로 전력 지연 프로파일을 측정하였다.

두 건물에 대한 RMS 지연 확산과 K-factor의 누적 분포 확률을 비교하면 3 GHz는 대회의실이 전시관보다 RMS 지연 확산은 낮고 K-factor는 높았다. 6 GHz는 전시관이 대회의실보다 RMS 지연 확산은 낮고 K-factor는 높은 결과를 얻었다.

향후, 5G 통신 기술에 필요한 주파수 대역 및 시나리오에 따른 실내 환경의 기술 표준 개발을 촉진하고 통신 기술 적용 기반 조성을 목적으로 한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 연구 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2018-0-01439, 40 GHz 이하 실내외 환경의 전파특성 분석 및 예측모델 개발]

References

- [1] A. C. M. Austin, D. Given, M. J. Neve, and K. W. Sowerby, "60 GHz Millimetre-Wave Channel Characterisation for Indoor Office Environments," *European Conference on*

Antennas and Propagation (EuCAP 2019), Krakow, Poland, Apr. 2019.

[2] S. Kim, "Study on Applicability of Radio over Fiber system for 5G New Radio Access Technology," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 9, 2016, pp. 849-854.

[3] M. T. Martinez-Ingles, J. Pascual-García, D. P. Gaillot, C. S. Borrás, and J. M. Molina-García-Pardo, "Indoor 1-40 GHz Channel Measurements," *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2019)*, Krakow, Poland, Apr. 2019.

[4] G. Zhang, P. Hanpinitasak, X. Cai, W. Fan, K. Saito, J. Takada, and G. F. Pedersen, "Millimeter-Wave Channel Characterization in Large Hall Scenario at the 10 and 28 GHz Bands," *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2019)*, Krakow, Poland, Apr. 2019.

[5] J. Park and B. Kim, "Trends and Technical Requirements for 5G Mobile Communication Systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 11, 2015, pp. 1257-1264.

[6] A. Bamba, F. Mani, and R. D'Errico, "Millimeter-Wave Indoor Channel Characteristics in V and E Bands," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 66, issue. 10, 2018, pp. 5409-5424.

[7] H. Hashemi, "Impulse Response Modeling of Indoor Radio Propagation Channels," *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, vol. 11, no. 7, 1993, pp. 967-978.

[8] H. Hashemi and D. Thol, "Statistical Modeling and Simulation of the RMS Delay Spread of Indoor Radio Propagation Channels," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 43, no. 1, 1994, pp. 110-120.

[9] O. H. Koymen, A. Partyka, S. Subramanian, J. Li, "Indoor mm-Wave Channel Measurements: Comparative Study of 29 GHz and 29 GHz," *IEEE Global Communications Conf (GLOBECOM 2015)*, San Diego, CA, USA, Dec. 2015.

[10] M. G. Cotton, R. J. Achatz, Y. Lo, C. L. Holloway, "Indoor Polarization and Directivity Measurements at 5.8 GHz," *NTIA Report 00-372*, 1999.

[11] ITU, "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.1238-10*, Geneva, 2019, pp. 1-26.

[12] L. J. Greenstein, D. G. Michelson, and V. Erceg, "Moment-Method Estimation of the Ricean α -Factor," *IEEE Communications Letters*, vol. 3, no. 6, 1999, pp. 175-176.

[13] A. Abdi, C. Tepedelenioglu, M. Kaveh, and G. Giannakis, "On the Estimation of the K Parameter for the Rice Fading Distribution," *IEEE Communications Letters*, vol. 5, no. 3, 2001, pp. 92-94.

저자 소개

이성훈(Seong-Hun Lee)



2013년 순천대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2015년 순천대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2019년 순천대학교 대학원 전기·전자·정보통신공학부 전자공학전공 졸업(공학박사)
 2019년~현재 한국전자과학회 선임연구원
 ※ 관심분야 : 무선전력전송, 전파환경, 무선통신

이화춘(Hwa-Choon Lee)



1985년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년~2016년 초당대학교 정보통신공학과 교수
 2017년~현재 조선대학교 전자공학과 연구교수
 ※ 관심분야 : 안테나 및 전파전파, 전파환경

조병록(Byung-Lok Cho)



1987년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1990년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1994년~현재 순천대학교 전기전자공학부 교수
 ※ 관심분야 : 사물인터넷, 무선통신