

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.215

JIIBC 2013-1-29

Ka-band 위성통신의 다양한 수신환경 별 전파특성 분석

Radio Propagation Characteristics Analysis for Various Receiving Environments of Satellite Communication on Ka-band

박노욱*, 김주석*, 임주영**, 임태혁**, 유창현***, 권건섭***, 김경석****

No-Uk Park, Joo-Seok Kim, Ju-Young Lim, Tae-Hyuk Lim, Chang-Hyun Yoo, Kun-Sup Kwon, Kyung-Seok Kim

요 약 본 논문에서는 위성과 모바일기기 간의 전파수신감도를 수신 지역의 환경에 따라 도심지, 교외지역 그리고 시골환경으로 나누어 분석한다. 위성통신에서 수신환경에 따라 다양한 감쇠요인이 존재하기 때문에 이에 대한 정확한 분석은 매우 중요하다. 시뮬레이션을 통해 분석한 감쇠요인들을 각 수신 환경에 적용한다. 도심지는 건물의 높이와 밀집도를 높게 설정해 다양한 수신감도가 결정되고, 교외지역에서는 건물의 높이와 밀집도를 낮게 설정해 수신감도가 결정된다. 또한 시골에서는 산악지형과 식물에 의한 감쇠가 일어난다. 본 논문을 통해 지상국의 이동에 따른 다양한 수신 환경을 분석하고, 이를 통해 위성을 활용한 안정적인 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

Abstract In this paper, the signal reception environment of the satellite communications was analyzed on urban, suburban and rural environment. The correct analysis of received environment is very important in the satellite communications because the presence of various attenuation factors. Analyze attenuation factor through the simulation and that apply to each receiving environment. The urban and suburban various received sensitivity is determined according to building height and density. Moreover, attenuation occurs in rural areas due to the mountainous and vegetation. In this paper, we analysis of variety receiving environment according to movement of the ground station and the satellites can be utilized to provide stable multimedia services.

Key Words : Satellite communication, Propagation, attenuation, Diffraction attenuation, Path search algorithm

1. 서 론

위성통신은 높은 고도에 있는 위성을 이용함으로써 서비스를 제공할 수 있는 범위가 넓어지고, 지상의 지형이나, 재해에 따른 통신의 제약을 받지 않으며, 다수의 수신자가 동시에 동일한 정보를 이용할 수 있다. 또한 높은 주파수대를 이용하기 때문에 초고속 대용량 통신이 가능

하다. 위성통신은 위성의 운용궤도에 따라 크게 정지궤도위성과 비정지궤도 위성으로 나눌 수 있는데 정지궤도 위성은 적도 약 36,000km 상공에서 지구 자전에 동기 된 위성으로 지구에서 볼 때 정지하고 있는 것처럼 보이기 때문에 정지궤도 위성으로 불린다. 위성통신은 통신과정에서 자유공간 손실, 대기 흡수, 강우에 의한 감쇠 등이 일어난다. 또한 지구국의 위치에 따라 지상의 장애물에

*준회원, 충북대학교 전파통신공학과

**준회원, IM Technology

***준회원, 국방과학연구소

****정회원, 충북대학교 전파통신공학과, 교신저자
접수일자 2013년 1월 11일, 수정완료 2013년 2월 7일
게재확정일자 2013년 2월 8일

Received: 11 January 2013 / Revised: 7 February 2013 /

Accepted: 8 February 2013

*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

School of Information and Communication Eng., Chungbuk National University, Korea

의한 감쇠가 나타나기 때문에 위성을 이용하는 서비스의 안정적인 제공을 위해 위성통신과정의 다양한 전파환경에 대한 예측이 필요하다^[1].

본 논문에서는 위성-지상 간 전파환경을 도심지, 교외 지역, 시골환경으로 구분하고, 각 환경에 따른 특성을 분석해 위성의 전파수신감도를 추정한다. 이를 통해 지상국이 이동에 따른 다양한 환경에서의 전파수신감도를 예측하고, 보다 안정적인 위성통신 서비스의 이용을 가능하게 한다.

II. 위성 통신의 전파 감쇠요인

위성통신에서는 다양한 전파감쇠요인이 존재하는데 위성과 지상국의 통신에서 발생하는 전파 감쇠에 따른 수신 전력은 일반적으로 다음과 같다.

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dB) + G_r(dB) - L_f(dB) - \alpha(dB) \quad (1)$$

이때, P_t 는 송신전력, G_t 는 송신안테나 이득, G_r 는 수신안테나 이득, L_f 는 자유공간 경로손실, 그리고 α 는 수신환경에 따른 전파 감쇠로 대기 흡수와 지상 장애물에 의한 감쇠 손실 등이다^[2].

1. 자유공간손실

전파의 전파특성을 나타내는 가장 기본적인 경로손실 모델인 자유공간 경로손실은 다음과 같다^[3].

$$L_f[dB] = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (2)$$

이때, λ 는 주파수 파장, d 는 송수신단 사이의 거리(km)이다.

2. 대기흡수에 의한 손실

전파는 대기의 환경(온도, 수증기 밀도, 기압 등)에 따라 대기 중의 산소(dry air)나 수증기(Water vapour)에 의해 흡수 손실이 발생하는데, 대기에 의한 흡수 손실을 다음과 같이 구할 수 있다^[4].

$$A = \frac{A_o + A_w}{\sin\phi} \quad dB \quad (3)$$

이때, A_o 는 산소에 의한 감쇠, A_w 는 수증기에 의한 감쇠를 나타낸다. 또한 ϕ 는 양각으로 본 논문에서 고려하는 정지궤도 위성인 무궁화5호 위성의 값은 서울을 기준으로 약 45°이다. ITU-R의 일반적인 변수 값과 서울의 양각을 적용하면 대기에 의한 주파수 손실은 그림 1과 같고, 본 논문에서 고려하는 20GHz 에서는 약 0.47dB의 감쇠값을 가진다.

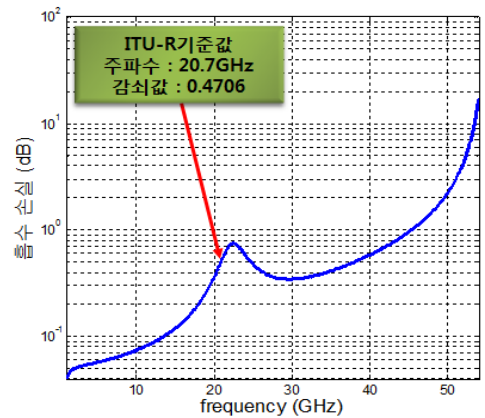


그림 1. 주파수에 따른 대기흡수손실
Fig. 1. Attenuation of atmospheric absorption according to the frequency

3. 회절에 의한 손실

위성과 지상국의 통신링크 사이에 지구상의 빌딩, 나무, 산 등의 장애물이 있을 때 회절 손실이 발생하게 된다. 이러한 장애물에 의한 회절 손실은 장애물의 형태에 따라 뾰족한 모서리와 둥근 모서리로 구분하여 회절에 의한 손실 구할 수 있다.

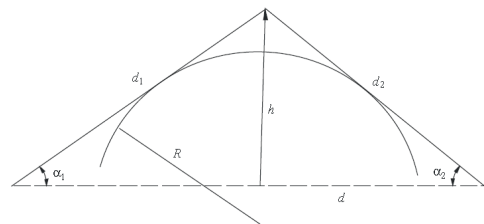


그림 2. 둥근 지형의 회절 감쇠 모식도
Fig. 2. Schematic diagram of the round diffraction

가. 뾰족한 모서리(knife edge)

도심지의 장애물은 대부분 빌딩과 같은 건물 형태로 그 상단은 보통 직각의 형태를 가지고 있기 때문에 뾰족한 모서리에 의한 회절 손실을 적용할 수 있다. 뾰족한 모서리 회절 감쇠는 다음과 같다^[5].

$$L = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB} \quad (4)$$

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (5)$$

이때, v는 기하계수로 h는 knife edge의 높이, λ는 주파수 파장, d₁, d₂는 각각 knife edge와 송·수신 안테나 사이의 거리를 나타낸다.

나. 둥근 모서리(Round edge)

산악지형은 보통 뾰족한 형태로 보일 수 있지만 실제로 산의 정상은 둥근 형태에 가깝다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 산악 지형에 의한 회절 감쇠를 다음과 같이 적용한다^[5].

$$L = J(v) + T(m, n) \quad (6)$$

이때, J(v)는 식 (4)와 같다. 하지만 여기에 적용할 기하계수 v의 계산식은 아래와 같다.

$$v = 0.0316h \left[\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

또한 식 (6)의 T(m,n)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T(m, n) = \begin{cases} \frac{7.2m^{1/2} - (2 - 12.5n)m}{mn \leq 4} \\ -6 - 20 \log(mn) + 7.2m^{1/2} \\ \frac{- (2 - 17n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2}{mn > 4} \end{cases} \quad (8)$$

이때, m,n은 각각 다음과 같다.

$$m = R \left[\frac{(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right] / \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} \quad (9)$$

$$n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} / R$$

이때, d₁, d₂는 송·수신점과 모서리 간 거리(km), h는 모

서리의 높이(m)이고, R은 그림 2에서 나타나는 장애물의 반지름이다.

본 논문에서는 R을 20m일 때, 20GHz에서 위성-지상 장애물(d₁=약37,600km)과 수신점 간의 거리(d₂)를 변경하면서 발생하는 회절 손실을 알아보았다. 그 결과 둥근 지형에서 감쇠가 더 크게 나타나는데 이는 둥근 모서리에 의한 감쇠를 나타낸 식 (6)을 보면 둥근 지형의 회절은 뾰족한 지형의 회절 감쇠 J(v)에 둥근 지형에 의한 회절 감쇠 T(m,n)가 추가된 형태이기 때문이다.

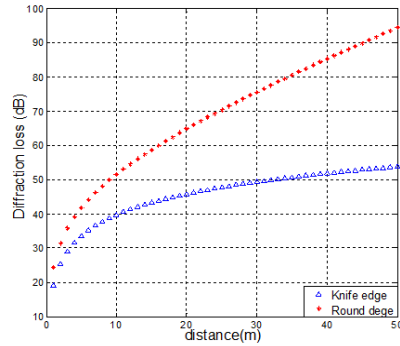


그림 3. 모서리 형태에 따른 회절 감쇠
Fig. 3. The diffraction loss of the edge shape

4. 수풀에 의한 손실

수풀에 의한 전파손실을 구하는 방법은 ITU-R 모델, COST235 모델, Wessberger 모델, MAR(maximum attenuation rate) 모델 등이 존재한다. 그 중 MAR 모델은 식물에 의한 감쇠를 가로수지대와 식물지대로 나누어 다양한 감쇠 추정을 가능하게 한다. 따라서 본 논문에서는 MAR 모델을 적용하여 식물 감쇠를 다음과 같이 추정한다^[6].

$$MAR \quad L(dB) = A_m \left(1 - \exp \left\{ \frac{-R_0 d}{A_m} \right\} \right) \quad (10)$$

식 (10)에서 d는 전파가 통과하는 식물의 깊이(meter), A_m은 최대 감쇠, R₀는 감쇠율을 나타낸다.

III. 수신환경별 시뮬레이션 모델링

위성통신은 지상국의 위치에 따라 크게 도심지환경, 교외지역 환경 그리고 시골환경으로 나눌 수 있다. 3장에서는 각 환경에서의 위성전파감쇠 요인을 분석하고, 전파수신감도를 추정한다.

1. 도심지(Urban) 전파수신환경

도심지에서의 위성전파의 수신환경은 건물의 영향을 가장 크게 받는다. 도심지에서의 위성전파는 건물에 의한 회절감쇠효과가 가장 크게 나타나기 때문에 건물의 높이와 밀집도의 설정 통해 도심지에서의 위성전파수신 감도를 추정할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 도심지 전파수신환경을 건물의 높이와 밀집도에 따라 다르게 하여 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 교외지역(Suburban) 전파수신환경

교외지역의 전파수신환경은 도심지보다 건물의 높이와 밀집도가 낮게 나타난다. 교외지역에서의 위성전파는 건물의 높이와 밀도가 도심지보다 낮은 특징을 지니도록 시뮬레이션을 진행하였다.

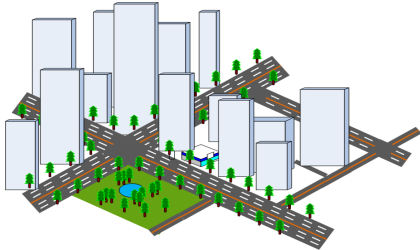


그림 4. 도심지 위성전파 수신 환경
Fig. 4. Environment of satellite propagation in urban

3. 시골(Rural) 전파수신환경

시골 지형의 위성전파수신환경은 그림 5와 같이 건물에 의한 감쇠 효과가 거의 고려되지 않고, 도심지와는 다르게 산악지형에 의한 회절 감쇠가 고려된다. 산악지형 회절 효과는 산악 지형의 모서리 반지름을 20m로 설정하였으며, 식물에 의한 감쇠는 10%의 확률로 5m의 거리 안에서 발생되도록 시뮬레이션을 진행하였다.

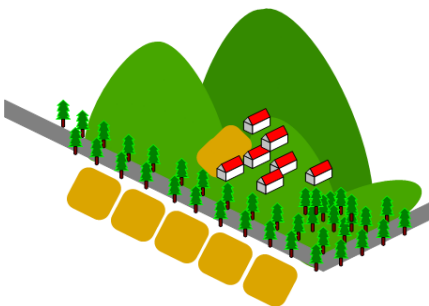


그림 5. 시골 지형의 전파수신 환경
Fig. 5. Environment of satellite propagation in rural

본 논문에서는 정지궤도 위성에 대한 전파의 감쇠를 고려하기 때문에 양각이 일정하게 유지되고, 직선상으로 이동할 때 발생하는 각 지형에 의한 감쇠를 건물과 산의 높이, 밀집도를 다양하게 변경하면서 각 환경에서의 수신감도를 분석한다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

위성통신의 환경별 신호감쇠 분석을 위해 송수신 안테나의 이득은 0dBi로 가정하여, 무궁화 5호 위성을 기본으로 표 1과 같은 파라미터를 적용하였다. 도심지의 장애물은 건물이 대부분으로 전체적으로 건물의 높이가 높고 건물의 밀집도 또한 높다. 따라서 시뮬레이션 환경을 표 2와 같이 도심지의 건물 높이를 약 18층에 해당하는 60m로 설정하였으며 교외지역의 장애물 역시 대부분 건물로 약 10층 이하의 건물에 해당하는 높이 30m를 평균적으로 설정하였다. 시골환경은 장애물의 밀집도가 낮으며 산악에 의한 감쇠를 적용한다. 도로가 산악에 인접해 있는 경우를 고려하였으며, 이러한 경우 도로의 해발고도 역시 높아지므로 장애물의 높이는 산의 해발고도가 아닌 도로와의 상대적인 높이가 된다. 이러한 이유로 시골환경 장애물의 평균높이는 약 20m로 설정하였다. 각각의 환경에서 높이는 10m의 편차 범위내에서 밀집도에 따라 가변되도록 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters

항목	값
위성 송신 출력	54 dBW
위성 고도	35,786 km
고정위성 궤도위치	E113° N0°
송신 주파수	20.7 GHz
양각	44.952°

표 2. 환경 별 시뮬레이션 설정

Table 2. simulation setting of each environment

수신환경	도심지	교외지역	시골
장애물 밀집도(%)	80	50	10
평균높이(m)	60	30	20
높이표준편차(m)	10	10	10

그림 6은 위성통신 환경에 따른 수신전파의 세기를 나타낸 것으로 그림을 보면 도심지 환경은 건물의 높이와 밀집도가 높기 때문에 전파의 감쇠가 다른 환경에 비해

크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 도심지 환경에서 수신전파가 가장 좋은 약-130dBm에서는 시뮬레이션 환경 건물의 높이와 밀집도가 가장 낮을 때 나타날 것이며, 수신전파가 가장 좋지 못한 약-172dBm에서는 건물의 높이와 밀집도가 가장 클 것이다. 마찬가지로 교외지역에서는 건물의 밀집도와 높이에 따라 전파의 수신 레벨이 다양하게 존재하며, 도심지에 비해 비교적 높은 수신 전력을 보인다. 또한 시골 환경에서는 도심지에 비해 수신 전력이 높고, 비교적 완만한 형태의 그래프가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 각 환경에 따른 수신전파의 누적분포함수를 나타낸다. 도심지는 다른 환경에 비해서 수신전파가 낮을 때 높은 분포를 보이고 있으며, 시골환경에서 가장 좋은 수신전파의 분포를 보이고 있다. 따라서 누적분포함수를 통해서도 도심지의 수신 환경이 가장 좋지 못하고, 시골에서의 수신이 가장 좋은 것을 알 수 있다. 그림 8는 건물의 밀도에 따른 수신전파의 누적분포를 보여준다. 그림 8에서 볼 수 있듯 건물 밀도가 높을수록 수신전파가 낮게 분포하며, 건물 밀도가 낮을수록 수신전파가 높게 분포하는 것을 볼 수 있다. 따라서 건물의 밀도가 높을수록 전파의 수신감도가 좋지 못하다는 알 수 있다.

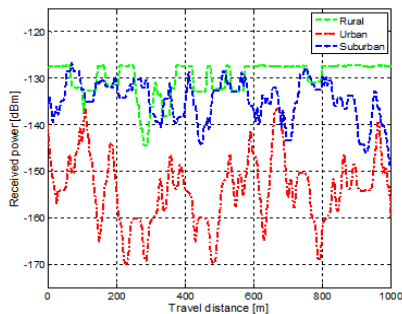


그림 6. 위성통신환경 별 수신전파
Fig. 6. Radio reception of each satellite communication environment

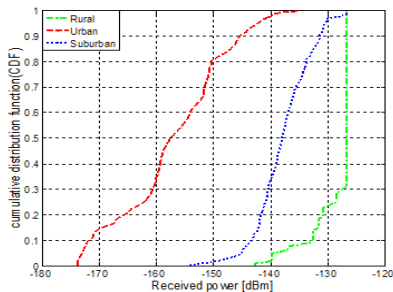


그림 7. 위성통신환경 별 수신전파 누적분포함수
Fig. 7. Radio reception CDF of each satellite communication environment

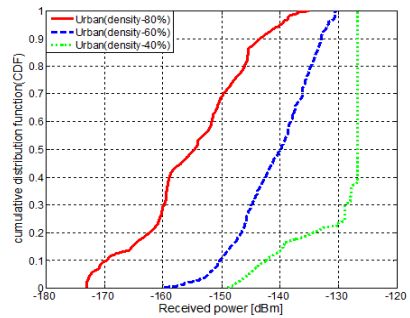


그림 8. 건물밀도에 따른 수신전파 누적분포함수
Fig. 8. Radio reception CDF according to density of building

V. 결 론

본 논문에서는 20GHz 대역의 고정 위성통신에서의 다양한 전파 감쇠 요인을 분석하고, 전파수신환경을 도심지, 교외지역 그리고 시골 환경으로 나누어 위성통신의 환경별 전파수신감도를 분석하였다. Ka-band 대역에서는 공기 중의 수증기에 의한 감쇠가 크게 나타나고, 도심지에서 건물의 회절에 의한 감쇠가 크게 나타난다. 또한 본 논문의 시뮬레이션 결과 건물의 높이와 밀집도에 의해 도심지 전파수신감도가 결정되는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 지상 장애물의 밀집도, 높이 그리고 너비를 조정하여 위성통신에서의 수신환경에 따른 수신전파의 예측이 가능하다. 따라서 이를 통해 지상국이 이동할 때, 위성신호의 수신 감도가 좋은 지역을 우선하여 이동하므로 위성을 이용한 다양한 서비스의 안정성을 높일 수 있다.

참고문헌

- [1] S.H. Nam, H.W. Kim, K.S. Kang and B.J. Ku, "Broadcasting and Communications Convergence Technology Trends via Satellite", Electronics and Telecommunications Research Institute, Electronics and Telecommunications Trends, 2th, Vol.25 Apr 2010.
- [2] Joong-Pyo Kim and Cheol-Hea Koo, "Conceptual Design of Telemetry, Command and Ranging Subsystem RF Link Budget for Communication Satellite", Korea Aerospace Research Institute, Aerospace Engineering and Technology, 2th, Vol.1, Nov 2002
- [3] Dae-Sung Park, Joon-Ho Lee and Jae-Hoon Choi,

"The Characteristic Analysis of Wave Propagation for ICO Communication Satellite", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. 2th, Vol.9, Apr 1998.

[4] "Attenuation by atmospheric gases", Recommendation, ITU-R P.676-9, Feb 2012

[5] "Propagation by diffraction", Recommendation, ITU-R P.526-12, Feb 2012.

[6] R.B.L. Stephens and M.O. AI-Nuaimi, "Attenuation measurement and modelling in vegetation media at 11.2 and 20GHz", *Electronics letters* 28th, Vol.31, No.20, Sep 1995.

저자 소개

박 노 욱(준회원)



- 2009년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원(석사 과정)
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, 무선망 Scheduling, Cognitive Radio>

김 주 석(준회원)



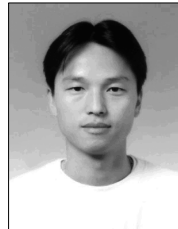
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년 2월 : 충북대학교 전파공학과 대학원(공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원(박사 과정)
- <주관심분야 : 이동통신 Cross Layer, 무선망 Scheduling, Cognitive Radio, 디지털 라디오, MIMO_OFDM, 위성통신>

임 주 영(준회원)



- 2010년 8월 : 한밭대학교 제어계측공학과 졸업
- 2010년 8월 ~ 현재 : 아이엠테크놀로지
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, USN, 전력선통신>

임 태 혁(준회원)



- 2000년 2월 : 충북대학교 재료공학과 졸업
- 2004년 5월 ~ 현재 : 아이엠테크놀로지 시스템사업부
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, USN>

유 창 현(준회원)



- 1987년 2월 : 충남대학교 전기공학과 졸업
- 1989년 2월 : 충남대학교 전자공학과 대학원(공학석사) 졸업
- 1989년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 군위성통신 시스템 설계
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신>

권 건 섭(준회원)



- 1997년 2월 : 한양대학교 전파공학과 졸업
- 1999년 2월 : 한양대학교 전파공학과 대학원(공학석사) 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 대학원(공학박사)
- 2006년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 군위성통신 단말 설계
- <주관심분야 : 위성통신, RF/안테나, 위성채널>

김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : 전파감시/관리시스템, 전파신호처리, SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선통신, 디지털라디오, MIMO