

무선랜을 위한 전파 간섭 분석 연구

김지희^{1*}, 조정현¹, 조대제¹, 손동철²

¹안동대학교 공과대학 멀티미디어공학과, ²백석대학교 정보통신학부 정보통신학전공

A Study on Radio Interference Analysis for Wireless LAN

Ji-Hee Kim^{1*}, Jung Hyun Cho¹, Dae-Jea Cho¹, Dong-Cheul Son²

¹Division of Multimedia Engineering, Andong National University

²Division of Information & Communication, Baekseok University

요약 무선통신 시스템에서는 부족한 주파수를 가지고 채널 용량을 늘이는 분야는 활발하게 연구되고 있다. 주파수 파워를 높이고 밴드폭을 늘리면 채널 용량은 좋아지지만 노이즈 간섭을 일으킴으로 통신이 안 될 수도 있다. 무선주파수 할당은 한 무선통신 시스템으로 말미암아 타 무선통신시스템에 간섭이 없게 하기위해 법적인 효력을 갖는 표준을 통해 정부차원에서 관리하고 있다. 본고에서는 항공기에서 간섭없이 무선 랜을 구축시 여러 파라미터를 만족해야 하는 지를 분석을 통해 제시하고자 한다. 이를 위해 시나리오를 바탕으로 전파 분석을 시뮬레이션해서 항공기 내부와 외부건물이 있는 경우의 이격거리를 얼마로 해야 간섭없는 송신기 설치가 가능한지에 대한 연구이다.

키워드 : 무선랜, 전파간섭, 채널용량, 노이즈, 대역폭

Abstract In a wireless communication system, increasing the channel capacity with a limited frequency is a problem in all frequency bands. Increasing the frequency bandwidth and increasing the output can increase the channel capacity, but sometimes the communication is not possible due to interference noise. If the radio frequency allocation is set to world standardization such as WRC or ITU-R, each country has strict control over regulations. This is because one wireless communication system should not affect other systems. We present the results of a study on scenarios and analysis of radio waves to be installed inside and outside the aircraft without interfering with the wireless LAN.

Key Words : Wireless LAN, Interference, Channel Capacity, Noise, Bandwidth

1. 서론

부족한 전파 수요의 효율성을 높이고, 법적인 요소 아래서 원활한 주파수 공급을 높이기 위해서는 시스템 간 양립성이 보장되어야 한다.

양립성 분석은 수학적인 방식보다는 불확실한 값에 Random number Generator 함수를 이용 특정 간섭 모델을 여러 번 반복하여 시뮬레이션을 하는 통계적인 방법으로 전파간섭을 분석하는 것이 더 쉽게 접근할 수 있고

신뢰성이 보장될 수 있다[1,2].

안테나패턴, 방사 전력, 전파 경로, 물리적 위치 등의 각 가변 입력 파라미터는 통계적인 분포함수로 입력하도록 주어진다. 따라서 상대적으로 간단한 기본함수들을 사용하여 매우 복잡한 상황을 모델링 할 수 있으므로 방송국(지상파 및 위성), 이동국(지상파 및 위성), 1:1(Point to point), 1:n (Point to multi-point) 및 기타 다양한 무선 통신시스템의 분석이 가능하다[3-12].

따라서 본 연구에서는 공항이나 항공기에서 무선랜

통신 시스템 간 간섭없이 사용할 수 있도록 분석 시나리오를 만들어 법규를 만족하면서 양립할 수 있도록 간섭에 관련된 입력 입력변수들을 정의하고 전파간섭특과 공항에서 검증을 위한 측정을 실시하였다[13-15].

2. 본론

2.1 전파간섭 이론

2.1.1 환경적 파라미터와 시스템 파라미터 분석

간섭을 분석하는데 있어 중요한 변수로는 송신파워, 캐리어 주파수 간의 이격, 중심주파수, 주파수 안정도, 방사신호의 형태, 안테나, 주어진 대역의 방사 등이 있다. 또한 안테나 관련 변수로는 편파에 대한 방사패턴, 유효높이, 편파에 대한 방사패턴, 메인 빔의 각 등이 포함되어야 한다. 간섭전력의 주파수 대역이 피 간섭 국의 수신기 대역보다 작아서 불필요한 주파수를 포함한 성분이 수신되어 간섭 영향을 줄 때 간섭 전력에 관한 일반식은 다음 식 1과 같다.

$$I = P_t + G_t + G_r - L_b(d) \quad (1)$$

여기서,

- P_t : 간섭국의 송신전력(dBW)
- G_t : 수신국방향으로의 간섭국 안테나 이득
- G_r : 간섭국방향으로의 간섭국 안테나 이득
- $L_b(d)$: 간섭국과 수신국 사이의 이격거리 d에 대한 기본전송손실

2.1.2 간섭대상 무선국

간섭에 영향을 주는 무선국 대상은 동일한 주파수대를 사용하는 항공기 내부 방사 고조파, 공항의 항공기 접근 시 발생이 예상되는 불요파 들을 검색하여 간섭분석을 해야 한다. Table 1은 5GHz대의 레이더와 동일한 주파수대역에서 간섭가능성이 있는 주파수의 종류이다.

항공기 내부에 무선LAN 송신기(5GHz대역)를 구축할 때는 서로 간의 간섭과 간섭의 원인이 되는 무선랜 송신기(TX)를 영향을 주는 간섭원으로 근처에 간섭에 영향을 주는 무선국과 Microwave Landing 시스템 수신기를 설정한다.

Table 1. Types of interference sources in the 5GHz frequency band

Types of interference src.	Operating frequency
Weather radar	5.250 ~5.850GHz
Aeronautical radar	5.350 ~5.460GHz
Wireless positioning radar	5.250 ~5.850GHz
Satellite business system	5.250 ~5.750GHz

2.1.3 동일 채널 간섭(Co-Channel Interference)

동일 채널 간섭은 원하는 신호와 간섭 신호가 IF 증폭기 대역폭 내의 같은 채널 안에서 존재함으로써 발생한다. 실제 신호와 영향을 주는 간섭 신호가 중복되기 때문에 간섭을 주는 신호는 정상적으로는 걸러낼 수 없다. 동일채널 간섭 계산은 주파수 별로 다르게 계산되어지며, 특히 5GHz의 고주파는 직진성과 많은 데이터의 통신으로 상대적으로 주파수 간섭을 받을 확률이 높을 수밖에 없다.

2.1.4 인접 채널 간섭 (Adjacent-Channel Interference)

인접 채널 간섭은 인접한 거리의 채널사이에 운용되는 간섭 신호나 송신기의 원하지 않는 스푸리어스로 인한 인접 채널 누설전력으로 인해 발생한다. 인접채널 간섭 레벨은 수신기의 신호 반사 특성에 따라 달라지며, 인접 채널 간섭은 두신호 사이에 상호 작용하는 영향으로 만들어 진다. 이러한 것들은 주파수 이격거리, 주파수 독립 거절이나 상대적 무선 주파수 보호비에 기인한다.

주파수이격거리는 송신기(Tx)와 수신기(Rx)의 주파수 차이로서 간섭이 없는 최소 거리를 말한다. 서로 접해있는 채널간 간섭영향은 변수 FDR의 주파수 증가분에 영향을 받는다. 보호비란, 원하는 신호와 간섭 신호가 같은 주파수를 사용하거나 Δf 의 주파수 차이를 가질 때 최소로 요구되어지는 비이다.

수신기(RX)간섭을 받지 않는 최대 전력 값이 정해지면 수신기(RX) 성능은 식 2와 같다

$$L_b(d) + FDR(\Delta f) \geq P_t + G_t + G_r - IM \quad (2)$$

여기서,

- P_t : 간섭을 주는 송신전력을 의미 (단위 : dBW)
- G_t : 수신국 간섭국의 안테나 게인
- G_r : 간섭국 안테나 게인
- $L_b(d)$: TX 와 RX간의 유효거리에 대한 Loss

FDR(Δf): TX 캐리어 주파수가 f 의 증가분 차이를 가질 때 송신측 스퓨리어스 스펙트럼을 수신기(RX)의 커브에 의한 거절

IM : 최대 간섭을 끼치는 전력 크기

2.1.5 감도 감소(Desensitization)

간섭 송신기가 수신기에 매우 근접하여 위치하고 있을 때 감도 감소가 발생할 수 있다. 만약 간섭 신호가 매우 크다면 수신기는 포화 상태가 될 수 있다. 감도 감소는 FDR(Δf)에 영향받는다.

감도 감소 영향을 최소화하는 방법 중의 하나는 필터를 적용하거나, 간섭을 주거나 받는 무선국의 위치를 이동하거나 큰 간섭을 주는 파워를 낮추는 것이다.

2.1.6 상호 변조(Intermodulation)

상호 변조는 장비의 신호를 크게하기 위해서 나타나는 비 선형성이라는 속성에 의해 나타난다. 부연설명을 하자면, 하기에 표기된 두가지 정현파 시그널이 식 3과 같이 비 선형 증폭기에 입력 변수로 적용된다면

$$V_{\in}(t) = A\cos 2\pi f_1 t + A\cos 2\pi f_2 t \quad (3)$$

식 4와 같은 급소수로 증폭기 출력을 표현 할 수 있다.

$$V_{out}(t) = a_1 v_{\in}(t) + a_2 v_{\in}^2(t) + a_3 v_{\in}^3(t) \quad (4)$$

많은 두 주파수의 체배 성분과 과 상호 변조로 인한 증폭기의 출력 중에 $(2f_1 - f_2)$ 와 $(2f_2 - f_1)$ 의 주파수를 갖는 정현파 성분이 기본 두주파수에 인접해 있어서 증폭기가 큰 출력이 나올 때는 왜곡(Distortion)의 원인이 된다.

2.2 전파간섭 시나리오

2.2.1 항공기 내부부 5GHz 무선 랜 설치 시

시나리오는 항공기 내부에 무선랜을 설치하는 경우와 공항에 청사와 같은 건물에 설치되어 있는 무선랜과의 간섭이 있을 수 있기 때문에 이 두가지를 고려한다.

2.2.2 파라미터

2.2.2.1 무선 LAN 파라미터

협대역(Narrow Band) 시스템에서 스펙트럼을 확산시

키지 않을 경우 무선 LAN 주파수와 관련된 변수는 Table 2, Table 3, Table 4와 같다.

Table 2. Radio LAN parameter

Parameter	Value
Maximum EIRP	30 dBm
Bit rate	15 Mbits
Bandwidth	20 MHz
Required C / I	20 dB
Max permissible interference	-131 dBW / 20 MHz
Receiver threshold	-81 dBm
Antenna gain (omni)	2 dBi

Table 3. Radio LAN Out-of-band radiation

Frequency offset at edge f	Spurious limits(1 μ W)
0 MHz $\leq f < 2$ MHz	30 kHz
2 MHz $\leq f < 5$ MHz	30 kHz
5 MHz $\leq f < 10$ MHz	100 kHz
10 MHz $\leq f < 20$ MHz	300 kHz
20 MHz $\leq f < 30$ MHz	1 MHz
30 MHz $\leq f < 12.75$ GHz	3 MHz

Table 4. MLS system parameter

Parameter	Value
Bandwidth	150 kHz
Thermal noise power	-123 dBm (150 kHz)
Max permissible I/F	-120 dBm (150 kHz)
co-channel Tolerance	C/I > 25.0 dB
adacent ch Tolerance	C/I > -20.5 dB (1st) C/I > -25.0 dB (2nd)
Minimum signal strength	-95 dBm
Antenna gain	0 dBi
Rejection	40 dB(5.092-5.250 GHz) > 75 dB(>5.250 GHz)

2.2.3 간섭 계산

간섭계산을 위해 식 5와 같은 MCL(Minimum Coupling Loss) 방법을 사용한다.

$$MCL(dB) = P_i + 10\log\left(\frac{BW_s}{BW_i}\right) - I_s \quad (5)$$

여기서,

P_i : 간섭 신호 세기

BW_s : 시스템 BW는 노이즈 BW

I_s : Max. 허용 간섭 수준

전송손실(Transmission Loss)은 식 6과 식 7과 같다.

$$TL(dB) = 20\log f + 10n\log d - K - G_t - G_r + A \quad (6)$$

여기서,

f: 주파수

n: 감쇠 값

d: 거리(m)

G_t: Tx 안테나 이득

G_r: Rx 안테나 이득

A: 추가로 발생하는 손실

K: 상수

$$K = 210\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) \quad (7)$$

2.2.3.1 동일 대역에서 MLS와 무선 LAN

동일 대역에서 MLS와 무선LAN의 파라미터 값을 기초로 한 MCL 계산은 아래 식 8과 같다.

$$MCL = 30 - 21.2 + 120 = 128.8dB \quad (8)$$

전송 손실은 출력된 MCL 값보다는 높아야 하고, 5.2 GHz 대에서 전송 손실은 아래의 식 9와 식 10과 같다.

$$TL = 46.8 + 10n\log d - G_t - G_r + A \quad (9)$$

$$TL = 44.8 + 10n\log d + A \quad (10)$$

자유공간 전송일 때의 신호의 크기가 감쇠 되는 값은 2이며, 추가 손실 값 A는 3 dB가 된다. 두 무선국 사이에 간섭이 없도록 이격을 두는 거리는 1.2 km가 된다. 이와 같은 결과로 유추해보면, 두 무선국사이의 간섭을 끼치는 영향으로 인해 시스템 간에는 기능이 동작하지 않는 혹은 통신이 안 될 수 있어, 항공기 내부에서 노트북이나 PDA를 통한 무선 랜 사용은 금지되어야 한다.

2.2.3.2 인접 대역 MLS와 무선 LAN

무선 LAN의 RF 방사 -60 dBW, MLS 시스템의 대역의 신호 -40 dB, 인접 채널 허용을 전체 -65 dB로 하기 위해서 시스템 주파수 선택도 -25 dB를 더한다. 따라서 대역(Band Width)밖에 존재하는 인접 대역 주파수로 인해 상호 영향을 끼치는 간섭은 대역내 간섭과 비교해서 크기가 작아 무시할 수 있다. 대역내 인접 대역에서 나타나는 간섭 전력(Pi)은 RLAN을 위해 설계된 밴드대역 밖에서 무선주파수 방사전력은 -60dBW(-30 dBm)이다. 만

일 원하지 않은 주파수인 스퓨리어스 방사가 좁은 대역이고 -30 dBm의 전체 전력이 MLS 수신기 대역폭 내에서 있다면, 이 시나리오에서 MCL은 식 11과 같은 식으로 표현된다.

$$MCL = -30 - (-120) = 90 dB \quad (11)$$

2.2.4 결과

전송 손실은 계산된 MCL보다는 큰 값을 가져야 하며, 전송 손실과 감쇠 값이 n=2일 때, 추가적인 손실 A=3을 식에 대입하면 간섭이 없는 이격거리 129m이다. 만약 n=3일 경우, 추가적인 손실 A가 10dB RLAN 과 MLS 사이에 가지거리가 아니면, 간섭 없는 최소 이격거리는 15m가 된다. 이 같은 경우 지향성 안테나와 전력 제어(Power Control)를 적용한다면 두 무선국 사이의 간섭은 큰 영향을 받지 않는다.

또한 많은 수의 간섭원이 존재하는 경우에도 아래의 계산을 참고하면 양립이 가능하다. 예를 들어 1km의 항공기가 이륙과 착륙하는 근처에 10개의 건물이 있고 각각 건물마다 10개의 무선 랜을 설치한다고 가정하면, 1km의 거리의 각 건물에 100개의 무선 랜 설치가 가능하다고 볼 수 있다. 이와 같은 경우 MCL은 20dB에서 110dB로 증가한다. 전송 손실(TL)은 수식에 따라 계산된 MCL 값보다는 커야만 두무선국이 양립할 수 있다. 전송 손실 관련 수식과 손실값 n=2일 경우, 추가적인 발생하는 손실 A= 3을 적용하면 간섭없는 최소 거리는 1.3km가 된다. 결론적으로 MLS 시스템은 LOS에서는 1.3km 내에 약 100개의 무선 랜을 구축할 수 있다는 결론을 얻을 수 있으며 두 무선국 사이에는 양립이 가능하다.

2.2.5 검증에 위한 톨과 필드 측정

현재 세계표준화 기구에서 권고하는 많은 전파전과 분석을 이용한 시뮬레이션 톨들이 있으며 이보다 더 정확한 분석을 하려면 GIS 속성과 관련된 환경적인 요소인 건물, 산, 하천과 같은 GIS 속성 요소가 아주 상세하게 식에 반영되어야 하며 수집되는 많은 데이터를 DB화하여 반복적인 측정을 하여 얻어진 분석 자료를 통해 보정된 검증된 수단이 필요하다.

본고에서는 검증된 주파수 분석 시스템인 RFMS를 이용하여 시범현장을 김포 공항의 위도 경도와 지도를 구성하고 있는 하천, 산, 건물과 같은 지리적인 특성을 반영함으로써 간섭 분석에 대한 신뢰성을 더 하도록 하였

다. Fig. 1은 자유공간손실모델을 적용하여 김포공항에 대한 시뮬레이션 적용 범위를 나타낸다. Fig. 2는 공항 전체를 1Km간격의 셀로 나누어 전체를 커버하는 방안을 설명하고 있다. Fig. 3은 분석하고자 하는 공항 반경 1km 이내에서 방위각 간격을 5도로 하고 시뮬레이션 분석은 신뢰성을 높이기 위해 최소 5m단위로 계산하였다. 최대 전계강도는 106.6dBuV/m이고 최소 전계강도는 -37.80dBuV/m을 나타내며 전체 셀을 이와 같은 방법으로 시뮬레이션 하였다.

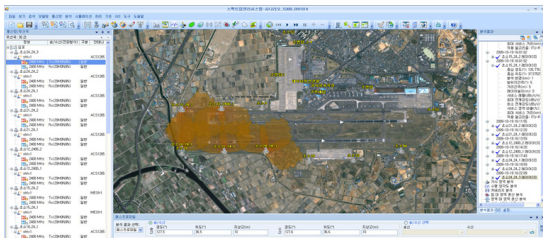


Fig. 1. Expansion of airport-wide simulation at 1 Km radius intervals

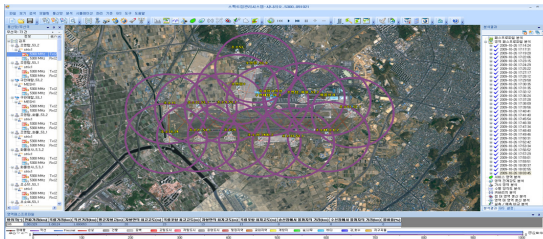


Fig. 2. Airport-wide simulation range at 1 km radius

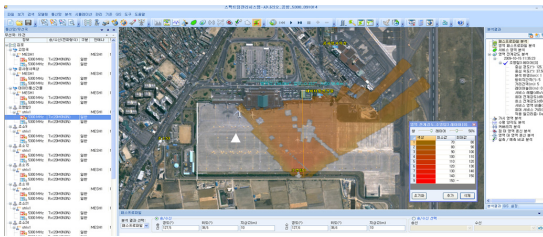


Fig. 3. Frequency Propagation analysis simulation in one cell

또한 항공기내에 설치하는 불가능하지만 유사한 시나리오대로 설치를 하고 실제 양립성이 가능한지를 간접적인 측정으로 수행했다.

이런 시뮬레이션은 공항 내에 존재하는 장비로 인하여 타 장비에 영향을 줄 수 있으므로 식 12와 같이 사용

되는 장비 주파수대별로 측정범위 및 고조파의 범위를 반드시 적용해야 한다.

$$k_f = I_f - O_f \quad (12)$$

여기서,

Kf : f의 교정 인자

If : f에서 레벨발생기 입력 전력

Of : f에서 수신기에 의해 측정된 출력 전력

측정이 쉽게 가능하도록 회로설계를 하고 공항에 존재하는 가능한 모든 장비에 대하여 교정이 필요하며 식 13에 의해 측정시스템 전체에 대한 교정인자를 도출해 낼 수 있다.

$$k_{ms,f} = \sum_i k_{i,f} \quad (13)$$

여기서,

kms,f : 주파수 f의 측정을 위해 구성하고 있는 요소

ki,f : f의 측정을 위해 설계한 각 회로에 대한 교정인자

위의 변수를 고려한 원치 않는 불요파의 방사 전력은 식 14로 산출 할 수 있다.

$$P_{s,f} = P_{r,f} + k_{ms,f} \quad (14)$$

여기서,

Ps,f : 주파수 f에서 불요파 전력(dBW 또는 dBm)

Pr,f : 주파수 f에서 수신기 측정 전력(dBW 또는 dBm)

3. 결론

공항과 같은 특수한 장소의 주파수 할당은 단순히 할당의 문제만이 아니라 보안과 안전을 고려하여 심각한 문제로 다뤄져야 한다. 전파간섭 계산을 통한 양립은 전파분석모델을 이용하여 반복적으로 수행해야 하며 측정 또한 일정한 횟수만큼 반복적으로 하고 보정하는 사이클을 통해서만 좀 더 정확한 간섭 분석을 할 수 있다.

본고에서의 시뮬레이션을 통한 분석은 타 분야에도 적용이 가능하다.

REFERENCES

[1] Report ITU-R SM.2028-1. (2001). *Monte Carlo Simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems*. ITU. <https://www.itu.int>

[2] Recommendation ITU-R F.1489. (2015). *A methodology for assessing the level of operational compatibility between fixed wireless access and radiolocation system when sharing the band 3.4-3.7 GHz*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1489/en>

[3] Recommendation ITU-R F.1097-1. (2000). *Interference mitigation option to enhance compatibility between radar systems and digital radio-relay systems*. Extranet. <https://extranet.itu.int>

[4] Recommendation ITU-R F.339-7. (2006). *Bandwidths, signal-to noise ratios and fading allowances in complete systems*. ITU. <https://www.itu.int>

[5] Recommendation ITU-R P.371-8. (2016). *Choice of indices for long-term ionospheric predictions*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.371/en>

[6] Recommendation ITU-R P.372-8. (2016). *Radio noise*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en>

[7] Recommendation ITU-R P.533-9. (2015). *Method for the prediction of the performance of HF circuits*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.533/en>

[8] Recommendation ITU-R P.1239-1. (2012). *ITU-R reference ionospheric characteristics*. ITU. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1239/en>

[9] REC REPORT 14. (2015). *Co-existence of radio local area networks with the microwave landing system*. Erododb. <http://www.erododb.dk>

[10] T. S. Rappaport. (2002). *Wireless Communications principle and practice*. USA : Prentice Hall PTR.

[11] P. Stavroulakis. (2003). *Interference Analysis and Reduction for Wireless Systems*. London : Arctec House.

[12] D. Parsons. (1992). *The Mobile Radio Propagation Channel*. New York : Wiley.

[13] S. Y. Seidel & T. S. Rappaport.(1992). 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings. *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, 40(2), 207-217.
DOI : 10.1109/8.127405

[14] J. M. Hong, Y. S. Park & S. Y. Lee. (2002). Measurement of data rate due to indoor interference of 5GHz band wireless LAN. *Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*.

[15] J. H. Kim. (2008). Interference Analysis and Standard

Measurement Method for Frequency Assignment of Weapon Systems. *Earth Weapon Conference, 1*, 131-132.

저 자 소 개

김 지 희(Ji-Hee Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 안동대학교 멀티미디어공학 석사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 대학원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 인소팩(주) 이사

<관심분야> : 무선통신, 멀티미디어

조 정 현(Jung-Hyun Cho)

[정회원]



- 2010년 2월 : 안동대학교 멀티미디어공학 석사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 대학원

<관심분야> : 무선통신, 멀티미디어

조 대 제(Dae-Jea Cho)

[정회원]



- 1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2001년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2002년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야> : 정보통신, 멀티미디어

손 동 철(Dong-Cheul Son)

[정회원]



- 1985년 8월 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2001년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 박사
- 1983년 12월 ~ 1999년 5월 : ETRI 선임연구원

• 2002년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학과 교수
<관심분야> : 무선통신, 멀티미디어, 지능정보, 운영체제