스파이럴 구조 기생 소자와 L자형 공진기를 갖는 모노폴 안테나 설계 및 구현

Design and Implementation of Monopole Antenna with Parasitic Element of Spiral Shape and L-Resonator

윤광열 · 이승우 · 김장렬* · 이승엽** · 김 남

Kwang-Yeol Yoon · Seungwoo Lee · Jang-Yeol Kim* · Seung-Yeop Rhee** · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 기생 소자의 커플링 현상을 이용하여 다중 대역 특성을 나타내기 위한 평면형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 단일 공진이 발생하는 사각 패치를 기본으로 다중 대역 특성을 얻기 위해 기생 소자를 삽입하였다. 기생 소자는 안테나 크기의 소형화와 다중 공진 특성을 나타내기 위해 스파이럴 구조를 사용하였으며, 각각의 설계 파라미터들을 이용하여 주파수 특성을 최적화 시켰다. 또한, via-hole을 통해 접지면에 연결된 L자 형태의 공진기를 급전선 양쪽에 삽입함으로써 서비스 대역 이외에 사용되지 않는 주파수 대역을 차단하였다. 사용된 기판은 크기가 $40 \times 60 \times 1 \text{ mm}^3$ 이고, 비유전율 4.4인 FR-4 기판 위에 설계되었으며, 급전은 임피던스 50 Ω 의 마이크로스트립 선로를 사용하였다. 측정 결과, 1.714~2.496 GHz, 2.977~4.301 GHz, 4.721~6.315 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성을 나타냈으며, 전방향의 방사 패턴을 나타냈다.

Abstract

In this paper, we designed and implemented the planar monopole antenna using the coupling effect for the multi-band characteristic. A parasitic element for the multi-band characteristic based on a rectangular patch with single resonance is inserted. Spiral shaped parasitic element is used for minimizing the antenna size and obtaining the multi-resonance characteristic. The frequency characteristics are modified and optimized by varying specific parameters. By inserting an L-shaped resonator at both sides of the feed line which connected through the via hole to the ground plane, unnecessary frequency bands are eliminated. Proposed antenna dimension is $40 \times 60 \times 1 \text{ mm}^3$. It is fabricated on the FR-4 substrate ($\epsilon_r=4.4$) using a microstrip line of 50 Ω for impedance matching. By measurement results, the characteristic of the return loss under -10 dB are 1.714~2.496 GHz, 2.977~4.301 GHz, and 4.721~6.315 GHz, and the radiation patterns have omni-directional shapes.

Key words : Planar Monopole Antenna, Coupling Effect, Parasitic Patch, L Resonator, Band Stop Filter

I. 서 론

무선 통신 기술의 발전으로 다양한 서비스들이 개발되고 사용화 됨에 따라 이러한 서비스들을 동시

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2044339).」
충북대학교 정보통신공학부(School of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

**전남대학교 전자통신공학과(Department of Electronic Communication Engineering, Chonnam National University)

· Manuscript received October 11, 2012 ; Revised November 12, 2012 ; Accepted December 27, 2012. (ID No. 20121011-112)

· Corresponding Author : Nam Kim (e-mail : namkim@chungbuk.ac.kr)

에 수용할 수 있는 다중 대역 및 광대역 안테나의 필요성이 대두되었다. 이러한 특성을 얻기 위해 다양한 형태의 안테나가 연구되었으며, 프랙탈 안테나, 보우-타이 안테나, 나선형 안테나, 대수주기 안테나 등이 개발되었다^{[1]~[4]}. 하지만, 구조가 복잡하고 부피가 크다는 단점이 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 모노폴 안테나가 개발되었다.

모노폴 안테나는 구조가 간단하고 제작이 용이하여 여러 분야에서 사용되고 있으나, 주파수 대역이 좁은 것이 단점으로 지적되고 있다. 이러한 모노폴 안테나의 단점을 개선시키기 위한 방법으로 복사 소자를 평면으로 하는 평면형 모노폴 안테나(planar monopole antenna)가 연구되었다. 평면형 모노폴 안테나의 복사 소자는 마름모, 사각형, 원형 등의 여러 형태가 있으며^[5], 기존의 가는 도선을 사용하는 모노폴 안테나에 비하여 대역폭이 넓다^[6].

본 논문에서는 다중 대역 및 광대역 특성을 갖는 평면형 모노폴 안테나를 설계하였으며, 이러한 특성을 나타내기 위해 다중 공진이 발생하는 스파이럴 형태의 기생 패치를 사용하였다. 제안된 안테나는 PCS (1,850~1,990 MHz), WCDMA(1,920~2,170 MHz), WLAN(2,400~2,483 MHz, 5,750~5,825 MHz), WiMAX (3,300~3,700 MHz) 등의 서비스 대역에서 응용이 가능하며, 안테나의 주파수 특성에 영향을 주는 파라미터들의 최적화 과정을 통해 원하는 결과 값을 얻었고, 실제 제작을 통하여 반사 손실 및 방사 패턴을 측정하였다.

II. 안테나 설계 및 모의실험

2-1 안테나 구조

본 논문에서 제안한 안테나는 일반적인 평면형 모노폴 안테나와 같이 급전 선로와 방사 패치가 동일한 평면 위에 존재하며, 유전체를 중심으로 반대쪽에 접지면이 존재하는 구조이다. 기본적으로 급전선에 사각형 방사 패치를 연결하여 단일 공진을 발생시키고, 접지면 상단에 기생 패치를 부설하여 추가 공진을 발생시켜 전체적인 대역폭을 확장시켰다. 또한, 급전선 양쪽으로 L자 형태의 공진기를 삽입하여 불필요 주파수 대역을 저지시켰다.

그림 1은 제안된 안테나의 구조를 보여준다. 전체

그림 1. 제안된 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of the proposed antenna.

적인 크기는 $60 \times 40 \times 1 \text{ mm}^3$ 이고, 앞면에 $20 \times 17 \text{ mm}^2$ 의 안테나 패치와 뒷면에 $6.1 \times 18 \text{ mm}^2$ 의 기생 패치로 구성되어 있다. 제작에 사용된 기판은 비유전율(ϵ_r)이 4.4이고, 두께가 1 mm인 FR-4 기판($\tan \delta = 0.015$)이다.

2-2 안테나 설계

그림 3에 나타나듯이 5.75 GHz의 WLAN을 만족하기 위해 약 6 GHz까지의 주파수 대역을 포함하는 사각 패치를 설계하였다. 그리고 WCDMA와 WiMAX 서비스 대역을 만족하기 위한 추가적인 대역을 확보하기 위해 접지면에 연결된 스파이럴 형태의 기생 패치를 삽입하였다.

기생 패치로 사용된 스파이럴 구조는 넓은 주파

그림 2. 스파이럴 공진기 구조와 등가 회로

Fig. 2. Structure and equivalent circuit model of the spiral resonator.

수 범위에서 방사 패턴, 임피던스, 편파 특성 등이 변하지 않는 주파수 독립 특성을 나타내며, 소형의 구조로서 광대역 정합 특성과 다양한 방사 패턴을 얻을 수 있는 장점이 있다^[9].

그림 2는 스파이럴 공진기의 일반적인 형태이며, 유전체 기판 위에 식각되어 있다. 스파이럴 선로에 외부에서 시간에 따라 변하는 자계(time varying magnetic field)가 가해지면, 스파이럴 선로에 전류가 유기된다. 유기된 전류가 흐르는 선로의 길이만큼 분산 인덕턴스(distributed inductance)가 발생하며, 선로들 사이의 상호 인덕턴스(mutual inductance)가 발생한다. 선로에 유기된 전류에 의해 전압 분포는 그림 2와 같이 되며, 안쪽과 바깥쪽 선로 사이에 분산 캐패시턴스(distributed capacitance)와 양 끝단에서 가장자리 캐패시턴스(fringing capacitance)가 발생한다. 이 두 캐패시턴스는 직렬로 연결되어 있다고 할 수 있다. 따라서 그림 2의 등가 회로와 같이 나타낼 수 있다^[7].

그림 2의 등가 회로에서 C_d 는 분포 캐패시턴스, R 은 스파이럴 선로의 저항, C_f 는 가장자리 캐패시턴스이며, L 은 상호 인덕턴스($M_{i,j}$)와 분포 인덕턴스(L_0)의 합으로 나타낼 수 있으며, 식 (1)~(3)으로 표현할 수 있다.

$$L_T = L_0 + M_+ - M_- \quad (1)$$

여기서, L_T 는 분포 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 합이며, $L_0 = L_1 \sim L_8$ 까지의 합으로 나타낼 수 있다. M_+ 는 양의 상호 인덕턴스의 합이고, M_- 는 음의 상호 인덕턴스의 합이며, 식 (2)로 다시 표현할 수 있다.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 \\ + 2(M_{1,5} + M_{2,6} + M_{3,7} + M_{4,8})$$

$$-2(M_{1,7} + M_{1,2} + M_{5,7} + M_{5,3} \\ + M_{2,8} + M_{2,4} + M_{6,8} + M_{6,4}) \quad (2)$$

캐패시턴스 C_T 는 분산 캐패시턴스와 가장자리 캐패시턴스의 합으로 나타낼 수 있으며, 식 (3)으로 표현된다.

$$C_T = C_d + C_{f1} + C_{f2} \quad (3)$$

따라서 등가 회로에 대한 공진 주파수는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_T C_T}} \quad (4)$$

여기서 C_T 는 분산 캐패시턴스와 가장자리 캐패시턴스의 합이며, L_T 는 상호 인덕턴스와 분산 인덕턴스의 합이다^[9].

이를 통해 선로의 길이와 간격에 의해 공진 주파수를 결정할 수 있고, 스파이럴 기생 소자의 길이는 원하는 주파수에서 공진이 일어날 수 있도록 동작 주파수의 $\lambda/3$ 에서 $\lambda/4$ 사이의 범위에서 46.8 mm로 최적화 시켰다. 그림 3은 스파이럴 형태 기생 소자의 유무에 따른 최적화된 반사 손실을 보여주고 있다. 기생 패치를 삽입함으로써 1.721~2.546 GHz와 2.956~6.308 GHz 대역의 반사 손실 특성을 나타내며, 목표 서비스 대역을 모두 만족한다. 또한, 기생 패치의 위치에 따라 커플링의 영향으로 안테나 특성에 영향이 있는 것을 확인하기 위하여 패치 간격

그림 3. 기생 소자 유무에 따른 반사 손실 비교

Fig. 3. Comparison of the return loss depending on the existence of parasitic patch.

그림 4. 패치 간격에 따른 반사 손실 변화

Fig. 4. Variation of the return loss by the gap of patches.

그림 5. L 공진기의 구조

Fig. 5. Structure of the L-resonator.

(gap)에 따른 특성 변화를 분석하였다. 그림 4에서 보여주듯이 전체적으로 대역폭의 변화는 크지 않았으나, 간격이 넓어질수록 공진 특성이 나빠졌고, 따라서 모든 구간에서 특성이 가장 뚜렷하게 나타나는 0.5 mm를 선택하여 설계를 진행하였다.

3~6 GHz의 상위 주파수 대역에서 5 GHz 대역의 WLAN 서비스 대역을 제외한 3.7~5.7 GHz 주파수

그림 6. L 공진기를 이용한 EM 모의실험 구조

Fig. 6. Structure of EM simulation using the L-resonator.

그림 7. 그림 5 구조의 EM 모의실험 결과

Fig. 7. EM simulated result of Fig. 5's structure.

대역을 저지시키기 위해 그림 5와 같은 L자 형태의 공진기를 사용하였다. 개방형 $\lambda/2$ 길이의 공진기나 단락형 $\lambda/4$ 길이의 공진기는 급전선과 전자기적으로 커플링을 발생시켜 대역 저지 특성을 나타낸다^[8].

공진기 구조가 차지하는 면적을 줄이기 위해 직경 0.3 mm의 via-hole을 통해 접지면에 단락되는 구조를 선택하였고, 그림 6과 같이 EM 모의실험 구조로 그 특성을 알아보았다. 기판과 공진기는 표 2의 최적화된 변수를 사용하여 그림 1의 제안된 안테나에서 사용된 구조와 동일한 크기와 경계 조건을 적용하여 설계하였다. 50 Ω 전송 선로 양쪽으로 L-공진기 구조를 삽입하여 4.5 GHz에서 대역 저지 특성이 나타나도록 설계하였으며, 결과를 그림 7에서 확인할 수 있다.

EM 모의실험을 통해 제안된 L-공진기를 안테나에 삽입하고, 변수들에 대해 특성 변화를 알아보았다. L-공진기의 가로 길이 및 세로 길이에 따른 반사 손실 특성을 그림 8에 나타내었다. 두 경우 모두 길이에 따라 공진 주파수를 결정할 수 있었으며, 4~5 GHz 대역을 차단하기 위해 공진기 구조의 가로 길이 (L_x)와 세로 길이(L_y)를 각각 4.5 mm로 선택하였다. 그림 9는 L-공진기의 수평(m_x) 및 수직(m_y) 위치 변화에 따른 반사 손실 특성을 나타낸다. 공진기 구조가 급전선으로부터 수평 방향으로 멀어질수록(m_x) 대역 저지 특성이 눈에 띄게 나빠지는 것을 알 수 있다. 수직 위치에 따른 변화는 상대적으로 적게 나타났는데, 공진기가 급전선에 연결된 형태가 아니기 때문

(a) L-공진기의 가로 길이 변화
(a) Variation of width length of L-resonator

(a) L-공진기의 수평 위치 변화
(a) Variation of the horizontal position of L-resonator

(b) L-공진기의 세로 길이 변화
(b) Variation of height length of L-resonator

(b) L-공진기의 수직 위치 변화
(b) Variation of the vertical position of L-resonator

그림 8. L-공진기 길이에 따른 반사 손실 변화
Fig. 8. Variation of the return loss by the size of L-resonator.

그림 9. L-공진기 위치에 따른 반사 손실 변화
Fig. 9. Variation of the return loss by the position of L-resonator.

에 유도 전류의 영향을 받아 이러한 특성이 나오는 것으로 예상된다. 따라서 수평 위치를 조절하여 적절한 저지 대역폭을 확보하기 위해 m_x 의 길이를 0.5 mm로 선택하고, 상대적으로 대역폭 변동이 적은 m_y 를 1 mm로 선택하여 원하는 구간에서의 대역 저지 구간을 확보하였다.

그림 10은 최적화된 L-공진기의 유무에 따른 반사 손실 특성을 나타낸다. 전체적인 대역폭에는 변화가 없으며, 4~5 GHz 대역 저지 특성이 나타나는 것을 확인하였다.

그림 11은 전류 분포 특성을 나타내며, 1.95 GHz, 6.13 GHz에서는 전류가 급전선을 따라 흐르면서 스파이럴 구조에 집중되는 것을 확인할 수 있으며,

그림 10. L-공진기 유무에 따른 반사 손실 비교
Fig. 10. Comparison of the return loss depending on the existence of L-resonator.

그림 11. 표면 전류 분포
Fig. 11. Surface current distribution.

3.54 GHz에서는 사각 패치와 스파이럴 구조에 전류가 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 4.5 GHz에서의 전류 분포는 L-공진기 구조에 전류가 집중되어 대역 저지 특성이 발생하게 됨을 확인할 수 있다.

III. 안테나 제작 및 측정

그림 12는 실제 제작된 안테나의 모습이며, 안테나 설계 및 제작에 사용된 최적화된 파라미터들을 표 2에 나타내었다. 앞서 언급했던 것처럼 비유전율 4.4의 FR-4 기판에 제작되었고, 그림에서 확인할 수 있듯이 모의 실험된 모델과 실제 제작된 모델은 동일한 형태임을 알 수 있다. 측정 시스템은 Agilent Technologies社의 네트워크 분석기(E5071C)를 사용하였다.

표 2에서 최적화된 파라미터로 설계 및 제작된 안테나의 반사 손실 계산치와 측정치를 그림 13에 나타내었다. 반사 손실의 -10 dB 이하를 기준으로 시뮬레이션 결과는 $1.714 \sim 2.556$ GHz, $3.097 \sim 3.969$ GHz, $4.902 \sim 6.285$ GHz이고, 측정 결과는 $1.714 \sim 2.496$ GHz, $2.977 \sim 4.301$ GHz, $4.721 \sim 6.315$ GHz로 나타났다. 두 결과가 전체적으로 유사한 특성을 나

그림 12. 제작된 안테나의 사진
Fig. 12. Photograph of the fabricated antenna.

그림 13. 반사 손실 비교
Fig. 13. Comparison of the simulated and measured return loss.

타내고 있으나, $4 \sim 5$ GHz 대역의 대역 저지 특성이 실제 측정에서 차이를 보였다. 측정에 있어 반사 손실 값은 실험실의 환경적인 요인이나 측정자의 영향 등으로 다소 오차가 생길 수 있으나, 본 논문의 경우에는 상대적으로 저지 구간에서만 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이것은 앞서 그림 9에서 보여준 모의실험 결과에서 L-공진기의 수직, 수평 위치에 따른 최적화 되지 않은 결과와 유사한 특성을 보인다. 이러한 결과가 나타난 원인은 안테나 제작시에 공진기 위치의 차이가 다소 있거나, 동작 특성이 이러한 미세한 차이에 민감하게 영향을 받아 나타난 결과일 것으로 사료된다. 표 1에서와 같이 전 대역에서 최대 이득은 $-2.49 \sim 3.43$ dBi이며, 효율은 $15.1 \sim 41.3$ %의 결과를 얻었다.

그림 14. 제안된 안테나의 방사 패턴 비교

Fig. 14. Comparison of the radiation pattern of the proposed antenna.

그림 14는 1.95 GHz, 2.45 GHz, 3.5 GHz, 5.25 GHz, 5.75 GHz에서 모의실험 및 측정된 방사 패턴을 비교하여 나타낸 것으로, 모의실험 결과와 측정된 결과의 E-plane(y-z plane), H-plane(x-z plane)의 방사 패턴은 전반적으로 유사하게 나타났으며, 전방향성

패턴을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 커플링 현상을 이용하여 다중 대역 특성을 나타내는 평면형 모노폴 안테나를 제작하

표 1. 안테나 최대 이득 및 효율

Table 1. Peak gain and efficiency of the antenna.

주파수[GHz]	최대 이득[dBi]	효율(%)
1.95	1.92	36.7
3.5	3.43	41.3
4.5	-2.49	15.1
6.0	0.23	30.5

표 2. 제안된 안테나의 최적화 된 파라미터

Table 2. Optimized parameters for the proposed antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)
X_1	40	W_1	0.5
X_2	60	W_2	0.5
X_3	40	W_3	0.5
P_1	20	S_1	18
P_2	17	S_2	6.1
F_1	2	S_3	6.5
L_x	4.5	S_4	4.1
L_y	4.5	S_5	5.5
G_1	0.5	S_6	2.1
G_2	0.5	S_7	4.5
Via-hole	0.3	Gap	0.5

였다. 제안된 안테나는 WLAN 5.7 GHz 대역을 만족하기 위해 앞면의 사각 패치의 크기를 최적화 시켰으며, 접지면에 연결된 스파이럴 형태의 기생 소자를 삽입함으로써 WCDMA와 WiMAX 대역을 만족하는 다중 공진 및 광대역 특성을 나타냈다. 또한, L자 형태의 공진기를 via-hole을 통해 급전선 양쪽에 삽입하여 불요 주파수에 대하여 대역 저지 특성을 보였다. 제작된 안테나의 측정 결과는 1.714~2.496 GHz, 2.977~4.301 GHz, 4.721~6.315 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성을 만족하였고, 방사 패턴은 전방향성 특성을 나타냈다. 이 결과로 앞서 나타낸 WCDMA, WiMAX, WLAN 등의 통신에 응용할 수 있을 것으로 평가된다.

참 고 문 헌

[1] C. T. P. Song, P. S. Hall, H. Ghafouri, and I. Henning, "Fractal Antenna Research at University of

- Birmingham", *11th Int. Conf. on Antennas and Propagation*, vol. 2, pp. 724-727, 2001.
- [2] K. L. Shlager, G. S. Smith, and J. G. Maloney, "Optimization of bow-tie antennas for pulse radiation", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 42, no. 7, pp. 975-982, Jul. 1994.
- [3] 이근호, "UWB 무선통신국내도입방안연구", 전파연구소전파기술세미나 자료집, pp. 79-100, 2002년 5월.
- [4] D. J. Daniels, "Surface-penetrating radar", *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 165-182, Aug. 1996.
- [5] Y. -H. Kim, W. -G. Lin, W. -S. Lee, and J. -W. Yu, "Integrated printed wideband antenna with L-resonator band-stop filters", *European Conference on Antennas and Propagation: EuCAP 2006(ESA SP-626)*, 831.1, Published on CDROM, Nov. 2006.
- [6] 최학근, 서승업, "광대역 십자형 모노폴 안테나의 설계", 한국전자과학회논문지, 16(7), pp. 768-775, 2005년 7월.
- [7] 이종혁, 오영철, 명로훈, "Split-ring 공진기와 Spiral 공진기를 이용한 새로운 소형의 마이크로스트립 대역 저지 필터 설계", 한국전자과학회논문지, 18(7), pp. 796-808, 2007년 7월.
- [8] K. P. Ray, "Design aspects of printed monopole antennas for ultra-wide band applications", *Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2008, Article ID. 713-858.
- [9] 김 남, 박상명, 김종면, "이중 대역 스파이럴 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석", 한국전자과학회논문지, 18(12), pp. 1370-1382, 2007년 12월.
- [10] 김장렬, 이승우, 김남, 이상민, 오병철, "스파이럴 공진기와 CSRR을 이용한 삼중 대역 저지 특성을 갖는 UWB 안테나", 한국전자과학회논문지, 22(11), pp. 1078-1091, 2011년 11월.
- [11] 박성우, 김남, 이승업, 이승우, 김철호, "자계 위상차를 이용한 CPW 급전 방식의 분리된 양팔 스파이럴 슬롯 안테나", 한국전자과학회논문지, 19(12), pp. 1322-1332, 2008년 12월.

[12] 김홍필, 남윤권, 조원상, 박동철, "스파이럴 안테나의 설계 연구", 대한전자공학회 학술대회논문

집, 21(1), pp. 271-274, 1998년 5월.

윤 광 열

2011년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 인체영향

이 승 엽

1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1993년 9월~2006년 2월: 국립여수대학교 전자통신공학과 교수
2004년 7월~2005년 8월: Syracuse 대학교 방문교수
2006년 3월~현재: 국립전남대학교 전자통신공학과 교수
[주 관심분야] 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석

이 승 우

2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)
2012년 7월~현재: 충북대학교 리서치 펠로우

[주 관심분야] Meta-material, 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체 영향, 무선전력전송

김 남

1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stanford 대학교 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Institute 방문교수
1989년~현재: 충북대학교 전자정보대학 교수
1999년~2000년: 컴퓨터정보통신연구소 연구소장
1996년~현재: 한국전자과학회 전자장과 생체관계위원회 위원장
2000년~현재: 한국전자과학회 평의원/이사
2006년~2009년: BEMS(Bioelectromagnetics Society) 이사
2004년~2010년: 방송통신위원회 방송통신국가표준심의회 위원
2008년~현재: 중앙전파관리소 자문위원회 위원
2008년~현재: 방송통신위원회 자체평가위원회 위원
[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

김 장 렬

2010년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2012년 3월~현재: 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] 안테나 설계 및 SAR 분석, 전자파, 메타 물질