집중 소자를 사용한 이중 대역 루프형 그라운드 안테나 설계

Design of a Dual-Band Loop-Type Ground Antenna Using Lumped-Elements

이형진 · 류 양 · 이재석 · 김형훈 · 김형동

Hyungjin Lee · Yang Liu · Jaeseok Lee · Hyung-Hoon Kim · Hyeongdong Kim

요 약

본 논문에서는 집중 소자로 임피던스 대역폭과 공진 주파수 컨트롤이 가능한 이중 대역 루프형 그라운드 안테나를 제안한다. 제안된 안테나의 이중 대역 특성은 기존의 루프형 그라운드 안테나의 형태에 추가적인 공진 루프 급전 구조를 삽입하여 구현하였다. 적절한 캐패시터와 인덕터를 사용하여 2.45 GHz와 5.5 GHz 대역에서 $VSWR < 3$ 에서 각각 85 MHz와 725 MHz의 임피던스 대역폭을 만족시켰으며, 시뮬레이션과 측정 결과를 통하여 그 타당성을 입증하였다. 제안된 안테나의 면적은 $10 \times 5 \text{ mm}^2$ 로 작은 크기를 갖고 있을 뿐만 아니라, 구현하고자 한 이중 대역에서 좋은 방사 패턴과 안테나 효율을 나타내었다.

Abstract

This paper presents a dual band loop-type ground antenna using lumped-elements that control the impedance bandwidth and resonant frequency. The dual-band operation of the proposed antenna is realized by inserting an additional resonated loop feed structure into the reference ground antenna. As the proper value of the capacitor and the inductor are chosen, the impedance bandwidth of our antenna with voltage standing wave ratio(VSWR) equal to 3 is 85 MHz and 725 MHz at the 2.45 and 5.5 GHz frequency band, respectively. Its validity is demonstrated via both the computed and measured results. Good antenna patterns and efficiencies are achieved at the dual frequency bands, as well as the physically small antenna element size($10 \times 5 \text{ mm}^2$).

Key words: Dual-Band Antenna, Lumped-Elements, Controlling Impedance, And Resonance Frequency

I. 서 론

최근 스마트폰 시장 활성화에 따라, 스마트폰을 이용한 무선통신 서비스 사용량 또한 급격히 증가하는 추세이다. 각종 방송 매체에서 무선통신 서비스 사용량 증가에 따른 여러 문제들을 보도할 만큼 관심이 집중되고 있으며, 다수의 통신 사업체 또한 이에 관한 문제 해결에 많은 노력을 기울이고 있다. 향

후 4세대 이동 통신 시대에도 스마트폰 사용량은 계속 증가할 전망이다. Wi-Fi 또한 그 사용자가 줄지 않고 증가할 전망이다. 이에 따라 스마트폰 통신에 사용되는 Wi-Fi 대역의 효율적인 사용 방안에 대한 많은 연구가 진행되고 있다^{[1]~[3]}. 단말기 제조사들은 MIMO 기술을 이용하여 채널 용량을 확보하는 방법과 그동안 활용도가 적었던 5 GHz Wi-Fi 대역을 이용하는 방법에 대해 연구하고 있는 추세이다. 하지

「이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011-0015540).

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronic and Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received October 7, 2011 ; December 7, 2011 ; April 9, 2012. (ID No. 20111007-119)

· Corresponding Author : Hyeongdong Kim (e-mail: hdkim@hanyang.ac.kr)

만, MIMO 기술을 이용한 방법은 안테나를 내장하기 위한 추가적인 공간이 필요한 단점이 발생하게 되며, 특히 좁은 공간에 소형의 안테나를 실장하는 것은 방사 특성의 저하 및 협대역 현상이 나타나는 문제점을 수반하게 된다^{[4],[5]}. 따라서, 본 논문에서는 5 GHz Wi-Fi 대역을 2.4 GHz 대역과 같이 사용하는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

기존의 루프형 그라운드 안테나는 작은 사이즈임에도 불구하고 2.4 GHz 대역에서 좋은 방사 특성과 충분한 대역폭을 보였다. 집중 소자로 공진 주파수와 임피던스 대역폭을 제어할 수 있었지만, 이중 대역의 특성은 나타나지 않았다^{[6],[7]}. 본 논문에서 제안한 안테나는 기존의 루프형 그라운드 안테나의 급전 구조 부분과 그라운드 루프 패스의 변형을 통하여 이중 대역을 구현하였다. 또한, 단일 밴드의 기존의 루프형 그라운드 안테나의 특성과 같이 집중 소자로써 2.4 GHz 및 5 GHz 대역의 공진 주파수와 임피던스를 쉽게 조절할 수 있다. 집중 소자는 상용 칩 커패시터(capacitor)와 인덕터(inductor)를 사용하였으며, 실제 제작 후 미세한 소자값을 만들기 위해 커패시터를 2개 혹은 3개 직렬 연결하여 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 안테나의 구체적인 구조와 그 설계를 통하여 얻고자 하는 특성을 설명한다. 그리고 루프를 형성하는 전류의 흐름에 따른 분석과 삽입된 집중 소자의 크기에 따른 특성 변화를 살펴본다. 마지막으로 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 비교를 실시하였고, 3장에서 본 논문의 결론을 맺었다.

II. 본 론

2.1 이중 대역 루프형 안테나 설계 및 구동 원리

그라운드 크기는 $50 \times 110 \text{ mm}^2$ 이고, 1 mm 높이의 FR4(Frame Retardant Type4, $\epsilon_r=4.4$) 유전체를 사용하였다. 스마트 폰의 크기를 가정하여 그라운드의 크기를 정하였고, Wi-Fi 안테나가 들어갈 수 있을 만한 위치를 가정하여, 그라운드의 상단 왼쪽 모서리에 $10 \times 5 \text{ mm}^2$ 의 영역에 제안한 안테나를 설계하였다. 효율적인 그라운드와의 커플링과 임피던스 정합

을 위해 기존의 루프형 그라운드 안테나와 같이 루프 급전을 사용하였다^[8]. 제안한 CPW(Coplanar Waveguide)의 급전 길이는 3.5 mm이다. 그림 1에 본 논문에서 제안한 루프형 그라운드 안테나의 구조를 구체적으로 도시하였다.

추가된 A 구조와 B 구조를 제외하고 본다면, Z 축상의 그라운드와 C_{R1} 으로 연결된 캐패시티브 패스가 Y 축상의 그라운드와 연결되어 있으며, 급전 루프는 CPW 컨덕터 라인과 C_F 이 그라운드와 연결되어 있는 지점으로 형성된 기존의 루프형 그라운드 안테나와 같은 구조이다. 이 경우, 2 GHz 대역에서의 공진을 C_{R1} 의 캐패시턴스를 조절하여 가변할 수 있으며, C_F 의 캐패시턴스를 조절하여 입력 임피던스의 제어가 가능하다. A구조의 추가로 인한 효과를 살펴보면, 추가된 A구조와 새로이 삽입된 캐패시터 C_{R2} 로 인해 전류는 그라운드로 빠져 나가지 않고 A 구조와 Y축의 최외곽의 루프 패스로 도는 강한 루프 전류를 만들어 주어 이로 인한 기전력이 발생하게 된다. 이 루프 전류를 전원(source)으로 하여 5 GHz 대역에서의 공진을 추가로 발생시켜(excitation) 이중 대역이 형성된다. 즉, 5 GHz의 급전 루프는 안테나 내부의 A구조와 Y축 최외곽의 기존의 루프 패스로 흐르는 루프 전류이다. 그러나 새로이 추가된 5 GHz 대역의 공진은 목표로 하는 5.15 GHz부터 5.875 GHz의 대역폭을 만족시키지 못한다. 따라서 5 GHz 대역의 임피던스 대역폭을 조절하기 위하여 기존의 급전 구조에 하나의 가지를 더한 형태(B 구조)의 구조를

그림 1. 이중 대역 루프형 그라운드 안테나 구조
Fig. 1. Dual-band loop-type ground antenna.

추가하였으며, 양 방향 끝부분에 입력 임피던스를 조절하기 위한 집중 소자가 그라운드와 연결되어 있다.

참고문헌 [6], [7]의 특성과 같이 제안한 안테나 또한 루프를 형성하는 커패시티브 패스와 그라운드에 연결된 집중 소자로 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역의 공진 주파수를 제어할 수 있다. 그림 1에서 보여지는 구조를 통해서 C_{R1} 의 커패시티브 패스와 최외곽의 그라운드와 직접 연결되는 루프 전류와, C_{R1} 의 커패시티브 패스와 내부의 C_{R2} 로 흐르는 2가지의 루프 전류를 예상할 수 있다. 2.4 GHz 대역의 루프 전류는 5 GHz의 루프 전류보다 그 크기가 더 크게 될 것이며, 따라서 최외곽으로 흐르는 루프 전류의 접지면 상의 표면 전류 분포가 넓게 나타난다. 이는 2가지의 루프 전류중 C_{R1} 의 커패시티브 패스와 Y축상의 최외곽의 그라운드와 직접 연결되는 루프임을 확인시켜 준다. 반대로 5 GHz의 루프 전류의 표면 전류 분포는 2.4 GHz의 전류 분포만큼 넓게 나타나지 않고, 안테나 주변부에 더 집중되어 나타나며, C_{R1} 의 커패시티브 패스와 내부의 C_{R2} 로 흐르는 루프 전류임을 확인시켜 준다. 최적의 커패시턴스 값과 인덕턴스 값을

사용한 이중 대역 루프형 그라운드 안테나의 각각의 공진 주파수에 따른 표면 전류 분포를 그림 2에 도시하였다.

C_{R1} 의 커패시티브 패스는 공통 패스로서 그 커패시턴스의 크기를 바꿀 경우, 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에 영향을 끼쳐 공진 주파수가 변화한다. 그러나 C_{R2} 의 커패시턴스의 크기를 바꿀 경우, 5 GHz 대역에 직접적인 영향을 미쳐 그 공진 주파수를 제어할 수 있지만, 2.4 GHz 대역엔 큰 영향을 미치지 않는다.

입력 임피던스 또한 마찬가지로 급전 루프에 삽입되어 있는 집중 소자 L_F 와 C_F 를 통해서 제어가 가능하다.

2-2 시뮬레이션 결과와 측정 결과

제안한 안테나의 공진 주파수는 루프의 둘레와 그라운드에 의한 인덕턴스, 그리고 삽입된 커패시턴스의 크기에 의해 결정된다. 또한, 그라운드에 의한 인덕턴스는 그라운드 안테나의 설계가 확정된 후에는 그 값을 바꿀 수 없다. 따라서 특정 주파수에서 공진을 시키기 위해서는 커패시터를 삽입하여 최적화된 커패시턴스 값을 찾아 공진을 발생시켜야 한다. 또한, 입력 임피던스의 제어 역시 CPW에 의한 급전선과 그라운드에 연결되는 지점에 의한 내부 영역의 넓이와 급전선과 그라운드에 연결되는 점 사이에 삽입되는 커패시턴스 혹은 인덕턴스의 크기에 따라 제어가 가능하다. 본 절에서는 그림 1에서 주어진 안테나 설계 후에 집중 소자의 삽입으로 인한 각각의 효과를 시뮬레이션을 통해서 살펴보고자 한다.

먼저 C_{R1} 의 커패시턴스를 변화시키면서 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 각각의 커패시턴스 값의 변화에 따른 반사 손실(S_{11})의 변화를 그림 3(a)와 (b)에 도시하였다. C_{R1} 의 커패시턴스 값을 0.03 pF부터 0.09 pF까지 시뮬레이션한 결과, 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역 모두 공진 주파수의 변화를 볼 수 있었으며, 5 GHz 대역에서 조금 더 큰 변화폭을 확인할 수 있었다. 실제 C_{R1} 의 커패시턴스는 그 크기가 매우 작아 커패시터의 삽입을 생략하고, A 구조의 추가만으로도 이중 대역의 특성이 나타난다. 그러나 그러할 경우, 본 논문에서 목표로 한 2.4 GHz 대역의 Wi-Fi 공

그림 2. (a) 2.45 GHz 전류 분포도, (b) 5.5 GHz 전류 분포도

Fig. 2. Current density at (a) 2.45 GHz and (b) 5.5 GHz.

그림 3. (a) C_{R1} 값의 변화에 따른 S_{11} 의 시뮬레이션 결과(C_{R2} 0.1 pF, C_F 0.1 pF, L_F 4 nH 고정), (b) C_{R2} 값의 변화에 따른 S_{11} 의 시뮬레이션 결과(C_{R1} 0.05 pF, C_F 0.1 pF, L_F 6 nH로 고정)

Fig. 3. Simulated S_{11} as a function of (a) C_{R1} with a fixed value of C_{R2} 0.1 pF, C_F 0.1 pF, L_F 4 nH and (b) C_{R2} with a fixed value of C_{R1} 0.05 pF, C_F 0.1 pF, L_F 6 nH.

진 주파수 제어가 쉽지 않다. 따라서 2.4 GHz 대역의 공진 주파수 조절을 위해 작은 크기이지만 C_{R1} 의 삽입이 필요하다. C_{R2} 의 캐패시턴스 값 또한 0.08 pF부터 0.14 pF까지 시뮬레이션한 결과, 2.4 GHz 대역은 공진 주파수의 변화가 거의 보이지 않고, 5 GHz 대역의 공진 주파수의 변화를 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과를 통해서 방사를 일으키는 외곽의 루프에 삽입된 커패시터를 통해서 2.4 GHz 대역과 5 GHz

대역의 공진 주파수를 제어할 수 있는 특성을 확인하였다.

다음으로 급전선과 그라운드에 연결되는 지점에 삽입된 인덕터(L_F)와 캐패시터(C_F)의 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 살펴보았다. 각각의 집중 소자에 의한 입력 임피던스의 변화를 스미스 차트를 이용하여 그림 4와 그림 5에 도시하였다. 우선 C_{R1} 0.1 pF, C_{R2} 0.1 pF, L_F 6 nH로 고정한 후 급전선에 삽입

그림 4. C_{R1} 0.1 pF, C_{R2} 0.1 pF, L_F 6 nH로 고정시킨 후 C_F 값의 변화에 따른 (a) 1 GHz부터 3 GHz까지의 입력 임피던스 변화에 대한 시뮬레이션 결과, (b) 4 GHz부터 7 GHz까지의 입력 임피던스 변화에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulated S_{11} of the function of C_F with fixed value of (a) from 1 GHz to 3 GHz and (b) from 4 GHz to 7 GHz with a fixed value of C_{R1} 0.05 pF, C_{R2} 0.1 pF, L_F 6 nH.

그림 5. C_{R1} 0.1 pF, C_{R2} 0.1 pF, C_F 0.1 pF로 고정시킨 후 L_F 값의 변화에 따른 (a) 1 GHz부터 3 GHz까지의 입력 임피던스 변화에 대한 시뮬레이션 결과, (b) 4 GHz부터 7 GHz까지의 입력 임피던스 변화에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulated S_{11} of the function of C_F (a) from 1 GHz to 3 GHz and (b) from 4 GHz to 7 GHz with a fixed value of C_{R1} 0.05 pF, C_{R2} 0.1 pF, C_F 0.1 pF.

된 캐패시터 C_F 의 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 그림 4에 도시하였다.

캐패시턴스는 0.1 pF부터 0.3 pF까지 크기를 변화시키면서 시뮬레이션하였으며, 캐패시턴스의 크기가 커짐에 따라 임피던스 로커스의 크기가 확대되는 것을 확인할 수 있으며, 2.4 GHz 대역에서는 공진 주파수의 변화 없이 임피던스가 조절되는 것을 확인할 수 있었으나, 5 GHz 대역에서는 캐패시턴스가 커짐

에 따라 임피던스 로커스의 크기가 확대되는 것은 같은 경향을 보이지만, 로커스가 회전함에 따라 공진 주파수가 조금씩 달라지는 것을 확인할 수 있다. 이어서 C_{R1} 0.1 pF, C_{R2} 0.1 pF, C_F 0.1 pF로 고정한 후 CPW 급전선에 삽입된 인덕터 L_F 의 인덕턴스의 크기 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 그림 5에 도시하였다.

인덕턴스의 크기는 3 nH부터 6 nH까지 그 크기를 변화시키며 시뮬레이션 하였으며, 캐패시턴스와는 달리 인덕턴스는 그 크기가 커질수록 2.4 GHz 대역에서는 그 크기의 변화가 거의 없어 임피던스 대역폭에 큰 영향을 미치지 않지만, 5 GHz 대역에서는 임피던스 로커스가 작아지는 것을 확인하였다. 결과적으로 급전에 새로이 삽입된 인덕턴스로 인하여 5 GHz 대역에서의 임피던스 대역폭을 효과적으로 제어할 수 있게 된다.

이상으로 집중 소자에 의한 공진 주파수 및 입력 임피던스의 제어를 확인하였다. C_{R1} 의 캐패시턴스 값은 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에 모두 영향을 미치며, C_F 의 캐패시턴스 값 또한 마찬가지이다. 그러나 C_{R2} 의 캐패시턴스 값과 L_F 의 인덕턴스 값은 2.4 GHz 대역보다는 5 GHz 대역에 효과적으로 작용되는 것을 확인하였다. 따라서 Wi-Fi 대역에 제안한 안테나를 적용하기 위해선 최적의 캐패시턴스 값과 인덕턴스 값이 필요하다. 최적화된 캐패시턴스 값과 인덕턴스 값은 각각 C_F 는 0.1 pF, L_F 는 5 nH, C_{R1} 은 0.05 pF, C_{R2} 는 0.1 pF 값을 사용하였으며, 적용한 반사 손실의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사 손실을 그림 6에 도시하였다.

시뮬레이션 결과, $VSWR < 3$ 의 기준으로 2.4 GHz 대역에서는 2.358 GHz부터 2.525 GHz까지 약 166 MHz의 대역폭을 만족시켰으며, 5 GHz 대역에서는 5.12 GHz부터 5.90 GHz까지 약 784 MHz의 대역폭을 나타내었고, 측정된 결과값 또한 2.352 GHz부터 2.5 GHz까지 약 136 MHz의 대역폭과 5.11 GHz부터 5.94 GHz까지 약 827 MHz의 대역폭을 나타내어 시뮬레이션 결과값과 측정된 결과값 모두 Wi-Fi 대역을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

표 1에서 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서의 측정된 안테나 효율 및 이득을 주파수별로 나타내고 있다. 2.4 GHz 대역에서 약 60 %의 평균 효율과 5 GHz

그림 6. 최적화된 안테나의 반사 손실의 시뮬레이션 결과와 측정값

Fig. 6. Simulated and measured S_{11} of the optimized antenna.

표 1. 제안한 안테나의 효율과 이득 측정치

Table 1. Measured realized efficiency and peak gain of proposed antenna.

f [GHz]	2.4	2.425	2.445	2.465	2.485
Efficiency[%]	51.22	59.04	64.16	64.61	62.52
Peakgain[dBi]	2.48	3.51	4.07	4.06	3.85
f [GHz]	5.15	5.35	5.55	5.75	5.875
Efficiency[%]	70.95	73.20	70.51	74.92	69.14
Peakgain[dBi]	2.26	2.51	2.17	2.55	2.62

대역에서 70 % 이상의 평균 효율을 나타내었으며, 안테나 이득 또한 2 dBi 이상을 보여준다. 그림 7에서 보여주는 각각의 대역에서의 복사 패턴은 각각의 주파수에서 E1-plane과 E2-plane 전방향성의 특성을 보여 제안한 이중 대역 안테나가 Wi-Fi 어플리케이션에 적합한 특성을 가지고 있음을 뒷받침 해준다.

III. 결 론

본 논문에서는 집중 소자를 사용하여 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역의 Wi-Fi 안테나의 공진 주파수와 입력 임피던스를 제어할 수 있는 루프 형태의 그라운드 안테나를 제안하였다. 추가의 공진을 위한 루프 패스를 만들어 주기 위해 기존의 루프형 그라운드 안테나의 면적보다 큰 면적을 사용하였으나, 여전히 소형 단말기에 사용 가능한 면적 이내에서 설계되었

(a) 2.445 GHz

(b) 5.55 GHz

그림 7. 제안한 안테나의 (a) 2.445 GHz 및 (b) 5.55 GHz의 복사 패턴 측정 결과

Fig. 7. Measured radiation pattern at (a) 2.445 GHz and (b) 5.55 GHz of proposed antenna.

으며, 집중 소자로써 대역폭과 공진 주파수를 쉽게 제어할 수 있는 이점을 가지고 있다. 최적화된 집중 소자를 사용한 결과, Wi-Fi 대역을 만족시키는 결과를 얻을 수 있었으며, 시뮬레이션 데이터와 실제 제작된 안테나의 측정된 반사 손실을 비교함으로써 그 타당성을 입증하였고, 측정된 안테나의 효율과 복사 패턴을 통해 본 논문에서 제안한 이중 대역 루프형 그라운드 안테나가 Wi-Fi 어플리케이션에 적합한 특성을 갖고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Pazin, N. Telzhensky, and Y. Leviatan, "Multi-band flat-plate inverted F-antenna for Wi-Fi/ Wi-Max operation", *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 197-200, 2008.
- [2] S. H. Yeh, K. L. Wong, "Dual-band F-shaped monopole antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN application", *IEEE Antennas and Prop. Society International Symp.*, vol. 4, pp. 72-75, 2002.
- [3] M. Selvanayagam, G. V. Eleftheriades, "Metamaterial based Wi-Fi antenna using electric field coupled resonators", *IEEE Antennas and Prop. Society International Symp.*, APSURSI '09, pp. 1-4, 1-5, Jun. 2009.
- [4] R. E. Collin, S. Rothschild, "Evaluation of antenna Q", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 12, no. 1, pp. 23-27, Jan. 1964.
- [5] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 5, pp. 672-676, May 1996.
- [6] O. Cho, H. Choi, and H. Kim, "Loop-type ground antenna using capacitor", *Electronics Letters*, vol. 47, no. 1, pp. 11-12, Jan. 2011.
- [7] Y. Liu, X. Lu, H. Jang, H. Choi, K. Jung, and H. Kim, "Loop-type ground antenna using resonated loop feeding, intended for mobile devices", *Electronics Letters*, vol. 47, no. 7, pp. 426-427, Mar. 2011.
- [8] R. King, "The shunt-driven circular loop antenna", *IEEE Trans. Antennas Propaga.*, vol. 19, pp. 692-694, Sep. 1971.

이 형 진

2006년 2월: 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
2012년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계

이 재 석

2007년 2월: 대전대학교 정보통신공학부 (공학사)
2009년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 마이크로파 회로설계

류 양

2007년 2월: 동양대학교 정보통신공학부 (공학사)
2010년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2010년 9월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 마이크

로파 회로설계

김 형 훈

1986년 2월: 전남대학교 계산통계학과 (이학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전산학과 (이학석사)
2007년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학박사)
1988년 3월~1990년 9월: 기아자동차 기술센터 연구원

1990년 9월~1994년 7월: 휴먼컴퓨터 선임연구원
1994년 9월~현재: 광주여자대학교 보건의료공학과 교수
[주 관심분야] 전자파수치해석

김 형 동

1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1992년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과 (공학박사)

1989년 5월~1992년 5월: University of Texas at Austin (Research Assistant)

1992년 6월~1993년 1월: University of Texas at Austin (Post-doctoral Fellow)

1993년 3월~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 마이크로파 회로, 전자파 해석