

Faraday Cage를 이용한 900 MHz RFID 소형 LTCC 패키지 리더 안테나의 설계

Design of a 900 MHz RFID Compact LTCC Package Reader Antenna Using Faraday Cage

김호용 · 문병인 · 임형준* · 이흥민

Ho-Yong Kim · Byung-In Mun · Hyung-Jun Lim* · Hong-Min Lee

요 약

본 논문에서 제안된 패키지 안테나는 900 MHz RFID 대역에 적용하기 위하여 미엔더 라인과 단락 핀을 부설하고 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic) 층의 공동 내부에 RFID BGA(Ball Grid Array) 칩을 장착하였다. BGA 칩과 안테나 사이에 발생하는 커플링과 혼신을 감소시키기 위한 격리 특성을 확보하기 위하여 접지면과 비아 펜스를 부설하여 Faraday Cage를 구현하였다. 제안된 안테나는 낮은 주파수 대역에서 패키지 단계의 안테나 구현에 관점을 두었다. 제안된 안테나의 크기는 13 mm×9 mm×3.51 mm이며, 측정된 안테나의 공진 주파수는 0.893 GHz, 임피던스 대역폭은 9 MHz, 최대 방사 이득은 -2.36 dBi를 나타내었다.

Abstract

In this paper, the proposed package antenna, which is meander line structure with short pin, is miniaturized to realize RF-SoP at 900 MHz RFID band. The RFID BGA(Ball Grid Array) chip is put in a cavity of LTCC Layers. The coupling and cross talk, which are happen between BGA chip and proposed package antenna, are reduced by faraday cage, which consists of ground and via fences, is realized to enhance the isolation between BGA chip and antenna. The proposed antenna structure is focused on the package level antenna realization at low frequency band. The novel proposed package antenna size is 13 mm×9 mm×3.51 mm. The measured resonance frequency is 0.893 GHz. The impedance bandwidth is 9 MHz. The maximum gain of radiation pattern is -2.36 dBi.

Key words : Faraday Cage, Cross Talk, Meander Line, Short Pin, Cavity

I. 서 론

현재 국내 텔레메틱스 정책 현황에서 RFID 분야는 모바일 RFID(900 MHz) 기반을 바탕으로 센서 네트워크 구축으로 전개될 예정이다. 모바일 RFID는 휴대 단말기나 시스템 장착이 용이하게 하기 위하여 RFID 시스템의 소형화는 필수적 요소이다. 소형의

휴대 단말기 시스템 또는 차량 내부와 같은 협소한 면적에 적용될 RFID 시스템은 SoC(System on Chip) 또는 SoP(System on Package)와 같은 집적화 연구가 필수이다. 그러나 SoC 형태로 구현할 경우 칩 형태는 수평적 배열만이 가능하므로 칩 크기가 커지는 단점과 제조에 대한 개발 기간과 비용이 크기 때문에 경제적, 기술적으로는 수동 소자의 소형화에 한

「본 연구는 2005학년도 경기대학교 학술연구비(연구 그룹과제) 지원에 의해 수행되었음.」

경기대학교 전자공학부(Dept. of Electronic Engineering, Kyonggi University)

*에이스 안테나(Ace Antenna)

· 논문 번호 : 20070320-037

· 수정완료일자 : 2007년 5월 8일

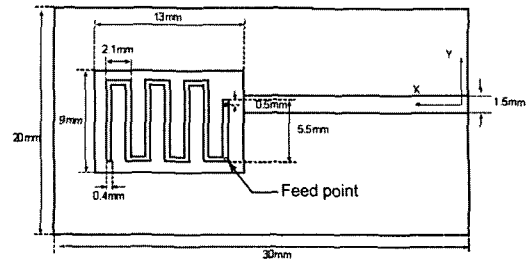
계가 있다. 이에 현실적으로 적층형 수동 소자 구현이 가능하고 각각의 부품의 저 손실 고 신뢰의 인터커넥션 개발이 용이한 SoP가 대안으로 떠오르고 있다. 현재 SoP 형태의 수동 부품 중 가장 문제가 되는 것은 RF front-end에 장착되는 안테나를 package 형태로 표면에 실장시키기 위한 안테나의 소형화, front-end 모듈의 패키지 내 실장을 위한 공동(cavity) 구현 및 안테나와 모듈간의 신호 간섭 문제이다. 최근에는 2 GHz 및 5 GHz 주파수 대역에서 단일 또는 이중 대역 소형 안테나 구현이 연구되었다^{[1]~[3]}. 그러나 RF-SoP에 적용하기 어려운 모노폴 구조와 PI-FA(Planar Inverted F-Antenna) 구조는 저 유전율을 갖고 높은 층을 사용하므로 구현이 용이하지 않은 단점을 나타내었으며, 공동(cavity) 구현시 공정 오차 분석이 미흡한 실정이다^{[4],[5]}. 또한 900 MHz 대역에서 RF-SoP 형태에 적합한 단일 안테나 구조들은 물리적으로 시스템 소요 면적이 커 RF-SoP 적용에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 RF-SoP 환경에 적용 가능한 패키지 내 공동(cavity) 구현 및 안테나의 소형화와 안테나와 모듈간의 신호 간섭 문제를 개선하는 방법을 제안하였으며, 공정 오차를 유발시키는 환경을 분석하였다.

II. 본 론

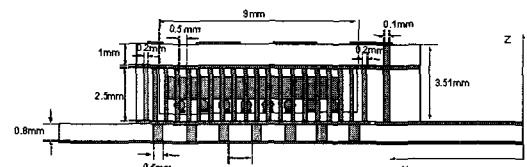
2-1 제안된 안테나의 설계

기존에 연구된 RF-SoP 안테나 기술은 마더보드 자체를 RF-SoP 블록의 일부분으로 간주하여 설계하기 때문에 실제 무선 단말기 시장에서 유동적으로 대처하기 위해서는 일반적인 FR-4 기판을 마더보드 형태로 설계하여야 한다. 그러므로 제시된 구조는 다양한 전자 시스템에서 사용되는 FR-4 기판을 마더보드로 사용하였다. 마더보드의 접지면(ground)을 접지면 비아(ground via)를 이용하여 마더보드 상단의 바닥 접지면(bottom ground)에 연결하므로 마더보드 상단에 SMD(Surface Mounted Device) 형태로 패키지 블록이 실장될 수 있도록 설계하였다. 그림 1에 제안된 안테나 구조를 나타내었다.

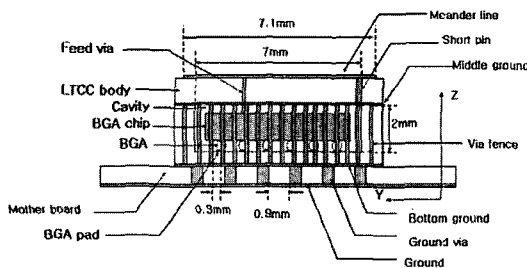
제안된 안테나는 RN2사의 RNE-8B 계열의 비유전율이 7.8인 그린 시트를 다층 적층하므로 LTCC-Body를 형성하였다. LTCC-Body 내부에 공동을 부설



(a) X-Y 평면
(a) X-Y plane



(b) X-Z 평면
(b) X-Z plane



(c) Y-Z 평면
(c) Y-Z Plane

그림 1. 제안된 안테나의 구조

Fig. 1. The structure of proposed antenna.

후 공동 내에 BGA(Ball Grid Array) 칩을 실장하기 위하여 BGA 패드를 부설하였으며, 칩과 안테나간의 간섭을 줄이기 위하여 공동 벽 내부에 0.5 mm 간격으로 비아펜스를 부설하여 등가적인 Faraday Cage를 구현하였다.

공동 위에 중간 접지면, 단락 핀, 미엔더 라인으로 구성된 층을 추가 부설하므로 안테나와 BGA 칩 간의 전기적 간섭을 최소화 할 수 있도록 하였다.

제안된 안테나 구조는 미엔더 라인을 이용하여 인덕티브 로딩을 하였다. 900 MHz 대역에서 공진 주파수를 형성하기 위하여 미엔더 라인의 선로 폭을 작게 하여 특성 임피던스를 증가시키므로 높은 인덕티브 로딩에 의하여 안테나를 소형화 할 수 있다. 그러

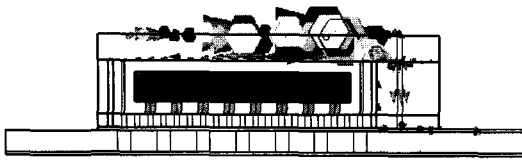


그림 2. 제안된 안테나의 표면 전류
Fig. 2. The surface current of proposed antenna.

나 미엔더 라인 구조와 안테나 접지면간에 발생하는 안테나의 캐패시턴스 성분에 의하여 임피던스 정합이 매우 어렵다. 따라서 등가적으로 병렬 인덕턴스 성분을 갖는 단락 비아를 부설하여 캐패시턴스 성분을 상쇄시키므로 양호한 임피던스 정합을 유도하였다. 그림 2에 제안된 안테나의 표면 전류를 나타내었다.

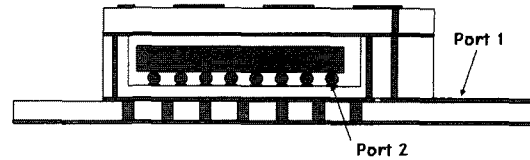
패키지 내부 공동 벽면에 비아를 부설하므로 0.9 GHz에서 급전 비아부터 안테나까지 전달되는 표면 전류 분포를 확인하였다. BGA 칩과 간섭원이 될 수 있는 안테나 급전 비아 사이에 비아펜스를 부설하였다.

간섭원이 될 수 있는 안테나의 전자기적 계는 부설된 비아 펜스에 여기되어 중간 접지 면을 통하여 마더보드의 접지 면에 전달된다. 따라서 BGA 칩에 간섭될 수 있는 전자기적 요소는 접지 면에 의해 격리시키므로 제안된 Faraday cage에 의하여 안테나의 전류 밀도가 BGA 칩에 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

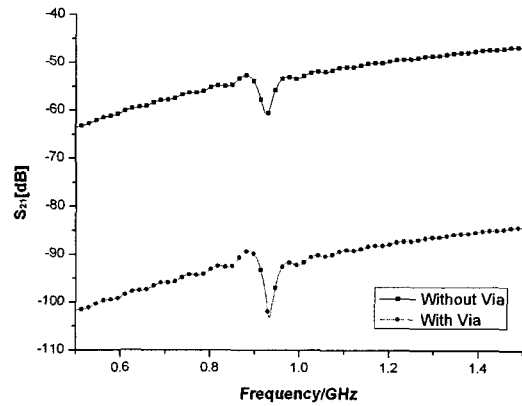
그림 3에 모의실험을 이용한 격리 특성을 나타내었다. Port 1은 안테나에 연결하였으며, Port 2는 안테나에서 가장 가까운 BGA 칩 볼 상에 연결하였다. 제안된 안테나 구조는 비아펜스를 부설하므로 비아펜스가 없을 때보다 40 dB 이상의 격리 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

2-2 제안된 안테나의 실험 및 분석

그림 4에 제작된 안테나의 사진을 나타내었다. 일반적인 모노폴 안테나는 900 MHz 대역에서 약 83.3 mm의 길이를 가지나, 제안된 구조는 미엔더 라인 구조와 단락 핀을 이용하여 제작된 크기가 13 mm×9 mm×3.51 mm인 초소형 900 MHz RFID 안테나를 제작하였다.



(a) 격리도 해석 구조
(a) The structure for analysis of isolation



(b) 격리 특성 (S_{21})
(b) The isolation characteristic

그림 3. 모의 실험을 이용한 격리 특성
Fig. 3. The simulated isolation characteristic.

먼저 공동이 있는 층과 BGA 패드가 있는 층을 제작하였다. 기판을 구성하는 그린 시트(green sheet)의 제작 공정은 RN2사의 RNE-8B 계열의 그린 시트를 사용하여 적층하였다.

RNE-8B 계열의 그린시트의 비 유전 상수는 7.8 ± 0.1 이다. 그린 시트를 각각의 설계 높이에 맞게 적층한 후 비아 펜스와 급전 비아 단락 비아 위치에 펀칭을 한 후 각각의 펀칭한 자리를 도체로 채운다(via filling). 다음은 칩을 실장할 수 있도록 공동 부분을 다시 펀칭한다.

BGA 패드가 인쇄될 층에 패턴을 입힌 후 건조시킨다. 다시 각각의 공동 부분 층과 BGA 패드 층을 적층한 후 유압식 프레스로 압축한다. 압축된 그린 시트를 소결에 따른 수축율을 고려하여 커팅 후 소결한다.

LTCC 공정은 도체 패턴의 구조에 따라 수축율이 달라지는 특성을 나타내기 때문에 여러 차례의 공정이 요구된다. 특히 공동을 부설할 경우, 공동의 벽을 이루는 부분의 매질은 공동 내가 비어 있으므로 소결

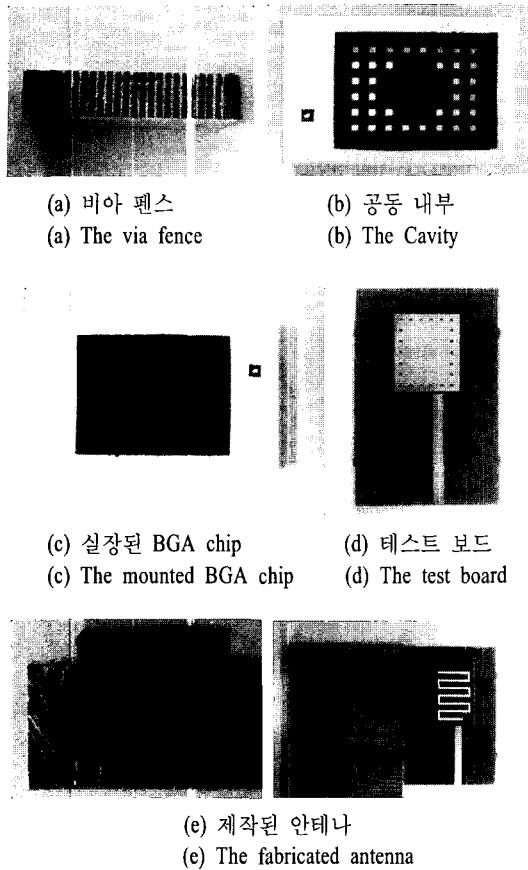


그림 4. 제작된 안테나의 사진
Fig. 4. The photos of fabricated antenna.

시 안으로 무너지는 경향이 있다.

그러므로 소결 시 열 분포를 수축에 따라 적절히 조절하므로 무너지는 경향을 줄일 수 있도록 하여야 한다. 제작된 공동 내에 RFID 칩을 공동 층에 실장을 한다. BGA 패드에 Ag-epoxy 페이스트를 이용하여 칩의 불과 연결 후 저온으로 가열하여 접합하였다. Ag-epoxy 페이스트를 급전 비아와 접지면에 바른 후 단락 미엔더 라인 층과 연결하였으며 테스트 보드에 장착하였다.

그림 5에 측정된 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 안테나의 설계 공진 주파수는 0.90 GHz였으나, 측정된 안테나의 공진 주파수는 0.893 GHz, 임피던스 대역폭은 9 MHz를 나타내었다.

제작된 안테나의 설계 공진 주파수와 측정된 안테나의 공진 주파수의 오차를 규명하기 위하여 SEM (Scanning Electron Micro scope) 촬영을 하였다. 그림

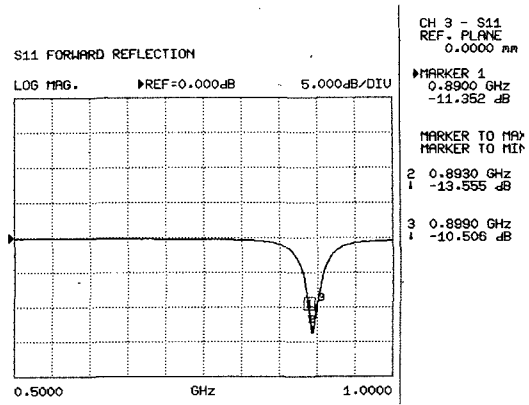


그림 5. 측정된 안테나의 반사 손실
Fig. 5. The measured return loss of antenna.

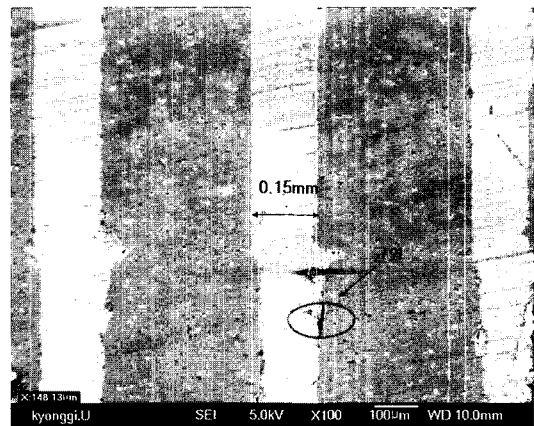


그림 6. 비아 펜스의 SEM 사진
Fig. 6. The SEM photo of via fence.

6에 비아 펜스의 SEM 사진을 나타내었다. 제안된 비아 펜스의 지름은 0.2 mm이나 실제 제작된 비아 펜스는 0.15 mm로 설계된 지름보다 0.05 mm 더 수축된 것을 알 수 있다. 이는 공동 벽면의 무너짐 현상을 해결하기 위하여 온도 조절에 따른 도체 수축을 변화로 인하여 오차가 발생되었다.

그림 7에 세라믹의 EDS 성분 분석을 나타내었다. EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하여 세라믹의 성분 분석을 해본 결과 공동 내부 벽면의 무너짐을 완화하기 위하여 세라믹의 소결 온도를 낮추어 낮은 소성 온도를 조성할 수 있는 Si 성분의 비중이 높은 것을 알 수 있다.

따라서 공동 부설이 없을 때 정상적인 온도 분포에

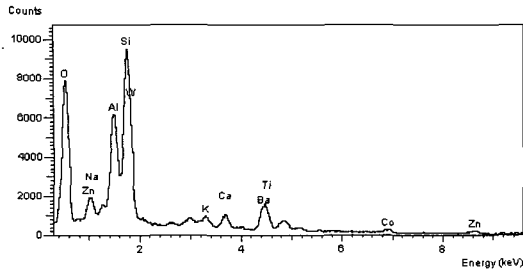


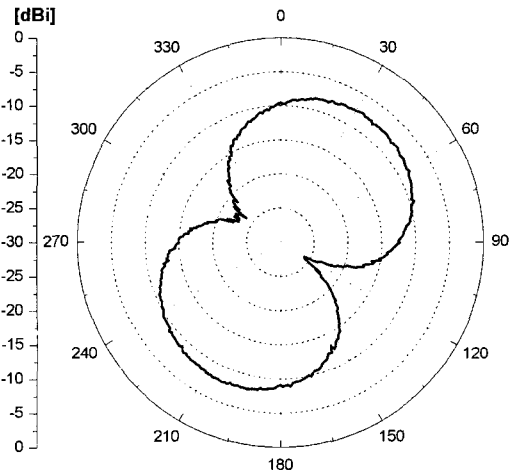
그림 7. 세라믹의 EDS 성분 분석
Fig. 7. The EDS ingredient analysis of ceramic.

다른 도체 수축율의 변화는 실험적 데이터베이스에 의하여 수축을 고려가 가능하지만, 제안된 안테나와 같이 공동 구현을 위하여 소결 온도의 변화가 올 경우, 도체 수축율 및 정렬(alignment) 오차가 발생됨을 알 수 있다. 따라서 공동 부설의 경우, 세라믹 소성 온도에 따른 도체 수축율 변화와 세라믹 변화에 대한 데이터베이스가 필요하며, 따라서 공동형 패키지 구조 설계에서 세라믹 소결시 도체의 공차 및 정렬 오차 고려가 필수임을 알 수 있다.

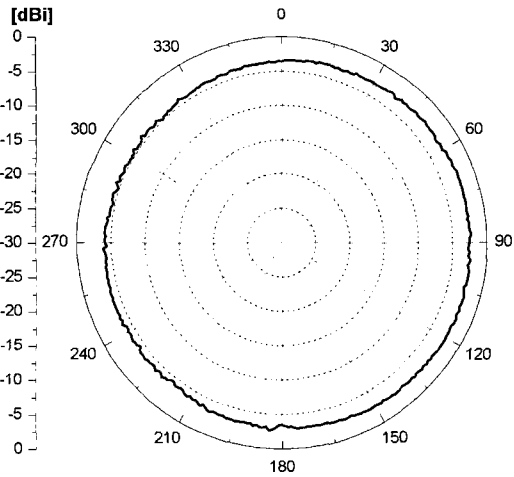
그림 8에 제안된 안테나의 방사 패턴을 나타내었다. 제안된 안테나의 접지면 환경이 협소하여 후방 방사도가 크게 나타내었다. 또한, 단락 핀과 마이크로 스트립 라인에서 미엔더 라인까지 올라오는 급전 비아 구조로 인하여 비 대칭적인 방사 패턴을 나타내었고, 안테나의 정렬 오차로 인하여 X-Z 평면 방사 패턴 특성이 Y-Z 평면 방사 패턴 특성보다 낮은 방사 이득을 나타내었다. 제안된 안테나의 최대 방사 이득은 -2.36 dBi를 나타내었다.

III. 결 론

본 논문에서 제안된 안테나는 RFID 시스템에서 요구하는 임피던스 대역폭을 만족하였으나, 공동 형성에 따른 소결 온도의 변화로 인하여 도체 패턴의 수축 및 세라믹 변화에 따른 패키지 블록 크기의 오차, 안테나 층과 공동 층의 결합에 따른 정렬 오차 등에 의하여 설계 주파와 다른 공진 주파수를 형성하였다. 그러나 임피던스 대역폭과 양호한 반사 손실 특성을 나타내어 구조적인 타당성을 입증하였으며, Faraday-Cage를 이용하여 모듈 칩과 안테나간의 격리 특성을 향상하였다. 향후 공정상의 공차 및 수



(a) X-Z 평면
(a) X-Z plane



(b) Y-Z 평면
(b) Y-Z plane

그림 8. 측정된 안테나의 방사 패턴
Fig. 8. The measured radiation pattern of antenna.

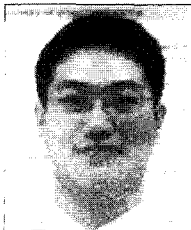
율을 고려하여 패키지 블록 및 안테나를 제작한다면 900 MHz의 낮은 대역에서도 LTCC 공정을 이용하여 집적화가 가능함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에 제안된 단락 미엔더 라인 패키지 안테나는 텔레메틱스 및 휴대 단말기 등 협소한 면적에서도 용이하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Nhi. T. Pham, Gye-An Lee, and Franco De Flaviis,

- "Minimized dual-band coupled line meander antenna for system-in-a-package application", *AP-S, IEEE*, vol 2, pp. 1451-1454, Jun. 2004.
- [2] Joong Han Yoon, "Fabrication and measurement of a compact meander-line-type microstrip patch antenna with shorting pin for the 5 GHz band", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 48, no. 5, pp. 994-947, May 2006.
- [3] Wei Ping Dou, Y. W. M. Chia, "Novel meandered planar inverted-F antenna for triple-frequency operation", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 27, no. 1, pp. 58-60, May 2006.
- [4] Y. P. Zhang, "Finite-difference time-domain analysis of integrated ceramic ball grid array package antenna for highly integrated wireless transceivers", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 435-442, Feb. 2004.
- [5] Sang-Hyuk Wi, Jin-Seok Kim, Nam-Kee Kang, Jun-Chul Kim, Hoone-Gee Yang, Young-Soo Kim, and Jong-Gwan Yook, "Package-level integrated LT-CC antenna for RF package application", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, vol. 30, no. 1, pp. 132-141, Feb. 2007.

김 호 용



RF 수동소자

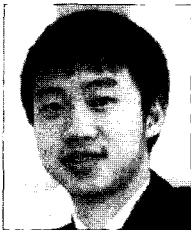
2003년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
 2005년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학석사)
 2005년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석,

임 형 준



2004년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
 2006년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학석사)
 2006년~현재: 에이스 안테나 연구원
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자

문 병 인



2005년 2월: 관동대학교 전자공학부 (공학사)
 2005년~현재: 경기대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자

이 홍 민



1972년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF 수동소자