

RFID 리더용 광대역 원편파 안테나 설계

이종익¹ · 여준호^{2*} · 박진택³

Design of a broadband CP antenna for RFID readers

Jong-Ig Lee¹ · Junho Yeo^{2*} · Jin-Taek Park³

¹Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

^{2*}School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

³Department of Mobile Communication Engineering, Changshin University, Changwon 630-764, Korea

요 약

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 리더용 원편파 안테나 설계 방법에 대해 연구하였다. 안테나는 원형 마이크로스트립 패치를 이중급전하여 우선원편파를 발생시키는 구조이다. 이중급전을 위해 90도 하이브리드 결합기를 이용하였다. 결합기 출력과 원형패치는 동선으로 연결되고 동선에 의해 발생하는 유도성 리액턴스 성분을 보상하기 위해 원형패치에 링형 슬롯을 삽입하였다. 제안된 안테나 구조의 파라미터들이 안테나 특성에 미치는 영향을 분석하고 국내를 포함한 북미 UHF RFID용 주파수 대역(902-928 MHz)에 적합하도록 파라미터 값들을 조정하였다. 안테나를 제작하고 특성을 실험한 결과 VSWR < 2인 대역은 854-993 MHz이었다. 제작된 안테나를 상용 RFID 리더에 연결하고 태그 인식성능을 점검하여 양호한 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we considered a design method of a circular polarization (CP) antenna for UHF (ultra high frequency) RFID (Radio Frequency IDentification) readers. The antenna is a dual-fed circular microstrip patch which produces right-handed CP. Quadrature hybrid coupler is used for dual feeding. The outputs of the coupler and circular patch are connected through copper wires, and the inductive reactance produced by the connecting wires is compensated by a ring-shaped slot inserted inside the circular patch. The effects of the geometrical parameters of the proposed antenna on the antenna performance are examined, and the parameters are adjusted to be suitable for the operation in North American UHF RFID band (902-928 MHz), which includes domestic UHF RFID band. The antenna is fabricated, and the experiment results reveal a frequency band of 854-993 MHz for a voltage standing wave ratio < 2. The fabricated antenna is connected to a commercial RFID reader, and it showed a good performance of tag identification.

키워드 : 원편파 안테나, RFID 안테나, 마이크로스트립 안테나, 이중급전, 광대역 안테나

Key word : CP antenna, RFID antenna, microstrip antenna, dual-feeding, broadband antenna

Received 21 April 2015, Revised 14 May 2015, Accepted 29 May 2015

* Corresponding Author Junho Yeo(E-mail:jyeo@daegu.ac.kr, Tel:+82-53-850-6642)

School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1759>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

군용목적의 무선기술에서 시작된 RFID (Radio Frequency IDentification; 무선인식) 기술은 바코드 (barcode) 방식에 비해 동시에 다수의 태그(tag)를 인식할 수 있고, 일일이 따로 인식하거나 일정방향을 정렬 (alignment)시킬 필요가 없어서 자동화, 신속한 물류처리, 유통 등에 매우 효과적인 방법이다[1]. 태그의 놓여 있는 방향에 따라 리더의 인식성능의 차이가 발생하지 않도록 리더기의 안테나는 지향성 원편파(circular polarization; CP) 안테나를 주로 사용한다.

상호 직교하는 2개의 직선편파를 90도 위상차를 두고 급전한 후 합성하면 시간에 따라 우측이나 좌측 방향으로 회전하는 원편파가 되며, 평면 안테나 구조에서 원편파를 구성하는 방법은 동일한 특성의 대칭구조에 직교하는 편파를 각각 따로 급전하는 이중급전 방식과 비대칭 구조의 적절한 위치 한 점에 급전하는 단일급전 방식이 있다[2]. 일반적으로 이중급전 방식이 단일급전 방식에 비해 광대역 원편파 특성을 보여서 고정형 고성능 안테나로 사용된다. 단일급전 방식은 주파수에 따라 축비가 민감하게 변화하여 소형 협대역 안테나 구조로 적합하다. 두께가 얇은 PCB 기판으로 평면 마이크로스트립 패치 안테나를 구성하는 경우 단일급전 방식의 급전회로가 간단하나 협대역 특성을 보이고, 기판의 두께가 증가하게 되면 대역폭은 넓어지나 이중급전 방식으로 인해 급전회로가 복잡해지는 단점이 있다[3,4].

RFID 리더용 원편파 안테나에 대한 최근 연구로는 안테나의 임피던스 정합특성을 개선하기 위한 연구[5], 슬릿 혹은 슬롯을 패치 내부에 삽입하여 원편파를 발생시키는 방법에 대한 연구[6-8], 이중대역 원편파 안테나 설계방법에 대한 연구[9] 등이 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 UHF(ultra high frequency) 대역 RFID 용 원형 마이크로스트립 패치 안테나를 이중급전 방식으로 원편파를 발생시키도록 설계하는 방법에 대해 연구하였다. 원형패치 안테나를 급전하기 위한 90도 위상차를 갖는 두 개의 신호를 발생시키기 위해 90도 하이브리드 결합기(quadrature hybrid coupler; QHC)를 이용하였다. 결합기의 출력력을 동선을 통해 원형패치에 연결하여 상호직교하는 편파를 발생시키도록 한다. 국내를 포함한 북미 UHF RFID 주파수 대역(902-928 MHz) 내에서 축비특성이 양호한 우선원편파(right-handed CP;

RHCP)가 발생되도록 안테나의 파라미터값들을 조정하여 적절한 안테나 치수를 도출하였다. 안테나 시스템을 제작하고 조립하여 입력 반사계수를 측정하였다. 제작된 안테나의 태그 인식성능을 테스트하고 상용 리더 안테나와 비교하여 RFID 리더용 안테나로의 적용 가능성을 점검하였다.

II. 본 론

2.1. 안테나 구조

그림 1은 제안된 원편파 안테나 구조이다. 접지면 위에 놓여 있는 0.8 mm 두께의 FR4 기판(비유전율 = 4.4, 손실탄젠트 = 0.025) 상에는 QHC가 구성된다. 접지면으로부터 $h_a=14$ mm의 높이에는 0.8 mm 두께의 원형 FR4 기판이 놓여 있으며, 윗면에 원형 도체 패치가 구현된다.

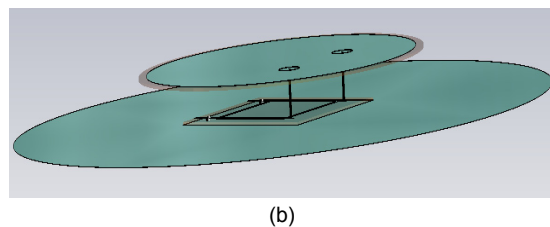
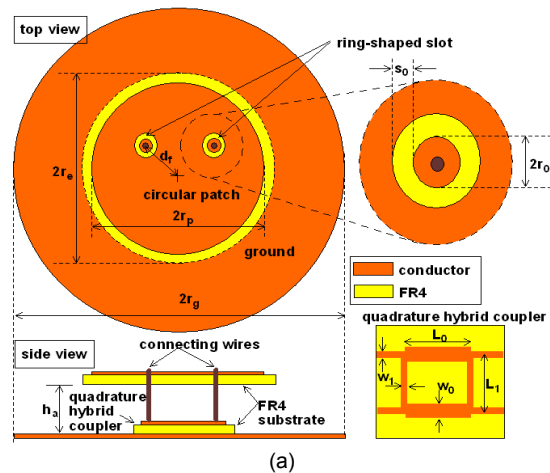


그림 1. 제안된 원편파 안테나 구조. (a) 평면도와 측면도 (b) 3차원 구조

Fig. 1 Geometry of proposed CP antenna. (a) top view and side view (b) 3D view

90도 위상차를 갖는 결합기의 출력들은 1 mm 직경의 동선으로 윗면의 원형패치와 연결된다. 두 개의 동선으로 급전된 원형패치 안테나는 상호 직교하는 편파를 발생시키고 두 편파의 합은 RHCP가 된다. 동선에 의해 발생된 유도성 리액턴스(인덕턴스) 성분을 상쇄시키기 위해 원형 도체 패치에는 링형 슬롯이 삽입되어 있다[4]. 링형 슬롯의 폭(s_0)과 링의 반지름(r_0)에 따라 등가 커패시턴스 값이 달라지므로 이것들을 조절하여 유도성 리액턴스를 보상할 수 있다. 링형 슬롯이 너무 커지면 패치 전류 흐름에 영향을 주게 되므로 너무 크지 않는 것이 좋다. 안테나는 QHC의 50옴 마이크로스트립 선로로 급전되고 동축케이블로 외부와 연결된다.

2.2. 안테나 설계

안테나의 설계 절차는 직선편파용 단일 패치 안테나 설계, QHC 설계, 원편파 안테나 설계 순으로 진행된다. 여러 가지 파라미터값에 따른 안테나의 특성은 상용 EM 문제 해석 툴(CST Microwave Studio)을 이용한 시뮬레이션을 통해 점검할 수 있다.

a. 단일급전 직선편파 안테나 설계

단일급전 안테나 구조는 그림 2와 같고 동축 케이블의 내부 도체가 원형패치에 연결되어 안테나가 급전된다. UHF대역 RFID용 주파수(902-928 MHz)에 적합하도록 단일급전 직선편파 안테나를 설계하기 위해서는 패치의 반경(r_p), 링 슬롯의 반경(r_0)과 폭(s_0) 등을 적절히 조절하여야 하며, $h_a=14$ mm로 가정하였다.

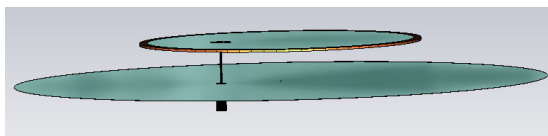


그림 2. 단일급전 직선편파 안테나 구조
Fig. 2 Single-fed LP antenna structure

최적화된 파라미터 값들은 $d_f=23$, $r_p=78$, $r_c=82$, $r_g=140$, $r_0=5$, $s_0=0.5$ 이고 단위는 mm이다. 이 때, 시뮬레이션에 의한 반사계수 계산결과는 그림 3과 같고 VSWR(voltage standing wave ratio; 전압정재파비)이 2 이하인 주파수 대역은 882-948 MHz이다. 그리고 RFID 주파수 대역 내에서 이득은 8.7 dBi 이상으로 유

지된다.

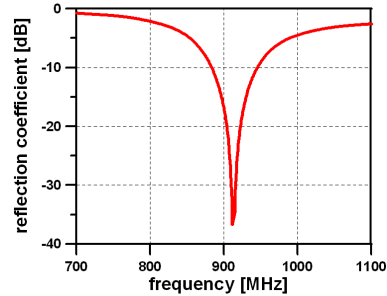


그림 3. 최적화된 직선편파 안테나의 반사계수
Fig. 3 Reflection coefficient of the optimized LP antenna

b. 90도 하이브리드 결합기(QHC) 설계

원형패치에 상호 직교하며 90도 위상차를 갖는 편파를 급전하기 위한 전력분배기 QHC는 그림 4에 도시된 바와 같고 0.8 mm 두께의 FR4 기판에 중심주파수 915 MHz에서 동작하도록 하기에 적합한 치수는 $w_1=1.5$, $w_0=2.5$, $L_0=45.3$, $L_1=46.4$ 이고 단위는 mm이다.

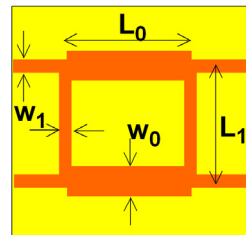


그림 4. 90도 하이브리드 결합기
Fig. 4 Quadrature hybrid coupler

c. 원편파 안테나 특성

그림 1과 같이 원형 패치 아래 접지면 상에 설치된 QHC의 두 출력과 원형 패치의 두 급전점 사이를 직경 1 mm의 동선으로 연결하고 QHC 입력으로 급전하면 원편파가 발생된다. 이 때, 그림 2의 구조와는 차이가 있어서 안테나의 특성은 다소 변화되므로 약간의 파라미터 값을 조정($d_f=32$, $r_p=70$, $r_e=74$)하여야 한다. 그림 5는 원편파 안테나의 반사계수 특성이며 VSWR < 2 인 대역은 828-1,036 MHz으로 광대역 특성을 보인다.

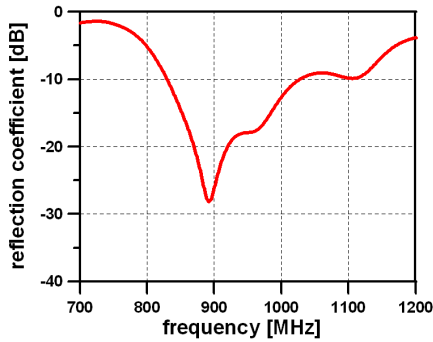


그림 5. 원편파 안테나의 반사계수
Fig. 5 Reflection coefficient of the CP antenna

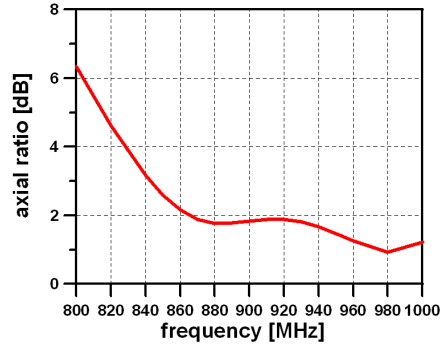
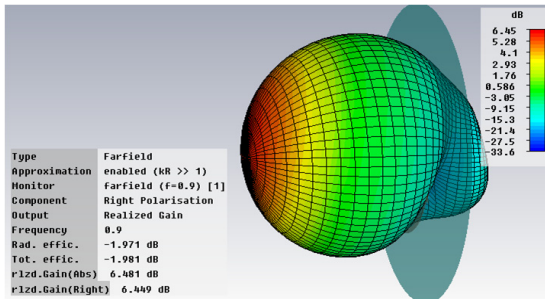
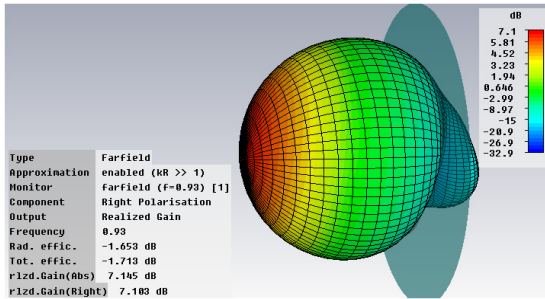


그림 7. 원편파 안테나의 축비
Fig. 7 Axial ratio of the CP antenna



(a)



(b)

그림 6. 원편파 안테나의 복사패턴
Fig. 6 Radiation patterns of the CP antenna. (a) 900 MHz and (b) 930 MHz

그림 6에서 보는 바와 같이 RFID 주파수 대역(902 – 928 MHz)내에서 원편파(RHCP) 이득은 약 6.5 dB이상으로 유지되고 최대 복사방향은 패치 안테나 면에 수직인 방향이다.

그림 7은 안테나의 축비 특성을 나타내며, RFID 주파수 대역 내에서 1.88 dB이하로 유지되는 매우 양호한 특성을 보인다.

2.3. 안테나 제작 및 측정결과

먼저 안테나를 급전하기 위한 QHC를 그림 8과 같이 제작하고 회로망분석기(N5230A, Agilent社)로 특성을 실험한 결과 RFID 대역 내에서 $|S_{11}|_{dB} < -22.5$ dB, $|S_{22}|_{dB} < -23.1$ dB, $|S_{41}|_{dB} < -27.4$ dB이고, $f = 915$ MHz에서 $|S_{21}|_{dB} = -3.51$ dB, $|S_{31}|_{dB} < -3.97$ dB, $\angle S_{21} - \angle S_{31} \approx -90^\circ$ 인 양호한 특성을 확인할 수 있었다.

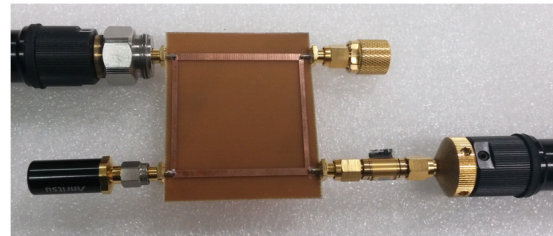


그림 8. 제작된 90도 하이브리드 결합기
Fig. 8 Fabricated quadrature hybrid coupler

FR4 기판을 이용하여 링형 슬롯 쌍을 갖는 원형 패치 안테나를 제작하고 직경 1 mm 동선을 이용하여 연결하였으며, 급전선인 50옴 동축 케이블을 QHC에 납땜으로 연결하였다. 패치와 접지면 사이의 공간 간격 (air space)는 두께 14 mm의 스티로폼을 이용하여 지지하였으며, 그림 9는 제작된 안테나 사진이다. 제작된 안테나의 크기는 접지판의 직경 280 mm, 원형 패치의 직경 140 mm이다. 제작된 안테나의 반사계수를 회로망분석기를 이용하여 측정한 결과 그림 10에서 보는 바와 같이 $VSWR < 2$ 이한 주파수 대역은 854 – 993 MHz

로 광대역 특성을 갖는다. 실험결과가 시뮬레이션(828-1,036 MHz)와 다소 차이를 보이는 것은 시뮬레이션에서는 접지면과 원형패치 사이를 공기로 가정한 것을 실험에서는 스티로폼으로 지지한 것과 시뮬레이션에서는 고려하지 않았던 동축 급전 케이블에 의한 영향으로 생각된다.

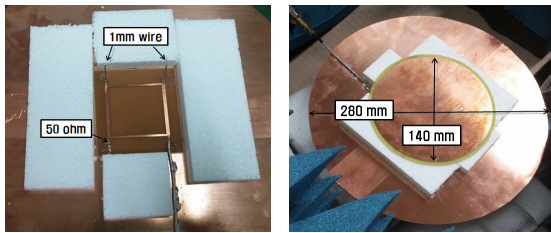


그림 9. 제작된 원편파 안테나
Fig. 9 Fabricated CP antenna

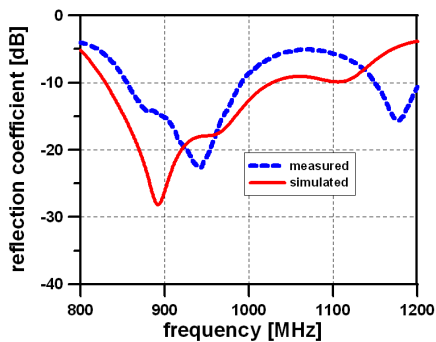


그림 10. 제작된 안테나의 반사계수
Fig. 10 Reflection coefficient of the fabricated antenna

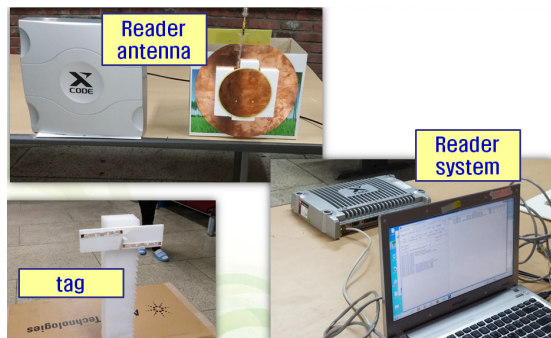


그림 11. 태그 인식성능 실험 구성
Fig. 11 Experimental setup for tag identification performance

제작된 안테나의 태그 인식성능은 원편파 이득, 축비 등에 따라 달라질 수 있다. 안테나의 태그 인식거리는 리더기에 안테나를 장착한 후 태그 방향에 무관하게 인식이 가능한 거리를 의미하며, 기존 상용 안테나와 본 연구에서 설계된 안테나의 인식성능을 상호 비교해 볼 수 있는 가장 효과적이고 실질적인 방법이다.

그림 11은 태그 인식성능을 위한 실험시스템 구성 사진이다. 제작된 리더기 안테나의 태그인식 성능을 비교하기 위해 본 연구에서 사용된 상용 리더기는 LS산전사의 IU9003 모델이며, 리더기에 장착된 상용 안테나의 이득은 9 dBic이고 크기는 330 mm × 330 mm × 50 mm이다. 테스트에 사용된 태그는 Alien社 제품을 이용하였고, 상용 안테나의 인식거리 502 cm, 본 연구에서 설계된 안테나의 인식거리 431 cm이었다. 자유공간에서 인식거리와 이득 관계를 고려해 볼 때, 상용 안테나와의 이득 차이는 약 1.3 dB에 해당되므로 제작된 안테나의 이득은 약 7.7 dBic 정도 되는 것으로 추정할 수 있다. 상용 안테나에 비해 면적이 56.5 %, 두께 32 %, 인식거리 86 % 인 것을 볼 때, 본 연구의 안테나가 리더기 안테나로서 적합한 성능을 갖는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 리더용 원편파 안테나 설계방법에 대해 연구하였다. 안테나 구조는 원형 접지면, 90도 하이브리드 결합기, 원형패치, 연결동선 등으로 구성된다. 적합한 특성을 갖도록 안테나의 파라미터값들을 조정 후 제작된 안테나의 특성을 측정하고 인식성능을 점검하였다. 제작된 안테나의 크기는 직경 280 mm, 높이 15 mm 정도이고, VSWR < 2인 대역이 854-993 MHz, RFID용 주파수 대역(902-928 MHz) 내에서 원편파 이득이 약 6.5 dBic 이상으로 유지되는 양호한 특성을 갖는 것을 볼 때, 실제 리더용 안테나로 응용하기에 적합한 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Dongseo University Research Grant 2015.

REFERENCES

- [1] K. Finkenzeller, *RFID handbook*, Chichester: UK: Wiley, 2003.
- [2] R. Garg, P. Bhartia, A. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*, Artech House, 2001.
- [3] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband microstrip antennas*, Artech House, 2003.
- [4] K.-L. Wong, *Compact and broadband microstrip antennas*, New York; John Wiley & Sons, 2002.
- [5] H.-W. Son, H. Park, and H.-G. Jeon, "Design of a circularly polarised radio-frequency identification reader antenna with high return loss," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 5, no. 15, pp. 1844-1848, 2011.
- [6] Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing, "Asymmetric-circular shaped slotted microstrip antennas for circular polarization and RFID applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 12, pp. 3821-3828, Dec. 2010.
- [7] C.-Y.-D. Sim and C.-J. Chi, "A slot loaded circularly polarized patch antenna for UHF RFID reader," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 10, pp. 4516 – 4521, Dec. 2014.
- [8] C.-Y.-D. Sim, Y.-W. Hsu, and G. Yang, "Slits loaded circularly polarized universal UHF RFID reader antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 827-830, 2015.
- [9] Q. Liu, J. Shen, H. Liu, and Y. Liu, "Dual-band circularly-polarized unidirectional patch antenna for RFID reader applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 12, pp. 6428-6434, Dec. 2014.



이종익(Jong-Ig Lee)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수
1999년 3월 ~ 현재: 동서대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란



여준호(Junho Yeo)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사)
1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원
2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 미국 Pennsylvania State University 박사 후 과정
2004년 8월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
2007년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 부교수
※관심분야 : AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란



박진택(Jin-Taek Park)

1980년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년 2월 ~ 1991년 2월 : 미육군 정보체계시령부 국방통신 대구통제국 선임통제관
1991년 3월 ~ 현재: 창신대학교 모바일통신공학과 교수
※관심분야 : 안테나 설계, 전자파 산란