

실내 디지털 TV 수신용 광대역 평면 다이폴 안테나 설계

이종익¹ · 여준호^{2*} · 박진택³

Design of Broadband Planar Dipole Antenna for Indoor Digital TV Reception

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 지상파 디지털 TV 수신용 광대역 평면 다이폴 안테나 설계 방법에 대해 연구하였다. 코플래너 스트립으로 급전되는 평면 다이폴을 반 보우-타이형으로 소형화하였다. 급전 마이크로스트립 선로와 코플래너 스트립 선로 간의 밸런은 코플래너 스트립 중앙으로 삽입된 직사각형 패치로 구현하였다. 제안된 안테나는 이중 공진 구조로서 다이폴에 의한 공진과 밸런이 부착된 코플래너 스트립 선로에 의한 공진으로 구성된다. 제안된 안테나의 파라미터들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 분석하고 지상파 디지털방송 주파수 대역인 470-806 MHz 대역에서 동작하도록 설계하였다. 설계된 안테나를 95 mm × 178 mm 크기의 FR4 기판 상에 제작 후 실험을 통하여 연구결과와의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a broadband planar dipole antenna for terrestrial digital television (DTV) reception is studied. The dipole is modified to half bow-tie type for size reduction. The balun between feeding microstrip line and coplanar strip (CPS) line is implemented with a rectangular patch inserted along the center of the CPS line. The proposed antenna is the structure of dual resonances, one is due to the dipole and the other is due to the CPS line attached by the balun. The effects of various geometrical parameters on the antenna performance are examined, and the antenna is designed for terrestrial DTV band (470-806 MHz). The prototype antenna is fabricated on an FR4 substrate with a size of 95 mm × 178 mm, and tested experimentally to verify the results of this study.

키워드 : 평면 다이폴 안테나, 반 보우-타이 다이폴, 광대역 안테나, 밸런, 디지털 TV 안테나

Key word : planar dipole antenna, half bow-tie dipole, broadband antenna, balun, digital TV antenna

접수일자 : 2014. 01. 13 심사완료일자 : 2014. 02. 05 게재확정일자 : 2014. 02. 21

* **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.2014.18.3.497>

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

지상파 디지털 TV (DTV)는 선명한 화면을 제공하고 다양한 응용 서비스가 가능하므로 세계적으로 최근 수년간 급속히 보급되었다. DTV 방송용으로 할당된 주파수 대역은 UHF 대역 470-806 MHz 로서 광대역이고, 이에 적합한 수신용 안테나는 광대역 특성을 갖도록 설계하여야 한다. DTV용 안테나에 대한 기존 연구들 대부분이 휴대폰, 랩탑 컴퓨터, PMP 등 이동이 가능한 휴대기기용 안테나에 대한 것들[1-3]이었던 것과는 대조적으로 가정용 DTV 안테나에 대한 연구는 그리 많지 않았다. 휴대기기용 안테나에 대한 연구들에서 급전선의 특성 임피던스를 50옴으로 가정하는 반면 가정용 실내 DTV의 포트 임피던스는 75옴으로 차이가 있음에 유의하여야 한다.

최근 발전된 PCB 제작 기법을 이용하여 유전체 기판 상에 구현될 수 있는 다양한 평면 안테나들 중에서 소형이면서 적절한 대역폭을 갖는 대표적인 안테나인 평면 다이폴은 대역폭이 충분히 넓지 않지만 최근 연구들에서와 같이 급전구조와 다이폴에 적절한 변형을 가하여 광대역 특성을 얻을 수 있다[4,5]. 평면 다이폴을 급전하는 평형 선로인 코플래너 스트립 (CPS; coplanar strip) 선로와 불평형 선로인 마이크로스트립 (MS; microstrip) 선로 간의 접속을 위해 적절한 형태의 밸런 (balun)이 필요하다. 광대역 임피던스 정합을 위한 다양한 형태의 밸런[6,7]이 있으나 소형화에 적합한 구조는 CPS 선로에 내장이 가능한 것이 유리하다.

본 연구에서는 지상파 DTV 수신용 광대역 평면 다이폴 안테나를 설계 방법에 대해 연구하였다. DTV용 주파수 대역 (470-806 MHz)에서 $VSWR < 3$ 이고, 피크 이득이 최소 0 dBi 이상으로 동작할 수 있도록 설계한다. 안테나의 크기는 100 mm × 200 mm 이내로 제한하고 FR4 기판 (비유전율 4.4, 두께 $h = 1.6$ mm, 손실탄젠트 0.025) 상에 특성임피던스 75 옴인 MS 선로로 급전되도록 설계한다. 안테나의 크기를 소형화하기 위해 반 보우-타이 (half bow-tie)형으로 다이폴을 변형하고, CPS 선로 중앙으로 삽입된 직사각형 패치로 밸런을 구성한다. 광대역 정합 특성을 갖도록 안테나가 이중 공진 구조가 되도록 한다. 다이폴에 의한 공진 외에 급전 CPS 사이의 슬롯에 의한 공진을 추가로 유도하여 이중 공진 구조를 구성하는 것으로 일반적

인 다이폴 안테나 설계에서 거의 시도되지 않은 방법이다. 다이폴과 밸런이 안테나의 광대역 특성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석하고 DTV용으로 동작하도록 안테나를 설계한다. 마지막으로 제작된 안테나의 VSWR과 복사특성을 측정하여 본 연구의 타당성을 검증한다. 제안된 구조를 해석하기 위해 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하였다.

II. 안테나의 구조 및 설계

그림 1은 제안된 광대역 평면 다이폴 안테나 구조로서, 유전체 기판의 한 면에 MS이 인쇄되고 다른 면에는 평면 다이폴과 이를 급전하는 CPS 선로가 있다. 안테나의 전체 크기는 100 mm × 200 mm로 제한되고, 이는 하한 차단 주파수 (470 MHz)에서 볼 때 약 0.16 파장 × 0.31 파장으로서 전형적인 다이폴에 비해 소형화된 안테나이다.

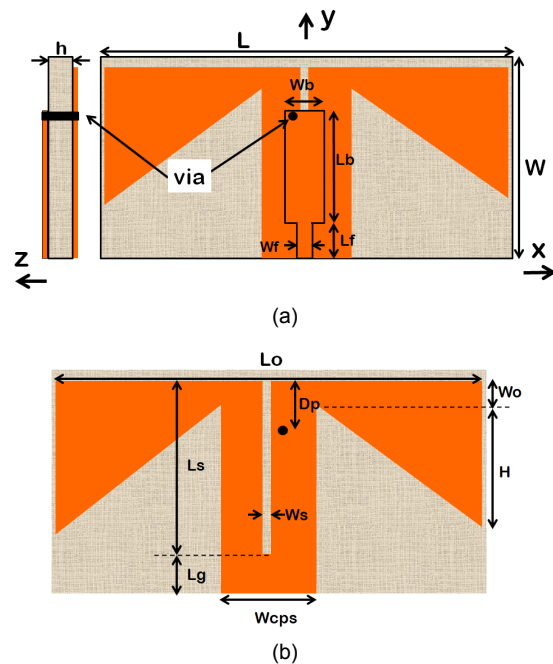


그림 1. 제안된 안테나 구조 : (a) 전면과 측면 (b) 후면
 Fig. 1 Geometry of proposed antenna : (a) front and side (b) back

안테나는 길이 L_f , 폭 W_f 의 MS 선로로 급전되고 특성 임피던스는 실내 DTV의 포트 임피던스와 동일한 75옴이다. MS 선로와 CPS 선로 간 밸런은 CPS 중앙을 따라 삽입된 폭 W_b , 길이 L_b 의 직사각형 스트립으로 구성된다. 밸런의 종단은 단락핀으로 CPS의 한 쪽에 연결되어 있다[8]. 다이폴의 길이는 L_o , 폭은 W_o 이며, 소형화를 위해 높이 H 의 직각 삼각형 도체를 부가하여 반 보우-타이형으로 변형한다. CPS 선로의 폭은 W_{cps} , 슬롯의 폭 W_s , 길이 L_s , 기판의 길이 L , 폭 W , 두께 t 이다.



그림 2. 평면 다이폴 급전 구조들: (a) 마이크로스트립 개방 스텐트로 종단 (b) 단락 종단
Fig. 2 Feeding geometries for planar dipole: (a) terminated by MS open stub (b) terminated by short circuit

그림 2는 제안된 평면 다이폴 안테나와 유사한 구조들을 제시한 것이다. 기존에 많이 사용되는 구조로는 그림 2(a)와 같이 개방 스텐트로 종단된 구조와 그림 2(b)와 같이 단락 종단된 구조가 대표적인 것이며, 단락 종단된 구조가 개방 종단된 구조에 비해 광대역 특성이 양호한 것으로 기존 연구에서 알려져 있다. 최근 단락 종단된 밸런 구조와 CPS에 삽입된 튜너회로를 결합하여 대역폭 47%이상의 광대역 다이폴 안테나 급전 구조를 연구한 사례들[4,5]이 보고된 바 있다. 그러나 CPS에 삽입된 튜너 부분과 급전 MS 선로를 함께 설계해야 하므로 설계과정이 복잡해지는 단점이 있다. 이에 비해 제안된 안테나는 DTV용으로 적합하도록 비교적 광대역 특성을 갖으나 매우 단순한 구조이므로 설계와 제작이 용이하고 별도의 공간이 필요치 않아서 소형화에도 유리한 형태이다.

시뮬레이션을 통해 지상파 DTV 대역용으로 설계된 안테나의 파라미터들은 표 1에 제시된 바와 같다.

표 1. 디지털 TV 수신용으로 설계된 안테나의 파라미터 값들
Table. 1 Parameters of antenna designed for DTV reception

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
L	178	Wf	1.35
W	95	Lf	10
Lo	172	Wb	4
Wo	10	Lb	77
H	54	Wcps	20
Ws	0.7	Dp	5
Ls	81	Lg	11

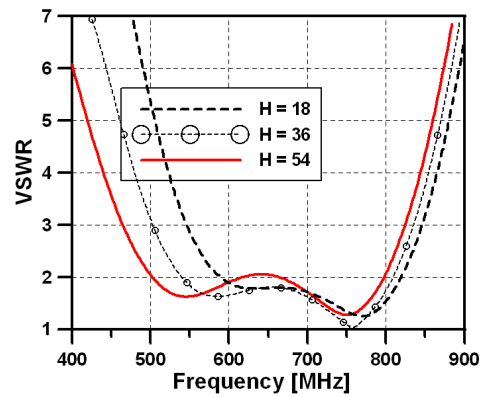


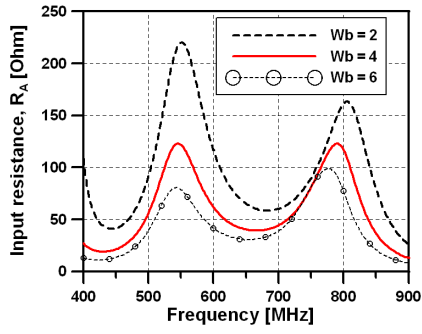
그림 3. H의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 3 Effect of H [simulation]

몇 가지 주요 파라미터들에 따른 안테나의 특성 변화를 관찰한 후 제안된 안테나 구조의 설계방법을 제시하고자 한다. 그림 3은 반 보우-타이 다이폴의 높이 H 에 따른 안테나의 VSWR 변화이며, 고주파 대역에서는 큰 변화가 없으나 H 증가에 따라 다이폴 상의 전류 경로가 증가되어 저주파 대역 차단 주파수가 낮아진다.

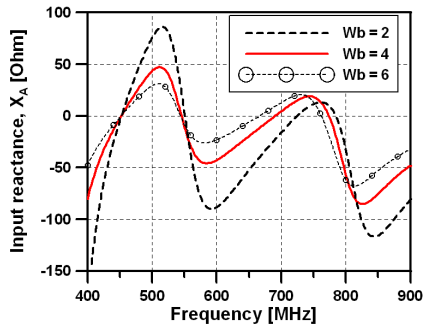
그림 4는 밸런의 폭 W_b 에 의한 영향을 나타내는 것으로 급전 MS 급전선로 종단에서 바라본 입력 임피던스 ($Z_A = R_A + jX_A$)의 변화를 관찰한 것이다. W_b 가 증가됨에 따라 안테나의 임피던스가 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 5는 밸런의 길이 L_b 에 의한 영향을 나타내는 것으로 고주파 대역 특성에 변화를 주는 것을 볼 수 있다. 이 때, 급전 위치를 $D_p = W_o/2$ 로 일정하게 유지하기 위해서 L_b 와 함께 L_s 도 변화시켰다. 이러한 이중 공진 현

상은 전형적인 MS 선로로 밸런을 구성하는 그림 2(a)-2(b) 구조들에서는 관찰되기 어려운 현상이다.



(a)



(b)

그림 4. Wb의 영향 [시뮬레이션] : (a) 입력저항 R_A (b) 입력 리액턴스 X_A

Fig. 4 Effect of Wb [simulation] : (a) input resistance R_A (b) input reactance X_A

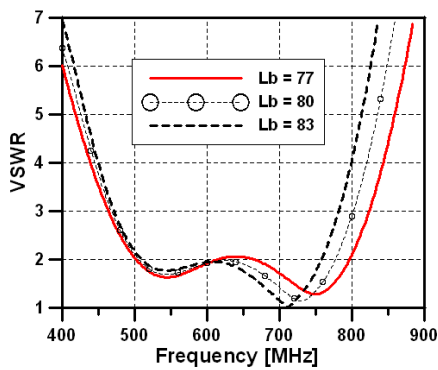


그림 5. Lb의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 5 Effect of Lb [simulation]

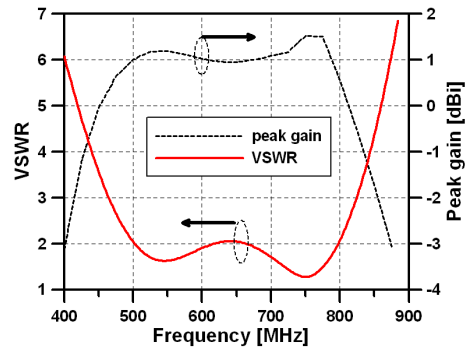


그림 6. DTU용으로 설계된 안테나의 정재파비와 이득 [시뮬레이션]

Fig. 6 VSWR and gain of antenna designed for DTU use [simulation]

그림 6은 표 1의 파라미터들로 안테나를 구성하여 DTU용으로 설계된 경우의 VSWR과 이득을 계산한 것으로 VSWR < 3인 대역이 464~824 MHz이고 대역 내에서 이득은 0 dBi 이상으로 유지된다.

그림 7은 3차원 복사패턴을 계산한 것으로 저주파 대역에서는 전형적인 다이폴 패턴을 보이고 주파수가 증가함에 따라 점차 y 방향으로 지향성이 1 dB 이내에서 약간 개선되는 것을 볼 수 있다.

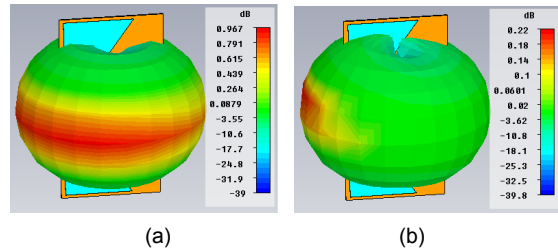


그림 7. 복사패턴 [시뮬레이션] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 7 Radiation patterns [simulation] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

III. 안테나 제작 및 실험 결과

시뮬레이션을 통해 설계된 안테나를 FR4 기판 상에 그림 8과 같이 제작하였으며 안테나의 크기는 95 mm × 178 mm이다. 제작된 안테나의 VSWR과 복사패턴 특성을 전자파 무반사실에서 측정하였다.

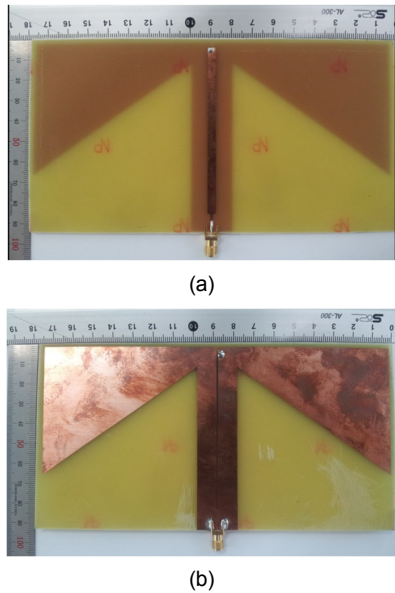


그림 8. 제작된 안테나 : (a) 전면 (b) 후면
Fig. 8 Fabricated antenna : (a) front (b) back

그림 9는 회로망 분석기 (N5230A, Agilent사)를 이용하여 안테나의 VSWR을 측정한 결과로서 VSWR < 3인 대역 (466-846 MHz)은 시뮬레이션 (464-824 MHz)과 잘 일치하고 원하는 DTV 대역 (470-806 MHz)을 포함한다.

그림 10은 안테나의 복사패턴 측정결과로서 E-면에서는 전형적인 8자형 다이폴 패턴을 보이고 H-면에서는 무지향성에 가까운 특성을 보인다.

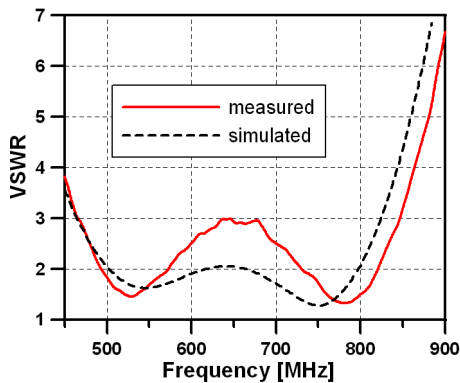


그림 9. 측정된 정재파비
Fig. 9 Measured VSWR

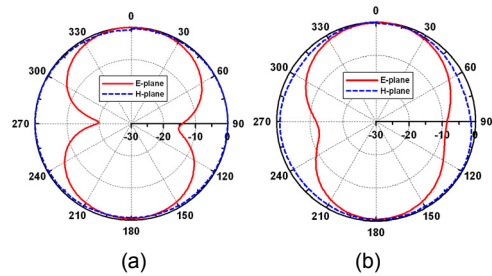


그림 10. 측정된 복사패턴 : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 10 Measured radiation patterns : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

최종적으로 안테나 종단에 75옴 케이블에 연결이 가능하도록 F-형 커넥터를 납땜하고 상용 디지털 TV에 직접 연결하여 실내에서 지상파 5개 방송의 수신 성능을 테스트 한 결과 잡음과 왜곡 없이 정상적으로 수신되는 것을 확인하였다. 그리고 제작된 안테나의 E-면 상에서 이득은 디지털 TV 주파수 대역 내에서 0 dBi 이상을 유지하는 것으로 확인되었다. 이것은 지상파 DTV 방송용 수평편파를 수신하는 안테나로 적합한 특성이다.

이상의 결과들을 볼 때 제안된 안테나에 대한 시뮬레이션과 실험결과들이 상호 간 잘 일치하고 디지털 TV 방송 수신에 적합한 양호한 성능을 보이므로 제안된 안테나에 대한 본 연구의 결과들이 타당하다고 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 지상파 DTV 방송 수신용 광대역 평면 다이폴 안테나 설계 방법에 대해 연구하였다. 평면 다이폴은 소형화를 위해 반 보우-타이형으로 변형하고 다이폴에 연결된 CPS 선로와 MS 선로 간의 밸런은 CPS 선로 중앙으로 삽입된 직사각형 패치 구조이다. 제안된 안테나 구조는 다이폴에 의한 공진과 CPS 선로의 슬롯의 공진에 의한 이중 공진 구조이므로 광대역 특성을 갖는다. 여러 가지 파라미터들이 안테나 특성에 미치는 영향을 분석하고 실내 DTV용으로 적합하도록 안테나를 설계하였다. FR4 기판 상에 프로토타입 안테나를 제작하고 VSWR과 복사패턴을 측정하였다. 실험결과들이 시뮬레이션결과들과 상호 잘 일치하였고, VSWR < 3인 대역은 466-846 MHz이고 복사패턴

은 전형적인 다이폴과 유사한 형태를 갖는 것을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 특성들을 볼 때, 제안된 광대역 다이폴 안테나는 DTV용 안테나로 적합하며, 제안된 설계방법으로 다른 주파수 대역용으로 주파수 변환 설계가 용이하다.

REFERENCES

- [1] J. Holopainen, O. Kivekäs, C. Icheln, and P. Vainikainen, Internal broadband antennas for digital television receiver in mobile terminals, *IEEE Trans Antennas Propagat*, vol. 58, no. 10, pp. 3363–3374, Oct. 2010.
- [2] K.-L. Wong, C.-I. Lin, T.-Y. Wu, and J.-W. Lai, A planar DTV receiving antenna for laptop applications, *Microwave Opt Technol Lett*, vol. 42, no. 6, 483–486, Sep. 2004.
- [3] J.-K. Wee, J.W. Park, I.S. Yeom, B.-G. Kim, and C.W. Jung, Compact DVB-H antenna with broad dual-band operation for PMP applications, *IEEE Antennas Wireless Propag Lett*, vol. 9, 580–583, 2010.
- [4] W.S. Yeoh, K.L. Wong, W.S.T. Rowe, Wideband miniaturized half bowtie printed dipole antenna with integrated balun for wireless applications, *IEEE Trans Antennas Propagat*, vol. 59, no. 1, pp. 339–342, Jan. 2011.
- [5] S.T. Fan, Y.Z. Yin, W. Hu, B. Li, and J.H. Yang, Bandwidth enhancement of a printed dipole antenna for wideband applications, *Microwave Opt Technol Lett*, vol. 54, no. 7, pp. 1585–1590, Jul. 2012.
- [6] N. Kaneda et. al., A broad-band quasi-Yagi antenna, *IEEE Trans Antennas Propagat*, vol. 50, no. 8, pp. 1158–1160, Aug. 2002.
- [7] D.S. Woo et. al., Design of quasi-Yagi antennas using an ultra-wideband balun, *Microwave Opt Technol Lett*, vol. 50, no. 8, pp. 2068–2071, Aug. 2008.
- [8] X.-P. Lu and Y. Li, Novel broadband printed dipole, *Microwave Opt Technol Lett*, vol. 48, no. 10, pp. 1996–1998, Oct. 2006.



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