

반-보우타이 모양 다이폴 소자를 이용한 대수-주기 다이폴 배열 안테나의 소형화 설계

여준호¹ · 이종익^{2*}

Miniaturized Design of Log-Periodic Dipole Array Antenna Using Half-Bowtie Dipole Elements

Junho Yeo¹ · Jong-Ig Lee^{2*}

¹School of Computer and Communication Engineering/Information and Communication Research Center, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

^{2*}Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

요 약

본 논문에서는 UWB 대역(3.1–10.6 GHz)에서 동작하는 소형 대수-주기 반-보우타이 다이폴 배열 안테나에 대한 설계 방법에 대하여 연구하였다. 제안된 안테나는 일반적인 대수-주기 다이폴 배열 안테나에서 사용되는 스트립 형태의 다이폴 소자 대신에 반-보우타이 형태의 다이폴 소자를 사용하고 소자간의 간격을 줄여 소형화하였다. 반-보우타이 다이폴 소자의 벌어지는 각도와 간격계수에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하였다. 최적화된 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 전압 정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR) < 2 이하인 대역은 2.95–11.31 GHz으로 UWB 대역에서 동작함을 확인하였다. 또한, 대수-주기 다이폴 배열 안테나에 비해 제안된 안테나의 길이와 폭은 각각 32.1 %와 18.3 %가 축소되었다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a compact log-periodic half-bow-tie dipole array antenna for an operation in a UWB band(3.1–10.6 GHz) is studied. The proposed antenna is miniaturized by using half-bow-tie shaped dipole elements instead of strip-type dipole elements, which are commonly used in a general log-periodic dipole array(LPDA) antenna, and by reducing the element spacing. The effects of the flare angle of the half-bow-tie elements and the spacing factor on input reflection coefficient and realized gain characteristics of the proposed log-periodic antenna are analyzed. The optimized antenna is fabricated on an FR4 substrate, and the experiment results show that the antenna has a frequency band of 2.95–11.31 GHz for a VSWR < 2, which assures the operation in the UWB band. In addition, the length and width of the proposed antenna are reduced to 32.1 % and 18.3 %, respectively, compared to the LPDA antenna.

키워드 : 대수-주기 다이폴 배열 안테나, 반-보우타이 다이폴 소자, 초광대역, 소형화

Key word : log-periodic dipole array antenna, half-bowtie dipole element, ultra wideband(UWB), miniaturization

Received 18 May 2016, Revised 27 May 2016, Accepted 08 June 2016

* Corresponding Author Jong-Ig Lee(E-mail:leeji@gdsu.dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1761)

Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.6.1057>

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

UWB(ultra wideband) 통신 기술은 3.1~10.6 GHz 대역에서 100 Mbps 이상의 전송 속도를 가지는 저전력 근거리 무선 통신이며, 무선 통신, 위치 추적 및 레이다 시스템 등의 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 이러한 UWB 통신을 위해서는 UWB 주파수 대역(3.1~10.6 GHz)의 신호를 송·수신할 수 있는 광대역 안테나가 반드시 필요하며, UWB 통신 기술에 적합한 광대역 안테나에 대한 많은 연구 개발이 이루어지고 있다[1].

UWB 통신시스템의 대역폭을 만족하는 광대역 특성을 갖는 안테나로는 모노폴(monopole), 다이폴(dipole), 루프(loop), 바이코니컬(biconical), 혼(horn), 스파이럴(spiral) 안테나 등이 있다. 이 중에서 소형 UWB 안테나를 위해서는 모노폴, 다이폴 및 루프 안테나가 사용되며, 고이득 지향성 UWB 안테나를 위해서는 혼 안테나, 스파이럴 안테나, 대수-주기 다이폴 배열(log-periodic dipole array; LPDA) 안테나가 사용된다[1, 2]. LPDA 안테나의 폭을 소형화하기 위해서 다이폴의 끝에 수직으로 스트립을 top-loading을 하는 방법[3]이 제안되었다. 다이폴의 모양을 변형시켜 Fractal tree, Koch, meander-line 등과 같은 프랙탈 구조를 다이폴에 적용하여 소형화하는 방법도 제안되었다[4-6]. 또한, 최근 폭이 다른 스트립 다이폴 소자와 기판의 양쪽에 적용된 동축케이블을 이용하여 4.25~13.25 GHz 대역에서 phase center와 복사 패턴이 개선된 안테나가 제안되었다[7].

본 논문에서는 UWB 대역에서 동작하는 소형 대수-주기 반-보우타이 다이폴 배열(log-periodic half-bowtie dipole array; LPHBDA) 안테나에 대한 설계 방법에 대하여 연구하였다. 제안된 안테나는 일반적인 대수-주기 다이폴 배열 안테나에서 사용되는 스트립 형태의 다이폴 소자 대신에 반-보우타이 형태의 다이폴 소자를 사용하였다.

반-보우타이 다이폴 소자의 벌어지는 각도와 간격 계수에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하여 길이와 폭을 소형화하도록 설계하였다. 최종 설계된 LPHBDA 안테나를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 0.8 mm) 상에 제작하여 특성을 확인하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

2.1. 안테나 구조

그림 1은 기존의 스트립 다이폴 소자로 구성된 일반적인 LPDA 안테나와 제안된 반-보우타이 다이폴 소자로 구성된 LPHBDA 안테나의 구조를 비교하였다. 그림 1(a)에 나타나 있듯이, LPDA 안테나는 배열 축 상에 선형 스트립 다이폴 안테나들을 평행하게 순차적으로 배열하여 반사기(reflector), 여진기(driver), 도파기(director)로 구성된 야기-우다 안테나와 비슷한 지향성을 가지나 훨씬 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있다.

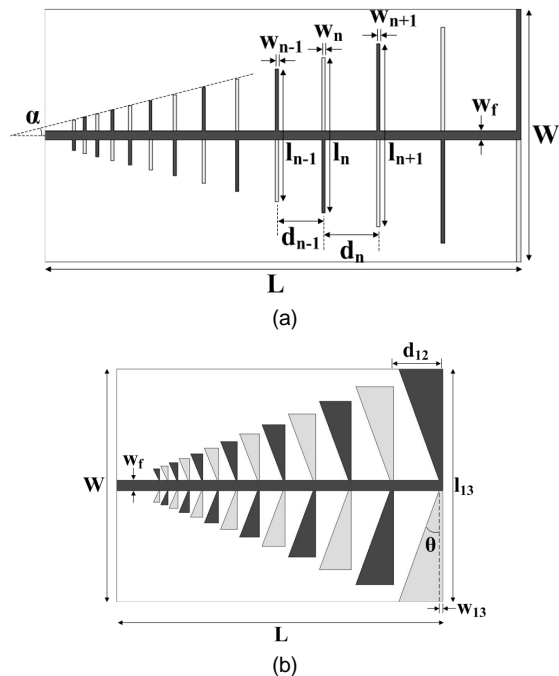


Fig. 1 Geometry of (a) conventional LPDA and (b) proposed LPHBDA antennas

LPDA 안테나의 확장계수(scale factor) τ 와 간격계수(spacing factor) σ 는 다음 식과 같이 주어진다[8].

$$\tau = \frac{l_{n-1}}{l_n} = \frac{w_{n-1}}{w_n} = \frac{d_{n-1}}{d_n} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{d_{n-1}}{2l_n} = \frac{1-\tau}{4\tan(\alpha)} \quad (2)$$

여기서 l_n 은 n번째 다이폴 소자의 길이, w_n 은 n번째 다이폴 소자의 폭, d_{n-1} 은 n번째 다이폴 소자와 n-1번째 다이폴 소자 간의 간격, α 는 LPDA의 중심선과 다이폴 소자들의 끝이 이루는 각이다.

먼저 위의 LPDA 안테나 설계 공식을 이용하여 UWB 대역을 충분히 포함할 수 있는 3~12 GHz 대역에서 8 dBi의 지향성을 가지는 표준 LPDA를 설계한다. 이를 위해 확장계수 $\tau = 0.85$, 간격계수 $\sigma = 0.15$ 로 정하였다. 3~12 GHz 대역에서 동작하기 위해 필요한 다이폴 안테나 소자의 수는 Carrel의 설계 식[8]으로부터 14개이나 실제 UWB 대역은 3.1~10.6 GHz로 더 좁아서 1개 줄인 13개로 정하였다. LPDA 안테나는 제작을 위해 비유전율 이고 두께 0.8 mm인 FR4 기판 상에 설계되었고, 가장 긴 다이폴 소자의 길이는 가장 낮은 동작주파수인 3.1 GHz의 반파장 길이보다 조금 작은 36.7 mm로 정하였다. 다른 LPDA 안테나의 설계 변수들은 위의 설계 공식을 이용하여 계산되었고 전체 LPDA 안테나의 길이(L)는 68.3 mm이다. 전송선로의 폭(W)는 1.5 mm이다.

제안된 반-보우타이 다이폴 소자로 구성된 LPHBDA 안테나의 구조는 그림 1(b)에 나타나 있다. 이때, 반-보우타이 다이폴 안테나의 양팔 끝으로 벌어진 각도(flare angle)는 $\theta = 20^\circ$ 이다. LPDA 안테나와 비교할 때 확장계수 $\tau = 0.85$ 로 동일하나 소자간의 간격을 줄이기 위해 간격계수는 $\sigma = 0.106$ 으로 정하였다. $\theta = 20^\circ$ 인 반-보우타이 다이폴 소자를 사용하여 폭 방향으로 소형화가 되어 가장 긴 다이폴 소자의 길이는 30 mm로 줄어들었고, 간격계수를 줄여서 전체 LPHBDA 안테나의 길이(L)는 46.4 mm로 줄었다. 전송선로의 폭(w_f)는 1.5 mm로 동일하다. 따라서 LPDA 안테나에 비해 제안된 LPHBDA 안테나의 길이와 폭은 각각 32.1%와 18.3%가 축소되었다.

그림 2에는 LPDA 안테나와 제안된 LPHBDA 안테나의 입력 반사계수와 이득을 비교하였다. LPDA 안테나의 경우, $VSWR < 2$ 인 주파수 대역은 3.05~16.36 GHz이고, 제안된 LPHBDA 안테나의 주파수 대역은 소형화로 인해 3.05~13.96 GHz로 대역의 끝 주파수가 조금 줄어들었다. UWB 대역 내에서의 이득은, LPDA 안테나의 경우 5.0~7.5 dBi로 기판의 loss tangent로 인해 예상한 8 dBi 보다 작다. 제안된 LPHBDA 안테나는 길

이와 폭 방향 소형화로 인해 4.7~6.1 dBi로 더 줄었다. 그러나 고주파 대역에서 LPDA 안테나는 이득 값이 2 dBi 범위 내에서 많이 변하나 제안된 LPHBDA 안테나는 변화폭이 1 dBi 내에서 안정적이다.

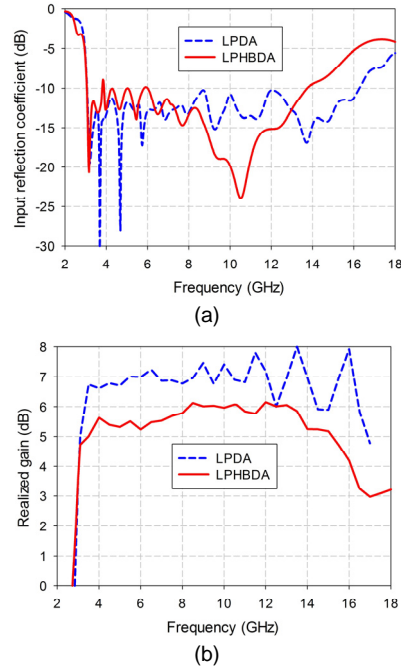


Fig. 2 Performance comparison of conventional LPDA and proposed LPHBDA antennas: (a) input reflection coefficient and (b) realized gain

2.2. 특성 시뮬레이션

제안된 LPHBDA 안테나의 소형화는 반-보우타이 다이폴 안테나의 양팔 끝으로 벌어진 각도 θ 와 간격 계수 σ 에 의해 결정된다. 이들 설계 변수의 변화에 대한 제안된 LPHBDA 안테나 특성의 영향을 조사하였다.

그림 3은 반-보우타이 다이폴 안테나의 양팔 끝으로 벌어진 각도 θ 에 따른 LPHBDA 안테나의 입력 반사계수와 이득 특성의 변화를 나타내고 있다. θ 가 0° 에서 20° 로 증가함에 따라 입력 반사계수의 $VSWR < 2$ 인 주파수 대역의 시작 주파수가 낮은 주파수로 이동함을 알 수 있다. 이득은 저주파수 대역에서는 줄어들지만 고주파수 대역에서는 증가한다. 또한, 제안된 LPHBDA 안테나의 이득 변화가 LPDA 안테나($\theta = 0^\circ$)에 비해 적음을 다시 확인할 수 있다.

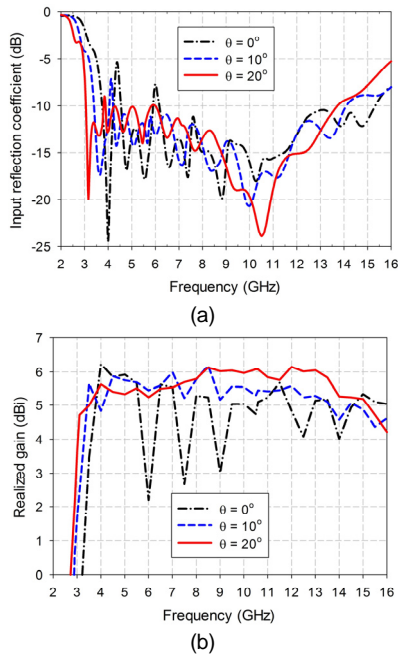


Fig. 3 Input reflection coefficient and gain variations as functions of θ : (a) input reflection coefficient and (b) gain

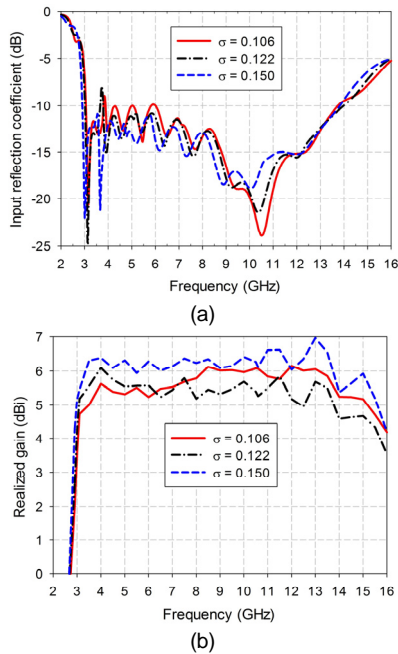


Fig. 4 Input reflection coefficient and gain variations as functions of σ : (a) input reflection coefficient and (b) gain

간격 계수 σ 에 따른 LPHBDA 안테나의 입력 반사 계수와 이득 특성의 변화가 그림 4에 나타나 있다. σ 가 0.106에서 0.15로 증가함에 따라 입력 반사계수의 VSWR < 2인 주파수 대역의 시작 주파수가 낮은 주파수로 이동하고 이득도 증가함을 알 수 있다. 그러나 간격계수가 증가할수록 길이도 증가하여 안테나의 크기도 커진다. $\sigma = 0.106$ 일 때와 $\sigma = 0.122$ 일 때를 비교하면 7.5 GHz 이하의 저주파수 대역에서는 $\sigma = 0.122$ 일 때가 이득이 더 크나, 7.5 GHz 이상의 고주파수 대역에서는 반대로 $\sigma = 0.106$ 일 때가 이득이 더 크다.

III. 안테나 제작 및 실험 결과

최종 설계된 LPHBDA 안테나를 FR4 기판($\epsilon_r = 4.4$, 두께 = 0.8 mm, loss tangent = 0.025)을 이용하여 그림 5와 같이 제작하였고, 안테나의 크기는 46.4 mm \times 30 mm이다.

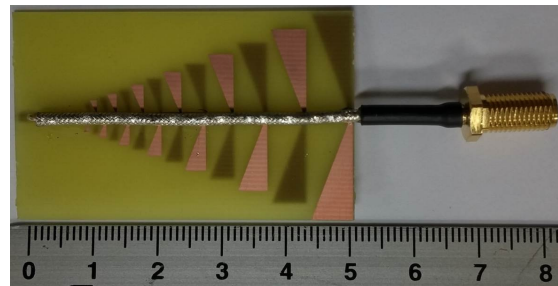
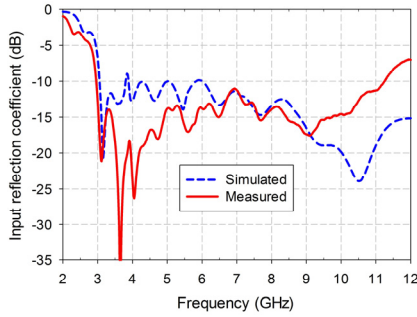
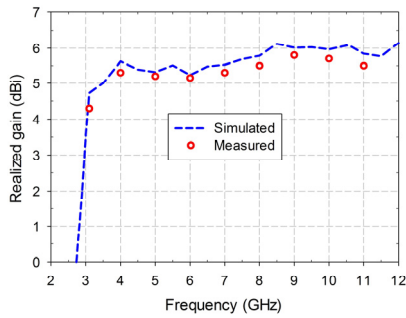


Fig. 5 Photograph of fabricated antenna

그림 6은 제작된 제안된 LPHBDA 안테나의 입력 반사계수와 이득 특성을 나타내고 있다. 제작된 안테나의 입력 반사계수는 회로망분석기(N5230A, Agilent社)를 이용하여 측정하였다. VSWR < 2인 주파수 대역은 시뮬레이션 결과 3.05–13.96 GHz이고, 측정결과는 2.95–11.31 GHz이다. 측정 결과 대역의 시작 주파수가 낮은 주파수로 조금 이동하고 끝 주파수도 낮은 주파수로 이동하여 대역폭이 조금 줄어들었으나 UWB 대역은 포함하고 있다. 시뮬레이션 이득은 4.7–6.1 dBi이고, 측정결과는 4.3–5.8 dBi로 동축 케이블과 유전체 기판의 손실로 조금 줄었다.

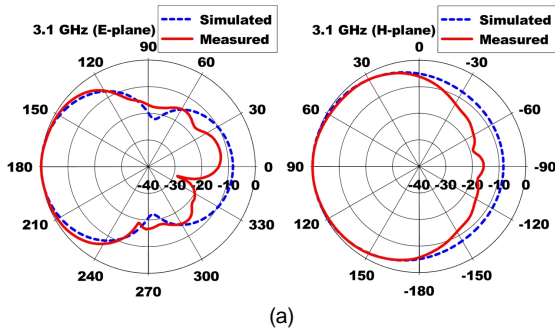


(a)

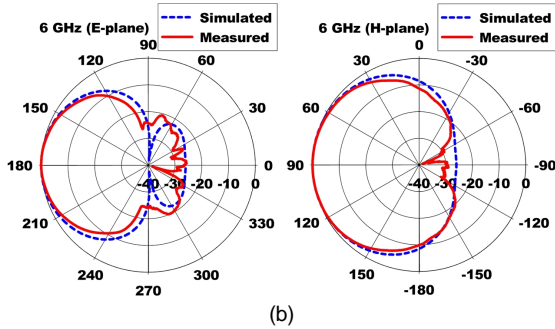


(b)

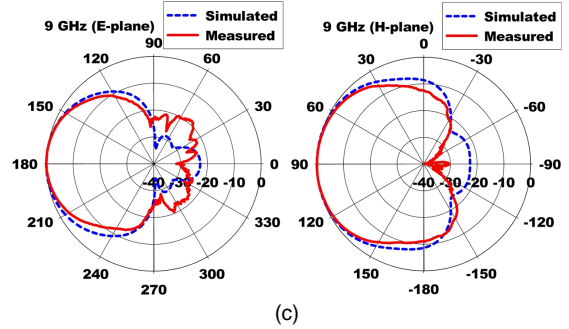
Fig. 6 Performance of fabricated antenna: (a) input reflection coefficient and (b) gain



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Radiation patterns comparison of fabricated antenna: (a) 3.1 GHz, (b) 6 GHz, and (c) 9 GHz

그림 7은 3.1 GHz, 6 GHz, 9 GHz에서 제안된 LPHBDA 안테나의 E-면(x-y면)과 H-면(z-x면) 측정 복사 패턴을 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 측정된 복사 패턴이 시뮬레이션과 유사함을 알 수 있다. 또한 측정 전 후방비가 14 dB 이상으로 유지됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 스트립 선형 다이폴 소자 대신에 반-보우타이 다이폴 소자를 사용하여 UWB 대역에서 동작하는 대수-주기 다이폴 배열 안테나를 소형화 설계하는 방법에 대하여 연구하였다. 반-보우타이 다이폴 소자를 사용하여 폭을 줄이고 작은 간격계수를 사용하여 길이를 줄여 소형화하였다. 반-보우타이 다이폴 소자의 벌어지는 각도와 소자 사이의 간격에 따른 입력 반사계수와 이득 특성을 분석하였다.

최종 설계된 LPHBDA 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 $VSWR < 2$ 이하인 대역은 2.95–11.31 GHz으로 UWB 대역에서 동작함을 확인하였다. 측정 이득은 4.3–5.8 dBi로 LPDA 안테나에 비해 변화가 적은 장점이 있다. 또한, 일반적인 LPDA 안테나에 비해 제안된 소형 LPHBDA 안테나의 길이와 폭은 각각 32.1%와 18.3%가 축소되었다.

제안된 소형 LPHBDA 안테나는 UWB 통신용 지향성 안테나나 휴대형 방향탐지용 안테나로서 전파 스펙트럼 측정을 위해 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Hans Schantz, *The art and science of ultrawideband antennas*. Norwood, MA: Artech House. 2005.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna theory - analysis and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2005.
- [3] M. Pirai and H. R. Hassani, "Size reduction of microstrip LPDA antenna with top loading," *IEICE Electronics Express*, vol. 6, no. 21, pp. 1528-1534, Oct. 2009.
- [4] B. Wang, A. Chen, and D. Su, "An improved fractal tree log-periodic dipole antenna," *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility 2008 (APEMC 2008) and 19th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 831-834, May 2008.
- [5] D. E. Anagnostou, J. Papapolymerou, M. M. Tentzeris, and C. G. Christodoulou, "A printed log-periodic Koch-dipole array (LPKDA)," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 456-460, 2008.
- [6] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "Reduced size planar log-periodic dipole arrays (LPDAs) using rectangular meander line elements," *Proc. Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, pp. 1-4, Jul. 2008.
- [7] G. A. Casula, P. Maxia, G. Mazzarella, and G. Montisci, "Design of a printed log-periodic dipole array for ultra-wideband applications," *Prog. Electromagn. Res. C*, vol. 38, pp. 15-26, 2013.
- [8] R. L. Carrel, "The design of log periodic dipole antenna," *Proc. IRE Int. Convention Rec.*, pt. 1, pp. 61-75, Mar. 1961.



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



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 메카트로닉스융합공학부 교수
※ 관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란