JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 18, No. 11 : 2600~2606 Nov. 2014

실내 디지털 TV 수신용 평면 다이폴 쌍 안테나 설계

이종익[1] · 여준호[2*] · 한대희[3]

Design of Planar Dipole Pair Antenna for Indoor Digital TV Reception

Jong-Ig Lee[1] · Junho Yeo[2*] · Dae-Hee Han[3]

[1]Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea
[2*]School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea
[3]School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

요 약

본 논문에서는 470－806 MHz 대역에서 동작하는 지상파 실내 디지털 TV (DTV)용 평면 다이폴 쌍 안테나 설계 방법에 대해 연구하였다. 제안된 안테나는 도체 스트립에 의해 연결되는 두 개의 평면 다이폴로 구성되고 마이크로스트립 선로에 의해 급전된다. 길이가 다른 두 개의 다이폴을 이용하여 광대역 특성을 갖도록 하고 긴 다이폴의 끝 부분을 접어서 크기를 소형화하였다. 시뮬레이션을 통해 설계 파라미터들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 분석하고 지상파 DTV용 주파수 대역에 적합하도록 파라미터 값들을 조절하였다. 실내 DTV 수신용으로 설계된 안테나를 240 mm × 139.5 mm 크기의 FR4 기판에 제작하고 특성을 측정한 결과 전압정재파비가 2이하 인 대역이 458－864 MHz(61.4%)로서 시뮬레이션 결과 448－868 MHz (63.8%)와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a planar dipole pair antenna for an operation in the frequency band of 470－806 MHz for terrestrial indoor digital TV (DTV) is studied. The proposed antenna is composed of two planar dipoles connected through conducting strips, and the antenna is fed by a microstrip line. By employing different lengths of dipoles, a broadband characteristics is obtained, and the antenna is size-reduced by bending both ends of the longer dipole. The effects of design parameters on the antenna performance are examined by simulation, and the parameters are adjusted for terrestrial DTV band use. A prototype of the antenna for indoor DTV reception is fabricated on an FR4 substrate with a size of 240 mm × 139.5 mm and tested experimentally. The experiment results show that the frequency band for a VSWR < 2 ranges 458－864 MHz(61.4%), and it corresponds fairly well with the simulated band of 448－868 MHz(63.8%).

키워드 : 평면 다이폴 안테나, 다이폴 쌍, 광대역 안테나, 디지털 TV 안테나

Key word : planar dipole antenna, dipole pair, broadband antenna, digital TV antenna

접수일자 : 2014. 07. 25 심사완료일자 : 2014. 08. 21 게재확정일자 : 2014. 09. 11

***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.2014.18.11.2600 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/li-censes/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 아날로그 TV에 비해 2배 이상 뛰어난 품질의 선명한 화면을 제공하고 다양한 응용 서비스가 가능하다. DTV는 최근 10여 년간 급속히 보급되었고, 2013년 이후 대한민국에서는 아날로그 방송이 전면 종료된 상태이다. 현재 DTV 방송용으로 할당된 주파수 대역은 UHF 대역(470-806 MHz)으로서 주파수 범위가 매우 넓어서, 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[4-7].

PCB 기판 상에 구현되는 일반적인 평면 다이폴 안테나는 대역폭이 충분히 넓지 않지만 최근 연구들에서와 같이 급전구조를 변형[8-10]하거나 길이가 다른 이중 다이폴을 연결[11]하여 광대역 특성을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 DTV 수신용 광대역 평면 다이폴 안테나를 설계하고자 한다. DTV용 주파수 대역에서 동작이 가능하도록 길이가 다른 두 개의 평면 다이폴을 연결하여 광대역 특성을 얻도록 한다. 안테나의 크기를 250 mm × 150 mm 이내로 제한하고, FR4 기판상에 마이크로스트립(microstrip; MS)으로 급전되도록 설계한다. 안테나의 크기를 소형화하기 위해 길이가 긴 다이폴의 양 끝을 구부린다. 두 개의 다이폴은 도체 스트립으로 연결되고 안테나는 MS 선로로 급전된다. 여러 가지 파라미터들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 관찰하고 DTV용 주파수 대역에서의 동작에 적합하도록 파라미터들을 최적화한다. 샘플 안테나를 FR4기판에 제작하고 반사계수와 복사특성을 측정하여 본 연구의 타당성을 검증한다.

Ⅱ. 안테나의 구조 및 설계

2.1. 안테나 구조

그림 1은 본 연구에서 제안된 평면 안테나 구조이다. 두께 1.6 mm인 FR4 기판(비유전율 4.4, 손실탄젠트 0.025)의 양면에 두께 36 μm의 동박으로 안테나 형상이 인쇄된다. 안테나는 길이가 다른 2개의 다이폴 D_1과 D_2로 구성되고 길이가 긴 다이폴 D_1은 소형화를 위해 끝부분을 x방향으로 구부린다. 두 다이폴의 폭과 길이는 각각 L_1, W_1과 L_2, W_2이고 L_a는 구부린 부분의 길이이다. 간격 d_{12}를 두고 x방향으로 배열된 두 다이폴 D_1과 D_2는 두 개의 스트립에 의해 연결되며, 연결 스트립의 폭은 W_{cs}, 두 스트립의 z방향 간격은 X_{cs}이다. 안테나의 급전선로는 특성임피던스 75옴인 MS 선로와 평행 스트립(parallel strip; PS) 선로이며, MS 선로의 폭과 길이는 각각 W_f, $L_f(=L_{g1}+L_{g2})$이고 PS 선로의 폭과 길이는 각각 W_{ps}, L_{ps}이다.

불평형 선로인 MS 선로와 평형 선로인 PS 선로 간의 양호한 광대역 정합특성을 얻기 위해서는 밸런(balun)을 구성하여야 하지만, 일반적으로 밸런을 위한 별도의 공간이 필요[12,13]하므로, 본 연구에서는 안테나 소형화를 위해 그림 1에서 제시된 바와 같이 단순한 형태의 변환회로를 구성하였다.

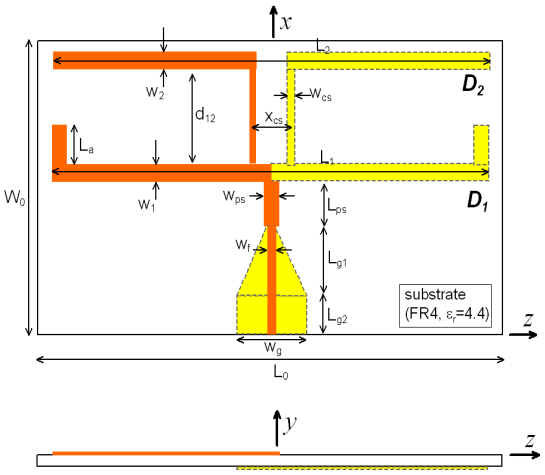


그림 1. 제안된 다이폴 쌍 안테나 구조
Fig. 1 Geometry of proposed dipole pair antenna

2.2. 안테나 특성 시뮬레이션

제안된 안테나 구조의 특성을 시뮬레이션을 통해 점검해 보기 위해 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST사의

Microwave Studio (MWS)를 이용하였으며, 많은 시뮬레이션 과정을 거쳐서 DTV 대역용으로 적합하도록 파라미터값들을 조정하였다.

표 1에는 DTV 대역용으로 설계된 안테나의 파라미터 값들이 제시되어 있다. 이 값들을 기준으로 하여 몇 가지 중요한 파라미터 값들을 적절히 변화시키며 안테나 특성변화에 미치는 영향을 관찰해 보고자 한다.

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

parameter	value[mm]	parameter	value[mm]
L_1	230	w_1	10
L_2	230	w_2	10
L_a	28	w_{cs}	1
d_{12}	60	x_{cs}	4
L_0	240	w_{ps}	2
W_0	140	L_{ps}	15
L_{g1}	3	w_f	1.38
L_{g2}	35	w_g	20

그림 2는 다이폴 D_1의 구부려진 끝 부분의 길이 L_a의 영향을 나타낸 것으로서 주파수에 따른 반사계수 변화로 볼 때, 안테나는 2개의 공진 주파수 (예를 들어, L_a =40인 경우, $f_1 \simeq 500$ MHz, $f_2 \simeq 800$ MHz)를 가진다. 그림 2에서 L_a를 변화시킴에 따라 -10 dB 차단 주파수를 기준으로 고주파 대역 차단 주파수는 860 MHz 근처에서 큰 변화가 없고 저주파 대역 차단 주파수가 L_a의 증가에 따라 감소되는 것을 관찰할 수 있다.

그림 3은 두 다이폴 간 연결 스트립의 간격 x_{cs}의 영향을 안테나 임피던스 변화로 나타낸 것이며, 안테나 임피던스는 급전선로인 MS 선로 종단($x = L_{g1} + L_{g2}$)에서 바라본 입력 임피던스이다. 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 x_{cs}가 증가됨에 따라 대략 450-680 MHz 대역에서 안테나의 저항이 증가되는 것을 알 수 있다. x_{cs}= 0인 경우 800 MHz 부근에서 저항이 급격하게 증가되므로 정합특성을 개선하기 위해서는 x_{cs}를 적절히 증가시키는 것이 필요하다. 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 x_{cs}에 따른 리액턴스 변화가 -20 옴 이내로 큰 변화가 없으므로 x_{cs}가 리액턴스에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

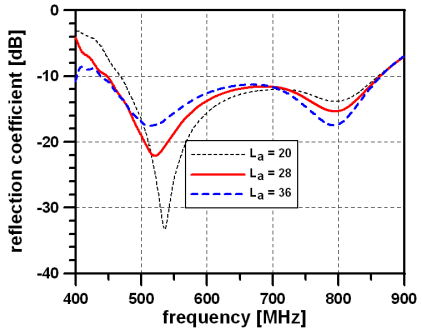


그림 2. L_a의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 2 Effect of L_a [simulation]

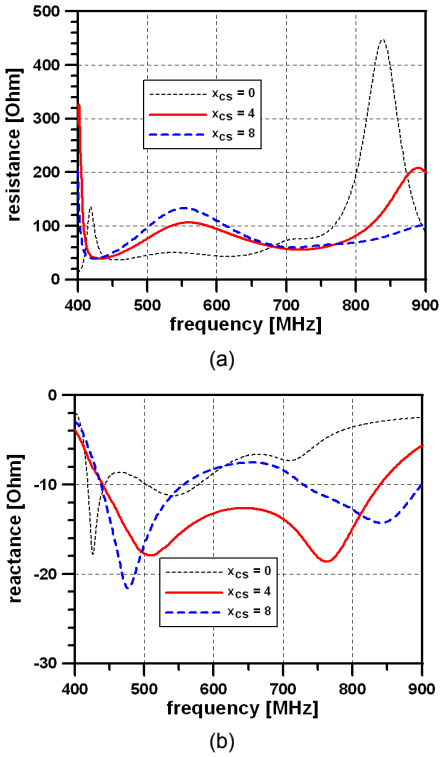


그림 3. x_{cs}의 영향 [시뮬레이션] : (a) 저항 (b) 리액턴스
Fig. 3 Effect of x_{cs} [simulation] : (a) resistance (b) reactance

그림 4는 연결 스트립의 폭 w_{cs}의 영향을 보여 주며, w_{cs}가 저주파 대역의 특성에는 큰 영향을 미치지 않으나 800 MHz 부근의 고주파 대역 차단주파수 변화에 영향을 미치게 된다.

그림 5는 두 다이폴 사이의 간격 d_{12}의 영향을 나타내며, 주로 580 MHz 이상의 고주파 대역 특성에 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 이 때, 간격 d_{12}가 증가됨에 따라 고주파 대역의 공진 주파수 f_2가 감소되어 대역폭은 좁아지나 정합특성은 개선되는 것을 볼 수 있다.

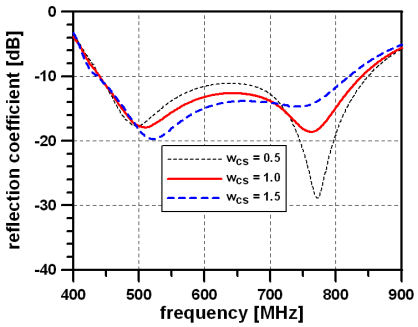


그림 4. w_{cs}의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 4 Effect of w_{cs} [simulation]

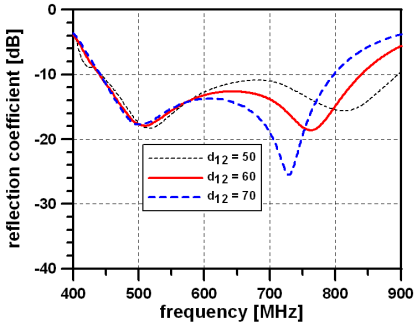


그림 5. d_{12}의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 5 Effect of d_{12} [simulation]

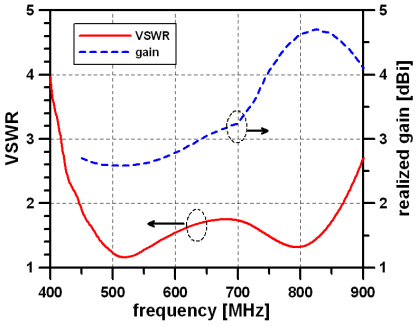


그림 6. 최적화된 안테나의 정재파비와 이득 [시뮬레이션]
Fig. 6 VSWR and gain of optimized antenna [simulation]

그림 6은 DTV용으로 최적화된, 표 1의 파라미터 값들을 갖는, 안테나의 VSWR과 이득특성을 보여 준다. VSWR이 2 이하인 주파수 대역은 448-868 MHz (63.8%, 대역폭 420 MHz)로서 DTV용 대역(470-806 MHz)을 포함하고, 대역 내 안테나의 배열 축 방향(x 방향)으로의 이득은 2 dBi 이상으로 유지되는 양호한 특성을 보인다.

그림 7은 최적화된 안테나의 표면 전류분포로서 저주파 대역인 500 MHz에서는 긴 다이폴 D_1에 전류가 강하게 분포하고, 고주파 대역인 800 MHz에서는 짧은 다이폴 D_2에 전류가 강하게 분포하는 것을 볼 수 있다. 그리고 고주파 대역에서 긴 다이폴 D_1의 전류가 비대칭적인 분포를 가지는 것은 급전회로를 구성하는 마이크로스트립 선로와 평행스트립 선로 간 변환구조가 밸런으로서 제대로 동작하지 못한 것에 기인한다.

그림 8은 최적화된 안테나의 복사패턴으로서 안테나의 배열 축(x 축)에 근접한 방향으로 지향성을 갖는 것을 볼 수 있다. 저주파 500 MHz에서는 배열 축에 대해 거의 대칭적인 패턴을 보이지만 고주파 800 MHz에서는 비대칭적인 패턴을 보인다. 고주파 대역의 비대칭적인 복사패턴은 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 비대칭적인 전류분포에서 기인한다.

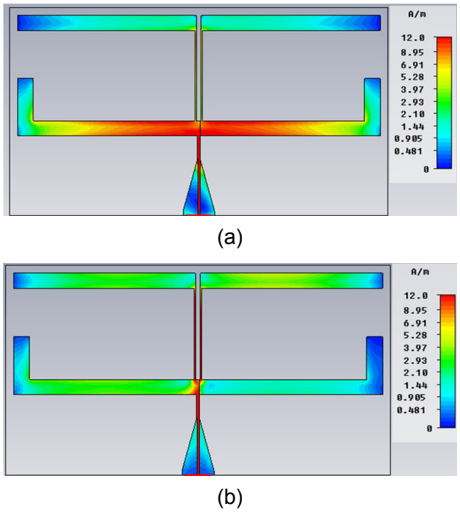
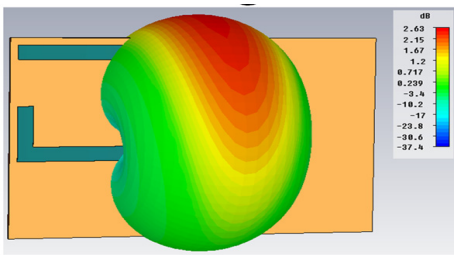
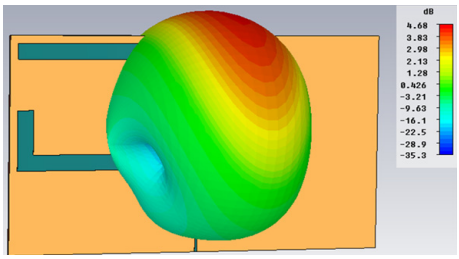


그림 7. 최적화된 안테나의 표면 전류분포 [시뮬레이션] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 7 Surface current distributions of optimized antenna [simulation] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz



(a)



(b)

그림 8. 최적화된 안테나의 복사패턴 [시뮬레이션] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 8 Radiation patterns of optimized antenna [simulation] : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

2.3. 안테나 제작 및 실험결과

최적화된 안테나를 FR4 기판 상에 그림 9와 같이 제작하였다. DTV용 안테나는 포트 임피던스가 75옴으로서 F-type 커넥터로 75옴 동축 케이블을 통해 DTV 포트에 연결된다.

그림 10은 안테나를 급전하는 MS 포트 종단에 SMA 커넥터를 납땜으로 연결하고 임피던스를 Vector Network Analyzer (N5230A, Agilent사)로 측정한 후 75옴 선로에 대한 VSWR을 계산한 것이다. VSWR이 2 이하인 대역은 458-864 MHz로서 시뮬레이션(448－868 MHz)과 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

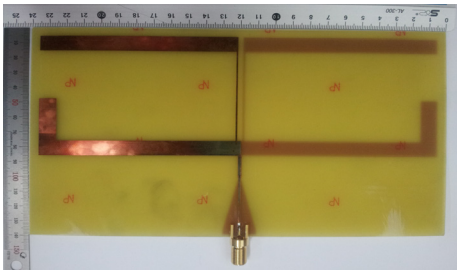


그림 9. 제작된 안테나
Fig. 9 Fabricated antenna

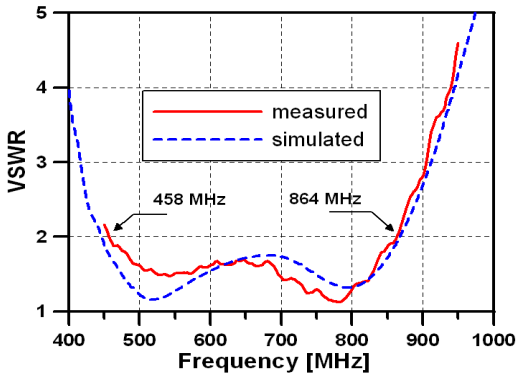
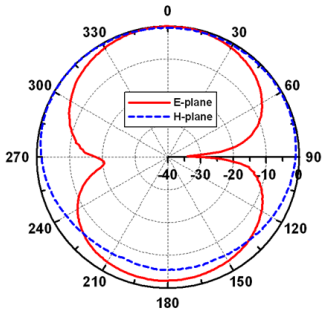
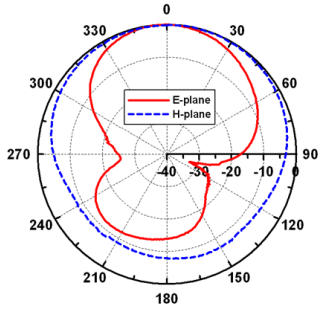


그림 10. 측정된 정재파비
Fig. 10 Measured VSWR



(a)



(b)

그림 11. 측정된 복사패턴 : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz
Fig. 11 Measured radiation patterns : (a) f=500 MHz (b) f=800 MHz

그림 11은 전파 무반사실에서 측정된 제작된 안테나의 복사패턴이며, 저주파에서는 전형적인 다이폴의 패턴을 보이고, 고주파에서는 배열 축 방향으로 약간 지향성을 갖는 패턴을 보인다. 안테나 이득은 측정결과 DTV 대역 내에서 2 dBi이상으로 확인되었다.

그림 12. 디지털 TV 수신 시험
Fig. 12 Test for DTV reception

그림 12는 제작된 안테나를 동축 케이블을 통해 DTV 포트에 연결한 후 건물 실내에서 수신 성능을 테스트 한 것이다. 건물(동서대 전자정보관)과 송신소(황령산) 간의 거리는 8 km 정도이고, 5층 건물로 가려진 건물 뒤편에 있어서 가시선 (LOS; Line of sight) 상에 있지 않아서 직접 수신은 불가능한 여건 하에 성능을 시험한 것이지만 지상파 5개 방송 모두 양호하게 수신할 수 있었다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 지상파 DTV 수신용 광대역 평면 이중 다이폴 안테나 설계 방법에 대해 연구하였다. 제안된 안테나는 길이가 다른 두 개의 스트립 다이폴로 구성되고, 두 개의 다이폴은 도체 스트립에 의해 연결된다. 긴 다이폴의 끝 부분은 구부려 소형화하였고 안테나는 75옴 마이크로스트립 선로로 급전된다.

다이폴의 길이, 연결 스트립의 폭, 길이 및 간격 등이 안테나 특성에 미치는 영향을 관찰하였고, 디지털 TV 수신에 적합하도록 파라미터 값들을 최적화하였다. FR4 기판 상에 240×139.5 mm^2의 크기로 안테나를 제작하고 특성을 실험한 결과 VSWR < 2인 대역은 458−864 MHz이고 대역 내 이득이 2 dBi이상으로 유지되는 양호한 성능을 확인할 수 있었다. 이상의 결과들로부터 본 논문에서 제시된 연구결과들이 타당하고 제안된 구조의 안테나가 지상파 DTV용 안테나로서 적합한 것을 알 수 있다. 본 연구의 광대역 안테나 설계 방법은 동작 주파수가 변화되거나 안테나의 포트 임피던스가 50옴으로 변화되는 경우에도 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 동서대학교 학술연구조성비를 지원받았음.

REFERENCES

[1] J. Holopainen, O. Kivekäs, C. Icheln, and P. Vainikainen, "Internal broadband antennas for digital television receiver in mobile terminals," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* 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 and Optical Technology Letters*, vol. 42, no. 6, pp. 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 and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 580-583, 2010.

[4] R. Wang and J. Yang, "A new compact antenna for digital television reception based on the eleven antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 4, pp. 824-827, Apr. 2011.

[5] O.-T.-C. Chen and C.-Y. Tsai, "CPW-fed wideband printed dipole antenna for digital TV applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 12, pp. 4826-4830, Dec. 2011.

[6] M. Taguchi, "Compact high gain reception antenna for digital terrestrial television," *2011 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)*, pp. 394-397, 2011.

[7] J.-I. Lee, J. Yeo, and Y. K. Cho, "Broadband compact quasi-yagi antenna for indoor digital TV," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 12, pp. 2859-2863, Dec. 2013.

[8] X.-P. Lu and Y. Li, "Novel broadband printed dipole," *Microwave and Optical Technology Letters,* vol. 48, no. 10, pp. 1996-1998, Oct. 2006.

[9] W.S. Yeoh, K.L. Wong, W.S.T. Rowe, "Wideband miniaturized half bowtie printed dipole antenna with integrated balun for wireless applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 1,

pp. 339-342, Jan. 2011.

[10] 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 and Optical Technology Letters,* vol. 54, no. 7, pp. 1585-1590, Jul. 2012.

[11] F. Tefiku and C.A. Grimes, "Design of broad-band and dual-band antennas comprised of series-fed printed-strip dipole pairs," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 6, pp. 895-900, Jun. 2000.

[12] N. Kaneda et. al., "A broad-band quasi-Yagi antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.

[13] D.S. Woo et. al., "Design of quasi-Yagi antennas using an ultra-wideband balun," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 8, pp. 2068-2071, Aug. 2008.

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

한대희(Dae-Hee Han)

2014년 2월 : 동서대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학 중
※관심분야 : 안테나 설계, 전자파 응용