

프랙털 구조를 이용한 디지털 TV 수신용 로그주기 다이폴 안테나

정회원 유 태 훈*, 김 태 형*, 이 창 신**, 홍 장 희***

Log-Periodic Dipole Antenna using Fractal Geometry for Digital TV Signal Reception

Tae Hoon Yoo*, Tae-Hyung Kim*, Chang-Shin Lee**, Jang-Hee Hong*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 디지털 TV 방송 주파수 대역(470~806 MHz)에서 동작하는 로그주기 다이폴 안테나의 크기를 줄이기 위해 프랙털 구조를 가진 로그주기 다이폴 안테나에 대하여 연구하였다. 논문에서 설계한 프랙털 로그주기 다이폴 안테나는 코흐 구조와 민코프스키 구조를 이용한 것으로 안테나의 사이즈는 일반적인 로그주기 다이폴 안테나와 비교하여 75%와 60%로 각각 줄어든다. 측정 결과, 코흐 프랙털 로그주기 안테나와 민코프스키 프랙털 로그주기 안테나의 대역폭은 반사손실 -10 dB를 기준으로 할 때 각각 810 MHz와 680 MHz로, 일반 로그주기 안테나의 대역폭인 670 MHz 보다 넓어졌고 동작주파수는 전체적으로 각각 40 MHz와 70 MHz 만큼 높아졌다. 안테나 이득은 동작주파수 대역 내에서 코흐 프랙털 안테나는 4.74 dBi ~ 6.23 dBi, 민코프스키 프랙털 안테나는 3.52 dBi~ 7.44 dBi로, 일반 안테나의 6.12 dBi ~ 8.2 dBi보다 약간 낮아지는 것으로 나타났다.

Key Words : Log-periodic antenna, LPDA, Fractal, Koch, Minkowski, Digital TV

ABSTRACT

In this paper, miniaturized log-periodic dipole antennas with fractal structure for Digital TV broadcasting in the 470~806 MHz band are investigated. The sizes of the fractal log-periodic dipole antennas that exploit Koch and Minkowski structures are reduced to 75% and 60% of the standard log-periodic antenna, respectively. Experimental results show that the 10-dB return loss bandwidths of the log-periodic Koch and Minkowski dipole antennas are 810 MHz and 670 MHz, respectively, which are wider than 670 MHz of the standard dipole. And the overall operating frequencies of the fractal antennas are increased by 40 MHz and 70 MHz, respectively. Within the entire operating frequency range, the measured antenna gains are 4.74 dBi~6.23 dBi for the Koch fractal and 3.52 dBi~7.44 dBi for the Minkowski fractal, which are slightly lower than 6.12 dBi~8.2 dBi for the standard log-periodic antenna.

I. 서 론

국내 지상파 디지털 TV 방송 시스템은 1997년 말 북미의 ATSC 표준으로 국가표준이 결정된 이후,

1999년 KBS에 의한 방송실험과 2000년 지상파 방송 3사(KBS, MBC, SBS)에 의한 시험방송, 그리고 2001년 본방송을 거쳐 2006년부터 전국 방송을 시작하였다^[1]. 국내 아날로그 TV 방송은 2012년 12월 31일자

※ 본 연구는 2011학년도 동양미래대학교 산업체 현장연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 동양미래대학 전기전자통신공학부 정보통신과(thyoo@dongyang.ac.kr), ** (주)파트론, *** (주)씨티케이

논문번호 : 12013-0425, 접수일자 : 2012년 4월 25일, 수정일자 : 2012년 5월 25일, 게재확정일자 : 2012년 6월 20일

로 종료되고 2013년 1월 1일부터는 디지털 TV 방송으로 완전히 전환하게 된다. VHF대역과 UHF 대역을 사용하는 TV 방송신호 수신용 안테나로는 야기-우다 안테나(Yagi-Uda antenna)와 로그주기 안테나(log-periodic antenna)가 널리 사용되고 있다. 로그주기 안테나는 임피던스와 방사특성이 주파수의 로그(logarithm)에 대해 주기적으로 반복되는 구조를 가진 안테나로 야기-우다 안테나에 견주어 대역폭이 훨씬 넓다는 장점이 있다²¹. 그런데 디지털 TV 방송은 470~806 MHz의 UHF 대역을 사용하므로 로그주기 안테나는 야기-우다 안테나와 마찬가지로 사이즈가 상당히 커질 수밖에 없다는 단점을 가지고 있다. 프랙털 기하학(fractal geometry)은 자기유사성(self-similarity)과 공간 채움(space-filling)을 특징으로 하고 있는 분야로, 최근 들어 과학과 공학 분야에서 활발히 응용되고 있다. 특히 선형 안테나(wire-type antenna)에 이것을 적용하면 전기적으로 긴 선을 구부려 좁은 공간을 차지하게 만들 수 있으므로 로그주기 안테나를 소형화하는 방법으로 프랙털 기하학을 응용한 연구들이 이루어져왔다¹³⁻⁶.

본 논문에서는 디지털 TV 방송 주파수 대역에서 동작하는 로그주기 다이폴 안테나(LPDA: log-periodic dipole antenna)의 사이즈를 줄이기 위해 여러 가지 프랙털 구조 가운데 코흐(Koch) 프랙털 구조와 민코프스키(Minkowski) 프랙털 구조를 적용하였다. 시뮬레이션과 제작을 통해 논문에서 제안한 로그주기 프랙털 안테나의 특성을 분석하고 기존의 로그주기 안테나와 비교하였다.

II. 프랙털 LPDA의 구조 및 설계

2.1. LPDA의 구조 및 설계

그림 1은 일반적인 LPDA의 구조이다. LPDA의 주요 설계 파라미터로는 스케일링 계수(scaling factor) τ , 간격 계수(spacing factor) σ , 꼭지각(apex angle) α 이 있다. 이들 파라미터와 각 다이폴 소자의 치수는 다음과 같은 관계를 갖는다²¹.

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{w_{n+1}}{w_n} \quad (1)$$

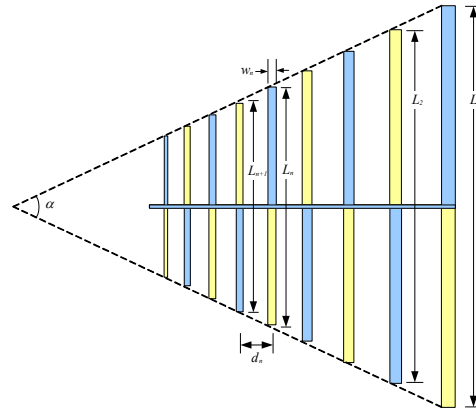


그림 1. 로그주기 다이폴 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the log-periodic dipole antenna

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} \quad (2)$$

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1-\tau}{4\sigma} \right) \quad (3)$$

여기서 L_n 은 n 번째 다이폴 소자의 길이, w_n 은 n 번째 다이폴 소자의 폭, d_n 은 n 번째 소자와 $n+1$ 번째 소자 사이의 간격이다. 급전은 가장 짧은 다이폴 소자에서 시작하여 가장 긴 다이폴 소자까지 차례로 이루어지는데, 이때 급전선 위쪽의 다이폴 소자와 아래쪽의 다이폴 소자를 번갈아 급전하는 방식을 사용하여 이웃해 있는 다이폴 소자들 사이에서 급전 전류의 위상이 180° 차이가 나도록 한다.

2.2. 프랙털 LPDA의 구조 및 설계

그림 2는 일반적인 LPDA의 일직선 형태의 다이폴 소자를 프랙털 구조를 갖는 형태로 바꾼 것이다. 그림 2에서 (a)는 코흐(Koch) 구조를 적용한 LPKDA(log-periodic Koch dipole antenna)이고 (b)는 민코프스키(Minkowski) 구조를 적용한 LPMDA(log-periodic Minkowski dipole antenna)이다. 그림 2의 (a)는 직선으로 된 다이폴 소자의 길이 L_n 을 4등분한 다음에 가운데의 두 부분을 양쪽에서 각각 60° 만큼 꺾어 올려서 만든다. 이렇게 하면 다이폴 소자의 길이가 3/4배로 짧아진다. 따라서 직선 형태의 소자와 비교하여 25%만큼 소자의 길이가 줄어든다. 그림 2의 (b)는 직선으로 된 다이폴 소자의 길이 L_n 을 5등분한 다음에 가운데의 세 부분으로 사각형 모양을 만든 것으로 이렇게 하면 다이폴 소자의 길이가 3/5배로 더욱 짧아진다. 따라서 직선 형태의 소자와 비교하여 길이가 40%만큼 줄어든다.

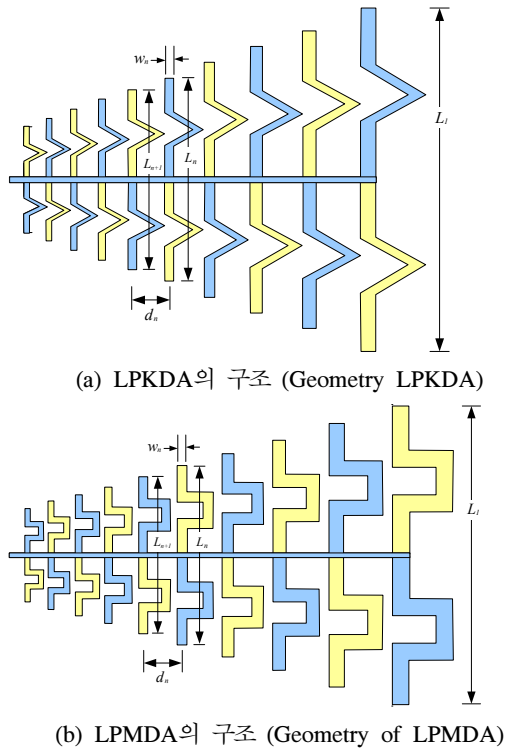


그림 2. 로그주기 프랙털 다이폴 안테나의 구조
Fig. 2. Geometry of the log-periodic fractal dipole antenna

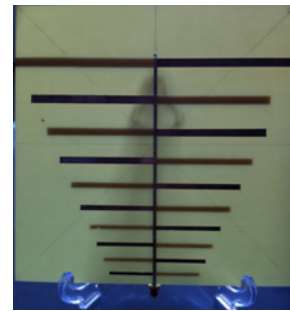
III. 프랙털 LPDA의 제작 및 특성

로그주기 안테나의 설계는 Carrel이 제시한 방법에 따라 식(1)~(3)과 안테나 이득(antenna gain)에 대한 윤곽선 그래프(contour curve)를 사용하여 수행할 수 있다^[2]. 본 논문에서는 반사손실(return loss) -10dB를 기준으로 한 대역폭이 디지털 TV 방송 주파수 대역(470~806 MHz)을 포함하고, 이득이 6.5 dBi 이상이 되도록 하는 것을 목표로 하여 일반 구조의 LPDA와 프랙털 구조의 LPDA를 설계하였다. 표 1은 이와 같은 목표에 맞춰 계산된 설계 파라미터이다. 각 다이폴 소자의 길이 L_n 은 안테나의 주파수 대역폭에 따라 정해진다. τ 와 α 에 따라서는 다이폴 소자의 수, 방사패턴, 이득, 임피던스가 결정된다^[2]. 안테나의 특성을 살펴보기 위해 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 계산 결과를 확인하기 위해 상대유전율이 $\epsilon_r=4.4$ 이고 두께가 1.6 mm인 FR4기판을 사용하여 안테나를 제작하고 특성을 측정하였다. 그림 3은 표 1의 설계 파라미터에 맞춰 제작한 세 종류의 로그주기 안테나의 실물사진이다.

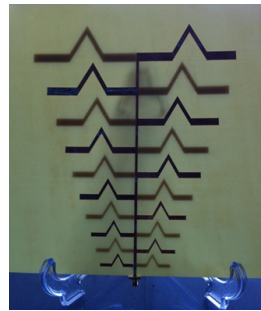
표 1. 제안한 안테나의 설계 파라미터

Table 1. Design parameter values of the proposed antenna

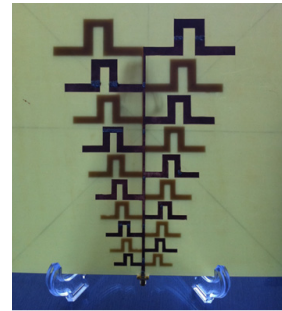
	LPDA	LPKDA	LPMDA
scaling factor τ	0.88	0.88	0.88
spacing factor σ	0.05	0.05	0.05
L_1 [mm]	295	221	177
w_1 [mm]	10	10	10
number of elements n	10	10	10



(a) LPDA



(b) LPKDA



(c) LPMDA

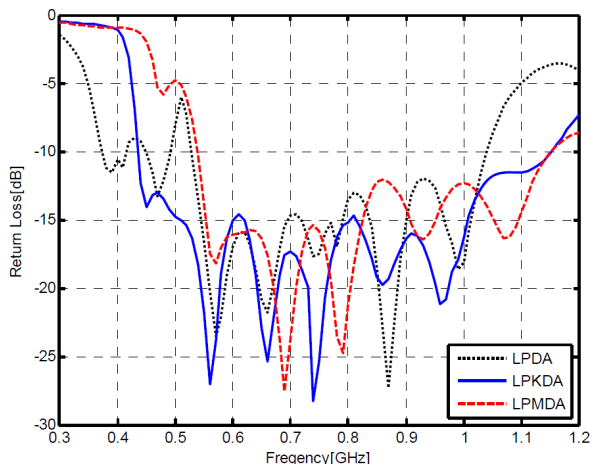
그림 3. 제작한 로그주기 안테나의 실물사진

Fig. 3. Geometry of the fabricated log-periodic dipole antenna

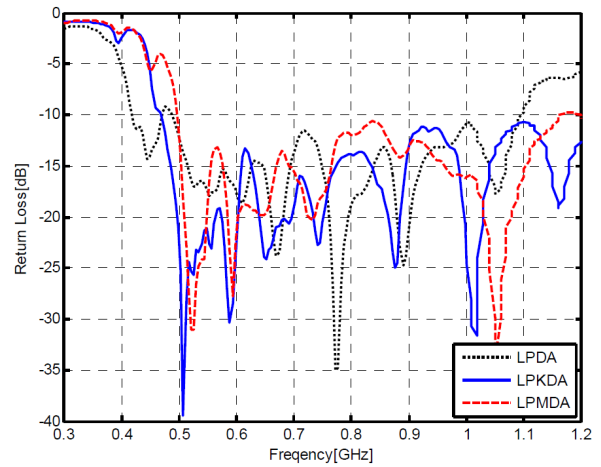
그림 4는 표 1의 파라미터에 따라 설계된 세 종류의 로그주기 안테나에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 보여주고 있다. 먼저 그림 4(a)의 시뮬레이션 결과로부터 일반 구조와 프랙털 구조의 특성변화를 살펴보기로 한다. 반사손실 -10 dB를 기준으로 한 대역폭은 LPDA가 400~980 MHz까지 580 MHz이고 LPKDA는 대역폭이 420~1120 MHz로 700 MHz이며 LPMDA는 대역폭이 510~1140 MHz로 630 MHz이다. 이 결과를 보면 프랙털 구조의 안테나가 일반 구조의 안테나보다 대역폭은 넓어지고 공진주파수가 높아지는 것을 알 수 있다. 그림 4(b)의 실제 측정 결과에서도 같은 경향을 관찰할 수 있다. 측정 결과를 시뮬레이션 결과와 비교해보면 측정된 그래프가 시뮬

레이션 그래프보다 전체적으로 40 MHz 정도 주파수가 높은 쪽으로 올라간 형태로 나온 것을 온 것을 제외하면 상당히 유사하다. 반사손실 -10 dB를 기준으로 한 대역폭은 LPDA가 420~1090 MHz까지 670 MHz, LPKDA는 460~1270 MHz까지 810 MHz, LPMDA는 490~1170 MHz까지 680 MHz이다. 따라서 LPKDA 프랙털 안테나는 사이즈가 일반안테나의 75%이지만 대역폭이 더욱 넓고 LPMDA는 사이즈가 일반안테나의 60%이지만 대역폭은 비슷하다. 프랙털 구조로 하면 공진주파수는 40~70 MHz 정도 높아지는데, LPMDA는 낮은 쪽 주파수가 490 MHz로 디지털 TV 대역에서 20MHz 정도 벗어나므로 이 부분을 포함하려면 안테나의 사이즈가 일반안테나의 60%보다는 약간 커져야 할 것이다.

그림 5와 그림 6은 세 종류의 안테나에 대해 전체 동작주파수 대역 내의 네 주파수($f_1=470$ MHz, $f_2=580$ MHz, $f_3=690$ MHz, $f_4=800$ MHz)에서 *E*-plane과 *H*-plane 방사패턴을 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 그림에서 보듯이 방사패턴은 네 주파수에서 모두 유사한 지향성 패턴으로 나타났다. LPDA의 이득은 네 주파수에서 6.12 dBi ~ 8.2 dBi로 나타났으며 평균이득은 6.92 dBi로 설계목표인 6.5 dBi 보다 높았다. 프랙털 구조를 적용한 LPKDA는 4.74 dBi ~ 6.23 dBi로 평균이득은 5.84 dBi이고, LPMDA는 3.52 dBi~ 7.44 dBi로 평균이득은 5.44 dBi이다. 여기서 일반적인 구조의 LPDA에 프랙털 구조를 적용하면 소형화에 따라 안테나의 이득이 약간 감소한다는 사실을 알 수 있다. *x-y* 평면(*E*-plane)에서 주파수에 따른 반전력 빔폭의 변화를 표 2에 정리하여 나타내었다. 세 종류의 안테나 모두에서 주파수가 높아짐에 따라 반전력 빔폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



(a) 시뮬레이션 결과 (Simulated return loss)



(b) 측정 결과 (Measured return loss)

그림 4. 제안한 안테나의 반사손실의 측정결과와 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Measured and simulated return loss for the proposed antenna

표 2. 세 종류 안테나의 반전력 빔폭 (*E*-plane)

Table 2. HPBW of 3 types of antennas (*x-y* plane)

	LPDA	LPKDA	LPMDA
470 MHz	81°	81°	78°
580 MHz	69°	69°	78°
690 MHz	63°	66°	75°
800 MHz	66°	66°	75°

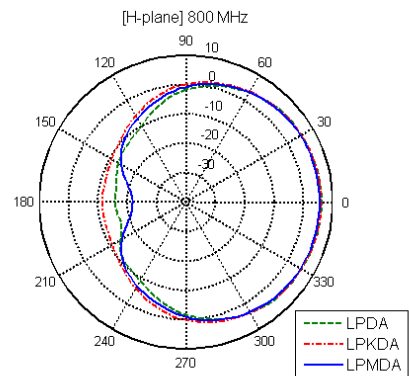
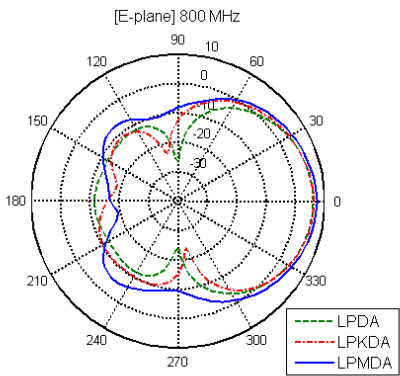
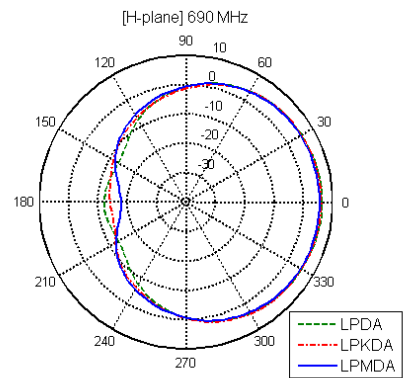
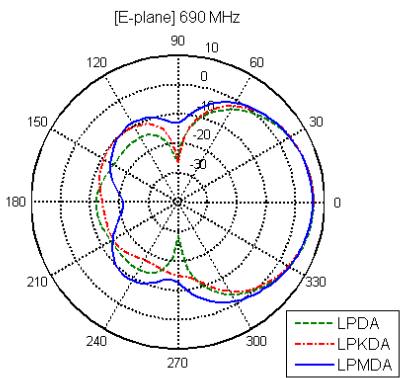
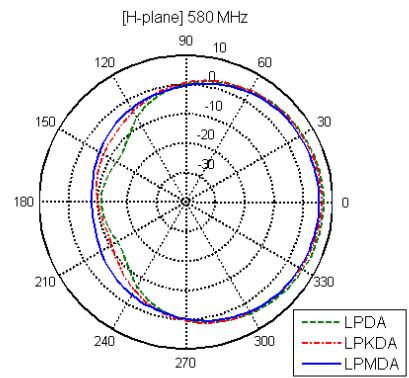
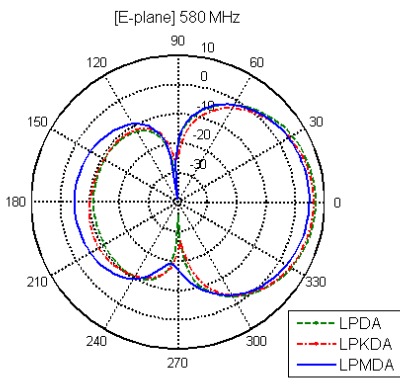
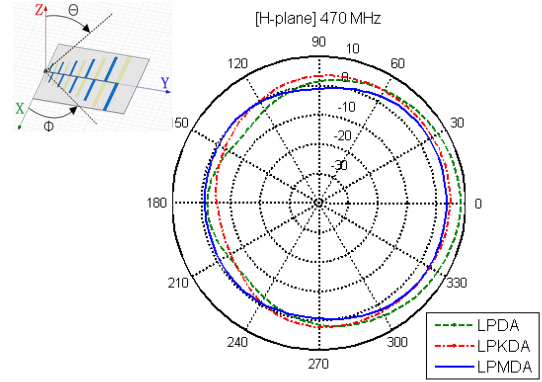
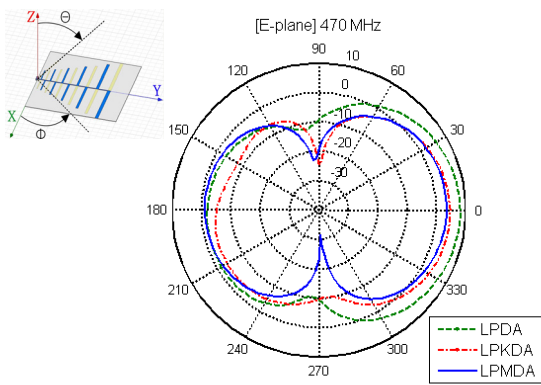


그림 5. 각 주파수별 방사패턴 (E -plane)
 Fig. 5. Radiation pattern for each frequency (x - y plane)

그림 6. 각 주파수별 방사패턴 (H -plane)
 Fig. 6. Radiation pattern for each frequency (y - z plane)

IV. 결 론

2005.

본 논문에서는 디지털 TV 방송 신호 수신용으로 사용할 수 있는 프랙털 구조의 로그주기 다이폴 안테나를 설계하고 특성을 분석하였다. 안테나를 소형화하기 위해 프랙털 구조 중에서 코흐 구조와 민코프스키 구조를 적용한 결과 일반적인 로그주기 다이폴 안테나에 비해 각각 3/4배, 3/5배만큼 작은 사이즈로도 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있었다. 두 종류의 프랙털 로그주기 안테나 모두, 일반 로그주기 안테나와 거의 같은 형태의 지향성 방사패턴을 가지는데, 이러한 형태는 전체 주파수 대역에 걸쳐 균일하게 나타났다. 프랙털 안테나의 이득은 전체 대역 내에서 3.52 dBi~7.44 dBi 범위의 값을 가지며 반전력 빔폭은 66°~81° 범위의 값을 갖는 것으로 나타났다. 본 논문에서 설계한 프랙털 로그주기 안테나는 디지털 TV 방송의 실내 수신용 소형안테나로 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문에서 제안한 안테나의 연구에 도움을 주신 (주)파트론 김종구 회장께 감사드립니다.

References

- [1] 임형수, 김홍목, 이수인 “지상파 DTV 표준화 동향,” ETRI 전자통신동향분석, v.25, no.2, pp. 1-7, Apr. 2010.
- [2] Stutzman, W. L. and Thiele G. A., Antenna Theory and Design, 2nd Edition, Wiley, pp. 259-270, Dec. 1997.
- [3] Anagnostou, D.E., Papapolymerou, J., Christodoulou, C.G., Tentzeris, M. “A Small Planar Log-Periodic Koch-Dipole Antenna (LPKDA),” IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 3685-3688, 2006
- [4] Karim, M.N.A., Rahim, M.K.A., Masri, T., Ayop, O. “Analysis of Fractal Koch Dipole Antenna for UHF band application,” IEEE International RF and Microwave Conference, pp. 318-321, 2008
- [5] 박재성, 최학근, 박재현 “대수 주기 칸토어 코흐 다이폴 안테나의 복사 특성,” 한국전자과학회논문지, v.21, no.9, pp. 1005-1012, 2010.
- [6] Schantz, H., Multiband Integrated Antennas for 4G Terminals, Norwood, Artech House, pp. 95-147, July

유 태 훈 (Tae-Hoon Yoo)

정회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1987년 2월~1993년 2월 삼성전자 정보통신 연구소
 2000년 8월 연세대학교 전기 컴퓨터 공학과 박사
 2003년 7월~2004년 8월 Syracuse 대학교 방문교수
 1993년 3월~현재 동양미래대학교 정보통신과 교수
 <관심분야> 전자파 해석, 안테나 설계와 해석, 초고주파 회로설계, EMI/EMC 해석과 검증

김 태 형 (Tae-Hyung Kim)

학생회원



2006년 7월~현재 동양미래대학교 정보통신공학과 재학
 <관심분야> 초고주파 회로 해석 및 설계, 안테나 해석 및 설계, EMI/EMC

이 창 신 (Chang-Shin Lee)



2012년 2월 동양미래대학교 무선정보통신과 졸업 (전문학사)
 2012 2월~현재 파트론(주) 안테나팀 연구원
 <관심분야> 안테나 해석 및 설계

홍 장 희 (Jang-Hee Hong)



2006년 2월 한경대학교 전자공학과 졸업
 2008년 2월 : 한경대학교 전자공학과 석사과정 수료
 1998년 8월~현재 (주)씨티케이 전자파센터 센터장
 <관심분야> 안테나 해석 및

설계, EMI/EMC