

차량 정밀 측위용 이중대역 GPS 안테나 설계

누팜* · 정재영**

Design of a Vehicle-Mounted GPS Antenna for Accurate Positioning

Nu Pham* · Jae-Young Chung**

요 약

자율주행 차량 구현에 있어 차량의 위치에 대한 정확한 정보가 실시간으로 제공되어야 한다. 이동기준국 차분 측위 기술은 차량에 복수의 안테나에서 수신한 신호의 위상차를 통해 정밀 측위 정보를 생성하는 기술로, 이를 위해 차량의 평평하고 넓은 루프를 접지면으로 하는 이중대역 및 이중 원형편파 안테나 개발이 필수적이다. 본 논문에서 제안하는 안테나는 GPS L1과 L2 주파수 대역에서 공진을 일으키는 이중대역 안테나로써, 기존 안테나와 달리 급전부가 안테나 측면에 위치하여 복수의 안테나를 필요로 하는 시스템에 적합하다. 안테나 설계안은 중요 파라미터들의 이론값을 토대로 모델링한 초기 모델을 3D 전파시뮬레이션 소프트웨어를 이용해 최적화하는 방법으로 도출하였다. 최적화된 안테나의 시뮬레이션값과 측정값을 분석한 결과, L1과 L2에서 대역폭 6.1%와 3.7%, 축비 1% 이상임을 확인하였다. 안테나 크기는 73mm×73mm×6.4mm로 소형 구조의 장점을 갖췄다.

ABSTRACT

The capability of accurate positioning and tracking is necessary to implement an unmanned autonomous driving system. The moving-baseline GPS Technique is a promising candidate to mitigate positioning errors of conventional GPS system. It provides accurate positioning data based on the phase difference between received signals from multiple GPS antennas mounted on the same platform. In this paper, we propose a dual-band dual-circularly-polarized antenna suitable for the moving-baseline GPS. The proposed antenna operates at GPS L1 and L2 bands, and fed by the side of the antenna instead of the bottom. The antenna is firstly designed by calculating theoretical values of key parameters, and then optimized by means of 3D full-wave simulation software. Simulation and measurement results show that the optimized antenna offers 6.1% and 3.7% bandwidth at L1 and L2, respectively, with axial ratio bandwidth of more than 1%. The size of the antenna is 73mm×73mm×6.4mm, which is small and low-profile.

키워드

Global Navigation System, Differential Global Positioning System, Microstrip Antenna, Dual-Band, Axial Ratio
위성 항법 측위 시스템, 차분 분위 GPS, 마이크로스트립 안테나, 이중 대역, 원형 편파 축비

1. 서 론

최근 국방, 공공 및 다양한 산업 분야에서 무인기

활용의 중요성이 대두되고 있다. 드론, 로봇, 자율주행 자동차 등의 무인기 운용을 위해서는 이들의 위치를 정확하게 추적할 수 있는 정밀 측위 기술이 확보되어

* 서울과학기술대학교 전기정보공학과(nupham@seoultech.ac.kr) • Received : Jan. 25, 2016, Revised : Feb. 13, 2016, Accepted : Feb. 24, 2016
** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 • Corresponding Author : Jae-Young Chung
Dept. of Electrical and Information Engineering
Email : jychung@seoultech.ac.kr
• 접수 일 : 2016. 01. 25
• 수정 완료일 : 2016. 02. 13
• 게재 확정일 : 2016. 02. 24

야 한다.

가장 많이 쓰이는 측위 시스템으로 위성항법 시스템 GNSS(: Global Navigation Satellite System)이 있다. 우리나라의 경우 미국에서 개발한 GPS(: Global Positioning System)를 사용하고 있다. 일반적인 GPS의 경우, 위성궤도오차, 위성시계오차, 대류층 지연 오차, 전리층 지연 오차 등으로 인해 위치 결정 오차가 수 m에 달하는 것으로 알려져 있다[1]. 수 cm 수준의 정밀 위성 항법 측위 기술로는 복수의 GPS 수신기를 활용하는 차분보정측위 DGPS(Differential GPS)가 있다. 이는 기준국(base)과 이동국(rover)으로 구성된 두 대의 GPS 수신기 사이의 통신을 통해 오차를 보정하는 기술이다. 기준국이 지상의 고정 위치가 아닌 이동국과 동일한 차체에 설치되어 함께 움직이는 이동기준국(moving base) 기술 역시 수 cm 측위오차를 제공하는 것으로 알려져 있다[2-3]. 또 다른 측위 항상 기술로 복수의 주파수 대역을 활용하는 이중 대역 GPS가 있다. 이는 L1(1.575 GHz) 뿐 아니라 L2(1.227 GHz) 주파수 대역을 사용함으로써 대기권 및 전리층 지연에 대한 오차와 다중 경로 간섭에 의한 오차를 보정한다.

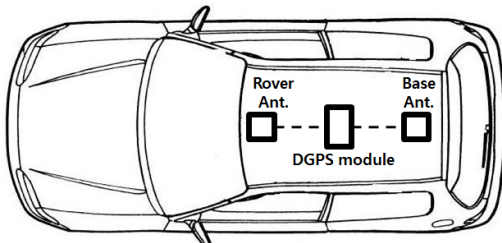
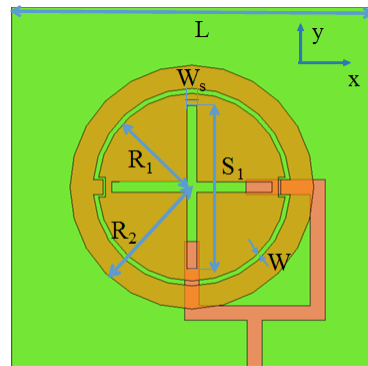


그림 1. 차분보정 측위를 위한 안테나 설치의 예
Fig. 1 Antenna installation for moving baseline DGPS

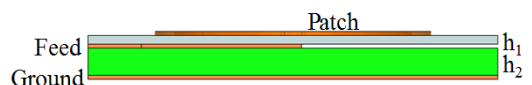
본 논문에서는 이동기준국 차분보정측위 시스템 구현에 적합한 이중 대역 안테나 설계에 대해 다룬다. 그림 1은 기준국과 이동국 안테나가 차량 지붕에 함께 설치된 예이다. 이로써 두 안테나가 위성으로부터 최대한 노출될 수 있음과 동시에 동일 고도에 위치할 수 있는 장점이 있다. 이 때 두 안테나는 금속인 차량 지붕을 접지면으로 활용할 수 있는 낮은 프로파일의 마이크로스트립 안테나 구조를 가지며 급전부가 안테나 하부가 아닌 측면에 위치할 수 있는 형태로 설계

되어야 한다.

또, L1과 L2 이중 대역에서 공진을 일으킴과 동시에, 위성안테나 전송파와 동일한 우현원형편파 RHCP(: Right Hand Circular Polarization)를 갖도록 설계되어야 한다. 우현원형편파는 단일 안테나 내에 90도 위상차를 갖는 두개의 직교 편파 모드를 급전시킴으로써 가능하다. 이를 위해, 두 개의 서로 다른 급전부와 90도 하이브리드를 이용하는 이중 급전 방식을 많이 사용한다[4-7]. 본 논문에서 제안하는 안테나는 구조의 단순화를 위해 단일 급전방식을 사용했다. 또, 기생방사(spurious radiation) 성분을 저감시킬 수 있는 간접 급전 방식을 이용함으로써 금속 플랫폼에 안정적으로 설치할 수 있도록 설계하였다.



(a) 위에서 본 안테나 도면
(a) Top view



(b) 옆에서 본 안테나 도면
(b) Side view

그림 2. 제안하는 안테나의 구조

Fig. 2 Geometry of proposed antenna model

II. 안테나 설계

그림 2는 제안하는 안테나의 구조를 보여준다. 이 다. 2층 기판에 구현된 마이크로스트립 라인 안테나로써, 첫 번째 층에는 서로 직교하는 급전부가 설계되어 있고, 두 번째 층에는 슬롯이 존재하는 원형 패치로 구성되어 있다. 이러한 직교하는 급전부를 통해 원형

패치 구조의 우선모드인 TM11 모드를 GPS L1 및 L2 주파수에서 발생시킬 수 있다. 급전부의 마이크로 선로는 50옴이 되도록 그 폭이 설정되었다.

상단의 패치는 각각 L1과 L2 대역의 공진을 담당하는 반경 R1 원형 패치와 폭 R2-R1를 갖는 고리로 이루어져 있다. 더불어, L1 대역의 안테나 임피던스는 십자형태 슬롯의 길이 S1을 조정함으로써 효과적으로 튜닝이 가능하다. 이를 통해 패치 크기의 소형화를 꾀할 수 있는데, 이는 슬롯이 직렬 캐패시터 역할을 해주기 때문이다[8]. L2 대역이 임피던스 튜닝 역시 R2-R1 폭을 조정함으로써 가능하다. 이 때, R2-R1 폭이 바뀔 때 따라 L1 주파수 대역의 임피던스는 거의 바뀌지 않음을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

제한된 안테나는 CP 성능 향상을 위해 두 원형 패치 사이의 링 형태 슬롯에 비대칭성을 부여했다. 그림 1(a)에서 보듯이 가로축에 오목하게 들어간 부분이 있다. 이는 가로축의 전류 경로를 세로축보다 길게 함으로써 발생된 불완전 모드(degenerate mode)를 직교하는 기본 모드(dominant mode)로 분리해주는 역할을 한다. 비대칭적 오목 슬롯의 적용으로 L2 대역 안테나 정합과 삼입 그림에 보이는 것처럼, 그림 1 (a)는 가로축의 노치 쌍은 전류 경로를 길게하기 위해 적용되고 두 직교 불완전 모드 기본 모드로 분할된다. 이러한 노치는 특히 L2 대역에서 안테나 정합과 축비 AR(axial ratio)가 동시에 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다.

안테나 설계는 중요 파라미터들의 이론값을 토대로 1차 모델링을 하고 3D 전파시뮬레이션 툴을 이용해 최적화하는 방법으로 진행하였다. R1의 초기값 기본 TM11 모드의 공진 주파수에 의해 결정된다[9].

$$f_1 = \frac{1.84118 \times c}{\pi \times R_1 \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

여기서 c 는 빛의 속도, ϵ_r 은 기판의 비유전율, f_1 은 L1 대역의 중심 주파수(1.575 GHz)에 해당한다. 사용한 기판은 상용 FR-4로, 비유전율 $\epsilon_r=4.4$, 손실탄젠트 $\tan\delta=0.02$ 이다. R2 초기값은 아래 식을 통해 구할 수 있다[10].

$$f_2 = \frac{c}{\pi \times (R_1 + R_2)} \times \left(\frac{1 + \epsilon_r}{2\epsilon_r} \right)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 f_2 는 L2 대역 중심 주파수(1.227 GHz)이다. 위 초기값을 기반으로 전파 시뮬레이션 수행을 통해 최적화된 안테나 구조 파라미터들은 표 1에 나타나있다.

표 1. 최적화된 안테나 파라미터
Table 1. Optimized antenna parameters

Parameters	R1	R2	W	S1	L	h1	h2
Value(mm)	20.1	24.4	1	33	73	1.6	4.8

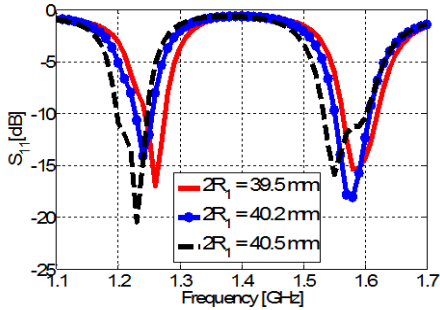
III. 안테나 튜닝

본 절에서는 안테나 파라미터를 조정함에 따라 안테나의 매칭 성능이 어떤 영향을 받는지 전파 시뮬레이션 결과를 토대로 서술하였다.

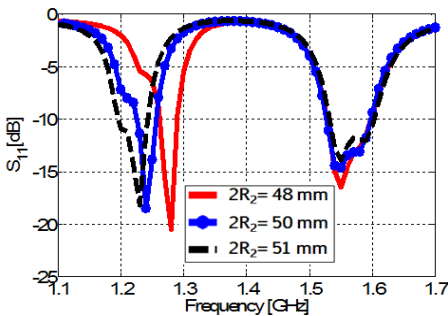
그림 3(a)는 내부 원형 패치 직경 2R1값에 따른 안테나 반사계수(S11)의 변화를 보여준다. R1이 증가함에 따라 L1과 L2 대역의 공진주파수가 모두 저주파 방향으로 이동하는 것을 관찰할 수 있다. 더 구체적으로, 2R1값을 39.5에서 40.5 mm로 증가시키면 L1과 L2 대역이 30 MHz와 20 MHz씩 낮아진다. 본 논문에는 포함되지 않았지만 축비 최저값의 주파수 역시 동일한 수치만큼 이동함을 확인하였다.

다음은 R2의 변화에 의한 안테나 반사계수의 영향을 살펴보았다. 그림 3(b)를 통해 2R2가 48mm에서 51mm로 증가함에 따라 L2 공진 주파수가 50MHz 낮아진 것을 볼 수 있다. 이 때, L1 대역 반사계수는 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

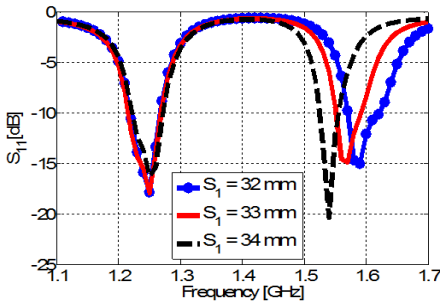
그림 2(c)는 십자형태 슬롯 S1의 길이에 따른 반사계수 변화이다. 보다시피, S1은 L2주파수 대역의 임피던스에 영향을 주지 않고, 오직 L1 주파수 대역의 임피던스 변화에 기인함을 알 수 있다. 더 구체적으로, S1을 32에서 34로 2mm 증가시킴에 따라 L1 대역 공진주파수가 30 MHz 저주파로 이동한다. 이와 동시에 L1 대역폭이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 같은 S1 증가량에 따라 L1의 S11 < -10dB 대역폭이 49MHz에서 27MHz로 감소한다.



(a) R1값에 따른 반사계수 변화
(a) S11 change by R1



(b) R2값에 따른 반사계수 변화
(b) S11 change by R2



(c) S1값에 따른 반사계수 변화
(c) S11 change by S1

그림 3. 주요 파라미터 변화에 따른 반사계수 변화
Fig. 3 S11 change due to key parameter change

위의 관찰로 미루어 보아 제안한 안테나의 효과적 임피던스 튜닝 방법은 L1 대역의 임피던스를 R1 조정을 통해 확보한 후 R2 조정을 통해 L2 대역을 최적화하는 것임을 알 수 있다.

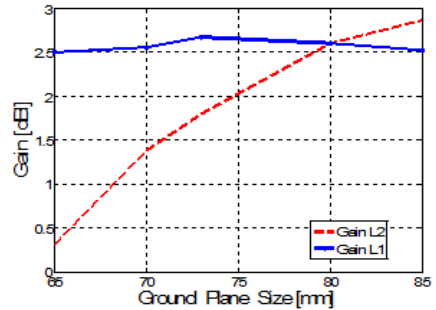


그림 4. 안테나 접지면 크기에 따른 이득 변화
Fig. 4 Antenna ground size effect on gain

그림 4는 접지면의 크기 L에 따른 안테나 이득의 변화를 보여준다. L값이 65mm에서 85mm로 증가함에 따라 고주파 L1 이득은 일정한 값을 보이는 반면, 저주파 L2 이득은 0.35 dBi에서 2.85dBi로 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다. 접지면의 크기는 또한 안테나 전후 방사 이득비(fron-to-back ratio)에 큰 영향을 준다. 시뮬레이션 결과, L값이 증가함에 따라 전후 방사 이득비가 증가하고, L>70mm 일 경우 전후 방사 이득비가 10dB 이상이 되었다. 이러한 이유로 최적화된 안테나의 접지면 크기는 표 1에서와 같이 L=73mm로 결정하였다. 이는 L2 중심 주파수 파장 대비 0.29 λ에 해당하는 수치로, 제안된 안테나의 소형화 효과를 확인할 수 있는 부분이다. 또, 안테나가 차량 루프와 같이 접지면이 큰 플랫폼에 실장되기에 적합한 구조임을 보여준다.

IV. 안테나 제작 및 측정

최적화된 안테나를 PCB 공정 기법을 이용해 제작하였다. 그림 5(a)와 (b)는 각각 제작된 안테나에 대한 사진과 측정을 위해 무반향실에 설치된 사진이다. 안테나 방사 성능(이득, 축비)은 무반향실을 이용해 측정하였고, 안테나 임피던스는 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 첫 제작된 안테나의 임피던스 측정값을 바탕으로 수작업을 통해 상세 튜닝하는 단계를 거쳤다. 더 구체적으로, 공진주파수가 예상한 값에 비해 2MHz 정도 낮아 오목슬롯의 깊이를 조정하였다. 오목슬롯 주위의 납땀 흔적은 이 때문이다.

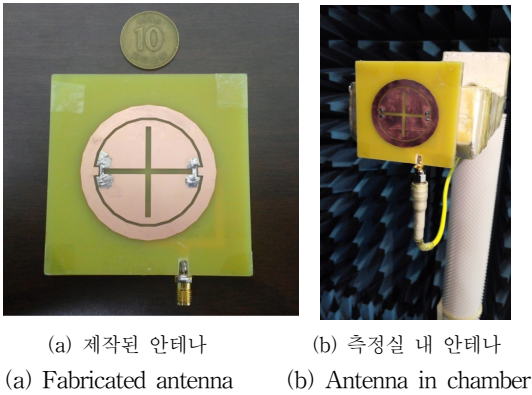


그림 5. 제작된 안테나에 대한 사진

Fig. 5. Pictures of fabricated antenna

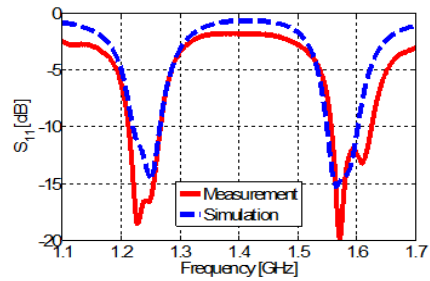
그림 6(a)와 (b)는 안테나 반사계수(S11)과 원형편과 축비(AR)의 측정값을 시뮬레이션값과 비교한 것이다. 둘이 유사한 값을 보임으로 미루어 보아 시뮬레이션 최적화를 기반으로 한 안테나 제작이 잘 이루어졌음을 판단할 수 있다. 측정값이 L1 및 L2의 중심 주파수에서 시뮬레이션값에 비해 다소 좋은 성능을 보이는 것은 기판의 손실탄젠트가 예상보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 측정값을 바탕으로 계산한 안테나의 S11<-10dB 대역폭은 L1과 L2에서 각각 6.1%(1.554-1.615GHz)와 3.7%(1.216-1.261 GHz) 이다. AR<-3dB 대역폭은 L1과 L2 모두에서 약 1%이다.

그림 7은 안테나 우현편과 성분 이득의 측정값이다. L1과 L2 대역에서 각각 2.34 dBic와 1.28 dBic으로 그림 4에서 보여지는 시뮬레이션값과 유사함을 알 수 있다.

V. 결론

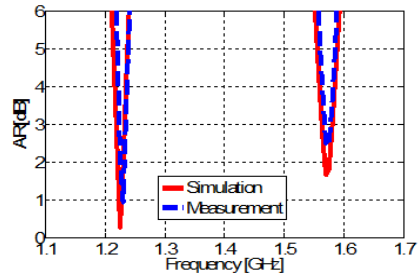
본 논문에서는 정밀 측위를 목적으로 차량 루프에 용이하게 실장될 수 있는 이중 대역 헨 안테나의 설계안을 제시하고 전파시뮬레이션과 측정을 통한 안테나 성능 관찰 및 분석에 대해 서술하였다. 안테나의 특징은 간단한 근접 결합 급전부 및 슬롯이 포함된 원형 패치를 이용해 원형편과 및 이중공진 특성을 보다 작은 체적 내에서 구현한 것이다. 안테나 전체 크기는 접지면을 포함하여 73mm×73mm×6.4mm로, 안

테나 면적은 L2 저주파 대역의 0.29λ에 해당하고, 높이는 0.026λ 수준으로 낮은 프로파일 구조를 갖췄다. 또, 제안된 안테나는 1.2-1.4 범위의 작은 주파수 비율을 필요로 하는 이중 공진 GNSS 안테나 구현에 적합하다.



(a) 반사계수(S11)

(a) Reflection coefficient



(b) 원형편과 축비(AR)

(b) Axial ratio

그림 6. 안테나 S11과 AR 측정값과 시뮬레이션값
Fig. 6. Measured and simulation data of S11 and AR

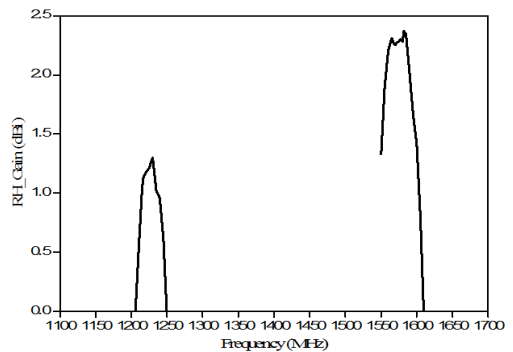


그림 7. 안테나 우현편파 이득 측정값

Fig. 7. Measured RHCP gain

안테나의 설계는 계산된 이론적 파라미터값을 바탕으로 설계된 최초 모델을 전파 시뮬레이션을 통해 최적화하는 방식으로 진행했다. 이 과정에서 L1과 L2 대역 성능 모두에 영향을 주는 파라미터, L1 또는 L2 대역에만 영향을 주는 파라미터를 구분하여 효율적인 최적화를 진행하였다. 이를 바탕으로 제작된 안테나는 시뮬레이션 예측값과 잘 일치하였다. 차후, 본 안테나를 이용하여 차량용 DGPS 시스템을 구현하고 안테나 능동 성능 데이터 및 위치결정 데이터를 분석하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 국토교통부의 스마트 자율협력주행 도로시스템 개발 사업 (15TLRP-B101406-01)의 지원으로 수행되었음.

References

[1] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance, 2nd Ed.*. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press, 2010.

[2] C. Basnayake, G. Lachapelle, and J. Bancroft. "Relative positioning for vehicle-to-vehicle communications enabled vehicle safety applications." *ITS World Congress*, OR, USA, Oct., 2011.

[3] H. Seo, S. Jeong, M. Oh, and D. Park, "A Study on DGPS Framework and Performance Evaluation for High-Accurate Localization based on GPS/AGPS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, 2011, pp. 927-938.

[4] D. Mozar and S. Muffy, "A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, no. 11, Nov., 1997, pp. 1618-1625.

[5] X. Sun, Z. Zhang, and Z. Feng, "Dual-band circularly polarized stacked annular-ring patch antenna for GPS application," *IEEE Antenna Wirel. Propag. Lett.*, vol. 10, 2011, pp. 49-52.

[6] Y. Zhang, X. Li, L. Yang, and S. Gong,

"Dual-band circularly polarized antenna with low wide-angle axial-ratio for tri-band GPS applications," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 32, 2012, pp. 167-179.

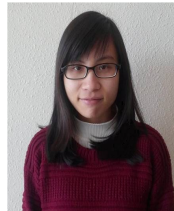
[7] Y. Park, "Characteristics of Circularly Polarized Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 563-567.

[8] G. Hsieh, M. Chen, and K. Wong, "Single-feed dual-band circularly polarised microstrip antenna," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 12, 1998, pp. 1170-1171.

[9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design, 3rd Ed.* Hoboken, John Wiley, 2005.

[10] K. L. Wong, C. C. Huang, and W. S. Chen, "Printed ring slot antenna for circular polarization," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, no. 1, 2002, pp. 75-77.

저자 소개



누팜(Nu Pham)

2014년 하노이과학기술대학교 정
보통신학과 졸업(공학사)

2014년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사과정
※ 관심분야: Electromagnetic analysis, antenna design.



정재영(Jae-Young Chung)

2002년 연세대학교 전기공학과
졸업(공학사)

2007년 오하이오주립대학교 전기
및컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2010년 오하이오주립대학교 전기
및컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2012년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수
※ 관심분야 : Electromagnetic analysis, antenna design.