

차량 단말 통신을 위한 이중대역 직교편파 마이크로스트립 안테나

Dual-Band Orthogonal-Polarization Microstrip Antenna for Vehicle-to-Nomadic Devices Communication

임은숙 · 이동효* · 표성민

Eunsook Lim · Dong-Hyo Lee* · Seongmin Pyo

요약

본 논문에서는 차량 내부 단말 통신을 위한 이중대역 직교편파 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 서로 수직한 선형 편파를 형성하기 위한 수직한 이중 급전 부분과 이중대역 동작을 구현하기 위한 H 모양의 페루프형 슬롯이 구비된 방사체로 구성된다. 방사체에 구비한 H 모양의 페루프형 슬롯은 방사체의 각 변의 급전 부분에 따라 기하학적으로 다른 효과를 발생시키기 때문에, 제안한 안테나는 두 개의 동작 주파수에서 서로 수직한 선형 편파로 동작한다. 제안한 안테나는 1.8 GHz에서 지표면에 수직한 선형 편파와 2.4 GHz에서 지표면에 수평한 선형 편파로 동작함을 이론 및 실험적으로 검증하였다. 제작한 안테나의 모의실험과 측정실험 결과는 반사 계수, 방사패턴 및 안테나 이득에서 잘 일치되었다.

Abstract

This paper proposes a new design of a dual-band orthogonal-polarization microstrip antenna for V2N(Vehicle to Nomadic Device) communication system. The proposed antenna consists of a perpendicular feeding structure for utilizing orthogonal linear polarizations and an microstrip radiator which loaded by close-looped H-shape slot for obtaining dual-band operation. Due to the geometrically different loading effect of the close-looped H-shape slot for each feeding location, the orthogonally linear polarization at dual-band operation of the proposed antenna can be successfully achieved. The proposed antenna theoretically and experimentally demonstrates the vertical linear polarization at the operating frequency of 1.8 GHz and the horizontal linear polarization at the operating frequency of 2.4 GHz, respectively. The simulation and measurement results of the implemented antenna have been in good agreement with the reflection coefficients, radiation patterns, and realized antenna gains.

Key words: Microstrip Antenna, Dual Band, Orthogonal Polarization, Vehicle to Nomadic Device

I. 서론

차량과 내부 무선 단말기 사이의 통신은 전통적인 자

동차 기술에 정보통신 기술이 통섭되면서 무선 통신 서비스가 확대되고, 서비스를 제공하는 시스템의 성능이 강화되는 특징을 보이고 있다^{[1][2]}. 다양한 무선 통신 서비스

「이 논문은 2014년도 한밭대학교 통합학과 특성화 지원비와 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임(2014R1A1A1004241).」

한밭대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University)

*한국항공우주연구원 저궤도위성관제팀(LEO Satellite Mission Operation Department, Korea Aerospace Research Institute)

· Manuscript received April 17, 2015 ; June 30, 2015 ; Accepted July 2, 2015. (ID No. 20150417-030)

· Corresponding Author: Seongmin Pyo (e-mail: spyo@hanbat.ac.kr)

의 발전은 스마트폰 활성화로 차량과 스마트폰을 무선으로 연결하여 차량 안에서 인터넷, 스마트폰을 활용한 부가 서비스를 제공하기 위한 V2N(Vehicle to Nomadic Device) 기술이 활발히 연구되고 있다^[3]. 차량의 내부는 좁은 공간에 다수의 통신기기가 동시에 운용되고, 다중 경로 페이딩에 의한 신호 간섭이 발생하는 전자파 환경이기 때문에 무선 통신 단말기 사이의 간섭을 최소화하는 연구가 필수적이다^{[4],[5]}. 또한, V2V(Vehicle to Vehicle) 및 V2I (Vehicle to Infrastructure) 통신은 IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)에서 규격이 정의된 반면, V2N 통신은 표준화 규격이 없는 실정이다^[6].

본 논문에서는 1.8 GHz 및 2.4 GHz의 이중대역에서 서로 수직한 선형편파를 제공하는 차량용 안테나를 제안하였다. 내부 단말 통신을 위한 차량용 안테나는 시스템과 집적이 용이하고, 가볍고, 크기가 작아야 하기 때문에 대역폭은 좁지만 장점이 많은 마이크로스트립 안테나를 기반으로 설계하였다^[7]. 마이크로스트립 안테나에서 이중대역 직교편파를 구현하는 방법은 직사각형 패치에 수직한 급전 구조 적용^[7], 두 개의 급전 위치 조정^[8], 스텔브 사용^[9] 등 다양한 선행 연구가 진행되었다. 기존의 방법과 달리, 제안한 안테나는 정사각형 방사체에 수직한 급전 구조^[10]를 이용하여 두 개의 선형 직교편파를 형성하고, 방사체에 H 모양의 페루프 슬롯을 적용하여 급전 방향에 따라 기하학적 차이로 인한 이중대역 동작을 달성하였다. 이어지는 장에서는 이중대역 직교편파 안테나의 구조, 설계, 제작 및 측정에 대하여 서술하겠다.

II. 안테나 설계 및 분석

그림 1은 제안한 이중대역 직교편파 마이크로스트립 안테나의 구조를 도식한 것이다. 안테나는 비유전율 4.3, 두께 1.6 mm의 FR4 기판의 앞면에 한 변의 길이(p)가 24 mm인 정사각형 패치로 구성하였다. 방사체에는 H 모양의 페루프 슬롯을 적용하였다. 슬롯은 가로 폭(w), 세로 길이(l), 슬롯 내부의 금속체 크기(s) 및 슬롯과 내부 금속체 사이거리(g)로 설계 변수를 설정하였다. H 모양의 페루프 슬롯은 내부가 비어있는 H 모양의 슬롯과 동일한 물리적 크기를 기준으로 안테나의 전기적 특성 차이를 발생시키

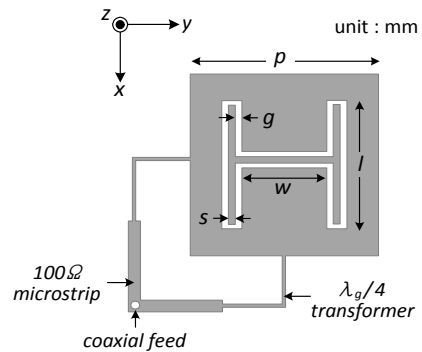


그림 1. 제안한 이중대역 직교편파 안테나 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed dual-band orthogonal-polarized antenna.

지 않으며, 같은 이중대역 직교편파를 제공하는 직사각형 방사체에 비하여 감소된 방사체 크기를 제공하는 장점이 있다. 급전 구조는 기판의 뒷면에 50 Ohm 동축선을 연결하고, 동축선 종단에는 100 Ohm 마이크로스트립 전송선을 이용한 전력분배기를 배치하였다.

방사체와 전력분배기 사이에는 $\lambda/4$ 임피던스 변환기로 정합회로를 이용하여 이중 급전 구조를 완성하였다.

그림 2는 슬롯의 폭(w)과 길이(l)의 영향을 분석하기 위해 제안한 안테나의 슬롯의 크기를 변화시키며, 반사계수의 모의실험 결과를 도식한 것이다. 그림 2(a)에서 슬롯의 폭(w)이 7 mm부터 10 mm로 증가할 때, 저주파 대역에서 공진주파수는 2.04 GHz에서 1.78 GHz로 감소하고, 고주파 대역의 공진주파수는 2.39 GHz에서 2.29 GHz로 감소한다. 즉, 슬롯의 폭(w)은 주로 저주파 영역의 공진주파수의 변화량을 결정함을 알 수 있다. 또한, 그림 2(b)와 같이, 슬롯의 길이(l)가 13 mm부터 16 mm까지 증가하는 경우, 고주파 대역은 2.48 GHz에서 2.29 GHz까지 감소하고, 저주파대역은 1.93 GHz에서 1.83 GHz로 감소한다. 다시 말해, 슬롯의 폭(w)의 결과와 달리 슬롯의 길이(l)는 고주파 영역의 공진주파수의 변화량을 결정함을 알 수 있다. 이러한 이유는 세로 방향으로 급전되는 전력은 H 모양의 슬롯으로 동작하게 되고, 가로 방향에서는 슬롯을 I 모양으로 인식하기 때문이다. 이와 같이, 그림 2의 모의실험 결과를 바탕으로 1.8 GHz 대역과 2.4 GHz 대역에서 동작하는 H 모양의 페루프 슬롯의 크기를 최적으로 결정하였

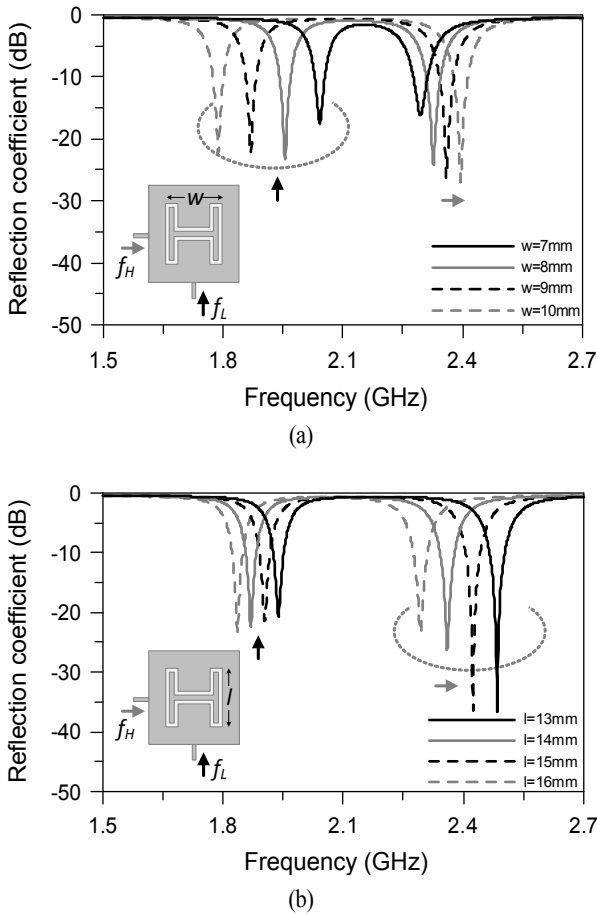


그림 2. 제안한 안테나의 (a) 슬롯의 폭(w)과 (b) 슬롯의 길이(l)에 대한 주파수 특성 모의실험 결과.

Fig. 2. Computed frequencies of the proposed antenna for (a) the width(w) and (b) the length(l) of close-looped H-shape slot.

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수(단위: mm)

Table 1. Design parameters of the proposed antenna(unit: mm).

설계변수	설계 값
p	24
w	9
l	15
g	1
s	1

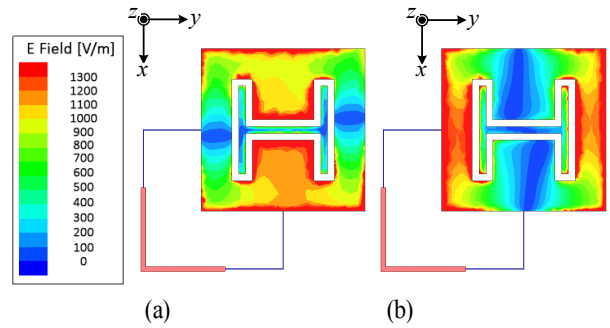


그림 3. 제안한 안테나의 전계 모의실험 결과. (a) 1.86 GHz의 TM_{10} 모드와 (b) 2.37 GHz의 TM_{01} 모드

Fig. 3. Simulated electric field intensities of the proposed antenna. (a) TM_{10} mode at 1.86 GHz and (b) TM_{01} mode at 2.37 GHz.

으며, 최종 설계치수는 표 1에 정리하였다.

그림 3은 제안한 안테나의 표 1의 최종 치수인 w 가 9 mm이고, l 이 15 mm일 때, 이중대역 공진 주파수에서 마이크로스트립 방사체 표면에서의 전계 크기의 모의실험 결과를 도식한 것이다. 제안한 모의실험 안테나는 1.86 GHz와 2.37 GHz에서 공진을 발생하며, 각 공진주파수에서의 전계는 그림 3(a) 및 3(b)와 같다. 그림 3(a)의 1.86 GHz에서 제안한 안테나 전계는 방사체의 세로 방향의 TM_{10} 모드로 동작함을 알 수 있다. 즉, 방사체의 세로 방향으로 반파장 공진이 발생함을 알 수 있다. 이와 달리, 그림 3(b)에서 2.37 GHz에서 전계는 가로 방향으로 TM_{01} 모드로 반파장 공진이 발생함을 알 수 있다.

그림 2와 그림 3의 모의실험 결과에서 판단할 수 있듯이, 이중급전 구조는 동축선으로부터 인가받은 전력을 전력분배기를 통해 전력이 분배되고, 분배된 전력은 급전 방향에 의하여 각각 수직 및 수평편파로 동작하게 된다. 이때, 수직한 편파는 세로 축의 H 모양의 페루프 슬롯의 영향으로 저주파에서 TM_{10} 모드 공진주파수가 결정되며, 수평한 편파는 가로 축의 I 모양의 페루프 슬롯의 영향으로 기인하여 고주파에서 TM_{01} 모드 공진주파수가 결정됨을 알 수 있다. 환언하면, 급전 위치에 따라서 식각된 슬롯의 모양이 서로 다른 구조로 인식되어, 이중대역 동작 주파수를 설계할 수 있으며, 각 대역은 서로 직교한 선형 편파를 형성함을 알 수 있다.

III. 안테나 제작 및 측정

그림 4는 모의실험 결과를 검증하기 위해 FR4 기판에 제작한 시제품을 촬영한 사진이다. 제안한 안테나의 접지면은 가로 98 mm와 세로 98 mm로 제작하였다. 접지면의 크기는 안테나 이득 및 반사계수가 변화하지 않는 조건으로, 최소 가로 45 mm와 세로 45 mm로 감소시킬 수 있지만, 측정과정에서 발생하는 오차를 최소화하고, 후방으로 방사하는 전력을 제거하기 위하여, 1.8 GHz에서 관내 반 파장의 크기를 갖도록 설계하고 제작하였다. 에칭 공정 후, 전력분배기와 동축선의 내부 도체와 연결할 수 있도록 전력분배기의 중심에 약 0.3 mm 크기의 반경으로 through-hole drilling 작업을 진행하였다.

그림 5는 제안한 안테나의 반사계수의 모의실험과 측정실험 결과를 도식한 것이다. 반사계수 측정실험 결과는 저주파대역 중심주파수 1.86 GHz에서 -23.27 dB, 2.43 GHz에서 -29.24 dB로 측정되었으며, -10 dB를 만족하는 임피던스 대역폭은 저주파대역 1.85 GHz부터 1.88 GHz까지 약 30 MHz, 고주파대역 2.35 GHz부터 2.39 GHz까지 40 MHz를 나타내었다. 측정실험 결과는 모의실험 결과와 비교하여 매우 잘 일치함을 알 수 있으며, 이중대역으로 잘 동작함을 확인하였다.

그림 6과 7은 제안한 안테나의 이중대역에서 이득과 방사패턴을 도식한 것이다. 방사패턴과 안테나 이득은 전

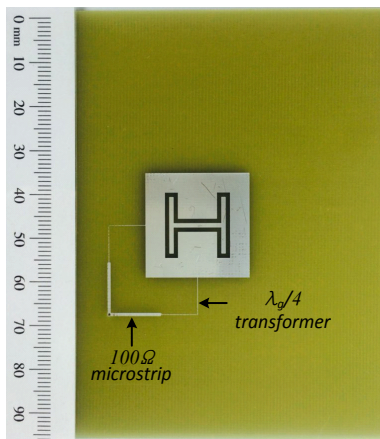


그림 4. 제작한 안테나 사진
Fig. 4. Photograph of the implemented antenna.

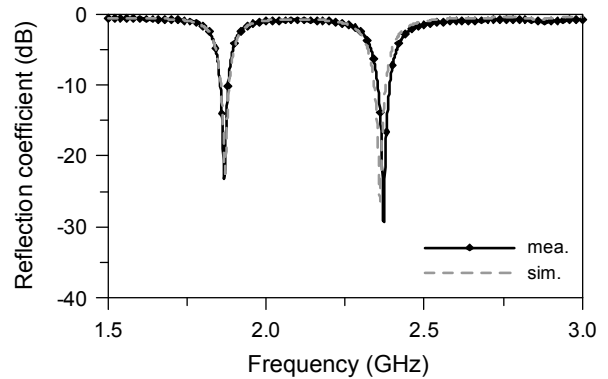


그림 5. 제안한 안테나의 반사계수
Fig. 5. Reflection coefficients of the proposed antenna.

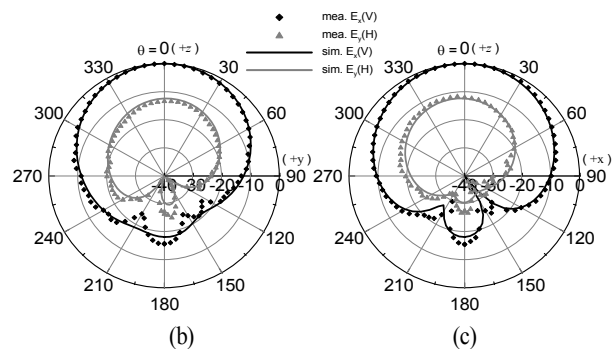
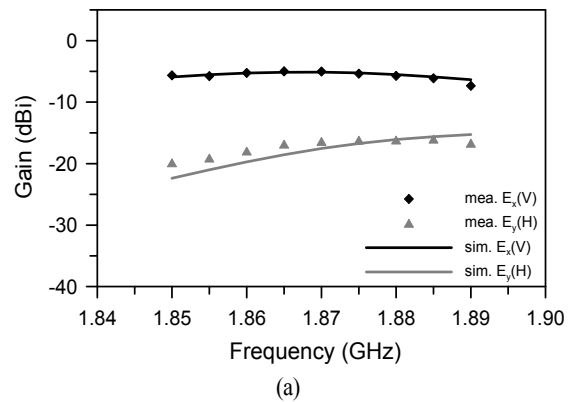


그림 6. 1.86 GHz에서 제안한 안테나의 (a) 안테나 이득, (b) yz면의 방사패턴 및 (c) zx면의 방사패턴
Fig. 6. (a) Realized antenna gains and radiation patterns at (b) yz-plane and (c) zx-plane of the proposed antenna polarization at 1.86 GHz.

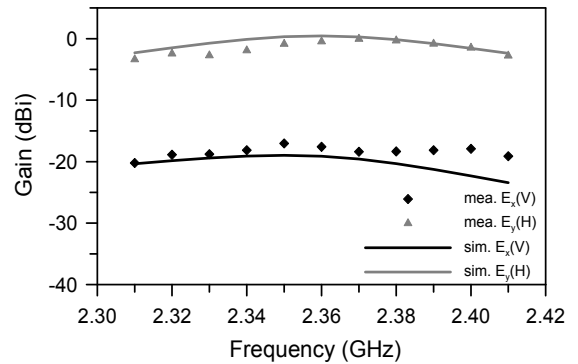
자파 무반사실을 이용하였으며, 방위각(θ)과 앙각(ϕ)을 각각 5도 단위로 변화시키며, 3D 방사패턴을 측정하였다.

그림 6(a)에서 알 수 있듯이, 저주파대역에서 안테나 이득은 모의실험에서 분석한 결과와 동일하게 수직선형편파가 주편파(co-polarization)로 동작하며, 수평선형편파는 교차편파(cross-polarization)로 동작함을 알 수 있다. 안테나 이득은 1.86 GHz에서 수직편파에서 -4.99 dBi로 측정되었고, 교차편파인 수평편파에서 -13.78 dBi로 측정되었다. 따라서 교차편파비율(cross-polarization ratio)은 8.79 dB이다. 그림 6(b), (c)는 제안한 안테나의 1.86 GHz 수직편파 동작에서의 방사패턴 측정결과이다. 세로축으로 수직선형편파로 주편파가 동작함을 알 수 있다.

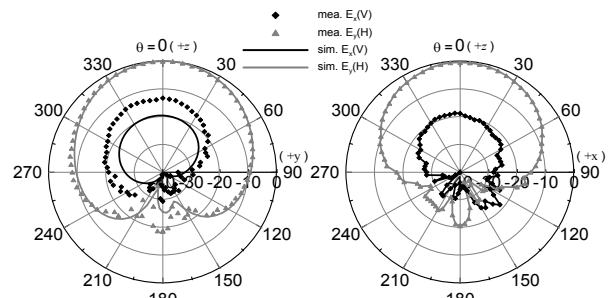
또한, 일반적인 마이크로스트립 안테나의 방사패턴과 동일하게 z -축에서 최대이득이 발생함을 알 수 있다. 마지막으로, 무반사실 측정 편차 1 dB 이하로 모의실험과 측정실험 결과가 잘 일치됨을 확인할 수 있다.

그림 7(a)는 고주파대역 수평편파로 동작할 때의 안테나 이득을 도식한 것이다. 측정실험 결과는 2.37 GHz에서 -0.04 dBi의 최대이득을 가지며, 수평편파로 주편파임을 알 수 있다. 안테나 이득의 경우, 동일한 기판과 단일 급전 구조에 비해 상대적으로 낮은 이유는 전력분배기를 이용하여 수직 및 수평편파로 입사되는 전력이 반으로 감소하였기 때문이다. 이득을 증가시키기 위해서 이중급전 구조에 2개의 입력 포트를 개별적으로 이용할 수 있지만, 2개의 포트를 이용할 시에 추가적으로 포트 간의 격리도를 설계해야 하는 단점이 있다.

따라서 제안한 안테나는 상대적으로 작은 이득을 제공하는 단점과 간단한 구조로 이중대역 직교편파를 설계할 수 있는 장점을 동시에 가지고 있다. 교차편파의 이득은 -13.78 dBi로 교차편파 비율은 13.74 dB이며, 고주파대역은 저주파대역의 수직편파와는 반대로 수평축의 이득이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. V2V 및 V2I 통신에서의 안테나 이득에 대한 요구규격은 8 dBi 이하의 설계조건을 가지고 있다. 이에 반해 차량과 내부 단말기 사이의 통신인 V2N에 대한 규격이 없기 때문에, 휴대용 스마트폰 단말기의 내장형 안테나에서 주로 사용되는 안테나 이득인 약 0 dBi에 맞추어 설계된 결과이며, 상대적으로 낮은 이득과 높은 교차편파 비율은 차량용 시스템에서 RF부분의 별도 처리를 통해 성능 보완이 가능할 것으로 판단된다.



(a)



(b)

(c)

그림 7. 2.37 GHz에서 제안한 안테나의 (a) 안테나 이득, (b) yz 면의 방사패턴 및 (c) zx 면의 방사패턴
Fig. 7. (a) Realized antenna gains and radiation patterns at (b) yz -plane and (c) zx -plane of the proposed antenna polarization at 2.37 GHz.

그림 7(b)와 7(c)는 제안한 안테나의 2.37 GHz 수평편파로 동작할 때의 방사패턴을 도식한 것이다. 모의실험 결과, 측정실험 결과는 주편파와 교차편파에서 모두 잘 일치됨을 알 수 있으며, 수평한 방향으로 주편파로 잘 동작함을 확인할 수 있다. 즉, 그림 6과 7에서 판단할 수 있듯이, 제안한 안테나는 측정실험 결과와 모의실험 결과가 잘 일치하며, 이중대역에서 직교선형편파로 동작함을 검증하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 차량과 차량 내부 단말 사이의 통신 시스템에 적합한 이중대역 직교편파를 제공하는 차량용 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나의 방사체에 적용된 H 모양의 페루프 슬롯과 수직인 이중급전 구조는 이중대역

에서 서로 직교하는 선형 편파를 제공하며, 슬롯의 기하학적인 크기와 모양의 변형을 통해 보다 다양한 대역의 구현이 가능하다. 제안한 안테나는 전파 밀집 환경과 다중 경로 페이딩 간섭이 많은 차량 내부의 전파환경에서 임의의 이중대역에서 신호 분리가 가능한 잠재적 장점을 가지고 있기 때문에, 추후 차량 내부 시스템에 적용되어 성능이 개선된 통신 환경을 제공할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- [1] H. Hartenstein, K. Laberteaux, *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, John Wiley and Sons, 2010.
- [2] S. Eichler, "Performance evaluation of the IEEE 802.11p WAVE communication standard", *IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 2199-2203, Oct. 2007.
- [3] W. Xiang, J. Gozalvez, Z. Niu, O. Altintas, and E. Ekici, "Wireless access in vehicular environments", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2009, no. 576217, pp. 1-2, Jun. 2009.
- [4] 여준호, 김영호, 윤재훈, "밀집 공간 전자파 환경 수치 해석 기술 동향", *한국전자과학회 전자파기술*, 21(2), pp. 55-60, 2010년 3월.
- [5] S. Horiuchu, K. Yamada, S. Tanaka, Y. Yamada, and N. Michishita, "Comparisons of simulated and measured electric field distributions on a cabin of a simplified scale car model", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E90-B, no. 9, pp. 2408-2415, Sep. 2007.
- [6] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environment(WAVE), *IEEE Standard 802*, Jul. 2010.
- [7] J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, Peter Pregrinus, 1981.
- [8] 정해영, 이광천, 이성준, 최익권, "두 입력단자를 갖는 이중대역 이중편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 16(11), pp. 1164-1170, 2005년 11월.
- [9] 박기동, 정문숙, 임영석, "개구 결합된 십자형 패치를 이용한 ISM 대역용 이중대역 마이크로스트립 안테나", *한국전자과학회논문지*, 14(5), pp. 479-448, 2003년 5월.
- [10] O. A. Barrera, D. H. Lee, N. M. Quyet, V. Hoang-The, and H. C. Park, "A circularly polarized harmonic-rejecting antenna for wireless power transfer applications", *IEICE Electron. Express*, vol. 10, no. 19, pp. 20130665, Sep. 2013.

임 은 숙



2010년 2월: 한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 (공학사)
 2014년 3월~현재: 한밭대학교 정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

이 동 호



2008년 2월: 남서울대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2010년 2월: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 (공학석사)
 2010년 4월~2013년 8월: AP우주항공(주) 주임연구원
 2014년 2월~현재: 한국항공우주연구원 연구원

[주 관심분야] 위성통신시스템, 재구성 안테나

표 성 민



2002년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)

2004년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)

2011년 2월: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 (공학박사)

2011년 3월~2011년 10월: 한국전자통신

연구원 선임연구원

2011년 11월~2013년 2월: 국방과학연구소 선임연구원

2013년 2월~현재: 한밭대학교 정보통신공학과 조교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로 및 시스템, 메타물질 기반 재구성 안테나, 추적 레이다 시스템