

대역폭 확장 특성을 갖는 주파수 Reconfigurable 슬롯 안테나

A Frequency Reconfigurable Slot Antenna with Bandwidth-Enhanced Characteristics

이 우 성 · 김 형 락 · 윤 영 중

Woosung Lee · Hyunrak Kim · Young Joong Yoon

요 약

본 논문에서는 기존의 주파수 reconfigurable 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위한 대역폭 확장 특성을 가지는 주파수 reconfigurable 슬롯 안테나가 제안되었다. 제안된 안테나는 주파수 reconfigurable 특성을 가지는 동시에 대역폭을 확장시키기 위하여 넓은 슬롯 및 좁은 슬롯 두 부분으로 구성되어 있다. 삼각형 구조의 넓은 슬롯은 제안된 안테나의 대역폭을 증가시키는 역할을 하며, 좁은 슬롯은 PIN diode를 장착하는 역할을 한다. 제안된 안테나는 PIN diode의 동작 상태를 바꿈에 따라 슬롯의 총 길이를 변화시키며, 이로 인해 중심 주파수 조절과 임피던스 정합의 변화를 최소화시킨다.

Abstract

In this paper, a frequency reconfigurable slot antenna which has a bandwidth-enhanced characteristic is proposed. The proposed antenna consists of two parts; the wide slot and the narrow slot, to increase the bandwidth of the antenna and have the frequency reconfigurable characteristic. The wide slot has triangular shape and makes the bandwidth increased, and the narrow slot can mount PIN diodes. By changing on/off state of PIN diodes, the total length of the slot is changed. From this characteristic, the proposed antenna can finally control the center frequency and minimize variation of the impedance matching.

Key words : Frequency Reconfigurable Antenna, Slot Antenna

I. 서 론

최근 통신 시스템이 복잡해지면서 하나의 시스템에 다양한 기능이 포함하는 것이 요구되고 있다. 이미 다중 밴드에서 동작하는 단말기가 출시되었고, 빔의 방향을 조절할 수 있는 스마트 안테나가 연구되고 있다^[1]. 또한 MIMO 시스템과 같이 여러 가지 다이버시티를 이용하여 채널의 용량을 늘리는 방법도 연구되고 있다^[2]. 이에 따라 안테나에서도 기존 시스템에서 요구되지 않았던 여러 가지 기능들의 필요성이 증가되고 있다.

이러한 추세에 맞추어서 최근 각광받고 있는 분야가 reconfigurable 안테나이다. Reconfigurable 안테나는 다른 특성은 일정하게 유지한 채 원하는 특성을 전기적 혹은 기계적으로 바꿀 수 있는 안테나를 말하며, 주파수 reconfigurable 안테나, 패턴 reconfigurable 안테나, 편파 reconfigurable 안테나 등으로 나눌 수 있다^[3]. Reconfigurable 안테나를 이용할 경우 안테나에 시스템의 일부 기능을 포함하거나 기존 시스템에서 구현하기 어려운 특성을 가짐으로써, 시스템 전체의 크기를 간결하게 할 수 있으며 효율을 향상시킬 수 있다. 이미 MIMO 시스템에 적용할 수 있

「본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10461-0) 지원으로 수행되었음.」

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20060420-044

· 수정완료일자 : 2006년 5월 25일

는 reconfigurable 안테나가 연구되었으며^[4], 또한 달 탐사선에 적용될 수 있는 편파 reconfigurable 안테나가 제안되었다^[5].

주파수 reconfigurable 안테나의 경우 PIN diode나 RF MEMS 등을 이용하여 안테나의 공진 길이를 조절하거나^{[6],[7]}, varactor diode를 이용하여 안테나에 캐패시턴스를 추가함으로써 주파수를 변환시키는 방법이 연구되었다^[8]. 또한 tunable EBG를 이용하여 안테나의 대역폭 중 선택적으로 방사할 수 있도록 한 안테나도 제안되었다^[9]. 그러나 이러한 경우 대부분 안테나는 협대역 특성을 가지며 주파수 reconfigurable 특성만을 보여주는데 목적이 있기 때문에 실제 시스템에 적용하기가 어렵다. 더욱이 앞으로 나올 통신 시스템의 경우 많은 데이터량을 전송하여야 하기 때문에, 넓은 대역폭의 통신 시스템 및 안테나가 필요하게 된다.

따라서 이번 연구에서는 광대역 특성을 가지는 주파수 reconfigurable 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 슬롯 안테나 구조를 사용하였으며, 슬롯의 길이에 따라 주파수를 reconfigurable 할 수 있다. 슬롯의 길이를 조절하는 on/off 스위치는 PIN diode를 이용하여 구현하였으며, 동작되는 PIN diode를 조절함으로써 안테나의 중심 주파수를 변화시킬 수 있다. 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실을 통해서 제안된 안테나의 성능을 분석하였으며, 각 동작 주파수에서의 방사 패턴 및 이득을 통하여 안테나가 주파수 변화 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

II. 제안된 안테나의 설계

슬롯 안테나에서는 대부분 PIN diode나 RF MEMS와 같은 on/off 스위치를 이용하여 주파수 reconfigurable 특성을 구현한다. RF MEMS의 경우 높은 주파수에서도 좋은 성능을 유지한다는 장점이 있는 반면, 공정상의 어려움이 있고 실리콘(silicon)위에 제작되어야 하는 단점이 있다^[10]. 반대로 PIN diode의 경우 어느 구조에나 쉽게 부착이 가능하며 다양한 구조의 reconfigurable 안테나에 적용 가능하다는 장점이 있다. 또한 RF MEMS 스위치에 비해 동작시키기 위한 문턱 전압(threshold voltage)이 작다는 이점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 on/off 스위치를 구

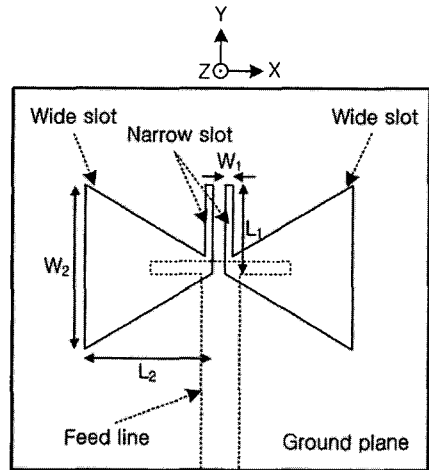


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

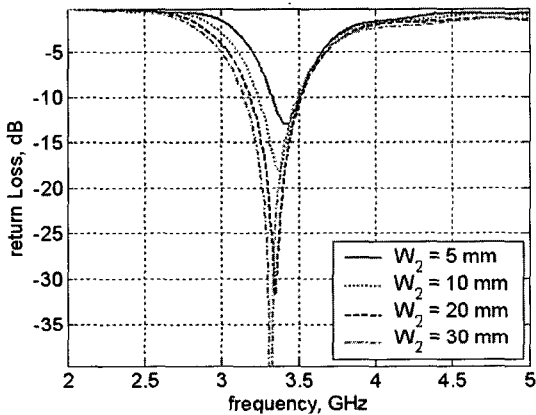
현하기 위하여 PIN diode가 사용되었으며, 높은 주파수에서 성능을 유지하기 위해 패키지(package)가 되지 않은 크기가 매우 작은 PIN diode를 사용하였다.

슬롯 안테나의 대역폭을 넓히기 위해서는 슬롯의 크기가 증가되어야 한다. 그러나 PIN diode의 크기가 매우 작기 때문에 슬롯의 크기가 커질 경우 슬롯에 PIN diode를 연결하는 것이 문제가 된다. 따라서 본 논문에서는 넓은 슬롯을 가지면서 동시에 PIN diode를 적용할 수 있는 주파수 reconfigurable 슬롯 안테나를 제안하였다. 안테나의 기본적인 구조는 그림 1에 나타나 있다.

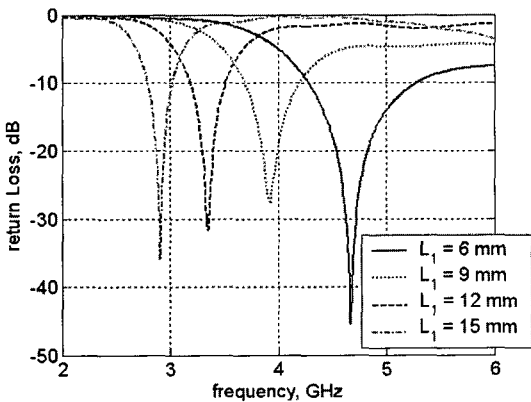
제안된 안테나는 두께가 1.6 mm이고 유전율(ϵ_r)이 4.5인 FR4-Epoxy 기판을 사용하였으며, 넓은 슬롯과 좁은 슬롯으로 구성되었다. 넓은 슬롯은 슬롯의 면적을 크게 하는 동시에 좁은 슬롯과 연결될 수 있도록 삼각형 구조로 되어 있다. 넓은 슬롯의 면적이 크기 때문에 제안된 안테나는 일반적인 슬롯 안테나보다 대역폭을 확장시킬 수 있으며, 좁은 슬롯은 그 폭이(W_1) 매우 작기 때문에 PIN diode가 연결될 수 있다.

넓은 슬롯의 폭(W_2)과 안테나의 대역폭 간의 관계는 그림 2(a)에 잘 나타나 있다. 그림 2(a)에는 넓은 슬롯의 폭(W_2)이 5 mm부터 30 mm까지 변하면서 그에 따른 안테나의 반사 손실 값이 나타나 있으며, 넓은 슬롯의 폭(W_2)이 증가할수록 중심 주파수는 거의

일정한 값을 가진 채 대역폭이 넓어지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 팻 다이폴 안테나와 마찬가지로 슬롯의 넓이가 넓어질수록 안테나의 임피던스의 변동이 작아지기 때문에 발생하는 것이며, 넓은 슬롯의 폭(W_2)이 10 mm보다 커질 경우에는 대역폭의 증가량이 점점 작아지는 것을 알 수 있다. 이때 넓은 슬롯의 폭(W_2)이 너무 넓어질 경우 안테나의 크기가 커지고 다른 주파수 대역에서의 매칭에 영향을 주기 때문에 적당한 폭을 설정하는 것이 중요하다. 또한 주파수 reconfigurable 특성은 그림 2(b)에서 확인할 수 있다. 슬롯 안테나의 중심 주파수는 안테나의 공진 길이와 관계가 있으며 제안된 안테나의



(a) 넓은 슬롯의 폭(W_2) 변화
(a) Change of the width of the wide slot(W_2)



(b) 좁은 슬롯의 길이(L_1) 변화
(b) Change of the length of the narrow slot(L_1)

그림 2. 안테나 파라미터들의 변화에 따른 반사 손실 변화

Fig. 2. Variation of the return loss according to changing antenna parameters.

공진 길이는 넓은 슬롯과 좁은 슬롯의 길이의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 PIN diode를 이용하여 좁은 슬롯의 길이를 조절함으로써 제안된 안테나의 중심 주파수를 바꿀 수 있다. 그림 2(b)는 좁은 슬롯의 길이(L_1)가 6 mm부터 15 mm까지 변하면서 중심 주파수의 변화를 나타내며, 슬롯의 길이가 커질수록 안테나의 중심 주파수는 점점 낮아짐을 확인할 수 있다.

일반적인 슬롯 안테나에서 슬롯의 한쪽 길이가 줄어들게 되면, 슬롯 내의 급전선의 위치가 변하게 된다. 슬롯 안테나는 자계 결합(magnetic coupling)을 이용하여 전자장을 방사하기 때문에 급전선과 슬롯의 구조가 임피던스 정합에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 슬롯의 길이에 따른 임피던스 정합의 변화를 최소화하기 위하여 슬롯은 그림 1과 같이 직각으로 구부러진 형태가 되었으며, T-자형 급전선을 가지게 되었다. 또한 전자기장을 잘 방사하고 좌우 대칭인 방사 패턴을 얻기 위하여 두 개의 슬롯을 가지도록 하였다.

PIN diode의 위치는 그림 3에 표시되어 있다. 좁은 슬롯의 폭(W_1)이 0.5 mm이기 때문에 PIN diode는 제안된 안테나에 쉽게 연결될 수 있다. PIN diode에 순방향 전압이 인가되면 PIN diode가 동작을 하게 되고, PIN diode의 내부 저항 값이 매우 작아져 전류가 잘 통하게 된다. 따라서 좁은 슬롯의 길이는 변하게 되며, 결국 안테나는 주파수 변화 특성을 가지게 된다.

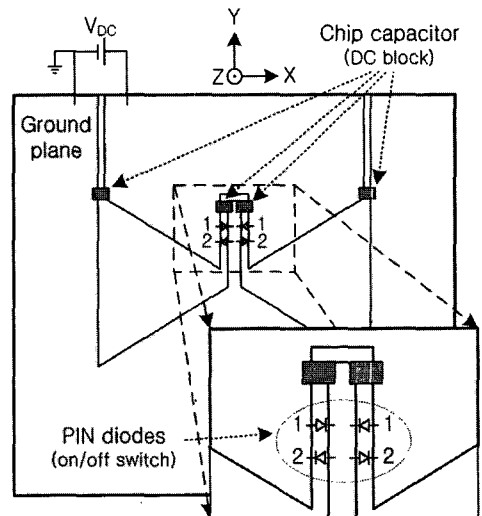


그림 3. PIN diode의 위치
Fig. 3. Location of PIN diodes.

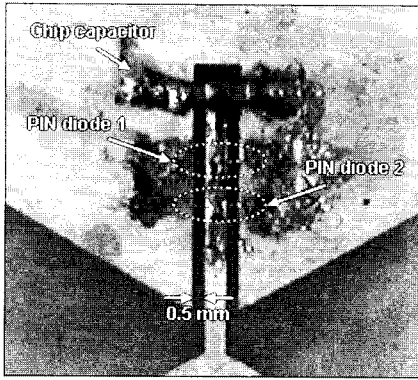


그림 4. 제작된 안테나의 사진
Fig. 4. Picture of the proposed antenna.

다. 더욱이 그림 3에 나타난 것과 같이 1번 PIN diode와 2번 PIN diode는 서로 반대 방향으로 놓여 있다. 따라서 V_{DC} 가 양의 값을 가질 때는 PIN diode 1이 동작하게 되며, V_{DC} 가 음의 값을 가질 때는 PIN diode 2가 동작하게 된다. 결국 제안된 안테나에서 모든 PIN diode는 하나의 바이어스 라인(bias line) 통하여 동작시킬 수 있게 된다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

이번 연구에서 사용된 PIN diode는 Alpha사에서 제작된 DSG6405-004이다. PIN diode는 $0.76 \times 0.2 \text{ mm}^2$ 의 크기를 가지고 있으며 매우 작으며 접합 용량(junction capacitance)을 가지고 있다. 시뮬레이션은 CST사의 Microwave studio(MWS)를 이용하여 수행되었으며, 제작 및 측정을 통해 그 결과가 비교되었다. 제작된 안테나의 사진은 그림 4에 나타나 있으며 칩 캐패시터와 PIN diode 등이 각각 표시되어 있다.

시뮬레이션 및 측정된 반사 손실 값은 그림 5에 나타나 있으며 중심 주파수와 대역폭이 표 1에 정리되어 있다. 표 1에 나타나 있는 시뮬레이션 결과에 의하면 중심 주파수는 각각 3.43 GHz, 3.92 GHz, 4.55 GHz이며, 모든 동작 주파수 대역에서 10.2% 이상의 넓은 대역폭을 만족하는 것을 알 수 있다. 또한 측정된 반사 손실은 시뮬레이션 결과와 매우 일치한다. 이것은 PIN diode의 접합 용량의 값이 매우 작아서 안테나의 중심 주파수에 거의 영향을 주지 않기 때문이다. 또한 PIN diode의 크기가 매우 작기 때문에 슬롯 위에 위치하였을 때에도 슬롯의 방사 면을 막

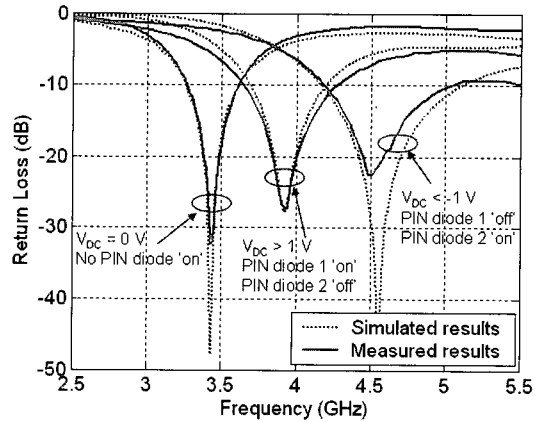


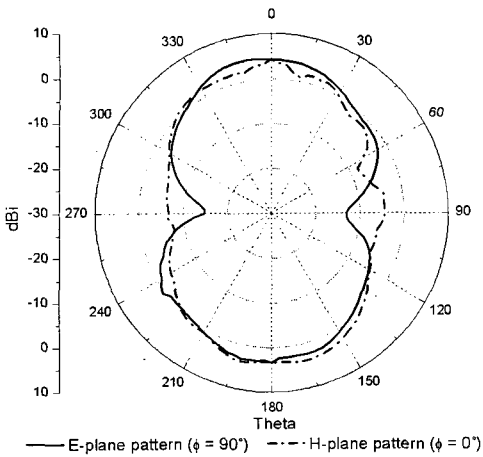
그림 5. 제안된 안테나의 반사 손실
Fig. 5. Return loss of the proposed antenna.

표 1. 제안된 안테나의 중심 주파수 및 대역폭
Table 1. Center frequencies and bandwidths of the proposed antenna.

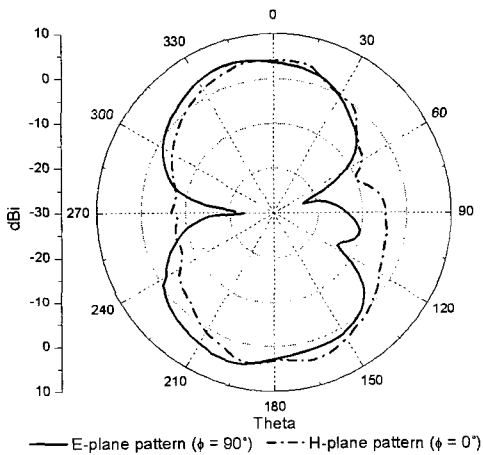
State	Simulated results		Measured results	
	Center frequency	Impedance bandwidth	Center frequency	Impedance bandwidth
No PIN diode 'on'	3.43 GHz	350 MHz (10.2 %)	3.43 GHz	360 MHz (10.5 %)
PIN diode 1 'on' PIN diode 2 'off'	3.92 GHz	500 MHz (12.8 %)	3.92 GHz	630 MHz (16.7 %)
PIN diode 1 'off' PIN diode 2 'on'	4.55 GHz	940 MHz (20.6 %)	4.5 GHz	870 MHz (19.3 %)

는 현상이 거의 발생하지 않는다. 따라서 중심 주파수와 임피던스 정합 및 대역폭이 시뮬레이션 값과 거의 일치하게 된다.

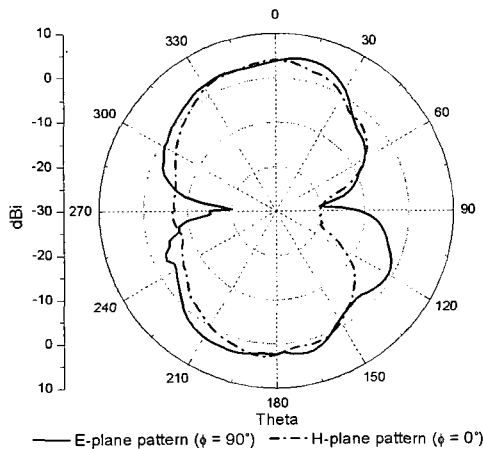
그림 6은 제안된 안테나의 측정된 방사 패턴을 나타낸다. 각각 3.43 GHz, 3.92 GHz, 4.55 GHz에서의 E-plane과 H-plane 패턴을 나타내며, 제안된 안테나는 양 방향성의 패턴(bidirectional pattern)을 가지며 모든 주파수에서 유사한 형태의 패턴을 가짐을 확인할 수 있다. 제안된 안테나의 주파수에 따른 최대 이득이 그림 7에 나타나 있다. 그림 7에는 V_{DC} 의 값에 따른 안테나의 최대 이득이 모두 표시되어 있으며 각각의 동작 주파수 대역에서의 최대 이득이 굵은 실



(a) $f = 3.45 \text{ GHz} (V_{DC} = 0 \text{ V})$



(b) $f = 3.92 \text{ GHz} (V_{DC} > 1 \text{ V})$



(c) $f = 4.55 \text{ GHz} (V_{DC} < -1 \text{ V})$

그림 6. 제안된 안테나의 방사 패턴
Fig. 6. Radiation pattern of the proposed antenna.

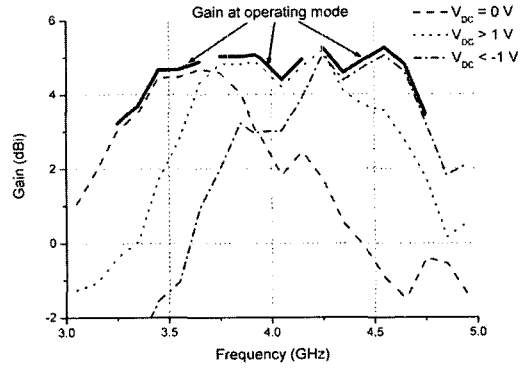


그림 7. 제안된 안테나의 최대 이득
Fig. 7. Maximum gain of the proposed antenna.

선으로 표시되었다. 그림 7의 결과에 따르면 제안된 안테나는 모든 동작 주파수 대역에서 최대 이득이 약 3 dBi~5 dBi 사이의 값을 가지며 거의 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 대역폭 확장 특성을 가지는 주파수 reconfigurable 슬롯 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 넓은 슬롯과 좁은 슬롯이 결합된 형태이며, PIN diode를 장착할 수 있는 동시에 넓은 대역폭을 가질 수 있는 구조이다. 제안된 안테나는 넓은 슬롯을 이용하여 대역폭을 확장할 수 있으며, PIN diode에 인가되는 전압에 따라 동작 주파수를 변화시킬 수 있다. 제안된 안테나는 3.43 GHz, 3.92 GHz, 4.55 GHz의 세 주파수에서 동작하도록 설계되었으며 시뮬레이션 및 측정을 통하여 각 주파수 대역에서 10.5%, 16.7%, 19.3%의 광대역 특성을 얻었다. 또한 PIN diode의 크기와 접합 용량이 매우 작기 때문에 측정된 반사 손실은 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 값을 얻었으며, 측정된 방사 패턴 및 최대 이득을 분석한 결과 제안된 안테나는 모든 동작 주파수 대역에서 방사 패턴과 이득이 거의 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] A. Alexiou, M. Haardt, "Smart antenna technologies for future wireless systems: trends and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 9, pp.

- 90-97, Sep. 2004.
- [2] G. D. Durgin, *Space-Time Wireless Channels*, Prentice Hall, pp. 233-265, 2003.
- [3] K. Chang, *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, Wiley-interscience, vol. 5, pp. 4405-4417, 2005.
- [4] B. A. Cetiner, H. Jafarkhani, J. Y. Qian, H. J. Yoo, A. Grau, and F. D. Flaviis, "Multifunctional reconfigurable MEMS integrated antennas for adaptive MIMO systems", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 12, pp. 62-70, Dec. 2004.
- [5] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, "A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 12, no. 3, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [6] D. Peroulis, K. Sarabandi, and L. P. D. Katehi, "Design of reconfigurable slot antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 2, pp. 645-654, Feb. 2005.
- [7] D. E. Anagnostou, G. Zheng, S. E. Barbin, M. T. Chryssomallis, J. Papapolymerou, and C. G. Christodoulou, "An x-band reconfigurable planar dipole antenna", *SBMO/IEEE MTT-S International Conference on Microwave and Optoelectronics*, pp. 654-656, Jul. 2005.
- [8] N. Behdad, K. Sarabandi, "A varactor-tuned dual-band slot antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 2, pp. 401-408, Feb. 2006.
- [9] M. G. Bray, D. H. Werner, "A broadband open-sleeve dipole antenna mounted above a tunable EBG AMC ground plane", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 1147-1150, Jun. 2004.
- [10] E. R. Brown, "RF-MEMS switches for reconfigurable integrated circuits", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 46, pp. 1868-1880, Nov. 1998.

이 우 성



2005년 2월: 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)
 2005년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Reconfigurable 안테나, RFID, 소형 안테나

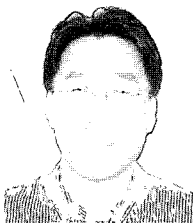
윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
 1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC

김 형 락



2000년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2002년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2006년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2006년 3월~현재: 연세대학교 Radio Communication Research Center(RCRC) 및 Center for Advanced RFID/USN Technologies(CARUT) post-doctor research fellow

[주 관심분야] 능동 안테나, UWB RF front-end 시스템, RF 소자