

근접 유전체에 의한 성능 열화가 적은 광대역 프린팅 태그 안테나 설계

Design of a Broadband Printing RFID Tag Antenna with Low Performance Degradation Due to Nearby Dielectric Material

지성환 · 한원근* · 박익모** · 추호성

Sunghwan Ji · Wone Keun Han* · Ikmo Park** · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 주변 유전체에 의한 성능 열화가 적고 잉크 프린팅 기법에 적합한 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 PET 기판 위에 잉크 프린팅 기법으로 제작되어 대량 생산에 용이하며, 범용 RFID 사용 주파수(860~960 MHz)를 만족시키고 주변 유전물질의 영향에 의한 성능 변화를 최소화 할 수 있도록 설계하였다. 제안된 태그 안테나는 본체 중앙부에 T 정합회로를 사용하고 미앤더 구조와 직선 구조의 보조 선로 2개를 본체 상단에 삽입하여 캐패시티브 결합을 이용해 태그 칩과의 임피던스 공액 정합이 쉽게 이루어지도록 하였다. 또한, 2개의 보조 선로가 각각 다른 부차 물체의 유전율에서 상호 보완적으로 전류를 유기시키도록 하여 주변 유전물질의 영향에 의한 성능 변화가 최소화 되도록 설계하였다. 측정 결과, 제안된 안테나는 844~1,268 MHz의 대역폭에서 반전력 반사 손실을 만족하였으며, 송신 출력이 20 dBm이고, 안테나 이득이 6 dBi인 리더 안테나를 사용하였을 때 자유공간에서 3.5 m의 인식 거리 성능을 보였다. 또한, 나무($\epsilon_r=2.2$)와 FR4($\epsilon_r=4.3$) 같은 유전율을 가지는 물질에 부착 후 인식 거리를 측정한 결과 각각 2.61 m와 2.51 m의 인식 거리 성능을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a RFID tag antenna with low performance degradation due to nearby dielectric materials. The proposed antenna is designed to be appropriate for ink printing fabrication. The antenna is designed to operate in UHF band of 860~960 MHz. The antenna uses a T-matching network in the middle of the main body and two parasitic patches in vicinity for complex conjugate matching with a commercial tag chip. In addition, the two parasitic patches induce currents at different dielectric constants of nearby dielectric materials. This can minimize the performance degradation due to nearby dielectric materials.

The measured results show the half power matching bandwidth from 844 MHz to 1,268 MHz. It exhibits the reading distance of about 3.5 m in free space when the tag antenna is used with the commercial reader antenna (transmitting power of 20 dBm and the reader antenna gain of 6 dBi). When the tag is attached on dielectric materials of wood and FR4, the resulting reading distances are 2.61 m and 2.51 m, respectively.

Key words : RFID Tag Antenna, INK Printing Tag, Capacitive Loading, Broadband

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2009-F-042-01, 내장형 안테나 어레이 기반의 차세대 차량용 이동통신 시스템 기술 연구].」

「본 연구는 (주)한국후지필름의 지원 하에 이루어졌음.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*홍익대학교 물리학과(Department of Physics, Hongik University)

**아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20090529-04S

· 수정완료일자 : 2009년 8월 25일

I. 서 론

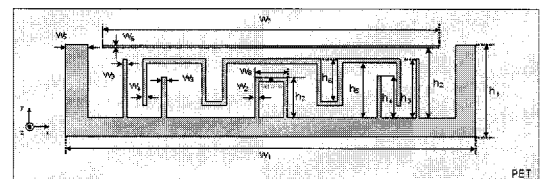
RFID(Radio Frequency Identification)는 초소형 IC 칩이 부착된 태그와 태그의 정보를 전달받는 리더로 구성되며, 물류 관리 시스템, 전자 화폐, 보안 관리 시스템 등에 활용되는 유비쿼터스 네트워크 환경 구현을 위한 중요한 기술로 인식되고 있다^{[1],[2]}. 특히 RFID 시스템의 태그는 사용 목적 및 부착될 제품에 따라 적합한 성능과 형상을 가져야 하므로 다품종 맞춤 생산에 빠르게 대응할 수 있는 태그 생산기법이 요구되고 있다. 최근 전도성 잉크를 이용한 인쇄 방식의 태그 생산 기법이 활발히 연구되고 있으며, 이런 인쇄 방식은 프린터에 입력값 변환만으로도 쉽게 새로운 형상의 태그를 생산할 수 있으므로 기존에 많이 활용되던 에칭 기법에 비해 다품종 소량 생산에 유리한 면을 가진다. 그러나 인쇄 방식으로 생산된 태그는 전도성 잉크의 제한된 전도도로 인해 안테나 복사 효율이 낮아 인식 거리가 줄어드는 문제점을 보인다^{[3]~[6]}. 또한 인쇄 방식으로 제작된 태그는 좁은 대역폭 특성을 가져 물체에 부착시 물체의 전기적 성질에 의해 안테나의 공진 주파수가 변화하여 인식 성능의 열화가 발생한다.

본 논문에서는 주변 유전체에 의한 성능 열화를 최소화 하면서도 인쇄 방식에 적합한 광대역 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 인쇄 방식으로 제작이 용이하도록 전도성 잉크 프린팅 해상도를 고려하여 안테나 각 부위 선폭의 최소 두께를 0.2 mm 이상이 되도록 설계 변수를 제한하였고, 전도성 잉크의 전도도를 고려하여 인쇄되는 잉크의 두께를 0.05 mm 이상으로 설정하였다. 또한 부착되는 물체의 유전율에 의한 성능 열화를 최소화 하기 위해 안테나 본체에 캐패시티브 결합으로 연결된 미앤더 형태의 보조 선로와 직선 형태의 보조 선로를 삽입하였다. 이 두 보조 선로는 태그가 유전율을 가지는 물체에 부착되었을 때, 각각 다른 유전율에서 활성화 되도록 하여, 태그의 근접 유전체에 의한 성능 열화를 최소화할 수 있도록 하였다. 캐패시티브한 성격을 지니는 태그 칩과의 임피던스 정합을 위해 T 정합회로를 삽입하였으며, 이러한 다수의 설계 변수를 최적화하기 위해 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하였다^{[7]~[10]}. 최적 설계된 태그 안테나를

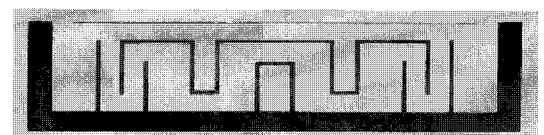
0.05 mm의 두께를 가지는 PET(polyethylene, $\epsilon_r=2.4$, $\tan \delta=0.016$) 기판 위에 인쇄하여 제작하였으며, 측정 결과 자유공간에서 반사 손실은 반전력 대역폭을 844~1,268 MHz 구간에서 만족하였으며, 자유 공간에서 송신 출력이 20 dBm이고, 안테나 이득이 6 dBi 인 리더 안테나를 사용하였을 때 약 3.5 m의 인식 거리 성능을 보였다. 각각 다른 유전율을 가지는 나무($\epsilon_r=2.2$), FR4($\epsilon_r=4.3$)와 같은 근접 유전체에 부착된 경우에도 정면 방향에서 약 2.5~2.6 m의 인식 거리 성능을 보였다.

II. 안테나 구조 및 최적화

그림 1은 제안된 태그 안테나의 구조를 보여준다. 제안된 태그 안테나는 주 복사부에 해당하는 본체와 1차 보조 선로 및 2차 보조 선로로 구성된다. 2개의 보조 선로는 2중 공진을 발생시켜 안테나가 광대역에서 정합되도록 하였으며, 커패시티브한 태그 칩과의 공액 정합을 위해 T 정합회로를 본체 중앙에 삽입하였다^[11]. T 정합회로의 상단 중앙에는 912 MHz에서 $25-j150$ 의 입력 임피던스를 가지는 Impinj사의 Monza3 전자 칩을 장착하였다^[12]. 특히 2개의 보조 선로는 태그가 유전율을 가지는 물체에 부착되었을 때 각각 다른 유전율에서 동작하도록 길이와 본체와의 거리를 조절하여, 주변 유전체에 의한 성능 열화를 최소화 할 수 있도록 하였다. 안테나 본체와 1차



(a) 정면도.
(a) Top view



(b) 실제 사진
(b) Photograph of fabricated tag antenna

그림 1. 제안된 태그 안테나의 구조 및 형상
Fig. 1. Geometry of the proposed RFID tag antenna.

보조 선로의 양쪽 끝부분은 커패시티브 결합을 강하게 하기 위해 미앤더 형상을 사용하였다. 따라서 안테나 본체와 1차 보조 선로 사이의 거리를 조절하면 쉽게 커패시티브 결합 세기를 변화시킬 수 있으며, 다양한 입력 임피던스를 가지는 태그 칩에 정합을 용이하게 할 수 있다. 생산 비용 절감을 위해 인쇄용 기판은 PET(polyethylene, $\epsilon_r=2.4$, $\tan \delta=0.016$)를 사용하였고, 안테나 선로의 너비는 프린터의 해상도를 고려하여 0.2 mm 이상이 되도록 하였다.

제안된 안테나의 최적화된 설계변수($w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7$)는 FEKO시뮬레이션 툴^[13]을 Pareto 유전자 알고리즘과 연동시켜 도출하였으며, 최적화된 설계변수를 표 1에 나타내었다. Pareto 유전자 알고리즘에서 최적화의 방향을 설정하는 비용 평가 함수로 대역폭을 증가시키는 함수와 사용 잉크량을 줄이는 함수를 식 (1)과 (2)에 정리하였다.

$$\text{Cost 1} = 1 - \frac{BW \times \text{Eff}}{BW_{\text{RFID}}} \quad (1)$$

$$\text{Cost 2} = \text{Printed surface area} \quad (2)$$

Cost 1은 제안된 안테나의 주파수 대역폭과 효율이 최적화 되는 설계변수를 찾으려 하였으며, 여기서 BW_{RFID} 는 UHF RFID 주파수 대역폭인 10%를 의미하고, BW는 설계된 안테나의 반전력 대역폭($VSWR < 5.8$)을 의미하며, Eff는 안테나의 복사효율을 의미한다. Cost 2는 태그를 인쇄 기법으로 제작할 경우 사용되는 잉크량을 최소화하도록 하며, 전도성 잉크의 사용량으로 정의하였다.

III. 측정 결과 및 동작원리 분석

최적화된 안테나의 성능을 알아보기 위해 안테나를 제작하여 측정된 후 시뮬레이션과 비교해 보았다.

표 1. 안테나의 설계 변수(단위: mm)
Table 1. Design parameters for the antenna(Unit: mm).

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
99.8	1.0	1.0	1.0	5.0	0.4	82	8.2
h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	
26.9	21.3	17.5	12.5	16.5	12.4	12.1	

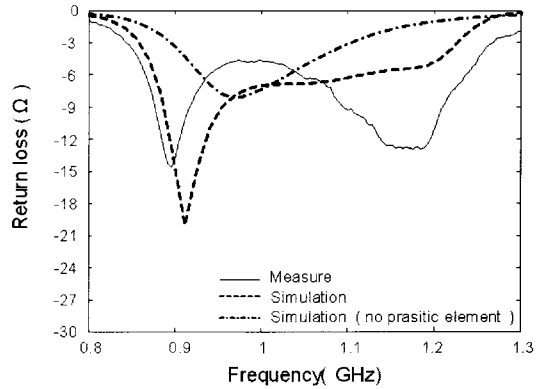


그림 2. 제안된 안테나의 반사 손실
Fig. 2. Return loss of the proposed tag antenna.

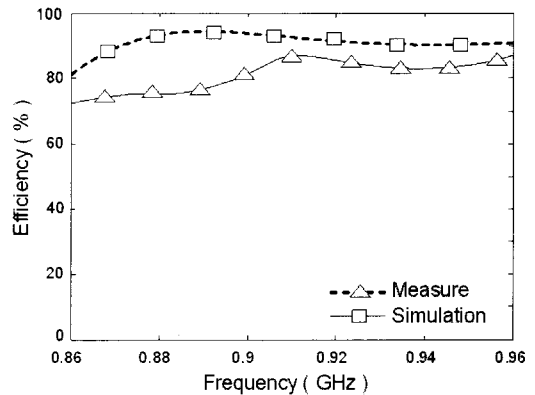
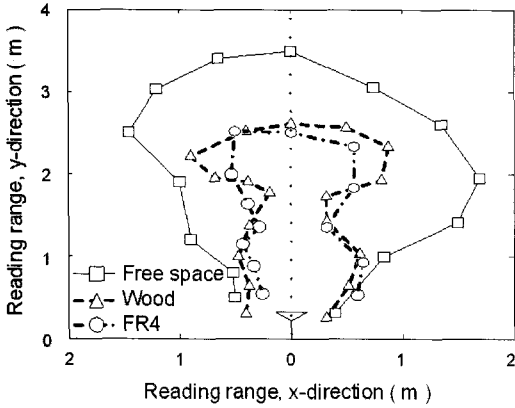


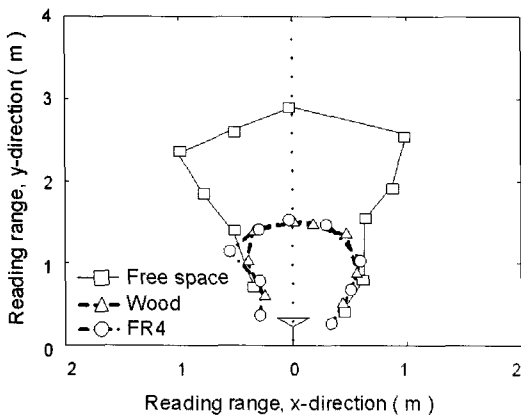
그림 3. 제안된 안테나의 복사 효율 특성
Fig. 3. The efficiency of the proposed tag antenna.

그림 2는 자유공간에서의 측정값과 시뮬레이션 값의 반사 손실을 보여주고 있다. 안테나의 임피던스는 영상법(image theory)을 적용하여 측정하였으며, 실선은 측정 결과이며 점선은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 여기서 일점 쇄선은 안테나 형상에서 보조 선로 2개를 제거하였을 때 시뮬레이션 결과를 의미한다. 시뮬레이션 결과를 보면, 보조 선로가 2중 공진을 이용하여 광대역 특성을 가지도록 함을 알 수 있으며, 반전력 대역폭을 844~1,268 MHz 구간에서 만족하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3에서는 최적화된 태그 안테나의 복사 효율을 시뮬레이션 결과값과 비교하였다. 안테나 효율측정은 Wheeler cap 방식^[14]을 사용하였으며, 860 MHz에서 960 MHz 사이에선 70% 이상의 복사효율을 보



(a) 제안된 안테나의 인식 거리
(a) Reading range of the proposed tag antenna



(b) 다이폴 안테나의 인식 거리
(b) Reading range of the dipole antenna

그림 4. 인식 거리 측정
Fig. 4. Measurement of the reading range.

였으며, 동작 주파수 대역에서는 80 % 이상의 효율을 보였다. 측정값과 시뮬레이션 결과값의 형상은 유사하나 값이 대략 10 % 정도 차이가 나는 이유는 안테나를 도체로 차폐시키는 과정에서 발생한 오차와 시뮬레이션 상에서의 무한 기판 설정으로 인한 것으로 사료된다.

그림 4는 태그 안테나를 유전율이 다른 물체에 부착하였을 때의 인식 거리 성능을 측정된 그림이다. 자유공간에서의 인식 거리는 '□'로 나타내었으며, 나무($\epsilon_r=2.2$)와 FR4($\epsilon_r=4.3$)에 태그를 부착하였을 때 인식 거리는 각각 '△'와 '○'로 표시하였다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 제안된 태그 안테나와 다이폴 태그 안테나의 인식 거리를 측정된 결과이며, 다이폴 태

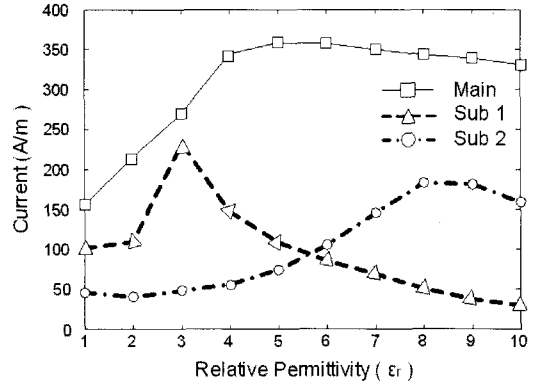


그림 5. 유전율에 따른 전류 유기
Fig. 5. Current distributions vs. relative permittivity.

그 안테나의 경우 유전율을 가지는 물체에 태그를 부착하였을 때 최대 인식 거리의 51 %의 인식 거리를 가지는 반면에 제안된 안테나의 경우는 최대 인식 거리의 74 %의 인식 거리를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 제안된 태그 안테나를 유전율이 다른 물체에 부착하였을 때 다이폴 형태의 태그 안테나보다 성능 열화가 적음을 의미한다.

제안된 태그 안테나의 동작 원리를 분석하기 위해 보조 선로에 유기되는 전류를 시뮬레이션을 하였다. 두께나 모양이 같고 유전율만 다른 물체 위에 태그를 부착시킨 상태에서 각 보조 선로에 흐르는 전류의 양을 확인해 보았으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. '□'는 본체에 흐르는 전류이고, '△'는 1차 보조 선로에, 그리고 '○'는 2차 보조 선로에 흐르는 전류를 나타낸다. 본체에 흐르는 전류는 부착 물질에 크게 영향을 받지 않고 일정한 것에 반해 1차 보조 선로와 2차 보조 선로에 흐르는 전류의 양은 유전율의 변화에 따라 서로 역전되는 것을 볼 수 있다. 이는 2개의 보조 선로가 물체에 부착되었을 때 서로 다른 유전율에서 활성화되어, 부착 물체의 유전율이 변화하더라도 두 보조 선로에 유기되는 전류의 합이 일정하게 유지되어 근접 유전체에 의한 성능 열화를 최소화하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 제안된 태그 안테나를 나무($\epsilon_r=2.2$)와 FR4($\epsilon_r=4.3$)에 부착시켰을 때 측정된 반사 손실을 보여주며 주변 유전율의 변화에 의해 동작 주파수의 이동현상이 발생하여도 -3 dB 이상의 반사 손실을 유지함을 보여준다. 그림 7은 제안된 태그 안테나의

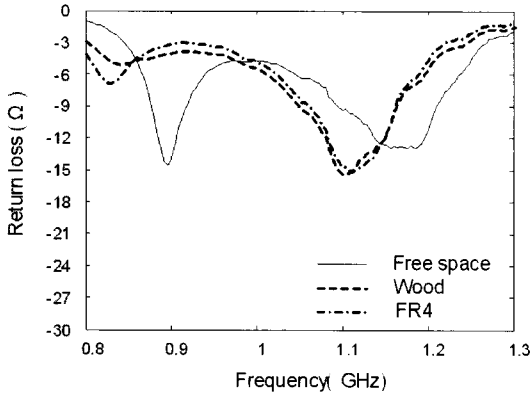
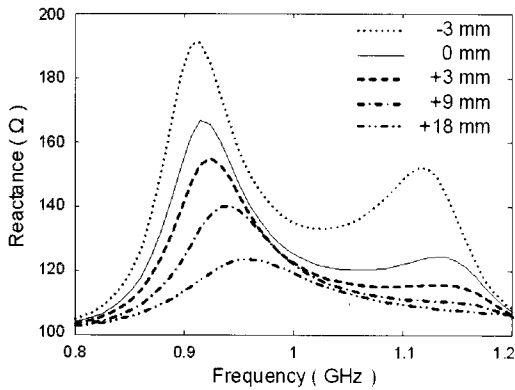
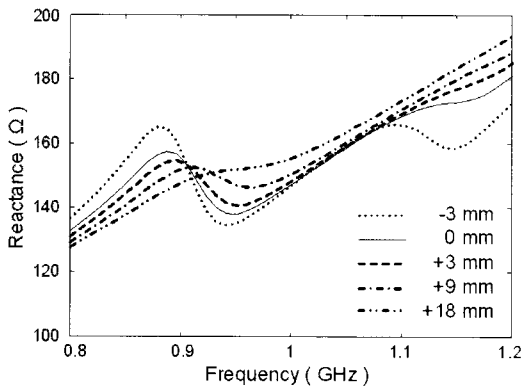


그림 6. 부착 물질에 따른 반사 손실 측정
Fig. 6. Measured return loss with nearby dielectric materials.



(a) 보조 선로와의 거리에 따른 입력 저항
(a) Input resistance vs. distance with the parasitic patch



(b) 보조 선로와의 거리에 따른 입력 리액턴스
(b) Input reactance vs. distance with the parasitic patch

그림 7. 보조 선로와의 거리에 따른 입력 임피던스 변화
Fig. 7. Input impedance vs. distance with the parasitic patch.

보조 선로와 본체와의 거리에 따른 입력 임피던스의 변화를 보여준다. 보조 선로와 본체 사이의 거리가 가까워질수록 입력 저항과 입력 리액턴스가 증가되는 특성을 보이며, 이러한 특성을 이용하면 보다 쉽게 커패시티브 임피던스를 가지는 상용 태그 칩과 공액 정합을 도출할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주변 유전체에 의한 성능 열화를 최소화 하면서도 인쇄 방식에 적합한 광대역 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 본체와 미앤더 형상의 1차 보조 선로와 직선 형태의 2차 보조 선로, T 정합회로로 구성되었으며, 약 25-j150의 입력 임피던스를 가지는 Impinj사의 Monza3 전자 칩과 공액 정합시켰을 경우 844~1,268 MHz의 구간에서 반전력 반사 손실을 만족하였다. 안테나의 복사 효율은 UHF RFID 전대역에서 70% 이상이며, 중심 주파수인 912 MHz에서는 80% 이상의 효율을 보였다. 두 개의 보조 선로에 유기되는 전체 전류는 부착물질의 유전율의 변화에도 비교적 일정하게 유지되어 성능 열화가 최소화됨을 확인하였다. 송신 출력이 20 dBm이고 안테나 이득이 6 dBi인 리더 안테나를 사용하여 인식 거리 성능을 측정하였을 때 자유공간에서 3.5 m의 인식 거리 성능을 보였으며, 나무($\epsilon_r=2.2$)와 FR4($\epsilon_r=4.3$) 같은 유전율을 가지는 물질에 부착 후 인식 거리를 측정하였을 때 각각 2.61 m와 2.51 m의 인식 거리 성능을 보였다. 측정 결과는 저가 다품종 소량 생산에 보다 적합한 인쇄 기법의 태그 안테나 설계에 활용이 가능함을 확인시켜 준다.

참 고 문 헌

- [1] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학회지 전자파기술, 15(2), pp. 21-31, 2004년 4월.
- [2] 변상기, "RFID Tag 기술", 한국전자과학회지 전자파기술, 15(2), pp. 32-43, 2004년 4월.
- [3] J. Siden, M. K. Fein, A. Koptuyg, and H. E. Space Nilsson, "Printed antennas with variable conductive ink layer thickness", *IET Microwave Antennas Pro-*

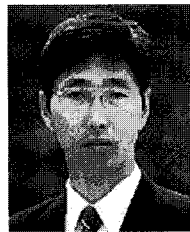
- pagat.*, vol. 1, no. 2, pp. 401-407, Apr. 2007.
- [4] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Printed symmetric inverted-F antenna with a quasi-isotropic radiation pattern", *Microwave Optical Technol. Lett.*, vol. 50, no. 4, pp. 927-930, Apr. 2008.
- [5] S. Lim, Y. Oh, H. Lim, and N. Myung, "Compact wideband tag antenna for UHF RFID", *Microwave Optical Technol. Lett.*, vol. 51, no. 5, pp. 1291-1294, May 2009.
- [6] Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., Wiley: New York, 2003.
- [7] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [8] N. Srinivas, K. Deb, "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithm", *J. Evolutionary Computation*, vol. 2, pp. 221-248, 1995.
- [9] J. Horn, N. Nafpliotis, and D. E. Goldberg, "A niched Pareto genetic algorithm for multi-objective optimization", *Proc. First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, 1994.
- [10] T. Hiroyasu, M. Miki, and S. Watanabe, "The new model of parallel genetic algorithm in multi-objective optimization problems-divided range multi-objective genetic algorithm", *Proc. 2000 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 333-340, 2000.
- [11] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [12] <http://www.impinj.com>, "Monja tag chips".
- [13] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.4".
- [14] 조치현, 추호성, 박익모, 강진섭, "유전자 알고리즘을 사용한 안테나 고차 변압 회로 구성 변압 회로를 사용한 Wheeler Cap 효율 측정법", 한국전자과학회논문지, 17(8), pp. 753-759, 2006년 8월.

지 성 환



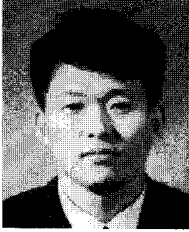
2006년 2월: 홍익대학교 전자전기공학
학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자
정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] RFID용 태그 및 리더
안테나 설계

한 원 근



1982년: 서울대학교 물리학과 (이학
사)
1984년: 서울대학교 물리학과 (이학
석사)
1986년: 브라운대학교 물리학과 (이
학석사)
1991년 브라운대학교 물리학과 (이
학박사)
1991년~현재: 홍익대학교 물리학과/기초과학과 부교수
[주 관심분야] 전산물리학

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자 공학과 (공학사)

1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)

1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 (공학박사)

1994년~1996년: LG전자기술원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)

2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)

2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)

2003년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나