

# 고 전도율과 고 유전율 물질에 부착 가능한 RFID 태그 안테나

## RFID Tag Antenna Mountable on High-Conductivity and High Permittivity an Materials at UHF Band

권 홍 일 · 이 범 선

Hong-Il Kwon · Bom-Son Lee

### 요 약

본 논문에서는 UHF 대역용(911 MHz) 태그로 금속체 부착 가능한 태그로써 PIFA 형태를 채택하여, 50×30×4 mm의 크기로 칩의 임피던스(77-j100 Ω)와 공액 정합이 되는 태그 안테나를 설계 및 제작하였다. RFID 태그로부터 backscattering 되는 필드, 즉 RCS(Radar Cross Section)을 통해 태그 안테나의 성능을 평가하였다. 제안된 태그 안테나는 칩의 임피던스에 쉽게 정합시킬 수 있는 간단한 구조이고, foam을 이용하여 저가에 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. RCS 값이 칩이 단락일 때 RCS 값은 -21 dBm<sup>2</sup>이고, 정합일 때는 -10.2 dBm<sup>2</sup>로 효율적인 RCS 특성을 가지고 있다.

### Abstract

In this paper, we design a UHF band RFID tag antenna which is conjugate matched to an impedance of a chip and also mountable on conductive materials. The proposed tag antenna is very compact(50×30×4 mm) with a modified PIFA shape. The proposed tag antenna has an advantage of easy matching to various chip input impedances. The performance of the antenna is evaluated by monitoring RCS in the reader direction. The RCS of the designed tag is -10.2 dBm<sup>2</sup> when the chip is shorted and is -21 dBm<sup>2</sup> when the chip impedance is a complex conjugate of the antenna impedance.

Key words : RFID, Tag, RCS, Antenna

## I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 사물에 부착된 태그를 이용하여 그 사물들의 정보나 주변 상황 정보를 감지하는 무선 인식 기술이며, 이는 현재 연구 개발이 활발히 진행되고 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 환경에 필수적인 요소일 뿐만 아니라 이를 통해 사람들의 생활할 곳곳에서 유용하고 편리하게 활용될 핵심 기술이라고 말할 수 있다. 최근 UHF 대역(911 MHz)을 중심으로 RFID 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 RFID 태그 안테나 구현

에 있어 가장 큰 어려움이 있는 부분은 전도성 물질에 부착 가능한 태그 형태 개발이다. 알루미늄 캔이나 금속 상자와 같은 전도성 물질은 안테나의 성능에 아주 크게 영향을 미치기 때문에 RFID 시스템을 구축하는데 많은 어려움이 있으며, 이런 환경 속에서도 특성의 열화가 없는 태그 안테나 구현이 무엇보다도 요구되고 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

본 논문에서는 전 세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 적합하다고 전망되고 있는 UHF 대역의 태그 설계에 중점을 두었으며, 특히 이 태그가 전도성 물질에 부착 가능한 구조인 PIFA(Planar Inverted-F An-

「이 논문은 2003년도 경희대학교 지원에 의한 연구결과임.」

경희대학교 전파공학과(Department of Radio Engineering, Kyunghee University)

· 논문 번호 : 20050521-04S

· 수정완료일자 : 2005년 7월 25일

tenna) 형태를 제안하였다. 그러나 기존에 연구된 PIFA 형태의 태그는 고 유전체를 사용하고 구조가 크며 복잡하여 저가 및 대량 생산이 어려운 실정이다<sup>[1],[3],[4]</sup>. 본 논문에서 제안된 PIFA형 태그는 크기 기준에 상용화된 제품보다 작고, 저가에 제작하는데 중점을 두었다.

## II. 태그의 등가 회로 및 RCS (Radar Cross Section)

### 2-1 RCS(Radar Cross Section)

그림 1은 UHF 대역 RFID 시스템에서 리더와 태그의 전력 전달 과정을 나타내었다. 리더에서 전송한 전력은 전력 밀도  $S$ 로 태그에 도달하며 여기서 산란되는 전력은  $P_s$ , 태그의 부하로 전송되는 전력은  $P_L$ 로 나타낼 수 있으며 여기서  $A_s$ 는 태그 안테나의 산란 면적,  $A_{e1}$ 과  $A_{e2}$ 는 리더와 태그의 유효 면적이고,  $G_1$ ,  $G_2$ 는 리더와 태그의 안테나 이득이며,  $r$ 은 거리이다.

산란된 전력은 다시 리더까지 반사되고 결국 리더 수신단에서의 수신 전력은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_1^2 A_s \lambda_0^2}{(4\pi)^3 r^4} \quad (1)$$

태그의 산란 면적(scattering aperture)  $A_s$ 는 RCS와 동일한 개념으로 볼 수 있다. 따라서 규격으로 고정된 송신 전력, 고정된 리더 안테나의 이득, 고정된 주파수, 고정된 리더와 태그의 거리인 경우의 수동

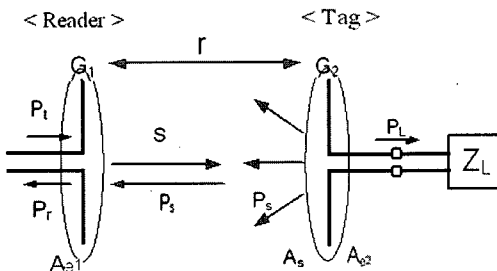


그림 1. RFID 시스템에서 리더와 태그의 전력 전달 과정

Fig. 1. Power transmission tag to reader for RFID system.

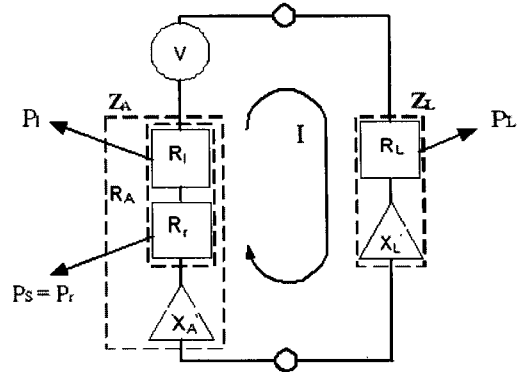


그림 2. 태그의 등가회로

Fig. 2. The equivalent circuit of tag antenna.

형 RFID 시스템에서, 태그의 산란면적( $A_s$ )의 변화는 리더에서 송신된 신호가 태그에 도달했다가 다시 리더로 되돌아오는 수신 전력의 변화로 볼 수 있으며 이를 통해 ASK 변조 및 정보 전달이 가능해진다.

### 2-2 태그의 등가 모델

그림 2는 태그의 등가 회로를 나타낸다.  $V$ 는 전계 결합으로 유도된 테브난 등가 전압(rms)이며  $Z_A$ 는 안테나의 임피던스를  $Z_L$ 은 칩(회로)의 임피던스를 나타낸다. 식 (2)의  $I$ 는 이 등가 회로를 흐르는 전류를 나타내며  $P_L$ 은 손실 저항  $R_L$ 에서의 손실 전력을 나타내며  $P_s$ 는 방사(산란) 전력을 나타낸다. 이 등가 회로에서 저항 손실이 아주 적다는 가정과 안테나의 임피던스와 칩의 임피던스가 공액 정합(complex conjugate)이 되었다는 가정으로 유효 면적과 산란 면적은 식 (3)과 (4)처럼 나타낼 수 있다<sup>[6]</sup>. 여기서  $S$ 는 태그에서의 입사 전력 밀도이다.

$$I = \frac{V}{\sqrt{(R_r + R_L)^2 + (X_A + X_L)^2}} \quad (2)$$

$$A_e(m^2) = \frac{V^2 \cdot R_L}{S \cdot (R_r + R_L)^2} \quad (3)$$

$$A_s(m^2) = \frac{V^2 \cdot R_r}{S \cdot (R_r + R_L)^2} \quad (4)$$

## III. 금속체 부착 가능한 태그

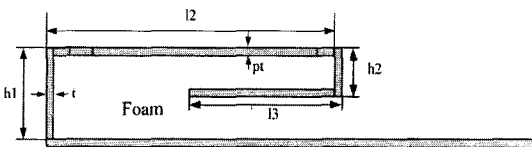
### 3-1 PIFA형 태그 안테나

태그 안테나가 전도성 물체에 전기적으로 가까이

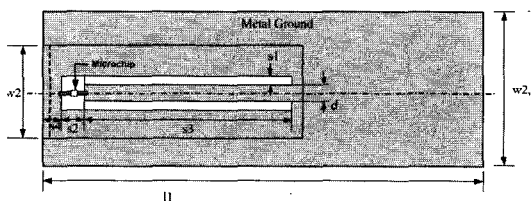
위치한 경우 방사 효율이 떨어지고, 반사 손실 및 방사 패턴도 변하게 된다<sup>[1]~[3],[7]</sup>. 그러나 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)와 같은 형태의 안테나는 일반적인 다이폴 형태보다 절반 정도 크기의 크기이며, 자체적으로 도체 면을 접지 면으로 사용하고 있기 때문에 전도성 물체에 부착하였을 때 안테나의 특성에 영향을 적게 받는다. 일반적으로 안테나는 특성 임피던스에 정합 가능하도록 50 Ω을 기준으로 설계되지만, 태그의 경우에는 일반적인 안테나와 다른 개념으로 설계해야 한다. 태그 안테나 크기 spec이 결정되면 그 크기로 최고의 산란 특성을 갖는 안테나 임피던스(또는 칩 임피던스)로 태그 안테나가 설계되어야 한다. 다시 얘기하면 최적의 칩 임피던스를 결정한 후, 이를 목표로 칩이 설계되어야 함을 의미한다. 일반적인 다이폴 안테나, PIFA 형 안테나는 이와 같이 다양한 입력 임피던스를 구현해야 하는 경우에 적합하지 않다. 또한, 일반적인 PIFA 형 동축선 급전 구조는 태그 안테나에 칩을 부착시키기가 어렵다.

그림 3은 일반적인 PIFA 구조에서 변형하여 새롭게 제안된 구조이다. 이 구조는 기존의 동축선 급전의 일반적인 PIFA 형태보다 평면형 가공이 용이하여 칩을 부착하기 쉬우며, 이는 대량 생산과 단가 절감을 의미한다.

또한 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값으로 임피던스 값을 다양하게 구현할 수 있어 부착될

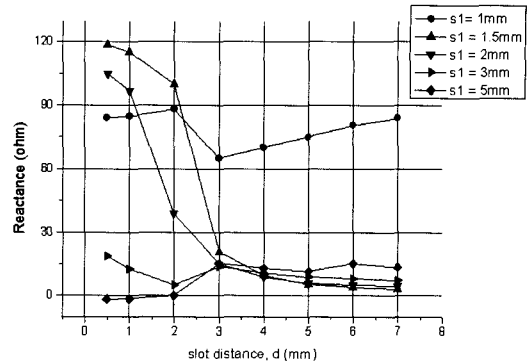


(a) 측면  
(a) Side view

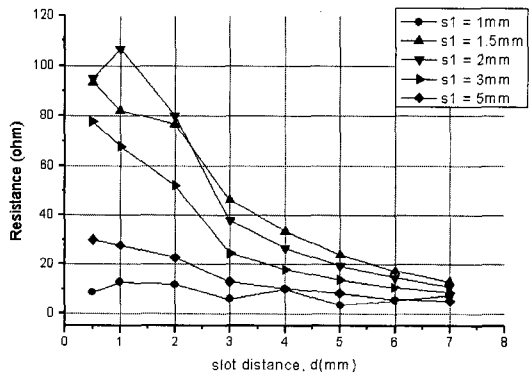


(b) 윗면  
(b) Top view

그림 3. 제안된 태그 안테나  
Fig. 3. Geometry of proposed RFID tag antenna.



(a) 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값에 따른 저항값  
(a) Antenna resistance at 911 MHz as  $d$  change from 0.5 to 7 mm with  $s_1$  fixed 1 to 5 mm



(b) 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값에 따른 리액턴스 값  
(b) Antenna reactance at 911 MHz as  $d$  change from 0.5 to 7 mm with  $s_1$  fixed 1 to 5 mm

그림 4. 슬롯 폭과 간격에 따른 임피던스 값의 변화  
Fig. 4. Antenna impedance at 911 MHz as  $d$  change from 0.5 to 7 mm with  $s_1$  fixed 1 to 5 mm, respectively.

태그 칩과의 공액 정합이 훨씬 유리하다. 그림 4는 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값의 변화에 따른 안테나의 입력 임피던스의 변화를 나타내었다.

이와 같이 슬롯의 간격과 폭을 통해 다양한 입력 임피던스를 구현할 수 있으며 이를 통해 임의의 칩 입력 임피던스가 주어지면 그에 공액 정합이 되는 입력 임피던스를 갖는 태그 안테나 구조 설계가 가능해진다. 표 1은 칩 임피던스( $77 - j100 \Omega$ )에 공액 정합이 되도록 설계되어진 태그 안테나의 파라미터 값들이다.

표 1. 입력 임피던스  $77-j100 \Omega$  을 구현하기 위한 파라미터 값

Table 1. Dimensions of designed PIFA-type tag.  
(단위: mm)

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h_1$ | $l_2$ | $w_2$ | $s_4$ | $s_2$ | $s_3$ |
| 4     | 50    | 30    | 2     | 2     | 43.5  |
| $d$   | $s_1$ | $l_1$ | $w_1$ | $h_2$ | $l_3$ |
| 2     | 1.5   | 105   | 60    | 2     | 24    |

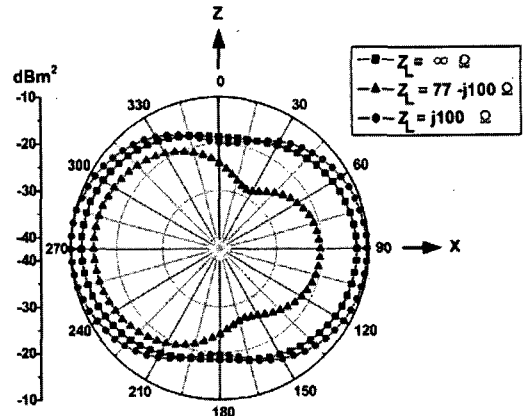
UHF 대역 RFID 사용 대역인 908.5~914 MHz(5.5 MHz)에 대해 충분한 대역폭을 만족시키며, 전도성 물체 표면에 부착 가능한 prototype PIFA 형 태그를 설계하였다. 접지면의 크기는 105×60 mm의 크기이고 순수 PIFA의 크기는 50×30×4 mm(길이×폭×높이)이다.

### 3-2 RCS 패턴

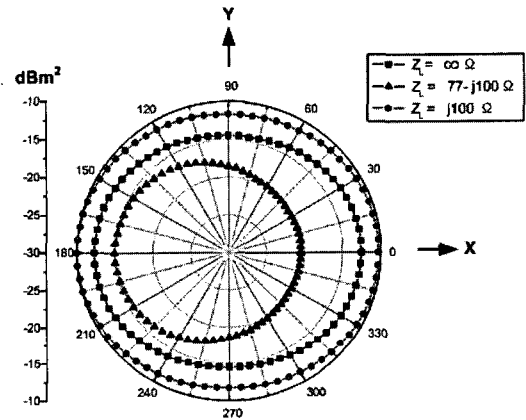
그림 5는 칩 임피던스( $77-j100 \Omega$ )에 공액 정합을 시킨 태그 안테나에 대해 칩의 임피던스 변화에 따른 RCS 패턴을 나타내고 있다. 리더가 위치하는 X방향으로 정합일 때 RCS 값이 가장 작으며( $-21 \text{ dBm}^2$ ), 단락일 때 가장 크다( $-10.2 \text{ dBm}^2$ ). 이때 차이는 약  $10 \text{ dBm}^2$ 이다. 칩의 구동에 충분한 전력이 공급되는 가정에서는 이러한 산란 단면적은 클수록 좋고, 또 그 차이가 클수록 좋다.

그림 6은 평면파의 입사 방향이 태그 안테나의 정면일 때의 각도를  $0^\circ$  라 가정하고  $\phi$  방향을 따라 평면파의 입사 각도 변화에 따른 산란 면적의 크기 변화를 나타낸 그림이다. 리더에서 방사된 파의 입사 각도에 따라서 태그를 인식 거리에도 차이가 생길 수 있기 때문에 다양한 입사 각도에 따른 RCS 값의 변화를 고찰해 본 것이다. 평면파의 입사 각도가  $0^\circ$  일 때가 정합과 단락의 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 평면파의 입사 방향이 태그 안테나에 정면에 위치했을 때 제품을 인식할 수 있는 거리가 가장 멀다고 가정할 수 있다.

그림 7은 태그 안테나 임피던스 변화에 따른 산란 단면적 크기를 나타낸다. 이 네 가지 경우에서 RCS 값은  $Z_A = Z_L^* = 77 - j100$ 인 경우에 short( $-10.2 \text{ dBm}^2$ ), match( $-21 \text{ dBm}^2$ )로 제일 컸으며, 그 차이 또한 10.8



(a)  $\phi=0^\circ$ (XZ 평면)  
(a)  $\phi=0^\circ$ (XZ plane)



(b)  $\theta=90^\circ$ (XY 평면)  
(b)  $\theta=90^\circ$ (XY plane)

그림 5. 칩 임피던스에 정합시킨 태그의 RCS 패턴  
Fig. 5. Bistatic radar cross sections when a plane wave with  $E_y=1 \text{ (V/m)}$  hits the designed tag.

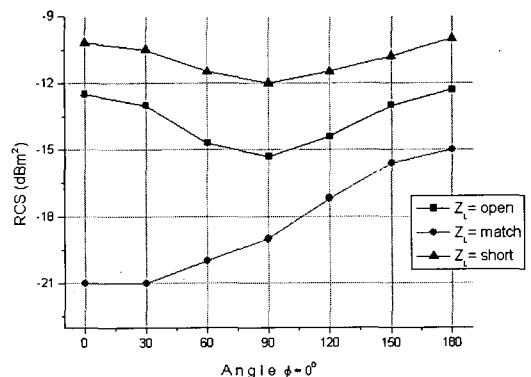


그림 6. 평면파 입사 각도에 따른 RCS 변화  
Fig. 6. RCS as incident angles  $\phi$  change.

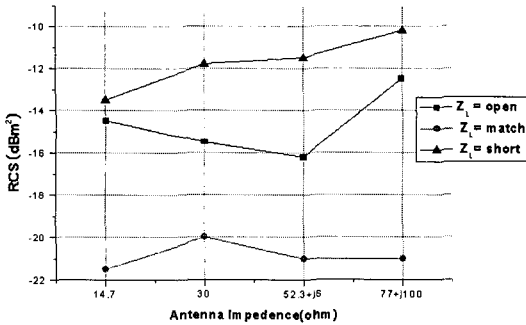


그림 7. 태그 임피던스 변화에 따른 RCS 변화  
Fig. 7. RCS as tag antenna impedance change.

dBm<sup>2</sup>로 가장 큼을 알 수 있다.

### 3-3 제작 및 측정

그림 8은 시뮬레이션으로 도출된 태그 안테나의 치수를 통해 제작된 태그 안테나이다. 순수 안테나 윗면에 부착된 칩(77-j100 Ω)에 정합시켜 제작된 것이다. 순수 안테나 크기는 50×30×4 mm이다.

인식거리를 측정하기 위해 전파 무반사실에서 태그를 42×42 cm의 도체판에 수직과 수평으로 부착시킨 후 리더와 원형 편파 리더 안테나를 이용하여

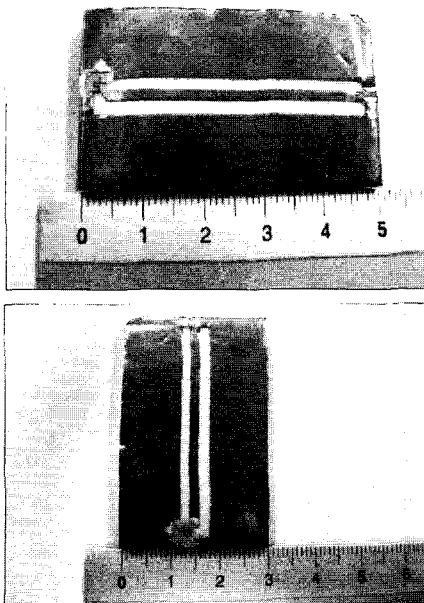


그림 8. 제작된 UHF 대역 RFID 태그  
Fig. 8. Photograph of fabricated tag antenna.

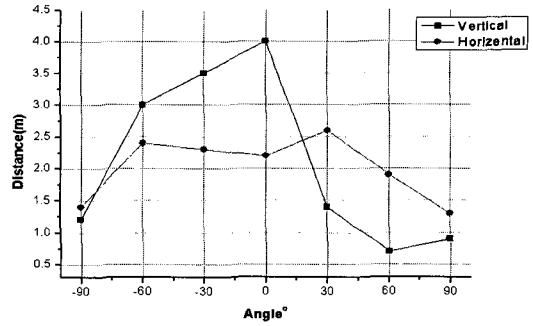


그림 9. 태그 수직 및 수평 부착시 각도에 따른 인식 거리  
Fig. 9. Read range as tag antenna attached vertical and horizontal.

인식거리를 측정하였다. 그림 9는 태그를 수직과 수평 부착시 리더 안테나의 입사 방향이 태그의 평면 일 때의 각도를 0°라고 할 때, ϕ 방향에 따라 태그 각도의 변화에 따른 인식 거리이다. 그림에서 알 수 있듯이 PIFA를 금속체 부착형 태그 안테나로 이용할 경우 최대 인식 거리는 4 m 정도로서 충분하고, 안테나의 대역폭도 24 MHz(905~929 MHz)로 충분한 대역폭을 가지고 있다.

## IV. 결 론

본 논문에서 UHF 대역 수동형 태그 중 고 전도율과 고 유전율 물질에 부착 가능한 태그 형태로 PIFA 형태를 채택해 50×30×4 mm(길이×폭×높이)의 크기로 UHF 대역 RFID 태그 안테나를 설계하였다. 이 태그는 일반적인 다이폴 형 태그들보다 길이가 짧을 뿐만 아니라, 반사 손실의 변화가 거의 없는 일정한 크기의 접지 면을 가지고 있기 때문에 철판이나 금속 상자들의 물품에 부착하여 일반적인 태그처럼 동작할 수 있을 것이라고 보여지며, 슬롯 폭과 슬롯 간격을 통해 다양한 입력 임피던스를 구현이 가능하기 때문에 기존의 일반적인 PIFA 형 안테나보다 여러 가지 RFID 태그 칩 입력 임피던스에 정합이 용이하다는 장점이 있다. 향후 좀 더 소형화, 경량화 기술을 통한 크기 축소, 제작의 용이성, 다양한 물품에 적용할 수 있는 방법 등을 보완 발전시킨다면 기존 RFID 시스템 구축에 어려움이 있었던 전도성 물질에 사용 가능한 태그 개발에 많은 밑바탕이 될 것이라고 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Leena Ukkonen, Lauri Sydanheimo, and Markku Kivikoski, "A novel tag design using inverted-F antenna for radio frequency identification of metallic objects", *2004 IEEE AW&WC*, pp. 91-94, Apr. 2004.
- [2] Pasi Raunonen, Lauri Sydanheimo, Leena Ukkonen, and Markku Kivikoski, "Folded dipole antenna near metal plate", *2003 IEEE AP-S*, pp. 848-851, Jun. 2003.
- [3] Leena Ukkonen, Daniel Engels, "Planar wire-type inverted F RFID tag antenna mountable on metallic objects", *2004 IEEE AP-S*, pp. 101-104, Jun. 2004.
- [4] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jaakkola, and K. Laukkanen, "Planar inverted-F antenna for radio frequency identification", *Electronics Letters*, vol. 40, Issue 14, pp. 848-850, Jul. 2004.
- [5] Kai Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [6] Raj Bridgelall, "Enabling mobile commerce through pervasive communication with ubiquitous RF tags", *2003 IEEE WCNC*, pp. 2041-2046, Mar. 2003.
- [7] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, John Wiley & Sons, Second Edition.

권 홍 일



2003년 2월: 한림대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RFID, 안테나 및 전자파이론

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대학교 전기공학과 (공학박사)  
 1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 교수  
 [주 관심분야] 안테나 및 전자파이론, 초고주파 수동회로