

태그간의 상호 간섭과 캐비닛의 간섭을 고려한 열쇠 관리용 캐비닛 안의 소형 UHF RFID 태그 안테나

A Small UHF RFID Key-Chain Tag Antenna for a Key-Management Metallic Cabinet with Consideration of Coupling of Adjacent Tags and Cabinet

남세현 · 박용권 · 전병돈 · 정유정

Seahyeon Nam · Yongkwon Park · Byongdon Jun · You Chung Chung

요 약

열쇠 관리용 철재 캐비닛 안에 장착되는 UHF 대역의 열쇠고리형 소형 태그 안테나를 설계 제작하였다. 열쇠고리형 태그 안테나는 인접한 태그 안테나, 열쇠고리의 금속 부분, 그리고 캐비닛 등과의 상호 간섭 작용을 고려하여 소형으로(66 mm×6 mm) 제작하였다. 제작된 태그 안테나는 T-matching 방법을 사용하여 정합하였고, 미연더(Meander) 형태를 이용하여 크기를 줄여서 유전체(FR-4) 기판을 사용하여 제작하였다. 먼저 인접한 태그 안테나들과의 상호 간섭을 감안하여 태그 안테나를 설계하였고, 캐비닛의 철재 근처에 장착되는 태그 안테나용으로 또 다른 설계를 제안하였다. 인접한 태그 안테나들의 개수를 변화시켜가며 태그 안테나의 특성과 인식 거리에 미치는 영향을 분석하고 측정하였다. 그 결과 캐비닛에 장착되는 총 360개의 태그 안테나를 모두 인식할 수 있었다.

Abstract

A small UHF RFID tag antenna for a key-chain installed inside of a metallic key-management cabinet has been designed. The tag antenna has been designed as small size as 66 mm×6 mm with consideration of coupling among the tag antennas and metallic parts of key-chain and cabinet. The tag antenna is fabricated with a meander line dipole using T-matching method with FR-4 substrate. One tag antenna has been designed with consideration of coupling of adjacent tag antennas, and the other has been designed for the location close to the metallic part in the cabinet. The characteristics of tag antennas and reading distance have been analyzed based on the different numbers of adjacent tag antennas. As a results, the 360 tag antennas installed in the cabinet have been successfully recognized.

Key words : Small Tag, Tag Antenna, Key-Chain Management Tag

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 시스템은 태그와 리더, 리더 안테나 그리고 리더와 연결된 컴퓨터로 구성되며, 태그는 사용 환경에 따라 요구되는 특성이 다르므로 그 특성에 맞게 설계되어야 한다^[1].

수동형 RFID 태그의 경우, 리더로부터 송출된 전자파를 역산란 변조(back-scattering modulation)시켜 리더에게 되돌려 보내는 방식으로 리더기와 통신을 한다. 태그 안테나들을 좁은 공간에서 여러 개 사용할 때 태그 상호간의 간섭 작용을 감안해야 하며, 주위의 물질도 고려해야 한다^{[2]~[5]}.

「2006학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.」

대구대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication, Daegu University)

· 논문 번호 : 20080821-110

· 수정완료일자 : 2009년 9월 11일

태그 안테나를 소형화 시키면 크기가 작아서 사용상 편리한 여러 가지 장점이 있지만 안테나 이득이 작아지고, 안테나의 효율이 나빠지며, 대역폭이 좁아지는 단점이 발생한다. 특히 철강형 태그 안테나는 안테나와 전도체와의 간섭으로 인해 인식 거리와 안테나 패턴에 영향을 주므로 그 특성에 맞는 태그 안테나를 개발하여야 한다^[6].

태그 안테나 설계와 관련된 기존 연구로는 대역폭을 넓히기 위하여 커플링을 사용하여 설계를 한 미앤더 라인 형태의 태그 안테나^{[4],[5]}와 고유전율과 전도율을 가진 물체에 붙일 수 있는 슬롯 형태의 태그 안테나^[6] 등이 있다.

열쇠고리가 열쇠와 같이 보안상 철재 캐비닛에 보관되고 관리되어야 할 경우가 있고 또한 이 캐비닛을 보안 차량에 실어서 운반하는 중에 실시간으로 열쇠의 유무를 알려주어야 하는 적용 분야가 있다. 일반적인 태그 안테나는 그 자체 1개만으로 설계된다. 그러나 그림 1에서와 같이 폐쇄된 철재 캐비닛 안에서는 태그 간에 상호 간섭을 고려하여야 하며, 특히 철재 캐비닛과 근접한 태그의 설계는 달라져야 한다.

본 논문 연구에서는 캐비닛에 다량으로 보관되는 열쇠고리형 UHF 대역 RFID 태그 안테나를 세 단계에 걸쳐서 설계하였다. 열쇠고리는 단단해야 하므로 FR4 기판을 사용하였다. 첫 번째 디자인은 하나의 열쇠고리 자체로 설계를 하였다. 두 번째 디자인은 캐비닛 안에서 서로 근접되어 장착되는 태그 안테나들 간의 상호 유도 작용을 고려해서 이들 간의 상호 작용이 태그 안테나의 크기에 미치는 효과를 고려해서 설계하였다. 한편, 그림 1에서와 같이 철재 캐비닛과 인접한 양 옆의 위치는 태그와 철재 캐비닛이 근접되어 있으므로 태그의 인식이 잘 안 되는 음영 구역이다. 따라서 양 끝단에 위치하는 태그는 설계치의 변화를 요구하므로 그 요구에 맞게 세 번째 디자인을 설계하였다. 그 결과로 캐비닛에 장착된 총 360개의 태그를 인식할 수 있었다.

II. Single 태그 안테나 디자인 (1)

열쇠 보관용 캐비닛에는 총 6개의 랙(rack)이 장착된다. 하나의 랙은 총 3줄로 구성되고, 한 줄에는

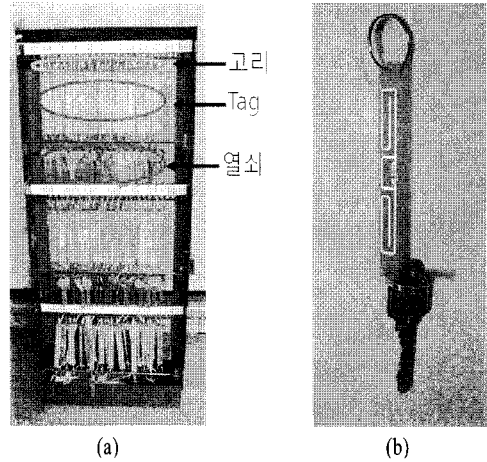


그림 1. (a) 열쇠고리 보관 캐비닛 랙(서랍)과 열쇠고리형 60개의 태그 안테나, (b) 열쇠고리형 태그

Fig. 1. (a) A key chain cabinet rack with 60 tag antennas, (b) key-chain tag antenna.

20개의 열쇠고리가 장착된다. 따라서 한 랙에는 60개, 캐비닛 전체로는 360개의 열쇠고리가 장착된다(그림 1(a) 참조). 그림 1(b)는 하나의 열쇠고리형 태그 안테나를 보여주고 있다. 다량의 태그가 좁은 철재 캐비닛에 밀집되어 장착되므로 작은 크기의 간단한 형태로 설계하였다.

ISO 18000-6에 의하면 UHF 대역의 주파수 범위는 840~960 MHz이다. 우리나라 UHF 주파수 할당 대역이 908.5~914 MHz이므로 본 논문에서는 그 중심인 910 MHz로 중심 주파수를 정하였다.

일반 공기 중에서 태그의 최대 인식 거리(r_{max})는 Friis 자유 공간 공식을 이용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 아래 식을 이용하면 태그의 이론적 최대 인식 거리를 계산할 수 있다.

$$r_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_r G_r G_t \tau}{P_{th}}}$$

$$\tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_d|^2}, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (1)$$

여기서 $Z_c = R_c + jX_c$ 는 칩 임피던스이고, $Z_a = R_a + jX_a$ 는 태그 안테나 임피던스이다. λ 는 파장, G_r 과 G_t 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 이득을 나타낸다. P_r 는 리더 안테나에 공급되는 전력이며, P_{th} 는 칩의 동작에 필요한 문턱 전력이다. 여기서,

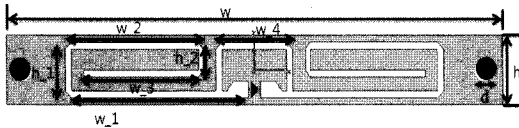


그림 2. 태그 안테나 파라미터
Fig. 2. Parameters of a tag antenna.

표 1. 제안된 태그 안테나 (1)의 파라미터(단위: mm)
Table 1. Parameters of tag antenna (1)(Unit: mm).

w	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	h	h ₁	h ₂	d
80	30.5	22	18.5	12.4	10	6	4	3

$P_r \cdot G_r$ 은 EIRP(Equivalent Isotropic Radiated Power)이며, ISO 18000-6에 따르면 EIRP는 4 W 즉 6 dB보다 작아야 한다.

그림 2에서는 시뮬레이션을 통해 제작된 태그 안테나의 파라미터를 보여주고 있다. 태그 안테나는 X-Y 평면상에 T-정합 방법을 사용하였고, 양쪽의 안테나 부분은 미엔더 형태로 굽혀서 소형화 하여 간단한 모양으로 설계하였다. 제안된 안테나는 두께가 1.6 mm인 FR-4(유전율: 4.3) 기판을 사용하여 제작하였다. 태그 안테나는 양쪽 옆에 작은 구멍을 뚫어서 열쇠고리를 연결할 수 있는 공간을 두었다. 표 1에서는 1개의 안테나와 열쇠만을 고려한 태그 안테나의 설계 파라미터를 보여주고 있으며, 그림 2에서 보는 바와 같이 모두 9개 파라미터가 있다. 안테나의 크기는 66 mm×6 mm로 디자인하였다.

그림 3에서는 표 1의 파라미터로 제작된 태그 안테나의 S_{11} 에 대하여 시뮬레이션과 측정 결과 값을 비교하였다. 시뮬레이션을 통해 설계된 안테나의 S_{11} 값은 중심 주파수가 910 MHz에서 -32.2 dB로 나타났다. 실제 제작된 안테나는 대칭이므로 영상법을 이용하여 S_{11} 값을 측정하였고, 그 결과 중심 주파수가 908 MHz에서 -18.3 dB로 나타났다. 그리고 시뮬레이션을 통해 설계된 안테나의 -3 dB 대역폭은 48 MHz로 나타났고, 실제 제작된 안테나는 -3 dB 대역폭이 35 MHz로 나타났다. 결과적으로 실제 제작된 안테나는 시뮬레이션과 비교하여 S_{11} 값이 약 14 dB 감소하였으며, -3 dB 대역폭 역시 13 MHz 정도 감소한 것을 볼 수 있다. 감소 이유는 본딩 저항 등의 추가적인 요소들의 원인으로 사료된다. 사

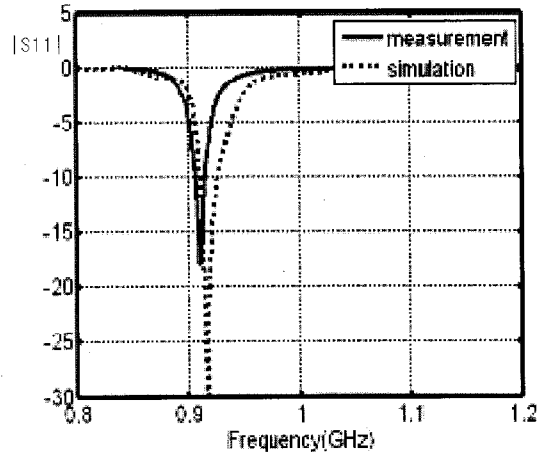


그림 3. 안테나의 $|S_{11}|$ 측정치와 설계치
Fig. 3. Simulated and measured values of $|S_{11}|$.

용된 RFID 칩은 Alien사의 Gen2칩 스트랩을 사용하였으며, 스트랩 임피던스는 약 $12 - j133(910 \text{ MHz})$ 을 기준으로 설계하였다.

III. 상호유도 작용을 감안한 안테나 디자인 (2)

두 번째 태그 안테나는 여러 개의 태그 안테나를 실제 캐비닛 안에 설치 나열하였을 때를 감안하여, 서로의 간섭이 안테나에 어떤 영향을 미치는지를 살펴보고 설계하였다. 태그가 캐비닛 안의 랙에 설치될 때 서로의 간격이 2 mm 정도이므로 태그 간 간격이 2 mm일 때로 시뮬레이션을 하여 태그 안테나를 설계하였다. 중앙에 위치하는 태그에 굽전점을 두고 양쪽으로 각각 1개, 2개, 3개, 4개의 태그 안테나를 나란히 배열하여 안테나 파라미터들의 길이 변화를 조사하였다. 그러므로 총 3개, 5개, 7개, 9개의 태그 안테나가 일렬로 캐비닛 안에 배치되었을 때 안테나들 간의 상호 유도 작용을 고려한 시뮬레이션을 하였다.

그림 4는 총 안테나의 개수를 증가시켜 가며 중심 주파수에서 최적화된 태그 안테나의 파라미터 변화를 나타낸 것이다. 상호 유도 작용을 감안한 안테나 디자인 (2)의 파라미터 중에서 w_1 , w_2 , 그리고 w_3 의 그래프를 보면 안테나의 개수가 증가할수록 파라미터의 값도 증가하는 것을 알 수 있다. 그런데 이러한 추세는 안테나의 개수가 5개 이상이 되면 사라져서

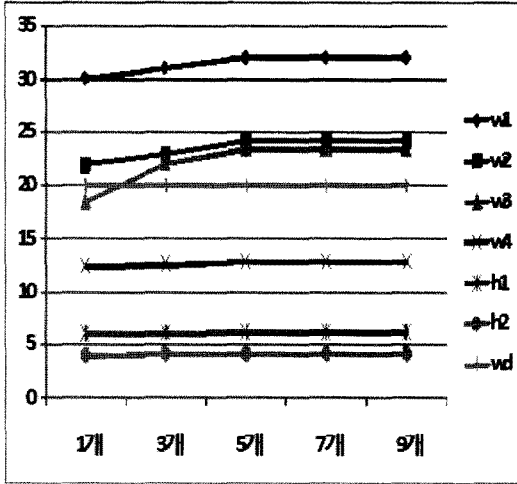


그림 4. 배열 안테나 개수에 따른 파라미터의 변화
 Fig. 4. Variations of parameters of antenna with different numbers of adjacent tag antennas.

표 2. 제안된 태그 안테나 (2)의 파라미터(단위: mm)
 Table 2. Parameters of tag antenna (2)(Unit: mm).

w	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	h	h ₁	h ₂	d
80	32	24.2	23.4	12.8	10	6.2	4.1	3

안테나 파라미터의 크기 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 그리고 w₄와 h₁, h₂는 거의 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 그래서 본 논문에서는 5개의 태그 안테나를 2 mm 간격으로 배치하고 시뮬레이션을 하여 표 2와 같은 최적화된 태그 안테나 파라미터를 얻었다.

그림 5에서는 5개 태그들 간의 상호 간섭을 감안하여 설계된 안테나 디자인 (2)의 S₁₁값과 측정값을 비교하여 나타내고 있다. 그림 5에서 표 2의 파라미터로 설계된 안테나 하나만을 측정하여 얻은 S₁₁값을 점선으로 표시하였고, 그 결과 880 MHz에서 -21 dB로 왼쪽으로 치우쳐서 나타났다. 그 이유는 상호 간섭을 고려하여 설계한 태그에 대해서 주위에 태그를 배치하지 않고 단독으로 측정하였기 때문이다. 양옆에 태그를 2개씩 놓고 총 5개를 같이 측정할 경우 중심의 태그 급전점에서 측정된 값을 dashed-line으로 표시하여 비교하였다. 5개의 상호 간섭 작용을 고려한 태그 안테나의 실제 설계값과 측정치가 거의 비슷함을 볼 수 있다.

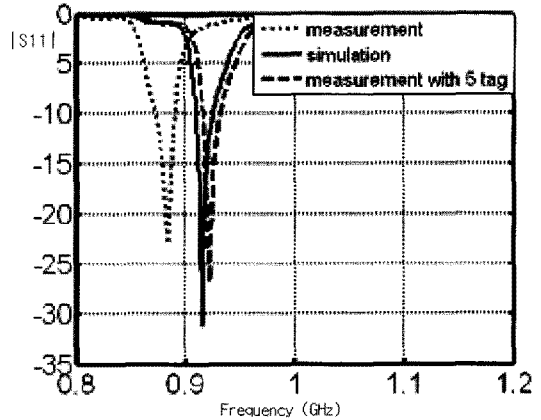


그림 5. 한 개의 태그와 5개의 태그 안테나의 |S₁₁| 시뮬레이션 결과와 측정치
 Fig. 5. Simulated and measured |S₁₁| with single and 5 tags.

IV. 음영 구역용 태그 안테나 디자인 (3)과 측정 결과

열쇠고리를 보관하는 랙에서 한 줄에 20개의 태그와 열쇠고리가 걸리지만 각 줄의 양 끝단에 위치하는 태그는 철재 캐비닛과 근접하여 있다. 따라서 철재 옆에 위치한 태그의 상호 결합에 의한 태그의 매칭을 하기 위해 그림 6과 같이 태그의 티매칭 부분의 크기 P1~P2의 길이를 5.5 mm에서 5.55 mm, P1~P3의 길이를 0.85 mm에서 1.8 mm로 각각 조정하였다. 태그 안테나 디자인 (3)의 파라미터들은 표 3에서 보여준다. 이 값들로 설계한 태그의 S₁₁ 값은 910 MHz에서 -15.22 dB로 나타났고 측정치도 비슷한 값을 얻었다.

그림 7은 실제 제작된 태그 안테나 사진이며, 전체 크기가 80 mm×10 mm 인 유전체(FR-4)를 사용하여 제작하였다. 제작에 사용된 칩은 Alien사의 Gen2를 사용하였으며, 안테나의 가운데 위치하게 된다.

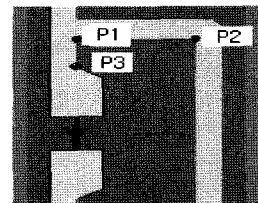


그림 6. 캐비닛 인접 태그를 위한 파라미터 조정
 Fig. 6. Parameter adjustment for a tag close to cabinet.

태그간의 상호 간섭과 캐비닛의 간섭을 고려한 열쇠 관리용 캐비닛 안의 소형 UHF RFID 태그 안테나

표 3. 캐비닛에 인접한 태그 안테나 (3)의 파라미터 (단위: mm)

Table 3. Parameters of tag antenna (3) close to cabinet (Unit: mm).

w	w_1	w_2	w_3	w_4	h	h_1	h_2	d
80	30.5	22	18.5	14.2	10	8	5.2	3

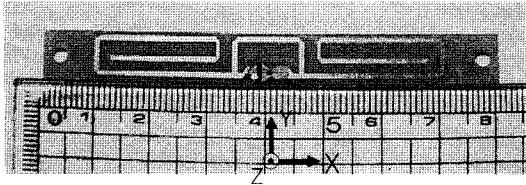


그림 7. 제작한 소형 태그 안테나
Fig. 7. Fabricated small tag antenna.

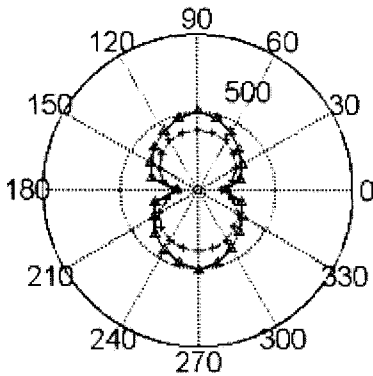


그림 8. 방향에 따른 태그의 인식 거리(X-Y 평면), Δ 1개 태그 인식 거리, * 1개 태그와 주위 4개의 태그 인식 거리.

Fig. 8. Reading range pattern(X-Y Plane), Δ Results with single tag, * results with 4 adjacent tags.

그림 8은 태그 안테나의 인식 거리를 측정하여 안테나의 인식 거리 패턴을 나타낸 그래프이다. 이때 측정에 사용된 리더기는 Alien-9800 모델을 사용하였으며, 리더 안테나는 6 dBi의 이득을 가지는 ALR-9610-BC 모델을 사용하였다. 측정 결과, 태그 안테나 (1)(표 1)은 X-Y 평면상에서 0도와 180도에서 최소 인식 거리 약 90 cm이며, 90도와 270도에서 최대 인식 거리 약 500 cm로 측정되었다. 식 (1)을 이용해 계산한 이론적 인식 거리 622 cm에 비해 약 100 cm 정도 작게 나왔다. 그 이유는 본딩 저항값과 제작시 오차에 의한 결과로 사료된다. 태그 5개들 사이의 상호 작용을 감안하여 시뮬레이션하고 제작한 태그

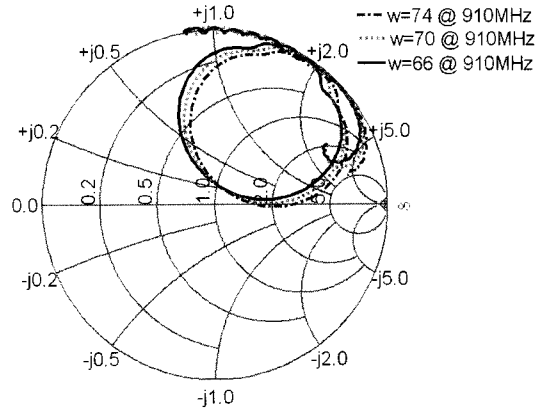


그림 9. w 의 변화에 의한 임피던스의 변화
Fig. 9. Impedance vs. parameter(w) variation.

안테나 (2)(표 2)는 최대 인식 거리가 약 350 cm로 측정 되었으며, 1개의 태그 안테나보다 인식 거리가 짧은 것을 확인하였다. 그 이유는 태그 안테나들이 인접하여 배치되므로 상호 작용과 간섭에 의한 것이라고 사료된다.

그림 9에서는 파라미터 w 의 변화에 의한 태그 안테나 임피던스의 변화를 도시하였다. 여러 파라미터의 변화에 의한 임피던스의 변화를 각각 보여야 하지만 다른 파라미터의 변화에 의한 임피던스 변화의 추이가 유사하므로 하나만 보이기로 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 작은 철재 캐비닛 안에서 사용되는 작은 열쇠 관리용 UHF RFID 태그 안테나를 제작 하였다. 안테나의 양 끝 부분에 구멍을 뚫어 키와 고리가 위치하도록 하였고, 안테나 디자인에 있어서 T-matching 방법과 Meander 방식으로 크기를 줄여 키와 같은 철재의 영향과 근접한 태그의 영향으로 인한 간섭을 감안하여 작게 설계하였다. 제안된 안테나의 크기는 66 mm×6 mm이고, 키 체인용 유전체의 크기는 80 mm×10 mm이다. 캐비닛 안에 장착되는 태그 안테나들 간의 상호 작용을 고려하여 안테나를 설계한 결과 그림 4와 같이 태그 안테나 파라미터들이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 상호 간섭을 고려하지 않은 안테나는 그림 5에서와 같이 중심 주파수의 이동이 큼을 볼 수 있었다.

태그 안테나의 인식 거리에 따른 방사 패턴도 측

정하였다. 1개로 하여 제작된 안테나의 최대 인식 거리는 약 5 m 정도임을 알 수 있었고, 상호 간섭을 고려하여 제작한 태그 안테나의 최대 인식 거리는 약 3.5 m 임을 측정을 통하여 알 수 있었다. 그리고 실제 캐비닛에서 각 줄별 양쪽 끝의 태그는 철제 캐비닛에 가까워서 상호 결합에 의해 임피던스의 변화가 발생하므로 태그의 T-매칭부분과 파라미터를 조절하여 제작하였다.

결과적으로 본 논문에서는 태그가 읽히지 않는 음영지역 특히 철제 캐비닛에 가까운 부분의 태그와 상호 근접한 태그의 설계를 달리 함으로서 캐비닛에 장착된 360개 모든 태그의 인식을 원활하게 하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, England, 2003.

[2] P. R. Foster, R. A. Burberry, "Antenna problems in RFID systems", *IEEE Colloquium on RFID Technology*, Oct. 1999.

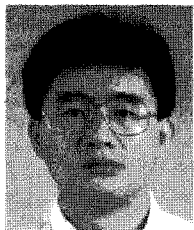
[3] S. G. Lee, Y. C. Chung, S. H. Kim, and C. S. Lee, "RFID tag antenna for metallic objects", *2005 International Conference on Computer, Communication Systems*, pp. 267-270, Nov. 2005.

[4] 조치현, 추호성, 박익모, 김영길, "UHF 대역 수동형 RFID 태그 안테나 설계", *한국전자파학회논문지*, 16(9), pp. 872-882, 2005년 9월.

[5] 김영달, 이영훈, 권원현, "평면형 다이폴 안테나를 이용한 UHF RFID 태그 안테나 특성", *한국전자파학회논문지*, 16(2), pp. 204-210, 2005년 2월.

[6] 권홍일, 이범선, "고 전도율과 고 유전률 물질에 부착 가능한 RFID 태그 안테나", *한국전자파학회논문지*, 16(8), pp. 797-802, 2005년 8월.

남 세 현



1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1994년 9월~현재: 대구대학교 정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 컴퓨터통신, 통신시스템, RFID

전 병 돈



2009년 2월: 대구대학교 통신공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재: 대구대학교 통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] RFID 태그안테나, 고 유전율 태그안테나

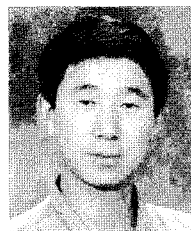
박 용 권



2006년 2월: 대구대학교 통신공학과 (공학사)
 2008년 2월: 대구대학교 컴퓨터 및 통신 (공학석사)
 2008년 4월: 인하대 초광대역 통신 연구센터 전임연구원
 2009년 현재: Rayspan 주식회사 연구원

[주 관심분야] RF 회로설계, 태그 안테나 디자인

정 유 정



1990년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학사)
 1994년 12월: University of Nevada, Reno, 전자공학과 (공학석사)
 1999년 12월: University of Nevada, Reno, 전자공학과 (공학박사)
 2000년 1월: Utah State University, 연구조교수

2003년 5월: University of Utah 연구조교수
 2004년: IEEE Senior Member
 2006년: Associate Editor of International Journal of Antenna Propagation (IJAP)
 2004년 9월~현재: 대구대학교 정보통신공학부 교수
 [주 관심분야] RFID, 유전자 알고리즘을 이용한 안테나 최적화, 다중밴드 안테나 최적화, 배열 안테나 최적화