

부착 금속면 크기에 따른 영향을 최소화 한 RFID 메탈 태그 안테나의 설계

Design of RFID Metal Tag Antenna with a Minimum Effect according to Attached Metal Surface Size

황보 창 · 서승업 · 이윤복 · 양묘근 · 성원모

Chang Hwangbo · Seung-Up Seo · Yun-Bok Lee · Myo-Geun Yang · Won-Mo Seong

요 약

본 논문에서는 부착 금속면의 크기에 따른 영향을 최소화 한 수동형 RFID 메탈 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 금속면에 부착이 가능한 패치 안테나 구조이며, 매우 얇은(119×30×1.6 mm) 구조로 칩 임피던스와 정합이 되도록 설계되었다. 태그 안테나는 루프 형태로 커플링 급전을 하였으며, 형성된 루프를 경계로 안쪽과 바깥쪽 두 개의 방사체로 구성되어 있다. 바깥쪽의 방사체는 부착될 금속의 크기에 관계없이 전류를 안쪽의 방사체에 집중하도록 하는 역할을 한다. 또한, 태그 안테나는 CST microwave를 통하여 설계되었으며, 무반사실에서 그 성능을 측정하였다. 최적화된 태그 안테나는 $S_{11} < -10$ dB 기준으로 35 MHz(중심 주파수 대비 3.77 %)의 반사 손실 대역폭을 갖는다. 태그의 인식 거리 측정 결과, 금속(최대 면적 700×700 mm)에 부착 시 2.9 m 자유공간상에서 5.5 m의 인식 성능을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a RFID metal tag antenna with a minimum by size of a metal surface to attach. This proposed tag antenna is a patch antenna which is able to stick on metal surface and designed for very slim structure (119×30×1.6 mm) antenna that is matched to a chip impedance. This has a loop coupling feeding and consists of an inner radiator and an outer radiator. The outer radiator activates the current to concentrate on the inner radiator regardless of metal size to attach. Also the tag antenna is designed by CST microwave tool and the performance is measured in the anechoic chamber. The optimum antenna has 3.77 % of the matching bandwidth($S_{11} < -10$ dB). The readable range of the tag antenna is about 2.9 m on metal(max. size 700×700 mm) and 5.5 m in free space according to the measurement results.

Key words : RFID, Tag Antenna, Antenna

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)란 사물에 부착된 태그로부터 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여 여러 가지 정보로 활용함으로써 현재 연구 진행되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)

의 핵심이 되고 있는 기술이다. 특히 리더기를 통하여 방사되는 전파를 태그가 후방 산란(backscatter)하여 태그의 고유 정보를 리더기로 전송하는 방식의 UHF 대역의 RFID 방식은 중장거리 신호 전송이 가능하고 데이터의 전송 속도가 비교적 양호하기 때문에 여러 분야에서 다각도로 조명되고 있는 기술이다^[1].

(주)이엠파블유안테나(EMW Antenna)

· 논문 번호 : 20080418-050

· 수정완료일자 : 2008년 8월 7일

RFID 태그는 부착된 물체의 전기적 특성으로 인한 영향을 받는다^[2]. 특히 금속 물체 근접 시 태그 안테나의 임피던스 성분이 변하게 되어 인식 거리와 인식을 저하에 영향을 미치게 되므로^[3] 금속 물체에도 적용 가능한 태그 안테나를 제안하게 되었다.

금속 물체에 부착이 가능한 태그 안테나 구조로 안테나 자체적으로 그라운드를 갖고 있는 마이크로 스트립 패치 안테나, IFA(Inverted-F type Antenna), PIFA(Planar Inverted-F type Antenna)를 응용한 태그들이 연구되고 있지만 열거된 안테나들은 높은 Q(quality factor)값을 가지며, 대역폭이 상당히 작은 단점을 안고 있다^[4]. 특히, IFA와 PIFA 구조는 접지면과 방사체가 직접 연결되어 있어 금속 물질의 크기와 형상에도 크게 영향을 받는다^[5]. 또한, 크기가 크고 급전구조가 복잡한 단점이 있다^[6].

본 논문에서는 자체에 그라운드를 갖고 있는 형태 중 마이크로스트립 패치 안테나를 응용하여 설계하였다. 또한, 협대역 특성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 단점을 보완하고자 루프 형태의 커플링 급전을 사용하였으며, 루프를 중심으로 두 개의 방사체를 갖는 구조를 제안하였다. 금속 물체에 부착 시 태그 안테나의 임피던스 변화를 최소화 하고, 금속 물체의 크기와 형태의 영향에 둔감한 태그를 설계 후 시뮬레이션 하였으며, 이를 바탕으로 안테나 제작을 하였다. 2장에서는 안테나의 구조 및 설계를 명시하고, 3장에서는 시뮬레이션을 바탕으로 안테나를 제작하였으며, 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. 태그 안테나 구조의 설계 및 분석

태그 칩의 RF front-end는 쇼트키(Shottky) 다이오드와 커패시터를 이용한 정류 및 검파 회로로 구성되어 있으며, 복소 임피던스를 갖는다^[7]. 일반적으로 태그의 단가를 낮추기 위하여 칩과 안테나는 별도의 정합 회로 없이 직접 연결이 되며, 이에 50 Ω이나 75 Ω에 정합되도록 설계되어진 기존의 안테나로는 최대의 효율을 갖도록 설계하기 어렵다. 또한, 칩의 임피던스는 제조사에 따라 다르기 때문에 칩의 임피던스에 정합이 되도록 안테나를 설계하여야 한다.

본 논문에서는 33-j112의 칩 임피던스를 갖는 Impinj사의 Monza 칩을 사용하여 최대 전력 전달이

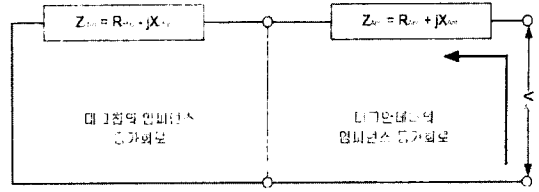


그림 1. 태그 등가 회로
Fig. 1. The equivalent circuit of tag.

가능하도록 태그 안테나를 설계하였다.

그림 1은 칩과 안테나의 정합을 위한 등가 회로를 도시화 한 것이다.

위의 그림에서 Z_{ANT} 는 태그 안테나의 임피던스를 나타내며, 태그 칩의 임피던스는 Z_{CHIP} 으로 나타내었다. 태그 안테나에 리더에서 송출된 전파가 유기되면 쇼트키 다이오드와 커패시터를 통하여 정류된 전압(V_{oc})가 생성되어 태그를 구동시키게 된다. 이때 태그 안테나 측의 임피던스 Z_{ANT} 와 태그 칩의 임피던스 Z_{CHIP} 의 값이 공칭되면 태그는 최대 전력 전달 상태에서 구동하게 되면서 태그 고유의 정보를 리더기로 되 보내게 된다. 즉, $Z_{ANT} = Z_{CHIP}$ 가 되는 순간 최대 전력 전달이 가능하다.

$$\Gamma = \frac{Z_{ANT} - Z_{CHIP}}{Z_{ANT} + Z_{CHIP}}, 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (1)$$

이를 다시 태그 칩에 관한 전력 식으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{MAX} = \frac{P_{CHIP}}{(1 - |\Gamma|^2)} \quad (2)$$

여기서 반사 계수 Γ 가 0에 무한대로 가깝게 되면 칩에 전달되는 전력 P_{CHIP} 는 최대 전달 전력 P_{MAX} 의 값과 동일하게 되며 칩의 에너지를 최대로 안테나로 보내게 된다. 이에 본 논문에서는 루프의 길이, 루프를 구성하는 마이크로스트립 라인의 폭, 그리고 루프와 패치의 간격으로 임피던스를 조절하여 칩과의 정합 회로를 구성하였으며, 패치와의 커플링 급전을 통하여 대역폭 확장을 꾀하였다^[8].

그림 2는 본 논문에서 제안한 태그의 구조를 나타내고 있다.

제안된 태그 안테나는 루프커플링 급전 소자를 갖는 패치형 안테나로 급전을 담당하는 루프를 중심

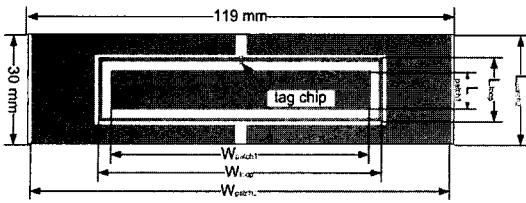


그림 2. 제안된 태그 안테나의 구조
Fig. 2. The structure of proposed tag antenna.

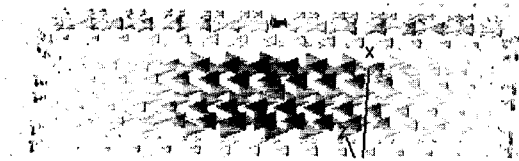


그림 3. 제안된 태그 안테나의 표면 전류
Fig. 3. The surface current of proposed tag antenna.

으로 안과 밖 두 개의 패치로 이루어져 있으며, 태그 안테나는 $W=119\text{ mm}$, $L=30\text{ mm}$ 의 면적으로 1.6 mm 의 FR-4($\epsilon_r=4.5\sim 4.9$) 기판 위에 구성되었다. 앞서 언급한 태그 칩과 안테나의 공액 정합을 위하여 L_{loop} 와 W_{loop} 의 값 즉, 급전 루프의 크기와 패치간의 간격을 조절함으로써 칩 임피던스 $33-j112$ 와 공액 정합을 이루어 최대 전력 전달을 유도하였으며, 1.6 mm 높이를 갖는 패치 형태의 협대역 특성을 루프커플링 급전으로 하여금 개선토록 하였다. 다음으로 실제 안테나의 방사를 담당하는 패치 부분으로 급전 루프를 중심으로 안팎으로 구성되어 있다. 그림 3은 제안된 안테나의 표면 전류 흐름도이다.

그림에서 볼 수 있듯 루프를 통하여 급전된 대부분의 전류는 안쪽의 패치로 흐르게 되며, 일부가 바깥쪽으로 유기됨을 알 수 있다. 제안된 안테나는 높이가 1.6 mm 에 불과한 패치형 안테나 구조이다. 자체적으로 그라운드를 갖고 있다. 하지만 부착될 금속의 크기에 관계없이 안테나가 안정적으로 동작하기 위해서는 방사된 에너지가 부착될 금속으로 여기되는 것을 최소화 하여야 한다. 제안된 태그 안테나 바깥의 패치는 부착될 금속 물질과 안테나와의 이격을 담당하며, 전류의 흐름을 중앙의 패치에 집중시키도록 도와 부착 물질에 의한 열화를 최소화 하면서 중앙의 패치와 상호 작용을 통하여 공진 주파수를 결정짓는 역할을 한다. 안쪽의 패치는 바깥 패치의 도

움을 받아 주 방사를 일으키는 소자로 사용된다. 각각의 패치는 단독으로 작용하지 않으며 실제적으로 루프 밖의 패치가 없다면 임피던스가 틀어지게 되고, 안쪽의 패치가 없으면 원하는 주파수 대역을 얻기 힘든 결과를 보였다. 따라서 W_{patch1} , L_{patch1} , W_{patch2} , L_{patch2} 는 회로의 임피던스 보호와 공진을 담당하는 중요한 변수로 작용한다.

III. 태그 안테나의 시뮬레이션 및 제작

3-1 태그 안테나의 시뮬레이션

그림 4는 제안된 태그 안테나의 부착된 금속면 크기에 따른 시뮬레이션 결과이다. 금속면의 크기는 최초 공기 중 상태에서부터 최대 면적 $700\times 700\text{ mm}$ 까지 점진적으로 부착될 금속의 면적을 키워가면서 시뮬레이션 하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 최초의 공기 중에서의 공진 주파수는 897 MHz 로 금속 위에서의 공진 주파수인 918 MHz 보다 약 21 MHz 의 주파수 천이 현상이 나타나게 되었다.

다음으로 금속면에 부착하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 시뮬레이션은 태그가 금속면에 일부만 부착되었을 경우와 완전하게 금속면

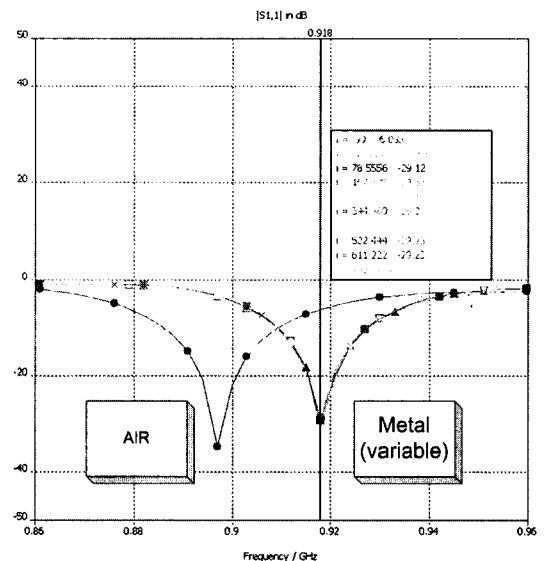


그림 4. 금속면 크기에 따른 반사 손실 시뮬레이션
Fig. 4. The simulation of return loss according to metal surface size.

위에 부착된 경우까지 시뮬레이션 하였으며, 그 결과 금속 표면의 크기에 따라 약간의 반사 손실 값이 변화하였으나 중심 주파수가 그대로 유지됨으로써 금속면의 크기에 둔감하게 공진점이 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5는 태그의 공기 중 방사 시뮬레이션 결과이다.

시뮬레이션 결과, 공기 중에서 3.3 dBi의 약 40 % 효율을 보였으며, 약 87° 3 dB angular width의 특성을 보였다. 이어서 그림 6은 금속면 위에서의 방사 시뮬레이션 결과이다. 6.8 dBi의 약 10 % 효율로 92°의 3 dB angular width의 결과를 보였다. 이는 방사부와 그라운드와의 실제 이격 거리가 1.6 mm에 불과

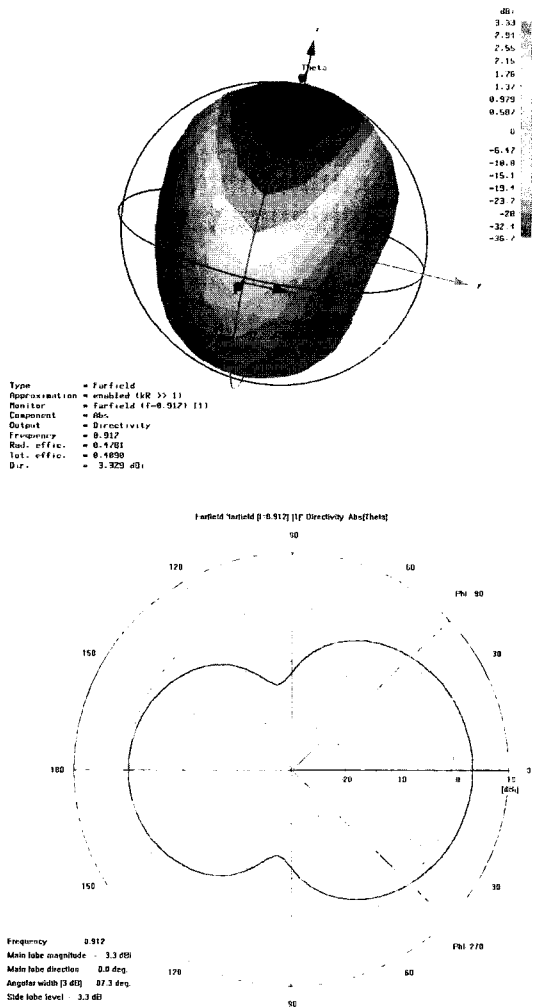


그림 5. 공기 중에서의 3D/2D 복사 패턴
 Fig. 5. The 3D/2D radiation pattern in air space.

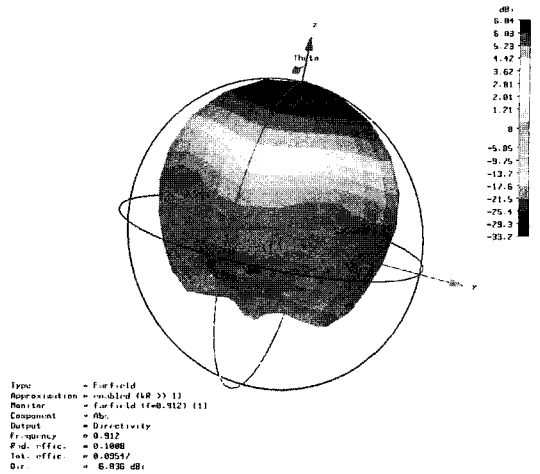


그림 6. 금속면에서의 3D/2D 복사 패턴
 Fig. 6. The 3D/2D radiation pattern on metal surface.
 ※ 시뮬레이션툴: CST microwave studio

한 것에서 유래된 결과로 판명되어진다.

시뮬레이션은 한국 RFID 대역 중 912 MHz에 맞추어 공진 주파수를 형성하여 진행하였다. 시뮬레이션에 따르면 금속면의 크기에 둔감하게 일정한 반사 손실을 유지함을 보였으나 효율이 저하됨으로써 일부 열화가 일어났음을 알 수 있었다.

3-2 태그 안테나의 제작 및 측정

그림 7은 시뮬레이션을 통하여 최적화 된 태그 안테나의 실제 제작 모습이다. 제안된 태그 안테나는 119 mm의 길이와 30 mm의 폭, 1.6 mm의 높이를 갖

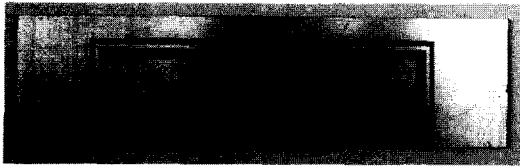


그림 7. 제작된 RFID 메탈 태그 안테나
Fig. 7. The fabricated RFID metal tag antenna.

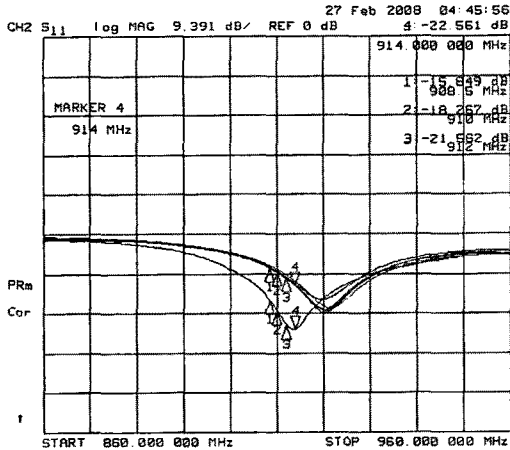


그림 8. 금속면 크기에 따른 반사 손실 측정값
Fig. 8. The measurement of return loss according to metal surface size.

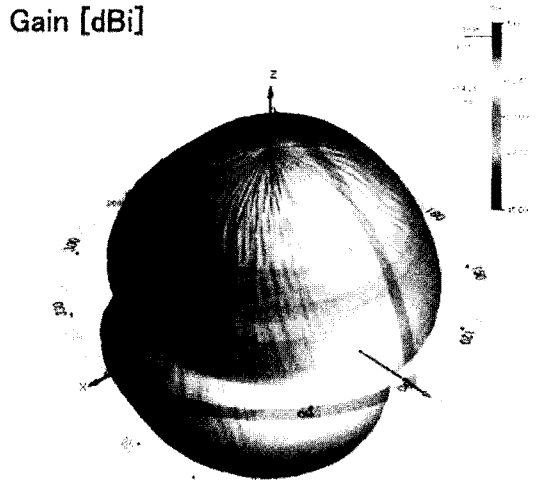
는 구조로서 태그 상단에 위치한 칩(33-j112)과 공액 정합시켜 제작하였다.

제작된 태그 안테나의 성능 평가를 위하여 무반사실에서 부착될 금속의 크기를 달리하여 반사 손실과 실제 이득을 측정하였으며, 에일리언사의 ALR-9800 리더기와 본사의 7 dBi 원형 편파 RFID 안테나를 사용하여 태그의 인식 거리를 측정하였다. 그림 8은 실측된 태그 안테나의 반사 손실 측정치이다.

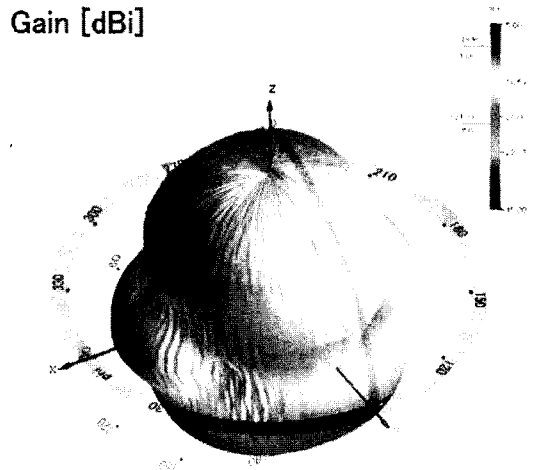
제작된 태그 안테나를 측정한 결과, 오히려 공기 중에서 RFID 국내 규격인 908~912 MHz에서 공진이 이루어짐을 확인할 수 있었으나, 금속위에서도 태그가 작동하기 위한 -7 dBm 이상의 방사 능력을 보이고 있다. 그림 8에서 912 MHz를 중심 주파수로 형성된 곡선이 이에 해당하며, 그 뒤에 920 MHz 이상에서 형성된 곡선들은 부착될 금속의 크기를 늘려가며 측정한 내용을 겹친 그림으로 표시하였다. 실제 측정에서도 시뮬레이션과 동일하게 공기 중과 금속 부착 사이에 주파수 천이가 발생됨을 확인하였으

며, 또한 태그가 부착된 금속의 크기에 따라 반사 손실 값은 약간의 차이를 보이나, 천이 없이 동일한 주파수에서 공진이 일어남을 확인할 수 있었다.

단, 시뮬레이션 결과와 실제 측정치 사이에 공진 주파수의 상향 이동이 있음을 확인하였다. 이는 제작상의 오차와 측정 오차가 작용하였으리라 생각되며, FR-4 기판의 유전율이 일정하지 않음에 기인한 것이라 생각된다. 제안된 태그 안테나의 경우 CST



(a) 공기중에서의 3D 방사 패턴
(a) 3D radiation pattern in air space



(b) 금속면에서의 3D 방사 패턴
(b) 3D radiation pattern on metal surface

그림 9. 공기중과 금속면에서의 3D 패턴
Fig. 9. The 3D pattern of air space and metal surface.

프로그램상의 고정값 유전율 4.9를 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 유전율을 0.1씩 하강시켜가며 시뮬레이션한 결과 공진 주파수가 상승하는 결과를 확인할 수 있었다.

그림 9는 무반사실에서 측정한 태그 안테나의 3D 패턴의 결과이다. 공기 중에서 태그 안테나의 효율은 43.3 %였고 1 dBi의 이득을 나타내었으며, 금속면 위에 부착된 상태에서는 열화가 발생하여 21.5 %의 효율을 나타내었으며, 이득 또한 -0.8 dBi로 공기 중 대비 감소함을 보였다.

제안된 태그의 인식 거리는 금속(최대 700×700 mm)에 부착 시 2.9 m의 인식 능력을 보였으며, 공기 중에서는 5.5 m의 인식 능력을 보였다. 이와 같은 결과는 앞서 언급한 여러 오차로 인하여 정합이 오히려 공기 중의 상태에 이루어졌으며, 상대적으로 금속면 위에서보다 열화가 적게 발생하여 높은 효율을 유지할 수 있었음에 기인한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 부착되는 금속 물질의 크기에 따른 임피던스 변화를 최소화 한 UHF 대역의 능동형 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 태그 안테나는 119×30×1.6 mm의 크기를 갖는 패치 타입으로 루프 급전을 이용하여 금속 물질에 부착시 VSWR 2:1 기준($S_{11} < -10$ dB) 35 MHz, 약 3.77 %의 반사 손실 대역폭을 갖도록 설계되어졌다. 본 태그 안테나는 자체적으로 그라운드를 갖고 있는 형태로 금속 물질의 크기에 관계없이 금속으로 만들어진 상자나 철판에 부착되어 사용할 수 있다. 또한, 널리 쓰이는 1.6 mm의 FR-4 기판으로 제작되었기 때문에 금속 표면에 비교적 적은 요철로 장착될 수 있으며, 짝값에 양산이 이루어질 수 있다고 생각된다. 향후 공기

중에서와 금속면 위에서의 주파수 천이 간격을 근접시키고 금속 부착 시에 열화 되는 현상을 최소화 하여 태그 안테나 자체의 방사 효율을 높이는 연구가 진행되어야 한다. 더불어 소형화를 통한 면적의 축소를 가능케 하고 유연성을 더한다면 다양한 금속 형태의 물품에 적용되어 일반 태그와 같이 안정적으로 동작할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook West Sussex England*, Wiley, 2003.
- [2] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jakkola, and K. Laukkanen, "Planar inverted-F antenna for RFID", *Electron, Letter*, vol. 40, no. 14, pp. 848-850, Jul. 2004.
- [3] P. R. Foster, R. A Burberry, "Antenna problems in RFID system", *RFID Technology(Ref. No. 1999/123) IEE*, Oct. 1999.
- [4] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, MRC 2001.
- [5] Leena Ukkonen, Daniel Engels, "Planar wire-type inverted-F RFID tag antenna mountable on metallic object", *2004 IEEE AP-S*, vol. 1, pp. 101-104, Jun. 2004.
- [6] 권홍일, 이범선, "고 전도율과 고 유전율 물질에 부착 가능한 RFID 태그 안테나", *한국전자과학 회논문지*, 16(8), pp. 797-802, 2005년 8월.
- [7] K. Penttila, M. Keskilammi, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Radar cross section analysis for passive RFID system", *IEEE Proc-Micro, Antennas.*, vol. 153, no. 1, Feb. 2006.
- [8] H. W. Son, "Design of RFID tag antennas using an inductively coupled feed", *Electronics Letters*, vol. 41, no. 18, Sep. 2005.

황보 창



2004년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 3월~2008년 현재: (주)EMW 안테나 연구원
[주 관심분야] 증폭기의 선형화 기법, 안테나 설계, RFID

양 묘 근



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 2월~현재: (주)EMW 안테나 수석연구원
[주 관심분야] 소형안테나

서 승 업



2003년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월~2006년 1월: (주)하이게인 안테나 주임연구원
2006년 2월~현재: (주)EMW 안테나

선임연구원
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RFID

성 원 모



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 6월~현재: (주)EMW 안테나

연구소장
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

이 윤 복



2003년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 7월~현재: (주)EMW 안테나 주임연구원
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

RFID