

# RCS(Radar Cross Section)를 이용한 UHF 대역 RFID 태그 안테나 설계 기술

권홍일 · 신영중 · 이범선  
· 최원규\* · 손해원\*  
경희대학교 전파공학과,  
\* 한국전자통신연구원

## I. 서 론

RFID 기술은 사물에 부착된 태그를 이용하여 그 사물들의 정보나 주변 상황정보를 감지하는 무선 인식 기술이며, 이는 현재 연구 개발이 활발히 진행되고 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 환경에 필수적인 요소일 뿐만 아니라 이를 통해 사람들의 실생활 곳곳에서 유용하고 편리하게 활용될 핵심 기술이라고 말할 수 있다. 최근 생활이나 산업의 각 부문에 이 RFID 기술이 급속하게 확산되고 있는 추세이며, 기존의 많은 시스템을 RFID 기술이 대체할 것으로 전망될 정도로 그 응용 분야나 파급 효과는 막대하다고 볼 수 있다.

RFID 시스템은 크게 리더, 태그와 호스트 컴퓨터로 구성되며, 저주파(125 kHz, 135 kHz), 고주파(13.56 MHz), 극초단파(433.92 MHz, 860~960 MHz), 마이크로파(2.45 GHz) 등 여러 주파수 대역을 이용하고 있으며 각기 사용 방법이나 활용 범위가 다르다. 또한, 이 주파수 대역 중에서 UHF 대역은 기존의 저주파 대역보다 중장거리 신호 전송이 가능하고, 대역폭이 넓어 고속 전송이 가능하기 때문에 유통, 물류 및 생활 여러 분야에 활용도가 높고 특히 최근 우리나라에도 유통 및 물류산업에 적용될 RFID 주파수 대역이 결정됨으로 해서 산업 분야 및 학계에서도 많은 관심을 기울이고 있는 상태이다.

RFID 시스템 구성 요소들 중에서, RFID 태그는 기존의 바코드와 마찬가지로 각 사물의 고유 정보를 가지고 있고 여러 가지 사물에 아주 저가로 대량 생

산하여 활용해야 한다. 또한 그 크기는 작아야 하며, 여러 물체 및 위치에 부착이 용이해야 하기 때문에 이에 대한 특성 분석 및 이를 고려한 효율적인 안테나 구조 개발은 필수적인 일이며, 앞으로의 폭발적인 수요에 대한 시장 선점과 국제 표준의 선도의 입장에서 그 중요함이 매우 크다 하겠다. 이러한 상황에 발맞추어 RFID 분야의 선도적인 기업들은 여러 가지 형태의 태그 디자인을 개발하고 제안하고 있지만, 이 회사들의 특허 및 보안상의 이유로 자세한 내용의 공개가 되지 않고 있으며 특히 우리나라의 경우는 그 연구가 매우 미약한 상태이다. 또한 RFID용 태그 구현에 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]</sup>.

본고에서는 전 세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 적합하다고 전망되고 있는 UHF 대역의 태그 설계에 중점을 두었으며, 특히 이 태그가 전도성 물질에 부착 가능한 구조를 가지며 그 크기가 기존에 상용화된 제품보다 작게 구현하는데 중점을 두었다.

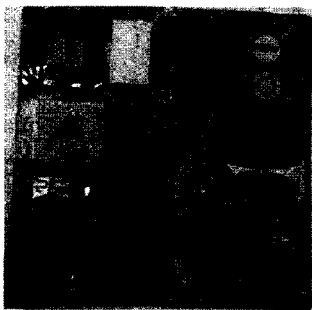
## II. RFID 태그

RFID 시스템에서 태그는 리더에서 보내온 전자기적인 신호를 감지하여 태그 내에 입력되어 있는

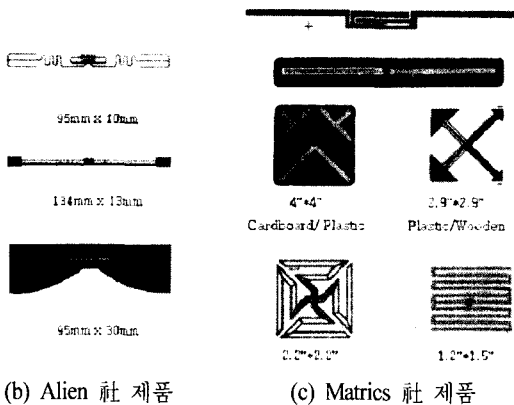
고유한 정보를 다시 리더로 보내는 역할을 하는 시스템을 말한다. 일반적인 태그의 요구 사항은 소형이며 가격이 저렴하여야 하며, 사용 주파수에 대해 충분한 대역폭과 전력 전달 측면에서 효율이 높아야 한다. 또한, 태그가 부착된 상품이나 물품의 위치나 방향에 민감하지 않아야 하며 칩 임피던스와 정합이 용이해야 하고 내구성이 우수해야 한다.

[그림 1(a)]는 UHF 대역 RFID 시스템에 사용되고 있는 여러 가지 태그의 모형을 보이고 있다. 접촉 물체 및 사용용도에 따라서 다양한 구조를 나타내고 있다. [그림 1(b), (c)]는 상용화되고 있는 RFID 시스템 구현으로 대표적인 Ailen사와 Matircs사의 태그 안테나의 모형을 보이고 있다.

대부분의 태그들은 그 특성상 평면형이기 때문에



(a) 다양한 형태의 UHF 대역 태그



(b) Alien 社 제품

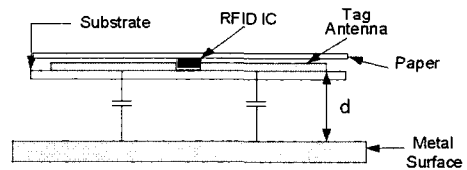
(c) Matircs 社 제품

[그림 1] 상용화된 태그들

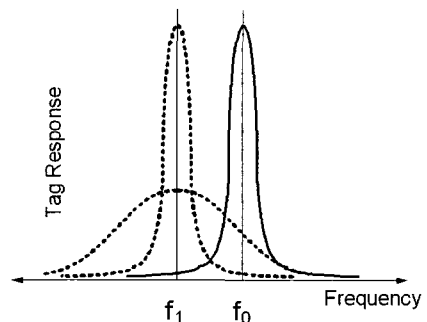
[그림 1]과 같이 전도성 물체에 가까이 가게 되면 그 특성이 열화된다. 도체에 전기적으로 근접하게 되면 전자기파의 경계 조건에 의해 IC 칩 구동에 필요한 전위차를 얻지 못하게 되어 태그로서의 역할을 하지 못하게 될 뿐만 아니라 도체와 태그 사이의 기생 캐패시턴스 성분 및 기생 성분으로 인하여 안테나 임피던스, 방사효율, 공진주파수 및 반사손실 특성도 변하게 된다<sup>[1][2]</sup>.

일반적으로 전도성 물체나 고유전율의 물체, 다른 태그들이 인접하게 될 경우 RFID 태그는 그 성능이 [그림 3]과 같이 저하된다<sup>[2]</sup>. [그림 3]의 실선은 원래의 공진주파수에 대한 응답이라고 보면 점선들은 인접한 도체나 다른 태그들의 영향으로 주파수 이동과 응답 감소를 나타내고 있다. 이러한 현상들은 안정적인 RFID 시스템 구축에 큰 장애가 되는 요소들이며 따라서 전자기적으로 불안정한 환경에서도 안정된 특성을 나타낼 수 있는 태그가 무엇보다 요구된다.

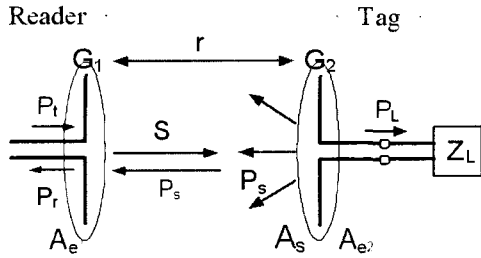
### III. Backscatter 변조방식



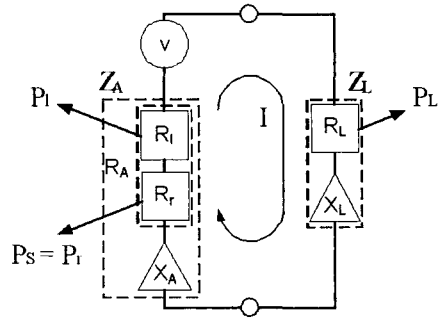
[그림 2] 일반적인 RFID tag와 근접한 전도성 물체



[그림 3] RFID tag의 주파수 응답과 인접 도체의 영향



[그림 4] RFID 시스템에서 리더와 태그의 전력 전달 과정



[그림 5] 태그의 등가회로

3-1 RCS(Radar Cross Section)

[그림 4]는 UHF 대역의 RFID 시스템에서 리더와 태그의 전력 전달 과정을 나타내었다. 리더에서 전송한 전력은 전력밀도  $S$ 로 태그에 도달하며 여기서 산란되는 전력은  $P_s$ , 태그의 부하로 전송되는 전력은  $P_L$ 로 나타낼 수 있으며 여기서  $A_s$ 는 태그 안테나의 산란면적,  $A_{e1}$ 과  $A_{e2}$ 는 리더와 태그의 유효면적이고,  $G_1, G_2$ 는 리더와 태그의 안테나 이득이며,  $r$ 은 거리이다. 산란된 전력은 다시 리더까지 반사되고 결국 리더의 수신 단에서의 수신 전력은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

태그의 산란 면적(scattering aperture)  $A_s$ 는 RCS (Radar Cross Section)과 동일한 개념으로 볼 수 있다. 따라서 규격으로 고정된 송신 전력, 고정된 리더 안테나의 이득, 고정된 주파수, 고정된 리더와 태그의 거리인 경우의 수동형 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 정보전달이 가능해진다.

[그림 5]는 태그의 등가회로를 나타낸다.  $V$ 는 전계 결합으로 유도된 테브난 등가전압이며,  $Z_A$ 는 안테나의 임피던스를,  $Z_L$ 은 칩(회로)의 임피던스를 나타낸다. 식 (2)의  $I$ 는 이 등가회로를 흐르는 전류를 나

타내며  $P_i$ 은 손실저항  $R_i$ 에서의 손실 전력을  $P_i(P_s)$ 는 방사(산란)전력을 나타낸다. 이 등가회로에서 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>[3]</sup>.

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

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

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

여기서  $S$ 는 태그에서의 입사전력 밀도이다.

<표 1>은 식 (3), (4)의 결과로 부하 임피던스 변화에 따른 유효 면적과 산란 면적의 값을 비교하였다. 유효 면적( $A_e$ )은 안테나의 임피던스가 칩의 임피던

<표 1> 부하 임피던스 변화에 따른 유효 면적과 산란 면적

	Open	Match	Short
RL	$\infty$	$R_r$	0
Effective Aperture	$A_e=0$	$A_e = \frac{V^2}{4S \cdot R_r}$	$A_e=0$
Scattering Aperture	$A_s=0$	$A_s = \frac{V^2}{4S \cdot R_r}$	$A_s = \frac{V^2}{S \cdot R_r}$

스와 공액 정합이 되었을 때 가장 크고, 산란 단면적 ( $A_s$ )은 단락 상태일 때 정합 상태보다 4배 크다.

### 3-2 RCS 값 계산을 위한 시뮬레이션 모델

〈표 1〉과 같은 결과의 신뢰성 검토를 위해 EM simulation tool(MWS-CST)을 이용하여 다이폴 안테나를 만들고 이에 대한 RCS 값을 산출하였다. RCS 는 보통 아래와 같이  $\text{dBm}^2$ 로 계산한다.

$$RCS(\text{dBm}^2) = 10 \log [RCS(m^2)] \quad (5)$$

〈그림 6〉과 같이 태그 안테나 위치에 다이폴 안테나를 위치시키고 한 방향에서 평면파를 입사하게 되면 모든 방향에 대해 RCS 값을 계산하게 된다.

다이폴 태그 안테나에서의 유도전압은  $V=(E\lambda)/\pi$ 로 표현되고, 입사전력 밀도는  $S=E^2/120\pi$ 으로 표현할 수 있다. 다이폴의 방사저항 73 옴을 식 (3)에 넣고 칩의 부하가 정합 상태인 경우로 가정하여 최대 재방사(산란)가 일어나는 방향으로의 산란 면적을 계산하면  $-16.38 \text{ dBm}^2$ 이 된다. 〈표 2〉에서는 다이폴 부하의 상태(IC 칩의 회로상태)가 정합(match), 단락(short), 개방(open)일 때에 따른 산란 면적의 차이를 보여준다. 〈표 1〉에서 계산된 결과와 마찬가지로 산란 면적은 단락일 때 가장 크며, 정합일 때는 단락일 경우의 1/4 값이 되며 약 6 dB 차이가 나고 있음을 확인할 수 있다. 또 이론적 계산과 EM 시뮬레이션 결과가 매우 유사함을 알 수 있다.

일반적으로 태그 칩의 저항  $R_L$ 은 수옴에서 수십 옴까지 다양하며 리액턴스  $X_L$ 은 수십옴에서 수백옴

〈표 2〉 다이폴의 부하 상태에 따른 산란 면적

Open	-28.03 dBsm
Match	-16.63 dBsm
Short	-10.53 dBsm

이다<sup>[4]</sup>. 이와 같이 IC 칩 내의 임피던스의 가변을 통한 산란 면적의 변화로 ASK 변조 회로를 구성할 수 있으며, 칩의 종류에 따라서 개방과 단락의 경우 위상차를 이용한 PSK 변조도 가능하다<sup>[3],[5]</sup>. PSK의 경우는 ASK 방식에 비해 SNR이나 BER이 좋으나 리더의 회로가 복잡해지는 단점이 있다.

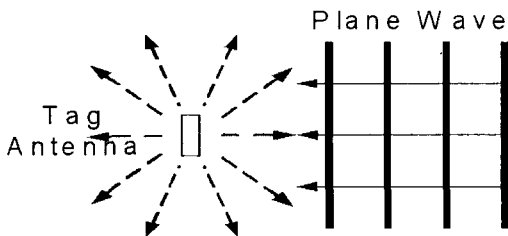
## IV. 전도성 물질에 부착 가능성

### 4-1 PIFA 형 태그 안테나

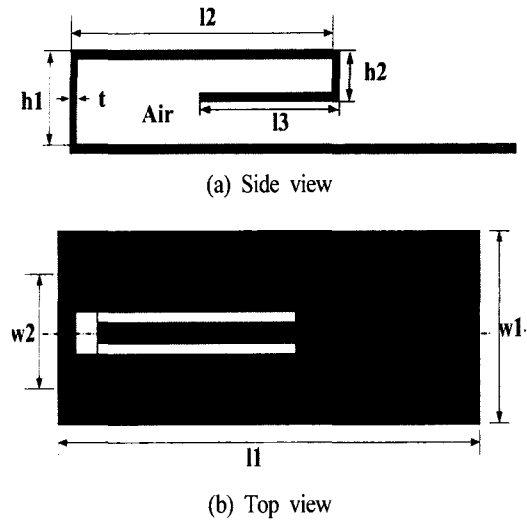
태그 안테나가 전도성 물체에 전기적으로 가까이 위치한 경우 방사효율이 떨어지고, 반사 손실 및 방사 패턴도 변하게 된다<sup>[4]-[6]</sup>.

그러나, PIFA(Plannar 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 옴 기준으로 설계되지만, 태그의 경우에는 일반적인 안테나와 다른 개념으로 설계해야 한다. 태그 안테나 크기 spec.이 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, PIFA형 안테나는 이와 같이 다양한 입력 임피던스를 구현해야 하는 경우에 적합하지 않다. 또한, 일반적인 PIFA형 동축선 급전 구조는 태그 안



〈그림 6〉 태그에 대한 RCS 값 도출 시뮬레이션 모델



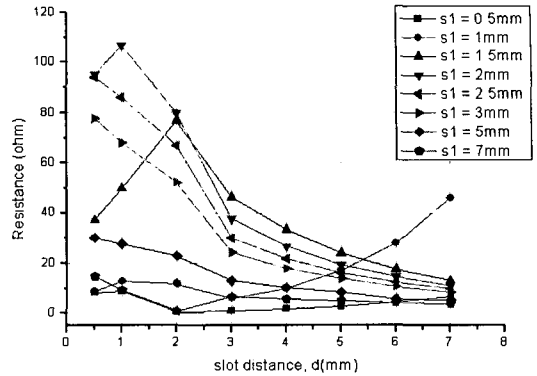
[그림 7] 제안된 태그 안테나

테나에 칩을 부착시키기가 어렵다.

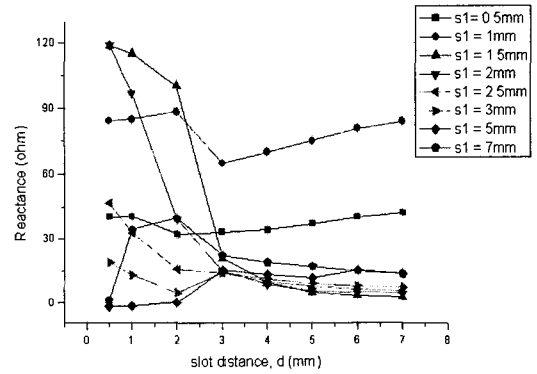
[그림 7]은 일반적인 PIFA 구조에서 변형하여 새롭게 제안된 구조이다. 이 구조는 기존의 동축선 급전의 일반적인 PIFA 형태보다 평면형 가공이 용이하여 칩을 부착하기 쉬우며, 이는 대량 생산과 단가 절감을 의미한다. 또한 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값으로 임피던스 값을 다양하게 구현할 수 있어 부착될 태그 칩과의 공액 정합이 훨씬 유리하다. [그림 8]은 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값의 변화에 따른 안테나의 입력 임피던스의 변화를 나타내었다.

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 3>은 Matrics 사의 칩 임피던스에 공액 정합이 되도록 설계되어진 태그 안테나의 파라미터 값들이다.

UHF 대역 RFID 사용 대역인 908.5~914 MHz(5.5 MHz)에 대해 충분한 대역폭을 만족시키며, 이와 같



(a) 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값에 따른 저항값



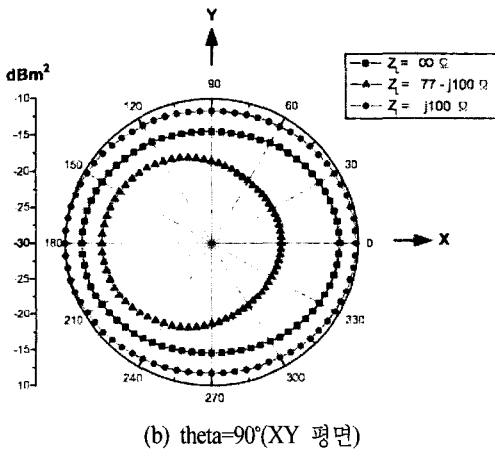
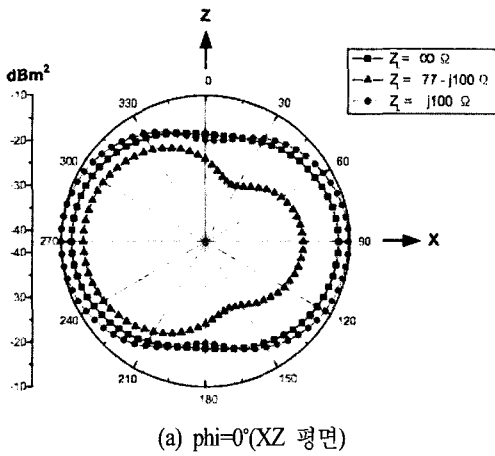
(b) 슬롯 폭( $s_1$ )과 슬롯 간격( $d$ )의 파라미터 값에 따른 리액턴스값

[그림 8] 슬롯 폭과 간격에 따른 임피던스 값의 변화

<표 3> 입력 임피던스 77+j100 Ω을 구현하기 위한 파라미터 값(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

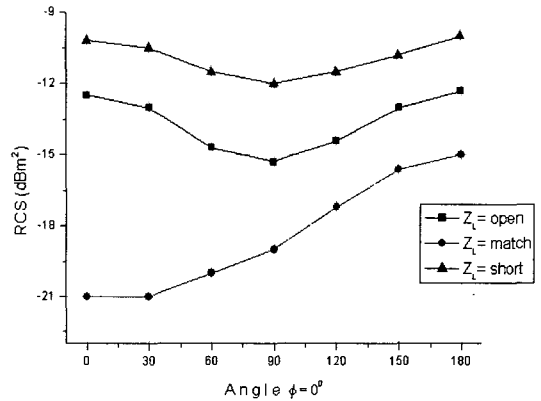
은 과정을 통해 전도성 물체 표면에 부착 가능한 prototype PIFA형 태그를 설계하였다. 접지면의 크기는 105×60 mm의 크기이고, 순수 PIFA의 크기는 50×30×4 mm(길이×폭×높이)이다.



[그림 9] Matrics社의 칩에 정합시킨 태그의 RCS 패턴  
4-2 RCS 패턴

[그림 9]는 Matrics사의 칩 임피던스에 공액 정합을 시킨 태그 안테나에 대해 칩의 임피던스 변화에 따른 RCS 패턴을 나타내고 있다. 리더가 위치하는 X방향으로 정합일 때 RCS값이 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 10]은 평면파의 입사 방향이 태그 안테나의 정면일 때의 각도를  $0^\circ$ 라 가정하고  $\phi$  방향을 따라

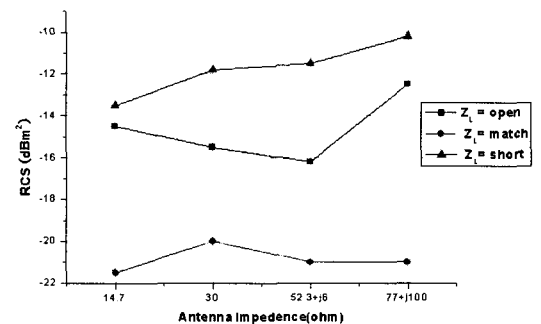


[그림 10] 평면파 입사 각도에 따른 RCS 변화

평면파의 입사 각도 변화에 따른 산란 면적의 크기 변화를 나타낸 그림이다.

리더에서 방사된 파의 입사 각도에 따라서 태그를 인식거리에도 차이가 생길 수 있기 때문에 다양한 입사각도에 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 11]은 태그 안테나 임피던스 변화에 따른 산란 단면적 크기를 나타낸다. 이 네 가지 경우에서 RCS 값은  $Z_A = Z_L^* = 77 - j100$ 인 경우에 short( $-10.2$



[그림 11] 태그 임피던스 변화에 따른 RCS 변화

dBm<sup>2</sup>),  $match(-21 \text{ dBm}^2)$ 로 제일 컸으며, 그 차이 또한 10.8 dBm<sup>2</sup>로 가장 큼을 알 수 있다.

## V. 결 론

본고에서는 기존의 UHF 대역의 수동형 태그들을 EM 시뮬레이션을 통해 분석함으로써 그 동작 원리와 특성을 파악하고, 주어진 RFID 태그용 칩 임피던스와 안테나와의 정합을 이루는데 필요한 기초적인 방법을 살펴보았으며, 이를 통해 향후 임의의 UHF 대역 RFID 태그용 칩에 대한 정합 기술에 응용할 수 있을 것이다. 또한, UHF 대역 수동형 태그 중 전도성 물질에 부착 가능한 태그 형태로 PIFA 형태를 채택해 50×30×4 mm(길이×폭×높이)의 크기로 UHF 대역 RFID 태그로 대표적인 Matrics사의 칩의 임피던스와 공액 정합이 되는 태그 안테나를 설계 제작하였다. 이 태그는 일반적인 다이폴 형 태그들보다 길이가 짧을 뿐만 아니라 반사 손실의 변화가 거의 없는 일정한 크기의 접지 면을 가지고 있기 때문에 철판이나 금속상자들의 물품에 부착하여 일반적인 태그처럼 동작할 수 있을 것이라고 보여지며, 슬롯 폭과 슬롯 간격을 통해 다양한 입력 임피던스를 구현이 가능하기 때문에 기존의 일반적인 PIFA형 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 발전시킨

다면 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, pp. 91-94.
- [2] Raj Bridgelall, *Enabling Mobile Commerce Through Pervasive Communication with Ubiquitous RF Tags*, 2003 IEEE, pp. 2041-2046.
- [3] John D. Kraus, *Antennas*, Second Edition McGraw-Hill.
- [4] Xianming Qing, Ning Yang, "A folded dipole antenna for RFID", *2004 IEEE AP-S*, pp. 97-100.
- [5] Pasi Raunonen, Lauri Sydanheimo, Leena Ukkonen, and Markku Kivikoski, *Folded Dipole Antenna Near Metal Plate*, 2003 IEEE.
- [6] Leena Ukkonen, Daniel Engels, *Planar Wire-Type Inverted F RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Objects*, 2004 IEEE.
- [7] *Passive RFID Basics*, Microchip Technology Inc., 1998.
- [8] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, John Wiley & Sons Second Edition.

≡ 필자소개 ≡

권 홍 일



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

최 원 규



1999년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 연구원  
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RF 회로 설계, RFID 등

신 영 종



2003년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
2005년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
2005년 3월~현재: SK 텔레텍 연구원  
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계

손 해 원



1994년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
2001년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)  
1996년 8월~2003년 11월: 삼성전자(주) 책임연구원

2003년 12월~현재: 한국전자통신연구원 RFID시스템연구팀 선임연구원  
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RF시스템 설계, RFID, 이동통신 등

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대 전기공학과 (공학석사)  
1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대 전기공학 (공학박사)  
1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보

학부 교수  
[주 관심분야] 안테나 및 전자파이론, 초고주파 수동회로