

UHF RFID 태그 안테나 기술

손해원 · 최원규 · 표철식

한국전자통신연구원
RFID 시스템연구팀

I. 서 론

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 각 사물에 전자태그를 부착하고, 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여, 해당 정보를 수집, 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 처리, 관리 및 사물간 정보교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다. RFID 시스템은 적용 분야별로 125 kHz의 저주파 대역에서 5.8 GHz의 마이크로파 대역에 이르기까지 다양한 주파수 대역을 사용하고 있다. 최근 유통·물류 분야 등에서 원거리 인식에 대한 요구가 증가함에 따라 RFID 시스템의 동작 주파수가 UHF 대역 이상으로 높아지고 있는 추세이다. 동작 주파수가 높아짐에 따라 인식 거리와 같은 시스템의 성능을 최대화하기 위해서는 RFID 태그 안테나의 적절한 설계가 더욱 중요해진다. 특히 수동형 RFID 태그의 경우, 태그 안테나의 최적 설계는 매우 중요하다. 수동형 RFID 태그는 내부에 별도의 전원을 가지고 있지 않으며, 리더로부터 송출된 전자파를 정류하여 자신의 동작 전원을 얻는다. 따라서 수동형 태그의 안테나는 가능한 최대의 전력을 손실 없이 태그 칩으로 전달하여야 하며, 이를 위하여 우수한 방사 특성과 함께 태그 칩과의 완벽한 정합이 이루어져야 한다. 또한, RFID 태그는 용도의 특성상 항상 특정 사물에 부착되어 사용되므로 태그의 부착 물체의 특성 및 동작 환경에 따른 최적화가 필요하다.

본 논문에서는 RFID 태그 안테나를 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들을 설명하고, 유도 결합 급전 구조를 이용한 새로운 구조의 태그 안

테나를 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수동형 RFID 태그의 동작 원리와 안테나와 칩의 임피던스 정합 및 태그의 인식 거리에 관하여 설명한다. III장에서는 유도 결합(inductive coupling)을 이용하여, 저항(resistance) 성분에 비하여 용량성(capacitive) 리액턴스가 큰 입력 임피던스를 가지는 RF front-end에 효율적인 정합이 가능한 공진(resonance) 안테나의 급전 구조 및 이를 이용한 태그 안테나를 제안한다. IV장에서는 금속체에 부착 가능한 태그 안테나에 대하여 간단히 설명한 후, V장에서 결론을 내린다.

II. 수동형 RFID 태그

2-1 태그의 동작 원리

RFID 시스템은 태그(tag or transponder)와 리더(reader or interrogator)로 구성된다. 태그를 부착한 물체가 리더의 인식 영역(read zone)에 놓이게 되면 리더는 태그에게 질문(interrogation)을 보내고, 태그는 리더의 질문에 응답한다. 수동형 RFID 시스템의 경우, 리더는 특정 주파수를 가지는 연속적인 전자파(continuous electro-magnetic wave)를 변조하여 태그에게 질문 신호(interrogating signal)를 송출하고, 태그는 내부 메모리에 저장된 자신의 정보를 리더에게 전달하기 위하여, 리더로부터 송출된 전자파를 역산란 변조(back-scattering modulation)시켜 리더에게 되돌려 보낸다. 역산란 변조란 리더로부터 송출된 전자파를 태그가 산란시켜 리더에게 되돌려 보낼 때, 그 산란되는 전자파의 크기를 변화시켜서 태그의 정보

를 보내는 방법이다. 일반적으로 수동형 RFID 태그는 안테나와 칩으로 구성되며, 태그 칩은 자신의 입력 임피던스를 변화시켜서 정보를 보낸다. 데이터를 전달하기 위하여 칩 임피던스는 정합 상태와 단락 상태의 두 가지 상태를 반복한다. 이는 사실상 태그 안테나의 RCS(Radar Cross-Section)를 변화시키는 효과를 발생시키므로, 이를 이용하여 역산란 변조가 가능해진다. 자세한 설명은 참고문헌^[11]을 참고하기 바란다.

한편, 수동형 태그는 별도의 전지(battery)를 가지고 있지 않으며, 리더가 송출한 전자파를 안테나로 받아서 태그 칩 내부의 정류 및 체배 회로를 이용하여 칩의 구동 전압을 만든다. 태그 칩을 정상적으로 구동시키기 위해서는 태그가 놓여진 위치에서 리더로부터 송출된 전자파의 세기가 특정 문턱값(threshold) 이상이 되어야 한다. 따라서 리더로부터 송출되어 태그에 도달하는 전자파의 세기에 의해서 인식 거리(read range)가 제한된다. 그러나 리더의 송출 전력은 미국의 FCC(Federal Communication Commission)를 비롯한 각 국의 지역 규정(local regulation)에 따른 규제를 받으므로 리더의 송출 전력을 무조건 높일 수는 없다. 따라서 RFID 태그는 소형, 경량, 저가로 만들면서도 최대의 효율을 가지는 안테나를 가지고 있어야 한다. 태그 안테나의 효율을 높이기 위해서는 동작 주파수에서 공진 특성을 가지며, 태그 칩의 입력 임피던스와 공액 정합(conjugate match)이 되도록 안테나가 설계되어야 한다.

2.2 임피던스 정합

일반적으로 태그의 제작 단가를 낮추기 위하여 태그 안테나와 칩은 별도의 부가회로 없이 직접 연결된다. 보통 태그 칩의 RF front-end는 쇼트키(shottky) 다이오드와 커패시터를 이용한 정류 및 검파 회로로 구성되어 있으며, 복소(complex) 임피던스를 가진다. 회로의 구성 및 쇼트키 다이오드의 특성은

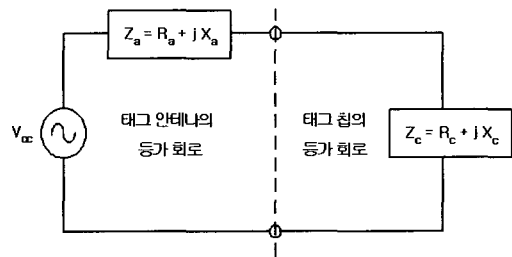
칩 제조사마다 다르므로 칩의 입력 임피던스 또한 제조사마다 다르다. 또한, 다이오드 회로의 비선형성으로 인하여 칩의 임피던스는 칩에 인가된 전압에 따라서도 달라진다.

일반적인 무선통신 시스템에서 대부분의 안테나들은 50 Ω이나 75 Ω에 정합되도록 설계된다. 최근 문헌에 발표된 일부 RFID 태그 안테나의 경우에도 50 Ω에 정합되도록 설계가 되어 있으며, 태그 칩에의 정합을 위하여 추가적인 정합회로를 요구하고 있다. 그러나 수동형 RFID 태그의 경우, 제작 단가 및 제작상의 문제로 인하여 추가적인 정합회로를 두는 것은 사실상 불가능하며, 안테나와 태그 칩의 직접적인 정합이 요구되고 있다. 또한, 태그 칩의 단가를 낮추기 위해서는 칩의 크기를 줄이는 것이 필수적인데, 커패시터와 인덕터의 조합으로 구성되는 정합회로는 칩에서 많은 면적을 요구하게 되므로 비용 측면에서 이를 칩 내부에 포함하기도 어렵다.

[그림 1]은 RFID 태그의 간략화 된 등가회로이다. 여기서 Z_a 는 태그 안테나의 임피던스이고, Z_c 는 태그 칩의 임피던스이다. V_{oc} 는 태그 안테나의 양단에 유기된 개방 전압이다. 이 때 태그 칩에 전달되는 전력(P_c)는 식 (1)과 같다.

$$P_c = (1 - |\Gamma|^2)P_{av} \tag{1}$$

여기서 P_{av} 는 태그 안테나가 칩과 완전한 공액정합($Z_a = Z_c^*$)이 되었을 때 칩에 전달되는 최대 가용 전



[그림 1] RFID 태그의 등가 회로

력(maximum available power)이고, Γ 는 안테나와 칩 사이의 반사계수(reflection coefficient)로서 식 (2)와 같다.

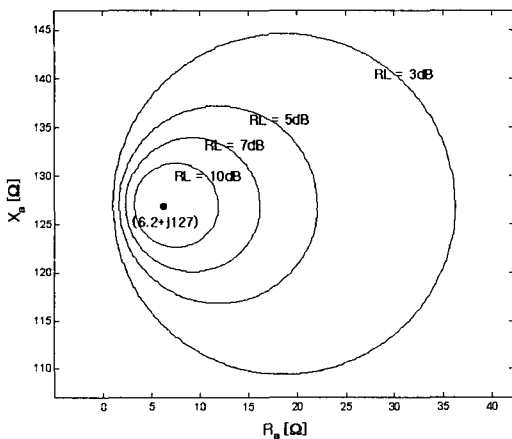
$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_c^*}{Z_a + Z_c^*}, 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (2)$$

$Z_a = Z_c^*$ 인 경우 $\Gamma=0$ 이 되며, 따라서 $P_c = P_{av}$ 가 된다.

식 (2)에서 태그 칩의 임피던스가 주어졌을 때, 안테나 임피던스의 변화에 따른 반사손실(return loss, $RL = -20 \log_{10} |\Gamma|$)의 변화를 그래프로 나타낼 수 있다. 식 (2)를 적절히 변형시키면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left(R_a - \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} R_c \right)^2 + (X_a + X_c)^2 \\ & = \left(\frac{2\sqrt{|\Gamma|}}{1-|\Gamma|} R_c \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

안테나 임피던스(Z_a)를 변수로 가정할 때, 식 (3)은 중심이 $\left\{ \frac{(1+|\Gamma|)}{(1-|\Gamma|)} R_c, -X_c \right\}$ 이고 반지름이 $\frac{2\sqrt{|\Gamma|}}{(1-|\Gamma|)} R_c$ 인 원의 방정식이다. [그림 2]는 $Z_c = 6.2 - j127$ 일 때, 안테나 임피던스의 변화에



[그림 2] 안테나 임피던스의 변화에 따른 반사손실의 변화($Z_c = 6.2 - j127$)

따른 반사손실의 변화를 등고선도(contour plot)로 나타낸 것이다. 칩 임피던스와 최소 반사손실이 주어졌을 때, 이를 만족하는 안테나 임피던스의 영역은 원의 내부로 제한된다. 식 (3)에서 태그 칩 임피던스의 Q (quality factor)가 매우 큰 경우($|X_c| \gg R_c$), 안테나 임피던스의 리액턴스 성분(X_a)은 주파수의 작은 변화에도 반경 $2\sqrt{|\Gamma|}/(1-|\Gamma|)R_c$ 인 영역을 쉽게 벗어나게 되므로 안테나의 대역폭이 상당히 작아지게 된다. 실제로는 주파수에 따라 Z_c 도 변화하므로, 임피던스 정합은 더욱 복잡하다.

2-3 인식거리(Read Range)

수동형 RFID 시스템에서 인식거리는 크게 2가지 요소에 의해 제한된다. 하나는 태그 칩을 정상적으로 구동하기 위하여 필요한 최소 문턱 전력(minimum threshold power)이고, 다른 하나는 리더의 수신 감도(sensitivity)이다. 일반적으로 리더의 수신 감도는 충분히 높으므로(-70 dBm 이상), 인식 거리는 주로 태그 칩의 최소 문턱 전력(보통 -10 dBm 내외)에 의하여 결정된다. 태그 칩의 최소 문턱 전력을 $P_{c,th}$ 라고 하면, 인식 거리는 Friis 공식^[2]으로부터 식 (4)와 같이 유도된다.

$$ReadRange = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{c,th}}} \quad (4)$$

여기서, P_{reader} 는 리더에서 송출되는 전력, G_{reader} 는 리더 안테나의 이득, G_{tag} 은 태그 안테나의 이득이며, λ 는 파장(wavelength)이다. 예를 들어 $P_{reader} = 30 \text{ dBm}$, $G_{reader} = 6 \text{ dBi}$, $G_{tag} = 2.15 \text{ dBi}$ 이고 $P_{c,th} = -10 \text{ dBm}$ 이라면 915 MHz에서 인식거리는 6.7 m가 된다.

Ⅲ. 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나 설계

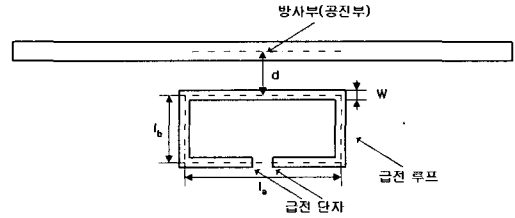
일반적으로, 수동형 RFID 태그 칩의 RF front-end는 쇼트키(shottky) 다이오드와 커패시터를 이용한 정류 및 검파 회로로 구성되어 있다. 따라서 회로의 특성 상 900 MHz 대역에서 수 Ω 의 작은 저항 성분(R_a)과 수백 Ω 의 큰 용량성(capacitive) 리액턴스 성분(X_a)을 가진다. 따라서 공액 정합을 위한 태그 안테나 임피던스는 수 Ω 의 작은 저항 성분(R_a)과 수백 Ω 의 큰 유도성(inductive) 리액턴스 성분(X_a)을 가져야 하며, 동시에 동작 주파수에 공진하여야 한다. 또한, 태그 칩의 임피던스는 높은 Q (quality factor)를 가지므로, 일반적인 방법으로 태그 안테나를 설계할 경우 상당한 협대역 특성을 가지게 된다.

본 논문에서는 유도 결합 급전 구조를 이용하여 효율적이고 광대역 정합 특성을 가지는 태그 안테나를 설계하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 안테나의 입력 임피던스를 임의의 값으로 조정하기가 쉬우며, 특히 저항 성분에 비하여 용량성 리액턴스 성분이 큰 입력 임피던스를 가지는 수동형 RFID 태그 칩에 효율적인 정합이 가능하다.

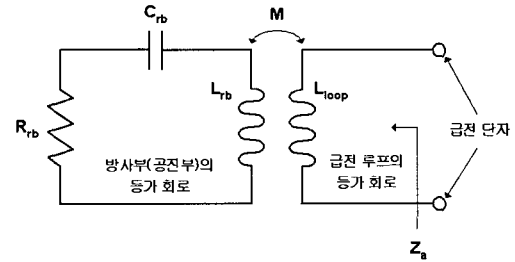
한편, 참고문헌 [3]에서 저자들은 전기적 소형 안테나의 입력 저항을 크게 만들기 위하여 유도 결합을 사용한 적이 있다. 그러나 그들은 안테나를 최적화하기 위하여 유전 알고리즘(genetic algorithm)을 사용하였으며, 그 결과 안테나의 공진 주파수와 임피던스 정합 주파수가 일치하지 않았을 뿐만 아니라, 협대역 특성의 안테나를 얻었다. 본 논문에서는 유도 결합 급전 구조에 대한 해석적인 모델(analytic model)을 제안하고 이들의 임피던스 특성을 분석한 뒤 안테나와 칩의 광대역 정합을 이루는 방법을 설명하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 전기적 소형 안테나의 설계에만 국한되지 않으며, 해석 결과는 실제 제작 및 측정된 결과와 잘 일치하였다.

3-1 안테나 설계: 수학적 모델

[그림 3(a)]는 본 논문에서 제안한 태그 안테나의



(a) 유도 결합을 이용한 태그 안테나의 급전 구조



(b) 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나의 등가 회로

[그림 3] 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나

급전 구조를 보여준다. 태그 안테나는 작은 직사각형 루프와 방사부(공진부)로 구성되어 있으며, 이들은 상호 유도 결합되어 있다. 유도 결합의 강도는 급전 루프와 방사부의 모양 및 상호 이격 거리(d)에 의해서 조정된다. 태그 칩은 루프의 두 단자에 직접 연결된다. [그림 3(a)]에는 각 부위의 치수를 나타내는 기호를 함께 나타내었다.

[그림 3(b)]는 제안된 유도 결합 급전 구조의 등가 회로이다. 그림에서 유도 결합은 상호 인덕턴스(mutual inductance) M 을 가지는 변압기(transformer)로 등가 모델링 되어 있다. 이때 급전 루프의 양 단자에서 들여다본 태그 안테나의 입력 임피던스는 식 (5)와 같다.

$$Z_a = R_a + jX_a = Z_{loop} + \frac{(2\pi fM)^2}{Z_{rb}} \quad (5)$$

여기서 Z_{rb} 는 방사부(radiating body)의 등가 임피던스이고, Z_{loop} 는 급전 루프의 등가 임피던스이며, M 은 방사부와 급전 루프 간의 상호 인덕턴스이다. 방

사부가 무한히 긴 도선이라고 가정할 때, 상호 인덕턴스 M 은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} l_b \ln \left(1 + \frac{l_a}{d} \right) \quad (6)$$

여기서 μ_0 는 자유 공간의 투자율(permeability)이다.

공진 주파수(f_0) 부근에서 방사부의 임피던스는 주파수의 함수로서 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{rb} = R_{rb,0} + jR_{rb,0} Q_{rb} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \quad (7)$$

여기서 $R_{rb,0}$ 는 방사부가 공진할 때, 임피던스의 저항 성분이며, Q_{rb} 는 방사부의 quality factor이다.

급전 루프의 임피던스는 식 (8)과 같다.

$$Z_{loop} = j2\pi f L_{loop} \quad (8)$$

여기서 L_{loop} 는 루프의 자체 인덕턴스(self inductance)로서 식 (9)와 같이 주어진다.

$$L_{loop} = \frac{\mu_0}{\pi} \left[l_b \ln \frac{2A}{a_e(l_b + l_c)} + l_a \ln \frac{2A}{a_e(l_a + l_c)} + 2(a_e + l_c - (l_a + l_b)) \right] \quad (9)$$

여기서 $l_c = \sqrt{l_a^2 + l_b^2}$ 이고, $A = l_a \times l_b$ 이며, a_e 는 급전 루프를 이루는 도선의 등가 반경(effective radius)이다. 기판(substrate) 위에 평면 구조로 인쇄된 급전 루프의 경우 도선의 선폴을 w 라고 할 때, $a_e = w/4$ 가 된다.

식 (7)과 (8)로부터 태그 안테나의 입력 임피던스 ($Z_a = R_a + jX_a$)는 식 (10a), (10b)와 같이 주어진다.

$$R_a = \frac{(2\pi f M)^2}{R_{rb,0}(1 + u^2)} \quad (10a)$$

$$X_a = 2\pi f L_{loop} - \frac{(2\pi f M)^2}{R_{rb,0}} \frac{u}{1 + u^2} \quad (10b)$$

여기서 $u = Q_{rb}(f/f_0 - f_0/f)$ 이다.

$f = f_0$ 일 때, 태그 안테나의 입력 임피던스($Z_{a,0}$

$= R_{a,0} + jX_{a,0}$)는 식 (11a), (11b)와 같이 주어진다.

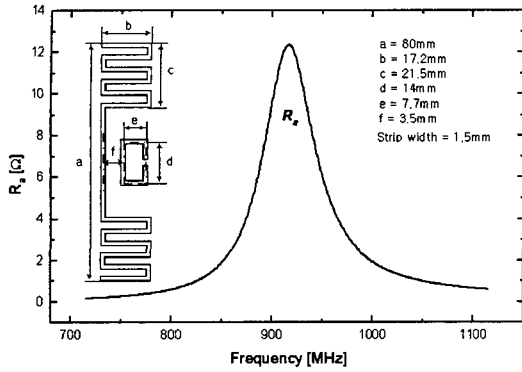
$$R_{a,0} = R_a(f = f_0) = \frac{(2\pi f_0 M)^2}{R_{rb,0}} \quad (11a)$$

$$X_{a,0} = X_a(f = f_0) = 2\pi f_0 L_{loop} \quad (11b)$$

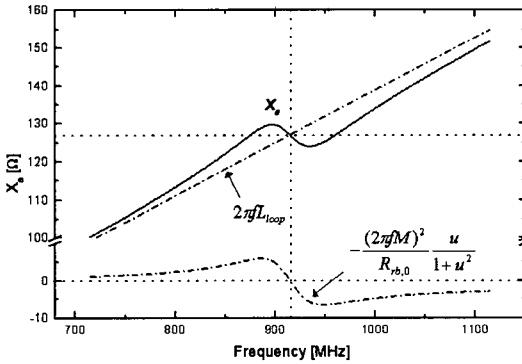
공진 주파수에서 태그 칩과 안테나가 완전한 공액 정합을 이루기 위해서는 $R_{a,0} = R_c$ 이고, $X_{a,0} = -X_c$ 가 되도록 태그 안테나 임피던스를 조정하면 된다. 그런데, 식 (11a)와 (11b)에서 알 수 있듯이 제안된 구조의 태그 안테나에서 입력 임피던스의 저항 성분($R_{a,0}$)은 상호 유도계수 M 만의 함수이며, 리액턴스 성분($X_{a,0}$)은 급전 루프의 자체 인덕턴스 L_{loop} 만의 함수이다. 따라서 $R_{a,0}$ 와 $X_{a,0}$ 을 서로 독립적으로 조정할 수 있다. 이는 제안된 구조의 태그 안테나가 임의의 입력 임피던스를 가지는 태그 칩에 손쉬운 정합이 가능한 구조임을 보여준다.

3-2 안테나 설계 결과

[그림 4(a)]는 제안된 급전 구조를 이용하여 설계한 태그 안테나의 일례를 자세한 치수와 함께 보여주고 있다. 태그 안테나의 공진 주파수는 915 MHz로 설계되었으며, 안테나의 길이를 줄이기 위하여 미앤더 구조의 방사부를 사용하였다. 방사부 옆에는 작은 직사각형 급전 루프가 방사부와 결합되어 놓여져 있다. [그림 4(a)]와 [그림 4(b)]는 각각 식 (10a)와 (10b)를 사용하여 계산된 태그 안테나 입력 임피던스의 저항 성분(R_a)과 리액턴스 성분(X_a)이다. 식 (10a)와 (10b)를 계산하는데 필요한 방사부의 quality factor Q_{rb} 와 저항 성분 $R_{rb,0}$ 는 CST MW Studio를 이용하여 구하였다. $R_{rb,0}$ 는 28.5 Ω 이고 Q_{rb} 는 14.7이다. 방사부와 급전 루프 간의 상호 인덕턴스 M 과 급전 루프의 자체 인덕턴스 L_{loop} 는 각각 식 (6)과 (9)를 사용하여 계산할 수 있으며, 각각 3.3 nH와 22.1 nH의 값을 가진다.



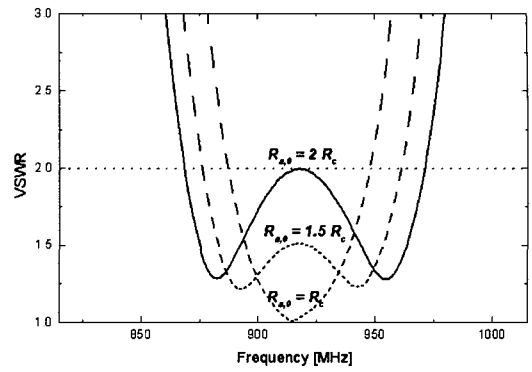
(a) 저항 성분



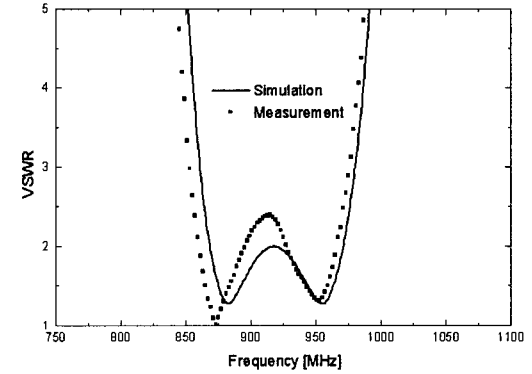
(b) 리액턴스 성분

[그림 4] 안테나 임피던스의 저항 성분과 리액턴스 성분

[그림 4(a)]는 주파수의 변화에 따른 태그 안테나 임피던스의 저항 성분 R_a 의 변화를 보여준다. 그림에서 $f=f_0$ 일 때 저항값이 최대가 된다. [그림 4(b)]는 주파수의 변화에 따른 태그 안테나 임피던스의 리액턴스 성분 X_a 의 변화를 보여준다. 식 (10b)에서 우변의 첫 번째 항은 양의 기울기를 가지는 직선을 나타내며, 두 번째 항은 $f=f_0$ 에서 음의 기울기를 가진다. 따라서 첫 번째 항과 두 번째 항은 공진 주파수 부근에서 서로 상쇄되는 현상을 보이며, 이로 인해 제안된 안테나는 광대역 특성을 가진다. 이와 유사한 현상은 참고문헌 [4]의 2-strip 헬리컬(helical) 안테나의 특성에서도 나타난다.



(a) $R_{a,0}$ 의 변화에 따른 VSWR의 변화



(b) 모의실험 결과와 측정 결과의 비교 ($R_{a,0}=2R_a$)

[그림 5] $R_{a,0}$ 의 변화에 따른 VSWR의 변화

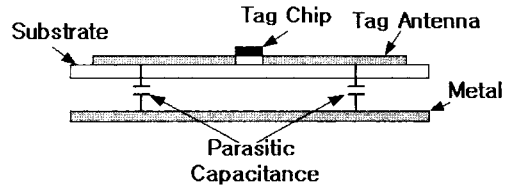
[그림 5(a)]는 $f=f_0$ 일 때의 안테나 임피던스의 저항 성분($R_{a,0}$)의 다양한 값에 대하여 정재파비 (VSWR)의 변화를 주파수의 함수로 나타낸 것이다. 식 (11a)와 (11b)에서 $R_{a,0}$ 은 상호 인덕턴스 M 만의 함수이고 $X_{a,0}$ 은 자체 인덕턴스 L_{loop} 만의 함수이므로, 방사부와 급전 루프의 모양을 동일하게 유지한 채, 단순히 이들 사이의 이격 거리를 조정하면 $X_{a,0}$ 의 값은 변화 없이 $R_{a,0}$ 의 값을 변경할 수 있다. [그림 5(a)]에서 태그 칩의 임피던스는 $(6.2-j127)\Omega$ 으로 가정하였으며, $R_{a,0}$ 의 값은 'VSWR ≤ 2 '를 만족하는 다양한 값을 선택하였다. $X_{a,0}$ 의 값은 127 Ω 으로 고정하였다. [그림 5(a)]는 임피던스 대역폭의

기준을 ' $VSWR \leq 2$ ' 로 정할 경우, $R_{a,0}$ 이 태그 칩 임피던스의 저항 성분인 R_c 의 2배가 될 때, 태그 안테나의 최대 대역폭을 얻을 수 있음을 보여준다. 본 논문에서는 해석 결과를 바탕으로 $R_{a,0} = 2R_c$ 일 때의 태그 안테나를 제작 및 측정하였다. 태그 안테나는 50 μm 두께의 PET 필름에 18 μm 두께의 동박을 에칭하여 제작하였다. [그림 5(b)]는 제작된 안테나의 $VSWR$ 을 측정된 결과를 해석 결과와 함께 보여준다. 측정 결과는 해석 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안된 안테나는 방사부와 급전 루프가 DC적으로 개방(open)되어 있으므로, 이들을 각각 별도의 기판(substrate)에 제작한 후 서로 간의 위치를 조정하여 결합시킴으로써, 태그 안테나를 구성할 수 있다. 예를 들어, 상품 포장용 종이 상자에 태그를 부착해야 하는 경우 방사부는 전도성 잉크를 이용하여 종이 상자 위에 인쇄하여 제작하고, 급전 루프는 에칭 방법을 이용하여 별도로 제작한 후 종이 상자 위에 인쇄된 방사부 근처에 붙임으로써 태그 안테나를 구성할 수 있다. 이때, 급전 루프의 모양을 규격화 및 표준화시켜 별도로 제작한 후, 적용 분야에 따라 다양한 형태로 설계/제작된 방사부와 결합시켜 사용할 수 있다. 이와 같이 태그 안테나의 전체 모양에 상관없이 규격화된 급전 루프를 독립적으로 제작할 수 있으므로, 태그 칩과 안테나의 인레이(inlay) 공정을 통일시킬 수 있으며, 태그의 제작 단가를 줄일 수 있다.

IV. 금속체 부착형 태그

RFID 태그는 용도의 특성상 항상 특정 사물에 부착되어 사용되므로 태그의 부착 물체의 특성 및 동작 환경에 따른 최적 설계가 필요하다. 특히, 금속 물체의 경우 흔히 쓰이는 라벨(label)형 태그와는 다른 구조의 안테나가 필요하다. 라벨형 태그의 안테



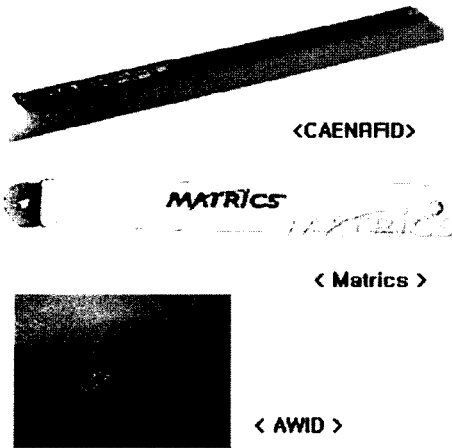
[그림 6] 다이폴 안테나가 금속 물체에 근접할 경우 생기는 기생 성분

나는 보통 얇은 종이나 PET 필름 등에 인쇄된 다이폴 형태의 안테나가 주류를 이룬다. 이러한 다이폴 안테나는 [그림 6]과 같이 금속 물체의 표면과 평행하게 가까이 놓이게 될 경우 금속 표면에서의 전파의 경계 조건에 의하여 태그 칩 구동에 필요한 충분한 전력을 얻지 못할 뿐만 아니라, 금속체와 태그 안테나 사이의 기생 커패시턴스 성분으로 인하여 공진주파수, 안테나 임피던스, 방사효율 등의 특성이 변하게 된다. 일부 상용 태그들은 이런 문제점들을 해결하기 위하여 금속 물체와 다이폴 안테나 사이의 거리를 일정 수준 이격시키는 방법을 사용하고 있다. 즉, 금속 물체와 다이폴 안테나 사이에 고무나 테플론 등을 삽입하여 일정한 간격을 띄우는 것인데, 삽입 물체의 유전율을 적절히 선택함으로써 다이폴 안테나의 길이를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 금속 물체와의 전기적 이격 거리를 증가시킬 수 있다. [그림 7]은 이러한 형태로 설계된 상용 태그들의 예를 보여준다.

한편, 마이크로스트립 패치 안테나 또는 PIFA (Planar Inverted-F Antenna) 등과 같은 구조는 적절한 동작을 위해 도체면을 필요로 하기 때문에 이런 부류의 안테나를 금속체 부착형 RFID 태그 안테나로 사용할 경우, 금속 물체를 오히려 태그 안테나의 성능 개선 수단으로 사용할 수 있다. [그림 8]은 본 저자들이 개발한 2종의 PIFA 안테나를 보여준다. 기본적인 구조는 PIFA와 동일하며, 태그의 크기를 줄이기 위하여 방사부에 U자형 슬롯을 형성하였다. 또

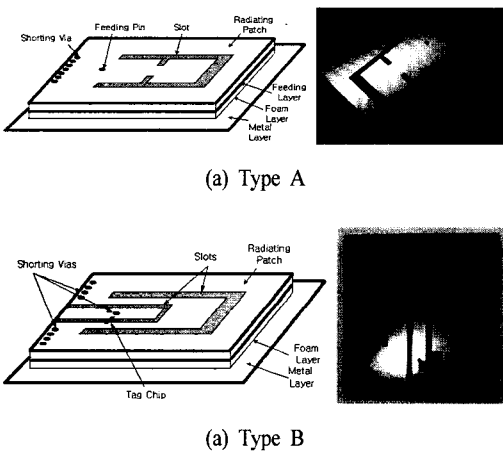
<표 1> [그림 8]의 금속체 부착형 태그(PIFA 안테나)의 성능

구분	크기(mm)	대역폭(RL>3 dB)	인식 거리
(a) Type A	44×47×2.3	8 MHz	최대 4 m
(b) Type B	50×50×2.3	10 MHz	최대 5 m



[그림 7] 금속체 부착형 태그(다이폴 안테나)

스 정합을 하였다. [그림 8]에서 A 형(type A)은 태그 칩이 접지면 쪽에 위치하고 있으며, B 형(type B)은 태그 칩이 방사부 쪽에 위치하고 있다. <표 1>은 2종의 태그 안테나에 대한 대역폭과 인식 거리를 측정 한 결과이다. 태그 칩은 Symbol사^[5]의 칩을 사용하였으며, SR400 리더와 원형 편파 리더 안테나를 이용하여 인식 거리를 측정하였다. 표에서 알 수 있듯이 PIFA를 금속체 부착형 태그 안테나로 이용할 경우 인식 거리는 4~5 m 정도로서 충분하지만, 안테나의 대역폭이 너무 작아서 인식률을 저하시킬 수 있다. 국내의 경우 5.5 MHz 이상의 대역폭이면 충분하지만, 미국을 포함한 북아메리카의 경우 26 MHz 이상의 대역폭이 요구되므로 이에 대한 개선이 필요하다.



[그림 8] 금속체 부착형 태그(PIFA 안테나)

한, 복소 임피던스를 가지는 태그 칩과의 효율적 정합을 위하여 전송선 형태의 급전 구조를 이용하였으며, 태그 칩의 부착 위치를 적절히 조정하여 임피던

V. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역에서 RFID 태그 안테나를 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들을 설명하고, 유도 결합 급전 구조를 이용한 새로운 구조의 태그 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 저항 성분에 비하여 용량성 리액턴스가 큰 입력 임피던스를 가지는 RF front-end에 효율적인 정합이 가능한 안테나로서, 수학적 해석 모델을 이용하여 유도 결합 급전 구조를 분석하고 태그 안테나를 태그 칩에 광대역으로 정합시키는 방법을 설명하였다. 본 논문에서 제안한 안테나는 방사부와 급전 루프가 DC적으로 개방되어 있으므로, 이들을 각각 별도의 기판에 제작한 후 서로 간의 위치를 조정하여 결합

시킴으로써, 태그 안테나를 구성할 수 있다. 따라서 급전 루프의 모양을 규격화시켜 독립적으로 제작한 후, 적용 분야에 따라 다양한 형태로 설계/제작된 방사부와 결합시켜 사용할 수 있으므로, 태그의 제작 단가를 줄일 수 있다. 또한 본 논문에서는 금속체에 부착이 가능한 태그 안테나에 대하여 설명하였으며, PIFA 등이 금속체 부착용 태그를 위한 적절한 안테나가 될 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications*, John

Wiley and Sons, 1999.

[2] H. Friis, "A note on a simple transmission formula", *Proc. IRE*, vol. 34, pp. 254-256, 1946.
 [3] H. Choo, H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using inductively coupled feed", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 22, pp. 1563-1565, 2003.
 [4] N. Keisuke, B. Shinichi, K. Takashi, and M. Motoo, "A compact broad-band helical antenna with two-wire helix", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 9, pp. 2176-2181, 2003.
 [5] <http://www.symbol.com>

≡ 필자소개 ≡
 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 RFID 시스템연구팀 선임연구원
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RF시스템 설계, RFID, 이동통신 등

표 철 식



1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 1월~현재: 한국전자통신연구원 텔레매틱스·USN연구단 RFID/USN 연구그룹 그룹장

[주 관심분야] RF 집적형 안테나 및 차세대 무선 시스템

최 원 규



1999년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RF 회로 설계, RFID 등