

UHF RFID 안테나 기술

손 해 원

전북대학교 전자정보공학부

I. 서 론

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 각 사물에 전자 태그를 부착하고, 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여, 해당 정보를 수집, 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 관리 및 사물 간 정보 교환 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 있다. 동작 주파수가 높아짐에 따라 인식 거리와 같은 시스템의 성능을 최대화하기 위해서는 RFID 태그 및 리더 안테나의 적절한 설계가 더욱 중요해진다. 특히, 수동형 RFID 시스템의 경우 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 안테나의 최적화가 필요하다. 특히 금속에 부착되어 사용되는 태그의 경우 흔히 쓰이는 라벨(label)형 태그와는 달리 금속 표면에서의 전자파의 경계 조건을 고려한 최적의 안테나 설계가 이루어져야 한다.

본 고에서는 UHF RFID 태그 및 리더 안테나를 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들을 설명하고, 태그 및 리더 안테나를 설계하는 대표적인 방법을 제시한다. 본 고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수동형 RFID 시스템의 동작 원리와 인식 거리에 관하여 설명한다. III장에서는 태그 칩의 임피던스와 임피던스 정합에 대하여 설명하고, 라벨형 및 금속 부착형 태그 안테나의 주요 설계 기술을 설명한다. IV장에서는 리더 안테나의 주요 기술적 요구 사항과 개발 사례를 소개하고, V장에서 결론을 내린다.

II. 수동형 RFID 시스템

2-1 시스템의 동작 원리

RFID 시스템은 태그와 리더로 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 electromagnetic wave)를 변조하여 태그에게 질문 신호(interrogating signal)를 송출하고, 태그는 내부 메모리에 저장된 자신의 정보를 리더에게 전달하기 위하여, 리더로부터 송출된 전자파를 후방 산란 변조(back-scattering modulation)시켜 리더에게 되돌려 보낸다. 후방 산란 변조란 리더로부터 송출된 전자파를 태그가 산란시켜 리더에게 되돌려 보낼 때, 그 산란되는 전자파의 크기나 위상을 변화시켜서 태그의 정보를 보내는 방법이다. 일반적

으로 수동형 RFID 태그는 안테나와 태그 칩으로 구성되며, 태그 칩은 자신의 입력 임피던스를 변화시켜서 정보를 보낸다. 데이터를 전달하기 위하여 태그 칩 임피던스는 안테나 임피던스에 대하여 정합과 부정합의 두 가지 상태를 반복한다. 이는 등가적으로 태그 안테나의 RCS(Radar Cross Section)를 변화시키는 효과를 발생시키므로, 이를 이용하여 후방산란 변조가 가능해진다^[1].

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 놓인 위치에서 리더로부터 송출된 전자파의 세기가 특정 문턱값(threshold value) 이상이 되어야 한다. 따라서 리더로부터 송출되어 태그에 도달하는 전자파의 세기에 의해서 인식 거리(read range)가 제한된다. 그런데 리더의 송출 전력은 미국의 FCC(Federal Communication Commission)를 비롯한 각국의 지역 규정(local regulation)에 따른 규제를 받으므로 무조건 높일 수가 없다. 따라서 RFID 태그는 소형, 경량, 저가로 만들면서도 최대의 효율을 가지는 안테나를 가지고 있어야 한다. 태그 안테나의 효율을 높이기 위해서는 동작 주파수에서 가급적 공진 특성을 가지며, 태그 칩의 입력 임피던스와 공액 정합(conjugate match)이 되도록 안테나가 설계되어야 한다.

2-2 인식 거리(Read Range)

수동형 RFID 시스템에서 인식 거리는 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. 리더의 수신 감도가 충분히 높다고 가정하면, 인식 거리는 주로 태그 칩의 최소 문턱 전력(보통 -12 dBm 내외)에 의하여 결정된다. 태그 칩의

최소 문턱 전력을 $P_{c,th}$ 라고 하면, 인식 거리(d)는 Friis 공식으로부터 식 (1)과 같이 유도된다^[2].

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{c,th}}} \quad (1)$$

여기서, P_{reader} 는 리더에서 송출되는 전력, G_{reader} 는 리더 안테나의 이득, G_{tag} 는 태그 안테나의 이득이며, λ 는 동작 주파수의 파장(wave length)이다. 예를 들어 $P_{reader} = 30$ dBm, $G_{reader} = 6$ dBi, $G_{tag} = 2.15$ dBi이고 $P_{c,th} = -12$ dBm이라면 910 MHz에서 인식 거리는 $d = 8.4$ m이다.

III. 태그 안테나 기술

3-1 태그 칩의 임피던스와 임피던스 정합

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 정합 회로를 요구하고 있다. 그러나 수동형 RFID 태그의 경우, 제작 단가 및 제작상의 문제로 인하여 추가적인 정합 회로를 두는 것은 사실상 불가능하며, 안테나와 태그 칩의 직접적인 정합이 요구되고 있다.

수동형 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 태그 칩 제조사마다 다르므로 태그 칩의 입력 임피던스 또한 제조사마다 다르다. 또한, 다이오드 회로의 비선형성으로 인하여 태그 칩의 임피던스는 태그 칩에 인가된 전력에 따라라도 달라진다.

보통 수동형 태그 칩은 900 MHz 대역에서 수 Ω ~

수십 Ω의 작은 저항 성분(R_c)과 수백 Ω의 큰 용량성 (capacitive) 리액턴스 성분(X_c)을 가진다. 따라서 공액 정합을 위한 태그 안테나의 임피던스는 수 Ω ~ 수십 Ω의 작은 저항 성분(R_a)과 수백 Ω의 큰 유도성 (inductive) 리액턴스 성분(X_a)을 가져야 한다. [그림 1]은 대표적인 상용 태그 칩의 하나인 Alien Higgs IC의 등가 임피던스를 보여준다^[3]. 910 MHz에서 Higgs IC의 임피던스를 계산해 보면 $14-j144 \Omega$ 이다.

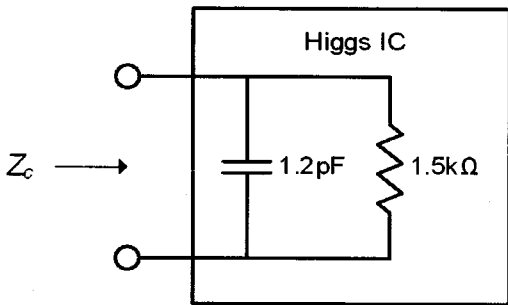
태그 안테나의 임피던스가 $Z_a=(R_a+jX_a)$ 이고, 태그 칩의 임피던스가 $Z_c=(R_c+jX_c)$ 일 때, 태그 칩에 전달되는 전력(P_c)는 식 (2)와 같다.

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

여기서 p_{av} 는 태그 안테나가 태그 칩과 완전한 공액 정합($Z_a=Z_c^*$)이 되었을 때 태그 칩에 전달되는 최대 가용 전력(maximum available power)이고, Γ 는 안테나와 태그 칩 사이의 전력 반사 계수(power reflection coefficient)로서 식 (3)과 같다^[4].

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_c^*}{Z_a + Z_c} \quad (3)$$

$Z_a=Z_c^*$ 인 경우 $\Gamma=0$ 이 되며, 따라서 태그 칩에 최대 전력이 전달된다.



[그림 1] Alien Higgs IC의 임피던스 등가 회로

3-2 라벨형 태그 안테나 기술

라벨형 태그는 종이, 플라스틱, 나무 상자 등에 부착할 수 있는 얇은 필름 형태의 태그로서, 주로 평면 다이폴(planar dipole) 안테나를 사용한다. 반파장(half wave length)의 길이를 가지는 다이폴 안테나는 공기 중에서 73 Ω 정도의 임피던스를 가지는데, 이를 태그 칩의 복소 임피던스에 정합하기 위해서는 T-match나 유도 결합 급전(inductively coupled feed)과 같은 정합 방법을 사용한다^[5].

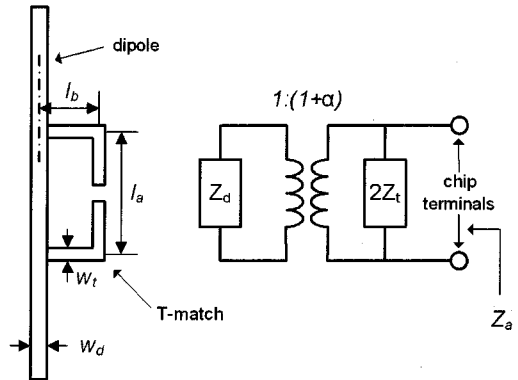
3-2-1 T-Match

[그림 2]는 T-match를 이용한 정합 방법을 보여준다^[6].

T-match를 이용한 태그 안테나의 입력 임피던스는 식 (4)와 같다.

$$Z_a = \frac{2Z_t(1 + \alpha)^2 Z_d}{2Z_t + (1 + \alpha)^2 Z_d} \quad (4)$$

여기서 $Z_t = jZ_0 \tan(\beta l_a / 2)$ 로서 T-match와 다이폴의 일부로 구성된 단락 스텐브(short-circuited stub)의 입력 임피던스이고, Z_0 와 β 는 각각 스텐브를 구성하는 전송선의 특성 임피던스(characteristic impedance)



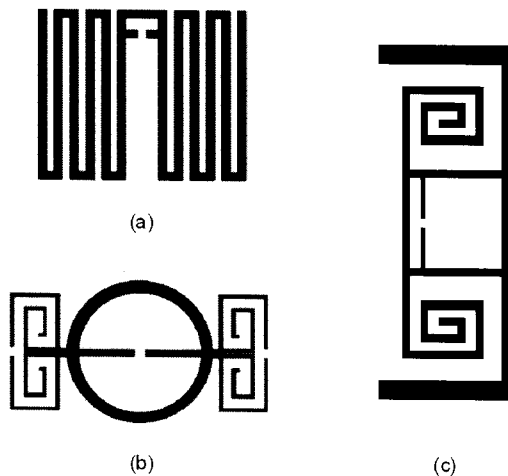
[그림 2] T-match를 이용한 정합 구조와 등가 회로

와 전파 상수(propagation constant)이다. Z_d 는 T-match를 사용하지 않고, 다이폴의 중앙에서 급전할 때의 입력 임피던스이며, α 는 T-match와 다이폴 사이의 current division factor로서 두 평면 도선의 폭(w_d, w_i)과 간격(l_b)에 의하여 결정된다. T-match를 이용한 태그 안테나는 다이폴의 구조뿐만 아니라, T-match의 l_a, l_b, w_i 를 조정하여 전체 안테나 임피던스가 태그 칩의 복소 임피던스에 적합되도록 조정할 수 있다. 기본적으로 단락 스테브는 유도성 리액턴스를 가지므로 용량성 리액턴스를 가지는 태그 칩에 임피던스 정합이 용이하다. [그림 3]은 T-match 및 이를 변형한 정합 구조를 이용한 다양한 태그 안테나들을 보여준다^{[7]~[9]}.

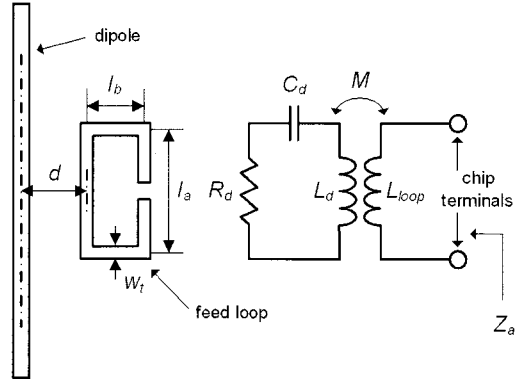
3-2-2 유도 결합 급전(Inductively Coupled Feed)

[그림 4]는 유도 결합 급전을 이용한 정합 방법을 보여준다^[10].

그림에서 태그 안테나는 작은 직사각형 루프와 다이폴로 구성되어 있으며, 이들은 상호 유도 결합되어 있다. 유도 결합의 강도는 급전 루프(feed loop)의 모양 및 다이폴과의 상호 이격 거리(d)에 의해서



[그림 3] T-match를 이용한 태그 안테나 예



[그림 4] 유도 결합 급전을 이용한 정합 구조와 등가 회로

조정된다. 태그 칩은 급전 루프의 두 단자에 직접 연결된다. 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나의 입력 임피던스는 식 (5)와 같다.

$$Z_a = Z_{loop} + \frac{(2\pi f M)^2}{Z_d} \quad (5)$$

여기서 $Z_{loop} = j2\pi f L_{loop}$ 로서 급전 루프의 임피던스이며, Z_d 는 유도 결합 급전을 사용하지 않고, 다이폴의 중앙에서 급전할 때의 입력 임피던스이다. M 은 다이폴과 급전 루프 간의 상호 인덕턴스(mutual inductance)이다. 유도 결합 급전을 이용한 정합 구조의 가장 큰 장점은 주 방사체인 다이폴이 공진할 때 얻을 수 있다. 다이폴이 공진할 때 전체 안테나의 입력 임피던스는 식 (6)과 같이 주어진다.

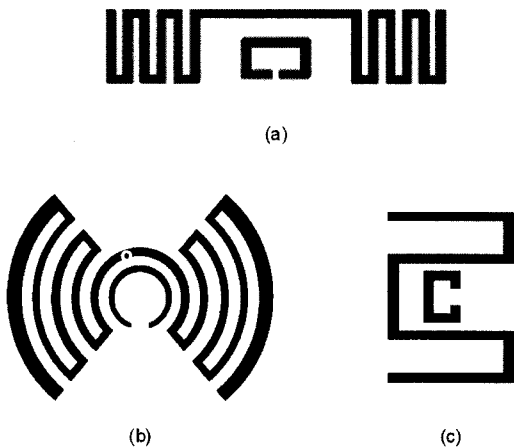
$$R_a(f = f_0) = \frac{(2\pi f_0 M)^2}{R_d} \quad (6a)$$

$$X_a(f = f_0) = 2\pi f_0 L_{loop} \quad (6b)$$

식 (6a)와 (6b)에서 알 수 있듯이 공진 다이폴(resonant dipole)과의 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나에서 입력 임피던스의 저항 성분(R_a)은 다이

폴의 저항 성분(R_d)과 상호 인덕턴스(M)만의 함수이며, 리액턴스 성분(X_a)는 급전 루프의 자기 인덕턴스 (self-inductance, L_{loop})만의 함수이다. 따라서 R_a 와 X_a 를 서로 독립적으로 조정할 수 있다. 이는 태그 안테나의 임피던스를 임의의 태그 칩 임피던스에 손쉽게 정합시킬 수 있음을 의미한다. 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나를 설계할 때는 우선 태그 칩의 용량성 리액턴스를 상쇄(cancel)시킬 수 있는 급전 루프의 크기를 결정 한 후(즉, $2\pi fL_{loop} = -X_c$), 급전 루프와 다이폴과의 이격 거리(d)를 조정하여 저항 성분(R_a)의 크기를 결정하면 된다. 공진 다이폴(resonant dipole)과의 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나의 또 하나의 장점은 이 안테나가 광대역 특성을 가진다는 것이다^[10]. [그림 5]는 유도 결합 급전을 이용한 다양한 태그 안테나들을 보여준다^{[10]~[12]}.

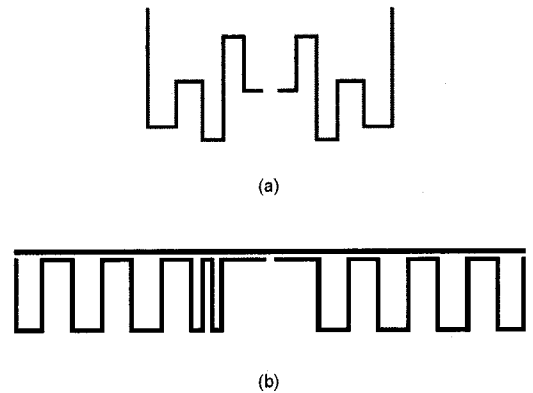
한편, 유도 결합 급전을 이용한 정합 구조에서 다이폴과 급전 루프 사이의 간격(d)을 영(zero)으로 가져가면 T-match 정합 구조와 동일해진다. 따라서, T-match는 유도 결합 급전의 특별한 경우로 이해될 수 있다. 일반적으로 유도 결합 급전은 태그 칩 임피던스의 Q 가 높을수록 적합하며, Q 가 낮은 태그 칩에 대해서는 T-match 구조가 적합하다.



[그림 5] 유도 결합 급전을 이용한 태그 안테나 예

3-2-3 미앤더 구조를 이용한 태그 안테나의 소형화

RFID 태그에 대한 주요 요구 사항의 하나로 태그의 소형화를 들 수 있다. 작은 물체에 태그를 부착하고자 할 경우 태그의 소형화는 필수적이며, 이러한 태그의 소형화를 위하여 가장 널리 사용되는 방법은 태그 안테나를 미앤더(meander) 형태로 만드는 것이다. [그림 3]과 [그림 5]에서 예시한 태그 안테나들도 모두 미앤더 형태를 취하고 있다. 미앤더 형태는 T-match 및 유도 결합 급전 정합 구조를 가지는 다이폴 안테나의 크기를 줄이기 위해서 사용될 수 있을 뿐만 아니라, [그림 6]과 같이 그 자체로도 임피던스 정합을 이룰 수 있다^{[5],[13]}. 이는 미앤더 다이폴의 전체 길이를 공진에 필요한 전기적인 길이(electrical length) 이상으로 길게 함으로써 미앤더 다이폴이 유도성 리액턴스를 가지도록 만들 수 있을 뿐만 아니라, 미앤더 구조에 따른 안테나의 소형화로 인하여 복사 저항이 작아지기 때문에 가능한 일이다. 그런데 안테나의 소형화에 따른 복사 저항 감소가 원하는 만큼 이루어지지 않을 경우에는 [그림 6]의 (b)와 같이 미앤더 다이폴 부근에 로딩 바(loading bar)를 가까이 함으로써 복사 저항을 작게 만들 수 있다^[13]. 이러한 방법으로 미앤더 다이폴 안테나는 작은 저항과 큰 용량성 리액턴스를 가지는 태그 칩에 자체적



[그림 6] 미앤더 구조를 이용한 태그 안테나 예

인 임피던스 정합이 가능하다.

3-3 금속 부착형 태그 안테나 기술

RFID 태그는 용도의 특성상 항상 특정 사물에 부착되어 사용되므로 태그의 부착 물체의 특성 및 동작 환경에 따른 최적화가 필요하다. 특히 금속에 부착되어 사용되는 태그의 경우, 흔히 쓰이는 라벨형 태그와는 달리 금속 표면에서의 전자파의 경계 조건을 고려한 최적의 안테나 설계가 이루어져야 한다. 금속 부착형 태그 안테나로는 크기가 작고, 두께가 얇은 마이크로스트립 안테나(microstrip antenna)가 널리 사용된다^{[14]~[18]}. 그러나, 얇은 두께의 마이크로스트립 안테나는 대역폭(bandwidth)이 좁고 복사 효율(radiation efficiency)이 낮은 단점이 있다. 특히, 기판(substrate)의 유전 손실(dielectric loss)에 의한 복사 효율 저하는 심각한 문제이며, 이를 조금이라도 개선하기 위해서는 유전 손실이 작은 값 비싼 고주파 기판(PTFE, 세라믹 등)을 사용해야 한다. 이는 금속 부착형 태그의 제조 원가를 상승시키는 요인이 된다. 따라서 FR4와 같은 저가의 고손실 기판을 이용하면서, 마이크로스트립 안테나의 효율을 향상시키는 것은 금속 부착형 태그 안테나 기술에서 매우 중요하다. 값 비싼 고주파 기판 대신 값 싼 플라스틱 기판도 사용될 수 있으나, 플라스틱은 열에 약하고, 유전율이 일정하지 않으며, 안테나의 성형(patterning)이나 태그 칩 장착(mounting)이 비교적 힘들다.

3-3-1 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)

[그림 7]은 금속 부착형 태그 안테나로 널리 사용되는 PIFA의 한 예를 보여주고 있다. PIFA는 마이크로스트립 라인(microstrip line)의 한 끝을 단락(short)시킨 후 단락 위치로부터 라인을 길이 $L_p (< \lambda/4)$ 만큼 끌고 와서 태그 칩을 장착한 것으로, 태그 칩이 장착된 쪽에 한 개의 방사 슬롯(radiating slot)이 존재한다. 태그 칩이 장착된 금속 터미널에서 바라본 PIFA

의 입력 어드미턴스(Y_a)는 식 (7)과 같다.

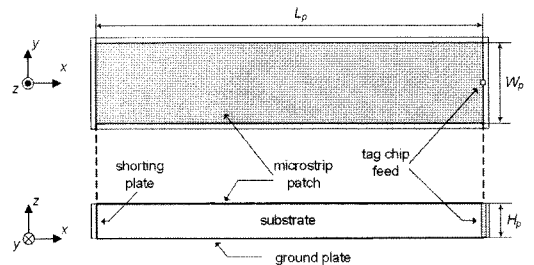
$$Y_a = \frac{1}{Z_a} = (G_{rad} + G_{loss}) - jY_0 \cot(\beta L_p) \quad (7)$$

여기서 Y_0 와 β 는 각각 마이크로스트립 라인의 특성 어드미턴스(characteristic admittance)와 전파 상수이다. G_{rad} 는 방사 슬롯의 복사 컨덕턴스(radiation conductance)이고, G_{loss} 는 기판의 도체 손실(conductor loss)과 유전 손실에 의한 손실 컨덕턴스(loss conductance)이다. G_{loss} 는 L_p 가 길수록 지수적으로 증가한다. [그림 7]의 PIFA는 마이크로스트립 라인의 길이(L_p), 폭(W_p), 두께(H_p) 등을 조정함으로써 작은 저항과 큰 유도성 리액턴스를 가지도록 설계될 수 있다. [그림 8]은 PIFA 구조를 이용한 다양한 태그 안테나들을 보여주고 있다^{[14]~[16]}.

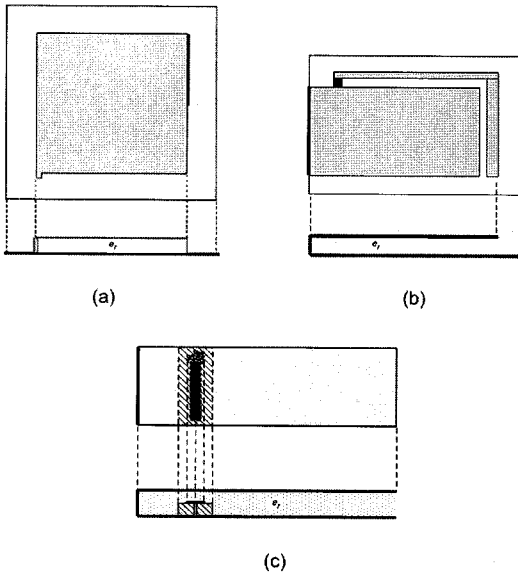
한편, [그림 7]의 PIFA 구조에서 단락 부위를 개방(open)하고, 마이크로스트립 라인의 길이를 $\lambda/4$ 만큼 더 길게($\lambda/4 < L_p < \lambda/2$)함으로써 금속 부착형 태그 안테나를 만들 수도 있다. 이와 같이 양 끝이 개방된 마이크로스트립 안테나는 2개의 방사 슬롯을 가지므로 1개의 방사 슬롯을 가지는 PIFA보다 높은 이득을 가진다.

3-3-2 Dual-PIFA

FR4와 같이 높은 유전 손실을 가진 기판을 사용하여 금속 부착형 태그 안테나를 설계할 경우에는



[그림 7] PIFA(Planar Inverted-F Antenna)



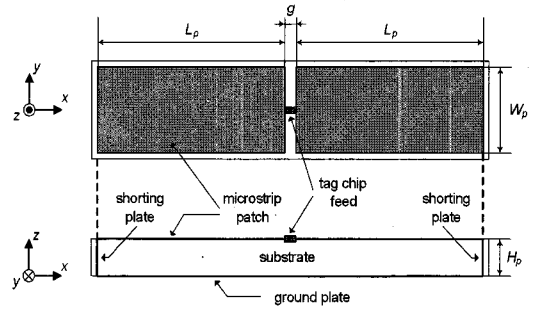
(a)

(b)

(c)

[그림 8] PIFA 구조를 이용한 태그 안테나 예

[그림 9]와 같은 dual-PIFA 구조가 적합하다^[17]. Dual-PIFA는 2개의 PIFA(이하에서 각각의 단일 PIFA를 single-PIFA라고 명명함)의 방사 슬롯이 서로 마주 보고 있는 구조를 가지며, 두 방사 슬롯 사이에 태그 칩을 장착한다. 태그 칩이 장착된 급전 터미널에서 바라본 dual-PIFA의 손실 컨덕턴스는 두 single-PIFA의 손실 컨덕턴스가 직렬로 연결된 구조이므로 single-PIFA의 손실 컨덕턴스의 절반 정도이다. 그러나 dual-PIFA의 복사 컨덕턴스는 single-PIFA의 복사 컨덕턴스보다 크거나 거의 유사한 값을 가진다. 따라서, dual-PIFA의 복사 효율은 single-PIFA의 복사 효율보다 2배 정도 향상된다. Dual-PIFA의 또 다른 장점은 single-PIFA와는 달리 우수한 교차 편파(cross-polarization) 특성을 가지는 것이다. Dual-PIFA의 H-평면 복사 패턴에서, 교차 편파 성분인 E_{θ} 는 이론적으로 영(zero)의 값을 가진다. 이는 서로 마주 보고 있는 두 마이크로스트립 라인의 길이 방향 에지(edge)에서의 프링징 필드(fringing field)가 크기는 같고, 방향이 반대로 형성되기 때문이다. 높은 교차 편파 성



[그림 9] Dual-PIFA

분을 가진 태그 안테나는 원형 편파 리더 안테나와 같이 사용될 때 높은 방향 민감성(orientation-sensitive)을 유발하므로, 태그 안테나의 교차 편파 성분은 작을수록 좋다^[18].

한편, 태그를 부착한 금속 물체가 리더 안테나에 가까이 있을 경우에는 리더의 송신 전력이 금속 물체에서 반사되어 리더의 RF 수신부로 넘어가서 DC offset을 유발하는 원인이 된다. 이는 태그 안테나 기술로는 해결할 수 없으며, 리더 수신부의 DC offset 제거 성능을 높여야 해결된다.

3-4 Near Field UHF 태그 기술

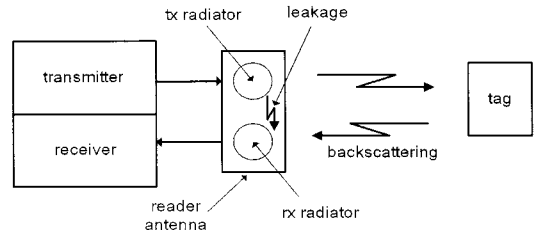
최근 UHF RFID 기술의 적용 대상을 팔렛(pallet)이나 상자(case) 단위에서 개별 물품 단위(item level)로까지 확장하고자 하는 시도가 널리 이루어지고 있다. 그런데 개별 물품들은 그 전기적 재질 및 구조가 매우 다양하여, 기존의 UHF 대역 태그로는 적절한 특성을 얻기가 어렵다. 특히 물, 음료수 등을 담고 있는 액체 용기나 금속성 포장재를 사용한 상품 등은 UHF 대역 전자파에 대한 간섭 현상 및 투과 손실이 매우 커서 기존의 UHF 태그를 활용하기가 매우 힘들다. 이와 같은 다양한 개별 상품의 인식을 위하여 UHF 대역에서도 전자파 복사(electromagnetic radiation)가 아닌 자계 결합(magnetic coupling)을 이용하여 RFID 시스템을 구성하고자 하는 것이 near field

UHF RFID 기술이다. 자계 결합을 이용한 태그는 단순한 코일 형태의 안테나를 가지고 있는데, 인식 거리는 짧으나 부착 물체의 전기적 특성에 따른 성능 저하가 비교적 적고, 안테나의 크기를 작게 만들 수 있다는 장점이 있다. 또한, 스마트 선반(smart shelf)과 같이 리더의 인식 영역이 국부적이어야 할 필요성이 있는 경우 near field 기술이 유용하게 사용될 수 있다. Near field UHF RFID 태그는 LF(Low Frequency)나 HF(High Frequency) 태그에 비하여 매우 작게 만들 수 있다. 또한, 코일 형태의 구조를 내재한 T-match나 유도 결합 급전 정합 방법을 적절히 사용할 경우, far field와 near field 겸용 안테나도 설계가 가능하다.

IV. 리더 안테나 기술

수동형 RFID 태그의 응답 신호의 반송 주파수(carrier frequency)는 리더의 질문 신호의 반송 주파수와 동일하다. RFID 리더의 RF 수신부에는 태그의 응답 신호뿐만 아니라, 리더의 RF 송신부에서 송출된 신호의 일부가 누설되어 들어온다. 이때, 두 신호의 반송 주파수가 동일하므로, RF 필터 등을 이용하여 송신부의 누설 신호를 제거할 수 없다. 일반적으로 태그의 응답 신호보다 리더의 RF 송신부에서 누설된 신호가 훨씬 크며, 이는 리더의 수신 감도를 크게 저하시킨다. 리더의 수신부는 강한 대역 내 간섭 신호가 존재하는 상황에서 약한 태그 신호를 검출하여야 하는데, 이러한 강한 누설 신호는 리더의 RF 수신부를 포화(saturation)시키거나, DC offset과 위상 잡음(phase noise)을 발생시킨다.

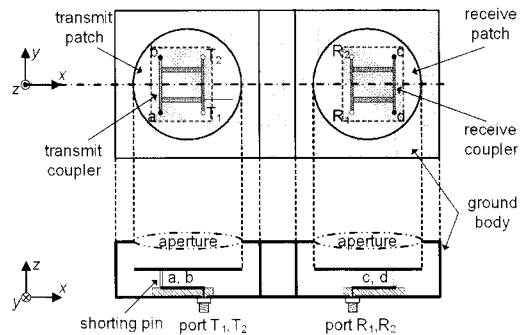
이러한 누설 신호를 줄이기 위한 방법으로는, [그림 10]과 같이 리더 안테나를 송신과 수신을 위한 2개의 방사체(radiating element)로 구성하고, 두 방사체 사이의 이격 거리를 크게 함으로써 송수신 분리도(transmit-receive Isolation)를 높이는 방법이 있다. 그



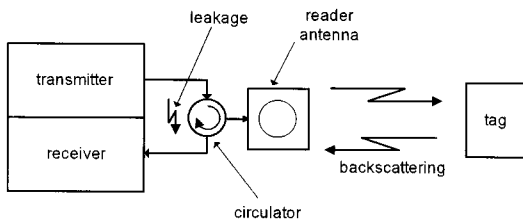
[그림 10] 두 개의 방사체로 구성된 리더 안테나

러나, 두 방사체의 이격 거리를 크게 하면 리더 안테나 전체의 크기가 커지는 단점이 있다.

두 개의 방사체로 구성된 송수신 분리형 리더 안테나에서 두 방사체 간의 송수신 분리도는 이격 거리뿐만 아니라 송수신 급전점(feed point)의 적절한 배치를 통해서도 개선할 수 있다. [그림 11]은 2개의 원형 패치 안테나로 구성된 원형 편파 리더 안테나에서 패치의 급전점을 적절히 배치함으로써 두 패치 사이의 분리도를 향상시킨 예이다^[19]. [그림 11]에서 리더 안테나는 브랜치 라인 커플러(branch-line coupler)를 이용하여 원형 편파를 송수신하는데, 안테나의 구조 및 급전점의 위치를 xz -평면을 기준으로 대칭이 되도록 설계함으로써 송신 급전점(a, b)으로부터 수신 급전점(c, d)으로 누설되는 신호를 상쇄시킨다. 예시된 리더 안테나는 $20 \times 45 \times 3$ cm의 작은 크기를 가지면서도 36 dB 이상의 높은 송수신 분리도를 가진다.



[그림 11] 송수신 분리형 리더 안테나의 예



[그림 12] 단일 방사체로 구성된 리더 안테나

한편, [그림 12]와 같이 단일 방사체를 이용하여 리더의 송수신을 같이 할 수도 있는데, 이 때 리더의 송신부와 수신부 사이에 서큘레이터(circulator)를 삽입하여 송수신 분리를 한다. 그런데, 서큘레이터를 이용한 리더의 송수신 분리도는 리더 안테나의 반사 손실(return loss)에 의하여 크게 영향을 받는다. 리더 안테나의 반사 손실이 서큘레이터의 분리도보다 작을 경우 리더의 송수신 분리도는 리더 안테나의 반사 손실에 의하여 결정된다. 예를 들어 서큘레이터의 분리도가 30 dB이고, 리더 안테나의 반사 손실이 10 dB라면, 리더의 송수신 분리도는 10 dB이다. 따라서, 단일 방사체를 이용한 리더 안테나는 높은 반사 손실을 가지도록 설계되어야 한다.

V. 결 론

본 고에서는 UHF RFID 태그 및 리더 안테나를 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들을 설명하고, 태그 및 리더 안테나를 설계하는 대표적인 방법들을 제시하였다. 앞으로 물류, 유통 분야 및 환경, 재해 예방, 의료 관리, 식품 관리 등 다양한 분야로 RFID 서비스가 확대될 경우 각 서비스에 최적화된 태그와 리더 안테나의 개발이 필요할 것이다. 특히, 개별 물품 단위의 정확한 인식을 위해서는 태그 안테나의 소형화와 리더 안테나의 인식 영역 제어 기술이 개발되어야 한다. 또한, 지폐나 고가품의 위조 방지 등에 사용되는 초소형 태그를 실현하기 위해서

안테나를 웨이퍼(wafer) 상에 직접 구현하는 AoC(antenna on chip) 기술 개발이 필요하다.

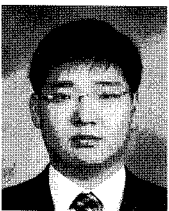
참 고 문 헌

- [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] "Higgs-2: EPC class 1 gen 2 RFID tag IC", <http://www.alientechnology.com>, Alien Technology Corporation.
- [4] P. V. Nikitin, K. V. S Rao, S. F. Lam, V. Pillai, R. Martinez, and H. Heinrich, "Power reflection coefficient analysis for complex impedances in RFID tag design", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 9, pp. 2721-2725, Sep. 2005.
- [5] G. Marrocco, "The art of UHF RFID antenna design: Impedance-matching and size-reduction techniques", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no. 1, pp. 66-79, Feb. 2008.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, John Wiley and Sons, 2005.
- [7] N. Michishita, Y. Yamada, "A novel impedance matching structure for a dielectric loaded 0.05 wavelength small meander line antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society, International Symposium*, Albuquerque, NM, pp. 1347-1350, Jul. 2006.
- [8] Y. Tikhov, Y. Kim, and Y. H. Min, "Compact low cost antenna for passive RFID transponder", *IEEE Antennas and Propagation Society, International Symposium*, Albuquerque, NM, pp. 1015-1018, Jul. 2006.
- [9] C. Cho, H. Choo, and I. Park, "Design of novel RFID tag antennas for metallic objects", *IEEE An-*

- tennas and Propagation Society International Symposium*, Albuquerque, NM, pp. 3245-3248, Jul. 2006.
- [10] H. W. Son, C. S. Pyo, "Design of RFID tag antennas using an inductively coupled feed", *Electronics Letters*, vol. 41, no. 18, pp. 994-996, 2005.
- [11] L. Yang, S. S. Basat, and M. M. Tentzeris, "Design and development of novel inductively coupled RFID antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Albuquerque, NM, pp. 1035-1038, Jul. 2006.
- [12] N. Kim, H. Kwon, J. W. Lee, and B. Lee, "Performance analysis of RFID tag antenna at UHF (911 MHz) band", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Albuquerque, NM, pp. 3275-3278, Jul. 2006.
- [13] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 12, pp. 3870-3876, Dec. 2005.
- [14] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jaakkola, and K. Laukkanen, "Planar inverted-F antenna for radio frequency identification", *Electronics Letters*, vol. 40, no. 14, pp. 848-850, Jul. 2004.
- [15] M. Hirvonen, K. Jaakkola, P. Pursula, and J. Saily, "Dual-band platform tolerant antennas for radio-frequency identification", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 9, pp. 2632-2636, Sep. 2006.
- [16] H. W. Son, G. Y. Choi, and C. S. Pyo, "Design of wideband RFID tag antenna for metallic surfaces", *Electronics Letters*, vol. 42, no. 5, pp. 263-265, Mar. 2006.
- [17] H. W. Son, "Design of RFID tag antenna for metallic surfaces using lossy substrate", *Electronics Letters*, vol. 44, no. 12, pp. 711-713, Jun. 2008.
- [18] H. W. Son, G. Y. Choi, "Orthogonally proximity-coupled patch antenna for a passive RFID tag on metallic surfaces", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 3, pp. 715-717, Mar. 2007.
- [19] H. W. Son, J. N. Lee, and G. Y. Choi, "Design of compact RFID reader antenna with high transmit/receive isolation", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 48, no. 12, pp. 2478-2481, Dec. 2006.

≡ 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~2007년 3월: 한국전자통신연구원 선임연구원

2007년 4월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 조교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RF시스템 설계, RFID, 이동통신 등