

工學碩士 學位論文

칩 임피던스의 변화에 둔감한 특성을 갖는
RFID 태그의 설계

*A Design for RFID Tag Antenna with Insensitive
Chip Impedance Variation*

指導教授 閔 庚 植

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

金 珍 佑

목 차

<i>Abstract</i>	<i>iii</i>
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 필요성	1
1.1.1 RFID 시스템	2
1.1.2 RFID 태그 기술	4
1.1.3 임피던스 정합	6
1.2 연구목적	8
제 2 장 RFID 태그의 부착 면에 따른 성능 평가	10
2.1 Printed 다이폴 안테나의 설계	11
2.2 부착 매질에 따른 특성 변화	13
2.2.1 유전체 종류와 크기	13
2.2.2 도체와 자성체의 크기	20
2.3 Summary	26
제 3 장 칩 임피던스의 변화에 둔감한 안테나 설계	27
3.1 서론	27
3.2 기본적인 안테나의 설계	28
3.3 임피던스 변화에 둔감한 RFID 태그의 설계	30
3.3.1 칩 임피던스 변화에 따른 태그의 특성	31
3.3.2 상용 칩을 이용한 태그 특성	36
3.4 실험 및 결과 고찰	38

3.4.1 측정 장비의 구성	38
3.4.2 태그 제작 및 측정	39
3.4.3 RCS 이론과의 결과 비교	42
3.5 Summary	44
제 4 장 결 론	45
참고 문헌	46
발표 논문	48

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) of objects has become very popular in logistics, inventory management and bio-engineering applications. To meet the need of the market, there has been intense research on RFID tag antennas in the UHF band, especially at 900MHz because propagation characteristics for middle to long range wireless links are favorable at this frequency. Data transfer of passive RFID systems at UHF frequencies is based on backscattering. A tag antenna reflects back a part of the energy received from a reader. In that process, the reflected energy is modulated by the microchip of the tag. The chip impedances vary from company to company. The resistance is usually in the range of 3-80(Ω) and the reactance, in the range of -270 to -80(Ω). A good tag antenna structure must be conjugate matched to specific chip impedance with a simple adjustment of its dimensions and its impedance bandwidth has to be broad enough. Most of the developed tag antennas are a dipole shape or its similar ones. The mechanism of re-radiation from a dipole-shaped tag is well known [3]. However, its disadvantage is that the impedance bandwidth is narrow. Besides, the resistance and reactance cannot be controlled separately. So, we must develop insensitive tag for variation of chip impedance.

This thesis describes of printed dipole antenna for RFID tag and evaluates performance characteristics by material surface environments stucked RFID tag with printed dipole antennas. Designed antenna that generally using RFID tag a printed dipole

antenna designed by FR4 substance. This antenna is assumed that it is stucked some products such as metal plate, dielectric material and ferrite material. It is evaluated performance of antenna characteristics as received signal value, radiation pattern and gain. When backside plane is metal, we confirmed that antenna performance is varied by backside plane.

Moreover, This thesis describes development of insensitive RFID tag independent about variation of chip impedance. Designed tag antenna is operated at 900 MHz bands, and its performance is maintained although reactance of the chip is changed. If chip reactance changes from $-j80$ to $-j270$ ohm, this tag takes -10 dB bandwidth in 900 MHz bands. Moreover we confirmed that this tag antenna has ability to use commercial chip model.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

RF기술을 이용한 통신 방법은 음성에서 벗어나 문자와 기호 그리고 영상에 이르기까지 많은 분야에 적용되고 있다. 그 중 사물에 접촉하지 않고 사물 또는 그 주변에 대한 정보를 인식하는 RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 최근 요구되고 있는 유비쿼터스 환경에서의 필수적인 핵심기술이다. 멀지 않은 미래에, 사람들은 자신 주변의 많은 사물에 부착된 RFID 태그로부터 자신이 얻고자 하는 정보를 얻을 수 있을 것이다[1]. RFID 기술은 기존 바코드를 대체하여 상품 관리를 네트워크화 및 지능화함으로써 유통 및 물품 관리뿐만 아니라 보안, 안전, 환경 관리 등에 혁신을 선도할 것으로 전망되며 이전에 존재하지 않았던 거대한 새로운 시장을 형성할 것으로 보인다.

그러나 이러한 RFID 시스템도 인식 거리에 의한 제약, 주위의 금속 등 전파 반사물에 의한 제약, 스낵처럼 알루미늄 봉지로 포장된 제품에 부착될 경우의 태그의 특성이 변하는 등 해결해야 할 여러 가지 단점들이 있다. 또한 대량의 칩을 사용하는 RFID 시스템을 위해 저가의 대량생산이 가능한 태그 칩을 개발해야 한다는 문제점도 있다.

이러한 단점에도 불구하고 RFID는 그 무한한 잠재력 때문에 시장이 계속 성장할 것으로 보인다. 세계 시장의 경우 2005년 30억 달러 규모에서 2010년에는 100억 달러규모로 성장할 전망이다. 이는 RFID 시장이 1996년 6억 달러에서 매년 25% 이상 성장하고 있는 추세에 따른 것이며 향후 이러한 추세는 계속될 것으로 보인다[1].

1.1.1 RFID 시스템

RFID는 고유의 정보를 보관하는 트랜스폰더와 판독 및 해독 기능을 하는 판독기, 데이터를 처리하기 위한 컴퓨터와 같은 장비 그리고 ERP(Enterprise Resource Planning)나 SCM(Supply Chain Management) 등의 응용프로그램으로 구성된다. 판독기에서는 태그로부터 송수신되는 신호를 처리하여 메모리에 저장하거나 일련의 데이터 처리를 통해 향후 송신 가능하도록 하는 역할을 수행한다. 태그는 무선 주파수를 발산하는 반도체 칩에 용도에 맞게 설계된 판독기로 정보를 송출 및 저장하는 역할을 한다. 그림 1.1은 RFID 시스템의 간단한 구성도를 나타낸다.

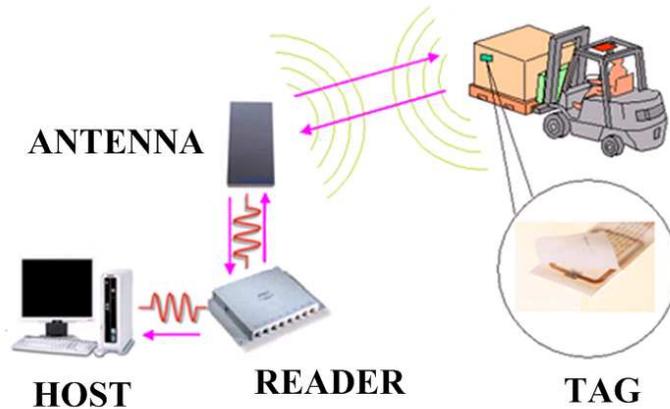


그림 1.1. RFID 시스템의 구조도.

Fig. 1.1 Configuration of RFID system.

대부분의 RFID 시스템은 용도에 맞게 최적화 설계되어 있으며, 기본적인 동작 원리는 다음과 같다. 우선 태그가 안테나의 전자기장 내를 통과하면 판독기로부터 신호를 감지하여 태그 내에 저

장된 데이터를 판독기로 송부한다. 태그로부터 데이터를 수신한 판독기는 신호를 변환하여 정상적인 데이터 인지를 검증한 후 정상적인 경우 RS-232, RS-422 및 RS-485 등을 통하여 컴퓨터와 다른 컨트롤러 호 전송에 필요한 정보를 가공한다.

RFID 시스템은 저주파(125 kHz, 135 kHz), 고주파(13.56 MHz), 극초단파 (433.92 MHz, 860~960 MHz) 및 마이크로파(2.45 GHz)등 여러 무선 주파수 대역을 이용하며, 주파수 대역별로 응용 분야가 틀리다. RFID 시스템은 무선접속 방식에 따라 상호 유도 (Inductively Coupled) 방식과 전자기파(Electromagnetic Wave) 방식으로 구분되며 상호 유도 방식은 근거리, 전자기파 방식은 중장거리용 RFID로 사용한다.

저주파대 제품은 사용거리가 짧고, 데이터 전송속도는 낮지만 출입 통제 보안, 동물의 인식 및 추적, 작업의 자동화, 재고관리, 재고자산 추적과 같은 분야에서는 효과적으로 사용된다. 고주파대 제품은 주로 13.56 MHz를 사용하여 출입 통제 보안, 스마트카드 등에 사용되며 최근에는 물류시스템 관리에도 사용되기 시작하였다. 433.92 MHz 대역은 미국 등에서 일부 컨테이너 관리용으로 사용하고 있으며, 앞으로 테러 방지를 위해 수출입 관리용으로 사용하고 있으며, 앞으로 테러 방지를 위해 수출입 컨테이너에 사용하는 방안을 검토 중이며 우리나라 및 일본은 아마추어용으로 사용하고 있어 타 업무 공유 또는 재분배가능성을 연구 중이다. 860~960 MHz 대역은 전 세계적인 유통 물류 등의 용도에 가장 적합한 대역으로 전망되고 있으며 2.45 GHz 대역은 전 세계적으로 ISM 대역으로 분배되어 활용 중이다[2].

1.1.2 RFID 태그 기술

다양한 물품에 부착되는 RFID 태그는 그림 1.2와 같이 칩과 안테나로 구성되고 칩에는 사물의 유일 식별 코드나 정보를 저장하며 리더의 요청에 의해 또는 상황에 따라 스스로 외부에 자신의 정보를 전송·수신하며 적용 분야에 따라 다양한 형태 및 재질로 만들어진다. 수동형 태그의 데이터 전송 방식은 Backscatter 변조 방식을 사용하며 동작 원리는 그림 1.3에서 설명된다.

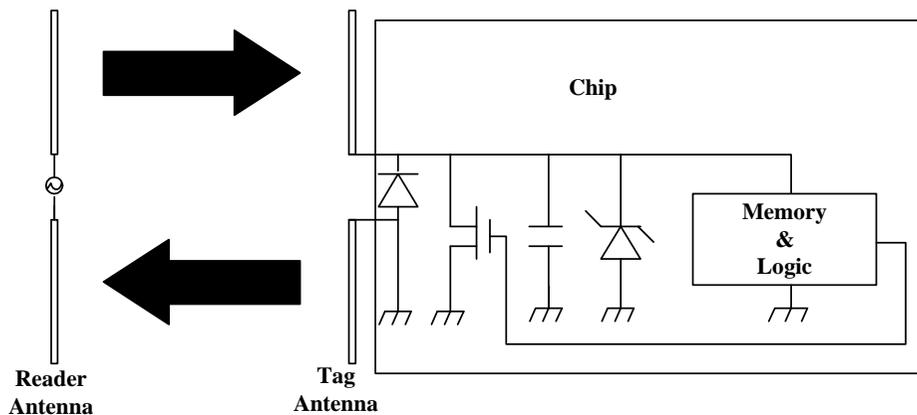


그림 1.2 RFID 태그 구성도.

Fig. 1.2 Configuration of RFID tag.

그림 1.3 (a)는 태그 안테나의 등가회로이며, 여기서, S 는 안테나 수신 전력, P_e 는 칩으로 공급되는 전력을 나타낸다. (b)는 안테나와 칩이 정합되었을 경우, 칩으로 공급되는 전력은 반사되는 전력과 동일하게 수신 전력의 1/2이 됨을 보여주고, (c)는 안테나 부하 임피던스를 스위칭에 의해서 변경될 때, 반사되는 전력을 제어하는 개념을 보여준다. 이러한 방법으로 태그는 데이터를 전송하며 이를 Backscatter 변조라 부른다[3].

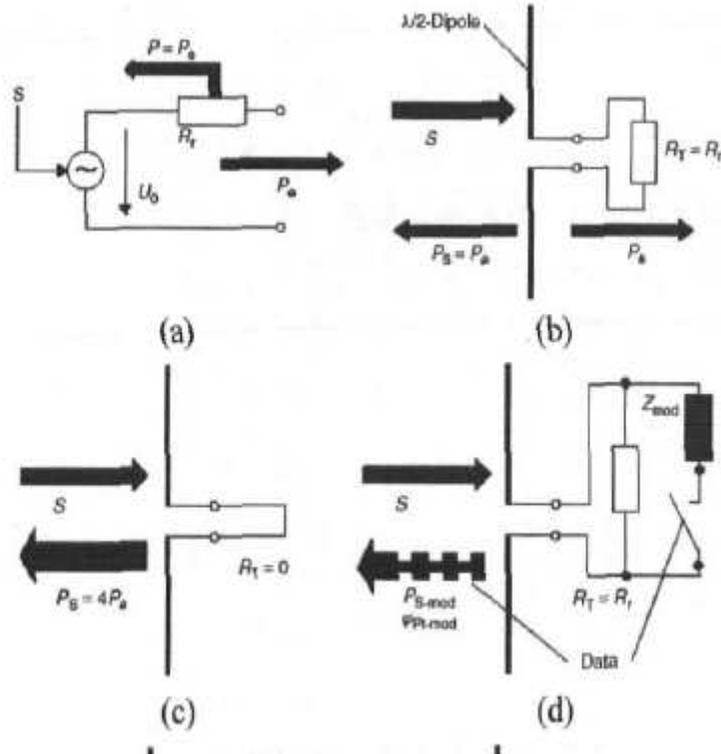


그림 1.3 RFID 태그의 backscatter 변조 동작 흐름도.

Fig. 1.3 Backscatter modulation operation flow of RFID tag.

RFID 태그용 안테나는 전기적 요구 성능뿐만 아니라 칩 및 패키지와 결합이 용이하고 태그가 부착되는 물질 및 환경에 영향을 받지 않아야 한다. 13.56 MHz 대역에서는 부하 변조 기능을 할 수 있도록 칩의 제어에 따라 임피던스를 변경할 수 있는 구조와 900 MHz 대역의 수동형에서는 전력 변환 효율을 높일 수 있도록 칩의 입력 임피던스와 정합 기술이 필요하다. 태그의 글로벌 사용을 위해 860~960 MHz 대역에서 동작하는 소형의 광대역 안테나가 요구되며, 제작비용을 줄이기 위한 단일층 구조와 소형으로 100 MHz의

대역폭을 만족시키는 새로운 안테나 기술 개발이 필요하며 현재 다이폴 안테나가 주로 사용되고 있으나 소형화를 위해 Fractal 및 Meander Line 안테나 기술이 개발되고 있다.

1.1.3 임피던스 정합

일반적으로 태그의 제작단가를 낮추기 위하여 태그 안테나와 칩은 별도의 부가회로 없이 직접 연결된다. 보통 태그 칩의 RF front end는 쇼트키 다이오드와 커패시터를 이용한 정류 및 검파 회로로 구성되어 있으며, 복소 임피던스를 가진다. 회로의 구성 및 쇼트키 다이오드 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 Ω 이나 75 Ω에 정합되도록 설계한다. 최근 문헌에 발표된 일부 RFID 태그 안테나의 경우에도 50 Ω에 정합되도록 설계되어 있으며, 태그 칩의 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.

RFID 태그에서 태그 칩에 전달되는 전력은 식 (1)과 같다.

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

여기서 P_c 는 태그 칩에 전달되는 전력이며, P_{av} 는 태그 안테나가 칩과 완전한 공액정합이 되었을 때 칩에 전달되는 최대 가용 전력(maximum available power)이고, Γ 는 안테나와 칩 사이의 반사계수(reflection coefficient)로서 식 (2)와 같다.

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

Z_a 는 태그 안테나의 임피던스이며 Z_c 는 칩 안테나의 임피던스이며, $Z_a = Z_c^*$ 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 반사손실의 변화를 그래프로 나타낼 수 있다. 식 (2)를 적절히 변형시키면 식 (3)을 얻을 수 있다.

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

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 $2\sqrt{|\Gamma|}/(1-|\Gamma|) R_c$ 인 원의 방정식이다. 그림 1.4는 $Z_c = 6.2 - j127$ Ω 을 가정하였을 경우, 안테나 임피던스에 따른 반사 손실의 변화를 등고선도로 나타낸 것이다. RL(Return Loss)은 반사 계수를 의미하고 원 내부의 영역은 만족하는 반사 계수 영역을 나타낸다. 태그가 만족하는 칩 임피던스와 최소 반사손실이 주어졌을 때, 이를 만족하는 안테나 임피던스 영역은 원의 내부로 제한된다. 식 (3)에서 태그 칩 임피던스의 Q가 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 되므

로 안테나의 대역폭이 상당히 작아지게 된다. 실제로는 주파수에 따라 Z_c 도 변화하므로, 임피던스 정합은 더욱 복잡하다[4].

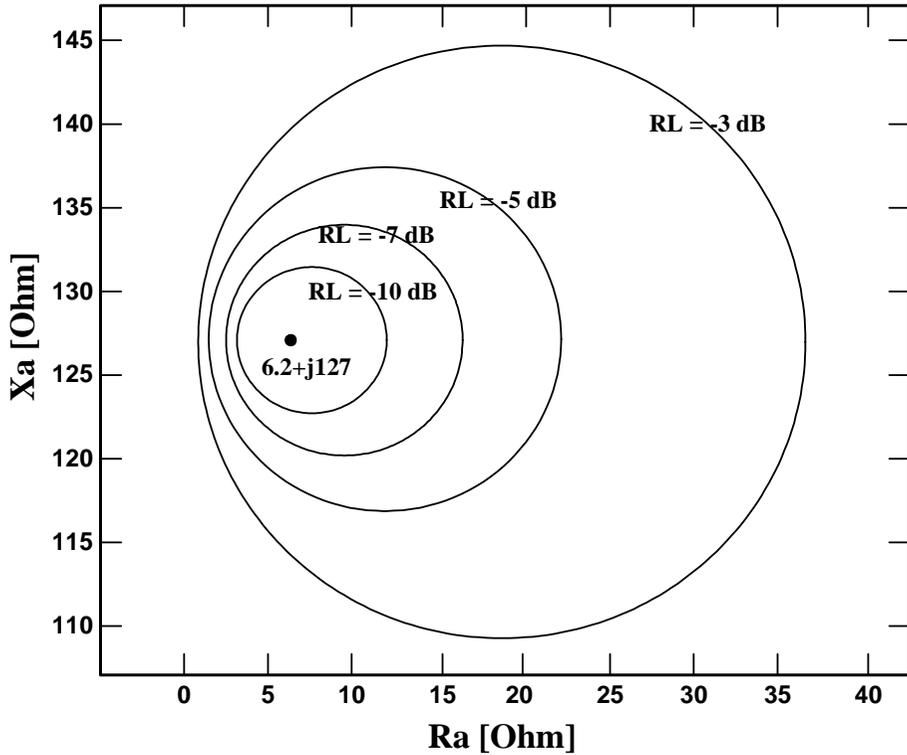


그림 1.4 안테나 임피던스의 변화에 따른 반사 손실의 변화.

Fig. 1.4 Return loss of antenna with respect to impedance variation

1.2 연구목적

본 논문에서는 일반적으로 RFID 태그에 사용되는 다이폴 안테나의 부착 면에 따른 안테나 성능 평가를 통해 임피던스 변화의 영향에 대해 알아보고, 태그의 성능에 있어 영향을 주는 칩 임피

던스의 변화에 대하여 둔감한 RFID용 태그를 설계하고 그 성능을 검토한다. 최근 RFID 시스템에 관한 기술이 연구되기 시작하면서 태그의 인식률에 큰 관심을 갖게 되었다. 그러나 대부분의 인식률을 높이기 위한 작업을 소프트웨어나 미들웨어적으로 처리하고 있으며, 하드웨어인 리더나 태그의 경우 대부분 기존 제품의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 기존의 태그는 환경의 영향을 무시하고 독자적으로 개발되었으며, 뿐만 아니라 칩의 임피던스가 변화하게 되면, 태그의 성능이 떨어져 인식률의 현저한 감소를 가져와 문제를 일으키게 된다.

따라서 본 논문에서는 태그의 성능 변화를 감소시키고자 현재 RFID용 태그로 주로 사용되고 있는 다이폴 안테나의 환경에 따른 임피던스 및 특성 변화에 대해서 알아보고, 칩 임피던스의 변화에 둔감한 태그 모델을 제시하여 칩 임피던스의 변화에도 900 MHz 대역에서 동작 할 수 있는 태그 모델을 제시하고자 한다. 실험은 한국해양대학교 전파암실에서 RCS 측정 환경을 구축하여 수신 신호 레벨을 이용하여 태그의 성능을 평가하고자 한다.

제 2장 RFID 태그의 부착 면에 따른 성능 평가

RFID 시스템은 크게 태그와 리더, 그리고 미들웨어로 구성되고, 수동형 태그를 사용하는 경우에는 리더기가 태그로 전파를 송신하면 수신전파로부터 에너지를 얻어 활성화된 태그가 자신의 ID 정보를 리더기로 송신하게 된다. 태그는 칩과 안테나로 구성되며, 실제 사용되는 환경과 부착되는 매질의 영향을 받지 않아야 한다. 그러나 태그는 주변 환경과 부착 매질에 크게 영향을 받으며, 이에 따라 태그의 동작 특성은 변화를 하고 인식율에 큰 영향을 주게 된다. 하지만 태그의 동작 특성 변화에 대한 구체적인 연구사례가 적고, 개략적인 접근보다는 정성적인 평가를 하고 있어, 이에 대한 연구가 절실히 필요하다.

이에 본 논문에서는 우선 부착 매질에 의한 태그의 특성 변화를 먼저 살펴보았다. 연구의 진행 순서는 RFID용 태그로 가장 널리 쓰이는 다이폴 안테나를 900 MHz 대역에서 설계 제작하여 성능을 평가한 후, 태그가 부착될 매질로써 유전율이 다른 유전체와 자성체 및 도체에 대해 특성을 살펴보았다.

이 연구에서는 태그로 사용될 안테나가 부착될 매질의 종류에 따른 변화, 매질과 태그사이의 거리 및 부착 매질의 크기에 따른 태그 안테나의 성능 변화를 고찰하였다. 또한 태그의 지관으로 사용될 부착물의 특성에 대해 유전율과 투자율을 고려하여 몇 가지 샘플을 선정하여 실험적으로 검토하고 이 결과를 분석하였다. 태그로 사용될 안테나의 성능 평가를 하기 위한 방법으로 태그가 부착되는 매질에 의해 변화하는 수신 전력과 방사 패턴 그리고 이득 특성에 대하여 이론적인 계산값과 실험값을 비교하였다.

2.1 Printed 다이폴 안테나의 설계

다이폴 안테나는 무지향성의 방사 특성을 가지므로 사물의 인식이 필요한 RFID 태그용 안테나로 널리 쓰이고 있다. 태그가 부착될 매질의 전파 특성을 평가하기 위하여 설계된 다이폴 안테나는 유전율과 두께가 각각 4.6과 1.6 mm인 FR-4 기판을 이용하였다. 그림 2.1은 설계된 다이폴 안테나를 나타낸다. 다이폴 안테나는 900 MHz 대역에서 동작되도록 설계되었으며, 다이폴의 길이는 유전체 기판에 의한 관내 파장 변화로 λ_g 가 0.4λ 로 일반 다이폴 안테나보다 길이가 짧다. 그림 2.2는 실제 제작된 안테나의 모습을 나타낸다.

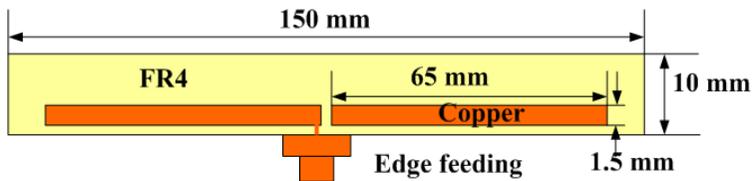


그림 2.1. Printed 다이폴 안테나의 구조.

Fig. 2.1. Structure of a printed dipole antenna.

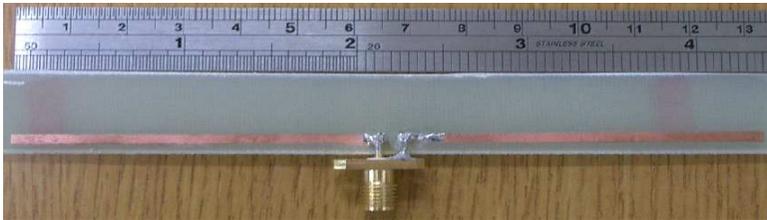


그림 2.2. 제작한 printed 다이폴 안테나 사진.

Fig. 2.2. Photo of the fabricated printed dipole antenna.

그림 2.3은 시뮬레이션과 측정된 반사 계수 특성을 나타내고 그림 2.4는 공진 주파수인 910 MHz에서의 방사 패턴을 나타낸다.

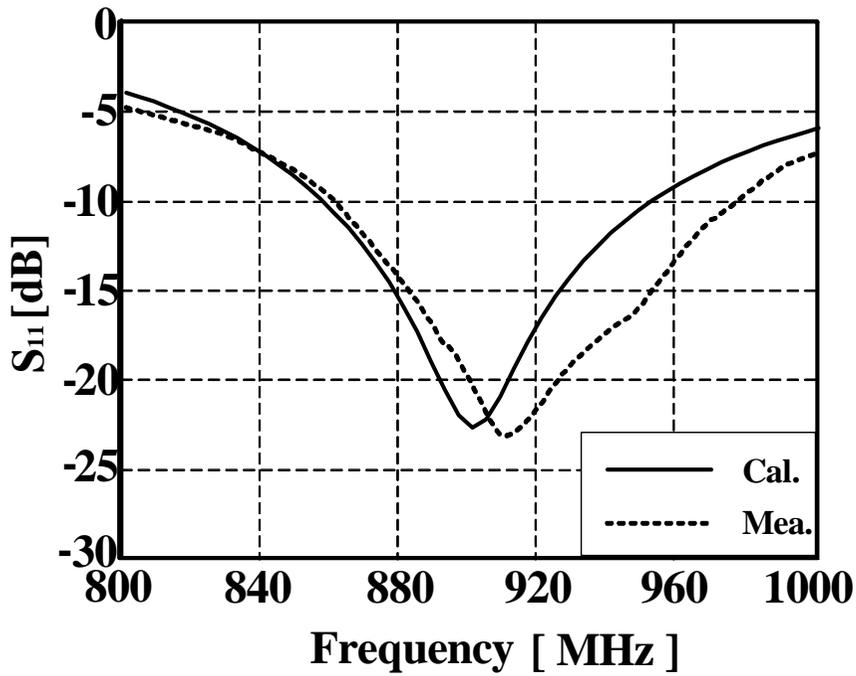


그림 2.3. 다이폴 안테나의 반사계수.

Fig. 2.3. Reflection coefficients of dipole antenna.

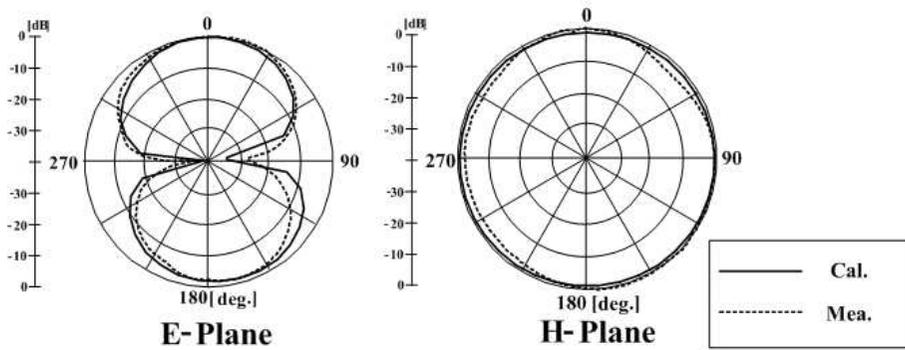


그림 2.4. 910 MHz에서의 다이폴 안테나의 방사패턴.

Fig. 2.4. Radiation Patterns of dipole antenna at 910 MHz.

반사 계수는 910 MHz에서 약 -23 dB이며, -10 dB 대역폭은 약 130 MHz로 RFID 시스템에서 요구하는 수동태그의 동작 주파수 대역을 충분히 만족함을 알 수 있다. 측정된 공진 주파수가 설계 주파수보다 약 10 MHz 정도 이동하였다. 이는 제작 및 측정 시에 발생할 수 있는 실험상의 오차에 기인한 것으로 사료된다. 또한 그림 4로부터 알 수 있는 것처럼, 910 MHz에서 측정된 방사 패턴은 이론적 시뮬레이션 패턴과 매우 유사하나, 45°방향에서 보이는 약간의 차이는 측정할 때, 안테나의 급전부에 연결된 케이블의 영향으로 사료된다.

2.2 부착 매질에 따른 특성 변화

RFID 태그 안테나는 사물의 정보를 인식하기 위해, 그 사물의 임의의 위치에 부착되기 때문에, 부착되어지는 면의 전기적 성질에 의해 그 특성이 달라진다. 따라서 부착되는 매질에 의한 안테나의 특성 변화에 대해 주목해야 한다. 본 논문에서는 부착되어진 매질을 유전체, 자성체 및 도체로 구분하고 이들 매질에 따라 변화하는 안테나의 특성을 전파 암실에서 측정하였다. 측정 파라미터로는 수신 신호 레벨, 이득 그리고 방사 패턴이며, 이들에 대한 평가로부터 RFID 태그 안테나의 전파적인 성질을 파악하는 것을 목적으로 하였다.

2.2.1 유전체 종류와 크기

이 절에서는 태그가 부착될 유전율이 서로 다른 두 종류의 유전체 매질(두께가 0.8 mm 인 테프론($\epsilon_r=2.2$)과 두께가 1.6 mm 인 FR-4($\epsilon_r=4.6$))에 대해서 유전체 매질의 크기가 각각 다른 150 mm × 10 mm($0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$), 260 mm × 150 mm ($0.8 \lambda \times 0.45 \lambda$),

330 mm × 330 mm (1 λ×1 λ)인 세 종류를 고려하였다.

RFID용 태그로 사용되는 일반적인 다이폴 안테나는 폴리에틸렌 비닐 위에 패턴을 제작하여 사용하는 것에서부터 일정 두께를 가진 것까지 다양하다. 따라서 본 연구에서는 우선, 유전체 매질의 종류와 크기에 따른 안테나 특성 변화를 알아보기 전에, 유전체의 두께에 따른 주파수 변화를 이론적으로 고찰하였다. 그림 2.5는 $\epsilon_r = 4.6$ 인 FR-4의 기판 두께가 변화할 때 나타나는 반사계수의 특성을 보여주고 있다. 안테나의 크기는 그림 1에서 제시한 150 mm x 10 mm이고 유전체의 두께는 0 mm부터 1.6 mm까지 변화를 시키면서 공진 특성을 계산하였다. 그림 2.5로부터 알 수 있는 것처럼, 안테나의 크기가 일정하고 유전율이 일정하더라도 유전체의 두께가 변화하면 유전체의 관내파장이 변하게 되고 이는 공진주파수에 영향을 주게 되어 저주파수로 이동함을 알 수 있다. 따라서 유전체를 이용한 안테나를 설계할 때, 유전체의 정확한 높이를 정하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다. 이 논문에서는 그림 2.5의 결과로부터 $\epsilon_r = 4.6$, 두께가 1.6 mm인 FR-4 기판으로 결정하고 그 위에 다이폴 안테나를 설계하였다. 이 다이폴 안테나를 태그용 안테나로 정하고, 이후의 계산에서는 $\epsilon_r = 4.6$ 이고 두께가 1.6 mm인 FR-4 기판 위에 설계된 다이폴 안테나를 사용하여 부착물의 크기나 특성에 따른 공진 주파수의 변화에 대해 기술한다.

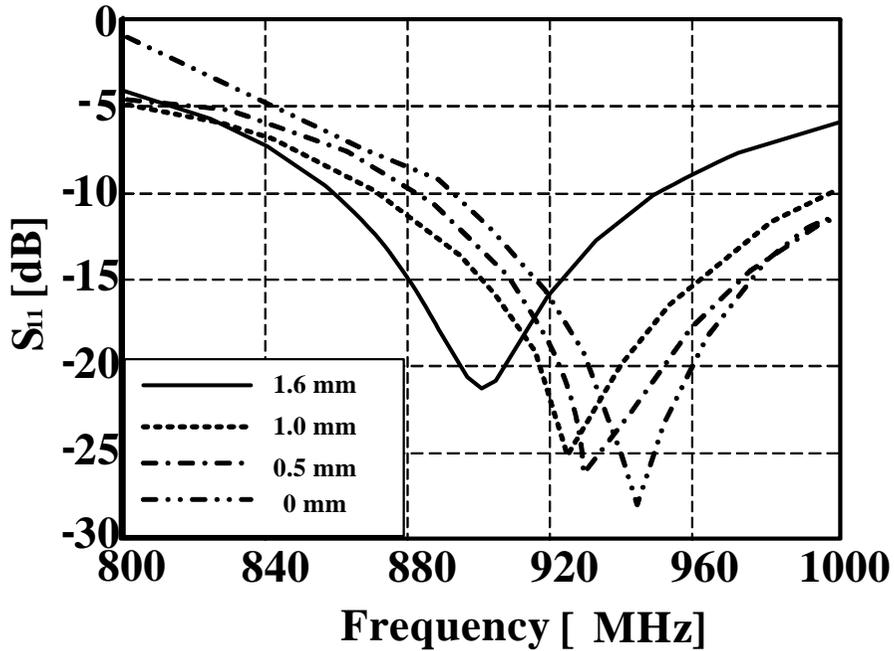


그림 2.5 다이폴 안테나의 높이 변화에 의한 계산된 반사 계수.
 Fig. 2.5. Calculated reflection coefficients by height variation of dipole antenna

그림 2.5와 같이 안테나의 높이가 낮아질수록 공진 주파수는 높은 주파수 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 안테나 설계 시 설계자가 고려 할 요소로서, 동작하는 안테나의 높이는 안테나의 공진주파수에 영향을 끼침을 알 수 있다.

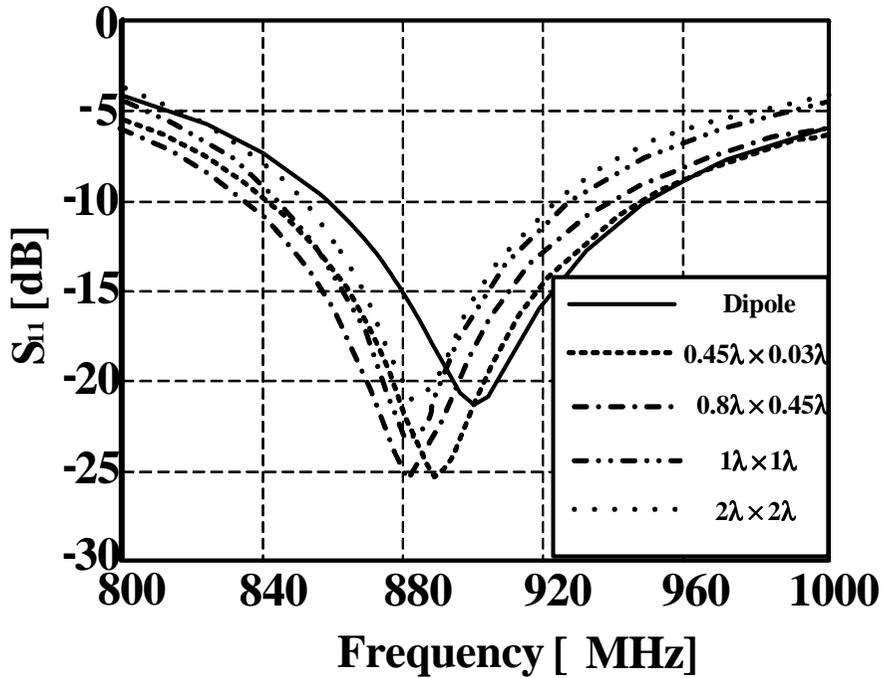


그림 2.6. 테프론 부착 지판의 크기 변화에 따른 다이폴 안테나의 계산된 반사계수.

Fig. 2.6. Calculated reflection coefficients of dipole antenna with respect to size variation of teflon as backside plate.

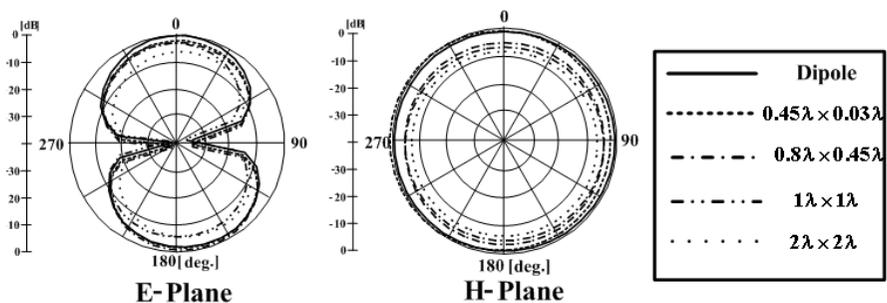


그림 2.7. 테프론 부착 지판의 크기 변화에 의한 다이폴 안테나의 계산된 방사패턴.

Fig. 2.7. Calculated radiation pattern of dipole antenna by size variation of teflon as backside plate.

다음은 RFID 태그로 사용될 안테나가 부착되는 물체의 크기에 따른 주파수의 변화를 알아보기 위해 먼저 태그용 다이폴 안테나를 유전 물질인 테프론($\epsilon_r=2.2$) 위에 부착하였을 때, 테프론 유전체의 크기 변화에 따른 주파수 특성을 계산하였다. 테프론의 크기가 $0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$ 에서 $2 \lambda \times 2 \lambda$ 까지 변화시켰을 경우, 계산된 다이폴 안테나의 반사 계수와 방사 패턴 변화에 대한 계산 결과를 그림 2.6과 2.7에 각각 나타내었다.

그림 2.6의 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있는 것처럼, 안테나가 부착될 테프론의 지판 크기가 커질수록 공진주파수(900 MHz)는 저주파수로 이동한다. 이는 테프론의 유전율과 크기의 변화에 따른 관내 파장의 길이 변화에 기인하는 것이라 할 수 있다. 또한 $\epsilon_r=4.6$ 이고 두께가 1.6 mm인 FR-4 기판 위에 설계된 다이폴 안테나의 공진 주파수와 이 안테나를 테프론 위에 부착하고 크기를 $2 \lambda \times 2 \lambda$ 까지 변화시켰을 때, 공진 주파수의 변화를 비교하여 보면, 공진 주파수는 약 30 MHz 정도 하향 편이 하는 것을 알 수 있다. 또한 다이폴 안테나가 부착되는 테프론 지판의 크기가 $1 \lambda \times 1 \lambda$ 이상일 경우에는 주파수 편이는 현저히 줄어들고, 반사계수의 특성이 다소 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

이는 태그용 다이폴 안테나가 부착될 지판의 크기가 $1 \lambda \times 1 \lambda$ 이상이면 안테나 자체의 관내 파장의 변화보다는 안테나의 지판 역할을 하여 임피던스의 변화가 적고 안정적으로 동작하기 때문이다. 그림 2.7의 결과는 900 MHz에서 계산한 방사패턴의 변화를 나타내고 있으며, 일반적인 다이폴 안테나가 보이는 방사패턴과 같음을 알 수 있다.

그림 2.8과 2.9는 각각 실제로 측정되어진 반사 계수와 방사 패턴을 나타낸 것이다. 실험에 있어서 사용된 지판 크기는 그림 6과 7의 결과로부터 $1 \lambda \times 1 \lambda$ 까지로 하였고, 측정된 결과는 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보여주고 있다.

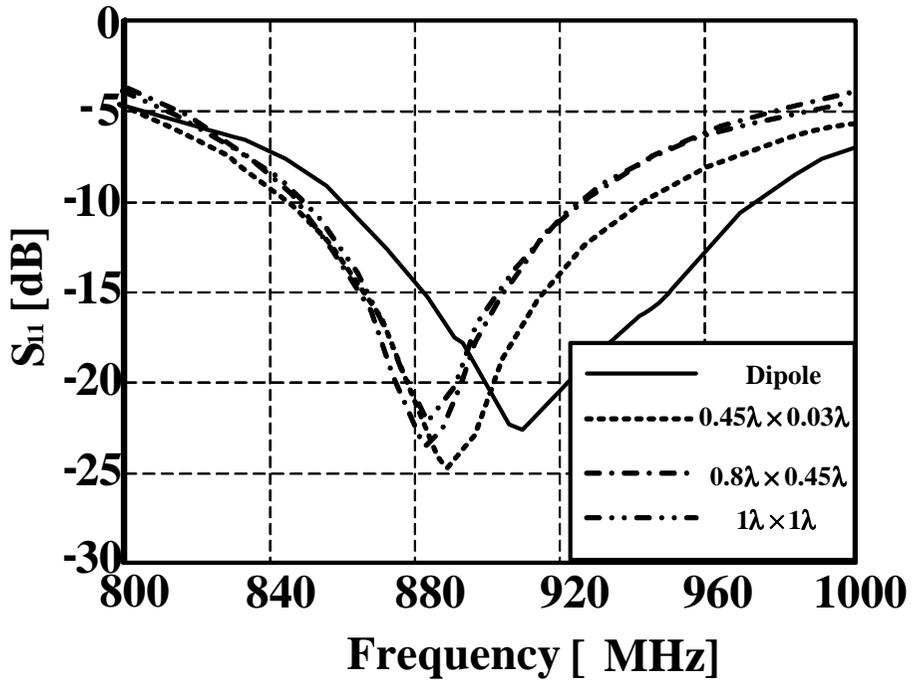


그림 2.8 테프론 부착 지판의 크기 변화에 따른 다이폴 안테나의 측정된 반사계수.

Fig. 2.8. Measured reflection coefficients of dipole antenna with respect to size variation of teflon as backside plate.

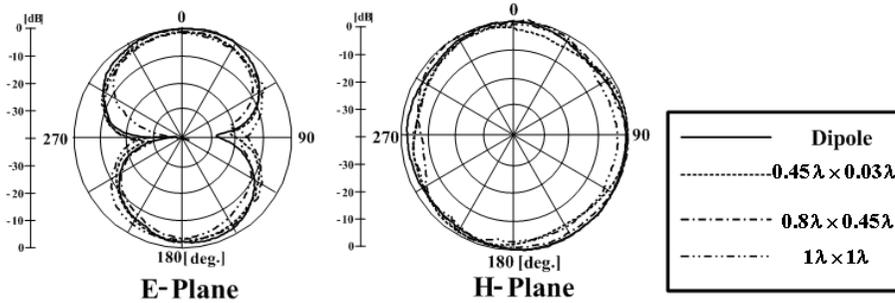


그림 2.9. 테프론 부착 지판의 크기 변화에 의한 다이폴 안테나의 측정된 방사패턴.

Fig. 2.9. Measured radiation pattern of dipole antenna by size variation of teflon as backside plate.

그림 2.8은 태그용 안테나가 부착될 지판의 종류가 테프론인 경우, 부착 지판의 크기 변화에 따른 반사 계수 특성을 나타내고 있다. 부착 지판이 없는 다이폴 안테나의 공진주파수 910 MHz를 기준으로 안테나의 후면에 부착 지판을 사용하였을 경우, 그림 6의 계산 결과와 같이 주파수가 하향 편이되는 현상을 확인할 수 있다. 부착 지판이 없는 다이폴 안테나와 비교하여 보면 약 1~3 dB 정도의 수신 신호레벨 차이를 보였다. 이는 유전체를 부착한 경우, 지판이 커질수록 지판으로부터 반사되는 신호가 안테나의 임피던스에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 그림 2.9의 910 MHz에서 측정된 방사패턴을 살펴보면, 지판의 크기에 대한 의존성이 적은 것으로 나타났으며, 방사 패턴의 신호 크기는 지판의 크기가 커질수록 신호 레벨이 다소 변화를 하고 있으며 이는 부착 지판의 크기가 수신되는 전력에 영향을 받고 있음을 예측할 수 있다.

그림 2.10과 2.11은 부착 지판이 FR-4 ($\epsilon_r=4.6$)인 경우의 측정된 반사 계수와 910 MHz에서 측정된 방사 패턴 특성을 나타낸다. FR-4 유전체는 테프론보다 높은 유전율을 가지므로 주파수의 하향 편이 현상이 뚜렷이 나타나고 있다. 그림 11의 FR-4 부착 지판이 사용된 안테나 방사 패턴의 경우, 다이폴 안테나의 방사패턴을

유지하고 있으나, 그림 9와 비교하여 보면, 부착 지판의 크기가 같아도 유진율이 높으면 비교하고자 하는 동일 주파수에서의 임피던스 변화가 크기 때문에 반사계수뿐만 아니라 방사패턴도 그림 9에서 보인 패턴보다는 열화된다는 것을 알 수 있다. 또한 부착 지판의 크기가 커질수록 방사 패턴의 모양이 부착 지판을 사용하지 않은 다이폴 안테나 패턴과 비교하여 방사패턴이 변하는 것을 알 수 있다.

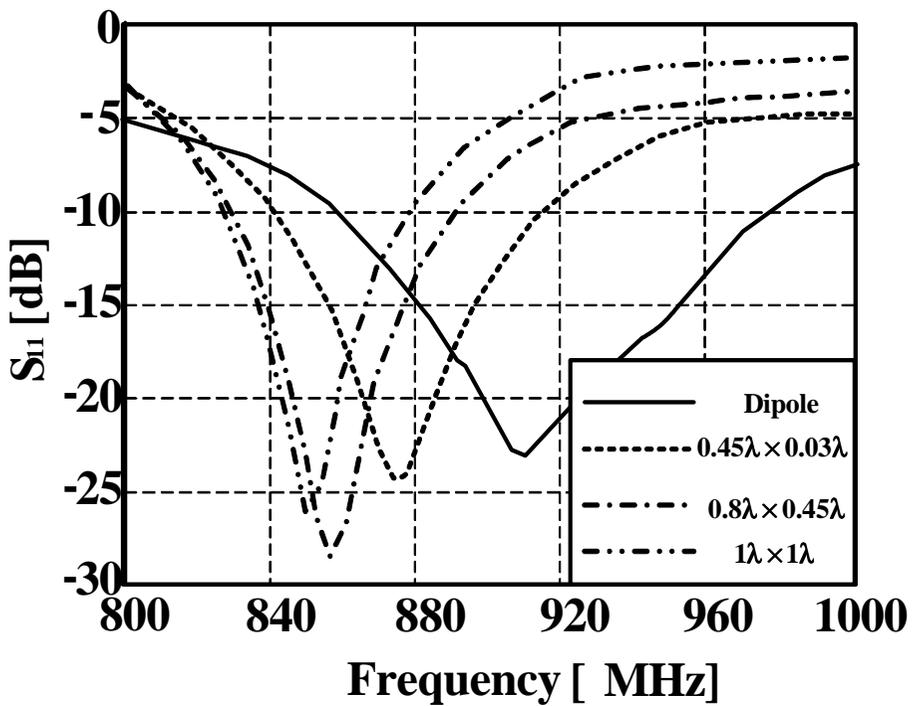


그림 2.10. 부착 지판 FR-4의 크기 변화에 따른 측정된 다이폴 안테나의 반사계수 특성.

Fig. 2.10. Measured dipole antenna reflection coefficients by size variation of the FR-4 backside plate.

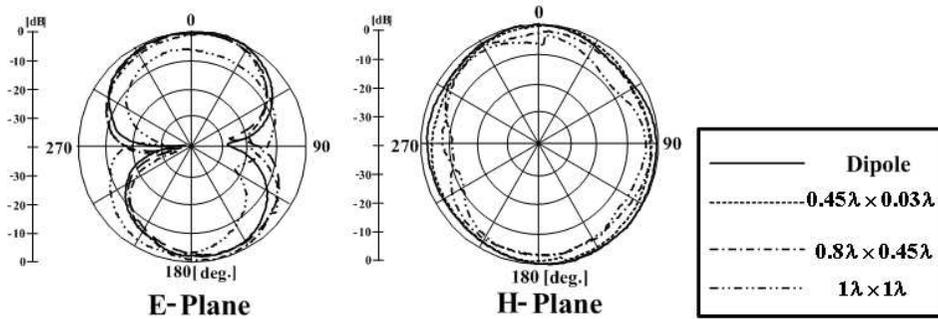


그림 2.11. 부착 지판 FR-4의 크기 변화에 따른 측정된 다이폴 안테나의 방사 패턴.

Fig. 2.11. Measured dipole antenna radiation pattern by size variation of the FR-4 backside plate.

표 1은 910 MHz에서 계산된 다이폴 안테나의 이득 변화를 나타낸다. 부착 지판으로 고려된 테프론과 FR-4 유전체 모두 부착 지판의 크기에 따른 이득의 변화는 매우 작기는 하였으나, 그림 2.8과 2.11로부터 알 수 있는 것처럼, 지판의 크기에 따른 임피던스 변화 때문에 지판이 클수록 이득은 미미하기는 하나 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 유전율이 높은 FR-4가 테프론보다 이득에 더 큰 영향을 주고 있다. 이는 FR-4의 비유전율이 테프론의 비유전율보다 큰 만큼 비교하고자 하는 동일주파수인 910 MHz에서의 관내과장 및 임피던스의 변화가 더 크게 발생하므로 테프론의 이득보다 다소 작은 것으로 사료된다.

표 1. 비유전율이 다른 유전체에 의한 계산된 이득 변화 특성 (단위: dBi).

Table 1. Characteristics of calculated gain variation by dielectric materials with different permittivity.

	$0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$	$0.8 \lambda \times 0.45 \lambda$	$1 \lambda \times 1 \lambda$
Teflon	1.36	1.34	1.30
FR4	1.36	1.28	1.22

2.2.2 도체와 자성체의 크기

도체는 전파를 반사하기 때문에, 일반적으로 안테나가 도체에 부착되었을 경우 부착 지판인 도체가 안테나가 되어 원하는 주파수에서 안테나의 특성을 얻는 것은 불가능하다. 그러나 부착 지판과 다이폴 안테나 사이를 이격시키면, 유도현상에 의하여 원하는 주파수에서의 안테나 동작이 가능하다. 또한 지판의 크기에 따른 안테나의 특성 변화를 본 절에서 기술하고자 한다. 본 논문에서는 구리와 알루미늄에 대해 안테나 특성 변화를 측정하였다. 또한 도체 외에 자성매질에 대한 안테나 특성 변화를 실험하기 위하여 페라이트를 부착 지판으로 사용하여 측정하였다. 사용된 지판은 150 mm × 10 mm ($0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$), 260 mm × 150 mm ($0.8 \lambda \times 0.45 \lambda$), 330 mm × 330 mm ($1 \lambda \times 1 \lambda$)의 크기를 각각 가지는 구리(도전율: 5.8×10^7 mhos/m)와 자성체인 페라이트 지판($\epsilon_r=12$, $\mu_r=1000$, 도전율: 0.01 mhos/m)을 사용하였다.

그림 2.12는 150 mm × 10 mm ($0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$)의 도체인 구리를 부착지판으로 사용하여 높이를 변화시키면서 측정한 반사계수 특성을 나타낸다. 부착 지판인 구리에 안테나를 위치시키고 높이가 0 mm 일 때, 신호가 전반사하여 안테나로 동작하지 않는다. 이는 도체의 지판에 의해 50 [Ω]으로 정합된 안테나의 임피던스 실수부가 0 [Ω]으로 변화하는 것에 기인하는 것으로 지판에 의해 안테나가 단락됨을 알 수 있다. 이는 다이폴 안테나로 수신되는 전류의 대부분은 지판으로 흘러버리기 때문이다[5].

안테나가 부착 지판인 60 mm 이상의 거리를 가질 경우 다이폴 안테나는 UHF 대역에서 VSWR 2 이하를 만족하면서 안테나로써 동작하게 된다. 안테나와 금속 지판의 거리가 60 mm 이상이 되면, 안테나의 공진 주파수는 다이폴 안테나의 원래 공진 주파수보다 낮은 주파수로 이동하게 된다. 이는 금속 지판에 의한 임피던스 변화에 기인하기 때문이다. 안테나와 금속 지판이 91 mm의 거리를 가질 경우 안테나의 공진 주파수는 약 40 MHz의 주파수 천이가 나타나, 그림 2.12와 같이 870 MHz에서 약 -40 dB의 반사 계수를 나

타낸다. 다이폴 안테나가 91 mm에서 가장 최적화된 특성을 보이는 것은 지판과 안테나 사이의 간격이 금속 지판에 의해 변화된 안테나의 공진 주파수인 870 MHz에서 1/4파장과 거리가 거의 같으므로 안테나와 금속 사이에서의 위상이 서로 상쇄되어 신호의 반사가 나타나지 않는다. 한편 금속 지판과 안테나 사이의 거리가 100 mm 일 때, 거리가 1/4파장보다 멀어져서 위상차이가 생기면서 반사 계수 특성이 열화하는 것을 알 수 있다.

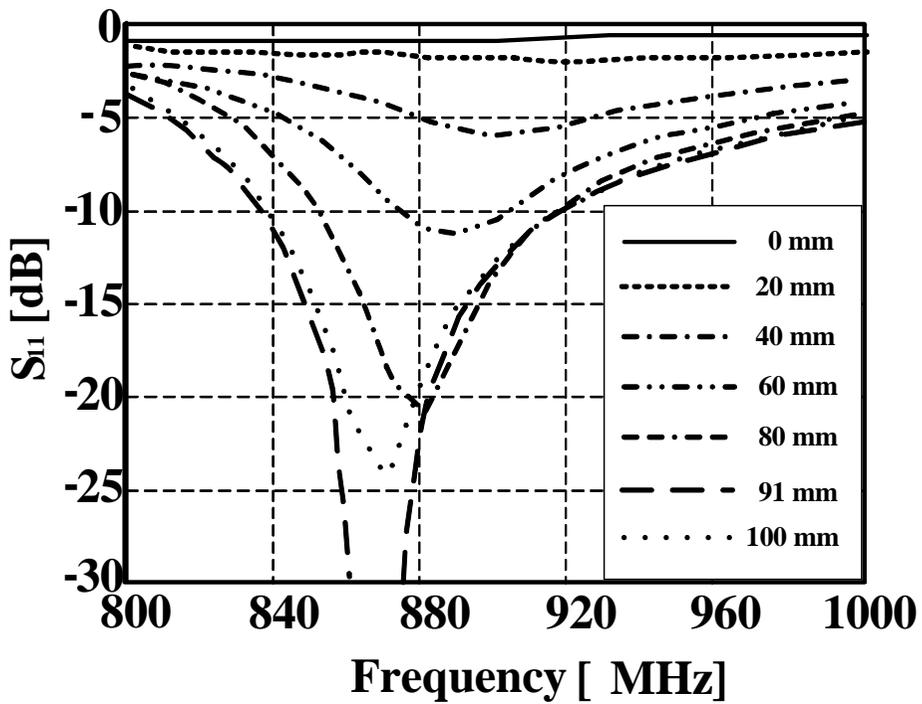


그림 2.12. 안테나와 금속 지판 사이의 거리에 의한 반사 계수의 변화.

Fig 2.12. Variation of return loss by distance between antenna and metal backside plane.

그림 2.13은 구리를 금속의 부착 지판으로 사용하고, 부착 지판의 크기를 변화하면서 방사패턴을 측정하였다. 이때 다이폴 안

테나의 측정 방사패턴은 910 MHz, 안테나와 부착 지판 사이의 거리는 91 mm로 고정하였다. 지판의 크기가 $(0.45 \lambda \times 0.03 \lambda)$ 인 구리 지판위에 태그 안테나를 부착하였을 경우는 다이폴 안테나만의 패턴과 유사한 모양을 보였으나 지판의 크기가 커짐에 따라 패턴의 변형이 심하게 생겼고, 이는 안테나의 고유 패턴보다는 지판의 크기가 커짐에 따라 공진주파수가 하향 편이와 안테나를 통과한 수신 전파가 지판에 의한 반사로부터 야기된 현상이라 사료된다. 또한 태그 안테나의 부착 면이 도체인 경우는 후엽이 보이지 않는 것이 정상이지만, 유한한 지판의 크기로부터 전파의 회절 현상으로부터 후엽이 생기는 것을 볼 수 있다[7]. 따라서 태그를 부착할 때에는 부착 지판의 크기를 반드시 고려하여 방사패턴을 계산할 필요가 있다.

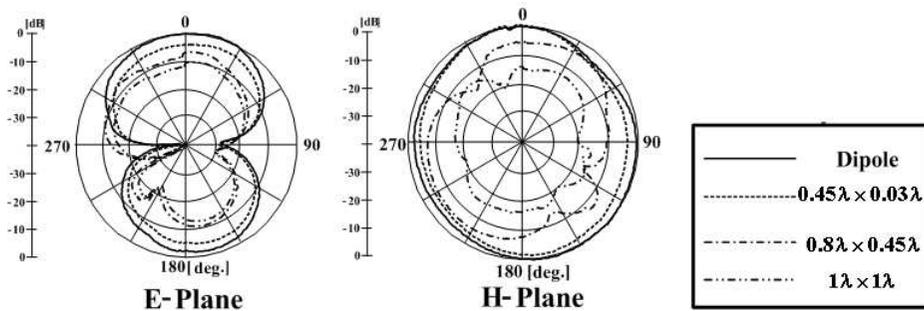


그림 2.13. 지판이 구리일 때의 방사 패턴.

Fig. 2.13. Radiation pattern of backside plane with copper.

그림 2.14는 자성체인 페라이트 매질을 지판으로 사용하여 수신 전력과 방사 패턴의 변화를 나타낸 것이다. 지판이 도체인 경우 영향을 많이 받았던 다이폴 안테나는 자성체인 페라이트에 의해서는 큰 특성 변화를 보이지 않음을 알 수 있지만 수신 신호의 레벨은 지판이 커질수록 지판을 사용하지 않았을 때의 크기와 비교하여 -5 dB 정도 열화하는 현상을 나타내고 있다. 원인은 그림 13에서 언급한 것과 유사한 현상으로 사료된다. 따라서 유전 손실 및 투자손실이 큰 물질에 태그를 부착할 경우는 방사패턴의 손실을 고려한 설계가 필요한 것으로 판단된다

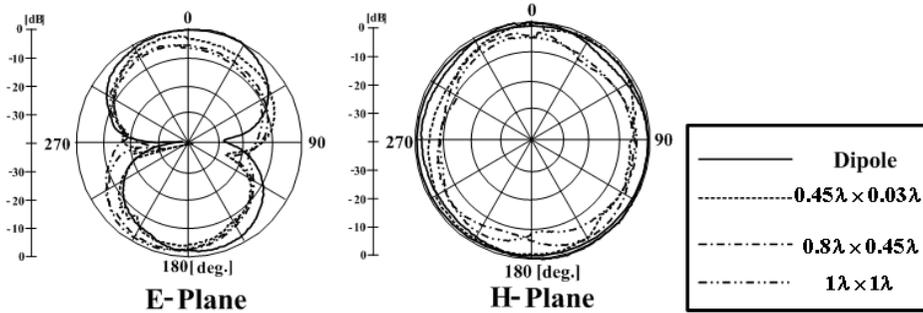


그림 2.14. 지판이 페라이트일 때의 방사 패턴.

Fig. 2.14. Measured radiation pattern of backside plane with ferrite

표 2는 안테나와 지판 사이의 높이가 91 mm 일 때 910 MHz에서 측정된 이득의 변화를 나타낸다.

표 2. 도체 및 자성체에 따른 이득 변화 특성 (단위: dBi).

Table 2. Characteristic of changed gain according to metal and magnetic substance.

	$0.45 \lambda \times 0.03 \lambda$	$0.8 \lambda \times 0.45 \lambda$	$1 \lambda \times 1 \lambda$
Copper	-0.31	-2.52	-4.91
Ferrite	0.70	-1.52	-1.74

구리 부착 지판을 사용한 다이폴 안테나의 이득은 지판을 사용하지 않은 다이폴 안테나만의 측정 이득 1.36 dBi와 비교하여 지판의 영향으로부터 이득이 감소하고 있다. 한편, 자성체인 페라이트를 부착 지판으로 한 것과 비교하여 보면 최대 약 3 dBi정도의 차이를 보이고 있으며, 지판의 크기가 커질수록 이득의 감소현상은 두드러짐을 알 수 있다. 이를 개선하기 위해서는 설계단계에서부터 태그를 부착하고자 하는 지판의 크기에 대한 파라미터를 고려하여야만 할 것이다. 본 논문에서는 지판의 종류, 크기 및 높이에 따른 태그 안테나의 영향을 측정을 통해 성능을 평가하는 것까지로 하고, 지판의 파라미터에 적합한 설계는 차후의 연구과제로 두고자 한다.

2.3 Summary

900 MHz대역의 RFID 태그용 Printed 다이폴 안테나를 설계하였다. 설계된 Printed 다이폴 안테나의 경우 910 MHz에서 공진하고, VSWR 2를 기준으로 약 130 MHz의 대역폭을 가졌다. RFID 태그용으로 설계된 이 안테나를 전기적 특성이 다른 매질에 부착했을 때, 부착된 매질의 종류에 따라 안테나의 성능이 변화되는 것을 실험을 통하여 검증하였다. 안테나가 유전체의 표면에 부착되었을 경우, 수신 전력 레벨의 차이는 지판이 없는 경우와 비교하여 1~3 dB 정도의 차이를 보였고, 방사 패턴은 설계된 안테나의 방사패턴을 유지함을 볼 수 있었으나, 지판의 크기에 의한 주파수 천이가 나타났다. 또한 설계된 다이폴 안테나를 도체나 자성체에 부착했을 경우, 지판을 사용하지 않았을 경우와 비교하여 약 10 dBm 이상의 수신 전력 레벨의 차이를 나타냈으며, 방사 패턴과 이득에 있어서는 설계된 안테나의 특성을 완전히 잃어버림 알 수 있었다. 하지만 안테나와 지판 사이의 높이를 변화시키면 주파수 천이는 발생하지만 안테나로써 동작함을 확인하였다. 특히 지판과 안테나 사이의 간격을 1/4 파장의 간격으로 두었을 때에 안테나는 천이된 주파수 영역에서 -40 dB 이하의 반사 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

따라서 RFID 태그용 안테나의 설계 시 설계자는 부착되어지는 면의 매질에 따른 전기적 특성 변화에 관한 정보를 알고 안테나를 설계할 필요가 있다.

제 3장 칩 임피던스의 변화에 둔감한 안테나의 설계

3.1 서론

이전 절에서는 환경에 의한 일반적인 태그의 특성 변화를 알아보았다. 환경에 의한 특성 외에도 태그의 특성 변화를 일으키는 요인은 많다. 그 중 칩 임피던스는 안테나와 정합 문제에 있어 안테나 특성에 영향을 끼친다. 따라서 본 절에서는 환경적 요인을 배제한 채 칩 임피던스의 변화에 둔감한 안테나 모델을 제시하고자 한다.

RFID 시스템에 있어 태그의 기본적인 구성요소는 안테나와 칩 그리고 임피던스 정합 회로이다. 태그 설계에 있어서 칩과 안테나의 임피던스 정합은 태그 성능의 중요한 변수이다. 태그에서 최대 전력을 전송하기 위해서는 안테나 임피던스와 칩 임피던스의 복소 공액 정합을 필요로 한다. 따라서 태그용 안테나는 칩 임피던스의 변화하면 각각의 칩 임피던스에 맞는 안테나를 요구된다. 900 MHz RFID 대역에서 칩의 변화에 대해 특성의 변화가 둔감한 RFID 태그용 안테나 모델을 제시하였다.

3.2 기본적인 안테나의 설계

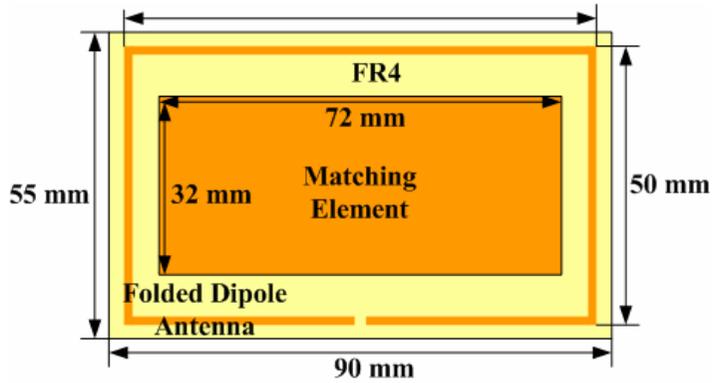


그림 3.1. 설계된 안테나의 구조

Fig. 3.1. Structure of designed tag antenna.

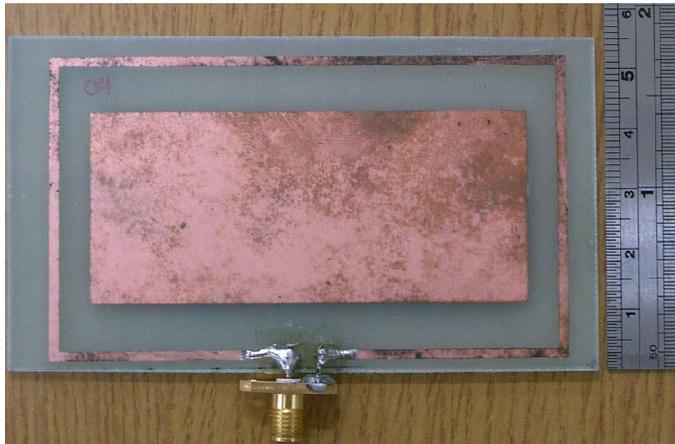


그림 3.2. 제작된 태그의 사진

Fig. 3.2. Photo of the fabricated tag antenna

그림 3.1과 3.2는 각각 입력 임피던스가 50 ohm인 태그용 안테나의 구조도와 제작된 안테나의 사진을 나타낸다. 안테나 설계에 사용된 유전체 기판은 FR-4($\epsilon_r=4.6$)이다. 기본적인 구조는 폴디

드 다이폴 안테나와 임피던스 매칭 소자로 구성되어 있다. 이 매칭 소자와 다이폴 안테나 사이의 Mutual Coupling을 이용하여 임피던스의 변화를 야기하므로 임피던스 매칭 소자의 조절로 공진 주파수를 이동시킬 수 있다. 공진 주파수의 이동은 매칭 소자의 크기에 의하여 결정된다.

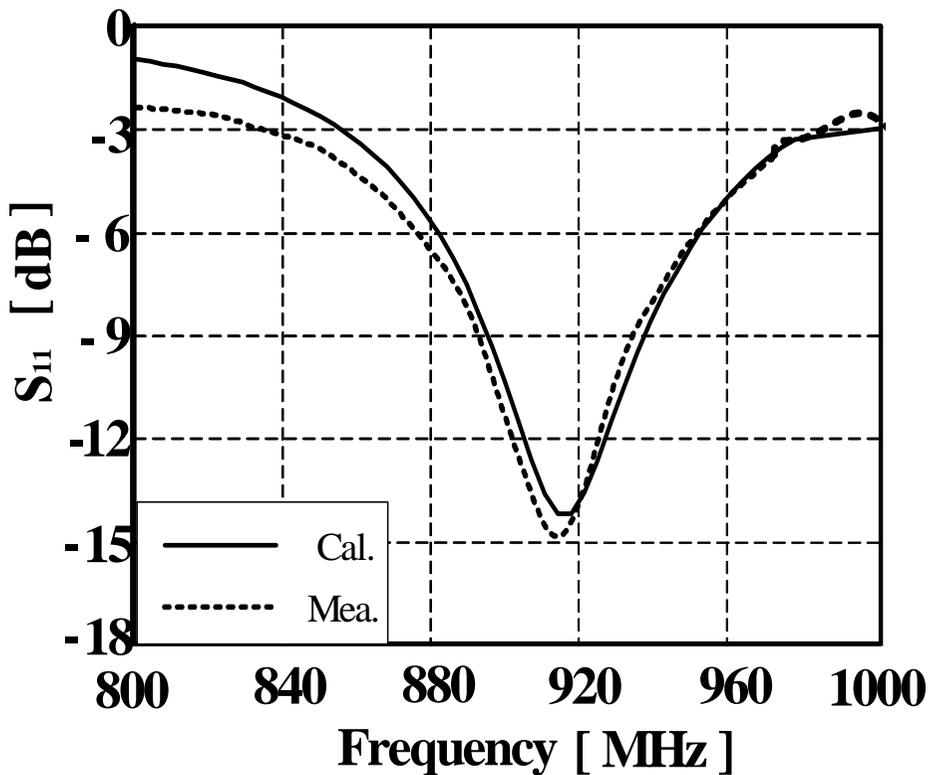


그림 3.3. 태그 안테나 반사 계수 특성
Fig. 3.3. Return loss of tag antenna.

그림 3.3과 3.4는 태그 안테나의 반사 계수 특성과 910 MHz에서의 방사패턴을 나타낸다. 안테나는 910 MHz에서 -15 dB의 반사 계수 특성을 보였고, -10 dB 이하 대역폭은 40 MHz이다. 방사패턴은 다이폴 안테나와 같으며 시뮬레이션 결과와 거의 유사함을

알 수 있다[9].

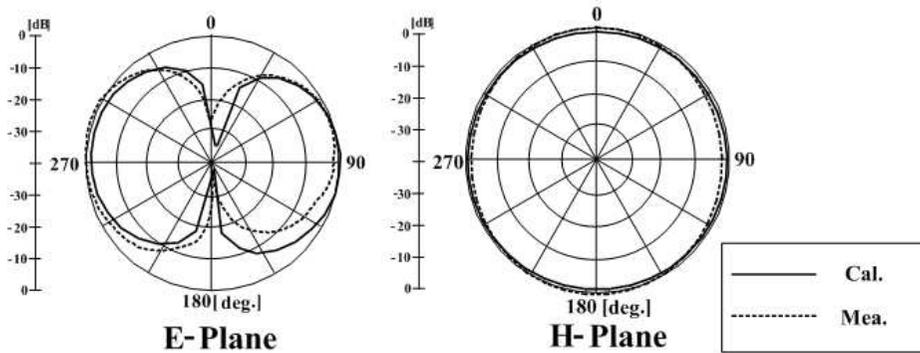


그림 3.4. 태그 안테나의 방사 패턴
 Fig. 3.4. Radiation patterns of tag antenna.

3.3 임피던스 변화에 둔감한 *RFID* 태그의 설계

태그는 칩과 안테나로 구성되기 때문에 두 소자 사이에 임피던스 정합이 매우 중요하다. 칩 임피던스는 고정된 값이므로 이에 공액 정합된 안테나가 설계되어야 한다. 칩 임피던스의 변화가 일어날 경우, 새로운 안테나 모델이 필요하게 된다. 그러므로 태그 수요자들은 칩 임피던스의 변화에도 특성 변화가 적은 태그용 안테나를 요구하게 된다.

3.3.1 칩 임피던스 변화에 따른 태그의 특성

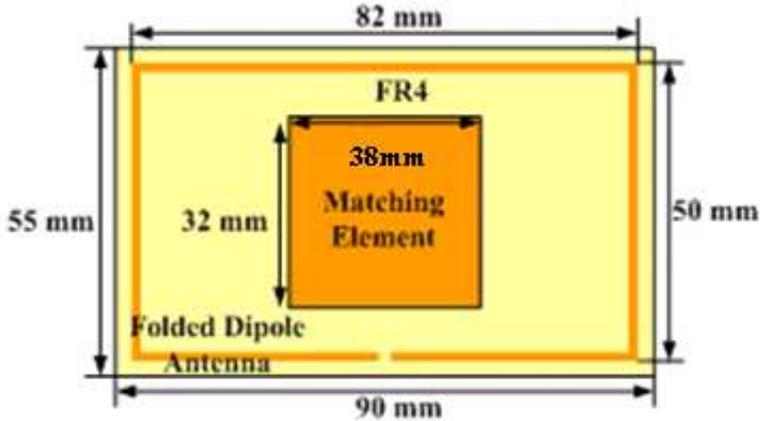
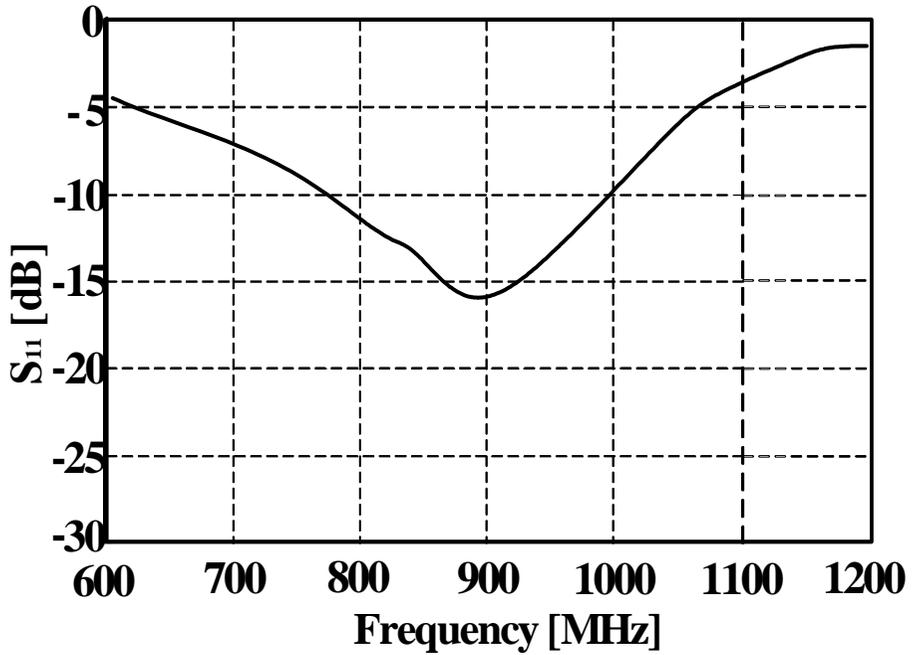


그림 3.5. 새롭게 임피던스 매칭이 된 태그 안테나의 구조도

Fig. 3.5. Structure of a new matched of tag antenna.

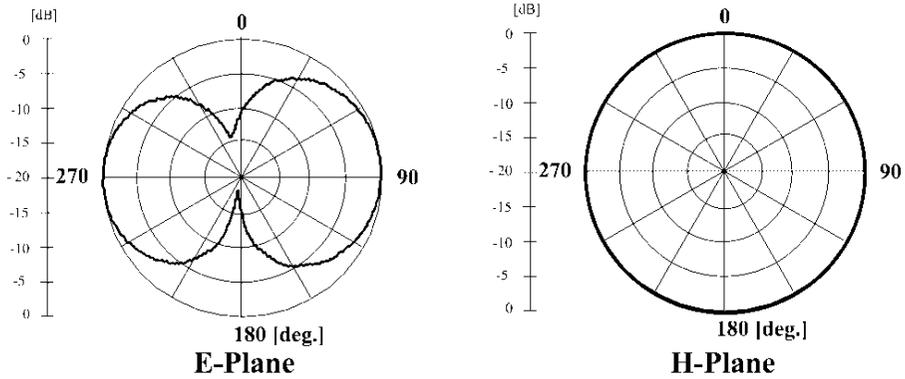
3.2 절에서는 매칭 소자를 가진 폴디드 다이폴의 입력 임피던스를 50 ohm으로 설계하였다. 그러나 태그의 입력 임피던스는 항상 50 ohm이 아니며, 리액턴스 성분도 포함하고 있다. 이러한 리액턴스 성분은 안테나의 특성에 크게 영향을 미치게 된다. 태그 안테나에 칩의 삽입을 위하여 우선 상용 칩 Alien 사의 상용 칩(25-j120 ohm) 임피던스를 이용하였다. 입력 임피던스가 50 ohm 일 때 공진 주파수가 910 MHz였던 안테나는 입력 임피던스가 25-j190 ohm일 경우 공진 주파수가 150 MHz정도 하향 편이하여 760 MHz에서 공진하는 특성을 보였다. 본 논문에서 제안한 안테나의 경우 정합 소자의 크기에 따라 임피던스 조정이 가능하므로 정합 소자의 가로 길이를 34 mm 축소하여 재설계 하였을 경우 공진주파수는 그림 3.6 (a)에서 보는 것과 같이 다시 900 MHz 대역으로 이동한다. 그림 3.6의 (a)와 (b)는 각각 재설계된 안테나의 반사 계수 특성과 방

사 패턴을 나타낸다. 공진 주파수는 900 MHz 대역으로 이동하였고, 넓은 대역폭으로 인해 한국의 RFID 표준 주파수인 910 MHz영역을 포함하고 있다. 설계된 안테나의 방사 패턴 또한 다이폴과 같이 omni-directional한 모습을 보이고 있다.



(a) 반사 계수

(a) Return loss



(b) 방사 패턴

(b) Radiation pattern

그림 3.6 25-j100 Ω에 매칭된 태그 안테나의 특성

Fig. 3.6 Characteristics of a matched tag antenna at 25-j100 Ω.

그림 3.7은 태그 안테나의 칩 임피던스의 리액턴스 변화에 따른 반사계수 특성을 나타낸다. 상용화된 RFID 칩의 리액턴스는 대부분 $-j70 \text{ ohm}$ 에서 $-j200 \text{ ohm}$ 의 값을 가지므로, 임피던스의 실수부는 25 Ω으로 고정시킨 후, 리액턴스의 변화를 0에서 $-j150 \text{ ohm}$ 까지 변화시켜가며 시뮬레이션 하였다. 그림 3.7에서 보는 것과 같이 칩 임피던스의 리액턴스 값이 증가할수록 안테나의 공진 주파수가 낮은 주파수로 하향하는 것을 알 수 있다. 이는 리액턴스 성분이 공진 주파수의 변화에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다. 제안된 안테나의 경우 임피던스가 25 Ω으로 고정되어 있을 경우 리액턴스 값이 $-j80 \text{ ohm}$ 보다 작으면 칩과 안테나 사이의 임피던스 부정합으로 인해 900 MHz 영역에서 동작하지 않음을 알 수 있다. 본 안테나의 리액턴스 동작 영역은 임피던스가 25 Ω으로 고정되어 있을 경우 $-j75 \text{ Ω}$ 에서 $-j180 \text{ Ω}$ 의 리액턴스에서 900 MHz 영역에 동작하는 안테나로 사용할 수 있다.

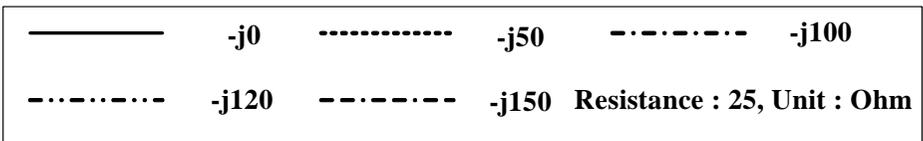
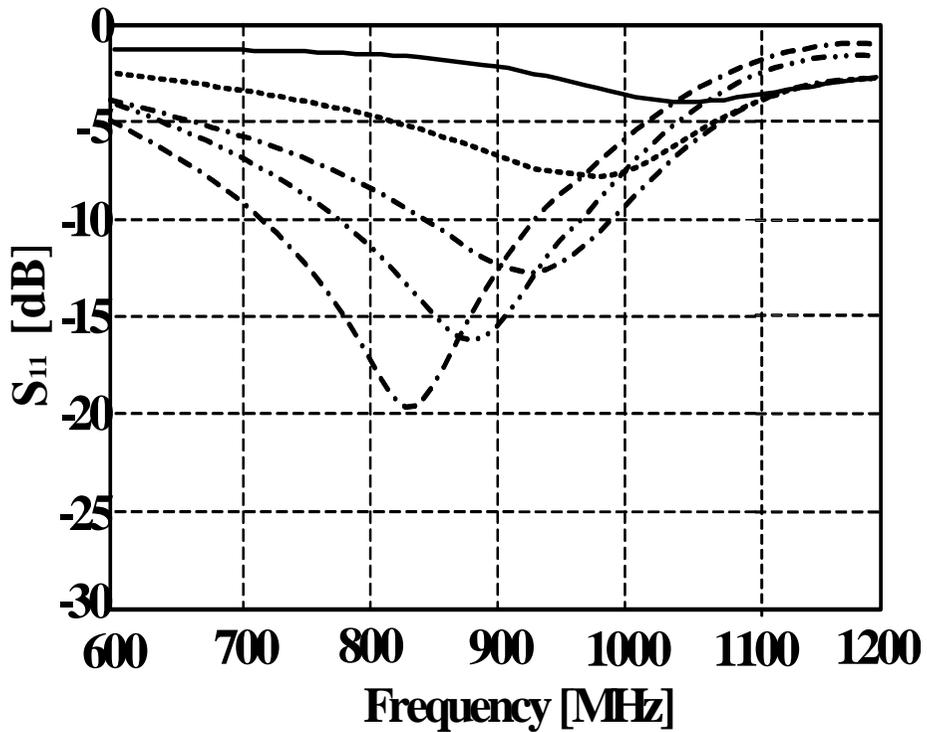


그림 3.7. 리액턴스 성분 변화에 의한 반사계수 특성.

Fig. 3.7. Reflection coefficients of tag with respect to reactance variation.

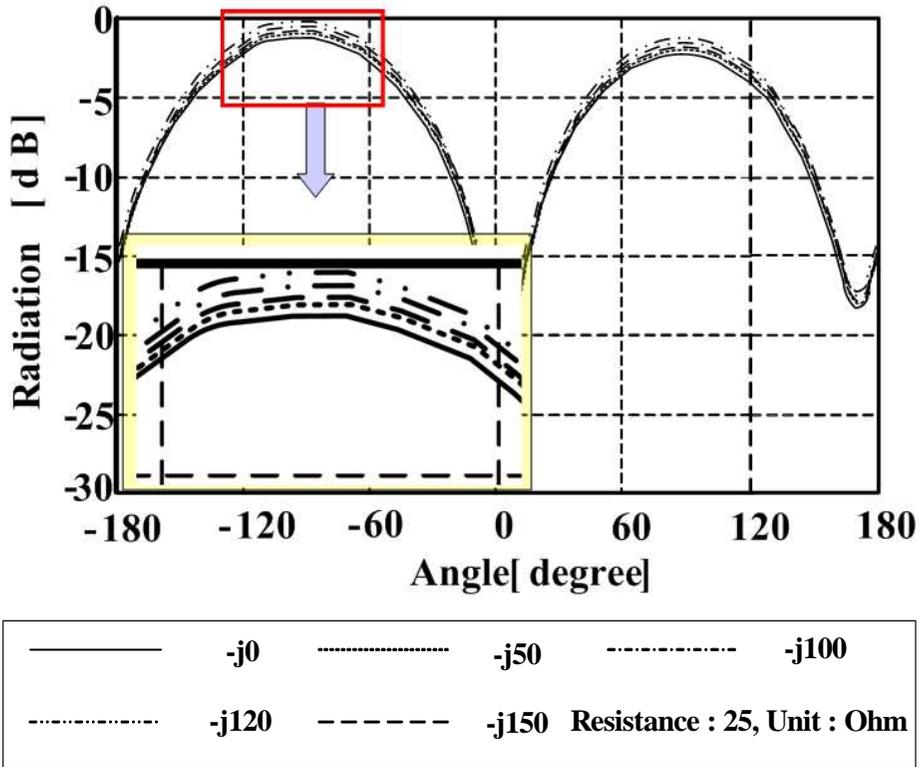


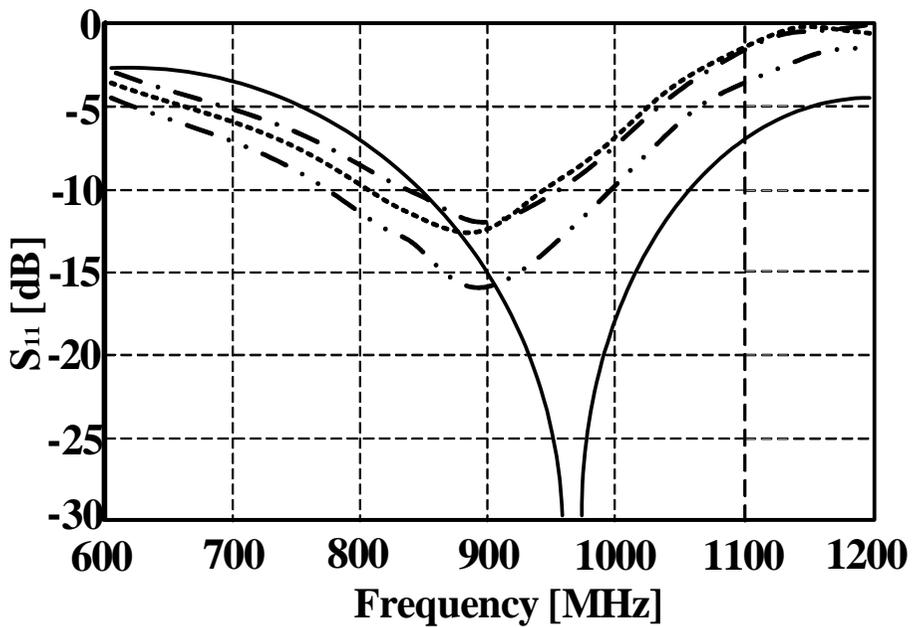
그림 3.8. 칩의 리액턴스 성분 변화에 따른 방사패턴.

Fig. 3.8. Radiation pattern of tag with respect to reactance variation of chip.

그림 3.8은 태그 안테나의 칩 임피던스의 리액턴스 값이 $-j0$ ohm에서 $-j150$ ohm까지의 변화에 대한 910 MHz에서의 방사 패턴을 보여주고 있다. 태그 안테나가 동작하는 영역에서의 방사 패턴은 전방향성 특성을 가지며 수신전력 신호의 크기도 유사하다.

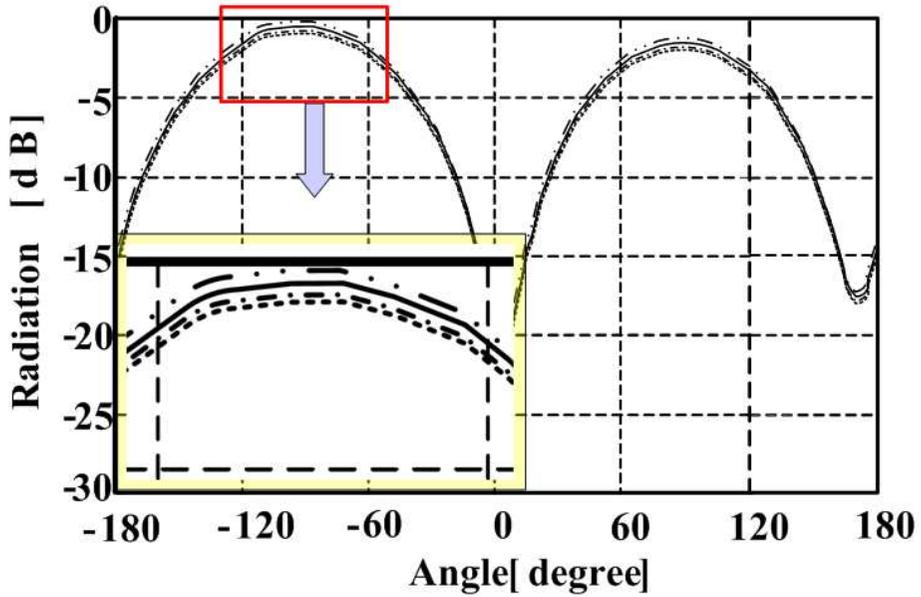
3.3.2 상용 칩을 이용한 특성

3.3.1 절에서는 칩의 리액턴스 값의 변화에 의한 다른 안테나의 특성 변화에 대해서 설명하였다. 본 절에서는 상용화된 칩에 따른 특성 변화에 대해 설명하였다. 상용화 된 칩은 Alien 사의 제품으로 칩 임피던스는 각각 $25-j100$, $70-j210$, $10-j130$, $7-j120$ ohm 이다. 그림 3.9는 상용화 된 칩을 사용하였을 때 태그 안테나의 반사 계수와 방사 패턴 특성이다.



(a) 반사계수

(a) Reflection coefficient



(b) 방사 패턴

(b) Radiation pattern

————	70-j210	10-j130	
- · - · - ·	7-j120	- - - - -	25-j100	[Unit:Ohm]

그림 3.9. 상용 칩을 사용한 태그 안테나의 특성.

Fig. 3.9. Characteristics of tag antenna with commercial chip.

그림 3.9 (a)와 같이 태그 안테나에 상용화된 임피던스가 다른 네 가지 종류의 칩을 사용하였을 경우, 각각의 경우 모두 900 MHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 특성을 만족하고 있음을 보여주고 있다. 안테나 임피던스인 $25+j100$ Ω에 공액 정합하는 칩 임피던스의 경우 정확히 910 MHz에서 공진하는 것을 알 수 있다. 또한 각각 다른 임피던스를 갖는 세 종류의 칩 임피던스에 있어서도 임피던스 미스 매칭이 발생하여 공진 주파수가 이동하는 것을 보이지만, 900 MHz RFID 주파수 대역에서 태그로써의 성능을 유지하고

있음을 확인하였다. 또한 그림 3.9 (b)에서 보는 것과 같이 방사 패턴은 910 MHz의 주파수에서 칩 임피던스가 각각 다른 경우에도 동일하게 Omni-directional한 지향성 특성을 보이고 있다. 수신 신호의 크기의 차이는 0.3~2 dB로 그 차이가 매우 적음을 알 수 있다. 이러한 결과는 폴디드 다이폴 안테나의 광대역 특성에 의한 것으로써, 이러한 광대역 특성에 의하여 각각 다른 칩 임피던스에서도 같은 성능의 태그로써 동작할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 제안된 안테나를 태그 안테나로 사용할 경우, 칩 임피던스가 변화하더라도 새로운 안테나의 설계없이 국내 900 MHz RFID 주파수 대역에서 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

3.4 실험 및 결과 고찰

3.4.1 측정 장비의 구성

RFID 태그는 무급전 소자이므로 제작된 태그는 일반 안테나와 같이 반사 계수나 지향성 특성과 같은 일반적인 안테나 특성을 측정할 수 없다 따라서 본 논문에서는 반사체에 의해 반사되어진 신호의 크기를 통해 태그의 성능을 분석할 수 있기 위하여 전파 암실에 RCS 측정시스템을 구축하였다. 그림 3.10은 암실에 구축된 RCS 측정시스템의 전체 구성도를 나타낸다. Reader 부는 혼 안테나와 Spectrum Analyzer를 사용하여 송신 신호와 수신 신호의 크기를 측정할 수 있도록 구성하였으며, Tag 부는 측정 대상은 제작된 세가지의 태그 모델을 설치하였다. 그리고 양 단의 거리는 제작된 태그의 인식 거리인 1 m로 두어 배치하였다.

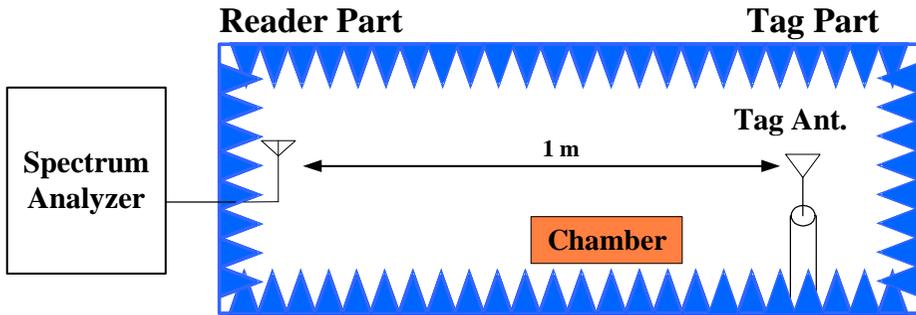
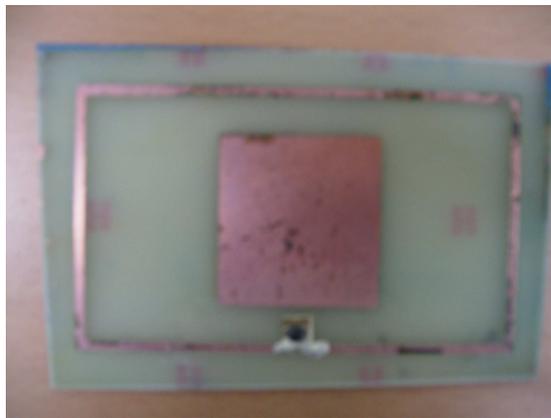


그림 3.10. RCS 측정을 위한 시스템 구성도.

Fig.3.10. System configuration for RCS measurement.

3.4.2 태그 제작 및 측정

이전 절에서 구축하였던 RCS 측정에 사용할 태그는 각각 $25-j100 \Omega$, $10-j130 \Omega$, $70-j210 \Omega$ 의 각각 다른 임피던스를 갖는 세 가지 종류의 칩을 이용하였다. 각각의 칩 임피던스는 시뮬레이션 상에 칩 삽입시 태그의 특성이 900MHz에서 같은 특성을 나타내는 개를 확인하였다.



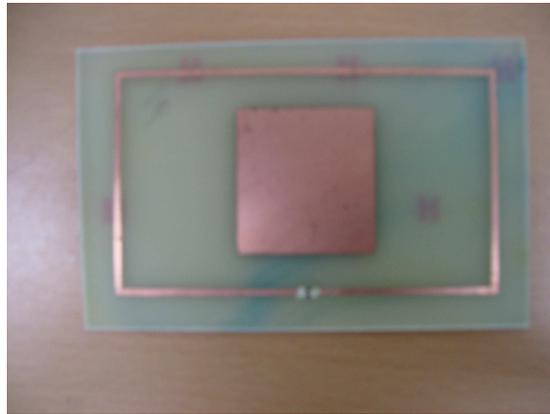
(a) $25-j100 \Omega$ 의 임피던스를 갖는 칩을 이용한 태그

(a) Tag having chip impedance of $25-j100 \Omega$



(b) 10-j130 Ω 의 임피던스를 갖는 칩을 이용한 태그

(a) Tag having chip impedance of 10-j130 Ω



(c) 70-j210 Ω 의 임피던스를 갖는 칩을 이용한 태그

(c) Tag having chip impedance of 70-j210 Ω

그림 3.11. 제작된 칩을 가진 태그의 사진.

Fig. 3.11. Photo of fabricated tag with chips.

태그는 무 급전 소자이므로 일반적인 안테나 특성인 반사 계수나 방사패턴 특성을 측정할 수 없다. 따라서 이전 절에서 설명한 RCS 측정 시스템의 구성으로 국내 RFID 주파수 영역인 910

MHz에서의 태그로부터 반사되어 들어오는 수신 신호의 레벨을 측정하여 태그의 성능을 확인하였다. 태그에 의해 반사되어진 수신 신호의 크기는 같은 단면적을 가지는 각각의 태그 모델의 산란 단면적에 의하여 그 크기가 달라지고 이 산란 단면적은 태그의 칩과 안테나의 정합 상태에 의해 달라진다[11]. 각각 다른 칩 임피던스를 갖는 세 종류의 태그와 비교 모델로써 칩이 삽입되지 않고 급전점이 open 된 안테나 모델을 RCS 측정 방법을 통해 반사되어지는 수신 신호 레벨을 측정하였다.

그림 3.12는 칩을 세 종류의 칩을 안테나에 장착시켰을 경우 태그의 수신 신호 레벨을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 안테나와 칩의 임피던스가 완전하게 공액 정합된 모델인 25-j100 ohm의 임피던스를 갖는 칩을 장착하였을 경우 반사되어져 들어오는 수신신호의 레벨이 약 -51 dBm으로 다른 태그 모델에 비해 2~3 dBm 정도 높은 수신 신호 레벨을 보였다. 완전히 안테나와 정합하지 않은 두 가지의 칩 모델에 있어서는 약 -53 dBm ~ -54 dBm의 반사된 수신 신호 레벨의 크기를 보이면서 완전히 정합된 모델과는 아주 작은 수신 크기의 차이를 갖는 특성을 나타내었다. 이는 각각의 다른 임피던스를 가진 칩을 사용하더라도 제시한 안테나 모델을 사용할 경우 900 MHz 대역에서 거의 유사한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 칩을 장착하지 않은 안테나 모델의 경우 칩을 장착하였을 경우보다 수신 신호의 레벨이 약 -59 dB로 현저히 떨어지는 현상을 보이며 이는 태그가 없을 경우의 암실 내 잡음 신호와 비슷한 신호의 크기를 나타내었다. 이는 칩 없이 open된 태그 모델의 산란 단면적은 0이 되므로, 이 태그에 의해 반사되어 다시 리더로 수신되어지는 전력은 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 신호의 레벨은 암실 내 잡음 신호와 같은 크기의 신호를 나타냄을 알 수 있다.

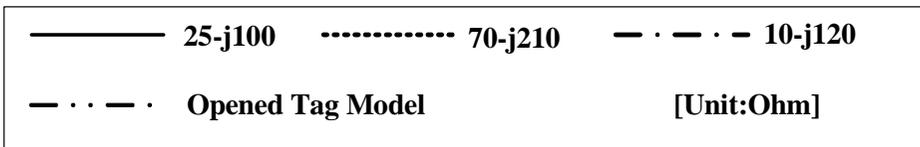
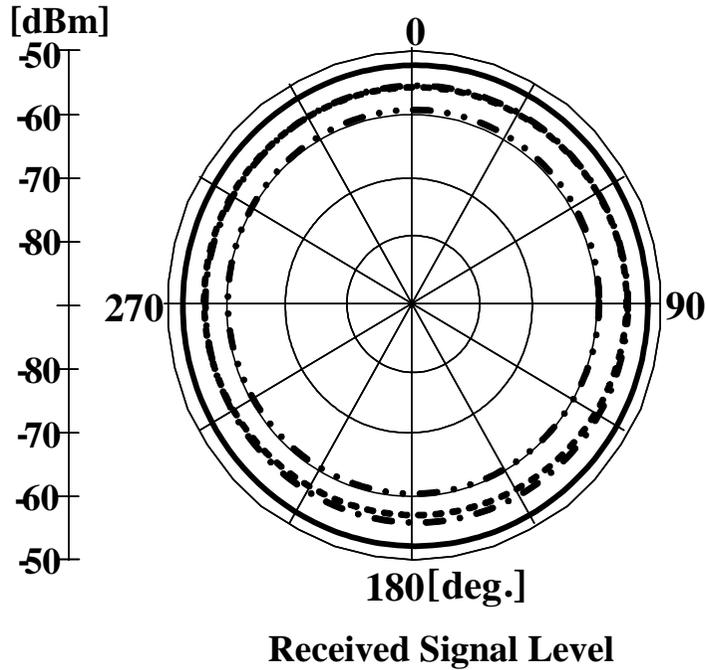


그림 3.12. 각각 다른 칩 임피던스를 사용하였을 경우의 수신신호
 Fig. 3.12. Received signal level using each different chip impedance

3.4.3 RCS 이론과의 결과 비교

RCS는 레이다 반사 면적으로 알려져 있으며 원거리 전계 파라미터로 레이다 목표물의 산란특성을 나타내는데 사용된다. 목표물의 관측이 잘 되지 않도록 설계하는데 있어서는 RCS가 최소화 되도록 해야 할 파라미터이다. 태그에서 가장 중요한 파라미터 중 하나인 인식거리는 RCS를 이용한 Radar Equation을 이용하여 유도

할 수 있다. 리더의 수신단에서 수신전력 (P_r)은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있고, 최대 인식거리는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = \frac{P_t G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (4)$$

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{r,\min}} \right]^{1/4} \quad (5)$$

이 때 P_t 는 리더에서 송신된 전력, G는 리더 안테나의 이득, $P_{r,\min}$ 은 리더가 태그를 인식하기 위해 필요로 하는 최소한의 수신 전력이다. 이 식에서 σ 는 식 (6)과 같이 태그의 산란 단면적 A_s 와 G_{tag} 와의 곱의 의미를 갖는다.

$$\sigma = A_s \cdot G_{tag} (A_s = A_e \text{ when matched}) \quad (6)$$

리더에서의 수신전력 P_r 는 산란 단면적 σ 에 비례한다[12]. 이 때 산란 단면적은 칩과 태그의 정합 정도에 따라 결정이 되며 안테나의 임피던스가 정합일 때는 산란 단면적은 가장 크다. 본 태그는 칩의 변화에 따라 각각 다른 산란 단면적을 가지며, 안테나의 RCS 측정 방법을 통한 수신 신호 크기의 차이는 칩과 임피던스의 산란 단면적, 즉 칩과 안테나의 매칭의 정도에 의해 수신 신호 레벨이 정해지게 된다. 칩을 삽입한 세 종류의 태그는 2~3 dB의 수신 신호의 차이를 가지고 있지만 그 차이는 칩이 장착되지 않은 open된 태그와 비교하였을 경우 매우 작은 수신 신호 레벨의 차이를 나타내고 있으므로 칩 임피던스에 변화에 대하여 둔감한 태그 특성을 나타낼 수 있다. 이는 상용 칩의 임피던스 변화에 대해 비슷한 특성을 가지므로 범용성을 가진 태그 모델로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

3.5 Summary

900 MHz RFID 주파수 대역에서 칩 임피던스의 변화에 대해 안테나 특성을 유지하는 태그 안테나를 제안하였다. 이 태그 안테나의 구조는 폴디드 다이폴이며, 임피던스 정합 소자를 포함하고 있다. 제안된 안테나는 칩 임피던스의 저항값이 25 ohm일 때 리액턴스 값이 $-j75$ ohm에서 $-j180$ ohm의 리액턴스 성분을 가질 때, 900 MHz 영역에서 동작하도록 설계되었다. 방사 패턴의 모양과 수신 신호 레벨의 크기는 리액턴스 값이 변하더라도 큰 차이가 없음을 확인하였다. 또한 제안된 안테나에 상용화 된 칩을 사용하였을 경우에도, 안테나의 특성이 유지되는 것을 확인 하였다.

최대 전력 전달을 위해 칩 임피던스의 공액 정합이 되는 안테나를 설계해야 하지만 칩 임피던스에 대해 특성의 변화가 없는 이 안테나를 사용하면 칩과 안테나의 정합 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 부착되는 환경에 의한 일반적인 RFID 태그의 특성 변화에 대해 분석하고, 칩 임피던스의 변화에 의한 태그 특성 변화를 분석하였다. 또한 칩 임피던스의 변화에 둔감한 안테나 모델을 제시하고 실험을 통하여 이를 증명하였다.

일반적인 다이폴 안테나는 일반적인 유전체에 부착되었을 경우 그 특성의 변화는 극히 미미하였으나, 금속에 부착되었을 경우 안테나로써 동작하지 않는 특성을 보이며 수신되어지는 전력량은 10 dB 이상 감소하며 방사 패턴의 변화가 매우 심하게 일어나는 특성을 보였다. 그러나 동작 주파수에서 정확히 $\lambda/4$ 의 거리에 금속을 두었을 경우, 반사되어지는 파의 위상이 일치하면서 오히려 안테나로써 더 좋은 반사 계수 특성을 보임을 알 수 있었다.

또한 안테나의 칩을 장착 시켰을 경우 칩이 가진 리액턴스의 영향으로 인하여 저주파로 공진 주파수가 이동하여 안테나의 동작 주파수에서 벗어남을 알 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 칩 임피던스의 변화에 매우 둔감한 특성을 보이는 안테나를 설계하였고, 이를 실험으로 증명하였다. 설계되어진 안테나는 칩의 리액턴스가 $-j75 \Omega$ 에서 $-j180\Omega$ 까지 변화하는 동안 모두 900 MHz 대역에 정확히 공진하였으며, 수신되어지는 전력의 레벨이 거의 같음을 확인하였고, 또한 방사패턴 역시 omni-directional한 모습을 보였다. 이를 RCS 측정 방법을 통하여 태그 모델을 측정하였을 경우에도 모두 900 MHz에서 동일한 특성을 나타냄을 확인하였다. 향후 본 안테나의 이득 향상과 소형화에 관한 연구를 계속 하고자 한다.

참고 문헌

- [1] 윤영중, “RFID 기술 동향” - 한국 전자과학회, 16권, 3호 pp. 1-2, 2005년 7월
- [2] 표철식, 채종석, 김창주, “RFID 시스템 기술” - 한국 전자과 학회, 15권, 5호, pp 21-31, 2004년 4월
- [3] K. Finkenzeller, RFID Handbook. London, U.K.: Wiley, 1999.
- [4] 손해원, 최원규, 표철식, “UHF RFID 기술” - 한국 전자과 학회, 16권, 2호, pp 55-63, 2005년 4월
- [5] P. Raunonen, L. Sydäänheimo, L. Ukkonen, M. Keskilammi and M. Kivikoski, "Folded Dipole Antenna near Metal Plate", in Proc. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, OH, Vol. 1, pp. 848 - 851, 2003.
- [6] K. V. S. Rao, H. Heinrich, and R. Martinez, "On the analysis and design of high-performance RFID tags" IEEE Automatic Identification Advanced Technologies Workshop, vol. 3, 2002.
- [7] P. Foster and R. Burberry, "Antenna problems in RFID systems" IEE Colloquium on RFID Technology, no. 123, pp. 3/1-3/5, Oct. 1999.
- [8] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-29, no. 1, pp. 2 - 4, Jan. 1981.
- [9] MunLeng Ng, Kin Seong Leong and Peter H. Cole, "Analysis of constraints in small UHF RFID tag Design", MAPE 2005. IEEE International Symposium on, Volume 1, pp. 507 - 510 Aug. 2005
- [10] Kyeong-Sik Min, Jin-Woo Kim, Chul-Kun Park and Viet-Hong

- Tran, "A Study of Capacity Change Antenna for RFID Tag Depending on Ground Plane", APMC 2005, Vol. 5, pp 320-324, Dec.2005
- [11] 권홍일. 이종욱. 이범선 "수동형 RFID Tag 안테나 성능 분석", 한국전자과학회 종합학술대회 논문집, Vol 15, No.1, pp.241-244, Nov. 2005
- [12] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory", London. U. K. Wiley, 2001

발표 논문

- [1] 민경식, 김진우 “433 MHz 대역의 스파이럴 형태의 RFID용 Tag에 관한 연구,” 2005년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회, pp. 387-392, 2005. 6.
- [2] 민경식, 김진우 “Printed 다이폴 안테나를 이용한 RFID 태그 부착면의 성능 평가,” 2005년도 마이크로파 및 전파 학술대회, 제28권, 제2호, pp. 91-94, 2005. 9..
- [3] Kyeong-Sik Min, Jin-Woo Kim, Chul-Keun Park, Viet-Hong Tran, “A Study of Capacity Change Antenna for RFID Tag Depending on Ground Plane,” 2005 Asian Pacific Microwave Conference, Vol.5, pp. 2920-2923 2005. 12.
- [4] 김진우, 민경식, “칩 임피던스의 변화에 둔감한 특성을 갖는 RFID 태그의 설계,” 2005년도 마이크로파 및 전파 학술대회, 제 29권, 제2호, pp. 90-93, 2005. 9.
- [5] 김진우, 민경식 “Chip 변화에 둔감한 900 MHz대 RFID Tag의 설계,” 2005년도 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회, 2006. 11.
- [6] Jin-Woo Kim, Kyeong-Sik Min, “Development of Insensitive RFID Tag for Variation of Chip Impedance,” 2006년 Asian Pacific Microwave Conference, 2006. 12.

감사의 글

우선 이 졸업 논문이 완성되게끔 지켜주신 하나님 감사드립니다. 마지막까지 손수 지도해주시며 저를 지금의 위치에까지 이끌어 주신 민 경식 교수님께 감사를 드립니다. 또한 6년간 많은 가르침을 주신 김 동일 교수님, 조 형래 교수님, 정 지원 교수님, 김 기만 교수님, 강 인호 교수님, 윤 영 교수님께 감사드립니다. 먼 수원에서 항상 저를 지켜 봐 주시고 염려해주시던 박 세현 박사님께 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

항상 사고만 치는 아들을 끝까지 믿어주신 부모님 그리고 사랑하는 두 동생들, 그리고 집안의 장손을 걱정해 주신 할머니님과 그 외 친척 어른들께 감사의 말씀을 올립니다.

분신과 같이 나와 항상 함께 해주었던 동진이, 그리고 독수리 5형제 덕우, 형준이, 성훈이, 찬섭이에게 깊은 감사를 드립니다. 3년이 조금 넘는 연구실 생활동안 많이 돌보아 준 철근 선배, Vu, Ngon, 그리고 이제 연구실의 버팀목이 될 승목이, 민성이, 건도에게 감사의 마음을 또한 전합니다. 힘이 들 때면 옆에서 힘이 되어주던 성훈이, 영일이, 혜진이, 효은이, 미정이, 민성이, 광호 그 외의 거인사랑 멤버들에게 고마움을 표시합니다.

이제 학교를 벗어나 새로운 사회와 마주칠 준비를 하고 있습니다. 지금껏 염려해 주신 여러분에게 누가 되지 않도록 항상 현재에 충실한 사람이 되도록 노력하겠습니다. 그동안 지켜봐 주셔서 감사합니다.

김 진우 올림