

# 칩 특성을 고려한 UHF RFID 태그 설계

이홍주<sup>†</sup>, 황건용<sup>\*\*</sup>, 이응주<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

RFID(Radio Frequency IDentification) 산업의 시장 동향은 가격 문제로 인하여 정체성을 보이고 있다. 근래에는 칩 가격의 하락으로 인해 칩을 제외한 태그 인레이 가격이 상대적으로 높아지고 있는 실정이며 태그 저 가격화를 실현하기 위해서는 빠르고 간단하면서도 저비용의 RFID 태그 설계 기술이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 안테나 설계를 위한 기반기술 중 하나인 칩 임피던스를 고려하여 태그를 설계하여 보다 정확하고 빠른 설계가 가능한 시스템 개발을 제안하였다. 제안한 시스템의 성능평가 결과 기존 시스템보다 20MHz 내에서 공진 범위가 좁아졌으며, 판독 오류도 1.5m 이내로 줄어드는 성능개선 효과가 있었다.

## Design of UHF RFID Tag Considering Chip Characteristic

Lee Hong Joo<sup>†</sup>, Hwang Gun Yong<sup>\*\*</sup>, Lee Eung Joo<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Recently, RFID(Radio Frequency IDentification) market spread in industry region is entering a phase of stagnation due to cost issue. RFID tag inlay cost has become relatively more expensive due to the recent decrease in chip price. Therefore, a simple and rapid design technique for RFID tag has yet to be implemented to achieve low cost. This paper presents a design technique considering chip impedance for antenna design for improved accuracy and computation time. As a result, it is confirmed that analysis error for resonance ranges within 20MHz and readable range error falls within 1.5m.

**Key words:** RFID(무선주파수인식), Chip(칩), Antenna(안테나), Tag Reader/Write(태그 입출력).

## 1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 반도체 기술의 발전과 인터넷의 등장으로 인하여 지난 10여 년 동안 꾸준한 발전을 해왔으며 유통, 물류, 의료, 교육 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 이는 향후 수 년 내에 거의 모든 물품에 태그를 부착하게 됨에 따라 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경 구축에 큰 기여를 할 것으로 기대된다[1-3].

RFID 기술은 마이크로 칩과 안테나가 내장된 태

그를 사물에 부착하고, Radio Frequency Wave를 이용하여 사물과 리더 사이의 데이터 통신을 가능하게 함으로써 사물의 내역 확인, 이송 경로 추적 및 실시간 이력 관리 등을 할 수 있는 기술이다[4-5].

그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 안테나는 RFID 태그에 에너지를 제공하고 RFID 태그는 리더기의 안테나에 정보를 주고 받는 기능을 수행한다. 이러한 RFID 기술은 저주파(LF), 고주파(HF), 초고주파(UHF) 및 마이크로파(M/W) 대역의 무선전파를 사용하며 각 대역의 전파 특성에 따라 동물추적, 교통

\* 교신저자(Corresponding Author): 이응주, 부산시 남구 용당동 535 동명대학교 정보통신공학과, 전화: 051) 629-3700, FAX: 051)629-3719, E-mail: ejlee@tu.ac.kr  
접수일: 2010년 10월 6일, 수정일: 2011년 1월 11일  
완료일: 2011년 1월 19일

<sup>†</sup> 정회원, (주)삼성전기 OMS사업부 MD개발팀

(E-mail: homz75@pusan.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 준회원, 영산대학교 컴퓨터공학과 부교수

(E-mail: gyhwang@ysu.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원, 동명대학교 정보통신공학과 교수

※본 연구결과물은 교육과학기술부 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과임.

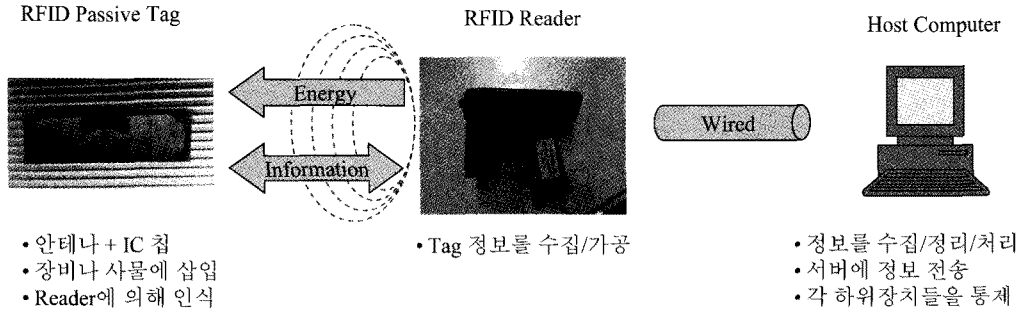


그림 1. RFID 시스템 구성도

카드, 물품관리, 전자화폐 등 다양한 분야에 선택적으로 적용되고 있으며, 단말기의 형태에 따라 고정형, 휴대형, 모바일 RFID 기술로 분류되고 최근에는 택시안심귀가서비스 등 휴대폰에 RFID 리더 기능이 결합된 모바일 RFID 서비스도 시범서비스를 선보이면서 우리 생활에 파고들고 있다. 또한 항만물류 관리와 같이 긴 인식거리가 필요한 능동형 RFID 기술을 포함하여 많은 연구와 실증실험, 시범서비스 등에서 RFID 관련 사업이 이루어지고 있으며 최근에는 파렛, 케이스 단위가 아닌 물품 단위에 태그 부착을 위한 ILT(Item Level Tag) 기술도 속속 선보이고 있다.

현재 RFID 사업의 핵심 이슈는 가격이며, 이는 RFID사업의 확산을 방해하는 가장 중요한 요소이다. 따라서, RFID 태그의 저가격화 실현을 위해서는 안테나 패턴 제작비용, 칩 가격, 컨버팅 비용이 모두 낮도록 충족되어야 한다. 특히, 안테나 패턴 제작비용을 줄이기 위해서는 빠르고 저비용의 안테나 패턴 설계 기술이 필요하다[6-7].

본 논문에서는, 그 중에서도 안테나를 설계하기 위한 기반기술 중 하나인 칩 임피던스를 어떻게 계산하여 더 정확한 설계가 가능한지에 관한 것이다. 실제로 칩 제조사에서는 일반적으로 칩 임피던스의 값을 제공하지만, 인레이 제작시 이러한 값들은 안테나 재료 및 두께, 칩 본딩 방법, 열, 압력과 같은 칩 본딩 조건 등에 의해 변하기 때문에 그에 따라 칩 임피던스를 계산할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 수동형 RFID Tag 설계 기술

태그 설계에 앞서, 태그 안테나를 설계하기 위해서는 측정할 수 있는 주요 성능인 인식거리를 어떻게

계산하여 설계에 적용할 것인가에 대하여 생각해 볼 필요가 있다. 따라서, 인식거리와 관련된 수식에 대하여 정리한 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 태그 설계를 위한 접근방법에 대해서 정리하고자 한다. 먼저, 송신부인 RFID 리더와 수신부인 RFID 태그의 관계식은 프리스 방정식(Frii's Equation)으로 다음과 같다[3,4].

$$P_r = e_{ref} e_{pol} P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (1)$$

여기서,  $P$ ,  $G$ ,  $e_{ref}$ ,  $e_{pol}$ ,  $\lambda$ 와  $r$ 은 전력(Power), 이득(Gain), 반사효율(Reflection Efficiency), 편파효율(Polarization Efficiency), 파장(Wavelength), 인식범위(Readable range)이며, 아래첨자  $r$ 과  $t$ 는 각각 수신안테나(Receive antenna)인 태그 안테나와 송신안테나(Transmit antenna)인 리더 안테나를 나타낸다. 파장은 주파수 대비 전자파의 속도로 계산할 수 있다. 또한  $e_{ref}$ 와  $e_{pol}$ 는 다음과 같이 풀어 쓸 수 있다.

$$e_{ref} = (1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) \quad (2)$$

$$e_{pol} = |\vec{p}_t \cdot \vec{p}_r|^2 \quad (3)$$

여기서,  $\Gamma$ 와  $\vec{p}$ 는 각각 반사계수(Reflection Coefficient)와 편파벡터(Polarization Vector)를 가리킨다.  $\Gamma$ 는 다시 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Gamma_r (= S_{11}) = \frac{Z_c - Z_a^*}{Z_c + Z_a} \quad (4)$$

여기서,  $Z$ 는 임피던스(Impedance)를 의미하며, 아래첨자  $c$ 와  $a$ 는 각각 칩(Chip)과 태그 안테나(Tag Antenna)를 나타낸다. 그리고, 프리스 방정식을 인식거리  $r$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{e_{ref} e_{pol} \frac{P_t G_t G_r}{P_{r,min}}} \quad (5)$$

여기서,  $P_{r,min}$ 은 칩의 감도를 나타내며,  $r$ 은 칩이 반응할 수 있는 최대거리를 나타낸 것이다. 그러나, 칩이 반응하더라도 리더가 태그에서 전송되어 오는 신호를 받지 못할 수도 있으므로 리더가 인식할 수 있는 최대거리를 수식으로 표현할 필요가 있다. 그 수식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P_r = e_{pol}^2 \frac{P_t G_t^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (6)$$

$$r_2 = \left[ e_{pol} \frac{P_t G_t^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{t,min}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

여기서,  $\sigma$ 는 RCS(Radar Cross Section)를 나타내고,  $P_{t,min}$ 은 리더 칩의 감도를 나타낸다.

실질적인 인식거리는  $r$ 과  $r_2$ 중 작은 값을 취하는 것이 옳다. 그러나, 일반적으로 리더 칩의 감도가 태그 칩의 감도보다 월등히 작기 때문에  $r$ 이  $r_2$ 보다 작다. 따라서, 본 논문에서는  $r_2$ 는 고려하지 않기로 하겠다. 실제 태그 안테나를 설계할 때에 고려해야 할 변수를 다시 정리해보자. 먼저, 타 논문들을 참조하면, 다이폴(Dipole)의 태그와 원형 편파 리더 안테나(Circularly Polarized Reader Antenna)간의  $e_{pol}$ 는 0.5로 두기도 하지만, 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 계산하고자 한다. 다시 살펴보면,  $P_t G_t$ 는 리더의 특성이고,  $P_{r,min}$ 은 칩의 특성이며,  $e_{pol}$ 은 리더와 태그, 둘 다 관련되어 있다. 따라서, 태그 안테나와 관련된 변수는  $e_{ref}$ ,  $e_{pol}$ 과  $G_r$ 뿐이며,  $e_{ref}$ 와  $G_r$ 의 곱을 실효이득(Realized Gain)이라 한다. 실제로 태그 안테나를 설계하기 위해서는 실효이득을 높게 설계해야 인식거리가 늘어나므로, 이를 고려하여 설계해야 한다.

### 3. 칩 임피던스 추정

#### 3.1 RFID 태그

칩 임피던스 추정을 위해 측정 및 해석을 하기 위한 수동형 UHF RFID태그를 선정하였다. 칩은 Alien 사 Higgs2이며, 형태와 단면도는 다음과 같다.

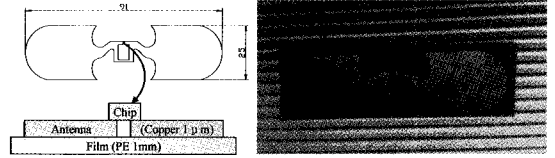


그림 2. UHF RFID 태그

#### 3.2 인식거리 측정

일반적으로 리더와 태그의 성능을 얘기할 때 인식거리가 가장 중요한 항목으로 알려져 있지만 인식거리는 태그의 성능이 좋더라도 리더의 성능이 좋지 않으면 인식거리는 짧을 수 밖에 없고 그 반대의 경우에도 마찬가지이므로 인식거리를 측정할 것은 쉬운 일이 아니다. 변화가 심한 자유공간에서 기준 리더로부터 일정한 거리를 두고 태그가 인식되는지를 확인하는 기존의 측정방법은 전파환경이 일정하지 않고 측정 결과를 정량적인 데이터로 표현할 수 없으므로 매우 부정확하고 신뢰성이 떨어진다 할 수 있다.

이를 극복하기 위해 무반사실에서 측정하는 방법이 있지만 이는 많은 비용과 공간이 필요하여 쉽게 하기 어려운 문제가 있으므로 무반사실과 유사한 환경을 가진 챔버를 이용해 측정하는 것이 효율적이다.

RFID 태그의 성능을 측정하기 위한 시스템의 구성도는 다음과 같이 챔버, 리더 에뮬레이터(Emulator), PC(Personal Computer)로 구분할 수 있다.

부분의 태그는 프린트된 안테나와 작은 칩으로 구성되어 있어서 RF 전도성 테스트가 어렵다. 따라서 안테나를 이용한 RF 커플링 방법을 많이 사용한다. 또한 정확한 측정을 위해 외부 신호 간섭을 최소화해야 하므로 챔버를 사용한다. 태그의 RF 특성을 측정하기 위해서는 태그가 리더신호를 반사하는 후방 굴절 신호를 측정해야 한다.

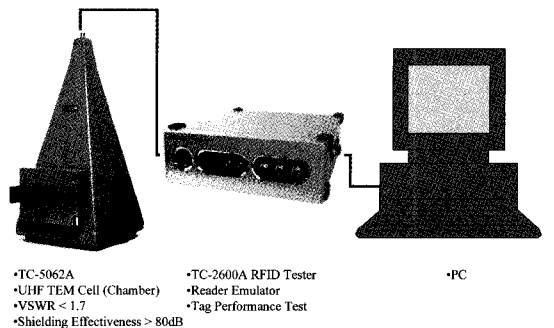


그림 3. RFID Tag 측정 시스템의 구성도

챔버는 무반사실과 유사한 환경을 갖추고 있어 태그의 방사 측정을 위해 최적의 환경을 제공한다. 또한 리더 에뮬레이터는 RFID 리더와 유사하게 작동하도록 제작된 장치이다. 이러한 측정 구성을 통해 태그의 감도 측정, 후방굴절 특성 측정, 태그간 상대 측정 등이 가능하다. 이 시스템을 통해 사용자가 입력한 조건을 사용하여 계산한 인식거리를 계산할 수 있으며, 그 원리는 다음과 같다.

먼저, Tag RIP(Received Isotropic Power)를 계산한다. 이는 경로손실을 고려한 태그가 수신하는 전력으로서 다음과 같다.

$$P_r = \frac{P_{mtx}}{PL} \tag{8}$$

여기서,  $P_{mtx}$ 와  $PL$ (Path Loss)은 각각 측정된 송신부 전력과 경로손실을 의미한다. 그리고, 리더의 송신 조건과 태그의 수신 강도를 고려할 때 예상되는 태그의 인식거리는 프리스 방정식을 이용해 다음과 같이 계산한다.

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}} \tag{9}$$

이에 대한 측정 결과는 다음과 같다.

그림 4에서 Test-rms는 네 번 측정된 결과의 제곱평균제곱근(Root Mean Square; RMS)으로 943.8 [MHz]에서 6.6[m]로 가장 크게 나타났다.

### 3.3 CAE(Computer Aided Engineering) 해석 결과

해석에 사용된 툴은 Ansoft사, HFSS ver.10이고,

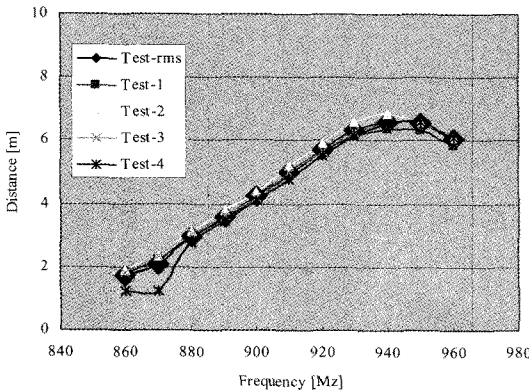


그림 4. 인식거리 측정 결과

해석결과는 안테나 임피던스, 943[MHz]에서의 안테나 이득과  $\theta=\phi=0$ 에서의 안테나 이득 및 리더의 편파가 오른손 원형편파(RHCP; Right Hand Circular Polarized wave)일 경우의 편파효율이며, 결과는 그림 5에서 그림 9와 같다[5].

### 3.4 칩 임피던스 계산

반사효율을 칩과 안테나의 임피던스에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$e_{ref} = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|} \tag{10}$$

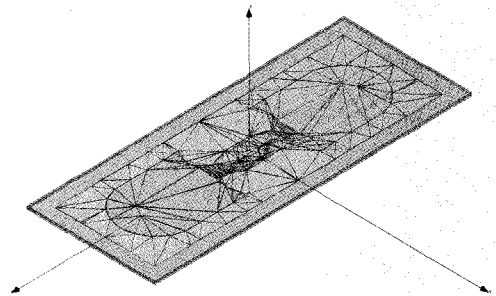


그림 5. RFID 태그 모델링

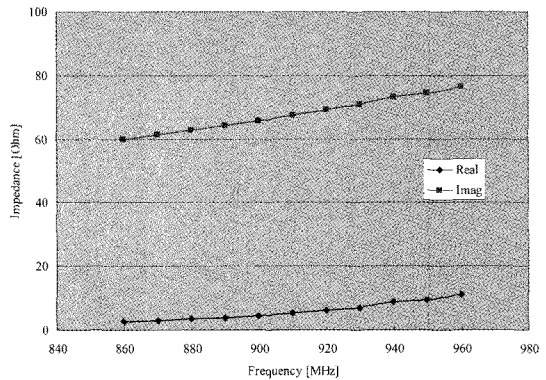


그림 6. 안테나 임피던스

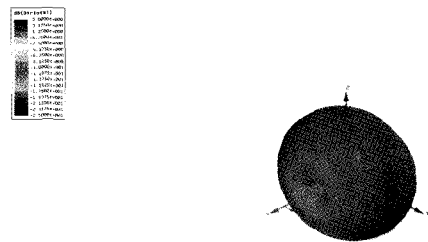


그림 7. 3D 안테나 이득

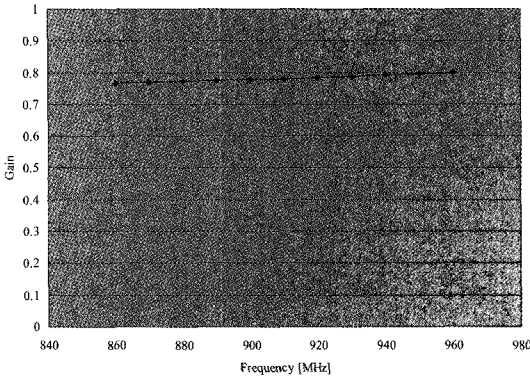


그림 8. 2D 안테나 이득

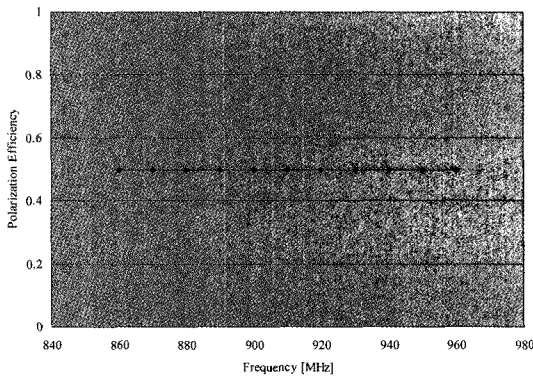


그림 9. 편파효율

여기서, 칩 임피던스를 상수로 가정하고, 반사효율이 943.8[MHz]에서 최대가 되기 위해  $de_{ref}/df$ 이 0 (zero)이 되도록 하여 정리하면 다음과 같다.

$$R_c^2 + \left( X_c + X_a - R_a \frac{dX_a}{dR_a} \right)^2 = R_a^2 \left[ 1 + \left( \frac{dX_a}{dR_a} \right)^2 \right] \quad (11)$$

이것은 중심이  $\left( 0, -X_a + R_a \frac{dX_a}{dR_a} \right)$ 이고, 반지름이  $R_a \sqrt{1 + \left( \frac{dX_a}{dR_a} \right)^2}$  인 원을 나타낸다.

따라서, 칩 임피던스를 실수부와 허수부로 나누어서  $\theta$ 에 대한 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$R_c = R_a \sqrt{1 + \left( \frac{dX_a}{dR_a} \right)^2} \cos \theta \quad (12)$$

$$X_c = -X_a + R_a \frac{dX_a}{dR_a} + R_a \sqrt{1 + \left( \frac{dX_a}{dR_a} \right)^2} \sin \theta \quad (13)$$

여기서, 칩 임피던스의 실수부  $R_c$ 는 음이 될 수 없으므로  $\theta$ 는  $-90^\circ$ 에서  $90^\circ$  사이의 값이다.

인식거리가 최대가 되는 주파수와 반사효율이 최대가 되는 주파수는 안테나 이득과 편파손실로 인해 정확히 일치하지는 않는다. 따라서, 측정된 인식거리를 반사효율로 환산할 필요가 있다. 측정된 인식거리와 해석결과들을 이용한 계산수식은 다음과 같으며, 그림 10은 그 결과를 보여준다.

$$e_{ref} = \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \frac{P_{r,min}}{e_{pol} P_t G_t G_r} \quad (14)$$

그림 4에서의 Test-rms를 반사효율로 환산한 것으로, 945.7[MHz]에서 0.45로 가장 크게 나타났다.

그림 11은 반사효율이 945.7[MHz]에서 최대가 되는 칩 임피던스의 궤적을 나타낸 것이다.

다음 그림들은  $\theta$ 의 변화에 따른 해석결과와 측정결과를 비교한 것이다.

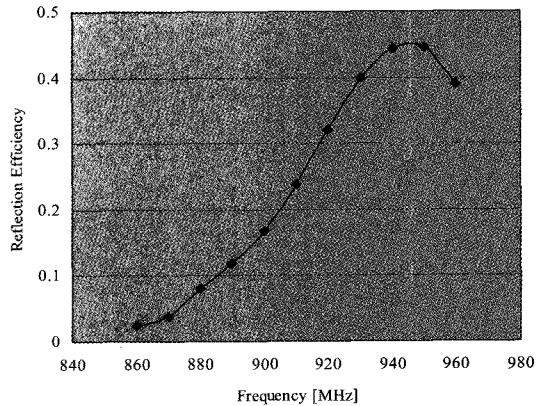


그림 10. 측정된 반사효율

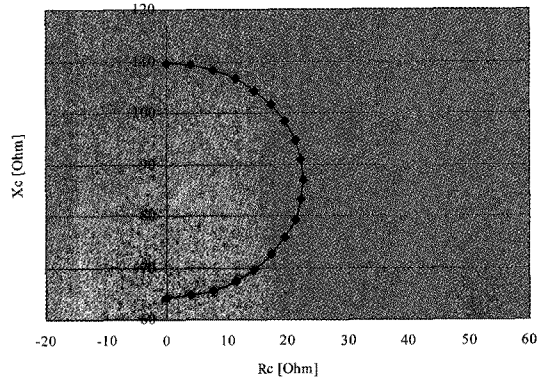


그림 11. 칩 임피던스의 궤적

측정결과와 해석결과의 오차가 최소가 되도록 최소자승법을 이용해 구한  $\theta$ 는  $-84.3^\circ$ 이며, 그 때의  $R_c$ 와  $X_c$ 는 각각 2.252,  $-109.55[\Omega]$ 이다. 다음 그림은 위 결과를 토대로 반사효율과 인식거리를 계산하여 측정값과 비교하였다.

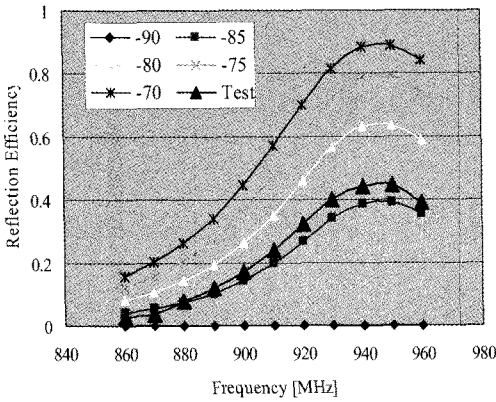


그림 12. 칩 임피던스에 따른 반사효율

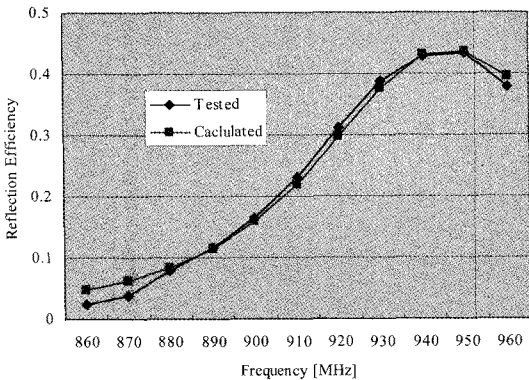


그림 13. 반사효율의 측정 및 해석결과 비교

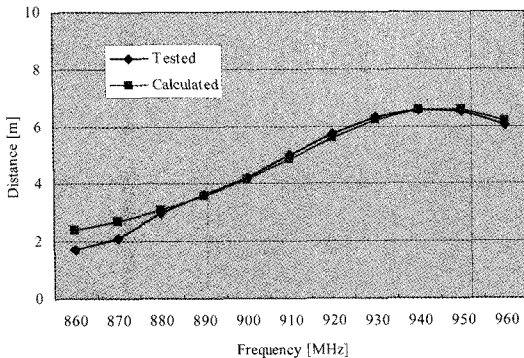


그림 14. 인식거리의 측정 및 해석결과 비교

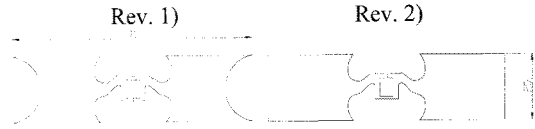


그림 15. 타 모델 그림 삽입

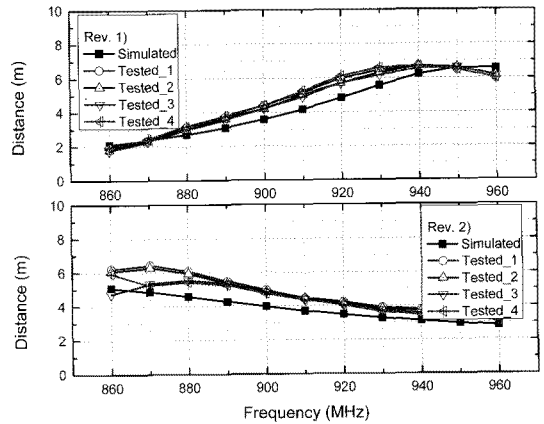


그림 16. 모델별 해석 및 측정 결과

### 3.5 타 모델 검증

위에서 계산한 칩 임피던스를 타 모델에도 적용하여 타당성을 검토하였다. 외곽 치수는 칩 임피던스 추정 모델과 동일하며 모델의 형상은 다음과 같다.

그림 16은 해석결과와 측정결과를 비교한 것이다. 이것은 칩 임피던스 추정 값이 타 모델에 적용해도 큰 오차가 없음을 보여준다.

## 4. 결 론

RFID Tag를 해석하기 위해서는 칩이나 안테나에 따라 변화하는 칩 임피던스를 규명해야 한다. 이를 위해서는 측정을 통해 구할 수 있는 파라미터, CAE 해석을 통해 구할 수 있는 파라미터와 계산을 통해 구할 수 있는 파라미터로 구분해야 한다. 먼저, 측정을 통해 구할 수 있는 파라미터는 인식거리이다. 따라서, 해석 및 계산 결과를 이와 비교하여 타당성을 검증하였다.

해석을 통해 구할 수 있는 파라미터는 칩 임피던스와 무관한 파라미터여야 한다. 이에 는 안테나 이득, 안테나 임피던스, 편파효율이 있다. 해석 결과를 바탕으로 계산된 파라미터에는 반사효율, 인식거리 등이 있다. 이 중에서 인식거리가 타 파라미터에 비

해 측정이 쉽다. 따라서, 본 논문에서는 이를 측정 파라미터와 비교, 검증하며, 해석 및 계산 결과를 이용해 칩 파라미터를 추정하여 타 모델 설계시 적용하는 RFID Tag 해석 및 설계기법을 제시하였다. 제안한 시스템의 성능평가 결과 기존 시스템보다 20Mhz 내에서 공진 범위오차가 줄어들었으며, 판독 오류도 1.5m 이내로 줄어드는 성능개선 효과가 있었다.

그러나, 이러한 기법은 칩 또는 칩 본딩 조건이 변경되거나 안테나 형상 및 재질이 변경되면 오차가 커지므로, 새로운 모델 설계시 칩 임피던스를 다시 추정하여야 하는 단점이 있다. 따라서, 추후에는 칩이나 본딩 조건, 안테나 크기 등이 칩 임피던스에 어떻게 영향을 미치는지 규명하고 표준화 작업을 통해 칩 임피던스 추정을 새롭게 할 필요가 없는 해석방법을 제시할 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, RFID handbook, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons Inc., UK, 2003.
- [2] 조치현, 류정기, 추호성, 박익모, "역방향 전류를 이용한 UHF 대역 근거리장용 RFID 리더 안테나 설계," 춘계 마이크로파 및 전파학술대회논문집, 제31권, 제1호, pp. 403-406, 2008.
- [3] 주정현, 김석주, 김석일, "RFID 태그 위치에 따른 인식 거리 변화," 컴퓨터정보통신연구지, 제17권, 제1호, pp. 51-59, 2009.
- [4] C.H. Loo, "Chip Impedance Matching for UHF RFID Tag Antenna Design," Progress In Electromagnetics Research, PIER 81, 359-370, 2008.
- [5] G. Marrocco, "The Art of Antenna Design: Impedance Matching and Size Reduction Techniques," IEEE Antenna and Propagation Magazine, Vol.30, No.1, 2008.
- [6] Ansoft, High Frequency Structure Simulator (HFSS) Ver. 10.0, Ansoft Corporation, USA

- [7] 이임영, "ID 동기화를 가지는 RFID 인증시스템," 한국멀티미디어학회 논문지, 제9권, 제5호, pp. 615-623, 2006.



이 홍 주

2008년 8월 부산대학교 기계설계 공학과에서 박사학위를 취득하였다. RFID 전문기업인 (주)크리노를 거쳐 현재 (주)삼성전기 OMS 사업부 MD개발팀의 HDD개발그룹 과장으로 재직중이다. 주요 관심 분야는 전자계 시뮬레이션,

Motor 고주파 특성 해석, 소음 진동 등이다.



황 건 용

2003년 2월 부산대학교 기계설계 공학과에서 박사학위를 취득하였다. 현재 영산대학교 컴퓨터공학과 부교수로 재직중이며, 제품개발연구소장직을 겸직하고 있다. 주요 관심 분야는 전자기 시스템 설계 및 최적화, RFID/USN, 소음

진동 등이다.



이 응 주

1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
 1996년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
 2000년 7월~2002년 2월 (주)디지털넷뱅크 대표이사

2005년 7월~2006년7월 중국 대 련경공업대학교 초빙 연구 교수

2005년 1월~현재 한국멀티미디어학회 이사  
 1997년 3월~현재 동명대학교 정보통신공학과 교수  
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 생체인식