

## Optimized Design of a Tag Antenna for RFID using a Meander Line

김형석\*  
(Hyeong-Seok Kim)

**Abstract** - In this paper, A tag antenna structure for RFID application with resonant frequency of 920MHz is proposed using the meander line technique and Evolution Strategy. Miniaturization structure design for a tag antenna is performed by structure combining the half-wave dipole with a meander line. To achieve this, an interface program between a commercial EM analysis tool and the optimal design program is made for implementing the evolution strategy technique that seeks a global optimum of the objective function through the iterative design process consisting of variation and reproduction. The optimized tag antenna size is 63mm x 15mm x 1mm. And the proposed antenna is realized on FR-4 substrate ( $\epsilon_r=4.4$ ,  $tan\delta=0.02$ ).

**Key Words** : RFID, Tag antenna, Meander line, UHF

### 1. 서론

RFID(radio frequency identification) 기술은 각 사물에 전자 태그를 부착하고, 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여, 해당 정보를 수집, 가공, 저장, 추적함으로써 사물에 대한 원격 처리, 관리 및 사물간 정보 교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다[1]. RFID 시스템은 적용 분야별로 125kHz의 저주파 대역에서 5.8GHz의 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[2][3].

RFID에서 안테나란 태그용 안테나와 리더용 안테나로 구분할 수 있다. 태그 안테나는 유도전류를 이용하는 패시브 태그용 안테나와 자가 전원 방식인 액티브 태그안테나로 구분된다. 태그 안테나는 일반적으로 공진 주파수 파장에 의해 크기가 결정되고, 기존 UHF(860MHz~960MHz) 대역에서 반파장 다이폴 형태의 상용 태그 안테나는 약 15cm의 크기를 가져 작은 아이템 단위의 사물에 적용하기에 많은 어려움이 있다. 따라서 RFID 태그는 안테나 성능 열화를 최소화 시키면서 어떤 물품에도 쉽게 부착될 수 있도록 소형화되는 것이 유리하다[4].

현재 국내사용 주파수대역은 총 5개의 대역으로 저주파 대역(135kHz), 고주파 대역(13.56MHz), 극초단파 대역(433MHz, 917~923.5MHz)와 마이크로파 대역(2.45GHz)이 있다[5][6]. 현재 개정된 국내 900MHz 주파수 대역의

RFID/USN 무선설비의 기술기준 (917~923.5MHz)에 관한 사항은 방송통신위원회고시 제2008-137호 <무선설비규칙> 제99조 (RFID/USN등의 무선설비)에 규정되어 있다. 전파의 자유공간 손실측면에서 가장 유리한 920MHz대역은 10m 전후의 인식거리를 가지고 있어 이용범위와 활용도가 매우 높다. 이를 위해서 920MHz대역에서 동작하는 소형의 안테나가 요구되고 있다.

일반적으로 태그의 제작 단가를 낮추기 위하여 태그 안테나와 칩은 별도의 부가회로 없이 직접 연결된다. 그러나 회로의 구성 및 쇼트키 다이오드의 특성은 칩 제조사마다 다르므로 칩의 입력 임피던스 또한 다르다. 무선통신 시스템에서 대부분의 안테나들은 50Ω이나 75Ω에 정합되도록 설계된다. 일부 RFID 태그 안테나의 경우에도 50Ω에 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 불가능하다[2].

그리고 RFID 태그 안테나 설계에 있어 가장 큰 어려운 부분은 전도성 물질과 고유전율인 물질에 부착 가능한 태그 안테나 설계이다. 그 이유는 알루미늄 캔과 금속 상자 등의 전도성을 갖는 물질은 안테나의 방사 효율과 공진 주파수 및 안테나 임피던스가 크게 변하게 된다. 이러한 태그 안테나 성능에 매우 큰 영향을 주기에 RFID 태그 안테나 설계에 어려움이 있다[7].

본 논문에서는 태그 안테나의 소형화와 국내 900MHz 주파수 대역의 RFID/USN 무선설비의 기술기준에 부합하는 917MHz ~923MHz 대역의 태그안테나 설계하였다. 안테나의 소형화 설계와 최적화 설계를 최종 목표로 하기 때문에 안테나의 입력 임피던스는 50Ω으로 설계하였으며 태그 안테나의 유전율 변화는 없다고 가정하고 설계하였다. 안테나의 소형화는 미앤더 라인 안테나, 반파장 다이폴 안테나 등의

\* 시니어회원 : 중앙대 전자전기공학부 교수

E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

접수일자 : 2011년 10월 16일

최종완료 : 2011년 11월 22일

소형화 방법을 복합적으로 설계에 적용하여 설계하였다. 기존의 미앤더 라인을 이용한 안테나 설계 [4]는 설계자의 판단으로 반복적인 실험을 통해 설계되었으나 본 논문은 다양한 설계변수와 각 설계변수간의 영향을 고려하여 진화알고리즘중 하나인 진화전략기법으로 체계적인 안테나 최적 설계를 하였다.

## 2. 안테나 소형화 설계

안테나의 소형화라는 것은 물리적인 크기를 작게 한다는 것만을 의미하지 않는다. 소형화란 주파수에 따른 파장에 비해 안테나의 전체 크기가 매우 작다는 것을 뜻하므로 상대적으로 수십 GHz의 밀리파대역에서의 소형화보다는 저주파 대역에서의 소형화가 더욱 어렵다. 일반적으로 안테나가 파장에 비해 소형화되면 이득과 효율의 저하가 초래되며 안테나의 입력저항은 매우 작아지고 리액턴스는 커져서 대역폭이 좁아지게 될 뿐 아니라 임피던스 매칭이 어려워진다. 그래서 현재 성능 저하를 최대한 극복한 소형 안테나를 개발하고자 하는 연구는 끊임없이 이루어지고 있다[8].

지금까지 제안된 소형 안테나 중에서 대표적인 것은 헬리컬 안테나, 집중소자와 결합된 다이폴, 루프 안테나, fenced 그라운드 안테나, 이들의 변형인 inverted F 안테나 등이 있다[9]. 특히, 안테나의 복사구조 중, 간단하면서도 광범위하게 활용되고 있는 반파장 다이폴의 미앤더 라인 구조는 소형화 기법에도 실용적으로 응용되고 있다. 다이폴 안테나의 선형 안테나로 가장 널리 알려져 있으며 반파장 다이폴 안테나의 경우, 임피던스 조절과 공진 길이를 확보하기 위해 널리 사용되며, 미앤더 라인 구조는 주어진 안테나의 전기적 크기를 최소의 면적에 집적시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[4].

### 2.1 반파장 다이폴 안테나

반파장 다이폴 안테나는 실효 안테나 길이가 1/2 파장인 도선의 중앙부에서 급전하여 안테나의 중앙을 기준으로 상하 또는 좌우의 선상 전위 분포 및 극성이 언제나 대칭이 되어 다이폴과 같이 작용하는 안테나를 말한다. 두 개의 극이 서로 다른 도선을 구부려서 전체 길이를 1/2파장(Lambda)이 되도록 만드는 것이 기본 구성이다.

다이폴 안테나의 입력 임피던스의 허수부인 리액턴스는 안테나의 길이에 따라 다르다. 따라서 임피던스의 허수부를 0으로 만들기 위해서는 안테나가 정합이 되든지, 리액턴스가 0이 되도록 안테나의 길이를 줄여야 한다. 첫 번째 공진이 일어나는 다이폴의 길이는 도체의 직경에 따라 다르지만 약 0.47파장에서 0.48파장 정도가 된다. 직경이 작아질수록 안테나의 길이는 0.48파장에 더욱 가까워지므로 짧은 안테나를 공진시키기 위해서는 1/2파장에서부터 공진점을 찾아서 잘라내어 가면 된다[10].

### 2.2 미앤더 안테나

미앤더 구조란 어떤 회로에서 굳게 진행하는 선로를 구부려서 구현하여 회로의 크기를 줄이는 방법을 말한다. 미앤더 선로는 증폭기나 위상 변위기 등의 초고주파 소자를 소형화 하는데 이용된다. 미앤더 라인의 길이는 일반적으로

안테나의 1/2파장의 길이를 가지는 반해, Meander 안테나는 모서리 부분에서 가지는 손실과 평행한 각 선로간의 간섭현상 때문에 대략 1파장의 길이를 가지게 된다. 정합은 주로 길이, 폭의 변화 등을 조작하여 얻었으며, 안테나의 방사패턴은 미앤더 상의 전류 분포도에 의해 결정된다.

미앤더 선로는 주어진 안테나의 전기적 크기를 최소의 면적에 집적시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 미앤더 안테나의 모서리 부분에서 가지는 손실과 평행한 선로간의 간섭현상 때문에 약 1파장의 길이를 가지게 된다. 그림 1은 미앤더 라인을 이용하여 설계된 RFID 태그 안테나의 구조이다. L1, L2, L3, L4, L5는 미앤더 선로 각각의 길이이고 S1, S2, S3, S4, S5는 미앤더 선로간의 간격이다. Gap은 두 미앤더 선로 사이의 간격이며 W1은 미앤더 라인의 폭이다.

초기 모델의 공진주파수 특성을 알아보기 위해서 전자계해석용 상용 툴인 Ansys사의 HFSS를 사용하여 해석하였다. 그림 2는 초기 모델의 공진주파수 특성을 보여주고 있다. 초기 모델의 해석 결과 1970MHz에서 -4.86dB의 반사손실을 갖는다. 초기 모델은 설계목표 주파수보다 높게 나왔으며 반사손실 특성이 낮게 나타났다.

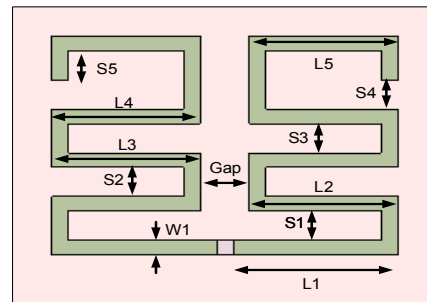


그림 1 Meander Line을 이용한 RFID 태그 안테나  
Fig. 1 RFID tag antenna using meander Line

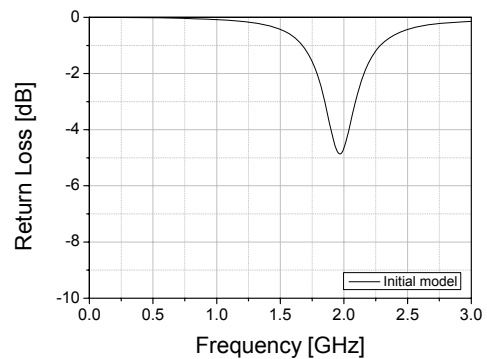


그림 2 초기 모델의 공진주파수 특성  
Fig. 2 resonant frequency of initial model

## 3. RFID 태그 안테나 설계

초기 모델의 해석 결과 설계 공진주파수와 매우 큰 차이를 갖고 있기에 공진주파수의 큰 변화가 필요하다. 안테나의 세로 방향에 영향을 주는 선로의 간격 설계변수와 가로 방향의 설계변수 선로의 길이를 묶어서 변화를 관찰하였다. 그림 3은 선로의 간격 변화에 따른 공진주파수 특성을 나타

내고 그림 4는 선로의 길이 변화에 따른 공진주파수 특성을 보여주고 있다.

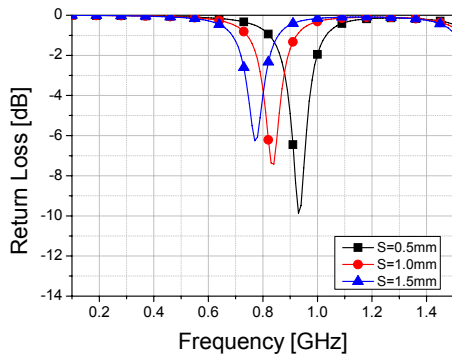


그림 3 선로의 간격 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 3 Resonant frequency according to the change of line gap (S)

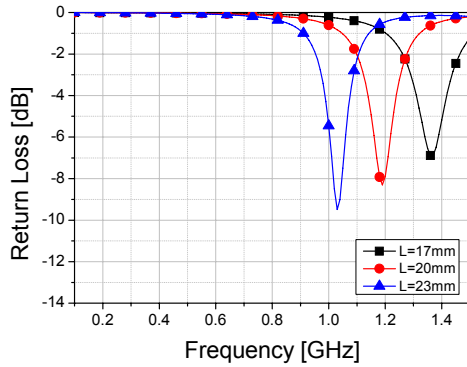


그림 4 선로의 길이 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 4 Resonant frequency according to the change of line length (L)

선로의 간격이 넓어지면 반사 특성은 크게 변화가 없으나 공진 주파수는 낮아지는 것을 알 수 있다. 그리고 선로의 길이가 길어지면 반사 특성도 작아지고 공진 주파수도 낮아지는 것을 알 수 있다. 따라서 세로 방향보다는 가로 방향의 길이를 길게 하여 반사특성과 공진 주파수를 맞추는 게 더 효과적인 것을 알 수 있다.

본 논문의 안테나는 반파장 다이폴 안테나를 기본으로 하였다. 따라서 다이폴 안테나의 기본적인 특성을 갖기에 선로의 폭에 영향을 받는다. 그림 5는 선로의 폭에 따른 공진 주파수의 변화를 나타내고 있다. 선로의 폭을 변화시키면 반사 특성은 크게 변화가 없으나 공진 주파수는 조금의 변화가 생긴 것을 알 수 있다. 선로의 폭이 좁아지면 공진 주파수가 낮아지는 특성을 갖고 있다.

초기 모델에서의 선로의 길이 변화에 따라 공진주파수가 크게 변화하는 것을 확인하였다. 이에 각 선로의 길이에 따른 공진주파수의 변화를 살펴보았다. 그림 6~8은 각 선로의 길이에 따른 공진주파수의 변화이다.

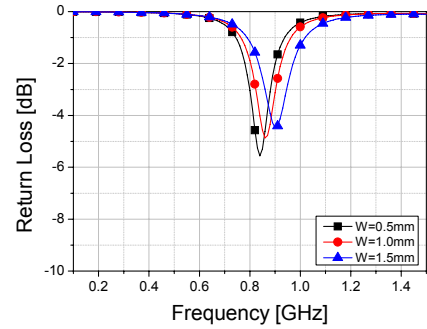


그림 5 선로의 폭 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 5 Resonant frequency according to the change of line width (W)

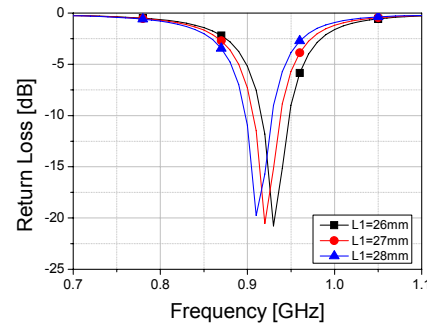


그림 6 선로 길이 L1의 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 6 Resonant frequency according to the change of line length (L1)

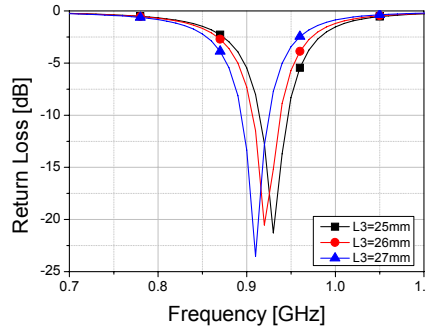


그림 7 선로 길이 L3의 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 7 Resonant frequency according to the change of line length (L3)

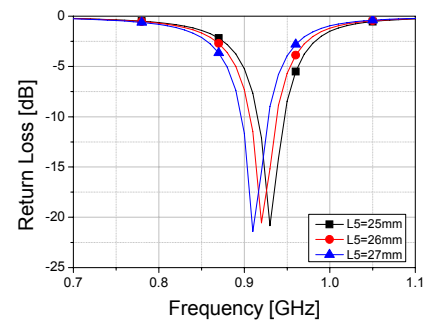


그림 8 선로 길이 L5의 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 8 Resonant frequency according to the change of line length (L5)

다음으로 두 도선의 간격에 따른 공진주파수의 변화를 관찰하였다. 두 도선의 간격 역시 선로의 간격에 따른 커패시턴스 성분이 생기게 되고 이로 인해 공진주파수가 변화하게 된다. 그림 9는 두 도선의 간격에 따른 공진주파수의 변화를 보여주고 있다.

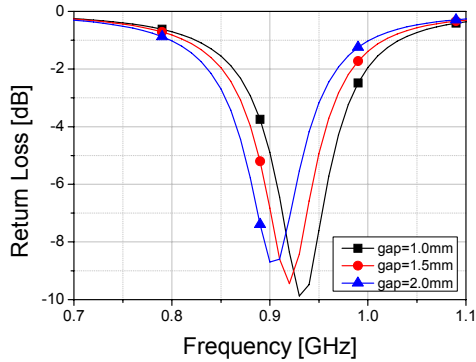


그림 9 선로 간격 gap의 변화에 따른 공진주파수 변화  
 Fig. 9 Resonant frequency according to the change of between two line gap (gap)

### 3. RFID 태그 안테나 최적화 설계

각 설계변수의 변화에 따른 공진주파수의 변화를 관찰하고 안테나를 설계하였으나 안테나의 매칭에 문제가 발생하여 목표 공진주파수에서 RF 방사가 이루어지지 않았다. 이로 인해 안테나의 이득 또한 낮게 설계 되었다. 안테나 입력 매칭을 개선하기 위해서 그림 10과 같이 입력단에 매칭을 위한 선로를 추가하였다.

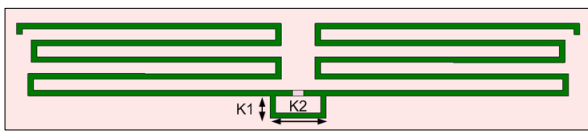


그림 10 임피던스 매칭을 위한 새로운 구조  
 Fig. 10 New structure for impedance matching

K1은 추가선로와 미엔더 선로간의 간격 길이이고 K2는 추가선로의 길이이다. 추가된 선로로 인하여 설계변수가 많고 각 설계변수가 서로 주파수 변화에 영향을 주기 때문에 개별 설계변수의 조절로는 안테나 설계가 어렵다. 이러한 다양한 설계변수와 각 설계변수간의 영향을 고려하기 위해서 확률론적 최적화 기법중 하나인 진화전략 (Evolution Strategy) 기법을 이용하여 안테나를 최적 설계하였다[11].

ES알고리즘은 미리정한 설계변수 값에 의한 부모세대와 일정한 범위의 확률 변수 값을 발생하여 다음 자식세대를 생성하며, 목적함수 값을 비교하여 설계 변수 값을 변경하고, 적합한 설계변수 값으로 반복하면서 변이의 변화폭을 감소시켜 설계하고자 하는 목표에 최적화된 설계 변수 값을 구하게 된다. 식 (1)은 첫 번째 부모 세대로 부터 일정한 범위 내에서 확률 변수를 발생시킨 차기 자식세대를 보여준다. 그림 11은 진화전략기법의 순서도를 나타낸다.

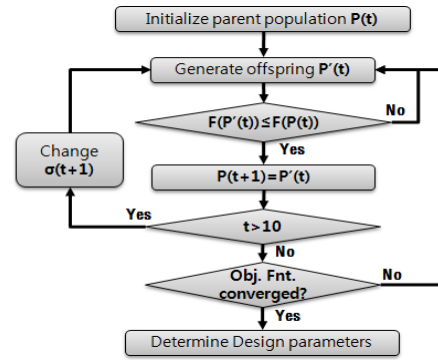


그림 11 진화전략 최적화 연동 프로그램 구조  
 Fig. 11 An Program structure of the Evolution Strategy

$$X_C(i) = X_P(i) + \alpha(i) \times R(i) \tag{1}$$

여기서  $i$ 는 세대를 의미하며,  $X_P(i)$ 와  $X_C(i)$ 는 각각 부모 개체군과 차기 개체군이고,  $\alpha(i)$ 는  $X_P(i)$ 를 중심으로 한 변화 가능폭(step width)이며,  $R(i)$ 는 평균이 0인 균등 분포를 갖는 확률밀도 함수에 의해 발생되는 난수이다. 부모 개체군과 차기 개체군 전체를 통해 원하는 설계 목표에 가장 근접한 변수 집합을 택하여 식 (2)와 같이 다음 부모 개체군을 구성한다.  $F_C(i)$ 와  $F_P(i)$ 는 각각  $X_C(i)$ 와  $X_P(i)$ 에 대한 목적함수 값이다.

$$X_P(i+1) = \begin{cases} X_C(i), & \text{if } F_C(i) < F_P(i) \\ X_P(i), & \text{if } F_C(i) \geq F_P(i) \end{cases} \tag{2}$$

이러한 과정을 거쳐 하나의 부모세대와 하나의 자식세대를 비교하여 선택하는 기법을 이용하여 설계 목표 주파수 920MHz를 목적함수로 하고, 반사계수(S11) -15dB이하가 되도록 구속조건으로 식 (3)과 같이 설정하였다. 여기서  $f_i$ 는 실험 결과의 공진주파수 이며,  $f_{oi}$ 는 설계 목표 주파수 이다.

$$\text{목적함수 } F = (f_i - f_{oi})^2 \tag{3}$$

$$\text{구속조건 } S_{11}(f_i) \leq -15dB$$

최적 설계 과정의 목적함수 수렴도를 그림 12에 나타내었다. 제안된 최적설계 알고리즘으로 총 24번의 반복 계산 결과 수렴하여 좋은 수렴도를 보여주고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 최적 설계 결과를 초기 설계와 비교하여 보여주고 있다. 그림 13에서 보듯이 목표공진주파수를 만족한 것을 확인할 수 있다. 그림 14에 최적 설계된 안테나의 형상 및 최적 설계변수를 보여주고 있다. 그리고 표 1은 최적 설계 변수의 값을 보여주고 있다. 50Ω의 임피던스 매칭을 하였고, 전체크기는 63mm × 15mm × 1mm 의 크기로 기판은 FR4 유전율 4.4인 유전체 기판을 사용하였다.

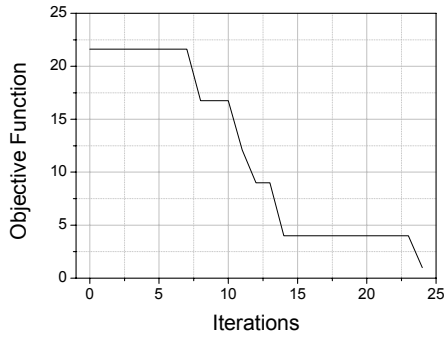


그림 12 목적함수 수렴도  
Fig. 12 The convergence of the objective function

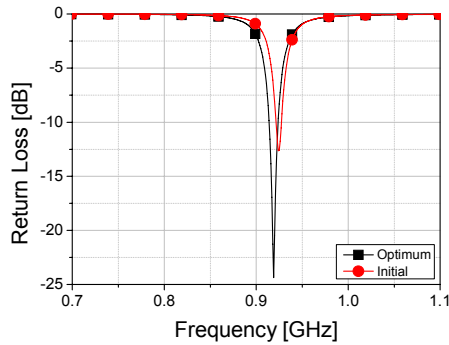


그림 13 초기설계와 최적 설계 반사손실 비교  
Fig. 13 The initial and optimized return loss curves

그림 15은 설계된 안테나의 방사패턴을 나타내고 있다. 이 방사패턴은 표 1에서 보인 최적 파라미터를 사용하여 얻은 결과로, 920MHz에서 계산된 패턴이다. 방사패턴은 무지향성의 특성을 나타낸다.

표 1 최종 설계된 안테나의 설계 변수  
Table 1 Design parameters of final design antenna

설계변수	길이(mm)	설계변수	길이(mm)
W1	0.35	gap	3.24
S1	0.97	L1	23.38
S2	0.97	L2	22.26
S3	0.97	L3	21.78
S4	0.49	L4	21.78
S5	0.49	L5	23.26
K1	2.36	K2	4.72

최종 설계된 안테나의 방사패턴을 확인한 결과 안테나의 이득은 -2.7dB을 나타내었다. 안테나의 이득을 향상시키기

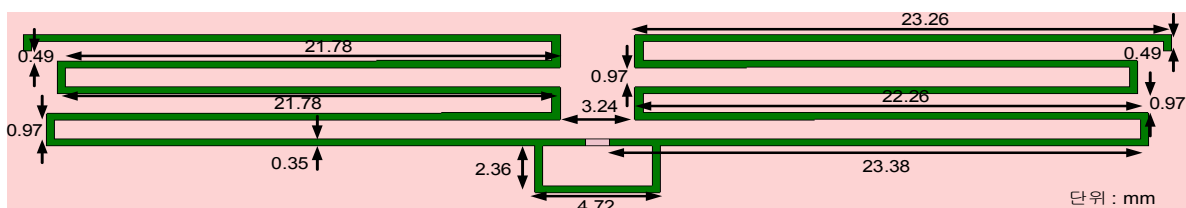


그림 14 최적 설계된 태그 안테나 형상 및 설계변수  
Fig. 14 The Optimized tag antenna shape and design parameters

위해서 미앤더 라인 주변에 커플링 라인을 추가하거나 그라운드를 추가하는 등의 방법을 적용한다면 안테나의 이득이 더욱 향상 될 수 있으나 전체적인 안테나의 크기가 증가하기 때문에 트레이드오프 관계를 적절히 고려하여 설계해야 한다. 최종 설계 제작된 RFID 태그 안테나 사진을 그림 17에 나타내었다. 제작 측정 결과를 그림 18에 비교하여 나타내었다.

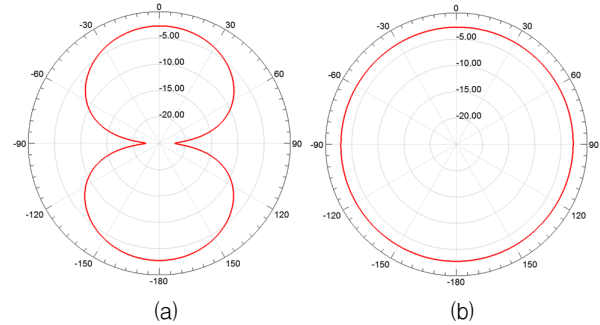


그림 15 최종 설계된 안테나의 방사패턴 (a) E면 (b) H면  
Fig. 15 Radiation pattern of final design antenna (a) XY plane (b) YZ plane

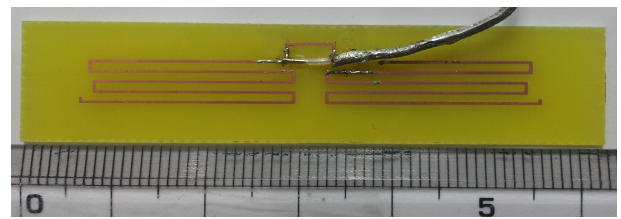


그림 17 제작된 RFID 태그 안테나  
Fig. 17 Fabricated RFID tag antenna

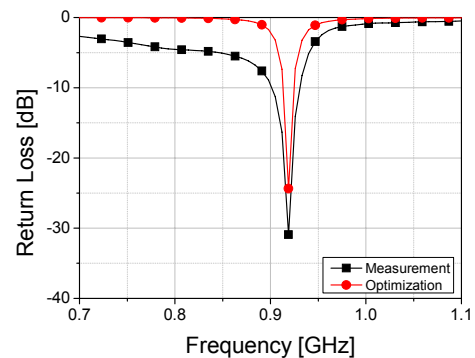


그림 18 최적설계 시뮬레이션 결과와 측정결과 비교  
Fig. 18 Comparison of measurement and calculated value of optimized design

제작 측정 결과 시뮬레이션과 동일한 920MHz에서 -30.92dB의 반사손실을 갖는다. 제작 과정에서 입력포트의 단항으로 저주파 대역에서 손실이 발생했으나 공진주파수에서 시뮬레이션 보다 좋은 반사손실을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 국내 UHF RFID 대역(917~923.5MHz)을 만족하는 소형화된 태그 안테나를 제안하였다. 전산모의실험에는 Ansoft사의 FEM(Finite Element Method) 방식의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하였고, ES 최적화 알고리즘을 통해서 최적설계 변수를 추출하였다.

소형화를 위해 반파장 dipole 구조와 meander 선로 기술을 적용하였고, 최대 전력 전달을 위해 안테나의 임피던스 향상 시키는 추가선로를 설계하였다. 최적화된 안테나의 크기는 63mm × 15mm × 1mm 로 크기가 줄어든 효과를 볼 수 있었다.

향후 과제는 유효 유전율 변화에 강인한 안테나 설계와 태그 칩 실장시 발생하는 de-tuning effect에 대한 고려 연구가 진행된다면 효율적인 RFID 태그 안테나 설계가 이루어질 것으로 사료된다. 또한 다른 안테나의 소형화 최적 설계 연구에 많은 도움이 될 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0011994).

#### 참 고 문 헌

[1] K. Finkenzeller, RFID HandBook, 2nd Ed., Wiley: New York, 2003.

[2] 손해원, 최원규, 표철식, “ UHF RFID 태그 안테나 기술”, 한국전자과학기술지 : 전자과학기술, vol. 16, no. 2, pp55-63, 2005년 4월.

[3] Koon-Tae Kim, Jae-Hyeong Ko, Kyung Choi, Hyeong-Seok Kim, “Robust design of PIFA for RFID mobile dongle applications” IEEE Transaction on magnetics, vol. 47, no. 5, pp. 962-965, May. 2011.

[4] 류홍균, 우종명 “미앤더 라인을 이용한 RFID 태그용 원형 루프 안테나의 소형화” 한국전자과학기술논문지, vol. 18, no. 6, pp. 591-601, 2007년 6월

[5] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart cards and Identification, Jhon Wiley and Son LTD, New York, 2nd Edition, 2003.

[6] Sungtek Kahng, ‘Design Fundamentals and Advanced Techniques of RFID Antennas’ as Chaper 3 of ‘Development and Implementation of RFID Technology’, InTech, January 2009

[7] 최재한, 전병돈, 정유정, “헬액백용 UHF RFID Tag 안

테나와 헬액관리용 시스템” 대한전자공학회논문지TC, vol. 48, no. 1, pp. 102-107, 2011년 1월.

[8] G. Marrocco,, “The art of UHF RFID antenna design: Impedance-matching and size-reduction techniques”, IEEE Antenna and Propagation Magazine, vol. 50, no. 1, pp. 66-79, Feb. 2008.

[9] Seok-Jin Hong, Yeon-Sik Yu, Dong-Hyun Lee, Sungtek Kahng, Jae-Hoon Choi, “Design of CP Antenna with a Fenced Ground for a Handheld RFID Reader,” Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.7 No.2, pp. 53-107, June 2007

[10] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, 3rd Ed., Wiley, 2005.

[11] Jae-Hyeong Ko, Koon-Tae Kim, Dong-Hun Kim, Hyang-Beom Lee, Hyeong-Seok Kim, “A Practical Approach to Robust Design of a RFID Triple-Band PIFA Structure,” IEEE Trans. on Magnetics, Vol.46, No.8, pp. 3333-3336, Aug. 2010.

#### 저 자 소 개



#### 김형석 (金炯碩)

1985년 서울대학교 전기공학 공학사  
 1987년 서울대학교 전기공학 공학석사  
 1990년 서울대학교 전기공학 공학박사  
 1990~2002년 순천향대학교 정보기술공학부 교수  
 1997~1998년 R.P.I ECSE, USA 방문교수  
 2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 전자장수치해석, 전기기기 및 소자 해석 및 설계, 전력설비 모니터링 시스템, SoC 응용회로, EMI/EMC, RFID 응용 기술