

UHF 대역 RFID 리더용 Crooked Wire 안테나 설계

Design of Crooked Wire Antennas for UHF Band RFID Reader

주재율 · 추호성 · 박익모* · 오이석

Jae-Yul Choo · Ho-Sung Choo · Ik-Mo Park* · Yi-Sok Oh

요 약

본 논문에서는 Pareto 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 기법을 적용하여 UHF 대역 내에서 동작하는 crooked wire 형태의 RFID 리더 안테나를 설계하였다. 최적화 과정은 안테나의 제한된 크기, 반사 손실 대역폭(VSWR < 2), 원형 편파 대역폭(Axial Ratio < 3 dB), 인식 영역이 실제 조건과 인식 영역에 부합하도록 수행하였다. 최적화된 안테나들 중 표본 안테나를 제작하였으며, 리더 안테나 특성을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교 및 검증하였다. 안테나 동작원리를 안테나 선로에 유기된 전류를 분석하여 설명하였으며, 안테나의 구조적 민감도와 주요 설계 변수(critical design parameters)를 찾기 위해 랜덤 에러(random error) 방식을 안테나 본체의 선로가 꺾이는 부분에 적용한 후, 안테나 구조와 원형 편파 대역폭 및 안테나 반사 손실 대역폭 사이의 관계를 정량화 하였다.

Abstract

This paper reports the design of RFID reader antennas working in UHF band. The reader antennas were designed using a Pareto Genetic Algorithm(Pareto GA). Antennas were optimized to have circular polarization(CP) with less than 3 dB axial ratio, impedance matching with less than VSWR=2 within the frequency range of UHF, an adequate readable range, a restricted size($kr < 2.22$) considering the practical condition. After Pareto GA optimization, we selected and built the most suitable antenna design and compared the measured results to the simulations. Operating principle of the antenna was explained by investigating the amplitude and the phase of the induced current on the antenna body. We also researched the stability of the antenna with respect to the manufacturing error and studied the critical design parameters by applying the random error method on the antenna bent points.

Key words : Pareto Genetic Algorithm, Characteristics of Reader Antenna, Cost Functions

I. 서 론

Radio frequency identification(RFID)는 유비쿼터스 컴퓨팅 개념을 실현시키는데 있어 주요 수단 중에 하나로 중요성이 높아지고 있다. RFID는 인식 정보를 저장하고 있는 태그와 그 정보를 읽는 리더로 구분 할 수 있다. 태그와 리더는 각각에 장착된 안테나를 이용해 전자파를 매개체로 정보의 전달을 수행한다. RFID는 HF 대역(13.56 MHz), UHF 대역(860~

960 MHz), ISM 대역(2.4 GHz)에서 실현되고 있으나, HF 대역(13.56 MHz)의 RFID는 자계 결합 방식을 사용해서 안테나 인식 영역이 매우 협소하다는 단점을 갖고 있으며, ISM(2.4 GHz) 대역의 RFID는 주변 환경에 민감하여 전체 RFID 시스템의 성능이 가변적이라는 단점을 갖고 있다. 반면 UHF 대역은 수동 태그의 인식을 및 인식거리가 가장 뛰어나지만 아니라 전자파 방사 방식을 사용해서 다량의 태그를 동시에 빠른 속도로 인식할 수 있다. 또한 주변 환경에

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*아주대학교 전자공학부(Department School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20050131-011

· 수정완료일자 : 2005년 5월 2일

매우 안정적이고 태그와 태그 칩의 저가 생산이 가능해서 현재 RFID의 가장 각광 받고 있는 대역으로 알려져 있다^{[1],[2]}. 현재 우리나라에서도 UHF 대역(908.5~914 MHz)이 RFID 용도로 할당되어 공표되었으며 다양한 분야에서 연구 개발되고 있다^[3].

UHF 대역의 RFID 시스템에서는 리더와 태그를 연결하는 안테나의 역할이 중요하다. 특히 태그 전원을 리더 안테나의 전파로 공급받는 수동형 RFID는 리더 안테나의 특성에 따라 시스템의 통신효율이 결정된다. 효과적인 RFID 리더 안테나는 동작 주파수 대역에서 반사 손실이 거의 없어야 하며(VSWR < 2) 양질의 원형 편파(Axial Ratio < 3 dB)를 갖도록 설계되어야 한다. 또한 리더 안테나는 원거리 인식과 다중 태그 인식이 가능하도록 높은 방사 이득과 넓은 방사 패턴을 가져야 하며, 안테나의 크기는 주어진 공간을 효율적으로 활용하기 위해서 작아야 한다. 현재 상용화되어 있는 기존의 RFID 리더 안테나는 마이크로스트립을 이용한 패치형 안테나가 일반적이다. 그러나 패치형 안테나는 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭이 협소하다는 단점을 갖고 있을 뿐만 아니라 리더 안테나의 중요한 특성인 안테나 인식 영역을 제어하기가 매우 힘들다. 즉, 안테나 인식 영역을 좌우하는 안테나 방사 패턴이 단일 패치형 안테나의 경우 전방향으로 방사되기 때문에 이 문제점을 해결하기 위해서는 어레이 방식을 써야 한다는 단점을 갖고 있다. 다른 예로서 Helix 안테나의 경우는 양질의 원형 편파를 방사하고 높은 이득을 가지나 일반적으로 반사 손실 대역폭이 좁고 구조 자체가 복잡하여 제작이 용이하지 않다. 반면에 Altshuler가 제시한 crooked wire 안테나^[4]는 효율이 높고 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭을 넓게 가질 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한 안테나의 방사 패턴을 제어하기가 용이하여 RFID 시스템에서 중요시되는 최적 인식 영역에 맞추어 설계하기에 적합하다. 그러나 crooked wire 안테나는 구조가 복잡하고 구조에 따라 안테나 특성이 민감하게 변하기 때문에 반복적으로 시도하는 최적화 방식(trial-and-error method)으로는 원하는 안테나 특성을 지닌 안테나 구조를 찾는 것이 매우 어렵다. 본 논문에서는 crooked wire 형태의 안테나를 처음으로 RFID 리더 안테나 설계에 적용하였으며, 현재 많이 사용되는

평판형 안테나보다 RFID 용도에 더욱 적합한 안테나 구현이 가능하다는 것을 검증하였다. Pareto 유전자 알고리즘을 사용하여 trial-and-error 방식으로는 구현이 거의 불가능한 복잡한 안테나 구조를 최적화하였고, 안테나의 기본적인 특성을 예측하기 위해 시뮬레이션 툴인 numerical electromagnetics code(NEC)를 사용하였다. 주어진 환경조건에 가장 잘 적응하는 안테나 선별을 위해 최적화의 마지막 단계에서 리더 안테나 특성 그래프를 사용하였고 제작된 안테나의 특성은 측정 후 시뮬레이션 결과와 비교되었다. 동작원리는 선로에 흐르는 전류를 통해서 분석하였으며 crooked wire 안테나의 취약점인 선로 구조에 따른 안테나 특성 민감도를 랜덤 에러(random error) 방식을 사용해서 분석하였다. 안테나 특성 측정 결과, 제작된 리더 안테나는 중심 주파수인 912 MHz에서 반사 손실 대역폭 7.67 %와 원형 편파 대역폭 11.35 %를 가졌으며, $\theta=0^\circ$ 일 때 $\phi=0^\circ$ 에서 1.46 dB의 원형 편파 축비(axial ratio)를 지닌채 방사하였고, 6.16 dBi의 방사 이득을 보였다. 안테나 인식 영역은 상용 RFID 시스템에 장착시 예상된 인식 영역과 흡사하게 측정되었다. 안테나 특성 민감도 분석 결과, 본체 선로의 높이 변화에 의해서 반사 손실 대역폭이 민감하게 반응하고 원주방향의 변화에 원형 편파 대역폭이 민감하다는 결론을 얻었다. 또한 외부 충격으로부터 안테나 보호를 위한 레이돔을 설치하여 고정형 리더 안테나로서 안정적으로 사용 가능함을 확인하였다. II장에서는 crooked wire 형태의 안테나 구조와 Pareto 유전자 알고리즘을 통한 최적화 방법 및 결과를 설명하였으며, III장에서는 제작된 최적화 안테나의 특성과 전류 분포를 분석하였고 랜덤 에러(random error) 방식을 통한 구조적에 따른 안테나 특성 민감도를 확인하였다.

II. 안테나의 구조 및 최적화

그림 1은 중심 주파수 912 MHz(910~914 MHz)에서 동작하는 crooked wire 안테나의 기본 구조이다. 선로는 안테나 크기를 최소화하기 위해서 접지면을 포함한 반경 r 의 반구 내에서만 위치하게 하였으며 반경 r 에 wave number $k(2\pi/\lambda)$ 를 곱한 kr 로 안테나 크기를 표준화 시켰다. Crooked wire 안테나는 단일

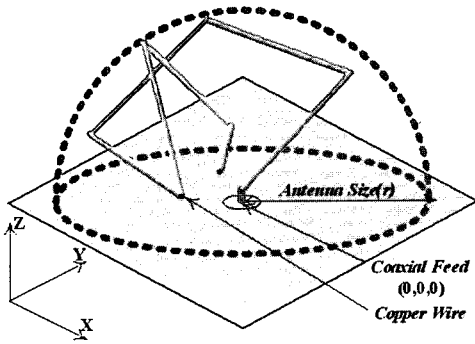


그림 1. 안테나 기본 구조
Fig. 1. Geometry of antenna structure.

선로가 여러 번 꺾어져 생성된 다수의 단편 선로로 구성되며 단편 선로의 개수와 위치 및 길이, 접지면과의 거리 및 각도, 접지면과의 단락 여부, 단편 선로간의 간격이 안테나 특성을 결정하는 설계 변수가 된다. 단편 선로의 개수와 길이를 조정함으로써 동작주파수 912 MHz에서 반사 손실과 반사 손실 대역폭을 조정할 수 있다. 또한 단편 선로의 위치와 접지면 및 단편 선로 사이의 각도에 의해서 전방향의 원형 편파 축비와 원형 편파 대역폭을 결정할 수 있다. RFID 용 리더 안테나를 위한 조건인 제한된 안테나의 크기, 충분한 반사 손실 대역폭, 양질의 원형 편파, 고효율에 의한 넓은 인식 영역을 동시에 만족시키기 위해서는 민감한 다수 설계 변수의 최적화가 필요하다.

최근 최적화 방식에 많이 적용되는 유전자 알고리즘은 우월한 특성을 갖는 생명체가 적자생존에 의해서 존속되어 진화한다는 자연법칙을 최적화 과정에 적용한 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 현재 다양한 분야에서 응용되고 있으며 안테나 분야에도 활발히 적용되고 있다^{[5],[6]}. 특히 다수의 설계 변수에 안테나 특성이 매우 민감하게 변하는 crooked wire 안테나는 유전자 알고리즘을 사용하여 효과적으로 최적화된 안테나 설계 변수들을 빠르게 찾아낼 수 있다. 또한 RFID 리더 안테나 설계와 같이 다양한 안테나 특성을 동시에 고려하며 최적화를 수행해야 하는 문제는 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하여 효과적으로 최적화된 설계 변수를 찾을 수 있다. RFID 리더 안테나 설계에 Pareto 유전자 알고리즘을 적용하는 과정은 다음과 같다. 단편 선로의 개수를 4~14 개로 설정하고 랜덤(random)한 구조를 지닌 다수의

crooked wire 안테나를 형성한 후 각각의 안테나 구조를 정확히 나타낼 수 있는 이진 코드로 부호화(encoding) 시킨다. 부호화 된 이진 코드는 염색체(chromosome)라 지칭되며 200개의 염색체를 한 세대(population)로 설정한다. 한 세대의 안테나들은 시뮬레이션 툴인 NEC에 의해서 성능이 해석된 후 리더 안테나 필요조건이 고려된 4가지 비용평가함수(cost evaluate function)에 의해 4개의 Cost로 계산된다. 계산된 Cost는 4차원 Pareto ranking에 의해 평가 순위(rank)가 결정되며, 이에 따라 암색체 재조합(crossover)에 의한 재생산 과정(reproduction process)을 거쳐 다음 세대의 이진 코드로 진화된다. 이런 진화 과정을 약 200회 이상 반복한 뒤, 주어진 비용평가함수들을 최대한 만족시키는 안테나 군을 생성시키고 최적화 과정을 마무리하게 된다.

다음의 식들은 RFID 리더 안테나의 최적화 과정에서 적용된 비용평가함수이며 각 Cost 값이 0에 가까울수록 최적화 되었음을 의미한다.

$$Cost 1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Eff \times BW_{ANT}}{BW_{RFID}} \right) + RQ \tag{1}$$

$$Cost 2 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{BW_{CP}}{BW_{RFID}} \right) + AQ \tag{2}$$

$$Cost 3 = Size_{NORM} \tag{3}$$

$$Cost 4 = 1 - \frac{RR_{ANT}}{RR_{IDEAL}} \tag{4}$$

식 (1)과 식 (2)에서 BW_{RFID} 는 전 세계적으로 사용되는 UHF 대역에서의 RFID용 주파수 대역폭인 860~960 MHz에 근거하여 100 MHz로 정하였고, BW_{ANT} 와 BW_{CP} 는 설계된 안테나가 가지는 반사 손실 대역폭($VSWR < 2$)과 원형 편파 대역폭(Axial Ratio < 3 dB)을 나타낸다. Return Loss Quality(RQ)와 Axial Ratio Quality(AQ)는 동작 대역폭 내에서 반사 손실과 원형 편파 축비(Axial Ratio)의 질적 평가를 위해서 추가되었다. 즉, 대역폭내의 최대 반사 손실, 최대 원형 편파 축비를 각각 기준인 $VSWR=2$, Axial Ratio=3 dB와 비교하여 그 차이를 정량화 한 후 비용평가 함수에 부가하였다. 부가된 RQ와 AQ에 의해서 안테나는 860~960 MHz 대역에서 적은 반사 손실과 양질의 원형 편파 축비를 고르게 갖게 된다. 식 (3)에서는 안테나의 크기를 $kr=0$ 일 때 $Cost 3=0$ 으로 kr

=3.82일 때 $Cost\ 3=1$ 로 정량화 하였다. 식 (4)에서는 설계된 안테나가 가지는 인식 영역을 식 (5)의 인식 거리 공식^[1]을 적용하여 예측한 후 리더 안테나의 이상적 인식 영역 RR_{IDEAL} 과 비교하여 정량화 하였다.

$$RR_{ANT} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_{Reader}^2 G_{Tag}^2}{P_{R,min}} \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4} \quad (5)$$

이상적 인식 영역 RR_{IDEAL} 은 다양한 RFID 적용 분야에서 주어진 환경에서 요구되는 인식 영역을 의미하며 본 논문에서는 물류 개찰구 환경으로 가정하여 이상적 인식 영역을 9 m²의 넓이를 갖는 3 m×3 m 사각 영역으로 설정하였다. 보유한 상용 RFID 리더 (ALR-2850^[7])의 규격에 맞추어 식 (5)의 입력단 전력 P_T 는 1 W, 최소 인식전력 $P_{R,min}$ (minimum detectable power)은 -40 dBmW로 설정하였다. 태그 안테나 방사 이득 G_{Tag} 는 다이폴 안테나가 방사할 때 E-평면상의 편파에 대한 이득으로 하였으며 G_{Reader} 는 리더 안테나의 방사 이득을 나타낸다.

약 200번의 최적화 과정을 거친 후 그림 2에서 제시된 다수의 최적화 모델(rank-1 solution)을 얻을 수 있었다^[5].

Pareto 최적화를 통해 얻은 다양한 최적화 모델(rank-1 solution) 중에서 주어진 특정 환경에 적합한 안테나를 얻기 위해서는 4가지 $Cost$ 값을 종합하여 안테나 설계 모델을 선별하는 과정이 필요하였다. 선별방법으로는 $Cost$ 를 투영시킨 다이아몬드형의 안테나 특성 그래프를 이용하였다. 모델 선별은 필요로 하는 리더 안테나 특성을 각 $Cost$ 값에 투영하

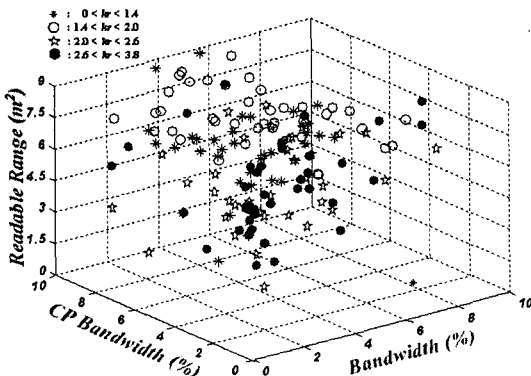


그림 2. 최적화된 모델의 분포
Fig. 2. Distribution of optimized models.

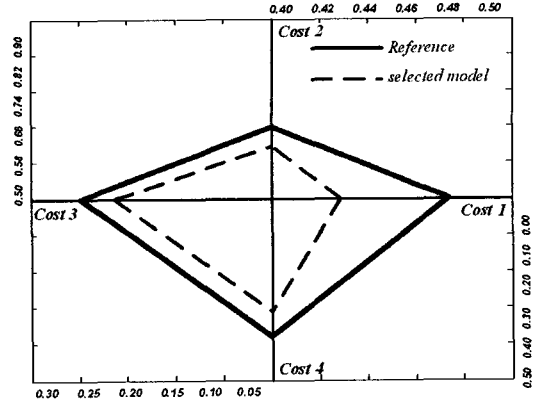


그림 3. RFID 안테나 선택을 위한 안테나 특성 그래프
Fig. 3. Antenna characteristic plot for selecting the RFID antenna.

여 다이아몬드 형태의 기준이 되는 특성 그래프를 설정한 후, 최적화 모델이 그 기준 그래프 안에 있으면 선별하는 방식의 과정을 거쳤다. 모델 선별을 위한 기준 그래프는 동작주파수 912 MHz를 중심으로 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭이 모두 9%, 전기적 길이가 $\lambda/2(kr=2.22)$ 를 갖는 안테나의 크기, 안테나가 실내 벽면에 위치하는 경우 안테나 인식 영역이 9 m²(3 m×3 m) 중 6.5 m²의 값을 나타내도록 하였다.

그림 3은 최적화 모델 선별을 위한 안테나 특성 그래프이고 제시한 방법을 통해서 RFID 리더 안테나에 적합한 안테나를 선별하였다. 선택된 안테나는 NEC 시뮬레이션 해석 결과 동작 주파수 912 MHz에서 반사 손실 대역폭, 원형 편파 대역폭, 안테나 크기(kr), 인식 영역이 각각 14.04%, 10.42%, 2.19, 7.2 m²의 특성을 보였다.

III. 최적화 안테나 특성 및 원리 분석

그림 4는 선별과정을 통해서 선택된 최적화 안테나의 실제 제작 모습이고, 표 1은 원점($x=0, y=0, z=0$)을 기준으로 한 안테나 설계 변수들이다. 안테나 본체는 반경 0.5 mm의 구리 동선으로 제작되었으며 접지면(20 cm×20 cm)에서 특성 임피던스가 50 Ω인 동축 케이블에 의해 급전되었다. 안테나의 크기는 최대 반경 $r=12.6$ cm($kr=2.4$)의 반구 안에서 형성되었으며 7개의 단편 선로로 이루어졌다. 제작된 안테나는 구조적으로 불안정하기 때문에 상대 유전율이

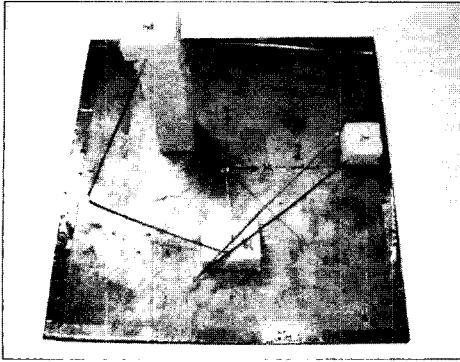


그림 4. 제작한 RFID 리더 안테나
Fig. 4. Photo of the fabricated reader antenna.

표 1. 리더 안테나의 설계변수
Table 1. Design parameters for the reader antenna.

Bent-point	Position(mm)		
	X	Y	Z
Start-point	0	0	0
1	0	0	7
2	8.0358	-56.25	4.9451
3	-45.5357	-61.6071	89.011
4	-29.4642	24.1072	84.0659
5	77.6786	24.1072	79.1209
6	56.25	-29.4642	108.7912
7	-2.6785	-77.6785	64.2857
End-point	83.0358	13.3929	4.9451

작은 스티로폼(styroform)을 사용하여 안테나에 안정성을 추가했다.

그림 5는 제작된 안테나의 측정 반사 손실과 시뮬레이션 틀인 NEC를 사용한 반사 손실을 보여준다. 또한 좀더 정확한 성능 예측을 위해 유한 접지면 상에서 해석이 가능한 HFSS 해석 결과를 그림 5에 추가하였다. 반사 손실 측정은 HP사의 8510C 네트워크 분석기를 이용하였으며 반사 손실 대역폭은 905 MHz에서 974 MHz까지 69 MHz(7.67 %, VSWR<2)로 국내 RFID 전 대역 및 국외 RFID UHF 대역을 상당 부분 포함한다. 시뮬레이션 값과 측정값의 오차는 제작시 선로 길이의 오차, 접지면의 크기, 스티로폼에 의한 영향이라고 생각된다. 그림 6은 wheeler cap method를 적용하여 측정된 안테나 효율을 보여준다^{[8],[9]}. Wheeler cap method는 안테나를 cap에 의해서

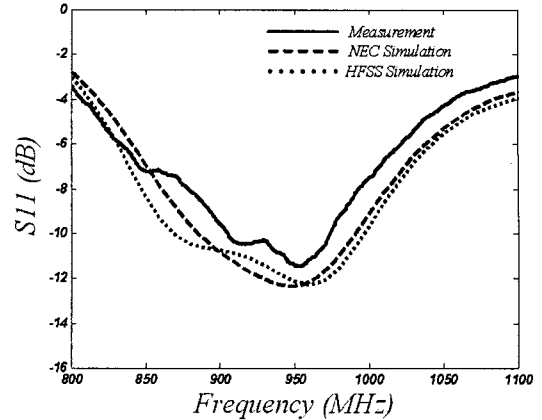


그림 5. 제작한 안테나의 반사 손실
Fig. 5. Return loss of the antenna.

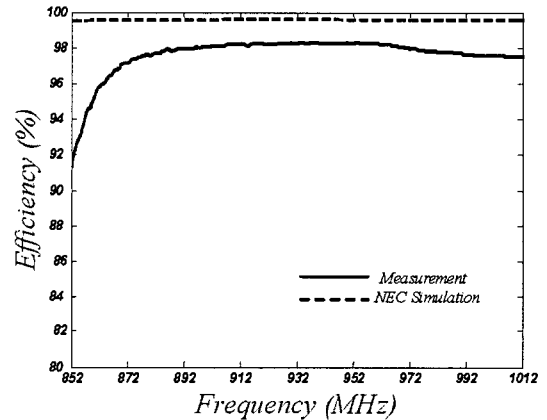


그림 6. 제작한 안테나의 효율
Fig. 6. Efficiency of the antenna.

완벽히 차폐시킨 후 측정된 반사 계수와 자유 공간에서 측정된 반사 계수의 차이를 통해서 전파 방사에 적용되는 저항 성분($R_{radiate}$)과 손실에 적용되는 저항 성분(R_{loss})을 추출하여 안테나 효율을 계산하는 방식이다. 차폐시 이용한 cap의 크기는 제작된 안테나의 크기를 고려하여 16 cm×15 cm×20 cm의 직육면체로 하였다. Wheeler cap method 적용 결과 안테나 효율은 동작 주파수 대역에서 시뮬레이션 값과 2% 내외의 오차를 보이고, 97%가 넘는 고효율로 안테나가 동작한다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 7은 전자파 흡수 챔버 안에서 선형 안테나를 360° 회전하여(rotating dipole) 측정된 각도별 G_{θ} 로부터 도출한 원형 편파 축비를 보여준다. 원형 편파 대역폭은 865 MHz에서 968 MHz까지 103 MHz

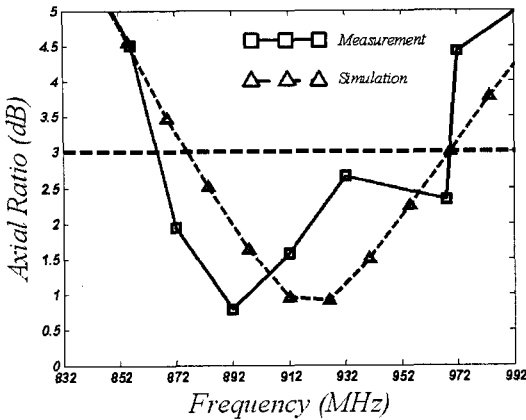


그림 7. 제작한 안테나의 축비
Fig. 7. Axial ratio of the antenna.

(11.35 %, Axial Ratio < 3 dB)를 보이며 제작된 안테나는 시뮬레이션 값보다 더욱 넓은 주파수 대역에서 원형 편파를 방사하는 것으로 측정되었다^[10].

그림 8은 안테나 인식 영역을 측정된 그림이다. 인식 영역은 보유한 상용 RFID 리더(ALR-2850^[7])에 제작한 안테나를 장착한 후 다이폴 형태의 태그(ALL-9238^[7])를 이용하여 측정하였다. 측정 결과는 리더기의 전력 손실이 예상보다 커서 시뮬레이션으로 구한 태그 인식 영역과 다소 차이를 보였으나, 측정된 인식 영역 형태는 시뮬레이션과 매우 흡사한 양상을 보이고 있으며, 이런 결과를 토대로 인식 영역을 실제 사용 환경에 적합하게 최적화가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 9는 912 MHz에서 측정된 안테나의 방사 패턴

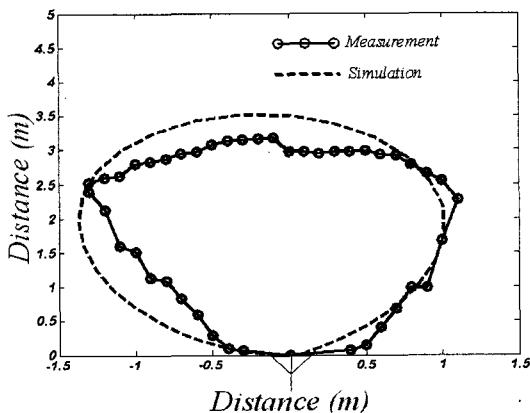
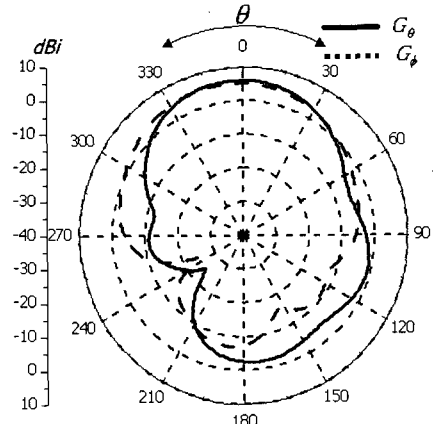
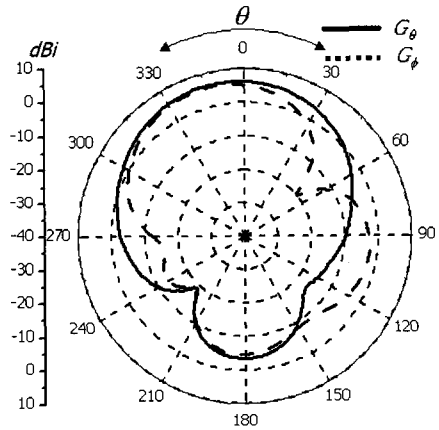


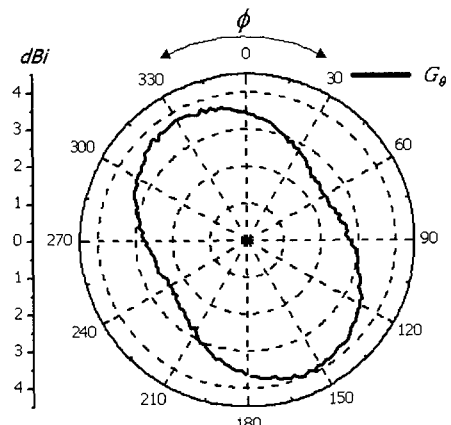
그림 8. 제작된 안테나의 인식 영역
Fig. 8. Readable range of antenna.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane



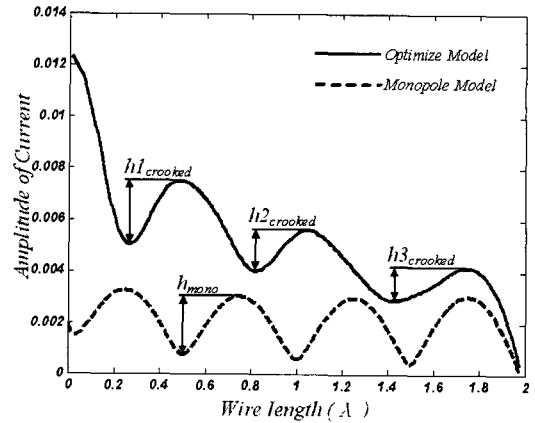
(c) x-y 평면
(c) x-y plane

그림 9. 912 MHz에서 측정된 안테나의 방사 패턴
Fig. 9. Measured radiation patterns at 912 MHz.

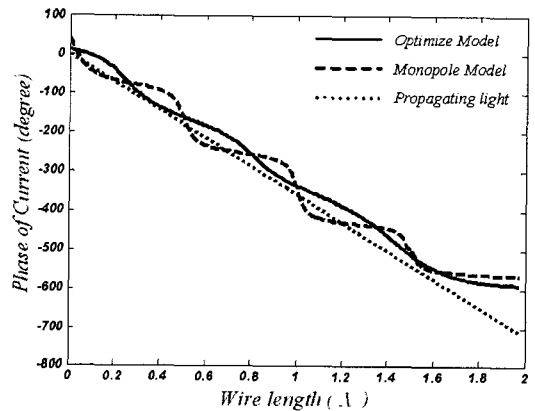
턴을 보여준다. 그림 9(a)와 그림 9(b) 각각 $\phi=0^\circ$ 와 $\phi=90^\circ$ 일 때 θ 방향에 따른 안테나의 방사 패턴을 나타내고 있다. 두 그림에서 안테나는 $\theta=0^\circ$ 인 방향에서 6.16 dBi의 이득을 가지며 원활한 방사를 하는 것을 확인할 수 있다. 그림 9(c)는 제작된 안테나와 선형 안테나를 각각 $\theta=0^\circ$ 인 평면에 대응시키고, 선형 안테나를 ϕ 방향으로 회전시켜 측정하는 rotating dipole 방식을 사용한 이득을 나타내고 있다. 최대 이득과 최소 이득의 비가 약 1.5 dB인 원형 편파 축비를 가져 양질의 원형 편파를 방사하는 것을 알 수 있다^[10].

앞의 측정된 RFID 리더 안테나의 특성을 이해하기 위해 안테나의 동작 주파수에서 안테나 본체에 유기된 전류 분포를 시뮬레이션 값을 통하여 분석하였으며, 비교를 위해서 제작된 안테나와 동일한 전기적 길이를 갖는 모노폴 안테나의 전류 분포를 같이 나타내었다. 그림 10은 전류 분포 결과이며 그림 10(a)는 전류의 크기를, 그림 10(b)는 전류의 위상을 보여준다. 그림 10(a)에서 제작된 안테나의 전류 크기 변화($h1_{crooked}$, $h2_{crooked}$, $h3_{crooked}$)는 정재파(standing wave)가 분포하는 모노폴 안테나의 전류 크기 변화(h_{mono})보다 적어지는 것을 확인할 수 있으며, 이런 결과는 선로 끝단의 반사파 영향이 적은 것을 의미한다^[11]. 또한 전류 위상 변화는 모노폴 안테나의 경우 정재파가 존재하여 선로 구간에서 위상 변화가 없으나 제작된 안테나는 공기 중에서 전파가 진행할 때 보이는 위상 변화와 비슷한 진행파(traveling wave) 성질을 갖는 것을 확인할 수 있다. 즉, 선로 끝단의 반사파 영향이 적을수록 공기 중에서 전파가 진행할 때 갖는 위상 변화율과 비슷해지는 것을 확인할 수 있으며, 원형 편파가 발생하기 용이한 위상 변화를 갖는다^[11].

Crooked wire 형태를 이용한 리더 안테나의 특성은 선로 구조에 의해서 민감하게 반응한다. 그러므로 안테나 구조와 안테나 특성의 상관관계를 확인할 필요성이 있으며, 본 논문에서는 안테나 구조에 랜덤 에러(random error)를 추가하는 랜덤 에러 방식을 사용하여 확인하였다. 그림 11은 안테나 구조적인 특징이 리더 안테나의 특성에 미치는 영향을 정량적으로 보인 그래프이다. 다수의 단편 선로로 이루어진 안테나의 구조에서 단편 선로가 만나는 7개의 꺾이는 점에 z 방향과 ϕ 방향으로 랜덤 에러를 설정한 후 리더 안테나 특성에 미치는 영향을 확인하였다.



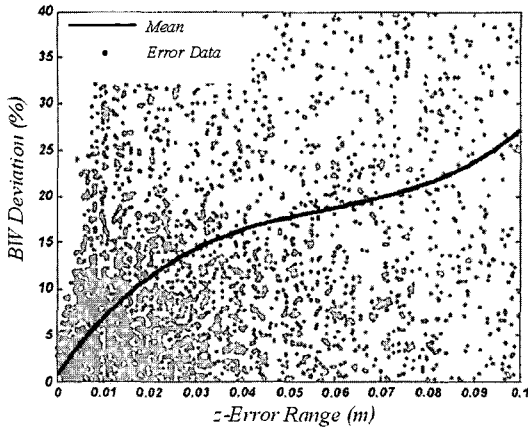
(a) 전류 분포의 크기
(a) Amplitude of current distribution



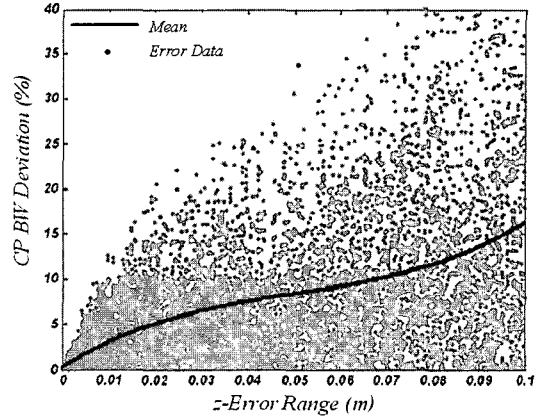
(b) 전류 분포의 위상
(b) Phase of current distribution

그림 10. 최적화 안테나의 전류 분포
Fig. 10. Current distribution of the optimized antenna.

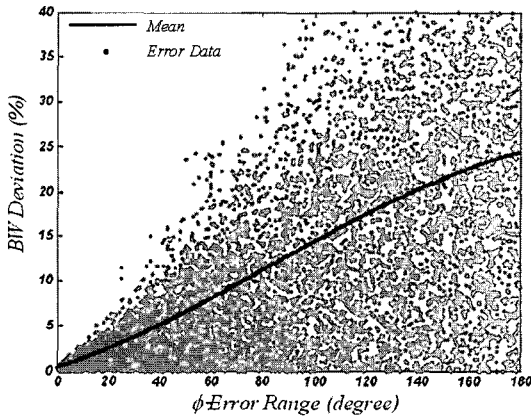
이때 주어진 에러의 총크기는 식 (6)과 식 (7)에 의해 나타난다. 랜덤 에러는 2,000번을 1회로 한 후 20회를 시행하여 최대한 일반적인 특성이 나타나도록 하였다. 그림 11(a)와 그림 11(b)는 z 축에 최대 10 cm까지의 에러(그림 11(a), (b)의 가로축)를 주었을 때 그에 따른 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭의 편차(그림 11(a), (b)의 세로축)를 점으로 나타내었으며, 각 에러율에 따른 편차의 평균값을 구해서 실선으로 나타내었다. 그림 11(c)와 그림 11(d)는 ϕ 방향으로 최대 180° 까지의 에러(그림 11(c), (d)의 가로축)를 주었을 때 반사 손실 대역폭과 원형 편파 대역폭을 동일한 방법으로 나타낸 그림이다. 분석 결과 z 축 방향의 에러는 선로의 전체 길이를 변화시켜 원



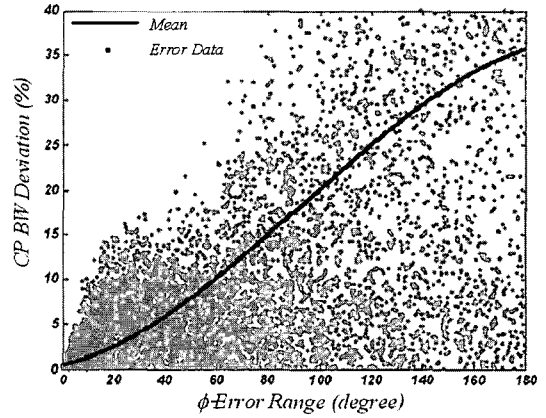
(a) z-방향 에러에 따른 반사 손실 대역폭 편차
(a) Variation of bandwidth by z-direction error



(b) z-방향 에러에 따른 원형 편파 대역폭 편차
(b) Variation of CP bandwidth by z-direction error



(c) ϕ -방향 에러에 따른 반사 손실 대역폭 편차
(c) Variation of bandwidth by ϕ -direction error



(d) ϕ -방향 에러에 따른 원형 편파 대역폭 편차
(d) Variation of CP bandwidth by ϕ -direction error

그림 11. 안테나 구조의 에러에 따른 특성 변화

Fig. 11. Variation of the performance by random errors.

형 편파 대역폭보다는 반사 손실 대역폭에 큰 변화를 발생시켰으나, ϕ 방향의 에러는 z 축으로 에러를 주었을 때와는 대조적으로 선로 사이의 각도를 변화시켜 반사 손실 대역폭의 변화보다는 원형 편파 대역폭의 변화를 심하게 초래하였다. 이는 제작된 crooked wire 안테나가 z 축 방향 에러에 의해 선로의 전체 길이가 변화되어 반사 손실 대역폭이 민감하게 반응하였으며, 반면 ϕ 방향 에러에 의해서는 선로 전류의 위상 변화를 초래하여 원형 편파 대역폭에 더 많은 영향을 주었다고 사료된다. 그 외에 단편 선로의 개수에 따른 특성 변화를 연구한 결과, 단편 선로의 개수가 증가할수록 반사 손실 대역폭과 원형 편

파 대역폭 특성이 향상되었으나 그 수가 8개 이상이 되면 안테나의 특성은 향상되지 않았다. 수행된 에러 주입식 안테나 구조 해석을 통해서 안테나의 외부 충격에 대한 구조적 내구성을 예측할 수 있으며, 안테나 설계와 제작시 신중히 고려해야 하는 주요 설계 변수(critical design paramters)를 추출할 수 있다.

IV. 결 론

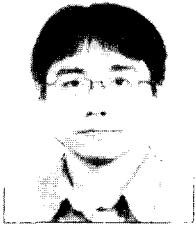
본 논문에서는 crooked wire 구조의 RFID 리더 안테나를 최적화 과정을 통해서 설계·제작하였다. UHF 대역 RFID 리더 안테나의 실제적 필요조건을 고려하였으며 안테나 구조를 Pareto 유전자 알고리

즘을 이용하여 효과적으로 최적화 하였다. RFID용 최적화 안테나 설계를 위해서 리더 안테나의 필요 조건으로 반사 손실 대역폭, 원형 편파 대역폭, 안테나 크기, 안테나 인식 영역을 고려하였다. 제작된 최적화 안테나는 912 MHz에서 동작하며 반사 손실 대역폭 7.67 %와 원형 편파 대역폭 11.35 %를 가졌으며 $\theta=0^\circ$ 이고 $\phi=0^\circ$ 에서 6.16 dBi의 이득과 1.46 dB의 원형 편파 축비(axial ratio)를 나타내며 방사하였다. 상용 RFID 시스템에 장착시 시뮬레이션에 의한 태그 인식 영역과 비슷한 형태의 인식 영역을 가졌다. 따라서 제안된 crooked wire 구조의 안테나는 주어진 공간에서 최적의 인식 영역을 확보할 수 있는 고정형 리더 안테나로 적용이 가능하다. 안테나의 동작 특성을 연구하기 위해 안테나 본체 선로에 흐르는 전류의 크기와 위상을 확인하였으며, 그 결과 양질의 진행파(traveling wave) 성질을 가져, 원형 편파에 용이한 전류 분포 특징을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 여러 주입식 안테나 구조 해석을 통해서 안테나의 외부 충격에 대한 구조적 내구성과, 안테나 설계와 제작시 신중히 고려해야 하는 주요 설계 변수(critical design paramters)를 추출할 수 있었다. 결과 분석을 통해서 ϕ 방향 랜덤 에러는 전류의 위상변화에 크게 영향을 주는 것과 원형 편파 대역폭의 변화를 초래하는 것을 확인하였으며, z 방향의 랜덤 에러는 반사 손실 대역폭을 크게 변화시키는 것을 확인할 수 있었다. 제시된 여러 주입식 안테나 구조 해석 방법은 안테나 연구 및 최적화 과정에 적용시 안정성 면에서 효과적인 안테나 설계에 도움이 될 수 있을 것으로 판단되며 안테나 특성 개선을 위한 추가 연구에 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, Reading, MA: Addison Wiley, 2002.
- [2] W. Rankl, W. Effing, *Smart Card Handbook*, New York: John Wiley & Sons, 2003.
- [3] <http://www.mic.go.kr>(Ministry of Information and Cumunication Republic of Korea), *Notice 2004-34*.
- [4] E. E. Altshuler, D. S. Linden, "Wire-antenna designs using genetic algorithms", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 39, pp. 33-43, Apr. 1997.
- [5] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA: Addison Wesley, 1989.
- [6] Y. Rahmat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [7] <http://www.alientechnology.com>
- [8] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna", *Proc. IRE*, pp. 1325-1331, Aug. 1959.
- [9] E. Newman, P. Hohley, and C. H. Walter, "Two methods for the measurement of antenna efficiency", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 23, pp. 457-461, Jul. 1975.
- [10] B. Y. Toh, R. Cahill, and V. F. Fusco, "Understanding and measuring circular polarization", *IEEE Trans. Education*, vol. 46, pp. 313-318, Aug. 2003.
- [11] H. Nakano, *Helical and Spiral Antennas*, New York: John Wiley & Sons, 1987.

주 재 울



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2004년 3월~현재: 홍익대학교 전파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 송수신 안테나 설계 및 GA 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~1996년: LG전자기술원
1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
[주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)

2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 전임강사
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

오 이 석



1982년: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1988년: 미국 University of Missouri-Rolla, 전기 및 컴퓨터 공학과 (공학석사)
1993년: 미국 University of Michigan, Ann Arbor, 전기공학 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 부교수
[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격탐사, 안테나