

UHF 대역 CP 스파이럴 RFID 리더 안테나 설계

Design of a CP Spiral RFID Reader Antenna in UHF Band

이주용 · 추호성 · 박익모* · 한원근**

Chuyong Lee · Hosung Choo · Ikmo Park* · Wone Keun Han**

요 약

본 논문에서는 스파이럴 구조를 이용하여 UHF 대역에서 원형 편파 특성을 가지는 RFID 리더 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 FR-4 기판에 스트립 라인으로 인쇄되어 대량 생산이 용이한 평면 구조이며, UHF RFID 주파수 대역폭(860~960 MHz)을 만족시킬 수 있도록 설계하였다. 또한, 본체를 스파이럴 구조로 제작하여 원형 편파 특성이 광대역(860~960 MHz)에서 일어날 수 있도록 하였으며, 급전 부분은 0.25 λ 정합기를 사용하여 임피던스 정합이 이루어지도록 하였다. 제안된 안테나는 복사 이득과 복사 패턴의 조절이 용이하고, 크기가 소형화되었음에도 불구하고 광대역에서 임피던스 정합 및 원형 편파 특성을 유지할 수 있다. 측정 결과, 제작된 안테나는 반사 손실 대역폭 13 %, 원형 편파 대역폭 23 %의 특성을 가지고, 동작 주파수 대역에서 약 6.5 dBi의 복사 이득을 가져, RFID 리더 안테나로 활용할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a novel structure of a spiral antenna with a CP characteristic for RFID reader in UHF band. Since the proposed antenna can be built by printing on a FR-4 substrate, it is appropriate for low-cost mass-production. The antenna is designed to operate in UHF band of 860~960 MHz. The CP bandwidth is increased enough to cover an overall UHF RFID band by using a spiral structure for the antenna arm. The matching bandwidth is broadened by using a quarter-wave transformer between the feed and the antenna body. The proposed antenna has advantages of its easy gain and pattern control with a small antenna size. The measured antenna performance shows the matching bandwidth of 13%, the CP bandwidth of 23 %, and the gain of 6.5 dBi. This verifies that the proposed antenna is appropriate for RFID antennas in UHF band.

Key words : RFID, CP Spiral Reader Antenna, Genetic Algorithm

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 시스템은 정보를 담고 있는 태그와 태그에 있는 정보를 판독하는 리더로 구성되며, 리더로부터 송출된 전자파를 통해 태그 칩에 저장된 고유 정보를 역산란 방식을 통하여 리더 안테나에서 정보를 수신하여 분석한다.

태그 안테나의 대부분은 선형 편파(linear polarization) 특성을 가지는 구조가 사용되고 있으며, 태그로부터의 정보 수신 신뢰성을 향상시키기 위해 리더 안테나는 태그 안테나의 방향과 상관없이 인식이 되도록 원형 편파(Circularly Polarization: CP) 특성을 가져야 한다^[1]. 현재 사용되고 있는 RFID 리더 안테나는 대부분 마이크로스트립 구조를 가지고 있으며,

「본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원 하에 이루어졌음.」

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

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

**홍익대학교 물리학과(Department of Physics, Hongik University)

· 논문 번호 : 20080305-027

· 수정완료일자 : 2008년 4월 18일

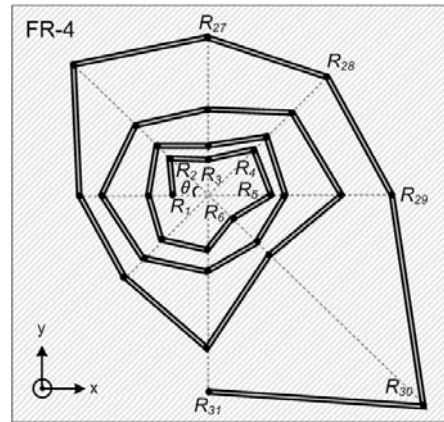
마이크로스트립 안테나는 제작이 용이하고 크기가 작은 장점을 가지는 반면 원형 편파 대역폭이 협소한 단점이 있다^[2]. 원형 편파 대역폭을 개선시키기 위해 마이크로스트립 구조를 원형 패치로 만든 안테나, 사각 패치의 모서리를 절제한 안테나, 위상 변환 급전 회로의 위상차를 이용한 안테나 등이 제안되고 있다^{[3]~[9]}. 그러나 제안된 안테나들은 마이크로스트립 구조가 가지고 있는 원형 편파 대역폭의 협소함을 개선시켰지만, 전체 UHF RFID 주파수 대역(860~960 MHz)을 만족시키기에는 한계가 있다. 최근에는 마이크로스트립 안테나의 협대역 CP 특성을 개선하기 위해 다각 다단 구조의 헬리컬 안테나가 이용하여 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 성능을 향상시킨 연구가 발표되었다. 하지만 선로가 평면 구조가 아니라 외부 단에서 내부 단으로 감겨 들어가는 다각 구조의 입체 형태를 가지고 있어 제작이 어려운 문제점을 가진다^[10].

본 논문에서는 다각 다단 구조의 헬리컬 안테나를 개선하여 광대역에서 임피던스 정합에 유리하고 원형 편파 특성을 향상시키는 스파이럴 구조의 RFID 리더 안테나를 설계하였다. 안테나의 최적 설계 변수는 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 도출하였으며, 최적화된 안테나를 실제 제작 측정하여 성능을 검증하였다. 측정 결과, 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭이 UHF RFID 전 주파수 대역(860~960 MHz)을 만족시켰으며, 중심 주파수 912 MHz에서 복사 이득이 주 빔 방향($\theta=0^\circ$)으로 약 6 dBi를 가졌다. 또한, 태그 안테나를 수평/수직 방향으로 놓고 인식 거리를 측정한 결과, 정면에서 각각 3.4 m와 3.1 m의 인식 거리를 가졌다.

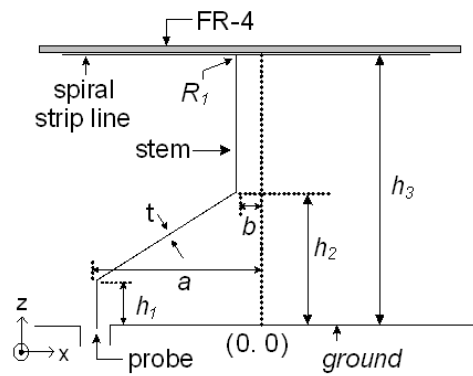
II. 스파이럴 안테나의 구조 및 최적화

일반적인 스파이럴 안테나의 선로는 감는 회수(N)에 따라 반지름(r)이 증가하는 구조($r=r_0 \times e^{N\theta}$)를 가져 안테나의 크기를 소형화시키기 어려운 단점이 있다^[11]. 이를 개선하기 위해 그림 1(a)에서와 같이 각도($\theta(n)=45^\circ \times n$)가 증가할 때마다 원점으로부터의 거리 R_n 이 자유롭게 변화하고, R_{n-1} 과 직선으로 이어져 선로가 안에서부터 밖으로 감겨져 나가는 구조의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 광대역 원형

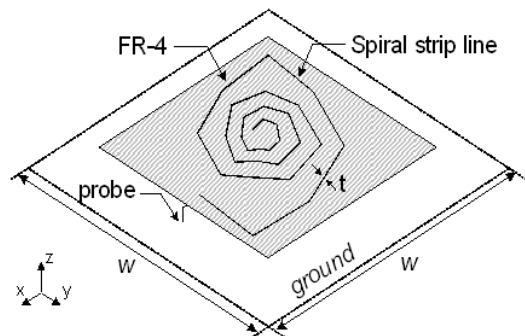
편파 특성을 유지하면서도 안테나의 소형화가 용이한 구조를 가진다. 급전부는 그림 1(b)에 나타난 것



(a) 평면도
(a) Top view



(b) 측면도
(b) Side view



(c) 사시도
(c) Perspective view

그림 1. 제안된 안테나 구조

Fig. 1. The structure of the proposed antenna.

처럼 원점(0, 0)으로부터 거리가 a 만큼 떨어진 급전점(probe)에서 시작하여 $(h_2 - h_1)/(a - b)$ 의 기울기를 가지고 안테나 본체에 연결되며, 이는 0.25λ 정합기로 동작하여 광대역(860~960 MHz)에서 정합이 용이한 구조를 가진다. 그림 1(c)은 안테나의 사시도로서 본체와 급전부 그리고 접지면(ground)을 보여준다. 일반적으로 접지면의 크기(w)가 크면 안테나의 원형 편파 대역폭이 증가하는 장점을 가지나, 안테나의 전체 크기가 커져 휴대 및 설치가 불편하므로 접지면 크기의 소형화도 같이 고려하여 안테나를 설계하였다. 또한, 안테나의 저가 대량 생산이 용이하도록 본체를 FR-4 기판 위에 마이크로스트립 라인으로 인쇄하여 제작할 수 있도록 하였다.

안테나의 최적 설계 변수는 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하여 도출하였다^{[12],[13]}. FEKO를 사용한 안테나의 EM 시뮬레이션에서 해석 시간을 단축시키고 최적화를 용이하게 하기 위해 FR-4 기판 위에 인쇄된 마이크로스트립 라인을 equivalent wire coating을 사용해 간략화 하여 계산하였다^[14]. Pareto 유전자 알고리즘에서 최적화의 방향을 설정하는 비용 평가 함수로 식 (1)~(3)을 사용하였다.

$$Cost1 = 1 - \frac{BW_{reader} \times Eff_{reader}}{BW_{RFID}} \quad (1)$$

$$Cost2 = 1 - \frac{CPBW_{reader}}{BW_{RFID}} \quad (2)$$

$$Cost3 = \frac{w^2 (Ant.size)}{25^2 (Ant.size.max)} \quad (3)$$

식 (1)은 안테나의 효율(Eff_{reader})이 고려된 임피던스 대역폭(BW_{reader})이며, 식 (2)는 원형 편파 대역폭($CPBW_{reader}$)을 최적화하기 위해서 설정한 비용 평가 함수이다. BW_{reader} 주파수를 860~960 MHz로 하여 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭이 RFID 주파수 대역을 만족시킬 수 있도록 정하였다. 식 (3)은 안테나의 크기를 고려하여 접지면의 길이(w)가 최대 25 cm가 넘지 않도록 제한을 두어 안테나의 크기가 소형화되도록 하였다. 본체의 꺾이는 포인트의 개수(n)는 16~31개까지 변화하도록 하였으며, 본체의 중심점에서의 거리(R_n)도 자유롭게 변화되도록 하여

안테나의 크기를 소형화시키면서 원형 편파 대역폭이 광대역 특성을 만족시키도록 설계하였다. 또한, 원점으로부터 급전부까지의 거리(a)와 급전부의 높이($h_1 \sim h_3$)를 변화시켜 임피던스 대역폭이 860~960 MHz 이상을 만족할 수 있도록 설계하였다.

Pareto 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화된 본체의 최적 설계 변수 값을 표 1에 나타내었으며, 도출된 설계 변수($w=218.8$ mm, $a=85.1$ mm, $h_1=5$ mm, $h_2=21.5$ mm, $h_3=90$ mm)를 사용하여 안테나를 그림 2와 같이 제작하였다. 스트립 라인은 두께가 1.6 mm 인 copper tape로 FR-4 기판 위에 인쇄한 형태이고, 선로가 꺾이는 부분을 납땜으로 고정하였으며, 본체 기판을 스티로폼으로 지지하여 움직이지 않도록 고정하였다.

실제 제작된 안테나의 성능을 확인하기 위하여 측정된 값과 시뮬레이션 값을 점선과 실선으로 도식화하여 비교하였다. 반사 손실 특성($S_{11} < -10$ dB)을 그림 3에서 확인한 결과, 측정값과 시뮬레이션 값이 약간의 오차가 있지만 유사한 형태를 가지고 있는 것을 알 수 있으며, 임피던스 대역폭이 912 MHz를

표 1. 안테나 본체의 설계 변수

Table 1. Design parameters for the antenna arm.

Wire number	Position (mm)		Wire number	Position (mm)	
	X	Y		X	Y
R_1	-12.1	0.0	R_{17}	-36.9	0.0
R_2	-13.1	13.1	R_{18}	-24.8	24.8
R_3	0.0	12.7	R_{19}	0.0	30.9
R_4	16.3	16.3	R_{20}	29.7	29.7
R_5	22.4	0.0	R_{21}	46.9	0.0
R_6	8.6	8.6	R_{22}	21.5	-21.5
R_7	0.0	-19.8	R_{23}	0.0	24.8
R_8	-15.9	-15.9	R_{24}	-29.0	-29.0
R_9	-20.6	0.0	R_{25}	-44.6	0.0
R_{10}	-17.5	-17.5	R_{26}	-46.6	46.6
R_{11}	0.0	17.7	R_{27}	0.0	56.5
R_{12}	20.9	20.9	R_{28}	42.3	42.3
R_{13}	27.4	0.0	R_{29}	64.8	0.0
R_{14}	17.1	-17.1	R_{30}	75.8	-75.8
R_{15}	0.0	-27.4	R_{31}	0.0	-70.2
R_{16}	-22.5	-22.5	a	-85.1	0.0

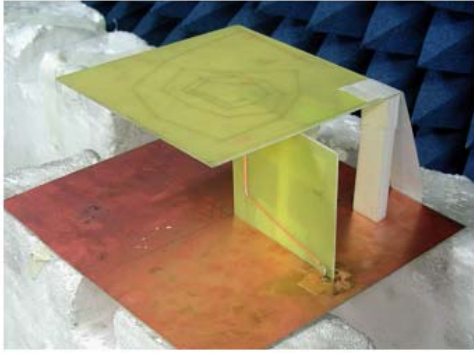


그림 2. 제작된 안테나
Fig. 2. Photo of the fabricated antenna.

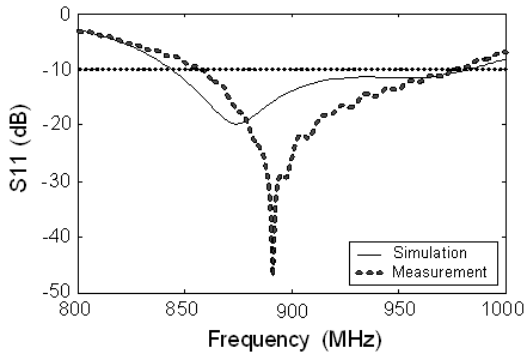


그림 3. 안테나 반사 손실
Fig. 3. Return loss of the antenna.

중심으로 13 % (860~980 MHz)를 가져 설계 목표를 만족시킨다. 그림 4에서는 원형 편파 특성($AR < 3$ dB)이 912 MHz를 중심으로 23 % (840~1,050 MHz)의 대역폭을 가져 UHF RFID 주파수 대역(860~960 MHz)을 충분히 만족시키는 것을 알 수 있다. 측정값에서 진동이 보이는 것은 안테나 축비 측정 시 안테나의 정 중앙 부분을 phase 센터로 하였으나, 실제 CP phase 센터와는 약간의 차이가 있어서 다소 오차가 발생한 것으로 사료된다.

그림 5는 Wheeler cap 효율 측정법^[15]을 사용하여 측정된 효율과 복사 이득 결과이다. 제작된 안테나는 RFID 주파수 대역에서 85 % 이상의 효율을 가지며, 6.3~6.5 dBi의 균일한 복사 이득을 가지고 동작하는 것을 알 수 있다. 중심 주파수(912 MHz)에서 x-z와 y-z 평면의 복사 패턴의 측정 결과, 주 빔 방향(z 축상)에서 시뮬레이션 값과 유사하게 6 dBi의 이

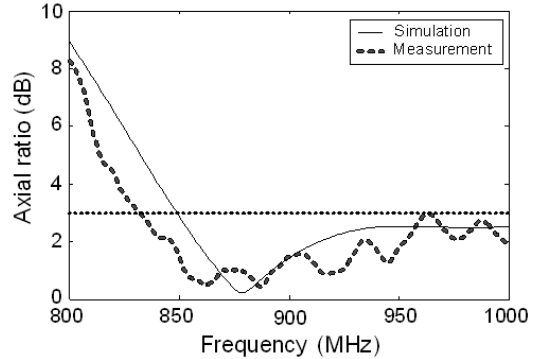


그림 4. 안테나 축비
Fig. 4. Axial ratio of the antenna.

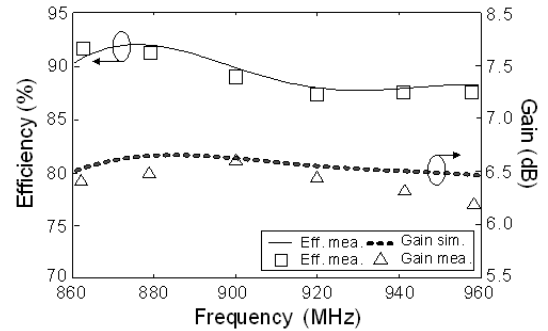
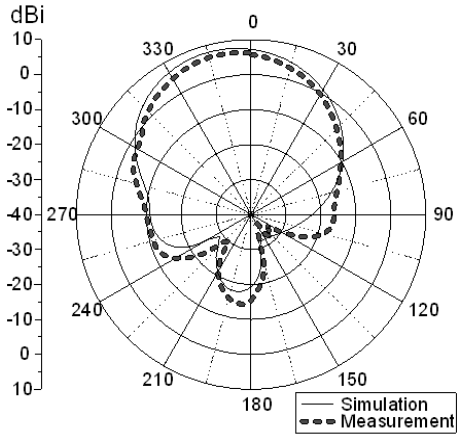


그림 5. 안테나 이득 및 효율
Fig. 5. Gain and efficiency of the antenna.

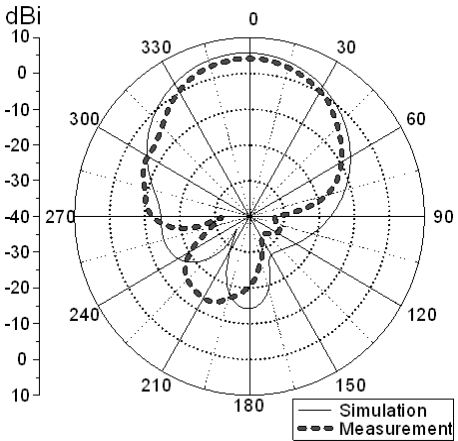
득을 가지는 것을 그림 6(a)와 (b)를 통해 알 수 있다. 인식 거리를 측정하기 위해 제작된 안테나를 Impinj사의 CS-461 RFID 리더기에 장착하였으며, 상용 태그 안테나는 Alien사의 ALL-9440(Gen2 Squiggle™)을 사용하였다. 측정된 인식 거리는 그림 7과 같이 나타나며, 정면 방향에서 태그 안테나의 수직/수평 방향으로 각각 3.4 m와 3.1 m의 최대 인식 거리를 가진다.

III. 최적화된 안테나의 동작 원리

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 스파이럴 선로의 감기는 횡수와 급전부를 포함한 안테나 선로의 전체 길이 변화에 따른 임피던스 대역폭 및 원형 편파 대역폭을 비교, 분석해 보았다. 그림 8에서 스파이럴 선로의 감기는 횡수가 3회 이상이 될 때 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭이 모두 10



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane

그림 6. 측정된 안테나 복사 패턴(912 MHz)
Fig. 6. Measured radiation patterns of the antenna (912 MHz).

% 이상을 만족하여 광대역 성능을 가지고 동작하는 것을 알 수 있다. 그림 9는 안테나 선로 전체의 길이가 변화할 때 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 성능 변화를 나타낸 것이다. 선로 전체의 길이가 912 MHz를 기준으로 3.25 λ 이상이 되었을 때, 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭이 모두 10% 이상의 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 안테나가 최적의 선로를 가지고 동작하기 위해서 최소한의 조건이 본체의 감기는 횟수가 3회 이상, 전체 선로의 길이는 3.25 λ 이상을 가져야 한다.

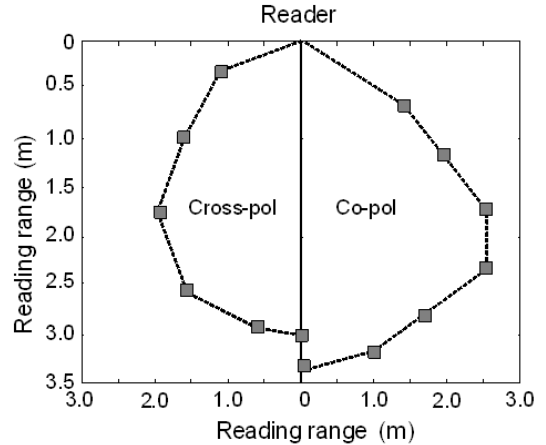


그림 7. 안테나 인식 영역
Fig. 7. Reading range of the antenna.

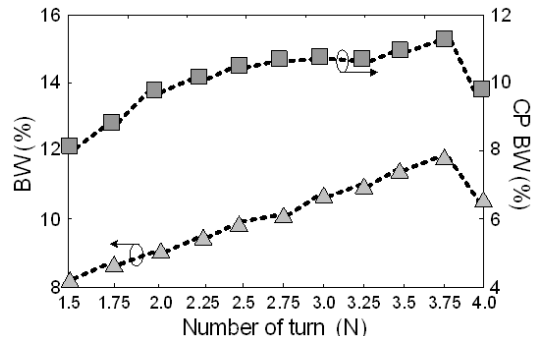


그림 8. 안테나 본체의 감기는 횟수에 따른 성능 변화
Fig. 8. The performance variation vs. the number of the wire turns.

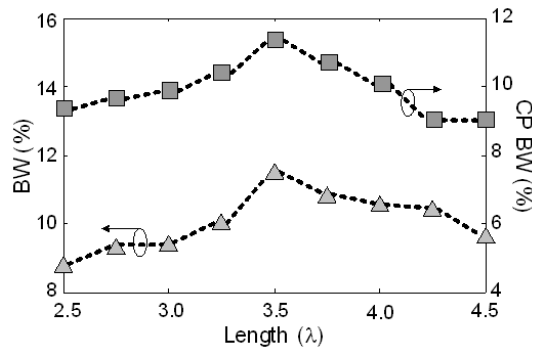


그림 9. 안테나의 길이에 따른 성능 변화
Fig. 9. The performance variation vs. total wire length.

안테나의 구조에서 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 성능을 결정하는 설계 변수를 확인하기 위

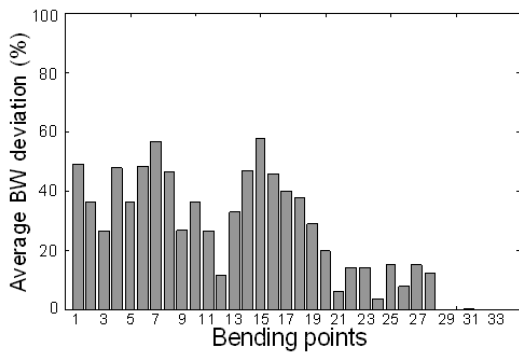
하여 선로의 꺾이는 지점(R_n)에서의 민감도를 분석하여 그림 10에 나타내었다. 각 꺾이는 지점(R_n)을 중심으로 2 cm의 정사각형 안에 100개의 임의의 변화를 주어 변화된 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 편차를 구하였다. 임피던스 대역폭의 편차는 그림 10(a)와 같이 급전부(1~4)와 본체의 선로가 시작되는 부분(5~17)까지 약 50 %의 큰 민감도를 가지며, 선로의 끝부분(21~34)에서는 대역폭의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 또한, 원형 편파 대역폭의 편차는 선로의 시작 부분(1~12)에서는 원형 편파 대역폭의 변화가 거의 없지만, 선로가 끝나는 부분(25~34)에서는 30 % 이상의 큰 민감도를 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 안테나의 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 성능을 조절하기 위한 중요한 설계 변수가 각각 선로가 시작하는 부분과 끝

나는 부분임을 알 수 있다.

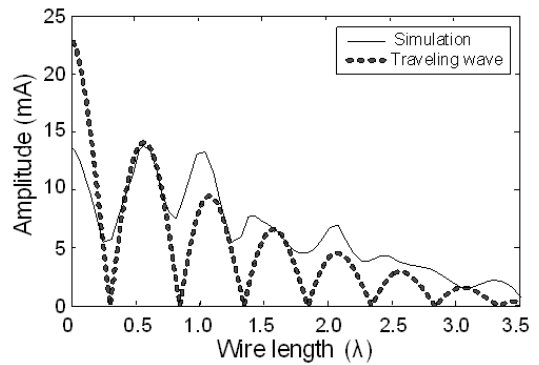
광대역 원형 편파 특성을 가지는 동작 원리를 확인하기 위해 FEKO EM 시뮬레이션 툴을 사용하여 중심 주파수($f_c=912$ MHz)에서 선로에 유기된 전류를 도출하여 분석하였다. 선로의 길이에 따라 유기되는 전류의 크기와 위상을 그림 11에서 실선으로 표시하였으며, 보다 정확한 해석을 위해 안테나에 흐르는 진행파(traveling wave)를 식 (4)와 같이 공식화하여 전류의 크기와 위상을 점선으로 표시하였다.

$$I(l) = \frac{1}{l} e^{-j\beta l} - \frac{1}{z-l} e^{-j\beta(z-l)} \quad (4)$$

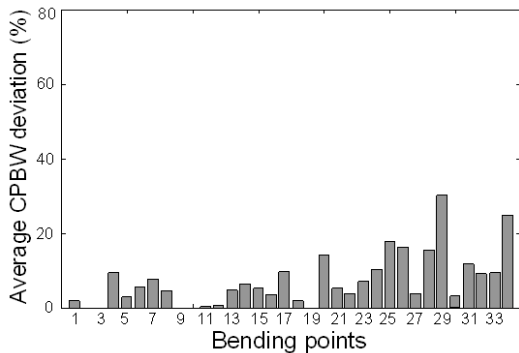
거리 z 만큼 떨어진 곳까지 흐르는 전류가 선로의 전체 길이 $l(3.5 \lambda)$ 에서 더 이상 흐르지 못하고 선로 안으로 반사되어 전류가 감소된다. 그림 11(a)에서



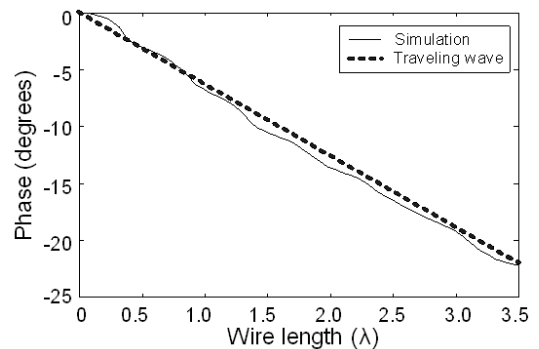
(a) 반사 손실 대역폭 민감도
(a) Matching BW sensitivity



(a) 크기 변화
(a) Amplitude on the strip line



(b) 원형 편파 대역폭 민감도
(b) CPBW Sensitivity

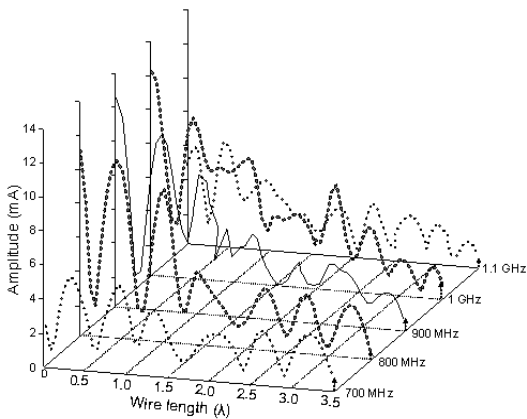


(b) 위상 변화
(b) Phase on the strip line

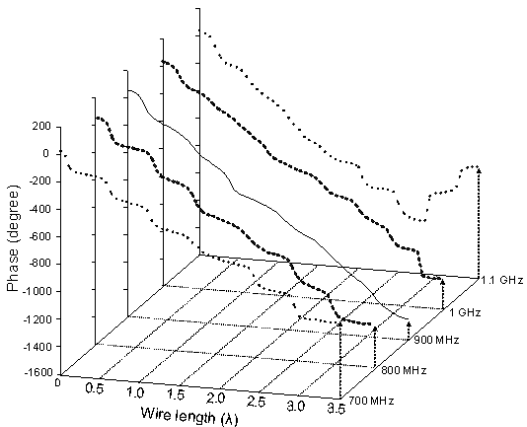
그림 10. 꺾이는 지점에 따른 성능 민감도
Fig. 10. Performance sensitivity at bending points.

그림 11. 안테나 선로에 유기된 전류 분포(912 MHz)
Fig. 11. Current distributions on the strip line(912 MHz).

전류 크기의 변화를 살펴보면, 급전이 시작되는 부분에서 다소 전류의 크기 차이는 있으나, 진행과와 유사한 경향을 가지는 것을 알 수 있다. 그림 11(b)의 전류 위상 변화 특징도 진행과와 동일한 형태를 가지며 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 일정한 각도에 따라 길이가 변화하는 선로의 구조가 전류의 위상 변화를 점진적으로 변화되도록 유도하여 진행과를 형성하는데 효과적인 것을 알 수 있다. 광대역 (860~960 MHz)에서 원형 편파가 형성되는 것을 확인하기 위해 시뮬레이션 툴을 이용하여 700~1,100 MHz의 주파수 대역에서 안테나에 유기되는 전류의



(a) 크기 변화
(a) Amplitude on the strip line



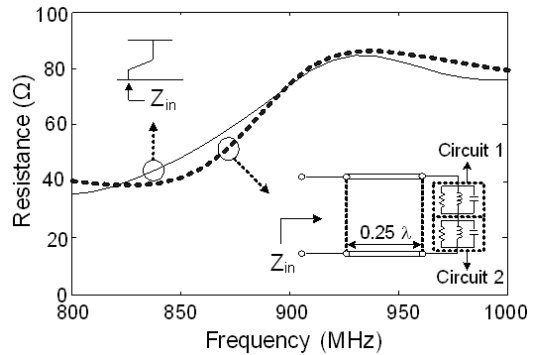
(b) 위상 변화
(b) Phase on the strip line

그림 12. 주파수 변화에 의해 안테나 선로에 유기된 전류 분포

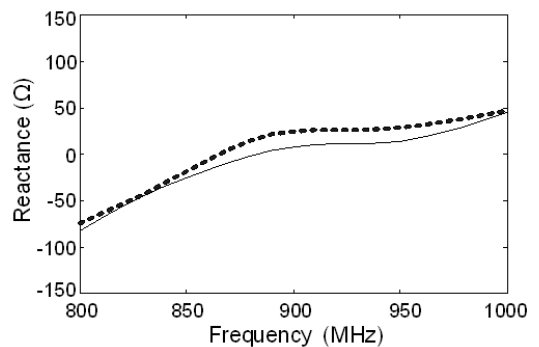
Fig. 12. Current distributions vs. frequency.

크기와 위상 변화를 그림 12에 나타내었다. 안테나에 흐르는 전류가 800~1,000 MHz의 주파수 대역에서 진행과와 유사한 경향을 가져 제안된 안테나가 광대역에서 원형 편파 특성을 유지하며 동작하는 것을 확인할 수 있다.

광대역 임피던스 정합 특성을 가지는 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 안테나를 등가회로로 구현하여 분석하였다. 그림 13은 안테나의 임피던스 값과 안테나를 등가회로로 계산하여 0.25 λ 정합기 공식에 대입하여 나타낸 값을 각각 실선과 점선으로 표시하였다^[6]. 안테나 본체의 임피던스 값을 먼저 RLC 2차 병렬회로로 구성하여 계산하고(표 2), 등가회로의 임피던스 값을 0.25 λ 정합기 공식을 대입해 전체 임피던스 값을 구하였다. 등가회로로 나타낸 임피던스가 안테나의 임피던스와 일치하여 설계된



(a) 저항
(a) Resistance



(b) 리액턴스
(b) Reactance

그림 13. 안테나 입력 임피던스

Fig. 13. Input impedance of the antenna.

표 2. 등가회로 파라 미터

Table 2. Element values for the equivalent circuit.

	Circuit 1	Circuit 2
R	700 Ω	380 Ω
L	8 nH	16.5 nH
C	4.3 pF	1.6 pF

등가회로가 적합하게 구현된 것을 알 수 있으며, 본체에 흐르던 높은 임피던스 값(450~800 Ω)이 0.25 λ 정합기를 통하여 광대역(860~960 MHz)에서 임피던스 정합을 만족하며 동작하는 것을 검증하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 평면 인쇄가 가능한 스파이럴 구조의 스트립라인 CP 안테나를 설계하였으며, 안테나 크기, 임피던스 대역폭, 원형 편파 대역폭을 설계 조건으로 하여 광대역에 적합한 특성을 가지는 안테나를 제작하였다. 본체는 광대역 원형 편파 특성을 만족하도록 스파이럴 구조로 설계하였으며, 급전부는 광대역에서 임피던스 정합이 이루어지도록 0.25 λ 정합기 구조를 사용하여 설계하였다. 안테나의 성능을 결정하는 다양한 설계 변수를 가지고 FEKO EM 시뮬레이터와 Pareto 유전자 알고리즘을 사용하여 안테나의 구조를 최적화하였다. 본체와 급전 부분은 유전체 기판(FR-4) 위에 마이크로스트립 라인으로 평면 인쇄되어 대량생산이 용이할 수 있도록 하였으며, 제안된 안테나를 제작하여 측정한 결과 임피던스 대역폭은 13 % ($f_c=912$ MHz), 축비는 23 %로 설계 조건인 원형 편파 특성을 광대역에서 만족하였다. 제작된 안테나는 88 % 이상의 효율과 6.3~6.7 dBi의 이득을 가졌으며, 주 빔 방향(z 축상)에서 6.5 dBi의 복사 이득을 가지는 것을 확인하였다. 따라서 제안된 안테나는 유통 및 물류 관리 분야의 물류 개찰구에 적용되어 사용될 수 있으며, 좀 더 많은 분야에 적용시키기 위해서 안테나의 소형화가 이루어져야 할 것이다.

안테나의 최적화를 확인하기 위해 스파이럴 선로의 감기는 횟수와 선로 전체 길이의 변화에 따른 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭의 변화를 비교, 분석하였다. 스파이럴 선로의 감기는 횟수가 3번 이

상, 선로 전체 길이가 3.25 λ 이상의 길이를 가질 때 임피던스 대역폭과 원형 편파 대역폭이 모두 광대역 특성을 만족시키는 것을 확인하였다. 또한, 선로의 꺾이는 부분에서의 민감도를 확인하여 안테나의 선로가 시작하는 부분에서 임피던스 대역폭이, 선로가 끝나는 부분에서 원형 편파 대역폭이 큰 민감도를 가져 안테나 설계 시 중요한 설계 변수가 되는 것을 확인하였다.

안테나의 원형 편파 특성을 분석하기 위하여 선로에 흐르는 전류의 위상과 크기 변화를 분석한 결과, 제안된 안테나가 진행파와 유사한 성질을 가지고 유기되어 원형 편파를 형성하여 동작하는데 유리한 구조를 가지고 있으며, 전류의 크기와 위상 변화가 중심 주파수뿐만 아니라 광대역에서 진행파와 유사한 경향을 가져 원형 편파 대역폭이 광대역을 만족하는 것을 확인하였다. 또한, 광대역 임피던스 정합을 가지는 이유를 분석하기 위해 안테나 본체의 임피던스 값을 RLC 등가회로로 구성한 다음 0.25 λ 정합기를 사용하여 안테나의 임피던스 값과 비교, 분석한 결과 등가회로 모델이 안테나의 임피던스와 일치하며, 안테나 본체의 높은 임피던스 값이 0.25 λ 정합기를 통해서 광대역에서 임피던스 정합을 만족시키며 동작하는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. Glidden, C. Bockorick, S. Cooper, C. Diorio, D. Dressler, V. Gutnik, C. Hagen, D. Hara, T. Hass, T. Humes, J. Hyde, R. Olive, O. Onen, A. Pesavento, K. Sundstrom, and M. Thomas, "Design of ultra low-cost UHF RFID tags for supply chain application", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 8, pp. 140-151, Aug. 2004.
- [2] R. Garg, P. Blartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston, MA: Artech House, 2001.
- [3] R. C. Hua, T. G. Ma, "A printed dipole antenna for ultra high frequency(UHF) radio frequency identification(RFID) handheld reader", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3472-3745, Dec. 2007.

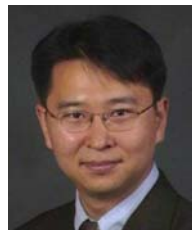
- [4] S. A. Bokhari, J. F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, "A small microstrip patch antenna with a convenient tuning option", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 44, no. 11, pp. 1521-1528, Nov. 1996.
- [5] S. Kim, H. Park, D. Lee, and J. Choi, "A novel design of an UHF RFID reader antenna for PDA", in *Proc. Asia-Pacific Conf. Microw.*, pp. 1471-1473, Dec. 2006.
- [6] N. Chang, J. Lin, "A novel circularly polarized patch antenna with a serial multi-slot type of loading", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 11, pp. 3345-3348, Nov. 2007.
- [7] M. Song, J. Woo, "Miniaturization of microstrip patch antenna using perturbation of radiating slot", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 5, pp. 417-419, Mar. 2003.
- [8] E. M. Tuner, "Spiral slot antenna", *Wright-Patterson AFB, Ohio, Tech. Note WCLR-55-8 WADC*, Jun. 1995.
- [9] W. I. Son, W. G. Lim, M. Q. Lee, S. B. Min, and J. W. Yu, "Printed square quadrifilar spiral antenna for UHF RFID reader", in *Proc. IEEE Antennas Propag. Int. Symp.*, pp. 305-308, Jun. 2007.
- [10] J. Choo, H. Choo, I. Park, and Y. Oh, "Design of multi-layered polygonal helix antennas for RFID readers in UHF band", in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, vol. 2B, pp. 283-286, Jul. 2005.
- [11] H. Nakano, S. Okuzawa, K. Ohishi, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "A curl antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 41, no. 11, pp. 1570-1575, Nov. 1993.
- [12] H. Choo, H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using an inductively coupled feed", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 22, pp. 3080-3081, Oct. 2003.
- [13] Y. Rahmat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: Willey, 1999.
- [14] R. W. P. King, "Wire and strip conductors over a dielectric-coated conducting or dielectric half-space", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 37, no. 4, pp. 754-760, Apr. 1989.
- [15] 조치현, 추호성, 박익모, 강진섭, "유전자 알고리즘을 사용한 안테나 고차 변압 회로 구성과 변압 회로를 사용한 Wheeler Cap 효율 측정법", 한국전자과학회논문지, 17(8), pp. 753-759, 2006년 8월.
- [16] W. L. Stutzman, *Antenna Theory and Design, 2nd Ed.*, New York: Wiley, 1997.

이 주 용



2007년 8월: 홍익대학교 전자전기 공학과 (공학사)
 2007년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신대학원 석사과정
 [주 관심분야] RFID용 태그 및 리더 안테나 설계

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 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자
공학과 (공학사)
1989년: 일리노이대학교 전기전자
및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년: 일리노이대학교 전기전자
및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~1996년: LG전자기술원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

한 원 근



1982년: 서울대학교 물리학과 (이
학사)
1984년: 서울대학교 물리학과 (이
학석사)
1986년: 브라운대학교 물리학과 (이
학석사)
1991년 브라운대학교 물리학과 (이
학박사)

1991년~현재: 홍익대학교

물리학과/기초과학과 부교수
[주 관심분야] 전산물리학