

UHF RFID Reader용 사각 환형 소형 능동 안테나

Compact Active Integrated Antenna with Rectagular Ring Structure for UHF RFID Reader

윤 기 호

Gi-Ho Yun

요 약

본 논문에서는 UHF RFID Reader 장치에서 고주파 신호 송신을 위한 발진기형 능동 안테나를 설계·제작하였다. 능동 안테나의 방사체로는 임피던스 정합이 용이하면서 좌선 원형 편파 특성을 갖는 소형화된 사각형 링 패치 안테나가 제안되었다. 이를 기반으로 링 패치 내부의 빈 공간에 RF 증폭 회로를 위치시켜 사각형 링 패치와 상호연결하여 케환 구조를 형성함으로써 발진 회로를 구성하였다. 발진 중심 주파수는 915 MHz이며 링 패치는 발진기의 공진기로 활용하였다. 실험 결과, 임피던스 대역폭 29 MHz, 3 dB 축비 대역폭 20 MHz, 3 dB 빔폭 85°, 그리고 유효 방사 전력을 8.8 dBm을 얻었다.

Abstract

In this paper, active integrated antenna with left hand circular polarization(LHCP) for a transmitter of UHF RFID reader has been described. A novel rectangular ring patch as a radiator of the active antenna is proposed for easier impedance matching, smaller patch size, and LHCP characteristics. An amplification circuit is placed in the opening area of the radiator and is combined with it to work as oscillating circuit around 915 MHz. From the test results, impedance bandwidth of 29 MHz, 3 dB axial ratio bandwidth of 20 MHz, 3 dB beamwidth of 85 degree, and effective radiation power of 8.8 dBm have been obtained.

Key words : Active Integrated Antenna, UHF RFID Reader, Ring Patch, Circular Polarization

1. 서 론

최근 RFID 등을 비롯한 새로운 무선 통신 시스템들이 출현하면서 회로의 소형화 및 경제성을 확보하기 위해 여러 기능을 하나로 묶는 복합 RF 회로들이 속속 구현되고 있다. 안테나 분야에서도 안테나와 저잡음 증폭기, 안테나와 발진 회로 등을 결합한 능동 집적 안테나에 대한 연구들^{[1]~[3]}이 있었고, 이들을 통해 전기적인 성능 등을 개선하였으며 회로 크기를 소형화 하였다. 그러나 안테나와 능동 회로가 직렬로 연결되기도 하고^[2], 기관의 상하에 장착되는

등의 구조^[3]들이 대부분이어서 더 이상 회로를 소형화에는 한계가 있었다.

본 연구에서는 능동 회로와 안테나를 새로운 방식으로 결합하는 발진기형 능동 안테나를 제안함으로써 전기적 성능을 개선하고 소형화와 경제성을 추구하고자 한다. 즉, 전통적으로 사용해왔던 마이크로스트립 안테나를 링(ring)형 구조로 변경하여 안테나 크기를 줄이고, 링 패치 내부의 빈 공간에 증폭 기능을 갖는 회로를 위치시켜 이들을 상호 연결하여 케환시킴으로써 발진 회로를 구성하였다. 이러한 능동 안테나는 기존의 발진기형 능동 안테나보

호남대학교 전파이동통신공학과(Department of Mobile Radio Communication Engineering, Honam University)

· 논문 번호 : 20061107-138

· 수정완료일자 : 2007년 1월 12일

다 크기를 대폭감소할 수 있다. 또한 설계된 능동 안테나는 페이딩(fading)에 강한 원형 편파를 구현하여 UHF 대역에서 동작하는 RFID 리더(reader)의 RF 송신 장치에 사용할 수 있도록 그 가능성을 확인해 본다.

II. 능동 안테나 구조

본 연구에서 제안된 발진기형 능동 안테나는 그림 1과 같이 크게 안테나의 방사체 역할을 하는 링 패치와 그 내부의 개구면 빈 공간에 위치하여 증폭 기능을 하는 능동 회로로 구성된다. 링 패치 구조의 방사체는 종래의 마이크로스트립 안테나를 사각형 링 형태로 구조 변경하여 소형화시키며, 방사체 중앙 내부에 정사각형 공간을 마련하여 능동 회로를 위치시킨다. 이때 링 패치는 안테나의 방사체 역할뿐만 아니라 발진 주파수를 결정할 수 있는 공진기로서 사용된다.

즉, 그림 1에서처럼 링 패치의 내부 빈 공간에 원하는 발진 주파수 주변에서 고주파 신호를 증폭하는 증폭 회로(그림 1의 amplifier)를 위치시키고 링 패치의 두 개의 입출력 포트(port 1, port 2)와 증폭 회로의 입출력단을 연결하여 발진기 동작을 위한 정제환 시스템을 구성한다. 공진기 역할을 하는 링 패치와 증폭기가 결합하여 발진기로 동작하기 위해서는 다음 식(1)과 같은 Barkausen 발진 조건을 만족해야 한다^[4].

$$\begin{aligned} \text{Mag}[G(j\omega)H(j\omega)] &= 1 \\ \text{Ang}[G(j\omega)H(j\omega)] &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

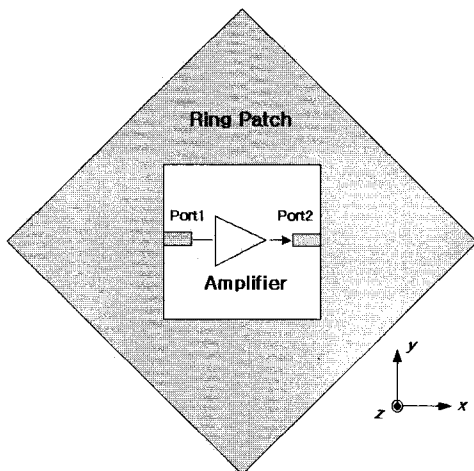
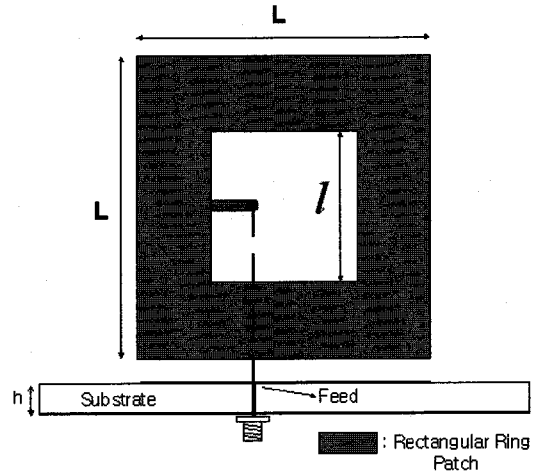
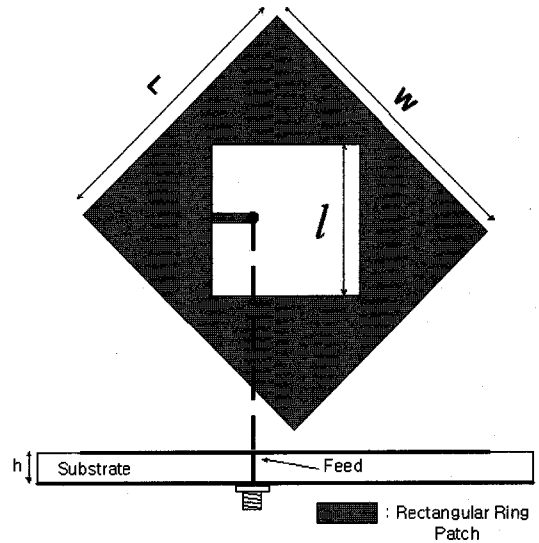


그림 1. 제안된 능동 안테나의 개략적 구조
Fig. 1. Geometry of a proposed active antenna.

여기에서 $G(j\omega)$ 는 폐 루프(closed loop)상의 증폭기 이득, $H(j\omega)$ 는 폐 루프상의 공진기 전달 특성과 증폭기 이득 제한기(limiter)의 전달 특성의 곱으로 표현된다. 증폭기는 발진 신호를 발생시킬 수 있는 에너지 모멘텀(momentum)을 가질 수 있도록 gain margin을 가져야 한다. 평형 상태에서는 식 (1)에서 주어지는 발진 조건을 만족한다. 즉, 평형 상태에서 증폭기의 이득과 공진기인 패치의 손실의 곱이 1이며, 증폭기



(a) 정사각형 링 패치 구조
(a) Geometry of conventional square ring patch



(b) 45°로 회전된 사각 링 패치
(b) Rectangular ring patch with 45° rotated

그림 2. 사각 링 패치 구조
Fig. 2. Rectangular ring patch geometry.

와 패치 경로에 따른 개방 루프(open loop) 위상의 합이 영(zero)을 갖는다^{[4],[5]}.

본 연구에서는 능동 안테나의 방사 패치에 대한 소형화 방법으로 그림 2(a)와 같이 마이크로스트립 안테나 중앙 부분을 제거함으로써 링 형태의 정사각형 패치 구조를 만들어 전류 길이를 늘렸다^{[6],[7]}. 이때 링 패치의 내부 빈 공간의 길이(l)가 길어질수록 소형화의 장점이 있지만 급전점에서 입력 임피던스가 증가하고 협대역화 되는 문제점들이 있다. 이를 개선시키기 위해 그림 2(b)와 같이 외곽 사각형을 45도 회전시켜서 급전 부분과 만나는 패치 부분을 코너에 위치시킴으로써 입력 임피던스를 보다 낮출 수 있다.

한편, 제안된 능동 안테나는 좌선원 편파 특성을 갖도록 링 패치 외곽 길이 L 와 W 의 길이를 조절한다. 이들 길이를 서로 달리함으로써 각각의 길이에서 공진 모드(TM₀₁, TM₁₀)를 형성, 각 모드가 90도의 위상차와 같은 크기로 형성된다^[8].

III. 설계 및 모의실험 결과

UHF 대역의 RFID 리더의 송신기에 사용할 수 있도록 915 MHz를 중심으로 좌선원 편파 특성을 갖는 소형화된 능동 안테나를 설계하였다. 설계 목표는 표 1에 제시하였다.

능동 안테나의 링 구조의 패치를 중심 주파수 915 MHz에서 설계하였다. 본 연구의 모의 실험은 모두 Ansoft사의 Designer를 이용하였다. 편파 특성을 확보하기 위해 패치의 외측 길이(L , W)에 근소한 차이를 두었으며 내측 길이 25 mm로 정사각형 모양이다. 그림 3에서 볼 수 있는 링 패치의 전류 분포를 통해 패치의 내부에 슬롯을 두어 길어진 전류 경로를 확인할 수 있다. 또한 짧은 길이(L)와 긴 길이(W)에 따라 각

표 1. 설계 목표

Table 1. Design goals.

항 목	목표 사양
동작 주파수	910~920 MHz
축비 대역폭(3 dB)	10 MHz(LHCP)
임피던스 대역폭(10 dB)	20 MHz
3 dB 빔 폭	80°
유효 방사 전력	8 dBm

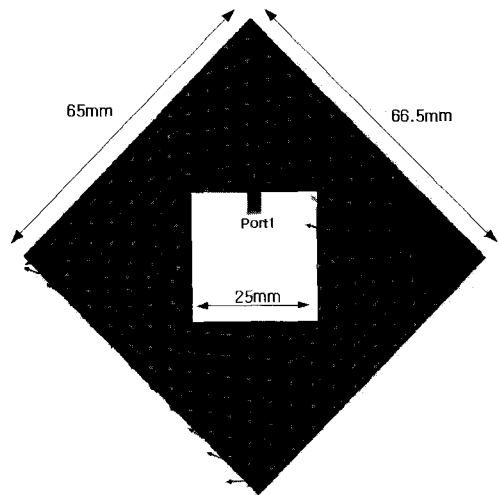


그림 3. 설계된 링 패치 안테나의 전류 분포

Fig. 3. Current distribution of the simulated ring patch.

자의 두 개의 전계 모드가 형성되는 것을 예측해 볼 수 있다. 그림 4는 모의 실험 결과 얻어진 스미스 차트로 링 패치의 입력단 반사 특성을 보여준다. 915 MHz를 중심으로 20 MHz 이상에 걸쳐 10 dB 반사 특성이 확보되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 915 MHz를 중심으로 임피던스 궤적이 kink를 형성하고 있어, 원형 편파를 형성하는 두 개의 공진 모드(TM₀₁, TM₁₀)에 의해 10 MHz 이상의 원형 편파 대역폭을 기대할 수 있다. 그림 5는 좌선원 편파에 대한 편파 특성의 성능을 나타내는 축비 대역폭의 모의 실험

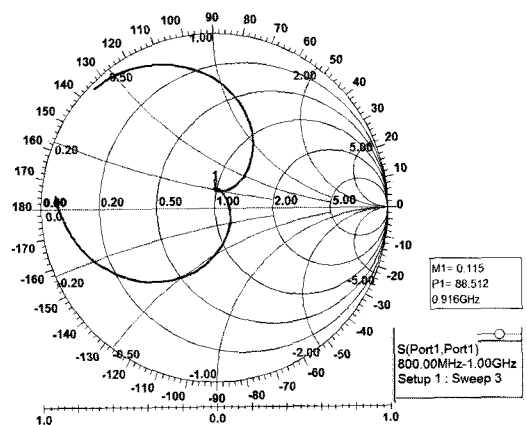


그림 4. 링 패치의 반사 특성 모의 실험 결과

Fig. 4. Simulated return loss(S_{11}) of the ring patch antenna.

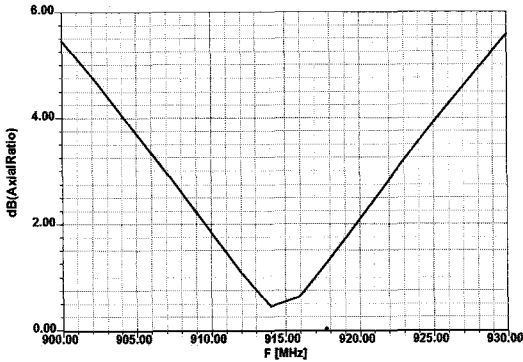


그림 5. 3 dB 축비 대역폭의 모의 실험 결과
Fig. 5. Simulated 3 dB axial ratio bandwidth.

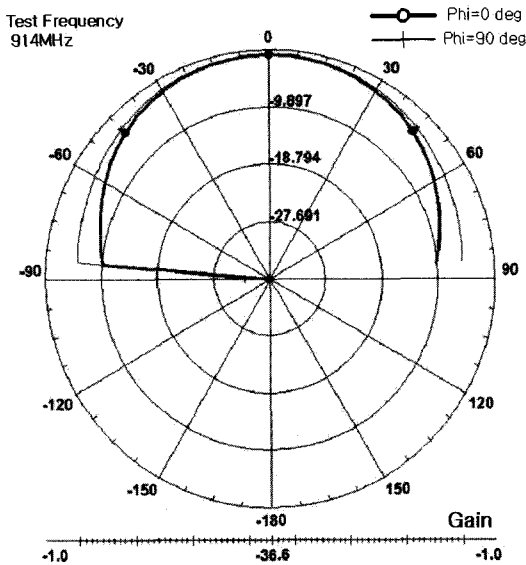


그림 6. 링 패치의 방사 패턴 모의 실험 결과
Fig. 6. Simulated radiation pattern.

결과이다. 915 MHz를 중심으로 3 dB 축비 대역폭은 907.5~922.5 MHz를 얻었으며 이는 표 1의 설계 목표를 만족할 수 있다.

그림 6은 설계된 패치 안테나가 중심 주파수인 915 MHz에서 링 패치의 전방향으로 방위각(ϕ)이 0° 일 때와 90° 일 때의 방사 패턴을 보여준다. 전통적인 패치안테나의 방사 패턴과 매우 흡사하며 약 90° 의 빔 폭을 갖는다. 능동 안테나의 방사체를 링 구조로 한 결과 소형화를 시켰지만 실효 면적이 줄어 방사 에너지가 줄어든 나머지 이득이 약 -1 dBi 근처에 머물렀다. 그림 7에는 링 패치와 증폭 회로가 결합

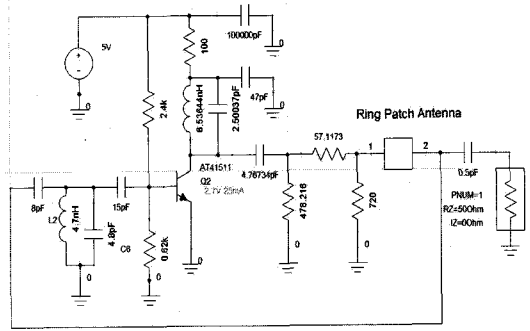


그림 7. 능동 안테나의 회로도
Fig. 7. Schematic diagram of the active integrated antenna.

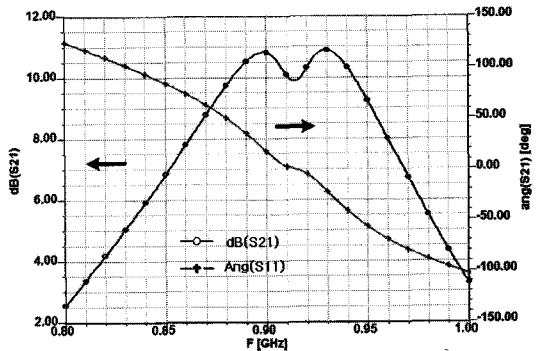


그림 8. 개방 루프 이득 및 위상 모의 실험 결과
Fig. 8. Simulated open loop gain and phase.

된 발진기의 회로도를 보여준다. 여기서 링 패치는 915 MHz에서 공진하여 발진 주파수를 선택하기 위한 대역 통과 여파기 또는 공진기 역할을 한다. 능동 소자로서 바이폴라 트랜지스터인 AT41511을 사용하였고, 입출력단에 병렬 공진 회로를 위치시켜 915 MHz 부근에서만 이득을 얻게 함으로써 통상 이득이 큰 낮은 주파수 대역에서 발진을 억제하였다. 그림 7에서 증폭기 출력단에 증폭기의 이득을 조정하기 위한 감쇄기를 두어 발진 조건을 만족하게 하였다.

그림 8에는 그림 7에서 링 패치의 출력이 증폭기의 입력 단자로 다시 케환되지 않은 개방 루프 상태, 즉 증폭기와 링 패치의 전달 특성을 결합한 모의 실험 결과를 보여준다. 작은 발진 신호를 증폭하여 정상 상태로 도달하게 하는 발진 모멘텀을 확보하기 위한 소신호 gain margin이 약 10 dB 이상인 것을 알 수 있으며, 식 (1)의 발진 조건처럼 발진 정상 상태일

때 주파수를 결정하는 위상값이 915 MHz 근처에서 'zero' 값을 갖는 것을 예상할 수 있다.

한편, 능동 안테나의 출력 특성은 안테나 이득과 발진 출력의 곱인 유효 방사 전력(effective isotropic radiation pattern)으로 표현되며, 본 연구에서는 안테나 이득이 약 -1 dBi이며 증폭용 소자로 사용된 AT41511의 포화 출력이 10 dBm이므로 약 9 dBm 근처의 유효 방사 전력을 예상해 볼 수 있다.

IV. 제작 및 측정 결과

본 연구의 능동 안테나는 유전율 4.4, 유전체 높이가 1.6 mm인 FR4 Epoxy 기판상에 제작되었다. 표 1에 나타난 목표 성능 중에 축비 및 임피던스 대역폭을 만족하기 위해 링 패치의 외각 길이인 L 과 W 를 미세 조정하였다. 그림 9는 제작 완료된 능동 안테나를 보여준다. 모든 회로가 $66.5 \times 65 \text{ mm}^2$ 의 링 패치 내에서 구현되었다.

그림 10은 제작된 능동 안테나에서 증폭 회로만의 고주파 소신호 증폭 특성을 나타낸다. 증폭 특성을 나타내는 전송값(S_{21})은 14.383 dB로써 소신호에서 발진 모멘텀으로 충분하다. 반사 특성을 나타내는 S_{11} , S_{22} 는 각각 -9.271 dB, -11.457 dB으로서 링 패치와 연결시에 공진기 고유 특성을 얻어낼 수 있다. 그림 11은 능동 안테나의 방사체인 링 패치의 임피던스 궤적을 측정하였다. 스미스 차트에 나타난 임피던스 대역폭은 898.9~927.85 MHz로 약 29 MHz의 10 dB 대역폭을 가지며, 그림 11처럼 중심 주파수

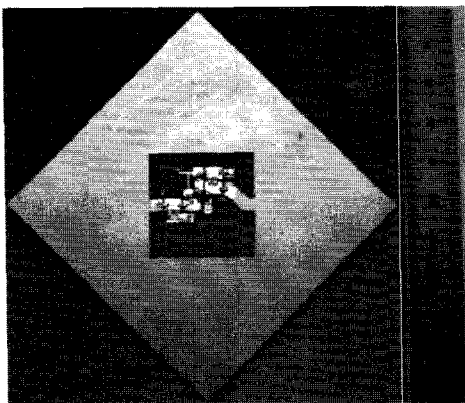


그림 9. 제작된 능동 안테나의 사진
Fig. 9. Photograph of the fabricated antenna.

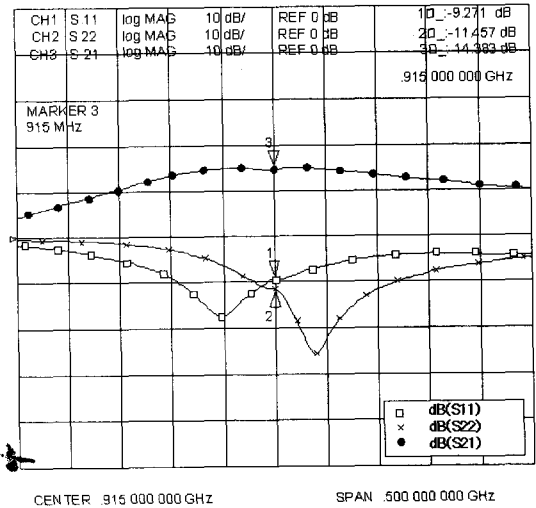


그림 10. 증폭회로의 고주파 증폭 특성
Fig. 10. Test results of the amplifier.

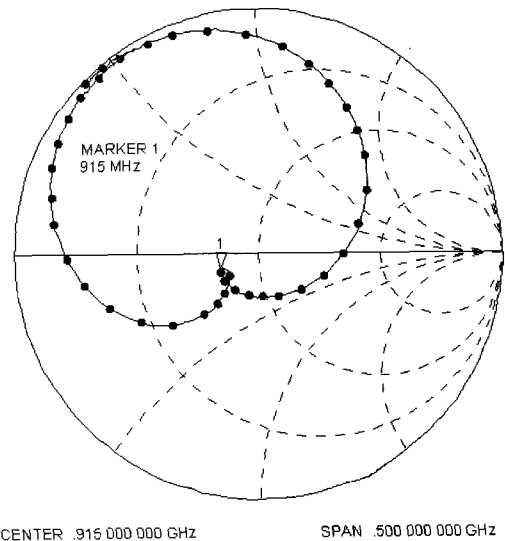
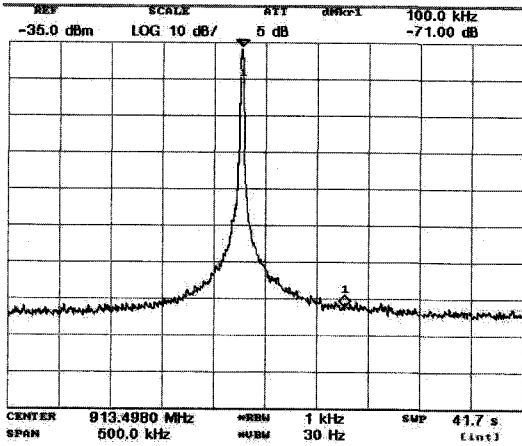


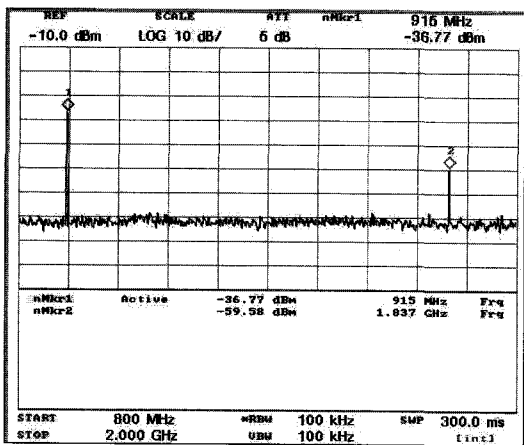
그림 11. 링 패치의 임피던스 궤적
Fig. 11. Impedance locus of the ring patch.

인 915 MHz를 중심으로 kink를 형성시켜 편파 특성을 얻을 수 있는 가능성을 제공하고 있다.

그림 12는 능동 안테나의 발진 신호와 고조파 특성을 보여준다. 그림 12(a)에서 발진 신호에 대한 100 kHz일 때 위상 잡음을 볼 수 있으며, 원하는 발진 주파수인 915 MHz에서 약간 벗어나 있으나 그림 7에 있는 능동 회로를 미세 조정하여 정확한 주파수를 얻어낼 수 있다. 그림 12(b)에는 기본파 신호와 약 26



(a) 주 발진 신호의 스펙트럼
(a) Spectrum of fundamental oscillation signal



(b) 발진 신호의 고조파 특성
(b) Harmonics of the oscillation signal

그림 12. 발진 신호 스펙트럼 및 고조파 특성
Fig. 12. Oscillation signal(a) and its harmonics(b).

dB 정도 차이가 나는 제 2차 고조파를 확인할 수 있

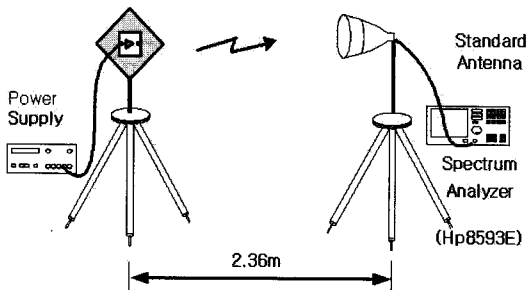
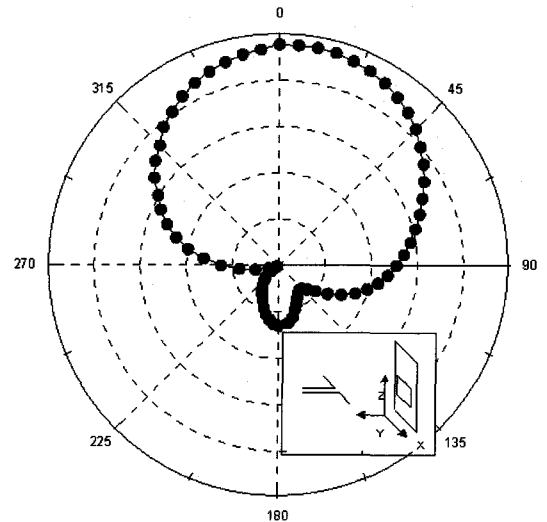
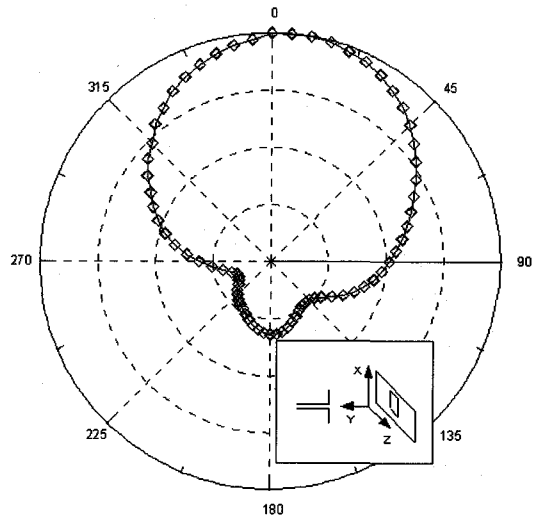


그림 13. 측정 장치 구성도
Fig. 13. Test setup for the active antenna.

었다. 그림 13은 안테나 방사 패턴과 유효 방사 전력을 측정하기 위한 측정 구성도를 보여준다. 측정은 전파 무반사실에서 측정하였고 제작된 능동 안테나를 송신용 안테나로 사용하였다. 또한 송신된 발진 신호의 수신을 위해 정보가 알려진 표준 안테나와 이와 연결된 스펙트럼 분석 장치(HP 8593E)를 이용하였다. 그림 14는 측정된 능동 안테나의 방사 패턴을



(a) H-평면 방사 패턴
(a) H-plane radiation pattern



(b) E-평면 방사 패턴
(b) E-plane radiation pattern

그림 14. 제안된 능동 안테나의 방사 패턴
Fig. 14. Radiation patterns of the proposed active integrated antenna.

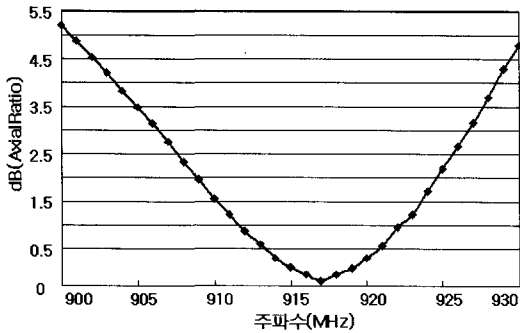


그림 15. 3 dB 축비 대역폭
Fig. 15. 3 dB axial ratio bandwidth.

표 2. 제안된 능동 안테나의 측정 결과 요약
Table 2. Summarized test results.

항목	목표 사양	측정 결과
동작 주파수	910~920 MHz	899~928 MHz
축비 대역폭 (3 dB)	10 MHz(LHCP) @ 915 MHz	20 MHz(LHCP) @ 915 MHz
임피던스 대역폭(10 dB)	20 MHz @ 915 MHz	29 MHz @ 915 MHz
3 dB 빔 폭	80° min.	85°
유효 방사 전력	9 dBm	8.8 dBm

보여준다. 그림 14(a)에서 H-평면 방사 패턴과 그림 14(b)에서 E-평면 방사 패턴을 볼 수 있다. 일반 패치 안테나와 방사 패턴과 유사하게 전 방향으로 약 85도의 3 dB의 빔 폭을 갖는다. 능동 안테나의 출력 전력은 그림 13의 측정 장치 구성도에 있는 스펙트럼 분석기 또는 전력 미터에서 얻어낼 수 있으며, 거리에 따른 손실, 측정용 케이블 손실, 수신 안테나 이득 및 기타 보정 팩터들을 보정하여 계산하였다. 측정 결과 중심 주파수에서 8.8 dBm이 측정되었고 이는 설계 예상치와 상당히 유사 값을 가진다. 그림 15는 능동 안테나의 좌선원 편파에 대한 편파 특성의 성능을 나타내는 3 dB 축비 대역폭을 실험한 결과이다. 측정 결과 906.5~926.5 MHz(20 MHz)로 RFID 시스템에서 요구하는 설계 스펙을 만족한다. 표 2는 본 논문에서 제안된 안테나의 목표 사양과 측정 결과를 비교하여 정리한 결과이다.

V. 결 론

본 연구에서는 링 패치와 능동 회로를 결합하여 소형화된 발진기형 능동 안테나를 RFID 리더 장치의 송신용으로 설계·제작하여 그 가능성을 입증하였다.

기존의 마이크로 스트립 안테나를 소형화시킨 직사각 링형 패치 형태로 제작하였으며, 중앙에 위치한 정사각형 개구면에 증폭 가능한 능동 회로를 삽입하여 전체적으로 UHF 대역에서 발진하는 능동 안테나를 설계·제작하였다. 측정 결과로는 10 dB 임피던스 대역폭은 29 MHz, 좌선원 편파의 3 dB 축비 대역폭은 20 MHz, 3 dB 빔 폭은 85도의 전면 방향성 방사 패턴을 얻었고, 유효 방사 전력은 8.8 dBm의 측정 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통해 얻어진 결과를 이용하여 전압 제어 발진기형 능동 안테나로 발전시키고 나아가 주파수 합성기와 변조 기능을 갖춘 초소형 능동집적 안테나로 더욱 진보될 수 있을 것으로 판단된다.

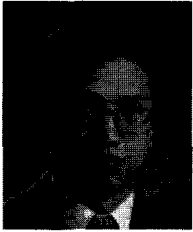
참 고 문 헌

- [1] K. Chang, R. A. York, and T. Itoh, "Active integrated antennas", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 50, no. 3, pp. 937-943, Mar. 2002.
- [2] T. T. Ormiston, P. Gardner, "A novel highly compact low noise active antenna", *IEE Colloquium on RF and MW Components for Comm. System*, Digest no. 1997/126, Apr. 1997.
- [3] D. G. Kurup, A. Rydberg, "Amplifying active reflect antenna using a microstrip T coupled patch-Design and measurement", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 51, no. 8, pp. 1960-1964, Aug. 2003.
- [4] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Second Edition, Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey 07458, pp. 384-388, 1997.
- [5] R. W. Rhea, *Oscillator Design and Computer Simulation*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, pp. 115-116, 1997.
- [6] P. M. Bafrooer, L. Shafai, "Characteristics of single layer and double layer microstrip square ring antennas", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 47, no. 10, pp. 1633-1639, Oct. 1999.

[7] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, "Single feed square ring microstrip antenna with truncated corner for compact circular polarization operation", *Electron letters*, vol. 34, no. 11, pp. 1045-1047, 1998.

[8] 장원석, 윤기호, "GPS용 이중원형편파 특성을 갖는 사각 Ring 패치안테나에 관한 연구", 하계전자과학기술학술대회, pp. 66-70, 2006년 6월.

윤 기 호



1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1986년 1월~1997년 2월: 삼성종합

기술원, 삼성전기 근무

1997년 3월~현재: 호남대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] RF 능동 및 수동회로, 안테나 등