

UHF RFID 리더기용 송수신 겸용 이중 편파 안테나

Dual-Polarized Tx/Rx Antenna for UHF RFID Reader

강 채 운 · 윤 기 호

Chae-Woon Kang · Gi-Ho Yun

요 약

본 논문에서는 UHF 대역의 RFID 리더기용 송수신 겸용 이중 편파 안테나를 설계·제작하였다. RFID reader 용 안테나에서 가장 중요시 되는 각 포트간의 격리도나 편파 분리도 특성을 개선시키기 위해서 송·수신부의 급전 구조를 각각 설계하였고, 안테나의 방사부의 여기 방식은 시퀀셜 로테이션 방식으로 여기시켜 축비 대역폭을 증가시켰다. 제작된 안테나의 측정 결과로는 900 MHz~928 MHz에서의 안테나 이득은 약 2.35 dBi, 3 dB의 축비 범위에서 축비 대역폭은 150 MHz, 포트 격리도는 -38 dB ~ -40 dB, 원형 편파의 편파 분리도는 -30 dB ~ -40 dB의 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, dual-polarized antenna for UHF RFID reader has been described. Feeding network and antenna structure have been designed, such that both port isolation between transmitting and receiving port and cross-polarization be maximized, and overall antenna size be minimized as well. In addition, sequentially rotated feeding scheme has been adopted to secure axial ratio bandwidth in the circular polarization. Test results show 2.35 dBi antenna gain in 900 to 928 MHz frequency range and 150 MHz axial ratio bandwidth, respectively. And, the proposed antenna has a port isolation of -40 to -38 dB and a cross-polarization of -40 to -30 dB.

Key words : RFID, Dual-Polarized Antenna, Sequential Rotation, Circular Polarization, Isolation

I. 서 론

일반적으로 UHF 대역의 RFID 리더기의 안테나는 송신과 수신 안테나를 따로 사용하고 있다. 이처럼 송수신 안테나를 따로 사용하게 될 경우 단일 안테나로서의 최적의 성능을 기대할 수는 있지만 안테나의 전체 사이즈 또는 안테나가 차지하는 면적이 넓어지게 된다. 또한 안테나의 신호가 수신 안테나로 직접적으로 영향을 미치게 되어 리더기 수신부의 수신 감도를 저하시키므로 이를 개선하기 위해 높은 송수신 분리도를 요구하고 있다.

이중 편파 안테나의 성능을 결정하는 송수신 포트 간의 격리도 특성을 향상시키거나 원하는 편파

분리도를 얻기 위해 응용되고 있는 급전 구조에는 다양한 방법이 있다^{[1],[4]}.

이중에는 개구면 결합 급전이 주류를 이루고 있다. 그러나 개구면 결합 급전 방식은 각 포트간의 격리도는 향상되나 편파 분리도 향상에는 어려움을 겪고 있기 때문에 포트 분리형 급전 구조를 사용하고 있다. 그리고 원형 편파 안테나의 특성인 축비 대역폭의 향상을 이루기 위해서는 시퀀셜 로테이션을 적용한 배열을 통해서만 충분한 축비 대역폭을 확보할 수 있다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 안테나가 가지는 전체 크기 축소와 송수신 안테나간의 포트 격리도와 편파 분리도를 개선시키기 위해 UHF 대역에서 RFID 리더기용 송

호남대학교 전자공학과(Department of Radio Engineering, Honam University)

· 논문 번호 : 20051007-115

· 수정완료일자 : 2005년 12월 16일

수신 겸용 이중 편파 안테나를 설계 및 제작하였다. 안테나는 방사 패치의 가장자리 네 곳의 급전점에 똑같은 크기를 갖고 각각 90°의 위상차로 급전시키는 시퀀셜 로테이션 방식으로 프로브 급전하였고, 송신과 수신의 급전 회로를 접지면을 중심으로 적층 구조로 설계하여 안테나의 전체 크기를 기존의 안테나와 비교시 50% 가량 축소시켰다. 또한 높은 송수신 분리도를 얻기 위해 송수신 급전 회로를 분리시켜 송·수신 경로 사이의 격리 특성을 가지도록 하였고, 단락 핀을 이용하여 편파 분리도를 개선할 수 있었다. 한편 측정 결과는 상용 제품의 성능과 비교하여 본 논문의 타당성을 입증하였다.

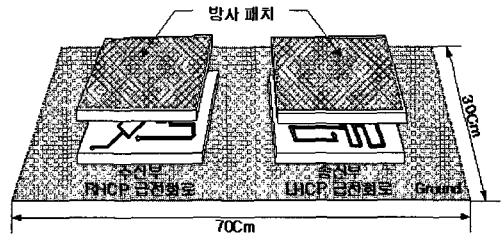
II. 안테나 설계

2-1 구조 및 동작 특성

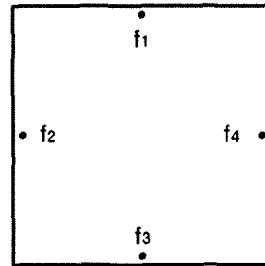
본 논문에서는 방사 패치와 급전 회로를 접지면을 중심으로 급전 회로를 송신과 수신 회로로 분리함으로써 적층형 급전 구조를 갖는 안테나를 제안하였다. 그림 1은 제안한 안테나의 전체적인 블록도이다. 그림 1(b)의 f_1, f_2, f_3, f_4 는 시퀀셜 로테이션 급전을 위한 4개의 급전점이다. 그림 1(c)는 4개의 급전점에 각기 90°의 위상차를 주기 위한 급전 회로의 구조이며, $P_{Tx}, P_{Rx}, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$ 들은 모두 전력 분배기로서 Wilkinson 구조이다. 급전 회로의 동작 특성은 전력 분배기 P_{Tx} 로 들어온 송신 신호가 동일한 크기와 위상으로 P_1 과 P_5 로 신호가 분배된다.

분배된 신호는 P_1 과 P_5 의 각 포트에서 각기 90° 위상차를 주는 지연 선로(DL_1, DL_2, DL_3, DL_4)를 통해 급전점 f_1, f_2, f_3, f_4 에서 각기 0°, 270°, 180°, 90°의 위상으로 시퀀셜 로테이션 급전이 이뤄진다.

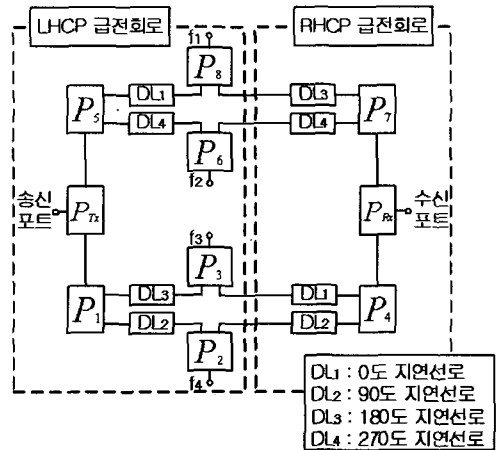
또한 수신된 신호는 4개의 급전점을 통해 전력 분배기 P_6, P_4, P_7 로 수신되어 전력이 합성된다. 전체 송신 급전 회로와 수신 급전 회로가 Wilkinson 전력 분배기들을 통해 연결되었기 때문에 분배기와 지연 선로의 길이에 따른 위상이 정확히 구현되는 경우에 송수신 포트간의 분리도를 확보할 수 있다. 또한 동일한 송수신 경로를 따라 4개의 급전점에서 90°의 위상차가 정확히 확보되도록 설계한 경우에 원하는 편파 분리도를 얻을 수 있다. 그림 1의 안테나의



(a) 상용 안테나
(a) Commercial antenna



(b) 방사 패치
(b) Radiation patch



(c) 급전 회로
(c) Feeding network

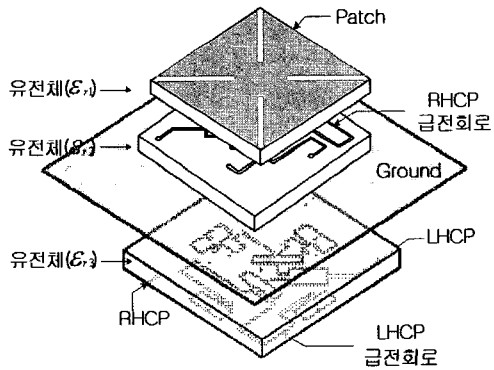
그림 1. 안테나의 블록도
Fig. 1. Block diagram of antenna.

방사 패치(b)와 급전 회로(c)를 접지면을 중심으로 적층해 구성한 구조도는 그림 2에 제시하였다. 그림 2(b)는 측면 구조도로서 맨 윗면에는 시퀀셜 로테이션 급전을 위해 4개의 급전점을 갖는 방사 패치가 위치해 있고, 방사 패치의 중간에 삽입된 단락 핀은 방사 패치의 중간 지점을 short로 고정시켜 정사각형 패치에서 각 폭과 길이에서 공진하는 모드(TM₀₁,

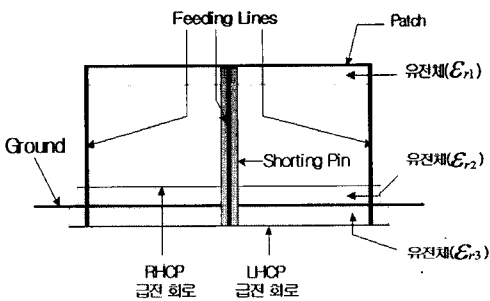
TM₁₀)를 원활히 생성해 주기 위해 추가하였다. 바로 밑면에는 상대 유전율을 낮추기 위해 공기층을 삽입하였으며, 접지면의 윗 층에 수신단 급전 회로가 위치하고, 접지면의 맨 아래 층에 송신단 급전 회로가 위치한다. 방사 패치의 유전체의 유전율은 ϵ_{r1} 이고, 각 급전 회로의 유전체의 유전율은 각기 ϵ_{r2} , ϵ_{r3} 이다. 그림 1(c)의 수신단 급전 회로를 접지면의 윗면에 위치시켜 RHCP로 구동이 되도록 위상 포트의 위치를 조정하였고, 송신단 급전 회로는 접지면 아래면에 위치시켰다. 그리고 각 급전 회로의 위상 지연 선로를 지나 급전 회로끼리 만나는 접점에 전력 분배기를 LHCP 급전 회로 보드에 추가하여 송수신 경로를 분리시킴으로서 송수신단의 포트 분리 특성이나 편파 분리 특성을 개선시키는 역할을 하게 된다.

2.2 안테나 설계

Wilkinson 전력 분배기와 지연 선로의 위상차를



(a) 입체도
(a) 3-dimensional view



(b) 측면도
(b) Side view

그림 2. 안테나 구조
Fig. 2. Antenna structure.

이용하여 송수신간의 높은 격리 특성을 나타내는 UHF RFID reader용 송수신 겸용 이중 편파 안테나를 설계하기 위하여 Ansoft사의 Ensemble 9.0을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 2(a)의 입체도에 나타난 것처럼 안테나는 방사 패치와 두 개의 송수신 급전 회로로 구성되어 있다. 방사 패치의 경우 설계 대역 (902 MHz~928 MHz) 이상의 임피던스 대역폭 확보와 경제성, 그리고 소형화에 초점을 맞추어 설계하였다. 그림 3에 방사 패치의 설계 파라미터들을 도시하였다. 방사 패치의 설계 파라미터는 방사 패치의 길이(L_p)와 폭(W_p)이며, 패치의 사이즈를 줄이기 위해 모서리 부분에 추가된 슬릿의 폭(W_s), 슬릿의 위치(L_s), 그리고 지름 4 mm의 단락 핀으로 정의된다. 또한 패치 가장자리에 위치한 4개의 급전점(f_1, f_2, f_3, f_4)은 패치 중앙의 단락 핀으로부터 L_p 만큼 떨어진 지점에 위치한다.

방사 패치에 사용된 기판 재료(ϵ_{r1})은 경제성을 고려하여 FR4(유전율: 4.7, 높이: 1 mm)를 사용하였다. 마이크로스트립 안테나의 단점인 좁은 대역 특성을 보완하기 위해 방사 패치의 바로 밑면에 공기층(높이: 35 mm)을 삽입하여 설계 대역에서의 임피던스 대역폭을 확보하였다. 그리고 방사 패치에 슬릿을 삽입하여 전류의 전기적 길이를 증가시켜 안테나의 물리적인 크기를 축소시키면서도 설계 대역에서 공진이 일어나도록 하였다.

또한 공기층의 높이와 슬릿의 삽입 정도에 따라 패치 급전점의 임피던스가 달라지므로 슬릿의 길이

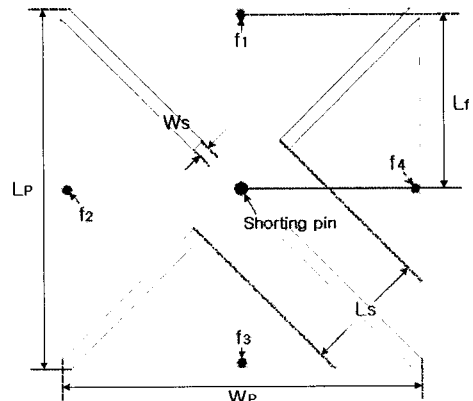


그림 3. 방사 패치의 파라미터
Fig. 3. The parameters of radiation patch.

표 1. 방사 패치에 대한 파라미터 수치

Table 1. The parameter values of radiation patch.

Parameter	Value(mm)
L_P	117.52
W_P	117.52
L_S	40
W_S	4
L_f	57

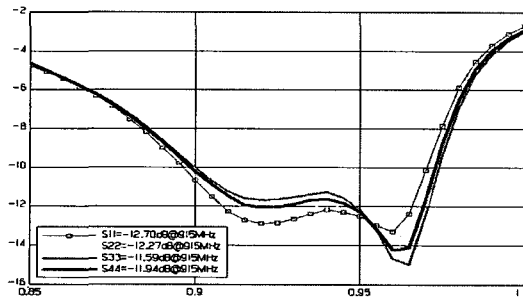


그림 4. 각 포트의 반사 손실
Fig. 4. Return loss of ports.

에 따라 급전점을 바꾸어 설계하였다. 급전점의 위치와 슬릿의 길이 조정에 따라 최적화된 파라미터 수치를 표 1에 제시하였고, 그에 따른 시뮬레이션 결과를 그림 4에 도시하였다. 표 1에 제시된 파라미터 수치에 따라 시뮬레이션한 결과, 중심 주파수인 915 MHz에서 VSWR 2 이하의 결과를 얻을 수 있었다.

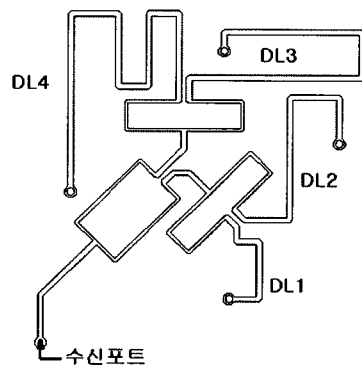
그림 5는 급전 회로를 설계한 결과이다. 그리고 시뮬레이션을 통해 얻은 최적의 파라미터는 표 2에 제시하였다. 급전 회로의 주요 설계 파라미터는 Wilkinson 전력분배기의 70.7 Ω 선로의 폭(W_1), 길이(L_1), 그리고 위상 지연 선로의 길이(DL_1, DL_2, DL_3, DL_4)로 정의된다. 그림 6은 설계된 급전 회로의 시뮬레이션 결과로서 각 포트의 반사 특성은 설계 대역에서 VSWR 1.5 이하로 50 Ω에 근접한 값을 가지고 송수신 포트 간의 격리도는 -48 dB로 우수한 시뮬레이션 결과를 보인다.

시뮬레이션을 통하여 최적화된 방사 패치와 급전 회로의 설계치를 바탕으로 본 논문에서 제안한 안테나를 전체적으로 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 안테나의 시뮬레이션 결과이다. 그림 7(a)는 각 포트의 반사 특성과 각 송수신 포트간의

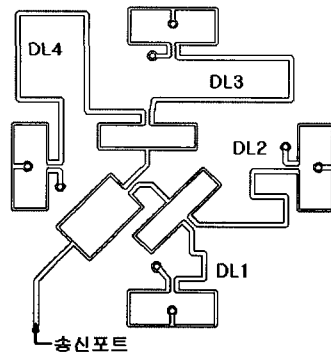
표 2. 급전부에 대한 파라미터 수치

Table 2. The parameter values of feeding network.

Parameter	Value(mm)
W_1	1
L_1	40
DL_1	44.58
DL_2	92
DL_3	130.73
DL_4	174.3



(a) RHCP 급전 회로
(a) RHCP feeding circuit



(b) LHCP 급전 회로
(b) LHCP feeding circuit

그림 5. 급전 회로의 파라미터
Fig. 5. The parameters of feeding circuits.

격리도에 대한 시뮬레이션 결과이다. 중심 주파수 (915 MHz)에서의 반사 손실은 -20 dB 이하 값을 만족하고, 송수신 포트간의 격리도는 -42 dB의 격리도를 가진다.

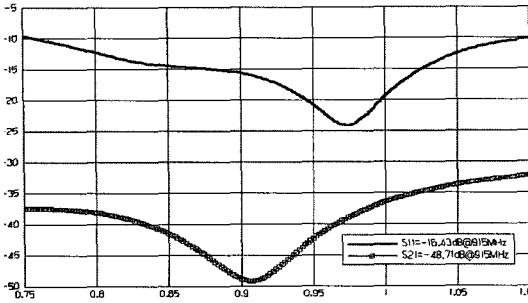


그림 6. 급전 회로의 반사 특성과 포트 격리도
Fig. 6. Return loss and port isolation of feeding circuit.

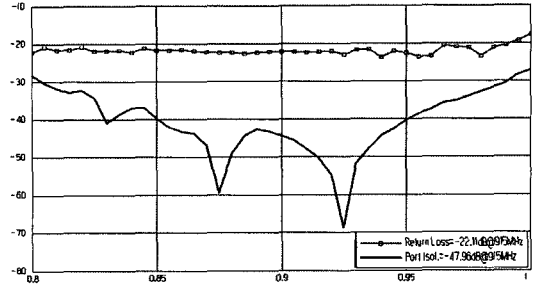
그림 7(b)는 안테나의 이득과 축비, 그리고 편파 분리도에 대한 시뮬레이션 결과이다. 안테나의 이득은 3.3 dBi의 이득을 가지고 편파 분리도는 -30 dB, 축비는 설계 대역에서 모두 3 dB 이하를 만족한다. 그림 7(c)는 안테나의 방사 패턴에 대한 시뮬레이션 결과이다. 전체적 시뮬레이션 결과를 보면 우수한 포트 격리도와 편파 분리도를 가지지만, 안테나의 이득이 3.3 dBi의 낮은 이득 특성을 보이고 있다.

안테나의 방사체만의 이득은 5.35 dBi이므로 급전 회로에서 2 dB 정도의 손실을 가진다는 것을 알 수 있다. 이는 저가의 손실이 큰 FR4 보드상에 2개분의 Wilkinson 전력 분배기의 삽입 손실과 지연 선로들의 경로 손실, FR4 보드의 기판 손실, 그리고 mismatching에 의한 손실들로 분류할 수 있다. 이는 넓은 축비 대역폭을 위해 시퀀셜 로테이션 급전 방식으로 신호를 여기시킴으로 인한 구조상의 단점이라고 볼 수 있다. 그리고 이를 개선하기 위해서는 안테나의 방사체에 사용된 FR4 기판 대신 동판만을 사용하거나 급전 회로의 간략화를 통하여 안테나 이득 향상을 기대할 수 있을 것이다.

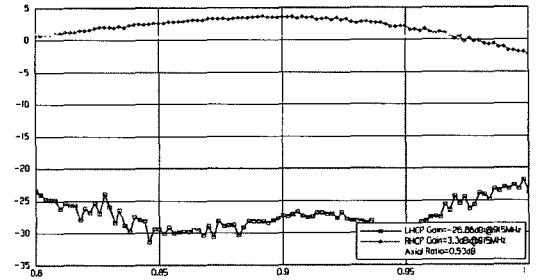
III. 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션 결과를 통하여 얻은 설계치를 바탕으로 UHF RFID reader용 송수신 겸용 이중 편파 안테나를 설계 및 제작하였다. 설계시 삽입된 공기층의 높이와 지연 선로의 길이를 조정하여 주파수 및 송수신 포트간의 격리도 등을 적절히 맞추었다.

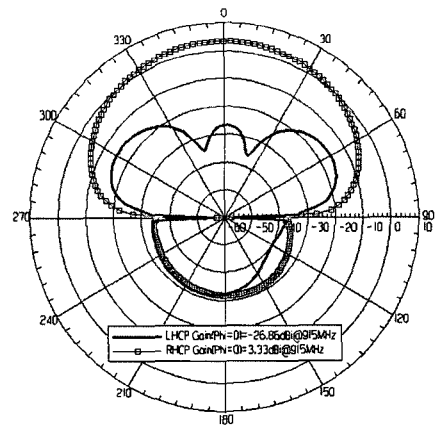
그림 8은 RFID reader용 송수신 겸용 이중 편파 안테나의 실제 제작된 모습이다. 구현된 안테나는 net-



(a) 반사 손실 및 포트 격리도
(a) Return loss and port isolation



(b) 이득, 편파 분리도 및 축비
(b) Gain, port isolation, and AR



(c) 안테나 방사 패턴
(c) Radiation pattern

그림 7. 제안한 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulated results of proposed antenna.

work analyzer를 이용해 반사 손실 및 포트 격리도 등을 측정하였다. 그림 9는 안테나의 측정된 반사 손실과 포트 격리도를 나타낸다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 반사 손실 특성을 측정 대역 전체적으로 S_{11} 값이 -10 dB 이하이며, 각 포트간의 격리도(S_{21} 또는 S_{12})는 -40 dB의 우수한 특성을 가짐을 알 수

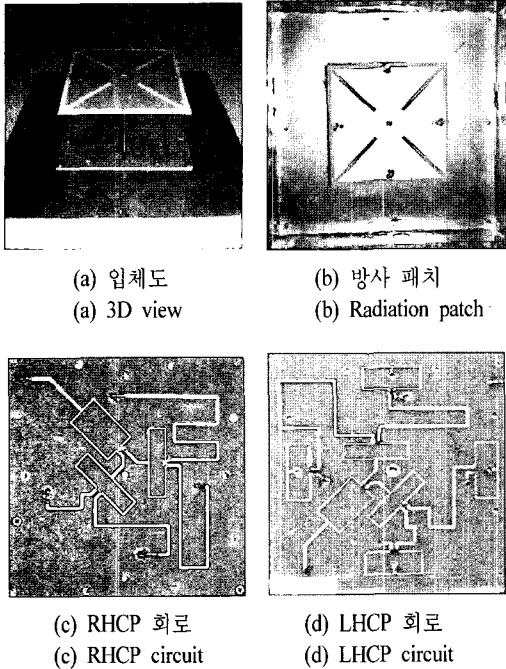


그림 8. 제안한 안테나 모델의 사진
Fig. 8. Photograph of proposed antenna.

있다.

표 3은 무반사실(3.5 m×5 m×3 m)에서 안테나를 전파 흡수체에서 일정거리 d 만큼 떨어트린 후 거리 d 에 따른 포트 격리도의 변화를 측정하는 것이다. 무반사실에서 주변의 영향이 거의 없을 때 거리에 따른 포트 격리도는 거리 1 m 지점을 제외하고는 -38 dB ~ -42 dB까지의 변화를 보이는 것을 알 수 있다.

그림 10은 송신 포트(LHCP)로 5 dBm의 출력을 인가한 후 수신 포트(RHCP)로 수신된 전력을 상용 안테나와 비교 측정하는 것이다. 상용 안테나는 Matrics사의 Ant-50513을 사용하였다. 각 안테나의 송신 포트에 5 dBm의 출력을 인가하였을 때, 상용 안테나

표 3. 무반사실에서 거리에 따른 포트 격리도
Table 3. Port isolation for different distance.

d \ Freq.	900 MHz	915 MHz	930 MHz
20 cm	-40 dB	-38.3 dB	-41.7 dB
50 cm	-49.1 dB	-40.6 dB	-40.3 dB
1 m	-33.9 dB	-34 dB	-37 dB
3 m	-40.7 dB	-38 dB	-42 dB

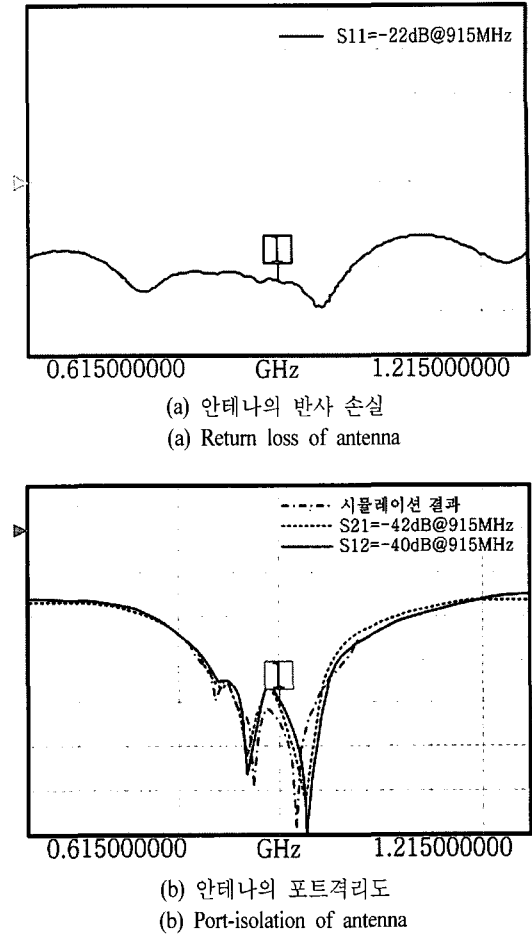


그림 9. 반사 손실과 포트 격리도 측정치
Fig. 9. Measured value of return loss and port isolation.

(Marker 1)는 -27 dBm의 수신 레벨을 보였고, 제작된 안테나(Marker 2)는 상용 안테나보다 약 10 dB 낮은 -37 dBm의 수신 레벨을 확인할 수 있었다.

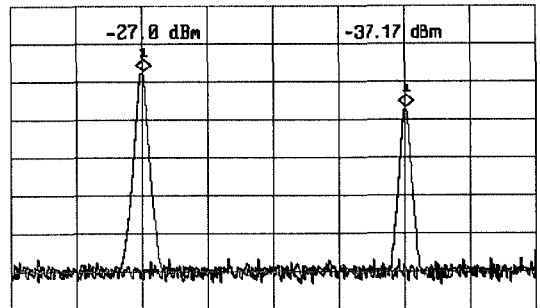


그림 10. 기존 안테나와의 포트 격리도 비교
Fig. 10. Comparison port-isolation with existing product.

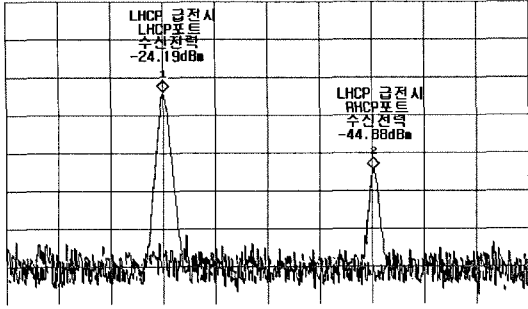
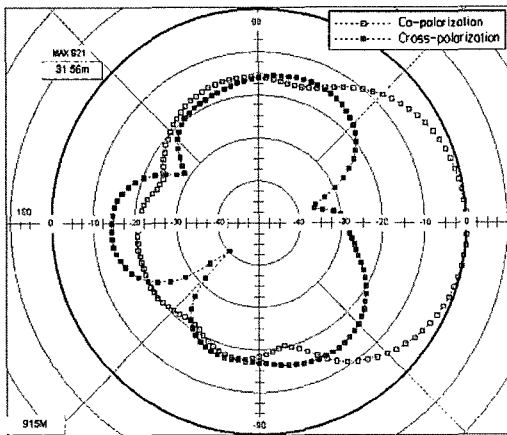


그림 11. 제안된 안테나의 포트별 수신 전력
Fig. 11. Received power of the proposed antenna.

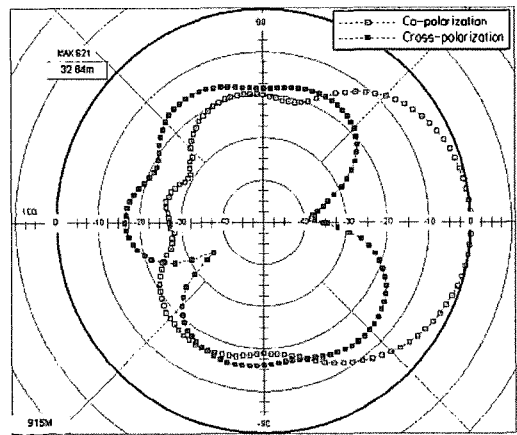
그림 11은 상용 안테나의 송신 포트(LHCP)로 5

dBm의 신호를 여기시키고 본 논문에서 제안된 안테나의 각 포트별 수신 전력을 비교한 것이다. 상용 안테나의 송신 포트에 신호를 여기시켜 본 논문에서 제안된 안테나의 각 포트에 수신된 전력은 송신(LHCP) 포트는 -24.19 dBm, 수신(RHCP) 포트는 -44.88 dBm으로 편파 분리 특성을 확인할 수 있었다. 그림 10과 11을 통해 제안된 안테나가 상용 안테나와 비교하여 개선된 특성을 지니고, LHCP와 RHCP 안테나로서 각각 동작하고 있음을 알 수 있다. 그림 12는 제작된 안테나의 중심 주파수인 915 MHz에서의 각각 E면과 H면에서 측정된 방사 패턴 결과이다.

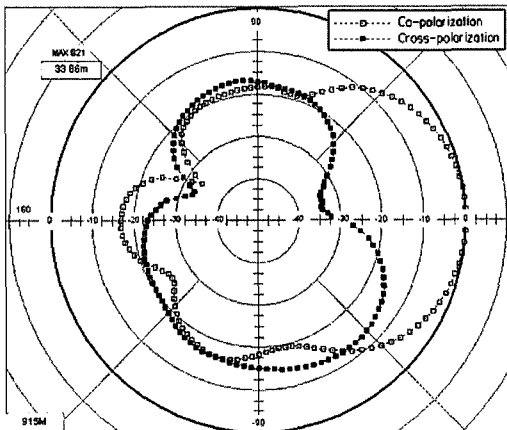
방사 패턴 측정 결과 이득은 약 2.35 dBi로 측정되



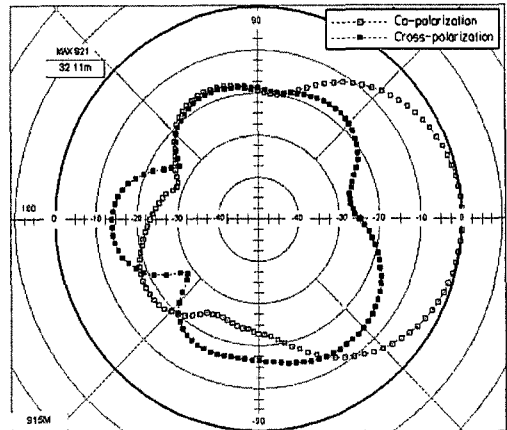
(a) RHCP 안테나로 동작시 E-plane
(a) E-plane for operating RHCP antenna



(b) RHCP 안테나로 동작시 H-plane
(b) H-plane for operating RHCP antenna



(c) LHCP 안테나로 동작시 E-plane
(c) E-plane for operating LHCP antenna



(d) LHCP 안테나로 동작시 H-plane
(d) H-plane for operating LHCP antenna

그림 12. 각 포트에서의 E-plane과 H-plane 방사 패턴
Fig. 12. E-plane and H-plane radiation pattern at each port.

표 4. 제안된 안테나의 측정 결과
Table 4. The value of measured of proposed antenna.

측정 항목	모의실험	제안된 안테나	상용 안테나
BW (VSWR 1.5 기준)	200 MHz 이상	360 MHz	120 MHz
축비 대역폭 (<1.5 dB)	200 MHz	150 MHz	130 MHz
안테나 이득	3.3 dBi	2.35 dBi	6 dBi
포트 격리도	-42 dB	-40 dB	-37 dB
편파 분리도	-30 dB	-30 dB	-26.5 B
안테나 전체 크기(cm ²)	26×26		70×30

었다. 시뮬레이션 결과인 3.3 dBi와는 약 1 dB 정도의 오차를 가진다. 이는 저가의 손실이 큰 FR4 보드를 사용하였기 때문이며 급전부 설계시 면밀한 검토와 급전부 재설계를 통해서만 해결될 수 있을 것이다. 표 4는 본 논문에서 제안된 안테나와 상용 안테나와 성능 비교를 정리한 결과이다. 본 논문에서 제안된 안테나는 VSWR 1.5를 기준으로 대역폭은 360 MHz, 축비 대역폭은 150 MHz(<1.5 dB), 안테나 이득은 2.35 dBi, 포트 격리도는 -40 dB, 편파 분리도는 -30 dB의 특성을 지니고, 상용 안테나는 VSWR 1.5를 기준으로 200 MHz 이상의 대역폭을 가지고, 축비 대역폭은 130 MHz(<1.5 dB), 안테나 이득은 6 dBi, 포트 격리도는 -37 dB, 편파 분리도는 -26.5 dB의 특성을 지닌다.

IV. 결 론

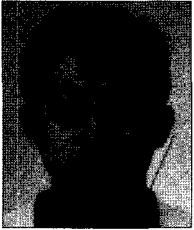
본 논문에서는 제작된 RFID 리더기에 안테나를 적용시키기 위해 UHF RFID reader용 송수신 겸용 이중 편파 안테나를 설계·제작하였다. 송수신 겸용 안테나에서 가장 중요시되는 각 포트간의 격리도나 편파 분리도 특성을 개선시키기 위해 급전부를 전력

분배기를 이용한 하이브리드형 시퀀셜 로테이션 방식으로 방사 패치 가장가리의 4개의 급전점에 90° 위상차를 가지게 신호를 여기시켰다. 제작된 안테나의 측정 결과로는 915 MHz를 중심으로 360 MHz (VSWR 1.5 기준)의 임피던스 대역폭을 얻었으며 포트 격리도는 약 -40 dB, 편파 분리도는 약 -30 dB의 우수한 격리 특성을 확인하였지만, 안테나의 이득은 2.35 dBi로 낮은 이득을 갖는다. 안테나가 낮은 이득 특성을 보이는 것은 급전 회로의 전력 분배기의 삽입 손실과 지연 선로들의 경로 손실, FR4 기판의 기판 손실에 의한 것으로 보인다. 이러한 점을 개선시키기 위해서는 안테나의 방사체에 사용된 FR4 기판대신 알루미늄 또는 기판 손실이 적은 기판을 사용하거나 급전회로의 간략화, 그리고 다른 급전 방식으로 설계함으로써 안테나의 이득 향상 효과를 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B. Lindmart, "A novel dual polarized aperture coupled patch element with a single layer feed network and high isolation", in *Proc., IEEE AP-S*, vol. 4, pp. 2190-2193, 1997.
- [2] J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEEE, 1989.
- [3] Kai Fong Lee, Wen Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [4] E Aloni, Kastner, R., "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed by crossed slots", *Antenna and propagation, IEEE Transactions AP*, vol. 42, no. 8, pp. 1053-1058, Aug. 1994.
- [5] Kin Lu Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 88-220, 2002.

강 채 운



2004년 2월: 호남대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 3월~현재: 호남대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] RF 시스템 회로 설계 및 안테나

윤 기 호



1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1986년 1월~1997년 2월: 삼성종합기술원, 삼성전기 근무
1997년 3월~현재: 호남대학교 전자공학과 조교수
[주 관심분야] RF 능동 및 수동회로, 안테나 등