

UHF RFID 시스템을 위한 Polarization selective 안테나 연구

이 사 원*, 송 우 영**

UA Study on the Polarization Selective Antenna for UHF RFID System

Sa-Won Lee*, Woo-Yong Song*

요 약

본 논문은 UHF RFID 시스템을 위해 편파를 선택할 수 있는 리더 안테나를 설계 및 구현하였다. 제안된 리더 안테나는 두 개의 급전부를 가지는 마이크로 스트립 패치 안테나와 두 개의 SPDT 스위치와 하나의 SP4T 스위치와 3dB hybrid coupler로 구성되어 있다. 각각의 스위치 전압을 조절하여 수직 방향의 선형 편파와 수평 방향의 선형 편파, 좌수 원형 편파와 우수 원형 편파를 선택할 수 있다. 제안된 안테나는 902MHz ~ 928MHz 대역에서 VSWR 2:1 기준으로 UHF RFID 주파수 대역인 902MHz ~ 928MHz를 만족한다. 안테나의 최고이득은 X-Y Plane을 기준으로 선형 편파가 선택되어질 때 7.71dBi, 7.55dBi 로 측정되었고 원형 편파가 선택되어질 때 7.31dBic, 7.81dBic 로 측정되었다. 또한 원형 편파(LHCP, RHCP)가 선택 되어질 때 축비는 각각 2.01 ~ 2.83dB, 2.02 ~ 2.60dB로 측정되었고 이는 3dB 이하의 축비를 만족한다.

Abstract

In this paper, it is designed the polarization selective antenna for UHF RFID system. The proposed antenna is consist of microstrip patch antenna with dual feeding and two SPDT switches and a SP4T switch and 3dB hybrid coupler. Through control of voltage of switches, the proposed reader antenna can select horizontally linear polarization, vertically linear polarization, left-hand circular polarization (LHCP) and right hand circular polarization (RHCP). The proposed reader antenna satisfied 2:1 VSWR at 902MHz ~ 928MHz. and it has under 3dB AR(axial ratio). Peak gain of antenna is 7.71dBi, 7.55dBi with linear polarization and 7.31dBic, 7.81dBic with circular polarization at x-y plane. Also Axial ratio of antenna is 2.01 ~ 2.83dB and 2.02 ~ 2.60dB respectively. It is satisfied 3dB axial ratio.

▶ Keyword : 리더 안테나(Reader Antenna), 선형 편파(Linear Polarization), 원형 편파(Circular Polarization), 편파 조절(Control of Polarization), 편파 손실 지수(PLF)

• 제1저자 : 이사원

• 투고일 : 2010. 04. 08, 심사일 : 2010. 05. 06, 게재확정일 : 2010. 06. 04.

* 한국폴리텍IV대학청주캠퍼스 정보통신홈네트워크(Information Communication & Homenetwork, Cheongju College of Korea PolytechnicIV)

** 청주대학교 전자정보공학부(College of Electron & Information Eng., Cheongju University)

I. 서론

태그 안테나의 대부분은 선형 편파(linear polarization) 특성을 가지는 구조가 사용되고 있으며, 최근 원형 편파(Circular Polarization) 특성을 가지는 태그도 개발되고 있다. 따라서 리더의 태그 인식률을 높이기 위해서는 리더 안테나는 태그 안테나의 편파 특성과 부착 방향에 따라서 편파 특성이 조절되어야 한다.[1], [2]

선형 편파를 가지는 리더 안테나의 적용은 다소 제한적이다. 왜냐하면 수신되는 안테나는 입사파와 편파의 방향이 일치되어야 하기 때문이다. 만일 이러한 적당한 방향이 유지되면 가장 효과적으로 파워를 전송 시킬 수 있다. 그러나 실제 다이버시티 환경에서는 항상 가능한 것은 아니다. 따라서 최근에 원형 편파를 가지는 리더 안테나의 사용이 증가하고 있다. 왜냐하면 원형 편파를 가지는 리더 안테나의 수신은 태그의 방향과 관계가 없기 때문이다. 리더 안테나는 태그의 편파 방향과 일치하지 않는 방향으로의 방사를 전체 시간의 절반을 소비하므로 실제로 시스템은 유효전력의 절반 (3dB)의 손실을 가지게 된다. 물론 이러한 환경에서도 태그 안테나는 여전히 수신되지만 인식 거리는 감소된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법은 더 큰 방향성을 가지는 리더 안테나를 이용하는 것이다. 그러나 안테나의 방향성이 커지면 빔폭이 좁아지게 되므로 태그 안테나를 수신할 수 있는 영역이 감소된다. [3][4][5]

기존의 RFID 시스템을 위한 리더 안테나는 선형 편파 또는 원형편파 특성을 가지므로 태그 안테나의 부착 방향에 따라 polarization mismatch가 발생되고 이는 태그의 인식거리를 감소 시키는 원인이 된다. 그러나 제안된 리더 안테나는 편파를 선택할 수 있기 때문에 polarization mismatch를 최소화 할 수 있다. [7], [8]

본 논문에서 제안된 리더 안테나는 기존의 리더 안테나의 성능을 보완하기 위해 하나의 방사 구조에서 선형 편파(Vertical Polarization & Horizontal Polarization)와 원형 편파(Left Handed Circular Polarization (LHCP) & Right Handed Circular Polarization (RHCP))를 가지도록 설계되었다. 제안된 리더 안테나는 Radiator, GaAs MMIC SPDT Switch (HMC545), GaAs MMIC Non-reflective Switch (HMC241QS16), LTCC 3dB Hybrid Coupler (RCP890Q03)으로 구성되어 있다. 제안된 리더 안테나는 태그 안테나의 편파 특성과 방향에 관계없이 사용되는 환경에 따라 편파를 조절할 수 있으므로 여러 분야의 다양한 환경에 적용이 가능하다.

II. 설계 이론

제안된 리더 안테나는 그림 1과 같은 마이크로 스트립 패치 안테나를 이용하여 설계되었다. 마이크로 스트립 패치 안테나는 방사체와 유전체, 급전부, 접지면 등으로 구성된다.

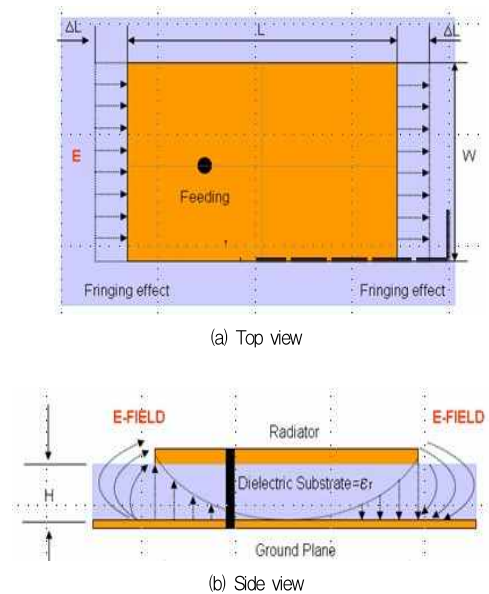


그림 1. 마이크로 스트립 안테나 구성도
Fig 1. The structure of microstrip patch antenna

사각형 마이크로 스트립 패치 안테나의 경우 길이 L은 일반적으로 $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ 이다. 마이크로 스트립 패치 안테나의 길이 L과 폭 W는 식 (1), (2)로 계산 되어질 수 있다.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2 \Delta L \dots \dots \dots (1)$$

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \dots \dots \dots (2)$$

마이크로 스트립패치 안테나에 사용되는 유전체의 유전율이 낮고 두꺼울수록 효율이 좋고 대역폭이 넓고 공간으로 방사되는 경계면에서의 필드의 세기가 약하기 때문에 안테나의 성능에 유리하지만 가격이 비싸다. 그와는 반대로 고 유전율을 가지는 얇은 유전체를 이용하는 마이크로 스트립 패치 안

테나는 크기를 줄일 수 있으므로 마이크로웨이브 회로 제작용으로 바람직하지만 손실이 커지기 때문에 효율이 낮아지고 상대적으로 대역폭이 좁은 특성을 가진다. [6]

마이크로 스트립 패치안테나는 제작의 용이성, 우수한 방사특성, 낮은 고차편파 방사 때문에 정사각형, 직사각형, 다이폴 및 원형 패치가 보편적으로 사용된다. 또한 마이크로 스트립 안테나를 단일 소자나 배열을 이용하여 선형 편파나 원형 편파를 가질 수 있다.

안테나의 편파는 방향이 정해져 있지 않을 때 최대 이득 방향에서의 편파로 정의된다. 편파의 종류에는 선형편파, 원형편파, 타원형 편파가 있다. 선형 편파는 전계 또는 자계의 방향이 동위상이거나 180도 역위상인 두 직교 선형 성분을 가지는 경우이고 원형 편파는 전계 혹은 자계가 두가지 직교 선형 성분을 가지고 동일한 진폭 및 위상차가 90도일 경우에 이루어진다.

마이크로 스트립 패치 안테나에서 단일 급전 및 이중 급전을 이용하여 원형 편파를 얻을 수 있다. 그림 2는 이중 급전을 이용해 원형 편파를 얻을 수 있도록 전력 분배기 및 90도 위상차를 가지는 하이브리드 커플러를 이용하여 원형 편파를 가지는 안테나이다.

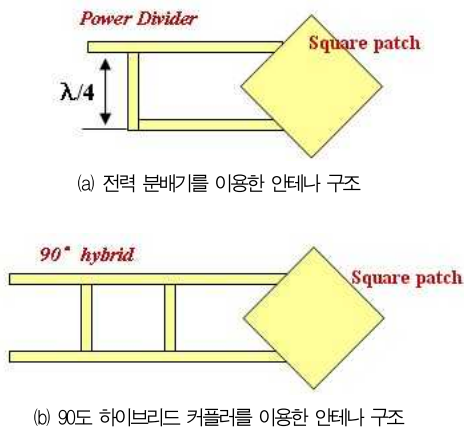


그림 2 이중 급전을 이용한 원형 편파 안테나
Fig2. Circular Polarization Antenna using dual feeding

III. 안테나 설계

그림 3은 이중 급전을 이용하여 선형 편파 (수직편파, 수평 편파), 원형편파 (LHCP, RHCP)를 가지는 안테나의 구조이다. 제안된 안테나의 접지면의 크기 $L_g \times W_g$ 는 $200\text{mm} \times$

200mm 이고 1mm 의 두께를 가지는 FR4($\epsilon_r=4.4$) 기판을 이용했다. 방사체의 아랫 부분에는 2mm 의 두께를 가지는 FR4($\epsilon_r=4.4$) 유전체의 18mm 의 두께를 가지는 폼($\epsilon_r=1.07$)을 이용하여 안테나의 전체 높이 20mm 를 확보하였다. 또한 두 개의 급전부와 접지면의 후면에 그림 4와 같은 회로를 추가하여 사용환경에 따라 선형 편파 및 원형 편파를 가지도록 설계하였다.

그림 4는 제안된 리더 안테나의 회로 부분의 블록도를 나타내었다.

블록도의 첫 단은 Hittite사의 HMC241QS16 스위치를 사용하였다. HMC241QS16은 900MHz 에서 약 0.5dB 의 낮은 삽입 손실과 네 개의 신호 라인과 45dB 의 높은 격리도 특성을 가진다. 또한 스위치가 OFF 되었을 때 50Ω 에 정합되는 non-reflective 특성을 가지는 switch 이다. 두 번째 단은 RN2 Technology사의 RCP890Q03을 사용하였다. RCP890Q03은 LTCC 3dB hybrid coupler로 900MHz 에서 높은 임피던스 매칭 특성 ($\text{VSWR}=1.2 : 1$ 이하)을 가지고 입력 포트에 따라 커플링 포트와 출력 포트 사이의 전력은 $1/2$ 로 나뉘고 90° 의 위상 차이를 가진다. 이를 이용하여 제안된 안테나의 두 종류의 원형 편파 (RHCP, LHCP)를 구현하였다. 또한 출력 포트와 커플링 포트 사이에 30dB 이하의 높은 격리도 특성을 가진다. 마지막 단은 Hittite사의 HMC545 스위치를 이용하였다. HMC545 스위치는 900MHz 에서 0.25dB 의 낮은 삽입 손실과 두 개의 신호 라인과 31dB 의 격리도 특성을 가진다.

입력된 신호는 첫 단의 HMC241QS16 스위치를 통해 네 개의 신호라인으로 분리된다. 분리된 네 개의 신호라인 중 ①번 신호 라인은 HMC545 스위치와 연결되고 제안된 리더 안테나의 수평 방향(X축)의 급전부와 연결된다. ①번 신호라인으로 선택되어지면 제안된 안테나는 수평 방향의 선형 편파 특성을 가진다. ②번 신호라인은 3dB hybrid coupler에 입력되고 입력된 신호는 크기는 같고 90° 의 위상 차이를 가지는 두 개의 신호로 분리되어 두 개의 HMC545 스위치에 연결되고 이는 제안된 리더 안테나의 두 개의 급전부에 급전된다. ②번 신호라인으로 선택되어지면 제안된 안테나는 좌수 원형 편파(LHCP) 특성을 가진다. ③번 신호라인은 ②번 신호라인과 다른 입력 포트에 커플러에 입력되므로 HMC545 스위치를 통해 급전되는 신호의 위상차이는 90° 이지만 ②번 신호라인과는 반대의 위상을 가진다. 따라서 ③번 신호라인으로 선택되어지면 제안된 안테나는 우수 원형 편파 (RHCP) 특성을 가진다. ④번 신호 라인은 ①번 신호라인과

마찬가지로 HMC545 스위치와 바로 연결되고 리더 안테나의 수직 방향(Y축)의 급전부와 연결된다. ④번 신호라인으로 선택되어지면 제안된 리더 안테나는 수직 방향의 선형 편파 특성을 가진다.

표 1은 제안된 리더 안테나가 각각의 편파 특성을 가지기 위해 스위치에 인가되는 조절 전압을 나타내었다. HMC241QS16 스위치의 low 전압 범위는 0V ~ 0.8V 이고 high 전압 범위는 2V ~ 5V이다. 또한 HMC 545 스위치의 Low 전압 범위는 0V ~ 0.2V이고 High 전압 범위는 3V ~ 8V이다. 본 논문에서 조절 전압은 Low일 때 0V, High일 때 5V를 사용하였다.

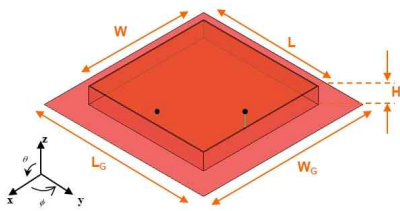


그림 3. 제안된 안테나의 구조
Fig 3. The configuration of proposed antenna

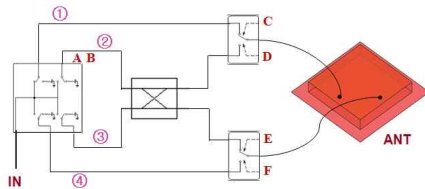


그림 4. 제안된 안테나의 블록도
Fig 4. Block diagram of proposed antenna

표 1. 스위치의 조절 전압
Table 1. Control Voltage of Switch

Path No.	Control Input					
	A	B	C	D	E	F
1	Low	Low	Low	High	Low	Low
2	High	Low	High	Low	Low	High
3	Low	High	High	Low	Low	High
4	High	High	Low	Low	High	Low

IV. 시뮬레이션 결과

제안된 안테나는 Ansoft사의 HFSS 시뮬레이션 툴을 이용하였다.

그림 5는 수평 방향의 선형 편파를 가지는 안테나의 반사 손실을 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 885MHz ~ 950MHz 의 대역폭을 만족한다.

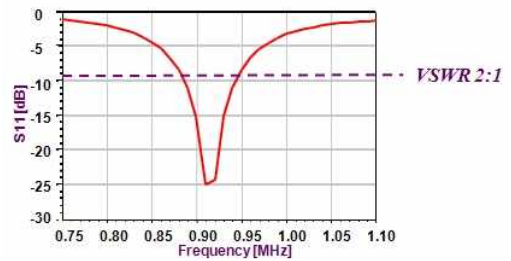


그림 5. 반사손실 (선형 편파, 수평방향)
Fig 5. Return Loss (LP, Horizontal)

그림 6은 수직 방향의 선형 편파를 가지는 안테나의 반사 손실을 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 885MHz ~ 945MHz 의 대역폭을 만족한다.

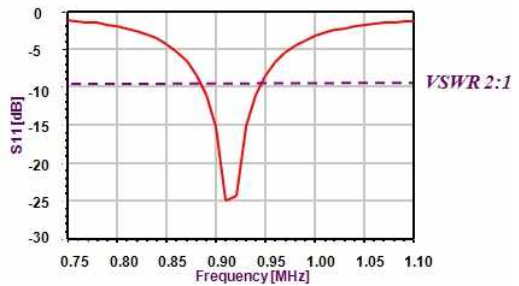
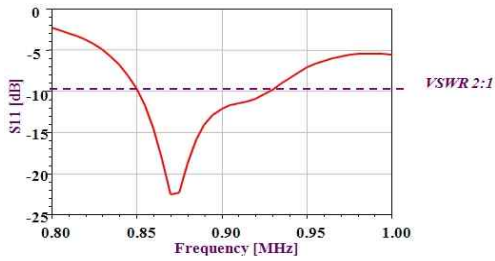
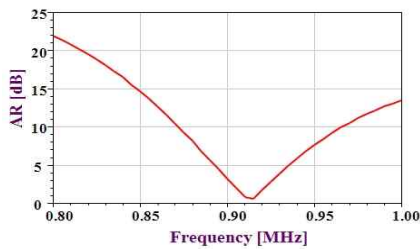


그림 6. 반사손실 (선형편파, 수직방향)
Fig 6. Return Loss (LP, Vertical)

그림 7의 (a), (b)는 좌수 원형 편파를 가지는 안테나의 반사손실 및 Axial Ratio를 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 850MHz ~ 935MHz 의 대역폭을 만족하고 900MHz ~ 930MHz에서 Axial Ratio는 3dB 이하이다. 원형 편파의 특성을 가지도록 파이형 회로를 이용하여 두 개의 급전부에 90도 위상 차이를 가지도록 하였다.



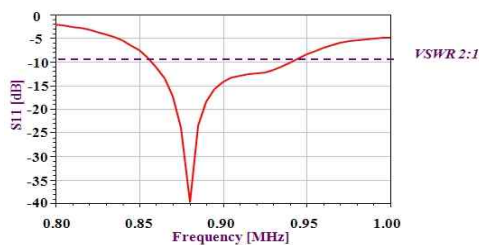
(a) 반사손실



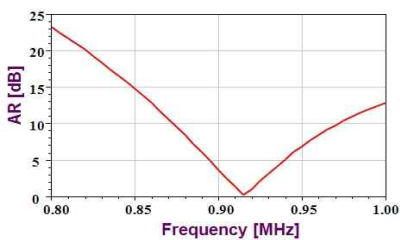
(b) 축비

그림 7. 반사손실 및 축비 (좌수 원형 편파)
Fig 7. Return Loss & Axial Ratio (LHCP)

그림 8은 우수 원형 편파를 가지는 안테나의 반사손실 및 Axial Ratio를 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 860MHz ~ 940MHz 의 대역폭을 만족하고 900MHz ~ 930MHz에 서 Axial Ratio는 3dB 이하이다.



(a) 반사손실



(b) 축비

그림 8. 반사손실 및 축비 (우수 원형 편파)
Fig 8. Return Loss & Axial Ratio (RHCP)

V. 측정 결과

시뮬레이션을 통해 계산된 결과를 토대로 안테나를 제작 측정하였다. 그림 9는 PADS를 이용한 설계된 회로도면이다. 그림 10는 제작된 안테나의 실물 사진이다. 제작된 안테나는 두 개의 급전부를 가지는 방사체와 접지면, 유전체등으로 구성되어있고 접지면의 후면에 제안된 안테나의 편파를 선택할 수 있는 회로가 설계되어 있다.

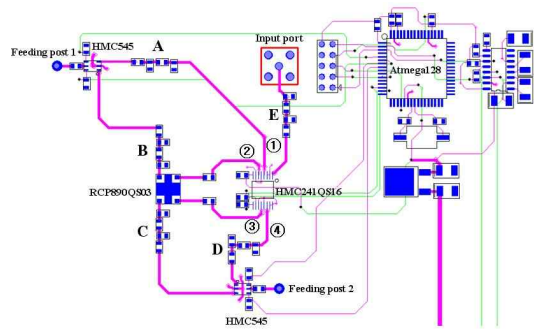
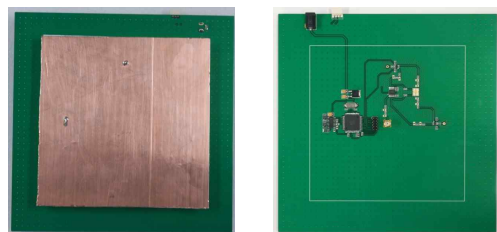


그림 9. PADS를 이용하여 설계된 회로도면
Fig 9. Designed schematic by using the PADS



(a) 전면 (b) 후면

그림 10. 제안된 안테나의 실물 사진
Fig 10. Picture of the Proposed Antenna

그림 11은 제안된 안테나가 수평 방향 선형 편파로 선택 되어질 때 반사손실을 나타내었다. 안테나의 공진 주파수는 918MHz 이고 임피던스 대역폭은 VSWR 2:1을 기준으로 하여 881MHz ~ 952MHz 로 측정되었으며 이는 UHF RFID 시스템 대역을 만족한다.

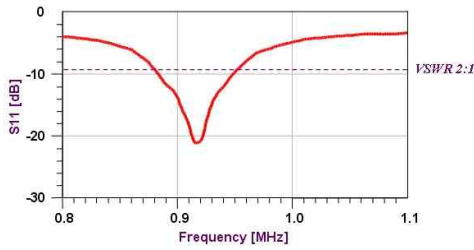


그림 11. 반사손실 (선형편파, 수평방향)
Fig 11. Return Loss (LP, Horizontal)

그림 12은 제안된 안테나가 수직 방향 선형 편파로 선택 되어질 때 반사손실을 나타내었다. 안테나의 공진 주파수는 914MHz 이고 임피던스 대역폭은 VSWR 2:1을 기준으로 하여 873MHz ~ 959MHz 로 측정되었으며 이는 UHF RFID 시스템 대역을 만족한다.

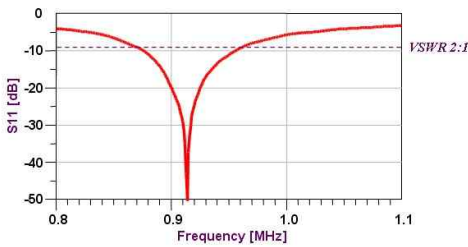


그림 12 반사손실 (선형편파, 수직방향)
Fig 12. Return Loss (LP, Vertical)

그림 13는 제안된 안테나가 좌수 원형 편파로 선택 되어질 때 반사손실을 나타내었다. 그림 13에 나타난 안테나의 정합 특성은 두 개의 급전부 다음단의 커플러에 의한 임피던스 정합 특성 때문이다.

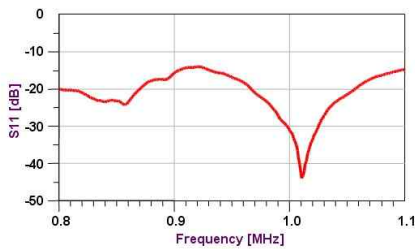


그림 13. 반사손실 (좌수 원형 편파)
Fig 13. Return Loss (LHCP)

그림 14은 제안된 안테나가 우수 원형 편파로 선택 되어질 때 반사손실을 나타내었다.

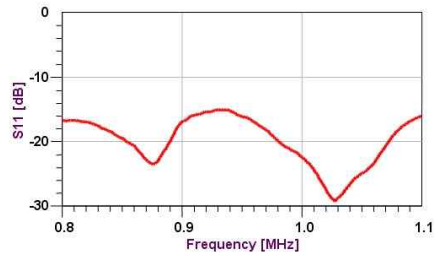


그림 14. 반사손실 (우수 원형 편파)
Fig 14. Return Loss (RH-CP)

그림 15는 제안된 안테나가 수평 방향 선형 편파로 선택 되어질 때 915MHz에서 X-Y Plane 과 X-Z Plane 에서의 방사패턴을 나타내었다. 안테나의 최고 이득은 X-Y Plane과 X-Z Plane에서 각각 7.71dBi, 7.28dBi로 측정되었다.

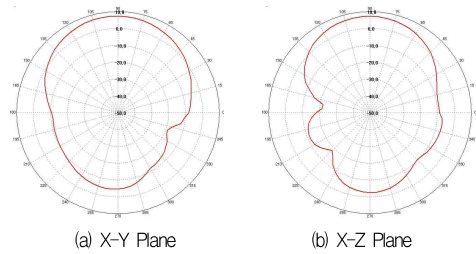


그림 15. 방사패턴 (선형편파, 수평방향)
Fig 15. Radiation Pattern (LP, Horizontal)

그림 16는 제안된 안테나가 수직 방향 선형 편파로 선택 되어질 때 915MHz에서 X-Y Plane 과 X-Z Plane 에서의 방사패턴을 나타내었다. 안테나의 최고 이득은 X-Y Plane과 X-Z Plane에서 각각 7.55dBi, 7.71dBi로 측정되었다.

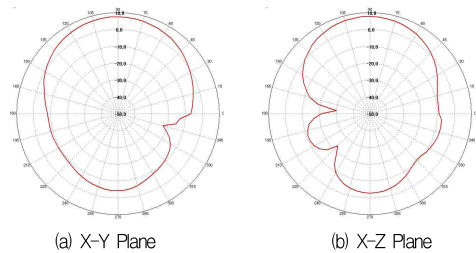


그림 16. 방사패턴 (선형편파, 수직방향)
Fig 16. Radiation Pattern (LP, Vertical)

그림 17은 제안된 안테나가 좌수 원형 편파로 선택 되어질 때 915MHz에서 X-Y Plane 과 X-Z Plane 에서의 방사패턴을 나타내었다. 안테나의 최고 이득은 X-Y Plane과 X-Z Plane에서 각각 7.31dBi, 8.34dBi로 측정되었다. 또한

Axial Ratio는 2.01 ~ 2.83dB 이다.

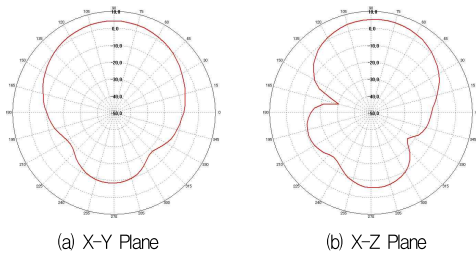


그림 17. 방사패턴 (좌수 원형 편파)
Fig 17. Radiation Pattern (LHCP)

그림 18은 제안된 안테나가 우수 원형 편파로 선택 되어질 때 915MHz에서 X-Y Plane 과 X-Z Plane 에서의 방사패턴을 나타내었다. 안테나의 최고 이득은 X-Y Plane과 X-Z Plane에서 각각 7.81dBic, 8.82dBic로 측정되었다. 또한 Axial Ratio는 2.02 ~ 2.60dB 이다.

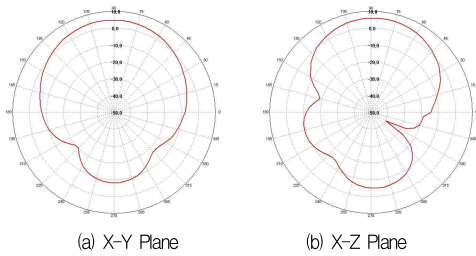


그림 18. 방사패턴 (우수 원형 편파)
Fig 18. Radiation Pattern (RHCP)

VI. 결 론

본 논문에서는 두 개의 급전부를 가지는 마이크로 스트립 패치 안테나와 하나의 SP4T 스위치와 두 개의 SPDT 스위치와 3dB hybrid coupler를 이용하여 리더 안테나의 편파를 선택할 수 있는 polarization selective antenna를 제안 하였다. 낮은 삽입 손실과 높은 격리도 특성을 가지는 스위치와 90도의 위상 차이를 가지는 커플러를 이용하여 제안된 안테나의 성능에 미치는 영향을 최소화 하였다. 일반적인 선형 안테나의 경우 태그의 부착 위치등에 따라 리더 안테나의 편파 방향과 같지 않을 경우 편파 손실이 발생하고 이는 인식 거리를 감소시키는 원인이다. 그러나 원형 편파 안테나의 경우 태그의 부착 위치에 따른 편파 방향과 관계없이 일정한 인식 거리를 가진다. 제안된 안테나는 임의의 환경에서 발생하는

편파 손실에 의한 인식거리의 감소를 안테나의 편파를 선택하는 것에 의해 1.5 ~ 3.3m가 개선되는 것으로 측정되었다.

제안된 안테나는 VSWR 2:1 기준으로 UHF RFID 주파수 대역인 902MHz ~ 928MHz를 만족한다. 안테나의 최고 이득은 X-Y Plane을 기준으로 선형 편파가 선택되어질 때 7.71dBi, 7.55dBi 로 측정되었고 원형 편파가 선택되어질 때 7.31dBic, 7.81dBic 로 측정되었다. 또한 원형 편파 (LHCP, RHCP)가 선택 되어질 때 축비는 각각 2.01 ~ 2.83dB, 2.02 ~ 2.60dB로 측정되었고 이는 3dB 이하의 축비를 만족한다. 본 논문에서 제안된 안테나는 UHF RFID 시스템의 다양한 사용 환경과 Tag 안테나의 편파에 따라 수평 방향 및 수직방향을 가지는 선형 편파와 좌수 원형 편파, 우수 원형 편파를 선택할 수 있기 때문에 편파의 방향에 따른 손실을 최소화 할 수 있고 이에 따라 Tag의 인식거리를 확장시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook," Reading, MA: Addison Wiley, 2002.
- [2] W. Rankl and W. Effing, "Smart Card Handbook," New York:John Wiley & Sons, 2003.
- [3] C. S. Lee and V. Nalbandian, "Planar circularly polarized microstrip antenna with a single feed," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 47, pp. 1005 - 1007, 1999.
- [4] R. Suwalak and C. Phongcharoenpanich, "Parametric Study of a Circularly Polarized Planar Antenna for Reader of UHF RFID System," Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 1625-1628, December 2007.
- [5] C. S. Lee, V. Nalbandian, and F. Scherwing, "planar, single-feed, circularly polarized microstrip antenna with enhanced bandwidth," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 3, pp. 1368 - 1371, 1998.
- [6] D. M. pozar, "Microstrip Antennas," Proc. IEEE, Vol. 80, No. 1, pp. 79-81, January 1992.
- [7] V. Nikitin, K. V. S. Rao, "Performance Limitations of Passive UHF RFID system," Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation, pp. 1011-1014, 2006.

- [8] M. S. Trotter, J. D. Durgin, G. D. Sch. ,
"Power-optimized waveforms for improving the
range and reliability of RFID systems," RFID,
2009 IEEE International Conference on, pp.
80-87, 2009.

저 자 소 개



송 우 영 (宋宇永)

1977년 : 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1982년 : 연세대학교 전자공학과
(공학석사)

1988년 : 연세대학교 전자공학과
(공학박사)

현재 : 청주대학교 전자정보공학부 교수
관심분야 : 안테나 및 RF회로 설계,
전자파 해석



이 사 원 (李思遠)

1994년 : 청주대학교 전자공학과
(공학사)

1997년 : 청주대학교 전자공학과
(공학석사)

현재 : 청주대학교 전자공학과
(박사과정 수료)

2000년 9월~현재 :
한국폴리텍 IV대학청주캠퍼스
정보통신홈네트워크과 부교수
관심분야 : 안테나 및 RF회로 설계,
RFID