

안테나의 이해

(Operation And Specifications)

The logo for PHYCHIPS, featuring the word "PHYCHIPS" in a bold, pink, sans-serif font. A small grey downward-pointing triangle is positioned above the letter "Y".

Introduction

안테나는 RF 디바이스의 설계에 있어 가장 중요한 부품 중 하나입니다.

특히 RFID 에서 안테나는 인식거리와 범위, 디바이스의 크기 등을 결정하는 데 큰 비중을 차지 합니다. 디바이스의 용도에 맞지 않는 안테나를 선정하고, 안테나의 성능에 영향을 주는 여러 요인들의 고려 없이 디바이스의 설계를 할 경우 의도하지 않는 성능 저하가 발행 할 수 있으며, 심한 경우 재설계를 피할 수 없게 됩니다.

이 문서는 안테나의 기본적인 parameter들을 설명하고 안테나 matching 에 대한 필요성을 알려 줌으로써 안테나의 동작에 대해 이해 할 수 있도록 도움을 줄 것입니다.

그래서 엔지니어가 사용환경, 동작 시나리오 등을 고려하여 알맞은 안테나를 선정하고, 안테나가 최적의 성능을 낼 수 있는 RFID 디바이스를 설계 할 수 있도록 할 것 입니다.

List

1. 안테나의 방사 패턴

- 1) 등방성 안테나
- 2) 전방향성 안테나
- 3) 지향성 안테나

2. 안테나 종류

- 1) PCB 안테나
- 2) Ceramic antenna
- 3) QUBE series
- 4) 안테나의 선정

3. Datasheet Analysis

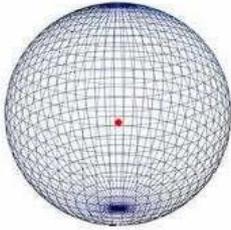
- 1) Center Frequency
- 2) Operating Frequency
- 3) -3dB Bandwidth
- 4) Return Loss and VSWR
- 5) Polarization
- 6) Peak Gain
- 7) Axial Ratio
- 8) Radiation Pattern

4. 안테나의 기구 매칭 (Matching within an enclosure)

- 1) 안테나의 miss matching
- 2) 안테나의 기구 매칭

5. ERP & EIRP

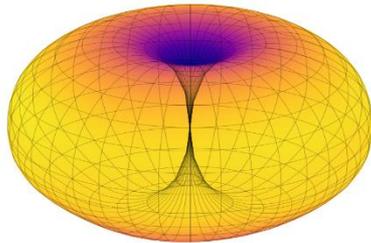
1. 안테나의 방사패턴



등방성 안테나

1) 등방성 안테나 (Isotropic antenna)

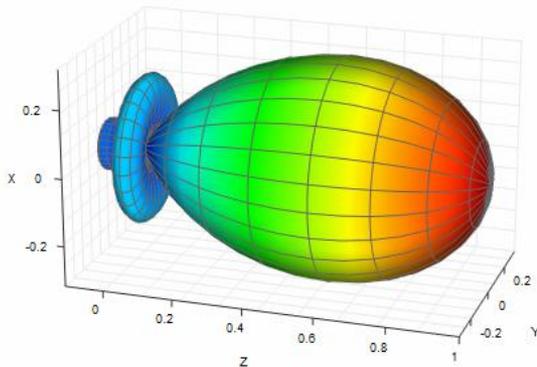
- 모든 방향으로 손실 없이 동일한 크기로 전자기파가 방사하는 안테나
- 실제 제작이 불가능한 이론적인 형태



전방향성 안테나

2) 전방향성 안테나 (Omnidirectional antenna)

- 한 평면에서 방사가 360° 에서 방향성을 갖지만 그 평면과 직교하는 방향으로는 방향성을 갖지 않는 안테나
- 방사 패턴이 도넛 형태, 일반적인 Dipole 형태를 갖는 antenna
- RFID에서는 근거리 application에 이용.



지향성 안테나

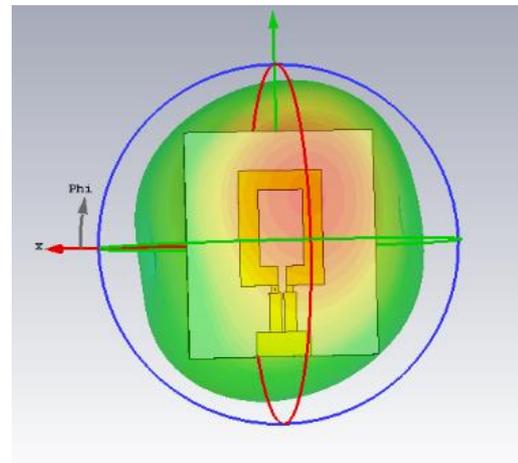
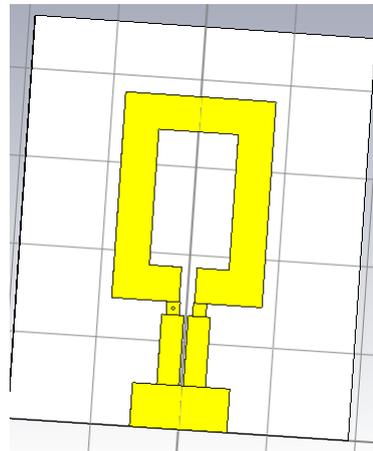
3) 지향성 안테나 (Directional antenna)

- 특정 방향으로 다른 방향보다 더 큰 크기로 방사가 되는 안테나
- 필요한 방향으로 더 큰 전력을 방출 또는 수신하고 그 이외의 원하지 않는 방향으로부터의 간섭을 줄여 방사가 지향성을 가짐.
- QUBE series 및 세라믹 안테나 해당
- 일반적인 RFID reader 디바이스(고정형, Gun-type reader, PDA/mobile phone용 reader 등) 에 사용.

2. 안테나의 종류

1) PCB antenna

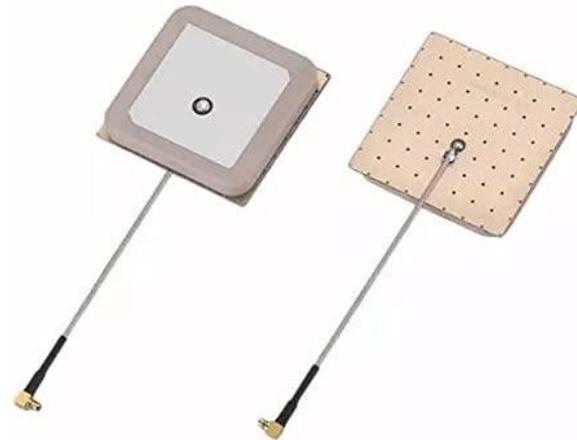
- PCB에 패턴을 그려 원하는 주파수에 방사가 되도록 하는 안테나
- Loop형, 일자형, F자형(PIFA), meander F형(MIFA) 등 주파수 및 사용 환경에 따라 여러가지 형태로 구현 가능.
- 장점: PCB와 동일한 평면에서 2차원(2D) 구조, 작은 공간에 구현이 가능, 제조비용이 저렴함
단점: 낮은 효율, 패턴 설계 및 매칭 회로 등 설계 규칙들 준수해야 하는 방사가 되는 점
- 지향성을 갖지 않으므로 원하는 방향 외 주변의 tag도 읽을 수 있음. 짧은 거리의 단일 tag의 tag targeting 등 근거리 application 에 보통 사용.



2. 안테나의 종류

2) 세라믹 안테나

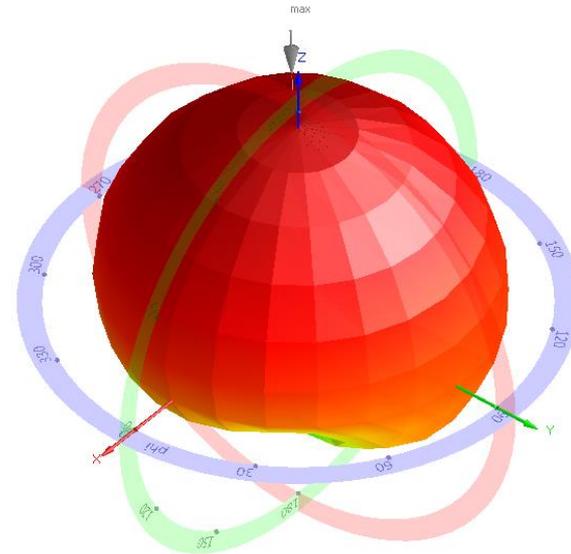
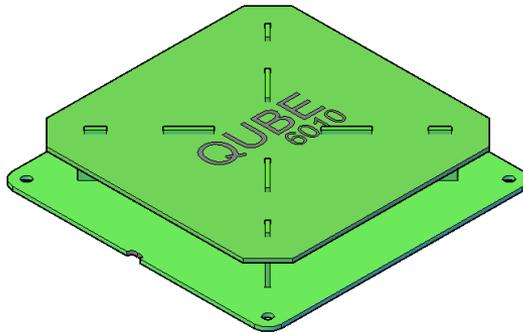
- 세라믹을 사용하여 표면에 은(silver)을 입혀 pin으로 급전(feed) 한 안테나 형태
- 정사각형 세라믹 유전체를 이용한 마이크로 스트립 패치 안테나 형태를 많이 사용
- 가격이 비교적 저렴하고 고유전율 세라믹 유전체를 사용해서 소형화가 가능하여 좁은 공간에 장착 할 수 있음
- Bandwidth 가 좁고, 기구에 의해 주파수, 방사 특성 변화가 있어 적절한 기구 매칭 후 사용해야 정상 동작을 기대 할 수 있음.
- Main board 에 pin type 부품처럼 PCB에 얹어 사용 하는 형태, 세라믹 안테나+PCB+cable assembly 형태 두 가지가 있음



2. 안테나의 종류

3) QUBE series

- QHA (Quadrifilar Helix Antenna) 구조 : 4개의 안테나가 나선형으로 배치 된 구조
- Cube 형태의 구조체의 안테나로 기기의 내부 또는 외부에 위치하여 사용 가능
- 높은 효율, 낮은 Hand effect, Compact size, wide bandwidth, wide beamwidth, Circular polarization, 준수한 Axial Ratio 등 장점.
- 높은 gain 을 갖는 지향성 안테나로 RFID tag targeting 에 특화. 원하는 방향의 단일 tagging, multi tagging 큰 제약 없이 사용 가능.



2. 안테나의 종류

4) RFID reader 안테나의 선정

| | PCB | 세라믹 2504 | 세라믹 3404 | QUBE4010 | QUBE6010 | QUBE6015 |
|-------------------|-----------|--------------------|-------------|------------------|-----------|-----------|
| Size | 소형 | 25x25x4T | 34x34x4T | 48x40x10T | 60x60x10T | 60x60x15T |
| Polarization | Linear | Circular | | | | |
| Gain | -3dBiL 이하 | +0dBic | +1dBic | +1dBic | +2.5dBic | +3.5dBic |
| -3dB Bandwidth | 10~20MHz | 3MHz | 5MHz | 20MHz | 28MHz | 33MHz |
| Handeffect | | 취약 | | 강함 | | |
| Read range | 5cm 미만 | 1m | 1.8m | 1.8m | 2.8m | 3.8m |
| Assembly | 제약 없음 | PCB+cable ass`y 필요 | | Screw 또는 양면 tape | | |

3. Datasheet Analysis

Electrical Specifications

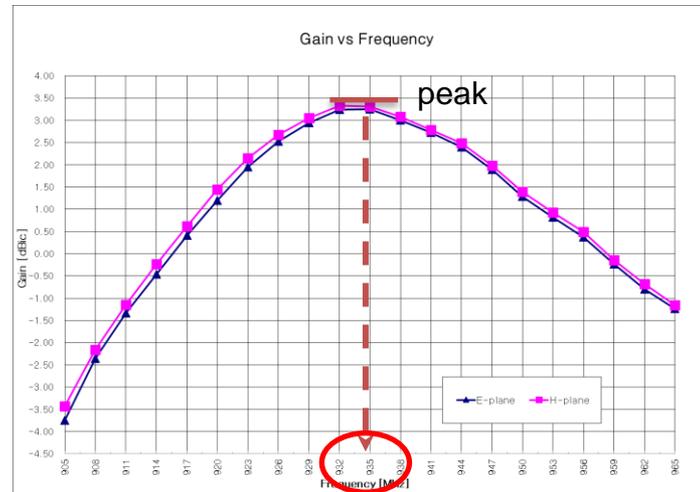
| Item | Specifications | | | |
|-------------------------|----------------|---------|------|------|
| | Min. | Typical | Max. | Unit |
| Center Frequency (= Fc) | 931 | 935 | 939 | MHz |
| Operation Frequency | 902 | 915 | 928 | MHz |
| 3dB Bandwidth | 26 | 30 | | MHz |
| Return Loss @ Fc | | | -15 | dB |
| Polarization | R.H.C.P | | | |
| Peak Gain @ Fc (RHCP) | | 3 | | dBic |
| Axial Ratio | 1.5 | 1.3 | | |

- 1) Center Frequency : 안테나의 중심주파수
- 2) Operating Frequency : 기구 체결 시 동작 주파수
- 3) -3dB bandwidth : Power 가 peak 에서 ½ 이 되는 주파수 범위
- 4) Return loss : 반사계수(VSWR) 를 전력의 log scale (dB)로 변환한 값
- 5) Polarization : 안테나의 편파 특성. Linear, Circular (RHCP, LHCP)
- 6) Radiation pattern : 안테나가 방사 되는 모양
- 7) Peak gain : 안테나가 갖는 gain 의 최고 값
- 8) Axial Ratio : 축비. 편파의 장축 과 단축의 비율

3. Data Analysis

1) Center Frequency

- 안테나의 중심주파수란 gain이 peak 일 때의 주파수를 의미.
- S11 (return loss) 이 가장 낮은 지점이 중심주파수와 대부분 일치할 경우는 Linear antenna.
- Circular antenna 의 경우는 일치 하지 않을 수도 있음.



Gain vs Frequency data

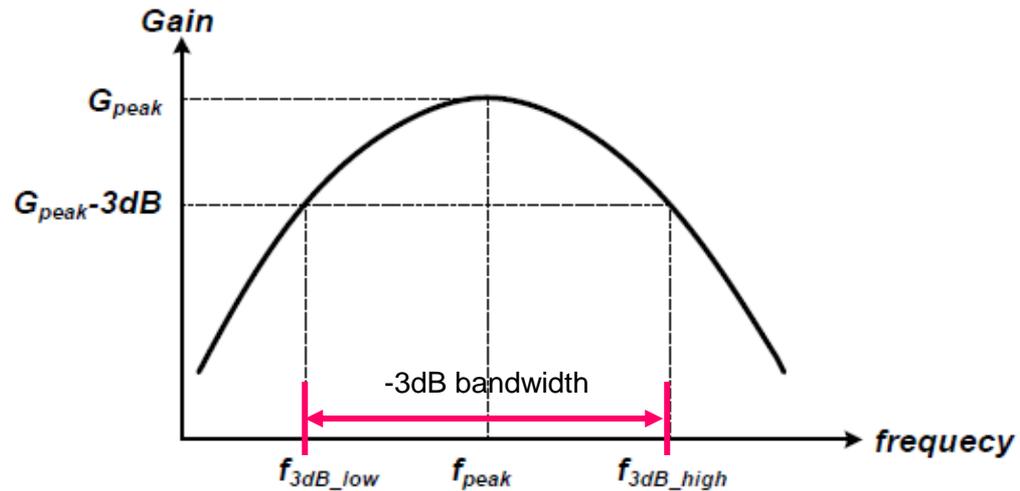
2) Operating Frequency

- 안테나가 실제로 기구 안에서 동작하는 주파수 범위.
- 일반적으로는 사용 되는 application 의 주파수 대역을 표기 함.
- Ex) RFID에서 US (902~928MHz), KR (917~923MHz), EU(865~868MHz).

3. Data Analysis

3) - 3dB bandwidth

- 안테나의 power 가 peak 에서 1/2 가 되는 (-3dB) 주파수의 범위
- 보통 안테나가 동작하는 범위를 나타내는 지표로 사용
- Operation Frequency 의 범위가 안테나의 중심주파수를 포함하며 -3dB bandwidth 안에 있어야 안테나가 잘 선정 되었으며, 정상 동작 할 수 있다고 판단



3. Data Analysis

4) Return Loss and VSWR(Voltage Standing-Wave Ratio)

- Return Loss 는 안테나로 전달 된 신호($P_{incident}$) 와 입력 쪽으로 반사되는 신호($P_{reflected}$) 의 비를 측정한 값. dB 값으로 표시됨.

$$Return Loss(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{incident}}{P_{reflected}} \right)$$

- 안테나로 전달 된 신호가 방사 되지 않고 반사 되는 신호의 크기를 나타내며, 안테나가 50옴에 얼마나 잘 매칭 되어 있는지를 보여주는 수치. 50옴으로 완벽하게 매칭 된 안테나는 반사(loss) 없이 전달 된 대부분의 신호가 안테나를 통해 방사됨.
- VSWR은 어떤 연결단에서 임피던스의 차에 의해 발생하는 반사 량을 단순히 입력전압 대 반사전압의 비로 계산 한 값. 작을수록 반사 량이 적다는 의미.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{input} + V_{reflected}}{V_{input} - V_{reflected}}$$

$$Return Loss = 20 \log \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right)$$

- 보통 Return Loss 가 -15 ~ -18dB 로 제작 되며, 이는 VSWR이 1.4 ~1.3 으로 입력 신호가 98% 이상 안테나를 통해 방사 됨.

3. Data Analysis

- 일반적으로 안테나는 VSWR이 1.3 이하로 제작 되며 이는 Return Loss 가 -18dB 이하로 입력 신호가 98% 이상 안테나를 통해 방사 됨.

| VSWR | Return Loss (dB) | Mismatch Loss (dB) | Power transmitted Efficiency (%) |
|-------|------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1.011 | -45 | 0 | 100 |
| 1.02 | -40 | 0 | 99.99 |
| 1.036 | -35 | 0.001 | 99.97 |
| 1.065 | -30 | 0.004 | 99.9 |
| 1.12 | -25 | 0.014 | 99.68 |
| 1.22 | -20 | 0.044 | 99 |
| 1.29 | -18 | 0.069 | 98.42 |
| 1.38 | -16 | 0.11 | 97.49 |
| 1.5 | -14 | 0.176 | 96.02 |
| 1.67 | -12 | 0.283 | 93.69 |
| 1.92 | -10 | 0.458 | 90 |
| 2.32 | -8 | 0.749 | 84.15 |
| 3.01 | -6 | 1.256 | 74.88 |
| 4.42 | -4 | 2.205 | 60.19 |

VSWR Return Loss vs Power Transmitted Efficiency

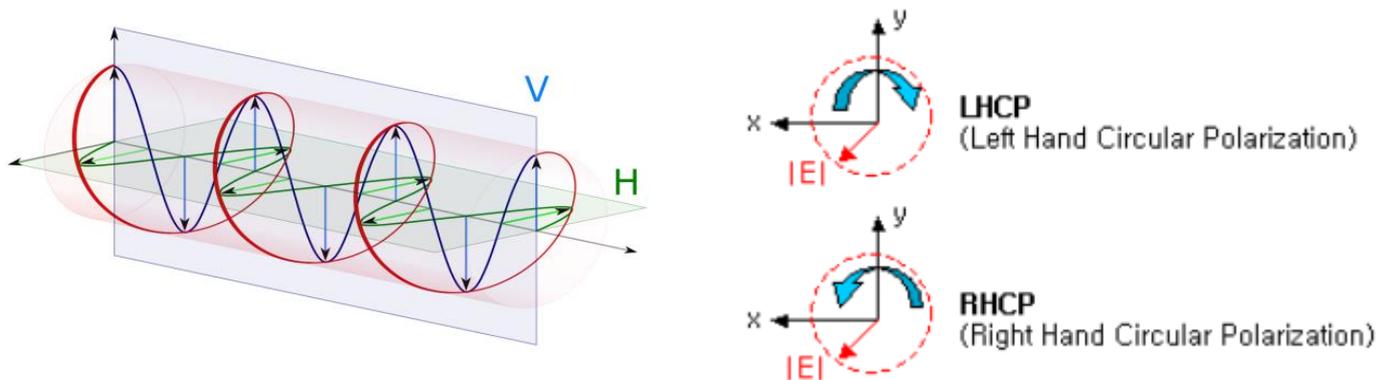
3. Data Analysis

5) Polarization

- 안테나에서 전자기파의 진행 방향에 대한 E-field의 극성 방향을 의미하며 편파라고 함. 안테나의 형태에 따라 고유의 편파 형태를 갖고 있으며, 크게 Linear Polarization과 Circular Polarization 두가지로 분류 함.
- Linear Polarization은 방향에 따라 수평 편파, 수직 편파 두 가지 형태가 있으며, Circular Polarization은 회전 방향이 오른쪽 또는 왼쪽인지에 따라 RHCP (Right Hand Circular Polarization), LHCP (Left Hand Circular Polarization) 두가지 형태가 있음.



Linear Polarization



Circular Polarization

3. Data Analysis

- RFID Reader 안테나와 Tag의 Polarization

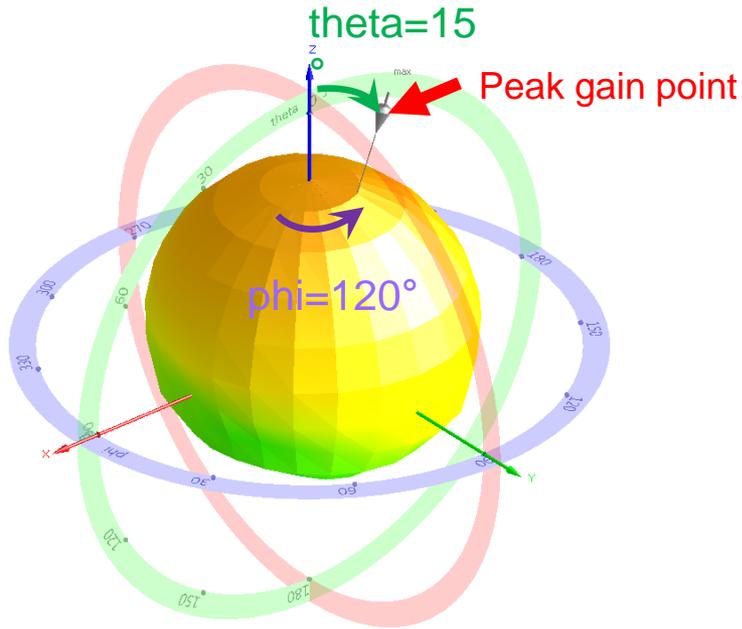
- Tag 역시 안테나이므로 편파를 갖고 있음. 일반적으로 dipole 형태를 갖고 있으므로 Linear 임.
- RFID Reader 안테나와 Tag의 편파 방향이 서로 일치해야 송수신이 원활하게 됨. 반대로 서로 편파방향이 틀어지면 송수신 성능이 떨어지게 됨. 최악으로 서로 완전히 직교 (Orthogonal) 하는 편파를 갖게 되면 신호 교류가 되지 않음.



- 이와 같이 편파 방향의 불일치를 막기 위해 Reader 안테나 또는 Tag 하나는 Circular Polarization 을 갖도록 해야 함. 보통은 Tag 의 경우 크기 가격적인 이유로 인해 Linear 형태를 많이 쓰므로 Reader 안테나를 Circular 로 사용 함.

3. Data Analysis

6) Peak Gain



| | | RHCP | | | | | |
|-----|---------|---------|------------|------------|----------|----------|--|
| No. | Freq. | Eff.[%] | Avg.[dBic] | Peak[dBic] | Theta[°] | Phi[deg] | |
| 1 | 904.000 | 49.82 | -3.03 | 2.17 | 15.00 | 105.00 | |
| 2 | 906.000 | 53.96 | -2.68 | 2.49 | 15.00 | 105.00 | |
| 3 | 908.000 | 57.99 | -2.37 | 2.76 | 15.00 | 120.00 | |
| 4 | 910.000 | 61.31 | -2.12 | 2.98 | 15.00 | 105.00 | |
| 5 | 912.000 | 63.45 | -1.98 | 3.10 | 15.00 | 120.00 | |
| 6 | 914.000 | 64.29 | -1.92 | 3.14 | 15.00 | 120.00 | |
| 7 | 916.000 | 64.14 | -1.93 | 3.12 | 15.00 | 120.00 | |
| 8 | 917.000 | 63.72 | -1.96 | 3.05 | 15.00 | 105.00 | |
| 9 | 918.000 | 63.10 | -2.00 | 3.00 | 15.00 | 120.00 | |
| 10 | 919.000 | 62.23 | -2.06 | 2.93 | 15.00 | 120.00 | |
| 11 | 920.000 | 61.16 | -2.14 | 2.84 | 15.00 | 120.00 | |
| 12 | 921.000 | 59.88 | -2.23 | 2.73 | 15.00 | 105.00 | |

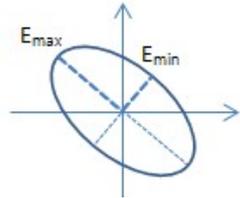
Antenna 의 챔버 data

- 측정 된 안테나는 circular antenna 이며 peak gain이 3.14dBic, 이때의 주파수 914MHz 가 중심주파수.
- +Z 방향으로 방사하는 지향성 안테나이며, peak gain 의 위치는 $\theta = 15^\circ$, $\phi = 120^\circ$
- 현재 측정값은 측정 각도를 15° 간격으로 측정 했으며 간격을 좁혀 측정 하면 더 정확한 값을 얻을 수 있음.

3. Data Analysis

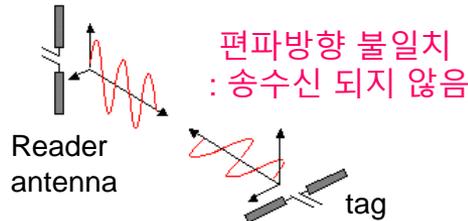
7) Axial Ratio (축비)

- 원형 편파 안테나에서 편파의 축 비율을 의미, 큰 축 대비 작은 축의 비율로 표시

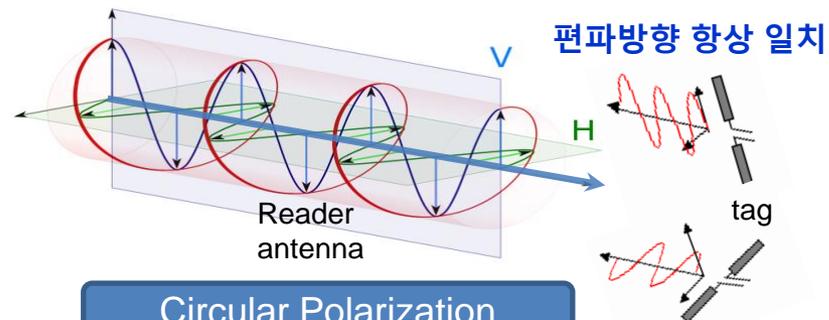


$$AR \text{ (Axial Ratio)} = E_{max} / E_{min}$$

- AR이 1인 안테나는 구현할 수 없으며, 일반적으로 Circular antenna는 타원 편파 형태를 보임. 축비가 낮을수록 수신 (또는 송신) 안테나가 각도에 따른 성능 차이가 없음
- RFID에서 tag는 일반적으로 linear antenna 이기 때문에 Reader의 antenna 는 AR이 좋은 Circular antenna 를 사용 해야 함. 그렇지 않을 경우 tag를 읽지 못하는 각도, 구간 (null) 이 생기거나 read range 가 tag의 각도에 따라 달라질 수 있음.



Linear Polarization



Circular Polarization

3. Data Analysis

8) Radiation Pattern

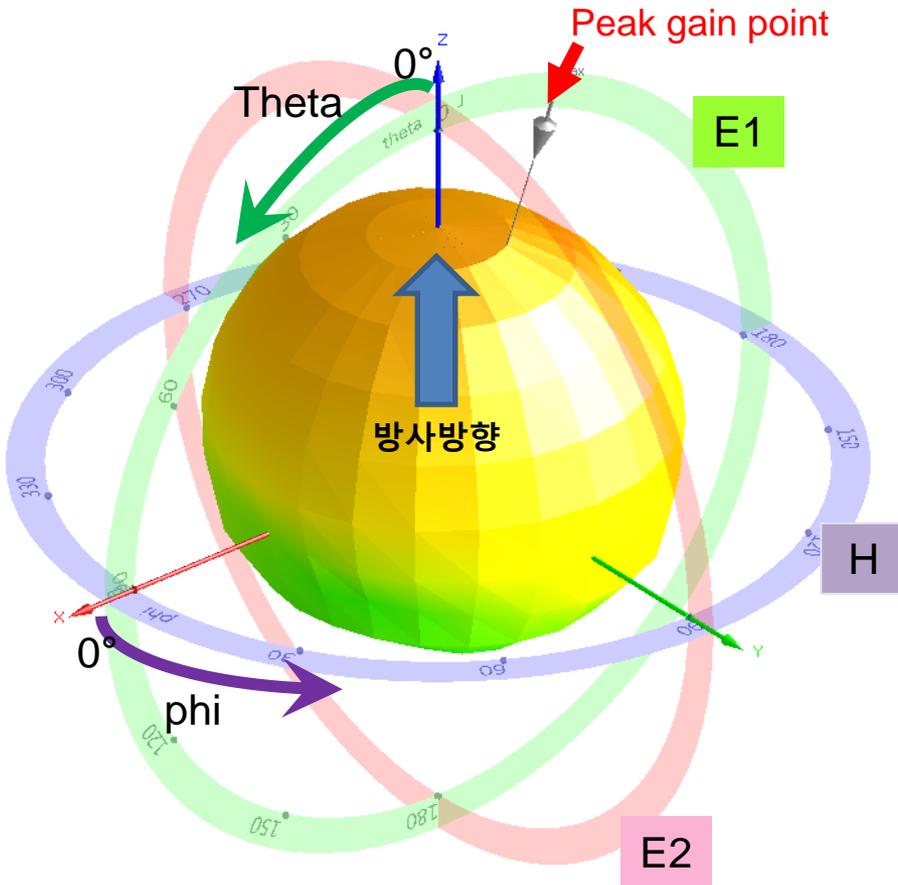
| No. | Freq. | RHCP | | | | | H(Theta=90) | | | | E1(Phi=0) | | | | E2(Phi=90) | | |
|-----|---------|---------|------------|------------|------------|----------|-------------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|
| | | Eff.[%] | Avg.[dBic] | Peak[dBic] | Theta[deg] | Phi[deg] | Avg.[dBic] | Peak[dBic] | Theta[deg] | BW[deg] | Avg.[dBic] | Peak[dBic] | Theta[deg] | BW[deg] | Avg.[dBic] | Peak[dBic] | Theta[deg] |
| 1 | 904.000 | 49.82 | -3.03 | 2.17 | 15.00 | 105.00 | -4.56 | -2.87 | 240.00 | 283.24 | -2.77 | 1.64 | 0.00 | 126.05 | -1.99 | 2.13 | 15.00 |
| 2 | 906.000 | 53.96 | -2.68 | 2.49 | 15.00 | 105.00 | -4.20 | -2.53 | 240.00 | 286.24 | -2.41 | 1.98 | 0.00 | 126.30 | -1.66 | 2.45 | 15.00 |
| 3 | 908.000 | 57.99 | -2.37 | 2.76 | 15.00 | 120.00 | -3.87 | -2.22 | 240.00 | 289.27 | -2.08 | 2.29 | -15.00 | 126.83 | -1.37 | 2.73 | 15.00 |
| 4 | 910.000 | 61.31 | -2.12 | 2.98 | 15.00 | 105.00 | -3.62 | -1.98 | 240.00 | 290.54 | -1.83 | 2.54 | -15.00 | 127.29 | -1.16 | 2.94 | 15.00 |
| 5 | 912.000 | 63.45 | -1.98 | 3.10 | 15.00 | 120.00 | -3.44 | -1.76 | 225.00 | 291.44 | -1.67 | 2.67 | -15.00 | 127.72 | -1.03 | 3.05 | 15.00 |
| 6 | 914.000 | 64.29 | -1.92 | 3.14 | 15.00 | 120.00 | -3.37 | -1.70 | 225.00 | 293.57 | -1.59 | 2.76 | -15.00 | 127.70 | -0.99 | 3.08 | 15.00 |
| 7 | 916.000 | 64.14 | -1.93 | 3.12 | 15.00 | 120.00 | -3.36 | -1.68 | 225.00 | 295.52 | -1.59 | 2.77 | -15.00 | 127.89 | -1.02 | 3.04 | 15.00 |
| 8 | 917.000 | 63.72 | -1.96 | 3.05 | 15.00 | 105.00 | -3.38 | -1.68 | 225.00 | 295.27 | -1.62 | 2.72 | -15.00 | 128.23 | -1.06 | 2.99 | 15.00 |

Antenna 의 챔버 data

- Freq. : Frequency 측정 주파수
- Eff.[%] : 안테나의 효율
- Avg.[dBic] : gain의 360도 평균 값
- **Peak[dBic] : gain 의 최고 값**
- Theta[deg] : peak point의 theta 각도
- Phi[deg] : peak point 의 phi 각도

- RHCP : E plane과 H plane 의 vector 합인 RHCP 성분 data
- H(theta=90°) : x-y 평면, 안테나의 수평면의 data
- E1(phi=0°) : x-z 평면, 안테나 수직면1의 data
- E2(phi=90°) : y-z 평면, 안테나의 수직면2의 data

3. Data Analysis

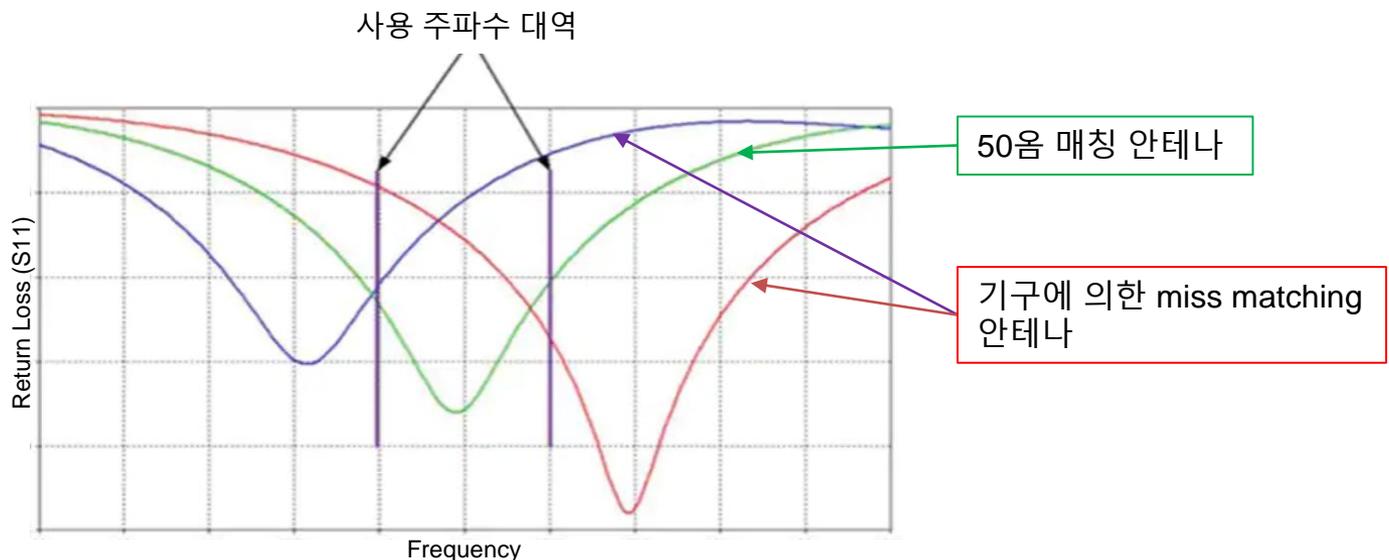


- +z 축 : 안테나의 방사 방향
- $H(\theta=90^\circ)$: Horizontal plane, x-y 평면, 안테나의 수평면의 data
- $E1(\phi=0^\circ)$: Elevated plane 1, x-z 평면, 안테나 수직면1의 data
- $E2(\phi=90^\circ)$: Elevated plane 2, y-z 평면, 안테나의 수직면2의 data

4. 안테나의 기구 매칭 (Matching within an enclosure)

1) 안테나의 miss matching

- 안테나는 입력 port로 부터 전달 된 신호가 전파 형태로 방사되는 소자. 전파를 최대한 방사하고 반사 손실을 최소화하기 위해 안테나의 임피던스를 50 옴에 최대한 근접하게 제작 해야 함. 이를 안테나의 매칭 (matching) 이라고 함.
- 원하는 주파수에서 50옴에 맞게 잘 제작 된 안테나도 기구에 장착 되면 기구의 재질, 안테나와의 간격, 기구 내 부품 등 주변 환경으로 인해 안테나의 임피던스가 변경되어 원하는 주파수에서 벗어나 동작 하게 됨. 이를 안테나의 miss matching 이라고 함.
- Miss matching 된 안테나는 중심주파수가 사용 주파수 대역에서 벗어나 원하는 대역에서 최대 성능을 낼 수 없게 됨.

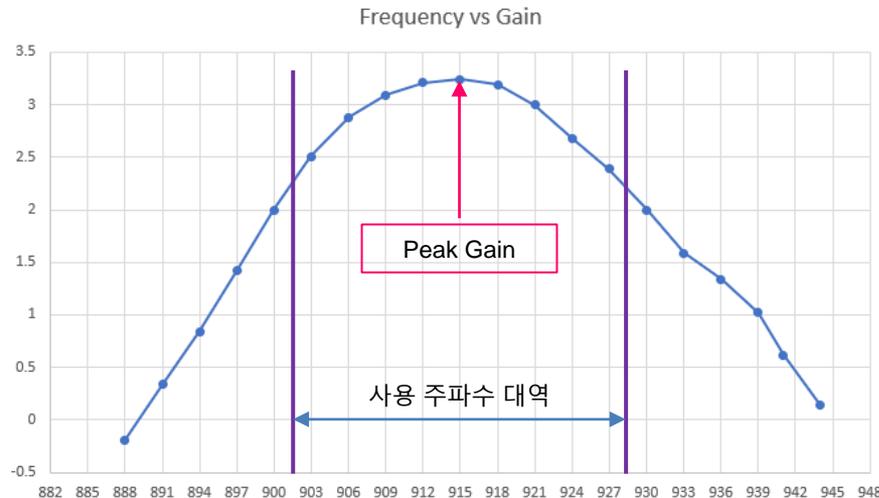


기구 체결로 인해 변화하는 안테나의 Return Loss (S11)

4. 안테나의 기구 매칭 (Matching within an enclosure)

2) 안테나의 기구 매칭

- 안테나가 장착 된 상태에서 기구 등 주변 환경에 의한 임피던스 변화량을 측정하고, 그 변화량 만큼 반대로 특성 변화를 주어 의도적으로 임피던스를 miss matching 하여 제작하면 안테나가 실제로 동작 하는 상태에서 50옴 매칭되어 원하는 주파수에서 동작의 최적화를 할 수 있음. 이러한 의도된 miss matching을 기구 매칭 이 라고 함.
- 안테나가 장착 되는 기구의 금형 변경, PCB의 위치, batter의 위치 등 변화가 발생했다면, 이로 인해 안테나의 임피던스는 같이 변경 되며 miss matching 이 발생 함. 이미 제작 된 샘플은 변경 된 기구에서 최적화 되지 않은 상태로 동작 할 수 있음. 안테나가 최적화 상태에서 동작 할 수 있도록 기구 매칭이 필요 함.
- 안테나의 기구 매칭은 최종 기구에서 반드시 확인 해야 함.



기구 체결 상태에서 최적화 된 안테나의 Gain curve

5. ERP & EIRP

- **Antenna gain Unit**

- dBi: linear gain based on isotropic radiator (dipole antenna = 2.15dBi)
- dBd: linear gain based on dipole (dipole antenna = 0dBd)
- dBic: circular gain based on isotropic radiator
- Normally dBi means a gain of linear antenna and is same as dBiL.

- $\text{dBd} = \text{dBi(dBiL)} - 2.15$
- $\text{dBic} = \text{dBi(dBiL)} + 3$
- $\text{dBic} = \text{dBd} + 5.15$

* Citation

<https://www.nordicid.com/resources/expert-article/rfid-reader-power-outputs>

<https://rfid.atlasfidstore.com/hubfs/Content/Conversion%20Tables.pdf>

5. ERP & EIRP

- **ETSI Standard**

- Power limits up to a **maximum of 2 W e.r.p. are specified for this equipment in the frequency band 865 MHz to 868 MHz** and up to a maximum of 4 W e.r.p. in the frequency band 915 MHz to 921 MHz.
- The recorded value shall be corrected for each of the antenna gains and be stated in e.r.p. To calculate the allowed conducted power with a circularly polarized antenna, formula (1) shall be used:

$$P_C = P_{erp} - G_{IC} + 5.15 + C_L [dBm] \quad (1)$$

- P_C : interrogator conducted transmit power in dBm
- G_{IC} : antenna gain of a circular antenna in dBic
- C_L : total cable loss in dB

- **Beam-width Limits**

The beam-width(s) of the antenna(s) in the horizontal orientation for the lower band shall comply with the following limits

For transmissions ≤ 500 mW e.r.p. there shall be no restriction on beam-width

For transmissions of > 500 mW e.r.p. to $\leq 1\,000$ mW e.r.p. beam-widths shall be $\leq 180^\circ$.

For transmissions of $> 1\,000$ mW e.r.p. to $2\,000$ mW e.r.p. beam-widths shall be $\leq 90^\circ$.

(Bandwidth of QUBE series = $110^\circ \sim 120^\circ$)

5. ERP & EIRP

- **FCC Standard**

- FCC Section 15.247(b) deals with regulations for frequency hopping within 902–928 MHz
- FCC Section 15.247(b) deals with maximum peak conducted output power of intentional radiators
- For systems using digital modulation in the 902–928 MHz, 2400.0–2483.5 MHz, and 5725–5850 MHz bands, **the maximum peak conducted output power of intentional radiators is 1 watt.**
- The conducted output power limit for various frequency bands is based on the use of **antennas with directional gains that do not exceed 6 dBi.**
- If transmitting antennas of directional gain greater than 6 dBi are used (see Section 15.247(c)), the conducted output power from the intentional radiator shall be reduced below the stated values, as appropriate, by the amount in dB that the directional gain of the antenna exceeds 6 dBi.
- As an alternative to a peak power measurement, compliance with the 1-watt limit can be based on a measurement of the maximum conducted output power.

5. ERP & EIRP

| | | Region | Max power | Gain unit |
|------|------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| ERP | Effective Radiated Power | ETSI (Lower Band) | 33dBm or 2W | dBd |
| EIRP | Effective Isotropic Radiated Power | FCC | 36dBm or 4W | dBIL |

- **RED4S +QUBE6015 radiated power in each region**

- RED4S = 27dBm
- QUBE6015 = 3.5dBic

- **ETSI(Lower Band)**

- $P_{erp} = P_C + G_d = P_C + G_{IC} - 5.15$ [dBm]
- $P_{erp} = 27 + 3.5\text{dBic} - 5.15 = \mathbf{25.35 \text{ dBm}}$

- **FCC**

- $P_{eirp} = P_C + G_{IL} = P_C + G_{IC} - 3$ [dBm]
- $P_{eirp} = 27 + 3.5\text{dBic} - 3 = \mathbf{27.5 \text{ dBm}}$

- So, dBm [ERIP] = dBm[ERP] + 2.15 ,

27.5 = 25.35 + 2.15, it is correct.

$$\begin{aligned} \text{dBm [ERIP]} &= \text{dBm[ERP]} + 2.15 \\ \text{dBd} &= \text{dBiL} - 2.15 \\ \text{dBiL} &= \text{dBic} - 3 \\ \text{dBd} &= \text{dBic} - 3 - 2.15 \end{aligned}$$

P_C : output power in dBm
 G_{IC} : antenna gain in dBic
 G_{IL} : antenna gain in dBiL
 G_d : antenna gain in dBd

Contact Information

PHYCHIPS Inc.

#104, 187 Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea (Yongsan-dong, Migun Technoworld 2), 34025

Web site : <http://www.phychips.com>

E-mail : sales@phychips.com

TEL : +82-42-864-2402

FAX : +82-42-864-2403

Disclaimer: PHYCHIPS reserves the right to make changes to the information in this document without prior notice. The purchase of PHYCHIPS products does not convey any license under patent rights owned by PHYCHIPS or others. PHYCHIPS does not assume any responsibility for the use of this product. It is the customer's responsibility to make sure that the system complies with regulations.

© 2021 PHYCHIPS Inc. All rights reserved. The reproduction of this document is NOT allowed without approval of PHYCHIPS Inc.