# Hilbert 커브 프랙탈 구조를 이용한 부분 접지된 RFID 리더 안테나

## RFID Reader Antenna with Hilbert Curve Fractal Structure over Partially Grounded Plane


**임정현, 강봉수, 좌정우, 김흥수, 양두영**
제주대학교 통신공학과

Jung-Hyun Lim(he2guy@cheju.ac.kr), Bong-Soo Kang(yagagi@unitel.co.kr),
Jeong-Woo Jwa(lcr02@magicn.com), Heung-Soo Kim(sookh@cheju.ac.kr),
Doo-Yeong Yang(yeongyd@cheju.ac.kr)



**요약**

본 논문에서는 Hilbert 커브 프랙탈 구조를 이용하고 안테나 밑면에 부분 접지면을 추가하여 910MHz에서 공진하는 UHF 대역 RFID 리더 안테나를 제안하였다. 안테나의 입력임피던스는 안테나를 구성하는 선로 편의 길이와 폭을 변화시키고 경유 홀의 위치를 이동시켜 50Ω을 갖는 급전선과 정합시켰다. 또한 안테나의 이득과 지향성은 부분 접지면의 크기를 변화시키고 선로 편을 추가하여 향상시켰다. 제작된 안테나의 크기는 68mm×68mm, 임피던스 대역폭(VSWR<2)은 882~942MHz이고 반사손실과 이득특성은 910MHz에서 -18.2dB, 5.3dBi를 갖는다.



■ 중심어 : | RFID 리더 | Hilbert 커브 프랙탈 구조 | 부분 접지면 | 경유 홀 |



**Abstract**

In this paper, UHF band RFID reader antenna using Hilbert curve fractal structure and adding the partially grounded plane at the bottom of antenna, which has a resonant frequency at 910MHz, is proposed. Input impedance of antenna is matched with the feed line of 50ohm by varying the length and width of line segment making up the antenna, and by moving the position of via hole. The gain and directivity of antenna is enhanced as varying the dimension of the partially grounded plane and adding the line segment. The size of fabricated antenna is 68mm×68mm. The impedance band width(VSWR<2) is 882~942MHz. The return loss and the gain of fabricated antenna are -18.2dB, 5.3dBi at 910MHz.



■ keyword : | RFID Reader | Hilbert Curve Fractal Structure | Partially Grounded Plane | Via Hole |


## I. 서 론

RFID란 사물에 부착된 전자 태그로부터 무선 주파수를 이용하여 정보를 송·수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 말한다. RFID는 사용주파수 대역에 따라 HF대역(13.56MHz), UHF대역(860~960MHz), ISM대역(2.4GHz) 등으로 구분되며, HF대역의 RFID는 유도 결합(inductive coupling)방식을 사용하므로 인식


* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구과제로 수행되었습니다. (IITA-2005-C109-0502-0009)

접수번호 : #070309-001
접수일자 : 2007년 03월 09일
심사완료일 : 2007년 03월 29일
교신저자 : 양두영, e-mail : yeongyd@cheju.ac.kr

영역이 협소하다는 단점이 있으며, ISM대역은 주변 환경의 변화에 민감하여 RFID 시스템의 성능이 다소 가변적이라는 단점을 가지고 있다. 반면 UHF대역은 HF 대역에 비해 인식율 및 인식거리가 뛰어나며 후방산란 결합(backscatter coupling)방식을 사용하므로 다수의 태그를 동시에 빠른 속도로 인식할 수 있고, ISM대역에 비하여 주변 환경 변화에 안정적이므로 다른 주파수 대역에 비해 주목을 받고 있다[1][2].

RFID시스템은 크게 리더와 태그로 구성되고 사용하는 용도에 따라 고정형과 이동형으로 분류할 수 있다. 고정형 리더에 사용되는 안테나는 크기에 큰 제약을 받지 않기 때문에 태그 인식거리와 검출 정확도를 높일 수 있도록 높은 이득을 갖는 배열형 구조로 설계되고 있다. 그러나 이동형 리더에 사용되는 안테나는 모바일 환경에 적합하도록 크기를 소형화해야 하고, 신뢰할 수 있는 동작성능과 용도에 맞는 방사패턴 및 이득을 가져야한다[3].

국내에서 일반적으로 사용되는 UHF대역 RFID리더 안테나는 동작 주파수가 908.5~914MHz이고 고정형 리더의 경우 인식거리가 1~2m, 안테나 이득이 6dBi 정도인 반면 이동형 리더는 인식거리가 30cm 내외, 안테나 이득은 약 3dBi 정도이다.

RFID 리더용으로 주로 사용되는 안테나의 종류로는 평판스트립(planar strip)안테나, 미앤더(meander)안테나, 헬릭스(helix)안테나, 와이어(wire)안테나 등 다양한 유형의 안테나가 있다. 이 중에서 주로 사용되는 안테나는 평판스트립 안테나 또는 프랙탈 형태의 안테나로서 다른 유형의 안테나보다 제작이 용이하고 안테나를 회로 기판 상에 효율적으로 집적할 수 있기 때문이다.

## II. 관련연구

### 1. 프랙탈 구조를 이용한 안테나

자기 닮음 특성을 갖는 프랙탈(fractal) 형태를 이용한 안테나는 다중 공진 특성과 소형화의 장점을 가지고 있다[4]. 다중 공진 특성을 이용하면 여러 대역에서 동시에 사용이 가능한 다중대역 안테나를 만들 수 있으며 프랙탈 안테나의 공간 채움 효과에 의한 안테나의 소형화가 가능하다. 이는 동일한 크기의 평면 안에 많은 안테나 소자를 집적 할 수 있으며 위상배열 안테나로 사용할 때는 안테나 소자 집적에 의해 낮은 부엽의 특성을 갖기도 한다. 하지만 프랙탈 형태를 이용한 안테나는 프랙탈 구조의 배열을 확장시켰을 때 안테나 소자간의 상호결합에 의한 편파가 발생하는 단점이 있다. 프랙탈 구조를 이용한 안테나는 다중공진 안테나와 전기적 소형 안테나로 분류할 수 있다. 다중공진 안테나는 여러 대역에서 같은 임피던스 특성을 보이고 프랙탈 구조가 반복됨에 따라 다중 공진 특성이 발생한다. 전기적 소형 안테나는 프랙탈 구조의 반복에 따라 지향성과 유효 면적은 감소하고 단위 면적당 유효 면적(Aem/S)은 증가하는 특성이 있다.

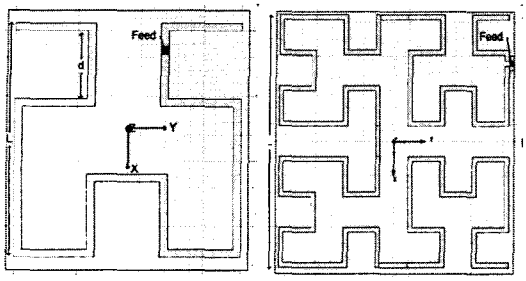
### 2. Hilbert 커브 프랙탈 안테나의 일반적인 특성

Hibert 커브 프랙탈 구조에서는 프랙탈 반복차수를 증가시키면 전기적으로 소형인 안테나의 설계가 가능하다. 즉 동일한 평면상에 프랙탈 반복차수의 증가로 인해 안테나의 공진 주파수가 낮아지기 때문에 전기적 소형 안테나를 설계할 수 있다.

[그림 1]은 프랙탈 반복차수의 변화에 따른 Hilbert 커브 프랙탈 구조 안테나 형태이다. 여기서 Hilbert 커브 프랙탈 구조의 세로길이를 L, 프랙탈 반복차수를 n, 각 선로 편의 길이를 d, 전체 선로 편들의 합의 길이를 S라고 하면 길이 L이 고정된 상태에서 프랙탈 반복차수가 증가 할수록 전체 선로 편들의 수도 증가한다. d와 S를 반복차수에 대한 식으로 표현하면, 식 (1)과 같다.

$$d=\frac{L}{2^n-1};\quad S=(2^{2n}-1)d=(2^n+1)L \qquad (1)$$

Hilbert 커브 프랙탈 구조를 안테나에 적용하면 안테나의 전체 면적이 동일한 상태에서 프랙탈 반복차수가 증가 할수록 공진주파수는 감소한다[5].




n=2 n=3

**그림 1. 반복차수에 따른 Hilbert 커브 프랙탈 구조**

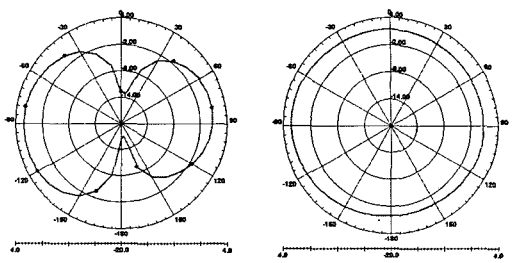
[표 1]은 안테나의 세로 길이 L을 70mm로 고정시키고 프랙탈 반복차수 n을 증가시켜 얻은 안테나의 공진주파수 특성과 대역폭을 나타낸 것이다. 안테나 설계에 사용한 회로기판은 비유전율 εr=4.3, 손실 탄젠트 tanδ =0.0018, 두께 t=0.787mm인 FR4 기판이다.

**표 1. 프랙탈 반복차수에 따른 공진주파수 및 대역폭**

| n | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| f0(MHz) | 717 | 496.6 | 351.7 | 261.3 |
| BW(%) | 4 | 0.94 | 0.31 | 0.11 |

여기서 f0는 1차 공진주파수이고 BW는 VSWR<2 기준의 안테나 대역폭을 나타낸다. 크기가 L×L인 고정된 사각형의 기판상에 설계된 Hilbert 커브 프랙탈 안테나는 프랙탈 반복차수가 1에서 4까지 증가함에 따라 공진주파수는 낮은 쪽으로 이동한다[6]. 즉 프랙탈 반복차수를 증가시키면 같은 평면 안에 전기적인 길이가 작은 안테나의 설계가 가능하다. 하지만 VSWR<2 기준에서 프랙탈 반복차수가 증가할수록 안테나의 대역폭은 감소됨을 알 수 있다.

[그림 2]는 프랙탈 반복차수가 2인 Hilbert 커브 프랙탈 안테나의 방사패턴 특성으로 안테나의 최대 이득은 Θ=90°, Φ=270° 인 지점에서 2.27dBi이다.



E-Plane(XY평면) H-Plane(YZ평면)

**그림 2. n=2인 Hilbert 커브 프랙탈 안테나의 방사패턴**

일반적인 Hilbert 커브 프랙탈 안테나는 방사패턴이 도넛 모양의 전방향성 특성을 가지고 있고 이득은 2dBi 안팎의 값을 가진다. 이러한 특성은 RFID 리더용 안테나로 사용하기에는 적합하지 못하다. 이동형 RFID 리더에 맞는 안테나의 특성으로는 지향성을 갖는 방사패턴과 최소 30cm이상의 인식거리를 가질 수 있도록 안테나의 이득이 4dBi정도를 유지해야 한다[7].

본 논문에서는 이동형 RFID 리더 안테나로써 Hilbert 커브 프랙탈 구조에 부분 접지면을 추가하고 접지면에 경유 홀을 뚫어 도체스트립과 연결한 형태의 안테나를 제작한다. 그리고 안테나는 이동형 RFID리더에 내장시키기 위해 크기가 작고 가벼운 평판형 구조를 제안한다. 안테나를 구성하는 설계 파라미터인 스트립선로의 길이와 폭, 접지면의 크기, 경유 홀의 위치변화를 조절하여 910MHz대역에서 사용이 가능한 모바일 RFID리더용 안테나를 설계하고 제작한다.

## III. 부분 접지된 Hilbert 커브 프랙탈 구조를 이용한 UHF대역 RFID리더 안테나 설계

### 1. 안테나 구조

[그림 3]은 Hilbert 커브 프랙탈 구조에 부분 접지면과 선로 편을 추가하여 RFID 리더 시스템 용도에 적합하게 설계한 안테나이다. 안테나는 HFSS(high frequency structure simulator) ver. 10의 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 설계한다.

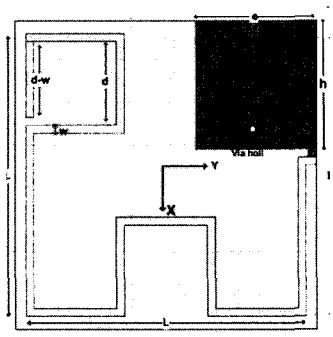



그림 3. 안테나의 기본 구조

안테나는 비유전율 εr=4.3, 손실 탄젠트 tanδ=0.0018, 두께 t=0.787mm인 FR4기판 상에 설계한다. 안테나의 전체크기 L×L은 68mm×68mm이고 급전은 50Ω 동축 케이블을 사용한다. 안테나의 밑면에는 부분 접지면을 추가하고 경유 홀을 뚫어 접지면과 안테나를 연결하고 왼쪽 상단에 추가적으로 d-w의 길이만큼 선로 편을 삽입한다. 안테나를 구성하는 각 선로 편의 길이 d와 선로 편의 폭 w를 가변시키면서 동축 케이블의 임피던스 50Ω에 정합시킨다. 안테나 밑면에 삽입된 접지면 안테나의 방사특성을 변화시켜 높은 이득특성을 갖게 한다. 안테나의 방사패턴을 조절하기 위해 경유 홀을 뚫어 접지면과 안테나를 연결하고 왼쪽 상단 부분에 선로 편의 길이 d-w를 추가한다.

## 2. 안테나 구조에 따른 특성변화

안테나의 구조에 있어서는 리더 안에 내장시킬 수 있는 평판형이면서 크기가 작고 가벼운 리더 안테나를 설계한다. 동축 케이블의 임피던스인 50Ω에 정합시키기 위해 제안한 안테나 구조에서 선로 편의 길이 d와 선로 편의 폭 w, 접지면의 가로길이 e를 파라미터로 두어 이들 값을 가변시키고, 이들 값의 변화에 따라 요구되는 임피던스 특성 값을 얻을 수 있도록 한다. 안테나의 이득과 방사패턴은 접지면의 가로길이 e와 선로 편을 추가하여 리더 안테나 특성에 맞게 설계한다. 이때 접지면의 형태에 따라 임피던스 특성에 차이를 나타낸다.

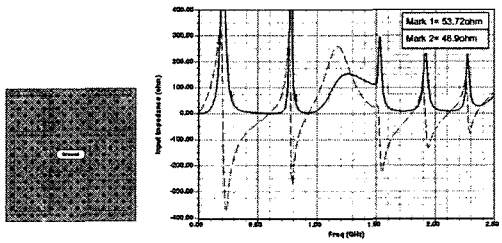



그림 4. 밑면 전체에 접지면을 추가한 경우 안테나의 임피던스 특성

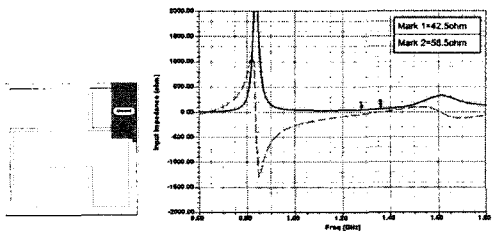



그림 5. 밑면 일부분에 접지면을 추가한 경우 안테나의 임피던스 특성

[그림 4]와 [그림 5]는 접지면의 형태에 따른 안테나의 임피던스 특성을 나타낸 그림이다.

기판 밑면 전체에 접지면을 추가하였을 때의 임피던스 특성을 살펴보면 임피던스의 실수 값이 50Ω을 만족하는 주파수 대역이 협소하고 주파수 변화에 따른 임피던스 값 변동이 매우 크기 때문에 임피던스 정합에 어려움이 따른다. 하지만 일부분만 접지면을 삽입한 경우인 [그림 5]는 임피던스의 실수 값이 50Ω을 만족하는 주파수 대역이 넓고 임피던스 변동 폭이 좁아 안테나와 동축 케이블을 정합하는데 용이하다. 즉 일부분만 접지면을 추가하고 선로 편의 길이 d와 폭 w를 조절하면 임피던스 특성을 50Ω에 맞게 정합이 가능하다.

[그림 6]은 안테나 구조에 있어서 선로 편의 길이 d에 따른 임피던스 특성을 나타낸 그림이다. 임피던스 50Ω에 정합시키기 위해 선로 편의 길이 d를 14mm부터 20mm까지 2mm단위로 가변시키면서 임피던스 변화 특성을 파악한다. 선로 편의 길이 d가 증가할수록 공진점은 점점 낮은 쪽으로 이동한다. 이는 선로 편의 길이 d가 증감함에 따라 전체 안테나의 크기가 커지기 때문이다.

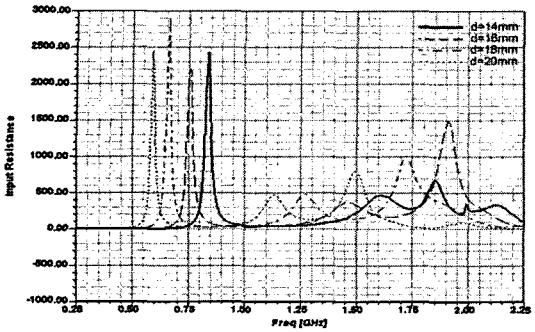



그림 6. 선로 편의 길이 d에 따른 잎피던스 실수부

[그림 7]은 선로 편의 폭의 변화에 따른 임피던스 실수부 특성을 나타내고 있다. 선로 편의 폭 w를 1.4mm에서 2.0mm까지 2mm단위로 가변시키면서 임피던스 변화 특성을 파악한 것이다. 따라서 선로 편의 폭 w를 미세 조정함으로써 50Ω 임피던스로 정합이 가능하다.

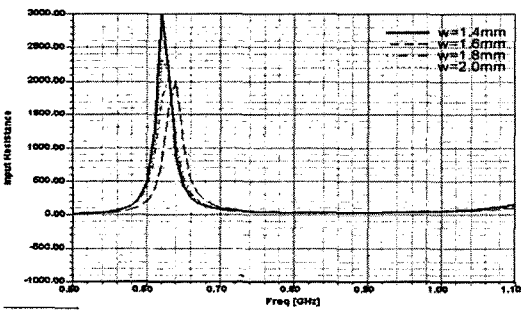



그림 7. 선로 편의 폭 w에 따른 임피던스 실수부

[그림 8]과 [그림 9]는 접지면의 가로길이 e의 변화에 따른 임피던스 특성이다. 접지면의 가로길이 e를 28.5mm에서 39.72mm까지 3.74mm단위로 가변시키면서 임피던스 변화 특성을 살펴보면 접지면의 가로길이 e가 커질수록 공진점은 점점 낮은 주파수 쪽으로 이동한다. 이는 안테나와 연결된 접지면이 증가함에 따라 리엑턴스의 변화가 커지기 때문이다.

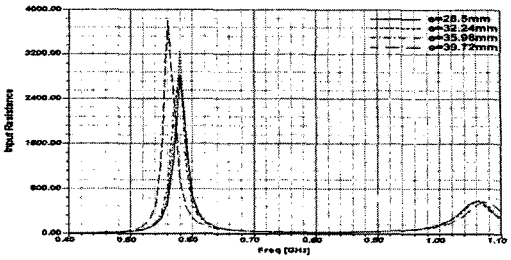



그림 8. 접지면의 가로길이 e에 따른 임피던스 실수부

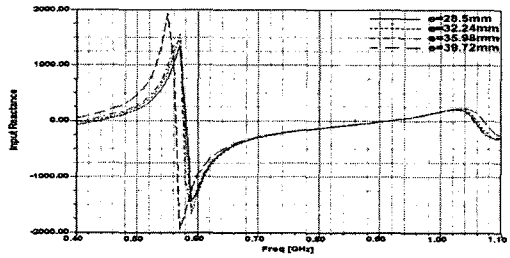
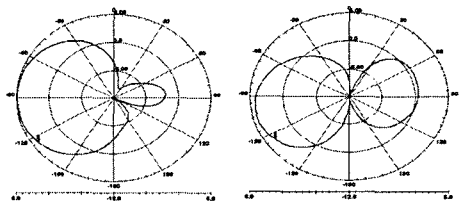
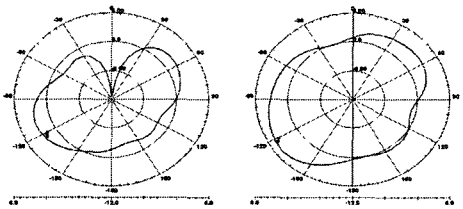



그림 9. 접지면의 가로길이 e에 따른 임피던스 허수부



(a)e=28.5mm일 때 (b)e=32.24mm일 때



(c)e=35.98mm일 때 (d)e=39.72mm일 때

그림 10. 접지면의 가로길이 e의 변화에 따른 방사패턴

[그림 10]은 Θ=90°인 XY평면에서 접지면의 가로길이 e의 변화에 따른 방사패턴 특성이다. 접지면의 가로길이 e의 변화에 따른 안테나의 이득과 방사패턴이 달라짐을 알 수 있다. 가로길이 e를 적절히 조절하면 RFID 리더 용도에 적합한 이득특성 및 방사특성을 얻을 수 있다.

[그림 11]은 안테나와 접지면을 연결하기 위한 선로 편의 위치 변화에 대한 구조이고 [그림 12]는 접지면과 연결하기 위해 경유 홀을 뚫는 위치를 1번에서 5번까지 차례로 이동시킬 때의 임피던스 특성에 대한 것이다.

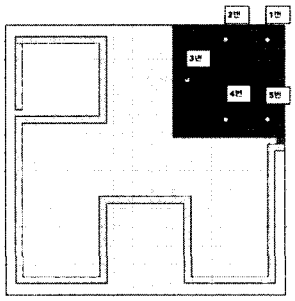
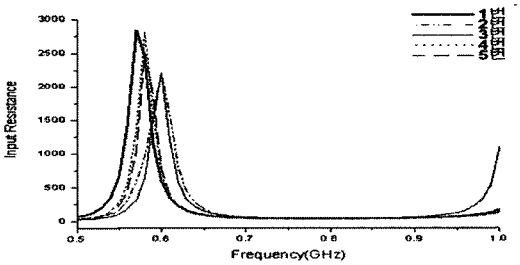
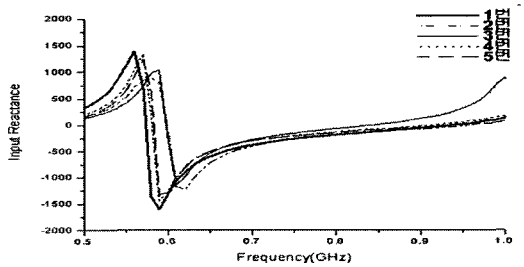



**그림 11. 경유 홀의 위치를 이동시킨 순서**




(a) 실수부

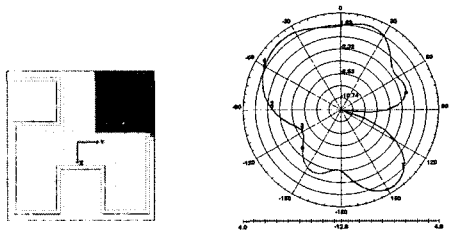



(b) 허수부

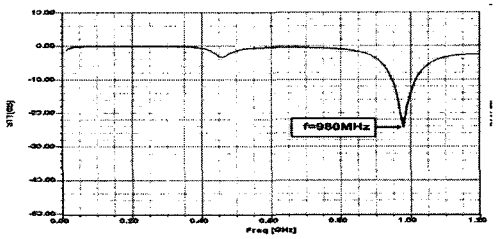
**그림 11. 경유 홀의 위치에 따른 임피던스 특성**

경유 홀의 위치에 따라 안테나의 공진 주파수는 변화를 보이고 있고 이 경유 홀의 위치를 이동시키면 50Ω 임피던스에 정합시킬 수 있다.

[그림 12]와 [그림 13]은 좌측 상단에 선로 편이 없는 경우와 선로 편의 길이 d-w를 추가하였을 때의 방사패턴 특성과 반사손실 특성을 나타낸다.

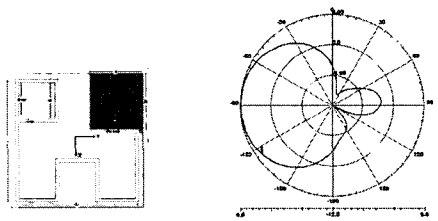


(a)안테나구조 (b)방사패턴

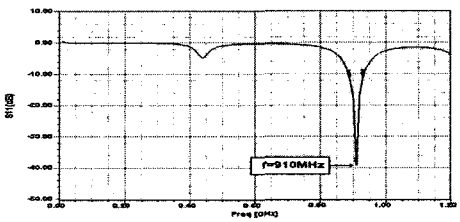



(c) 반사손실 특성

**그림 12. 선로 편을 추가하지 않을 때의 방사패턴 및 반사손실 특성**



(a) 안테나 구조 (b) 방사패턴 특성




(c) 반사손실 특성

**그림 13. 선로 편을 추가하였을 때의 방사패턴 및 반사손실 특성**

안테나의 좌측 상단에 길이 d-w만큼의 선로 편을 추가하였을 경우 그렇지 않은 경우보다 70MHz정도 낮은 주파수인 910MHz에서 공진되는 특성을 보인다. 이는 같은 평면상의 Hilbert 커브 프랙탈 구조 안테나와 비교하여 전기적으로 더 길어졌음을 의미한다. 또한 이득은

Θ=90°, ϕ=270° 인 지점에서 3.1dBi에서 5.3dBi로 증가한다.

## Ⅳ. 제작 및 측정

[표 2]는 안테나 구조의 특성변화로부터 RFID리더용으로 적합하게 설계된 안테나의 파라미터를 나타낸 것이다. 제작된 안테나의 전체크기는 68mm×68mm이고 급전점은 우측 선로 편의 부분에 급전 선로를 따로 연결하여 기판 끝에서 50Ω 동축 케이블을 사용하여 급전하였다.

[그림 14]는 제작된 RFID 리더 안테나의 사진이며 [그림 15]는 시뮬레이션 값과 측정된 반사손실 값을 나타낸 결과이다. 안테나의 반사손실 측정은 회로망 분석기(network analyzer)를 이용하여 측정하였고 S11은 -18.2dB이고 대역폭은 882~942MHz로 측정되었다. RFID 주파수 대역인 910MHz에서 공진주파수의 천이 현상은 발생되지 않았으나 반사손실 값은 다소 차이를 보였다.

**표 2. 안테나의 설계 파라미터 값**

| 설계 파라미터 | 변수 | 길이 |
|---|---|---|
| 선로 편의 길이(mm) | d | 19.6 |
| 선로 편의 폭 (mm) | w | 1.87 |
| 접지면의 가로길이 (mm) | e | 28.5 |
| 접지면의 세로길이 (mm) | h | 30.06 |
| 추가한 선로 편의 길이(mm) | d-w | 17.73 |
| 안테나의 외부길이(mm) | L | 66.28 |

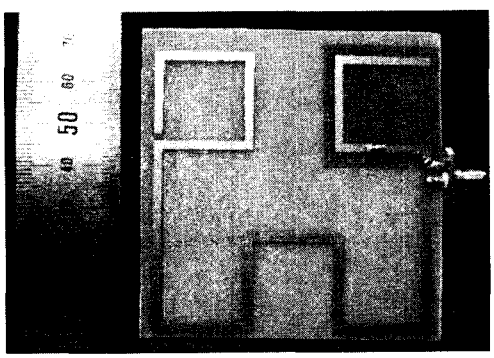


그림 14. 제작한 안테나 사진

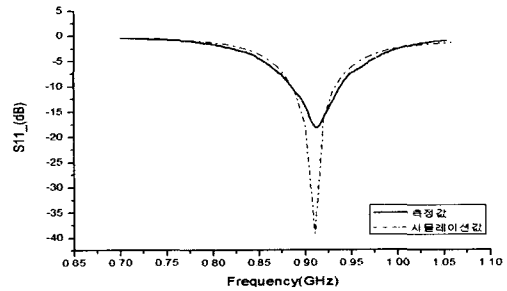
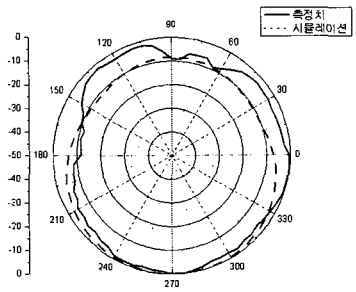
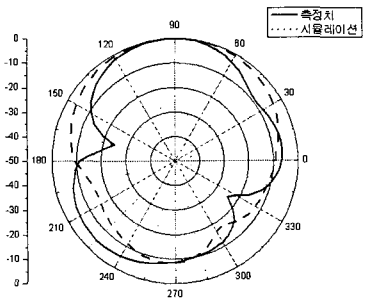



그림 15. 반사손실 시뮬레이션 값과 측정값(dB)

[그림 16]은 제작된 안테나를 원거리장 무반사 측정실에서 측정한 결과와 시뮬레이션 결과에 대한 방사패턴을 비교한 그림이다. 측정한 방사패턴이 부분적으로 시뮬레이션 결과와 차이를 보이고 있다. 이는 안테나와 접지면을 연결하는 경유 홀을 뚫는 과정에서 경유 홀의 크기가 시뮬레이션 값과 차이가 있어 방사패턴에 영향을 준 것으로 사료된다. 하지만 유사한 방사패턴을 보이고 있고 제작된 안테나의 주빔이 시뮬레이션 결과와 같은 방향인 Θ=90°, ϕ=270°에서 방사되고 있어 RFID리더용으로 적합하다고 여겨진다.




(a) E-Plane(Θ=90° 인 phi 평면)




(b) H-Plane(ϕ=270° 인 theta 평면)

그림 16. 방사패턴 시뮬레이션 값과 측정값

## V. 결 론

본 논문에서는 Hilbert 커브 프랙탈 구조를 이용한 도체스트립 안테나를 제안하고 설계하였다. 안테나의 입력 임피던스와 급전 선로간의 정합은 안테나의 설계 파라미터인 선로 편의 길이와 폭 부분 접지면의 가로길이, 경유 홀의 위치변화를 조절하여 910MHz에서 50Ω이 되도록 결정하였다. 그 결과 반사손실 S11은 중심주파수 910MHz에서 -18.2dB이고 대역폭은 882~942MHz인 특성을 나타내었다. 안테나의 이득과 방사패턴은 기판 밑면의 부분 접지면의 가로길이를 조절하고 좌측 상단에 선로 편을 추가하여 RFID리더 안테나의 용도에 적합하게 설계하였다. 안테나의 설계 파리미터들을 조절하여 얻은 안테나의 크기는 68mm×68mm이다. 본 논문에서 제안한 안테나는 국내 RFID 주파수 대역인 908.5~914MHz에서 반사손실이 -10dB이하이고 5.3dBi의 이득을 가지므로 RFID리더용 안테나로 적합하다고 사료된다.

## 참 고 문 헌


[1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2002.

[2] W. Rankl and W. Effing, *Smart Card Handbook*, John Wiley & Sons, 2003.

[3] X. Qing and N. Yang, "2.45GHz Circularly Polarized RFID Reader Antenna," IEEE Communication Systems ICCS 2004. The Ninth International Conference, pp.612-615, 2004.

[4] N. Cohen, "Fractal Antenna Applications in Wireless Telecommunications," in Professional Program Proceedings of the Electronics Industries Forum, Boston MA, pp.43-49, May 1997.

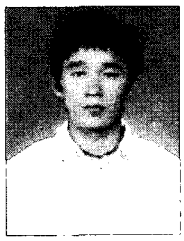
[5] K. J. Vinoy, K. A. Jose, V. K. Varadan, and V. V. Varadan, "Hilbert Curve Fractal Antennas if Reconfigurable Characteristics," in Proc. Dig. 2001, IEEE Microwave Theory and Techniques Society Int., Vol.3, pp.381-384, 2001.

[6] J. Zhu and A. Hoorfar, "Bandwidth, Cross Polarization and Feed-point Characteristics of Matched Hilbert Antennas," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, Vol.2, pp.2-5, 2003.

[7] 윤병태, 김용진, 이성수, 김영일, "모바일 RFID의 인식거리", 한국전자파학회지, 제16권, 제3호, pp.61-66, 2005.


## 저 자 소 개

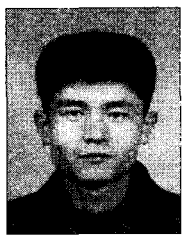

**임 정 현(Jung-Hyun Lim)** 준회원



- 2005년 8월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 통신공학과(공학석사과정)

<관심분야> : RF 회로 및 RFID, 안테나

**강 봉 수(Bong-Soo Kang)** 정회원



- 1996년 2월 : 명지대학교 전자공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학석사)
- 2004년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학박사수료)

<관심분야> : 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해석, 안테나 설계

**좌 정 우(Jeong-Woo Jwa)** 정회원

- 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : KAIST 정보 및 통신공학과(공학박사)
- 2002년 10월 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 조교수

<관심분야> : 무선인터넷 BM, 이동통신 프로토콜, 이동통신 시스템

**김 흥 수(Heung-Soo Kim)** 정회원

- 1980년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 1987년 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

<관심분야> : 마이크로파 능동회로, 안테나, RF 회로 설계 기법

**양 두 영(Doo-Yeong Yang)** 정회원

- 1984년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 1992년 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

<관심분야> : RF회로 및 RFID, 이동통신, 위성통신