프랙탈 이론을 이용한 433MHz 대역의 RFID 태그 안테나 개발

박동국* · 조익현* · 양규식*

Development of 433MHz RFID Tag Antenna using Fractal Theory

Dong-Kook Park* · Ik-Hyun Cho* · Gyu-Sik Yang*

요 약

본 논문에서는 컨테이너용 RFID로 이용할 수 있는 433MHz 대역의 RFID 태그용 안테나를 제안하고자 한다. 마이크로스트립 형태로 안테나를 제작하였고, 프랙탈 이론을 적용하여 크기를 축소할 수가 있었다. 시뮬레이션을 통해 433MHz 주파수에서 반사손실이 -20.9dB, 이득이 -3dB를 가지는 것을 확인하였다. 그러나 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 측정결과에는 약간의 차이가 있었으나, 급전부 위치를 수정하여 반사손실을 -15dB 되도록 하여 설계 제작된 안테나의 실용 가능성을 입증할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we present RFID Tag Antenna at 433MHz which can be available for RFID system. The antenna is composed of microstrip type antenna, whose dimension could be reduced by applying fractal theory. Simulated return loss and gain at 433MHz are -20.9dB, -3dBi. But there are some deviation on the point of resonance frequency between simulated and measured results. By modifying the antenna's feeding point, we obtain -15dB return loss and verify the utility of proposed antenna.

키워드

RFID, Fractal Theory, Microstrip, Patch Antenna

Ⅰ. 서 론

최근 사물에 태그(Tag)를 부착하여 무선으로 사물의 정보를 확인하고 주변 상황정보를 감지하는 전파식별(RFID : Radio Frequency Identification) 기술이 등장하여 IT 시장을 선도할 기술의 하나로 주목받고 있다. RFID 시스템은 사물에 부착된 태그로부터 전파를 이용하여 사물의 정보 및 주변 환경 정보를 인식하여 각 사물의 정보를 수집, 저장, 가공 및 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 처리 · 관리 및 사물 간 정보교환 등 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 그리고 칩, 태그, 리더, 미들웨어 및 응용 서비스 플랫폼으로 구성되고 유 · 무선 통신망과 연동되어 사용된다. 이러한 기술은 기존의 바코드를 대체하여 상품관리를 네트워크화 및 지능화 하여 유통 및 물품관리 뿐만 아니라 보안, 안전, 환경 관리 등에 혁신을 선도할 것으로 전망되고 있다[1].

* 한국해양대학교 전자통신공학과

접수일자 : 2007. 11. 7

RFID는 저주파(125kHz, 135kHz), 고주파(13.56 MHz), 극초단파(433.92MHz, 860 ~ 960MHz) 및 마이크로파(2.45GHz) 등 여러 무선 주파수대에서 동작하는 시스템이 제시되어 상용화 되었다. 그 중에서 433MHz 대역은 능동형 태그에 기반한 전자기파 방식을 적용하여 컨테이너 관리용 주파수로 국제표준(ISO/ IEC 1800-7)이 확정되었다. 미국에서는 컨테이너 관리용으로 사용하고 있으며, 모든 수·출입 컨테이너에 사용을 검토 중에 있다. 한국에서는 433MHz 대역이 기존에 아마추어용으로 사용되어 왔으나, 공청회를 통하여 의견을 수렴과정을 거쳐 2004년 10월에 433MHz 대역을 아마추어 무선국과 공동으로 사용할 수 있도록 분배하였다[2]. 그 후 실제 적용은 부산항을 통하는 수·출입 화물 등 모든 물류에 RFID칩을 부착해 물류정보를 실시간으로 관련업계 및 기관에 제공, 물류 흐름과 컨테이너 터미널의 생산성을 획기적으로 개선시키는 지능형 항만인 U-포트(Ubiquitous Port) 시스템에 이용되고 있다. 해양수산부는 부산항에 유비쿼터스 환경이 구축되면 운송사, 화주, 컨테이너 터미널 등 물류주체들에게 물류비 부담을 덜어 부산항의 경쟁력 강화로 이어질 것으로 보고 있다. 그리고 화물의 이동 상황과 이상 유무를 쉽게 추적·파악할 수 있어 보다 신속한 물류처리와 물류비의 절감, 부두 생산성 향상, 항만 서비스 및 경쟁력 제고, 화물과 항만의 보안관리 강화 등이 가능하게 된다[3].

따라서 433MHz 대역의 RFID 태그용 안테나의 프랙탈 이론을 이용한 형태를 제안·연구하여, 향후 실제 시스템에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

Ⅱ. 프랙탈 이론(Fractal Theory)을 이용한 안테나

2.1. 프랙탈 이론

프랙탈 이론(Fractal Theory)은 1975년 IBM 연구원으로 있던 만델브로트(Benoit B. Mandelbrot)에 의해 처음 고안된 이론으로서, 1967년 영국의 과학 잡지 '사이언스'에 "영국을 둘러싸고 있는 해안선의 총 길이는 얼마인가?"라는 논문을 통해 프랙탈 이론을 설명한 바가 있다. 이 논문에서 그는 영국의 프랙탈적인 해안선(리아스식 해안선)의 길이는 어떤 단위의 자로 재느냐에 따라 얼마든지 달라질 수 있다고 주장했으며, 실제로 이의 증명도 하였다. 프랙탈의 특징에 대해 알아보면 자기 유사성(Self-Similarity)을 전제로 끊임없이 자기 복제를 반복하는 순환성(Recursiveness)의 특성을 가진다. 이는 아주 간단한 수학식인 $Z = Z^2 + C$ 에 의해서 증명할 수 있다. 그리고 프랙탈은 자기 유사성, 순환성 외에 알고리즘의 단순성이라는 특징도 가지고 있다. Z와 C는 복소수(complex number)라는 점을 제외하면 아주 간단한 수학식이다. 만델브로트의 구체적인 관심사는 이런 단순한 방정식에서 나오는 값의 증가였다. 그는 어떤 C값에서는 방정식에서 나오는 허수의 값이 계속 증가할 것임을 알았다. 그러나 다른 C값에서 그 허수의 값은 아주 작은 두 허수 사이를 왕복한다. 그래서 그는 컴퓨터를 이용, 허수 값이 무한히 발산하지 않는 각각의 C값을 화면 위에 점으로 표현했다. 그 결과 <그림 1>과 같은 만델브로트 집합이 나왔다. 납작하게 눌린 벌레의 가장자리에 수많은 촉수가 달린 모습이었고, 어떻게 보면 잉크 얼룩과도 같았다. 그것은 정사각형, 정삼각형, 원 같은 순수한 기하학적 형태와는 거리가 먼 유기적 형태였다. 만델브로트는 그림을 계속 확대해 보았으나 단지 더 세부적인 형태만 나왔다. 계속 확대해 들어가도 보이는 것은 더 복잡한 구조뿐이었다. 만델브로트 집합의 세부적 형태는 끝없이 계속된다는 사실이 곧 분명해졌다. 그것을 영원히 확대해도 같은 모양의 구조가 계속 나올 것이다. 프랙탈 기하학은 고전적 기하학에서와 달리 특정된 크기나 축척이 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 알게 된 것이다[4].

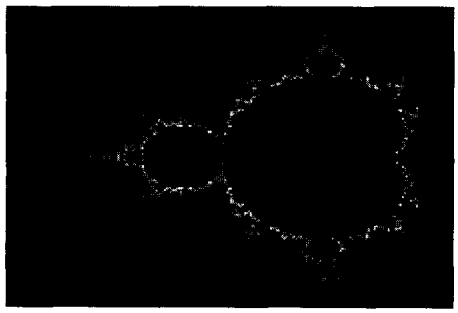

그림 1. 만델브로트 집합[4]
Fig. 1 The Mandelbrot set

이러한 프랙탈의 예 몇 가지를 더 들자면 대표적으로 코흐 곡선, 시어핀스키 삼각형, 칸토어 집합을 들 수가 있다.

프랙탈 구조는 자연물, 수학적 분석, 생태학적 계산,

위상공간에 나타나는 운동모형 등 곳곳에서도 발견되어 자연이 가지는 기본적인 구조라는 사실을 깨닫게 되었다. 따라서 프랙탈 구조에 대한 이해를 통하여 불규칙하며 혼란스러워 보이는 현상을 배후에서 지배하는 규칙도 찾아낼 수 있게 되었다. 현재는 주로 미술, 영상 기법, 수치 해석 등의 분야에서 널리 쓰이고 있다[4].

2.2. 프랙탈 이론을 적용한 안테나

프랙탈 이론을 적용한 안테나는 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 분야로, 여러 가지 다양한 형태가 있다. 첫째로 모노폴 형태의 안테나는 일반 모노폴 안테나에서 변형을 주어 트리형 구조로 변형을 주는 것으로 비율적인 반복을 통해 얻을 수가 있다. 트리형 구조 이외에도 코흐 곡선과 시어핀스키 삼각형 등 다양한 형태의 안테나가 있을 수 있다. 둘째, 다이폴 형태의 안테나로 모노폴 구조의 형태들을 연장해 놓은 것들이다. 세 번째로는 루프 형태의 안테나이다. 루프형 구조에서도 코흐 곡선을 이용하여 나타낼 수 있으며, 민코스키(Mincowsky) 구조와 같은 형태로도 나타낼 수 있다. 민코스키 구조는 트리형 구조에서처럼 비율적 변화를 이용하여 최초의 사각형에서 무한히 변형을 한 형태로 할 수가 있다. 그 외에도 다양한 형태의 프랙탈 안테나들이 존재하고 기하학적 형태로의 변형이 가능하다[5].

III. 안테나 시뮬레이션

433MHz 대역의 RFID 태그용 안테나를 제작하기 위해서 먼저 프랙탈 이론 중에서도 민코스키 곡선을 이용한 형태로 결정을 하였다. 이는 프랙탈 이론을 활용하면 안테나의 크기를 상당히 축소할 수 있기 때문이다. 그리고 태그용 안테나에 적합할 수 있도록 얇은 두께, 낮은 부피, 대량생산 등이 용이한 마이크로스트립 안테나(Microstrip Antenna)의 형태로 시뮬레이션을 하여 보았다[6]. 또한 안테나가 마이크로웨이브 집적회로에 쉽게 집적이 가능하고, 급전라인이나 매칭 구조를 안테나 구조와 동일한 평면에 제작이 가능한 장점 등이 있어 RFID 태그용 안테나를 제작하기에 적합한 형태이다[7].

시뮬레이션 툴은 Ansoft사의 Designer를 이용하여 최초 안테나의 형태를 다이폴 형태로 하여 사각형의 형태에서 민코스키 곡선을 2차 변형까지 적용하여 <그림 2>의 최초 형태에서 <그림 3>의 1차 변형을 거쳐서 <그림 4>의 2차 변형과 같이 만들었다. 그리고 <그림 5>에서는 각각의 변형에 따른 반사손실을 비교하여 보았다.

<그림 5>에서 알 수 있듯이 민코스키 곡선의 형태로 변형을 가할수록 안테나의 파장 길이가 늘어나기 때문에 중심 주파수가 저주파 대역으로 이동하고 있는 것을 알 수가 있다. 그리고 변형의 차수가 커질수록 이동되는 주파수의 폭은 줄어들고 있는 것을 확인할 수가 있었다. 이는 변형을 가할수록 무한히 커질 수는 있으나, 전체 크기로 봤을 때는 그 변화가 그렇게 크지 않기 때문에 이동되는 주파수의 변화 폭이 줄어드는 것이다.

그리고 마이크로스트립 도선의 굵기를 변화시키면서 안테나의 특성이 어떠한 형태로 변화하는지를 관찰하여 보았다. <그림 6>에서 이러한 도선의 굵기 변화에 따른 안테나의 반사손실의 변화를 나타내고 있는 그래프이다. 안테나의 굵기가 얇아질수록 저주파로 중심주파수가 이동되고 있는 것을 알 수가 있다.

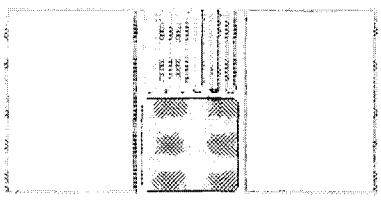

그림 2. 최초 안테나의 형태
Fig. 2. Original antenna

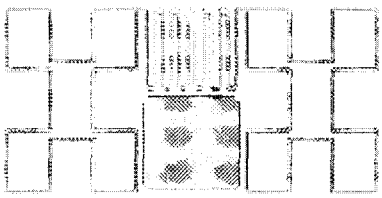

그림 3. 1차 변형을 거친 안테나의 형태
Fig. 3. First modified antenna

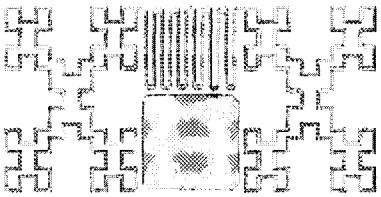

그림 4. 2차 변형을 거친 안테나의 형태
Fig. 4. Second modified antenna

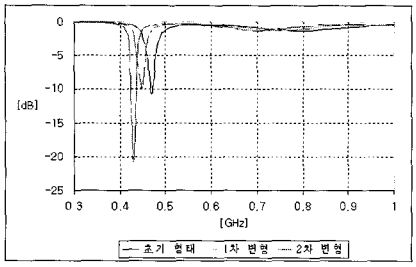

그림 5. 안테나의 변형 형태에 따른 반사손실 비교
Fig. 5. Return losses after antenna modification

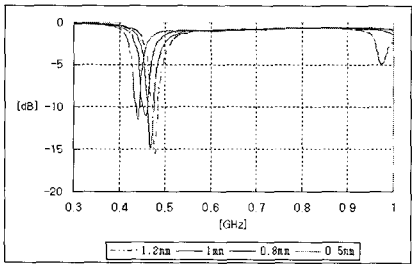

그림 6. 안테나의 굵기 변화에 따른 반사손실 비교
Fig. 6. Return losses from antenna thickness

최종적으로 시뮬레이션된 형태는 민코스키 곡선의 2차 변형을 거친 형태로 하고 도선의 굵기를 0.5 mm로 하여 시뮬레이션을 하였다. 이는 실제 제작상의 문제도 있고 시뮬레이션 상에서 가장 효율적인 <그림 4>의 형태로 결정하였다. 최종 결정된 형태의 시뮬레이션 결과는 <그림 7>과 <그림 8>에서 제시하고 있다. 아래의 그림들과 같이 반사손실 값은 433MHz에서 -20dB를 나타내

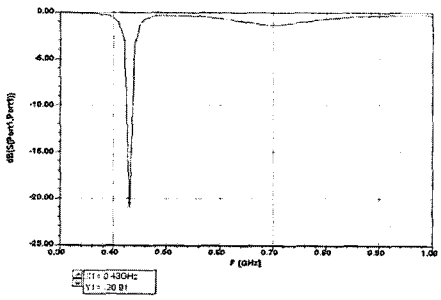

그림 7. 시뮬레이션의 반사손실 값
Fig. 7 Simulated return loss

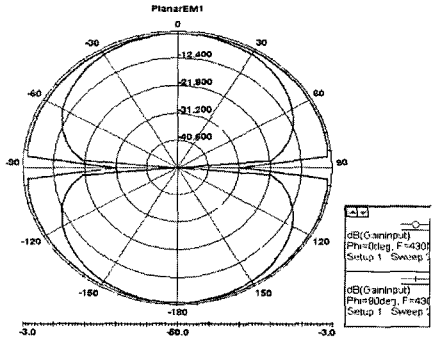

그림 8. 시뮬레이션의 방사패턴 값
Fig. 8. Simulated radiation pattern

고 있으며 방사패턴은 전방향성 안테나의 특성을 보이면서 이득 값이 약 -3dB 값을 가지는 것을 알 수가 있다.

Ⅳ. 안테나 제작 및 분석

앞의 시뮬레이션 결과를 토대로 하여 실제로 마이크로스트립 안테나를 제작하여 보았다. 안테나의 제작에는 마이크로스트립 기판의 유전율이 4.4, 높이가 1.6 mm인 FR4 에폭시 기판을 이용하였으며, <그림 9>는 최종적으로 제작된 안테나의 형태이다.

민코스키 곡선의 2차 변형을 거친 형태로 민코스키 곡선 두개의 사이에 미엔더 구조를 두어 안테나의 크기를 소형화 할 수 있었다.

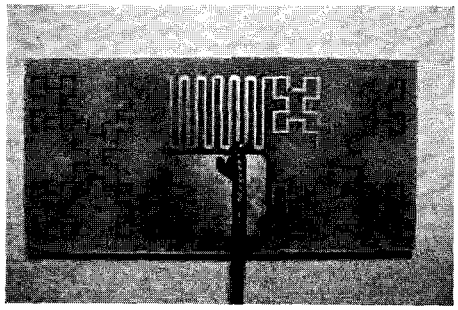

그림 9. 제작된 안테나의 형태
Fig. 9. Fabricated antenna

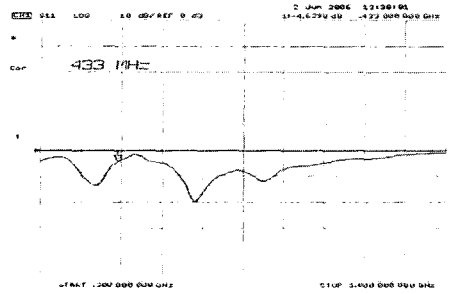

그림 10. 네트워크 분석기에서의 안테나 반사손실 측정값
Fig. 10. Measured return loss by VNA

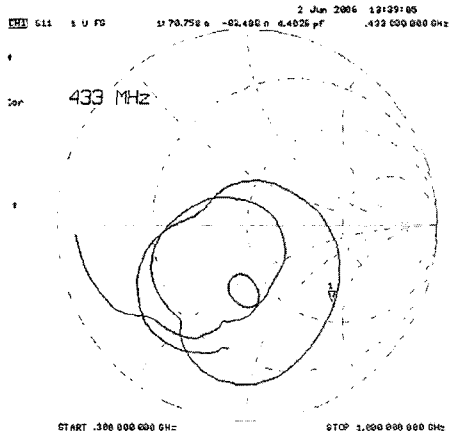

그림 11. 네트워크 분석기에서의 안테나 스미스 차트
Fig. 11. Measured Smith chart by VNA

제작된 안테나의 실제 크기는 70 mm × 35 mm 의 명암과 비교하였을 때 약간 더 작은 크기이다. 이러한 크기는 400MHz대의 다이폴 안테나나 패치 안테나의 크기와 비교하였을 때 상당히 축소된 크기이다. 그리고 뒷면의 접지면을 없애고 안테나와 같은 층에 접지 면을 두어 실제 433MHz 대역의 RFID 태그로 이용할 때 수동・능동 소자를 위치시킬 수 있도록 설계를 하였다. 제작된 안테나의 측정은 네트워크 분석기(Network Analyzer)를 이용하여 반사 손실과 스미스 차트를 보고 임피던스 매칭의 상태를 확인하였다. 안테나의 이득 측정은 장비의 제약으로 측정해 보지 못하였다.

<그림 10>과 <그림 11>에서 보듯이 실제로 제작된 안테나와 시뮬레이션 결과가 크게 차이가 나는 것을 알 수가 있다. 반사손실은 433MHz에서 -4.6dB로 90%의 반사가 일어나는 -10dB이하의 값이 되지 못하고 있으며, 스미스 차트에서도 50Ω의 임피던스에 매칭이 되지 못하고 있다. 이에 대한 원인으로는 시뮬레이션 상에서의 급전 형태와 실제 제작한 안테나의 급전 형태의 차이점 때문이었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 안테나의 임피던스를 매칭하는 방법에는 여러 가지방법이 있지만 우선적으로 급전의 위치를 변화 시켜 임피던스의 변화를 관찰하며 매칭 상태를 확인하였다. 그 결과 최종적으로 안테나 급전의 위치가 <그림 9>의 미엔더 구조에서 한칸 중앙으로 들어간 형태에서 임피던스 매칭이 가장 잘 일어나는 것을 확인하였다. <그림 12>와 <그림 13>은 급전의 위치를 옮긴 후 임피던스 매칭이 어느 정도 일어나고 있는지에 대해 네트워크 분석기를 이용하여 측정한 결과이다.

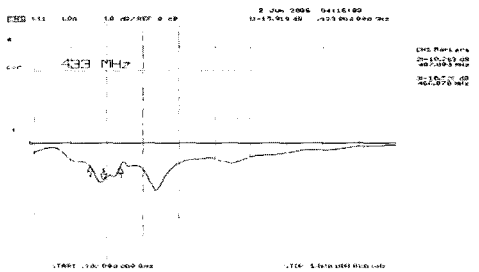

그림 12. 급전의 매칭 후 안테나 반사손실 측정값
Fig. 12. Measured return loss after feed point matching

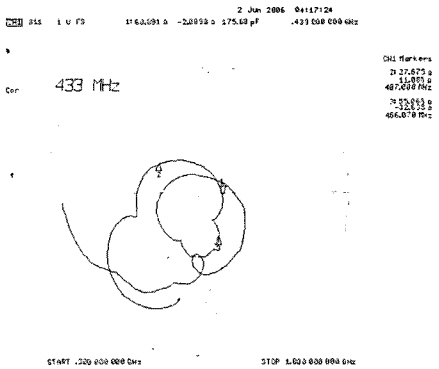

그림 13. 급전의 매칭 후 안테나 스미스 차트
Fig. 13. Measured Smith chart after feed point matching

급전의 위치를 변화 시켜 임피던스의 매칭을 한 이후에 측정된 결과에서는 433MHz에서 반사손실의 값이 -15dB로 나타나는 것을 알 수 가 있다. 대역폭은 407 ~ 466MHz의 59MHz이다. 그리고 스미스 차트 상에서의 임피던스 매칭값 또한 완전히 50Ω이 되지는 못하였으나, 어느 정도 50Ω 근처에서 동작되고 있음을 알 수가 있다.

V. 결 론

컨테이너용 433MHz 대역의 RFID 기술은 미국 및 유럽에서 시행 중에 있으며, 현재 국내에서도 부산항의 U-포트에 적용하여 향후 전국의 컨테이너 물류에 이를 적용할 계획으로 발전이 기대되고 있는 분야이다[3]. 그리고 표준화 동향에도 기술의 보유와 발전정도가 영향을 미칠 것으로 분석하고 있다.

이에 국내에서도 국제표준 (ISO/ IEC 1800-7)에 맞게 관련 법규를 제정하여 발전을 유도하고 있다.

433MHz 대역의 RFID 태그용 안테나에 프랙탈 이론을 적용하여 안테나의 크기를 축소할 수 있었으며, 특히 프랙탈 이론 중에서도 비교적 단순한 형태인 민코스키 곡선을 이용하여 최초 형태에서 2차까지의 변형을 하여 안테나를 제작하였다. 그리고 안테나를 얇은 두께, 낮은 부피, 대량생산 등의 장점을 가지는 마이크로스트립의 패치 안테나로 제작하였다[6]. 또한 마이크로웨이브 집적회로에 쉽게 집적이 가능하고, 급전라인이나 매칭 구조를 안테나 구조와 동일한 평면에 제작이 가능한 장점 등이 있어 RFID 태그용 안테나를 제작하기에 적합한 형태이다[7].

민코스키 곡선의 최초 형태에서 1차와 2차에 걸친 변형을 주었을 때 중심 주파수가 저주파 쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 마찬가지고 도선의 굵기를 변화 시켰을 때 도선이 얇아질수록 저주파 쪽으로 이동되는 것을 확인할 수가 있었다. 최종적으로 시뮬레이션된 형태에서는 이득이 -3dB이고 반사손실이 -20.9dB가 나왔다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제로 제작된 안테나는 시뮬레이션 결과와 많은 차이를 보이고 있었다. 이는 시뮬레이션 상에서의 급전방식인 포트 급전과 실제로 안테나의 급전상의 차이로 인한 오차였다. 실제 네트워크 분석기에서의 측정 결과에서도 임피던스 매칭이 되지 않고 있음을 알 수가 있다. 이를 개선하기 위하여 급전의 위치를 변경하는 것으로 임피던스 매칭을 하여 네트워크 분석기에서 측정한 결과 반사손실의 값이 -15dB로 나타나는 것을 알 수 가 있다. 그리고 스미스 차트 상에서의 임피던스 매칭값 또한 완전히 50Ω이 되지는 못하였으나, 어느 정도 50Ω 근처에서 동작되고 있음을 알 수가 있다.

발전과제로는 본 논문에서 제작한 안테나와 시뮬레이션 결과와의 차이에 대해 더욱 정밀한 오류의 수정이 필요하다. 그리고 고차원의 프랙탈 이론을 적용하여 소형화와 특성을 개선시킬 수 있을 것이다. 또한 정밀한 임피던스 정합을 통한 안테나의 효율을 증가시킬 필요성도 있다. 끝으로 다양한 형태의 프랙탈 이론을 적용하여 보고 다른 분야에서의 활용도 가능한지에 대한 검토가 필요할 것이다.

참고문헌

[1] 표철식, 채종석, "RFID 기술 및 표준화 동향", *TTA 저널 제95호*, pp. 37-47, 2004. 10.

[2] 이은주, 성낙선, 최길영, 표철식 "항만 물류용 능동형 RFID 기술", *한국전자파학회 전자파 기술 제16권 3호*, pp. 26-32, 2005. 7

[3] 부산항 RFID (전자태그 무선주파수 인식장치) 기반의 항만물류 효율화 1단계 사업 착수 보고서, 해양수산부, 부산 항만공사 2006. 6.

[4] 위키 백과 ko.wikipedia.org, "프랙탈"

[5] John P. Gianvittorio, "Fractal Antenna : Design, Characterization, and Application", *University of California, Los Angeles*, 2000.

[6] 윤영중, 홍의석, 전계석, 김민준, 임영석, 정백호, *안테나 이론과 설계 (Antenna Theory and Design : Second Edition)*, 교보문고, 2000. 3.

[7] 김영달, 이영훈, 권원현, "평면형 다이폴 안테나를 이용한 UHF RFID 태그 안테나 특성", *한국전자파학회 논문지 제16권 2호*, pp. 204-210, 2005. 2.

저자소개

박 동 국(Dong-kook Park)

1987.2 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1989.2 KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1994. 8 KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
※관심분야 : 안테나, 초고주파 회로

조 익 현(IK-Hyun Cho)

2007년 2월 한국해양대학교 전자통신·전파공학부(공학사)
2007년 3월 ~ 현재 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
※관심분야 : 안테나, 초고주파 회로

양 규 식(Gyu-Sik Yang)

1974. 2 한국항공대학 항공통신공학과 (공학사)
1984. 2 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1991. 8 건국대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1986. 9 ~ 현재 한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부 교수
1992. 9 ~ 1993. 8 미국 Univ. of Michigan 방문교수
※관심분야 : 안테나, 통신시스템