

연구논문

실시간 위치추적을 위한 2.45GHz 능동형 고주파 시스템에 관한 연구 A Study of 2.45GHz Active RF System for Real Time Location

김진영* · 정용섭** · 강준희***

Kim, Jin Young · Jung, Young Sub · Kang, Joon Hee

要 旨

실시간 위치추적 (Real Time Location System ; RTLS) 시스템은 유비쿼터스 사회에서 인물, 자산, 물류제품을 실시간으로 추적하기 위해 매우 중요하다. 본 연구에서는 RTLS를 위해 능동형 RF 시스템을 개발하였고 개발된 시스템의 성능을 측정하였다. 본 시스템에서 개발한 RTLS 시스템은 3개의 능동형 리더(수신기)와 1개의 태그로 구성되었다. 개발된 능동형 소형 태그에는 동전형 배터리를 내장하였다. 태그의 소형화를 위해 내장형 PCB 안테나와 칩 안테나를 장착하여 태그의 성능을 측정하였다. 또한, RF 시스템의 제조 원가를 줄이기 위해 저가의 RF 트랜시버 CC2510 칩셋을 사용하였다. CC2510 칩셋은 능동형 태그와 능동형 리더 (수신기)사이의 거리를 측정하기 위한 수신신호 강도지시기가 (Received Signal Strength Indicator ; RSSI) 내장되어있다.

핵심용어 : 유비쿼터스, RF, 위치정보, 실시간, 태그

Abstract

The Real Time Location System (RTLS) is very important in the ubiquitous society for real time tracking of men, high price assets, and logistics products. In this work, we developed an active RF system for RTLS and tested its performance. The RTLS system developed in this work was constructed of three active readers and one active tag. The small size tag developed in this work operated with a coin type battery. To make the tag smaller, we used an internal PCB antenna and a chip antenna. We tested the performance of the tag. To reduce the manufacturing cost of our RF system, we used low price RF transceiver CC2510 chip-set. The CC2510 chip-set provided RSSI(Received Signal Strength Indicator) signal which could be used to determine the distances between an active tag and three active readers.

Keywords : Ubiquitous, RF, Location, Real time, Tag

1. 서 론

유비쿼터스 기술이 발전함에 따라 다양한 정보에 근거한 서비스가 활성화 되고 있다. USN (Ubiquitous Sensor Network) 시대로 접어들면서 지능을 가진 센서네트워크로부터 수집된 정보를 활용 가공하여 보다 높은 삶의 질을 추구하는 세상으로 빠르게 발전하고 있다. 이러한 다양한 요구 중에 위치정보를 기반으로 한 서비스의 요구는 날이 증대되고 있다. 주요 서비스 영역은물류, 유통, 자산관리, 중요인물 추적, 미아방지, 독거노인에 이르기까지 사회 전반에 걸쳐있다. 이를 위해 많은 연구자들이

실시간 위치추적에 대한 다양한 솔루션을 연구하고 있으며 많은 개발이 이루어져 왔으나, 아직 이러한 위치추적 기술을 대표하는 제품은 부족한 실정이라 할 수 있다. 현재 사용되고 있는 위치추적 서비스를 위한 기술은 대부분 해외의 제품이나 기술에 의존하고 있다. 본 연구에서는 저렴한 가격으로 구현할 수 있는 위치추적 시스템을 순수한 국내기술로 구현하고자 하였다. 이를 위하여 동전형 배터리를 내장한 능동형 소형태그와 수신기를 개발하여 그 성능을 시험하였다.

2008년 7월 30일 접수, 2008년 8월 29일 채택

* 교신저자 · 정희원 · 인천대학교 물리학과 연구원 (lachesiz@incheon.ac.kr)

** 인천대학교 물리학과 석사과정 (barunsubi@incheon.ac.kr)

*** 인천대학교 물리학과 교수 (jhkang@incheon.ac.kr)

2. 위치추적 기술

2.1 Passive RFID를 이용한 위치추적 기술

RFID기술은 무선주파수를 이용하여 태그의 특정 ID를 인식하는 기술로서 125KHz, 134KHz, 13.56MHz, 900MHz, 2.45GHz 등의 다양한 주파수 대역을 사용하고 있다. 최근에는 사람이나 물품에 Passive 태그를 붙여 특정위치의 출입상황을 확인하는 정도의 가장 단순하고 저렴한 위치추적 시스템에 Passive RFID 시스템이 주로 활용되고 있다. 특히 Passive를 강조하는 이유는 태그에 별도의 전원이 없이 RFID 리더로부터 태그동작을 위한 전원을 무선으로 공급받는 방식으로 태그생산 비용이 매우 저렴한 장점을 가지고 있기 때문이다. RFID방식을 사용하여 위치추적에 이용하기 위해서는 Passive RFID 태그를 사람, 사물 등에 부착하고, 사람 또는 사물이 RFID 리더의 인식영역을 통과할 때 RFID 리더의 설치 위치에 의해 이동체의 위치를 파악하는 방식을 사용한다.

근래들어 사람이나 물품에 Passive 태그를 붙여 특정위치의 출입상황을 확인하는 정도의 가장 단순하고 저렴한 위치추적 시스템에 Passive RFID 시스템이 주로 활용되고 있다. 저렴한 Passive RFID 태그를 공산품, 우편물, 약품, 교통카드 등 수많은 이동체에 부착하고 기존의 네트워크, 응용 프로그램 인프라와 결합하면 광범위한 지역을 대상으로 대량의 이동체에 대한 위치추적을 할 수 있다. 하지만, Passive RFID 리더의 인식영역은 수 센티미터에서 넓게는 수 미터 정도가 한계이고, 인식영역이 그나마 넓은 900MHz 대역의 경우 수분, 금속 성분이 많은 환경에서 인식률이 급격히 떨어지기 때문에 본격적으로 이동체의 위치를 추적하기 위한 목적으로 사용하기 위해서는 많은 보완 및 개선이 필요하다.

최근에는 Passive 방식에 비해 보다 긴 인식범위를 확보할 수 있는 Semi-Passive(반수동형/반능동형) 방식이 많이 연구되고 있다. Passive의 단점을 보완하기 위하여 태그의 내부에 배터리를 장착함으로써 태그동작을 위한 전원을 배터리로부터 공급받을 수 있도록 하여 충분한 에너지를 갖는 RF 신호를 방출할 수 있는 장점이 있다. Semi-Passive 태그의 경우에는 팔레트, 컨테이너, 차량 등 이동체의 묶음을 관리하기 위해 제한적으로 사용이 가능하다.

그러나 Semi-Passive 방식이라 하더라도 인식거리와 성능을 무한히 늘릴 수는 없으며, 박막형 배터리의 부착으로 인한 생산단가 상승 및 배터리의 수명에 의해 태그의 수명이 좌우되는 단점을 갖게 된다(L. Cong 등, 2001).

2.2 Active 태그를 이용한 위치추적 기술

최근 거의 모든 자동차에서 사용하고 있는 내비게이션은 GPS 방식을 사용하고 있다. GPS 기술은 위성이 보내오는 전파를 이용해 자동차의 위치를 계산하는 것으로 요즘 많은 사람들이 편리하게 사용하고 있다. GPS 신호는 개방된 넓은 공간에서 사용이 가능하다. 그러나 GPS의 경우에는 건물내부에서는 인식이 불가능한 단점을 가지고 있다. 또한 상업용 GPS신호를 통해 위치정보를 계산할 때 약 10m 정도의 오차가 발생하게 된다. 물론 현재의 내비게이션에서는 이러한 오차를 줄이기 위해 맵 정보와 매칭을 통해 오차를 줄이기 위한 노력들을 하고 있으나 기본적인 오차를 가지고 있음을 내비게이션 시스템을 장착한 자동차를 운전해보면 쉽게 체감 할 수 있다.

GPS의 단점을 보완하기 위하여 Active 방식의 태그를 사용하면 건물내부 또는 넓지 않은 특정 지역 내에서 보다 정확한 위치 정보를 얻는 것이 가능하다. 이를 위해서는 Active 태그에서 송신하는 전파의 도달시간, 세기 등을 계산하여야 하며, 이 방법으로 이동체의 위치를 2차원, 3차원의 좌표 값으로 추적할 수 있다. 다만 위치추적을 위한 지역의 환경(구조물, 수분분포, 금속 성분 등)에 의해 전파의 전달이 방해받거나 반사파에 의한 전파간섭이 생기는 경우가 많기 때문에 환경에 따라 이동체의 정확한 위치계산이 쉽지 않거나(오차의 증가) 불가능할 수 있다. 이러한 기술적 한계를 극복하기 위한 연구개발이 계속되고 있으며, 다양한 주파수대역의 전자파를 활용해 가격도 저렴하고 위치계산의 정밀도도 높일 수 있는 위치추적 기술이 속속 연구되고 있다. 위치추적 기술의 핵심은 이동체의 위치를 정확하게 계산하는 방법이라고 할 수 있다(R. Yamasaki 외, 2005).

2.3 위치추적 기술에 사용되는 계산방식

·Angle of Arrival(AoA) : RF 신호 전송 태그와 수신 리더간 방향각을 이용해 위치를 계산하는 방식이다. 이동체에 부착된 태그가 전송하는 RF 신호를 방향 인식이 가능한 리더의 안테나가 받아 리더에 대한 태그의 방향을 결정한다. 보통 3개 이상의 수신기를 이동체의 이동구간 외곽에 적절하게 배치하여 기준선을 중심으로 수신된 태그의 RF 신호의 도착시간 또는 세기를 분석하여 태그의 위치를 계산한다.

·Time of Arrival(ToA) : 태그가 전송하는 RF 신호가 수신 리더에 도달하는 시간을 측정해서 태그와 리더간 거리를 구하고 위치계산에 이용하는 방식이다. 이동체에 부착된 태그가 전송하는 RF 신호가 이동체의 이동구간 외곽에 배치된 적어도 3대 이상의 리더 안테나에서 인식

되는 시간을 측정하면, 각 리더와 태그간 거리를 알 수 있고, 각 리더를 중심으로 태그와의 거리를 반경으로 하는 원(또는 구)을 그려보면 접점을 찾아낼 수 있다.

·Time Difference of Arrival(TDoA) : 태그가 전송하는 RF 신호를 3~4대 정도의 리더 안테나가 인식하는 것은 ToA와 같지만, TDoA는 이 인식 시각을 위치계산 서버에 전송하여 리더간 수신 시간차를 구하는 방식이다. 이렇게 구한 수신 시각차를 거리로 환산해 리더를 중심으로 그리면 쌍곡선(또는 쌍곡면)이 만들어지며, ToA의 경우는 원(또는 구)의 접점을 이용하듯이, TDoA는 쌍곡선(또는 쌍곡면)의 접점에 이동체가 위치하게 된다.

·Received Signal Strength Indication (RSSI) : 위치 추적을 위해 여러 대의 802.11 WLAN AP(Access Point)를 사용하는 RTLS 시스템에서 흔히 사용하는 방식이다. 태그가 적어도 3대의 AP에서 받은 신호의 강도를 위치계산 서버에 전달하고, 이 값을 이용해 위치계산을 한다. 실내의 경우 칸막이나 벽이 신호의 강도를 감쇄시키기 때문에 사전에 검증된 RF 신호 강도의 맵을 구성하고, 이 기준에 의거해 위치계산 프로세스를 진행하여 위치정보를 알아낸다.

·Time of Flight(ToF) : 태그와 리더 사이에 전송된 신호의 경과시간을 측정하여 위치를 계산 하는 방식이다. 전파의 속도는 공기중에서 일정하기 때문에 태그와 리더 사이의 거리가 늘어나더라도 오차는 일정하게 유지할 수 있는 장점이 있다. 이 방식에서는 태그와 리더 사이의 클락 동기화가 필수적인 요소로 RTT(Round Trip Time) 기법 등을 이용한다.

·Symmetric Double Sided Two Way Ranging(SDS-TWR) : SDS-TWR은 Chirp Spread Spectrum(CSS) 변조 기술을 이용해 RF 신호의 다중경로 전파나 노이즈 문제 등에 대한 확실한 해결책을 제시하였다. 결과적으로 Ultra Wide Band(UWB)에서나 가능한 1미터 수준의 정밀도를 갖는 위치계산이 가능하다.

·Near Field Electromagnetic Ranging(NFER): AM 브로드캐스트 대역(530~1710kHz) 내의 저주파로 동작하는 Near Field 기술은 장애물 때문에 신호 전송 경로가 불규칙한 실내에서 위치추적에 확실한 강점을 가진다. 이 기술은 저주파의 3분의 1 파장 내에서 위상의 변화를 측정하면 수신위치를 알 수 있다는 Near Field 개념을 바탕으로 하고 있다.

·Super RFID : 원거리 Radar Responsive (RR) 태그와 고도로 민감한 리더를 이용해 개방된 공간에서 약 20Km 거리까지 태그의 정보를 인식할 수 있다고 알려져 있으나 현재 제품화 이전의 검토단계로 알려지고 있다. (A. Catovic 등, 2004)

3. 시스템 구성

그림 1은 본 연구에서 구현한 위치추적을 위한 RF 하드웨어의 블록다이어그램을 보여주고 있다. 본 시스템에서는 ISM(Industrial Science Medical) 대역인 2.45GHz의 주파수를 사용하였다. ISM 주파수 대역은 다른 주파수 대역과 달리 비교적 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있으며, 주파수 특성상 안테나를 소형화 할 수 있는 장점이 있는 주파수 대역이라고 할 수 있다.

현재 많은 무선통신 기기들이 ISM 대역인 2.45GHz 주파수를 사용하고 있다. ISM 밴드를 사용하는 다양한 무선통신 기기들 간의 간섭으로 인해 인식 성능의 저하가 발생할 수 있는 단점이 있으나 이를 극복하기 위한 여러 종류의 기법들이 개발되어 있다.

그림 1에서 알 수 있듯이 하드웨어의 구성은 무선수신기와 송신기로 되어 있다.

수신기는 무선 주파수를 수신하기 위한 안테나, 매칭회로, 캐리어와 명령어 변복조를 위한 변조기(modulator)와 복조기(demodulator), 그리고 주파수 합성기(frequency synthesizer) 등으로 구성되어있다. 이와 더불어, 모든 디지털 신호를 처리할 수 있는 MCU와 I/O 인터페이스로 구성되어있다. 송신기는 수신기에 비해 그 내부가 단순하게 구성되어 있다. 안테나, 매칭회로, 그리고 무선신호를 송신하는 RF송신부와 MCU로 구성되어 있으며, 송신기가 수신기와 다른 가장 중요한 차이점은 바로 배터리를 내장하고 있다는 점이다. 송신기는 배터리를 내장하여 필요로 하는 자산, 사람 등이 부착하고 다닐 수 있도록 구성되었다.

그림 2는 RF시스템 중 수신기의 layout을 보여주고 있다. 수신기는 블록다이어그램에서 언급하였듯이 RF 회

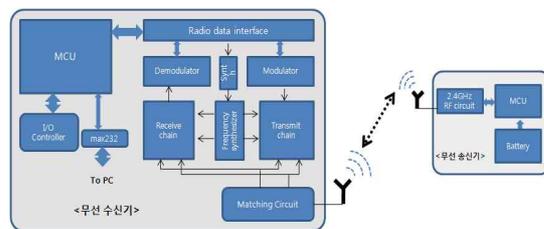


그림 1. 2.45GHz 능동형 RF 시스템의 블록 다이어그램

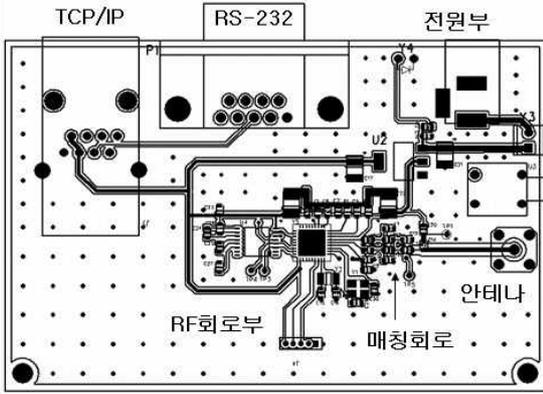


그림 2. 능동형 RF 수신기의 layout

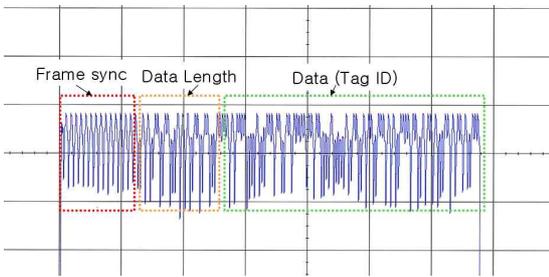


그림 3. 송신기의 변조신호 측정결과

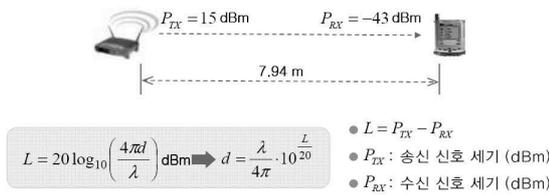


그림 4. RSSI값을 통한 레인지 기법의 기본개념

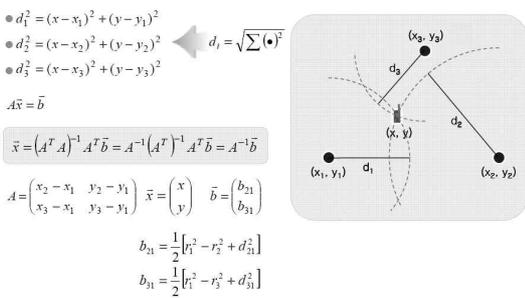


그림 5. 삼각측량 방식의 기본개념

로부, MCU, 전원부, TCP/IP, 그리고 RS-232 인터페이스 포트 등으로 구성되어있다. 또한, 정확한 위치추적 정보를 얻기 위해서는 대표적인 위치추적 기법인 삼각측량 방법을 사용하여야 하며, 이를 위해서는 3대 이상의 수신장치가 필요하게 된다. 이를 지원하기 위해서는 위치추정 시스템에 3대 이상의 수신장치가 부착되어야 하는데 일반적인 RS 232방식으로는 3대 이상을 지원하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 수신기에 RS 232 인터페이스 뿐 아니라, TCP/IP 인터페이스 회로도 내장하였다.

그림 3은 능동형 RF 시스템에서 RF신호의 송수신 데이터를 캡처한 모습을 보여주고 있다. 송신기의 무선신호는 Preamble, Sync word, Length, address, ID, CRC 등으로 구성되며 그림 3에 보여진 바와 같은 신호를 송신하게 된다. 이러한 신호를 수신기에서 수신하여 복조 프로세스를 통해 캐리어 신호와 응답신호를 구분하여 송신기의 아이디 정보와 RSSI 값을 추출하게 되고 RSSI 신호를 바탕으로 하여 송신기와 수신기 사이의 거리를 추정하게 된다.

그림 4는 RSSI 신호를 바탕으로 태그와 수신기 사이의 거리를 계산하는 레인지 방식의 기본개념을 보여주고 있다. 이러한 개념을 사용하여 3대 이상의 수신기에서 같은 프로세스를 반복하여 삼각측량 방법으로 계산함으로써 위치정보를 추정하게 된다. 태그와 수신기 사이의 거리는 수신기에서 얻어진 RSSI 값을 바탕으로 그림 4에서 보여지는 수식에 대입하여 거리를 미터 단위로 환산하여 제공된다.

그림 5는 위치추적 기법인 삼각측량 방식의 기본 개념을 보여주고 있다. 삼각측량 방법은 위치추적에서 가장 기본적으로 사용되는 알고리즘으로써, 이미 알려진 기준점들과 거리 값들을 사용하여 물체의 좌표를 계산하는 방식이다. 그림 5와 같이 수신기 3대와 태그사이에서 3개의 방정식이 성립하게 되며 결국 이 방정식을 풀어 태그의 위치정보를 계산해 내는 방법을 사용한다.

그림 6은 본 연구에서 설계/제작한 능동형 방식의 태그들에 대한 사진들을 보여주고 있다. 본 연구에서 사용한 능동형 태그에는 두 종류가 있으며, 일반적으로 내장형 안테나로 많이 사용되는 칩(chip) 안테나와 PCB 내장형 안테나의 두 안테나에 대한 특성을 비교해보기 위해 두 버전으로 제작 하였다. 그림 6의 좌측에는 칩(chip) 안테나를 부착한 태그의 사진을 보여주고 있고, 오른쪽에는 PCB 내장형 안테나를 부착한 태그의 사진을 보여주고 있다.

RTLS 시스템에서 태그의 경우 크기의 제한으로 인하여 안테나도 소형화 하여야 한다. 2.4GHz 대역에서는 소형의 칩 안테나와 PCB 안테나를 사용함으로써 태그의 전체 사이즈를 줄일 수 있는 장점이 있다. 칩 안테나와

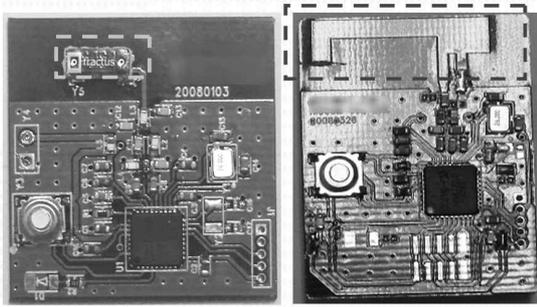


그림 6. 능동형 태그 모습, 칩안테나(좌), PCB안테나(우)

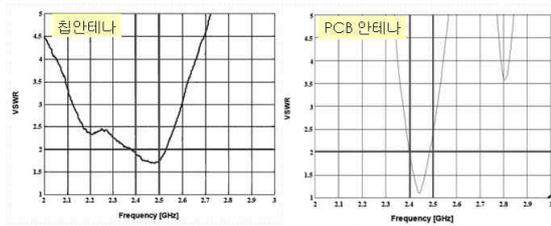


그림 7. 칩안테나(좌)와 PCB안테나(우)의 반사계수 특성

PCB안테나의 경우 2.4GHz대역에서 충분히 사용 가능한 반사계수 특성을 가지며, 방사패턴 또한 전방향을 형성하기 때문에 RTLS 시스템에 적용하기에 적합하다.

4. 측정결과

그림7은 본 연구에서 설계하여 제작된 7mm × 3mm × 2mm의 크기를 가지는 칩 안테나와 19mm × 7.5mm의 크기를 갖는 PCB안테나의 VSWR(반사계수) 특성을 보여주고 있다.

칩 안테나는 2.38~2.53GHz 에서 VSWR < 2:1 의 특성을 보이고 있으며, PCB안테나는 안테나는 2.40 ~ 2.49GHz 에서 VSWR < 2:1 의 특성을 보이고 있다. 따라서 두 종류의 안테나 모두 2.45GHz 주파수에서 사용하기에 적합한 안테나들임을 알 수 있다.

반사계수와 더불어 안테나의 성능에 있어서 중요한 것이 방사패턴이다. 방사패턴은 전력선 밀도, 방사세기 및 지향성 위상이나 편파특성을 보여주기에 때문에 안테나 특성 분석에 필수적인 요소이다. 그림 8은 칩 안테나의 방사패턴 측정결과를 보여주고 있다. 방사패턴 결과를 통해 알 수 있듯이 2.4 GHz ~ 2.5 GHz 주파수 범위내에서 전방향성을 잘 나타내 주고 있으며, 선형편파 특성을 보여주고 있다.

그림 9는 PCB안테나의 방사패턴 측정결과를 보여주고

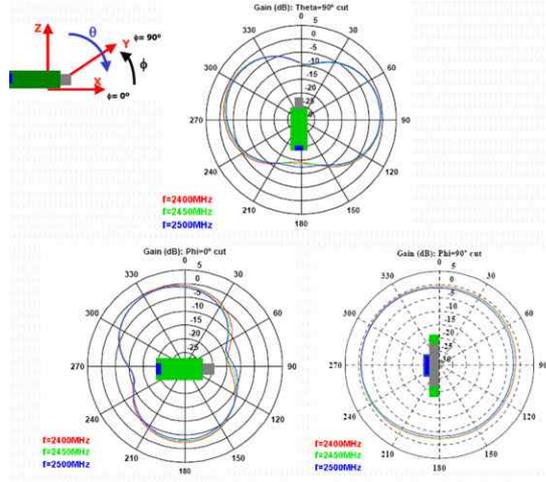


그림 8. 칩안테나의 방사패턴 측정결과

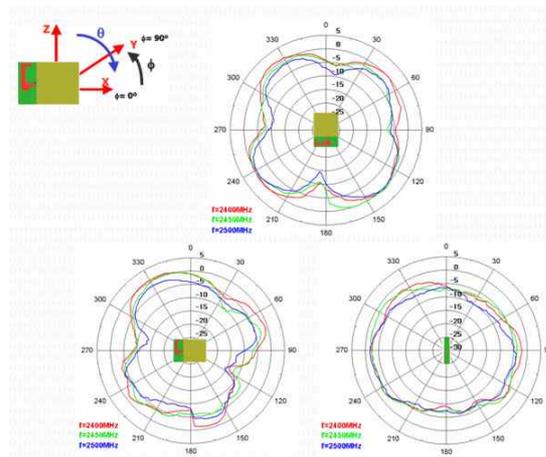


그림 9. PCB안테나의 방사패턴 측정결과

있다. 칩안테나에 비교하면 방사패턴의 중간에 찌그러지는 부분이 발생하는 것을 볼 수 있다. 방사패턴 측정결과를 통해 알 수 있듯이 PCB 안테나의 경우에는 칩안테나 보다는 방사패턴특성이 불안정함을 알 수 있다. PCB 안테나는 일체형으로 제작시 PCB에 직접 제작이 가능하여 저렴한 가격으로 생산이 가능한 장점을 가지고 있다. 그러나 안테나 자체의 특성은 칩안테나가 더 좋은 것을 알 수 있다.

그림 10은 제작된 수신기와 태그의 인식거리 측정 및 수신레벨 측정을 위한 실험 모습을 보여주고 있다. 본 연구를 통하여 설계/제작된 능동형 수신기와 태그를 위치와 각도에 따른 수신신호세기를 분석하였다.

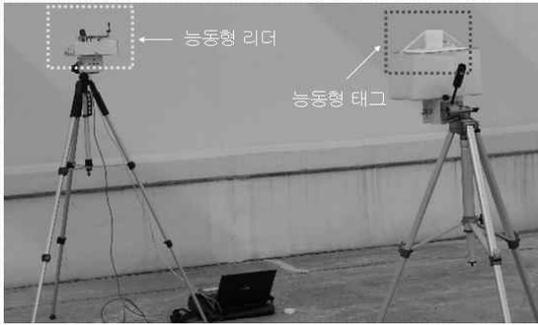


그림 10. 능동형 수신기(리더)와 태그의 측정모습

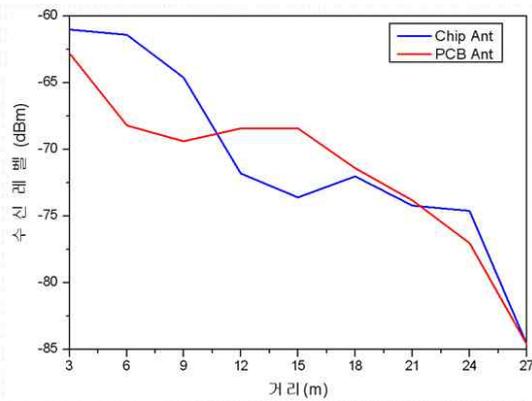


그림 11. 거리에 따른 수신레벨 측정결과

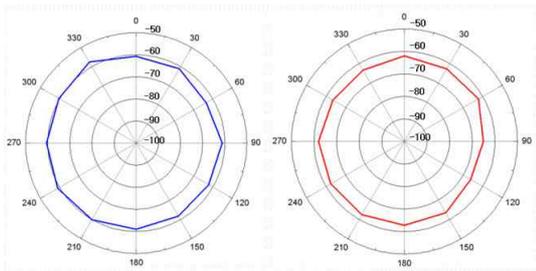


그림 12. 칩안테나의 수신레벨(좌), PCB 안테나의 수신레벨(우) 측정결과

그림 11은 능동형 태그의 안테나 타입에 따른 수신레벨의 측정결과를 보여주고 있다. x축은 거리를 의미하고 y축은 수신레벨을 의미한다. 거리가 늘어남에 따라 수신레벨이 감소하는 것을 알 수 있다. 칩 안테나의 경우는 12m 이내의 거리에서는 수신레벨이 PCB안테나의 측정결과보다 높게 나왔다. 이결과를 통해 수신레벨을 분석하면 대략적인 태그와 수신기 사이의 거리정보를 알아낼 수 있다. 물론 보다 정밀한 측정을 위해서는 태그를 사용

하는 환경에 대한 전파특성을 고려하여 수신레벨 측정을 실시하고 그 측정결과를 위치추적 엔진에 반영해야 한다. 이러한 수신신호 세기 방식은 비교적 저렴한 가격으로 제작이 가능한 장점이 있으나 수신신호의 세기가 거리에 따라 약해지므로 거리가 늘어나면 오차가 증가하는 단점을 가지고 있다. 이를 보상하기 위해서는 능동형 수신기가 적절한 위치에 설치되어야 한다.

그림 12는 능동형 태그와 수신기를 같은 높이에 위치시키고 각 거리마다 수신레벨을 측정한 결과를 보여주고 있다. 이때 리더와 태그의 거리는 3m로 고정하였으며 태그와 수신기 사이의 각도변화에 따른 신호의 수신레벨을 측정하였다.

그림 12에서 알 수 있듯이 칩 안테나(좌), PCB 안테나(우)의 측정결과는 방사패턴이 전방향으로 형성되는 것과 유사하게 태그 각도에 따른 수신레벨도 전방향 패턴을 형성하는 것을 알 수 있다. 전체적인 수신레벨은 칩 안테나가 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 실시간 위치추적 (RTLS)를 위한 능동형 2.45GHz RF시스템을 설계, 제작 및 측정하였으며 RTLS 확산을 위해 저가 하드웨어의 구현에 초점을 맞추어 진행하였다. 2.4GHz 능동형 태그를 소형화하기 위하여 칩 안테나와 PCB안테나 두 종류를 제작하여 안테나의 타입에 따른 성능을 분석하였다. 측정결과에서 알 수 있듯이 2.4GHz 대역에서 만족할만한 전기적 특성과 이득 및 방사패턴을 얻었다.

또한, 제작된 태그의 성능을 분석하기 위하여 리더와 태그의 거리에 따른 수신 레벨값과 태그의 각도 변화에 따른 수신 레벨값을 측정하였고 거리에 따른 수신신호의 세기를 분석하였다. 이를 바탕으로 리더와 태그 사이의 거리를 예측할 수 있으며, 태그의 각도를 변화하며 수신레벨을 측정해본 결과 전방향 패턴을 형성하는 것을 볼 수 있었다.

향후 연구의 진행 방향은 디지털 I/O 포트를 내장하여 다양한 환경 정보를 센서로부터 획득하고 이러한 환경정보와 위치정보를 산업현장에 응용할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다. 이와 아울러 고정밀 RTLS 시스템의 구현을 위해서는 주변 환경에 둔감한 안테나 패턴과 저렴한 생산이 가능한 안테나의 개발이 필요할 것으로 예상되며, 본 결과를 향상된 고정밀 RTLS 시스템에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 인천지역환경기술개발센터의 2008년도 연구개발 사업비 지원(과제번호:08-4-80-81)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. AeroScout Inc., <http://www.aeroscout.com>
2. Wherenet Inc., <http://www.wherenet.com>
3. Ekahau, <http://www.ekahau.net>
4. L. Cong and W. Zhuang, "Non-Line-of-Sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location," Proc.of IEEE GLOBECOM 2001, vol.1, pp. 680-684, 2001.
5. R. Yamasaki, A. Ogino, T. Tamaki, T. Uta, N. Matsuzawa, and T. Kato, "TDOA Location System for IEEE 802.11b WLAN," Proc. of IEEE WCNC 2005, vol.4, pp. 2338-2343, March 2005.
6. A. Catovic and Z. Sahinoglu, "Hybrid TOA/RSS and TDOA/RSS Location Estimation Schemes for Short-Range Wireless Networks," Mitsubishi Electric, TR2004-096, Dec. 2004.
7. 조영수, 조성운, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, "실내외 연속측위 기술 동향," 전자통신동향분석, 22권 3호, pp. 20-28, 2007.
8. 김학용 "RSSRSSI와 TDOP의 비교" 2007.8 <http://hakyongkim.net>