

# 134.2kHz 대역의 RFID 루프안테나 설계에 관한 연구

## A Study on the 134.2kHz Band RFID(Radio Frequency Identification) Loop Antenna Design

강민수<sup>1</sup>, 이동선<sup>2</sup>, 이기서<sup>3</sup>

Min-Soo Kang, Dong-Sun Lee, Key-Seo Lee

**Key Words** : RFID system(무선인식 시스템), Antenna(안테나), Tag(태그), Reader(리더)

### Abstract

In this paper, it has a proposal of the RFID reader antenna design that expand the dedicated short-range communication distance between a static object on the ground and a mobile object attached on the moving article. The static reader equipped with micro-processor makes it possible to have a serial communication with a main system, so that much data can be transfer to the main system. An antenna is adjusted in order to a communication, the scale is designed by results values of simulation using matlab. It is achieved to systematically manage logistics, person resource and security system by grasping the information and location of mobile object on the basis that this system receives the information between a static reader and a mobile object tag at 134.2kHz band on real time, also to make it possible the main system to process.

Therefore, the reader antenna scale is controlled on the foundation of a magnetic field theory in order to expand a recognition distance of reader and tag, so that can be optimistically recognized with minimizing the direction influence of reader and tag.

### 1. 서론

최근 교통량의 증가와 요금 징수등의 문제는 도로상의 극심한 정체 현상을 불러일으키고 있으며 이로 인해 물류비용이 증대되어 산업 경쟁력은 심각하게 저하되고 있다. 교통 엔지니어들은 이러한 문제를 해소하기 위하여 교통량의 흐름조절과 요금징수의 자동화를 위한 방법들을 모색하고 있는데, 이동체와 고정체간의 무선통신을 이용한 차량인식 기법들이 새로운

대안중의 하나로 기존 고속도로 및 유료도로에서 시범적으로 적용되어 운용, 평가되고 있다.

이러한 서비스가 필수가 되는 상황에서 무선으로 정보를 전송하는, 근거리 전용통신에 적합한 RFID(Radio Frequency Identification) 시스템을 유료도로의 요금징수에 적용함으로써 교통의 흐름이 원활해지고 따라서 물류의 원활한 운송이 가능한 물류비 절감형 인식 시스템을 발전시키는 방안이 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 무선주파수(Radio Frequency)를 이용하여 고정체인 리더(Reader)측 컨트롤러에서 암호(Interrogation) 신호 및 에너지를 발생하여 이동체인 태그(Tag)로 전달하고 그 태그에서는 암호신호에 의해정의된 데이터를 컨트롤러

1. 정희원, 광운대학교 제어계측공학과 박사과정  
2. 비희원, 광운대학교 제어계측공학과 박사과정  
3. 정희원, 광운대학교 제어계측공학과 정교수

의 리더부로 송신함으로써 이동체의 정보를 인식할 수 있게 설계하였다. 무선인식을 위한 통신 주파수 대역은 ISM(Industrial Science Medical) 밴드 대역으로써 현재 가장 활발히 사용되고 있는 134.2kHz 대역을 사용하였으며, 이때 리더와 태그의 인식 거리는 이동체와 고정체가 인식할 수 있는 거리인 20cm 범위에서 측정 가능하게 하였다.

이 시스템은 고정체에 리더와 안테나를 설치하고, 능동(Active)방식보다는 전원장치가 따로 필요치 않은 수동(Passive)방식의 태그를 채택하였으며, 리더와 태그간에 최소한의 인식 거리를 정의하고 정확한 송수신을 위하여 루프 안테나를 수학적 계산을 근거로 설계 및 제작함으로써 그 타당성을 입증하였다.

## 2. 무선인식(RFID) 시스템

무선인식(RFID:Radio Frequency Identification) 시스템은 무선주파수(Radio Frequency)를 이용하여 사람, 물류, 동물의 ID(Identification)를 이용하여 위치나 정보를 관리하는 시스템이다. 이 시스템은 크게 세 종류로 구성되어있다. 첫째 인식되어야 할 대상에 부착될 태그, 태그와 송수신 할 수 있는 리더, 그리고 리더의 데이터를 처리하는 컨트롤러로 구성된다. 여기에 덧붙여 상위 메인 컴퓨터와 상호 통신할 수 있는 메인 컴퓨터를 포함 할 수 있다.

태그는 액티브(Active) 타입과 패시브(Passive) 타입 두 종류로 분류가 되는데, 먼저 액티브 타입은 송수신 거리가 긴 반면 전원을 내장해야 하므로 태그의 크기가 커지며 내부 전원을 교체해야 한다는 단점이 있다. 패시브 타입은 내부에 전원이 없이 리더로부터 에너지를 받아 저장함으로써 태그의 초소형화가 가능하지만 송수신 거리는 상대적으로 짧아진다.

리더는 태그에 에너지를 공급하고 공급받은 전력을 이용하여 태그는 데이터를 송신할 수 있게 한다. 그리고 태그로부터 수신된 데이터를 처리할 수 있는 컨트롤러로 구성된다.

이러한 무선인식 시스템은 근거리 내에서 짧은 시간 안에 리더와 태그 상호간의 데이터를 정의된 주파수 대역 즉, 134KHz 대역 내에서 무선신호를 이용하여 데이터를 주고받는 일대 다수의 통신을 가능하게 하며, 이동체에 부착된 태그는 고정체에 장착된 리더에 인식 데이터를 전송하고 상위 시스템으로 ID를 전송한다. 그림 1은 무선인식시스템의 블록도를 나타내

고 있다. 고정체에 부착된 리더는 태그가 지나가면 리더의 안테나에서 발생하는 에너지와 암호신호를 134.2KHz 대역에서 안테나를 통하여 태그를 포착하여 주파수천이(FSK : Frequency Shift Keying)변조 방식으로 다시 리더에 인식데이터를 전송하게 된다.

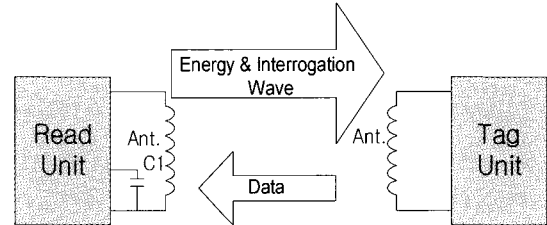


Fig. 1 Block-diagram of RFID system

### 2.1 리더

리더(Reader)는 태그의 유무에 관계없이 암호신호와 에너지를 항상 발생하여 태그가 인식할 수 있는 적정 범위에 들어왔을 경우 송신과 수신을 할 수 있게 구성되어 있다. 그림 2는 리더의 내부 블록도로서, 리더의 내부 구성에는 CPU (PIC16C621A-041/SO), 무선 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하며 규정된 변조 방식으로 통신하기 위한 주파수 천이 변/복조기, 태그로부터 수신된 데이터를 저장하기 위한 메모리 그리고 시리얼 통신을 위한 부분으로 구성되어 있다. 리더는 안테나에서 방사되는 에너지를 태그로 전송하고 태그에서는 리더로부터 얻은 에너지를 이용하여 데이터를 리더의 안테나로 보내게 된다. 이때 FSK 복조기에서 신호를 처리한 후 CPU로 보낸다.

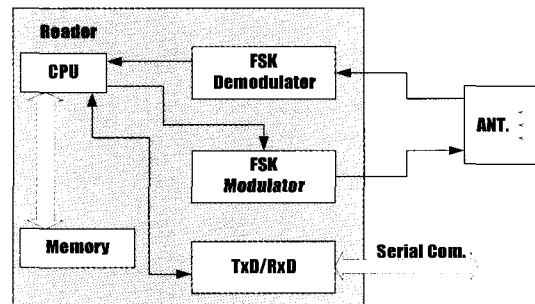


Fig. 2 Inner configuration-diagram of reader

CPU에서는 메모리를 통하여 데이터를 저장하며, FSK 변조기를 통하여 여러 태그들이 가지고 있는 주파수를 인식 할 수 있다.

리더와 안테나간의 거리를 최대화하기 위해서는 다음과 같은 조건들을 고려해야 한다.

- 1) 동작하는 주파수와 안테나코일의 특성.
- 2) 안테나의 Q값과 리더회로의 튜닝.
- 3) 안테나의 방향성.
- 4) 여자전류의 특성.
- 5) 리시버의 감도.
- 6) 변조와 복조의 최적화된 알고리즘.
- 7) 데이터 비트의 수와 검출 알고리즘.
- 8) 동작환경의 조건(전기적 노이즈)

(1-3)까지의 조건은 안테나의 형태와 이를 이용한 튜닝과 관계가 있으며, (4-5)는 리더의 기구학 적인 측면이며, (6)은 설계디바이스의 통신프로토콜을 결정하게 되며, (7)은 데이터를 검출하기 위해서 펌웨어에 의하여 프로그램 되어야 할 것이다. 8개의 조건을 고려하여 수신된 인식 데이터들을 상위 시스템으로 데이터를 전송하기 위하여 MAX233 칩을 사용함으로써 시리얼 통신을 가능하게 했다.

## 2.2 태그

태그 또는 트랜스폰더(Transponder)는 통상 대기상태를 유지하고 있다. 리더로부터 에너지 및 암호 신호를 받은 경우 필요한 시간만 동작하는 것이 일반적인 동작 방식이다. 이러한 형태의 태그가 수동(Passive)형태이며, 대기시의 소비전력은 수  $\mu A$  정도만 소비하게 된다. 또한 동작시의 소비전력이 카드가 가지고 있는 기능에 따라서 다르지만 태그 측에 통신기록의 일반적인 기억기능, 표시기능 등이 부가된 경우에는 수십 mA가 소비되는 경우도 있다. 따라서 소비전력이 작은 CMOS형의 LSI를 사용하여 바이어스 전류의 억압(회로의 동작점)을 최적화함으로써 태그의 소비전력을 최소화 할 수 있다. 이와 같은 조건을 만족함으로써 저 전력 소량 및 경량의 태그를 실현할 수 있을 것이다. 그림 3은 태그의 내부를 블록도로 나타내었다. 그림 3에서는 같이 태그 역시 리더 부분과 유사하지만 에너지 발생 및 저장을 위한 전압 발생기(Power generator)가 추가되어 있다.

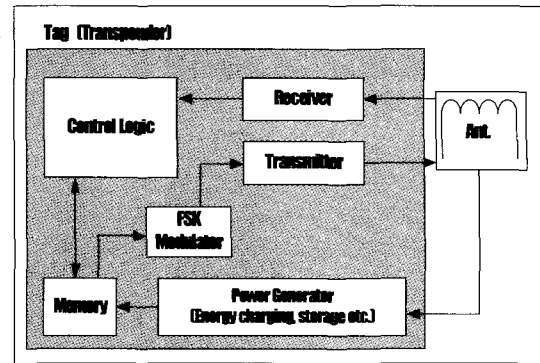


Fig. 3 Inner block-diagram of Tag

## 2.3 안테나

무선인식 시스템의 리더와 태그사이에서 원활한 무선 통신을 위하여 안테나가 고려되어야 만 한다. 태그에 사용하는 안테나는 마이크로스트립(Microstrip) 안테나와 루프안테나가 적절하며 리더와 태그 모두에 적절한 안테나는 루프안테나를 생각할 수 있다. 마이크로 스트립 안테나는 패턴형태로 만들어지기 때문에 제작이 쉽고 평면 구조의 특징이 있어 어레이 안테나의 소자 또는 소형안테나로도 자주 사용된다.

이러한 특성 때문에 태그의 안테나는 마이크로 스트립 안테나를 적용하는 경우가 많다. 또한 루프 안테나는 전계가 아닌 자계에 감응하는 안테나로서 리더부분의 안테나에 적합하다. 루프 안테나는 무선수신기에서도 사용하고 있으며 사용하는 주파수에 따라서 응용할 수 있는 범위가 넓다. 이러한 이유로 리더부분의 안테나는 루프 안테나를 적용하였다.

### 2.3.1 안테나 설계

각각의 기능에 맞게 제작된 루프안테나는 태그의 경우 소형화가 가능하고, 인식거리는 리더 측 안테나의 크기 및 코일의 감은 회수를 기반으로 안테나 증폭회로에 의해서 인식거리가 결정된다. 따라서 리더의 안테나 크기 및 감은 회수를 조절하여 인식거리를 조정하였다. 안테나 코일에 대해서는 인덕턴스(유도계수)의 계산 및 측정, 안테나를 튜닝 함으로써 구현하였다. 루프안테나의 자기장은 도체 내부를 흐르는 전류의 상태를 나타내는 Ampere 법칙에 의하여 도체 주위에 발생한다. 자계에 의해 발생하는 루프안테나

를 그림 4에서 분석하였다. 그림 4는 일정한 길이를 가진 원형도체(Wire) 주위에 나타난 전류에 의해 형성된 자기장  $B_\varphi$ 를 식 1에 나타내었다.

$$B_\varphi = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad [\text{Weber}/m^2] \quad (1)$$

$I$  = 전류

$r$  = wire 중심으로부터의 거리

$\mu_0$  = 자유공간의 투과성,  $4\pi \times 10^{-7}$  (Henry/meter)

특별한 경우, 무제한적으로 긴 원형도체에 대해서는  $\alpha_1 = -180^\circ$ ,  $\alpha_2 = 0^\circ$  일 때 이상적인 각도를 가지게 되므로 식1 은 아래와 같이 다시 쓰일 수 있다.

$$B_\varphi = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad [\text{Weber}/m^2] \quad (2)$$

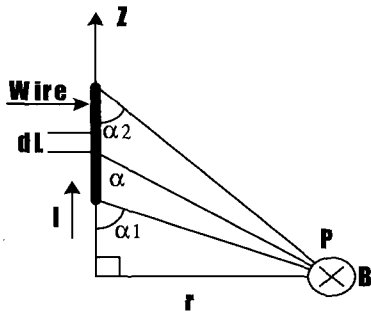


Fig. 4 Calculation of magnetic field B at location P due to current I on a straight conducting wire

위와 마찬가지로, 루프안테나에 의해서 만들어진 자기장은 다음과 같이  $B_z$ 를 그림 5에 의해서 구할 수 있다.

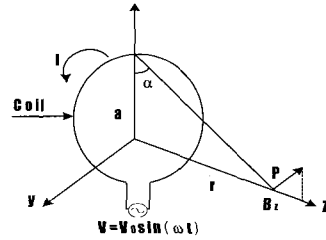


Fig. 5 Calculation of magnetic field B at location P due to current I on the loop

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left(-\frac{1}{r^3}\right) \quad [\text{단, } r^2 \gg a^2] \quad (3)$$

$a$  = 루프 반지름

$N$  = 코일의 감은 회수

식3은 자기장력이  $1/r^3$ 만큼 감소한다는 것을 나타내며, 종종 인식 가능한 범위를 위한 ampere-turn(전류에 대한 권선회수)에 대한 요구사항을 계산하기 위해 이용된다.

### 2.3.2 안테나 코일내의 유도전압

그림 6은 RFID 응용의 간단한 형상을 나타낸 것이다. 태그가 리더의 인식거리 내에 근접해 있을 때, 리더 안테나 코일에 의해 형성되는 시간변이 자기장(B)은 태그의 안테나 코일 내에 전압(기전력:EMF)을 유도한다.

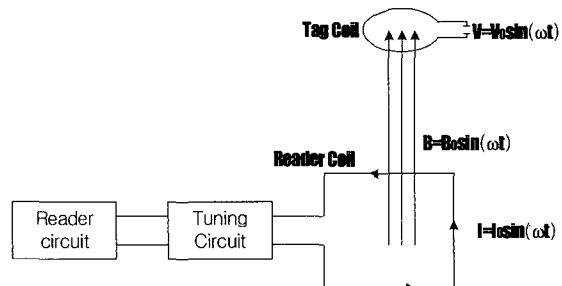


Fig. 6 A basic configuration of reader and tag antennas in RFID applications

또한 페러데이 법칙(Faraday's law)에 의하여 코일 주위에 자기장 발생으로 인해 코일 내부에 유도전류가 발생한다. 따라서 태그안테나 코일 주위에 유도전압은 자속의 변화에 대한 시간의 비율과 같다. 이것은 아래 식4와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (4)$$

N = 안테나 코일 내에서 감은 수(권선횟수)  
 ψ = 각각의 회전을 통한 자속(magnetic flux)

위 식에서 음의 부호(-)는 유도전류가 자기장을 형성하는 자속과 반대로 작용하기 위한 방법으로 행동한다라는 것을 나타낸다. 이것은 렌츠의 법칙(Lenz's Law)으로 잘 알려져 있다. 또한 이 법칙은 회로 내에서 전류 흐름의 방향은 유도전류에 의해 형성된 유도 자기장이 원래 자기장과 반대로 될 것이라는 사실을 나타낸다.

식4에서 자속(ψ)은 안테나 코일의 전체 표면을 통과하는 전체 자기장(B)이며 다음 식에 의해서 알 수 있다.

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (5)$$

식5에서 두 벡터의 내적에 대한 표현은 안테나 코일을 통과하는 전체 자속이 기존의 안테나 코일에 의해 영향을 받는다는 것을 나타낸다. 두 벡터성분에 대한 내적은 두 개의 코사인 각이 90도를 나타낼 때, 또는 두 요소(자기장B와 코일표면)가 서로 직각을 이룰 때 최소 값을 가지게 되며 코사인 각이 0도일 때 최대 값을 가지게 된다. 태그 코일을 통과하는 자속은 두 코일(리더 코일과 태그코일)이 서로 평형을 이루고 있을 때 가지게 된다. 이러한 조건은 태그 코일 내의 최대 유도전압 값 또한 최대 리드 범위를 나타내게 된다.

식 5에서 내적 표현 또한 리더와 태그코일 사이의 상호 커플링으로 표현되어질 수 있다. 두 코일 사이의 상호 커플링은 위 조건에서 최대 값을 가지게 된다. 식 3과 5, 그리고 4를 이용하여 아래 식으로 다시 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} V &= -N_2 \frac{d\psi_{21}}{dt} = -N_2 \left( \int B \cdot dS \right) \quad (6) \\ &= -N_2 \frac{d}{dt} \left[ \int \frac{\mu_0 i_1 N_1 a^2}{2(a^2+r^2)^{3/2}} \cdot dS \right] \\ &= - \left[ \frac{\mu_0 N_1 N_2 a^2 (\pi b^2)}{2(a^2+r^2)^{3/2}} \right] \frac{di_1}{dt} \\ &= -M \frac{di_1}{dt} \end{aligned}$$

V = 태그 코일내의 전압  
 i<sub>1</sub> = 리더 코일의 전류  
 a = 리더 코일의 반경  
 b = 태그 코일의 반경  
 r = 두 코일사이의 거리  
 M = 태그와 리더사이의 상호 유도계수

$$M = \left[ \frac{\mu_0 N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2+r^2)^{3/2}} \right] \quad (7)$$

위 식은 전형적인 변압기에 적용되는 전압전송과 동일하다. 코일 내에서의 전류흐름은 2차 측 코일에서 전압유도를 발생시키는 자속을 형성한다. 식6에 보여진 것은 태그코일의 전압은 대부분 두 코일사이의 상호 유도계수에 의존한다. 상호 유도계수는 코일 구조와 관련된 함수이며 두 코일 사이의 간격이다. 그 간격에 따라서 태그 코일내의 유도전압은 r<sup>-3</sup>정도로 감소한다. 그렇기 때문에 리더 범위 또한 동일한 방법으로 감소한다. 식 4와 5로부터 동조루프코일(Tuned loop coil)내의 유도전류에 대한 일반적인 표현은 다음의 식으로 나타내어진다.

$$V_0 = 2\pi f N S Q B_0 \cos \alpha \quad (8)$$

f = 도착신호에 대한 주파수  
 N = 루프내의 코일을 감은 횟수  
 S = 제곱미터(m<sup>2</sup>)내의 루프면적  
 Q = 회로의 정성인자  
 B<sub>0</sub> = 도착신호의 장력  
 α = 신호의 도착 각도

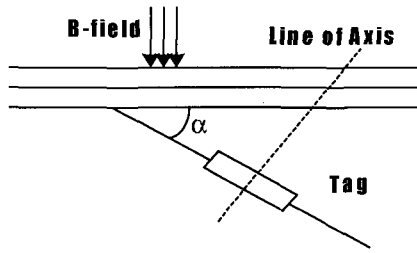


Fig. 7 Orientation dependency of the tag antenna

그림 7에서 루프안테나 코일이 교차해서 발생된 유도전압은 도착신호의 각에 대한 함수이다. 유도전압은 안테나 코일이  $\alpha=0$ 일 때 즉, 입력신호와 평행을 이루게 될 때 최대 값을 가지게 된다. 여기서 리더 측의 코일 감은 회수와 전류의 관계 즉 NI에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

$$(NI)_{rms} = \frac{2B_z(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 a^2} \quad (9)$$

여기서 리더 최적의 안테나 코일의 직경을 알아보면 식 9에서  $K = \frac{2B_z}{\mu_0}$  라고 가정하면 다음과 같다.

$$NI = K \cdot \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (10)$$

식 10에서 반경 a에 대해서 미분을 취하면,

$$\begin{aligned} \frac{dNI}{da} &= K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2}(2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \\ &= K \frac{(a^2 - 2r^2)(a^2 + r^2)^{1/2}}{a^3} \end{aligned}$$

이때,  $a^2 - 2r^2 = 0$  일 때 최소 값을 가지게 된다.

위 결과는 리더범위에 대한 최적코일직경 사이의 관계를 보여준다. 최적 코일직경은 다음 식으로써 알 수 있게 된다.

$$a = \sqrt{2}r \quad (11)$$

a = 코일의 반경  
r = Read 범위

식 11는 최적루프반경(a)이 요구되어지는 리드 범위 "r"이 1.414배라는 것을 알 수 있다. 이에 따른 a의 값을 변화시켜 매트랩(matlab)으로 계산하여 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있었다.

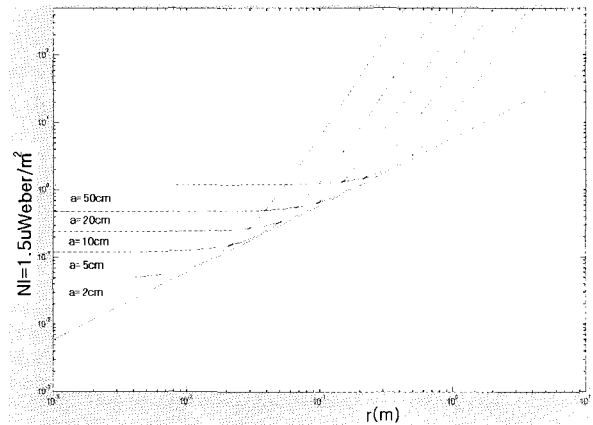


Fig. 8 Relation between ampere-turn and identification distance of reader

### 3. 실험결과 및 시뮬레이션

본 연구에서는 주파수 발생 및 무선데이터를 처리하기 위한 RF모듈로 리더 컨트롤러를 실제 시스템과 동일한 상황을 알아보기 위해 시리얼 통신을 하기 위한 부분으로 구성하였다. 리더와 태그간에 134.2kHz 대역에서 데이터 송수신을 위한 파형을 그림 10과 11에 나타내었다. 주파수 천이 변조 방식으로 변조된 파형을 측정하기 위해서 오실로스코프(200MHz)를 이용하였다. 측정 결과, 그림. 10은 태그가 인식거리에 없을 경우를 나타내었으며 일정 주기동안 시간을 두어 반복적인 과정을 수행하고 있다. 이러한 상태가 리더에서는 수신 데이터를 받을 준비를 하는 형태이다. 수신데이터를 받을 준비는 "0"과 같은 상태와 주파수 발생 상태가 일정 주기로 이루어지고 있으며, 주기별로 인식데이터를 송수신하는 형태를 나타내었다.

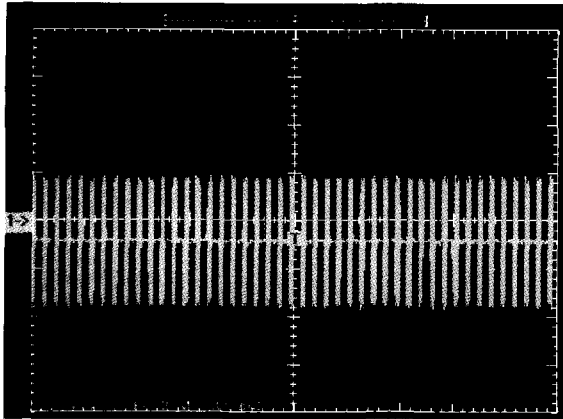


Fig. 10 waveform generated at reader

그림 11은 태그가 리더의 인식 거리 내에 존재하고 있을 때 태그로부터 데이터를 수신하는 것을 나타내었다. 리더에서는 데이터가 완전히 전송될 때까지 기다리는 상황을 나타내었다. 따라서 태그에서 데이터를 전송할 때 리더에서 암호 신호와 전력발생 신호를 보내는 시간이 신호를 발생하지 않는 시간 보다 짧아짐을 알 수 있었으며, 이는 반이중 방식으로 송수신하여 태그에서 인식 데이터를 전송할 경우 리더에서는 수신만 할 뿐 신호 발생은 하지 않는다. 이때 리더측의 안테나는 이미 3장에서 수학적 계산에 의해 유출된  $a = \sqrt{2}r$ 에 의거하여 원형루프 안테나를 사용하였다.

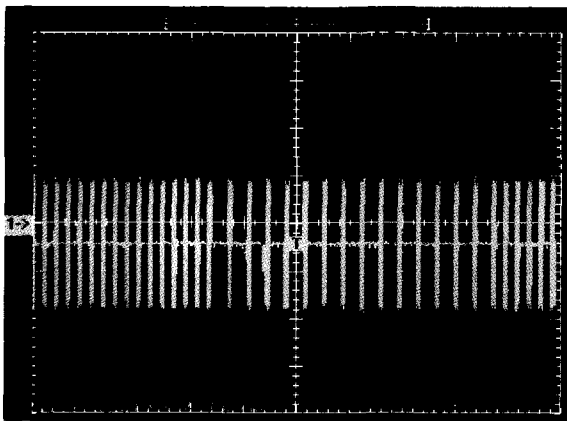


Fig. 11 Identification data received at Tag

태그의 안테나와 리더의 안테나 사이간 인식거리는 약 10cm 정도에서 인식되었으며, 안테나의 크기와 코

일의 감은 횟수를 달리하여 인식 거리를 확장이 가능할 것이다. 그러나 주위에 금속류 등이 산재 해있을 경우는 인식거리에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. RFID 시스템은 그 원리가 트랜스포머의 원리를 이용한 것이므로 주위에 금속성 물체가 있을 경우 금속성의 물체로 자기장이 따로 형성되어 전류의 손실이 그만큼 커지게 된다. 따라서 환경에 민감할 수 있다. 이는 완벽한 차폐효과로 극복할 수 있을 것이다. 그렇지만 금속성이 아닌 물체에 대해서는 충분히 투과 할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

고정체와 이동체의 근거리 전용 통신을 위한 리더 컨트롤러와 루프 안테나를 설계 제작하였다. 리더측 보드는 ISM밴드 대역인 134.2KHz 대역에서 에너지 신호와 암호신호를 주기적으로 발생하여 태그와 통신할 수 있게 하고, 매트랩을 이용하여 각 각의 크기에 대한 거리를 시뮬레이션하고 그 결과를 토대로 안테나를 설계, 제작함으로써 그 타당성을 입증하였다. 그리고 크기와 횟수에 따른 L과 C값을 적절히 조절하여 공진 점을 최대화함으로써 인식할 수 있는 거리의 범위를 확대하는 것을 고려하였으며, 아울러 태그의 경우 안테나의 크기와 감은 횟수를 조절하여야 할 것이다.

이렇게 구성된 시스템은 철도물류 및 차량관리, 일반 물류관리 등에 신속한 물류분류로 인하여 물류비 절감형 인식 시스템을 물류관리 및 차량관리 차원으로 전환 및 발전 방안을 모색하는 것이 시급한 과제라 하겠다.

#### 감사의 글

이 연구는 2001년도 광운대학교 학내학술연구비에 의하여 이루어졌음

참 고 문 헌

1. Louse E.Frenzel, 1998, "Principle Electronic Communication System", McGraw Hill.
2. J.D Gerdeman, 1995, "Radio Frequency Identification Application 2000" RTC Inc.
3. Sau-Mou, Jeng-Rern, Yang,Tzen-Yi Liu, "A Transponder Wireless Identification Systems." ,1996 IEEE
4. Microchip Technology Manual, 2001
5. Bahzad razavi, 1998"RF micro Electronics"Prentice-hall.
6. David K.Cheng, "Fundamentals of Engineering Electro magnetics", 1994,Addison-Wesley.
7. Constantine A.Balanis,"Antenna Theory-Analysis and Design"John Wiley & Sons,2nd edition,1997.