

# 유도결합 RFID 시스템에서 이중 코일 안테나를 이용한 잡음의 감소

## Noise Reduction in an Inductively Coupled RFID System Using a Dual Coil Antenna

이 성 호

Seong-Ho Lee

요 약

본 논문에서는 유도결합을 이용한 RFID 시스템에서 주변의 RF 잡음의 영향을 감소할 수 있는 이중 코일 안테나를 새로이 제안하고 실험하였다. 이중 코일 안테나는 동일한 구조의 코일 2개가 직렬로 연결되어 있으며 두 코일에 유도되는 잡음 전압의 크기가 같고 극성이 반대가 되어 서로 상쇄되도록 고안된 구조이다. RFID 리더에 이중 코일 안테나를 사용한 경우에 단일 코일 안테나에 비하여 RF 유도 잡음이 약 15 dB 감소하였다.

Abstract

In this paper, we introduce a dual coil antenna which is useful for reducing the effects of radio frequency noise in an RFID system. A dual coil antenna is composed of two identical coils that are connected in series. The noise voltages in the two coils almost disappear when they are added because the magnitudes are equal and the polarities are opposite. The noise in an RFID reader with a dual coil antenna was 15 dB lower than that with a single coil antenna.

Key words : RFID, Dual Coil Antenna, RF Noise, Planar Spiral Antenna, Load Modulation

### I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 전자 태그를 사물에 부착하고 리더의 안테나를 통해 태그의 정보를 판독하는 비접촉식 무선 인식 시스템으로서 물류 유통 관리, 출입 통제, 교통 카드, 식품 관리 등 다양한 분야에 적용이 점차 확대되고 있다. RFID 시스템은 리더와 태그로 구성되며, 리더와 태그 사이에 자기 결합(magnetic coupling) 또는 전자파의 후방 산란(electromagnetic back-scatter coupling)을 이용하여 태그의 보유 정보를 리더로 전달하게 된다. LF와 HF 대역의 RFID는 주로 자기 결합 방식을 이용하고 태그에서 리더쪽으로 보내고자 하는 정보에 따라 부

하 임피던스를 규칙적으로 변화시키면 자기적으로 결합된 리더 코일의 변환 임피던스(transformed impedance)가 변화하고, 이에 따라 발생하는 신호 전압의 진폭 변화를 감지하여 태그의 정보를 읽어 들인다. 자기 결합 방식의 RFID는 인식 거리가 보통 1 m 이하의 단거리 시스템이 일반적이고 구조가 비교적 간단하며 저가로 구현이 가능하므로 현재 제일 많이 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. UHF 대역의 RFID 시스템에서는 전자파의 후방 산란을 이용하며, 태그에서 리더로 보내고자 하는 정보에 따라 태그의 부하 임피던스를 변화시키면 이에 따라 태그 안테나의 산란 면적(scatter aperture)이 달라져서 태그 안테나로부터 반사되는 전자파 전력의 변화하고, 리더에서 이를 감

서울산업대학교 전자정보공학과(Department of Electronic & Information Engineering, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 20070306-030

· 수정완료일자 : 2007년 4월 16일

지하여 태그로부터 보내진 데이터를 인식하게 된다. 전자파 후방 산란을 이용한 RFID는 인식 거리가 보통 1 m 이상인 장거리 시스템이다<sup>[1]</sup>.

RFID 시스템은 비접촉 방식으로 사물의 정보를 인식하기 때문에 매우 편리한 점이 있지만 무선으로 신호가 전달되는 특성을 가지기 때문에 주변에 강한 RF 잡음이 있는 환경에서는 안테나에 잡음 전압이 유도되어 태그와 리더 간의 정보 전달 과정에 오동작이 발생하는 경우가 있다. 특히 자기 결합 방식으로 동작하는 RFID 시스템에서 동일한 주파수를 사용하는 여러 개의 리더가 서로 근접하여 설치된 경우에는 인접 시스템 상호간에 잡음이 유도되어 RFID가 정상적으로 동작하지 않는 경우가 많다.

본 논문에서는 자기 결합 방식으로 동작하는 RFID 리더 시스템에서 이러한 RF 잡음의 영향을 감소시키는 데에 활용할 수 있는 이중 코일 안테나의 구조에 대하여 새로이 소개한다. 이중 코일 안테나는 동일한 구조를 가진 2개의 코일 안테나를 직렬로 연결하여 구성하며, 두 코일에서 유도된 잡음 전압의 극성이 서로 반대가 되어 잡음이 상쇄되도록 고안된 구조이다. 이중 코일 안테나는 구조가 간단하고 PCB를 이용하여 평면형 코일로 쉽게 제작이 가능하며 잡음에 강한 RFID를 개발하는 데에 매우 유용하다. 이중 코일 안테나의 구조와 동작 원리, 그리고 잡음 감소 효과를 확인하기 위한 실험 결과를 차례로 소개하면 다음과 같다.

## II. 이중 코일 안테나의 구조와 동작 원리

이중 코일 안테나의 구조와 동작 원리를 설명하기 위한 RFID 리더의 구성도는 그림 1과 같다.

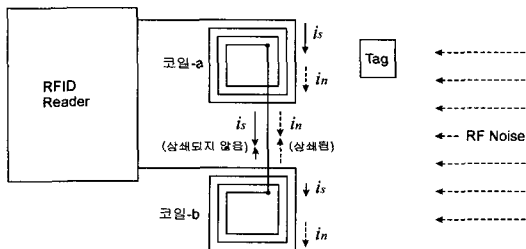


그림 1. 이중 코일 안테나를 이용한 RFID 리더의 구조  
Fig. 1. An RFID reader configuration using a dual coil antenna.

이중 코일 안테나는 동일한 구조를 가지는 2개의 코일을 그림과 같이 평행으로 배열하고, 코일 내부의 끝부분을 서로 직렬로 연결하여 이루어지며, RFID 리더의 안테나 연결 단자에 접속한다. 코일의 크기에 비하여 먼 거리에 있는 잡음원으로부터 발생한 무선 잡음은 동일한 구조를 가진 두 코일 부근에서 자계 강도가 거의 균일하여 두 코일에 유도된 잡음 전류  $i_n$ 의 크기는 동일하고 방향이 반대가 되어 그림 1에서 보는 바와 같이 직렬로 연결된 두 코일에서 상쇄하게 된다.

신호 전류의 경우에는 두 개의 코일 중에서 한 개, 예를 들어 코일 a를 태그 인식용 코일로 지정하여 여기에 태그를 접근시키면 코일 a와 태그 사이의 거리는 코일 b에 비하여 상대적으로 가까우므로 자기적 유도 결합이 코일 b에 비하여 강하다. 따라서 태그로부터 전달되어온 신호 전류  $i_s$ 는 코일 a에서 주로 발생하며 두 코일에서 상쇄되지 않고 리더 쪽으로 흐르게 된다. 그 결과 주변의 RF 잡음의 간섭은 감소하고 태그로부터의 신호는 리더에서 정상적으로 인식하게 된다. 이러한 원리를 수식적으로 표현하기 위하여 그림 1의 리더와 태그 사이의 관계를 등가 회로로 나타내면 그림 2와 같다.

리더 측의 등가회로 부분에서  $v_1$ 은 RFID 리더의 안테나 연결 단자간 전압이고,  $R_1$ 은 이중 코일 안테나의 내부 저항이며,  $C_1$ 은 직렬로 연결된 캐패시터이다.  $L_a$ 와  $L_b$ 는 각각 이중 코일 안테나를 구성하는 두 코일의 자기 인덕턴스(self-inductance)로서 두 코일의 구조가 동일하므로  $L_a = L_b$ 이다.  $M_{ab}$ 는 코일 a와 코일 b 사이의 상호 인덕턴스이다.

태그 측의 등가 회로에서  $L_2$ 는 태그 코일의 자기 인덕턴스이고,  $R_2$ 는 코일의 내부 저항이다.  $C_2$ 는

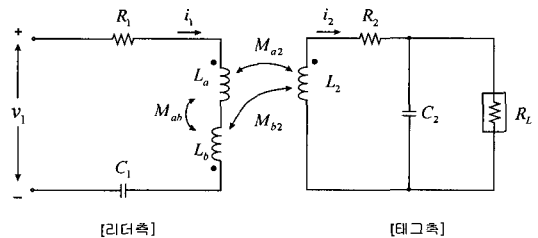


그림 2. 등가 회로  
Fig. 2. Equivalent circuit.

태그가 리더의 동작 주파수에서 공진하도록 부차한 캐퍼시터이며,  $R_L$ 은 태그의 부하 저항으로서 부하 변조(load modulation)의 원리에 의하여 태그로부터 리더에 송신하고자 하는 데이터에 따라 제어되는 저항이다.  $M_{a2}$ 와  $M_{b2}$ 는 각각 리더의 코일 a와 태그 사이, 코일 b와 태그 사이의 상호 인덕턴스를 나타낸다. RF 잡음이 존재하는 경우 리더와 태그측 회로에서 전압과 전류의 관계를 나타내면 다음과 같다.

$$v_1 = \left( R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) \cdot i_1 - j\omega(M_{a2} - M_{b2}) \cdot i_2 + v_{na} + v_{nb} \quad (1a)$$

$$L_1 = L_a + L_b - 2M_{ab} = 2L_a - 2M_{ab} \quad (1b)$$

$$0 = -j\omega(M_{a2} - M_{b2}) \cdot i_1 + (R_2 + j\omega L_2 + Z_2) \cdot i_2 + v_{n2} \quad (1c)$$

$$Z_2 = \frac{R_L}{(1 + j\omega C_2 R_L)} \quad (1d)$$

식 (1a)는 리더 회로에서의 전압과 전류를 나타내며, 여기에서 인덕턴스  $L_1$ 은 코일 a와 코일 b로 구성된 리더 코일의 총 인덕턴스로서 식 (1b)와 같이 쓸 수 있다.  $v_{na}$ 와  $v_{nb}$ 는 각각 외부의 RF 잡음으로부터 코일 a와 코일 b에 유도되는 잡음 전압을 나타낸다. 식 (1c)는 태그 회로에서의 전압과 전류의 관계를 나타낸다. 수동형 태그 회로에서는 전원이 별도로 존재하지 않고 태그 코일과 리더 코일 사이의 상호 인덕턴스를 통하여 태그 회로에 기전력이 발생하며 그 크기가  $j\omega(M_{a2} - M_{b2}) \cdot i_1$ 이 된다.  $v_{n2}$ 는 태그의 코일에 유도되는 잡음 전압이며,  $Z_2$ 는 캐퍼시턴스  $C_2$ 와 부하 저항  $R_L$ 로 이루어지는 병렬 회로의 합성 임피던스로서 식 (1d)로 표현된다. 리더 안테나 연결 단자에 가해지는 신호의 주파수가 리더 회로의 공진 주파수와 일치하는 경우  $j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = 0$ 이 된다. 이상태에서 식 (1a)의 입력 전압  $v_1$ 은

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 - j\omega(M_{a2} - M_{b2}) \cdot i_2 + v_{na} + v_{nb} \quad (2)$$

이 된다. 식 (1c)로부터 태그의 전류  $i_2$ 는

$$i_2 = \frac{j\omega(M_{a2} - M_{b2}) \cdot i_1 - v_{n2}}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \quad (3)$$

가 되며, 이 값을 식 (2)의  $i_2$ 에 대입하면

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{\omega^2(M_{a2} - M_{b2})^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot i_1 + \frac{j\omega(M_{a2} - M_{b2})}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2} + v_{na} + v_{nb} \quad (4)$$

가 된다. 식 (4)의 우변에서 두 번째 항의 계수인  $\frac{\omega^2(M_{a2} - M_{b2})^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2}$ 은 태그 코일과의 유도 결합에서 발생하는 변환 임피던스(transformed impedance)이며, 태그에서 리더로 보내고자 하는 데이터에 따라 규칙적으로 태그의 부하 저항이 변화하면, 리더 코일의 임피던스가 달라져 전압 변동이 발생하고 그 결과 데이터가 리더로 전송되게 된다. 식 (4)의 우변에서 세 번째 항  $\frac{j\omega(M_{a2} - M_{b2})}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2}$ 는 RF 잡음으로 인하여 태그 코일에 유도된 잡음 전압이 태그와 리더사이의 상호 인덕턴스에 의하여 다시 리더로 전달되는 잡음 전압을 나타내며,  $v_{na}$ 와  $v_{nb}$ 는 각각 코일 a와 코일 b에 직접 유도되는 잡음 전압이다.

앞의 그림 1에서 설명한 바와 같이 리더에 연결된 코일 a와 코일 b의 구조가 동일하고, RF 잡음을 일으키는 잡음원이 코일의 크기에 비하여 멀리 떨어진 위치에 존재하는 경우, 두 코일에 유도되는 잡음 전압의 크기는 거의 동일하고 극성이 반대가 되어 서로 상쇄된다. 그 결과 식 (4)에서 잡음 전압  $v_{na} + v_{nb} = 0$ 이 되어 사라진다. 따라서 리더의 안테나 연결 단자에 나타나는 전압은

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{\omega^2(M_{a2} - M_{b2})^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot i_1 + \frac{j\omega(M_{a2} - M_{b2})}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2} \quad (5)$$

이 된다. 이에 비하여 리더에 단일 코일을 사용하는 경우에 리더 안테나 단자 전압을 같은 방법으로 계산하면

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot i_1 + \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2} + v_{n1} \quad (6)$$

이 된다.

여기에서  $M$ 은 리더 코일과 태그 코일 간의 상호인덕턴스이고,  $\frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2}$  항은 태그 코

일에 유도된 잡음이 태그와 리더 사이의 상호 인덕턴스에 의하여 다시 리더로 전달되는 잡음 전압이며,  $v_{n1}$ 은 리더 코일에 직접 유도되는 잡음 전압이다. 이중 코일을 사용한 경우에 대한 식 (5)와 단일 코일을 사용한 경우에 대한 식 (6)에 나타난 잡음 전압의 항을 따로 정리하면 다음과 같다.

이중 코일 잡음 전압:

$$v_{n, double} = \left| \frac{j\omega(M_{a2} - M_{b2})}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2} \right| \quad (7a)$$

단일 코일 잡음 전압:

$$v_{n, single} = \left| \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2} \cdot v_{n2} + v_{n1} \right| \quad (7b)$$

단일 코일에 비하여 이중 코일을 사용함으로써 개선되는 잡음의 감소량( $\Delta v_n$ )을 식 (7a)와 식 (7b)의 비율로 표현할 수 있으며, 이 값을 dB로 나타내면

$$\Delta v_n = -20 \times \log \left( \frac{v_{n, double}}{v_{n, single}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

이 된다. 식 (8)을 사용하여 잡음의 감소량을 주파수에 따라 도시하면 그림 3과 같다.

그림 3에서는 부하 저항  $R_L$ 을 파라미터로 하여 잡음 감소량을 도시하였으며, 시뮬레이션에서 사용한 리더와 태그의 소자 값은 뒤의 III절과 IV절의 실험에서 사용한 평면 사각 나선형 코일의 측정값을 이용하였다. 상호 인덕턴스는 리더 코일과 태그 코일의 간격을 일반적인 LF RFID의 인식 거리 약 5~10 cm의 범위의 중간에 해당하는 약 7 cm를 기준하여 측

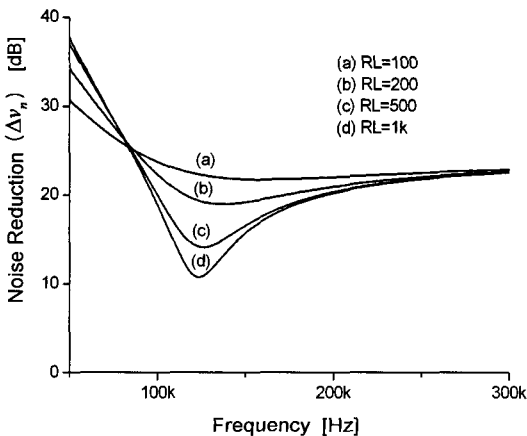


그림 3. 이중 코일을 사용할 때의 잡음 감소량  
Fig. 3. Noise reduction with a dual coil.

정한 값으로 각각  $M=10 \mu H$ ,  $M_{a2}=10 \mu H$ ,  $M_{b2}=0.9 \mu H$ 로 하였으며, 태그 코일의 내부 저항과 자기 인덕턴스는 각각  $R_2=12 \Omega$ ,  $L_2=140 \mu H$ 이다. 그림 3에서 보면 잡음의 감소량은 태그의 공진 주파수 125 kHz 부근에서 최소가 된다. 그 이유는 RF 잡음으로부터 태그에 유도되는 잡음이 태그의 공진 주파수 부근에서 최대가 되며, 태그 코일과 리더 코일간의 유도 결합으로 인하여 다시 리더 코일로 전달되기 때문이다. 잡음의 감소량은 부하 저항과 잡음 주파수에 따라 달라지며, 부하 저항이 대략  $100 \Omega \sim 1 k\Omega$  범위에 있을 때 약 10~20 dB 정도의 잡음 감소 효과를 얻을 수 있음을 보여준다.

### III. 유도잡음 측정실험

RFID 시스템 부근에 강한 RF 잡음이 존재하는 환경에서 단일 코일 안테나와 이중 코일 안테나에 유도되는 잡음 전압을 측정하기 위한 실험 구성도는 그림 4와 같다.

실험에서는 FR-4 PCB 기판 위에 평면 사각 나선형 코일을 제작하여 실험에 사용하였다. 단일 코일 안테나는 도선 외곽의 크기가  $10 \times 10 \text{ cm}$ 인 정사각형이며, 도선 폭은 0.3 mm, 도선과 도선 사이의 간격은 0.3 mm, 동박의 두께는 0.035 mm, 권선수 30으로 제작하여 인덕턴스는 약  $140 \mu H$ 이고 저항은 약  $12 \Omega$ 이다. 이중 코일 안테나는 도선 간격, 동박의 두께, 권선수가 모두 단일 코일과 동일하고 도선 외곽의 크기가  $7 \times 7 \text{ cm}$  정사각형의 코일 2개가 도선 외곽간의 간격 약 1.5 cm의 거리를 두고 평면상에 배열된 구조이며, 직렬로 연결된 합성 인덕턴스가 약  $140 \mu H$ 가 되게 하였다. 실험용 태그로는 코일 인덕턴스가

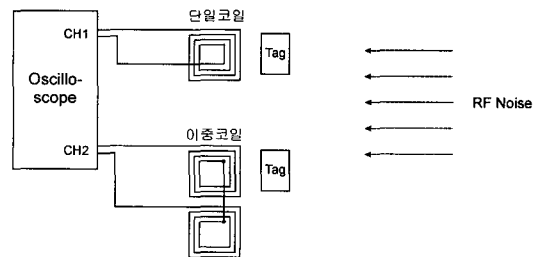


그림 4. 유도 잡음 측정을 위한 실험 구성도  
Fig. 4. Experimental setup to measure the induced noise.

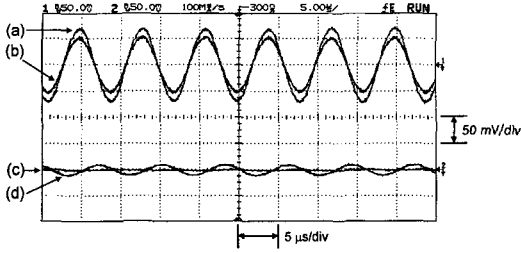


그림 5. 코일 안테나에 유도된 잡음 전압, (a) 단일 코일(태그가 없을 때), (b) 단일 코일(태그가 근접할 때), (c) 이중 코일(태그가 없을 때), (d) 이중 코일(태그가 근접할 때)

Fig. 5. The induced noise voltage, (a) in a single coil (without a tag), (b) in a single coil(with a tag), (c) in a dual coil(without a tag), (d) in a dual coil(with a tag).

20.8 mH이고 병렬 캐퍼시턴스가 78 pF이며 공진 주파수가 125 kHz인 EM Microelectronic사의 EM4102를 사용하였다.

잡음원으로 RFID 신호 주파수와 동일한 125 kHz 5 Vpp의 신호 발생기에 20×20 cm의 정방형 솔레노이드를 연결하여 사용하였으며, 이로부터 약 30 cm 떨어진 거리에 단일 코일 안테나와 이중 코일 안테나를 나란히 설치하고 두 코일 부근에서 거의 균일한 RF 잡음이 존재하는 환경을 만들어 유도 잡음 전압의 크기를 비교하였다. 이 상태는 코일이 RFID 리더에 연결된 구조가 아니므로 제Ⅱ절 그림 2의 등가 회로와 식(5) 및 식 (6)에서  $i_1=0$ 인 상태이며, 코일 양단에서 측정된 전압은 모두 코일에 유도된 잡음 전압이다. 그림 5는 오실로스코프를 사용하여 두 코일에 유도된 잡음 전압을 관측한 파형이다. 그림 5에서 파형 (a)와 (b)는 단일 코일에 유도되는 전압이고, 파형 (c)와 (d)는 이중 코일에 유도된 잡음 전압이다.

파형 (a)는 태그가 없는 상태에서 단일의 코일 안테나에 유도되는 잡음 전압을 나타내며, 피크간 전압이 약 144 mV이다. 파형 (b)는 태그가 단일의 코일 안테나에 약 1 cm 정도로 매우 근접한 경우에 유도되는 잡음 전압으로서 피크간 전압의 크기가 약 106 mV이다. 파형 (c)는 태그가 없는 상태에서 이중 코일에 유도되는 잡음 전압으로서 거의 0에 근접하고 오실로스코프에서 확대하여 관측할 때 약 5 mV 이하로 측정되었다. 파형 (d)는 태그가 이중 코일 안테나

에 근접한 경우, 유도되는 잡음 전압을 나타내며, 피크간 잡음 전압이 약 18 mV이다. 이와 같이 태그를 코일 안테나에 근접하는 경우에 발생하는 미소한 전압증가 현상은 앞의 식 (5)에서 표현된 바와 같이 RF 잡음에 의하여 태그에 유도된 전압이 리더 안테나와 태그 사이의 상호 인덕턴스를 통하여 다시 리더에 유도된 결과이다. 태그가 리더 안테나에 근접한 경우에 유도 잡음의 크기를 비교하면, 그림 5의 파형 (b)에서 단일 코일을 사용한 경우의 유도 잡음  $v_{n, single} = 106$  mV에 비하여 파형 (d)에서 이중 코일을 사용한 경우의 유도 잡음은  $v_{n, double} = 18$  mV이므로, 이중 코일을 사용함으로써 개선되는 잡음의 감소량  $\Delta v_n$ 은

$$\begin{aligned} \Delta v_n &= -20 \times \log \left( \frac{v_{n, double}}{v_{n, single}} \right) \\ &= -20 \times \log \left( \frac{18}{106} \right) = 15.4 \text{ dB} \end{aligned} \quad (9)$$

이다.

#### IV. 부하 변조 및 복조 실험

RFID 태그에서 리더로 보내고자 하는 정보에 따라 태그의 부하 저항을 변화시키면 태그 코일과 자기적으로 결합되어 있는 리더 코일의 변환 임피던스가 달라져 리더 코일의 양단 전압이 변화하게 되며, 이 전압을 검출하여 복조함으로써 태그의 데이터를 읽어낸다. 태그와 리더 사이에 발생하는 이러한 과정에 해당하는 회로를 구성하고 RF 잡음이 존재하는 환경에서 이중 코일을 사용하는 경우에 개선되는 잡음 소거 효과를 확인하였다. 태그의 부하 변조에 따른 리더 회로에서 복조 과정을 관측하기 위한 실험 구성도는 그림 6과 같다.

그림 6에서 리더 코일을 포함하여 왼쪽 부분은 리더의 복조 회로에 해당하며, 태그 코일을 포함한 오른쪽 부분은 태그의 부하 변조 회로에 해당한다. 여기에서 사용한 리더 코일과 태그 코일은 동일한 구조이며 앞의 그림 4의 유도 잡음 측정 실험에 사용한 단일의 평면 사각 나선형 코일로서 자기 인덕턴스 L1과 L2는 140 uH이고, 리더 코일과 태그 코일 사이의 거리는 약 3 cm 정도로 근접하였다. 캐퍼시터 C1과 C2는 모두 11.47 nF으로서 리더와 태그 회로의 공진 주파수가 모두 125 kHz가 되게 하였다.

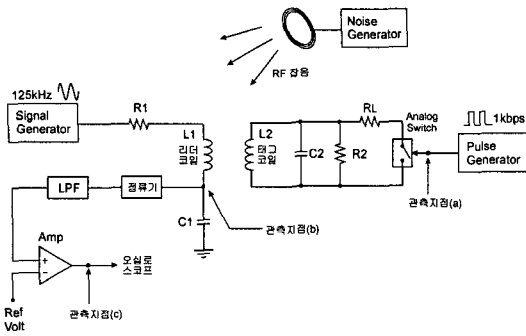


그림 6. 부하 변조 및 복조 실험 구성도  
Fig. 6. Experimental setup for load modulation and demodulation.

태그 회로에서는 태그 코일과 캐패시터 C2가 병렬 공진 회로를 구성하고, 여기에 저항 R2과 RL이 병렬로 연결되어 있다. R2는 1 k $\Omega$ , RL은 100  $\Omega$ 의 저항을 사용하였다. 부하 저항 RL과 직렬로 아날로그 스위치를 연결하고 여기에 1 kbps의 구형 펄스를 가하여 태그의 부하 저항이 교대로 R2와 R2/RL 값을 가지게 하였다.

리더 회로는 저항 R1, 리더 코일, 그리고 캐패시터 C1을 직렬로 연결하여 구성하였으며, 여기에 주파수 125 kHz 진폭 5 V의 사인파 신호를 가하였다. 태그 코일과 자기적으로 결합된 리더 코일의 변환 임피던스가 태그의 부하 저항에 따라 달라지므로, 리더의 125 kHz 신호가 태그의 1 kbps 신호로 진폭 변조되며 관측 지점(b)에서 이 신호를 관측하였다. 이 신호를 정류한 후 차단 주파수 약 1 kHz인 저역 필터를 통과시키고 증폭하여 관측 지점(c)에서 복조 파형을 관측하였다. 각 지점에서 오실로스코프를 사용하여 관측한 파형은 그림 7과 같다.

그림 7의 파형 (a)~(c)는 각각 그림 6의 관측 지점 (a)~(c)에서 검출한 파형이다. 파형 (a)는 태그의 부하 저항을 변조시키는 1 kbps의 펄스 파형으로서 1의 상태에서는 아날로그 스위치가 OFF 되어 태그의 부하 저항이 R2=1 k $\Omega$ 이 되며, 0의 상태에서는 스위치가 ON되어 R2/RL $\approx$ 91  $\Omega$ 이 된다. 파형 (b)는 125 kHz의 리더 신호의 진폭이 태그의 부하 저항의 변화에 따라 1 kbps로 진폭 변조된 상태를 나타낸다. 파형 (c)는 파형 (b)를 정류한 후 저역 필터를 통과하여 태그의 부하 변조 신호를 복조한 파형이다. 위의 상태에서는 RF 잡음이 존재하지 않는 환경이므로 부하 변조

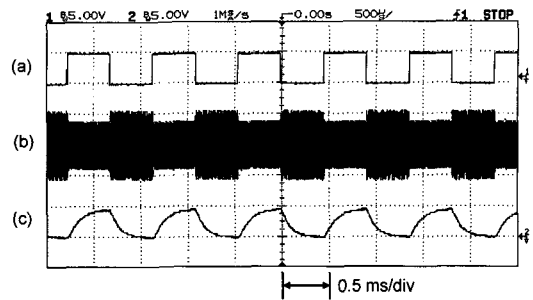


그림 7. 주변의 RF 잡음이 없을 때 관측 파형, (a) 태그의 부하 변조 파형, (b) 리더의 피변조 파형, (c) 리더의 복조 파형  
Fig. 7. Observed waveforms without environmental RF noise, (a) Modulation signal to the load resistor of a tag, (b) Modulated signal of the reader, (c) Demodulated signal of the reader.

와 복조 과정이 매우 양호한 상태임을 알 수 있다.

다음으로, 잡음이 존재하는 환경에서 복조 파형이 달라지는 현상을 관측하기 위하여 앞의 제Ⅲ절의 실험에서 사용한 잡음 발생기를 이용하여 RF 잡음이 존재하는 환경을 만들고, 그림 6의 실험 구성도에서 리더 안테나로 단일 코일과 이중 코일을 사용한 경우에 대하여, 관측 지점(c)에서 검출한 복조 파형을 비교하였다. 여기에서 사용한 단일 코일과 이중 코일은 앞의 그림 4에서 사용한 평면 사각나선형 코일이며, 리더 코일과 태그 코일 사이의 거리는 약 7 cm 정도이다. RFID 리더는 신호 주파수와 근접한 잡음 주파수에 제일 민감하며, 단일 코일을 사용하는 경우에 신호 주파수 125 kHz에 근접하는 115~135 kHz 부근에서 잡음의 간섭이 심하게 발생하였다. 그림 8은 잡음 주파수가 115 kHz일 때의 복조 파형을 나타낸다.

그림 8에서 파형 (a)는 리더 안테나로 단일의 코일을 사용한 경우이고, 파형 (b)는 동일한 조건 하에서 이중 코일을 사용한 경우이다. 파형 (a)에서 보는 바와 같이 단일 코일에서는 잡음에 의한 간섭 현상이 심하게 발생하고 있으며, 이러한 상태에서는 RFID 리더에서 태그의 코드를 정확히 읽을 수 없다. 파형 (b)에서와 같이 이중 코일을 사용하는 경우에는 이러한 잡음이 많이 제거되어 부하 변조 신호를 정상적으로 복조하고 있음을 알 수 있다.

RFID 리더는 신호 주파수와 근접한 잡음 주파수에 제일 민감하므로 동일한 주파수를 사용하는 RFID

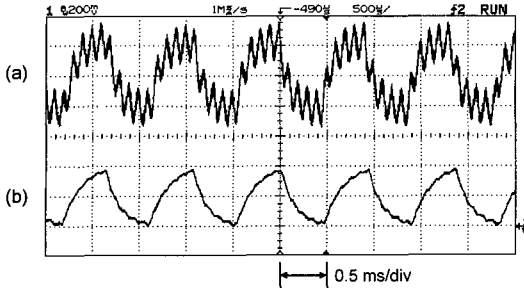


그림 8. 잡음이 존재할 때의 복조 파형, (a) 단일 코일 사용, (b) 이중 코일 사용  
 Fig. 8. Demodulated signal waveforms in RF noise. (a) with a single coil, (b) with a dual coil.

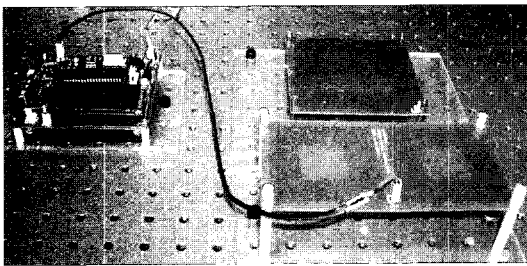


그림 9. 실험에서 제작한 RFID 리더  
 Fig. 9. RFID readers fabricated in experiment.

리더 2개를 근접하여 설치한 경우에 상호 간섭에 의하여 둘 다 동작을 하지 않는 경우가 많다. 이러한 환경에서도 이중 코일의 개선 효과를 확인하기 위하여 125 kHz 동작 주파수를 가지는 RFID 리더 2개를 제작하여 실험하였다. EM Microelectronic사의 RF Front-end EM4095와 Microchip사의 PIC16F877A 마이크로컨트롤러를 사용하여 RFID 리더를 제작하고, 태그로는 EM Microelectronic사의 EM4102를 사용하였다. 2개의 리더에 모두 단일 코일 안테나를 사용한 경우에는 코일의 측면 간격이 약 10 cm 정도 근접할 때 상호 간섭에 의하여 동작을 멈추지만, 2개의 리더에 이중 코일 안테나를 사용한 경우에는 둘 다 정상적으로 태그를 잘 인식하였다.

### V. 이중 코일에서 상호 인덕턴스 감소 현상에 대한 검토

실험에서 리더용 안테나 단자에 사용한 이중 코일은 서로 역방향의 권선을 가진 2개의 코일이 직

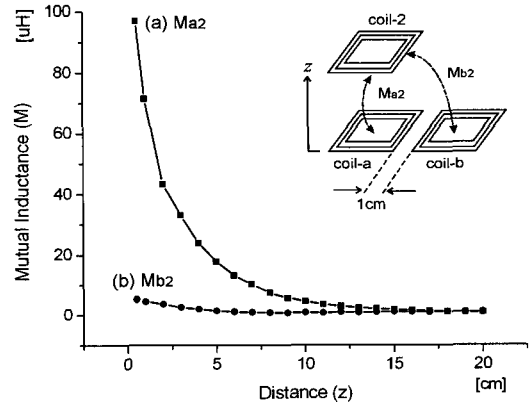


그림 10. 상호 인덕턴스  
 Fig. 10. Mutual inductance.

렬로 연결된 구조이며, 태그 코일과의 상호 인덕턴스의 감소에 의한 자기 결합의 약화 현상이 발생할 수 있다. 앞의 제II절의 식 (4)에서 신호 전압은 태그 코일과의 유도 결합에서 발생하는 변환 임피던스

$$\frac{\omega^2(M_{a2} - M_{b2})^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_2}$$

가  $M_{a2}$ 에 근접할수록 리더에서의 신호 전압은 약해진다. 이중 코일을 구성하는 2개의 코일 중 한 개에 태그 코일이 근접하는 경우, 상호 인덕턴스의 변화를 알아보기 위하여 가로 세로 각각 10×10 cm 크기와 140 μH의 자기 인덕턴스를 가지는 평면 정방형 나선 코일 3개를 사용하여 그림 10과 같이 배열하고, 거리에 따른 상호 인덕턴스의 변화를 측정하였다. 여기에서 coil-a와 coil-b는 이중 코일을 구성하는 2개의 코일에 해당하고 edge-to-edge 간격은 1 cm(center-to-center 11 cm)로 제작하였다. Coil-2는 태그용 코일에 해당하며, z축 방향으로 coil-a와 평행하게 배열하고 코일간의 거리 z를 증가시키면서 상호 인덕턴스  $M_{a2}$ 와  $M_{b2}$ 를 측정하였다.

그림 10의 그래프 (a), (b)는 각각  $M_{a2}$ 와  $M_{b2}$ 의 측정값이며, 일반적인 LF RFID의 인식거리인 약 7 cm 정도 이내의 근거리에서  $M_{b2}$ 가  $M_{a2}$ 의 약 1/10 이내로 매우 작아 제II절의 식 (4)와 (5)에서  $M_{b2}$ 에 의한 상호 인덕턴스 감소 영향을 거의 무시할 수 있음을 알 수 있다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 유도 결합 RFID 시스템에서 주변

표 1. 상호 인덕턴스  
Table 1. Mutual inductance.

z(cm)	Ma2(uH)	Mb2(uH)
0.5	97.0	5.3
1.0	71.6	4.5
2.0	43.3	3.7
3.0	33.1	2.6
4.0	23.9	2.0
5.0	17.9	1.4
6.0	13.2	1.1
7.0	10.3	0.9

의 RF 잡음의 영향을 감소할 수 있는 이중 코일 안테나의 구조를 새로이 소개하고 동작 원리를 설명하였다. 실험에서는 PCB를 이용한 평면 사각나선형 코일을 단일 코일과 이중 코일의 두 가지 형태로 제작하여 주변의 RF 잡음이 존재하는 환경에서 두 코일에 유도되는 잡음 전압의 크기 측정하였으며, 실험 결과 이중 코일에 유도되는 잡음 전압은 단일 코일에 비하여 약 15 dB 정도 감소된 상태를 보였다.

또한, RFID 태그의 부하 변조에 해당하는 회로와 리더의 복조 회로를 제작하고, RF 잡음이 존재하는 공간에서 단일 코일 안테나를 사용하는 경우에 복조

과형에 나타나는 잡음 간섭이 이중 코일 안테나를 사용하는 경우에는 거의 소거됨을 실험적으로 관측하였다. 이상의 시뮬레이션과 실험을 통하여 유도결합을 이용한 RFID 시스템에서 이중 코일 안테나를 사용하면 RF 잡음에 강한 시스템을 구현하는 데에 매우 효과적인 방법임을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., Wiley, 2003.
- [2] *Microchip 13.56 MHz RFID system design guide*, Microchip Technology Inc., 2004.
- [3] H. M. Greenhouse, "Design of planar rectangular microelectronic inductors", *IEEE Transactions on Parts, Hybrids, and Packaging*, vol. PHP-10, no. 2, pp. 101-109, Jun. 1974.
- [4] Seong-Ho Lee, "Reducing the effects of ambient noise light in an indoor optical wireless system using polarizers", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 3, pp. 228-231, Feb. 2004.

### 이 성 호



1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)  
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 1995년 3월~현재: 서울산업대학교

전자정보공학과 정교수

[주 관심분야] 광통신, RFID, 안테나