

# 다중 코일 안테나를 이용한 RFID 유도 잡음의 감소

## RFID Noise Reduction Using a Multi-Coil Antenna

이 성 호

Seong-Ho Lee

### 요 약

본 논문에서는 유도 결합을 이용한 RFID 시스템에서 주변의 RF 잡음의 영향을 감소할 수 있는 다중 코일 안테나를 새로이 제안하고 실험하였다. 다중 코일 안테나는 1개의 중심 코일과 그 주변에 4개의 보조 코일이 등거리에 배치되어 구성되며, 이들을 직렬로 연결하여 중심 코일과 보조 코일에 유도되는 전압이 서로 상쇄되도록 설계된 구조이다. 다중 코일 안테나를 사용한 경우에 단일 코일 안테나에 비하여 유도 잡음이 약 30 dB 감소하였으며, 잡음의 공간적 분포가 급격히 변화하는 환경에서도 유도 잡음의 소거 효과가 매우 높아 이중 코일에 비하여 유도 잡음이 약 16 dB 감소하였다.

### Abstract

In this paper, we introduce a multi-coil antenna which is useful for reducing the effects of radio frequency noise in an inductively coupled RFID system. A multi-coil antenna is composed of a central coil and four subsidiary coils that are connected in series. A multi-coil antenna is designed so that the total noise disappear when the induced voltages of a central coil and subsidiary coils are added. The noise in a multi-coil antenna was about 30 dB lower than that in a single coil antenna. The multi-coil antenna is very effective in noise reduction even in an environment that the spatial distribution of RF noise is changed abruptly, and the induced noise was about 16 dB lower than that in a dual coil antenna.

Key words : RFID, Noise Reduction, Multi-Coil, RF Noise, Coil Antenna

### I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 태그(tag)를 물체에 부착하고 리더의 안테나를 통해 태그의 정보를 읽어내는 무선 인식 시스템으로서 물류 유통, 출입 통제, 교통 카드, 식품 관리 등 그 활용 범위가 증가하고 있다. RFID 시스템은 리더와 태그로 구성되며, 리더와 태그 사이에 유도 결합 또는 전자파 후방 산란을 이용하여 태그의 보유 정보를 리더로 전달하게 된다<sup>[1~3]</sup>. LF 대역과 HF 대역의 RFID는 주로 유도 결합 방식을 이용하며, 인식 거리가 보통 수 cm ~ 수십 cm의 정도의 단거리 시스템에 해당하고,

UHF 대역의 RFID는 전자파의 후방 산란을 이용하며, 인식 거리가 보통 수 m 정도의 장거리 시스템에 해당한다. 유도 결합을 이용한 LF 또는 HF 대역의 RFID는 UHF 대역에 비하여 인식 거리가 매우 짧은 단점이 있지만, 상대적으로 가격이 매우 저렴하고, 회로 구성이 간편하여 현재에도 많이 이용되고 있다.

RFID 시스템은 비접촉 방식으로 대상 물체에 관한 데이터를 인식하기 때문에 매우 편리한 장점이 있지만, 태그의 정보를 무선으로 전달하기 때문에 주변에 강한 RF 잡음에 노출된 환경에서는 리더 안테나에 잡음 전압이 유도되어 오동작이 발생하는 경우가 많으며, 동일한 주파수를 사용하는 여러 개의

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

· 논문 번호 : 20080312-030

· 수정완료일자 : 2008년 5월 9일

RFID 리더가 서로 근접하여 설치된 경우에도 인접 시스템 상호간에 간섭이 발생하여 에러를 유발하는 경우가 있다. 이와 같이 주변에 강한 RF 잡음이 존재하거나 인접된 다른 RFID 시스템으로부터의 간섭에 의한 오동작을 방지하기 위해서는 주변 잡음을 소거할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 유도 결합을 이용한 RFID 시스템에서 잡음 전압을 쉽게 소거할 수 있는 방법 중의 하나는 인식 거리보다 비교적 원거리로부터 생성된 RF 성분을 잡음으로 간주하여 이것을 리더 코일 안테나에서 소거하는 방법이다. 이중 코일(dual coil) 안테나는 이러한 원리를 이용하여 유도 잡음을 매우 간단하게 소거할 수 있는 편리한 구조이다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 참고문헌 [5]에 소개한 이중 코일의 잡음 소거 특성을 좀 더 개선한 다중 코일(multi-coil) 안테나를 새로이 제안하고 실험하였다. 태그의 신호를 인식하기 위한 중심 코일과 별도로 보조 코일을 설치하고 원거리에서 발생한 RF 잡음을 소거한다는 점에서는 다중 코일의 동작 원리가 이중 코일과 유사하다. 그러나 다중 코일에서는 한 개의 중심 코일과 그 주변에 4개의 보조 코일을 등거리에 배치하여, 보조 코일의 유도 전압이 중심 코일의 유도 전압에 근접하도록 만들어, 잡음의 공간 분포가 거의 균일한 환경은 물론, 주변에서 도전성을 가진 물체 등의 이동시 발생할 수 있는 잡음의 급격한 공간 분포 변화가 존재하는 환경에서도 우수한 잡음 소거 특성을 유지할 수 있도록 개선된 구조이다. 이러한 다중 코일 안테나는 주변 잡음에 강하게 노출된 환경에서 잡음에 내성이 강한 RFID 시스템을 개발하는 데에 매우 유용하게 쓸 수 있는 구조이다.

## II. 다중 코일안테나의 구조 및 동작 원리

RF 잡음의 유도 전압을 소거하기 위하여 RFID 리더에 사용할 수 있는 다중 코일 안테나의 구조는 그림 1과 같다.

태그를 근접시켜 데이터를 읽어내기 위한 중심 코일  $a$ 가 가운데에 위치하고 있으며, 이 코일을 둘러싸고 4개의 보조 코일  $b_1 \sim b_4$ 이 배열되어 있다. 4개의 보조 코일은 중심 코일  $a$ 와 권선 방향이 반대이며 모두 직렬로 연결되어 있고, 각 코일의 중심점

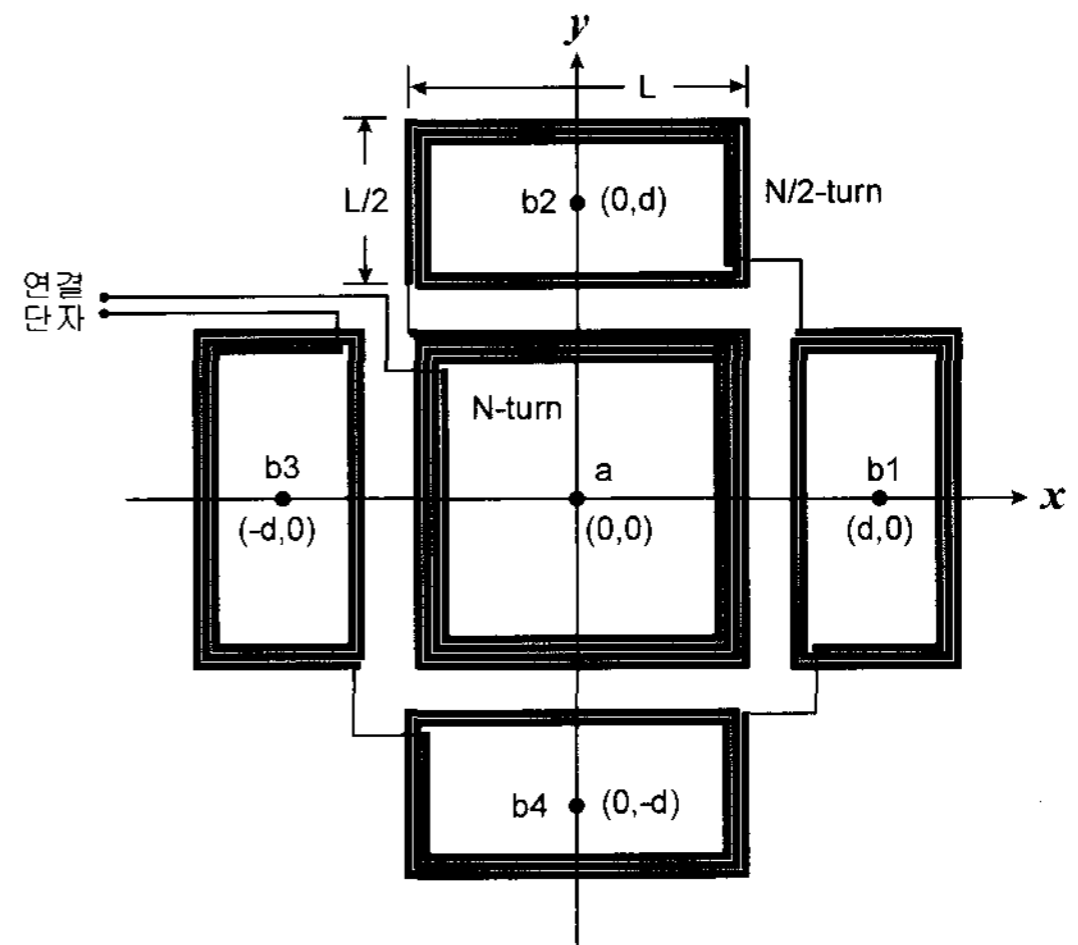


그림 1. 다중 코일 안테나의 구조  
Fig. 1. The configuration of a multi-coil antenna.

은 코일  $a$ 의 중심으로부터 동일한 거리  $d$ 에 위치한다. 코일  $a$ 의 중심점을 직각좌표계의 원점으로 가정하고, 보조 코일  $b_1, b_2, b_3, b_4$ 의 중심점 좌표를 직각좌표계로 표현하면 각각  $(d, 0), (0, d), (-d, 0), (0, -d)$ 이다. 중심 코일  $a$ 의 외각선 크기는  $(L \times L)$ 이고 권선수가  $N$ 이며, 보조 코일  $b_1 \sim b_4$ 의 외각선 크기는  $(L \times L/2)$ 이고 권선수가  $N/2$ 이다. 각 코일에서 권선 간격과 도선 폭이 외각선의 길이에 비하여 매우 작다고 가정할 때, 각 코일에서의 유도 전압을 근사적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v_a \approx N \frac{d\phi_a}{dt} = N \frac{d}{dt} \int_{x=-L/2}^{+L/2} \int_{y=-L/2}^{+L/2} \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{z}} dx dy \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} v_{b1} &\approx -\frac{N}{2} \frac{d\phi_{b1}}{dt} \\ &= -\frac{N}{2} \frac{d}{dt} \int_{x=d-L/4}^{d+L/4} \int_{y=-L/2}^{+L/2} \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{z}} dx dy \end{aligned} \quad (1b)$$

$$\begin{aligned} v_{b2} &\approx -\frac{N}{2} \frac{d\phi_{b2}}{dt} \\ &= -\frac{N}{2} \frac{d}{dt} \int_{x=-L/2}^{+L/2} \int_{y=d-L/4}^{d+L/4} \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{z}} dx dy \end{aligned} \quad (1c)$$

$$\begin{aligned} v_{b3} &\approx -\frac{N}{2} \frac{d\phi_{b3}}{dt} \\ &= -\frac{N}{2} \frac{d}{dt} \int_{x=-d-L/4}^{-d+L/4} \int_{y=-L/2}^{+L/2} \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{z}} dx dy \end{aligned} \quad (1d)$$

$$v_{b4} \approx -\frac{N}{2} \frac{d\phi_{b4}}{dt} = -\frac{N}{2} \frac{d}{dt} \int_{x=-L/2}^{+L/2} \int_{y=-d-L/4}^{-d+L/4} \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{z}} dx dy \quad (1e)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_s + \mathbf{B}_n \quad (1f)$$

여기에서  $v_a$ 는 중심 코일  $a$ 의 유도 전압,  $v_{bi}$ 는  $i$  번째 보조 코일  $b_i$ 의 유도 전압,  $\phi_a$ 는 중심 코일  $a$ 을 통과하는 자속,  $\phi_{bi}$ 는  $i$  번째 보조 코일  $b_i$ 를 통과하는 자속,  $N$ 은 중심 코일의 권선수,  $N/2$ 은 보조 코일 한 개의 권선수이다. 보조 코일  $b_1 \sim b_4$ 의 권선 방향은 모두 동일하고, 중심 코일  $a$ 의 권선 방향과는 반대이어서 유도 전압  $v_a$ 와  $v_{b1} \sim v_{b4}$ 의 극성이 반대가 되므로  $v_a$ 의 부호를 (+)로  $v_{b1} \sim v_{b4}$ 의 부호를 (-)로 표기하였다.  $\mathbf{B}$ 는 각 코일을 통과하는 자속밀도를 나타내며, RFID 동작 중에 외부의 RF 잡음이 존재하는 경우에는 태그로부터의 신호 자속 밀도  $\mathbf{B}_s$ 와 외부의 RF 잡음에 의한 잡음 자속 밀도  $\mathbf{B}_n$ 의 합으로 이루어진다.

유도 결합형 RFID에서는 일반적으로 태그를 리더 코일에 수 cm 이내로 근접하여 사용하므로 자계를 발생하는 원천이 인식 거리 이내의 짧은 거리에 있을 때는 신호로 간주하여 유도 전압을 생성하고, 인식 거리를 벗어난 원거리에 있을 때는 잡음으로 간주하여 소거하면 잡음의 간섭 현상을 방지할 수 있다. 잡음이 존재하는 환경에서 다중 코일의 동작을 예측해 보기 위하여, 첫 번째로 신호가 없고 잡음만 존재하는 경우와 두 번째로 잡음이 없고 신호만 존재하는 경우의 2가지로 나누어 해석한다.

먼저 태그로부터의 신호 자계가 없고 주변의 RF 잡음만 존재하는 경우, 잡음 자계에 의하여 코일에 유도되는 전압을 근사적으로 계산하면 다음과 같다. RF 잡음원이 리더의 인식 거리와 코일 전체의 크기에 비하여 멀리 떨어진 수십 cm 이상의 원거리에 있는 경우에는 잡음 자계의 공간적 변화가 코일 전체의 범위에서 완만하게 변한다고 볼 수 있으며, 이때 각 코일에 유도되는 잡음 전압을 나타내는 식 (1)로부터 근사적으로 계산하면 다음의 식 (2)와 같다.

$$v_{n,a} \approx j\omega NL^2 \times B_n(0,0) = j\omega NL^2 \times B_{n0} \quad (2a)$$

$$v_{n,b1} \approx -j\omega \frac{N}{2} \frac{L^2}{2} \times B_n(d,0) \approx -j\omega \frac{NL^2}{4} \times \left( B_{n0} + \frac{\partial B_n}{\partial x} d \right) \quad (2b)$$

$$v_{n,b2} \approx -j\omega \frac{N}{2} \frac{L^2}{2} \times B_n(0,d) \approx -j\omega \frac{NL^2}{4} \times \left( B_{n0} + \frac{\partial B_n}{\partial y} d \right) \quad (2c)$$

$$v_{n,b3} \approx -j\omega \frac{N}{2} \frac{L^2}{2} \times B_n(-d,0) \approx -j\omega \frac{NL^2}{4} \times \left( B_{n0} - \frac{\partial B_n}{\partial x} d \right) \quad (2d)$$

$$v_{n,b4} \approx -j\omega \frac{N}{2} \frac{L^2}{2} \times B_n(0,-d) \approx -j\omega \frac{NL^2}{4} \times \left( B_{n0} - \frac{\partial B_n}{\partial y} d \right) \quad (2e)$$

이다. 여기에서  $\omega$ 는 각주파수이고,  $B_n$ 은 잡음 자속 밀도의  $\hat{\mathbf{z}}$  방향 성분을 나타내며,  $B_{n0} = B_n(0,0)$ 는 좌표계 원점에서의 값을 나타낸다. 보조 코일  $b_1 \sim b_4$ 를 직렬로 연결하고, 이것을 다시 중심 코일  $a$ 와 직렬로 연결할 때, 다중 코일에 유도되는 총 잡음 전압은

$$v_{n,total} = v_{n,a} + v_{n,b1} + v_{n,b2} + v_{n,b3} + v_{n,b4} \approx 0 \quad (3)$$

이 되어 RF 잡음원으로부터 코일에 유도된 전압이 상쇄되어 사라지게 된다.

주변의 RF 잡음원이 없고 태그로부터의 신호 자계만 존재하는 경우에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 다중 코일의 중심으로부터 수직으로 수 cm 이내로 매우 근접한 태그로부터의 신호 자계는 코일  $a$ 의 중심점에서 최대가 되며, 중심으로부터  $x$  또는  $y$  방향으로 멀어질수록 그 세기가 약해지는 대칭적 구조를 가진다. 이와 같이 신호원이 근접한 경우에는 근사적 계산보다는 간단한 측정을 통하여 각 코일에서의 유도 전압의 크기를 쉽게 비교할 수 있다. 태그의 신호 자계로부터 코일  $a$ 와 코일  $b_1 \sim b_4$ 에 유도되는 신호 전압의 상대적 크기를 실험적으로 확인하기 위하여  $L=8$  cm,  $N=26$ , 도선 폭과 도선 간격은 모두 0.4 mm인 평면 다중 코일을 PCB 상에 제작하였다. 태그 대신에 별도의  $8 \times 8$  cm의 크기를 가진 평면 코일을 사용하여 125 kHz 10 Vpp AC 전압을 가하여

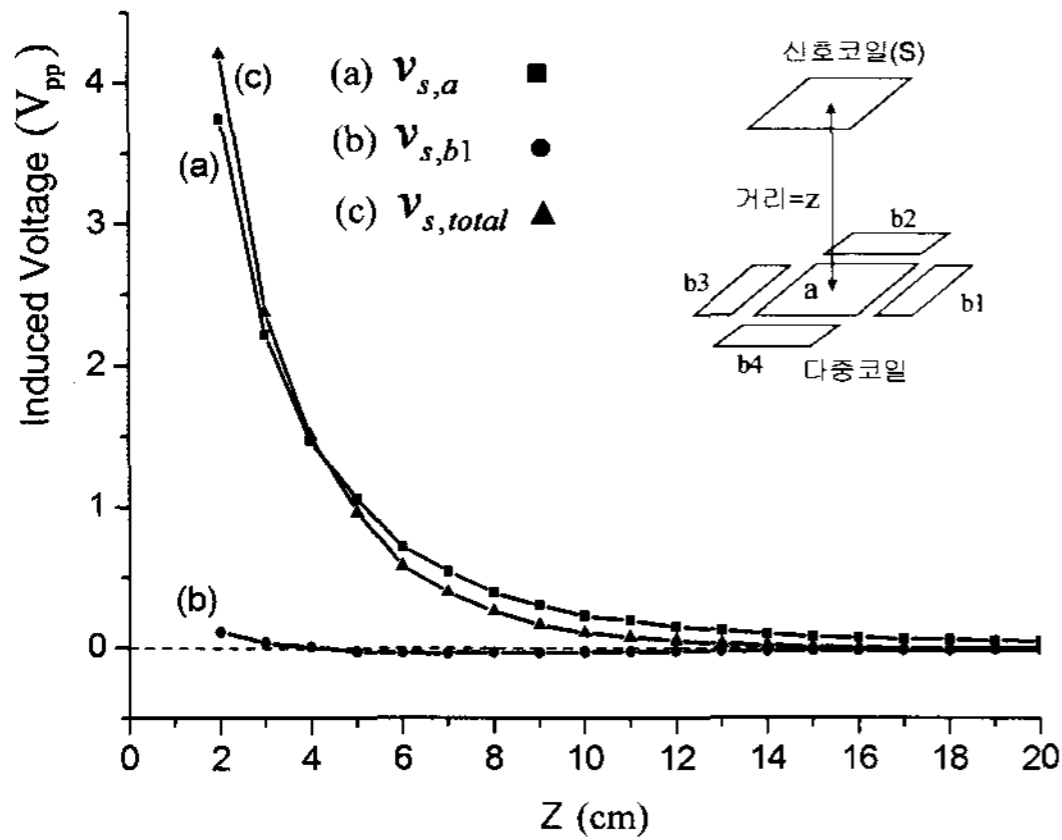


그림 2. 다중 코일에 유도된 신호 전압. (a) 중심 코일-a, (b) 보조 코일-b<sub>1</sub>, (c) 총 전압  
 Fig. 2. The signal voltage induced in a multi-coil. (a) Central coil-a, (b) Subsidiary coil-b<sub>1</sub>, (c) Total voltage.

신호원 코일(S)로 사용하고, 다중 코일의 중심으로부터 수직으로 약 2~20 cm의 범위에서 거리에 따라 유도 전압의 크기를 측정하였다. 측정 결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 곡선 (a)는 중심 코일 a에 유도되는 전압을 나타내며, 곡선 (b)는 보조 코일 중 한 개인 코일 b<sub>1</sub>에 유도되는 전압을 나타낸다. 곡선 (c)는 중심 코일 a와 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>를 모두 직렬로 연결할 때의 다중 코일 전체에 유도되는 전압을 나타낸다. 그림 2에서 보면 신호원이 다중 코일의 중심에 근접할수록 중심 코일 a에 유도되는 전압은 보조 코일 b<sub>1</sub>에 유도되는 전압에 비하여 현저히 커지며, 다중 코일의 중심으로부터 멀어질수록  $v_a \approx -4 \times v_{b1}$ 의 관계로 근접하여 약 20 cm 이상의 원거리에서는 중심 코일 a와 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>에 유도된 전압이 서로 상쇄되어 0으로 근접하게 된다.

참고로 본 실험에서 제작한 다중 코일의 경우, 신호원 코일 s가 약 4 cm 이내로 근접하면, 보조 코일 b<sub>1</sub>에 유도되는 전압이 (+) 값으로 바뀌어 이 영역에서는 중심 코일 a에 유도되는 전압과 극성이 같아져 다중 코일의 총 유도 전압은 중심 코일 a의 전압보다 약간 더 증가하게 된다. 이러한 현상은 자기력선이 폐곡선을 형성하므로, 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 신호원이 다중 코일에 매우 근접할 때는 신호

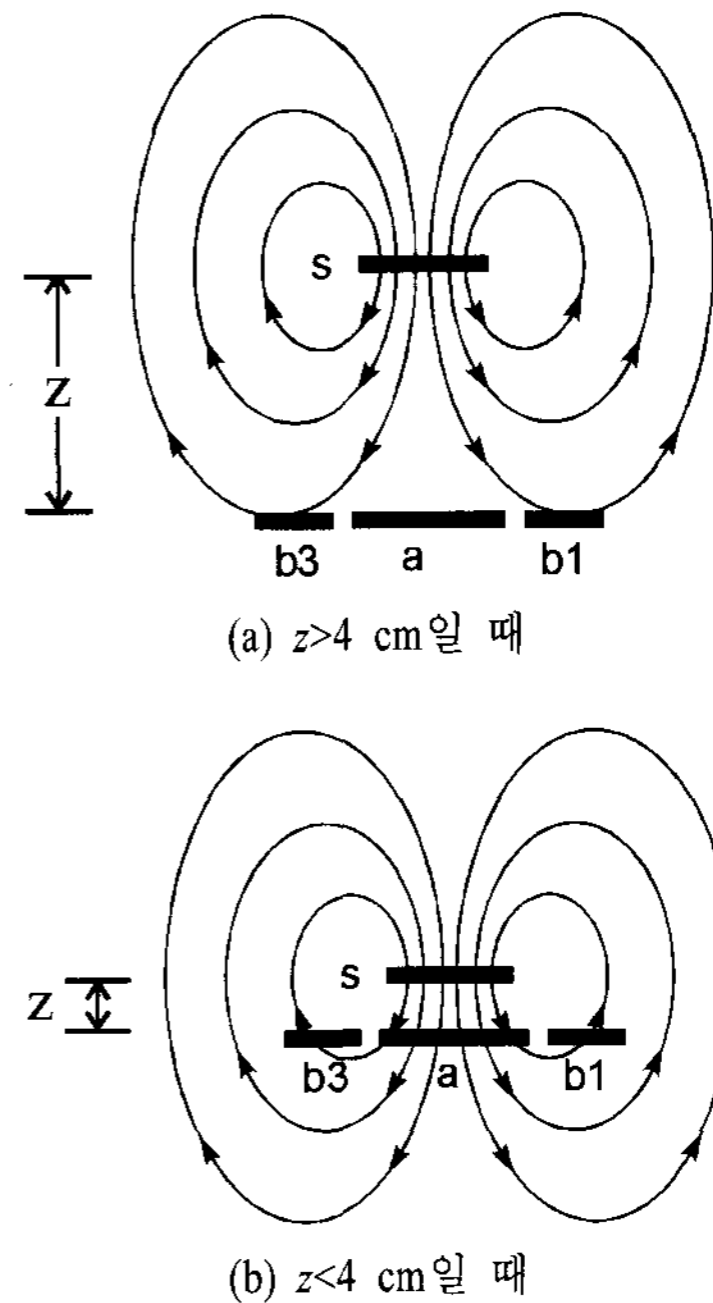


그림 3. 보조 코일 유도 전압의 극성 변화  
 Fig. 3. Polarity change of the induced voltage in subsidiary coils.

원 코일 s로부터 다중 코일 쪽으로 진행하는 자기보다는 신호원 코일 s의 후방으로 다시 되돌아가는 자기계에 의하여 보조 코일(b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>)에 전압이 유도되어 중심 코일 a의 극성과 같아지는 현상이다.

이러한 구조에서 중심 코일 a와 보조 코일 b(b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>)의 권선 방향이 반대이므로, 그림 (a)와 같이 신호원 코일 s와의 수직 거리 z가 멀어질수록 중심 코일 a와 보조 코일 b 모두가 신호원 코일 s와 종방향 배열 구조에 근접하게 되므로, 중심 코일 a-신호원 코일 s 간 상호 인덕턴스가(+)일 경우 보조 코일 b-신호원 코일 s 간 상호 인덕턴스는 (-)가 된다. 반면에 그림 (b)와 같이 거리 z가 근접할 때는 중심 코일 a와 신호원 코일 s는 종방향 배열 구조를 유지하여 상호 인덕턴스가 (+)이지만, 보조 코일 b와 신호원 코일 s는 횡방향 배열에 근접하므로 보조 코일 b-신호원 코일 s 간 상호 인덕턴스가 (+)로 바뀌게 되어 이때에는 중심 코일 a와 보조 코일 b에 유도되는 전압의 극성이 같아지게 된다.

현재 시중에 판매되고 있는 LF(125 kHz)의 동작 주파수를 가지는 RFID의 인식 거리는 약 5~7 cm가

일반적이다. 이 정도의 인식 거리 내에서 다중 코일의 유도 전압은 앞의 그림 2에서 보는 바와 같이  $|v_{s,a}| \gg |v_{s,b1}|$ 의 관계를 가지고 있으며, 다중 코일에 유도되는 총 신호 전압은

$$v_{s,total} = v_{s,a} \pm |v_{s,b1} + v_{s,b2} + v_{s,b3} + v_{s,b4}|$$

$$\approx v_{s,a} \pm 4|v_{s,b1}| > 0 \quad (4)$$

이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 신호원의 위치가 약 4 cm 이내로 매우 근접된 위치에서는 식 (4)의 우변의 둘째 항의 부호가 (+)이고, 이보다 먼 거리에서는 (-) 부호를 가진다.

이상을 종합하면, 근접된 태그로부터의 신호 자계와 원거리로부터의 잡음 자계가 공존하는 경우에 다중 코일 안테나에 유도되는 총 전압은 식 (3)의 잡음 전압과 식 (4)의 신호 전압의 합으로서,

$$v_{total} = v_{s,total} + v_{n,total} \approx v_{s,total} \quad (5)$$

이 되어, 원거리 RF에 의한 잡음 성분  $v_{n,total}$ 은 사라지고, 신호 성분  $v_{s,total}$ 만 남게 된다.

### III. 다중 코일 안테나를 이용한 주변 잡음 소거 실험

다중 코일 안테나의 잡음 소거 특성을 확인하기 위한 실험 구성도는 그림 4와 같다.

신호 발생기에 20×20 cm의 사각형 솔레노이드를 연결하여 잡음 자계를 발생하였으며, 이로부터 약 30 cm 떨어진 거리에 다중 코일 안테나를 설치하고 코일에 유도되는 전압을 오실로스코프와 A/D 변환기를 사용하여 기록하였다. 동판은 잡음 자계의 공간적 분포에 변화를 주기 위하여 사용한다. 실험에서 제작한 다중 코일 안테나는 두께 1.6 mm인 FR4 기판을 사용하여 직각 평면 나선형으로 제작하였으

며, 동박의 두께는 1oz copper(0.035 mm)이다. 중심 코일 a의 외각선 길이는 가로 세로 8×8 cm, 도선 폭과 도선 간격은 0.4 mm, 권선수 26이며, 인덕턴스는 약 60 μH이다. 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>는 모두 동일한 크기를 가지고 앞의 그림 1과 같이 중심 코일 a의 주변에 대칭으로 배열되고 모두 직렬로 연결되어 있다. 보조 코일 한 개의 외각선 길이는 8×4 cm, 도선 폭과 도선 간격은 0.4 mm, 권선수 13이다. 이 값은 보조 코일의 외각선 한 변의 길이가 중심 코일의 길이와 같고, 다른 한 변의 길이는 중심 코일의 1/2이 되며, 권선수는 중심 코일의 1/2이 되어 제 II 절에서 설명한 다중 코일의 구조를 가지고 있다.

다중 코일을 구성하는 각각의 중심 코일과 보조 코일이 모두 분리된 상태에서 중심 코일과 보조 코일의 인덕턴스를 따로따로 측정하고, 다시 이들이 모두 직렬로 연결된 상태에서 총 인덕턴스를 측정하였다. 측정에 사용된 장비는 HP사의 LCR meter 4285A이다.

보조 코일 한 개당 인덕턴스는 약 15 μH이며, 보조 코일 4개를 직렬로 연결한 상태에서는 약 60 uH이다. 중심 코일 a와 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>가 모두 직렬로 연결된 상태에서 총 인덕턴스는 133 μH로서 중심 코일 a와 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub> 사이의 상호 인덕턴스로 인하여 중심 코일과 보조 코일의 자기인덕턴스를 모두 합한 값 (60+15×4=120 μH)보다 약 13 μH(약 10%)가 증가된 값이다.

인접한 두 개의 코일에 흐르는 전류가 서로 반대 방향일 때, 두 코일이 상하로 (종방향) 배열되면 두 코일의 자계가 서로 상쇄되어 상호 인덕턴스가 (-)가 되지만, 한 평면상에서 옆으로 (횡방향) 배열되면 두 코일의 자계가 보강되어 상호 인덕턴스가 (+) 값이 되기 때문이다.

실험에서 RF Front-end 칩 EM4095를 사용하여 제작한 125 kHz RFID의 정상 동작을 위한 코일 안테나의 인덕턴스의 범위는 약 120~150 uH이다. 따라서 본 실험에서 제작한 다중 코일 안테나의 총인덕턴스 133 uH는 정상 동작 범위에 속한다.

먼저 다중 코일 안테나의 잡음 소거 특성을 확인하기 위하여 RFID 신호 주파수와 동일한 125 kHz 10 Vpp의 신호를 솔레노이드를 연결하여 잡음원으로 사용하였으며, 이로부터 약 30 cm 떨어진 거리에 다

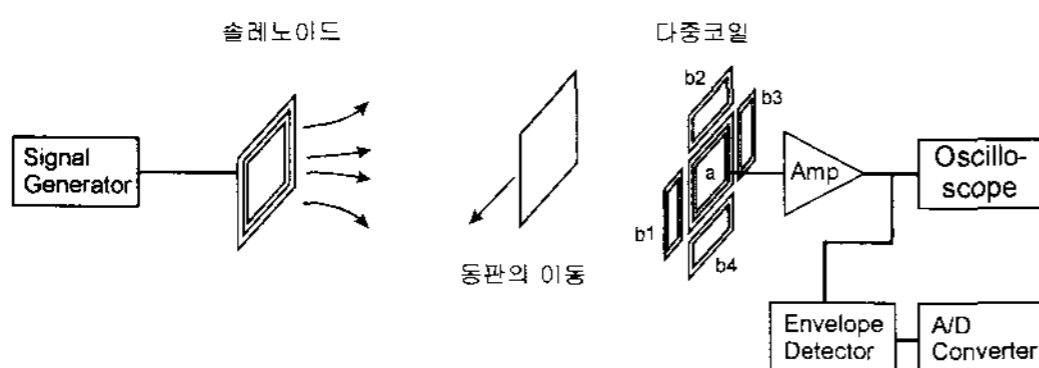


그림 4. 실험 구성도  
Fig. 4. Experimental setup.

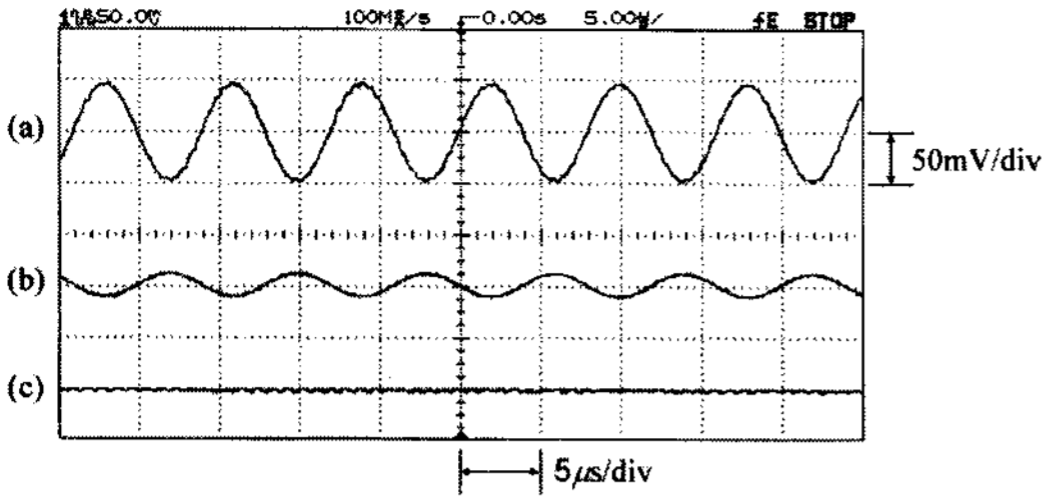


그림 5. 다중 코일에 유도된 잡음 전압 (a) 중심 코일-a, (b) 보조 코일-b<sub>1</sub>, (c) 총 유도 전압  
 Fig. 5. The noise voltage induced in a multi-coil. (a) Central coil-a, (b) Subsidiary coil-b<sub>1</sub>, (c) Total voltage.

중 코일 안테나를 설치하고, 중심 코일 a와 4개의 보조 코일 중의 하나인 코일 b<sub>1</sub>에 유도되는 전압을 관측하였다. 그림 5는 오실로스코프로 관측한 유도 전압 파형을 나타낸다.

파형 (a)는 코일 a에 유도되는 전압으로서 피크간 전압이 약 96 mV이다. 파형 (b)는 코일 b<sub>1</sub>에 유도된 전압으로서 피크간 전압이 약 24 mV이며, 코일 a의 1/4에 해당하고 코일 a의 권선 방향과 반대이므로 유도 전압의 위상이 반전되어 있다. 파형 (c)는 중심 코일 a와 4개의 보조 코일 b<sub>1</sub>~b<sub>4</sub>이 직렬로 연결된 상태에서 발생한 총 유도 전압으로서 125 kHz의 잡음 성분은 서로 상쇄되어 거의 사라지고 피크간 전압이 약 5 mV 정도인 전원 잡음만 남아 있는 상태가 되어 잡음 소거 상태가 매우 양호하였다. 이러한 상태는 앞의 식 (3)과 같이 원거리 잡음 전압이 소거되는 상태를 나타낸다.

이번에는 잡음 자계의 공간적 분포 변화가 급격히 발생하는 환경에서 다중 코일의 잡음 소거 특성을 확인하기 위하여, 가로 세로 15×30 cm인 동판을 사용하여 솔레노이드를 가리고 지나가면서 코일에 유도되는 잡음 전압의 진폭 변화를 관측하였다. 잡음 자계의 공간적 분포가 심하게 변화하는 경우 다중 코일의 잡음 소거 특성을 비교하기 위하여 단일 코일과 참고문헌 [5]에 소개한 이중 코일을 사용하여 같은 조건에서 실험하였다. 단일 코일, 이중 코일, 다중 코일의 특성을 동시에 측정하여 잡음 소거 능력을 비교해 보기 위하여 이 3가지 코일을 옆으로 나란히 배열하고, 약 30 cm의 거리에 앞에 크기가 20×20 cm의 사각형 솔레노이드를 사용하여 RFID 주파수와 동일

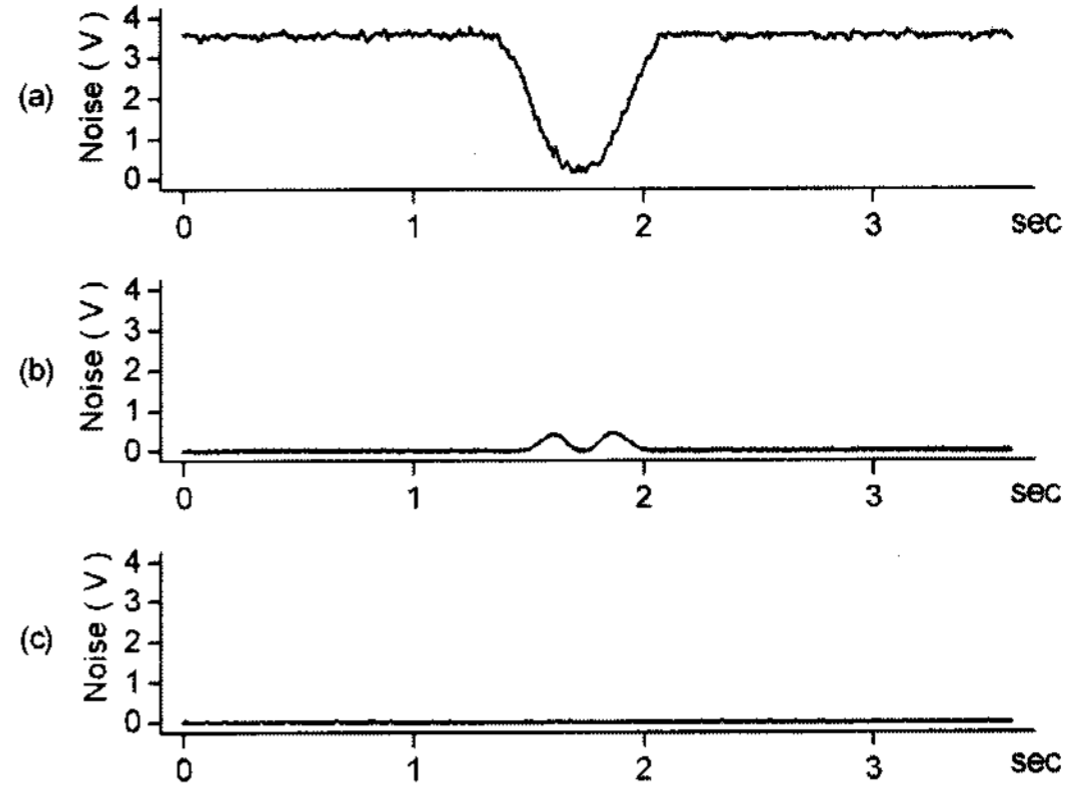


그림 6. 동판 이동시 코일에 유도된 잡음 전압의 변화 (a) 단일 코일, (b) 이중 코일, (c) 다중 코일  
 Fig. 6. The noise voltage variation induced in coils when a copper plate moves. (a) A single coil, (b) A dual coil, (c) A multi-coil.

한 125 kHz 주파수를 가지는 잡음 자계를 발생하였다.

여기에서 사용한 단일 코일은 크기가 10×10 cm인 사각나선형 코일로서 140 µH의 인덕턴스를 가지며, 이중 코일은 크기가 7×7 cm인 사각나선형 코일 2개가 직렬로 연결된 구조로서, 총 인덕턴스가 145 µH이다. 각 코일에 유도된 전압을 약 30배 증폭하고 진폭 검출기(envelope detector)와 A/D 변환기에 연결하여 동판이 지나가는 동안 유도 전압의 진폭 변화를 기록하였다. 그림 6은 동판의 이동에 따라 발생하는 유도 전압의 진폭 변화를 측정된 결과이다.

파형 (a)는 단일 코일에 유도된 잡음 전압의 진폭 변화를 나타내며, 동판이 지나가기 전에 유도 전압의 진폭이 약 3.6 V 정도로 일정하게 유지되다가, 동판이 솔레노이드 코일을 가리고 지나가는 순간 유도 전압의 진폭이 약 0.2 V 정도로 크게 줄어들고, 동판이 지나간 후 다시 유도 전압의 진폭이 약 3.6 V 정도로 증가하였다. 파형 (b)는 동일한 조건에서 이중 코일에 유도된 전압의 진폭 변화를 나타낸다. 도체 판이 솔레노이드 코일을 가리고 지나가기 전에는 공간상에 잡음 자계가 거의 균일 분포를 가지므로 이중 코일에서 잡음 전압이 소거된 상태가 매우 양호하다. 그러나 동판이 솔레노이드를 가리고 지나가는 순간 이중 코일을 구성하는 2개의 코일의 위치에서 자계 분포가 균일한 상태에서 벗어나므로 약 0.4 V

정도로 유도 전압이 잠시 증가하다가 동판이 지나간 후에는 다시 유도 전압이 소거된 상태를 유지하며, 약 60 mV 정도의 전원 잡음만 남아 있는 상태가 되었다. 파형 (c)는 다중 코일에 유도되는 전압을 나타낸다. 이 경우에는 동일한 조건에서 동판이 지나가면서 자계의 공간 분포에 급격한 변화가 발생하여도 유도 전압이 거의 발생하지 않고 계속적으로 잡음 소거 상태를 유지하며, 약 60 mV 정도의 전원 잡음만이 남아 있는 상태가 되었다. 동판이 지나가면서 잡음의 공간적 분포가 변화하여도 다중 코일에서 유도 전압이 발생하지 않는 이유는 앞의 식 (2), (3)에서 나타낸 바와 같이 중심 코일  $a$ 의 양쪽에 대칭으로 설치된 보조 코일( $b_1$ 과  $b_3$ , 또는  $b_2$ 와  $b_4$ )에 유도되는 총 잡음 전압의 크기가 중심 코일에서 발생한 잡음 전압과 거의 동일하여 상쇄되기 때문이다.

위의 세 개의 파형을 비교하면, 공간상에 잡음 자계가 거의 일정한 상태를 유지하는 환경에서는 단일 코일에 비하여 이중 코일과 다중 코일에서 잡음의 세기가 약  $3.6/0.06=1/60$ 로 줄어드는 효과를 보이고 있다. 또한, 동판의 이동에 의하여 잡음 자계의 강도 분포가 심하게 변화하는 환경에서는 이중 코일에서 일시적으로 유도 잡음이 미약하게 증가하는 현상이 발생하지만 다중 코일을 사용한 경우에는 유도 잡음의 소거상태를 지속적으로 잘 유지하고 있다.

이와 같이 잡음 자계의 공간적 분포가 심한 상태에서 다중 코일에 유도되는 잡음 전압은 앞의 식 (3)과 같이 소거됨을 실험적으로 보이고 있다.

잡음이 강한 환경에서 RFID 시스템이 잘 동작하기 위해서는 인식 거리보다 원거리에서 발생한 RF 잡음에 의한 유도 전압은 잘 소거하여야 하고, 인식 거리 이내에서 발생한 RF 신호에 대해서는 유도 전압이 높아야 바람직하다. 본 실험에서 사용하는 RFID 시스템은 125 kHz에서 동작하는 유도 결합형 RFID 시스템으로서 인식 거리가 약 5~7 cm가 일반적이다. 인식 거리 이내에서 단일 코일과 다중 코일의 유도 전압을 비교하기 위하여 태그용 코일을 대신하여 별도의 8x8 cm 크기의 평면 코일에 125 kHz 10 Vpp의 전압을 가하여 신호원으로 간주하고, 코일의 중심으로부터 수직으로 약 5 cm의 근거리에서 유도되는 신호 전압을 측정하였다. 그림 7은 오실로스코프를 사용하여 관측한 유도 전압을 나타낸다.

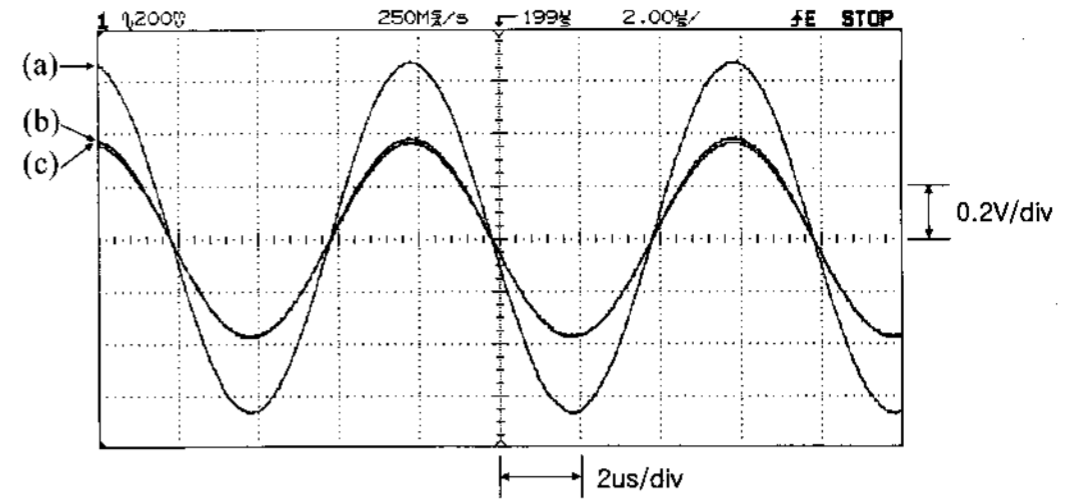


그림 7. 코일에 유도된 신호 전압 (a) 단일 코일, (b) 이중 코일, (c) 다중 코일

Fig. 7. The signal voltage induced in coils. (a) A single coil, (b) A dual coil, (c) A multi-coil.

여기에서 파형 (a)는 단일 코일을 사용하여 유도된 전압으로서 피크간 전압이 약 1.3 V이다.

파형 (b)와 파형 (c)는 각각 이중 코일과 다중 코일을 사용할 때 유도되는 전압을 나타내며, 이 두 가지의 경우 거의 비슷하게 약 0.75 V로 관측되었다.

그림 7에서 인식 거리 이내의 RF에 의한 유도 전압을 신호로 간주하고, 앞의 그림 6에서 인식 거리 밖의 RF에 의한 유도 전압을 잡음으로 간주하여 신호대 잡음비를 계산할 수 있다. 그림 7에서 신호 전압의 크기는 단일 코일에서  $v_{s, single}=1.3$  V, 다중 코일에서  $v_{s, multi}=0.75$  V이고, 그림 6에서 잡음 자계의 공간 분포가 일정한 경우, 잡음 전압의 크기가 단일 코일에서  $v_{n, single}=3.6$  V/30, 다중 코일에서  $v_{n, multi}=0.06$  V/30이며, 여기에서 30은 잡음 전압의 측정에 사용한 증폭기의 전압 이득이다. 이 값을 사용하여 단일 코일(single coil)과 다중 코일(multi-coil)의 신호대 잡음비를 비교하면,

$$SNR_{single} \approx 20 \times \log \left( \frac{1.3}{3.6/30} \right) = 21 \text{ dB} \quad (6)$$

$$SNR_{multi} \approx 20 \times \log \left( \frac{0.75}{0.06/30} \right) = 51 \text{ dB} \quad (7)$$

이 되어, 단일 코일에 비하여 다중 코일에서 개선되는 신호대 잡음비는

$$\Delta SNR = SNR_{multi} - SNR_{single} = 30 \text{ dB} \quad (8)$$

이다. 또한, 동판의 이동에 의하여 급격히 자계분포의 변화가 발생할 때, 이중 코일(dual coil)에서 발생한 잡음 전압은  $v_{n, dual}=0.4$  V/30이고, 다중 코일(multi-coil)의 잡음 전압은 다중 코일에서  $v_{n, multi} =$

0.06 V/30이므로, 이중 코일에 비하여 다중 코일에서 개선되는 신호대 잡음비를 계산하면

$$\Delta SNR \approx 20 \times \log \left( \frac{0.4/30}{0.06/30} \right) \approx 16 \text{ dB} \quad (9)$$

이다.

실험에서 제작한 다중 코일 안테나를 125 kHz RFID 리더에 부착하여 정상 동작 상태를 확인하였다. 실험에서 제작한 RFID 리더는 EM Microelectronic사의 RF Front-end EM4095와 Microchip사의 PIC16F877A 마이크로컨트롤러를 사용하여 제작하였으며, 태그로는 EM Microelectronic사의 EM4102를 사용하였다. 단일 코일을 사용할 때에는 잡음원인 솔레노이드의 위치가 약 20~30 cm 정도에서 잡음의 간섭으로 인하여 동작을 정지하였지만, 다중 코일을 사용할 때에는 정상 동작을 잘 유지하였다. RFID 리더는 신호 주파수와 근접한 잡음 주파수에 제일 민감하여 2개의 동일한 리더에 모두 단일 코일 안테나를 사용한 경우에는 코일의 측면 간격이 약 10~20 cm 정도로 근접할 때 상호 간섭에 의하여 둘 다 동작을 멈추었지만, 다중 코일을 사용하는 경우에는 2개의 코일의 측면이 닿도록 설치하여도 정상 동작 상태를 잘 유지하였다. 태그의 중심이 코일의 중심으로부터 횡방향으로 이탈됨에 따라 자기적 결합이 줄어들어 드는 현상은 기존의 단일 코일과 본 논문의 다중 코일에서 공통적으로 발생하였으며, 태그의 수직 인식 거리 5 cm를 기준할 때, 단일 코일에

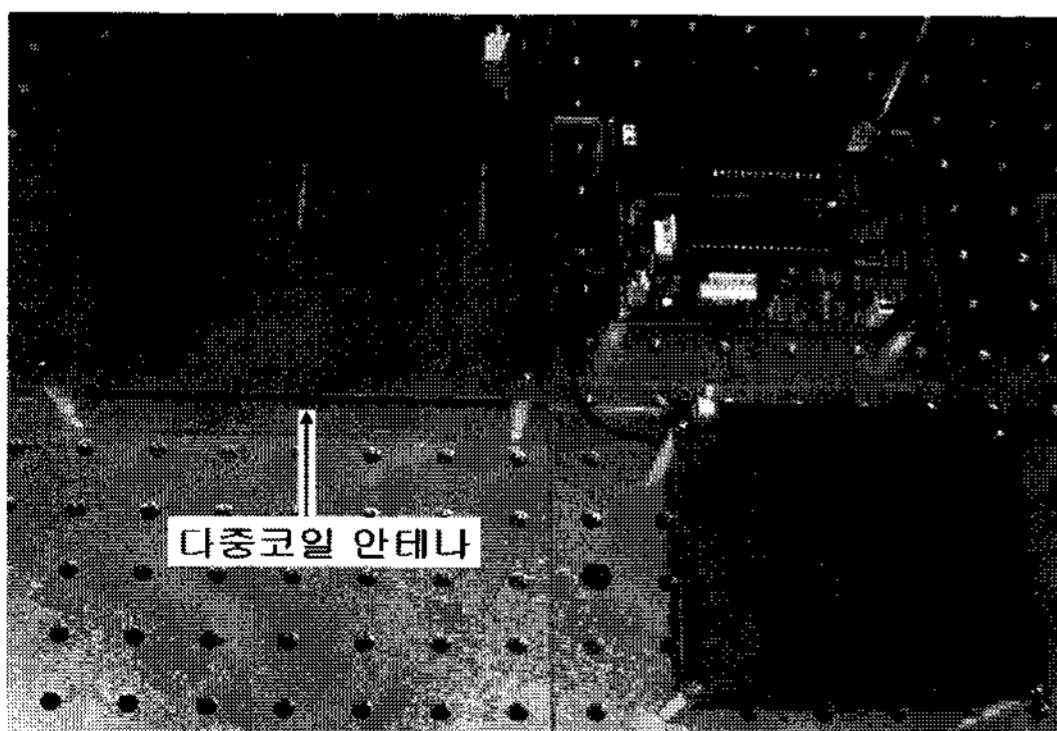


그림 8. 실험에서 제작한 RFID 리더와 다중 코일 안테나

Fig. 8. The RFID reader and a multi-coil antenna fabricated in experiments.

서는 횡방향으로 약 4 cm, 다중 코일에서는 약 3.5 cm 이탈되는 거리까지 인식하였다. 이것은 앞의 그림 7에서 보인 바와 같이 다중 코일에서 유도된 신호 전압이 단일 코일에 비하여 약간 줄어든 결과이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 RF 잡음의 간섭으로 인한 RFID의 오동작을 방지하는 데에 사용할 수 있는 다중 코일 안테나의 구조를 새로 제안하고 잡음 소거 특성을 실험적으로 확인하였다. 먼저 다중 코일 안테나의 구조와 동작 원리를 설명하였고, 이어서 기존의 단일 코일 안테나에서 유도되는 잡음 전압의 크기를 측정하여 비교하였다. 단일 코일 안테나에 비하여 유도 잡음의 세기가 현저히 줄어들어 다중 코일 안테나에서 약 30 dB의 신호대 잡음비의 개선 효과가 있었고, 주변에 있는 도체의 이동 등에 의하여 잡음 자체의 공간적 분포가 심하게 변화하는 환경에서도 잡음 소거 효과가 높아 이중 코일에 비하여 약 16 dB의 신호대 잡음비의 개선 효과가 있었다.

최근 다양한 무선 기술의 발전으로 인하여 RFID 근처에 여러 가지 RF 잡음 요인이 많이 존재할 수 있으며, 강한 RF 잡음의 간섭이 지속적으로 존재하는 환경, 또는 잡음에 노출되어 있으면서 차량과 같은 도전성이 있는 물체가 자주 왕래함으로 인하여 잡음 자체의 공간적 변화가 많이 발생하는 열악한 환경에서는 다중 코일 안테나를 사용하여 이러한 잡음 문제를 간편하게 해결할 수 있다. 이와 같이 다중 코일 안테나는 잡음에 내성이 강한 RFID 시스템을 개발하는 데에 많은 도움이 될 수 있다.

#### 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.

[5] 이성호, "유도 결합 RFID 시스템에서 이중 코일 안테나를 이용한 잡음의 감소", *한국전자과학회 논문지*, 18(6), pp. 648-655, 2007년 6월.

## 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