

금속 표면 부착용 RFID 코일 제작

Fabrication of RFID Coil for Metal Surface

이 성 호 · 서 정 형

Seong-Ho Lee · Joung-Hyoung Seo

요 약

본 논문에서는 금속 표면에 부착하여도 인덕턴스의 변화가 거의 발생하지 않는 RFID용 평면 코일의 구조를 새로이 소개한다. 코일의 후면에 도체판을 부착할 때 발생하는 인덕턴스 감소 비율을 고려하여 그 비율의 역수 배에 해당하는 인덕턴스를 갖도록 코일을 설계하고 코일의 기판 후면에 동박 영역을 배치한다. 이러한 코일 구조는 매우 간단하며, 금속 표면에서 발생하는 인덕턴스 감소 현상을 방지하므로 금속 표면을 가지는 물체를 관리하기 위한 RFID 시스템을 구축하는 데에 매우 효과적이다.

Abstract

In this paper, we introduce an RFID planar coil whose inductance does not change when it is attached on the metal surface. The coil is designed considering the inductance reduction on metal surface so that the inductance is the inverse times the reduction rate, and copper pour is placed in the bottom layer of the coil. This coil configuration is very simple and effective in constructing RFID systems for managing objects with metal surface because it prevents inductance reduction on metal surface.

Key words : RFID, Planar Coil, Copper Pour, Inductance, Metal Surface

I. 서 론

RFID(Radio frequency identification)는 태그(tag)를 물체에 부착하고 태그와 리더 사이의 코일 또는 안테나를 통하여 무선으로 태그의 정보를 인식하는 시스템으로서 출입자 통제, 교통 카드, 물류 관리 등 다양한 분야에 활용되고 있다. LF와 HF 대역의 RFID에서는 주로 유도 결합을 이용하고, UHF 대역에서는 전자파 후방 산란을 이용하여 태그의 정보를 리더로 전달하게 된다. 유도 결합을 이용한 RFID에서는 태그의 보유 정보에 따라 부하 변조(load modulation)된 태그 코일과 자기적으로 결합된 리더 코일에서의 변환 임피던스가 달라지고, 리더 코일의 양단에 유도되는 전압을 검출하여 태그의 데이터를 인

식한다. 전자파 후방 산란을 이용한 UHF RFID에서는 태그의 부하 임피던스 변화에 따라 태그 안테나의 산란 면적이 달라지고 태그 안테나로부터 반사되는 전자파 전력의 변화를 통하여 리더 안테나에서 태그의 정보를 판독하게 된다^{[1],[2]}. 유도 결합을 이용한 LF 또는 HF 대역의 RFID는 인식 거리가 약 1 m 이하인 단거리 시스템이 일반적이며, 전자파 후방 산란을 이용한 UHF 대역의 RFID는 인식 거리가 약 1 m 이상인 장거리 시스템에 많이 활용되고 있다.

이와 같은 RFID 시스템은 비접촉식 방식으로 리더와 태그 사이에 정보를 전달하기 때문에 사용하기에 매우 편리한 반면, 유사 주파수를 사용하는 외부의 RF로부터의 간섭 현상이나 인접 도체에서 발생하는 와전류로 인하여 정보 전달 과정에 문제가 발생

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

· 논문 번호 : 20080417-048

· 수정완료일자 : 2008년 6월 10일

할 수 있다. 하드웨어적인 관점에서 볼 때, RFID는 근거리 무선 전송 시스템의 일종으로 볼 수 있으며, 근거리 무선 전송 시스템에서 유사 주파수를 가지는 외부 잡음의 간섭 현상은 신호와 잡음간에 편파^[3] 혹은 공간적 분포^[4] 등의 차이점을 이용할 수 있고, 인접 도체의 와전류에 의한 인덕턴스 변화는 페라이트 판^{[1],[5]}을 이용하여 해결할 수 있다. 본 논문에서는 유도 결합을 이용한 RFID 시스템에서 발생하는 인접 도체의 와전류 영향을 실험적으로 규명하고, 기존의 페라이트판을 사용하는 방법보다 더 간편한 해결방안을 새로이 제시한다.

유도 결합을 이용한 RFID 시스템에서 리더 또는 태그 코일에 도체가 근접하는 경우에는 도체 표면에 와전류(eddy current)가 유도되고, 와전류의 방향이 코일 전류의 방향과 반대가 되어 코일의 인덕턴스가 감소한다. 그 결과, 코일의 인덕턴스가 동작 주파수에서 공진하기 위한 인덕턴스 값으로부터 이탈하여 RFID에 오동작이 발생하게 된다. 특히, RFID를 이용하여 관리하고자 하는 물체의 표면이 금속으로 되어 있는 경우에 곧바로 태그를 부착하게 되면 이러한 와전류의 영향을 받아 RFID 시스템이 태그의 데이터를 정상적으로 인식하지 못하는 경우가 많이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 코일과 금속 표면 사이에 강자성체인 페라이트판을 부착하여 와전류의 현상을 방지하고 있으나^{[1],[5]}, 페라이트판의 가격이 상대적으로 고가이고, 제품에 따라 투자율이 다양하여 금속 표면 부착용 태그 안테나를 개발하는 과정에서 어려움을 겪는 경우가 많다.

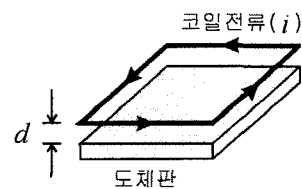
본 논문에서는 와전류 현상을 방지하기 위하여 이러한 고가의 페라이트판을 사용하는 대신에, 코일을 구성하는 기판 후면에 간단히 동박 영역(Copper pour)을 배치함으로써 금속 표면에 부착하여도 인덕턴스의 변화가 발생하지 않는 평면 코일 안테나의 구조를 새로이 제안하고 실험한다. 코일의 기판 후면에 동박을 배치하면 도체 표면과 코일 사이의 간격이 항상 유전체층의 높이와 같다. 예를 들어 1.6 mm 유전체 기판을 사용하는 경우에 코일과 동박 사이의 거리가 1.6 mm가 되며, 동박이 없을 때에 비하여 인덕턴스가 약 1/3 정도로 감소한다. 평면 코일을 제작할 때 이와 같은 인덕턴스 감소 현상을 미리 고려하여 이 감소 비율의 역수배인 약 3배의 인덕턴스

를 갖도록 코일을 설계하고, 유전체 기판의 후면에 동박 영역을 배치하면 필요한 인덕턴스를 쉽게 구현할 수 있고, 이 코일을 금속 표면에 부착하여도 인덕턴스의 감소 현상이 발생하지 않는다. 이러한 구조의 코일을 사용하면 코일을 부착하기 위한 물체의 도전성을 따로 고려할 필요가 없으므로 표면이 금속으로 이루어진 고가의 기자재 등을 RFID로 관리하는 경우에 매우 안정된 시스템을 구축할 수 있다.

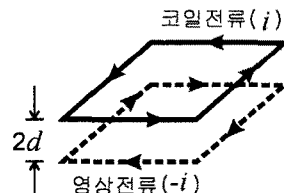
II. 도체판에 의한 인덕턴스 감소 현상

코일에 전류가 흐르면 자계가 형성되고, 그림 1(a)와 같이 코일에 도체판이 접근하면 이 자계의 영향을 받아 도체 표면에는 와전류가 흐르게 된다^[1].

코일에 흐르는 전류가 i 이고 코일과 도체판 사이의 거리를 d 라고 할 때, 도체판에 유도되는 와전류는 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 도체 표면을 기준으로 대칭의 위치에 해당하는 $2d$ 의 거리에 존재하는 영상 전류와 등가적인 관계로 볼 수 있으며, 영상 전류의 크기는 코일 전류와 같고 영상 전류의 방향은 코일 전류와 반대 방향이 되어 $-i$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 코일의 상부의 위치에서 자계는 코일 전류와 영상 전류에 의한 자계의 합이 되므로 도체판이 없을 때에 비하여 자계의 세기가 감소하며, 그 결



(a) 도체판이 근접된 코일
(a) A coil with nearby conductor plane



(b) 등가적인 영상 전류
(b) Equivalent image current

그림 1. 도체판이 근접된 코일 전류와 영상 전류
Fig. 1. Coil current with a conductor plane and image current.

과 도체판이 근접할수록 코일의 인덕턴스는 줄어들게 된다.

코일 전류와 영상 전류에 의한 자기 인덕턴스(self inductance)를 각각 L_{11} , L_{22} 라고 하고, 코일과 도체판 표면 사이의 거리가 d 이며, 두 전류 사이의 상호 인덕턴스를 $-M$ 이라고 할 때, 코일 전류에 대한 인덕턴스 L_1 과 영상 전류에 대한 인덕턴스 L_2 의 관계를 다음 식으로 나타낼 수 있다.

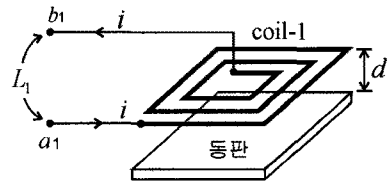
$$L_1 = L_{11} - M \quad (1)$$

$$L_2 = -M + L_{22} \quad (2)$$

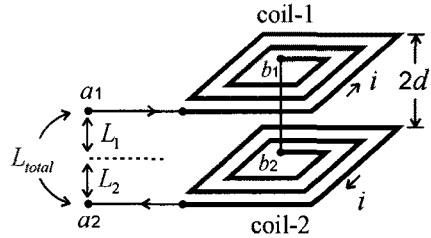
여기에서 코일 전류와 영상 전류의 구조가 동일하므로 $L_1 = L_2$, $L_{11} = L_{22}$ 가 되며, 전류의 방향이 서로 반대이므로 상호 인덕턴스의 부호를 $-M$ 으로 표기하였다. 도체판이 코일에 근접할수록 상호 인덕턴스 M 의 크기가 증가하여 코일의 인덕턴스 L_1 은 감소하게 된다.

이와 같이 코일에 도체판이 접근할 때 도체판에 생성되는 와전류가 영상 전류와 등가적인 관계임을 실험적으로 확인하기 위하여 도체판을 없애고 코일과 동일한 구조를 가지는 별도의 코일을 하부에 배치하고 두 코일을 직렬로 연결하여 총 인덕턴스를 측정하였다. 측정을 실시하기 위한 코일 구성도는 그림 2와 같다.

측정에 사용한 코일은 사각나선형 평면 코일이며, 외각선의 가로 세로 길이는 8×10 cm, 도선 폭 3 mm, 도선 간격이 2 mm, 권선수 3이고, 인덕턴스가 약 $1.5 \mu\text{H}$ 이다. 먼저 그림 2(a)와 같이 한 개의 코일이 도판이 근접할 때 단자 a_1 과 b_1 사이에 나타나는 인덕턴스를 측정하였다. 이어서 그림 2(b)와 같이 동일한 구조를 가지는 2개의 코일을 상하로 배열하고 상부 코일과 하부 코일의 내부 단자 b_1 과 b_2 를 연결하여 상부에 위치한 coil-1과 하부에 위치한 coil-2의 대칭 지점에서 전류의 방향이 서로 반대가 되도록 만들어 단자 a_1 과 a_2 사이의 인덕턴스를 측정하였다. 이와 같이 연결하면 coil-2에 흐르는 전류는 coil-1에 흐르는 전류와 크기가 같고 방향이 반대가 되어, 그림 2(a)와 같이 coil-1에 도판이 접근할 때 도판의 표면에 흐르는 영상 전류와 등가적인 관계가 된다. 이때 단자 a_1 과 a_2 사이에 나타나는 총 인덕턴스는



(a) 도체판이 근접된 나선형 코일
(a) A spiral coil with nearby conductor plane



(b) 등가적인 영상 코일과 직렬로 연결된 구조
(b) A spiral coil in series with its image coil

그림 2. 도체판이 근접된 나선형 코일과 영상 코일
Fig. 2. A spiral coil with a conductor plane and image coil.

$$L_{total} = L_1 + L_2 = 2L_1 = 2(L_{11} - M) \quad (3)$$

이 된다. 따라서 2개의 코일이 직렬로 연결된 상태에서의 총 인덕턴스는 도체판이 존재하는 상태에서 한 개 코일이 가지는 인덕턴스의 2배가 된다. 따라서

$$L_1 = \frac{L_{total}}{2} \quad (4)$$

의 관계를 가지게 된다. 그림 3은 13.56 MHz 주파수에서 코일과 도판 사이의 거리 d 가 1.6~100 mm인 범위에서 위의 두 가지 경우에 측정된 인덕턴스를 나타낸다. 여기에서 최소 거리 1.6 mm는 평면 코일을 구성하는 유전체의 두께이며, 유전체의 하부 표면에 밀착된 상태를 나타낸다.

그림 3에서 곡선 (a)의 부호(■)는 앞의 그림 2(a)와 같이 한 개의 코일에 도판이 근접할 때의 인덕턴스 L_1 을 나타내고, 곡선 (b)의 부호(●)는 그림 2(b)와 같이 영상 전류와 등가적인 코일을 직렬로 연결한 상태에서 측정된 총 인덕턴스 L_{total} 을 식 (4)와 같이 1/2하여 표기한 값이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 두 값은 거의 동일한 값을 가지고 있으며, 도판과 코일 사이의 거리 d 가 근접할수록 인덕턴스가 감소하는 현상을 보이고 있다. 코일과 도판 사이의

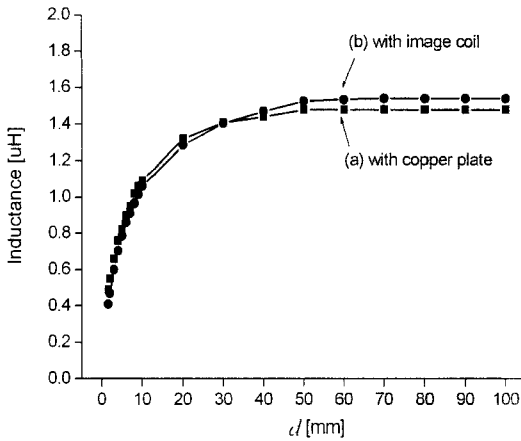


그림 3. 인덕턴스 측정값
Fig. 3. Measured inductance.

거리가 증가하여 약 50 mm 이상이 되면 도체판이 없는 상태의 인덕턴스 1.5 μH 와 거의 같은 값을 가지게 된다. 이와 같이 실험을 통하여 코일에 도체판이 접근하는 경우에 도체판에 유도되는 와전류 현상은 영상 전류로 해석할 수 있음을 확인하였다. 곡선 (a)에서 보면 도체판이 $d=100$ mm 정도로 떨어져 도체판의 영향이 거의 없는 경우에는 코일의 인덕턴스가 약 1.48 μH 인 반면, 동판이 코일 기판의 하부 표면에 밀착된 상태인 $d=1.6$ mm인 경우에는 인덕턴스가 0.49 μH 가 되어 동판이 없을 때에 비하여 약 1/3로 줄어든 값이 된다. 금속 표면에 부착하기 위한 코일을 제작할 때는 이와 같이 기판의 하부 표면에 동판이 있을 때 발생하는 인덕턴스 감소율인 1/3의 여수에 해당하는 3배로 증가시켜 인덕턴스를 설계하고 기판 하부의 표면에 미리 동박 영역을 배치하여 코일을 제작하면 된다.

참고로 코일에 도체판이 근접하는 경우에 발생하는 인덕턴스의 변화를 살펴보면 그림 4와 같다. 여기에서 사용한 코일은 사각나선형 평면 코일이며, 외각선의 가로 세로 길이는 8×10 cm, 도선 폭 3 mm, 도선 간격이 2 mm, 권선수 3인 사각나선형 평면 코일이다.

그림 4에서 실선은 Sonet 을 사용하여 시뮬레이션을 실시한 결과이고, 부호(■)는 측정값을 나타낸다. 곡선 (a)~(e)는 각각 코일로부터 수직 거리 d 가 100, 20, 10, 4, 1.6 mm일 때를 나타내고, 여기에서 1.6 mm

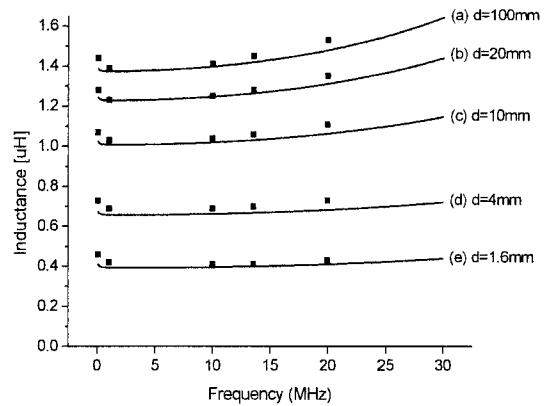


그림 4. 도체판의 위치에 따른 인덕턴스 변화
Fig. 4. Inductance variation with the conducting plane.

는 PCB 기판의 유전체 높이로서 도체판이 밀착된 상태를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 도체판이 근접할수록 인덕턴스의 감소 현상이 심해짐을 알 수 있으며, 실험에서 도체판까지의 거리 d 가 약 100 mm 이상이 되면 도체판이 없는 경우와 거의 같아짐을 관측하였다.

III. 후면 동박을 가진 코일의 제작 및 측정

실험에서는 RFID의 리더 코일과 태그 코일이 도체판의 표면에 근접하여 설치되는 경우, 인덕턴스의 감소 현상에 의한 오동작을 방지하기 위하여 평면 코일의 PCB 후면에 동판 영역을 배치하였다.

실험에 사용한 RFID 리더는 EM Microelectronic사의 RF Front-end 칩 EM4094를 사용하여 제작하였으며, 동작 주파수는 13.56 MHz이다. 이 주파수에서 정상적으로 동작하기 위하여 필요한 리더 코일의 인덕턴스는 약 1.3~1.6 μH 이다. 도체 표면에서 사용할 리더 코일을 만들기 위하여 그림 5와 같이 FR4 PCB 기판 위의 상부 표면(top layer)에 사각나선형 코일을 설계하고, 기판의 하부 표면(bottom layer)에는 코일의 외각 길이와 같은 크기로 동박 영역을 배치하였다.

소요되는 인덕턴스를 가지는 코일을 구현하기 위하여 동판이 부착된 상태에서 약 1.4 μH 의 인덕턴스가 되도록 먼저 시뮬레이션을 실시하고, layout을 설계하여 리더의 코일을 제작하였다. 시뮬레이션에

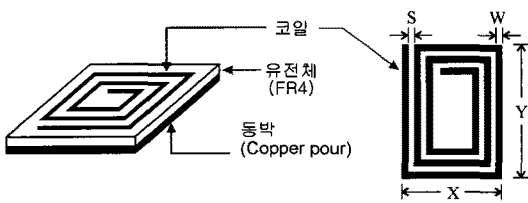


그림 5. 후면 동박이 배치된 평면 나선형 코일의 구조
Fig. 5. A planar spiral coil configuration with copper pour in bottom layer.

사용된 도구는 EM사의 Sonnet이며, 측정에 사용한 LCR meter는 HP사의 4285A이다. 제작된 코일의 형태는 사각나선형이며, 외각 도선의 길이는 가로(X) 세로(Y) 8×9 cm, 도선 폭(W)과 도선 간격(S)은 모두 1 mm, 동박의 두께는 0.035 mm, 권선수 N=5로 제작하였다. 그림 6는 주파수에 따른 코일의 인덕턴스를 나타낸다. 여기에서 실선으로 표기된 곡선 (a)와 (b)는 각각 기판의 하부에 동박 영역이 없을 때와 있을 때에 시뮬레이션 값을 나타내며, 부호(■)는 측정값을 나타낸다.

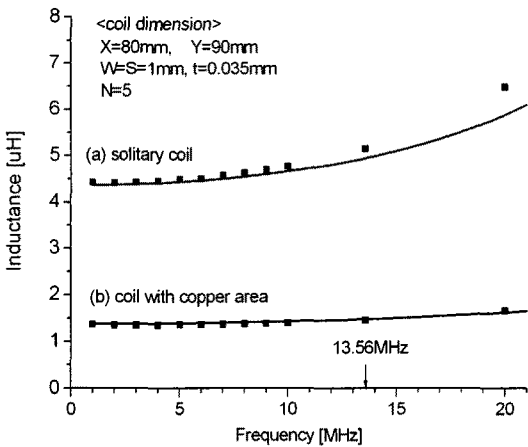


그림 6. 평면 코일의 인덕턴스, (a) 기판 하부에 동박이 없을 때, (b) 기판 하부에 동박이 있을 때
Fig. 6. The inductance of a planar coil, (a) without copper pour in bottom layer, (b) with copper pour in bottom layer.

그림 6에서 보면 시뮬레이션 값과 측정값이 거의 일치하는 경향을 보이고 있으며, RFID의 동작 주파수인 13.56 MHz에서 기판 하부에 동박 영역이 존재하면 동박 영역이 없을 때에 비하여 약 1/3로 줄어들었다. 이와 같은 감소 현상을 예측하여 동박 영역이 있을 때 약 1.4 μ H가 되도록 코일의 layout을 설계하고 제작하였다.

이와 같이 PCB 기판을 사용하여 후면 동박 코일을 제작하는 경우에 PCB의 두께는 코일과 후면 동박 사이의 거리에 해당하므로 PCB의 두께에 따라 인덕턴스 감소율을 고려하여 코일을 설계하여야 한다. 표 1은 현재 시중에서 많이 사용하는 PCB의 두께에 대하여 후면 동박에 의한 인덕턴스 감소율을 나타낸다. 후면 동박 코일을 제작하는 경우에는 각 PCB 두께에 대한 감소율의 역수배에 해당하는 크기의 인덕턴스 값을 가지는 코일을 설계하고, PCB 후면에 동박을 배치하여야 한다.

기판의 후면에 동박이 배치된 코일에서 다른 도체판이 근접되는 경우에 동박이 없는 기존의 코일 구조에 비하여 인덕턴스의 변화가 얼마나 줄어드는가를 비교해 보기 위하여 별도의 동판을 사용하여 코일의 위치로부터 수직 하부 방향으로 거리 1.6~100 mm 범위에 존재할 때, 인덕턴스의 변화를 측정하였다. 여기에서 최소 거리 1.6 mm는 코일을 구성하는 PCB의 유전체 두께이며, 도체판이 코일 기판의 하부에 밀착된 상태에서의 코일과 도체판 사이의 거리를 나타낸다. 이 때 사용한 도체판은 두께는 1 mm이고, 크기는 10×20 cm 인 동판이다. 그림 7은 기판의 후면에 동박이 배치된 코일과 동박이 없는 코일에서 도체판의 위치에 따른 인덕턴스 변화를 측정 한 결과이다.

그림 7에서 곡선(a)는 기판의 후면에 동박이 없는 기존의 코일을 나타내며, 코일 외각선의 크기는 가로 세로 8×10 cm, 도선 폭 3 mm, 도선 간격이 2 mm, 권선수 3이다. 인접한 도체가 약 d=100 mm 정도 떨어져 도체의 영향이 거의 없을 때 이 코일의 인덕턴

표 1. PCB 후면에 동판이 있을 때 평면 나선형 코일의 인덕턴스 감소율

Table 1. Induction reduction rate of a planar spiral coil with conducting surface on the bottom layer.

PCB 두께(mm)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2	2.4	3.2
인덕턴스 감소율	0.10	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.46

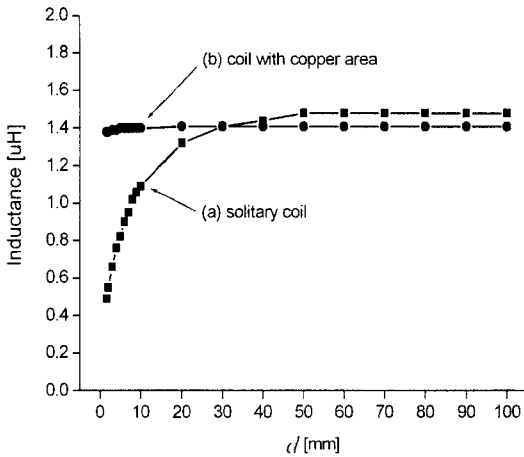


그림 7. 코일과 도체 표면 사이 거리에 따른 인덕턴스 변화

Fig. 7. Inductance variation with the distance between the coil and conductor surface.

스는 1.48 μH 이고, 코일을 도체 표면에 부착하여 $d=1.6\text{ mm}$ 인 경우에는 0.49 μH 가 되어 약 -67% 감소하였다. 이와 같이 코일의 기판 후면에 동박을 배치하지 않은 기존의 코일 구조에서는 코일과 도체판 사이의 거리에 따라 그 변화가 심하여 코일을 도전성이 높은 물체의 표면에 부착하는 경우 RFID가 정상적으로 동작하지 않게 된다.

곡선 (b)는 기판의 후면에 동박이 배치된 코일을 사용한 경우이며, 코일 외각선의 크기는 가로 세로 8×9 cm, 도선 폭과 도선 간격이 1 mm, 권선수 5이다. 인접한 도체가 약 $d=100\text{ mm}$ 정도 떨어져 있을 때 1.41 μH 이고, 코일을 도체 표면에 부착한 상태인 $d=1.6\text{ mm}$ 인 경우에는 1.38 μH 로서 약 -2% 정도 감소하였다. 이와 같이 코일의 기판 후면에 동박 영역을 설치한 코일에서는 도체판이 근접하여도 인덕턴스의 변화량이 현저히 줄어들어 매우 안정된 인덕턴스값을 유지하였다.

위에서 리더 코일을 제작한 방법과 동일한 방법으로 태그 코일에서도 후면에 동박이 배치된 코일을 제작하여 실험하였다. 실험에 사용한 태그 칩은 Texas Instrument사의 Tagit이며, 13.56 MHz의 주파수에서 공진하기 위한 인덕턴스는 약 6 μH 이다. 기판의 후면에 동박이 배치된 상태에서 6 μH 의 인덕턴스를 얻기 위하여 코일의 외각선 길이는 5×8 cm, 도선 폭(W)과 도선 간격(S)은 모두 0.5 mm, 동박의 두께는

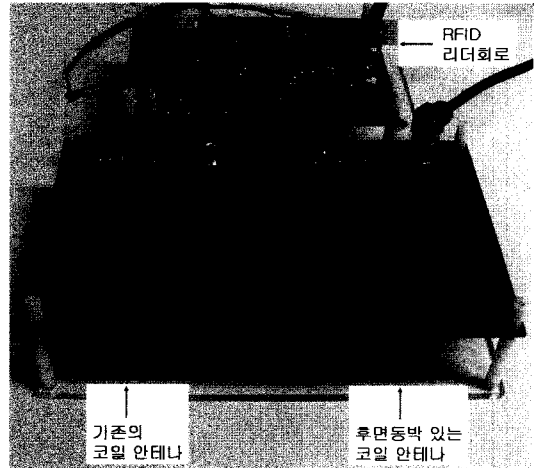


그림 8. 실험에서 제작한 RFID 리더와 코일

Fig. 8. An RFID reader and coil fabricated in experiments.

$t=0.035\text{ mm}$, 권선수 $N=11.5$ 로 제작하였다. 이와 같이 제작된 태그 코일도 도체 표면에서 인덕턴스의 변화가 발생하지 않고 정상적인 인식 상태를 유지하였다. 그림 8은 실험에서 제작하여 사용한 리더 회로와 리더 코일을 나타낸다.

IV. 결론

본 논문에서는 유도 결합형 RFID 시스템에서 금속의 표면에 부착하여 사용할 수 있는 코일의 구조를 새로이 제안하고 실험하였다. 기존의 코일을 금속 표면에 부착하는 경우에는 금속 표면에 유도되는 와전류 때문에 코일의 인덕턴스가 크게 감소하여 공진 주파수로부터 이탈하므로 태그와 리더간에 정상적인 연결 관계를 유지할 수 없게 된다. 따라서 리더나 태그의 코일을 금속 표면에 부착하는 경우에는 이러한 환경에 적합한 코일을 구성하여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 먼저 평면 코일에 도체판이 근접되는 경우에 발생하는 인덕턴스의 감소 현상을 측정하고, 도체 표면에 유도되는 와전류의 영향은 영상 전류로 해석할 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

또한, 금속 표면에 부착하여도 인덕턴스가 변화하지 않는 평면 코일을 제작하기 위하여 도체판에 의한 인덕턴스의 감소 비율의 역수배에 해당하는 크기의 인덕턴스를 가지는 코일을 설계하고, 기판의 후

면에 등박 영역을 배치하였다. 이와 같은 구조를 가지는 평면 코일은 금속 표면에 부착한 상태에서도 인덕턴스의 변화가 약 2 % 정도로 매우 적어 거의 일정한 값을 유지함을 실험하였다. 이러한 구조의 코일을 사용하면 비교적 고가의 페라이트판을 사용하지 않고도 금속 표면에서 인덕턴스의 변화가 발생하지 않는 안정된 코일을 쉽게 제작할 수 있어, 공공기관이나 기업체에서 고가의 주요 계측기 등 케이스 표면이 금속으로 되어 있는 물품을 관리하기 위한 RFID 시스템을 개발하는 데에 많이 이용될 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] 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.
- [4] 이성호, "유도 결합 RFID 시스템에서 이중코일 안테나를 이용한 잡음의 감소", 한국전자과학회 논문지, 18(6), pp. 648-655, 2007년 6월.
- [5] 전진억, 서정형, 오성일, 이성호, "페라이트판을 이용한 RFID 코일안테나", 2007년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회논문집, 제주대학교, pp. 703-705, 2007년 9월.

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

서 정 형



2000년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 서울산업대학교 철도전기신호공학과 박사과정
 [주 관심분야] RFID/USN, 안테나