

논문 2009-46TC-10-8

무선전력 전송용 13.56MHz의 안테나 설계를 위한 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해석

(The Optimization and Numerical Analysis of The Antenna Circuit for Antenna Design With 13.56MHz As Transmitting Wireless Power)

정 성 인*, 이 승 민**, 이 흥 호***

(Sung-In Chung, Seung-Min Lee, and Hug-Ho Lee)

요 약

본 논문은 방사선 피폭량을 실시간으로 산출하기 위해 무선전력 전송용 13.56MHz의 안테나 설계를 위한 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해석을 연구하였다. 리더기(Reader)에서 태그(Tag)로 무선으로 전력을 전송하기 위해서 안테나 주파수 대역 중 13.56MHz는 유도 전류를 이용한 루프 안테나에 많이 이용하고 있다. 본 논문은 전자유도 방식의 원리를 이용해 안테나 LC 공진을 위한 수치적 계산을 통해 L과 C 값을 산출하여 실제 측정치와의 값과 비교하였다. 또한 안테나 회로의 최적화 튜닝 및 안테나 포트의 매칭을 위해 공진(Resonance)용 캐패시터를 가변하여 스코프로 안테나 코일의 전압이 최고시점을 관측하여 공진점을 찾아 보았다. 이러한 실험은 무선으로 전력을 공급 받을 수 있는 무선전력 전송 시스템에 응용되어 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

Abstract

This study proposes the optimization and numerical analysis of the antenna circuit for antenna design with 13.56 MHz as transmitting wireless power, for calculating the dose radiation exposure to the real time. The 13.56 MHz of the antenna frequency bands is used to the loop antenna which is a induced current for transmitting the power with wireless the reader to the tag. The study compared to the real measurement value as calculating the value of th inductance and capacitance through the numerical analysis for the antenna LC resonance using the theory of the electromagnetic induction method. We tried to search for the resonance point as the voltages of both sides of antenna coil by the scope measures of the peak point, as we tried to be variable the resonance capacitor for the optimization tuning of the antenna circuit and the matching of the antenna port. We convince our research contributes to help the design and application technology of the wireless power transmit system which is received power supply with wireless.

Keywords : wireless power, reader, tag, resonance, electromagnetic induction

I. 서 론

무선전력전송(Wireless Power Transmission)은 전력 에너지를 무선 전송에 유리한 마이크로파로 변환

시켜 에너지를 전달하는 새로운 개념의 전력전송 방식으로 전선 없이 전기에너지를 공간을 통해 보낼 수 있는 전파전송의 원리이다. 라디오나 무선 전화등과 같이 무선 통신방식에서 이용하는 신호의 개념이 아닌, 전기 에너지를 보내는 것으로 반송파만을 보내는 것이다. 주파수가 높으면 파장이 짧기 때문에 빛과 같이 직진성을 가지게 되어 한 곳으로 전기적 에너지를 모아 보낼 수 있다.

안테나 주파수대역에는 125kHz, 13.56MHz, 433MHz, 900MHz, 2.4GHz 등으로 구분하여 사용되고 있다. 특히

* 정회원, 충남대학교 전기공학과

(Chung Nam National University)

** 정회원, 충남대학교 전기전자통신공학교육학과

(Chung Nam National University)

*** 정회원-교신저자, 충남대학교 전기공학과

(Chung Nam National University)

접수일자: 2009년9월1일, 수정완료일: 2009년10월14일

125kHz와 13.56MHz는 안테나의 크기 한계로 인한 근접거리 송수신 시스템에 사용되고 있으며, 출퇴근카드, 방법용 카드, 교통카드 등에 활용되고 있다. 최근에는 125kHz와 13.56MHz를 동시에 사용 가능한 시스템이 개발되고 있으며 모두 근접거리에서 송수신이 가능한 시스템이며 설계상 안테나의 크기가 한정되어 있어 주로 유도 전류를 이용한 루프 안테나가 이용되고 있다.

한편 우라늄의 원료를 사용으로 핵분열 혹은 핵융합을 발생하여 얻은 에너지가 원자력 에너지이며, 필수적으로 방사능이나 방사선이 발생한다. 방사능은 실생활의 의료분야, 비파괴검사 등에 유용하게 활용되고 있지만, 극단적으로 방사능 누출이 발생할 경우 방사선에 피폭될 수 있다. 특히 생명체에 접촉하게 되면 무서운 질환을 일으킬 수 있기 때문에 방사선 피폭량을 실시간으로 산출할 수 있는 개발이 절실히 요구되고 있으며, 국외뿐만 아니라 국내에서도 이에 대한 연구, 개발 및 보급이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 방사선 피폭량을 실시간으로 산출하기 위해 무선전력 전송용 13.56MHz의 안테나 설계를 위한 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해석을 연구하였다. 전자유도 방식의 원리 이해와 안테나 LC공진을 위한 수치적 계산을 직접 계산하여 L과 C값을 산출하여 실제 측정치와의 값과 비교하였다. 또한 안테나 회로의 최적화 튜닝 및 안테나 포트의 매칭을 위해 공진용 캐패시터를 가변하여 스코프로 안테나 코일의 양단의 전압이 최고시점을 관측하여 공진점을 찾아 보았다.

이러한 실험은 무선으로 전력을 공급 받을 수 있는 무선전력 전송 시스템에 응용되어 매우 유용하게 활용될 것으로 될 것으로 기대된다.

II. 13.56MHz 전자 유도 방식의 원리

전자 유도 방식은 태그(Tag)와 리더기(Reader) 사이의 통신 매체를 루프 코일의 전자 유도를 사용한다. 리더기와 자장의 세기는 그림 1과 같은 형태로 간단히 나타낼 수 있는데, 이것을 수식으로 표현하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \tag{1}$$

$$= \frac{\mu_0 IN a^2}{2} \left(\frac{1}{r^3}\right) \quad \text{for } r^2 \gg a^2 [N / Am]$$

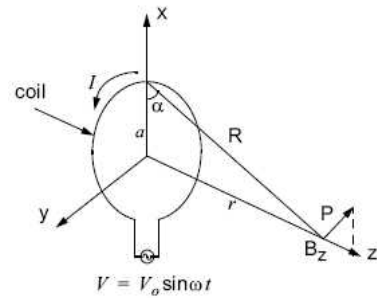


그림 1. 거리 r에 의해 전류에 흐르는 코일로부터의 전자기장^[6]
 Fig. 1. electromagnetic field from current flowing coil by r distance.

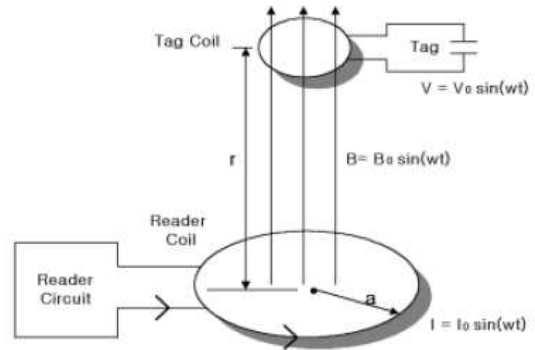


그림 2. 리더기와 태그 안테나의 기본구성도^[6]
 Fig. 2. The configuration of Reader and Tag Antenna.

r은 태그와 리더기 사이의 거리, a는 리더기의 안테나 반지름, I는 전류, μ_0 는 진공의 투자율, N은 리더기 코일의 감은 회수를 의미한다. 즉 자장의 세기는 전류와 코일의 감은 회수와 리더기의 면적에 비례하고 거리 r에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 또한 태그 안테나의 수평면과 리더 안테나의 수평면이 서로 마주 보고 있는 상태에서 가장 큰 자장의 힘을 얻을 수 있다. 태그가 받는 유도기전력은 패러데이 법칙(Faraday's Law)에 의하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos a [V] \tag{2}$$

f_0 = 도착 신호의 resonance frequency
 N=태그 코일의 감은 횟수
 S=태그 안테나의 면적
 a=도착 신호의 각도

Q=quality factor of circuit $\left(\frac{1 \text{ Cycle당 시스템에 저장된 Energy}}{1 \text{ Cycle당 시스템에서 방사된 Energy}}\right)$

$$\left(= \frac{B}{f_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}}\right)$$

식 (2)에서 알 수 있듯이, 유도 기전력은 공진 주파수에 비례하고 코일에 감은 회수에 비례되는 것을 알 수

있다. 또한 유도 기전력은 시스템에서 방사된 에너지가 적을수록 시스템에 저장된 에너지가 클수록 크다는 것을 알 수 있다.

전기적 신호는 도체를 통한 전위차와 전하의 흐름으로 전달되기에 자유공간과 같은 부도체에서는 전하가 잘 흐르지 못한다. 그러나 전자기파는 오히려 도체를 통과하지 못하고 부도체에서 전계(electric field)와 자계(magnetic field)를 구성하면서 진행한다. 안테나 외부의 전자기장의 변화와 안테나 도선 상의 전기적 신호가 상호 연동함으로써, 대기 중에 방사되어 있는 전자기파 신호를 전자기기가 감지하게 된다. 특히 유도된 전압으로 구동전원을 사용하는 태그의 경우 보다 많은 전압을 수신기를 위해 병렬공진(parallel resonance)의 구조를 가진다. 이상적인 안테나는 송신기로부터 전달된 모든 전력을 원하는 방향으로 방사되도록 해야 한다. 그러나 실제로는 이상적으로 좋은 성능을 얻을 수 없지만 근접하게 접근할 수 있다.

III. 안테나 L/C 공진을 위한 이론적 계산식

안테나 설계 및 제작에 있어서 중요한 사항은 안테나 회로에서의 L(안테나 코일) 제작 방법, 전력 전송 주파수 13.56MHz에서의 공진을 일으키기 위한 적절한 L과 C값의 선택, 안테나 B와 Vss 단자 간의 스위칭 방법이다. 본 연구에서는 구성된 안테나의 모양과 L, C의 값을 MicroChip사의 Application Note을 참조하였으며^[4], 전력 전송 주파수 13.56MHz에서 공진시키기 위해 아래에서 제시된 조건을 가지고 L과 C값을 산출하였다.

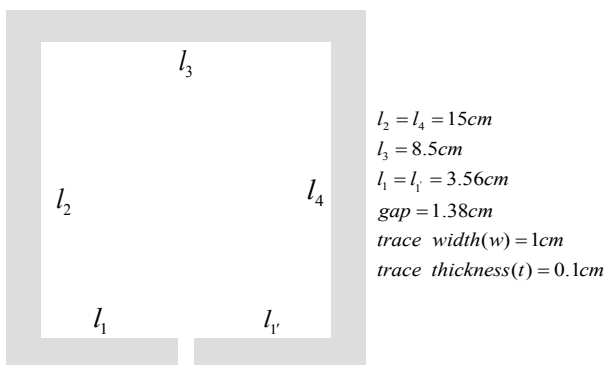


그림 3. 원 턴 리더 안테나
Fig. 3. One Turn Reader Antenna.

실제로 13.56MHz를 안테나 코일에 유기하기 위해 측정된 값은 다음과 같다.

Rs : 1.15Ω, Ls : 331nH

A. 저항 값 계산

식(3)에서 알 수 있듯이, 저항은 면적에 반비례하고 길이에 비례한다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{3}$$

구리, 은, 금, 알루미늄의 비저항에 대한 값들은 아래 표와 같다.

$$l_{A1} = l_{A1} = 2(3.56cm \times 1cm) = 7.12cm^2$$

$$l_{A2} = l_{A4} = 2(15cm \times 1cm) = 30cm^2$$

$$l_{A3} = 8.5cm \times 1cm = 8.5cm^2$$

$$A = 2l_{A1} \times 2l_{A2} \times l_{A3} = 7.12 \times 30 \times 8.5 = 1,815.6$$

$$l_T = l_1 + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 2(3.56) + 2(15) + 8.5 = 45.62$$

$$R = 1.67 \frac{45.62}{1,815.6} = 1.19\Omega$$

표 1. 재료에 따른 비저항
Table 1. The resistivity with a materials.

재료	비저항 (resistivity) $\mu\Omega\text{-cm}$
구리	1.67
은	1.59
금	2.35
알루미늄	2.6

B. 캐패시턴스 값 계산

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (\Omega)$$

$$= r + 2\pi fL + \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = 2\pi fL, \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}, \quad C = \frac{1}{2\pi fX_L}$$

상기 식으로부터 C값을 구하면 다음과 같다. (단, L 값은 331nH)

$$X_L = L \times 2\pi f$$

$$= 331.5 \times 10^{-9} \times 2 \times 3.14 \times 13.56 \times 10^6 \cong 28.229$$

X값을 아래 식에 대입하면,

$$C = \frac{1}{2\pi fX_L} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 13.56 \times 10^6 \times 28.229} \cong 415.992pF$$

C. 인덕턴스 값 계산

공식을 이용하여 자기 인덕턴스(self inductance)을 풀 수 있다.

$$L = 0.002l \left[\ln \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right]$$

$$\begin{aligned} L_1 = L_1 &= 0.002(3.56) \left[\ln \frac{2(3.56)}{0.1} - \frac{3}{4} \right] \\ &= (0.00712)(2.656 + 2.303 - 0.75) \\ &= 29.968 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 = L_4 &= 0.002(15.0) \left[\ln \frac{2(15.0)}{0.1} - \frac{3}{4} \right] \\ &= (0.03)(3.401 + 2.303 - 0.75) \\ &= 148.62 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_3 &= 0.002(8.5) \left[\ln \frac{2(8.0)}{0.1} - \frac{3}{4} \right] \\ &= (0.017)(2.773 + 2.303 - 0.75) \\ &= 73.542 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_0 = L_1 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \\ &= 2(29.968) + 2(148.620) + 73.542 \text{ (nH)} \\ &= 430.718 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

상호 인덕턴스(mutual inductance)은 다음과 같이 풀 수 있다.

$$M_- = 2(M_{1,3} + M_{1+3} + M_{2,4})$$

$$M_{2,4} = 2L_2F_{2,4}$$

$$M_{1,3} = \frac{1}{2}(M_3 + M_1 - M_{1+gap})$$

$$M_{1+3} = \frac{1}{2}(M_3 + M_1 - M_{1+gap})$$

$$M_1 = 2L_1F_1$$

$$M_{1+gap} = 2L_{1+gap}F_{1+gap}$$

$$F_{2,4} = \ln \left\{ \frac{l_2}{d_{2,4}} + \left[1 + \left(\frac{l_2}{d_{2,4}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{2,4}}{l_2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_2}{d_{2,4}}$$

$$F_3 = \ln \left\{ \frac{l_3}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_3}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_3}{d_{1,3}}$$

$$F_1 = \ln \left\{ \frac{l_1}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_1}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_1}{d_{1,3}}$$

$$F_{1+gap} = \ln \left\{ \frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_{1+gap}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}}$$

$$F_{1+gap} = \ln \left\{ \frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1+gap,3}}{l_{1+gap}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}}$$

$$F_{1+gap} = \ln \left\{ \frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1+gap,3}}{l_{1+gap}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}}$$

$$\begin{aligned} F_{2,4} &= \ln \left\{ \frac{15.0}{8.5} + \left[1 + \left(\frac{15.0}{8.5} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{8.5}{15.0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{15.0}{8.5} \\ &= 0.4016 - 1.1493 + 1.7647 = 1.017 \end{aligned}$$

$$M_{2,4} = 2(25.4)(1.017) = 30.51 \text{ (nH)}$$

$$\begin{aligned} F_3 &= \ln \left\{ \frac{8.5}{15.0} + \left[1 + \left(\frac{8.5}{15.0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{15.0}{8.5} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{8.5}{15.0} \\ &= 0.0790 - 2.0283 + 0.5666 = -1.3827 \end{aligned}$$

$$M_3 = 2(8.5)(1.3827) = 23.5059 \text{ (nH)}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= \ln \left\{ \frac{3.56}{15.0} + \left[1 + \left(\frac{3.56}{15.0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{15.0}{3.56} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{3.56}{15.0} \\ &= 0.0392 - 4.3304 + 0.2373 = -4.0539 \end{aligned}$$

$$M_1 = 2(3.56)(4.0539) = 28.8637 \text{ (nH)}$$

$$\begin{aligned} F_{1+gap} &= \ln \left\{ \frac{11.312}{16.38} + \left[1 + \left(\frac{11.312}{16.38} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{16.38}{11.312} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{3.56}{15.0} \\ &= 0.0721 - 1.7588 + 0.2373 = -1.4494 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

$$M_{1+gap} = 2L_{1+gap}F_{1+gap} = 2(7.62 + 1.38)(1.4494) = 26.0892 \text{ (nH)}$$

$$\begin{aligned} M_{1,3} &= \frac{1}{2}(M_3 + M_1 - M_{1+gap}) \\ &= \frac{1}{2}(23.5059 + 28.8637 - 26.0892) \\ &= 13.1402 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

상기 식을 풀면, 각 컨덕터 사이의 상호 인덕턴스는,

$$M_{1,3} = 13.1402 \text{ (nH)}$$

$$M_{2,4} = 30.51 \text{ (nH)}$$

그러므로 안테나의 총 인덕턴스는,

$$\begin{aligned} L_T &= L_0 - M_- = L_0 - 2(M_{2,4} + M_{1,3}) \\ &= 430.718 - 2(30.51 + 13.1402) \\ &= 343.4176 \text{ (nH)} \end{aligned}$$

IV. 안테나 회로의 최적화 튜닝 및 안테나 포트의 매칭

안테나 회로의 튜닝 목적은 정확한 공진을 발생시켜 임피던스를 최소로 낮춤으로서 코일에 최대의 전류를 흘리는 것이 목적이다. 기본적인 안테나 등가 회로 모델은 그림 4와 같다.

무선전력을 전송하기 위해 직렬공진, 수신측에서는

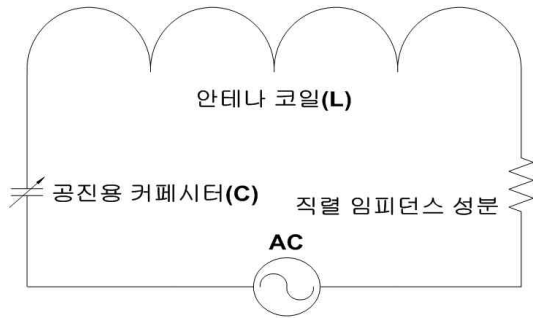


그림 4. 일반 안테나의 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit of general antenna.

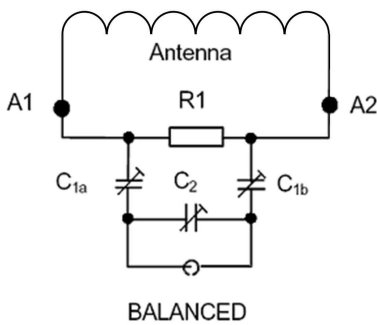


그림 5. 캐패시턴스 매칭
Fig. 5. Capacitance matching.



그림 6. 제작된 보드 형태의 안테나
Fig. 6. Manufactured board type antenna.

병렬공진을 하는 것이 보편적이거나, 전력의 전송면에서 수신측에도 직렬공진을 하여 전력을 수신받는 방식의 효율적임을 실험을 통하여 확인하고 적용하였다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 캐패시턴스 매칭을 이용하여 포트의 매칭을 실시하였다.

안테나 포트의 매칭에서 알맞은 운전 조건을 위해서 안테나와 연결 케이블의 임피던스는 50Ω으로 맞추어야 최대의 전력은 전송할 수 있다.

V. 실험결과 및 고찰

안테나의 L/C 매칭에 대한 실제로 측정된 값은 331.6nH이며, 이론적 계산에 의한 값은 343.4176nH였다. 이러한 오차는 안테나를 제작하는 과정에서 나타나는 오차로 인한 것으로 판단되며 이론적 수치와의 오차는 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있다.

그리고 L의 제작은 전용 제작기를 이용하지 않고 직접 손으로 감았기 때문에 넓은 주파수 영역에서 높은 신뢰성을 보증할 수 없었지만, 본 실험에서 적용에는 아무런 문제가 없었다. 그리고 다양한 크기, 모양, 인덕턴스 값을 갖는 L의 제작이 어려운 이유 때문에 같은 모양, 크기를 갖고 조금씩 다른 인덕턴스 값을 가지는 L을 몇 가지 제작하여 그 L을 바탕으로 C의 값을 조합하는 방법에 의해 안테나 회로를 튜닝하였다.

제작된 안테나의 주파수 특성을 관찰하기 위하여 설계된 안테나 중에서 판형 A 안테나의 주파수에 따른 Ls값의 변화를 LCR미터 측정기를 이용하여 13.56MHz를 중심 주파수로 하여 관측한 결과는 그림 7와 같다.

또한 안테나 회로의 최적화 튜닝 및 안테나 포트의 매칭을 위해 공진용 캐패시터를 가변하며 스코프로 안

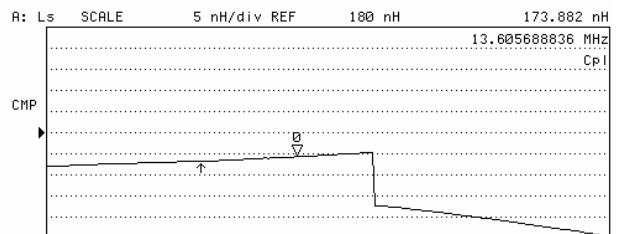


그림 7. 13.56MHz에서 A형태의 안테나의 Ls 값
Fig. 7. Ls value of board type A antenna at 13.56 MHz.

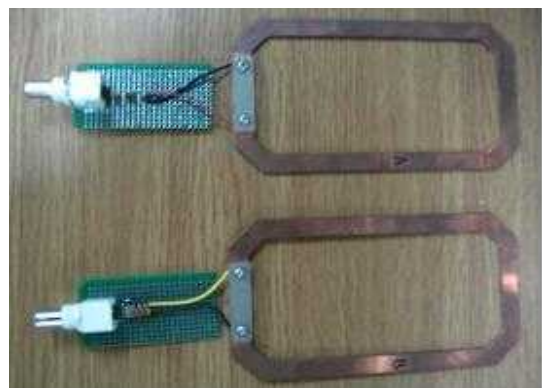


그림 8. 매칭된 안테나의 모습.
Fig. 8. Appearance of Matching antenna.

테나 코일의 양단의 전압이 최고시점을 관측함으로써 공진점을 찾아보았다.

공진 주파수의 L값으로 C값을 구해보면 720pF이 도출된다. 그러나 실제적인 튜닝으로 공진 C값을 찾아보면 680pF이 되는 것으로 보아 고주파에서 L, C값이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

캐패시턴스 매칭을 이용하여 포트의 매칭을 실시하여 산출된 파라미터들은 C1a=223pF, C2=720pF, C1b=223pF이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 방사선 피폭량을 실시간으로 산출하기 위해 무선전력 전송용 13.56MHz의 안테나 설계를 위한 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해석을 연구하였다. 안테나 LC공진을 위한 실제로 측정된 값은 331.6nH이며, 수치적 해석을 통한 값은 343.417nH 였다. 이러한 오차는 안테나를 제작하는 과정에서 나타나는 오차인 것으로 판단되며 이론적 수치와의 오차는 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있다.

또한 안테나 회로의 최적화 튜닝 및 안테나 포트의 매칭을 위해 공진용 캐패시터를 가변하여 안테나 코일의 양단의 전압을 관측하여 공진점을 찾아보았다. 공진 주파수의 C값을 구해보면 720pF이 도출되었으나, 실제 실제적인 튜닝 C값은 680pF이 되는 것으로 보아 고주파에서 L, C값이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 13.56MHz에서 Ls는 173.882nH 값을 가졌고, 주변 주파수에서도 큰 변화가 없음을 볼 수 있었다. 따라서 설계 제작된 안테나는 13.56MHz의 주파수에서 사용 가능하다.

이러한 실험은 무선으로 전력을 공급 받을 수 있는 무선전력 전송 시스템에 응용되어 매우 유용하게 활용될 것으로 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Antenna Circuit Design for RFID Applications, Microchip Technology Inc.
- [2] HA Antenna Design Notes Technical Application report, 11-08-26-003, Texas Instruments
- [3] Constructing a 1000x600 HF Antenna Technical Application Repprt, 11-08-26-007, Texas Instruments

- [4] MicroChip Technology Inc, "MicroID 13.56MHz Design Guide, 2001.
- [5] Tag-it Reader System Series 6000, 11-06-21-050, Texas Instruments
- [6] Antenna Circuit design(AN710), DS00710C, 2003, Microchip Technology inc.

저 자 소 개



정 성 인(정회원)
 2006년~2009년 충남대학교
 전기공학과 박사과정.
 1992년~2008년 한국과학기술원
 인공위성 연구센터
 선임 연구원.
 <주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호
 처리, 반도체>



이 승 민(정회원)
 2002년~2007년 충남대학교 전기
 공학과 박사 졸업
 2007년~2009년 한국원자력연구
 원 P.D.
 2009년 9월 현재 충남대학교 사범
 대학 전기전자통신공학
 교육학 초빙교수



이 흥 호(정회원)-교신저자
 1973년 서울대학교 전기공학과
 졸업.
 1979년~현재 충남대학교 교수
 <주관심분야 : 전력 및 자동화>