

논문 2011-48SD-10-1

# 근접 통신 단말의 무선 전력 전송 효율 향상을 위한 자기 공진코일 시스템

( A Magnetic Resonant Coil for Enhancement of Wireless Power  
Transfer Efficiency of NFC devices )

김 영 교\*, 김 시 호\*\*

( Yeong-gyo Gim and Shiho Kim )

## 요 약

근접 통신 시스템(NFC)의 전력 전송 효율과 수동형 RFID의 동작 거리 향상을 위해 자기 공명 공진코일을 이용한 무선전력전송 방식을 근접 통신 단말에 적용하였다. 소스코일과 디바이스코일 사이에 공진코일을 배치시켜 시스템을 구성하였으며, 효율을 13.56MHz 대역의 RFID 리더와 태그 시스템을 사용하여 측정하였고, 3차원 시뮬레이터를 통하여 시뮬레이션 하였다. RFID 리더와 태그를 통해 측정된 결과, 자기 공명 공진코일을 적용한 경우 신호의 송수신 최대 거리는 96.72%, RFID 태그의 수신된 전압은 17.95% 증가함을 보였다.

## Abstract

A magnetic resonant coil system for enhancement of wireless power transfer efficiency of NFC devices was proposed. The NFC system consists of resonant coils arrange between source coil and device coil. The effects of resonant coil was measured using a 13.56MHz RFID reader and tag system and simulated by 3D RF simulator. The measurement results from RFID reader and tag show that the maximum distance of signal transmission is increased by 96.72% and received voltage of RFID tag is grew by 17.95% thanks to the magnetic resonant coils.

**Keywords :** NFC ,Wireless power transfer system, Magnetic resonance resonant coil

## I. 서 론

최근 통신 및 정보처리 기술 이 발달됨에 따라 휴대

하기 편리한 스마트폰, 태블릿 PC, 휴대전화, 노트북 등 모바일 기기들의 사용이 점차적으로 증가하고 있으며, 기술의 발달에 따라 다양한 기능을 탑재한 향상된 성능의 모바일 기기 들이 계속적으로 보급되고 있다. 이러한 추세에 따라 모바일 기기의 통신 방식에도 많은 변화가 요구된다.

무선통신 방식과 더불어 무선전력전송 기술 또한 발전하고 있다. 무선전력전송 기술은 19세기 말부터 테스라에 의해 처음 시도 되었으며 이는 자기 유도 방식의 무선전력전송, 더 나아가 2007년 MIT에서 새롭게 제시한 자기 공명 무선전력전송 방식으로 발전해 나가고 있다.<sup>[1~3]</sup>

\* 학생회원, 충북대학교 전기공학과  
(Department of electrical engineering, Chungbuk national university)

\*\* 평생회원, 연세대학교 글로벌융합공학부 & 미래융합기술연구소  
(School of integrated technology and Yonsei institute of convergence technology, Yonsei University)

※ 본 연구는 2011년도 연세대학교 교내 연구비에 의하여 지원되었습니다.

접수일자: 2011년6월30일, 수정완료일: 2011년10월10일

자기 공명 무선전력전송 방식은 동일한 공진주파수를 갖는 공진코일에 의한 공명현상을 이용한 것으로 기존의 자기유도 방식에 비해 전송 거리, 전송 효율, 전자기파의 안전성 등을 극복할 수 있어 현재 국내외에서 활발한 연구가 진행되고 있다.<sup>[2~5]</sup> 최근에는 전자기 유도 방식에 의한 무선전력전송 기술의 표준화를 위하여 Wireless Power Consortium(WPC) 국제 표준이 제정되었다.<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 13.56MHz 대역의 근접 통신 시스템(Near Field Communication, NFC)의 전력 전송 효율과 수동형 RFID의 동작 거리 향상을 위해 자기 공명 공진코일을 이용한 무선전력전송 방식을 근접 통신 단말에 적용하였다.

공진 코일에 의하여 추가되는 공간과 문제를 해결하고자 프린트 형 또는 스틱 부착형의 공진코일을 설계하였다. 송신단과 수신단 코일 앞에 각기 자기 공명 공진코일을 배치하여 공진코일의 유무에 따른 송수신 신호 특성을 시뮬레이션 하고, 13.56MHz 대역의 RFID 리더와 태그 간의 근접 통신 실험을 통해 공진코일 유무에 따른 송수신 전력전달 특성을 측정하였다.

## II. 본 론

### 1. 구조 및 동작원리

그림 1은 공진코일을 적용한 무선전력전송 시스템의 개념도이고, 그림 2는 공진코일을 적용한 무선전력전송 시스템의 등가회로이다. 종래 방식과 달리 송신단의 소스코일과 수신단의 디바이스코일 사이에 자기 공명 공진코일을 구성하고, 공진코일의 임피던스 매칭을 통해 소스코일에서 디바이스코일로 송신되는 신호의 동작 거리 및 효율을 높이는 구조이다.<sup>[2~5]</sup>

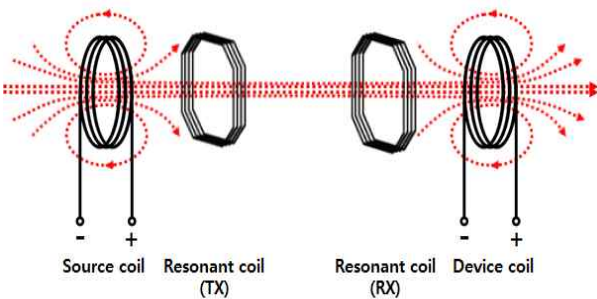


그림 1. 공진코일을 적용한 무선전력전송 시스템<sup>[2~3]</sup>  
 Fig. 1. Schematic of wireless power transmission system with resonant coil.<sup>[2~3]</sup>

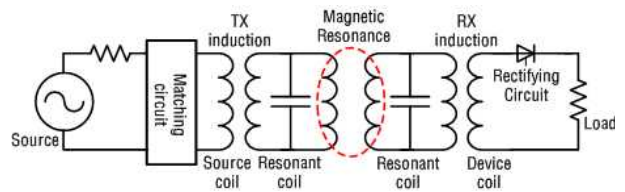


그림 2. 공진코일을 적용한 무선전력전송 시스템 등가회로<sup>[5]</sup>

Fig. 2. Equivalent circuit of wireless power transmission system with resonant coil.<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 13.56MHz 대역의 근접 통신 시스템의 전력 전송 효율과 수동형 RFID의 동작 거리 향상을 위해 자기 공명 공진코일을 이용한 무선전력전송 방식을 근접 통신 단말에 적용하였다. 공진 코일은 수식 (1)에 의해 결정한다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad (1)$$

본 실험에서는 약 670nH의 공진안테나를 사용하였으며, 수식 (1)에 의해 커패시턴스를 계산하였다. 측정상 발생할 수 있는 오차를 고려하여 커패시턴스를 ±5pF씩 변화시키며 Parameter analyzer로 측정한 결과, 커패시터가 200pF일 때 약 12.87~13.95MHz 대역으로 가장 근접한 공진주파수로 동작하는 것을 확인하였다.<sup>[7]</sup> 이러한 결과는 시뮬레이션을 통해 더 자세히 설명할 것이다.

### 2. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 공진코일의 유무에 따른 자기장의 세기를 확인하기 위해 CST Microwave Studio tool을 이용하여 시뮬레이션 하였다.<sup>[8]</sup>

그림 3은 공진코일을 유무에 따른 자기장의 세기이다. 그림 3(a)는 공진코일을 적용한 경우의 자기장 세기로 최대 20.8A/m를 나타내고, 공진코일을 적용하지 않은 경우는 그림 3(b)처럼 7.83A/m를 나타낼 수 있다. 자기장의 파형 또한 공진코일을 적용하였을 때 비방사형으로 분포함을 확인할 수 있다.

코일의 단면을 y축 방향으로 절단하여 H-field를 시뮬레이션한 결과는 그림 4와 같다. 공진코일의 유무에 따라 자기장의 세기가 달라짐을 확인할 수 있다.

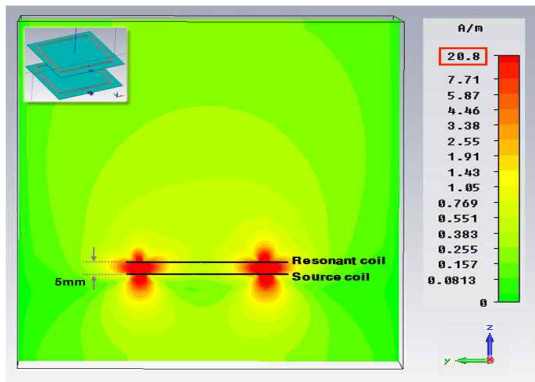


그림 3(a). 공진코일을 적용한 송신(TX) 코일에서의 시뮬레이션 결과

Fig. 3(a). Simulated H-field distribution of TX coil with proposed resonant coil.

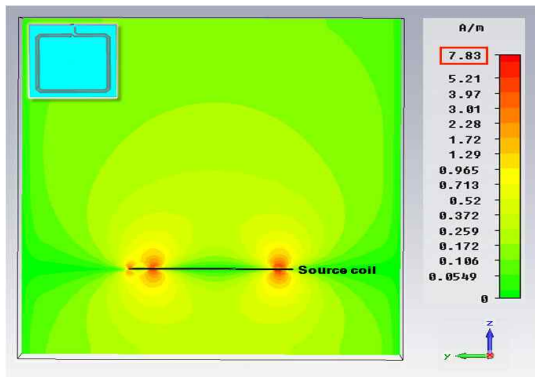


그림 3(b). 공진코일을 적용하지 않은 송신(TX) 코일에서의 시뮬레이션 결과

Fig. 3(b). Simulated H-field distribution of TX coil without resonant coil.

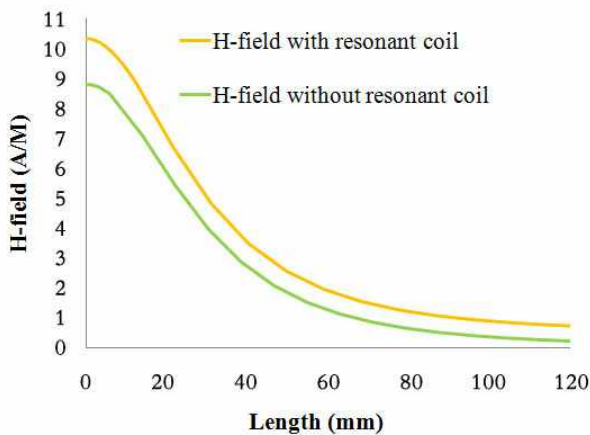


그림 4. 공진코일의 유무에 따른 H-field 세기의 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulated intensity of H-field with and without proposed resonant coil.

### III. 실험

본 연구에서는 RFID 리더와 태그를 이용하여 공진 코일에 의한 NFC 시스템의 전력 전달 특성을 측정하였다. NFC 수동 모드 동작에서의 RF 송수신 표준은 ISO14443 RFID와 호환되므로 RFID 리더와 태그를 이용하여, 자기 공명 공진코일에 의한 무선전력전송 방식의 전력 전송 효율 향상을 측정할 수 있다. 공진코일의 크기는  $55 \times 55 \text{ mm}^2$ , 두께는  $0.26 \text{ mm}$ 이며, 안테나를 각기  $670 \text{ nH}$ ,  $200 \text{ pF}$ 의 인덕턴스와 커패시턴스를 이용하여  $13.56 \text{ MHz}$  공진 주파수로 튜닝하였다.

표 1은 측정된 공진코일 유무에 따른 동작 거리이다. 공진코일을 적용하지 않은 종래의 방식은 약  $61 \text{ mm}$ 의 동작거리를 가진다. 이에 반해 수신단에 공진코일을 적용할 경우  $103 \text{ mm}$ , 송·수신단에 모두 공진코일을 적용할 경우  $120 \text{ mm}$ 로, 공진코일을 적용하지 않았을 때에 비해 동작거리는 최대  $96.72\%$  증가하였다.

그림 5는 공진주파수에 따른 거리에 대한 태그 인식을 측정 결과이다. 동일한 대역의 공진 주파수를 갖는 공진코일을 적용할 경우, 공진코일을 적용하지 않은 경

표 1. 공진코일 유무에 따른 최대 동작 거리 측정 결과

Table 1. Measured maximum operating distance between reader and tag antenna coil.

Resonant coil		Max. Operating distance [mm]	Improvement [%]
TX	RX		
×	×	61	-
×	○	103	68.85
○	○	120	96.72

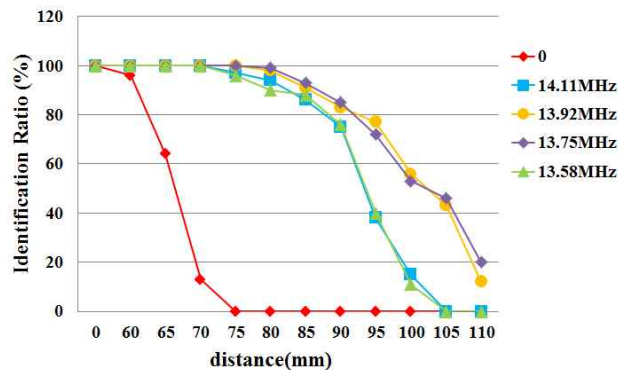


그림 5. 공진주파수에 따른 거리에 대한 신호 전송 효율 측정값

Fig. 5. Measured result of operating efficient vs. distance about resonant frequency.

표 2. 공진코일에 따른 인식률 측정 결과  
Table 2. Measured result of operating distance according to the resonant coil.

\* Operating distance = 103mm

Resonant coil		Identification ratio [mm]
TX	RX	
×	○	43%
○	○	100%

표 3. 공진코일에 따른 RFID 태그의 수신 전압 측정 결과  
Table 3. Measured voltage on the tag antenna.

\* Operating distance = 61mm

	Without resonant coil [mVpp]	With resonant coil [mVpp]	Improvement [%]
Antenna voltage	195	230	17.95

우에 비해 동작 거리 및 인식률이 개선됨을 알 수 있다.

표 2는 공진코일에 따른 인식률 측정 결과이다. 동일한 조건의 동작거리에서 수신단에 공진코일을 적용했을 때에 비해 송·수신단에 모두 공진코일을 적용할 경우 인식률이 2배 이상 증가함을 표 2를 통해 확인할 수 있다.

표 3은 공진코일의 유무에 따른 RFID 태그에 수신된 전압의 측정 결과이다. 수신 전압은 공진코일을 적용하지 않았을 경우 최대 동작 거리인 61mm에서 측정하였고, 공진 코일을 적용하지 않았을 때는 195mV, 공진코일을 적용하였을 때는 230mV로, 공진코일의 적용으로 약 17.95% 수신 전압이 상승하였다.

그림 6은 제작된 공진코일 안테나 및 공진코일의 유무에 따른 실험환경이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 13.56MHz 대역의 근접 통신 시스템 (Near Field Communication, NFC)의 전력 전송 효율과 수동형 RFID의 동작 거리 향상을 위해 자기 공명 공진코일을 이용한 무선전력전송 방식을 근접 통신 단말에 적용하였다. 본 논문에서는 각기 송신단과 수신단 코일 앞에 자기 공진코일을 배치하고, 공진코일의 유무에 따른 송수신 신호 특성을 시뮬레이션 하고, 13.56MHz 대역의 RFID 리더와 태그 간의 근접 통신 실험을 통해 공진코일 유무에 따른 송수신 전력전달 특성을 측정하였다.

자기장의 세기는 공진코일을 적용한 경우 최대 20.8A/m로 공진코일을 적용하지 않은 경우에 비해 166% 증가하였고, 파형은 비방사형으로 분포하였다.

동작 거리는 공진코일을 적용하지 않은 종래의 방식은 약 61mm, 수신단에 공진코일을 적용할 경우 103mm, 송·수신단에 모두 공진코일을 적용할 경우 120mm로, 공진코일을 적용하지 않았을 때에 비해 최대 96.72% 증가하였다. 공진코일의 유무에 따른 태그의 수신 전압은 공진코일을 적용하였을 때 약 230mV로 17.95% 상승하였다.

본 논문은 13.56MHz 대역의 근접 통신 시스템으로 국한되었지만, 공진코일의 유무에 따른 전력 전송 효율과 동작거리 향상에 대한 가능성을 확인하였다. 제안된 공진코일은 근접 통신 시스템 이외에도 다양한 무선 전력 전송 시스템으로 확대할 수 있다.

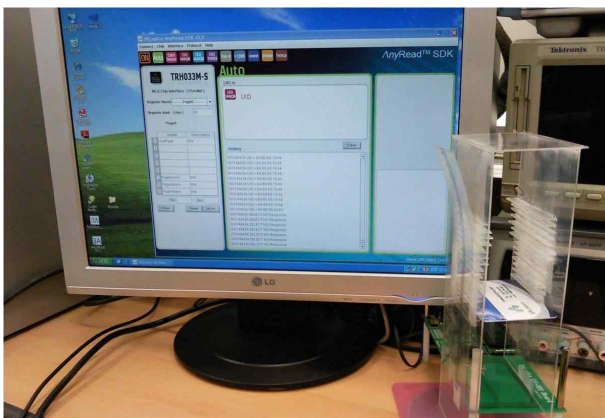
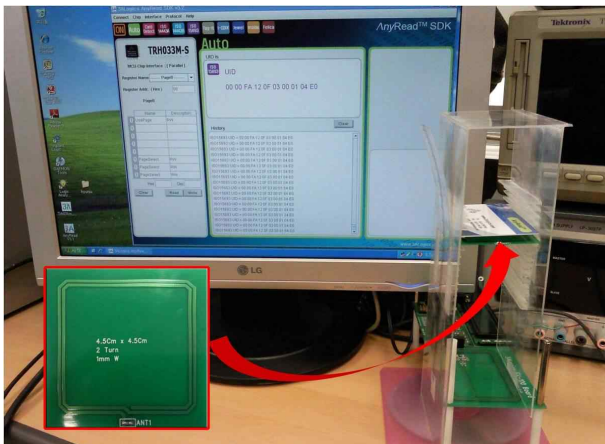


그림 6. 제작된 공진코일 안테나 및 공진코일의 유무에 따른 실험 환경

Fig. 6. Photograph of experimental setup for the measurement.

**감사의 글**

본 연구는 2011년도 연세대학교 교내 연구비에 의하여 지원되었습니다. CST Microwave Studio tool을 이용한 Simulation을 도와주신 충북대학교 안병철 교수 AEL실험실과 T. Bayanmunkh 대학원생에게 감사드립니다. 본 연구에서는 IDEC에서 지원한 EDA tool을 사용하였습니다.

**참 고 문 헌**

[1] D. H. Childress, The Tesla papers, Adventures unlimited press, 2000.  
 [2] André Kurs,, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, Peter Fisher and Marin Soljačić, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances", Science, Vol. 317 no. 5834 pp. 83-86, 6 July 2007.

[3] Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, Peter Fisher and Marin Soljačić, "Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer", "Annals of Physics", Vol. 323, pp.34-48, 2008.  
 [4] 박영진, "자기 공명 무선전력전송 기술 연구", 전력전자학회지, 제15권, 제6호, 47-53쪽, 2010년 12월  
 [5] 김진욱, 지현호, 최연규, 윤영현, 김관호, 박영진, "자기 공명 형 무선전력전송 시스템에서 공진 코일의 배열에 따른 특성 분석", 대한전자공학회 2010년 하계종합학술대회, 902-905쪽, 제주 그랜드 호텔, 한국, 2010년 6월  
 [6] <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>  
 [7] 정성인, 이승민, 이흥호, "무선전력 전송용 13.56MHz의 안테나 설계를 위한 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해석", 대한전자공학회논문지-TC, 제 46권, 제5호, 64-69쪽, 2009년 5월  
 [8] CST Microwave studio tutorial, <http://www.cst.com/>

— 저 자 소 개 —



김 영 교(학생회원)  
 2009년 충북대학교 전기공학과 학사 졸업.  
 2008년 8월~2010년 3월 KAIST 시스템설계응용연구센터 연구원.  
 2010년 9월~현재 충북대학교 전기공학과 석사과정.

<주관심분야 : Wireless power transfer system, Power management system>



김 시 호(평생회원)-교신저자  
 1986년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
 1991년~1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사 졸업.  
 1988년~1991년 LG반도체 연구소 연구원.  
 1995년~1996년 LG반도체 연구소 책임연구원.  
 1997년~2005년 원광대학교 부교수  
 2000년~2001년 2월 IMEC 연구소(KU Leuven) 초빙교수  
 2005년~2011년 2월 충북대학교 전기공학부 교수  
 2009년~2011년 2월 하이브리드자동차 에너지회생기술연구센터(ITRC) 센터장  
 2010년 3월~현재 IEEE Senior Member  
 2011년 3월~현재 연세대학교 글로벌융합부 교수

<주관심분야 : 전기자동차, SoC 설계, 3D IC 냉각기술, NAND Flash Memory 신뢰성>