

무선전력전송의 효율에 영향 미치는 안테나 구조와 주파수 효과

김 응 수[†]

The Effects of Antenna Type and Frequency on Wireless Power Transmission

Eung Soo Kim[†]

ABSTRACT

Wireless power transmission which can transmit the electrical power through the air is the promise technology. In this paper, the effects of wireless power transmission using magnetic resonance method have been studied on coil material, resonance frequency, and antenna type. We have found copper tube as a coil material had the better characteristics than that of enameled wire, and the optimal resonance frequency was 13.6MHz in the range of from 1MHz to 20MHz. And the double square spiral type antenna as a load coil was the best. The power transmission distance by magnetic resonance method with 13.6MHz was 150 cm.

Key words: Wireless Power Transmission, Magnetic Resonance, Antenna, Resonance Frequency

1. 서 론

ICT(Information Communication Technology) 기술의 발전에 의해 스마트폰, 가전기기, 로봇, 센서 등이 개발되면서 요즈음의 우리 생활은 매우 편리해지고 있으며, 또 위험한 사고를 예방할 수도 있게 되었다[1]. 이렇게 우리의 생활에 많은 도움을 주는 전자기구나 센서는 전력이 공급되어야만 작동하므로 항상 전선을 이용하여 전원에 연결되어 있어야 한다. 그래서 가정용 및 산업용 전자기구나 우리의 주변상황을 감지하는 센서를 동작시키기 위해서는 전용 플러그를 사용하여 전선으로 전력을 공급받거나 건전지의 에너지가 있어야 하는 불편한 점이 있다. 그리고 전자기기를 사용하는 중간에 전원을 공급

하는 전선이 끊어지거나 선이 낡아서 피복이 벗겨져 있으면 전력공급이 되지 않아 동작하지 않을 수도 있으며, 또 감전으로 인한 인명피해가 발생할 수 있거나 화재의 위험성도 내포하고 있어 매우 위험하다. 또한 개인용 모바일 전자기기는 충전지에 에너지가 있어야 작동하는데, 이 충전지의 사용시간이 길지 않아 유선으로 자주 충전해야 하는 불편함이 있다. 이러한 불편한 점을 극복하기 위한 기술이 무선으로 전력을 전송하는 것이며, 특히 최근에 무선전력 전송에 관해 관심이 높아지는 것은 스마트폰 등 개인이 소유하고 있는 모바일 전자기기의 수가 증가하고 있으며, 또 화석연료의 감소와 환경오염의 문제를 해결하기 위한 친환경적인 이동수단인 전기자동차나 전기이륜차의 개발로 쉽게 충전할 수 있는 무선 전력

* Corresponding Author: Eung Soo Kim, Address: (609-815) 65, GeumSaem-ro 485 beongil, GeumJeong-Gu, Busan, Korea, TEL: +82-51-509-6262, FAX: +82-51-509-6262, E-mail: eskim@pufs.ac.kr
Receipt date: Oct. 21, 2014, Revision date: Jan. 6, 2015
Approval date: Jan. 7, 2015

[†] Div. of Digital Medical Eng., Busan University of Foreign Studies

* This research was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2015. The author would like to acknowledge J. H. Lee for assisting the experiments

전송 기술에 대한 요구가 강조되고 있기 때문이다.

무선으로 전력을 전송하는 시도는 19세기에 Nicola Tesla에 의해 이루어졌다[2]. Nicola Tesla 이후 무선으로 전력을 공급할 수 있다는 가능성을 알고 있었지만 활발하게 연구가 이루어 지지 않았다. 그 후, 2007년 MIT의 Marin soljatic 교수의 주파수공진을 이용한 자기공명법으로 60W의 전구를 켜는 논문을 발표한 후에 무선전력에 대한 관심이 다시 나타나게 되었고, 세계유수의 연구기관에서 무선전력전송에 관한 연구를 많이 하고 있다[3-5].

무선으로 전력을 전송 할 수 있는 방법으로는 전자기 유도방식(electromagnetic induction method), 마이크로파 방식(microwave method), 자기공명 방식(magnetic resonant method)이 있다. 전자기 유도 방식에 의한 무선전력전송은 Faraday 법칙인 도체 코일에 교류전류가 흐르게 되면 전자기장이 발생된다는 전자유도법칙을 이용한 것으로, 사용주파수는 125KHz~135KHz 정도이며 효율이 높다는 장점이 있으며, 현재 이 기술을 이용한 일부 제품은 상용화되어 판매되고 있다. 하지만 전자기 유도방식을 이용하여 전력 전송을 하기 위해서는 송신장치와 수신장치가 접촉되거나 수cm 이내에 있어야만 하고 송신기와 수신기 사이에 방향이 맞아야 전력전송이 가능하다는 단점이 있다. 마이크로 방식은 GHz대의 고주파를 사용하는 것으로 무선전력전송의 3가지 방법중 가장 높은 주파수를 사용하며 전송거리도 수십Km까지 가장 멀리 보낼 수 있으며, 전력도 수십 KW이상 전송 할 수 있는 장점이 있다. 그래서 우주에서 태양에너지를 지구로 전송하기 위한 연구도 이루어지고 있다[6,7]. 하지만 효율이 낮고 인체에 유해하다는 단점이 있으며, 이러한 단점을 극복하기 위한 연구가 여러 연구기관에서 이루어지고 있다[8]. 마지막으로 자기공명방식은 사용되어지는 주파수가 마이크로파 방식보다 낮은 주파수인 수십KHz~수MHz를 사용하기 때문에 인체 유해성이 작으며, 전자기유도 방식에 비해 전력을 더 멀리 전송 할 수 있다는 장점이 있어 상용화를 위해 가장 좋은 방법으로 생각되어지고 있다. 그래서 자기공명 방식은 전자기유도 방식보다 전력을 전송하는 거리가 멀어 전기자동차의 충전방법으로 주목을 받고 있으며, 우리나라 뿐만 아니라 여러 나라에서 관련연구가 이루어지고 있지만, 아직 국제표준이 정해야 하는 등 해결해야 할 문

제가 있다[9].

자기공명법을 처음 실험에 성공한 MIT의 Marin soljatic 교수그룹에서 사용한 안테나는 직경 60cm로 크게 제작하였다. 또 A. P. Sample[10]의 그룹에서는 자기공명법에 대해 이론적인 회로해석을 통해 전송효율에 대한 연구를 하였는데, 주파수범위는 8MHz에서 12MHz까지로 하였으며 제작한 안테나의 크기는 직경 59cm로 상용의 전자기기에 적용하기에는 크다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 안테나 크기를 작게 하여 인체에 미치는 영향이 작고, 수m까지 전송가능한 자기공명방식을 이용하여 무선전력전송에 대한 연구를 하였으며, 자기공명주파수에 따른 무선전력전송효율에 대한 영향을 조사하였다.

2. 실험 및 결과

무선으로 전력을 전송하는 방법으로 활발하게 연구가 되고 있는 기술은 전자기 유도방식과 자기공명 방식이다. 그래서 우선 전자기 유도방식으로 전력을 전송할 때 안테나 형태에 따른 영향을 조사하였다. 안테나로는 spiral 형태가 제일 좋았기 때문에 15cm의 크기를 가지는 사각형모양의 spiral 안테나를 제작하여 실험을 하였다. 하지만 최대 전송거리는 5cm 정도로 작아 모바일 전자기구나 전기차 등 원거리에서 충전하기에는 적당하지 않았다. 그래서 본 논문에서는 원거리에서 전력을 충전하기 위해 전자기 유도 방식보다 전송거리 특성이 좋은 자기공명방식을 이용하여 전력을 전송하는데 영향 미치는 재료, 안테나 구조 등에 대해 조사하였다. 자기공명방식의 무선전력전송은 송신기와 수신기사이의 공명현상을 이용하여 비방사형으로 전력을 전송할 수 있다. 자기공명 방식의 무선전력전송회로는 소스코일(source coil), 송신코일(transmission coil), 수신코일(receiver coil), 부하코일(load coil)로 구성되어진다. 본 논문에서는 DC 전력을 전송하기 위한 시스템을 설계하고 제작하였다. 송신코일과 수신코일은 공진이 이루어지도록 하기 위해 주파수가 같도록 하였으며, 공진주파수의 효과를 알아 보기위해 송신주파수를 변경하면서 실험하였다. 송신측과 수신측과의 공진주파수에 관한 식은 식 (1)과 같다.

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

여기서 f_0 는 공진주파수이며, L은 코일의 인덕턴스(inductance)이며, C는 커패시턴스(capacitance)를 의미한다. 코일의 인덕턴스는 코일의 재료의 크기와 같은 횡수, 코일의 모양 등에 영향을 받는다[11].

따라서 본 논문에서는 자기공명전송방식의 효율에 영향 미치는 코일 재료, 코일의 크기, 모양, 주파수에 대하여 조사하였다. 우선 코일의 재질은 에나멜동선으로 하여 권선수는 같게하고, 코일의 직경만 4.5cm와 9cm로 다르게 하여 실험했을 때 코일 직경이 클수록 출력효율이 좋았음을 알 수 있었다.

자기 공명 방식으로 전력을 전송하기 위해 필요한 코일의 재료와 주파수의 영향을 조사하였다. 안테나 재료로 에나멜동선과 동관을 사용하였다. 직경 1mm인 에나멜동선을 이용하여 권선수는 4회로 하고 안테나 직경은 9.5cm로 제작하였다. 그리고 직경 3mm의 동관으로는 권선수는 2회로 하고 안테나 직경은 에나멜동선과 같은 9.5cm로 제작하였다. 이렇게 제작된 공진코일에 입력전압 7V를 인가하여 주파수를 1MHz, 5MHz, 13.6MHz, 20MHz로 변화시켜가면서 전송하여 LED가 켜지는 전송 가능 거리가 어떻게 되는지를 조사하였다. 실험 결과는 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1 안의 숫자는 각 공명주파수에서 LED가 점등되는 최대 전송거리를 나타내고 있다. 실험결과를 보면 에나멜동선과 동관 모두 공진주파수가 13.6

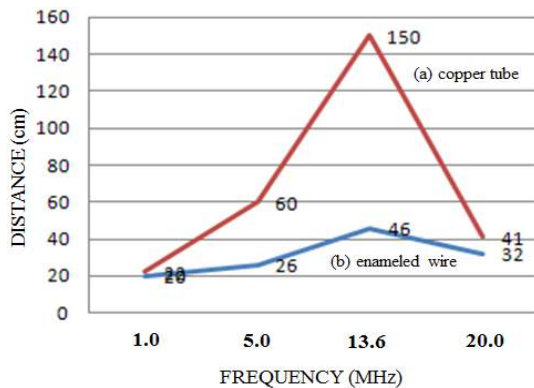


Fig. 1. Power transmission distance versus resonant frequency by magnetic resonant method with antenna material (a) copper tube and (b) enameled wire.

MHz 일 때 가장 좋은 특성을 나타내었으며, 동관이 13.6MHz 일 때 150cm까지 전력이 전송되어 에나멜동선 보다는 더 먼 거리까지 전송됨을 알 수 있었다. 동관의 특성이 좋은 이유는 동관을 이용했을 때 Q특성이 좋기 때문일 것으로 생각된다. 그리고 구리연선과 에나멜동선을 사용하여 동일 공명주파수에서 실험을 한 결과는 에나멜동선이 구리연선보다 동일 주파수에서 전송거리특성이 좋은 특성을 나타내었다. Fig. 2는 공명주파수를 1.3MHz와 13.6MHz로 했을 때 LED를 점등한 실험사진이다. Fig. 2에 사용한 공진안테나의 재료는 에나멜동선으로 권선수를 동일하게 하여 제작하였다. 이 실험에서 공명주파수만 1.3MHz와 13.6MHz로 다르게 하고 안테나 크기, 송신안테나와 수신안테나 사이 거리는 20cm로 그외 조건은 모두 같게 하여 조사하였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 공명주파수 13.6MHz로 했을 때가 1.3MHz보다 LED의 밝기가 더 밝음을 알 수 있었다.

다음으로 공진기의 안테나 구조에 따라 자기공명

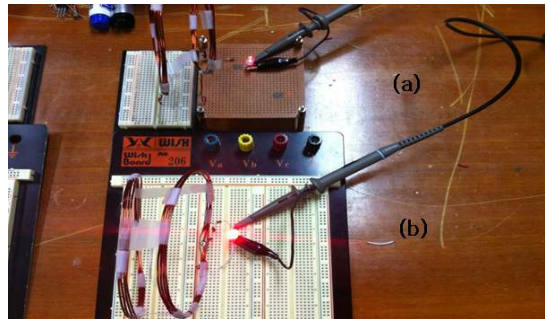


Fig. 2. Photograph of LED lighting by magnetic resonant method (a) at resonance frequency of 1.3MHz and (b) at resonance frequency of 13.6MHz.

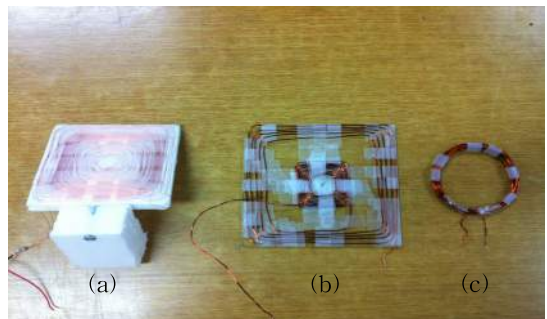


Fig. 3. The structure of resonator antenna (a) spiral type, (b) double square spiral type, and (c) loop type.

전송방식의 효율이 어떻게 다른지를 알아보기 위해 부하코일의 구조를 Fig. 3과 같이 spiral 형과 loop형, double square spiral형으로 제작하여 공진주파수 13.6MHz 에서 송신전압을 같게 하여 실험하였으며, 실험결과와 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4안의 숫자는 각 전송거리에서 수신되는 전압으로 전송거리가 멀어질수록 전송되는 전압은 작아지지만, double square spiral 구조일 때 같은 거리에서 다른 구조에 비해 수신되는 전압이 가장 크게 나왔다. 실험을 통하여 송신과 수신 코일로는 헬리컬(helical)형, 부하 코일로는 double square spiral 형이 최적임을 확인하였으며, 이를 바탕으로 자기공명전송시스템을 제작하였다. Fig. 1에서와 같이 동관의 특성이 좋았지만, spiral형태로 만드는 것이 쉽지 않아서 쉽게 만들 수 있는 에나멜동선을 사용하여 제작하였다.

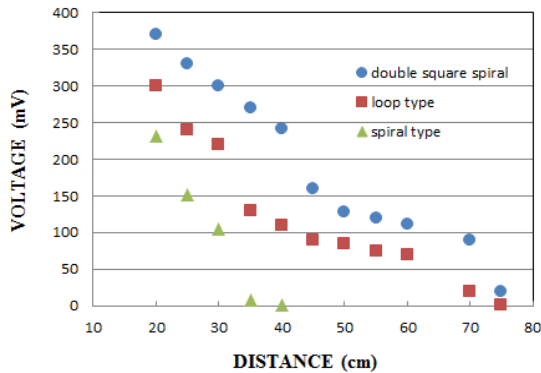


Fig. 4. The output voltage at the function of power transmission distance according to antenna type (a) double square spiral, (b) loop type, and (c) spiral type at resonant frequency of 13.6 MHz.

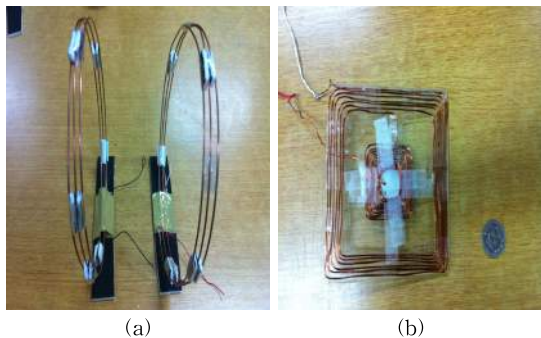


Fig. 5. (a) Helical type as a source coil and receiver resonant coil, (b) double square spiral type as a load coil.



Fig. 6. Photograph of power transfer system by magnetic resonant method.

Fig. 5에는 자기공명방식으로 전력을 전송하기 위해 제작한 헬리컬 구조와 double square spiral 구조를 보여주고 있다. 헬리컬구조의 직경은 9cm로 하였으며, spiral 구조의 크기는 한 번이 15cm인 정사각형으로 하여 자기공명방식의 전력전송시스템을 제작하였다. 제작한 시스템으로 무선으로 전력을 전송하여 Fig. 6에서 보여주듯이 60cm까지 LED로 제작한 글씨가 점등되는 것을 확인하였다[12].

본 논문에서 제작한 직경 9cm의 헬리컬 안테나는 MIT의 M. Soljagic교수의 실험에서 사용된 직경 60cm의 안테나와 A. P. Sample 그룹에서 사용한 직경 58cm의 안테나와 비교하여 안테나크기를 85% 줄였으므로 개인용 모바일 전자기구나 소형의 가전에도 적용 가능할 것으로 기대된다.

3. 결 론

최근의 전기자동차의 보급과 스마트폰 등 개인 모바일 전자기기의 증가로 인해 무선전력에 대한 관심이 증가하고 있다. 무선으로 전력을 전송하기 위한 방법으로 전자기 유도방식(electromagnetic induction method), 마이크로파 방식(microwave method), 자기공명 방식(magnetic resonant method)이 있는데, 본 논문에서는 인체에 무해하며 수m까지 전력을 전송할 수 있는 자기공명방식의 전송효율에 영향 미치는 요소에 대해 조사하였다. 자기공명방식으로 전력을 전송하기 위해 사용되는 코일의 재료 및 형태에 따라 전송되는 효율이 다를 수 있었다. 재료로는 동관이 제일 좋았으며, 송신과 수신코일로서는 헬리컬 구조가 좋았으며, 부하코일로는 double square spiral로 하는 것이 좋았다. 따라서 본

논문에서는 소형의 안테나로 150cm까지 전력을 효과적으로 전송할 수 있음을 확인하였으므로 이동로봇이나 바이오 센서 등에 전력공급위한 전력전송 및 소형 개인 모바일 전자기기 등의 충전에도 사용 가능할 것으로 생각되며, 그리고 현재 친환경적인 이동수단으로 주목을 받고 있는 전기자동차에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCE

- [1] T.W. Bae, J.W. Lee, S.Y. Ha, Y.C. Kim, S.H. Ahn, and K.I. Sohng, "An Occupant Sensing System using Single Video Camera and Ultrasonic Sensor for Advanced Airbag," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 13, No. 1, pp. 66-75, 2010.
- [2] Y.J. Park, "Studies on Magnetic Resonance Wireless Power Transmission Technology," *Kipe Magazine*, Vol. 15, No. 6, pp. 47-53, 2010.
- [3] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffat, J.D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," *Science*, Vol. 317, Issue. 5834, pp. 83- 86, 2007.
- [4] B.L. Cannon, J.F. Hoburg, D.D. Stancil, and S.C. Goldstein, "Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 24, No. 7, pp. 1819-1825, 2009.
- [5] S.Q. Lee, W.S. Youm, and G. Hwang, "Wireless Power Transfer Technology for Implantable Medical Device," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 28, No. 5, pp. 72-82, 2013.
- [6] J. McSpadden, and J. Mankins, "Space Solar Power Programs and Microwave Wireless Power Transmission Technology," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 3, No. 4, pp. 46-57, 2002.
- [7] A.V. Kumar, P. Niklesh, and T. Naveen, "Wireless Power Transmission," *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 1, No. 4, pp. 1506-1510, 2011.
- [8] W. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves," *IEEE Transactions. Microwave Theory Techniques*, Vol. MTT-32, No. 9, pp. 1230-1242, 1984.
- [9] S.M. Kim, J.I. Moon, I.K. Cho, J.H. Yoon, and W.J. Byun, "The Technical Trend and Future Direction of Wireless Power Transmission," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 29, No. 3, pp. 98-106, 2014.
- [10] A.P. Sample, D.A. Meyer, and J.R. Smith, "Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 2, pp. 544-554, 2011.
- [11] J.Y. Jang, J. Hur, and Y.N. Kim, "Novel Mutual Inductance Formula for the Magnetic Resonance Wireless Power Transmission System using Helical Coils," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 23, No. 6, pp. 669-681, 2012.
- [12] E.S. Kim and M.S. Kim, "Studies on Enhancement of Wireless Power Transmission Efficiency," *Proceeding of The 10th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications*, pp. 274-275, 2014.



김응수

1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1996년 게이오대학교 대학원 물리과학과 졸업(공학박사)

1996~1997 (주)LG반도체 ULSI연구소 과장
 현재 부산외국어대학교 디지털미디어공학부 교수