

자기유도를 이용한 배터리 충전 시스템

임지훈 · 한기동 · 박동국*

Battery Charging System using Magnetic Induction

Ji-Hun Lim · Ki-Dong Han · Dong-Kook Park*

Department of Electronic & Communication Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 727, Korea

요 약

산업용 기기는 전력 공급용 전선으로 인해 이동성에 제약이 따른다. 최근 자유로운 이동성이 요구되는 산업용 기기의 무선 전력 공급에 관한 연구가 많은 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 근거리에서 장비의 배터리에 무선으로 전력을 공급하는 자기 유도방식의 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 13.56 MHz에서 동작하며, 송수신 전력 모듈 간의 거리는 20~30 mm으로 설계하였다. 실험을 통해 제안하는 시스템으로 약 15 V의 배터리를 충전하는데 135분이 걸리는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Industrial machines have constraints on movement due to its wire for power supply. Recently, the research on wireless power supply for industrial machine which is required to move freely is receiving a lot of attention. In this paper, we suggest a magnetic induction system which can charge a equipment's battery with wireless at a close range. The system was designed to operate at 13.56 MHz and a distance of 20~30 mm between the transmitting and the receiving power module. From experiment, it was found that it takes about 135 minutes for charging the battery with about 15 V using the proposed system.

키워드 : 무선전력전송, 자기유도, 무선충전, 무선기기

Key word : Wireless power transmission, Magnetic induction, Wireless charging, Wireless machine

접수일자 : 2013. 06. 24 심사완료일자 : 2013. 07. 29 게재확정일자 : 2013. 08. 16

* **Corresponding Author** Dong-Kook Park (E-mail:dkpark@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4311)

Department of Electronic & Communication Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 727, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2239>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

전력이 요구되는 장치에 케이블을 이용하여 전력을 공급하는 경우 이동성의 제약이나 선 꼬임 등의 물리적인 문제가 발생한다. 특히, 산업현장과 같은 복잡한 환경에서 장비의 이동성이 필요한 경우 무선전력전송 기술의 접목은 자유로운 이동성과 편의를 제공하여 작업의 능률 향상과 산업의 발전에 기여 할 수 있다[1].

전자기파를 이용하여 무선으로 전원을 공급하기 위한 연구는 테슬라에 의해 제안된 이후 지금까지 꾸준히 연구가 진행되어 왔다[2]. 무선으로 전력을 전달하는 방법은 크게 자기유도 방식, 자기 공명 방식, 전자기파(Radio Frequency) 전송 방식으로 구분할 수 있다[3].

자기유도 방식을 이용한 예로 한국과학기술원에서 자기 유도 방식을 이용한 On-line Electric Vehicle (OLEV)로 대형 버스에 전력을 무선으로 공급하는 기술을 구현한 사례가 있다[4]. 페라이트 코어를 통하여 20 kHz의 주파수를 사용하였고, 83%의 전송효율로 60 kW급의 전력송신 시스템을 구현하였다[5].

또한 휴대용 IT기기 충전을 위한 5 W 내외의 무선전력전송 시스템이 구현된 바 있다[6][7]. 수 mm 이내의 짧은 전송거리로 인해 전력을 공급하는 장치에 직접 접촉을 해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 산업 현장에서 사용되는 장비에 무선으로 전력을 공급할 수 있는 무선전력전송시스템을 구현하고자 한다. 이동용 장비와 전력공급 장치와의 접촉에 의한 파손 등을 고려하여 20~30 mm의 거리에서 효율적으로 무선 전력을 공급할 수 있는 시스템을 13.56 MHz 주파수를 사용하여 자기유도 방식으로 구현하였다.

II. 무선전력전송 시스템 설계

제작하고자 하는 자기 유도 방식을 사용하는 무선전력전송 시스템의 사양은 다음과 같다. 사용주파수는 13.56 MHz이며, 송신부 출력은 최대 5 W이며, 송수신 코일의 직경은 장비의 크기를 감안하여 15 cm이하이고, 전력 전송을 위한 송수신 모듈간의 거리는 20~30 mm이다.

2.1. 코일부 설계

자기유도 방식을 사용한 무선전력 전송을 위해 13.56 MHz 주파수를 효과적으로 전송 및 수신할 수 있는 코일부의 설계가 필요하다. 코일부는 원형 코일과 커패시터로 구성된다. 코일을 제작하기 위한 도선(wire)은 직경 1.02 mm이며, 최대 허용전류가 12 A 인 AWG 18인 전선을 사용하였다. 코일의 턴(turn)수와 반경을 결정하여 원형 코일 모양의 안테나를 설계하고, 이 코일의 인덕턴스를 계산하여 원형 코일 안테나가 13.56 MHz에서 공진이 되도록 하기 위해 원형 코일과 직렬로 커패시터(capacitor)를 연결하여 코일부를 설계하였다.

코일부의 공진 특성을 알아보기 위해 식(1)을 이용하여 구조에 따른 코일의 인덕턴스를 계산하였다[8].

$$L = \frac{d^2 n^2}{l + 0.45d} [\mu H] \quad (1)$$

여기서 d 는 코일의 지름, l 은 코일의 길이, n 은 코일의 권수를 나타낸다. 이와 같은 방법을 이용해 계산된 인덕턴스를 바탕으로 13.56 MHz에서 공진하기 위해 필요한 커패시턴스 값은 식(2)를 통해 구할 수 있다.

$$C = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)^2 L} [F] \quad (2)$$

실제 공진주파수를 측정하기 위해 그림 1과 같이 코일을 제작했다. 코일의 반경을 유지하기 위해 두꺼운 종이를 사용하여 반경 50 mm의 원통형 모양을 만들고, 코일의 턴 수는 3 턴이며, 코일의 피치는 wire의 굵기와 동일하게 하였다. 즉 코일이 서로 떨어지지 않고 서로 붙어서 감기도록 하였다. 또한, 코일의 중단에 13.56 MHz에서의 공진에 필요한 용량의 콘덴서를 실장한 PCB를 연결하였다.

제작한 코일을 네트워크 분석기에 연결하여 반사손실을 측정한 결과, 13.56 MHz보다 낮은 주파수에서 공진특성을 보였다. 이로 인해 계산된 코일의 인덕턴스 값이 실제의 인덕턴스 값과 어느 정도의 오차를 가진다는 것을 알 수 있다.

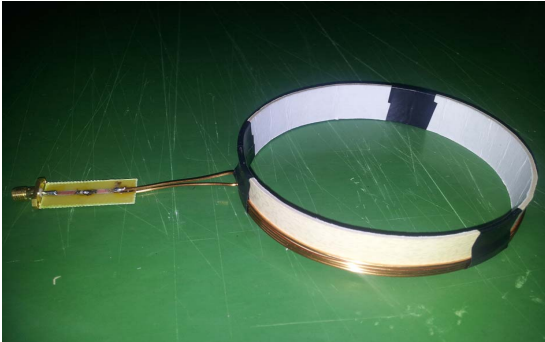


그림 1. 제작된 무선전력전송 코일부
Fig. 1 Fabricated Wireless Power Transmission coil

인덕턴스의 실제 값과 계산 값의 오차를 보정하기 위해서 코일에 연결된 콘덴서의 용량을 낮은 값으로 변경하여 13.56 MHz에서 공진하도록 조정하였다. 조정 전과 조정 완료 후 코일의 공진 특성을 그림 2에 나타내었다. 이후 모든 코일부의 공진주파수 조정은 이러한 방식으로 진행하였다.

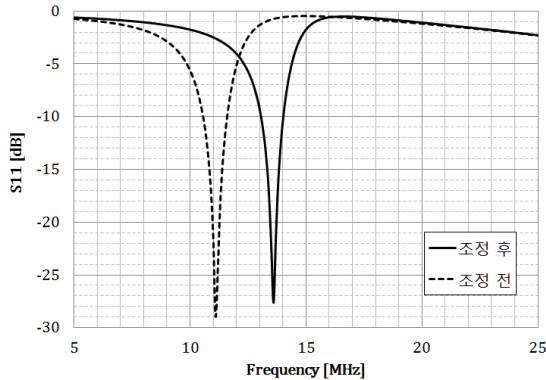


그림 2. 조정 전과 조정 후의 반사손실
Fig. 2 Return loss before and after adjustment

코일에 감은 도선의 턴 수에 따른 수신 전류의 변화를 알아보기 위해 코일간의 거리를 설계하고자 하는 사양에 명시된 30 mm로 고정하고, 반경은 송수신 모듈의 크기를 고려하여 50 mm로 설정하였다. 송신 코일과 수신 코일의 턴 수를 각각 2, 3, 4로 조정하면서 송수신 코일간의 전력 전달 특성을 측정하여 결과를 그림 3에 제시하였다. 그림 3에서 코일의 턴 수가 4 턴인 경우 over coupling 현상이 발생하는 것을 확인 할 수 있고, 2 턴인 경우 under coupling으로 인해 수신되는 전력이 감소하

는 것을 볼 수 있다. 그러므로 턴 수가 3 턴일 때 전력전달 특성이 가장 양호하다는 것과, 4 턴 이상의 코일은 전력의 송수신에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

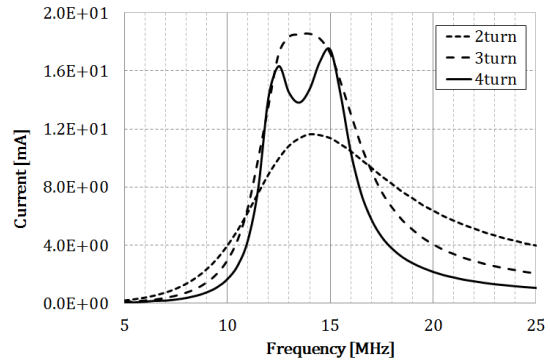


그림 3. 턴 수에 따라 측정된 전류의 크기
Fig. 3 The Measured current magnitude according to number of turns

송수신 안테나의 턴 수를 3턴으로 고정하고, 코일의 반경에 따른 수신전력의 변화를 측정하기 위해, 송신 안테나와 수신안테나 사이의 거리를 30 mm로 고정된 후, 반경이 각각 30 mm, 50 mm, 70 mm인 안테나를 제작하고, 전력전달 특성을 측정하여 그림 4에 나타내었다.

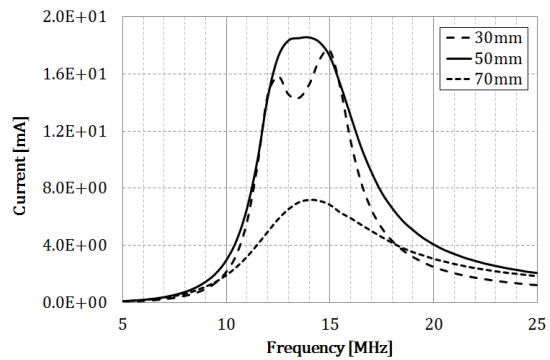


그림 4. 코일의 반경에 따라 측정된 전류의 크기
Fig. 4 The Measured current magnitude according to radius of coils

그림 4에서 코일의 반경이 30 mm 과 70 mm일 때 over coupling과 under coupling으로 인해 반경이 50 mm인 안테나에 비해 수신되는 신호가 적은 것을 확인

할 수 있다.

반경 50 mm, 턴 수 3 턴인 안테나를 제작하여 송신안테나와 수신 안테나의 거리를 변화하면서 수신되는 전력에 의해 발생하는 전류의 크기를 측정하여 그림 5에 나타내었다.

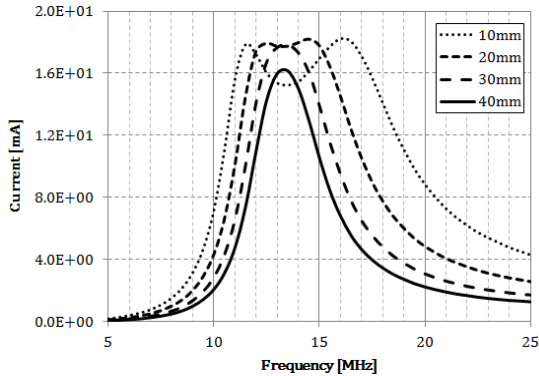


그림 5. 코일의 거리에 따라 측정된 전류의 크기
 Fig. 5 The Measured current magnitude according to distance of coils

송수신 코일간의 거리가 10 mm인 경우 over coupling으로 인해 수신 전류가 감소하는 현상을 확인할 수 있고, 거리가 40 mm 이상인 경우, under coupling으로 인해 수신 전류가 감소하는 경향을 보인다. 또한, 안테나간의 거리가 20~30 mm일 때, 수신되는 전류가 가장 큰 특성을 보인다.

여러 종류의 코일의 전력 송수신 실험 결과, 코일의 턴 수가 3, 반경 50 mm일 때, 코일간의 송수신 거리가 20~30 mm에서 수신되는 전력이 가장 양호한 것으로 나타났다. 본 논문에서 제작한 무선전력전송 송수신 모듈의 코일은 위와 같은 사양의 코일을 사용하였다.

2.2. 전력 수신부 모듈 설계

전력 수신모듈은 13.56 MHz의 송신 전력을 효과적으로 수신하기 위한 수신용 코일부, 수신된 RF 전력을 정류하여 저장 커패시터에 충전한 후 배터리에 전력을 공급하는 정류 및 충전회로부와 배터리로 구성된다. 그림 6에 전력수신모듈의 회로도를 나타내었다. 본 연구에서는 배전압 정류회로를 이용하여 4배의 전압을 얻는 회로를 구현하였다.

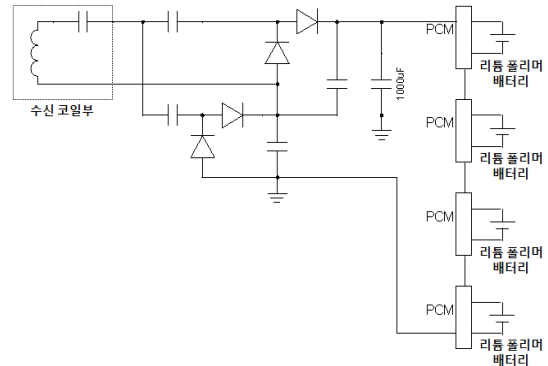


그림 6. 전력 수신모듈 회로
 Fig. 6 Circuit of power receiving module

저장 커패시터는 50 V 허용전압을 갖는 1000 µF의 전해 커패시터를 사용하였고, 배터리는 PSE사의 H652595-PCM 3.7 V 리튬 폴리머 전지 4개를 직렬로 연결하여 구성하였다. H652595-PCM 배터리는 과방전이나 과충전 시 배터리의 수명이 다하는 리튬폴리머 전지의 위험성을 예방하기 위한 보호회로(PCM)를 포함하고 있다. 보호회로는 Low Battery Level이 약 2.8 V로 설정되어 있다.

2.3. 전력 송신부 모듈 설계

송신부는 상용 220 V 60 Hz의 교류전원에서 직류 12 V, 1 A의 DC를 제공하는 어댑터, 인가된 DC 전력을 사용하여 13.56 MHz 신호 발생 및 최대 5 W의 전력을 출력하는 전력증폭기, 13.56 MHz 신호를 효과적으로 전송하는 송신용 코일부로 구성하였다. 전력 증폭기는 상용 증폭기 모듈을 구입하여 사용하였다. 그림 7에 송신부 모듈의 블록도를 나타내었다.

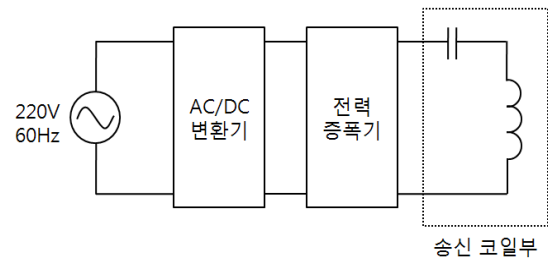


그림 7. 전력 송신모듈 블록도
 Fig. 7 Block diagram of power transmitting module

III. 무선전력 전송 실험

제작된 송수신 모듈을 각각 PVC 상자 속에 배치하여 무선전력 전송부를 제작하였다. 송수신 모듈간의 간격을 약 3 cm 유지한 채, 배터리에 남아있는 전압이 약 0 V 인 상태에서 충전을 시작하여 배터리의 충전 특성을 측정하여 그림 8에 제시하였다.

배터리의 전압이 14.9 V 가 될 때 까지 충전을 하였으며, 충전되는 시간은 약 135 분 정도가 소요 되었다. 한 개의 배터리가 완전히 충전 되었을 때 약 3.7 V 까지 충전이 되므로 4 개를 직렬로 연결 한 경우 최대 충전 전압은 약 14.8 V 가 되며, 그림 8에서 14.8 V 까지 충전을 위해서는 약 125 분의 시간이 소요되는 것을 확인 할 수 있다.

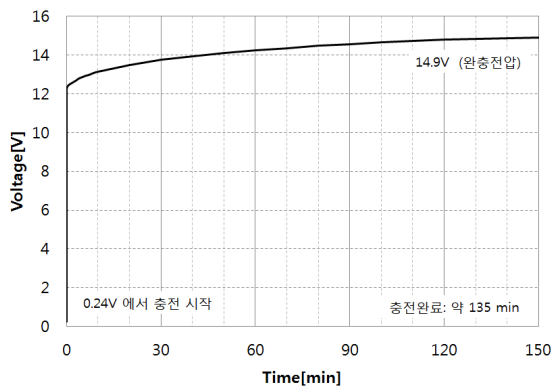


그림 8. 배터리 4개의 충전 특성
Fig. 8 Charging characteristic of 4-cell battery

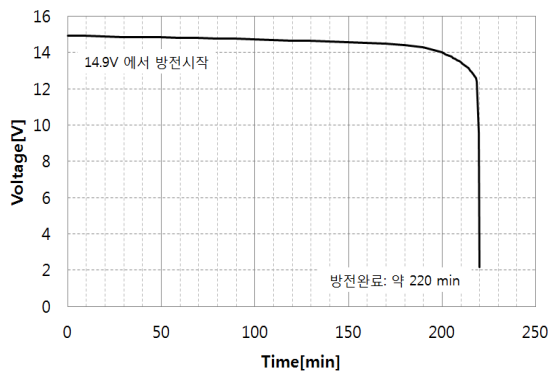


그림 9. 배터리 4개의 방전 특성
Fig. 9 Discharge characteristic of 4-cell battery

방전 특성을 조사하기 위해 12 V, 0.3 A를 소모하는 부하를 사용하여 충전된 4 개의 직렬 배터리의 방전 실험을 하여 결과를 그림 9에 제시하였다. 방전 시작 후 220 분이 경과하는 지점에서 11.3 V가 되었고, 이후 2.17 V로 급격히 전압이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 배터리의 보호회로가 동작하여 배터리의 전압이 부하에 전달되는 것을 차단하면서 발생한 현상이다.

실험결과를 정리해 보면 직류 12 V, 1 A의 DC를 135 분 동안 공급하여 배터리를 충전하고, 이 배터리로 부하를 220 분 동안 사용할 수 있으므로 제작된 전력전송 시스템의 효율은 다음과 같다.

$$\frac{12[V] \times 0.3[A] \times 220[\text{min}]}{12[V] \times 1[A] \times 135[\text{min}]} \approx 49[\%] \quad (3)$$

IV. 결론

본 논문에서는 산업용 기기의 배터리를 충전하기 위한 전력을 무선으로 공급하여 약 15 V 의 배터리를 충전하는 무선전력전송 시스템을 설계하고, 실험을 통하여 동작을 확인하였다.

먼저, 도선(wire)과 콘덴서를 사용하여 13.56 MHz에서 동작하는 무선전력전송 송수신 모듈의 코일부를 설계하였다. 최대 5 W 의 전력을 송신하는 전력증폭기와 설계한 코일을 연결하여 전력송신 모듈을 구성하고, 코일과 정류회로, 직렬로 연결 된 3.7 V 리튬 폴리머 전지 4 개를 이용해 전력수신 모듈을 구성하였다.

제작된 전력전송 시스템은 충전시간과 방전시간을 고려하여 효율을 계산 해 보면 약 49%가 되었다.

본 논문에서 제작된 시스템은 약 15 V의 전력을 필요로 하는 산업용 장비에 사용이 가능할 것으로 사료되며, 향후에는 더 큰 소비전력을 가지는 산업용 기기에 무선으로 전력공급을 위해, 수 kW급 무선전력전송 시스템에 대한 연구가 필요 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] M. S. Han, R. H. Park, "Wireless power transfer technology of industry", The Magazine of the IEEK , vol. 38, no. 9, pp. 31-36, 2011.
- [2] Anil K Rajvanshi, "Nikola Tesla – The creator of the electric age," Résonance, vol. 12, no. 3, pp. 4-12, 2007.
- [3] B. J. Jang, "Wireless Power Transmission Technology Trends and Future Prospects" KIPE Magazine, vol. 15, no. 6, pp. 27-31, 2010.
- [4] Issuequest editorial department "Prospects and trend of electric vehicles xEV development domestic and overseas", Issuequest , pp.498, 2012.
- [5] S. W. Lee, C. B. Park et al, "Ultra Slim U-I & W-I Primary and Pick-up Coil Design for OLEV", TKPE, vol. 16, no. 3, pp. 274-282, 2011.
- [6] S. I. Cho, "Low price for smart phones wireless charger localization development", master's thesis, Chonbuk National University, 2011.
- [7] Y. K. Mun, S. J. Kang et al, "Implementation and trends in wireless power transmission technology for Mobile", The Magazine of the IEEK, vol. 38 no. 11, pp. 26-34, 2011.
- [8] H.A. Wheeler, "Simple Inductance Formulas for Radio Coils," Proc. I.R.E., vol. 16, pp. 1398-1400, Oct. 1928.



임지훈(Ji-Hun Lim)

2013년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과 공학사
2013년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
※관심분야 : 안테나, 무선전력전송



한기동(Ki-Dong Han)

2004년 8월 부산동의대학교 정보통신과 공학석사
2005년 9월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정
2008년 3월~현재 ㈜정 엔지니어링 이사
※관심분야 : 초고주파 소자, 무선전력전송



박동국(Dong-Kook Park)

1987년 부산대학교 전자공학과 공학사
1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
1994년 ~ 1996년 LG전자 선임연구원
1996년 ~ 현재 한국해양대학교 교수
※관심분야 : 안테나, 이동통신부품, 무선전력전송