



전자기유도방식을 이용한 무선 충전 기기의 구현 및 성능 측정

Performance Measurement of the Wireless Charging Devices Using Electromagnetic Induction Techniques

류다운·김영현·구경현*
인천대학교 전자공학과

Daun Ryu · Young Hyun Kim · Kyung Heon Koo*

Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

[요 약]

본 논문에서는 전자기 유도 방식을 이용하여 무선전력전송 시스템을 구현하고 전송 효율을 측정하였다. 또한 수신부 코일의 세부 조건 변화에 따른 효율 변화를 확인하고 최적의 코일 조건을 제시하였다. 제작한 송수신부 회로를 이용하여 수신 코일 위치에 따른 전압 변화를 측정하고, 같은 위치에서 인덕턴스 값 변화에 따른 전압변화를 측정하였으며, 휴대폰 충전 시간을 측정하는 앱을 개발하여 충전 상태에 따른 무선전력전송 충전 시간을 비교하여 이를 통해 최적의 무선전력전송 시스템을 구현하고자 하였다. 개발된 전자기 유도방식을 이용한 무선전력전송 시스템은 주파수 125 kHz를 사용하며, 핸드폰 50%에서 60%까지 충전 시 유선 충전기는 16분, 무선충전기는 23분의 충전시간을 가졌다.

[Abstract]

This paper presented the design of wireless power transfer (WPT) system using electromagnetic induction techniques and analysed WPT efficiency. Also, we presented the optimum coil condition by measuring the efficiency variation according to some receiving coil parameter changes. Voltage change is measured by receiving coil position for the designed transmitting and receiving circuit. Voltage change according to inductance variation at the same position and charging time are compared at the same environment by using a developed application program to realize an optimum WPT system. Developed wireless power transfer system using electromagnetic induction techniques uses 125 kHz. It takes 16 minutes by using wired charger, and 23 minutes by using wireless charger for charging from 50% to 60% charging status.

Key word : Wireless charging, Inductive coupling, Coil, Application program, Efficiency.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.237>



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.

Received 27 May 2015; Revised 3 June 2015
Accepted (Publication) 22 June 2015 (30 June 2015)

*Corresponding Author; Kyung Heon Koo

Tel: +82-32-835-4766

E-mail: khkoo@incheon.ac.kr

I. 서론

무선전력전송기술은 전기 에너지를 특정한 송신장치를 통해서 무선으로 전송하고 이를 수신 장치가 수신 후 다시 직류 또는 교류 에너지로 변화시켜 사용자가 원하는 기기에 전력을 공급하는 시스템을 의미한다. 현재 다양한 ICT기술이 발달하면서 모바일용 디지털 기기가 급증하고 있고, 특히 스마트폰 수요가 증가하면서 배터리 충전은 중요한 문제로 부각하고 있다. 따라서 무선충전기술 등 다양한 방법으로 이를 해결하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

무선충전기술이 진보하면 사용자의 인지 여부 혹은 주위 환경과 상관없이 배터리의 잔여량에 따라 상시 충전서비스를 제공할 수 있어 배터리 방전에 따른 문제 해결과 함께 다양한 편리성을 제공할 수 있다.

무선으로 에너지를 전송하는 기술은 크게 자기유도를 이용하는 방법, 전자기 공진을 이용하는 방법, 그리고 전자기파를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 이중 전자기파를 이용한 방식은 수십 kW 이상의 큰 에너지를 전송하는 용도로 이용 가능한데 예로 우주에서 태양광 에너지를 모아 지구로 전송하는 기술 등이 해당된다. 자기유도방식은 전동칫솔이 좋은 예로 송신코일에 전류를 흘려 자기장이 유도되고 시간에 따라 변화하는 자기장은 다시 수신코일에 전류를 유도하게 되어 에너지 소스로 사용가능하게 된다. 유도방식은 거리가 멀어지면 전송효율이 감소하여 전동칫솔, 마우스와 패드 등의 근접 접촉에 의하여 충전을 제공한다. 또 다른 무선충전기술로 전자기 공진을 이용하는 방법이 있으며 형태는 자기유도방식과 비슷하지만 송신코일과 수신코일 간의 공진주파수를 일치시켜 공진을 통해 에너지를 전달하는 방법이다. 이러한 방식은 1~2 m 정도의 떨어진 거리에서도 에너지 전달이 가능하여 많은 IT관련 회사들이 미래의 기술로 인식하고 상용화를 위해 연구를 진행하고 있다[1]-[3].

본 논문은 자기유도 방식을 이용한 무선 전력 송신기 및 코일 안테나를 개발하여 설치하고 개발한 소형의 수신장치를 모바일기기 충전포트에 연결하여 무선으로 충전이 가능한 고효율을 갖는 시스템을 개발하고자 하였다.

II. 송신 및 수신 모듈 개발

2-1 송신 모듈 개발

본 연구에서는 전원을 공급하여 무선 주파수를 발생시키는 자기유도방식의 송신기 회로를 2 종류 설계하여 측정 실험을 진행하였으며, 특성에 따라 각각을 송신기 A 및 송신기 B로 지칭하여 그 특성을 기술하였다. 그림 1에 개발 송신기의 간략화된 블록도를 제시하였다.

개발 회로는 DC 입력을 넣어주면 가변전압 블록의 저항에

따라 전압이 변하며 신호발생 블록에서 자기유도 주파수인 125 kHz를 발생시켜준다. 발생 신호는 half bridge driver 블록, SMPS MOSFET 블록을 통과 후 송신안테나 블록으로 연결되어 125 kHz가 코일을 통해 출력되게 된다.

신호 발생 블록에서는 CPLD를 이용하여 50 MHz 클럭 (CLK)을 400분주하여 power detect pin이 high일 때 125 kHz로 신호를 내보내 준다. Half bridge 블록에서는 그림 2와 같이 3.3 V 입력 신호를 12 V의 high side 출력 전압과 low side 출력 전압으로 출력하여 FET의 게이트에 입력된다.

SMPS MOSFET 블록은 2 개의 FET를 사용하여 HO 와 LO 일 때 게이트를 통하여 드레인과 소스가 스위칭되어 125 kHz의 Vcc 전압이 출력된다. 송신 안테나 연결 블록은 L(코일)과 C의 조합으로 저역필터가 되어 위의 clock 신호가 입력 되면 정현파 신호로 출력 된다. 또한 L, C의 공진 주파수를 맞추게 되면 입력 전압보다 증폭된 전압을 출력하게 된다. 즉 송신 안테나의 출력 전압은 125 kHz의 정현파신호가 된다[2],[3].

개발된 송신기 A는 입력 전압 12 V, 출력 주파수는 125 kHz, 출력 전력은 1 W, 스탠드바이 전류는 200 mA, 최대 전류는 1 A로 제작 되었다. 송신기 B는 입력 전압 19 V, 출력 주파수 125 kHz, 출력 전압은 42 V, 스탠드 바이 전류는 10 mA, 최대 전류는 1 A의 규격을 가지고 있다. PCB 크기는 2 개의 송신기 모두 55×45 mm로 동일하다.

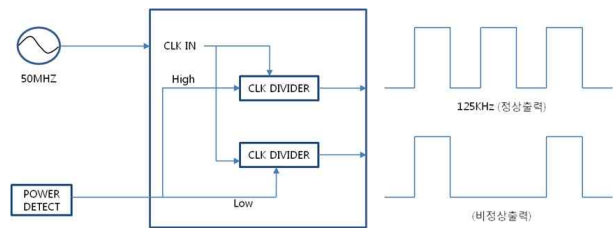


그림 1. 송신기 블록도
Fig. 1. Block diagram of a transmitter.

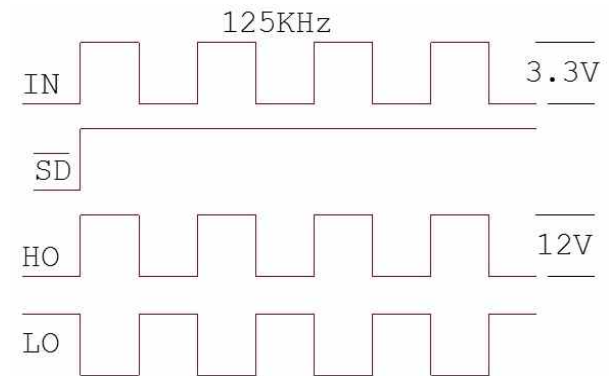


그림 2. Half Bridge 블록의 입력과 출력 신호(HO,LO)
Fig. 2. Input and output(HO,LO) signal for half bridge block.

2-2 수신 모듈 개발

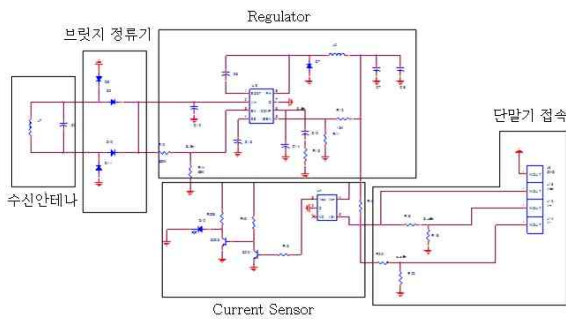


그림 3. 수신기 회로도
Fig. 3. Receiver circuit.

RF신호를 DC로 변환해주기 위해 모바일 기기 충전이 가능한 수신기 2 가지 형태를 설계 하였으며, 수신기 회로는 그림 3과 같다.

본 회로는 자체 제작한 회로로 무선 충전에 사용하도록 설계되었다. 무선 충전기의 수신부는 그림 3과 같이 수신 안테나, 브릿지 정류기, regulator, current detector 블록으로 구성되어 있으며 다양한 구성 방법이 있다[4],[5].

수신 안테나 블록은 125 kHz 대역에 공진하여 송신 신호를 수신 할 수 있도록 설계 되어있다. 수신안테나 뒷단의 정류기 블록에 사용되는 부품의 특성에 맞도록 적절한 L, C 값 조정이 필요하다. 브리지 정류기는 전파 정류기보다 높은 평균값을 나타내기 때문에 정류에서 널리 사용되며, $V_{rms} = 0.707 V_{peak}$ 이며 $V_{dc} = 0.636 V_{out} (peak)$ 이다. Regulator 블록은 입력 전압과 출력 전압 출력 전류량을 계산하였고 각각의 부품마다 고유의 장점을 가지고 있어 용도에 맞게 선정하여야 한다. 125 kHz 대역으로 수신된 신호는 정류기를 거쳐 DC전압으로 변환되어 regulator 입력단에 인가되며 regulator의 출력단은 5 V의 출력을 내보낸다. 두 가지 종류의 수신기를 제작 하였으며 그림 4의 수신기중 왼쪽을 수신기 A, 오른쪽을 수신기 B로 지칭한다. 수신기 A는 각각의 블록을 개별 회로로 구성하였으며, 수신기 B는 TI사의 bq51013 전용 칩을 사용하여 개발하였다. 전용 칩 내부에는 정류부, 전압 조건 판정부, 제어부 블록으로 구성되어있다.

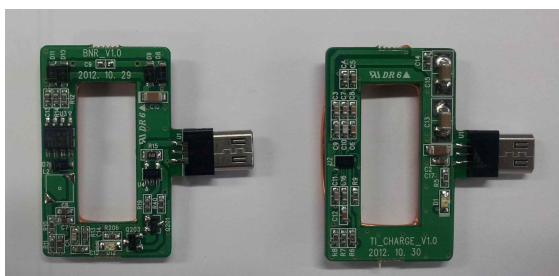


그림 4. 자체 제작한 수신기 형상
Fig. 4. Configuration of the designed receiver.

2-3 송수신 안테나 코일

송신부 및 수신부에 사용하기 위한 다양한 인덕턴스 값을 갖는 코일을 제작하였으며 제작된 코일 모양 중 일부를 그림 5 및 6에 제시하였다.

그림 5는 송신부 안테나 코일로 RLC 미터로 측정된 결과 각각 26 μ H, 14.6 μ H의 인덕턴스 값을 갖는다. 그림 6은 수신부 안테나 코일로 RLC 미터로 인덕턴스 값을 측정하였다[6].

코일용량	사진
26 μ H	
14.6 μ H	

그림 5. 송신부 안테나 코일(26 μ H, 14.6 μ H)
Fig. 5. Transmitter antenna coil (26 μ H, 14.6 μ H).

코일용량	12 μ H	14 μ H	16 μ H
사진			
	18 μ H	20 μ H	22 μ H
	11 μ H	12 μ H 페라이트 (O)	12 μ H 페라이트 (X)

그림 6. 수신부 안테나 코일
Fig. 6. Receiver antenna coil.

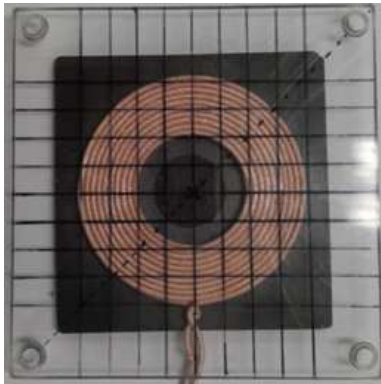


그림 7. 아크릴 판 눈금을 이용한 측정
Fig. 7. Measurement using acrylic pad grid.

III. 수신 전압 및 전송 효율 측정

3-1 위치에 따른 전압 변화

송수신부의 정렬에 따라 수신 전압 및 송신 효율은 큰 변화가 있다[7]. 본 측정에서는 정렬에 따른 전압 변화를 오실로스코프를 사용하여 측정하는 실험을 진행하였다. 아래 그림 7과 같이 0.3 cm 두께의 투명 아크릴판을 사용하고, 아크릴판을 중심으로부터 한 칸 당 0.5 cm로 구분하였다. 그리고 송신부 코일은 고정하고 수신 코일을 중심으로부터 상하 좌우로 위치를 달리하여 수신 전압을 측정하였다. 이 경우, 송수신부의 코일 모양이 상하 좌우 모두 대칭성을 가지고 있으므로, 상하는 위만, 좌우(옆)는 왼쪽으로만 이동하여 측정한 결과를 활용하였다.

실험은 송·수신부 출력 단 AC전압을 측정하고 그 전압 비를 계산하였다. 전자기유도 방식에서는 AC 전류 값이 작은 크기의 값을 갖기 때문에, 이 값의 정확한 측정이 용이하지 않았으며, AC 전압 크기로 효율을 추정하였다.

실험 결과 오실로스코프로 측정한 송수신부 간의 AC전압 측정 값의 송신부 대비 수신부의 값을 제시하였다. 수신부 코일 안테나 크기에 따라 효율이 증가할 수 있기 때문에 이 실험은 위치에 따른 상대적인 변화를 추정하기 위한 것이다.

표 1. 송신부 A와 수신부 A를 사용시의 송수신 전압비

Table 1. Voltage ratio of Tx A and Rx A.

	CENTER	R+0.5	UP+0.5	R+1.0
페라이트(O)	46	47	42	40
페라이트(X)	69	67	65	60
22 μ H	71	56	49	55

표 2. 송신부 B와 수신부 B를 사용시의 송수신 전압비

Table 2. Voltage ratio of Tx B and Rx B.

	CENTER	R+0.5	UP+0.5	R+1.0
페라이트(O)	44	42	40	37
페라이트(X)	39	34	37	28
22 μ H	45	34	32	33
20 μ H	36	33	32	27
18 μ H	38	34	33	30
16 μ H	36	38	33	25
14 μ H	38	35	36	26
12 μ H	46	41	38	25

표1과 2의 단위는 %이다. 송·수신부 B와 송·수신부 A를 같은 코일을 기준으로 하여 측정하여 비교해 본 결과, 전압의 전달 특성은 약 70%로 송·수신부 B 보다 송·수신부 A가 더 좋은 것을 볼 수 있다. 그리고 정 중앙에서 전압 전달 특성이 더 좋은 것을 확인할 수 있으며 중심에서 어긋나는 정도에 따른 전압 전달 특성의 변화를 알 수 있다[7],[8].

3-2 같은 위치에서 인덕턴스 값 변화에 따른 전압 변화

A, B 두 가지의 송·수신부를 각각 사용하고 같은 조건에서 인덕터 값의 조건을 달리하여, 그에 따른 전압 변화를 측정한다.

송신부 A와 수신부 A로 구성한 경우 수신부 3가지의 안테나 코일 유형 중에서 페라이트가 있는 경우의 전압특성이 송신부 실효 값 전압 9.05 V 수신부 전압 6.085 V 효율 67%로 가장 좋은 것을 확인할 수 있었다.

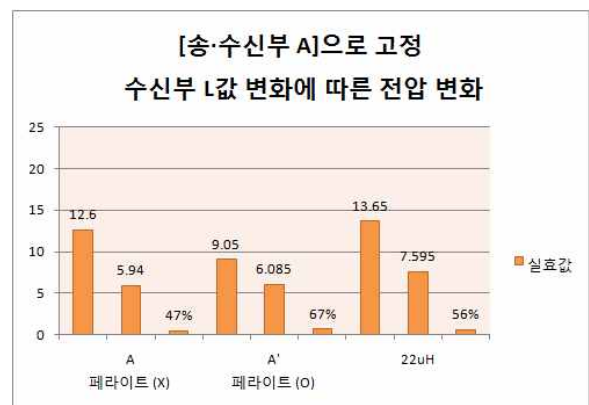


그림 8. 송신부 A와 수신부A 사용시 수신부 L값 에 따른 수신 전압

Fig. 8. Receiving voltage with Rx L variation for Tx A and Rx A.

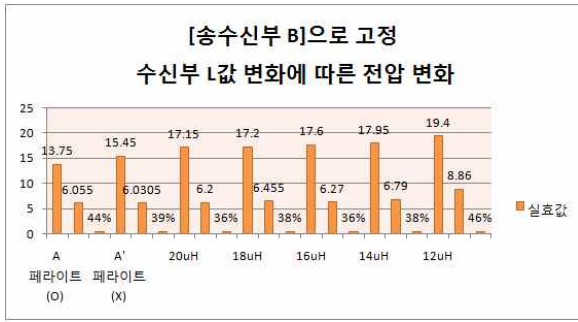


그림 9. 송신부 B와 수신부 B 사용시 수신부 L값 에 따른 수신 전압
 Fig. 9. Receiving voltage with Rx L variation for Tx B and Rx B.

송신부 B와 수신부 B로 구성된 경우 수신부 8가지의 안테나 코일 유형 중에서 12 μH 안테나 코일의 전압특성이 송신부 실효 값 전압 19.4 V 수신부 전압 8.86 V로 46%로 가장 좋은 것을 확인할 수 있었다.

송·수신부 B와 송·수신부 A 모두 페라이트가 있는 경우 더 좋은 전압 특성을 보이는 결과를 확인 할 수 있다. 같은 실험을 반복했을 때, 최대 4%의 오차가 발생하였다.

3-3 충전시간 측정

실험방법은 송신부는 송신부 A와 송신부 B를 이용하였고, 수신부는 수신부 A와 수신부 B를 이용하여 수신부의 코일 L 값을 변화시키면서 유선충전과의 시간을 비교하여 효율을 측정하는 실험을 진행했다.

S사의 폰을 이용하여 50~60%까지 충전 시간을 측정하였다. 이때 측정은 개발한 테스트용 안드로이드 앱을 사용하여 그림 10과 같이 동일한 조건을 유지하도록 하였다.

그림 10에서 나타내는 값은 왼쪽이 충전된 퍼센트 (%)값을 나타내며, 오른쪽 값은 충전 시간(초 단위)을 나타낸다.



그림 10. 제작한 충전시간 측정 앱.
 Fig. 10. Application program for charging time

유선 충전시 충전기는 4.75 V, 550 mA 사양을 가진 것을 사용하였다. 유선충전은 S사의 폰으로 시간을 측정한 결과 1% 당 약 1.6 분이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 무선충전 측정 결과 송신부 A와 수신부 B로 구성하였을 때 가장 우수한 값을 나타내어 수신코일의 변화에 따른 측정을 진행하였다.

송신부 A와 수신부 B로 구성하였을 때 11 μH, 16 μH, 18 μH 값을 갖는 수신부 코일 값을 변화시켜 무선충전 시간을 측정해본 결과 16 μH 값의 코일을 사용했을 경우 유선과 비교하여 약 70% 효율, 18 μH 코일을 사용하여 측정하였을 때 57%의 효율, 11 μH 을 사용하여 측정하였을 경우 50% 효율을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 가장 좋은 조건은 송신부 A와 수신부 B를 구성하여 50%부터 60%까지 무선충전시간을 유선 충전과 비교 하였을 때 16 μH 코일을 사용한 것이 가장 높은 무선충전 효율을 갖는다.

표 3. 유선 충전시 충전 시간

Table 3. Measured charging time using cable.

	%	time
S사의 폰 유선충전 시간측정	10~90%	136 min
	30~80%	87 min
	50~60%	16 min

표 4. 무선 충전기를 이용시 충전 시간

Table 4. Measured charging time using WPT charger.

S사의 휴대폰	%	Time
[송신부A] + [수신부A]_11 μH	50~60%	48 min
[송신부A] + [수신부B]_11 μH	50~60%	28 min
[송신부B] + [수신부A]_11 μH	50~60%	128 min
[송신부B] + [수신부B]_11 μH	50~60%	52 min
[유선 충전기]	50~60%	16 min

표 5. 송신부 A와 수신부 B를 이용할 때 수신코일 변화에 따른 충전 시간

Table 5. Measured charging time according to Rx L variation for Tx A and Rx A.

S사의 휴대폰	%	Time
[송신부A] [수신부B]_11 μH	50~60%	28 min
[송신부A] [수신부B]_16 μH	50~60%	23 min
[송신부A] [수신부B]_18 μH	50~60%	32 min
[유선 충전기]	50~60%	16 min

IV. 결 론

본 연구에서는 전자기 유도 방식을 이용한 무선전력전송 송신기 및 수신기 시스템을 구현하고, 수신부 코일의 세부 조건 변화에 따른 전송 효율변화를 확인하고 최적의 코일 조건을 제시하였다.

연구된 방법은 125 kHz의 스마트폰용 무선 충전 시스템에 적용할 수 있으며, 유선 충전기와 충전 시간을 비교하였을 때 50-60% 충전 시 유선은 16 분 , 무선은 23 분의 충전 시간을 갖는 것을 확인하였다.

송수신 회로 코일의 형태에 대하여 연구가 추가적으로 필요하며, 공진 기술을 이용하면 자유도가 더 높은 충전기기를 제작할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2015 년도 중소기업청 기업부설연구소 사업 지원을 받아 연구되었습니다.

참고 문헌

[1] Y. Moon, S. Kang, G. Kim, and S. Im, "Technology trend and implementations for mobile WPT," *The Journal of Electronics and Information Engineers*, Vol. 38, No. 10, pp. 26-34, Oct. 2011.

[2] Y. Won, and S. Im, "Technology trend and standard for WPT," *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 30, No. 11, pp. 52-59, Oct.

2013.

[3] J. Park, "Enhancement of efficiency for WPT," *The Journal of Electronics and Information Engineers*, Vol. 39, No. 8, pp. 44-50, Aug. 2012.

[4] D. K. Park, "A study on improvement of conversion efficiency of rectifying circuit for wireless power transmission," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 14, No. 5, pp. 655-660, Oct. 2010.

[5] J. H. Lim , K.D. Han, and D. K. Park, "Battery charging system using magnetic induction," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 17, No. 10, pp. 2239-2244, Oct. 2013.

[6] J. W. Kim, H. C. Son, S. H. Jung, and S. G. Kim, "A planer spiral antenna of multi-tabs for wireless power transmission of inductive coupling," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering Sciences*, Vol. 20, No. 8, pp. 753-760, Sept. 2009.

[7] J. K. Kim, H. H. Ji, Y. G. Choi , Y. H. Yun, K. H. Kim, and Y. J. Park, "Study on arrangement of self-resonant coils on wireless power transfer system based on magnetic resonance," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering Sciences*, Vol .21, No. 6, pp. 564-572, June. 2010.

[8] H. C. Son, J. W. Kim, Y. J. Park, and K. H. Kim, "Efficiency analysis and optimal design method of a circular loop resonant coil for wireless power transfer," *The Institute of Electronics and Information Engineers Proceedings of the IEIE Conference*, Jeju., Korea, Vol. 33, No. 1, pp. 1069-1071, June. 2010.



류 다 운 (Daun Ryu)

2014년: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 대학원
※ 관심분야: RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선통신시스템 등



김 영 현 (Young Hyun Kim)

1994년: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
1996년: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 ~ 2000년: 대우고등기술연구원
2011년 ~ 현재: (주)비앤알테크놀로지 대표
2015년 ~ 현재: 인천대학교 전자공학과 박사 과정
※ 관심분야: RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선 통신시스템 등



구 경 현 (Kyung Heon Koo)

1981년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1991년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

1998년 ~ 현재: 한국항행학회 이사, 연구회 위원장, 부회장

1987년 ~ 현재: 인천대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: RF 회로 및 모듈설계, 무선통신 시스템, 차세대 항행시스템 등

1983년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 ~ 2000년: UC San Diego 방문학자