

전자기 유도 방식 무선 전력 전송을 위한 다중 탭을 갖는 평판형 스파이럴 안테나

A Planar Spiral Antenna of Multi-Tabs for Wireless Power Transmission of Inductive Coupling

김진욱 · 손현창* · 정승호* · 김승균* · 김관호** · 박영진**

Jin-Wook Kim · Hyeon-Chang Son* · Seung-Ho Jeong* · Seung-Gyun Kim* · Kwan-Ho Kim** · Young-Jin Park**

요 약

본 논문에서는 저주파 자기 유도(magnetic induction)를 이용한 무선 전력 전송 시스템을 위한 새로운 다중 탭을 갖는 평판형 스파이럴 안테나 구조를 제시한다. 제안된 안테나는 사각 스파이럴 안테나와 같은 기존 상용 안테나에 비해 높은 전송 효율을 가지고, 안테나 개구면에서 고르게 전력을 전송할 수 있다. 검증을 위해 132 kHz 저주파에서 자기 유도를 이용한 무선 전력 전송을 위한 송수신 안테나 시제품을 제작하였다. 송신 안테나는 안테나 개구면에서 최대한 많은 양을 균일하게 송신할 수 있도록, 3중 탭을 갖도록 하였다. 수신 안테나는 수신 부의 크기를 소형화하기 위해, 2중 탭을 갖도록 설계하였으며, 탭을 위해 단면을 사용한 경우와 직렬로 양면을 사용한 두 경우에 대해 설계 제작하였다. 측정 결과, 제안한 송수신 안테나는 기존의 안테나보다 3~10 dB 이상 큰 전력을 송수신할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a novel planar spiral antenna of multi-tabs is proposed for wireless power transmission system based on low frequency magnetic inductive coupling. The proposed antenna has higher transmission efficiency than conventional antennas such a rectangular spiral antenna and a spiral antenna. Also, it has a useful property of uniform power transmission in the region of the antenna aperture. For verification, a transmitting antenna and a receiving one for a wireless power transmission system using magnetic inductive coupling of 132 kHz low frequency are designed and tested. The transmitting antenna has three-tabs spiral of unequal-space for higher uniform magnetic coupling in the antenna aperture. For reducing the receiving antenna size, two receiving antennas of unequal space two-tabs on one-side and series double sides as well are designed, respectively. From measurement, transmission efficiency of the proposed antennas is improved up to 3~10 dB compared to conventional antennas.

Key words : Inductive Coupling, Wireless Power Transmission(WPT), Multi-Tabs Spiral Antenna

I. 서 론

다양한 휴대용 디지털 무선 통신 기기 및 산업용

전자, 전기 기기의 등장으로 기존의 전력선을 이용한 전력 공급 및 충전 방식에 대한 불편함과 문제점이 제기되고 있다^[1]. 이를 해결하기 위한 방법인

과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학과(Dept. of Power Electrical Equipment Information and Communication Eng., Univ. of Science & Tech.(UST))

*한양대학교 전자컴퓨터공학부(Division of Electrical Eng. and Computer Science, Hanyang University)

**한국전기연구원(KERI)

· 논문 번호 : 20090529-11S

· 수정완료일자 : 2009년 8월 25일

무선 전력 전송(Wireless Power Transmission: WPT)은 도선을 사용하지 않고 전력을 전달할 수 있는 기술이다. WPT 기술은 디지털 통신 및 산업용 기기들을 사용할 때 가장 큰 제약을 주는 전원 공급선을 없앨 수 있어 예전부터 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 아직 전력 전송 효율이 높지 않고, 전자파의 인체 유해성과 같은 밝혀지지 않은 문제 등으로 인해 상용화 단계까지는 많은 어려움이 있다^[2].

최근까지 전파를 이용한 무선 전력 전송으로는 렉테나(Rectenna) 방식^[3], 전자기 유도 방식^[4], 자기 공명 방식^[5]의 세 가지 방법이 있다. 이 중 마이크로파의 방식을 이용한 렉테나 방식은 상대적으로 먼 거리를 전송할 수 있으나, 방사되는 전자파에 의한 인접 주파수 대역에서의 간섭과 전자파의 인체 유해성 문제 등으로 사용이 제한적이며, 자기 공명을 이용한 방식은 가장 최근에 발표된 방식으로 아직 실험실 수준의 기술 개발 단계이다. 마지막으로 저주파 자기장을 이용한 전자기 유도 방식의 무선 전력 전송 장치는 거리에 대한 제약은 있으나, 방사 방식과 비교하여 전자파 장애 문제가 없고, 다양한 분야에서 상용화 기술이 추진되고 있어, 향후 디지털 무선기기의 무선 충전 시스템 시장을 주도할 것으로 예측된다.

이런 전자기 유도를 이용한 무선 전력 전송 시스템은 그림 1과 같이 등가적으로 나타낼 수 있다. 그림 1에서처럼, 전체 시스템은 신호 발생부, 송신 매칭 회로, 송신 안테나, 수신 안테나, 수신 공진 회로, 정류회로 및 DC-DC 변환기로 구성된다.

본 논문에서는 132 kHz의 저주파 자기장을 이용하여 수십 센티미터 이내의 거리까지 전력을 효율적으로 전달할 수 있는 송수신 안테나를 설계하고, 기존의 안테나와 비교하여 우수한 성능을 가짐을 제시한다. 그리고 그림 1의 시스템 구성을 바탕으로 실제로 무선 전력 전송 시제품을 제작하여 제안한 안테나의 성능을 검증하고자 한다.

II. 기존 안테나 특성 분석

송수신 안테나의 효율을 높이기 위해 안테나의 모양 및 면적, 나선의 재료, 두께 및 길이, 상대 투자율이 큰 재질의 사용에 대한 영향을 고려하였다. 먼

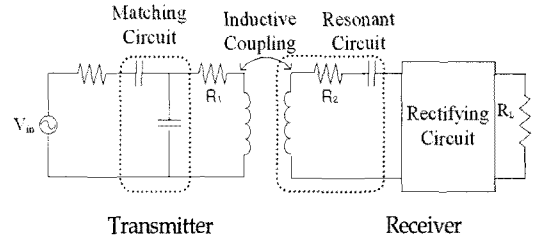


그림 1. 전자기 유도 방식의 무선 전력 전송 등가 회로
Fig. 1. Equivalent circuit of a WPT system using magnetic inductive coupling.

저 안테나 제작에 사용할 나선은 쉽게 구할 수 있는 두께 1 mm 구리 나선을 선택하였다.

또한, 안테나의 권선 형태에 따라 전류 흐름이 다르기 때문에 생성되는 자기장 분포가 달라진다. 이러한 이유로 다양한 형태의 안테나들이 제안되었다. 그림 2에는 기존에 저주파 자기 결합을 위해 자주 사용된 안테나들인 단일 사각 루프 안테나, 사각 스파이럴형, 솔레노이드형, 등 간격 스파이럴형 안테나 등을 나타내었다^{[6]~[8]}.

우선 기존 제안된 안테나들에 대한 특성을 분석하기 위하여, Ansoft사의 HFSS(v11)^[9]를 사용하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션한 안테나 크기는 모두 가로 20 cm, 세로 20 cm이며, 구리 나선의 두께는 1 mm이다. 주파수는 132 kHz로 하였다. 그리고 송신 안테나에서 0.5 cm 떨어진 평면에 대해서 자기장 분포를 알아보았다. 그 결과를 자기장 세기가 가장 큰 값에 모두 정규화하여 나타내었다.

그림 3은 그림 2의 안테나 모양에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 그림 2(a)의 단일 사각 루프는 중심에서 가장 세고 가장자리로

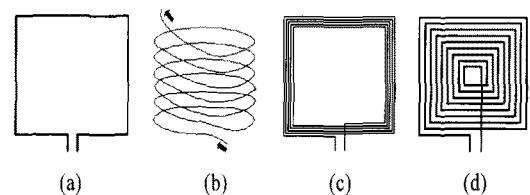


그림 2. (a) 단일 사각 루프형, (b) 사각 스파이럴형, (c) 솔레노이드형, (d) 등 간격 스파이럴형
Fig. 2. (a) Square loop, (b) rectangular spiral, (c) solenoid, (d) equi-space spiral.

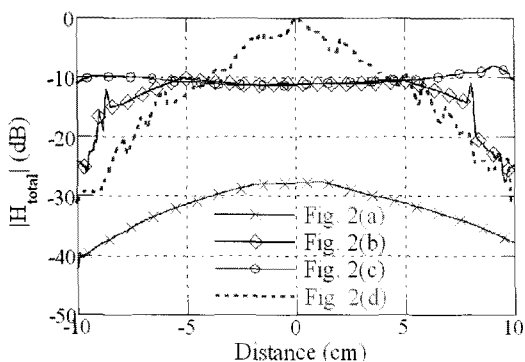


그림 3. 그림 2의 안테나에 대한 HFSS 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulated results of antennas of Fig. 2 using HFSS.

갈수록 자기장이 약한 형태를 보인다. 이는 중심에서 벗어날 경우 수신 전력이 떨어져 비효율적이다. 그리고 상대적으로 다른 안테나 형태에 비해 자기장 세기가 작아서 송수신 안테나로 사용하기 어렵다. RFID 리더 안테나로 널리 쓰이고 있는 그림 2(b)의 사각 스파이럴형은 솔레노이드형에 비해서도 거의 일정한 자기장 세기를 가진다. 하지만 스파이럴 형태에 비해서 자기장 세기가 작기 때문에 단독으로 사용하기에는 어려움이 있다. 그리고 그림 2(c)의 솔레노이드형은 안테나 내부 중심 부분에서는 거의 일정한 자기장이 생성되지만 가장자리에서는 스파이럴 형태와 비슷한 분포를 보인다. 그리고 형태의 특성상 부피를 많이 차지하는 단점이 있어서 제작상의 문제점이 있다. 그림 2(d)의 등 간격 스파이럴형 또는 스파이럴형은 다른 안테나에 비해 중심에서 자기장이 가장 센 형태를 보였다. 그러나 가장자리로 갈수록 자기장 세기가 급격하게 감소하였다. 그래서 스파이럴형은 수신 안테나로는 사용할 수 있지만 송신 안테나로는 사용하기 어렵다. 이외에도 지금까지 보고된 구조는 Hexagonal Spiral^[10] 등이 있다.

III. 송·수신 안테나 설계

본 논문에서는 사각 스파이럴 안테나가 가지는 고른 형태의 자기장 분포와 스파이럴 안테나가 가지는 중심부에서 가장 센 자기장을 가지는 장점을 결합시켜서 새로운 송수신 안테나를 설계하였다. 송신

안테나는 가능한 넓은 면적에서 고르게 전력이 전달될 수 있도록, 수신 안테나는 동일 면적에서 최대한 많은 전력을 수신할 수 있도록 사각 스파이럴형의 안테나를 변형하여 설계하였다^[11].

3-1 직렬 3중 부등 간격 스파이럴 송신 안테나

그림 3에서 보였던 것과 같이 일반적인 스파이럴형의 안테나는 중심에서 큰 값을 갖지만 자기장이 안테나의 개구면에서 균일하지 않다. 특히, 안테나가 가장자리 쪽은 중심에 비해 매우 작은 값을 가지므로 가능한 균일한 자기장이 발생되어야 하는 송신 안테나로는 적합하지 않다.

본 논문에서는 송신부에서 최대한 균일한 자기장 분포를 만들기 위하여, 직렬 3중 부등 간격형의 안테나를 제안한다. 그림 4는 제안된 직렬 3중 부등 간격형을 나타낸 것이다. 제안된 구조는 일정 간격으로 감던 스파이럴 안테나를 사각 스파이럴과 같이 일정 부분에서 빈 공간으로 남겨두고 감는 방식이다. 즉, 안테나는 여러 개의 탭을 가지며, 각 탭에는 여러 번의 코일이 감겨져 있다. 탭 간의 간격은 부등 간격이며, 각 탭 내에서도 코일 간격은 일정하지 않다.

그림 5는 직렬 3중 부등 간격형 안테나를 시뮬레이션하여 자기장 세기와 분포를 본 것이다. 그림 5에서 보듯이 제안한 송신 안테나는 그림 2의 사각 스파이럴 안테나와 스파이럴 안테나의 필드 분포를 합친 것과 같은 유사한 분포를 나타낸다. 특히, 이 형태는 중심에서 센 자기장 분포를 가지면서 전체적

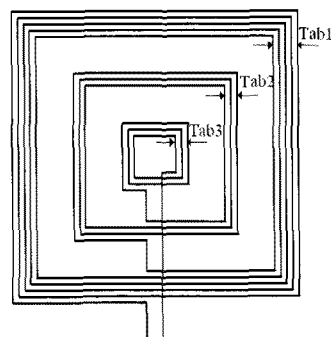


그림 4. 제안된 직렬 3중 부등 간격 스파이럴형 안테나

Fig. 4. The proposed series three-tabs spiral type antenna.

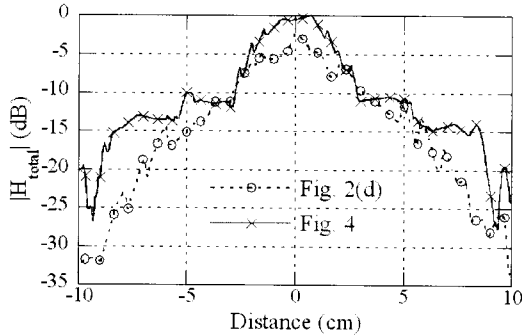


그림 5. 그림 4와 그림 2(d) 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulated results of antennas of Fig. 4 and Fig. 2(d).

으로 필드 세기가 다른 안테나에 비해 더 큰 값을 갖는다. 그러나 제한된 크기에 3중 이상으로 패턴을 형성하게 되면 감는 수가 더 늘어나서 상호 자기 결합 효과로 인하여 성능이 떨어질 수 있어서 권선수를 적절히 조절해야 할 필요가 있을 수 있다^[12].

3-2 다중 양면/단면 부등 간격 수신 안테나

수신 안테나는 높은 효율로 전력을 수신하고, 송신 안테나와의 거리가 멀어지더라도 급격한 전력량 감소가 없어야 한다. 설계를 위하여 앞서 설명한 송신 안테나의 시뮬레이션 결과를 활용하였다.

그림 6에는 수신 안테나로 제안한 양면 직렬 스파이럴 안테나(그림 6(a)), 직렬 2중 부등 간격 스파이럴 안테나(그림 6(b)), 양면 직렬 2중 부등 간격 스파이럴 안테나(그림 6(c))를 나타내었다. 그림 6(a)의 양면 직렬 스파이럴 안테나는 인쇄 회로 기판에 흔히 적용될 수 있는 구조로 앞면과 뒷면은 등 간격의 스파이럴 구조이며, 각각은 직렬로 연결되어 있다. 그림 6(b) 구조는 송신 안테나로 제안한 3중 부등 간격 안테나의 탭 수를 2개로 줄여 크기를 줄인 경우이다. 그림 6(c)는 2중 부등 간격 안테나를 양면으로 사용한 것이다.

그림 7은 그림 6의 안테나를 시뮬레이션한 것이다. 그림 2(d)의 스파이럴형 안테나와 비교하면 양면 직렬 등 간격 스파이럴 안테나는 중심에서는 스파이럴형과 같으나, 가장 자리에서는 스파이럴형보다 최대 10 dB 정도 더 큰 자기장 세기를 나타낸다. 그리고 단면 2중 부등 간격 안테나는 스파이럴형보다 중

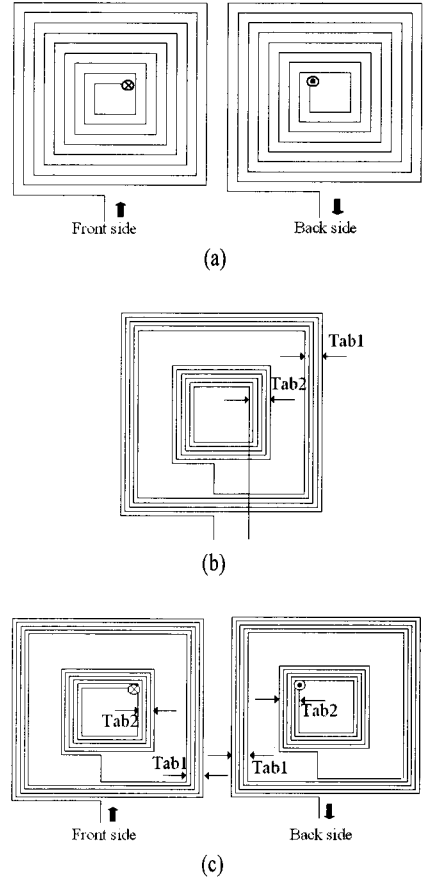


그림 6. (a) 양면 직렬 스파이럴형, (b) 직렬 2중 부등 간격 스파이럴형, (c) 양면 직렬 2중 부등 간격 스파이럴형

Fig. 6. (a) Double sided spiral type, (b) Series two-tabs spiral type, (c) Double sided series two-tabs spiral type.

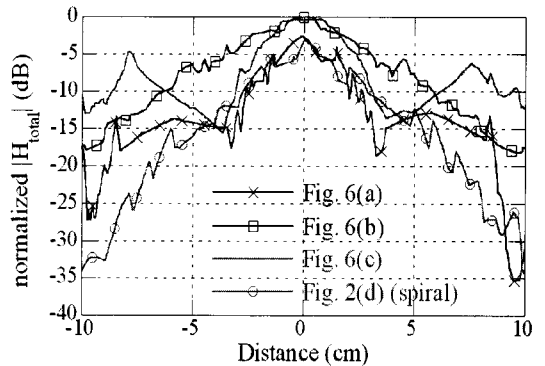


그림 7. 제안된 수신 안테나에 대한 자기장 세기 비교
Fig. 7. Comparison of magnetic field of proposed receive antennas.

심에서는 5 dB, 가장자리에서는 최대 15 dB 정도 큰 자기장 세기를 가진다. 양면 스파이럴 구조보다 제안한 단면 수신 안테나의 자기장 세기가 전체적으로 더 크기 때문에 수신 안테나로 사용하기 적당하다. 양면 2중 부등 간격 안테나는 양면의 도선이 겹치는 부분에서는 큰 자기장 세기를 가지고 있으나, 탭 사이에서는 상호 간섭에 의해서 상쇄되는 특성이 있기 때문에 전체적인 수신량은 양면 스파이럴 또는 단면 스파이럴형과 유사하거나, 조금 더 나은 특성을 보인다. 수신 안테나는 부하와 함께 제한된 공간에서 실장하기 위하여, 크기가 작아야 하기 때문에 3중 이상의 다중 구조를 적용시키기 어려워, 수신 안테나에는 2중 탭을 갖는 부등 간격 단면 또는 양면 안테나 구조가 적당하다.

IV. 송·수신 안테나 제작 및 측정

앞에서 제안한 안테나의 시뮬레이션을 통해 기존 안테나에 비해 우수한 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 그래서 실제로 제안한 안테나와 기존의 안테나를 그림 8과 같이 제작하고 측정을 통해 그 특성을 검증하였다.

그림 8은 시뮬레이션과의 비교를 위해 가로 20 cm, 세로 20 cm로 두께 1 mm의 구리 나선을 사용하여 동일 크기로 제작한 안테나이다. 안테나의 특성을 측정하기 위해 그림 8(d)의 안테나를 가로 45 cm, 세로 45 cm 크기로 제작하여 측정용 송신 안테나로 사용하였다. 측정에는 HP8753D 벡터 회로망 분석기와 HP8563EC 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

그림 9는 수신 안테나의 성능을 확인하기 위해 측정용 송신 안테나 위에서 수신 안테나를 이동시키면서 위치에 따른 수신 전력을 각 안테나 별로 비교한 것이다. 송신 안테나의 중심에서는 수신 전력이 비슷하였으나, 중심에서 10 cm 떨어졌을 때 4 dB, 20 cm 이상 떨어졌을 때에는 11 dB의 차이가 있다. 이는 제안한 수신 안테나가 기존의 스파이럴형에 비해 송신 안테나 중심에는 1 dB, 가장자리에서는 최대 11 dB 이상 더 수전할 수 있음을 의미한다. 이로써 제안한 수신 안테나가 위치 변화에 따른 안테나의 성능이 기존의 스파이럴형에 비해 우수함을 확인할 수 있었다. 그리고 제안한 송신 안테나 역시 가장자

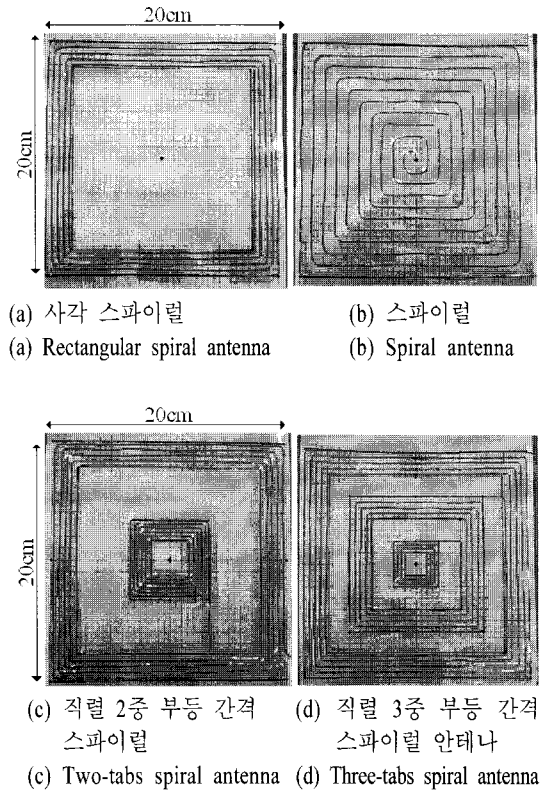


그림 8. 측정을 위해 제작한 동일 크기의 안테나((a), (b)- 기존 안테나, (c)- 수신용, (d)- 송신용)
Fig. 8. The fabricated antennas for measurement.

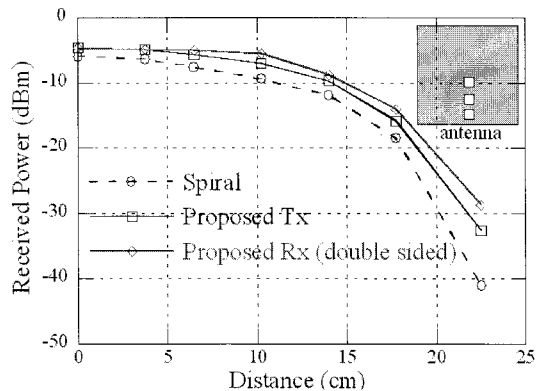


그림 9. 안테나 위치에 따른 수신 전력 비교
Fig. 9. Comparison of received power according to positions on the transmit antenna.

리로 15 cm 위치에서도 수신 전력이 5 dB 정도 밖에 감소하지 않는 것으로 보아 기존의 스파이럴형에 비해 안테나 개구면에서 자기장 분포가 더 균일함을

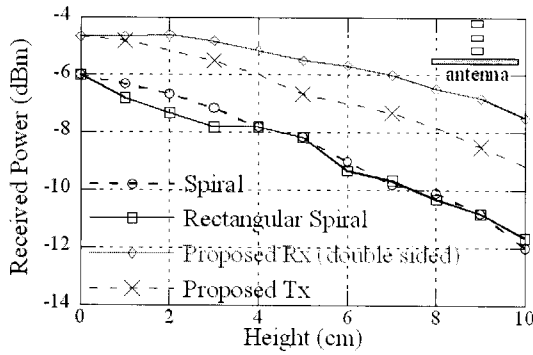


그림 10. 안테나 높이에 따른 수신 전력 비교
Fig. 10. Comparison of received power according to the height.

의미한다.

그림 10은 측정용 송신 안테나의 중심에서 높이에 따라 안테나별로 수신 전력에 어떤 차이가 있는지를 실험한 것이다. 높이 10 cm 위치에서 스파이럴 안테나는 수신 전력이 6 dB가 감소하였으나, 제안한 단면 수신 안테나는 4 dB, 양면 수신 안테나는 2 dB 정도 밖에 감소하지 않았다. 제안한 안테나가 기존의 스파이럴 안테나에 비해 전체적으로 수신 전력이 1.5 dB에서 최대 4 dB 이상 크고, 높이에 따른 변화 또한 4 dB 더 작았다. 따라서 제안한 수신 안테나는 송신 안테나 내의 높이와 위치에 따른 전력 수전량이 더 크기 때문에 기존의 안테나에 비해 우수한 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

V. 무선 전력 전송 시제품 제작

제안한 송수신 안테나를 이용하여 10 cm 이내의 근거리에서 LED 조명을 위한 무선 전력 전송 시제품을 제작하였다. 그림 11은 실제로 제작된 시제품을 나타낸다.

저주파 발생기는 별도로 제작하지 않고, Agilent 33250A 함수 발생기(function generator)를 사용하여 주파수 132 kHz에서 26.98 dBm(약 500 mW)의 전력을 공급하였다. 송신 안테나를 함수 발생기와 임피던스 매칭 회로를 통해 연결시켜 송신부를 구성하고, 수신부는 수신 안테나와 정류 회로, 부하를 연결하여 구성하였다. 이때 송신부의 임피던스 매칭 회로에서는 커패시터만 사용하였는데, 이는 인덕터 소자를

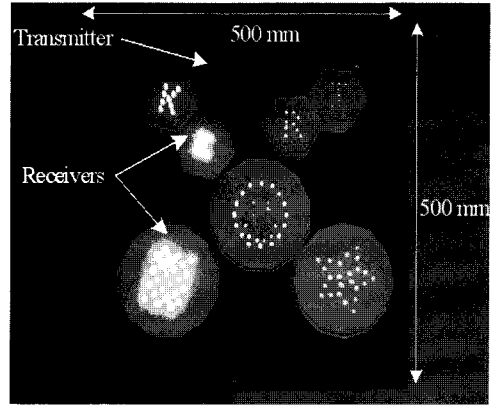


그림 11. 무선 전력 전송 시제품 동작 사진
Fig. 11. Photograph of a proto-type of WPT system.

사용할 경우 상용 소자의 값이 세밀하지 않아서 정확하게 매칭시키기가 어렵고, 송신 안테나와 가까이 있기 때문에 안테나에서 발생하는 자기장으로 인해 인덕터의 인덕턴스가 변할 수 있어서 매칭의 정확도를 낮추는 결과를 초래하기 때문이다. 정류 회로는 많은 실험을 통해 변환 효율이 높은 1N5819의 쇼트키 다이오드를 사용한 전하 펌프^{[13]~[15]} 회로로 구성하였다. 그리고 부하로 청, 백, 황, 적색의 고휘도 LED를 사용하여 한국전기연구원(Korea Electrotechnology Research Institute)의 약자인 알파벳 K, E, R, I의 모양을 나타낸 수신기 4개와 별, 스마일, 한국전기연구원 로고 모양을 다양한 색의 LED를 사용하여 제작한 수신기 3개를 제작하였다. 적, 황색 LED의 동작 전압은 1.8 V이고, 나머지는 2.8 V이다.

VI. 결 론

저주파 자기장을 이용한 전자기 유도 방식의 무선 전력 전송 시스템의 효율을 개선할 수 있는, 다중 탭을 갖는 스파이럴형 안테나를 개발하였다. 제안한 안테나는 기존의 스파이럴 또는 사각 스파이럴 안테나에 비해 중심에서는 3 dB 이상, 가장자리에서는 10 dB 이상 전송 효율이 향상됨을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 증명하였다. 제안한 안테나는 2중, 3중만이 아니라 안테나의 면적에 따라 3중 이상의 다중 탭을 갖도록 설계할 수 있다. 그리고 다중 탭을 갖는 안테나를 단위 소자로 하여 각각 직렬로 배열한 어레이 안테나를 구성할 수도 있다. 특히, 제안한 안

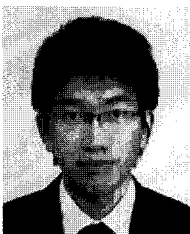
테나는 인쇄 회로 기판을 이용하여 쉽게 제작이 가능하고, 아날로그 회로와 일체형으로 제작이 가능하며, 저주파 무선 전력 전송뿐만 아니라 저주파 RFID에서도 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] "배터리 충전도 무선으로", *Nikei Electronic Asia*, 2007년 6월.
 [2] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. MTT-32, no. 9, pp. 1230-1242, Sep. 1984.
 [3] J. O. McSpadden, John C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology", *IEEE Microwave Magazine*, 2002.
 [4] T. Sekitani, M. Takamiya, Y. Noguchi, S. Nakano, Y. Kato, K. Hizu, H. Kawaguchi, T. Sakurai, and T. Someya, "A large-area wireless power-transmission sheet using printed organic transistors and plastic MEMS switches", *Nature Materials*, pp. 413-417, Jun. 2007.
 [5] A. Kurs, M. Soljacic, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, and P. Fisher, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances", *Science Express*, Jun. 2007.
 [6] 이형주, "소형·경량의 무선 전력 송수신 장치", 국내 특허 #10-007-0017804.

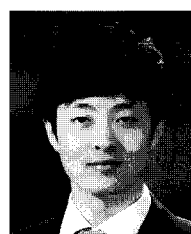
[7] 이형주, "방사 무선 전력을 이용한 무접점 전기 발광 장치", 국내 특허 #10-2006-0105306.
 [8] Peter Scholz, "Analysis of energy transmission for inductive coupled RFID tags", *IEEE International Conference on RFID*, Mar. 2007.
 [9] Ansoft, LLC, HFSS v.11.
 [10] Xun Liu, S. Y. Hui, "Simulation study and experimental verification of a universal contactless battery charging platform with localized charging features", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 6, Nov. 2007.
 [11] Christian Reinhold, "Efficient antenna design of inductive coupled RFID-Systems with high power demand", *Journal of Communications*, vol. 2, no. 6, Nov. 2007.
 [12] 김진욱 외, "무선 전력 전송을 위한 다중 탭을 갖는 스파이럴 형 안테나", *춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집*, 일산 킨텍스, 32(1), p. 150, 2009년 5월.
 [13] J. Dickson, "On-chip high-voltage generation in NMOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 11, no. 6, pp. 374-378, Jun. 1976.
 [14] 김진봉, "2.4 GHz 주파수대 MOSFET을 이용한 칩상 전력 변환용 아날로그 입력단 설계에 대한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1999.
 [15] Joe Tate, et al., "Seismic warning system using RF energy monitor", U.S. Patent Application #4628-299.

김진욱



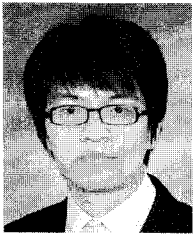
2009년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2009년 3월~현재: 과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 무선 전력전송

손현창



2003년~현재: 한양대학교 전자 및 통신공학과
 [주 관심분야] 무선 전력전송

정 승 호



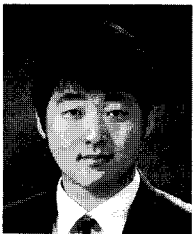
2003년~현재: 한양대학교 전자정보시스템공학과
[주 관심분야] 무선 전력전송

김 관 호



1978년: 송전대학교 전자공학과 (공학사)
1980년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1980년~1983년: 한국전력공사
1983년~현재: 한국전기연구원 전기정보망 연구센터 센터장
[주 관심분야] 전파통신, 전력선통신 시스템, 무선에너지 전송, UWB레이더 및 센서

김 승 균



2003년~현재: 한양대학교 전자 및 통신공학과
[주 관심분야] 무선 전력전송

박 영 진*



1997년: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
1999년: 한국과학기술원 전기전자과 (공학석사)
2002년: University of Karlsruhe 전기전자과 (공학박사)
2002년 11월~현재: 한국전기연구원 전기정보망연구그룹
2004년 3월~현재: 과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학과 겸임교원
[주 관심분야] Impulse UWB Image Radar, Impulse Radio Communication and Positioning, Automotive Radar, Digital Beam Forming(DBF), Wireless Power Transmission, Power Line Communications(PLC)

*교신저자