

경피적 에너지전송 시스템의 효율성 향상에 관한 기초적 연구

정지훈, 김동욱
 순천향대학교 대학원 정보제어공학과

A Basic Study on increase of efficiency for a Transcutaneous Energy Transmission System

J. H. Chung and Kim. Dong-Wook
 Department of information Control Engineering, Graduate School, Soonchunhyang University

Abstract

All artificial internal organs which are using electric energy supply energy with inductive couple. Transcutaneous energy transmission system enhance survival chance of the patients and quality of life by reducing volume and mass.

In this research, we used both tune in transmission system in state of fixing cycle in order to increase the voltage gain and the current gain and to reduce effect of leakage inductance. Also to maximize the effect of resonance, a constant frequency duty cycle control method is used. Test is progressed with Litz wire which is set up with various sizes of core to minimize size of converter.

This research is aimed in analysis of transcutaneous energy transmission system and in measuring of stability and efficiency of Lithium-ion battery charge which are using transmitted energy.

서론

인공심장 뿐만 아니라 전기 에너지를 이용하는 모든 인공장기에서 유도결합으로 에너지를 공급하는 무선 에너지 전송장치는 부피와 질량을 줄여서 환자의 생존 가능성을 높이고 삶의 질을 높이며 안정적으로 필요한 에너지를 공급하는 것을 최대의 과제로 하고 있다. 인공심장의 무선 에너지 전송장치는 전원공급의 연속성이 가장 중요한 문제이기 때문에 주변의 여건이 특히 중요하다.

본 논문에서는 전압 이득과 전류 이득을 높이고 누설 인덕턴스의 영향을 줄이기 위해 주파수를 고정한 상태에서 전송시스템에 양단 공진을 사용하였다. 컨버터의 크기를 최대한으로 줄이기 위한 실험의 하나로 리츠와이어를 이용한 코어의 크기를 여러 가지로 설정하여 실험을 진행하였다.

그리고 2차측의 교류전원을 정류하여 나온 24V의 직류 전원을 레귤레이터를 이용하여 전원을 안정화를 시키고, 이 안정된 전원을 이용하여 리튬이온전지를 충전시키는 방식으로 구성하였다. 무선에너지 전송시스템에 대한 분석을 하고 전송된 에너지를 이용 할 리튬이온전지 충전회로를 설계하여 실험을 통해 안정성 및 효율에 대해서도 측정한다.

무선 에너지 전송장치의 구성

무선 에너지 전송 시스템의 기본 구조는 체외의 구동 장치가 직류전원을 교류로 변환하여 1차측 코일에 교류 전원을 인가하면, 체내에 이식된 2차측 코일에 교류 전원이 유도되고, 이것을 정류하여 직류전원을 얻는 방식이다.

그림 1에서는 변압기의 1, 2차측과 피부에서의 배치를 보여 준다.

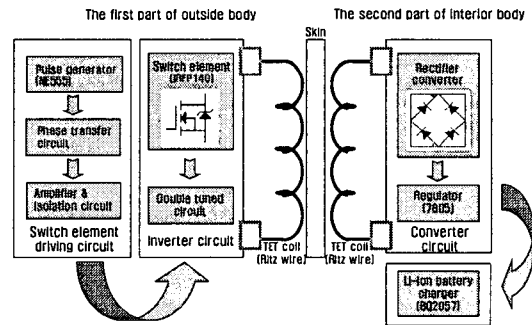


그림 1. 무선 에너지 전송시스템의 블록다이어그램

(1) 인버터 회로(양단 공진 회로)

전압이득과 전류이득을 높이기 위해서 커패시터를 변압기의 1, 2차측 누설 인덕턴스에 각각 직렬로 연결한다. 스위칭 주파수를 공진 주파수 가까운 값에서 동작 시키면 공진을 일으키며 누설 인덕턴스의 임피던스를 낮추어 에너지 전달을 쉽게 한다.

양단 공진과 듀티 제어를 사용함으로써 에너지를 효과적으로 전달 할 수 있었다.

(2) 1, 2차 코일

자기 유도형 무선 에너지 전송시스템은 체외의 1차 코일에 사인파 형태의 교류 신호를 인가하여 경피질 내에 삽입된 2차 코일로 에너지를 전송한다. 이때 1차 및 2차 코일에서의 에너지 손실은 내부저항에서 기인하므로 이를 최소화하기 위해 기는 동선 40가닥을 한 선으로 묶어서 만든 리츠선(Litz wire)을 사용하였다. 동일한 직경의 단선보다 코일의 표면적이 훨씬 크므로 고주파에서는 표피 효과에 의한 코일 내부 저항이 줄게 되어 손실을 감소시킬 수 있다.

그림 2에서 수평공극은 하나의 코일을 고정시킨 상태에서 중심점이 어긋난 만큼의 거리이고 수직공극은 코일의 간격거리이다.

표 1에서는 1차와 2차측 코일의 직경을 3가지로 설계하였다. 직

경의 크기를 3가지로 한 이유는 코일의 직경에 따른 효율을 알아보기 위해서이고, 인체에 삽입할 코일을 최소화 하려면 코일의 직경에 따른 효율에 관한 실험을 해야 하기 때문이다. 직경이 10cm, 7cm인 코일은 턴수를 2종류로 제작하였다. 턴수에 따른 효율에 관해서도 실험을 실시 하였다.

(3) 정류 컨버터 회로

정류다이오드를 이용하여 2차 코일로부터 유입되는 교류를 직류로 변환하는 풀 브릿지 회로를 사용하였다. 정류 컨버터에서 출력되는 전원은 3단자 전압 레귤레이터를 이용하여 안정된 후 삽입될 리튬이온전지 충전회로와 연결되게 한다.

(4) 리튬이온전지 충전기

BQ2057칩을 이용하여 정전류 충전방식과 정전압 충전방식을 같이 사용하였고 충전 초기에는 정전류 충전 방식을 사용하여 충전 전류를 단계적으로 높여가며 급속 충전을 진행시키고, 전지의 전압이 80%이상 충전되면 충전 전류를 단계적으로 줄이며 충전 말기에는 정전압 충전방식으로 나머지 용량을 충전시키는 방식을 사용하였다.

실험 결과

무선 에너지 전송시스템의 입력 전압은 20V이고, 1차측 전류의 양은 3A를 사용하였으며 1차측 최종 출력 전류도 3A가 된다. 전송에 사용된 코일은 4종류이고, 각각의 실험에 대한 결과 그림 3과 그림4를 이용하여 표현하였다.

실험은 수직공극과 수평공극의 거리에 따른 전압과 전류를 측정하여 전압 이득과 전류 이득을 측정할 수 있었고, 수직공극의 거리는 접해있을 때를 0cm라고 하고 0cm, 0.4cm, 0.8cm, 1.0cm, 1.2cm, 1.6cm, 2.0cm으로 하여 측정을 하였다. 그리고 인체에 적용했을 경우를 상정하여 공극에 워터팩을 삽입하여 위의 실험을 재 실시하였다. 피부의 투자율과 워터팩의 투자율이 거의 같기 때문에 사용을 하였고, 피부의 투자율은 공기의 투자율과도 거의 같다. 워터팩을 사용한 실험에서는 워터팩으로 인해 수직공극을 0cm로 할 수가 없었기 때문에 0.4cm에서부터 측정을 실시하였다.

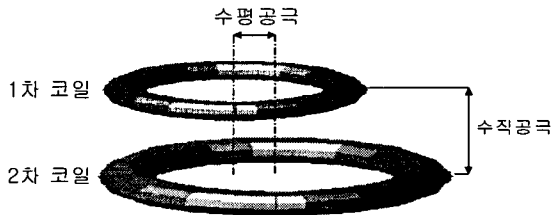


그림 2 양측 코일에 관한 공극의 정의

표 1. 자기유도 1, 2차 코일

| 코 일 | 직 경(cm) | 권 수(회) | 권 수(회) |
|-----|---------|--------|--------|
| 1 | 10 | 7 | 20 25 |
| 2 | 10 | 7 | 14 21 |
| 3 | 8 | 6 | 14 21 |
| 4 | 5.5 | 4 | 14 21 |

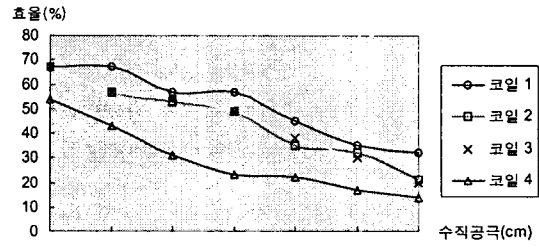


그림 3. 수직 공극에 따른 효율의 변화량

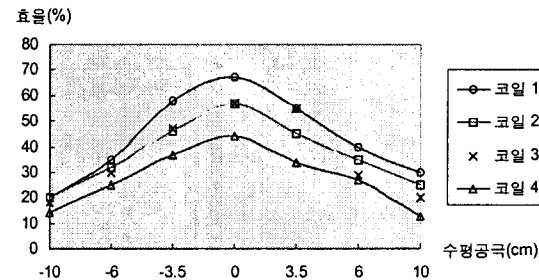


그림 4. 수평 공극에 따른 효율의 변화량

그림 3에서 코일1은 수직 공극이 0cm 에서 1cm까지는 60%정도의 효율을 유지하게 되지만 수직 공극이 1cm를 넘게 되면 효율이 많이 떨어지게 되는데 그 이유는 자화 인덕턴스가 작아져서 순환 전류가 커지게 되며 2차측으로 전송되는 에너지의 효율이 줄어들게 된다. 코일 2는 턴수의 축소로 인해 코일 1에 비해 효율에 있어서 약간의 저하가 있다. 코일 3은 크기가 축소되기는 했지만 효율적인 면에서는 코일 2의 결과와 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 코일 4에서는 크기 축소로 인해 코일 3의 결과와 효율적으로 많은 차이를 주고 있다.

그림 4에서 1, 2차 코일의 수직공극을 0.4cm 고정시킨 상태에서 2차측 코일을 좌에서 우로 움직여 보았다. 수평공극은 코일의 X축 좌표 값에서 마이너스(-) 부호가 있는 쪽은 1차측 코일을 중심점에 고정시킨 상태에서 2차측 코일을 좌측으로 이동시켰을 때의 결과이고, 플러스(+) 부호가 있는 쪽은 2차측 코일을 우측으로 이동시켰을 때의 결과이다. 코일의 위치가 변함에 따라 효율에도 많은 영향을 준다.

위의 실험을 종합한 결과 2차측으로 전송되는 에너지의 양을 최대한으로 하면서 인체에 삽입되는 부분의 면적을 최소한으로 줄이기 위한 코일의 크기는 1, 2차측 각각 8cm에 6cm이고, 턴수는 14턴과 21턴이라는 것을 실험결과를 통하여 알 수 있었다. 실험을 실시한 후 공극의 사이에 워터팩을 삽입한 후 수직공극의 크기를 0.4cm부터 2.0cm까지 다시 측정을 실시하였으나 워터팩을 삽입을 하지 않았을 때와 결과가 똑같이 나왔다. 그 이유는 위에 설명한 바처럼 워터팩과 공기의 투자율이 같기 때문이다.

전압 (V)

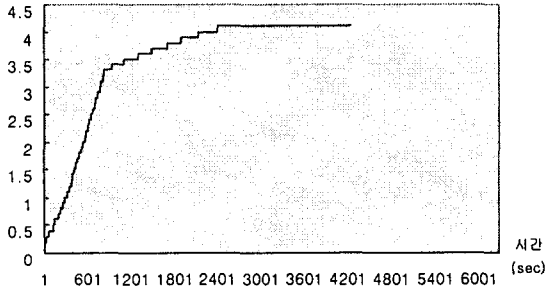


그림 5. 무부하시 리튬이온 전지의 충전 결과

전압 (V)

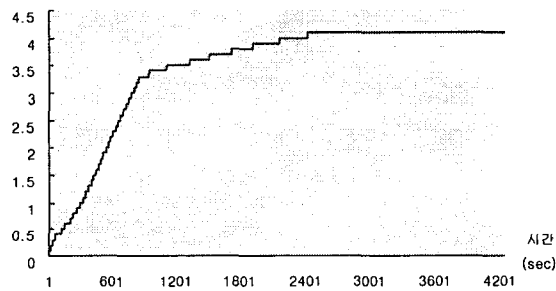


그림 6. 부하 모터 구동 상태에서 리튬이온 전지 충전결과

무선에너지 전송시스템에서 출력되는 전압은 레귤레이터 7805를 이용하였기 때문에 5V의 안정된 직류 전압을 갖게 된다. 리튬 충전 시스템에서 필요로 하는 전원이 4.5V이상의 전압이므로 충전을 하는 데는 전혀 지장이 없었다. 충전에 사용한 리튬이온 전지는 엘지화학의 ICR28650을 이용하였고, 저장 용량은 2000mAh이고, 충전이 완료되었을 때 출력 전원 전압은 3.2~3.5V정도이다. 우선 확실히 방전을 시킨 리튬이온 전지를 이용하여 무선 에너지 전송시스템과 연결된 리튬이온 전지 충전시스템을 이용하여 충전을 시킨 결과 3.2~3.5V가 출력될 때까지 충전과 방전을 반복해 본 결과 평균 충전 시간은 40~50분정도가 소요되었다.

A/D 컨버터를 이용하여 1초 단위로 전압 값을 입력 받았다.

그림 5는 무부하시 80%까지 충전되는 시간은 약900초(약15분)정도가 소요된 것을 알 수 가 있었다.

그림 6은 무선 에너지 전송시스템의 수직 공극의 크기를 2cm 정도로 하여 2차측으로 전송되는 전력을 12W정도로 하였을 때 10W 부하 모터에서 거의 모든 전력을 소비하는 상황 하에서 리튬이온 전지를 병렬로 충전할 때 전압치를 측정하는 것이다.

그림 6에서 부하모터와 함께 충전을 하였을 때는 80%까지 충전될 되는데 약2400초(약40분)정도가 소요된 것을 확인 할 수 있고, 부하모터를 구동하며 충전 시 10W의 전력을 사용하는 관계로 지연 현상이 발생되며 이는 무부하시에 비해서 약 3배 정도의 시간이 더 소요된 것이다.

향후 과제 및 고찰

향후 과제로는 2차코일의 자체 크기나 이식된 피부 두께를 고려하여 인공심장의 평균 부하 조건에서 최적의 코일 턴수와 크기, 인덕턴스를 갖도록 설계할 수 있도록 하며, 코일간의 전송 시 발생하는 손실을 줄이기 위해서는 내부 저항을 최소화해야 하므로, 사용한 리프와이어의 가닥수가 현재보다 증가 될 경우 코일 내부에서 소모되는 손실을 줄일 수 있어, 향후 전송 효율이 개선 될 수 있을 것이다. 그리고 인체에 대입하였을 경우의 효율을 측정하기 위한 워터팩 실험을 실시하여, 기존 공극에서 실시한 실험과 같은 효율을 유지하는 것을 알았지만, 효율적인 문제에 관한 고찰일 뿐 실제 인체에 대입하였을 때의 문제, 즉 체내에 삽입된 무선 에너지 전송시스템의 온도로 인한 주변 온도의 상승으로 인한 피부괴사에 관한 부분과 체내 삽입된 회로의 장기간 배립에 의해 2차측 코어와 회로 주변의 조직 변화를 주기적으로 관찰하여 재료의 변성으로 인한 전송 효율의 관계에 대해서도 관찰을 실시하여야 한다. 아직 실제 생체에 대입하여 실험을 실시하지 못한 관계로 위의 실험에 관계된 사항은 아직 확인을 할 수가 없었다. 그러므로 무선 에너지 전송시스템을 생체에 대입하여 실험을 하기 위해 많은 모의실험을 통하여 인체 적합성 여부 및 전체 시스템의 안정성들을 고려한 실험 결과들의 고찰이 필요할 것이다.

결론

본 논문에서는 1~2cm의 공극을 가지는 무선 에너지 전송시스템의 누설 인덕턴스의 영향을 줄이기 위해 양단 공진을 제안하였고, 양단 공진을 이용한 인버터 회로의 설계 과정을 제시하였으며, 설계된 무선 에너지 전송시스템을 이용하여 실험을 진행한 결과는 위에서 제시하였다.

인공심장용 무선 에너지 전송시스템은 체내에 삽입되는 부분이 존재하기 때문에 전체 시스템의 소형화가 가장 필요한 부분이고, 또 소형화를 하였을 때에도 전송 효율에 있어서 많은 차이를 보이지 않아야 한다. 그런 문제에 대한 고찰을 위하여 코어의 크기와 턴수를 조정하는 실험을 함으로써, 코어의 소형화를 위한 실험을 실시하였으며, 코어의 크기와 턴수에 따른 각각 효율을 측정하여 최대한의 에너지를 전송할 수 있는 코일을 선택하여 제시하였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대BIT 무선 부품 연구센터(R12-2002-052-01004-0)의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

1. Hidetoshi Matsuki, "Energy Transfer System Utilizing Amorphous Wires for Implantable Medical Devices", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 1, No. 2, 1995
2. C.Schuder et al., "High Level Electromagnetic Energy transfer through closed chest wall", IRE Internet, Conv. Rec., Vol. 9, pp.116-126, 1961
3. 김창균, "Transcutaneous Energy Transmission with Double

- Tuned Duty Cycle Control", 서울대학교 대학원 전기 공학부 공학 석사 학위논문, pp.3-12, 1997.
4. Yoshinori Mitamura, Eiji Okamoto, and Tomohisa Mikami, "A Transcutaneous Optical Information Transmission System for Implantable Motor-driven Artificial Hearts", ASAIO Transactions 1990; 36: M278-M280