

피하 삽입 가능한 FPCB 기반 무선 전력전송 모듈 Wireless Transcutaneous Power Transmission using Integrated Flexible Inductors

*정기현¹, 김용호², 서정훈³, #김용준⁴

*K.H. Jung¹, Y. H. Kim², J. H. Seo³, #Y. J. Kim⁴ (yjk@yonsei.ac.kr)
연세대학교 기계공학과

Key words : flexible inductor, transcutaneous transmission

1. 서론

최근 생체삽입형 센서등의 시스템의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 생체삽입형 시스템의 가장 큰 이슈는 전력전송이다. 전력전송모듈은 신체 특성에 알맞도록 설계되어야 하므로, 생체적합성 및 기계적 유연성이 요구된다.

전력전송모듈은 크게 체내 외 유선 통신 방식과 체내 외 무선 통신 방식으로 분류할 수 있다. 유선 통신 방식은 체내에 삽입된 기구와 체외의 기구가 절연 전선 등을 통해 연결된 형태로, 높은 전력 전송 효율이나 간단한 기구 조작의 장점을 가진다. 하지만 전선이 피부를 관통하고 있으므로 일상생활에 제약을 받게 된다. 무선 통신 방식은 전자기 유도 방식을 이용한 한 쌍의 인덕터를 사용한다. 이 방식을 이용한 전력전송은 절연층 (피부)으로 인해 효율이 감소하는 단점이 있다.

본 연구에서는 생체 적합한 무선전력전송 모듈을 위해, 기계적 유연성과 생체적합성을 동시에 확보할 수 있는 유연 인쇄회로기판 기술에 기반한 인덕터를 제작하였다. 또한, 제작된 세가지 형태의 무선전력전송모듈의 효율은 시험관 실험 (in vitro test)을 통하여 확인 및 비교하였다.

2. 인덕터 제작

인덕터의 제작공정은 Fig. 1에 도시한 것과 같이 폴리이미드 소재 위에 드라이 필름을 부착하고 간단한 노광과 식각 공정을 거쳐 제작하게 된다. 이러한 공정을 통해 제작된 인덕터의 선폭은 200 μm 이며, 선간격은 100 μm 이고 Fig. 2는 제작된 인덕터의 사진이다. 제작된 인덕터는 유연하고 생체에 적합하다는 장점이 있지만, 효율이 다소 떨어진다. 이것을 개선하기 위하여, 도금을 통한 자속을 집중시켜 주는 방법으로 효율 증대를 도모하였다. 이러한 방법으로 두가지 형태 (plate core 와 pot core)의 새로운 인덕터를 제작하였다. 사용한 합금은 니켈/철이며, 도금용액의 조성은 Table 1에 나타내었다. Plate core 인덕터는 100 mA 에서 2 시간동안 도금하여 18 μm 두께의 합금층을 형성하였으며, pot core 인덕터는 200 mA 에서 1 시간동안 도금하여 18 μm 두께의 합금층을 형성하였다. 전자기장의 집중도는 수치해석을 통하여 확인하였다 (Fig. 3). Fig. 4 와 5 는 ‘plate core 인덕터’의 제작과정 및 결과이며, Fig. 6 과 7 은 ‘pot-core 인덕터’의 제작과정 및 결과이다.

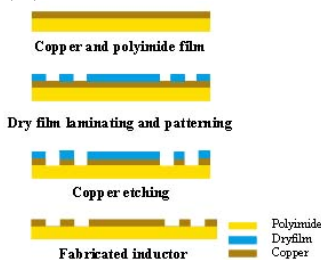
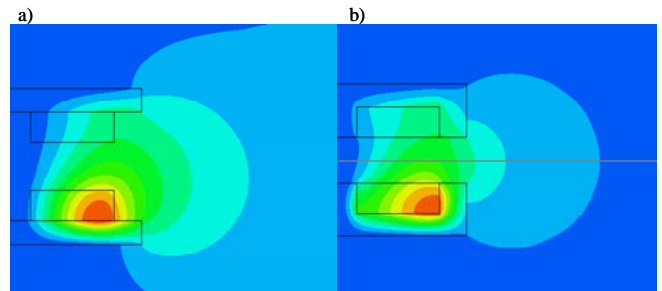


Fig.1 Fabrication process of an air core inductor



Fig.2 Optical image of fabricated air core inductor



(a) Plate core type (b) Pot core type
Fig.3 Magnetic field between inductor pairs

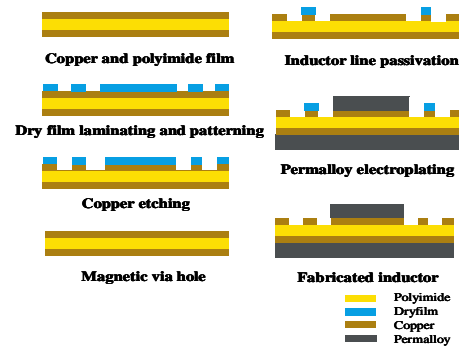


Fig.4 Fabrication process of a plate core inductor

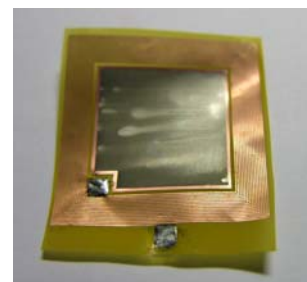


Fig.5 Optical image of a plate core inductor

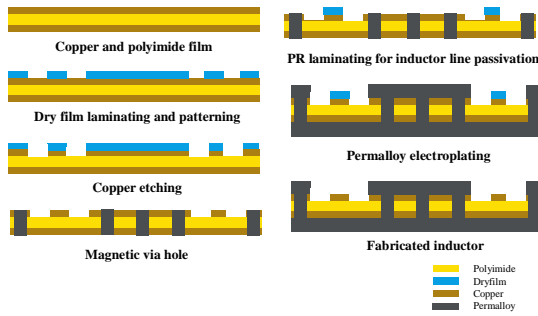


Fig.6 Fabrication process of a pot core inductor

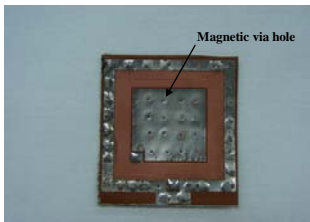


Fig.7 Optical image of a pot core inductor

Table 1 Composition of Ni-Fe (81%-19%) electroplating solution

Component	Quantity (g/l)
NiSO ₄ ·6H ₂ O	200
FeSO ₄ ·7H ₂ O	8
NiCl ₂ ·7H ₂ O	5
H ₃ BO ₃	25
Saccharin	3

3. 실험 및 결과

제작한 세가지 형태의 인덕터의 효율을 인덕터간의 거리를 5 mm 에서 10 mm 로 변화시키면서 오실로스코프 (Waverunner 6200A, LeCroy)와 고정함수 발생기(CFG253, Tektronix)를 사용하여 공기 중에서 측정하고, 이후 인체의 피부구조와 유사한 돼지의 피부를 이용하여 측정 및 비교 하였다. 측정에 사용된 주파수는 10 kHz 였다. 공기 중에서 측정된 인덕터의 효율은 합금이 도금되지 않은 인덕터는 30%, plate core 인덕터는 39%, pot core 인덕터는 44%였다. Fig. 8 은 공기를 매개로 측정된 세가지 형태 인덕터의 전력 전송 효율 그래프이다. 실험결과에 의하면, 합금이 도금되지 않은 인덕터에 비해 도금된 인덕터의 효율이 각 형태에 따라 각각 9%와 14% 향상됨을 확인할 수 있었다. 이러한 전력전송 효율의 향상은 돼지의 피부를 매개로 한 전력전송에서도 확인되었다. 측정된 전력전송 효율은 인덕터간의 거리가 5 mm 일 때 합금이 도금되지 않은 인덕터는 20%, plate core 인덕터는 27%, pot core 인덕터는 32%였다. 피부는 공기보다 투자율 값이 커서 효율 역시 증대될 것으로 예상 되었으나 피부의 불투명성으로 인한 인덕터 간의 정렬이 난해하여 전력전송효율이 저하되는 경향을 보였다.

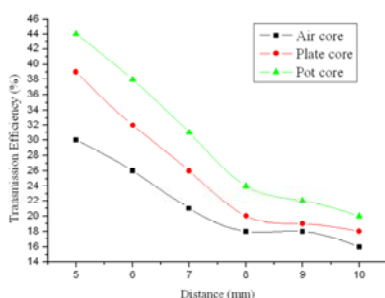


Fig.8 Graph of transmission efficiency along three kind inductors at in vitro experiment

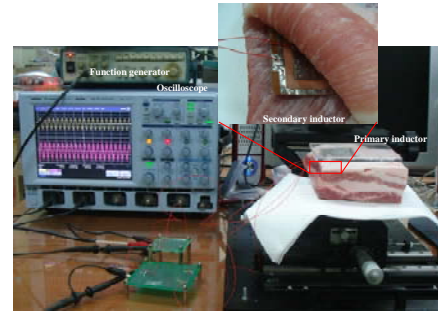


Fig.9 Ex vivo experiment setup using porcine (pig) skin

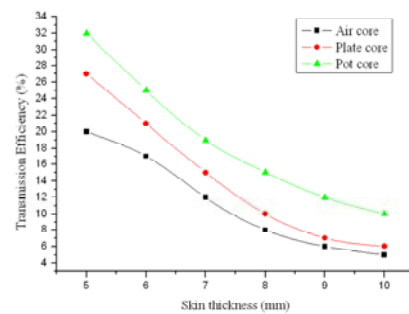


Fig.10 Graph of transmission efficiency of three kind inductors at ex vivo experiment

4. 결론

본 연구에서는 생체삽입형 시스템에 전력을 공급하기 위한 생체적합하고 유연한 인체회로기관 제작기술에 기반한 인덕터와 이의 전력전송효율 향상방안을 제안하였다. 제안된 인덕터의 경우, 기존의 무선전력전송모듈에 비해 크기가 작고 생체삽입에 적합한 형태로 생체 적합성을 크게 개선하였다. 또한, 합금을 도금함으로써 전자기파를 인덕터에 집중시킴으로써 전력전송효율을 향상시켰다.

후기

본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신선도 기반기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다. (과제번호: a1100-0501-0028)

참고문헌

1. L. Rucker, A. Lossinsky, "Percutaneous Connectors," 30th neural prosthesis workshop, NINDS, NINCD, NIH, pp.12-14, Oct. 1999
2. G. B. Joung, B. H. Cho, "An Energy Transmission System for an Artificial Heart using Leakage Inductance Compensation of Transcutaneous Transformer," IEEE Trans. Power electronics, vol. 13, no. 16, pp. 1013-1022, 1998
3. S. S. Mohan, M. del M. Hershenson, S. P. Boyd, T. H. Lee, "Simple Accurate Expression for Planar Spiral Inductances," IEEE J. Solid-state circuits, vol. 34, no. 10, pp. 1419-1424, 1999
4. H. A. Wheeler, "Simple Inductance Formulas for Radio Coils," in Proc. IRE. vol. 16, no. 10, pp. 1398-1400
5. E. F. Prokhorov, J. G-Hernandez, Y. V. Vorobiev, E. M-Sanchez, T. E. Prokhorova, G. Z. L. de Larrea, "Electrophysical Characterization of Biologically Active Points and Human Skin by in Vivo Impedance Measurement," in Proc. 22nd EMBS international conference, Chicago, IL, Jul. 23-28, pp. 2636-2639, 2000