

FEA 시뮬레이션을 이용한 커패시티브 센서 설계; 체내 동맥 혈류량 모니터링이 가능한 이식형 텔레메트리 시스템 개발

강소명*, 이재호**, 웨이쥔***
*계명대학교 대학원 의학과 의용공학전공
**계명대학교 의과대학 해부학교실
***계명대학교 의과대학 의용공학과
e-mail : weiqun@kmu.ac.kr

Design of Capacitive Sensors using FEA Simulation; Development of an Implantable Telemetry System to Monitoring the Blood Pressure of Artery

So-Myoung Kang*, Jae-Ho Lee**, Qun Wei***

*Dept of Biomedical Engineering, Graduate School of Medicine, Keimyung University

**Dept of Anatomy, School of Medicine, Keimyung University

***Dept of Biomedical Engineering, School of Medicine, Keimyung University

요 약

본 연구는 혈압 측정을 위한 체내 삽입형 카테터에서 발생 된 문제들을 고려하여, 커패시티브 센서를 이용한 체내 동맥 혈류량 모니터링이 가능한 텔레메트리 시스템을 개발하기 위해, 제안하는 커패시티브 센서를 유한요소 해석을 이용하여 3D 모델링 및 시뮬레이션을 설계한다. 본 연구에서는 커패시터 센서를 이용하며, 메인센서와 참조센서로 구성된다. 혈관이 좁아지는 것을 고려하여 피가 흐르는 혈관 내부의 직경을 2.6 ~ 1.2cm로 0.2cm씩 줄어들게 설계하였으며, 시뮬레이션을 통해 커패시터 센서의 측정값은 혈관이 좁아짐에 따라 감소하는 것을 확인하였다. 이를 통해 커패시터 센서를 이용하여 동맥경화의 관찰 가능성을 확인하였으며, 향후 체내 이식을 통해 혈류량을 모니터링 할 수 있는 텔레메트리 시스템의 실현 가능성을 확인 하였다.

1. 서론

심장질환은 우리나라에서 전체 사망의 20%를 차지하며, 악성신생물(암) 다음으로 사망률이 높은 질환이다[1]. 그 중 동맥경화증은 혈관의 가장 안쪽에 있는 내막에 콜레스테롤이나 중성지방이 쌓여 혈관이 좁아지고 딱딱하게 굳어지면서 막히게 되는 현상으로, 각종 장기의 기능을 저하시키고 심장에 혈액을 공급하는 관상동맥을 좁히거나 막아 혈액 순환에 문제를 일으키며 그로 인해 협심증이나 심근경색을 발생시켜 사망에 이르게 한다[2]. 따라서 이러한 심장질환을 예방하기 위해서는 동맥경화를 관찰 할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 최근 체내 삽입형 시스템을 통한 생체 신호에 관한 연구들이 많이 진행되고 있다[3]. 이 연구방법은 정확한 데이터를 얻을 수 있지만 카테터를 혈관에 삽입해야 하기 때문에 감염 및 부작용에 대한 위험성이 따르는 단점이 있다[4].

본 연구에서는 혈관에 카테터를 삽입하지 않고 혈관 외부에 부착하여 혈류량을 측정 할 수 있는 텔레메트리 시스템을 개발하고자 한다. 이 연구방법은 기존 압력 센서를

사용하여 혈관 삽입을 통한 혈압 측정 연구방법과는 달리 커패시터 센서를 사용하여 혈관 외부에 부착하기 때문에 감염에 대한 위험이 작다[5]. 또한 커패시터 센서는 외부 방해요소로 인한 데이터손실이 적고 원형 형태의 혈관에도 부착이 가능하여 사용에 적합하다. 본 논문에서는 제안한 시스템 개발에 앞서, 최적화된 센서를 설계하기 위해 유한요소해석(FEA)을 이용한 3D 기반의 시뮬레이션을 진행하였다[6]. 혈관이 좁아짐에 따라 커패시터 센서의 측정값을 확인하기 위해 혈관 내부의 직경을 2.6 ~ 1.6cm로 0.2cm씩 줄어들게 설계하였으며, 혈관 내부의 크기에 따른 정전용량 값의 변화를 확인하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서 제안하는 커패시터 센서는 정전용량 이론을 기본으로 하여 유한요소해석을 이용한 센서 모델링 및 시뮬레이션을 진행한다. 유한요소해석(FEA)이란 수치적인 근사해법으로 구하기 어려운 복잡한 모델을 조작 할 수 있는 유한개의 요소로 분할하고, 개별 요소의 특성을 계산

한 다음, 전체 요소의 특성을 모두 조합하여 전체 모델의 특성을 근사적으로 계산하는 방법이다[7].

그림 1은 커패시터 센서의 설계도이다. 그림1 (a)는 시물레이션 단면도이다. 케이스 및 커패시터 센서의 크기는 한국인의 복부 동맥혈관의 크기를 고려하였으며[8], 혈관의 직경은 3cm, 혈관벽의 두께는 0.2cm로 설계하였다. 제안하는 센서의 재질은 구리이며, 센서의 안쪽에 Polymer 재질을 코팅하여 혈관과 직접적으로 닿지 않게 만들어 안전성을 겸비하였다. 센서의 케이스는 PLA의 재질로 호르몬이 나오지 않고 내구성이 뛰어난 플라스틱의 이점을 결합한 친환경 재질이다[9]. 그림1 (b)는 커패시터 센서의 평면도를 보여준다. 센서는 메인 센서와 참조 센서로 구성되며, 2개의 센서가 한 쌍으로 폭과 간격이 동일하다. 참조 센서의 길이는 메인 센서 길이의 1/10으로 설계하여 정전용량 측정값 비율의 참고 및 보완 센서로 작동된다. 메인 센서 크기는 4.65 x 1 x 0.02cm(가로, 세로, 두께)이며 참조 센서는 4.65 x 0.1 x 0.02cm(가로, 세로, 두께)로 설계한다.

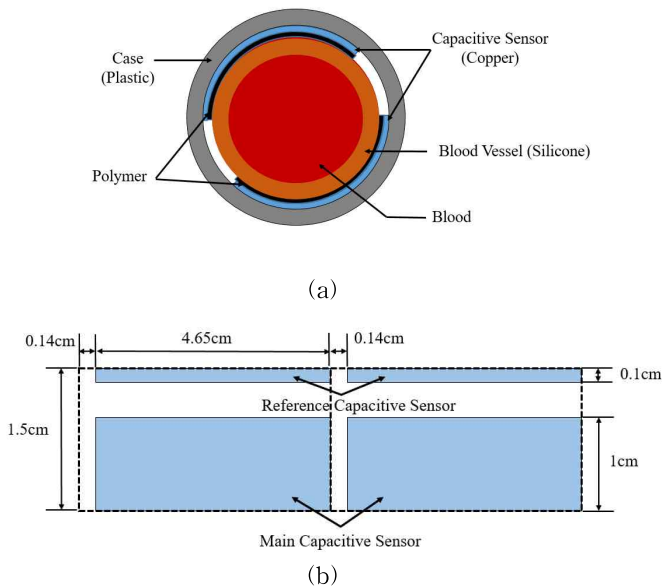


그림 1. 제안하는 커패시터 센서 시물레이션 설계도 (a) 시물레이션 단면도, (b) 커패시터 센서 평면도

시물레이션에서는 재질의 유전율 및 도전율을 고려하였다. 표 1은 설계된 커패시터 센서와 센서가 부착 될 동맥 혈관의 재질 등의 유전율 및 도전율을 나타낸 표이다.

표 1. 시물레이션에서 설정한 재질의 유전율과 전도율

Material	Relative Permittivity	Conductivity, [W/(m*K)]
Copper	1	400
Silicone	7.68E+1	4980
Water	5.98E+1	628.56
Acrylic Plastic	2.35	0.18
PDMS	2.75	0.16

3. 연구 실험

본 연구에서 제안하는 커패시터 센서를 유한요소해석을 이용하여 3D 모델링 및 시물레이션을 설계하였다. 센서 모델링을 위해서 유한요소해석 프로그램을 이용하였다.

설계된 혈관 내부 크기에 따른 커패시터 센서의 성능을 확인하기 위하여 Parametric Sweep을 이용한 시물레이션을 수행하였다. 이때 혈관이 좁아지는 것을 고려하여 피가 흐르는 혈관 내부의 직경을 2.6, 2.4, 2.2, 2.0, 1.8, 1.6, 1.4, 1.2cm로 0.2cm씩 줄어들게 설계하였으며, 혈관 내부의 크기 변화에 따른 커패시터 센서 측정 값 변화를 확인하였다. 측정 커패시터 센서의 2개 전극 측 간의 전위차를 생성하기 위해 3V 전압이 측정 커패시터 전극에 인가되고, GROUND 전극에 0V의 전압을 인가하여 설정하였다.

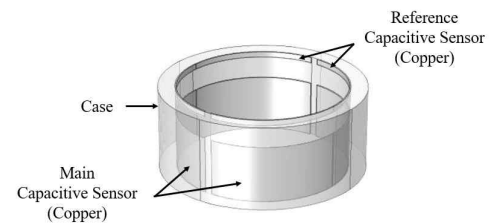


그림 2. 제안하는 커패시터 센서 3D 모델링

4. 연구 결과

그림3 (a)는 혈관 내부에 피가 가득 차 있을 때 윗면에 보이는 전기장 분포를 나타낸다. 그림을 통해서 혈관 내부에 흐르는 피에 의해 커패시터 센서 사이에 전기장이 유도됨을 확인 할 수 있다. 그림3 (b)는 혈관 내부의 크기에 따른 센서의 정전용량 시물레이션 결과이다. 그래프의 x축은 혈관 내부의 직경을 나타내고, y축은 정전용량 값을 나타낸다. 시물레이션 결과, 커패시터 센서는 혈관 내부 크기에 따라 정전용량 값이 줄어든다는 것을 알 수 있다.

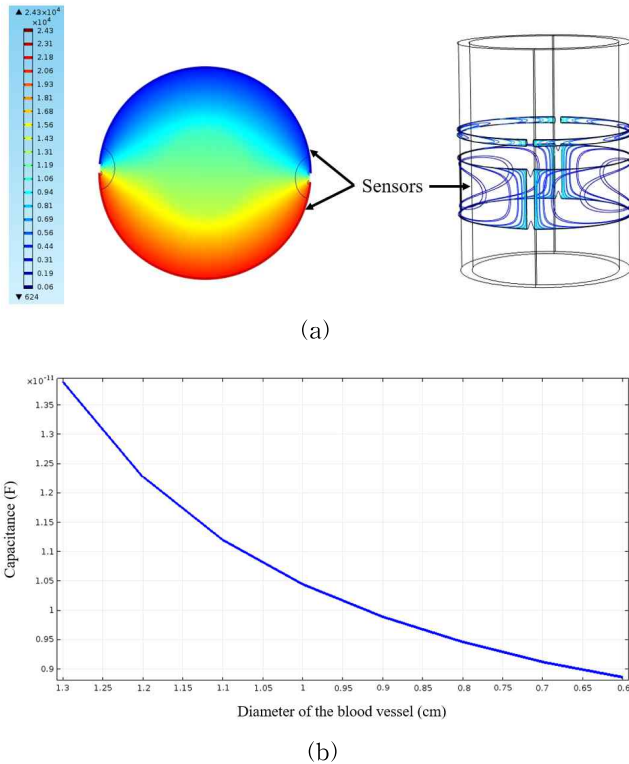


그림 3. 혈관 내부 크기에 따른 커패시터 센서의 2D 및 3D 모델링 FEA 시뮬레이션 결과 (a) 혈관 내부의 직경 크기에 따른 자기장 변화, (b) 커패시터 센서를 통해 측정된 정전용량 값 변화

5. 결론

본 논문에서는 체내 이식을 통해 정확한 혈류량을 측정할 수 있는 텔레메트리 시스템을 개발하기 위해 유한요소 해석을 이용한 3D 기반의 커패시터 센서 시뮬레이션을 설계 및 진행하였다. Parametric Sweep을 통해 혈관 내부 직경을 2.6 ~ 1.2cm로 0.2cm씩 줄였으며, 혈관 내부의 직경이 감소함에 따라 제안한 센서의 커패시터 값 또한 감소하는 것을 확인하였다. 이를 통해 혈관이 좁아지거나 막히는 현상을 커패시터 센서를 통해 측정할 수 있으며, 향후 체내 이식을 통해 혈류량을 모니터링 할 수 있는 텔레메트리 시스템에서 커패시터 센서의 실현가능성을 확인하였다.

6. Acknowledgements

이 연구는 2018년도 계명대학교 비사연구 기금으로 이루어졌음

참고문헌

- [1] 통계청, 2017 사망원인통계, 2018.
- [2] 최진호, “관상동맥질환(협심증과 심근경색),” 환경보건협회, Vol.29, No.369, pp. 36-37, 2007.
- [3] H.W. Roh, J.S. Kim, S.H. S and H.M. Kwon,

“Changes of Blood Flow Characteristics due to Catheter Insertion in the Stenotic Coronary Artery,” *Proceeding of the Fall Conference of the Korea Society of Mechanical Engineers*, pp. 1878-1883, 2002.

[4] J.J. Im, J.H. Kim, M.C. Hwang, C.J. Kim and C.S. Lessard, “Development of a Noninvasive/Continuous Blood Pressure Measuring System using Piezoelectric Sensor,” *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.46, No.3 pp. 440-444, 1997.

[5] S.H. Min, C.Z. Jin, M.H. Lee, C.A. Lee and D.G. Paeng, “Time Synchronized Measurement & Analysis of Ultrasound Imaging from Blood with Blood Pressure in the Mock Pulsatile Blood Circulation System,” *Joint Conference by KSNVE, ASK and KSME(DC)*, pp. 216-216, 2017.

[6] M.J. Kim, H.J. Park and Q. Wei, “Development of Water Level Sensor Using Capacitive Sensor to Encourage People to Drink Plenty of Water,” *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, Vol.12, No.2 pp. 70-77, 2018.

[7] T.J.R Hughes, *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*, United States of America: Courier Corporation, 2012.

[8] H.Y. Park, W.H. Kim and Y.W. Kim, “Measurement of Abdominal Aortic Diameter in Korean Adults,” *Journal of Korean surgical society*, Vol.47, No.5 pp. 680-689, 1994.

[9] T.G. Osimitz, M.L. Eldridge, E. Slotter, W. Welsh, N. Ai, G.S. Sayler, F. Menn and C. Toole, “Lack of Androgenicity and Estrogenicity of the Three Monomers sued in Eastman’s Tritan™ Copolyesters,” *Food and Chemical Toxicology*, Vol.50, No.6 pp. 2196-2205, 2012.