

FEM 분석을 통한 맥진센서모듈의 패키징 형태와 응력분포

신기영* · 이상식** · 주수빈***

Finite Element Analysis of Packaging Shape for Pulse Diagnosis Sensor

Ki-Young Shin*, Sang-Sik Lee**, Su-Bin Joo***

요 약

맥파를 정량적으로 측정하기 위해 다양한 맥진기가 개발되어 왔으며, 맥진기는 비침습적으로 맥파를 측정하기 위해 압력센서를 이용한다. 이러한 맥진기에 사용되는 맥진 센서 모듈은 압력센서와 압력센서의 와이어링을 보호하기 위한 코팅이 사용되는데, 코팅의 재질 또는 모양에 따라 측정 거로가에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 맥진센서에 압력을 가하였을 때 PDMS 코팅 형태에 따라 압력센서에 전달되는 응력분포를 비교하기 위해 6종류의 코팅모델에 두 가지 방법의 압력을 가하여 유한요소해석을 실시하였다. 결과적으로 맥진센서 중앙에 압력을 가하여 해석을 수행 하였을 때 맥진센서 모듈의 PDMS 코팅두께를 0.3mm씩 줄일수록 중앙의 압력센서에 전달되는 응력은 24%씩 증가하였고 주변의 압력센서로 전달되는 응력은 4.9%씩 감소하였다. 그리고 코팅에 가이드가 있는 경우 주변 압력센서로 전달되는 응력의 비율이 2.7% 더 적게 나타났다.

ABSTRACT

Since many blood pressure pulse analyzer made to measurement of a pulse wave in quantitative way has been started, some sorts of pressure sensors are being developed. The result could differ and this cause either type of sensor or module shape, when pulse wave is measured.

In this paper, calculate and compare the pressure sensor's stress distribution according to thickness of PDMS coating and existence of guide through Finite Element Method. As a result, the center of pressure sensor's stress increase as much as 24% as it is reduced as much as 0.3 mm that the PDMS coating thickness of pulse diagnostic sensor module, on the other hand the surrounding sensor of center sensor's stress is reduced as much as 4.9%, and transmissive proportion of stress is small as little as 2.7%, When coating has guide.

Key Words : FEM, Pulse diagnosis, Sensor Packaging, PDMS, Pressure sensor

* 한국전기연구원 의료IT융합본부 전자의료기기연구센터 연구원 (kyshin@keri.re.kr)

** 교신저자 : 관동대학교 의료공학과 교수 (lsskyj@kd.ac.kr)

*** 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과 학사과정 (1001subin@paran.com)

접수일자 : 2011년 07월 15일, 수정일자 : 2011년 08월 07일, 심사완료일자 : 2011년 08월 25일

I. 서론

전통적인 한방 진단은 망진(望診), 문진(問診), 문진(聞診), 절진(切診)이라는 사진(四珍)법을 이용하여 정보 수집을 한다[1]. 맥진(脈診)은 절진의 한 종류로 손가락의 감각을 이용하여 질병의 원인이나 환자의 상태를 진단한다[2]. 맥진은 한의사의 손가락 감각을 이용해 진단하는 것이기 때문에 의료인의 선입관이나 판단 착오로 인한 오진이 발생할 수 있다. 따라서 맥진을 통한 피검자의 정량적인 건강정보 측정과, 객관적인 진단을 위하여 맥진기가 개발되어 왔다.

한의사가 맥진으로 환자를 진단할 때에는 손가락을 이용하여 요골동맥 부위에 압력을 달리 가하며 동맥의 박동으로 인한 맥파의 압력 변화를 손가락 끝 감각으로 구분하여 진단한다[2]. 맥진기는 이와 같이 사람이 손가락 감각을 이용하여 진단하는 방법을 압력센서로 대체하여 맥파의 변화를 진단한다.

맥진기에서 맥파를 측정하기 위해 사용된 맥진 센서 모듈은 칩 본딩 기판, 압저항형(piezoresistive) 센서 칩, 와이어링 기판 및 실리콘 패키징으로 구성된다[3]. 패키징에 사용된 실리콘은 기계적인 성질이 매우 우수한 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 최근 다양한 분야에서 사용되고 있다[4]. 실리콘 중에서도 PDMS(polydimethylsiloxane)는 투명하고 탄력성이 있으며, 주조 및 성형하기가 쉬운 성질을 갖고 있어 센서를 포함한 많은 분야에서 사용되고 있으며 센서의 패키징 재질로도 사용된다[6-8].

센서 패키징에 사용된 재질의 물성치에 따라 센서가 받는 응력이 변화될 수 있다. 또한 센서 패키징의 모양에 따라 센서에 전달되는 응력이 변화된다. 이러한 이유로 센서의 패키징이 센서 작동에 미치는 영향을 분석하기 위해서 유한요소기법을 이용한 연구들이 진행되어 왔다[5].

본 연구에서는 감도가 높은 압력센서를 사용하여 미세한 생체 신호를 측정하였다. 따라서 패키징의 형태의 차이는 생체신호를 측정하고 복원하는데 있어서 오차로 작용될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 패키징의 재질 또는 모양의 변화에 따른 압력센서에 미치는 영향을 상용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS 6.71을 통해 분석하여

연구에 필요한 최적의 센서 패키징의 형태를 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 유한요소 해석을 위한 해석 조건에 대해 설명하고 3장에서 유한요소 해석 결과를 분석하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 유한요소해석

2.1 맥진 센서 패키징 재료 및 물성

본 연구에서는 맥진 센서 모듈의 패키징 재료로써 PDMS(Sylgrad 184, Dow Corning)가 사용되었다. PDMS, sensor 그리고 PCB(printed circuit board)의 탄성계수(Young's modulus)와 포아송비(Poisson's ratio)는 표1과 같다[6].

표 1. 맥진센서 모듈의 구성 요소와 물성치
Table 1 Material properties of sensor module

Property	PDMS	Sensor	PCB
Young's modulus(MPa)	0.8mm : 0.75 1.1mm : 0.7 1.4mm : 0.65	17.9	0.4
Poisson's ratio	0.49	0.22	0.15

2.2 형상정보

전체 센서의 구성은 그림 1과 같다. PCB에 7개의 압력 센서가 일렬로 배치되어 있고, PDMS 코팅이 센서를 감싸고 있다.

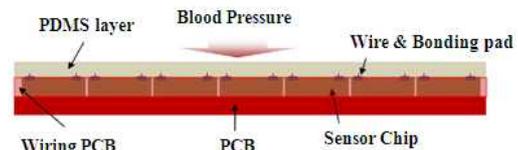


그림 1. 맥진 센서 모듈의 구성
Fig. 1 Cross section of sensor module

본 실험에 사용된 PDMS 코팅의 디자인은 그림 2와 같이 가이드가 없는 모델과 있는 모델로 나뉘

고, 각각의 모델에 코팅의 두께를 0.8mm, 1.1mm, 1.4mm 3단계로 설정하여 총 6가지의 패키징 모델을 구현하였다.

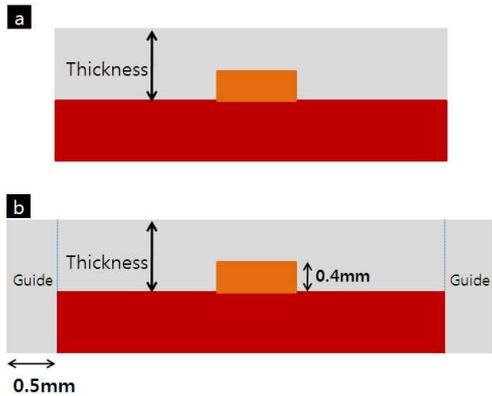


그림 2 . PDMS 코팅의 형상(a:가이드 없음, b:가이드 있음)
 Fig. 2 Type of PDMS coating(a: without guide, b: with guide)

2.3 격자생성

맥진 센서 모듈의 모델은 PDMS 코팅과 센서, PCB로 구성되어 있다. 가이드가 없고 두께가 0.8mm인 PDMS 코팅 모델의 절점의 개수는 12,328개이며 요소의 수는 58,164개이다. 센서와 PCB의 절점은 15,245개이며, 12,145개의 요소가 사용되었다.

요소의 개수와 크기를 결정하는 기준은 없으나, 요소의 격자 크기가 커지면 해석 결과의 오차가 증가하고, 격자가 너무 작으면 해석하는데 시간이 많이 걸리는 점을 감안하여 격자 요소의 개수와 크기를 결정한다[9]. 본 논문에선 여러 번의 시도를 거쳐 접촉 해석을 원활히 수행할 수 있는 적당한 요소 격자 크기를 선정하여 커버와 센서 칩에 각각 적용하였다. 적용된 커버의 격자 크기는 0.2mm이고, 센서 칩의 격자 크기는 0.1mm이다.

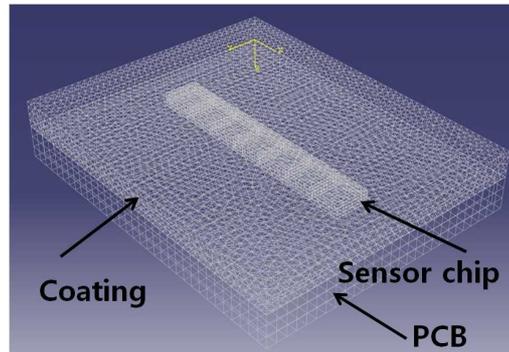


그림 3 . 맥진센서 모듈의 격자 생성
 Fig. 3 Mesh generation

해석 시간을 줄이고자 PCB는 비교적 큰 격자로 나누었고(0.3mm) PDMS코팅과 압력 센서의 접촉이 일어나는 부분은 해석의 정확성을 향상시키기 위해 작은 격자로 나누었다. 각 부분들이 결합되고 전체 격자 생성이 완료된 모델을 그림 3에 나타내었다.

2.4 해석조건

맥진 센서 모듈 상단에 압력을 주게 되면 PDMS 코팅과 압력센서에 접촉이 발생하고 압력센서에 응력이 형성된다. 본 연구에서는 모듈 상단에 가해주는 압력을 점으로 가하는 경우와 선으로 가하는 경우, 두 가지로 나누었다. 점의 형태는 중앙에 1mm x 1mm의 면이고, 선의 형태는 중앙에 1mm의 폭을 갖는 선이다. 점의 형태의 압력으로 얻은 결과로부터 국소 부위의 압력에 대한 응력 분포를 확인하였고, 선의 형태의 압력으로 얻은 결과로부터는 맥박을 측정하기 위한 위치인 요골동맥에서 혈관이 맥진 센서 모듈에 일자로 위치할 때 발생하는 압력 분포에 대한 간접적 결과를 얻을 수 있었다. 가해지는 압력은 100 Pa로 설정하였다.

PDMS 코팅 모델의 경우 가이드가 있는 모델과 가이드가 없는 모델에 두 종류에 두께를 3가지로 나누어 주어 총 6가지 모델을 이용하였고, 6가지 커버 모델에 중앙에 점과 선의 형태로 각각 힘을 가하여 총 12번의 해석을 실시하였다.

그림 4 a, b와 같이 PDMS 코팅에 가이드가 없는 경우는 코팅과 PCB의 접촉면을 고정 시켜주었고, 센서 모듈 중앙에 힘을 주는 경우에는 중앙의

압력센서(네 번째 센서)의 위치인 커버 정 중앙에 1mm x 1mm 면적으로 압력을 가해 주며 계산을 수행 하였다.

그림 4 c, d에서 보이는 것처럼 PDMS 코팅에 가이드가 있는 경우 가이드의 하단 부분을 고정 시켜 주었고, 선의 형태로 힘을 주는 경우 커버의 상단에 폭이 1mm인 면적으로 압력을 가해 주며 계산을 수행 하였다.

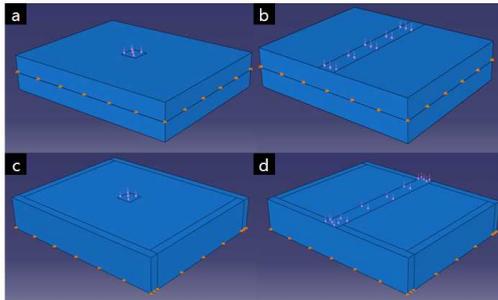


그림 4 . PDMS 코팅 모델 및 외력의 형태(a, b:가이드 없음, c, d: 가이드 있음)
Fig. 4 PDMS coating model and type of external force(a, b: without guide, c, d: with guide)

III. 시뮬레이션 결과

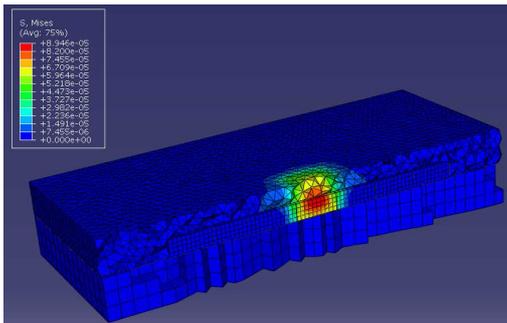


그림 5 . 맥진센서 모듈 중앙에 압력을 주었을 때 해석 결과
Fig. 5 Cross section of FEM analysis on center force

맥진 센서 모듈의 중앙에 압력을 가해 주었을 때 센서 전체에 전달되는 응력은 그림 5와 같다. 맥진 센서 모듈 중앙에 압력을 가해 주었을 때 중앙의 센서를 중심으로 주변 센서에 응력이 전달되는 것을 확인할 수 있다. 모듈 중앙에 가해진 압력에 의해 7개 압력센서에 가해진 응력은 그림 6의

그래프와 같다.

그림 6의 그래프에서 x 축은 각 센서의 위치를 의미하고, y축은 응력의 크기를 나타낸다. 위 그래프를 통해 모듈 중앙에 가해진 압력이 4번 센서를 중심으로 주변 센서까지 영향을 미치는 모습을 확인할 수 있다. 모듈 중앙에 압력을 가했기 때문에, 중앙에 있는 4번 센서에서 측정된 응력이 가장 크고 주변에 있는 3번과 5번 센서도 응력이 측정되었다. PDMS 코팅의 두께가 두꺼워 질수록 4번 센서에 전달되는 응력의 크기가 작아졌고 같은 힘을 가해 주었을 때 코팅에 가이드가 없는 경우에 가이드가 있는 경우 보다 센서에 전달되는 응력이 크기가 컸다.

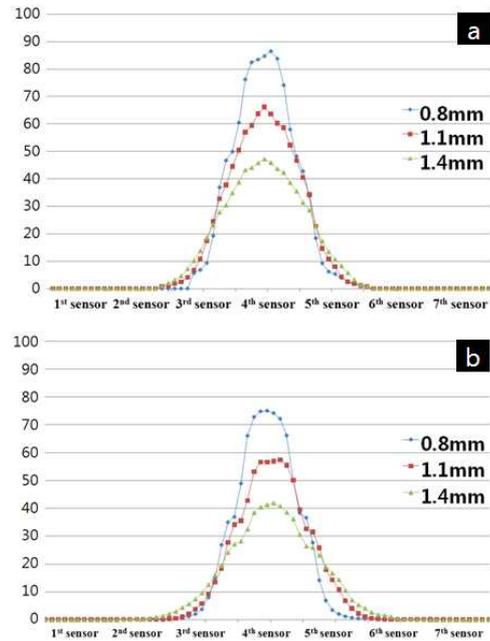


그림 6 . 중앙압력에 따른 1번부터 7번 센서의 압력 분포 그래프(a: 가이드 없음, b: 가이드 있음)
Fig. 6 Pressure distribution on center force(a: without guide, b: with guide)

모듈 중앙에 압력을 가해주었을 때, 모듈 중앙에 위치하고 있는 네 번째 압력센서와 중앙 센서 옆에 있는 세 번째 압력 센서에서 얻어진 응력의 크기를 표 2에 나타내었다. 모듈 중앙에 압력을 가해 주었을 때 PDMS 코팅의 두께가 증가할수록 네 번째 센서에서 받는 응력이 감소하였고 세 번째 센서가 받는 응력의 크기는 증가하였다. PDMS 코팅이 0.8mm이고 가이드가 없을 때 네 번째 센서에서 받

는 응력은 71.5로 최대치가 나타났으며 PDMS 코팅이 0.8mm이며 가이드가 있을 때 세 번째 센서와 네 번째 센서의 응력비율이 19.8%로 가장 작은 값이 나타났다.

표 2. 코팅 두께와 가이드 유무에 따른 응력분포
Table 2 Stress of center force (coating thickness and guide)

Guide	Thickness (mm)	Next sensor of center(3rd, Pa)	Center sensor(4th, Pa)	3rd/4th sensor ratio(%)
×	0.8	15.7	71.5	22.0
	1.1	17.1	55.8	30.6
	1.4	16.2	41.4	39.1
○	0.8	12.1	61.1	19.8
	1.1	13.5	48.9	27.6
	1.4	14.1	36	39.2

맥진 센서 모듈에 폭이 1mm인 선의 형태로 압력을 가해 주었을 때 센서 전체에 응력이 전달되는 모습은 그림 7과 같다. 모듈에 선의 형태로 가해진 압력은 중앙의 센서를 중심으로 주변 센서에도 영향을 미친다. 중앙에 가해진 압력에 의해 모듈 안의 7개 센서에 가해진 응력의 크기는 그림 8의 그래프와 같다.

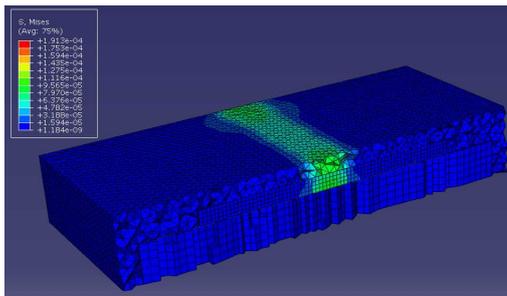


그림 7 . 라인 형태로 압력을 가했을 때 응력 분포
Fig. 7 Cross section of FEM analysis on line force

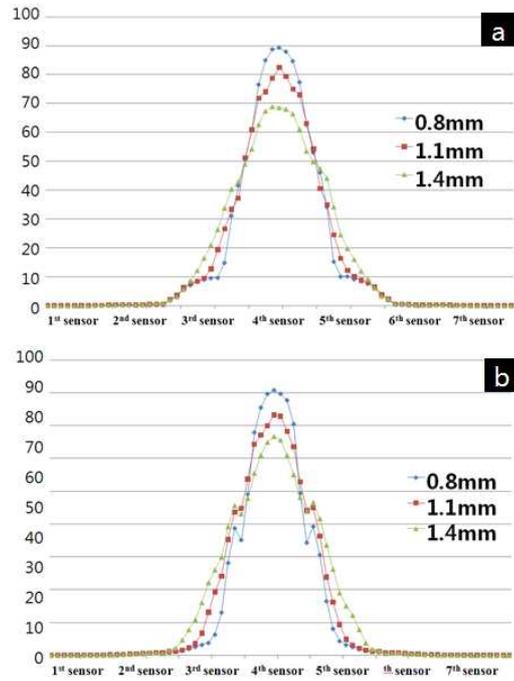


그림 8 . 라인 형태의 압력에 따른 센서 압력 그래프(a: 가이드 없음, b: 가이드 있음)
Fig. 8 Pressure distribution on line force(a: without guide, b: with guide)

모듈 중앙에 압력을 가해 주었을 때와 마찬가지로 PDMS 코팅이 두꺼워 질수록 4번 센서에 전달되는 응력이 작아지는 것을 확인할 수 있다.

맥진 센서 모듈에 선의 형태로 압력을 가해 주었을 때, 모듈 중앙에 위치하고 있는 네 번째 압력센서와 세 번째 압력센서에서 얻어진 응력의 크기는 표 3과 같다. 모듈에 선의 형태로 압력을 가해 주었을 때 PDMS 코팅의 두께가 증가할수록 네 번째 센서에서 받는 응력이 감소하였고 세 번째 센서가 받는 응력의 크기는 증가하였다. PDMS 코팅이 0.8mm이며 가이드가 없을 때 네 번째 센서에서 받는 응력은 73.2로 최대치가 나타났으며 PDMS 코팅이 0.8mm이며 가이드가 있을 때 세 번째 센서와 네 번째 센서의 응력비율이 20%로 가장 작았다. 동일한 두께의 PDMS코팅의 경우 가이드가 있을 때, 가이드가 없는 경우보다 응력의 크기가 작게 나타났다.

표 3. 라인 형태의 압력에서 코팅 두께와 가이드 유무에 따른 응력분포
 Table 3 Stress of line force (coating thickness and guide)

Guide	Thickness (mm)	Next sensor of center(3rd, Pa)	Center sensor(4th, Pa)	3rd/4th sensor ratio(%)
×	0.8	18.6	73.2	25
	1.1	20	67.9	29
	1.4	24.3	60.3	40
○	0.8	13.1	64	20
	1.1	17	61.3	28
	1.4	22.9	55.8	41

IV. 결론

본 연구에서는 맥파 측정을 위해 사용되는 맥진 센서 모듈을 이용해, 맥파의 압력을 측정 시 센서 모듈의 패키징 두께와 모양에 따른 압력센서에 전달되는 응력 차이를 알아보기 위해 유한요소해석 기법을 사용하였다.

해석조건으로 맥진 센서 모듈에 가해진 압력은 중앙에 1mm x 1mm 면적의 점 형태의 압력과 폭이 1mm인 선 형태의 압력, 두 가지 방법으로 가해 주었다. PDMS 코팅은 가이드가 있는 것과 가이드가 없는 것으로 나누고 두께를 0.8mm 1.1mm 1.4mm 세 가지로 설정하여 총 6가지 PDMS 코팅 모델을 이용하였다.

시뮬레이션 결과 맥진 센서 모듈에 중앙에 점의 형태로 압력을 가해 주었을 때와 선의 형태로 압력을 가해주었을 때 모두, PDMS 코팅의 두께가 얇을수록 PCB 중앙에 위치하는 센서에 전달되는 응력이 컸고 주변 센서에 전달되는 응력이 작아지는 결과를 보여 주었다. 맥진 센서 모듈 중앙에 압력을 가해주는 상황에서는 PDMS 코팅의 두께가 0.3mm씩 증가할 때마다 네 번째 압력센서에 전달되는 힘은 평균적으로 24%씩 감소하였고, 선의 형태로 압력을 가해 주었을 때 PDMS 코팅의 두께가 0.3mm씩 증가 할 때마다 네 번째 압력센서에 전달되는 힘은 8%씩 감소하였다.

반면에 PDMS 코팅의 두께가 증가 할수록 중앙 센서 옆에 있는 세 번째 센서의 응력과 중앙에 있는 네 번째 센서의 응력비율이 높아졌으며, 맥진

센서 모듈 중앙에 점 형태로 압력을 가해 주었을 때는 PDMS 코팅이 0.3mm씩 증가 할 때 마다 세 번째 센서가 전달 받은 응력의 크기가 4.9%씩 증가 하였고, 맥진 센서 모듈에 선의 형태로 압력을 가해 주었을 때는 세 번째 센서가 전달 받는 응력의 크기가 3.9%씩 증가하여, 코팅의 두께가 증가 할수록 응력의 크기가 작아지는 네 번째 센서와 반대 결과가 나타났다.

맥진 센서 모듈 중앙에 점 형태로 압력을 가해 주는 경우와 선의 형태로 힘을 가해주는 경우 두 가지 상황 모두 두께가 얇고 가이드가 있는 경우 세 번째 센서와 네 번째 센서의 응력비율이 가장 작았다. 세 번째 센서에 대한 네 번째 센서의 응력비율이 낮을수록, 맥진센서 모듈에 가해진 압력이 PDMS 코팅에 의해 모듈 중앙에 있는 네 번째 센서 주변의 다른 센서에 미치는 영향이 작다는 것을 의미한다.

맥진 센서를 이용해 맥파의 정확한 압력을 측정을 위해선 PDMS 코팅에 의해 다른 센서에 미치는 영향이 적어야 한다. 따라서 맥진 센서 모듈의 PDMS코팅이 압력센서에 미치는 영향을 줄이고자 한다면 모듈 커버에 가이드를 만들고 두께를 얇게 만드는 것이 좋다고 사료된다. 또한 향후 코팅재료의 두께뿐만 아니라 재료의 다양한 구조적 변화를 통해서 최적의 맥진기용 맥진 센서 모듈의 구조를 연구할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 : 10028436)

참 고 문 헌

- [1] 김경철, 강희정, 맥의공학연구회, "맥(脈) 의공학 연구 방법론", 대요메디, 2008.
- [2] 서상욱, 용어로 배우는 동의학, 다락방, 2005
- [3] 김은근, 남기창, 허현, 허영, "비침습적 맥파 측정을 위한 압력센서 패키징에 관한 연구", 대한전기학회 제40회 하계학술대회, pp.1980-1981, 2009.

- [4] Kurt E Petersen, "Silicon as a Mechanical Material", proc. IEEE, Vol. 70, No.5, P 420 ~ 457, May 1982.
- [5] Zongyang Zhang, Chaojun Liu, Zhimin Wan, Gang Cao, Yun Lu, Bin Song and Sheng Liu, "Optimization of Packaging Process of Piezoresistive Engine Oil Pressure Sensor" International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging 2010
- [6] H-H Wang, P-C Yang, W-H Liao and L-J Yang, "A New Packaging Method for Pressure Sensors by PDMS MEMS Technology" Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems January 18 - 21, 2006, Zhuhai, China
- [7] Miao Liu, Jianren Sun, Ying Sun, Christopher Bock and Quanfang Chen "Thickness-dependent mechanical properties of polydimethylsiloxane membranes" Journal of micromechanics and microengineering. 19, 2009
- [8] Tae Kyung Kim, Jeong Koo Kim, and Ok Chan Jeong, "Measurement of nonlinear mechanical properties of PDMS elastomer" Microelectronic Engineering, 2010
- [9] 김석훈, 장승환, "접촉조건을 고려한 대퇴골 치료용 복합재료 고정판의 생체 역학적 거동에 관한 유한요소 해석", 한국복합재료학회, 23권, 1호, pp.1-6, 2010

저자약력

신 기 영(Ki-Young Shin)

정회원



2004년 성균관대학교
바이오메카트로닉스
학사
2006년 성균관대학교
바이오메카트로닉스
석사
2011년 성균관대학교
생명공학과 박사
2011년- 현재 한국전기연구원
의료IT융합본부
전자의료기기연구센터
연구원

<관심분야> 생체 신호처리, 한방의료기기,
의료영상 처리

이 상 식(Sang-Sik Lee)

종신회원



1993-2000년 LG전선(주)
1996-2000년 성균관대학교
박사
2001-2004년 (주)미도테크
2004-2010년 성균관대학교
연구교수
2011-현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용메카트로닉스, u-Health,
생체역학, 의용전기전자

주 수 빈(Su-Bin Joo)



2009년 현재 성균관대학교
바이오메카트로닉스
학사과정

<관심분야> 생체 신호처리, 한방의료기기