

의료에서의 센서와 MEMS 기술 응용

이상훈

단국대학교 의과대학 의공학교실

Application of Sensor and MEMS in Medicine

Sang Soon Lee

Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Dankook University, San 29, Anseo-dong, Cheonan, Chung Nam, 339-714, Korea

Abstracts Recently, many advanced technologies in electronics, mechanics, material and computer science have been applied to medicine and they have changed the method of diagnosis and treatment to more quantitative way than before. Now day, with the aid of this technology, the device for the minimal invasive diagnosis and treatment is being developed for the convenience and safety of patients. This paper introduces application of sensor and MEMS(Micro ElectroMechanical System) in medicine and biotechnology, which are essential factor for the realization of minimal invasive diagnosis and treatment.

Keywords

Sensor, MEMS, Medicine, Biotechnology, Minimal Invasive

I. 서론

2차 세계 대전으로 인해 전자, 기계, 재료, 컴퓨터 및 방사선 등에 대한 기술이 놀랍게 발전하였으며, 이러한 과학기술들이 의학에 본격적으로 접목하게 되었다.

전쟁시 참수함을 찾기 위해 연구되었던 초음파에 대한 기술은 오늘날 진단에 있어 없어서는 안될 초음파 진단기의 개발에 결정적인 기여를 했음은 널리 알려진 사실이다. 이후 의학의 전 분야에 걸쳐 공학 기술이 접목되었으며, 현재는 병원에서 운용되는 대부분의 기기 및 보철 기구가 현대의 첨단 공학기술의 도움을 받아 제작되고 있다⁽¹⁾⁽²⁾. 이렇게 발전된 의학으로 인해 과거의 경험적이며 권위적이던 의학이 오늘날에는 정량적이며, 논리적인 의학으로 바뀌어 갔으며, 첨단 장비를 효율적으로 활용하는 것이 진료에 있어 매우 중요한 요소가 되었다. 특히 오늘날 반도체, 컴퓨터, 광학, 및 정밀기계 등의 발전에 힘입어 최소 침습(minimal invasive) 진단 및 치료에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 앞으로 의료는 환자에게 최소한의 외상(trauma)을 주면서 할 수 있는 진단 및 치료기기의 개발 및 활용에 의해 질(quality)이 결정될 것으로 예상된다. 현재 개발되어 사용중인 대표적인 최소침습 진단기기로는 MRI, CT, 초음파 진단기 등 단층촬영장치가 있으며, 치료기기로는 내시경과 레이저 등이 있다. 특히 최근에는 최소침습 진단 및 치료기기의 기능을 합성한 CAS(computer assisted surgery)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 활용한 수술 로봇이 미래에는 훌륭한

수술 보조장치로 활용될 수 있을 것으로 기대된다⁽³⁾. 이러한 미래형 최소침습 의료장비의 개발에 있어 필수적인 요건이 소형 부품을 제작하는 것이다. 즉 체내에 투입되어 인체의 현상을 파악할 수 있는 소형 측정 장치, 초소형 작동기(actuator), 광학 및 레이저 관련 기술 및 무선 통신에 대한 기술이 의료의 질을 향상시킬 수 있을 것이다. 여기서는 미래의 의료기기에서 측정 및 작동기로서 필수적인 요소인 센서와 MEMS 기술에 대한 현황 및 앞으로의 방향에 대하여 이야기하고 국내의 현황에 대하여 간단하게 언급하고자 한다.

II. 의학에서의 센서

의료용으로 사용되는 센서를 크게 나누어 보면 전극, 물리적 센서, 화학적 센서 및 형상(morphological) 센서로 나뉘어 질 수 있으며, 각각의 기능과 종류는 다음과 같다.

1) 전극

전극은 인체에서 생성되는 전기적 신호를 측정하는데 사용되는 것으로 주로 백금 등의 금속재료를 사용하여 제작된다. 전극의 종류로는 ECG, EEG, EMG 등을 측정할 수 있는 표면전극 과 침전극, 세포단위의 전계를 측정할 수 있는 미소전극 및 최근 반도체 기술을 응용한 반도체 전극이 인체에서 발생하는 미소 전류를 측정하기 위해 사용되고 있으며, 근육 등에 전기적 자극을 주기 위해서도 전극이 사용된다. 표면전극 및 침전극을 인체 내에서 받

생되는 전류를 측정하기 위해 사용하는 것으로 현재 가장 많이 사용되고 있다. 표면전극은 피부 표면에 부착하여 사용하며, 은 표면에 염화은을 부착하여 제작한 것으로 가격이 저렴하여 1회용 전극으로 많이 사용하고 있다. 반면 침전극은 경우 침은 표피내에 찔러 넣어 측정하기 때문에 표면전극 보다 안정된 신호를 얻을 수 있다. 미소전극은 세포 단위의 전계를 측정하는데 사용되며, 주로 유리관을 사용하여 제작한다. 전극의 끝부분은 5 μm 이하이며, 이를 세포막 속으로 주입하여 측정하며, 주로 전기생리학에서 많이 사용되고 있다. 최근에는 반도체 가공기술을 응용한 전극은 많이 제작하고 있는데, 이는 원하는 대로 모양을 만들 수 있고 소형화가 가능하며, 대량생산이 가능하기 때문에 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 반도체 기술을 응용할 경우 Array 형태로 전극을 제작할 수 있기 때문에 뇌의 연구와 같이 면적 단위로 발생하는 전류를 측정하는데 매우 요긴하게 사용할 수 있으며, 전극에 다른 기능의 센서나 앰프 및 간단한 회로를 같이 제작할 수 있기 때문에 의학에서의 응용 가능성은 매우 많은 것으로 기대된다.

한편 외부로부터 약한 전류자극을 가하면 활동전위를 발생하는 신경조직이 있는데 대표적인 것으로 신경선(gland), 골격근, 평활근, 심근 등이 있으며, 이것들을 흥분성 조직이라 한다. 이러한 조직에 전류자극을 가하기 위해서도 전극이 사용되며, 이를 자극용 전극이라 한다. 전극용 자극이 사용되는 대표적인 기기로 Pacemaker가 있는데, 이는 심벽에 전극을 통해 전기적 자극을 가함으로써 갑작스런 심장정지(cardiac arrest), 현저한 서맥(bradycardia), 부정맥(arrhythmias)에 빠진 심장을 규칙적으로 박동시키는 기능을 수행한다. 이외에도 컴퓨터에 의해 자극의 기간, 정도 등을 제어함으로써 손상된 근육의 기능을 회복하도록 하는 자극 장치로 FES(Functional Electrical Stimulator)가 있으며, 기타 인공귀(cochlear), 방광, 근육 등에도 전기적 자극을 가하는 전극이 사용되고 있다.

2) 물리적 센서

전극이 인체에서 발생하는 전기적 신호를 측정하는 센서라면, 물리적 센서는 인체에서 발생하는 비전기적 정보를 전기적 정보로 변환하여 측정할 수 있는 장치이며, 이를 트랜스듀스라고 한다. 전기적 신호로 변환하여 사용하면, 신호처리가 용이하고, 소형으로 제작할 수 있으며, 안정성과 재현성이 우수하다는 장점이 있다. 물리적 센서의 대표적인 것으로는 압력센서가 있으며, 측정 방식으로는 스트레인 게이지, 인덕턴스, 압전소자, 광소자 및 반도체 소자 등을 사용한다. 이러한 압력센서는 수술실, 병실 및 중환자실 등에서 많이 사용되며, 이를 이용한 대표적인 기계로는 환자감시장치(patient monitoring system),

인공호흡기(ventilator), Plethysmography, Tonometry 등이 있다. 압력센서 이외의 물리적 센서로는 심음, 혈류량, 호흡량, 동작, 거리, 온도 및 방사선 등을 측정하는 센서가 의료기기에 많이 사용된다. 혈류량 등의 측정에는 초음파 및 전자기 센서가 많이 사용되고, 동작을 측정하기 위해서는 가속도 센서 및 레이저 센서가 사용되며, 방사선을 측정하기 위한 X-Ray 센서 및 체내에 주입된 감마선을 측정하기 위해서는 PM 튜브가 사용된다.

한편 광 시스템도 의료용으로 많이 이용되고 있으며, 검사용 기기에 많이 사용되고 있다. 분광광도법은 임상검사에서 많이 사용되는 계측기의 근간이 되는 방법으로 이는 채집된 임상 물질들이 서로 다른 파장의 전자기적 에너지를 선택적으로 흡수하거나 방출한다는 사실에 기초하고 있다. 최근에는 레이저와 광섬유 등에 관한 기술을 결합한 센서들이 연구, 개발되고 있으며 그 대표적인 것으로 혈관 내에 탑재되어 산소 포화도 등을 측정할 수 있는 'intravascular fiber optic catheter', oxymetry 시스템, pI 센서 및 가스 센서 등이 있으며, 내시경 등에도 응용되고 있다. 이러한 종류의 센서는 소형 경량화가 가능하고, catheter tip위에 다양한 기능을 탑재할 수 있으며, 전기적인 잡음이 없고 열적으로 안정되어 앞으로 체내 삽입형 센서에 많이 응용될 것으로 생각된다.

3) 화학센서와 바이오센서

물리량을 측정하는 물리적 센서에 대응하여 화학물질은 측정하는 센서를 화학센서라 하며, 이런 화학센서의 창시자는 수소 이온 농도에 감응하는 유리전극의 발명자인 Cremer이다. 이 전극에 관한 연구가 진행되어 다른 이온을 측정할 수 있는 각종 이온 선택성 센서로 발전하였으며, 대표적으로 반도체, 세라믹, 고체 전해질 등을 사용하는 가스센서, 습도센서 등이 개발되어 실용화 되고 있다. 그러나 이들 화학센서의 측정대상이 대부분 무기물이었으며, 유기물에 대한 선택적 측정이 가능한 센서의 개발이 요구되었다. 생체내에서는 서로 친화성이 있는 물질, 예를 들면 효소-기질, 효소-조효소, 항원-항체, hormon-receptor 등이 존재하고 있어 이들의 어느 한편을 막아 고정화해서 분자식별소자로 쓰면 다른편을 선택적으로 검출할 수 있다. 뿐만 아니라 organelle, 세포조직도 분자식별소자로 적용 가능하게 되었고, 이러한 센서를 총칭하여 바이오센서라고 한다. 이러한 바이오센서는 분자식별 소자에 따라 효소센서, 면역센서, 효소면역센서, organelle 센서, 미생물센서 및 조직센서 등으로 분류되기도 한다. 그림 1)은 생체물질에 이용한 바이오센서의 기본 구조이며, 측정대상물질을 인식하는 receptor와 이를 전기적 신호로 변환하여 주는 transducer로 크게 구성되어 있으며, 센서의 선택성은 전적으로 인식기능 부위의 식별능력에 달려있다. 바이오센서는 체내에서 생성되는 화학적 물질

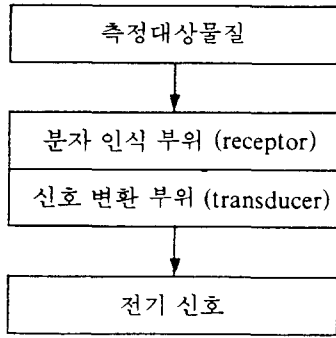


그림 1. 생체물질을 이용한 biosensor의 기본 구성

의 성분을 분석하는데 많이 사용되며, 대표적인 것이 임상검사장비에 사용되는 것이며, 이외에도 효소센서, glucose 센서, 약물센서 등이 많이 사용된다. 한편 미생물을 이용한 바이오센서는 환경에 관련된 곳에 많이 사용되고 있으며, 근래에는 다양한 종류의 receptor를 갖는 다기능 바이오센서가 개발되어 사용되고 있다.

4) 형상(morphological) 센서

형상센서는 사물의 모양을 측정하는 센서로 대표적인 것이 전자내시경에 사용되는 CCD가 있다. CCD는 내시경의 선단렌즈에 부착하여 사용하는데 영상이 종래의 내시경처럼 섬유를 통하지 않고 전선으로 연결된다. 따라서 섬유경에서 섬유가 절단되면 시야에 흑점이 나타나는 것과 같은 현상이 없어지고 항상 깨끗한 영상을 얻을 수 있으며, 모니터를 통하여 여러 사람이 영상을 동시에 볼 수 있고, 비디오투를 사용한 영상의 저장이 용이하여 앞으로 많이 사용될 것으로 예상된다. 또한 센서 및 주변회로에 대한 기술이 더욱 발전되어 소형화가 가능하다면, 캡슐형으로 내시경을 제작하여 내부 장기의 검진을 현재보다 더욱 쉽게 할 수 있을 것이다. 이외에도 digital radiography에 사용되는 X-Ray CCD, thermography에 사용되는 온도센서 및 초음파 진단기에 사용되는 초음파 센서 등이 대표적이 형상센서에 속한다. 이러한 형상센서는 대부분 비침습적(noninvasive) 진단에 주로 사용되며, 고가의 기계에 사용되고, 기기의 제작에 고도의 기술이 필요하다.

III. 의학과 생체공학에서의 MEMS 기술의 응용

MEMS란 전기적 소자와 기계적 소자를 결합한 수 마이크로 미터에서 밀리미터 크기를 갖는 소형기기를 총칭해서 이야기하며, 주로 반도체 가공기술, LIGA 공정에 의

해 제작된 기기들이 많으며, 현재 미국, 일본 및 유럽의 대학, 연구소 및 기업에서 활발한 연구가 진행중에 있다. MEMS 기술은 유체제어, 초소형 광학기기, 소형 probing, Sensor, 의료 및 생명공학 등 여러 분야에 응용되고 있으며, 의학과 생명공학에서의 응용 예를 살펴보면 다음과 같다.

1) 생물공학에서의 MEMS 응용

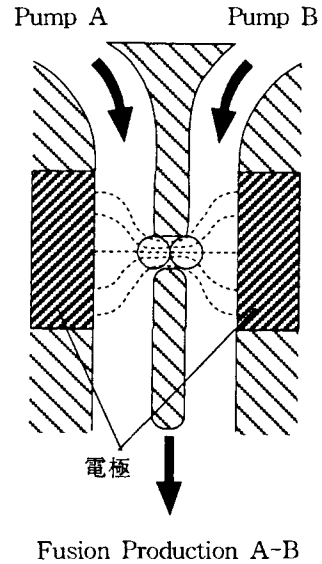


그림 2. 단일 세포의 전기적 융합 장치

분자생물학이나 유전공학에 있어 세포, 염색체, 생체막, 단백질 분자 등을 조작해야 할 경우가 많다. 그런데 이러한 조작 대상들의 크기가 대부분 수 μm 의 세포로부터 나노미터 크기의 분자들이기 때문에 이들에 맞는 크기를 갖는 조작기구의 개발이 필요하게 되었다. 그리고 이러한 기구들의 제작에는 대부분 2차원적 가공기술이 요구되기 때문에 기존의 반도체 공정을 그대로 활용할 수 있다. 그림 2)는 DEP(dielectrophoresis)의 원리를 이용하여 개발된 세포 융합기이며, 2개의 펌프가 각각 다른 종류의 세포를 채널 쪽으로 밀어내면 채널 끝에 있는 융합실에 세포가 모이게 되며, 여기에 교류전계를 가해주면 두 세포가 더욱 밀착하게 된다. 이 상태에서 전극을 통하여 짧은 직류 펄스를 가하면, 세포막이 과열되면서 두 개의 세포가 서로 접합하게 된다. 이 외에도 MEMS 기술을 응용하여 편모운동을 하는 박테리아의 운동량을 측정하거나 DNA의 길이를 측정하는 기기 등이 개발되었으며, 세포와 같은 소형 입자를 거를 수 있는 biofilter, reactor, 및 DNA 분석기 등도 연구되고 있어 앞으로 유전공학 등의 발전에 MEMS 기술이 활발하게 활용될 수 있을 것으로

예상된다.

2) 의학에 있어서의 MEMS 응용

의학에서의 대표적인 MEMS 응용은 센서와 작동기가 있으며, 센서에 관하여서는 앞에서 언급하였기 때문에 여기서는 주로 작동기에 대한 이야기를 하고자 한다. MEMS 기술을 응용한 대표적인 작동기로는 마이크로 펌프가 있다. 이는 반도체 가공기술을 응용하여 주로 제작되며, 유체나 가스의 흐름을 조절하는데 사용된다. 대표적인 것으로 마이크로 펌프를 응용하여 제작된 미소액 분석 시스템이 있다. 이는 환자에게서 채취한 혈액량을 최소화하여 환자의 부담을 줄이고자 하는 목적에서 미소기계 기술을 이용하여 초소형 채널 및 센서를 집적화한 시스템으로 제작한 것이다. 한편 현미경하에서 미세한 혈관 등을 봉합하는 microscopic surgery가 있다. 이는 보통 60배운 정도로 확대된 현미경을 통하여 수술을 행하고 있으며, 이비인후과, 안과, 신경외과 및 정형외과 등에서 많이 시행하고 있으며, 800 μm 정도의 혈관이나 신경을 직경 20 μm 정도의 봉합사를 이용하여 수술할 수 있는 수준에 있다. 수술 집도되는 소형화된 수술기구를 가지고 수술 부위에서 약 15 cm 정도 떨어진 곳에서 현미경을 통하여

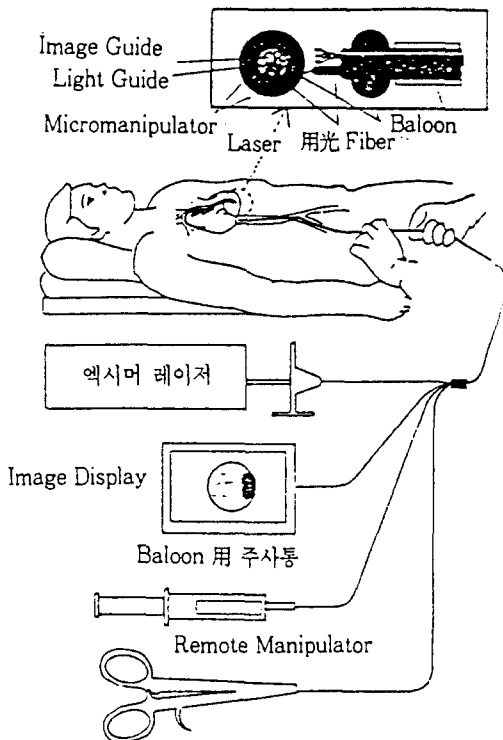


그림 3. 내시경 수술장치

보면서 수술을 시행한다. 그러나 MEMS 기술이 여기에 도입되면 크기가 현재의 1/10 이상으로 축소된 수술도구를 가지고 현재보다 1/10 이상 적은 혈관이나 신경은 봉합할 수 있을 것으로 예상된다. 이 경우 수술은 현미경을 통해 확대된 영상을 모니터를 통해 보면서 원격조작이 가능한 마이크로 manipulator를 개발해야 함이 필수적인 요소이다. 또한 변위와 조작되는 힘을 증폭하여 시술자의 손에 전달하는 기술이 필요하며, 이 경우 원격 수술도 가능한 것으로 예상된다. 또한 이러한 기술이 내시경과 결합될 경우 최소 침습 수술이 가능해지며, 여기에 반도체 센서가 합쳐질 경우 수술의 안정성과 효율성은 훨씬 증가될 것으로 예상된다. 그림 3)은 미래의 수술실에 대한 그림을 그린 것이며, MEMS 기술을 이러한 수술환경을 구축하는데 가장 기본적인 기술이 될 것이다.

이 외에도 MEMS 기술은 인공장기, DDS(drug delivery system) 등의 개발에 활용이 가능하다. 암과 같이 종양세포가 체내 여러 부위에 산재하여 있는 질병의 경우, 특정 부위에만 약을 주입하여 비정상적인 세포를 치료해야 하는 경우가 많다. 현재 MEMS 기술을 이용하여 연구중인 DDS는 이러한 목적에 매우 적합한 시스템이라 생각된다.

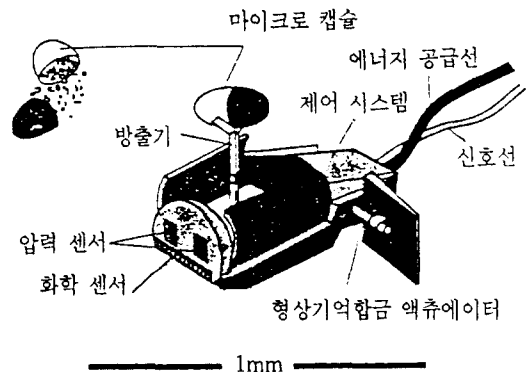


그림 4. 마이크로 가공기술에 의한 DDS의 상상도

그림 4)는 DDS에 관한 상상도이며, 이는 가는 혈관내시경을 통하여 약제가 필요한 부위까지 근접하도록 한 후 센서들이 필요한 약물 부위를 찾고, 형상기억합금으로 제작된 actuator의 운동에 의해 필요한 부위로 이동한다. 일단 이상이 있는 부위에 시스템이 도달하면 마이크로 캡슐에 있는 약이 투입되는 동작구조를 가지고 있다.

VI. 국내의 관련 연구에 대한 소개

국내에서도 센서 및 MEMS에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며, 여기서는 편자가 현재 연구 중이거나 관심

을 가졌던 일부 연구 결과에 대하여 소개하고자 한다.

1) 전기적 단일 세포 융합장치에 관한 연구

이종간의 세포를 접촉시킨 후 전기적 펄스를 가하면 접촉된 부분의 세포막에 작은 구멍이 생기고 이를 통하여 두 세포의 막이 하나로 합체 되면서 서로 간의 유전자가 합성되어 새로운 종을 만들어 낼 수 있다. 이러한 세포 융합을 위해 전극이 설치된 통 속에 세포를 주입하고, 전기적 펄스를 가하여 세포를 융합한다. 그러나 이 경우 서로 같은 종류의 세포들도 융합되기 때문에 이종(異種)간의 융합된 세포를 얻기가 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 반도체 공정을 이용해 초소형 전극을 만들고 2개의 마이크로 펌프에서 주입하는 세포를 일대일로 전극에 가지고 온 다음 전기적 펄스를 가해 세포융합을 할 수 있는 장치가 개발되었다⁴⁾.

한편 세포가 전극사이에 위치하고 있는 지를 탐지하기 위한 광센서에 관한 연구도 진행되었으며, 세포 풀(pool)로부터 세포를 공급하기 위한 마이크로 펌프 및 밸브에 관한 연구가 반도체 기술을 응용하여 진행되었다.

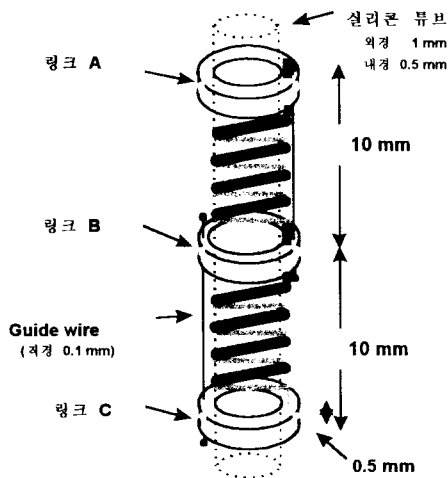


그림 5. 양방향 bending 액츄에이터의 구조

2) 초소형 내시경 개발에 관한 연구

현재 임상에서 사용되고 있는 내시경은 직경이 약 1 cm 정도가 되며, 이것이 식도를 통과할 때 환자에게 상당한 통증을 유발한다. 내시경이 굽어야 하는 이유는 이를 통하여 light guide, image guide, manipulator 등 여러 가지 선들이 통과하기 때문이다. 따라서 내시경의 굽기를 대폭 줄일 수 있다면 최소 침습 수술이나 혈관내 수술 등이 가능하다. 이 연구는 형상기억합금을 이용하여 2 - 3 mm의 굽기를 갖는 내시경을 제작하고자 하는 연구이다⁵⁾. 그림 5)는 초소형 내시경의 구조를 보여주고 있으며 형상기억

합금 스프링 A, B에 전류를 가하여 bending을 조절할 수 있도록 제작하였다. 여기에 수반되어 내시경 끝부분에 마이크로 펌프를 장착하여 소량의 약물을 주입할 수 있도록 하는 초소형 주사기의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다.

V. 결론

서론에서 이야기했듯이 앞으로 의료기기는 최소 침습 진단 및 치료가 가능한 기기, 하나의 기기로 여러 가지 파라메타를 측정할 수 있는 기기가 주를 이룰 것으로 예상된다. 이러한 기기야말로 환자에게 최소한의 외상을 입히고 불편함과 고통을 최소화시킬 수 있는 치료법이기 때문이다. 또한 세포 단위의 치료가 이루어 질 경우 암과 같은 병도 극복될 수 있을 것이다. 따라서 누가 이러한 기준에 맞는 기기를 빨리 개발할 수 있는지가 향후 의료기기 산업을 지배하는데 중요한 요소가 될 것이다. 이러한 기준에 부합되는 기기의 개발시 가장 중요한 요소가 다양한 파라메타의 측정 및 정밀 가공 기술이며, 센서 및 MEMS에 관련된 기술은 다양한 측정 및 정밀 기기의 제작에 가장 적합한 기술로 생각된다.

REFERENCE

1. 이경성, "최신 의용공학", 청구문화사, 1993
2. 이상훈, 민병구 외, "의공학 개론", 여문각, 1995
3. R. H. Taylor, S. Lavallee, et al., "Computer Integrated Surgery", The MIT press, 1996
4. 이상욱, "마이크로머싱 기술에 의한 세포조작 기구 제작 및 응용에 관한 연구", 서울대학교 박사학위 논문, 1996
5. 김명순, 이상훈, 이승기, "3개의 링크를 이용한 내시경용 bending 액츄에이터", 대한전기학회 하계학술대회, 1997