

## 의학과 생물공학에 있어 센서의 현황

李 尙 勳

檀國大 醫科大學 醫工學教室

### I. 서론

필자는 1987년도에 3개월 동안 인공심장에 관한 연구를 하기 위해 일본의 국립순환기병센타에 간 적이 있다. 그 곳은 인공심장에 관한 세계적인 연구소이며, 지금도 관련 논문들을 많이 발표하고 있다. 그 당시 필자와 같이 인공심장의 일렉트로닉스에 관해 일하였던 분은 광센서를 이용하여 혈액내의 산소, 이산화탄소 및 포도당 등의 농도를 측정하는 센서의 개발에 관한 연구를 하고 있었으며, 이를 이용하여 인공심장의 제어에 관한 논문을 유명한 학술지에 발표하였다. 나는 당시 인공심장의 생리적인 조건을 고려한 제어를 학위논문 테마로 정하고 싶어 이 시스템에 관하여 상당한 관심을 가졌었다. 그래서 이 연구소에서 열심히 일을 해주고 그 댓가로 센서를 두어개 얻어갈 요량으로 밤늦게까지 일하여 이 연구소에서 원하는 결과를 어느 정도 달성하였다. 3개월의 연구기간을 마치고 센서를 얻어가고 싶다는 나의 의사를 비추었지만 결과는 냉정한 거절이었다. 한편으로는 분하고 또 한편으로는 당시 한국의 센서에 관한 기술의 낙후성에 답답하였으며, 귀국하면서 언젠가는 센서에 관한 연구를 하겠다는 막연한 결심을 하였다. 이후 1989년 센서연구에 관한 지식을 얻고자 지도교수님과 일본 도후쿠대학(東北大學) 예사시 연구소를 방문했을 때 엄청난 장비와 운영경비에 놀란 가슴을 쓰담으며 귀국한 적도 있었다.

인체의 구조는 무수히 많은 센서로 이루어진 일종의 피드백 시스템이다. 따라서 진단, 치료 및 재활을 목적으로 하는 의료기기나 생물공학(Biotechnology)에 사용되는 기기를 개발하는데 있어 중요한 요소 중

의 하나가 정확한 측정이 가능하고 생체내에서 안정적으로 사용할 수 있는 센서를 구하는 것이다. 현재 엄청난 양의 의료기기에서 수입적자를 보고 있는 우리의 현실을 보면 생체용 센서에 관한 연구는 의학이나 공학에 있어 결코 무시할 수 없으며, 앞으로 국가의 기술력을 좌우하는데 있어 중요한 지표중의 하나가 될 것으로 생각된다.

이글은 의료기기나 생물공학에서 사용되는 센서의 현황에 관한 소개를 하고자 하며, 아울러 현재 센서에 관한 연구를 하고 있거나 관심 있는 전자공학도들에게 센서의 새로운 응용분야에 관한 가능성을 제시하고자 하며, 이들 분야에서의 센서에 관한 지속적인 관심을 가져주기를 기대한다.

### II. 반도체 센서 기술

지난 반세기 동안 진행된 전자공학, 특히 반도체 공정기술의 발전은 오늘날 혁명적인 기술의 발전을 가져왔다. 이러한 기술은 메모리나 집적회로의 개발에 지대한 영향을 미쳤을 뿐만 아니라 센서의 발전에도 많은 영향을 미쳐 과거에는 크고 복잡한 구조로 제작되었던 것이 지금은 실리콘 웨이퍼상에서 소형으로 대량생산되어 신체내에 이식가능한 센서도 많이 개발되어 실용화 되고 있다. 1959년 플레나 기술의 발견으로 시작된 반도체 가공기술은 단일소자로 된 다이오드나 트랜지스트의 제작을 가능하게 하였고 확산공정의 도입으로 인해 불순물의 선택적인 주입이 가능하게 되었다. 이후 개발된 이온주입공정으로 인해 주입되는 불순물의 원자 수를 정확히 조절할 수

있게 되었으며, 불순물의 침투깊이도 조절가능하게 되었다. 화학기상증착공정, 사진식각공정 및 금속공정 등의 발전은 과거에 비해 훨씬 작고 안정된 센서의 개발을 가능하게 하였다. 또한 3차원 미세구조물의 제작이 가능한 LIGA(Lithographic Galvanoformung Abformung) 공정과 Laser를 이용한 미세가공 기술의 개발도 센서의 발전에 크게 기여하였다. 의생물학(Biomedicine)에서 이러한 전자공학적인 기술이 치료나 진단에 사용하는 비중이 날로 증가되고 있으며, 다음 세대의 의생물학에 관련된 장비는 단순한 로직이나 메모리가 아닌 생체로부터 정보를 추출하는 센서가 가장 주요한 기술적 요소가 될 것으로 이야기 되고 있다.<sup>117</sup> 현재 개발되고 있는 대부분의 센서는 반도체 가공기술에 의해 제작되고 있으며, 단일칩 내에 변환기(transducer)와 주변회로를 같이 만들어 주기도 한다. 이러한 기술은 센서의 구조를 설계하는데 매우 강력한 도구로 사용되고 있으며, 극히 작은 크기로 제작할 수 있다는 점도 의생물학적인 관점에서 큰 장점이 된다.

### III. 의생물학용 센서

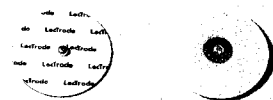
의생물학용으로 사용되는 센서는 크게 2가지 종류가 있다. 하나는 생체에서 발생하는 전기적인 신호를 측정하기 위한 것으로 전극이라고 부르기도 한다. 다음으로는 비전기적 신호를 전기적 신호로 변환시켜주는 변환기(transducer)가 있으며, 현재 의학에서 사용되는 센서의 주류를 이루고 있다.

#### 1. 전극

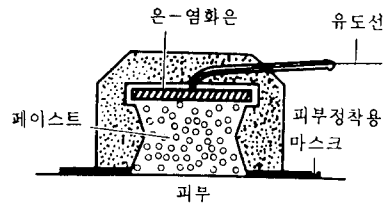
전극의 개발은 인체에 전기적 현상이 발생한다는 사실을 알게 된 이후 부터이다. 1786년 이탈리아 Bologana대학의 해부학 교수였던 갈바니(L. Galvani)는 개구리의 다리 근육을 금속격자에 걸어 놓으면 다리근육이 바람에 흔들려 금속격자에 접촉할 때마다 근육이 수축하는 현상을 관찰하였고, 그는 이 실험으로 부터 생물에서 전기가 존재하는 것으로 주장하여 당시 학계에 큰 선풍을 불러 일으켰다. 이후 네델란드의 생리학자인 아이트호벤(W. Einthoven)은 해저 전선기술자가 사용하고 있던 장치를 개량하여 현선전류계를 고안하고 이를 이용하여 인체의 심

장활동에 수반되는 전기현상을 체표에서 유도 기록하는데 성공하였고, 오늘날 순환기질환의 진단에 없어서는 안될 ECG(electrocardiogram)의 개발에 기초가 되었다.

신체에서 발생하는 전기적 현상들을 측정하는 기기들로 심전도 이외에도 뇌파(electroencephalogram: EEG), 근전도(electromyogram: EMG), 망막전도(electroentiniogram: ERG), 안전도(electrooculogram: EOG) 및 신경전도(Neurogram) 등이 있으며, 이들 기기들은 모두 전극을 사용하고 있다. 실제 사용되는 전극의 종류로는 표면전극(surface electrode), 체내 장착전극(internal electrode) 및 미소전극으로 나뉘어져 있다. 표면전극은 피부나 점막에 부착하여 사용하는 것으로 양은(Cu, Ni, Zn의 합금), 스테인레스 스틸(stainless steel), 은 텅스텐, 백금 및 이리듐 등이 주된 재료로 사용된다. 표면전극은 체표에 부착하여 사용하는 것이기 때문에 장시간 안정적으로 접촉을 유지할 수 있어야 하며, 접촉 저항이 낮고 잡음이 발생하지 않아야 하는 등의 조건이 만족되어야 한다. 그림 1)은 심전도에서 주로 사용되는 1회용 표면전극과 구조에 관한 그림을 나타낸 것이다. 한편, 수술중이거나 신속히 전극을 장착시 또는 표면전극으로는 측정에 한계가 있는 경우 침전극을 사용하며, 스테인레스 스틸이 주된 재료로 사용



(a) 심전도용 표면전극



(b) 심전도용 표면전극의 구조

그림 1. 심전도에서 사용되는 표면전극 및 구조

된다. 칩전극은 모양에 따라 절연칩, 동심칩전극 등으로 나누며, 주로 근전도나 뇌파 측정용으로 이용된다. 미소전극은 주로 세포내에서의 전기적 현상을 측정하는 전기생리학의 연구에서 많이 사용되고 있으며, 재료로는 금속과 유리가 많이 사용되고 있다. 금속전극은 텅스텐, 스테인레스 스틸, 백금선 등을 전해연마(electrolytic polishing)하여 그 끝을 가늘게 하는 방식을 많이 사용하고 있으며, 유리전극은 유리관을 가열하여 신전시킨 미세침에 고농도의 KCl 등의 전해질용액을 충전하여 제작하고 있으며 가격이 저렴하고 제작하기가 간단하여 많이 사용되고 있다.

한편 최근에는 반도체 가공기술을 이용한 전극의 개발에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그림 2)는 대뇌 피질에 자극을 가하기 위한 전극을 나타낸

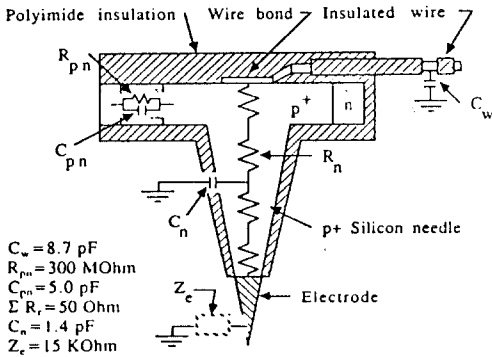
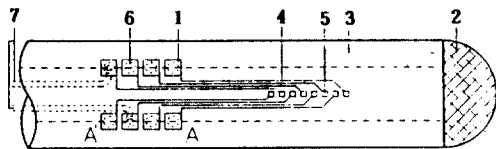


그림 2. 대뇌 피질에 자극을 가하는데 사용되는 전극



- 1 - Bonding Pad.
- 2- Epoxy Tip.
- 3 - cylindrical Alumina Substrate
- 4 - Thin film conducting Line.
- 5 - Ag-AgCl Electrode
- 6 - Polished Surface of the Copper Wire.
- 7 - conducting Wires

그림 3. 뇌의 심층부에서 포텐셜을 측정하는데 사용되는 전극

것이다. 인간의 대뇌에서는 어떤 감각기능은 피질의 특정부위에 국한되어 나타난다.

예를 들면 시각피질에 자극을 가하면 섬광(phosphene: 눈을 감거나 빛이 없는 상태에서도 나타나는 객관적인 시각) 현상이 일어 나거나 체성감각피질(somatosensory cortex)에 전기적인 자극을 가하면 촉각을 느끼는 등의 현상이 나타나게 된다.

이러한 기전(mechanism)은 감각기능이 상실된 환자에 있어 전기적인 자극을 가해 손상된 감각기관의 기능을 회복시키는 연구를 시작하게된 모티브가 되었다. 그림 2)가 보여주고 있는 전극은 피질에 삽입되어 전기적인 자극을 가하기 위한 전극으로 개발된 것으로, 직경과 두께가 각각 3인치 및 1.7mm인 실리콘웨이퍼를 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작한 것이며, n-type이고 방향이 <100>인 웨이퍼가 사용되었다.

이 전극은 기존의 평면전극에 비해 자극의 해상도가 우수하고 가해주는 전류의 한계치(threshold)를 줄여줄 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 3)은 수술하는 동안 뇌의 심층부(deep region)에서 포텐셜의 변화를 측정하기 위해 제작되었으며 1mm의 간격으로 8부분에서의 포텐셜이 측정가능하도록 만들어진 전극이다. 이 제품은 polishing한 산화알루미늄 튜브를 substrate로 사용하였고, thin film 기법을 사용하여 전극부를 제작하였다. 이들 외에도 신경계에 자극을 가하거나 생체에서 발생하는 전기적 신호를 측정하기 위한 장치들이 반도체 가공기술을 이용하여 제작한 예가 여러 건 보고되고 있다.

## 2. 물리적 변화량을 측정하기 위한 센서

생체에는 여러가지 물리적인 현상이 일어나고 있으며, 표 1)은 생체계측에 이용되는 각종 물리적 현상을 정리한 것이며, 이들을 측정하기 위한 센서가 여러 모양으로 연구 및 개발되고 있으며, 이 중에서 가장 많이 사용되는 물리량은 변위와 압력 및 열이 있다. 변위 측정용으로는 전위차계(potentiometer), 스트레인게이지(strain gage)등의 저항성 센서와 용량성 센서가 있다. 1960년대 이후 반도체 가공기술에 의해 제작된 스트레인게이지는 접합형, 비접합형, 집적형이 있으며, 이들은 금속 스트레인게이지에 비해 온도 감도가 높고 고유의 비선형성을 가지고 있다. 그리고 스트레인게이지는 압력센서로도 사용될 수 있으며, 반도체 스트레인게이지 압력센서는 카테터

(catheter) 끝에 위치시켜 혈관내에 직접 삽입함으로 더 정확한 측정을 할 수 있으며, 센서의 응답특성도 좋다. 압전 센서는 기계적인 스트레스를 받으면 전위차를 발생시키고, 반대로 전위차가 압전물질의 양단에 인가되면 물리적인 변위를 나타내는 압전소자를 이용한 센서이다. 압전센서는 의학에서 가장 많이 활용되고 있는데 대표적으로 사용되는 기기는 압력계, 심음계, 초음파 진단기, 맥파기 등이 있다. 그림 4)는 초음파 진단기의 변환기에 사용되는 압전센서에 관한 보식도를 그린 것이다.

표 1. 생체계측에 이용되는 각종 물리적 현상

물리적 변화량	측정대상	센서	장 치
기하학적 형상	장기의 형상 체내혈액분포	X선, 초음파, MRI	X선 장치, X선 CT MRI, 초음파 진단기
역학적 량	심 음	가속도, 압력	심음계, 태아 심음계
	맥 파	압력, 변위, 빛, 임피던스	맥파계
	혈 류	전자파, 초음파, 빛, 온도	초음파혈류계, 전자 혈류계, 써모다일부선
	혈 압	압력	혈압계
	효율량	압력, 열	효율계
	운 능	각도, 가속도	반질각도계, 운동량속정기
방사선	온도분포	적외선	Thermography
자기장	생체자기	SQUID	여자기도, 심자기도
열역학	체 온	써미스트, 열전대	체온계, 심부체온계

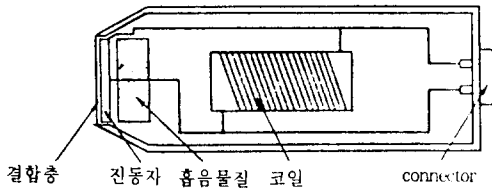


그림 4. 초음파 진단기의 보식도

압전소자에 전기적인 펄스를 가해 초음파를 발생시키고 이 후 음향임피던스가 다른 부위에서 반사되어 오는 반사파를 측정하여 전기적 신호로 변환한 후 이를 영상화 하는 구조를 가지고 있으며, 가격이 저렴하고 비관형적으로 쉽게 진단할 수 있다는 장점때문에 현재 가장 많이 사용되는 진단기기중의 하나가 되었다. 환자의 체온은 생리 상태를 나타내는 중요한 정보이며, 측정용 센서로는 열전쌍과 써미스트(thermistor)가 있다. 열전쌍은 Seebeck의 발견에

기초를 두고 있으며, 2개의 다른 금속 간의 접합 양단에는 기전력이 발생하며, 이는 두 접합의 온도차이에 비례한다는 법칙을 이용한 것이다. 반면 써미스트는 높은 부저항 온도 계수를 가진 열저항성인 세라믹 재료로 만든 반도체이며 온도가 올라가면 써미스트의 저항이 감소하고, 떨어지면 증가하는 특성을 가지고 있다. 온도를 측정하여 진단에 사용하는 기기로는 체온계, 서모그래피 등이 있으며, 특히 서모그래피는 인체의 미세한 온도 분포를 나타내는 기기로 유방암의 조기진단, 동상이나 화상 등으로 손상된 피부의 깊이를 결정하거나 각종 말초 순환 장애 검출에도 이용된다. 또한 써미스트를 이용하여 코구멍을 통과하는 공기흐름을 측정하는 pneumograph가 개발되어 사용되고 있다.

한편 광 시스템도 의료용으로 널리 이용되고 있으며, 대부분이 검사용 기기에 사용되고 있다. 분광광도법은 임상화학에서 사용되는 많은 계측기의 근간이 되는 방법이다. 이는 체집된 임상 물질들이 서로 다른 파장의 전자기적 에너지를 선택적으로 흡수하거나 방출하는 사실에 기초하고 있으며, 대부분의 경우 자외선(200-400nm), 가시영역(400-700nm) 혹은 근적외선 영역(700-800nm)의 파장을 사용하며, 가시영역의 파장대를 사용하는 장치들이 가장 많다. 그림 5)는 분광광도계에 관한 구성도이며, 분석 시료를 담은 큐벳(cuvette)를 통과한 빛의 흡광도를 검출기로 측정하여 시료의 특성을 분석하는 방법을 사용하고 있다. 광센서를 이용한 의료기기로는 혈액분석기, 화학분석기 등의 검사장비가 있으며, 혈당량 측정기, 광전식 맥파기 등 간단한 진단장치에도 많이 사용되고 있다. 한편 방사선 기기나 기타 조직검사 등에서 나오는 영상정보를 디지털화 하여 컴퓨터로 처리하는 기술이 최근에 각광을 받기 시작하면서 CCD센서에 관한 수요가 증가하고 있으며, 앞으로 모든 의료 영상정보의 전산화와 관련하여 많은 발전이 있을 것으로 기대된다. 이 외에도 운동량을 측정하는데 사용되는 가속도 센서, 혈류의 흐름을 측정하는 전자식 센서 등이 의료기기에 사용되고 있다.

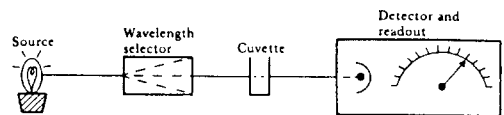


그림 5. 의료용 분광 광도계의 구성도

3. 화학적 변화를 측정하기 위한 센서(바이오센서 센서를 중심으로)

물리량을 측정하는 물리적 센서에 대응하여 화학물질을 측정하는 센서를 화학센서라 한다. 이런 화학센서의 창시자는 수소 이온 농도에 감응하는 유리전극의 발명자인 Cremer이다. 이 전극에 대한 연구가 진전되어 다른 이온을 측정할 수 있는 각종 이온 선택성 전극으로 발전하였으며, 대표적으로 반도체, 세라믹, 고체 전해질 등을 사용하는 가스센서, 습도센스 등이 개발되어 실용화 되고 있다. 그러나 이러한 화학적 센서의 측정대상의 대부분이 무기물이며 따라서 유기물을 선택적으로 측정하는 전극의 개발이 필요하게 되었다. 예를 들면 의료분야에는 체액내의 저분자로 부터 고분자에 이르기 까지 생체관련 물질의 측정은 진단과 치료에 불가분의 관계에 있다는 것이다.

효소는 특정 분자를 식별하고 이들의 화학반응을 촉매하는데 분석시약으로 1940년대 이후부터 사용되어 왔다. Clark은 이런 효소의 특이성에 착안하여 이를 전극으로 조립하여 효소의 기질을 측정하는 원리를 제안하였다. 이 전극에 Updik와 Hick는 고정효소를 채용하여 새로운 장을 열었다. 또한 이들은 글루코옥시다아제 고정화막과 산소전극을 조합한 센서를 최초로 제작하였다.

이 발표는 효소센서의 연구가 발전하게 되는 계기가 되었으며, 단일 혹은 복수의 효소가 분자식별소자로 사용되었다. 여기에다 다른 분자식별소자를 사용한 센서가 고안되는 단계에 이르렀다. 또한 생체와 상호 친화력이 있는 물질, 예를 들면 효소-기질, 효소-조효소, 항원-항체, 호르몬-수용체 등이 존재하며 이들중 하나를 막에 고정시켜 분자식별효소로 사용하며, 상대되는 것을 선택적으로 측정하는 것이 가능하며 이를 총칭하여 바이오센서라 한다.

바이오센서는 분자식별소자에 의해 효소센서, 면역센서, 효소면역센서, Organelle센서, 미생물센서, 조직센서 등으로 분류되기도 한다. 또한 사용하는 트랜스듀스에 의해 센서를 분류하기도 하며 전극 바이오센서, 반도체 바이오센서, biothermometer, 발광계측형 바이오센서 등이 있다.

이러한 바이오센서는 대부분이 단일물질을 측정대상으로 하는 단기능 센서지만 최근에는 미량, 다종의 화학물질을 동시에 측정할 수 있는 다기능 센서에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 바이오 센서는 주로 의료와 생물공학에서 많이 사용되고 있으며, 환경

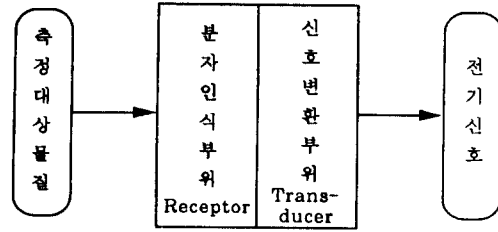


그림 6. 바이오 센서의 원리

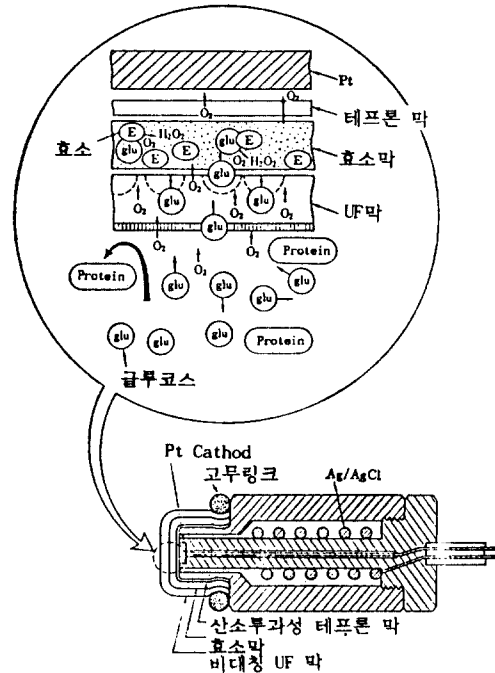


그림 7. 산소의 기질분자를 검출하는데 사용되는 바이오 센서

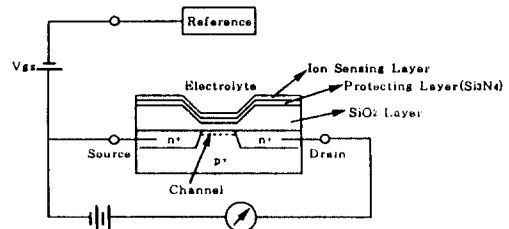


그림 8. ISFET의 동작원리

분야에 대한 계측용으로도 광범위하게 응용되고 있어 앞으로 발전가능성이 매우 클 것으로 기대된다. 바이오센서는 기본적으로 그림 6)과 같은 구조를 가지고 있으며, 측정가능한 물질에 따라 산소전극, 수소전극, 이온전극 등으로 분류할 수 있으며, 그림 7)은 산소의 기질분자를 검출할 목적으로 제작된 바이오센서를 나타내고 있다.

현재는 이러한 바이오 센서와 절연게이트형 전계효과 트랜지스트(Insulated gate field effect transistor : IGFET)를 집적화 하여 제작된 센서가 많이 개발되고 있으며, 이는 소형화가 가능하고 우수한 전기적 특성으로 인하여 활발한 연구가 진행되고 있으며, 가장 많이 사용되는 것으로 ISFET(ion sensitive field effect transistor)가 있다.

그림 8)은 3층의 이온 감지막을 갖는 ISFET의 동작원리를 나타낸 그림이며, 절연체로는  $\text{Si}_3\text{N}_4$  와  $\text{SiO}_2$ 를 사용하고 있다. 여기서 기준 전극은 보통 IGFET의 게이트 전극으로 생각할 수 있다.

전해물과 게이트 절연체 사이에 화학적 전위차가 형성되고, 이 전위차는 절연체와 P+ 사이에 전류가 통하는 채널을 형성하며, 채널을 통한 전기전도도는 전위차에 따라 결정된다. 병원의 중환자실이나 병리과에서 환자의 이온 농도나 혈액 가스압을 계속해서 측정하는 것은 환자의 화학적 에너지 교환이나 신진대사에서의 급격한 변화를 찾아 내는데 매우 중요한 역할을 한다. 이 경우 센서를 환자의 체내에 삽입하거나 카테타 끝에 장착하여 사용하는 것이 좋으며, ISFET를 사용하여 만든 센서는 이러한 목적에 가장 적합한 것으로 알려져 있다.

그러나 ISFET로 된 센서를 장시간 사용할 경우에는 단백질이나 다른 유기물질이 센서와 결합하거나 혈액이 센서주위에 응고되는 현상이 발생할 가능성이 많기 때문에 생체적합성이 우수한 재료의 개발과 응용이 요구되고 있다.

#### 4. 센서의 패키징(packaging)

생체에서 사용되는 센서의 경우 항상 혈액이나 체액 등과 접촉하고 있기 때문에 측정부위 이외의 전자부품들은 이들과 접촉하는 것을 막아야 하며, 최근엔 인체에서 필요한 정보를 측정하는데 패키징은 가장 중요한 기술중의 하나가 되었다. 이와 같이 전자장비를 주변 환경으로부터 보호하기 위한 방법으로는 실링(sealing), 코팅 및 encapsulation이 있으며, 왁스

와 얇은 폴리머 필름에 의한 패키징이 처음으로 시도된 방법이었다. 이 후 트랜스듀스나 스트레인 게이지 등에 수분이 잠입하는 것을 막기 위해 라카, 니스, 에나멜, 비닐 및 폴리에틸렌 등의 재료가 혼합되어 사용되었으며, 왁스의 경우 가볍고 우수한 절연성으로 인하여 초기에는 가장 많이 사용되는 재료중의 하나였다. 체내에 이식되어 심장에 전기적인 자극을 지속적으로 가해주는 페이스메이커 산업이 발전하면서 더욱 안정된 패키징용 재료에 관한 요구가 증가되었으며, 에폭시, 실리콘 고무, 폴리우레세인 및 아크릴 등이 널리 사용되기 시작하였다.

현재 많이 사용되는 패키징 재료로는 에폭시, 실리콘 고무, 폴리우레세인, 유리, 세라믹 등의 비금속계 재료와 티타늄, 코발트, 스테인레스 스틸 등의 금속성 재료로 나뉘어 진다. 이중 티타늄은 중량이 가볍고 강도가 높아 페이스메이커나 체내 이식형 인공심장의 제어장치 등에 많이 사용되고 있다. 한편 널리 사용되는 패키징 기술로는 Polymeric encapsulation, Glass sealing, Electrostatic bonding, Metalized sealing, Microwelding 및 Wire Bonding 등이 있다.

#### 5. 국내의 의료 및 생물공학용 센서의 개발 현황

국내에서 센서에 관한 학술대회가 처음으로 개최된 것으로는 1990년 경북대학교 센서기술연구센터에서 개최된 센서기술 학술대회이며, 이때 발표된 논문중 의료나 생물공학용 센서에 관한 것으로는 ISFET의 제작을 위한 기초연구나 타당성을 조사하는 수준이었다. 그러나 이후 환경문제가 사회적인 이슈가 되면서 바이오센서 및 케미칼 센서에 관한 연구가 활발히 진행되기 시작하였고, 반도체 기술을 이용한 물리적 센서로 혈압측정용 압력센서, 혈중 산소농도를 측정하기 위한 광센서, 비각 측정용 센서, 의료진단용 X 선 영상센서, 포도당 센서 및 이온 크로마토그래피를 구성하기 위한 이온센서에 관한 연구가 진행되고 있다.

그리고 공업용으로 개발된 센서이지만 앞으로 의생물학용으로 사용가능한 센서로 가속도 센서, 써미스트, 써모그래피용 온도센서 및 환경 측정용 BOD센서에 관한 연구가 진행되고 있다. 한편 현재 연구회를 구성하여 활발하게 활동하고 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)에 관한 연구결과 및 기술들이 의생물학용 센서의 발전에 많은 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 맺는말

문명의 발전과 생활수준의 향상으로 건강과 환경에 대한 관심이 많아지고 있으며, 과거의 감각적, 경험적, 권위적 의술이 현재는 정량적이고 논리적인 의학으로 변화하고 있다. 이러한 변화는 인체에서 발생할 수 있는 여러가지 현상들을 정량적으로 정확하게 측정할 수 있는 의료기기, 이중에서도 특히 성능이 우수한 센서의 발전을 근간으로 하고 있다. 그림 9)는 미래의 수술실을 가상적으로 그린것이다. 의사는 모니터를 통하여 미세수술 등을 하며, 카세트나 조작기(Manipulator) 끝에는 현재의 상태를 감지할 수 있는 센서들이 부착되어 의사에게 여러가지 중요한 정보를 제공한다. 그림 10)은 초소형 의료기기를 체내에 주입하여 세포단위로 병을 치료하기 위한 약물 주입용 마이크로 로봇(Drug Delivery System)에 대한 가상도이며, 많은 학자들이 수십년 내로 이러한 미래적 개념의 의학이 정착될 것으로 기대하고 있다. 이런 의학을 실현하는데 센서는 매우 중요한 기술적

요소중의 하나이며, 환경과 생물공학에서도 센서에 대한 수요가 증가할 것으로 생각된다.

參考文獻

[1] 의공학 교육 연구회, "의용계측공학", 여문각, 1993

[2] 이경성, "최신의용공학", 청구문화사, 1993

[3] 민병구, 이상훈 외, "인공장기", 서울대학교 출판부, 1994

[4] 이상훈, "의학과 생물공학에서의 미소기계기술의 현황", 전기학회지 40권12호, pp4-9, 1993

[5] 藤正 巖, 中島尚正, 鎮西恒雄, 井街 宏, "マイクロマシン開発ノートブック", 秀潤社, 1991

[6] 東京大學 マイクロマシン研究共同體, "超技術 マイクロマシン", NTT出版社, 1993

[7] 鈴木周一, "バイオセンサー", 講談社, 1984

[8] 輕部征夫, "マイクロバイオセンサーとマイクロアクチュエータ", 日本BME Vol.3, No. 1, pp18-23, 1989

[9] 서무교, 강명성, 박응수, 손병기, "pH-meter 개발을 위한 ISFET와 기준전극의 제작 및 그 동작특 성", 센서기술학술대회 논문집 1권1호, pp41-45, 1990

[10] 이성률, 남태철, 손병기, "마이크로 ISFET pH 센서를 위한 REFET형 마이크로 기준전극", 센서기술 학술대회 논문집 1권1호, pp29-33, 1990

[11] 권기진, "非抽出式 血中 酸素 飽和度 測定用 光 센서에 관한 연구", 경북대 전기공학과 석사학위논문, 1992

[12] 강희동, 이상운, 최희동, 도시홍, 김도성, 우홍, "의료용 방사선센서의 개발", 경북대학교 센서기술연구소 연차보고서, pp120-140, 1993

[13] 이종덕, 손병기, 서화일, 김창수, 이수근, "FET형 바이오/이온 센서를 이용한 미각 센서의 개발", 경북대학교 센서기술연구소 연차보고서, pp193-209, 1993

[14] 김의락, 김종완, 최성문, 강희진, "BOD 센서 개발에 관한 연구", 경북대학교 센서기술연구소

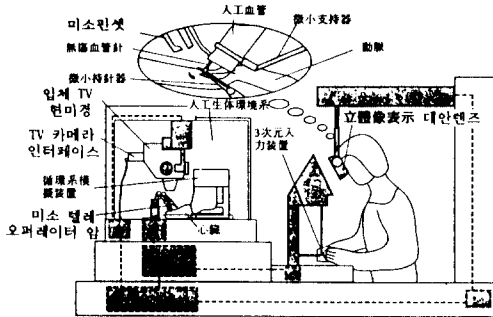


그림 9. 미래의 수술실에 대한 상상도

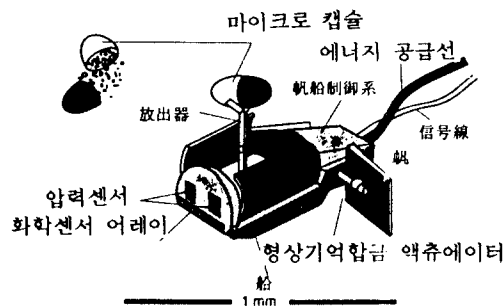


그림 10. 체내 주입용 마이크로 로봇의 상상도

- 소 연차보 고서. pp275-281. 1993
- [15] K.S. Lee, J.H. Shin, M.J. Cha, G.S. Cha, et al. "Multiionophore-Based Solid-State Potentiometric Ion Sensor as a Cation Detector for Ion Chromatography". The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. pp378-381. 1993.
- [16] 이종덕. "실리콘 집적회로 공정기술". 대영사. 1991
- [17] Wen H. Ko. "Implantable Sensors for Closed-Loop Prosthetic Systems". Futura publishing Company INC., 1985.
- [18] P.K. Campbell, K.E. Jones, R.J. Huber, et al. "A Silicon-Based, Three-Dimensional Neural Interface: Manufacturing processes for an Intracortical Electrode Array". IEEE Trans on Biomedical Eng., Vol. 38, No. 8, pp758-768. 1991.
- [19] S. Kayashima, T. Arai, et al. "New Noninvasive Transcutaneous Approach to Blood Glucose Monitoring: Successful Glucose Monitoring on Human 75g OGTT with Novel Sampling Chamber". IEEE Trans on Biomedical Eng., Vol. 38, No. 8, pp752-757. 1991.
- [20] G.A. Urban, J.A. Ganglberger, et al. "Development of a Multiple Thin-Film Semimicro DC-Probe for Intracerebral Recordings". IEEE Trans on Biomedical Eng., Vol. 37, No. 10, pp913-918. 1990.
- [21] G.A.L. Meijer, K.R. Westerterp, et al. "Methods to Assess Physical Activity with Special Reference to Motion Sensors and Accelerometers". IEEE Trans on Biomedical Eng., Vol. 38, No. 3, pp221-229. 1991.

### 筆者紹介



李 尚 勳

1960年 12月 13日生

1983年 2月 서울대학교 공과대학 전기공학과 공학사

1987年 2月 서울대학교 공과대학 제어계측공학과(의공학전공)공학석사

1992年 2月 서울대학교 공과대학 제어계측공학과(의공학전공)공학박사

1985年 9月 ~ 1992年 2月 서울대학병원 의공학과 연구원

1992年 3月 ~ 현재 단국대학교 의과대학 의공학과 조교수

1994年 5月 ~ 현재 단국대학병원 의공학과 과장

주관심 분야 : 인공심장, 마이크로 액츄에이터 응용