

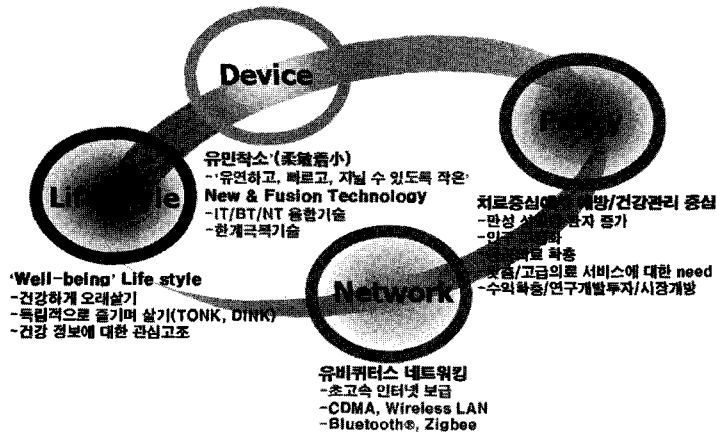
# 유-헬스케어와 센서

김희찬 (서울대학교 의과대학)

## 1. 서론

유-헬스케어란 “인체의 건강관련 정보를 시간과 공간의 제약 없이(ubiquitous) 수집, 처리, 전달, 관리할 수 있게 해줌으로써 제공되는 원격지 의료서비스(Healthcare)”라고 정의할 수 있다. 말 그대로라면 언제나 어느 곳에서든지 우리의 건강과 관련된 서비스가 제공되는 한 단계 높아진 복지사회를 실현시킬 수 있는 꿈의 기술인 셈이다. 이러한 유-헬스케어에 대한 최근의 메가트렌드(megatrend)

에는 그림 1에 나타나 있는 것과 같이 크게 네 가지 요소가 존재한다. 각 요소의 발전과 변화 그리고 요구사항들이 유-헬스케어 구현을 위한 구동력으로 작용하고 있는데, 이중 가장 강력한 추진력으로 작용하고 있는 것은 역시 정보통신기술(IT)의 발전과 함께 우리의 일상생활을 혁명적으로 바꾸고 있는 정보통신 네트워크라고 볼 수 있다. 그러나 이들 구성요소 중 어느 하나의 일방적인 독주만으로는 우리가 기대하는 유-헬스케어 시스템이 실현될 수 없음을 간과해서 안된다.



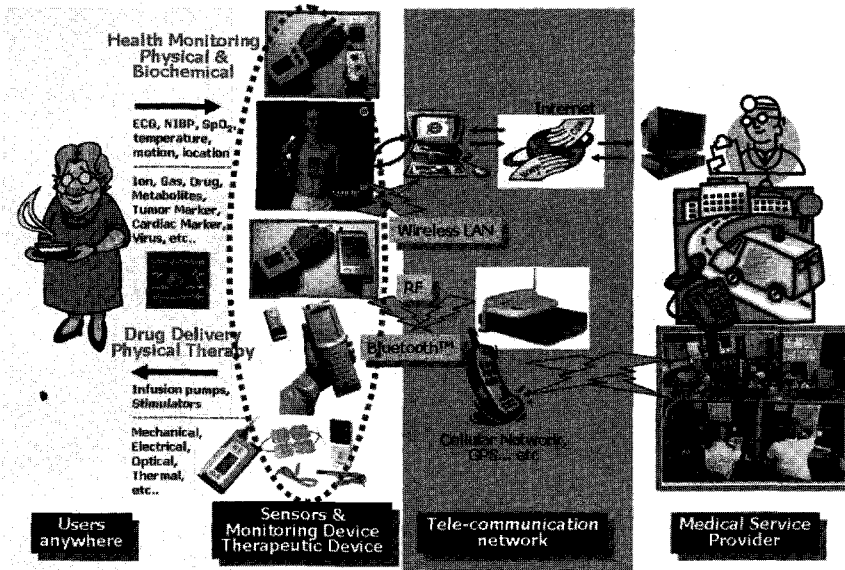
〈그림 1〉 유-헬스케어의 메가트렌드

한편 이러한 유-헬스케어 메가트렌드의 각 요소에 해당하는 주체들은 그림 2에 나타나 있는바와 같이 의료서비스 제공자, 수혜자, 이 양자 간의 시공간적인 제약을 해결해주는 무선통신 네트워크, 그리고 진단과 치료 서비스 전달을 위한 의료기기의 네 가지로 볼 수 있다. 유-헬스케어의 실현에 대한 각 주체들의 현황을 살펴보면, 여기서도 초고속 무선통신 네트워크가 가장 발전된 인프라 구조로서 유-헬스케어의 구현을 선도하고 있으며, 의료제공자와 일반 수혜자들은 일상의 업무나 생활에 크게 지장 받지 않으면서도 더욱 수익성이 좋고 사용이 편리한 새로운 형태의 의료서비스에 대한 기대감에 부풀어 있는 상황이다. 그러나 유-헬스케어의 실제적인 내용을 결정짓는 핵심요소라 할 수 있는 것이 바로 환자의 건강 상태를 감시하고 의료진의 명령에 따라 적절한 치료행위를 전달하기 위해 수혜자와 무선통신 네트워

크 간을 연결하는 지능형의료기기(Intelligent Medical Device)이다. 사실상 이 요소가 무선통신 네트워크를 통해 현재 제공되고 있는 수많은 여타 서비스들과 유-헬스케어 서비스를 차별되게 만드는 핵심요소이지만, 유-헬스케어를 이야기할 때 이에 대한 의미가 제대로 인식되지 못하고 있는 것 또한 사실이다.

모든 의료기기는 의료용계측시스템(Medical Instrumentation System)의 한 종류이고 일반 계측시스템과 마찬가지로 센서(sensor)가 중요한 구성요소 중 하나이다. 따라서 의료용 센서는 유-헬스케어에서 제공되는 의료 서비스의 내용과 질 모두를 결정지음으로써 전체적인 유-헬스케어 개념의 성패를 결정할 수 있는 매우 중요한 소자라고 말할 수 있다.

본고에서는 이와 같이 유-헬스케어 시스템의 주요 구성 요소이며 향후 동 분야의 기



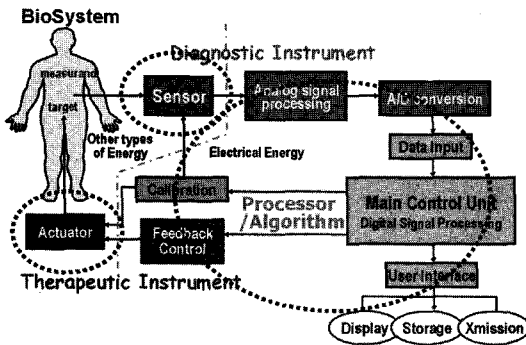
〈그림 2〉 유-헬스케어 시스템의 구성요소

술발전을 주도할 의료용 센서기술에 대해서 그 현황과 미래를 전망해 보기로 한다.

## II. 본론

### 1. 의용계측시스템과 센서

일반적인 계측시스템에서 센서는 대상(target) 시스템으로부터 특정한 에너지 형태의 신호를 감지하여 전기에너지 형태의 신호로 변환해주는 변환기(transducer)를 의미한다. 의료기기를 포함한 모든 의료용 계측시스템은 그림 3에 나와 있는 것과 같이 센서(Sensor), 처리기(processor), 작동기(actuator)의 세부분으로 구성되며, 여기서 센서는 인체로부터 생명현상과 관련된 정보를 포함하는 각종 에너지 형태의 신호를 감지하여 전기신호로 변환하여 처리기로 제공해주는 역할을 한다. 따라서 센서는 진단용 계측시스템과 폐루프형(closed-loop) 치료기기 모두에서 필수적인 구성요소가 되며, 전체 시스템의 성능을 결정짓는 중요한 역할을 하는 소자이다.



〈그림 3〉 의용계측 시스템의 구성

이러한 센서 자체의 구성요소로는 변환성

질(transducible property)과 변환원리(principle of transduction)를 들 수 있는데, 전자는 변환원리를 적용할 수 있는 측정 대상(measurand)의 독특한 특성이며, 변환원리는 변환성질을 전기신호로 변환하는데 사용될 수 있는 여러 가지 방법 중 하나를 의미한다. 예를 들어, 수술 중 환자의 호기 중 이산화탄소(expiratory CO<sub>2</sub>) 농도를 측정하는 센서를 구현하기 위해서는 변환성질로는 이산화탄소분자의 적외선(4.3μm) 흡수특성을 이용하고, 변환원리는 적외선 LED와 광감지 소자(photodetector)를 사용한 검출방법을 사용할 수 있다.

유-헬스케어에 위한 의료용 센서의 특성을 생각할 때 고려되어야 할 내용은 크게 3가지로서, 센서의 성능(performance)과 휴대성(wearability), 그리고 비침습성(noninvasiveness)이다.

### 2. 센서의 성능

의료용 센서의 출력은 전기신호의 형태이어야 하지만, 측정대상 신호는 물리/화학/생물학적 신호 모두가 될 수 있고, 변환성질이나 변환원리도 물리/화학/생물학적 현상과 방법 중 어떤 형태든지 가능하다. 따라서 센서의 종류를 구분할 때 입력신호의 특성, 센서구현의 원리나 방법 등에 따라 여러 가지로 다양한 조합의 센서 형태가 가능하게 된다. 이러한 구분에 명확한 기준은 없으며, 대부분 측정 대상 신호의 에너지 형태에 따라 편의상 물리센서, 화학센서, 생물학 센서 등으로 구분하여 부르고 있다. 따라서 의료용 센서는 전위/자기장, 압력/힘, 변위/속도/가

속도, 유량/유속, 온도, 광, 음파 등을 측정하는 물리센서와 혈액을 비롯한 각종 시료(sample)에 포함된 가스, 전해질, 금속 등 다양한 화학성분을 측정하는 화학센서, 그리고 일반적인 화학센서와 구별하여 생체조직 내에 존재하는 수많은 종류의 생화학 물질을 측정하는 생화학(또는 생물학)(biochemical or biological) 센서들로 나누어볼 수 있다.

대부분의 의료용 물리센서나 화학센서는 일반적인 산업용 센서나 실험실용 센서와 동작원리는 동일하지만 특별히 이화학적 안정성이나 생물학적 안전성이 개선된 형태로 사용되는 것이 보통이다. 한편, 인체는 하나의 거대한 생화학적 플랜트로 볼 수 있고, 현대 의학이 발전과 생명현상에 대한 분자생물학(molecular biology)적인 이해와의 밀접한 관계를 생각해보면 생화학(생물학)센서가 그 필요한 종류의 다양성이나 의학적 중요성이 매우 클 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 생화학센서는 기존의 물리/화학센서와 다른 기술적 어려움이 존재하는데, 그것은 측정 대상 물질(analyte or substrate)의 농도가 매우 낮고, 이것들과 유사한 특성을 갖는 수많은 방해물질(interference)의 존재 하에서 작동해야 하기 때문이다. 따라서 센서의 특성을 표현하는 변수 중에 감도(sensitivity - 입력 신호의 단위 변화에 대한 출력 신호의 변화량)와 선택도(selectivity - 여러 가지 유사 입력신호 중 측정 대상신호만을 선별하는 능력)가 동시에 우수한 센서를 만들어야 한다는 어려움이 있다.

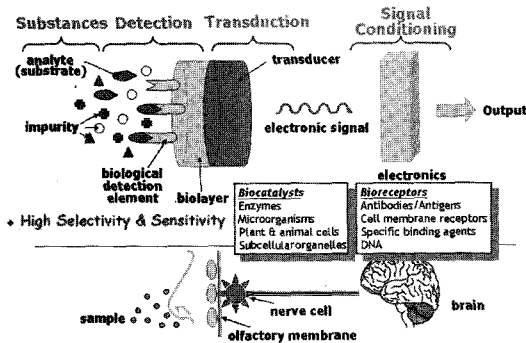
### 1) 바이오 센서

바이오센서는 앞서 설명한대로 생화학 센서

의 특별한 요구조건을 만족시키기 위해서 기존 센서의 감도와 선택도를 획기적으로 개선할 수 있는 형태로 제안된 것이다. 바이오센서의 구조는 그림 4에 나타나 있는 대로 기존의 물리/화학센서의 표면에 생물학적 감지요소(biological detection element)를 결합시킨 형태이다. 즉, 측정하고자하는 생체 물질(analyte)이나 기질(substrate)과 선택적으로 결합 및 반응하는 생물학적 감지요소의 고선택성과 고감도 특성을 이용하기 위한 구조이다. 따라서 바이오센서에서는 사용되는 생물학적 감지요소와 신호변환기 그리고 이 둘을 연결시키기 위한 고정방법(immobilization method)의 3가지가 핵심요소이다. 생물학적 감지요소로는 효소반응의 효소/기질(enzyme/substrate), 면역반응의 항원/항체(antibody/antigen), DNA의 상보서열간의 수소결합, 각종 수용체(receptor), 미생물(microorganism), 세포/조직/장기(cell/tissue/organ) 등이 사용된다. 이러한 생물학적 감지요소의 고정 방법에는 흡착(adsorption), 미세캡슐화(microencapsulation), 포함(entrapment), 교차결합(cross-linking), 공유결합(covalent bonding) 등의 방법이 사용되고 있다. 신호변환기로는 전기화학식(electrochemical), 광학식(optical), 압전소자(piezoelectric), 표면탄성파(surface acoustic wave), 온도감지식(thermal) 변환기 등이 사용된다. 바이오센서의 시조는 1962년 Clark가 제안한 효소전극(enzyme electrode)으로서 당산화효소(glucoseoxidase, GOD)를  $O_2$  센서와 결합시킨 혈당센서(glucose sensor)였다. 그 이후 혈당센서는 가장 성공적인 바이오센서로 임상에 널리 사용되고 있으며 현재는 연간 세계시장 규모가 6조원, 국내시장

600억원의 규모로 성장하였다. 국내에서도 이미 3개 회사가 국산 혈당센서를 시판/개발하고 있는 상황이다.

바이오센서의 응용분야는 크게 의료용, 환경용, 산업용으로 나눌 수 있는데 가장 큰 시장인 의료용 바이오센서로는 혈당과 같은 대사물질센서, 미생물 검출 센서, 호르몬센서, 각종 질병의 표지자(marker)용 센서 등이 시판/개발되고 있다. 이외에도 환경용 센서로는 BOD(biological oxygen demand)센서를 비롯한 각종 오염물질 검출센서, 중금속 및 독성물질 검출센서, 생화학무기 검출센서 등이 있고, 산업용으로는 식품 및 생물공정용 센서로서 발효검사, 식품안전성 검사, 동, 식물 질병 및 품질관리용 센서, 생물공정 제측 및 제어용 센서 등이 있다.



〈그림 4〉 바이오센서 구성도와 생체감각기관과의 유사성

### 3. 센서의 휴대성과 비침습성

유-헬스케어의 실현을 위해서 요구되는 또 다른 중요한 센서 특성은 휴대성과 비침습성이다. 우선 휴대성은 더 이상 설명이 필요하지 않겠지만, 가능한 사용자들이 간편하

고 휴대에 부담이 작은 형태이어야 한다. 따라서 가능하면 이미 일반인들이 일상생활에서 휴대하거나 착용하고 있는 시계, 반지, 목걸이, 벨트, 속옷, 양말, 신발, 모자 등과 같은 형태이거나 이것들과 일체화 될 수 있는 형태가 가장 이상적이다. 대부분의 물리센서들은 이러한 형태의 휴대화가 가능하고 실제로 심전도(electrocardiogram)로 대표되는 생체전기신호나 체온, 맥박, 호흡, 가속도, 심폐음 등의 물리센서나 화학변수인 산소포화도(oxygen saturation, SaO<sub>2</sub>)를 측정하기 위한 광학센서, 일회용 혈당센서등은 이미 여러 연구팀에 의해 다양한 휴대형 시스템이 보고되고 있다. 그러나 이러한 물리센서가 제공하는 정보만으로는 효과적인 의료서비스의 제공에 한계가 있는데, 결국 혈액과 같은 생체시료에 대한 생화학적 분석이 요구되고, 이러한 생체시료의 채취가 전문의료인에 의해서 이루어지지 않도록 비침습적 혹은 최소침습적(minimally invasive)인 방법으로 이루어지는 센서 시스템이 필요한 것이다.

#### 1) 환자결 검사(Point-of-Care Testing, POCT)

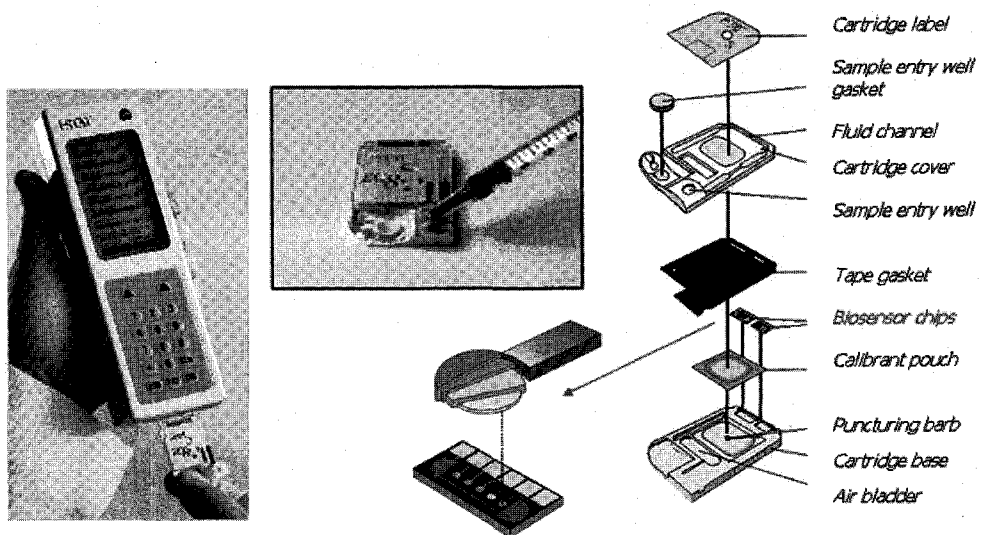
환자 결(옆) 검사 혹은 현장검사, 현시검사 등으로 불리는 POCT는 “공간적으로나 시간적으로 고정되어 있지 않고, 휴대형이나 이동형 검사장비를 이용하여 임상검사 실험실(clinical laboratory)이 아닌 환자가 있는 근처에서 즉시 검사결과를 제공할 수 있는 환자 검체분석 행위”를 말한다. 검체에 대한 이차적인 처리가 어려운 상황에서 소량의 검체로 결과를 즉시 제공해야하기 때문에 앞서 설명한바와 같이 고감도, 고선택도 특성을

갖는 바이오센서의 사용이 필수적이다. 이러한 POCT를 할 수 있는 장소로는 중환자실 (general/critical), 응급실, 수술실, 외래진료실, 개원가, nursing home, 환자의 집 등 다양한 곳에서 사용될 수 있다. 따라서 이러한 POCT는 현재 병원 내 검사시스템 운용의 형태를 바꿔 놓고 있을 뿐 아니라, 궁극적으로 유-헬스케어가 지향하는 바와 같은 목표를 향해 기술개발이 진행되고 있다. POCT용 시스템의 실현에는 가장 기본이 되는 바이오센서 기술뿐 아니라 소량의 샘플을 이용하여 다양한 분석이 가능하도록 하기 위해 초소형 시스템 제작 및 응용 기술이 요구된다. 그림 5에는 POCT 개념을 구현한 i-STAT사의 혈액분석용 휴대형제품이 나타나 있다. 그림에서 보듯이 바이오센서칩이 핵심부품으로 되어 있다. 그러나 이러한 제품도 아직까지 유-헬스케어 시스템에 적용될 수 있을 정도의 비침습성을 제공하지는 못하고 의료인에 의한 정맥혈 채취가 필수적이다.

## 2) MEMS 와 NEMS

유-헬스케어를 위한 센서 분야에서 초소형 시스템 제작 및 응용 기술의 필요성은 휴대형, 이동형, 부착형 시스템을 구현하기 위해 시스템의 모든 구성요소가 輕薄短小형으로 구현되어야 함만을 의미하지 않는다. 즉, 초미세 가공 방법들을 활용하여 극미소량의 시료만으로도 작동이 가능한 센서 시스템을 구현함으로써 비로서 비침습/최소침습적인 센서가 가능해 지기 때문이다. 또한 최근의 새로운 BT 기술을 활용한 생화학적 분석에는 고가의 시약(reagent)이 사용되는데, 분석에 필요한 시료의 양을 최소화함으로써 동시에 분석용 시약의 양도 줄일 수 있다는 장점이 있다.

기존의 기계가공법의 한계를 극복하기 위하여 반도체 IC(integrated circuit) 제작공법인 광식각법(photolithography)를 이용하여 미세 기계 요소들을 만드는 새로운 방법이 개발되었는데 이러한 방법으로 제작된 시스

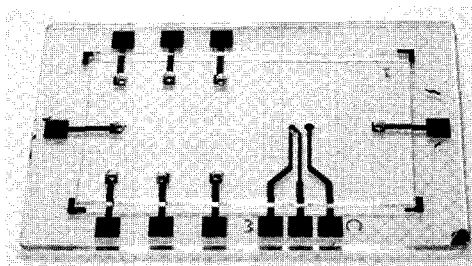
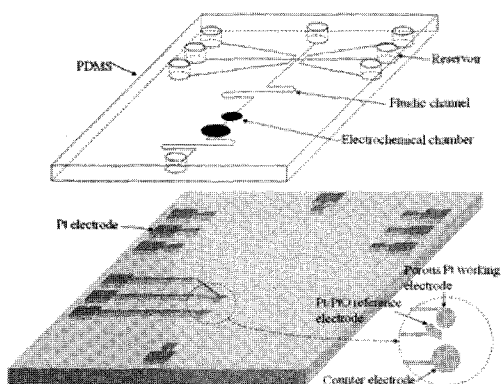


〈그림 5〉 i-STAT사의 POCT 개념의 휴대형 혈액분석장비

템을 MEMS(Micro ElectroMechanical Systems)라고 한다. 따라서 MEMS는 초소형 시스템이나 초소형 정밀기계를 말하며 마이크로 시스템, 마이크로 머신, 마이크로 메카트로닉스 등으로 불려지고 있다. 이러한 MEMS 기술들은 일괄공정으로 초소형 부품들을 대량 생산해낼 수 있을 뿐 아니라 시스템 제조 시에 전자 회로 등을 같이 내장할 수 있어서 결과적으로 전체적인 센서 시스템을 더욱 소형화 시킬 수 있는 장점이 있다. MEMS 기술로 만들어진 부품들은 보통 수  $\mu\text{m}$ 의 크기이고, 전체 시스템은 수 mm 정도라고 할지라도 그 자체로 완전한 센서시스템이 될 수 있다. 이러한 MEMS 기술을 활용한 물리 센서는 이미 의료용으로 널리 활용되고 있는데, 일회용 혈압센서와 가속도센서가 대표적인 예이다. 최근 의생명과학(Biomedical Science) 분야에 대한 MEMS 기술 응용은 BioMEMS라는 새로운 분야를 태동 시켰는데, 초소형의 수술용 기구, 인공장기, 진단용 각종 시료분석장치, 약물전달장치 등을 MEMS 기술로 제작하려는 시도가 진행되고 있다. 이러한 BioMEMS 분야에서 사용되고

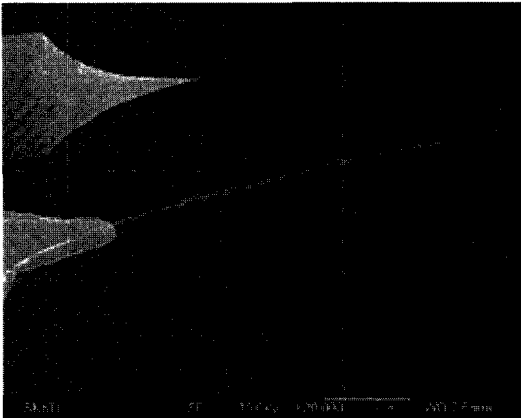
있는 두 가지 새로운 기술은 반도체 재료 실리콘이 아닌 플라스틱 재료를 사용하는 polymer MEMS와  $\mu\text{m}$  크기의 유체 채널을 활용하는 microfluidics이다.

또한 최근에는 탄소나노튜브의 제작과 활용을 시작으로 mm크기의 구조체와 물질을 다루는 나노기술(nanotechnology)에 대한 관심이 증대되고 있는데, 이러한 나노기술을 응용한 NEMS(Nano ElectroMechanical Systems) 기술로 이전에 불가능했던 다양한 진단 및 치료 장치들을 개발하고자하는 연구가 진행되고 있다. 아직까지 이론적으로나 기술적으로 해결해야할 문제가 많이 있지만 mm크기의 바이오센서를 microfluidics와 결합하면 작은 바이오칩 하나에서 모든 혈액분석을 한꺼번에 해낼 수 있는 진정한 의미의 미세총괄분석 시스템(micro total analysis system,  $\mu\text{TAS}$ )가 가능해질 뿐 아니라, 단일세포를 조작(single-cell manipulation)하여 원하는 센서 상에 위치시키고, 세포내외액상에 자극을 가하고, 세포의 분비물을 측정하며, DNA, RNA나 단백질과 같은 각종 유전물질을 주입, 추출, 분석할 수 있는 단일세포 종합작업대



〈그림 6〉 BioMEMS 와 microfluidics 기술을 이용한 혈액분석용 바이오칩의 예

(single-cell workbench)를 만들 수도 있게 된다. 이런 기술은 향후 체내 삽입되어 암세포의 조기발견을 실현시키거나 암세포의 활동을 억제, 사멸시키기 위한 각종 유전자 치료법을 시행하는 혈관 내 주행 마이크로시스템을 가능하게 하는 기술로 발전될 것이다. 이러한 MEMS 및 NEMS 기술들은 이전에 불가능했던 분석물에 대한 검출을 더욱 작은 크기의 센서 시스템으로 가능하게 해줌으로써 궁극적으로 유-헬스케어 서비스를 실현하는 주요 기반기술로 활용될 것이다.



〈그림 7〉 텅스텐 팁에 탄소나노튜브가 접합된 나노프루브의 전자현미경사진

### III. 결론

미래의 의료환경을 결정지을 사회적 변화로는 의료 수요의 증가와 고령화 사회, 그리고 전반적인 의료서비스에 대한 기대수준 향상 등을 들 수 있고, 기술적 변화로는 IT 기술의 발전으로 정보통신 infra의 확대, 첨단 센서, 칩 기술의 발전, 유전체학이후(post-genomics)의 의료지식의 확대 등을 생각할 수 있다. 따라서 미래의 의료형태는 환자에

게 편리한 진료, 예방 진료, 재택진료 등의 실현으로 현재와는 큰 차이가 있을 것으로 기대된다. 즉, 발전된 정보통신 인프라와 휴대형/재택용 비침습적 진단 및 치료 기기를 활용한 의료 서비스가 보편화 될 것으로 예상된다. 또한 전자차트(Electronic Medical Record:EMR)나 전자카드 형태의 개인용 의료정보 시스템, 원격수술(Tele-surgery)등도 현실화 될 것이다. 이러한 정보통신 기술과 임상의학과의 접목으로 생겨날 여러 가지 의료서비스의 형태를 종합적으로 이-헬스(e-Health), 혹은 이-헬스케어(e-Healthcare)라고 부른다. 현재 이-헬스케어의 대표적인 형태로서 몇몇 원격지 의료기관간의 통신 네트워크를 이용한 의료진 간의 의료정보 공유가 시범적으로 시도되고 있고, 원격진료(Tele-medicine) 혹은 재택진료에 사용될 심전도, 청진, 산소포화도, 혈압, 체온, 체중, 체지방, 영상 등의 모니터링 장비들이 주로 물리센서를 기반으로 소형화/휴대형화 되어 개발, 시판, 응용되고 있다. 이러한 원격진료나 원격건강관리(tele-healthcare) 시스템이 좀 더 효과적으로 활용되기 위해서는 혈액을 포함한 다양한 검체에 대한 생화학적 검사가 포함되어야 하는데 이를 위한 센서 및 검사장비의 소형화, 휴대형화 기술개발이 진행 중에 있고, 현재는 혈당, 임신진단, 콜레스테롤, 헤모글로빈, 요분석 정도가 POCT 형태로 행해지고 있는 정도이다.

여기서 한걸음 더 나아가 최근에는 무선통신기술과 네트워크 인프라의 확충에 따라 유-헬스케어로 그 개념이 확장된 새로운 의료서비스에 대한 기대가 증폭되고 있다. 이러한 유-헬스케어는 IT기술의 급속한 발전



과 보급에 힘입어 미래의 의료형태로 가까운 장래에 자리잡을 것으로 예상되는데, 이러한 IT 기술을 접목한 새로운 형태의 의료 서비스가 효과적으로 실행되기 위해서는 환자의 건강상태를 측정하기 위한 각종 건강관련 파라미터의 감시장치와 검사장비가 소형화, 휴대형화 뿐 아니라 비침습/최소침습적인 형태로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 의료용 센서분야의 새로운 기술개발이 필수적인데, 바이오센서는 이러한 필요를 충족시켜줄 수 있는 기술로서, 초소형 시스템 제작기술인 MEMS 기술, nanotechnology 및 NEMS 기술 등과 접목되어 기존에 불가능했던 심장질환, 간질환, 암표지자 검사와 같은 각종 질병 진단뿐만 아니라 유전자 치료와 같은 첨단 치료를 병원이 아닌 우리가 거하는 어느 곳에서도 가능하게 해줄 것으로 기대된다. 이와 같은 의료용 센서관련 첨단기술들의 발전으로 머릿속으로 그리던 유-헬스케어에 눈앞에 실현될 날이 다가오고 있는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Brian Eggins, Biosensors An Introduction. John Wiley & Sons. 1997.
- [2] C.P. Proce, and J.M. Hicks ed., Point-of-Care Testing. AACCC Press. 1999.
- [3] J.M. Ramsey, and A. van den Berg, Micro Total Analysis Systems 2001. Proceedings of the TAS 2001 Symposium. Kluwer Academic Publishers.
- [4] Bashshur R, Sanders J, Shannon G. Telemedicine Theory and Practice. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1997.
- [5] R.A. Freitas Jr. Nanomedicine. <http://www foresight.org/Nanomedicine/>

## 저자소개



김희찬

1982년 4월 - 1989년 8월 : 서울대학교병원의공학과 연구원  
 1989년 8월 - 1991년 5월 : University of Utah Artificial Heart Research Laboratory, Staff Engineer  
 1993년 12월 - 1994년 12월 : University of Utah, Department of Pharmaceutics, Visiting Professor  
 1991년 5월 - 현재 : 서울대학교 의과대학 의공학교실 부교수  
 주관심 분야 의생명계측(Biomedical Instrumentation)