

센서기술과 그 발전동향

손 병 기

경북대학교 명예교수, 대구예술대학교 총장

오늘날을 사는 우리 현대인은 엄청난 사회의 변혁을 경험하고 있다. 이 사회변환을 인류문화 사상 제2의 대전환이라고 하고, 이 극심한 대전환으로 현대인은 엄청난 문화적 충격에 휩쓸리고 있다고 하며, 다가오는 사회를 탈산업사회, 지식 기반사회, 정보화사회 등으로 표현하고 있다. 그런데 이 모든 사회변혁이 근본적으로 과학기술의 혁신에 기인한다는 데 대체로 공감하고 있으며, 싫든 좋든 우리가 맞이하게 되는 사회는 정보의 가치가 극히 높은 사회임에는 틀림이 없을 것이다. 그래서 최근 들어서 IT(정보기술)나 BT(바이오기술)나 하는 새로운 낱말이 등장하는가 하면 우리나라에서도 이 IT기술이나 BT기술을 개발하기 위하여 막대한 비용을 서슴없이 투자하고 있다.

이 IT는 정보를 생산, 처리, 가공, 전달, 저장, 응용하는 총체적 정보기술이다. 그런데 오늘날 우리 사회에서는 이미 여러 가지 신호나 정보가 센서에 의하여 감지 또는 채취되고, 각종 통신수단에 의하여 신속하게 전달되며, 컴퓨터에 의하여 빠르고 정확하게 처리되거나 가공되어 적시에 타당하게 필요한 정보로 제공되고 있다. 그래서 현실적으로 센서기술에 대한 세계적 관심은 크게 고조되고 있으며, 현실적으로 센서와 액추에이터의 발전은 아주 급격하다. 현대 세계는 정보의 채취 또는 감지, 처리 또는 가공, 전달 또는 통신, 구동 또는 활용 등이 폭발적으로 증대하고 있다. 이제 누가 먼저, 더 정확한 정보를 확보하며 적시에 타당하게 효과적으로 잘 활용하는가에 따라 승자가 결정되고 있다.

또 최근에는 이 센서기술이 컴퓨터기술 및 통신

기술과의 조화로운 접목과 함께 MEMS(micro-electro-mechanical system) 또는 NEMS(nano-electro-mechanical system)기술 그리고 IT 및 BT와 접목되면서 찬란하게 발전하고 있다. 지난 세기의 말까지만 해도 21세기의 중추기술은 센서기술을 핵심요소기술로 하는 제어기술과 컴퓨터기술 및 통신기술의 조화로운 융합으로 성취될 수 있는 시스템기술이 21세기 전반의 중추기술이 될 것이라는 주장이 공감을 얻고 있었다. 그런데 이제 그 시스템기술의 중요성은 충분히 인정되면서도 그 시스템효과를 극대화하기 위한 방식개발에 그 기술적 중요성의 중심이 실리고 있음을 실감하게 하고 있다.

센서기술과 그 중요성^[1]

센서(sensor)라는 단어는 감각 또는 느낌이란 뜻을 가진 라틴어의 낱말 “sensus”에서 유래된 것인데, 인간의 사전에 처음으로 오른 것은 1967년이다. 1967년 McGraw-Hill 출판사의 “English-German Technical and Engineering Dictionary(2nd ed.)”에 센서라는 낱말이 정의없이 올랐고, 1974년 같은 출판사의 “Dictionary of Scientific and Technical Terms(1st ed.)”에 처음으로 정의와 함께 수록되었다. 그런데 아직도 센서라는 단어의 개념이 트랜스듀서(transducer)와 혼용되는 경우가 많다. 이는 현실적으로 센서가 외부로부터의 자극이나 신호를 감지하여 가장 유용한 전기적 신호로 변환하

여 출력하는 장치이기 때문이다. 그러나 엄격하게는 센서와 트랜스듀서는 구분되어야 한다. 센서가 원초적으로 신호나 정보를 감지 또는 채취하는 기능장치라면 트랜스듀서는 신호의 변환 즉 신호의 에너지 형태를 변환하는 기능장치이다. 그러므로 센서를 감지기(感知器)라면 트랜스듀서는 변환기(變換器)이다. 현실적으로 센서가 전기적신호(드물게 광신호)를 출력하게 하는 이유는 그 신호를 쉽게 컴퓨터로 처리 가공하기 위해서일 따름이다. 센서 및 트랜스듀서와 함께 또 널리 쓰이고 있는 단어 액추에이터(actuator)는 신호 처리기에 의하여 다듬어져 나온 신호에 부응하여 명료한 작동을 수행하는 기능장치 즉 작동기(作動器)이다. 즉 액추에이터는 정확하게 명령신호를 집행하는 장치이다.

인류는 센서란 낱말이 생기기 훨씬 전부터 실제 센서를 여러 가지로 사용해 왔다. 나침반으로 방위를 감지하였고, 한란계 또는 온도계를 만들어 온도를 측정하였으며, 측우기로 강우량을 측정하고, 모래시계를 만들어 시간을 측정하는 등 다양하게 실질적 센서기능을 가지는 장치를 개발하여 사용하였다. 그런데 오늘날에는 센서라는 수단을 통하여 보고들을 수 없는 적외선, 자외선, 전파, X선, 초음파, 방사능 등을 감지할 수 있을 뿐만 아니라, 온도가 너무 높거나 낮은 것, 크기가 너무 크거나 작은 것 등도-비교적 쉽게 측정할 수 있다. 현금 우리는 전자현미경을 통하여 수 천만배나 확대하여 보며, 전파망원경을 이용하여 100억광년(光年)이나 멀리 떨어져 있는 퀘이사(quasar)를 관측하고 있다. 또 레이더를 이용하여 적기와 같은 고속 이동체의 접근 또는 비행상태를 감지해내고 있으며, 특수 센서시스템을 이용하여 재해를 미연에 방지하거나 생체내부의 상황을 감지하여 의료진단 또는 치료에 임하며, 어군탐지, 일기예보, 광물탐사, 최첨단 무기개발 등에 센서기술을 광범하게 활용하고 있다.

센서는 기본적으로 감도(sensitivity), 선택도(selectivity), 복귀도(reversibility) 그리고 안정도(stability)가 우수하여야 하고, 동시에 기능성, 적용성, 규격성, 보존성, 생산성, 경제성

등 부수 특성이 좋아야 한다. 가장 기본적인 것은 감도인데 특히 약한 신호를 포착하기 위해서는 감도의 우수성이 보장되지 않으면 안되고, 다음으로는 선택도를 들 수 있는데 용액중의 이온이나 기체중의 특정 가스를 검출하고자 할 때 공존하는 다른 종류의 이온이나 가스들의 간섭효과를 배제하고 오직 측정대상인 이온이나 가스만을 선택적으로 감지해 내어야 한다. 또 센서가 작동한 후에는 즉시 원상태로 복귀하여 다음 작동을 대기해야 하며 입력되는 새로운 신호에 신속하게 감응작동을 수행해야 하는데 일반적으로 새로운 신호에 감응작동을 하거나 원상 복귀하는데는 어느 정도의 감응 및 복귀의 시간을 소요한다. 이것은 센서의 이력특성이나 기억특성 때문인데, 일반적으로 이 이력특성이나 기억특성이 크면 센서의 반응이 느려지게 된다. 그래서 특히 현시적(real-time) 감응을 요구하는 경우 복귀도가 뒤떨어지면 사용할 수가 없다. 센서는 일반적으로 아무리 감도, 선택도, 복귀도가 뛰어나도 해도 안정성이 결여되면 이 또한 센서로서는 치명적이다. 따라서 센서의 성능을 개선한다는 것은 기본특성과 부수 특성의 개선이다.

센서기술은 새로운 센서소자의 개발에서부터 센서의 특성개선, 센서신호처리기술, 센서신호의 분석-합성기술, 각종센서들을 조합한 센서의 다기능화기술, 센서시스템에 지능을 부가하는 센서의 지능화기술, 고도의 다기능스마트센서기술에 이르기까지 센서관련 기술을 총망라한 기술로 받아들여야 할 것이다. 센서기술도 여타 기술과 마찬가지로 기초과학과 기초기술의 토양 위에서 성장한다. 센서기술은 센서소자기술, 센서시스템기술 및 센서응용기술의 계층을 이루는 구조를 가진다. 센서소자는 그 검출대상이 위치, 속도 및 가속도, 힘, 광, 영상, 방사선, 온도, 열, 전장, 자기, 파동과 같은 물리학적 양(量), 각종 가스나 이온의 농도 같은 화학적 양, 또는 포도당, 요소, 항체, 효소, 면역원 같은 생물학적인 양이나에 따라서 물리센서, 화학센서 또는 바이오센서로 분류된다. 대체로 물리센서는 물리적 변환기능을, 화학센서는 화학적 변환기능을 또 바이오센서는

생물학적 변환기능을 이용한다. 그런데 바이오센서는 화학적 변환기능을 활용하는 경우가 상당히 많다. 그래서 센서소자는 변환기능이나 사용되는 주재료에 따라서 또는 다른 기준에 따라서 분류할 수 있으나, 센서소자의 분류는 검출대상에 따라서 분류하는 것이 가장 일반적이다. 센서시스템기술이란 센서의 인터페이스기술, 신호처리기술, 지능화기술, 시스템화기술 등이고, 센서응용기술은 공공응용, 민생응용, 산업응용, 특수응용 등으로 대별할 수 있다. 한 가지 센서를 여러 가지로 응용할 수 있으며, 응용분야도 아주 뚜렷이 구분할 수 없는 경제적 응용이 있을 수 있고 또 범용으로 쓰이는 경우도 허다하다.

또 센서기술은 실로 학제적이고 복합기술적이다. 센서기술의 이러한 특성이 그 기술혁신을 어렵게 하는 중요한 요인이 되고 있다. 어떤 개인이나 소그룹이 그 다양한 센서와 복잡한 기술들을 폭 넓게 그리고 깊이 있게 이해하고 그 기술혁신을 독자적으로 주도하기란 극히 어려운 일이다. 이러한 센서기술의 특성이나 중요성을 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

첫째 센서기술은 기계장치에 감각기능을 부여하는 기술이며, 인간의 감각기능을 확장하는 기술이다. 기계장치가 센서기술과 접목될 때 그 기계장치는 감각기능을 가지게 될 것인데 필경 감각기능을 가지는 기계는 엄청나게 고가일 것이다. 즉 기계장치에 센서기술을 통하여 감각기능을 부여한다는 것은 엄청난 부가가치를 생산하는 것이다. 또 인간이 보고 듣거나 느낄 수 없는 것을 센서기술을 통하여 보고, 듣거나 느낄 수 있게 되므로 센서기술은 인간의 감각기능을 확장하는 기술이라 생각할 수 있다.

둘째 센서기술은 계측기술 및 자동제어기술의 핵심이며, 고도시스템기술의 열쇠이다. 모든 측정엔 센서를 통해서 가능하고, 정밀센서기술을 통해서 정밀계측기술이 이뤄지고, 고도의 정밀계측기술 없이는 고도의 제어기술 또는 고도의 자동화기술을 기약할 수 없다. 그러므로 센서기술은 계측제어기술 및 자동화기술의 핵심요소이다. 또 21세기의 중추기술은 고도의 시스템기술이 될 것

인데, 고도의 시스템기술은 고도의 컴퓨터기술, 고도의 통신기술 및 고도의 자동제어기술이 높은 수준으로 조화롭게 집적됨으로써 창출될 것이다. 그 중 제어기술은 컴퓨터기술과 통신기술에 비하여 상대적으로 크게 낙후해 있다. 제어기술의 낙후는 계측기술의 낙후이고 계측기술의 낙후는 센서기술의 낙후이다. 따라서 센서기술의 고도화 없이는 고도의 제어기술을 보장할 수 없고 제어기술의 고도화 없이는 고도의 시스템기술을 확보할 수 없는 것은 분명하다. 그러므로 센서기술은 고도시스템기술의 열쇠라고 할 수 있다.

셋째 센서기술은 국제기술경쟁의 첨예한 초점이 되고 있다. 센서기술의 이 핵심요소성과 고도중추기술의 관건성(關鍵性), 그리고 기술적 고부가가치성 때문에 기술선진국들은 이 센서기술의 기술이전을 극히 기피하고 있을 뿐만 아니라 적극적으로 그 기술보호장벽을 크게 높이고 있어서 센서기술의 기술제후는 이뤄지지 않고 있으며 첨예한 국제기술경쟁의 초점이 되고 있다.

넷째 소량·다품종형인 센서기술은 그 파급효과가 지대하며 그 시장규모가 급신장하고 있다. 센서기술은 아주 다양함으로 그 제품 또한 대단히 다양하여 본질적으로 소형 다품종형이다. 그러나 이 센서기술은 가정이나 학교에서부터 산업현장, 연구실, 군사작전 및 우주탐사에 이르기까지 사회전반에 밀착되어 있어서 그 파급효과는 참으로 지대하다. 그리고 현대사회가 정보사회 또는 지식기반사회로 신속하게 진입하고 있어서 센서의 시장규모는 거의 지수함수적으로 급신장하고 있다.

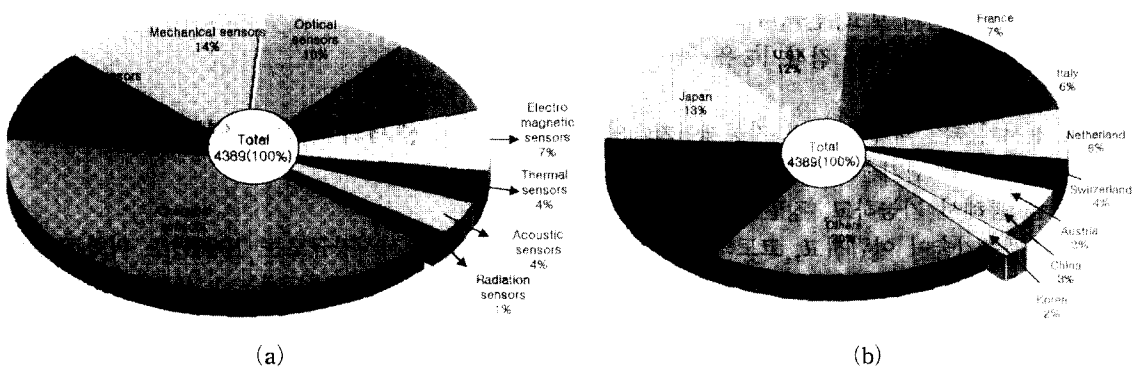
센서의 시장과 연구동향

세계의 센서시장규모는 1990년도 미화로 640억불이었는데 1995년도에는 1,450억불을 초과했다. 1990년도의 경우 미국이 세계시장의 38.7%를 차지하였고, 일본이 23%, 독일이 13%, 프랑스가 6.7%, 영국이 5.6%를 점유함으로써 실제

이 5개국 이 세계시장의 87%를 차지하였다. 그런데 한국은 겨우 1.3%의 세계시장 점유율을 나타내었다. 그런데 1995년도의 경우 미국의 세계시장 점유율이 40%, EU가 29%, 일본이 19%인데 한국은 1.4%를 나타내었다. 1990년도와 1995년도의 점유율을 비교해보면, 미국과 일본과 EU가 세계센서시장의 87~88%를 점유하여 세계의 기술강국을 그대로 표출하고 있다. 그런데 EU가 25%에서 29%로 상승한데 비하여 일본은 상대적으로 23%에서 19%로 하강하였으며, 한국의 시장점유율이 아주 낮기는 하지만 그 5년 동안 약간의 상승을 나타내었다. 1995년도의 한국센서시장을 보면 생산이 2.10억불, 수입이 1.38억불, 수출이 8.6백만불, 소비가 2.54억불로서 공급이 3.48억불이고 수요가 2.63억불에 달한다.

대표적인 국제 센서학술지 게재 논문 및 대표적인 국제 센서학술대회 발표 논문의 통계분석상 나타난 세계적 센서연구실태도 역시 미국과 일본 그리고 EU가 지배적이다. 국제학술논문지 Sensors and Actuators(1983-1996), Sensors and Materials(1989-1996) 및 Biosensors and Bioelectronics(1992-1996)에 게재된 연구논문과 국제학술대회 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers)와 International Meeting on Chemical Sensors(IMCS)에 발표된 논문을 국가별 및 분야별로 분석해보면, 총 4,389편의 논문 중 분야별로는 화학센서가 1,838편으로

41.9%, 물리센서가 1,756편으로 40.0%, 바이오센서가 450편으로 10.3%, 그리고 센서재료, 센서시스템 등 기타가 7.8%를 나타내었으며, 물리센서 중에서는 역학센서가 전체의 14%, 광센서가 10%, 전자기센서가 7%를 나타내었다. 국가별로는 독일이 735편으로 17%, 일본이 582편으로 13%, 미국이 517편으로 12%, 영국이 328편으로 7%를 나타내었는데 한국은 69편으로 2%를 차지하였다. 1983~1989 사이에는 미국이 29.8%이고 일본이 26.1%로서 미국과 일본이 전세계의 56%의 연구논문을 발표하였는가 하면 한국은 0.2%였는데, 1990~1996 사이의 발표실적은 미국과 일본이 25%이고 EU가 47%라는 엄청난 변화를 나타내었으며 한국도 상당한 발전을 보였다. 이 현상은 1990년대에 접어들면서 유럽연합국가들의 센서학술대회가 독자적으로 개최되고, 가장 대표적인 센서학술지 "Sensors and Actuators"가 스위스에서 발간되고 있음과 EU의 센서기술에 대한 특별한 관심과 투자에 기인하는 것으로 생각된다. 그런데 미국과 일본이 결코 센서기술개발을 소홀히 했다거나 투자가 적은 것은 아니다. 그렇다면 EU의 센서기술진흥을 위한 투자와 진흥정책이 앞서가고 있음을 직감할 수 있다. 우리나라의 경우 1983~1989 사이에는 0.2%의 센서논문발표의 실적에서 1983~1996 사이의 실적이 2%로 뛰어올른 것은 눈부신 발전으로 보아야 옳을 것이다. 이는 1990년 경북대학교 센서기술연구소의 발족과 1991년 한국센서학



〈그림 1〉 분야별 (a) 및 국가별 (b) 센서논문 발표 실태.

회의 출범에 의해서 국내 센서기술에 대한 인식이 크게 고양되었음과 전자공학회, 물리학회, 화학회 등 여러 학회 및 관련 산업계가 센서기술진흥을 위해서 노력한 결과라고 생각된다.

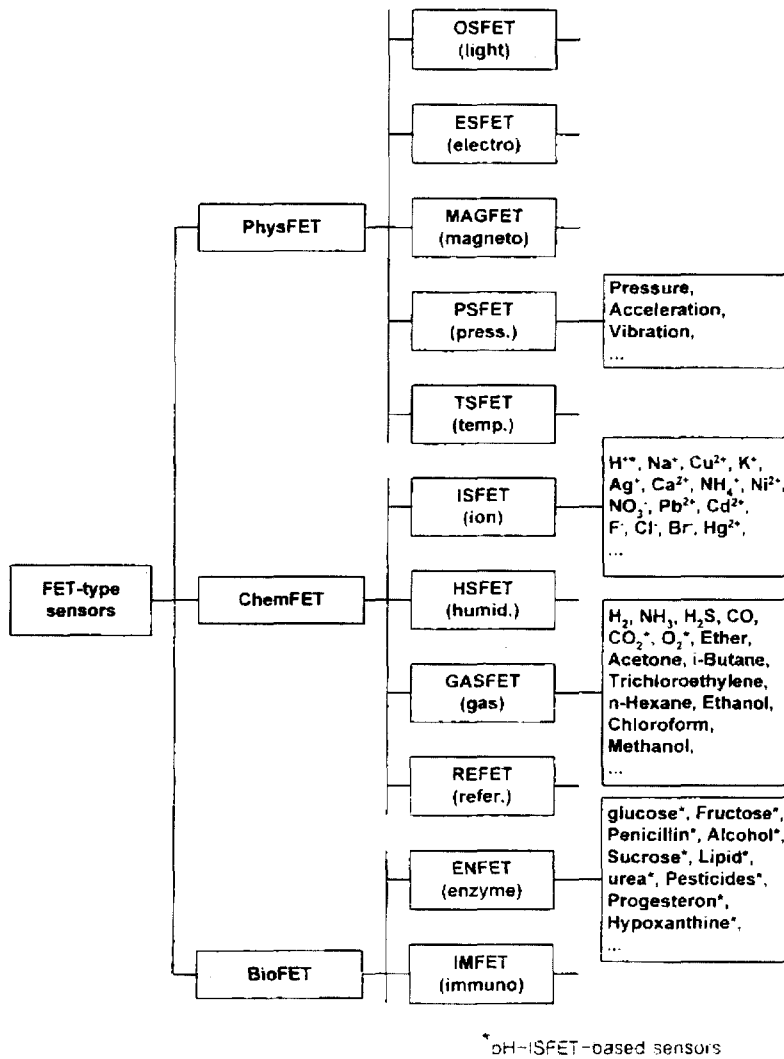
센서기술의 새로운 동향

현대 세계가 기술패권주의를 저변에 깔고 치열한 국제경제경쟁을 펼치고 있는 차세에 센서기술은 그 핵심요소성과 관건성 때문에 거의 폭발적인 기술개발 투자가 이뤄지고 있고, 따라서 센서기술은 급격한 혁신을 거듭하고 있다. 센서기술은 일반적으로 센서의 특성을 개선해 나가거나, 새로운 센서를 개발하거나, 새로운 신호처리 및 센서응용기술의 개발 등에 의하여 그 발전이 이뤄진다. 그러나 최근 눈부시게 발전한 물리학, 화학, 생물학 등의 기초과학의 발달과 이에 기초를 둔 신소재기술, 정밀제조공정기술, 반도체집적회로기술, 인공지능기술 등 첨단기술의 대혁신에 기인하여 센서기술은 엄청난 속도와 규모로 발전하고 있다. 이 놀라운 센서기술의 혁신은 새로운 발전동향을 분명하게 표출하고 있다.

최근 최첨단 센서소자기술중의 하나로 FET(field-effect transistor)형 마이크로센서기술이 다양하게 개발되면서 크게 관심을 집중시키고 있다. 이 FET형 마이크로 센서란 반도체집적회로제조공정과 같은 미세가공기술에 의하여 제조되는 초소형 디바이스로서 FET의 원리에 의하여 동작하는 센서를 총칭한다. 이 FET형 센서는 신소재기술, 정교한 미세가공기술, 전자회로집적기술, 인공지능기술 등과 같은 첨단기술과 접목되어 제조되는 것으로서 센서의 초소형화, 다차원화, 다기능화, 지능화, 시스템화 등을 위하여 많은 장점을 갖추고 있다. 이 FET형 마이크로센서는 단일 칩 위에 여러 개의 같은 종류의 센서를 배열함으로써 다차원화하고, 여러 가지 종류의 센서를 함께 집적함으로써 다기능화하며, 지능회로와 함께 집적함으로써 지능화하고, 관련회

로나 장치들을 함께 집적함으로써 시스템화할 수 있어서 최첨단센서로서 크게 각광을 받고 있다. 이 FET형 센서는 1970년대에 들어와서 발아되기 시작하였다. FET형 센서 중에서 대표적인 것이 ISFET(ion sensitive field-effect transistor)^[2]인데, 이는 ISE(ion selective electrode)와 MISFET를 교묘하게 결합시킨 반도체 마이크로센서로서 종래의 ISE에 비하여 월등한 장점(고감도, 빠른 반응, 양산성 및 규격성, 초소형 초경량, in-vivo 및 in-situ에의 응용성, 다기능 스마트화 가능성 등)을 가지고 있다. <그림 2>는 여러 가지 FET형 센서를 나타내고 있다.^[4] ISFET를 위시해서 GASFET(gas sensitive FET), PSFET(pressure sensitive FET), HSFET(humidity sensitive FET), OSFET(optically sensitive FET), TSFET(thermally sensitive FET) 등과 ISFET나무 및 GASFET나무 그리고 H-ISFET를 바탕으로 한 여러 가지 FET형 바이오센서(BioFET) 등에 관한 연구가 현급 활발히 진행되고 있다. 그림에서 끝이 열려있음은 훨씬 더 광범위하게 전개될 수 있음을 나타낸다. ISFET나무처럼 다른 FET형 센서도 다양하게 전개될 수 있다.

최근 들면서 MEMS(micro-electro-mechanical system) 및 NEMS(nano-electro-mechanical system)기술이 급속도로 발전하고 있는데 머지않아서 센서기술과 이들 기술이 접목되면서 센서기술은 또 높은 차원으로 그 기술혁신을 이룰 것이며 고도의 시스템기술이 전개되어 갈 것이다. 여러 센서들과 신호처리회로, 인공지능회로, 전원공급장치 등이 단일 칩에 3차원으로 집적됨으로써 고도의 스마트센서시스템 칩이 개발될 날도 그리 멀지 않을 것이다.^[5] 최근 사회적으로나 시대적으로 크게 떠 오르고 있는 IT(정보기술)나 BT(바이오기술)도 이 MEMS 및 NEMS기술과 센서 및 액추에이터기술을 융합적으로 접목시킴으로서 대혁신을 가져올 수 있을 것이다. 그러나 감각기능을 부여하는 센서기술의 접목 없이는 고도의 IT나 BT기술의 대혁신을 기대할 수 없을 것이다.



<그림 2> FET형 반도체 마이크로센서

근래의 센서기술은 일반적인 위와 같은 정상적 기술발전양상을 뛰어넘어 가격저렴화, 양산화, 규격(표준)화의 방향으로 치달는가 하면 다시 초소형화(超小形化), 다차원화(多次元化), 다기능화(多機能化), 지능화(知能化), 시스템화의 새로운 혁신적 발전경향을 뚜렷이 나타내고 있다. 센서가 어떤 상태를 감지하는 데 있어서 센서의 삽입으로 감지코자하는 대상의 상태에 교란함이 있어서는 안 된다. 즉 센서의 도입이 원상태에 미치는 영향을 최소화하여야 한다. 어떠한 환경에서나

신속한 반응을 하며, 또 사용자가 원하는 정보를 적시에 타당하게 제시할 수 있도록 지능적이어야 하며, 어떤 점위치에서의 상황이나 단일 상태의 검지를 초월하여 다차원적이고 다기능적인 센서의 개발을 시대와 사회는 요청하고 있다. 이미 연구실에서는 상당한 수준의 다기능스마트센서의 개발이 이뤄지고 있다.

현재와 같은 급격한 센서기술혁신이 지속된다면 머지않아 센서기술은 분명히 높은 수준으로

발전할 것이고, 고도의 센서기술을 활용하는 고도시스템기술도 찬란히 전개될 것이다. 그리 멀지 않은 장래에 인간의 감각기관과 유사한 또는 부분적으로는 그 이상의 수퍼센서시스템이 출현할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 손병기, "센서기술과 그 발전동향", 과학기술처 기술동향보고서, 1-36, 1991.
- [2] Byung-Ki Sohn, "Sensor technology-a new perspective", Proc. KOSEF's 20th Anniv. Sympos. on Issues of Sci. and Tech. in the 21st Cent. , Seoul, 321-331 (1997).
- [3] 손병기, "감이온전장효과트랜지스터", 대한전자공학회지, 18 : No.5, 22-29(1981).
- [4] Byung-Ki Sohn, Recent advances in pH-ISFET-based microsensors (plenary lecture), Proc. of 4th East Asian Conference on Chem. Sensors, Hsinchu (Taiwan), 21-28 (Nov. 23-25, 1999).
- [5] H. Yamasaki, "Approaches to intelligent sensors", Microsensors, IEEE Press, New York, 11-18, 1991.

저자 소개



孫炳基

1936년 3월 1일생, 1960년 3월 경북대학교 사범대학 물리학과 (이학사), 1962년 2월 경북대학교 대학원 물리학과 (이학석사), 1981년 2월 경북대학교 대학원 물리학과 (이학박사), 1986년 3월~1988년 3월 : 경북대학교 공과대학장, 1990년 5월~2001년 6월 : 경북대학교 센서기술연구소장, 1992년 1월~1992년 12월 : 대한전자공학회 부회장, 1993년 11월~1995년 11월 : 한국센서학회 회장, 1996년 3월~1998년 2월 : 경북대학교 대학원장, <주 관심 분야 : 반도체공학 및 반도체 마이크로 센서>