

스마트 센서의 기술동향

전자부품연구원 나노메카트로닉스 연구센터
 선임연구원 이 대 성 leeds@keti.re.kr

최근 유비쿼터스 기술이 화두에 오르면서 스마트 센서 기술에 대한 관심이 커지고 있다. 본고에서는 스마트 센서의 기술에 대해 설명하고 스마트 센서 기술이 기본이 되는 무선센서, TPMS 센서, 유비쿼터스 센서를 소개하고자 한다.

1. 스마트 센서란?

스마트(**smart**)라는 것은 ‘똑똑한’, ‘영리한’, ‘산뜻한’이라는 의미로 스마트 센서(**smart sensor**)는 결국 똑똑한 센서, 영리한 센서이다. 즉 지능화된 센서(**intelligent sensor**)를 말하는 것으로 센서와 MCU(**micro computer**)를 비롯한 반도체 집적회로가 결합한 형태이다.

1980년대 이후 종래의 센서에 접목되기 시작한 MEMS 기술이 실리콘 기판 자체를 3차원 구조물로 가공하여 초소형 압력센서, 가속도센서, 자이로센서 등을 제작하면서 센서의 소형화, 집적화 및 지능화에 대한 기술적 바탕이

마련되었다. 또한 CMOS 기술과 SOC 기술의 발전은 MEMS 기술의 마이크로 센서에 MCU의 집적이 가능하게 하였으며 이는 결국 컴퓨터가 갖는 우수한 데이터 처리 능력, 판단기능, 메모리기능, 통신기능 등을 활용할 수 있게 되었다. 따라서 스마트 센서는 종래의 센서에는 볼 수 없었던 다양한 기능과 새로운 응용분야로 발전할 수 있게 되었다.

스마트 센서는 물리적 또는 화학적 현상을 전기신호로 변환하는 센서의 단순 기능이외에 논리제어기능, 통신기능, 판단기능을 가져야 한다. 여기서 논리제어기능은 센서신호의 디지털화 및 보정/보상을 하고 동작제어를 말하며 통신기능은 주로 표준화된 디지털통신 프로토콜을 이용하여 센서신호를 외부에 전달하고 제어신호를 받는 것이다. 판단기능은 제어기능과 더불어 센서의 최적화 및 자기진단, 전원관리 등을 일컬으며 더 나아가 센서에서 얻은 데이터의 의미까지 파악할 수 있는 수준까지

나아간다. 스마트 센서를 실현하기 위해서는 수준 높은 신호처리회로가 센서에 지원되어야 한다. 집적도에 따라 구성과 기능이 가감되지만 지능형 센서의 일반적인 구조는 센서소자, 아날로그 증폭회로, 디지털 제어회로, ADC/DAC, MCU, 비휘발성 메모리, 통신 인터페이스 등으로 구성된다. 다중 센서의 경우는 멀티플렉서(MUX)를 사용하여 나머지 기능을 공유한다.

II. 센서의스마트화 발전과정

센서에 대한 시장의 요구는 저렴하면서도 성능이 우수하고 통신기능을 가지며 자체 판단능력을 보유하는 것이다. 이는 다시 말해서 센서의 소형화, 고성능화, 네트워크화, 지능화이며 결국 시장의 요구가 스마트 센서에 귀결되는 것이다. 그림 1은 센서의 발전과정을 도식화한 것으로 discrete sensor에서 integrated sensor, digital sensor를 거쳐 smart sensor로 진행되는 것을 보여 주고 있다.

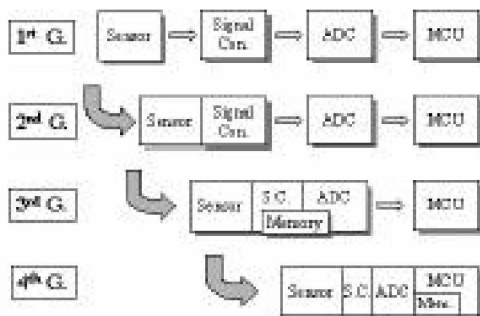


그림 2. 스마트 센서의 개념 및 발전과정

1세대 : Discrete Sensor

온도, 압력, 가속도, 변위 등의 물리량을 전기적 신호로 변환하는 기능의 센싱소자와 증폭, 보정, 보상의 기능의 신호처리회로가 별개로 분리되어 있는 초기의 센서의 형태이다.

2세대 : Integrated Sensor

센서의 잡음성능을 높이고 소형화하기 위해 센서와 신호처리회로가 결합한 형태의 집적화된 센서로 MEMS 기술이 도입되면서 활발히 개발되었다.

Laser Trimming 기법과 같은 아날로그 보정 및 보상 기법이 적용되었다.

3세대 : Digital Sensor

mixed signal CMOS 기술의 발전으로 아날로그회로에 디지털회로가 함께 집적되면서 센서의 이득, 오프셋, 비선형성 등을 디지털 방식으로 보정하고 보정데이터를 비휘발성 Memory에 저장하게 되었다. 또한 ADC 기능을 추가함으로써 출력을 디지털 코드로 변환하고 이를 디지털 인터페이스가 가능해지고 초보적인 네트워킹 센서로 활용되게 되었다.

4세대 : Smart Sensor

MCU(Micro Computer Unit)가 센서에 내장되는 형태로 MCU의 제어, 판단, 저장, 통신 등의 기능을 활용하여 센서의 성능을 높이고 Multi-sensor,



Network sensor, Ubiquitous sensor로의 진화가 가능해졌다. SOC(System On a Chip)기술의 대표적인 응용이다.

소형화는 최근의 나노기술, 특히 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 발전과 더불어 기술 향상이 이루어지고 있다. MEMS는 전기적 요소와 기계적 요소가 결합한 IC 부품 또는 시스템을 말하며 반도체 제조의 크기와 정밀도를 갖는 기계 구조물을 실리콘 기판 또는 다른 가능한 기판 상에 구현하고 이를 전기적 회로와 연결하여 기능을 발현하는 기술이다. MEMS 제조공정 기술로는 크게 Bulk Micromachining, Surface Micromachining 및 LIGA로 나눌 수 있는데 센서의 구조물을 초소형으로 제작하는 기술로 활용된다. 여기에 신호처리회로 IC를 센서와 함께 집적화하기 위해 post-CMOS(BIPOLAR) 또는 pre-CMOS(BIPOLAR) 공정기술이 적용되어 이로써 integrated sensor가 실현되는데 대표적인 센서로는 Bosch, Fuji 등의 절대압센서와 모토롤라의 가속도센서이다. 이후 mixed signal CMOS 회로가 보편화되고 EPROM, EEPROM의 비휘발성메모리가 센서에 탑재되면서 센서의 성능을 높이기 위한 보정 및 보상에 있어 디지털 제어가 가능해졌고 간단한 통신기능을 내장하게 되었다. MCU는 기본적으로 Memory와 제어, 통신기능을 갖고 있어 MCU를 센서에 내장하기 위한 시도는 꾸준히

있어 왔다. 실제로 스마트 센서는 Board Level에서 실현된지가 오래이나 본고에서 말하는 마이크로 스마트 센서는 MCU의 가격이 낮아지고 Network 센서, 유비쿼터스 센서의 수요에 의해 제품으로 실현 가능성이 높아졌다.

III. 스마트센서의보정 및 보상기술

센서의 스마트화는 전자적 트리밍(Electronic Trimming)기술에 대한 요구에 의해 시작되었다고 할 수 있다. 전자적 트리밍이란 센서가 갖는 에러, 오프셋, 비선형성 등의 출력보정을 전자적 수행하는 것으로 그림 4와 같이 디지털 트리밍 소자를 이용하거나 ADC/DAC를 통한 전압/전류 조정, 또는 DSP/MCU를 통한 보정알고리즘을 이용한다. 산출한 보정데이터는 비휘발성메모리(EPROM, EEPROM)에 저장한다.

종래의 센서의 경우 그림 2와 그림 3과 같은 후막저항의 Laser Trimming이나 Discrete Diode Fusing 등의 아날로그 트리밍 방식을 사용하였다. 이 아날로그 보정은 보정폭과 항목이 제한적이며 정확도가 낮고 시간과 비용이 많이 들기 때문에 센서의 가격을 낮추기가 어려웠다. 더욱이 장기간에 걸친 센서 성능저하(Lone term degradation)에 대한 대책이 없다. 이에 비해 전자트리밍은 보정범위가 획기적으로 커지고 비선형도 보정이 가능하다. 또한 제조 시에는 batch test 및 in-line trimming이 가능하

여 많은 센서를 동시에 처리함으로써 제조시간을 줄이고 제품가격을 크게 낮추었다. 전자 트리밍기술의 또 다른 중요한 특징은 미세조정을 하기 위해 계수를 다시 변경할 수 있다는 것이다. 레이저트리밍의 경우 트리밍이 끝난 이후 재조정은 거의 불가능하다. EEPROM을 이용하는 트리밍은 간단히 계수를 변경한 후 다시 저장하면 된다



그림3. Laser Trimming

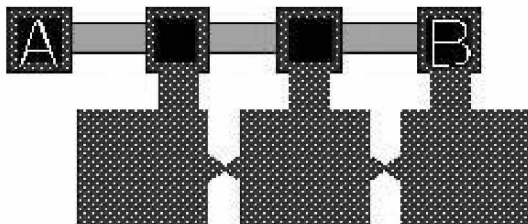


그림4. Metal Fusing

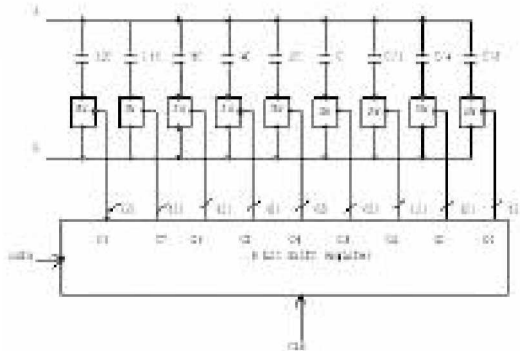


그림5. digital trimming

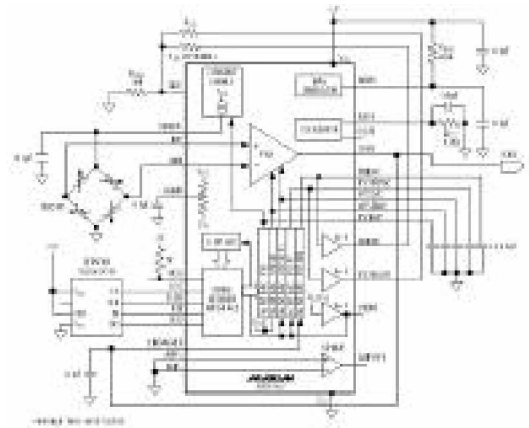


그림6. digital trimming을 적용한 압력센서용 스마트 IC

IV. 스마트센서의 활용분야

1. 스마트 압력센서

반도체 기술을 바탕으로 70년대 이후 급속히 발전한 3차원 미세가공 기술인 MEMS 기술은 종래의 크고 복잡한 구조의 기계식 센서를 일괄 생산공정이 가능한 초소형, 초경량의 전자식 반도체센서로 대체하고 있다. 이러한 MEMS 기술을 이용하여 제작된 최초의 센서는 실리콘 마이크로 압력센서로서 1980년대부터 상용화되어 자동차의 MAP(Manifold Absolute Pressure) 센서로서 응용되기 시작하였고 1990년대에는 신호처리회로가 센서와 함께 집적된 one-chip 압력센서가 개발되었다. 향후 마이크로 실리콘 압력센서는 자동차에의 타이

어압, 브레이크압, 오일압, 에어컨압 등으로 적용분야가 계속 확대되고 있다.

그림 6은 신호처리회로가 센서와 함께 집적된 센서로 현재 자동차에 적용되고 있는 MAP Sensor이다. 이는 상기 센서의 발전과정으로 구분하면 Integrated Sensor에 해당된다. Bipolar 반도체회로가 적용되었고 Laser Trimming과 Metal Fusing 보정방식이 적용되었다. 그림 7은 최근 인피니온사에서 출시한 절대압센서로 그림 6과 달리 CMOS 회로와 EPROM을 사용하여 스마트 센서를 구현하였

다. 동작을 보면 센서의 아날로그 출력을 ADC한 후 PROM에 저장된 보정데이터를 가지고 보정하여 DAC를 통해 아날로그 출력을 보낸다. 보정 데이터는 시리얼 I/F를 통해 입출력되도록 하였다.

2. 마이크로 무선센서(Micro Wireless Sensor)

센서업체에서는 많은 시장수요의 압력에 의해 무선기술의 세계로 전향하고 있다. 무선센서가 가장 많이 적용되고 있는 분야는 보안산업으로 RF-ID는 물론 침입감지를 위한 적외선

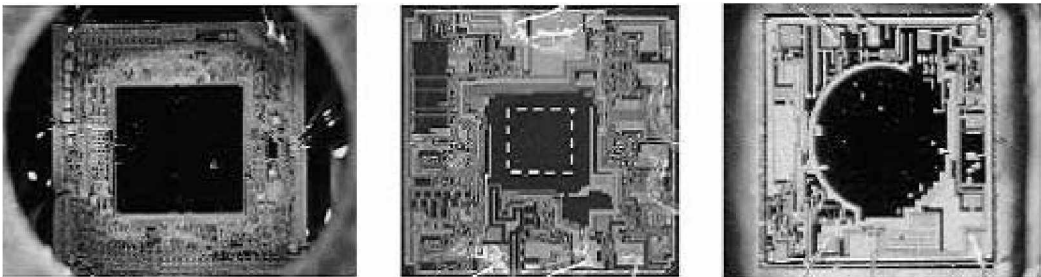


그림7. Integrated Pressure Sensor

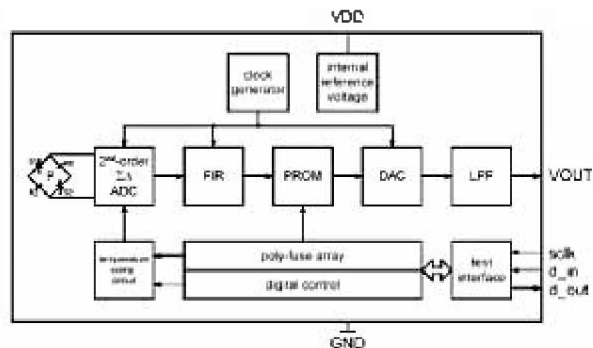
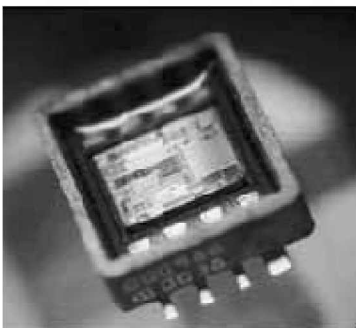


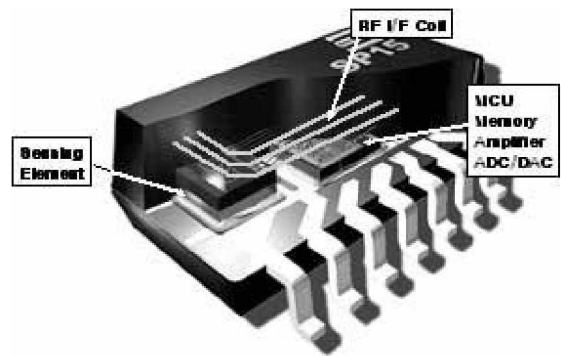
그림8. Smart Pressure Sensor

센서, mm-wave 센서, 도어 스위치 등에 무선 기능이 포함되어 무선화가 가장 앞서 있다. 최근에는 유통분야의 바코드를 대체할 무선 Tag, 스마트 빌딩의 무선센서, 지능형 도로시스템의 환경센서 등에 대한 무선기술이 광범위하게 적용되고 있다.

무선센서의 시장경쟁력 확보는 PCS 기술의 비약적인 성장에 따라 무선장치의 원가가 낮아지고 성능이 향상되어 가능해졌다. 이와 더불어 소형화와 저전력화에 대한 기술이 필수적으로 뒤따라야 하는데 MEMS 기술과 스마트 기술은 이러한 요구의 해답이 되고 있다. 무선 센서 산업에 대한 수익이 2008년에 1억 110만 달러에 달할 것이라고 Frost & Sullivan의 최근 연구보고서에서 밝히고 있다. 무선 센서의 개념은 센서 기술 영역 중 매우 매력적인 영역으로 산업용, 상업용, 소비자 사용의 잠재성은 상상할 수도 없다. 다음에 언급할 TPMS 센서, 유비쿼터스 센서의 기본기술이 된다.

3. TPMS (Tire Pressure Monitoring System) 센서

스마트와 무선센서 개념이 합쳐진 대표적인 센서가 운전 중 타이어의 공기압·다모상태 등의 정보를 한눈에 알 수 있는 TPMS 센서이다. TPMS는 4개의 타이어 내부 링에 장착된 무선 송신기와 압력·온도센서 모듈, 운전



Smart Sensor With Wireless Interface

그림9. Smart Wireless Micro Sensor

석에 설치된 전용수신기로 구성되어 있고 시동을 켤 때마다 모든 타이어의 압력상황이 체크돼 계기판으로 압력정보가 전송되고 위험징후 시 운전자에게 경고알람을 보내며 디스플레이를 통해 위급상황을 무선으로 알려준다.

TPMS 센서는 회전하는 타이어 링에 장착되기 때문에 소형화는 물론 유선으로 전력을 공급하기 어려워 무선으로 공급하거나 배터리를 사용하여야 한다. 따라서 저전력 마이크로 스마트센서가 필수적이며 측정결과를 송출하기 위한 무선링크가 필요하다. TPMS는 보통 영하 40도에서 영상 150도의 가혹한 조건에서 10년을 버티는 내구성을 요구한다. 향후 TPMS는 차량용 블루투스로 정보를 보내고 배터리 없이도 작동하는 무전력 기술을 채택할 것으로 보인다. TPMS는 적정한 공기압을 유지해 타이어 내구성, 승차감, 제동력을 향상시키고 연비의 효율성도 높이는 효과가 탁월

하다.

미국 정부는 타이어의 안전문제가 사회적 이슈로 부각되자 2003년 11월부터 오는 2006년까지 자국에서 출고되는 모든 승용차와 경트럭 등에 압력센서를 의무적으로 부착하도록 하는 법안을 확정했다. 이에 따라 BMW·벤츠·인피니티 등 내로라하는 고급차들은 서둘러 TPMS를 채택했고 국산차도 미국 현지판매를 위해서는 TPMS 장착이 불가피한 실정이다. 미국에 이어 안전관리가 철저한 프랑스, 독일 등 서유럽 국가들도 차량에 TPMS 탑재를 법제화할 움직임을 보이고 있다.

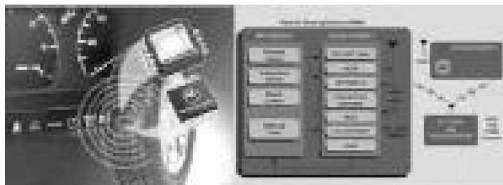


그림 10. Tire Pressure Monitoring System

4. 유비쿼터스(Ubiquitous) 센서

유비쿼터스란 라틴어에서 유래한 것으로 언제 어디서나 동시에 존재한다는 뜻을 나타내며 돌이나 공기처럼 우리 주변환경에 내재되어 모든 사물 및 사람이 보이지 않는 네트워크로 연결된 새로운 공간을 의미한다. 유비쿼터스 혁명은 '언제? 어디서나?에?무엇이라도?'를 추가하여 점 조직과도 같은 무선망에 의해서만 성공할 수 있는데 즉 전파라는 무선 매

체에 의지할 때 유비쿼터스 혁명은 급속히 확산될 수 있으며 무선 대체에 의해 창출되는 공간만이 물리공간과 전자공간을 통합할 수 있다고 한다.

주변환경을 감지하는 센서는 유비쿼터스 환경을 구성하는 가장 기본적인 단위이다. 미래의 센서 네트워크 기술은 세 가지 단계를 거쳐 발전할 것으로 보고 있다. 첫 번째 단계는 센서가 생활공간에 확산되는 단계다. 정보가전을 비롯해 소파와 침대 그리고 도로 곳곳에도 작고 저렴하며 소비전력이 낮은 센서들이 내장된다. 이들은 독립 독립된 센서로서 고유 기능을 수행한다. 두 번째 단계는 이들 센서가 연결되는 단계다. 즉 정보기기 속에 숨어 있던 센서들은 단일 네트워크로 통합되어 각자의 정보를 주고받는다. 마지막 발전 단계는 각종 센서들의 정보가 종합화되는 단계다. 센서들이 제공하는 개별적인 정보만으로는 판단할 수 없었던 종합적인 문제에 관심을 기울이는 단계다.

이와 같은 유비쿼터스 센서는 스마트 센서의 응용분야로 무선 통신 네트워크 기능이 강화된 것이다. 센서 네트워크 환경에 적합한 OS가 내장되어 센서로의 액세스 및 제어가 용이하고 plug & play와 같이 접속이 손쉬워진다. 센서의 지능을 한단계 높여야 가능한 일이다.

유비쿼터스 센서의 응용분야로는 지능형 빌딩내의 환경 컨트롤, 생산공정 자동제어, 창고 물류관리, 병원에서의 물품/정보 관리 및 환자

상태 원격감지, 지능형 교통시스템, 텔레메틱스 등 그 범위가 광범위하다.

외국의 연구를 살펴보면 미국 UC 버클리 대학에서는 극소형의 센서간의 ad hoc 망인 PicoRadi에 대한 연구를 진행 중이며 UCLA에서는 초소형 환경감시용 영상센서 네트워크인 WINS(Wireless Integrated Network Sensors)에 대해 연구하고 있다. 또 MIT Microsystems 연구소에서는 전력소비를 최소화하기 위한 적응형 센서네트워크 플랫폼인 μ AMPS(Micro Adaptive Multi-domain Power aware Sensors)에 대한 연구도 진행 중이다. 유비쿼터스 센서는 네트워크의 고밀도 특성, 제한적 전력원, 극한적 전파환경 등을 고려한 새로운 기술이 요구되고 있다.

V. 스마트 센서의 시장

스마트센서의 시장은 무궁무진하다. 모토롤라의 예측에 의하면 2005년에는 세계의 센서시장은 23조원으로 확대되어 그 중 9조2천억원은 반도체 스마트센서가 점유하게 될 것으로 보고 있다. 광전자 분야의 스마트센서 판매량은 2006년까지 연 20 퍼센트 증가할 것으로 OIDA(Optoelectronics Industry Development Association)는 예상했다. 또한 자동차의 전자화추세가 가속화되면서 차량의 동적제어를 위한 가속도계와 엔진제어를 위한 압력센서 그리고 타이어 압력센서, Gyro Sensor, Mass Flow Sensor, AQS sensor 등의 자동차용 스마트센서의 적용비율이 꾸준히 증가하고 있다. ABI(Allied Business Intelligence)에 따르면 자동차 부품용 반도체 시장은 2002년 1백23억 달러에서 2007년 1백70억 달러 규모로 성장할 것

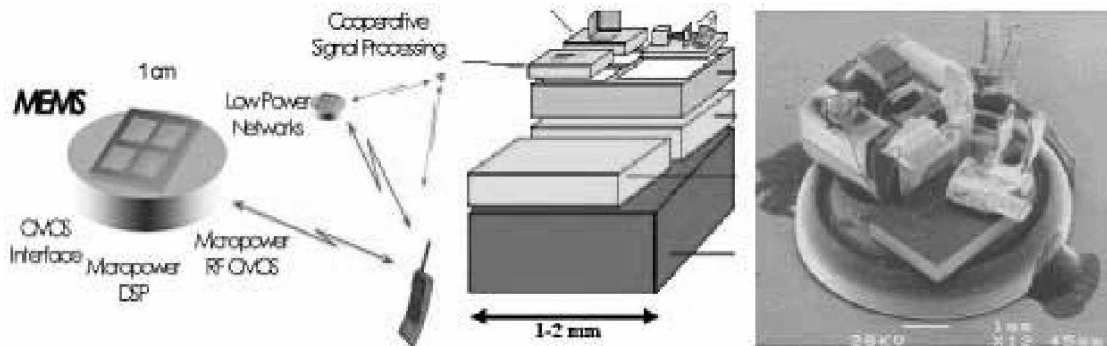


그림 10. DARPA의 센서 Network와 Smart Dust 프로젝트



으로 예상된다. 애플리케이션을 기준으로 살펴 보면 우선 안전성과 관련하여 에어백 분야가 2001년 6천9백90만 유닛으로 반도체 수요를 주도하고 있는 가운데 ABS(Antilock Braking System), TPMS(Tire Pressure Monitoring System), 충돌 경고 시스템 등이 그 뒤를 따르고 있다. 보안성 문제에 있어서도 KES (Keyless Entry System)와 이모빌라이저 (Immobilizer) 분야가 2001년 기준 각각 2천5백80만 유닛, 3천1백30만 유닛 규모의 시장을 형성했으며, 이러한 수치는 2006년까지 점점 더 늘어날 것으로 SA(Strategy Analytics)는 예상했다. 화학제품 생산분야에서도 스마트센서 수요가 늘 것으로 보이는데, 이 시장은 2002년 23억 달러 규모에서 2006년에는 34억 달러로 증가할 것으로 보인다. 산업용 애플리케이션 분야는 2002년 50억 달러에서 2006년에는 67억

달러로 예상된다.

VI. 맺음 말

똑똑한 센서, 스마트 센서는 MEMS 센서기술과 VLSI 기술의 MCU가 만남으로써 실현되고 있고 무선센서, 유비쿼터스 센서로 발전하고 있음을 보였다.

21세기 인간 중심의 사회에선 자동차· 의료· 공장자동화· 환경· 운수· 우주항공 등 산업 전 분야에 걸쳐 고성능 및 다기능화된 마이크로 스마트 센서 수요가 클 것으로 판단, 미국· 일본 등 선진국들은 기술 확보에 박차를 가하고 있다. 따라서 센서 분야의 기술 종속을 탈피하고 미래 수요에 대처하기 위해선 센서 칩 제작기술을 포함한 스마트 센서 기술 개발에 더욱 힘을 기울여야 할 것으로 본다. ●