

세라믹 센서와 유비쿼터스

글 _ 유광수 || 서울시립대학교 신소재공학과
ksyoo@uos.ac.kr

1. 머리말

“사람처럼 환경을 감지하고 생각하며 작동하는 스마트 시스템의 기반은 전자세라믹 소재이다.” 미국 MIT 교수 이신 H. Tuller 박사의 말이다.¹⁾ 스마트 시스템은 감각기관을 대신하는 센서(sensor), 연산을 수행하는 사람의 두뇌에 해당하는 칩(chip, microprocessor), 운동을 일으키는 액츄에이터(actuator)로 구성되며, 이들 모두 세라믹 소재의 특성을 필요로 한다. 이 중에서도 센서는 그 종류만큼이나 응용분야도 다양한데, 센서기술은 자동화와 시스템 제어에 가장 중추적인 역할을 담당하는 기술로서, 센서가 갖는 고부가 가치성과 다른 기술 분야에 대한 파급 효과가 크기 때문에 관심이 고조되고 있다.^{2,3)}

또한, ‘언제, 어디에나 존재한다’는 의미의 라틴어인 ‘유비쿼터스(ubiquitous)’ 환경에서 센서는 각종 정보를 수합하는 최초단으로 가장 중요한 역할을 한다. 정보통신부는 이미 2003년 “유비쿼터스 센서 네트워크 인프라 구축 계획”을 발표하였으며, 그 후속 사업이 진행되고 있다. 한편, 2005년 5월 정통부 산하의 포럼 중 하나로 출범한 “한국 u시티(유비쿼터스 도시) 포럼”은 정부차원에서 도시 설계 단계부터 미래형 신도시 ‘u시티’ 표준 모델을 만드는데 정부 및 민간, 학계 전문가들이 모여 전략을 도출하는 일종의 싱크탱크 역할을 하고 있다. 정보기술(IT)의 제3의 물결로 비유되는 유비쿼터스 사회가 가능하려면 모든 사물에 일종의 작은 컴퓨터 칩인 RFID(전자태그)가 들어가야 한다. RFID란 Radio Frequency Identification의 약자로서 IC 칩과 안테나를 내장한 태그를 말하는데, 향후 RFID의 이용은 태그의 가격, 크기,

성능 등 센서 기술의 발전에 따라 시장에서 적용이 확산되면서 단계적으로 발전할 것으로 예상된다.⁴⁾

이상에서와 같이 센서 기술은 유비쿼터스 사회를 실현하기 위한 핵심 기술이며, 센서 소재로는 세라믹스가 가장 많이 사용되기 때문에, 본 고에서는 세라믹 센서의 종류, 응용분야 및 기술동향, 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 소개하고자 한다.

2. 세라믹 센서

2.1 세라믹 센서의 종류

센서란 어떤 물질의 물리·화학적량을 감지하여 전기적, 기계적, 광학적 신호 등으로 변환시키는 기능의 소자를 통칭하는 용어로서, 산업이 발전함에 따라 센서의 수요는 기하급수적으로 증가하게 되었으며, 응용분야도 확대되어 가고 있다.

수많은 센서 중에서도 핵심소재인 감지재료로 無機材料를 이용한 세라믹 센서(ceramic sensor)가 가장 많이 사용되는데, 그 이유는 첫째, 많은 센서들이 고온 다습하고 반응성 또는 부식성 분위기 등의 가혹한 조건에서 사용될 경우 세라믹스가 가장 신뢰성 있는 재료이기 때문이다. 둘째, 일반적으로 재료의 전·자기적, 광학적, 열적, 기계적 특성은 그 조성변화로 조절이 가능한데, 특히 세라믹스는 조성변화는 물론 미세구조(microstructure)의 제어에 의해 그 특성이 조절될 수 있기 때문이다.⁵⁾ 입자, 입계, 기공으로 구성되어 있는 세라믹스의 미세구조는 출발원료의 입도분포, 소결 및 열처리 온도, 분위기 가스 등 제조공정의 제어로 조절이 가능하다. 이것은 다른 소

Table 1. 세라믹 센서의 종류와 감지재료

응용분야	소자 형태	감지 원리	감지 재료
온도	NTC 서미스터	벌크중의 캐리어 농도의 변화에 의한 전기전도도 변화	NiO, FeO, MnO, SiC, CoO
	PTC 서미스터	입계전위장벽높이의 변화에 의한 전기전도도 변화	BaTiO ₃
	CTR(온도스위치)	반도체-금속 상전이에 의한 전기전도도 변화	VO ₂
습도	Proton 전도형 센서	수증기의 화학/물리흡착에 의한 표면저항 변화	MgCr ₂ O ₄ -TiO ₂ , V ₂ O ₅ -TiO ₂ , ZnCr ₂ O ₄ -LiZnVO ₄
가스	표면제어형 센서	입계/neck에서 공간전하층의 변화에 의한 표면전기전도도 변화	SnO ₂ , ZnO, TiO ₂ , In ₂ O ₃ , WO ₃
	벌크제어형 센서	벌크의 격자결함농도의 변화에 의한 전기전도도 변화	γ-Fe ₂ O ₃ , (La,Sr)CoO ₃
	고체전해질형 산소센서	지르코니아셀을 통한 산소이온 전도에 의한 기전력	ZrO ₂ -CaO, -MgO, -Y ₂ O ₃
이온	MOSFET형 이온센서	Gate의 세라믹박막이 용액에 노출되었을 때 용액중의 이온에 의한 gate전압 변화	Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃ or Ta ₂ O ₅ /SiO ₂ /Si
압전	위치·가속도·초음파 센서	기계적 에너지와 전기적 에너지와의 상호변환 성질	Pb(Zr _x Ti _{1-x})O ₃ (PZT)
광	초전형 적외선 센서	자발분극의 온도변화에 의한 표면흡착전하량 변화	PbTiO ₃ , LiTaO ₃ , LiNbO ₃ , PZT

재들보다는 세라믹스가 센서제조에 가장 적합한 소재라는 것을 의미한다.

세라믹 센서의 종류는 기능별로 분류한 다음, 각 센서에 응용되는 소자형태, 감지원리, 감지재료로 구분하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 고체전해질형 산소 센서는 ZrO₂ 셀을 통한 산소이온의 전도에 의해 발생하는 기전력을 이용하여 산소농도를 측정하는 것으로 이온 센서로 분류할 수 있으며, O₂ 가스 농도를 잴 때는 측면에서 보아 가스센서로 분류할 수도 있다. 세라믹 센서 중에서 최근 관심이 집중되고 있는 주요 센서에 대한 기술동향 등 자세한 내용은 본 특집호의 다른 7개의 총설에서 다룬다.

한국센서기술진흥회에서는 센서의 체계적 분류와 수출입시 해당품목의 적용 코드 작성을 위하여 센서를 역학, 전자기, 화학, 생물, 광, 방사선, 음향, 열, 기타 9개의 분야로 분류(센서HSK)하여 1994년부터 적용하고 있다.

2.2 세라믹 센서의 응용분야와 제조공정

센서의 응용분야는 산업이 고도화, 정보화됨에 따라 자동차, 항공/우주, 군사용을 포함하여 거의 모든 산업으로 확대되었으며, 환경보전, 재해방지, 공해감시, 이상진단, 안전관리, 건강관리, 방범/방재 등 인간의 복지와 번영에 크게 기여하고 있다. 구체적인 응용현황을 살펴보면, 센서는 공구 및 기타 기계산업, 산업용 로봇, 공정산업, 자동차산업, 항공/우주산업, 조선/궤도차량산업, 빌딩자동화와 안전기술, 가전기기, 사무자동화/정보통신기술,

의료, 환경보호, 연구개발 분야 등에서 활용되고 있다.

대표적인 응용사례로 자동차를 예로들면, 최신 고급 승용차의 경우 자동차 값의 절반이 전자부품 값이며, 전자부품 값의 절반이 센서 값이라고 말할 정도로 센서의 비중이 증대되고 있다. 최근 승용차의 전자화 추세가 가속화되면서 100여개의 센서가 장착되는데, 차량의 동적 제어를 위한 가속도, 엔진제어용 압력, 타이어 압력, 자이로(gyro), 유체(mass flow), 공기질(air quality), 온도, 습도, 위치 등의 센서 적용 비율이 꾸준히 증가하고 있다.

센서의 제조공정은 분말원료를 성형·소결하여 제조하는 것이 일반적인 공정이었는데, 근래에는 액상법과 기상법을 이용하여 분체를 제조하는 공정이 급속히 진전되고 있으며, 반도체산업의 발달과 더불어 세라믹 박막의 제조기술이 확립되고 전자부품의 경박단소화 추세에 부응하여 세라믹 박막이 센서로 응용되고 있다.

강유전체 박막을 이용한 초음파 리니어 어레이(linear array), Si의 MOSFET의 gate 부분에 강유전체박막을 형성한 IR-OPFET(적외선센서), 절연성 박막을 이용한 ISFET(이온센서), SiC 박막을 이용한 고온 서미스터, Fe₂O₃ 계 초미립자 가스센서 등, 센서제조는 벌크 프로세싱에서 박막 프로세싱으로 진전되고 있음을 보여주고 있다.⁶⁾

또한, 경박단소화, 지능화된 센서를 제조하기 위해서는 기본적으로 주변회로와의 집적화가 용이하고 반도체 기판을 이용한 미세기계구조물의 제작이 가능해야 한다. 이러한 조건을 만족시켜 주는 것이 실리콘 재료를 기반으로 하는 MEMS(Micro Electro Mechanical System)

센서이다. MEMS 제조공정은 실리콘 기판 자체를 습식 식각기술 등을 이용하여 미세 구조물을 만드는 bulk micro-machining, 실리콘 기판위에 박막을 증착한 다음 선택적인 식각기술로 구조물을 만드는 surface micro-machining, 초단파장의 X선 사진식각공정을 이용한 3차원 일괄 가공기술인 LIGA 프로세스가 있다.^{7,8)}

2.3 세라믹 센서의 기술동향

센서는 대부분의 민생기기에서는 이미 어떠한 형태로든 정밀하게 조합되어 사용되고 있으며, 산업분야에서도 공장자동화 및 사무자동화가 진전됨에 따라, 그 핵심기술의 하나로서 센서의 역할이 점차 중요해지고 있다. 이 밖에, 농수산업, 환경보전, 재해방지, 교통, 의료, 가정생활에 있어서도 새로운 센서의 도입이 계속되고 있다.

향후 센서는 외계 정보를 감지, 해석, 판단, 명령을 내릴 수 있는 지능형 센서와 인간이 접근할 수 없는 가혹한 환경에서 각종 정보를 얻을 수 있는 극한 환경 센서의 개발이 필요하며, 의료용으로 유망한 좁은 공간에서도 점검과 유지보수 작업에 최적인 MEMS 소자와 원자력 시설과 우주와 같은 원격지에서의 보수점검과 기기의 조립과 조정이 필요한 곳에 적합한 다기능 로봇 등에 필요한 센서의 개발이 요망된다. 앞으로 센서의 발전은 물리센서분야는 지능화, 다원화로, 화학센서분야는 보다 다양화, 분자식별화 방향으로 진행될 것으로 예측된다.

센서에 대한 사회의 요구는 계속 확대될 것이며, 센서 기술을 대체할 기술은 없을 것으로 예측한다. 다만, 센서에 요구되는 Table 2와 같은 니즈(needs)에 대응하기 위한 센서재료의 개발과 더불어 재료가공기술인 micro-

machining 기술과 신호 입력 처리를 유기적으로 연결하기 위한 시스템공학의 발전이 요망되며, 이러한 제반 조건들이 충족될 때 센서는 유비쿼터스 환경에서 중추적인 역할을 할 것으로 사료된다.

3. 유비쿼터스

3.1 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN)






사람과 컴퓨터, 그리고 사물이 하나로 연결되는 유비쿼터스 사회(ubiquitous life)는 이미 우리 생활 속에 깊숙이 파고들었다. 교통카드를 버스를 타거나 전철 개찰구를 통과할 때 카드 속에 들어있는 정보는 물리공간에 존재하는 센서와 신호를 주고받으며 돈을 지불한다. 현금출납기는 신용카드에 들어있는 전자공간상이 정보를 물리공간의 현금으로 전환시킨다.

유비쿼터스 사회의 필수적인 기술인 RFID는 마이크로 칩을 내장한 태그(원판형, 원통형, 라벨형, 카드형, 상자형 등, Table 3 참조)에 저장된 데이터를 무선주파수를 이용하여 리더에서 자동 인식하는 차세대 핵심기술이다. RFID는 사물 ID 정보만을 기록할 수 있는 것에서부터 정보의 저장이 가능한 메모리 영역을 가지는 것, 전원을 필요로 하는 것과 필요로 하지 않는 것 등 다양한 형태가 존재한다. RFID에는 사물 ID 정보를 제공하기 위한 센싱 기능이 있어야 하며, RFID는 센서들 사이에 네트워크가 구축되는 USN(Ubiquitous Sensor Network) 형태로 발전할 것이다.

Table 2. 센서에 요구되는 니즈(needs)

분야	실시예
재해 방지 센서	화재, 원자로 사고, 지진, 화산폭발 등의 이상 상태 및 진동 감지
환경 보전 센서	글로벌 환경의 모니터링을 위한 다차원 센서
극한 환경 센서	우주, 해양 등 극한 환경에서 견딜 수 있는 고강도의 내방사선 센서
5감 모방 센서	식품의 신선도, 맛, 냄새 등을 감지하는 센서 (일명 전자코)
초감각 센서	인간이 감지 불가능한 물체, 상태, 소리, 냄새 등을 감지하는 센서

Table 3. 형상, 치수, 용도에 의한 RFID(전자태그)의 종류

태그 형태	주요 용도 및 치수
원판형 	- 의료·레이용, 장치 속에 삽입 - 치수: 수~수십 mm
원통형 	- 동물관리, 팔레트 관리 - 치수: 수~수십 mm
라벨형 	- POS 정산용 제품, 서류관리, 화물관리 - 수십×수십 mm
카드형 	- 승차권, 정기권, 입·퇴장 관리 ID카드 - 85×54×수십 mm
상자형 	- FA, 차량관리, 컨테이너 관리 - 50×50×10 mm

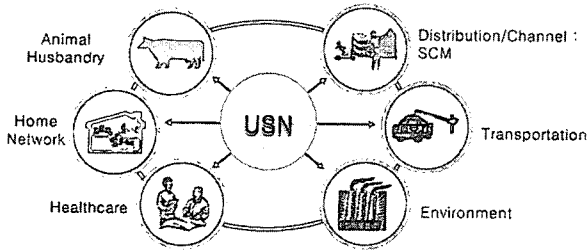


Fig. 1. 유비쿼터스 센서 네트워크(USN, 자료: 정보통신부, 2004).

USN이란 새로 만들어진 단어로써, 필요한 모든 사물에 RFID를 부착하고(ubiquitous), 이를 통하여 사물의 인식정보를 기본으로 주변의 상황정보(온도, 습도, 오염 정보, 균열정보 등)까지 감지하여(sensor), 이를 실시간으로 네트워크에 연결·정보를 관리하는(network) 것으로, 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 통신 기능을 부여하여 언제나, 어디서나, 어느 것으로나(anytime, anywhere, anything) 통신이 가능한 환경을 구현하기 위한 것을 의미한다. USN 기술은 초소형 무선장치가 다양한 센서에 내장되어 센서간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 무선으로 정보유통 및 고도화된 서비스를 실현할 수 있게 하는 것을 말한다. Fig. 1에 나타냈듯이, USN은 동물관리, 홈네트워크, 건강관리, 공급망 관리, 교통 환경 등 다

양한 유비쿼터스 서비스 분야에 적용될 것이다.^{4,9,10)}

USN 기술 중 센서는 인간의 오감을 대신하여 물리계 또는 환경계의 현상을 정량적으로 측정하여 정보를 감지하는 소자 및 시스템이며, 센서 네트워크는 통신 기능을 가진 이러한 센서들의 네트워크이다.

3.2 USN 서비스 동향⁴⁾

미국 CENS(Center for Embedded Networked Sensor)에서는 오염물질 전파, 해양의 미생물 및 동물 서식지를 모니터링하고, 지진 감시 및 구조물의 반응을 주요 응용 서비스로 연구개발 중이며, NIST(National Institute of Standards and Technology)에서는 네트워크 접속 및 수중 동작이 가능한 센서의 개발로 환경, 산업공정 제어, 방법 등의 응용이 이루어지고 있고, 3차원 가속도, 자이로, 자기, 기압 등의 센서를 구비한 모트(mote)로 지진과 관측이 시도되고 있다.

일본은 총무성을 중심으로 의료, 건강, 방범, 보안, 방재, 교육, 시설제어, 농산물 등의 각종 생산과정, 환경문제 등 도시사회의 안전, 생활의 쾌적성, 여유로움, 생산·업무의 효율화 등에 대한 응용 서비스를 추진하고 있으며, Omron사는 LA와 Long Beach의 화물 하역에서 화

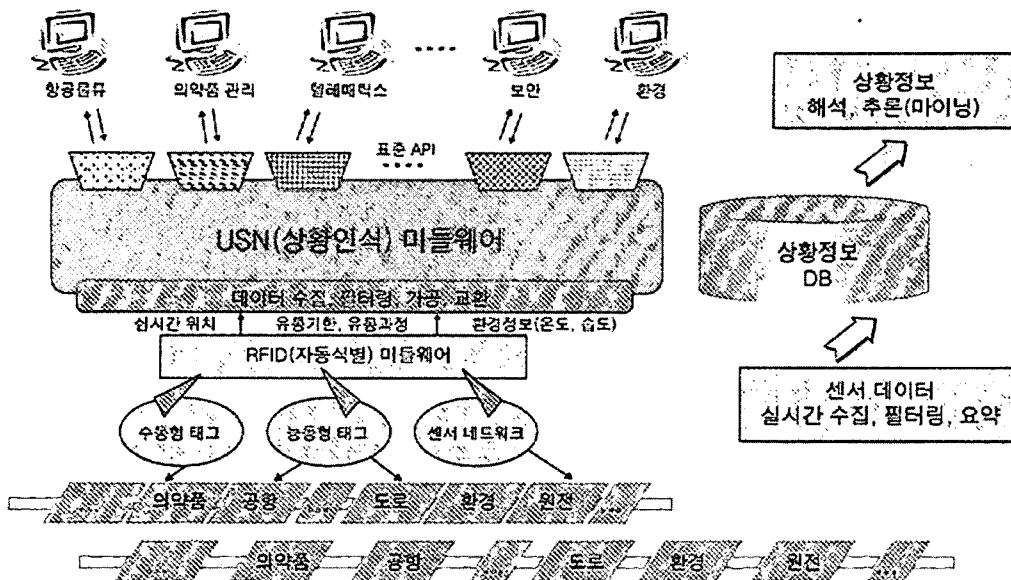


Fig. 2. RFID/USN 서비스 발전 로드맵(자료: 정보통신연구진흥원, 2004).



물 컨테이너에 센서 노드를 장착하여 움직임이나 침입을 감지하는 서비스를 개발 중에 있다.

국내는 차량 통행정보 서비스로 기존 ITS에서 활용되던 루프 감지기, CCD 카메라, 탐사(probe) 차량 등을 이용하여 수도권 지역의 실시간 교통정보를 수집하고 있으며, USN 기술을 이용한 텔레메틱스 정보수집에 대한 필요성만 인식하고 있는 상황이며, 최근에는 안전 및 보안과 관련된 서비스에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다.

향후, RFID의 소형화, 지능화, 저가격화 정도에 따라, USN도 물류·유통 분야 및 환경, 재해예방, 의료관리, 식품관리 등 실생활에서의 활용이 확대될 것으로 예측된다(Fig. 2 참조).

4. 맺음말

21세기는 유비쿼터스 사회가 될 것이며, 유비쿼터스 사회에서 핵심소재인 센서의 수요는 급격하게 증가할 것으로 예상된다. 센서는 USN과 같이 소자자체로서의 가치보다 적당한 시스템과 결합하여 활용될 때 그 가치가 엄청나게 크게 평가되며, 시스템을 포함한 시장규모는 센서 자체의 시장보다 훨씬 더 크다.

이러한 센서의 기술개발은 박막제조기술, 미세가공기술 등 프로세스기술과 마이크로 및 나노 테크놀로지 등의 발달과 더불어 자동차용, 환경복지, 의료용으로 많은 연구·개발이 이루어지고, 실제로 응용될 것으로 예측된다. 또한, 센서는 그와 관련된 최적의 시스템 및 대상물을 감지하여 제어할 수 있는 액츄에이터와 3위일체가 될 때 그 용도는 무한하리라 본다.

감사의 글

위 연구의 일부는 2005년도 서울시립대학교 대학특성화 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 전자신문(www.etnews.co.kr), 6월 15일자, 2005.
2. J. S. Wilson, "Sensor Technology Handbook," Elsevier,

New York (2005).

3. 황하룡, "센서의 기술동향과 적용사례," 제어계측, 2월호, 2-4 (2003).
4. 유승화, "유비쿼터스 사회의 RFID," 전자신문사, 서울 (2005).
5. "Japanese R&D Trend Analysis, Advanced Materials," Report No. 6: Ceramic Sensors, KRI International, Inc., Tokyo, Japan, (1989).
6. M. Egashira, "Special Issue: Review and Recent Trend for Ceramic Gas Sensors," *Ceramics, Bull. Ceram. Soc. Jpn.*, **38**(6), 406-50 (2003).
7. R. C. Jaeger, "Introduction to Microelectronic Fabrication," 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 269-95 (2002).
8. K. Petersen, "A New Age for MEMS," *Digest of the 13th Int'l Conf. on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems, Transducers '05*, 1-4 (2005).
9. Y. Kawahara, N. Kawanishi, H. Morikawa, and T. Aoyama, "Top-Down Approach toward Building Ubiquitous Sensor Network Applications," *Proc. 11th Asia-Pacific Software Eng. Conf.*, 1530-362 (2004).
10. Y. Koide, T. Kanda, Y. Sumi, K. Kogure, and H. Ishiguro, "An Approach to Intergrating an Interactive Guide Robot with Ubiquitous Sensors," *Proc. IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2500-5 (2004).

●● 유광수



- 1981. 한양대학교 무기재료공학과(학사)
- 1983. 서울대학교 무기재료공학과(석사)
- 1991. Arizona State Univ. 재료공학과(박사)
- 1983-'84 현대전자산업(주) 반도체사업부, 사원
- 1984-'87 한국과학기술원 무기재료연구실, 연구원
- 1991-'95 한국과학기술연구원 세라믹스연구부, 선임연구원
- 1995-현재 서울시립대학교 신소재공학과, 부교수
- 1998-현재 한국세라믹학회, 편집('98-'99)/총무('01)/수석운영위원('05)
- 1998-'03 한국전기화학회, 학술이사
- 1999-'00 U. of Houston 재료연구센터, 교환교수
- 2001 서울시립대학교 공과대학/산업대학원, 교학과장
- 2001-'03 서울시립대학교 교무처, 부처장/시정각교육원, 원장
- 2002-현재 한국센서학회, 학술이사('02-'03)/편집위원장('04-'05)
- 2005-현재 서울시립대학교 부설 산업기술연구소, 소장