

센서기술의 현황과 전망

민남기

고려대학교

1. 서론

센서는 간단히 “외계의 정보(에너지)를 전기신호로 변환하는 소자”로 정의할 수 있으며, 이때 정보검지기능을 만드는 H/W와 S/W 관련기술을 “센서기술”이라고 한다. 입력신호를 전기신호로 변환하는 이유는 증폭, 미적분, 저장, 원격조작등 신호처리가 간단하여 다양한 종류의 신호를 계측·제어하기가 용이해지기 때문이다

센서기술은 공장 자동화와 같은 생산분야뿐만 아니라, 성자원, 성에너지, 환경보전, 의료 등 사회적 측면에서도 응용범위가 급속히 확대되고 있다.

특히 최근 컴퓨터기술의 진보와 함께 센서기술이 크게 부각되고 있다. 인간에 비유하면, 두뇌에 해당하는 마이크로컴퓨터가 각종 시스템에 빠르게 보급됨에 따라 오감에 해당하는 센서 기술도 함께 성장하여 왔다. 그러나, 아무리 두뇌가 우수해도 정확한 정보를 입력하지 않으면 시스템이 제대로 동작하지 않는다. 그러므로, 앞으로 센서기술의 좋고 나쁨이 시스템의 생명을 좌우하게 될 것이다.

그림 1은 센서기술의 발전추이를 정리한 것이다. 센서기술의 비약적인 발전은 반도체 제조기술, 마이크로머시닝(micromachining) 기술, 박막기술 등의 비약적인 진보에 힘입은 바 크다. 마이크로컴퓨터와 함께 각종 전자 장치에 센서가 탑재되어 장치의 고성능화, 지능

화가 달성되었고, 이에 수반하여 센서의 고기능화, 집적화, 지능화가 강력히 추진되어 왔다. 또, 센서기술은 센서의 집적화, 지능화, 융합화 등의 수법을 기초로 하여, 새로운 센서 및 시스템을 개발하고 있다.

센서는 종류와 분류 방법이 매우 다양하여 개별 센서의 기술동향을 일일이 언급할 수 없기 때문에, 여기서는 최근 각 센서 분야에서 공통적으로 연구개발되고 있는 센서기술을 중심으로 그 현황과 전망에 대해서 필자의 생각을 간단히 제시하고자 한다.

2. 센서 재료 기술

초기 센서기술은 주로 재료개발을 중심으로 발전해 왔다. 센서재료 설계란 새로운 센서기능을 가지며 센서 요구조건을 충족하는 재료를 창출하거나, 기존의 재료 중에서 니즈에 부합하는 재료를 과학적 수법으로 선택하는 것을 의미하는데, 이를 통해 새로운 센서기능을 가지며, 정확성, 신뢰성, 내구성이 더 우수하고, 경박단소하며, 저가인 센서를 개발하는 것이다.

현재 3대 센서재료는 세라믹, 반도체, 고분자화합물이다. 세라믹은 가장 널리 사용되어온 재료이며, 내구성 등 센서로서의 특성을 확보하는데는 많은 장점을 가지고 있으나, 재현성, 양산성, 경제성 면에서 극복해야 할 문제가 많다. 고분자화합물은 경제성은 우수하지만 내열성, 내약품성, 정밀도가 부족하다. 반도체는 대량생산이 가능하며 양산성과 저가화는 용이하나 사용 온도, 외부충격 등에 약하기 때문에 세계적인 추세는 이러한 제한 요소를 제거하는 연구에 집중되고 있다.

센서가 초소형화, 고성능화, 저가격화를 지향하는 추세에 따라, 재료도 이 방향으로 발전하고 있으며, 이것을 뒷받침하는 재료기술이 실리콘 반도체기술, 박막화, 다층화 기술 등이다. 실리콘 반도체가 각광을 받는 이유는 다음과 같다.

- 풍부한 센싱 효과 - 실리콘은 방사, 기계, 열, 화학 등 전 에너지 영역에 대해 매우 민감한 특성을 나타내기 때문에, 검출하고자 하는 물리량을 전기적 에너지로 변환하는 신호변환효과가 풍부하다.
- 집적화 가능 - 센서와 신호처리회로를 하나의 칩에 집적화하여 센서의 고성능화를 실현할 수 있고, 대량생산에 의해 저가격화가 가능하다.
- 우수한 기계적 특성 - 센서 관점에서 실리콘은 거



그림 1. 센서기술의 발전 추이.

의 이상적인 탄성체에 가깝기 때문에 종래 역학센서의 단점이었던 히스테리시스, 반복성, 장기 드리프트와 같은 문제점을 제거하였으며, 강하고, 가볍고, 스트레스에 매우 민감하고, 또한 그 위에 여러 가지 물질을 박막상태로 코팅할 수 있다.

- 배치(batch) 프로세스 가능 - 일괄 공정에 의해 동일한 센서의 다량 제작이 가능하며, 저가격화를 가져온다. 예를 들면, 4인치 웨이퍼에 1mm×1mm 크기의 압력센서가 6000개 있으며, 1 배치에 25장의 웨이퍼를 처리하면, 6000×25=150,000개의 압력센서가 동시에 만들어진다.

- IC산업의 인프라구조 - 반도체 센서에서 필요로 하는 대부분의 인프라구조는 기존의 IC산업이 막대한 연구개발을 통해서 구축해 놓은 것과 동일하여 센서개발에 바로 이용 가능하다. 이러한 인프라구조는 다른 센서기술이 직면하고 있는 많은 문제점을 해결할 수 있어, 개발기간을 단축하고 센서의 저가격화를 실현할 수 있다.

현재 실리콘 센서기술은 초저가격화 또는 초고성능을 실현할 수 있는 단계에 와 있다. 차별화 인자는 센서 패키징, 테스트, 보상기술이며, 어느 다른 센서 기술도 이와 같이 양립하지 않는 특성을 결합할 수 없다.

3. 센서 소자 기술

종래의 센서소자는 단일 변수를 검출하는 소자가 주류였으나, 현재는 동종 또는 이종의 단일 소자를 하나의 패키지에 복합시킨 어레이(array), 복합소자를 거쳐 3차원 구조로 연구가 진행되고 있다. 또한 새로운 재료를 개발하고, 소자 구조를 미세화하여 감도를 향상시키고 있다. 그러나, 궁극적으로는 1개의 칩에 센서소자와 신호처리 회로를 동시에 집적하여 인공지능을 가미한 지능형 센서가 미래에 출현하리라 전망된다. 이는 반도체기술과 컴퓨터기술의 급속한 진전으로 충분한 가능성을 보이고 있으며, 현재 일부 선진국에서는 연구결과의 시제품을 선보이고 있는 상황이다.

이와 같은 센서소자의 발전에 주도적 역할을 하고 있는 핵심 기술은 센서의 집적화(integrated sensor) 기술이다. 센서의 집적화란 반도체 IC기술을 이용하여 소형, 경량, 고정밀, 고신뢰성, 고기능, 저가격의 센서를 얻고자하는 것이다. 집적화 센서의 구성을 기능면에서 보면 어레이(array)화, 복합화, 고성능화로 분류할 수 있다.

어레이화는 다수의 같거나 유사한 센서를 동일 실리콘 기판상에 집적한 것으로, 통상 제조 공정을 추가하지 않고도 실현할 수 있다. 복합화(다기능화)는 기능이 서로 다른 이종센서를 집적하여 단일의 패키지로 복수의 정보를 동시에 검지할 수 있는 센서로, 온도/습도센서를 같이 집적화 하거나, 이종의 ISFET(ion-sensitive

Field Effect Transistor)를 집적하여 다수의 이온을 검출하는 센서 등이 개발되고 있다. 고성능화는 신호처리 회로를 센서와 동일 칩에 집적하여 성능을 고도화하는 기술이며, 집적된 기능에 따라 몇 개의 레벨로 분류할 수 있다. 가장 기본적인 것은 증폭 회로, 연산 회로, 온도 보상 회로 등과 같은 신호조정회로를 집적화하는 것으로, 현재 대다수의 집적화 센서가 이 레벨에서 상품화되어 있고, 자동차에 사용되고 있는 압력 센서(MAP)가 대표적인 예이다.

이상 설명한 집적화 센서소자를 제작하는데 필요한 주요 기술들을 나타내면 그림 2와 같다. 실리콘에 없는 센싱기능을 실현하기 위해서는 Si 기판 위에 기능성 박막(예로 ZnO, 자기박막)을 증착하여 집적화 센서를 구성한다. 집적화 센서의 설계·제작에는 기존의 실리콘 플레나 기술에 대한 깊은 지식 이외에 micromachining, microfabrication, micromechanics, microelectronics 분야의 완전한 이해를 필요로 한다. 특히 마이크로머시닝 기술은 미세한 정밀기계구조(micromechanical structure)를 제작하는 재료 가공기술이다. 최근에 개발되고 있는 대부분의 마이크로센서와 마이크로액추에이터는 주로 이 기술의 발전에 의존하고 있다. 마이크로구조에는 노즐과 같은 정적구조, 다이어프램(diaphragm)이나 외팔보(cantilever beams)와 같은 동적구조, 마이크로모터(micromotors) 및 핀 조인트(pin joints)와 같은 움직이는 구조 등이 있다. 동적구조는 주로 마이크로센서에 응용되고 있고, 다른 것들은 마이크로액추에이터와 마이크로시스템의 기본 부품으로 사용된다.

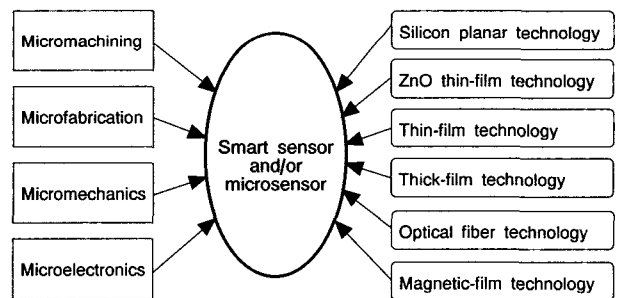


그림 2. 스마트 및 마이크로센서 시스템에 필요한 기술.

4. 지능화 기술

지능화 센서란 컴퓨터가 가진 뛰어난 정보처리 및 메모리 기능과 센서기술을 결합시켜 고도로 지능화된 센서를 의미한다. 지능화 센서는 다음과 같이 종래의 센서에서는 볼 수 없는 우수한 특징을 갖는다. ▶ 새로운 데이터의 취득, 저장, 처리 ▶ 해석 및 통계적 연산 실행 가능 ▶ 사용자 및 다른 센서와 정보교환 가능 ▶ 외부 원인에 기인하는 이상동작상태에 대한 경고 및 근원 제거 ▶ 사용자 요구에 맞는 데이터 가공능력 구비 ▶ 센서 자신이 의사 결정능력 및 자기진단 기능 구

비. 센서의 지능화를 발전시키는 기술적 수법에는 센서소자와 신호처리 소자를 결합하거나, 기능재료의 물성을 응용하여 신호처리기능을 부여하거나, 형태나 구조가 갖고 있는 신호처리 기능을 응용한다.

지능화 센서의 발전 과정은 몇단계로 분류해 볼수 있는데, 1단계는 센서, 인터페이스 회로, 마이크로프로세서를 각각 독립적으로 만들고, 이것을 배선하여 결합한다. 이 경우 개개 요소의 선택도가 매우 높아 집적화가 불가능한 센서 사용이 가능하며, 현재 이 수준의 지능화 센서가 다수 상품화되어 있다. 지능화 2 단계는 센서와 인터페이스 회로를 집적화하여 센서의 고성능화·고기능화를 도모하고, 이것을 마이크로프로세서에 결합한 경우이다. 상용화된 집적화 스마트 센서는 대부분 이 수준에 와있다. 마지막 단계는 센서와 마이크로프로세서가 일체화된 원 칩(one chip) 스마트 센서이며, 원칩화는 내환경성 등 해결해야 될 어려운 문제가 많으며, 원칩 스마트 센서의 탄생은 V(U)LSI 기술에 달려있다고 할 것이다.

5. 센서 통합·융합화 기술

이종의 여러 센서로부터 얻은 정보를 처리하여 단일의 센서에서는 얻을 수 없는 기능(정보)를 추출하기 위한 수단이 융합화(sensor fusion)이다.

센서정보의 통합·융합의 목적은 시스템의 양적·질적 기능 확대라고 말할 수 있다. 양적 기능의 확대는 서로 다른 오차분포를 갖는 센서의 확률밀도함수의 연산에 의해 측정 정도를 높이고, 측정범위가 다른 센서를 중합시켜 측정범위를 확대하고, 정보의 결합부분을 다른 센서로 보완하여 신뢰도를 향상시키는 것 등이다. 질적 기능확대에는 다른 수단으로 센서정보를 합성하여 대상인식능력을 높이고, 측정환경의 상황변화에 적응시키는 것 등이 있다. 이와 같이 센서정보의 융합은 각종의 센서정보를 복합적·통합적으로 이용하여 신뢰성이 높은 정보를 추출하고 고도의 인식이나 판단기능을 실현할 수 있는 센싱 시스템을 구축하는 것이다. 연구되고 있는 센서융합 시스템의 예로는 로봇의 물체파악, 실내환경계측용 쾌적도 센서등이 있다.

센서정보의 융합화는 장래의 대규모 센싱 시스템에서 불가피한 연구과제이다. 그러나, 역사가 짧아 현 단계에서는 그 사고나 개념도 정확히 정립되어 있지 않으며, 앞으로 해결해야 될 많은 과제를 남기고 있다.

6. 바이오 센서

바이오센서(biosensor)는 분자인식기능을 갖는 바이オリ셉터(bioreceptor)와, 식별결과를 전기신호로 변환하는 트랜스듀서를 조합하여 구성한다. 분자식별 기능을 갖는 물질에는 효소(enzymes), 항체(antibody), 동식물 세포, 오르거넬(organelle), 화학수용기(chemoreceptor) 등

다양한 종류가 있다. 그러나 이 생체물질들은 수용성이기 때문에 불용성의 합성 또는 천연 고분자막 등으로 고정화하여 소자화하는데, 이 막을 분자식별 기능성막(생체 기능성막)이라고 한다. 이러한 생체기능성막에 의한 화학물질의 인식은 생체분자 자체에 의해서 이루어지는 경우와, 세포나 조직 중에 존재하는 효소 등의 작용으로 생기는 경우가 있으며, 생체기능성막의 종류에 따라 여러 가지 바이오센서를 구성할 수 있다.

트랜스듀서로는, 초기에 산소전극이나 과산화수소전극이 사용되었는데, 최근에는 반도체 가공기술에 의해서 제조된 마이크로산소/과산화수소 전극, ISFET, 광다이오드등 여러 가지로 대체되고 있다.

현재, 여러 가지의 원리에 기초한 바이오센서가 개발되어 임상검사, 공업 프로세스, 환경계측 분야에 응용이 시도되고 있다. 이중 의료용 바이오센서는 기존의 기술로 불가능한 각종 환자상태의 in-line계측, on-line계측, in-vivo sensing을 위해 광범위한 연구개발이 이루어지고 있다. 생체·의학용 센서는 생체 적합성이나 생체액에 대한 내성을 가져야하고, 경량, 고신뢰성, 저소비 전력 등 아직 해결해야 될 문제가 많다.

바이오센서 기술 및 산업은 현재 발아기에 불과하지만 21세기에는 파급효과와 규모가 가장 큰 산업으로 성장할 것으로 전망되고 있다.

7. 마이크로시스템 기술

최근 크게 부각되고 있는 센서기술중 하나가 센서와 액추에이터를 일체화시키는 연구이다. 그림 3과 같이 센서, 액추에이터, 신호처리 유닛을 통합한 것을 마이크로시스템(microsystem)이라고 부른다. 마이크로시스템 기술(microsystem technology:MST)의 목적은 검출하고, 계획하고 결정하여, 외부 자극에 반응할 수 있는 지능형 집적화 칩을 만드는 것이다. MST에서 센서는 다수의 마이크로센서가 집적화되어 센서 어레이를 형성한다. 따라서 시스템의 신뢰성은 크게 향상되고, 단

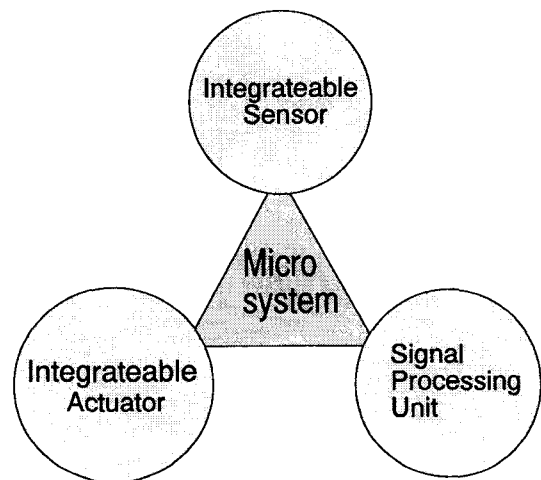


그림 3. 마이크로시스템의 구성.

일 센서의 고장이나 결함은 더 이상 문제되지 않는다. 또한 측정 레인지도 최적화 시킬 수 있다. 마이크로액추에이터로는 마이크로모터, 펌프, 밸브, 그립퍼, 스위치, 릴레이 등이 있다. 신호처리 유닛의 개발은 임무가 복잡하고, 시스템이 크기와 파워에 제약을 받기 때문에 매우 어려운 과제이다.

MST와 관련되어 반드시 해결해야 될 기술은 주위 시스템과의 인터페이스 문제이다. 마이크로시스템은 에너지, 정보, 물질들을 외부와 교환하여야 하기 때문에, 외부 시스템과 지속적인 접촉이 유지되어야 한다. 현재는 정보·에너지 전송에 대해서는 전기적 인터페이스가 주로 연구되고 있으며, 광, 열, 음파를 이용한 인터페이스 가능성도 검토되고 있다. 또, 물질의 전달 수단으로는 마이크로유체만이 가능하다. 예로, 약 전달 시스템에서 약의 전달이나 의용 시스템에서 유기 물질의 흡입 등이 있다. 미래의 마이크로시스템의 가능성과 시장성은 주로 실제적인 마이크로-매크로 인터페이스 기술의 개발 여부에 달려있다.

MST는 21세기에 성장할 유망한 기술이며 산업이다. 현재, 미국, 독일, 일본은 MST의 중요성을 인식하고, 국가적 차원에서 많은 MST 프로그램을 진행시키고 있다. 발표된 통계를 보면, 1995년에 8000개 이상의 회사가 MST 관련 제품의 개발과 생산에 참여한 것으로 추정하고 있다. 2002년경에 시장 점유율분포는 미:일:유럽=40:35:25일 것으로 예측하고 있으며, MST 관련 제품의 전세계 시장규모는 약 900억불에서 1000억불에 이를 것으로 전망하고 있다.

8. 센서 응용 시스템

산업이 고도화되고 사회가 정보화 될수록 센서의 응용범위는 확대되고 그 역할은 막중하며, 자동화, 성력화, 공해감시, 이상진단, 안전관리, 건강관리, 방법·방재 등을 통하여 인간의 복지와 번영에 기여하고 있다. 센서를 채용하는 목적은 시스템 기능의 고도화이다. 계측·자동화 시스템의 기능이 고도화되면 될수록 센서 의존도는 증가한다. 현재 사용되고 있는 센서 시스템에는 경보나 설정기준치에 대한 양부판단과 같은 단순기능에서부터 자동차전자제어와 같이 고도화된 기능을 갖는 시스템이 있다. 여기서는 일반인에게 익숙한 자동차와 가전기기의 전자화에 대해서 간단히 언급한다.

자동차 전자제어시스템은 센서사용에 의해 시스템의 고도화가 이루어진 대표적인 예이다. 자동차 전자화는 60년대 중반에 공해물질 경감대책의 일환으로 시작되었는데, 초기에는 센서가 전자제어시스템 개발에 주요 장애요인으로 작용하였으나, 현재는 각종 기능의 센서화로 자동차 전자화가 급진전하여 일반화되었다. 자동차용 센서는 최근의 센서기술과 시장을 주도하고

있다. 현재 자동차에는 연비제어, 주행제어, 진단·경보, 쾌적·안락성 향상, 정보화 시스템 등에 약 50-200개의 각종 센서가 탑재되어 있고, 2000년에는 차량가격대비 전자화 비중이 30%에 달할 것으로 전망된다.

가전기기의 전자화는 편리하고 쾌적한 생활을 추구하는 경향과 에너지 절약등의 사회적 니즈에 의해서 급속히 진전되어 왔다. 가전기기용 센서의 특징은 저가격과 장기간 고신뢰성이 요구되는 것이 공업 계측용 센서와 다르다. 차세대 가전기기의 장래는 마이크로컴퓨터와 센서기술의 진보에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 마이크로컴퓨터는 센서에 의한 정보입력 없이는 그 기능을 충분히 발휘할 수 없기 때문에, 센서의 우열에 의해 제품이 차별화되고, 상품의 사활을 결정하게 될 정도로 센서가 중요한 위치에 있다. 그에 따라 센서에 대한 요구도 고도화되고 다양하다.

9. 결 론

지금까지 센서기술의 발전 동향과 미래에 센서기술이 어떻게 전개될 것인가에 대해 간단히 설명하였다. 센서기술이 정보혁명을 주도하는 핵심기술로 부상하면서 21세기에는 비약적으로 발전할 첨단 분야이다.

현재 센서는 거의 모든 산업분야에 이용되고 있어 타산업분야와의 연관성이 매우 높다. 이에 따라 미국 일본 등 주요 선진국들은 센서를 국가적인 차원에서 육성하고 있으며, 세계 시장을 석권하고 있다. 이와는 달리 국내의 센서산업은 일부 범용센서를 제외하고는 센서소자를 들여다 조립생산하고 있는 실정이다. 특히 차세대 센서기술의 주류가 될 것이 확실한 반도체 센서를 아직도 국산화시키지 못하고 있는 것은 매우 우려되는 상황이다. 이처럼 국내 센서산업이 낙후된 것은 재료, 설계, 제조 및 가공기술 등 기반기술의 미비와 센서업체의 영세성으로 인하여 기술개발 투자가 거의 이루어지지 않고 있기 때문이다. 특히 전문인력부족으로 체계적인 연구가 이루어지지 못하고 있는 것은 더욱 큰 문제점으로 지적되고 있다. 이제부터라도 센서의 중요성을 인식하여 정부차원의 전략적 지원과 함께 산학연이 일체가 되어 전문인력을 양성하고 관련기술 개발에 박차를 가해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] E.T. Powner, F. Yalcinkaya, "Intelligent biosensors," *Sensor Review*, Vol.17 No.2, 1997, pp.107-116.
- [2] E.T. Powner and F. Yalcinkaya, "Intelligent biosensors," *Sensor Review*, Vol.17, No.2, 1997, pp.107-116.
- [3] J. Fluitman, "Microsystems technology : objectives," *Sensors and Actuators A*, Vol.56, 1996, pp.151-166.
- [4] J. Bryzek, "Impact of MEMS technology on society,"

Sensors and Actuators A, Vol.56, 1996, pp.1-9.

- [5] H. Baltes, " Future of IC microtransducers," Sensors and Actuators, 1996, pp.179-192.
- [6] R.H.Grace, " MEMS : U.S market overview," Proceedings Sensors Expo., 21-23 Oct., 1997, pp.233-244.
- [7] S.Fatikow and U.Rembold,, Microsystem technology and Microrobotics, Springer,Berlin, Germany 1997
- [8] 高橋 清,アドバンスト センサハンドブック. 培風館 東京, 1994.
- [9] 민남기, 공장자동화 센서개발, 산업자원부. 1997.

저자소개

민 남 기

1950년 7월 12일생

1974년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1976년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1979년 - 1984년 동국대학교 전기공학과 조교수

1989년 Cincinnati 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1990년 - 현재, 고려대학교 제어계측공학과 교수

<관심분야>

◦ 반도체소자, 마이크로센서, 마이크로머시닝

11월호 CASE 기술동향 기사 모집 안내

매회 학회지마다, 편집 위원들께서는 국내외 저널이나 국내외 학회지 (우리 학회 회원은 각자 주 전공 학회지에
도 회원으로 가입되어 있는 실정임) 에 게재된 기사나 기술 동향 논문 중에서, 우리 학회 분야와 관련된 흥미로운
항목이 있으면, 그것을 요약하여 반드시 아래아 한글파일로 작성하신 후, 편집이사 김종원 교수(전화 02-880-7138,
팩스 02-883-1513, E-mail : mejwkim@macee.snu.ac.kr) 에게 인용처와 저자 소개를 명기하여 e-mail로 보내 주시기 바
랍니다. 회원 중에서도 관심이 있는 기술 동향 기사나 논문이 있으시면 상기 요령으로 직접 김종원 교수에게 보내
주시기 바랍니다. 11월호 게재 기사의 마감일은 10월 15일까지 입니다. 본 기술 동향란은 우리 학회의 학제적 장점
을 살리기 위한 것으로, 회원들이 쉽고 재미있으며, 유용하게 읽을 수 있는 기사들이 필요합니다. 회원 여러분의
적극적인 참여와 동참을 부탁드립니다.