

인간의 오감을 비롯해 생명체의 감각기관은 선택성, 감도, 크기, 수명, 소모전력 등 여러 측면에서 매우 뛰어난 성능과 장점을 가지고 있으며, 기존센서의 개념적 한계를 극복할 수 있어서 이 분야의 파괴적 혁신을 기대할 수 있다. 감각기관의 구조 및 원리에 대한 심층적인 분석과 공학적인 모사기술이 결합된다면 초감각을 지닌 동물의 감지능력까지도 모사가 가능할 것이다.

산업의 발전과 더불어 본격적으로 발전하기 시작한 1960년대 이후에 센서라는 이름으로 각종 산업과 제품에 쓰여지기 훨씬 전에도 센서는 측정하는 장치라는 의미로 인류의 역사와 발자취를 같이 하고 있었다. 기계공학용어사전에도 센서란 직접 피측정 대상에 접촉하거나 그 가까이서 데이터를 알아내어 필요한 정보를 신호로 전달하는 장치로 정의되어 있다.

자연계에 존재하는 센서를 흔히 생명체의 감각기관이라고 부르며 기존의 산업화된 센서들과 기능과 역할 측면에서 많은 유사성을 가진다. 특히, 사람의 경우에는 오감을 가지고 있어서 빛, 냄새, 소리, 맛, 접촉 등의 외부 자극을 인식할 수 있다.

산업화된 센서기술은 반도체기술의 도입과 함께 급격한 발전을 이루어, 정밀성, 대량 제조성, 가격, 규격성 등 여러 측면에서 장점을 가지고 있어서 어떤 측면에서는 생명체의

감각기관에 비해 뛰어난 장점을 보인다. 그러나 생명체의 감각기관이 가지는 고유한 특징을 관찰해보면 기존 센서에 비해 경이로운 장점을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

몇 가지 주요한 사례를 살펴보자. 먼저, 고래의 경

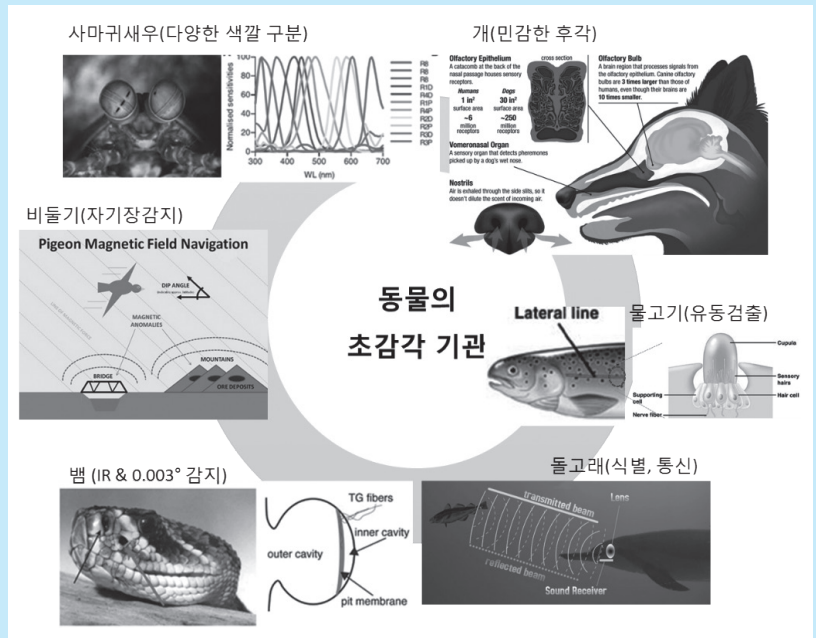


그림 1 동물들의 다양한 초감각 기관 사례

우에는 수 킬로미터 이상 떨어진 동족의 소리를 수중에서 들을 수 있는 청각기관을 가지고 있으며, 박쥐의 경우는 수십 미터 떨어진 먹이를 인식하고, 또한 어둠 속에서도 정확한 경로를 찾아가는 청각시스템을 가지고 있는 것은 잘 알려진 일이다. 개의 후각기관은 수용기의 종류가 인간보다 몇 배나 많아서 마약과 같은 특정분자를 감지하고, 뱀의 경우에는 적외선을 탐지하고, 반경 1m 이내에서 0.003도의 온도변화를 감지하기도 한다. 이 외에도 철새의 경우에는 미세한 지구 자기장의 변화를 감지한다고 알려져 있으며, 물고기인 연어의 경우에는 물의 흐름이나 속도, 물속 화학물 등을 감지하여 자신이 태어난 곳으로 회귀하고, 사마귀 새우의 경우에는 12개의 광수용기를 가지고 있어서 자외선, 가시광선, 적외선 및 편광색까지 구별하는 시각을 가지고 있다. 이러한 동식물들의 독특하고

뛰어난 특성들이 많이 발견되고 있으며, 자연모사 연구의 주요한 대상이 되곤 한다. 또한 과학적 규명이 더 필요한 부분이 있기는 하지만 지진이나 화산과 같은 큰 재난에 대해 동식물들은 인간의 감각기관보다 더 빠르게 이를 인식하고 대비한다는 것이 관찰되거나 보고되기도 하였다.

인간의 감각기관도 매우 극단적인 감각성능을 가진 여타의 동물에 비해 상대적으로 덜 우수해 보이지만 인간에 매우 최적화되었다는 측면과 내재적 성능이 예상보다 훨씬 뛰어나다는 점 및 손상된 감각기관을 대체하거나 보완할 필요성 때문에 충분히 연구할 만한 가치가 있다.

특히 오감 중에서 시각의 경우에는 광자(photon) 한 개를 검출할만한 높은 감도를 가지고 있으며, 피부는 온도와 압력, 인장 등 다양한 자극을 동시에 측정하고, 후각은 기존에 개발된 센서에 비해 선택적 감지 능력이 매우 뛰어나며, 청각기관은 20-20,000Hz의 음성을 감지하는 훌륭한 센서이다.

국내외 연구동향

국내외적으로 자연 즉, 생명체의 감각기관을 모사하여 센서를 개발하려는 시도가 다양하게 시도되어 왔다. 청각기관의 경우 달팽이관을 모사하는 연구가 주로 이루어지고 있는데, 대체적으로 달팽이관의 구조를 모사하여 소리를 전달하는 특성과 스테레오실리아(sterocilia)라고 하는 원기둥모양의 청각 수용기를 모사하는 연구가 주를 이루고 있다. 국내에서는 한국기계연구원의 김완두 박사 팀에서 산화아연 나노 와이어(ZnO Nanowire)의 피에조

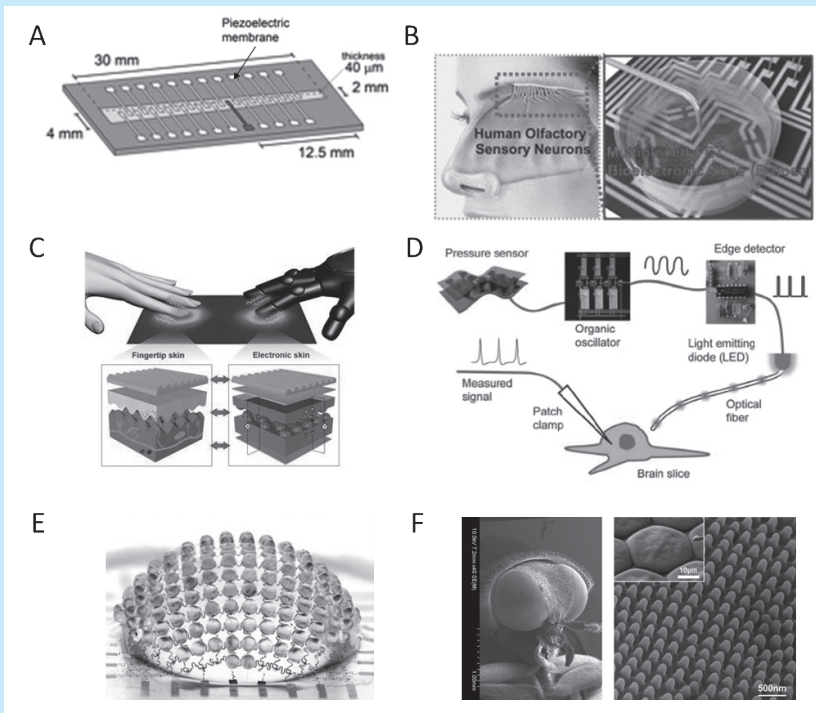


그림 2 청각기관모사(2A- Takatoshi Inaoka et al, 2011, PNAS), 후각기관모사(2B- 오석권 외, Nano Lett., 2015), 촉각기관모사(2C-박종화 외, 2015, Science Advance, 2D- Benjamin C.-K. Tee et al, 2015, Science), 시각기관 모사(2E-송영민 외, 2013, Nature, 2F-정혁진 외, 2011, Appl. Phys. Lett.)

특성을 이용해 이를 Array로 제작하여 음성신호를 검출하는 연구가 진행되었으며, 국외에서는 일본의 Ito 그룹에서 피에조 멤브레인을 이용해 청각기관을 모사한 음성신호 검출연구를 발표하였다.

후각기관에 대해서는 최근 ETRI에서 후각세포의 단백질을 추출하여 기존의 반도체 칩에 이식한 후에 이를 이용해 냄새분자를 측정하는 기술을 개발하였으며, 해외에서도 다양한 곤충의 후각기관이나 단백질을 모사한 센서 연구가 활발히 진행 중이다.

촉각기관의 모사는 국내외적으로 가장 많은 연구가 진행되고 있는 분야이며, 국내에서는 최근 손끝의 피부감각을 모사한 연구가 발표되기도 하였으며, 국외에서는 피부세포신호와 유사한 신호를 발생시키는 기계적 수용기(Mechanoreceptor)를 모사하는 연구가 발표되었다. 또한 최근 서울대학교의 최만수 교수 그룹에서는 거미 다리의 미세 크랙 구조를 모방하여 외부의 진동을 감지하는 기술을 개발하기도 하였다. (강대식 외, 2014, Nature)

시각기관의 모사에 있어서는 인간의 눈보다는 잠자리와 같은 곤충의 눈을 모사하는 연구가 주를 이루고 있어서 미국의 Rogers 그룹에서는 절지동물의 눈을 모사하여 디자인된 카메라 기술을 발표하였으며, 국내에서는 KAIST의 정기훈 교수 연구팀에서 곤충의 겹눈구조를 모사하여 반사율을 낮추는 연구를 발표하였다.

미각기관에 대해서는 기능이 유사한 반도체칩을 이용하여, 액상에 존재하는 다양한 분자들을 감지하는 연구가 진행되었으며, 각종 음식개발과 주류와 같은 다양한 음료의 정확한 판별 등을 위한 센서가 연구 중이다.

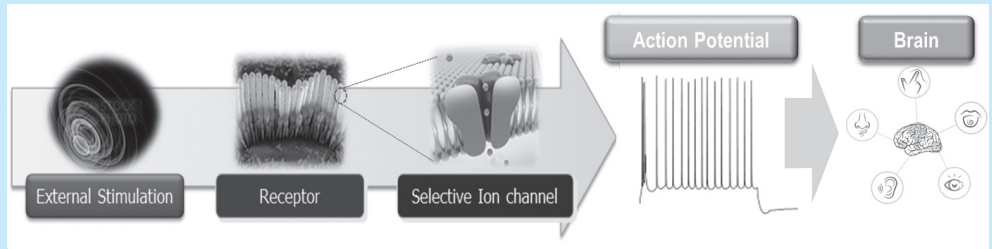


그림 3 감각기관의 자극-신호발생 메커니즘

감각센서의 구조 및 특징

생명체의 감각기관은 구조적으로 수용기(receptor)와 이온채널(ion channel)이 결합된 구조로 되어 있으며, 외부에서 자극이 들어오면 반응기가 물리/화학/기계적으로 반응기에 연결된 이온채널의 개폐를 조정한다. 이 때, 이온채널은 1nm 이하의 미세 채널을 가진 단백질로서 일반적으로 세포벽에 위치하고 있어서 세포내부와 외부에 위치한 농도가 서로 다른 이온들을 이송하는 이송채널 역할을 하게 된다. 따라서 외부의 자극이 발생하게 되면 자극을 감지하는 반응세포에 부착된 이온채널이 열리면서 세포 외부의 이온이 내부로 흘러 들어오게 되고, 이 때 세포 내부와 외부 사이의 포텐셜 변화로 인해 반응 신호(Action potential)가 발생하게 된다. 이러한 신호는 신경세포를 통해 우리의 뇌에 전달되며, 최종적으로 뇌는 자극을 인식하게 된다. 그림 1은 이러한 이온채널의 자극-신호발생-전달의 경로에 대한 메커니즘을 보여주고 있다.

이러한 감각기관 고유의 구조 및 작동 메커니즘은 인간을 포함한 대다수 동물의 감각기관에서 발견되고 있어서 이의 연관성이 연구되기도 한다. 그림 2는 오감과 관련된 감각기관에 대해 이러한 이온채널이 구비된 주요 수용기에 대해 간략히 소개하고 있다.

따라서 기존의 많은 감각기관모사 연구가 있었지만, 이온채널이 없는 구조이거나 이온채널을 구현하기 위해 생물학적 단백질을 그대로 사용하는 연구가

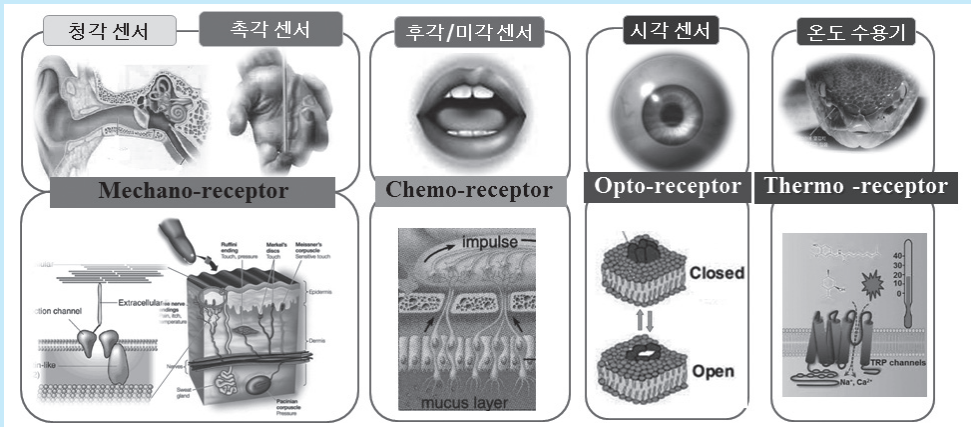


그림 4 오감 감각기관의 다양한 수용기

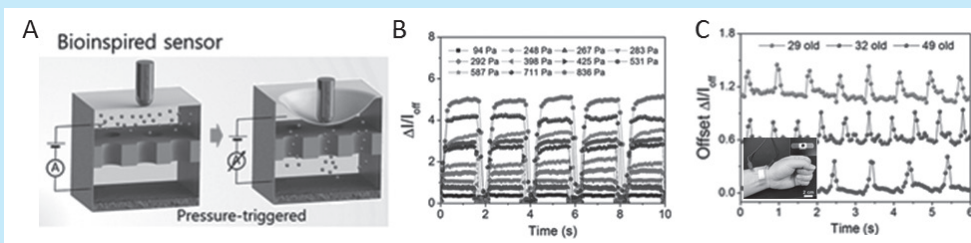


그림 5 A. 센서의 작동원리 B. 압력의 반복측정 실험결과, C. 부착형 센서의 맥박 측정 결과(전경룡 외, 2016, ACS Nano)

진행되어 왔다. 이온채널은 1nm 이하의 채널에다가 gating(개폐)구조를 가지고 있어서 이 스케일에서 모사가 어려울 뿐 아니라 외부 자극에 대해 전기화학적 이온 이동을 통해 생기는 신호변환 메커니즘을 효과적으로 응용하지 못하고 있는 실정이다. 최근 본 연구실에서는 이러한 개념이 포함된 진보된 개념의 수용기와 이온채널을 동시에 모사한 압력센서를 발표하였다. 이 센서는 약 1μV의 미세전력에도 작동할 뿐 아니라 일정범위 이상의 압력은 에너지 없이 이온이송에 의해 발생하는 전류만으로 직접 측정이 가능하다. (그림 5)

자본, 오랜 역사로 무장한 기업들을 추격하기란 쉽지 않아 보인다. 저자는 자연에 존재하는 생명체의 감각기관이 하나의 돌파구를 열어주지 않을까 기대하고 있다. 생명체의 감각기관은 측정범위가 넓고, 측정감도가 높으며, 에너지가 없이 구동되고, 매우 작으며, 수명이 길고, 환경에 적응한다. 하지만, 아직 그 원리를 충분히 공학적으로 실현하지 못하고 있으며, 생산기술도 함께 개발되어야 한다. 즉, 피상적인 자연모사가 아닌 보다 심층적이고, 생명체의 감각기관에 버금가는 모사기술이 개발된다면 우리는 파괴적 혁신을 가져올 새로운 형태의 센서를 만나게 될 것이다.

기술적 및 산업적 전망

오늘날 센서기술은 매우 고도화되어 있으며, 관련 산업은 휴대폰과 IoT(Internet of Thing)로 인해 폭발적으로 시장이 증가하고 있다. 이로 인해 최근 중견기업 수준의 센서회사들이 글로벌 대형회사로 발돋움하고 있다. 하지만 안타깝게도 우리나라의 센서산업은 상당한 격차가 있다. 이를 따라 잡으려면 많은 투자와 연구가 필요하지만 특허와