

촉각센서의 기술 동향

사람은 살아가면서 수많은 사람들과 악수를 한다. 사람의 손은 매우 유연하고, 단 한 번의 악수만으로도 상대의 힘과 그밖에 다른 교감을 통해 많은 것을 느낄 수 있다. 다른 사람과 감정을 교류한다는 것은 미래의 전자기기에 있어서 매우 중요하게 될 것이다.

글: 최병섭, 김원호, 주병권 교수
고려대학교 전기전자전파공학과

사람은 살아가면서 수많은 사람들과 악수를 한다. 사람의 손은 매우 유연하고, 단 한 번의 악수만으로도 상대의 힘과 그밖에 다른 교감을 통해 많은 것을 느낄 수 있다. 다른 사람과 감정을 교류한다는 것은 미래의 전자기기에 있어서 매우 중요하게 될 것이다.

요즘은 대세가 터치스크린이다. 휴대폰의 화면을 직접 손으로 터치하여 원하는 화면을 보는 것이다. 점점 휴대폰이 인간의 감성을 만족시켜주기 시작했다. 현대인의 필수품인 휴대폰의 터치가 붐을 이루게 되면서, 터치스크린은 이제 더 이상 멀리 있는 게 아닌 바로 우리의 일상생활에 다가와 있다. 사람의 오감 중 촉감은 사물을 판단하는데 있어서 빼놓을 수 없는 존재이다. 물체를 만지고 그에 대한 Feedback으로서 사물에 대해 인식을 한다는 것은 커다란 의미를 가지고 있다. 사람이 태어나서부터 물체를 만지고 인식하는 것을 배우고 습득해 왔기 때문에 터치폰의 등장은 너무나 익숙하게 우리의 생활에 퍼져가고 있다. 어릴 때부터 배워 온 손가락의 감각을 이제 휴대폰을 통해 유감없이 발휘

하고 있는 것이다. 초기에 휴대폰의 등장으로 사람들의 청각을 자극했던 휴대폰이 점차 시각적 효과를 극대화하기 시작하였다. 휴대폰은 흑백화면에서 컬러화면으로 변화를 시도하였고, 시각적 효과를 이용한 화상폰의 등장 이후 얼마 지나지 않아 우리의 촉각을 자극하기 시작했다. 화면을 만지면 반응하는 휴대폰을 상상이나 했을까? 촉각은 단순히 정해진 기판을 누르는 시대에서 진화하여 화면에 보이는 아이콘을 만지게 되는 것으로, 정해진 틀을 추구하던 지금까지의 자판을 벗어난 화면을 통해 나타나는 영상을 직접 만지며 느낄 수 있게 되었다는 것에 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

이러한 터치스크린의 핵심 기술에는 촉각센서라는 기술이 바탕이 되어있다. 그렇다면 현재 휴대폰은 물론이고, 기타 화면에 터치를 이용한 전자기기에 사용 중인 촉각센서란 어떤

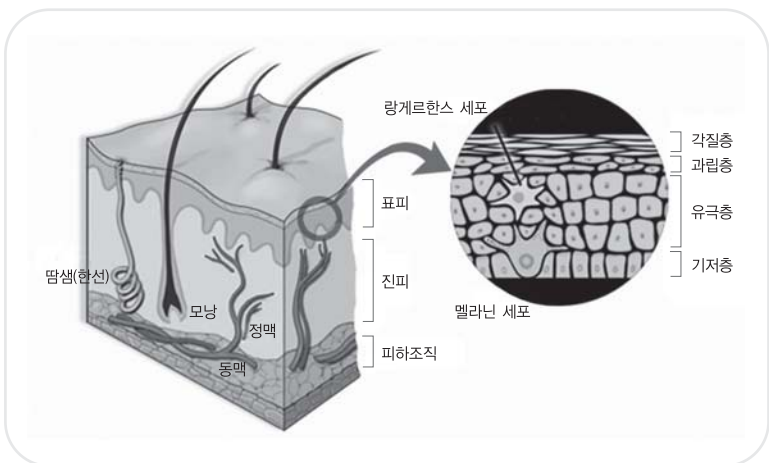


그림 1. 피부 및 표피의 구조(출처: 국립암정보센터)

것이며, 지금까지 어떠한 과정으로 발전해 왔으며, 앞으로 어떠한 방향으로 발전해 나갈 것인지에 대해 좀 더 관심을 가지고 살펴보기로 하자.

그림 1에서 보는 바와 같이 촉각이란 피부에 있는 어떤 감수기의 흥분으로 일어나는 감각으로, 아리스토텔레스가 정의한 오감인 시각·청각·미각·후각·촉각 가운데 하나이다. 촉각은 털의 움직임이나 피부·점막의 변형 또는 비틀림 등 생체조직의 움직임이 생겼을 때에 일어난다. 촉각을 일으키는 자극이 되는 것은 기계 에너지이다. 피부의 자극 감수성은 신체부위에 따라 다르며, 기계 자극을 수용하는 말초성 감각단위(어떤 자극을 받아 흥분을 일으키는 영역)는 순응의 속도에 따라 순응이 빠른 진동감각, 더딘 압각, 중간인 촉각 등의 3가지로 나뉘어진다.

로봇 산업의 발달에 따라 사람과 유사한 형태로의 로봇개발에 관한 관심이 증가하고 있다. 이러한 로봇의 개발에 있어서 가장 기초가 되는 것이 바로 로봇에게 사람이 가지고 있는 외부 사물을 인식할 수 있는 즉, 가속도-각속도센서, 초음파거리 센서, 시각센서, 촉각센서 등과 같은 다양한 센서를 부착하는 것이다. 이러한 센서 중에서 촉각센서는 로봇이 사물의 형상을 인식할 수 있는 가장 기본적인 요소이다. 사람의 손가락에 있는 인식 세포의 경우 분해능이 1mm 정도로 아주 작은 형태이며, 이러한 촉각과 유사한 형태로 제작을 하기 위해서는 작은 크기 및 어레이 형태로 제작이 되어야 한다. 지금까지 많은 연구 그룹에서 사람의 촉각과 관련하여 압저항 및 정전용량 방식 등을 이용한 센서 개발에 대한 연구를 많이 해오고 있으나, 작으면서 많은 어레이 형태로 센서를 제작하는데 있어서 다소 어려움이 있었다. 또한 이러한 어레이 형태의 경우 각각의 센싱 요소에서 나오는 다양한 형태의 신호를 처리하기 위한 회로 설계/제작 등이 하나의 큰 문제가 되며, 예상치 못한 외부의 큰 충격에도 견딜 수 있는 강건한 형태로 제작이 되어야 하는 등 로봇에게 적용하기란 다소 어려운 점이 많았다. 여기서 사용된 촉각센서는 물체의 주어진 특성과 물체와 센서간의 물리적 접촉을 통

한 저항, 정전용량, 전압, 주파수 등의 물리적 신호를 측정하는 장치 또는 시스템으로 정의된다. 이러한 촉각센서 중 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 실리콘 기반 촉각센서와 폴리머 기반 촉각센서에 대해 알아보도록 하자.

반도체 및 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-System) 소자를 제작하는데 있어서 가장 많이 사용되고 있는 재료 중의 하나가 반도체 실리콘이다. 반도체 실리콘은 도핑 공정에 따라 저항 값을 달리 조절할 수 있으므로 다양한 분야에 많이 사용되고 있다. 그림 2는 전자부품연구원에서 실리콘을 기반으로 제작된 촉각센서를 나타낸다. 단위 셀 센서의 크기는 2mm×2mm 정도이며, 외부의 힘에 대한 센싱 요소로서 멤브레인의 상, 하, 좌, 우 4방향에 압저항 소자가 위치되어 있다. 압저항 소자는 외부 힘의 인가에 대해 멤브레인의 변형 정도에 따른 저항 변화를 전압의 값으로서 감지하게 된다. 이러한 압저항은 센서의 감도를 최대로 증가시키기 위해 멤브레인의 변형이 가장 크게 일어날 수 있는 부분에 위치하게 되고, 임플란테이션(Implantation) 공정조건에 따라 다양한 저항값을 가질 수 있도록 공정이 가능하다. 또한 사람 손가락 요철 형태의 지문이 물체를 그리핑시 물체의 미끄러짐 방지 및 접촉시의 감도를 향상시키는 역할을 하는 것처럼, 촉각센서에 효율적인 힘 전달을 유도하기 위해 멤브레인 중앙부에 힘 전달 기둥이 형성되어 있으며, 이러한 힘 전달 기둥이 있음으로써

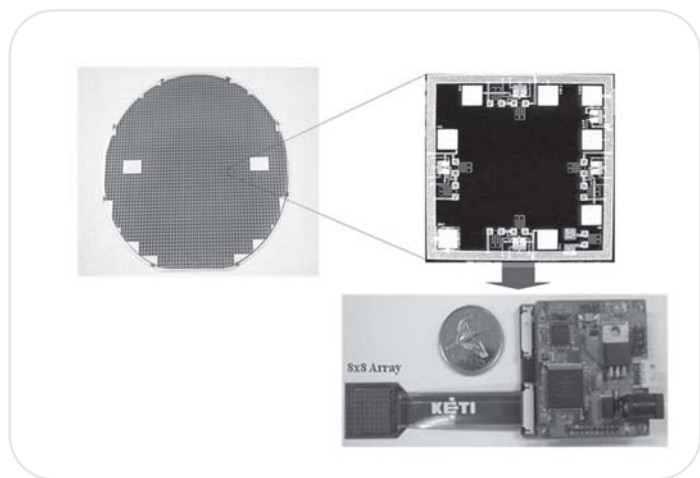


그림 2. 실리콘기반 촉각센서
(출처: The 13th International Conference on Advanced Robotics)

센서의 감도 향상 및 3축의 힘 감지 기능을 가능할 수 있게 한다. 이러한 촉각센서는 향후 간단하게 터치 로봇의 ON/OFF 스위치, 인간 친화적인 로봇 및 개인용 멀티미디어 입력 장치 등으로의 적용이 가능할 것으로 예상된다.

실리콘 기반형 촉각센서는 수직력에 따른 감각 및 수평력에 의한 미끄러짐을 감지할 수 있으나, 실리콘 자체에 유연성이 없고 취성 재료로써 물체의 접촉에 의하여 멤브레인이 파괴되기 쉽다. 반면, 폴리머 기반형 촉각센서는 쉽게 깨지지 않고 매우 유연하지만, 수십 마이크로 두께의 필름으로 MEMS 기술에 의해 촉각센서를 제조하는 공정은 용이하지 않다는 단점이 있다. 인간형 로봇의 적용을 위해서는 손가락 끝부분이나 센서와 물체간의 직접적으로 접촉하는 것처럼 곡면에 놓여 지기 때문에 촉각센서 어레이는 유연해야 한다. 또한 압력에 따라 저항이 변화하는 감압 잉크를 스크린 프린팅법에 의해 제조된 FSRs(Force Sensitive Resistors)와 같은 거시적인 촉각센싱 모듈은 로봇 등에 응용되고 있다. 그러나 FSRs 은 보통 인가된 힘의 범위, 높은 온도 의존성과 제한된 독립적인 센싱 모드에 비선형적인 반응을 나타낸다. 그림 3 과 그림 4는

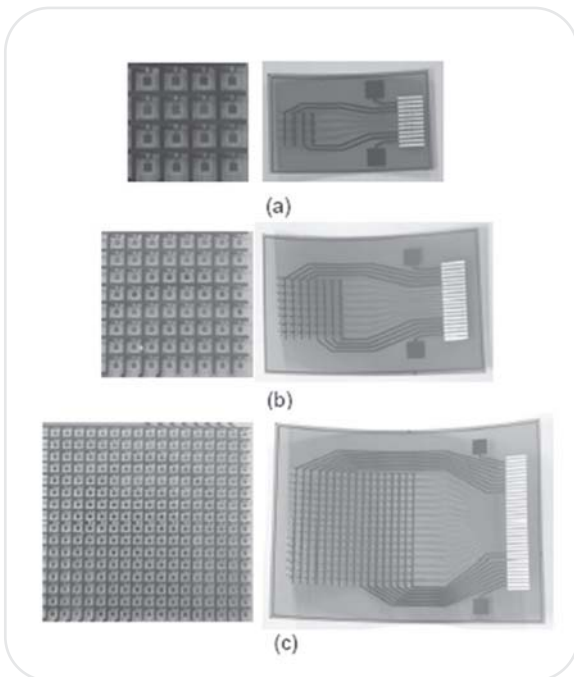


그림 3. 폴리머기반 촉각센서-촉각센싱 모듈의 개념도
(출처: The 13th International Conference on Advanced Robotics)

센싱 엘리먼트 어레이와 삽입형 단자 커넥터로 통합된 촉각센싱 모듈의 개념도 및 제작된 이미지를 나타낸다. 센싱 모듈의 구조는 폴리이미드 재료를 사용한 폴리머 MEMS 기술에 의해서 NiCr 박막 스트레인 게이지의 센싱 엘리먼트와 신호 처리를 위한 삽입형 단자 커넥터로 구성되어 있다.

촉각센서 어레이는 삽입형 단자 커넥터와 연결된 4×4 , 8×8 및 16×16 의 센싱 엘리먼트로 구성되어 있다. 어레이의 단위 셀 크기는 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 이며, 전체적인 크기는 각각 $1\text{cm} \times 1.5\text{cm}$, $1.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$, $2.5\text{cm} \times 3.5\text{cm}$ 이다. 특히 촉각센서 어레이와 삽입형 단자 커넥터는 센싱 모듈 제조 공정에서 일괄적으로 제조된다. 센싱 모듈은 폴리머를 기반으로 제작되었기 때문에 실리콘으로 제작된 촉각센서보다 유연성이 우수함으로 원기둥과 같은 다양한 곡면에 장, 탈착이 가능하다.

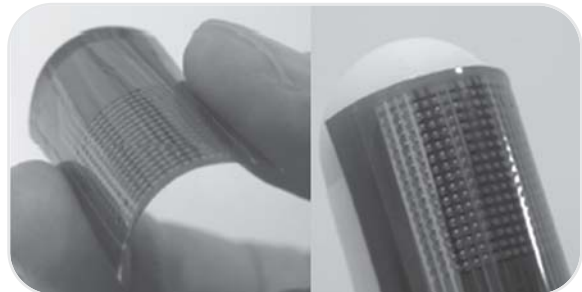


그림 4. 폴리머기반 촉각센서-촉각센싱 모듈의 이미지(출처: The 13th International Conference on Advanced Robotics)

그림 5와 그림 6은 KAIST에서 개발한 폴리머 기반의 정전용량 방식의 촉각센서이다. 기본적으로 PDMS Elastomer를 주재료로 사용한 확장이 가능한 촉각센서 모듈로써, 하나의 센서 모듈은 16×16 어레이 형태로 구성되어 있다. 확장이 가능한 촉각센서이기 때문에 같은 형태의 어레이를 연속적으로 붙이면 확장된 형태로 제조가 가능하다는 장점이 있다. 사람의 표피와 같은 해상도인 1mm 를 가지며 초기의 각각 셀의 Capacitance는 약 180fF 이다. 4개의 촉각 모듈은 ACP(Anisotropic Conductive Paste)를 사용하여 성공적으로 접착된다. ACP는 LCD나 PDP의 패키징에 널리 사용되는 접착제로써, 전도성 볼을 포함하고 있는 열적인 보호가 가능

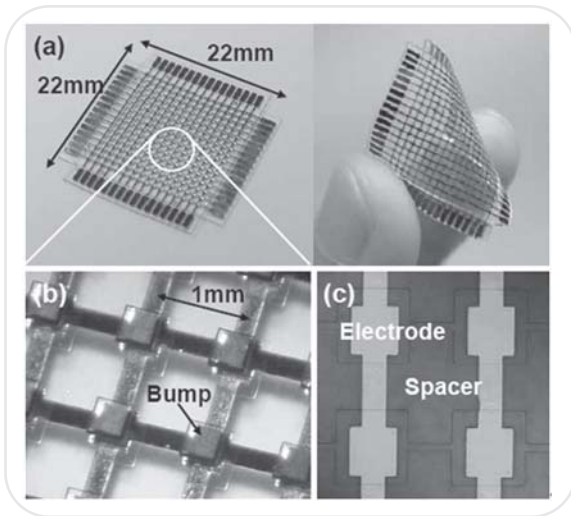


그림 5. 폴리머기반 촉각센서-촉각센서 어레이 이미지
(출처: 인간기능 생활지원 기능로봇 기술개발사업단2005 Workshop)

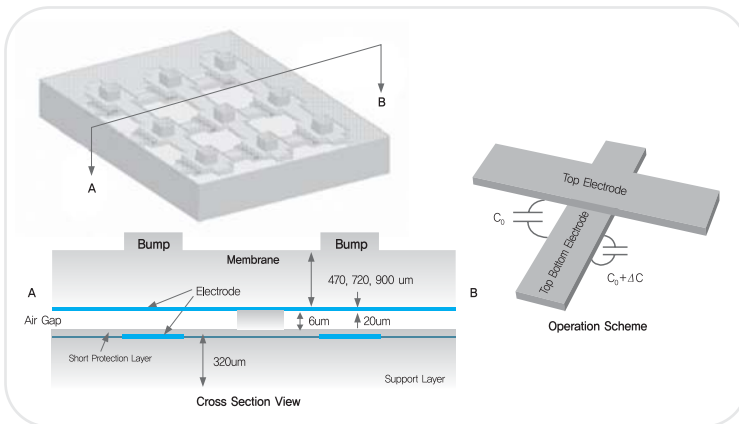


그림 6. 폴리머기반 촉각센서-촉각센서 어레이 구동 원리
(출처: 인간기능 생활지원 기능로봇 기술개발사업단2005 Workshop)

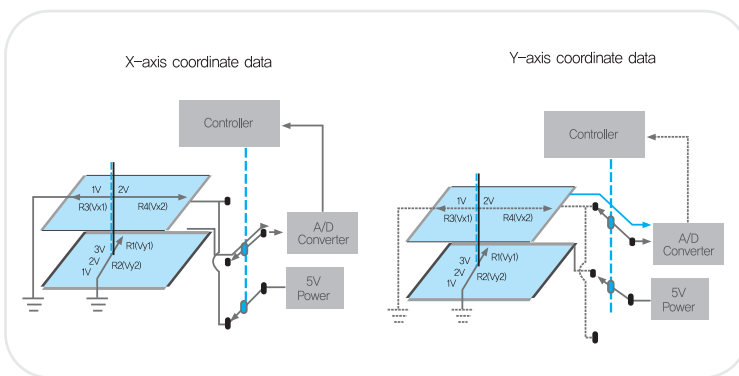


그림 7. Piezoresistive Sensing 방식 동작원리
(출처: KETI 휴대폰(스마트폰) 센서(Input Device) 동향 및 전망)

한 에폭시 접착제이다. 하나의 셀은 5개의 PDMS 층 사이에 구리 전극이 겹치게 되는 구조를 갖는다. 4개의 모듈은 ACP를 사용하여 32×32의 확장된 촉각센서 어레이를 만들 수 있다.

그림 7과 그림 8은 폴리머 기반의 촉각센서 중 앞에서 설명한 전자부품연구원과 KAIST의 사례를 그림을 통해 비교 분석한 것이다.

터치스크린은 크게 4가지 방식으로 구동될 수 있다. 가장 많이 사용 중인 Capacitive Sensing 방식과 Piezoresistive 방식이 있고, Thermal 방식과 Magnetic 방식이 있다. 먼저, Capacitive Sensing 방식은 가속도에 의해 가동부가 변위 했을 때, 가동부와 고정부의 사이의 정전용량 변화를 검출하는 방식으로 사용되며, 소자 수준에서의 온도 특성을 비교적 낮추기 쉽고, 소자를 소형화하면서 용량을 벌기 위해서, 소자부 구조가 복잡화하기 쉽다는 특성을 가지고 있다.

두 번째로, Piezoresistive 방식은 가동부와 고정부의 연결부에 피에조(piezo) 저항 소자를 배치하고, 가속도에 의해 발생한 문제를 저항치 변화에서 검출하는 방식이다. 소자 구조나 검출 회로를 비교적 단순하게 하는 것이 가능하고, 피에조(piezo) 저항이 가지는 온도 특성에 대하여 보정이 필요하다는 단점이 있다.

다음으로 Thermal 방식은 히터에 의해 패키지 내에 열 대류를 발생시켜, 가속도에 의한 대류의 변화를 감은 저항으로 검출하는 방식이다. 이 방식은 가동부가 없기 때문에 충격에 대하여 강하고 응답성이 비교적 낮다. 하지만, 감도 온도 특성의 보정이 필요하다는 단점을 가지고 있어 시장성이 떨어진다는 단점이 있다.

마지막으로 Magnetic 방식은 자성체에서 구성된 가동부가 가속도에 의해 변위 했을 때, 발생하는 자장변화를 고정부의 자기센서에 의해 검출하는 방식이다. 자기센서 등의 자성체 재료를 사용하는 프로세스 상에서, 가속도 센서가 필요한 장소에 이용할 수 있지만, 외

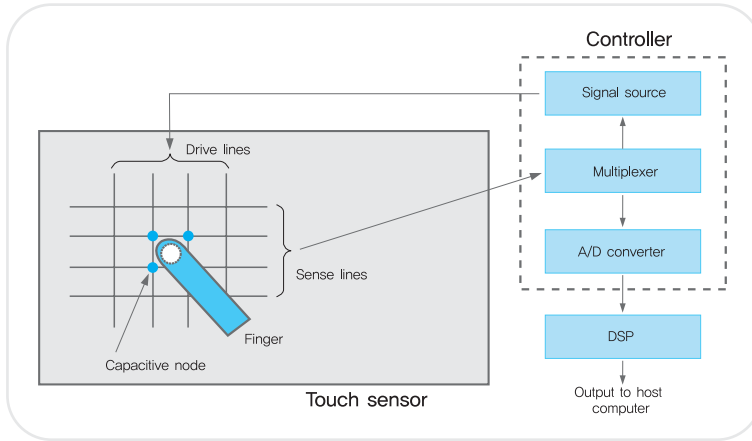


그림 8. Capacitive Sensing방식의 동작 원리
(출처: KETI 휴대폰(스마트폰) 센서(Input Device) 동향 및 전망)

부자장의 영향 제거가 필요하다는 단점으로 인해 Thermal 방식과 마찬가지로 시장성이 떨어진다는 단점이 있다.

Resistive Touch Screen	Capacitive Touch Screen
조립 구조가 간단	장갑 착용의 경우 인식률이 저하됨
내부 공기 층으로 광학특성이 떨어짐	광학특성이 상대적으로 좋음
Stylus Pen 이용이 복잡한 UI 구현이 가능	Multi-Touch UI 가능
내구성이 약함	내구성이 강함

표 1. Capacitive Sensing 방식과 Piezoresistive 방식의 비교 분석

표 1에서 현재 가장 보편적으로 사용 중인 Touch screen의 두 가지 방식에 대해 비교 분석해 보았다.

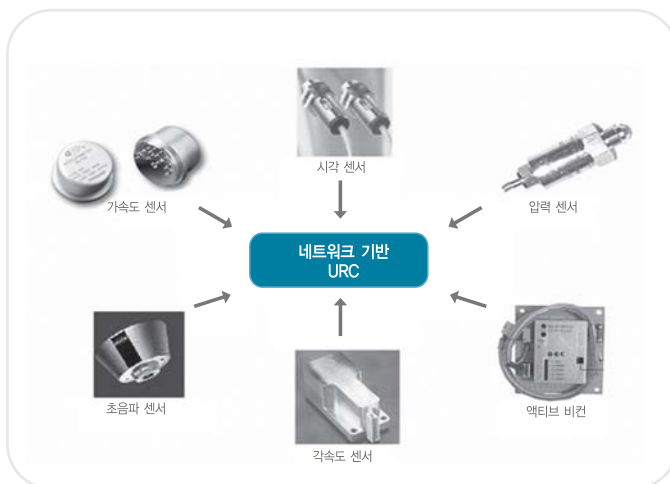


그림 9. 네트워크 기반 URC를 위한 센서기술(출처: 지능형 로봇 센서)

그림 9는 앞으로 발전될 네트워크 기반 URC를 위한 센서기술을 나타낸 것이고, 그림 10은 최근 손가락 장착형 촉각센서의 세계적인 개발 현황을 나타낸 것이다.

가사용 로봇이나 실버메이트 로봇 등 인간기능을 지원하는 네트워크 기반의 로봇은 현재 잘 정돈된 일정 환경에만 동작하면서 외부자극을 수용할 수 없는 구조에서는 인간의 생활 속에 공존할 수 없다. 네트워크 기반의 지능형 로봇을 인간생활에 이용하기 위해서는 로봇의 표면 자체를 외부자극의 수용이 가능한 촉각센싱 시스템으로 개발이 요구된다.

촉각센서 어레이의 특성상 센서 시스템에서 많은 신호가 동시에 발생하고, 이를 처리하는 신호처리 유닛으로 인하여 제품의 가격 인하에 많은 제약 사항이 있을 것으로 예상된다.

전자부품연구원에서 사각형 멤브레인 형태의 3축 미세 힘 센서 어레이(16×16)를 설계 제작하여 3축 Flexible 촉각센싱 시스템을 구현하였으며, KAIST에서는 단축만 측정 가능한 16×16 어레이 형태 정전 용량형 촉각센서를 발표하였다.

물체 접촉에 대한 정보 처리를 위한 촉각센싱 시스템의 개발은 지능형 로봇뿐만 아니라 향후 혈관내의 미세 수술 또는 외과의 미세 절개 수술 등의 원격 의료 진단 및 시술 부문, 장애자들을 위한 재활 의료 분야에도 적용이 가능하며, 접촉에 관한 정교한 정보를 신호화할 수 있는 촉각센서의 개발은 로봇의 수요자들에게 다양한 기능의 부여를 가능하게 하면서 실버로봇, 생활로봇의 효율성을 인식시키며 시장을 창출할 수 있는 핵심요소가 될 것으로 기대된다. 또한 힘 원리를 이용한 신개념 마우스와 터치스크린 및 휴대폰 등 모바일 기기와 같은 좁은 영역에서도 위치 및 힘의 정도를 인식할 수 있는 입력장치로의 응용이 가능하다.

그림 11은 한국표준과학연구원서 발표한 힘 원리를 이용한 신개념 마우스와 터치스크린을 나타낸 그림이다. 한국표준과학연구원서 발표한 촉각센서를 활용한 초소형 마우스와 터치스크린은 여러 힘 센




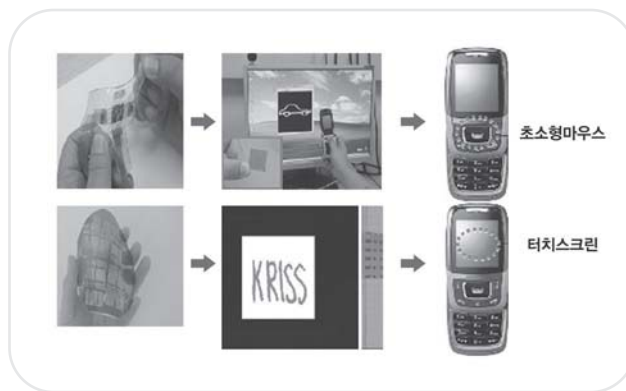
	DLR Hand2(1997)	Ultralight Hand Univ. di Genova(1983)	Gifu Hand_Gifu Univ.(2001)
			
Surface apt to contact with objects	Fingertips /Phalange /Palm	Fingertips /Phalange /Palm	Fingertips /Phalange /Palm
Tactile Sensor	6-axis force sensors in the fingertips	Pressure sensors in finger links	6-axis fingertip force sensors Distributed resistive tactile sensors

그림 10. 최근 손가락 장착형 촉각센서의 세계적인 개발 현황(출처: 지능형 로봇센서)


그림 11. 힘 원리를 이용한 신개념 마우스와 터치스크린
(출처: KRIS, 촉각센서 활용 '초소형 마우스 및 터치스크린 기술' 개발 및 기술이전)

서들로 이루어진 유연성 촉각센서를 이용하므로 3축 및 회전이 가능하고, 크기 및 두께를 자유자재로 조절할 수 있어 휴대폰, MP3, UM PC, 네비게이션 등 모바일 입력분야를 비롯하여, 가전제품, 자동차 등 산업 전 분야로의 적용이 가능할 것으로 전망된다.

1980년대 마이크로 마우스의 등장으로부터, 2000년대 혼다의 ASIMO 및 소니의 QRIO에 이르기까지 지능형 로봇은 점차 인간 친화적인 형태로 발전해왔다. 이처럼 로봇이 발달하여 복잡한 기능을 수행하고 인간 친화적인 상호 작용을 위해서는 주위 환경에 대한 다양한 정보와 사람들의 명령을 관측하고 분석할 수 있는 능력이 요구되므로, 필요한 정보를 감지하고 인식하기 위한 센서 기술이 필수적으로 발전하여야 한

다. 촉각센서 어레이의 소형화에 관한 기술 개발과 접촉력과 전단력을 동시에 측정할 수 있는 유연성 있는 촉각센싱 시스템의 기술을 개발하는 추세이다.

촉각센서라는 분야가 지금은 우리 생활의 필수품 중 하나인 휴대폰이나 멀티미디어 기기 등 단순 화면을 터치하는데 국한되어 있지만, 앞으로 많은 분야로의 활용범위가 있을 것으로 예상된다. 사물을 보고 관찰하는 것에서 넘어서 만지고 머리로 받아 들이려는 인간의 본능으로 인해 과학이 발전하고, 공학이 발전해

왔다. 그렇기 때문에 이러한 인간의 본능은 촉각센서의 발전을 좀 더 앞당길 것으로 예상된다. 사물 하나하나가 사람의 손과 발, 그 외의 피부로 느껴지는 모든 촉감을 이용할 수 있기 때문에 미래의 사회에는 촉각을 빼놓고, 공학을 이야기 할 수 없을 것이다. 빛의 속도를 원하는 인간의 내면에는 물체를 만지면서, 느끼는 교감을 원하고 있기 때문에 촉각을 이용한 센서의 발전 가능성은 무궁무진하다고 본다. 다른 사람과 혹은 촉각센서와 같이 다른 매체와 감정을 교류한다는 것은 미래의 전자기기에 있어서 매우 중요하게 될 것이며, 사용자 인터페이스는 인간의 형상이나 피부의 부드러운 감촉을 흉내 낼 수도 있을 것이다. 

참고문헌

- [1] Won Hyo Kim, Kunnyun Kim, Kang Ryeol Lee, Dae-Sung Lee, Kyu-Sik Shin, Nam-Kyu Cho and Kwang-Bum Park, "Si based 3-axis tactile sensor with an integrated CMOS switching circuit", The 13th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2007), August 21-24 2007, pp. 384-388.
- [2] Kang Ryeol Lee, Kunnyun Kim, Won Hyo Kim, Dae-Sung Lee, Nam-Kyu Cho, Kwang-Bum Park, Kyu-Sik Shin and Hyo-Derk Park, "Polyimide-based Flexible Tactile Sensor with Signal Treatment Connector for Robotic Applications", The 13th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2007), August 21-24, 2007, pp. 394-398.
- [3] 윤의식, "자기재구성 가능한 모듈화된 인공 피부" - 인간기능 생활지원 기능로봇 기술개발사업단2005 Workshop
- [4] KETI - 김건년, "휴대폰(스마트폰) 센서(Input Device) 동향 및 전망", 2008. 6.
- [5] 조동일, "지능형 로봇 센서", 2006년 1월 전자공학학회지 제 31권 제1호, 서울대학교, 2006. 1.
- [6] Web site: 국립암정보센터 (<http://www.cancer.go.kr>)
- [7] Web site: 한국표준과학연구원, 촉각센서 활용 '초소형 마우스 및 터치스크린 기술' 개발 및 기술이전 (<http://www.kriss.re.kr>)

감사의 글 : 본고는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2009-0083126) 및 세계수준의 연구중심대학 사업 (R32-2008-000-10082-0)의 지원하에 수행되었다.