

# 사람의 피부 닮은 인공피부 나온다

글\_ 김종호 한국표준과학연구원 선임연구원 jhk@kriss.re.kr

2020년 어느 가을 날 아침 6시. 오늘은 일주일이 시작 되는 월요일이다. 김씨 부부는 침대에서 좀처럼 일어나지를 못하고 있다. 아침잠이 많은 것도 문제가 되겠지만 어제 아이들을 데리고 모처럼 산에 갔다 왔기 때문이다. 지금 일어나지 않으면 아침을 준비해 아이들에게 먹이고 학교에 등교시키지 못할 뿐만 아니라 자기 자신도 출근을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 좀처럼 일어나지 못하던 김 씨는 부엌에서 배터리 충전을 하고 있는 도우미 로봇이 있다는 것이 생각났다. 입가에 웃음을 띠며 로봇을 호출해 아침 식사로 계란 프라이를 하도록 명령을 내렸다. 부엌으로 달려가는 도우미 로봇을 보면서 30분은 더 잘 수 있겠구나 생각하고 눈을 감았다.

한편 부엌에서 로봇은 냉장고에서 계란을 꺼내려고 문을 열었다. 계란이 냉장고 안의 구석에 있었기 때문에 다른 음식물들을 건드리지 않도록 조심하였다. 예전 같으면 팔 주변에 다른 물체와의 접촉을 알려주는 인공피부가 없기 때문에 불가능한 일을 지금은 쉽게 하고 있는 것이다. 냉장고 안이 약간 어둡기 때문에 계란이 있는 정확한 곳을 시각센서로는 찾기가 어려웠다. 계란모양을 기억하고 있는 로봇은 인간처럼 다른 물건들을 만지면서 계란 형상을 찾았다. 이제 로봇은 계란을 깨뜨리지 않고 꺼내야 한다. 특히 계란은 잡는 힘이 약간 크면 그 자리에서 깨지고 작으면 빼내는 동안 미끄러져서 깨지기 때문에 고난도의 작업이 필요하다. 그러나 도우미 로봇은 계란을 누르거나 미끄러짐을 감지하는 최신 사양의 손가락용 인공피부 모듈을 가지고 있어서 계란을 떨어뜨리지 않고 쉽게 꺼낼 수 있었다. 이 섬세한 작업능력 때문에 도우미 로봇은 아침식사를 제때 제공할 수 있었던 것이다.

## 힘·열 감지하는 고감도 센서 '생체모방형 인공피부'

현재는 위의 얘기가 공상과학처럼 들리겠지만 최근 로봇의 발달속도를 보면 2020년보다 더 빨리 현실화될 수 있을 것이다. 즉 로봇이 진화하고 있는 것이다. 예전에는 바퀴달린 로봇이 나오더니 이제는 두 발로 걷는다. 길 안내를 해주며 명령을 내리면 알아듣기까지 한다. 그리고 초보적이기는 하지만 약간의 인공지능도 가지고 있다. 그러나 위의 얘기가 현실화되기 위해서는 로봇에서 주변 환경을 인지하여 정보를 획득하고 지능적 판단, 행위 및 상호작용을 하는 로봇개발이 필요하다. 특히 외부와의 접촉 시 추론, 판단을 할 수 있는 인공지능과 인간의 오감 기능인 센서 감지기술은 절대적으로 필요하다. 이와 같은 기술이 융합되면 향후 인간과의 상호작용을 통하여 감성을 이해하며 서비스를 제공하고, 인간의 동작이나 작업을 지원하며, 위험작업 수행, 인간이 불가능한 작업 수행 등을 할 수 있을 것으로 기대된다.

한편 로봇의 감지기술 방향은 인간의 감각인 시각, 청각, 촉각, 미각, 후각으로 구성되는 오감기능을 추구하고 있다. 현재 감지기술은 주로 시각, 청각 기능을 갖는 센서 기술 개발에 집중적인 연구가 수행되었다. 반면 촉각의 기능을 갖는 센서, 즉 촉각센서에 대한 연구는 시각, 청각에 비하여 미미한 상태다.

지금까지 로봇의 연구에서 촉각기능의 구현은 힘과 토크를 동시에 측정할 수 있는 용량이 비교적 큰 다축 로드셀에 의해 이루어졌다. 즉 로봇의 팔과 근절에서 상호 작용하는 힘과 관련한 것으로 대상물을 잡고 있는 악력 감지기술에 집중되었다. 그러나 로봇이 외부환경과 상호작용을 하기 위해서는 인간의 손가락과 같은 성능을 가지는

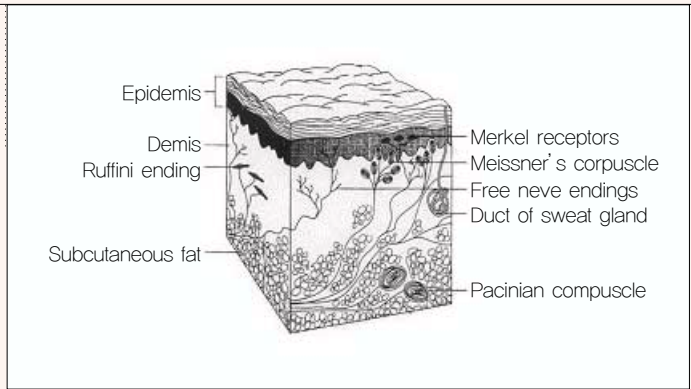
촉각센서, 더 나아가 사람의 피부와 같은 인공피부가 요구된다. 참고로 인간은 손가락을 통하여 물체의 질감, 경도 및 강성, 온도, 그리고 중량 등을 감지할 수 있다. 따라서 사람 피부의 내부는 지능로봇의 인공피부 개발에 있어서 매우 중요한 자료이다.

〈그림 1〉은 평활피부의 단면구조로 대표적인 네 개의 수용기를 보여주고 있다. 각각의 수용기에 대한 설명은 다음과 같다. 먼저 마이소너 소체는 피부감각기의 40% 이상을 차지하여 피부 움직임을 가장 잘 감지한다. 그리고 손의 피부 감각기관 중 25%를 차지하는 머켈 수용기는 피부를 누르는 감각에 가장 잘 반응하며, 진동에 대한 인식 기능 일부를 담당한다.

파시닌 소체는 피부 감각 중 가장 크며, 손의 피부 감각기관 중 13%를 차지한다. 이들은 피부의 가장 깊은 곳인 진피에 위치하고, 운동감과 미세한 접촉, 진동을 인식한다. 압력과 온도변화를 인지하는 루피니 소체는 방추형 구조로 피부감각기 중 약 19%를 차지한다. 사람의 피부는 여러 물리량을 감지할 수 있는 고감도의 센서라고 말할 수 있다. 특히 힘은 사람 피부의 기본적인 사양으로 촉각기능을 구현하는데 있어서 매우 중요하다.

일부 로봇 연구자들은 사람 손가락 사양을 살펴보고 로봇 손가락에 적용될 수 있는 인공피부 사양을 다음과 같이 정리하였다. 먼저 인공피부는 수많은 단위센서들로 이루어졌는데 5×10에서 10×20의 어레이 크기를 가진다. 참고적으로 사람 손가락 끝부분의 경우 접촉에 민감한 점들은 대략 10×15 크기이다.

두 번째는 인공피부를 이루는 단위센서간의 간격을 나타내는 공간 분해능으로 최소 1~2 mm이다. 이것은 두 개의 다른 자극이 피부에 주어졌을 때 두 점을 구별할 수 있는 최소의 간격을 나타낸다. 따라서 사람 손가락 마디 크기가 대략 10mm×10mm인 것을 고려하면 사람 손가락은 100개의 단위센서로 이루어진 인공피부인 셈이다. 그러면 한 점에 힘이 가해졌을 때 감지할 수 있는 힘 감지분해도는 얼마일까? 사람이 느낄 수 있는 최소 무게는 0.5~10g으로 알려져 있다. 일반적인 최신 핸드폰의 무게가 100g인 것을 고려하면 1/10 정도 되는 것이다. 한편



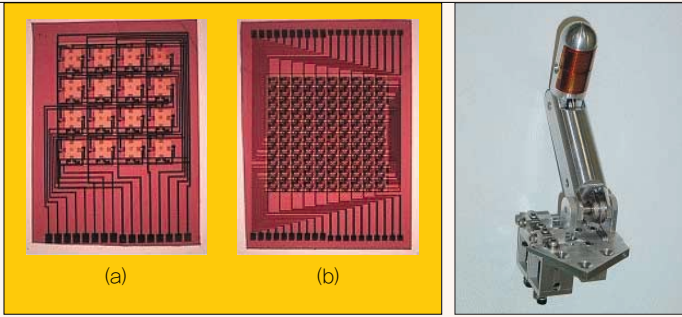
〈그림 1〉 피부단면

인공피부가 로봇 손가락에 부착되었을 때 인공두뇌에서 촉각센서를 이루고 있는 단위센서들의 신호를 얻는데 걸리는 최다시간은 0.001~0.01초가 되어야 한다.

마지막으로 인공피부는 사람의 피부처럼 튼튼하면서 반복특성이 좋은 안정적인 센서기능을 가져야 한다. 한편 사람 피부는 힘뿐만 아니라 열을 감지할 수 있다. 이것은 단순한 온도감지를 나타내는 것이 아니라 열의 흐름을 감지한다는 것을 의미한다. 예를 들어 오른손과 왼손을 각각 10℃인 차가운 물, 30℃인 뜨거운 물에 담그고 있다가 20℃인 물에 두 손을 담그면 오른손은 따뜻하게 왼손은 차갑게 느낀다는 것이다. 또한 사람은 열 흐름을 감지하여 물체를 구분할 수 있다. 즉 주변온도가 20℃인 방 안에 금속과 천이 있을 경우 사람은 눈을 감고 두 물체를 만졌을 때 열전도도 차이를 느껴 구분할 수 있다. 따라서 이 기능을 인공피부에 추가하면 사람의 손가락처럼 감지할 수 있는 센서를 개발할 수 있다.

**‘폴리이미드 필름’ 이용해 로봇손가락에 장착**

현재 한국표준과학연구원 힘 측정 및 평가 연구실에서 2003년부터 산업자원부 프런티어 사업(인간기능 생활 지원 지능로봇)의 일환으로 사람의 피부처럼 힘과 열을 감지할 수 있는 ‘생체모방형 인공피부’를 개발하여 지능로봇에 적용하는 연구를 진행 중이다. 한편 지금까지 국내 외적으로 제작하고 있는 인공피부는 수직력만을 측정하는 센서가 주를 이루고 있으며, 이것 또한 실제 로봇에 적용한 사례가 많지 않은 실정이다. 최근 대중에 선보이고 있는 일본 혼다의 아시모나 KAIST의 휴보 등 휴모노이



〈그림 2〉 폴리이미드 필름기반 인공피부 (a) 4×4 어레이, (b) 10×10 어레이  
 〈그림 3〉 로봇손가락에 장착된 인공피부

드 로봇의 경우 사람과 악수를 할 경우 쥐는 시늉만 하는 것을 볼 수 있다. 이것은 접촉력을 감지할 수 없는 센서가 로봇 손에 탑재되지 않았기 때문이다. 따라서 연구실에서는 로봇의 손가락, 손바닥 그리고 손등에 장착할 수 있는 인공피부를 개발하고 있다.

먼저 깨지기 쉬운 계란을 잡거나 옷감의 질감을 감지하는 지능로봇의 경우 수직력과 수평력을 동시에 감지하는 기능은 매우 중요하다. 그러나 지금까지 제작된 촉각센서는 단지 접촉력에 대한 정보만을 획득할 수 있도록 제작되었기 때문에 외부환경에 대한 정보 수집면에서 제한적이었다. 또한 취성재료인 실리콘 웨이퍼를 사용하였기 때문에 곡면에 부착할 수 없었던 단점을 보완하기 위해 기존에 주로 사용되었던 실리콘 웨이퍼 대신, 잘 구부러지고 값싼 재질인 폴리이미드 필름을 사용하여 인공피부를 제작하였다.

〈그림 2〉는 16(4×4)개, 100(10×10)개의 어레이 크기를 가지며 각 단위센서는 수직력과 수평력을 동시에 측정할 수 있는 3축 힘 센서이다. 현재 16개의 힘 센서로 이루어진 촉각 센서가 개발되었으며, 100개로 이루어진 센서는 올해말 개발이 완료될 예정이다. 4×4 어레이 센서의 경우 2mm의 공간 분해능을 가지며 1kg의 물체를 집어 올릴 수 있는 정도다. 핸드폰의 무게가 100g인 것을 감안하면 핸드폰 10개를 들어올릴 수 있는 능력이다. 한편 10×10 어레이인 경우 공간분해능은 1mm를 가지며 단위센서당 최대무게는 30g 정도다. 따라서 이 센서가 들어올릴 수 있는 최대무게는 3kg이다.

〈그림 3〉은 로봇 매니플레이터팀에서 제작한 로봇 손

가락에 장착된 인공피부를 보여 주고 있다. 촉각센서의 경우 어레이 갯수가 커 신호선 갯수가 많은 것이 문제점으로 대두되고 있다. 특히 단위센서가 3축을 감지할 경우 신호선의 갯수는 최소한 단위센서가 단축일 때보다 3배는 많다. 따라서 최소 갯수의 신호선을 갖도록 설계 제작하는 아이디어가 필요하다. 한편 로봇손에서 손가락을 제외한 손바닥, 손등은 수직력, 수평력을 동시에 감지할 필요가 없기 때문에 수직력만을 감지할 수 있는 면적이 큰 인공피부 개발도 현재 진행중이다. 접촉저항, 감압고무, 정전용량형 등의 형태로 제작된 기존센서는 특성 평가시 히스테리시스, 비직진성을 나타내기 때문에 직진성과 반복성이 우수하면서 3차원 곡면에 부착할 수 있는 신개념의 인공피부를 개발해야 할 것이다.

### 인간의 촉각 지닌 지능로봇 출현 기대

향후 사람의 감지능력을 지닌 인공피부를 로봇에 장착하여 지능로봇의 기능을 한 단계 업그레이드시킬 수 있을 뿐 아니라 혈관내의 미세 수술, 암 진단 등의 각종 의료진단 및 시술에도 적용할 수 있다. 예를 들어 암 진단 시 육안으로는 판별이 어려운 경우 손을 사용하는데 향후에는 로봇손을 통하여 진단 및 시술을 할 것으로 기대된다. 그리고 한의학에서는 기존 맥진기에 부착된 센서를 대체하거나 최근 이슈화되고 있는 사상체질 진단기에도 응용될 것으로 기대해 본다. 또한 최근 현대인의 필수품인 핸드폰, PDA, 네비게이션 등에서 사용자의 감정을 효과적으로 전달할 수 있는 차세대 인터페이스 장치로도 가능하다. 그리고 가상현실 분야에서 촉각재현기술 뿐만 아니라 촉감을 측정하는 기술로도 사용될 것이다.

이처럼 인공피부는 로봇뿐만 아니라 다양한 응용분야를 가지고 있기 때문에 꾸준한 연구개발이 필요하다. 2020년대에는 이 같은 연구 성과에 힘입어 바이센티니얼 맨처럼 인간의 촉감을 지닌 지능로봇이 우리 생활 곁으로 다가오기를 기대해 본다. **SD**



글쓴이는 한국과학기술원 기계공학과에서 박사학위를 받았다.