

지능형 로봇 부품 기술 동향

Motor and Sensor Technology for Intelligent Robots

지능형 로봇 특집

김혜진 (H.J. Kim)

인간로봇상호작용연구팀 연구원

윤호섭 (H.S. Yoon)

인간로봇상호작용연구팀 팀장

목 차

-
- I. 개요
 - II. 구동기 기술
 - III. 센서 기술

지능형 로봇은 우리 인간의 삶의 공간으로 한층 접근하고 있으며, 앞으로 미래 산업에 큰 비중을 차지할 것이라 예상된다. 이에 지능형 로봇의 구현에 필수적인 부품 기술을 구동기와 센서 기술을 중심으로 살펴본다. 구동기 기술로는 PMDC, BLDC, 스텝핑 모터, 초음파 모터와 최근 연구실을 중심으로 많이 연구되는 인공 근육에 대해 살펴본다. 센서기술로는 가속도 센서, 각속도 센서, 초음파 센서, 청각 센서, 시각 센서, 액티브 비컨 센서, 그리고 촉각 센서를 살펴본다. 부품 기술들의 간단한 원리와 종류 그리고 기술 동향을 살펴봄으로써 지능형 로봇 산업에서 중요하게 사용될 부품들을 정리해본다.

I. 개요

지능형 로봇은 최근 네트워크와 접목되어 URC 로봇의 개념으로 발전하여 왔으며, 이러한 발전은 1가구 1로봇의 출현을 현실화하고 있다. 일본의 경우 21세기에 소니의 AIBO, 혼다의 ASIMO, NEC사의 PAPER0 등의 작은 사이즈의 지능형 또는 인간형 로봇을 선보였으며, 미국의 경우에도 CMU, Stanford University 등 대학과 연구소를 중심으로 인간과 공존하는 로봇에 대해 많은 연구를 진행하고 있다. 우리나라에서도 역시 연구소와 대학을 중심으로 그 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 지능형 로봇에 있어서 중요한 점은 인간과 같은 공간에서 움직여야 하며, 인간이나 다른 로봇과 상호 작용을 해야 한다는 것이다. 이를 위해서는 기존의 산업용 로봇에 적용되었던 패러다임에서 벗어나 새로운 패러다임이 필요한데, 그 중 행동 기반 로봇 패러다임이 설득력을 얻고 있다. 행동 기반 로봇 패러다임에서는 로봇의 기술을 크게 세 가지로 나누며 각각 지각(sensing)-처리(processing)-행동(acting)으로 정의한다[1]. 지각은 주위의 환경을 감지하여 처리부에 알려주는 기술이며, 처리는 이러한 지각을 이용하여 행동을 결정하는 것이다. 그리고 행동은 결정된 행동을 이용하여 일련의 정해진 행동을 하는 기술이다.

● 용어해설 ●

지능형 로봇(Intelligent Robot): 인간과 유사한 지능을 가지고 많은 복잡한 일을 자동으로 수행할 수 있는 장치라 정의된다. 이는 생산라인에 많이 사용되는 산업용 로봇과 구별되어, 인간의 생활 공간에서 사용되는 것이 주 목적이다. 따라서 인간과 오감에 관련된 센서를 사용하며, 이를 이용하여 인간의 행동 양식과 비슷한 일을 하도록 프로그램 된다. 최근 들어 많이 사용되고 있는 청소로봇이나 단종되었지만 사람들에게 많은 관심을 받았던 강아지 로봇 등이 상용화에 성공한 지능형 로봇이다. 최근 사람과 유사한 형태의 로봇이 개발됨에 따라 사람처럼 행동하는 지능형 로봇과 공존하는 공상과학소설의 공상이 조만간 현실화 될 전망이다.

이러한 세 가지 기술 중 처리는 어떤 면에서는 인간을 능가할 정도로 발달한 기술로 최근 각광을 받고 있는 컴퓨팅과 IT 기술이라고 볼 수가 있다. 하지만 나머지 두 가지 기술을 대표하는 센서와 구동기는 아직 많은 약점을 지니고 있으며, 따라서 로봇이 더 나은 성능을 가지기 위해서는 센서와 구동기 기술을 개선할 필요가 있다.

본 글은 센서와 구동기를 주축으로 한 지능형 로봇의 부품 기술동향을 알아봄으로써, 지능형 로봇의 현재를 직시하고 미래에 로봇 기술의 선두주자가 되기 위해서 어떠한 기술을 확보해야 할 것인가 생각해 보도록 한다.

II. 구동기 기술

로봇에는 어떤 형태로든 구동시키는 부품이 있기 마련이며 이는 로봇의 세 가지 기술 중 행동을 위해 필수적인 요소이기 때문이다. 예를 들어, HONDA사의 ASIMO나 한국과학기술원의 HUBO와 같은 이족 보행 로봇을 만들기 위해서는 각각 24개와 41개의 모터가 필요하다[2],[3]. 모터 말고도 다른 형태의 구동기를 사용할 수 있는데, (그림 1)에서 보여지는 인공근육이 대표적이다.

구동기에 있어서 가장 중요한 두 가지 성질은 힘과 유연성이며, 지능형 로봇에 적합한 구동기는 이러한 두 가지 성질을 다 만족하여야 한다. Huber의 리포트는 여러 가지 구동기를 두 가지 성질로 비교하고 있다[4]. 이를 살펴보면 유압(hydraulic)과 형

● 용어해설 ●

구동기(Actuator): 구동기관 기계나 시스템을 제어하거나 움직이기 위한 기계 장치를 말한다. 로봇에 있어서는 모터나 공압 피스톤 등이 대표적이다. 공학적으로 구동기는 전기신호등의 입력신호를 움직임으로 바꾸는 장치이며 모터 등의 장치는 기본적으로 입력신호를 회전 운동으로 바꾸며, 나사 등을 이용해 직선 운동으로 변환시킬 수 있다. 인공 근육 등의 장치는 기본적으로 직선 운동을 하며, 이 또한 기어나 회전 변환 장치를 이용해 회전 운동으로 바꿀 수 있다.

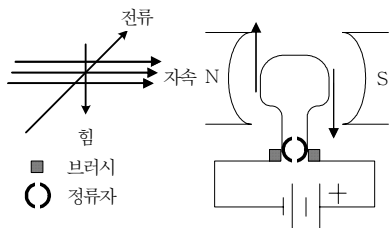


(그림 1) 오사카 대학의 인공 근육을 이용한 이족 보행 로봇

상기억합금(shape memory alloy)만이 모터보다 좋은 성질을 가지는데 유압의 경우 전기적으로 제어가 힘들다는 단점이 있으며, 형상기억합금은 아직 지능형 로봇에 적용하기에는 한계가 있다. 그러므로 현재 로봇을 구동시키는 데 모터가 가장 많이 사용되고 있으며, 조금 더 인간 친화적인 인공 근육형 공압 구동기도 모터와 비슷한 성질을 가지므로 많이 시도되고 있다.

모터는 가장 보편적으로 사용되는 구동기이다. 지능형 로봇은 배터리로 동작하는 응용분야가 대부분이므로, 이를 고려한다면 외경 35mm 미만, 소모 전력 100W 미만인 모터가 지능형 로봇에 사용될 수 있다. 대표적으로 사용되는 모터의 종류는 PMDC 모터, BLDC 모터, 스텝핑 모터, 그리고 초음파 모터의 네 가지이다.

모터의 기본원리는 자속의 수직방향으로 있는 전선에 전류를 흘리면 전류와 자속의 수직방향으로 힘을 받는다는 플레밍의 왼손법칙을 알고 있다면 이해하기 쉽다(그림 2) 참조). 자속의 수직방향으로 놓인 전선에 전류를 흘리면 플레밍의 왼손 법칙에 따



(그림 2) 플레밍의 왼손법칙과 모터의 원리

라 힘이 생겨 회전을 하게 된다. 이 때 계속적으로 회전력을 받기 위해서는 180도 회전하였을 경우 기존과는 반대 방향으로 전류를 흘려주어야 한다. 정류자는 브러시와 접촉을 하면서 이러한 역할을 한다.

자속을 발생시키는 장치에 영구자석을 사용하는 모터를 PMDC 모터라고 한다[5]. 기존에 전자석을 이용한 모터에 비해서 효율과 출력이 좋고 소형화가 가능하며 속도제어가 용이하여 현재 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 전류 방향을 반대로 바꾸는 데 정류자와 브러시의 마찰이 필연적으로 생기기 때문에 수명에 한계가 있으며, 마찰에 의해서 전기 잡음이 발생할 소지가 많다. 모터가 점점 소형화, 고성능화 그리고 큰 힘을 요구하기 때문에 PMDC에 있어서 브러시와 정류자의 마찰속도는 계속 증가하고 있다. 따라서 최근에는 브러시와 정류자의 마찰속도 증가로 인한 마모를 줄이기 위한 기술이 많이 개발되고 있다.

BLDC 모터는 브러시 대신에 전자 소자를 이용하는 모터이다[5]. 반도체의 발달로 인하여 전류를 역전시키는데 트랜지스터에 의한 방법이 가능해졌으며 이로 인하여 기존의 모터 구조에서 필연적으로 발생하던 정류자와 브러시의 마찰에 의해 발생하는 신뢰성의 저하, 수명단축을 개선해 유지보수 측면에서 아주 획기적인 모터이다.

이러한 BLDC 모터는 1990년대 이후로 컴퓨터 산업을 포함한 각종 소형 기기의 발달로 그 생산량이 급성장하고 있다. 이는 BLDC 모터가 반도체 소자를 이용한 스위칭 방식의 전환으로 내구성이 좋고 고효율과 소형의 특징을 가지고 있기 때문이다.

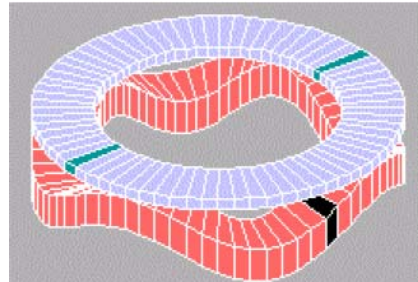
BLDC 모터는 지능 로봇에 사용됨에 있어서 PMDC 모터에 비해 몇 가지 장점을 가지게 되는데 그것은 많은 센서를 사용해야 하는 로봇에 있어서 전기적 잡음과 기계적 소음이 상대적으로 적다는 점과 로봇은 고가의 제품으로 높은 내구성이 요구된다는 점이다. 또한 로봇은 고정된 한 가지의 속도로 움직이는 것이 아니라 주위 환경과 역할에 따라서 움직이는 속도를 자주 변화시키는데, BLDC 모터는 이러한 변속 제어가 용이하다. 이러한 BLDC 역시

소형화와 정밀도를 동시에 요구하고 있기 때문에 기계적인 구조 측면이나 제조기술 측면에서 소형화를 추구하는 기술이 많이 개발되고 있다.

스테핑 모터는 펄스에 의해 일정한 각도 단위로 제어를 수행하는 모터로 주로 위치 제어 용도로 사용된다[6]. 크게 1) 가변 릴럭턴스형(VR형, Variable Reluctance Type), 2) 영구 자석형(PM형, Permanent Magnet Type), 3) 복합형(하이브리드 PM형, Hybrid PM Type)의 세 가지 품목으로 나누어져 있다. 가변 릴럭턴스형은 회전자가 톱니바퀴 형태이며 바깥의 고정자의 전자력에 의해 동작한다. 영구자석형은 회전자로 영구자석을 사용하고 고정자의 자기력에 의해 동작한다. 복합형은 회전자에 영구자석과 톱니가 공존하는 방식이다.

이러한 스텝핑 모터는 디지털 기기와 조합이 간단하고 회전각도 및 속도 정-역회전, 기동정지 등의 동작이 정확 신속하다는 장점을 가지고 있고, 고정밀도의 위치제어가 용이하고 저속으로 고투크를 얻을 수 있는 특징이 있어 산업 전반에 많이 사용되고 있다[6]. 하지만 현재의 기술 수준으로는 지능 로봇에서 요구되는 높은 효율 수준과 속도 제어가 힘들고, 특히 정지토크가 없는 VR형의 경우 로봇에 사용하기 힘들며, HB형의 경우 로봇에 사용하기에 소음이 크다는 단점이 있다. 현재 가장 많이 사용되는 스텝핑 모터는 외경 10mm 이하의 초소형이기 때문에 로봇에 사용하기에는 무리가 있지만, 최근에는 자동차나 가전에 사용하기 위한 신뢰도가 높은 스텝핑 모터 기술이 요구되어짐에 따라서 머지 않은 미래에 로봇에도 많이 사용되어질 것이다. 특히 최근에는 재료와 제조 기술의 발달로 스텝핑 모터 역시 고속의 동작이 가능해짐에 따라서 조만간 PMDC와 BLDC와 같은 응용분야에서 경쟁할 것이다.

초음파 모터는 초음파 영역의 기계적 진동을 구동원으로 하는 구동기이다. 인간의 귀가 감지할 수 있는 주파수는 50Hz에서 20kHz인데 20kHz 이상의 주파수를 갖는 음파나 기계적 진동을 초음파라 한다. 초음파의 주파수를 사용하는 이유는 진동원으로 압전 세라믹을 사용하는 것과 깊은 관계가 있다.



(그림 3) 초음파 모터의 원리[7]

(그림 3)은 초음파 센서의 원리를 설명하고 있다 [7]. 아래쪽의 것이 고정자이고 위쪽의 것이 회전자이다. 고정자가 초음파에 의해서 진동하게 되면, 이에 따라서 회전자가 도는 구조를 지닌다. 이를 위해 사용되는 것이 압전 세라믹인데, 압전 세라믹은 전압의 인가에 의해서 세라믹 또는 함께 쓰이는 금속에 변위를 일으킨다. 최대의 효율로 기계적 변위를 일으키기 위해서는 압전 세라믹을 초음파 영역에서 공진을 일으켜야 한다.

초음파 모터는 교류적인 진동 운동을 기계적인 정류에 의해서 한 방향의 운동으로 바꾸는 장치이며 한 사이클의 움직임이 굉장히 작지만 초당 횟수가 역시 많아서 의외로 빠른 속도를 얻을 수 있다. PMDC나 BLDC와 같은 빠른 회전은 얻을 수가 없지만 소음이 적고 무게가 가벼우며 큰 힘을 내는 소형의 개발이 용이하여 지능형 로봇에 크게 사용될 수 있는 가능성을 지닌다.

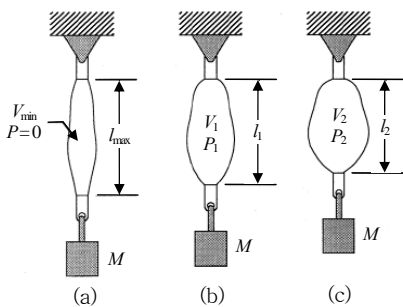
하지만 단점으로는 압전 세라믹의 성질이 변하면 공진 주파수가 변하게 되므로 이를 유지 보수할 수 있는 방법이 필요하며 따라서 열에 의한 팽창이나 수축이 적고 탄성률과 내구성이 우수한 재료를 사용해야만 한다[8].

이 분야의 연구는 일본에서는 기업 중심으로 추진되고 있으며 미국에서는 주로 군사관련 연구소 중심으로 추진되고 있다. 이 연구를 추진하고 있는 일본 내의 기업으로는 NEC, Matsushita Electric, Tokin, Toshiba, Fuji Electric, Hitachi, Cannon, Malcon Electric, Sinsei Kogyo 외에도 몇 개의 기업이 더 있다. 특히 Sinsei Kogyo 회사는 초음파 전

동기에 관한 선도자적 회사로, 제품은 propagation-wave type인데, 이는 시간과 공간적으로 90도 위상이 다른 두 개의 standing-wave를 결합한 것으로 정역전이 용이한 구조를 가지고 있다. 국내에서는 1990년대 후반 이후 초음파 모터에 대한 관심이 높아지기 시작하였으며, 1999년도에는 전자부품연구원에서 카드리더기용 초음파 모터를 개발한 사례가 있다. 또한 피에조 테크놀로지는 2000년 초음파 모터를 개발한 이래 꾸준히 기술을 발전시켜 나가고 있다.

공압 근육은 인공 근육의 한 형태로 최근에 각광을 받는 구동기이다. 가볍고 유연성이 좋기 때문에 인간 친화적인 성질을 띠는 것이 사람과 같이 생활할 지능형 로봇에 있어서 유용한 부품이 될 것이다. 하지만 배터리로 동작시키기엔 아직 효율성 측면에서 떨어지며 공기 압축 장치의 소형화가 전제되어야 널리 사용될 수 있을 것이다.

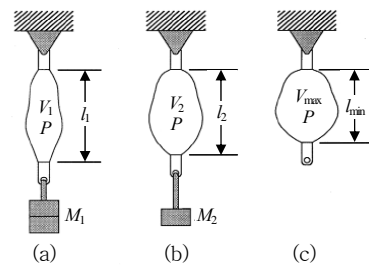
공압 인공 근육은 공기압으로 작동하는 선형으로 수축하는 동력원이다[9]. 주요한 재료인 유연성이 있는 강화 조직이 두 개의 끝 부분에 폐쇄되어 연결되어 있다. (그림 4)를 보면 원리가 쉽게 이해될 것이다. M의 무게를 매달았을 경우 압력이 0인 경우, 근육 내의 부피는 최소인 V_{\min} 의 부피를 가진다. 압력을 P_1 으로 높였을 경우 근육의 부피는 증가하게 되고 이에 따라 길이는 수축하게 된다. 압력을 P_2 로 높일 경우에는 근육의 부피는 더 증가하게 되고 이에 따라 더 많은 힘을 내게 된다. 이 일련의 과정으로 인공 근육은 압력에 비례하여 동작하는 액추에이터임을 알 수 있다. 이것은 공압 인공 근육이 기계적



(그림 4) 인공 근육의 동작(무게가 일정할 때)

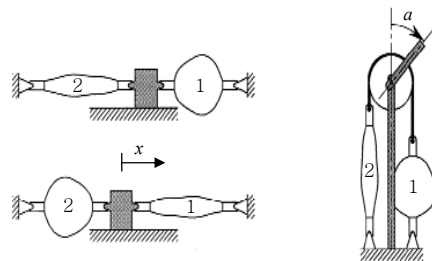
모터와 비슷한 동작을 할 수 있음을 말해준다.

(그림 5)는 압력을 고정으로 두고 무게를 바꾸는 경우이다. 이런 경우에 공압 인공 근육은 무게에 따라 그 수축력이 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이 성질은 앞서 언급했던 유연성과 관계가 있다. 무게에 따라 근육의 길이가 바뀔 수가 있기 때문에 사람과의 충돌이나 다른 물체와의 충돌에서도 유연성을 보일 여지가 있는 것이다.



(그림 5) 인공 근육의 동작(무게가 바뀔 때)

인공 근육의 좋은 특성으로는 인간의 근육과 비슷한 역할을 하는 것, 가볍고 강하다는 특징, 기어를 통하지 않은 직접 연결 구조라는 점, 유지 보수에 있어서 근육만 교체하면 되기 때문에 쉽다는 것 그리고 유연성을 지니므로 위험성이 적다는 것을 들 수가 있다. (그림 6)은 공압 인공 근육을 이용하여 선형 움직임과 관절 움직임을 행하는 하나의 예를 보여준다.



(그림 6) 인공 근육의 동작 예제

인공 근육은 1980년대 들어와서야 상용화 되었지만 1930년대부터 꾸준히 개선되어 왔다. 반도체 기술과 섬유 기술의 발달로 점점 더 충격에 민감한 소재들이 많이 사용됨에 따라서 산업체의 생산라인에서도 이러한 민감한 소재를 다룰 수 있는 산업용



(그림 7) 좌: FESTO의 인공 근육, 우: Shadow Robot Company의 인공 근육

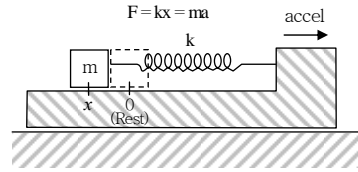
로봇 팔을 연구해 왔다. 생산라인에 사용하기 위한 인공 근육들이 상용화 되었는데 Shadow Robot Company와 FESTO는 2001년에 이들 인공 근육의 상용화에 성공하였다(그림 7 참조).

인공 근육은 종래의 육중한 산업용 로봇이 할 수 없었던 민감한 소재의 생산라인에 투입되어 인건비를 절감할 수 있다. 하지만 아직 모터에 비해서 효율성이 떨어지며 정확한 제어가 불가능하기 때문에 모터와 결합하여 상호 보완적인 역할을 수행하는 연구나 정확한 제어기법에 대한 연구가 진행중이다. 이러한 인공 근육은 유연성 측면에서 미래에 유망한 구동기이지만 아직까지는 효율성과 압축기와 제어기 등 주변장치의 소형화가 먼저 선행되어야 지능 로봇에 널리 사용될 수 있을 것이다.

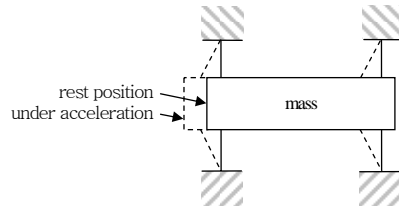
Ⅲ. 센서 기술

개요에서 살펴보았지만, 지능형 로봇은 주위 환경을 감지하는 기술이 매우 중요하다. 이러한 감지 기술은 크게 이동기능, 상황판단, 그리고 인간과 상호 작용하기 위한 기술로 나뉘어 질 수 있으며 이동 기능을 위해서는 관성측정 센서, 능동형 비컨 센서, 초음파 센서 등이 사용되며, 상황판단을 위해서 비컨 센서, 촉각 센서 등이 사용되고 인간과 상호작용을 하기 위해서 시각 센서, 청각 센서 등이 사용된다[10].

관성측정 센서는 로봇이 움직일 때 발생하는 가속도 및 각속도를 측정하는 센서이다. 로봇의 위치



(a) 한 축의 가속도 측정 원리



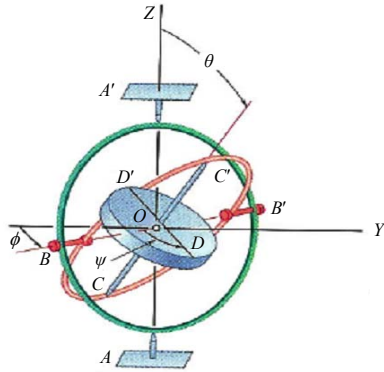
(b) 여러 축의 가속도 측정 방법

(그림 8) 관성 센서의 원리

침 자세를 알아내는 데 아주 유용하며 물리학의 여러 법칙을 사용한다. 하나의 예는 뉴턴의 제2법칙과 후크의 법칙을 이용하는 것이다. (그림 8a)의 질량-스프링 시스템에 대해 외부의 힘 F 는 질량 m 인 물체에 연결된 스프링이 늘어난 거리 x 에 비례하므로 가속도 a 는 $a=kx/m$ 으로 계산된다. 여러 축의 가속도를 측정하려면 (그림 8b)와 같은 구조로 확장하면 된다. 가속도는 한 번 적분하면 속도, 두 번 적분하면 위치가 계산되므로 두 방향의 가속도 센서를 이용하면 평면상에서 움직이는 물체에 장착해 자기 위치를 알아낼 수 있다.

가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하는 가속도 센서는 물체의 운동상태를 순시적으로 감지할 수 있으므로 지능형 로봇의 제어에 필수적인 소자이다. 그러나 가속도 센서의 측정오차에는 드리프트 성분이 있는데 이는 적분을 할수록 오차를 누적시켜 시간이 지날수록 커다란 오차를 가져오게 되어 순시적으로 사용하는 경우에 주로 쓰인다.

각속도 센서인 자이로스코프(gyroscope)는 (그림 9)와 같이 가운데 있는 팽이가 어느 방향이든 자유롭게 회전할 수 있도록 수직고리와 수평고리를 갖고 있다. 자이로스코프의 팽이가 회전하는 축에 힘을 가하면 본래의 회전축을 유지하려는 성질 때문에 힘과 직각인 방향으로 돌아가게 된다. 예를 들어 수평고리를 한쪽으로 기울이면 수직고리가 회전을 하



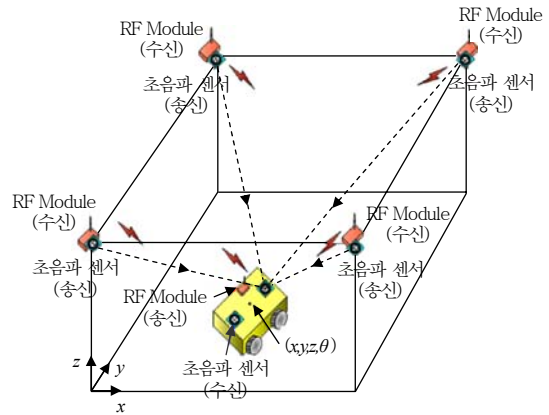
(그림 9) 자이로 센서의 원리

고 수직고리를 회전시키면 수평고리가 기울어지는 세차운동을 하게 된다. 이때 수직고리가 회전을 하는 방향이나, 수평고리가 기울어지는 방향은 수직고리 또는 수평고리를 어느 쪽으로 움직였는지에 달려 있다. 자이로스코프는 팽이가 회전을 하는 동안에는 넘어지지 않고, 지지대가 기울어지더라도 항상 처음에 설정한 회전축의 방향을 일정하게 유지하는 성질이 있어 로봇의 진행방향 추정에 사용될 수 있다.

관성측정 센서는 과거에는 크고 복잡한 형태를 가졌으나 1990년대 이후 반도체공정을 이용한 초소형 정밀가공기술(MEMS)이 발전하면서 초소형화와 대량생산이 가능한 제품이 속속 개발되고 있다.

마이크로소프트(Microsoft), IBM, 인텔(Intel) 등에서는 관성 센서를 이용한 3차원 인터페이스 장치를 개발중이고, 소니(Sony)는 3차원 자세측정장치를 개발하여 AIBO에 적용하여 자세안정화에 사용하였다. 혼다(HONDA)에서는 자사의 인간형 로봇 ASIMO에 2축 가속도 센서와 2축 각속도 센서를 사용하여 로봇의 자세, 관절제어에 사용하고 있다[11].

국내에서도 삼성전자에서 손의 위치 및 관절 움직임을 이용한 3차원 입력장치를 발표한 바 있고, 서울대, 경북대 등의 대학과 전자부품연구소 등에서 관련 연구를 수행하고 있다. 아직 초기생산 상태로 본격적인 양산체제에 진입하지는 못하고 있으나, SML 전자의 경우 국내에서 유일하게 MEMS 가속도계와 각속도 센서를 모두 개발하였고, 3축 IMU 제품을 상품화하였다. 이러한 각속도 센서는 대부분



(그림 10) 액티브 비컨 센서

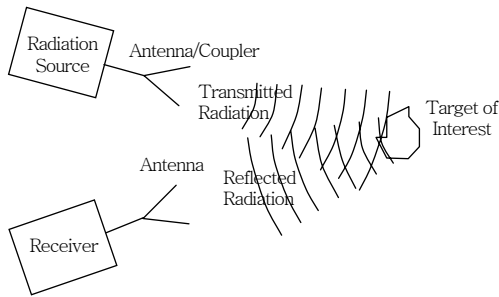
원점에서의 좌표 값을 미리 알아야 한다는 단점이 존재한다.

액티브 비컨(active beacon) 센서는 로봇의 절대 위치를 구하기 위해 고안된 센서이다. 주 용도는 가정 또는 사무실 환경 등 실내에서 로봇의 위치를 인식하는 데 쓰인다. 이는 고정된 송수신부와 로봇에 달려 이동하는 송수신부의 거리를 측정하여 위치를 추정하는 것이다. 부산대에서 제안된 액티브 비컨 센서를 나타내는 (그림 10)을 보면 이와 같은 상황이 쉽게 이해될 것이다.

고정된 송수신부는 초음파 센서의 송신부와 RF 모듈의 수신부로 이루어져 있으며, 이동 로봇에는 초음파 센서의 수신부와 RF 모듈의 송신부로 이루어져 있다. 거리의 계산은 초음파로 하며, RF 모듈은 초음파의 거리 계산을 위한 동기화에 사용된다.

비컨 센서의 하나의 구성요소로 사용되었던 초음파 센서는 그 자체로도 로봇의 위치 추정, 장애물 회피 및 인식을 위해서 사용된다. 초음파 센서가 거리를 측정하는 방식은 보통 TOF 방식이라고 하는데 이것은 초음파 시스템에서 초음파를 내보내고 대상 물체에서 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 거리를 계산하는 방식이다. 이러한 TOF 방식은 초음파뿐만 아니라 레이저나 레이더의 기본 거리 계산 방식이다(그림 11) 참조.

(그림 11)에서 보이듯 초음파시스템은 초음파를 내보내는 부분과 받아들이는 부분으로 이루어진다.



(그림 11) Time of Flight (TOF)의 원리

초음파를 내보낸 후 물체에서 반사되어 돌아오는 신호가 생기게 되는데 그것을 받아들여 물체와 초음파 시스템까지의 거리를 계산하는 것이다. 이는 거리를 R, 초음파의 왕복시간을 T, 그리고 초음파의 전파속도를 v라고 하면 $R = vT/2$ 의 간단한 식으로 계산할 수 있다.

초음파 센서는 안테나의 크기에 비례하여 전파의 크기를 높일 수 있으며 현재 온도에 따라서 그 거리 계산이 달라질 수 있다.

$$v = 331.4 + 0.6 \times (\text{현재 온도})$$

또한 습도와 먼지 등에 비례하여 전파의 크기가 감소하는 특징을 보인다. 또한 넓은 대역의 방사 영역을 가지기 때문에 주의해서 사용하여야 한다.

하지만 초음파 센서는 크기가 작고 가격이 저렴하기 때문에 이동 로봇에 널리 이용되고 있다. 이러한 초음파 센서는 단일 센서보다는 여러 개의 센서를 조합하여 많이 한다. 예를 들어 이동 로봇이 주위 환경을 초음파 센서로 탐지하려고 한다면 동시에 360도의 환경을 알기 위해서 적어도 12개의 센서가 필요하며, 지도 작성을 통해서 정보화하여야 한다. 이러한 지도 작성을 통해 로봇의 움직임을 결정하려고 한다면 로봇의 위치 역시 알아야 하며 이를 지역화(localization)라고 한다. 최근에는 이러한 지도작성과 지역화를 동시에 수행하는 SLAM 방법이 많이 연구되고 있으며 이를 통해 지능 로봇에 초음파 센서가 더욱 유용하게 쓰일 것이다.

초음파 센서는 정전용량형인 미국의 Polaroid 제품이 연구용으로 많이 쓰이고 있으며, 압전소자 형

태인 일본의 Murata 제품이 상용으로 널리 쓰이고 있다[12].

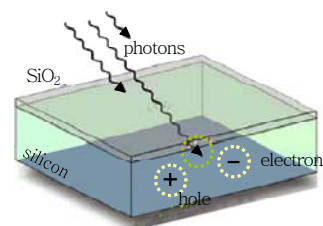
미국의 Polaroid 제품의 경우 장거리 측정을 위해서 40~50kHz의 주파수를 사용하는데, 이는 어느 정도의 소음을 동반하게 되며 10cm 이하의 근접거리 측정에 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해서 근접거리 측정용 IR 센서와 혼용으로 사용하여 해결하기도 한다.

국내에서는 RIST가 초음파 센서 개발을 진행하고 있고, 하기소닉에서는 초음파 센서를 생산중에 있다. KRISS와 POSTECH을 중심으로 위상 배열형의 초음파소자 연구가 일부 이루어지고 있다. 또한 초음파 센서를 이용하여 단지 거리만 측정하는 것이 아니라 물체의 정확한 방위각 측정, 운동속도 및 방향까지 탐지하는 기술과 저가화를 위해 신호처리 회로와 센서소자를 하나의 기판 위에 결합하는 SoC 기술 등이 널리 연구되고 있다.

시각 센서는 로봇에서 환경인식과 인간과 상호작용하기 위해 중추적인 역할을 담당하고 있다. 시각 센서는 주로 CCD 또는 CMOS 카메라 모듈을 이용하여 실시간으로 영상을 취득하고, 고속영상처리 모듈을 이용하여 방대한 양의 영상데이터를 실시간으로 처리를 한다.

시각 센서는 빛의 에너지 단위인 광자(photon)를 반도체 기술을 통해서 전기적 신호로 바꾸어주는 것이 기본 원리이다[13]. (그림 12)에서 이 개념을 설명하고 있다.

빛을 전기적 에너지로 바꾸는 효과를 photoelectric 효과라 하는데 (그림 12)와 같이 photon이 실리콘 격자 안의 에너지 레벨을 높여서 자유전자와

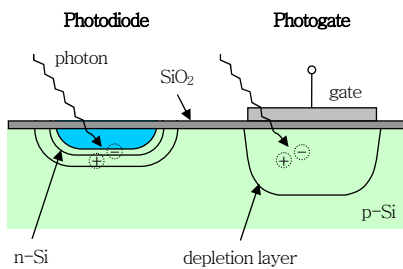


(그림 12) 시각 센서 개념[13]

홀이 분리되어 전기적 신호가 생성되는 것을 뜻한다. 그렇기 때문에 실리콘의 크기가 클수록 이러한 효과의 효율이 좋다. 하지만 이러한 효과는 픽셀의 디자인에 따라서 photoelectric 효과가 없는 곳에서 빛을 흡수하고 실리콘이 특정 주파수들에 대해서 빛을 반사하기 때문에 이러한 것들을 고려하여 이미지 센서를 제작하여야 한다.

현재 시각 센서는 CCD와 CMOS의 기술로 나누어지는데 이 둘은 서로 매우 다른 기술이지만 서로 공유하는 기본 기술이 존재한다. 이는 photon에 의한 전기적 신호를 생산하고 모으는 일이다.

(그림 13)에서 photodiode와 photogate는 모두 전기적 신호를 생산하여 모으는 역할을 한다. 각각의 기술은 장단점을 가지고 있는데 photogate는 큰 fill-factor가 있다. 이는 앞서 언급했었던 pixel의 몇 %가 photon에 반응하는가 하는 것이다. 하지만 이는 polysilicon gate의 특성상 파란쪽의 스펙트럼에서 잘 반응하지 않는 단점이 있다. Photodiode는 조금 더 복잡한 구조이고 따라서 fill-factor가 낮지만 파란쪽의 스펙트럼에서 잘 반응하는 장점이 있다. 이러한 기술들은 CCD와 CMOS에 각각 적용될 수 있다.



(그림 13) 전기적 신호의 생산과 모음[13]

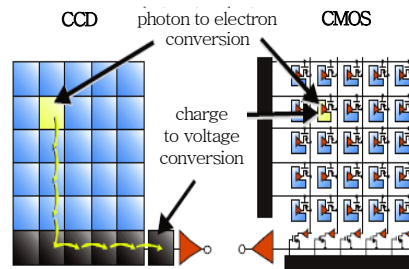
Photodiode나 photogate에 의해서 모아진 전기적 신호는 CMOS나 CCD의 기술을 통해서 측정된다.

(그림 14)를 보면 CCD와 CMOS의 방법에 대해 이해할 수 있을 것이다. CCD는 픽셀을 통해서 신호가 전달되어 출력 노드에서 전압으로 변환되는데 반해서 CMOS는 픽셀 자체 내에서 전기적으로 변환되어 출력 노드로 전달되는 것을 볼 수 있다. (그림

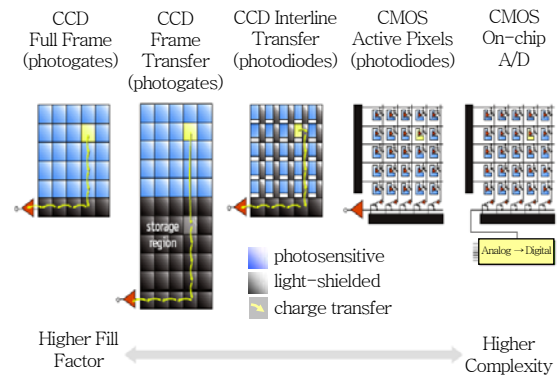
15)는 주로 사용되는 이미지 센서들과 그 특징을 한 눈에 보여주고 있다.

CCD는 광자에 의한 sensitivity를 높일 수 있지만 출력단에서 여러 픽셀을 전기적 신호로 바꾸기 때문에 고속의 전송을 하기 어렵다. 이에 비해서 CMOS는 sensitivity는 낮고 복잡하지만 각각의 픽셀마다 전기적 신호로 바꾸는 트랜지스터가 있기 때문에 고속의 전송을 할 수가 있으며 디지털 출력으로 쉽게 변환할 수 있다.

지능 로봇은 시각 센서를 통한 영상데이터로부터 주변 물체의 존재유무, 크기, 위치, 색깔 등의 정보를 분석하여 개개인을 식별하는 기술 및 사람의 동작분석을 할 수 있으리라 기대되고 있으며 많은 연구가 수반되고 있다. 이러한 기대로 시각 센서는 로봇의 꽃인 휴머노이드를 위해 필수적인 기술로서 각광을 받고 있다. 그러나 일반적인 서비스로봇의 경우에 있어서도 시각 센서를 이용해서 다양한 응용이 가능하다. 2안 시각 센서 및 삼각 측량법을 이용하



(그림 14) CCD와 CMOS[13]



(그림 15) 이미지 센서의 여러 가지 구성[13]

여 주변물체의 거리를 실시간으로 획득할 수 있다. 이를 위해 실시간 거리영상 시스템에 대한 연구는 1980년대 말부터 유수의 연구기관(CMU, 동경공대, INRIA, Teleos Research)에서 연구되어 왔지만, 대부분 입력영상 해상도에서는 실시간 거리영상은 구현하지 못하였다. 최근에는 SLAM 방식의 active vision 방식이 영국의 Andrew에 의해서 제안되었다.

영상 이미지 센서기술은 CCD와 CIS를 중심으로 급속히 발전하고 있는 추세이다. CIS는 대체로 CCD에 비해 생산단가와 소비전력이 낮고, drive 회로와 통합이 용이하다는 장점이 있다. CMOS 집적회로 기술의 발전은 센서부, drive 회로 등의 개별 소자로 구현 가능했던 이미지 센서를 하나의 칩에 집적화가 가능하게 되어 시스템 비용을 낮출 수 있다. CIS는 보급 초기 MOS 공정기술의 취약성으로 인해서 CCD에 비하여 성능이 열세였고, 경쟁력이 없었다. 그러나 MOS 공정 기술의 발전에 소형화의 추세와 집적화 기술의 진보에 따라 높은 pixel resolution이 요구되는 부분의 적용이 가능케 되었다.

악수와 같은 로봇과 인간간의 능동적 교감을 위해서 외부의 접촉자극을 감지할 수 있는 촉각 센서의 개발이 매우 중요하다. 인간의 손가락 표면에는 다양한 종류의 매우 많은 수의 촉각 센서가 존재한다. 이와 같은 인간의 고도한 촉각 센싱 기능을 로봇에게 부여하기 위해서는 매우 정교한 극소형의 촉각 센서가 다수 필요하다.

촉각 센서 중 먼저 살펴볼 것은 압력 센서이다. 압력 센서는 MEMS 기술로 제작된 소자 중에서 가장 산업적 응용이 활발한 소자이다. 압력 센서는 압력을 감지하는 원리에 따라 압저항(piezo-resistive)형, 정전용량(capacitive)형, 공진(resonant)형 등으로 나뉘어진다. 그 중 압저항 방식의 FSR 센서

가 필름형태로 구현되어 널리 쓰이고 있다(그림 16) 참조).

FSR은 초기에 음악 연주자들이 건반을 부드럽게 혹은 강하게 누를 때 전기적 반응에 의해 그 음을 발생시키는 전자 피아노를 개발하기 위해 개발되었으며, 현재에는 그 기술이 발달하여 전기적, 기계적 장치의 누르는 힘을 조절하기 위해 민감도가 어느 정도 최적화되었다. FSR의 정의는 센서 표면에 힘을 증가시킬 때 감소하는 저항이 발생하는 중합체의 필름(polymer film) 장치라고 할 수 있다. 전도성의 고무와 비교해 볼 때 전기적 이력 현상이 거의 없고 가격이 저가이다. 피에조 필름(piezo film)과 비교해 보면 FSR이 진동과 열에 훨씬 더 영향이 적다. 가격 면에서는 피에조 필름이 가장 고가이다. 향후 FSR을 응용한 장치로서 산업, 의공학, 로봇틱스 그리고 체압 분야 등 다양한 장치를 제공할 수 있다[14].

이러한 FSR은 Tekscan에서 공급하고 있으며 PPS에서는 capacitive sensing 방식의 촉각 센서를 판매하고 있다. 홍콩의 Chinese 대학에서는 MEMS를 이용한 3축 힘 센서 어레이를 이용한 촉각 센서를 개발하였고, 미국 일리노이 대학에서는 폴리아미드 필름을 이용한 촉각 센서를 개발하였다. 국내에서는 KETI에서 손가락에 장착이 가능한 2차원상의 유연구조를 갖는 촉각 센싱 시스템을 개발하였으며, 표준과학연구원은 폴리아미드 필름에 수직방향의 압력과 수평방향의 미끄러짐을 느낄 수 있는 3축 촉각 센서를 개발하였다. 물체가 접촉하면 센서의 형태가 변해 저항 값이 달라지는데, 이 변화를 전압으로 변환해 힘을 측정한다. KAIST의 촉각 센서는 합성고무(PDM)에 정전용량 센서를 결합하여 누르는 압력에 따라 하전 입자의 양이 변하는 것을 감지하여 압력을 측정하는 방식이다. 연세대학교에서는 폴리실리콘 스트레인 센서 배열을 이용한 유연성 있는 단축 촉각 센서를 개발한 바 있다. 그러나 인간의 손가락 밑면에는 1cm² 당 100여 개의 압력 수용기가 있음을 비교해볼 때 아직까지 개발된 촉각 센서는 분해능력이나 집적도 면에서 아직 원하는 만큼의 성능을 얻지는 못하는 상태이며 또한 손가락에는 압



(그림 16) FSR 센서

점, 통점, 온점, 냉점이 골고루 분포되어 있음을 고려할 때 향후 활발한 연구가 기대되는 분야이다.

청각 센서는 주로 사람의 음성인식을 위한 센서를 말하며 음파가 공기를 통하여 센서에 도달하면 센서에서 진동판을 이용하여 음파를 감지하게 된다. 음파를 감지하는 방식에 따라 dynamic 방식, condenser 방식 piezoelectric 방식 등으로 나누어진다. 사람은 귀를 2개 가지고 있어 이것에 의해 가장 효과적으로 음원의 내용을 파악할 수 있으며, 또한 음원의 방향을 개략적으로 파악할 수 있다.

청각 센서는 마이크로폰과 그것을 이용한 마이크로프로세서로 흔히 이루어진다. 마이크로프로세서에서는 음원을 파악하기 위한 신호처리를 하거나 음성을 인식하는 sensory 등의 모듈이 탑재되어 있다. 하지만 음성인식의 경우 마이크로프로세서에 탑재된 모듈에서는 기본적인 몇 가지의 단어밖에 인식하지 못하며 인식률도 높지 못하다. 음원을 파악하기 위해서는 기본적으로 두 가지 이상의 마이크로폰이 필요하다.

지능형 로봇에 사용되는 마이크로폰은 소형이고 저전력이기 때문에 dynamic 방식은 지양하고 condenser 방식이나 piezoelectric 방식 등을 사용한다. 이들을 구현하기 위해서 silicon MEMS 기술을 이용하여 생산하게 된다. 최근에 마이크로폰의 기술 동향은 휴대폰 등이 더욱 더 소형화되고 있기 때문에 조그만 공간에서도 이상적으로 동작하도록 설계하고 있으며, MEMS 기술에 의한 마이크로폰은

electric condenser microphone에 비해 10배나 작게 구현할 수 있다. 그리고 여러 개의 마이크로폰을 사용하는 경향에 따라서 여러 가지 환경에 적합하게 변형하여 사용할 수 있도록 설계된다. 즉, 마이크로폰의 이득을 증가시켜 주는 출력단을 가지고 있는 마이크로폰 등이 설계되고 있다.

음원추적을 구현하기 위해 ETRI에서는 다수의 마이크로폰을 이용하여 음원추적 기능을 재현하고자 하나 아직은 초보적인 단계에 머물러 있다. 청각 센서와 더불어 청각시스템에서 중요한 것은 음성인식 기술이다. 음성인식 기술은 사람이 명령하는 음성을 인식하여 명령에 따라 움직이게 하는 기술로서 여러 가지 잡음 중에서 사람이 명령하는 음성만을 추출하여 인식하는 기술이다. 현재까지의 기술로는 아직까지 인간의 청각과 비교하여 구조와 성능의 보완이 필요하다.

약 어 정 리

BLDC	BrushLess DC
CCD	Charge Coupled Device
CIS	CMOS Image Sensor
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
FSR	Force Sensing Resistor
IMU	Inertial Measurement Unit
MEMS	Micro-ElectroMechanical Systems
PMDC	Permanent-Magnet DC
PPS	Pressure Profile Systems
SLAM	Simultaneous Localization And Map building
SoC	System on Chip
TOF	Time of Flight

● 용 어 해 설 ●

압전소자(Piezoelectric Sensor; Piezo-): 압전소자는 세라믹 등의 재료에 압력 등의 물리적인 힘이 가해지면, 그에 반응하여 전압을 발생시키는 압전 효과를 이용하여 압력, 가속도, 변형 혹은 힘 등을 전기신호로 바꾸어 측정하는 소자를 말한다. 예를 들어 소리를 전기신호로 바꾸는 마이크로폰의 경우 음파가 압전 재료를 변형시켜 전압을 바꾸게 되며, 이를 전기적으로 증폭하여 스피커를 통해 보내거나 저장장치에 디지털 신호로 바꾸어 기록하게 된다. 압전소자는 초음파 센서, 마이크로폰 그리고 압력센서에 특히 많이 사용되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Ronald C. Arkin, "Behavior-Based Robotics," The MIT Press, 1998.
- [2] Humanoid Robot Research Center (HOBO Lab) Homepage, http://ohzlab.kaist.ac.kr/robot/khr-3_spec.html

- [3] HONDA Worldwide – ASIMO Homepage, <http://world.honda.com/ASIMO/technology/spec.html>
- [4] J.E. Huber, N.A. Fleck, and M.F. Ashby, “The Selection of Mechanical Actuators Based on Performance Indices,” *in Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, Vol.453, 1997, pp.2185–2205.
- [5] W.H. Yeadon and A.W. Yeadon, “Handbook of Small Electric Motors,” McGraw-Hill, 2001.
- [6] 전자부품연구원, [기술동향] 스텝핑 모터, 2004. 12. 21.
- [7] S.S. Lin and B.C. Yoseph, “Rotary Ultrasonic Motors Actuated By Traveling Flexural Waves,” *the SPIE Int’l Conf. Smart Structures and Materials Symp.*, San Diego, CA, Mar. 1997.
- [8] 정인성, “초소형 모터의 기술동향,” 전자부품, 2006. 5. 3.
- [9] F. Oareden and D. Lefeber, “Pneumatic Artificial Muscles: Actuators for Robotics and Automation,” *European Journal of Mechanical and Environment Engineering*, Vol.47, No.1, 2002, pp.11–21.
- [10] 월간 로봇 기술, 2006. 7., pp.24–30.
- [11] 조동일, “지능형 로봇 센서,” 주간기술동향, ITFIND, 2005. 2. 16.
- [12] 김창규, 김건년, 황건, “지능형 로봇용 센서 기술,” 전자공학회지, 제31권, 제1호, 2004. 1.
- [13] DALSA Digital Cinema, “Image Sensor Architectures for Digital Cinematography,” Technical Document, 03-70-00218-01, 2005.
- [14] 주식회사 테크스톰, “FSR Sensor,” www.techstom.co.kr