

로봇용 촉각센서의 개발현황



김 일 환

(KIMM 자동제어실)

- '78-'82 서울대학교 공과대학 제어계측과(학사)
- '85-'88 서울대학교 공과대학 제어계측과(석사)
- '89-'93 일본 東北大學 기계공학과(박사)
- '82-현재 한국기계연구원 선임연구원



정 광 조

(KIMM 자동제어실장)

- '73-'77 연세대학교 공과대학 전기공학과(학사)
- '81-'83 연세대학교 공과대학 전기공학과(석사)
- '79-'83 한국과학기술원 연구원
- '83-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

최근 로봇의 응용분야가 조립작업 혹은 우주, 해저, 원자로와 같은 극한작업 등으로 확대됨에 따라, 환경의 변화에 유연하게 대처 가능하기 위해 각종 외계 센서를 갖춘 감각제어형 로봇(Sensor-Controlled Robots)의 개발이 크게 기대되고 있다. 예를들어, 산업용 로봇을 이용하여 볼트와 너트를 체결하는 작업의 경우, 먼저 볼트를 인식하고 너트를 집어 로봇의 위치와 자세를 결정하여야 한다. 그 다음, 적당한 힘을 인가하여 너트와 볼트를 체결해야 할 것이다. 이때, 올바른 체결을 위해서는 로봇의 엔드이펙터(End-effector)와 볼트와의 상호작용으로 일어나는 간섭력 즉, 체결 토크를 검출하여 가하는 힘을 제어할 수 있어야 한다. 이와 같이, 로봇에 필요한 센서를 갖추게 함으로써 로봇의 고 기능화가 가능하게 될 것이다.

로봇용 센서(Sensors for robots)는 크게 외부센서(External sensors)와 내부센서(Internal sensors)로 나눌 수 있다. 외부센서는 인간의 5감에 해당하는 감각으로 특히 시각, 청각, 촉각 등이 중요하다. 시각의 입력장치로서는 TV 카메라가 많이 사용되나, 이동 로봇에서는 초음파, 적외선, 레이저 등을 사용하는 경우가 많다. 청각에는 말하는 사람 혹은 단어 수를 한정된 음성인식 장치가 실용화되어 있다. 촉각은 로봇의 기능향상을 위해서는 필요 불가결한 감각이다. 예를 들어, 로봇 핸드로 계란이나 유리컵과 같이 깨어지기 쉬운 물건을 잡는 경우 파지력 제어용으로 필요하다. 또한, 로봇 아암에 대해서도 조립작업이나 문을 개폐하는 작업 등과 같은 고도작업을 위해

서는 6축 force/torque 센서와 같은 힘의 감각이 필요하다. 한편, 내부센서는 로봇트 각 부분의 움직임을 실현하거나, 내부의 상태를 알기위해 필요한 센서로, 각 축에는 1개 이상의 위치 및 속도 센서 등이 있다.

본고에서는, 로봇트의 외부센서 중에서 넓은 의미에서의 촉각센서 즉 wrist 센서, 근접각 센서, 압각 센서 및 slip 센서에 대하여 최근의 연구개발 동향을 소개하고자 한다.

2. 촉각센서의 설계

2.1 촉각센서의 종류와 특징

촉각은 물체에 접촉하여 엔드이펙터와 물체 사이에 일어나는 물리현상을 검출하는 감각으로 표면의 상태 혹은 접촉시의 반발력을 검출한다. 이러한 촉각센서의 종류를 기능적으로 분류하면, 표 1에서와 같이, 접촉각, 압각, 역각, slip각 및 근접각으로 나눌수 있다. 접촉각 및 압각은 로봇트의 엔드이펙터가 대상물에 접촉하였을때 물체의 표면에서 접촉유무 혹은 접촉의 강도를 검출한다. 역각은 접촉시에 엔드이펙터에 가해지는 힘과 모멘트를 검출하며, slip 각은 접촉한 물체와 엔드이펙터와의 상대적운동 즉, slip을 검출한다. 한편, 근접각은 대상물에 접근시의 공간적 정보에 관한 감각으로, 대상물과의 상대거리, 파지면의 경사각 등을 검출한다.

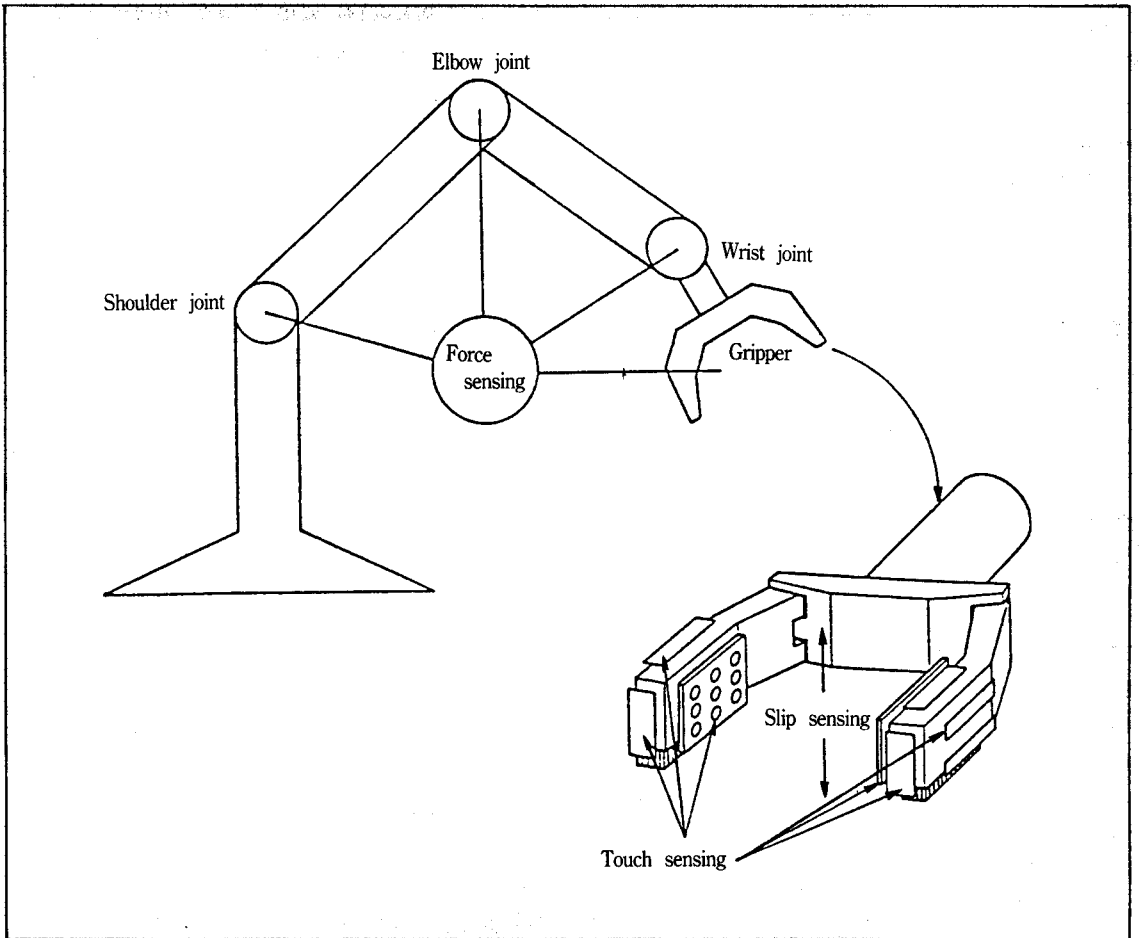


그림 1. 로봇트용 센서

표 1. 촉각센서의 분류

	검출내용	센서 요소	응용
접촉각	대상물체의 접촉 유무, 접촉위치, 물체의 형상	micro switch photo switch pin contact	위치결정 물체의 자세 및 형상 계측
압각	파지력	strain gauge 압전소자 감압 반도체 도전성고무	파지력 제어 물체형상 계측
역각	torgue, 하중	strain gauge load cell	조립 힘제어 협조작업
slip 각	물체의 변위, 회전	roller 진동검출기 micro switch	파지력 제어 slip 방지
근접각	대상물의 접근유무, 근접거리, 물체면의 경사	photo sensor 초음파 센서	위치결정 경로제어

이상과 같은 촉각센서는, 인간의 피부감각과 같은 모든 검출기능을 갖춘다면 가장 바람직할지도 모르지만 로봇에 응용하는데 있어서는 실제적이지 못하다. 따라서 일반적인 촉각센서에서 요구되는 특징은 다음과 같다.

(1) 센서요서의 배치 : array

촉각센서는 단일한 접촉 뿐만아니라, 물체의 크기, 형상 등을 검출하기 위해서는 센서요소를 array로 배치하여 간격을 2mm 이하로 하여야 한다.

(2) 고속 검출 및 정보처리

촉각센서의 대부분은 on-line 제어에 사용하기 때문에, 센서의 검출속도와 정보처리 속도가 1msec 단위 정도가 요구된다.

(3) 고감도(sensitivity)

센서요소의 dynamic range는 적어도 1000 : 1 즉, 1gf에서 1kgf까지의 힘을 검출할수 있어야 한다.

(4) 경량 소형(smart)

촉각센서는 직접작업을 실행하는 로봇트아임이

나 핸드에 붙이므로, 경량 소형이 요구된다.

(5) 안정성 및 신뢰성

촉각센서는 악조건 하에서 사용되는 경우가 많으므로, 내구성 등의 가혹한 성능이 요구된다. 고로, 이러한 조건 하에서도 안정성, 신뢰성을 만족시키여야 한다.

3. 촉각 센서의 구성

3.1 접촉각 센서(touch sensor)

접촉각이란 로봇트의 엔드이펙터와 대상물 혹은 장애물이 접촉한것을 검출하는 감각으로, 접촉의 유무, 접촉의 위치 및 물체형상에 관한 정보를 얻기위해 이용한다. 예를들어, 곤충 등의 촉각이 이와 비슷한 역할을 한다.

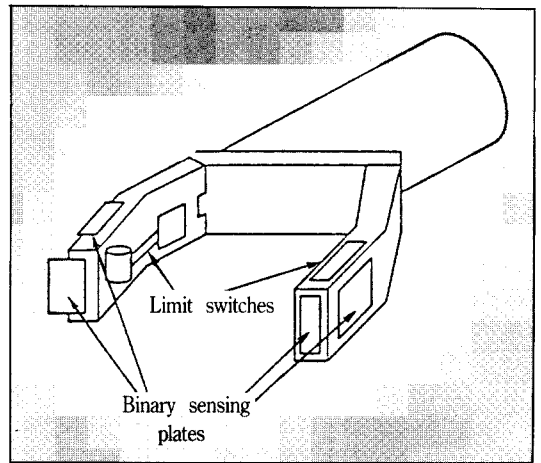


그림 2. 접촉각 센서

접촉각 센서의 대표적인 것으로는 그림 2)에서와 같이 micro-switch 등을 핸드의 내측, 외측, 선단, 상단 등의 각 부분에 분산하여 붙여 물체 파지의 확인, 장애물의 검출 및 비상정지 등에 이용된다. 그러나, 이와 같은 단순한 접촉각 센서로서는 물체의 형상 혹은 위치를 검출하기는 어렵다.

그림 3은 공압을 이용한 아주 가벼운 whisker 센서로, 비교적 큰 접촉력을 필요로 하는 그림 2와는 달리 대상물을 파지하기전에 물체에 아무런

영향을 주지 않고 물체의 위치를 검출하여 핸드를 제어하는데 이용할 수 있다. 동작원리는 진공 source와 공기압 source를 결합하여 whisker를 신축시키고, 반도체 압력센서를 이용하여 whisker의

미소 변형을 검출하여 로봇 controller에 전달한다. whisker 센서는 물체의 edge 혹은 seam 검출이 가능하므로 물체의 형상인식이나 seam 용접 등에 응용 가능하다.

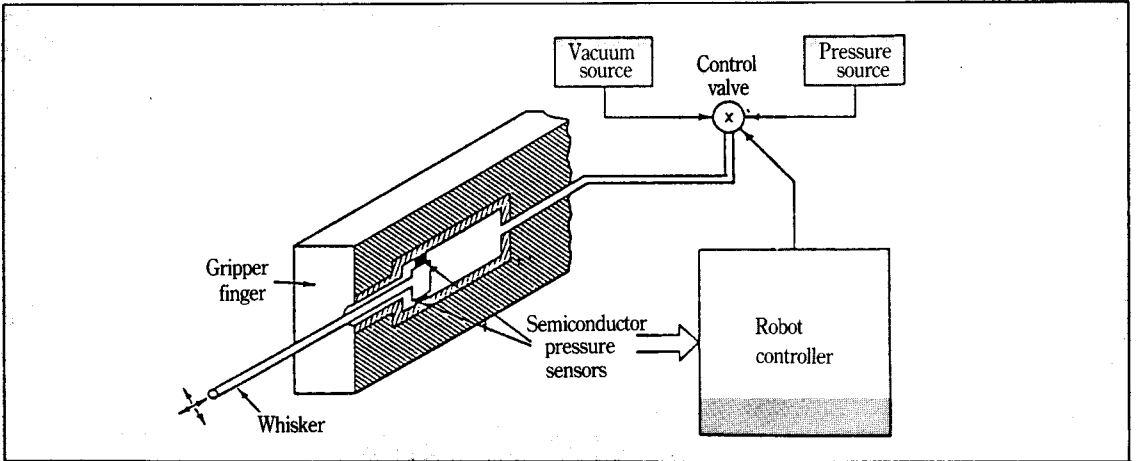


그림 3. 공기압을 이용한 촉각센서(whisker sensors)

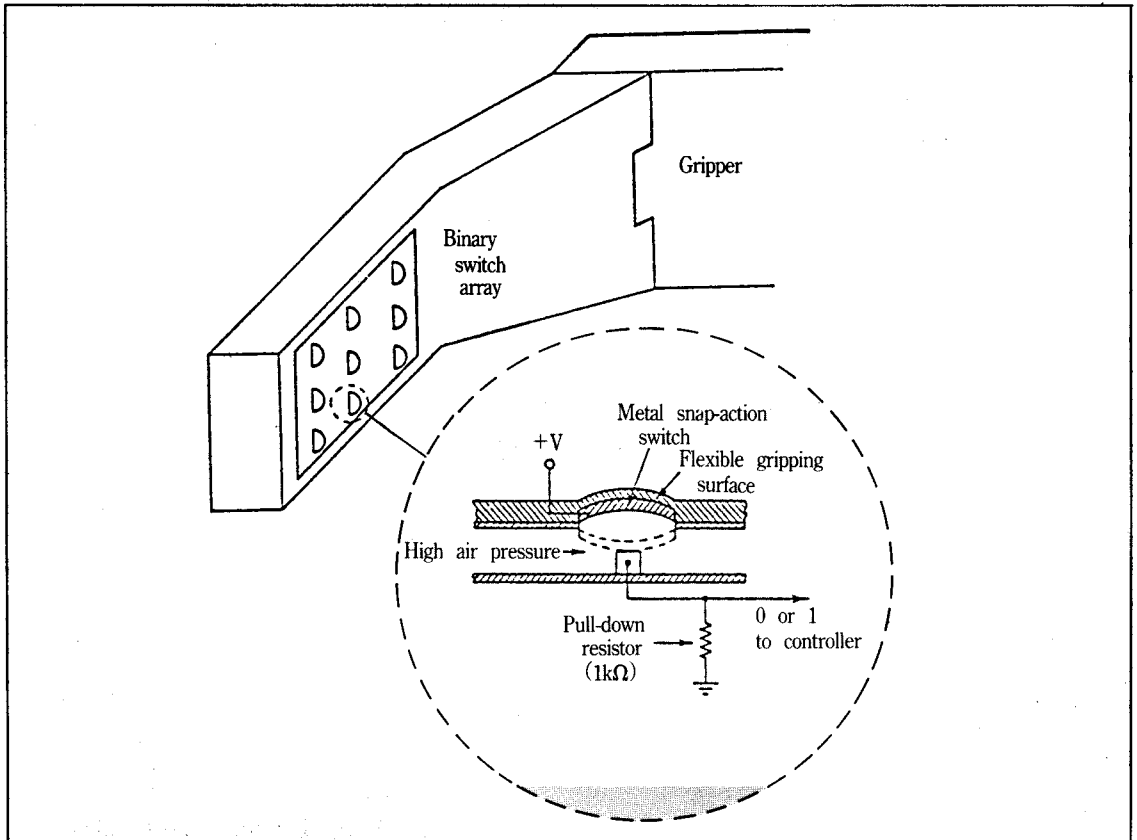


그림 4. Snap-switch를 이용한 접촉각 센서

한편, 센서요소를 그림 4에서와 같이 finger의 내측에 matrix 형태로 배치하여 접촉한 위치, 물체의 크기 및 형상식별 까지도 응용 가능하다. 이 센서는 snap-action press switch의 array를 이용한 것으로 얇은 금속판에 작은 구형의 돌을 array 형태로 만들어, 여기에 voltage source를 연결하고, 그 양쪽으로 얇은 절연판과 고압의 공기 source를 두어 물체와 접촉시에 switch가 닫히도록 하여 on-off를 검출한다.

3.2 압각 센서(pressure sensors)

압각 센서는 로봇핸드의 파지면에 있어서의 압력, 즉 단위 면적당의 힘을 검출하는 감각이다. 압각 센서의 대표적인 것으로는 strain gauge를 이용한 센서를 들 수가 있다.

그림 5는, 로봇 핸드의 finger 부분에 strain gauge를 부착하여 파지력(gripping forces)을 검출하는 센서를 나타낸다. finger의 양면에 strain

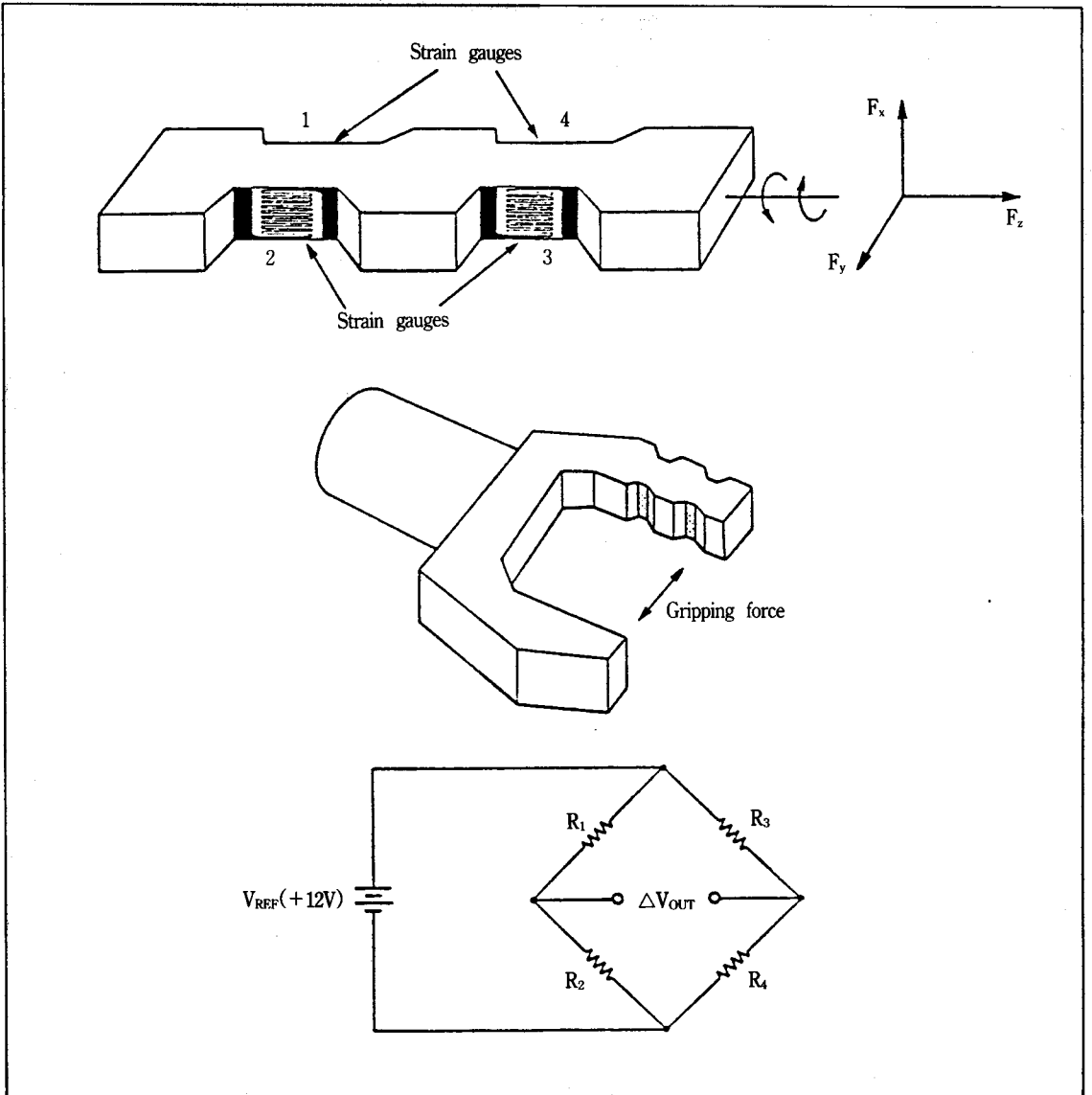


그림 5. Strain gauge를 이용한 압각 센서

gauge를 접착하여, bridge에 의해 파지력의 크기를 전압으로 검출한다.

한편, 핸드의 파지면에 직접 감압소자를 붙여 파지력의 크기 및 그 분포를 직접 검출하는 방법이 최근 많이 소개되고 있다. 감압소자의 재료로는, 감압 도전성고무(conductive rubber), 고분자 감압 재료(conductive foam) 및 반도체 감압소자(semiconductor sensors)등이다. 감압 도전성 고무는 sili-

con 고무속에 금속입자를 포함시킨 것으로, 그림 6과 같이 matrix 형상으로 배치하여 압력에 대한 저항변화를 각 부분에 대하여 검출한다. 또 각 부분의 저항치 변화를 검출하기 위해서는, 그림 7에 표시한 접점간의 저항치 측정회로, 신호 전송을 위한 직렬 변환회로 등을 집적회로로 만든 센서도 소개되고있다. 감압 도전성 고무대신에 고분자 재료의 감압특성을 이용한 센서도 개발

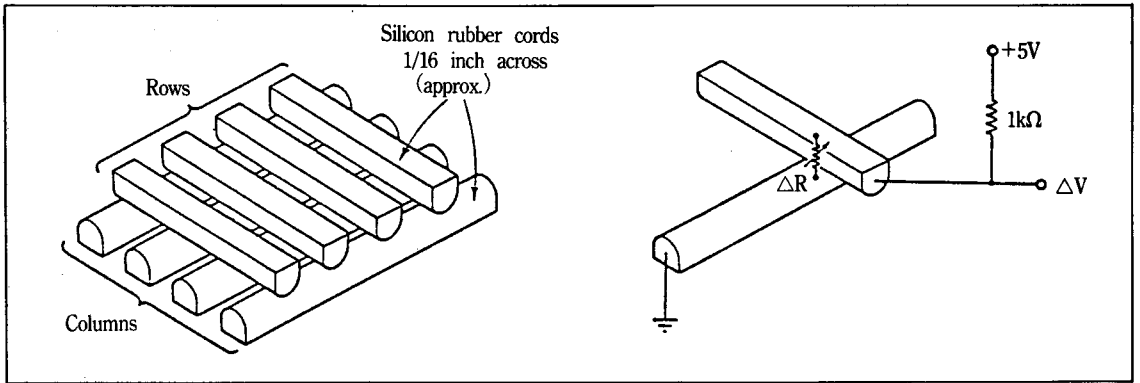


그림 6. 감압 도전성고무를 이용한 압력센서

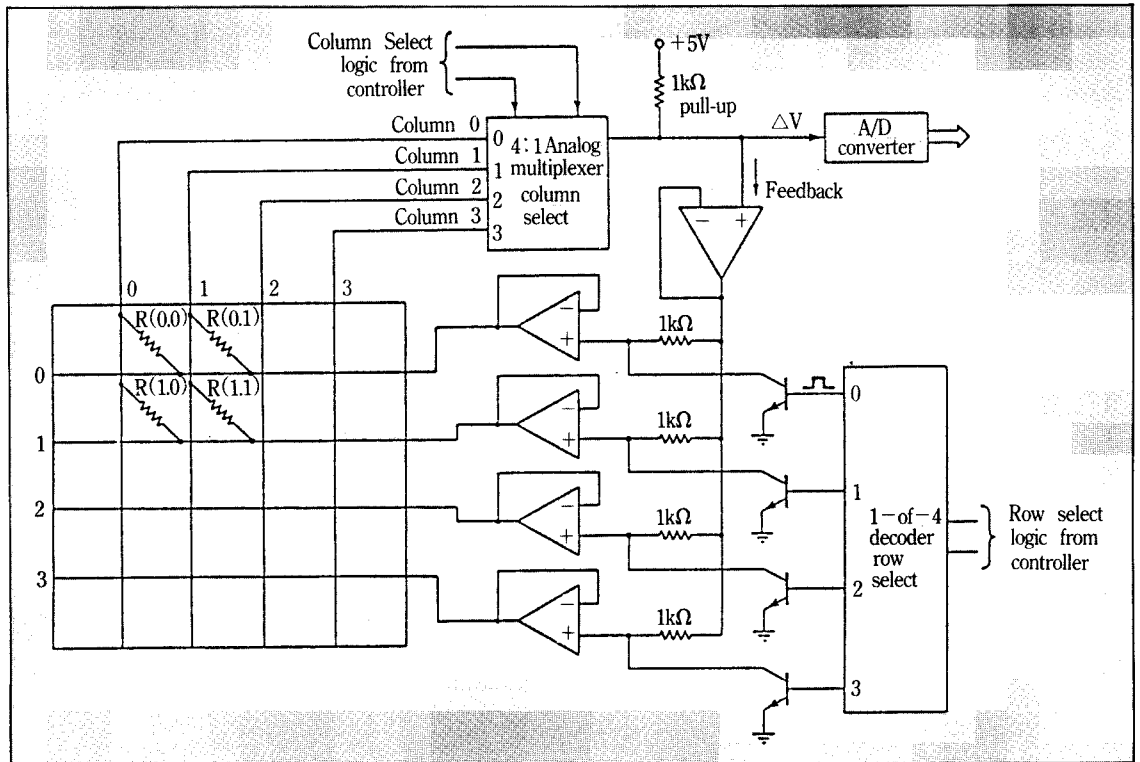


그림 7. Matrix 형상의 접점저항변화 측정회로

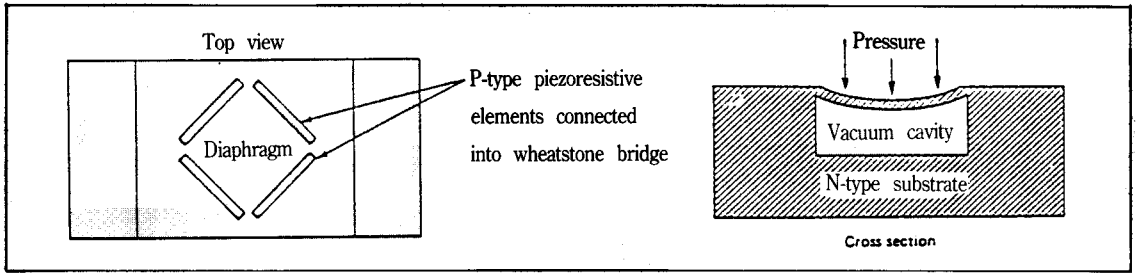


그림 8. 반도체 감압소자

되고 있으며, 도전성고무에 비하여 박막성, 유연성이 우수하여 압각센서로 기대되고 있다.

한편, 이러한 matrix 형상의 압각센서의 경우 그림 7과 같은 복잡한 검출회로를 필요로함으로써 최근에는 이러한 검출회로를 반도체 직접회로의 제조기술을 이용하여 VLSI화가 가능하게 됨에 따라, 감압 부분도 반도체 감압소자로 대신한 센서가 개발되고 있다. 반도체 감압소자는, 그림 8에서와 같이 압력에 의해 diaphragm 부분이 변형하여 도전성고무와 마찬가지로 저항변화를 일으킨다. 반도체 압각센서는 이러한 감압소자와 신호검출회로를 IC화하여 동일 기판상에 제작하는 것이 가능하므로 앞으로 기대되는 센서의 하나이다.

3.3 역각센서(inner force sensor)

로봇의 역각은 로봇 자체가 출력하는 힘과 토크, 혹은 대상으로 부터의 반발력과 모멘트를 검출하는 감각이다. 역각에는 로봇트아암의 각 관절에 있어서의 힘검출, wrist부에 있어서의 힘검출 및 핸드의 finger부에 있어서의 힘검출로 나눌 수 있으나 여기서는 wrist부에 있어서의 힘검출 센서에 대해 소개한다.

wrist부의 역각센서는, 그림 9에서와 같이 직교좌표계의 3축방향의 힘과 축 주위의 모멘트를 동시에 검출해야한다. 힘의 검출방식은 외력에 의해 생기는 구조체의 변형을 이용한다. 변형을 검출하는 수단으로서, 최근에는 photo 센서 혹은 광감응형 반도체 등의 새로운 기술을 이용한 센서도 소개되고 있으나, 가장 널리 이용되고 있는 것은 strain gauge를 이용하여 구조체의 변형을 직접 검출하는 것이다.

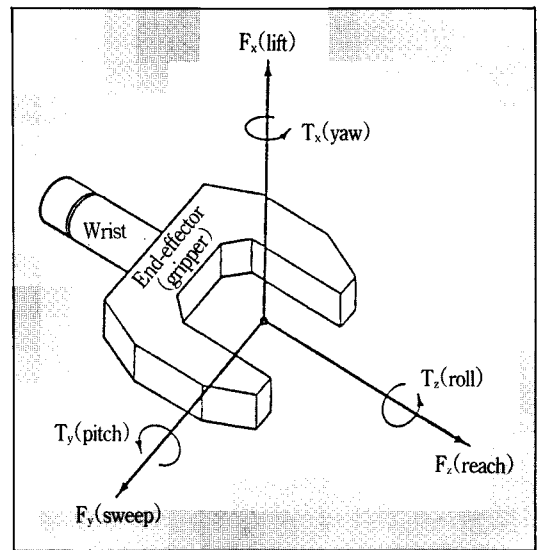


그림 9. 로봇트 wrist에 작용하는 6방향 힘

실용화된 strain gauge를 이용한 센서의 구조는 beam형과 평형판형으로 크게 나눌 수 있다. beam형 센서의 예로서는 그림 10 및 11과 같은 구조가 개발되어 있다. 그림 10은 4개의 방사형 beam으로 base ring과 center ring을 연결하고, 또 center ring은 4개의 중형 beam에 의해 상부의 ring에 연결되어 있다. 하중은 상부 ring과 base ring사이에 전달되어, 방사형 beam과 중형 beam에 붙여진 strain gauge에 의해 검출된다. 그림 11은 중앙의 방사형 beam의 측면과, 방사형 beam과 직교하는 바깥쪽 3개의 beam에 strain gauge를 붙여 하중을 검출한다. 이와 같이 beam의 탄성변형을 검출하는 방식은 sensitivity를 높이기 위해서는 beam의 강성을 낮추지 않으면 안된다. 그러나, wrist 센서의 경우 센서의 강성이 낮으면 외부의 힘에 의해 변형하여 작용하는 힘 자체가 변화하

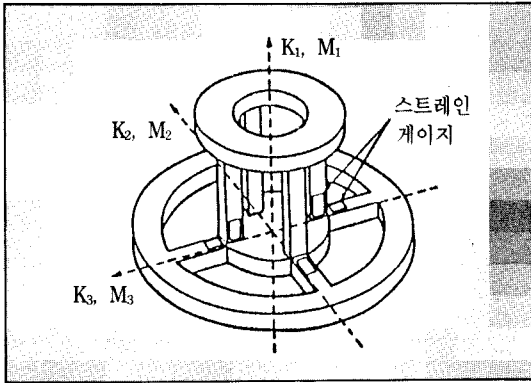


그림 10. beam형 역각센서(DR. R SEITNER사(미국))

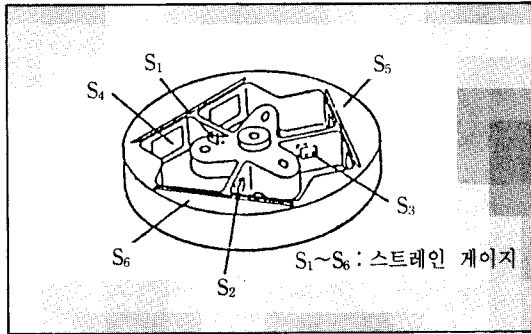


그림 11. beam형 역각센서(立石電機(일본))

므로, 원래의 힘의 크기와 방향을 검출할 수 없게 되거나, 혹은 로봇의 제어성이 저하되는 결과를 가져온다.

한편, 평형판 구조는 그림 12에서와 같이, 상하의 2개의 강체부를 박판으로 연결한 구조로 되어 있다. 이 구조는 그림 (b)에서와 같이 각 하중에 대해 고유한 형태로 변형하므로 이를 strain gauge로 검출한다. 이 구조는 beam 구조에 비해 강성이 아주 높다는 특징이 있어, 최근의 역각센서에 널리 이용되고 있다.

3.4 Slip 센서(Slip sensors)

사람은 피부감각을 이용하여, 무게 혹은 강성(hardness)을 알지 못하는 물체를 파괴하거나 떨어뜨리지 않고 적당한 힘을 가하여 파지하는 것이 가능하다. 그러나, 로봇이 미지의 물체를 handling할 수 있는 방법은, 물체와 gripper 사이의 slip을 검출하여 slip량에 따라 파지력(gripping forces)을 제어하는 것이다.

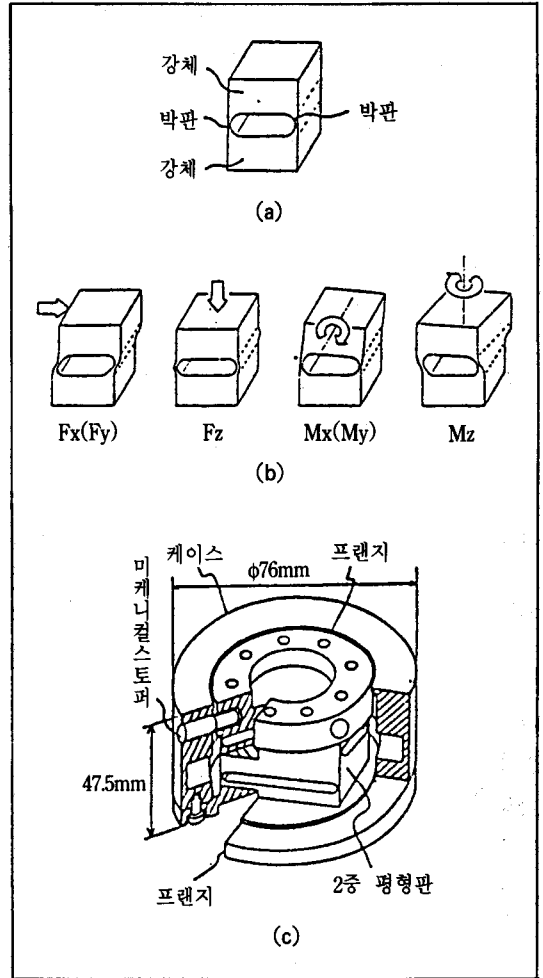


그림 12. 평형판 구조 역각센서

로봇 핸드에 있어서 slip 각은, 핸드의 파지 방향에 대하여 수직방향으로 대상물의 상대적인 운동을 검출하는 것이다. 사람 손의 slip 감각은, 손가락 표면의 전단력 혹은 slip시의 미소 진동을 검출하여 추정한다고 알려져 있다. 그러나, 로봇에서는 직접적으로 slip을 검출하는 것이 불가능하다. slip을 검출하는 방법으로는, 그림 13과 같은 롤러의 회전으로 변환하여 검출하는 방식이 있다. 이 센서는, 작은 롤러가 finger 표면으로부터 조금 튀어나오도록 하여, 물체의 slip 변위가 롤러의 회전 변위로 변환된다. 롤러의 회전은 내부의 slit 원판과 hall센서에 의해 전압 pulse 신호로 검출된다.

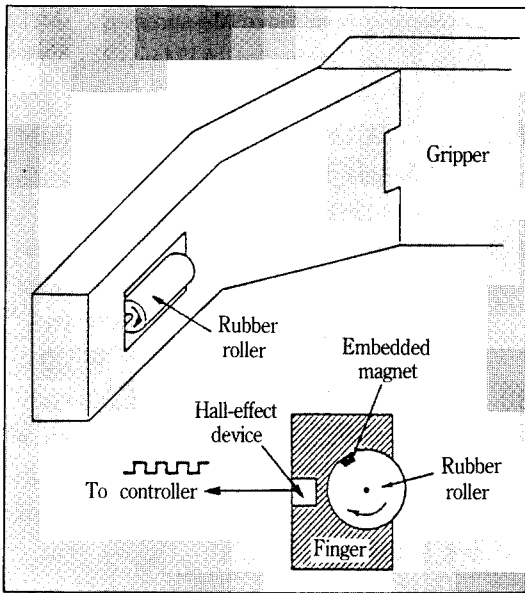


그림 13. 롤러를 이용한 slip 센서

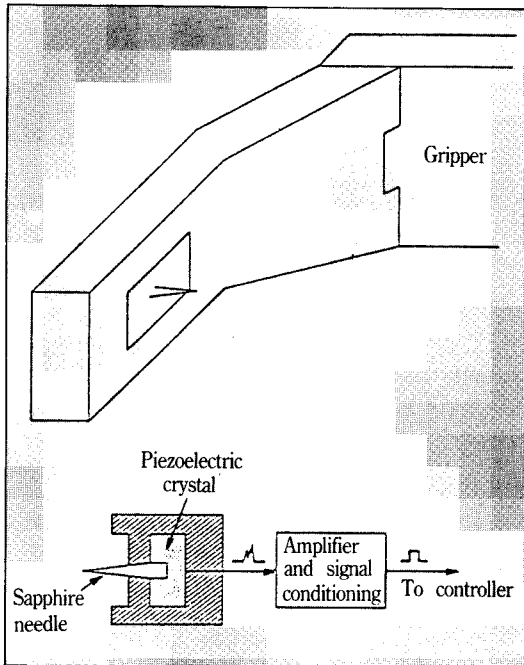


그림 14. 촉침을 이용한 slip 센서

그림 14는 촉침을 이용하여 slip 발생시의 미소 진동을 검출하는 방식이다. 촉침은 piezo-electric crystal에 연결되어 있어, 촉침이 물체와 접촉하여 slip이 발생하는 경우, 촉침은 진동하게 되고, 이 진동은 crystal에 의해 전압으로 변환된다. 이 센

서의 특징은, 감도(sensitivity)가 아주 좋고, slip 검출 이외에 물체표면의 상태를 검출하는데도 응용 가능하다.

3.5 근접각 센서(Proximity sensor)

근접각이란, 로봇이 대상물체 혹은 장애물로부터 수mm로부터 수cm까지 접근한 상태에서 그 간격, 경사각 혹은 대상면의 성질을 검출하는 것이다. 근접각은 엄밀한 의미에서 촉각과는 달리 비접촉각이나, 실용적인 측면에서 많은 장점을 가지고 있어서 로봇에 널리 응용되고 있다. 근접각 센서는 전자식, 광전식, 정전용량식, 공기압식 및 초음파식등이 알려져 있다. 이와 같이 근접각 센서는 다양한 방식이 개발되어 있으나 각각의 특징이 있어, 대상이나 목적에따라 사용 용도가 조금씩 다르다. 예를들어, 대상물체가 금속재료인 경우는 전자식, 일반적인 물체에는 광전식, 장거리로 비교적 큰 물체에 대해서는 초음파식을 적용한다.

4. 결 론

외부의 상황변화에 고도로 적응가능한 산업용 로봇 혹은 고도의 정보처리 능력을 갖춘 지능 로봇 연구에 필수적인 로봇용 촉각센서에 관하여 이미 개발되었거나 실용화된 기술을 소개하였다. 앞으로 기대되는 연구로서는, 단일의 센서로서는 얻을 수 없는 고도의 인식기능을 복수의 센서로부터 통합적으로 처리하는 센서 fusion 기술 및 이러한 센서 정보를 이용한 로봇제어 기술개발등의 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] H.R.Nicholls and M.H.Lee, "A Survey of Robot Tactile Sensing Technology," Int. Jour. of Rob. Res., Vol.8, No.3, pp.3-30, 1989.
- [2] R.S.Fearing and J.M.Hollerbach, "Basic Solid Mechanics for Tactile Sensing," Int. Jour. of Rob. Res., Vol.4, No.3, pp.40-54, 1985.

- [3] L.D.Harmon, "Automated Tactile Sensing," Int. Jour. of Rob. Res., Vol.1, No.2, pp.3-30, 1982.
- [4] E.M.Sladek and R.S.Fearing, "The Dynamic Response of a Tactile Sensor," Proc. IEEE Int. Conf. on RA., pp.962-967, 1990.
- [5] P.Dario et al., "A Fingertip Sensor with Proximity, Tactile and Force Sensing Capabilities," Proc. IROS IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp.883-889, 1990.
- [6] K.F.Martin and H.Lockman, "Force Sensing in Magnitude, Direction, and Position," Jour. of DSMC Trans. of ASME, Vol.109, pp.286-290, 1987.
- [7] A. Bicchi, J.K.Salisbury and D.L.Brock, "Contact Sensing from Force Measurements," MIT Artificial Intelligence Lab. A.I.Memo No. 1262, 1990.
- [8] A.Bicchi, "A Criterion for the Optimal Design of Multi-Axis Force Sensors," MIT A.I.Lab. A.I.Memo 1263, 1990.
- [9] C.S.Vaidyanathan and H.C.Wood, "Interpretation of the task Status of a Gripper from Tactile Sensor Data," Proceedings IEEE International Conference on R.A., pp.877-882, 1990.
- [10] H.Maekawa et al., "Development of a Miniaturized Model of a Finger Shaped Tactile Sensor Using an Optical Waveguide," Proc. of IECON Int. Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1991.