

Sensors

개요

- 센서: 로봇제어기와 연결되어 로봇의 정보를 측정하고 전달하는 역할
- 내부센서(Internal Sensor 또는 Proprioceptive Sensor)
 - 로봇 내부의 상태를 측정하는 센서
 - 예) 엔코더, 가속도계
- 외부센서(External Sensor 또는 Exteroceptive Sensor)
 - 로봇 외부의 환경을 측정하는 센서
 - 예) 거리센서, 비전센서

개요

- 용어

- **범위(range)**: 센서의 입력 자극의 최대값과 최소값의 차, 혹은 센서의 출력 신호의 최대값과 최소값의 차
- **감도(sensitivity)**: 입력 자극 변화량에 따른 출력 신호의 변화량의 비율

$$\text{감도} = \frac{\text{출력 신호의 변화량}}{\text{입력 신호의 변화량}}$$

- **해상도(resolution)**: 센서가 측정할 수 있는 가장 작은 입력 자극의 변화량

$$\text{해상도} = \text{전체 범위} / 2^n \quad (n \text{ bit 디지털센서})$$

- **정확도(accuracy)**: 센서의 출력 신호의 크기와 실제 입력 신호 크기의 근접성
- **정밀도(precision)**: 측정치의 균일성. 충분한 횟수의 측정을 반복한 후에 이 데이터에 대한 표준편차를 기준으로 함.
- **선형성 (linearity)**: 센서의 입력에 출력 그래프의 직선 정도

회전각도 검출기

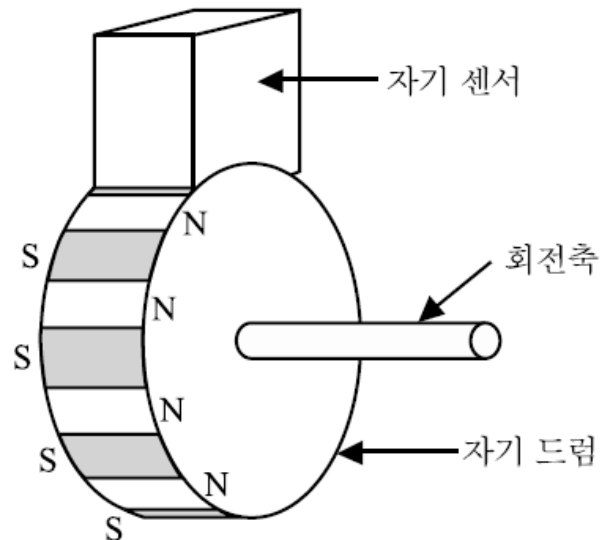
- 회전각도 검출기 분류



회전각도 검출기

- 자기식 회전 엔코더

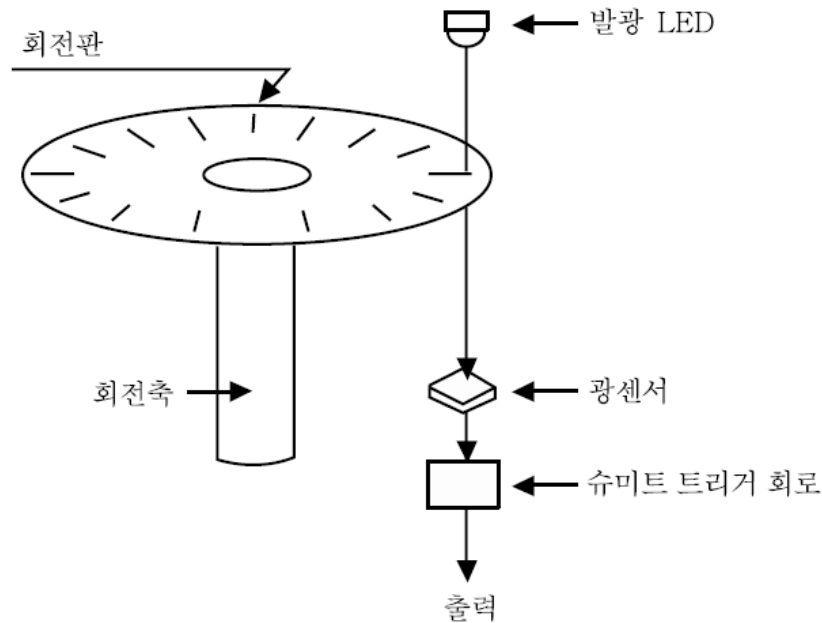
- 미리 자성체가 도포된 자기 드럼에 일정한 피치로 N극과 S극을 착자하고, 그것을 자기 드럼과 대향시킨 한개 조의 자기 센서에 의해 검출
- 광학식에 비해 기름, 먼지 등의 환경에 강한 특성이 있으며, 내환경성, 내진동 충격, 고속성을 살려 서보모터용 검출기로 사용되고 있음



회전각도 검출기

- **광학식 회전 엔코더**

- 발광 LED와 수광부인 광 센서(photo diode)가 슬릿(slit)이 있는 회전 원판을 양쪽에서 마주보게 설치되어 있는 구조
- 회전원판의 슬릿에 따라 증분형 엔코더와 절대형 엔코더로 나뉨



회전각도 검출기

- 증분형 회전 엔코더 (incremental rotary encoder)
 - 위치 정보는 회전시에만 검출 가능하며, 이를 기억하기 위해서는 counter 회로가 필요
 - 위치 정보를 위한 출력 신호는 A상, B상, Z상이 있으며, Z상은 원점 확인용 임(즉, 360도에 한번만 신호를 발생)
 - A상과 B상의 신호는 90°가 차이가 나기 때문에 이를 이용하여 회전 방향과 회전 속도를 검출할 수 있음
- 상대 각도 측정

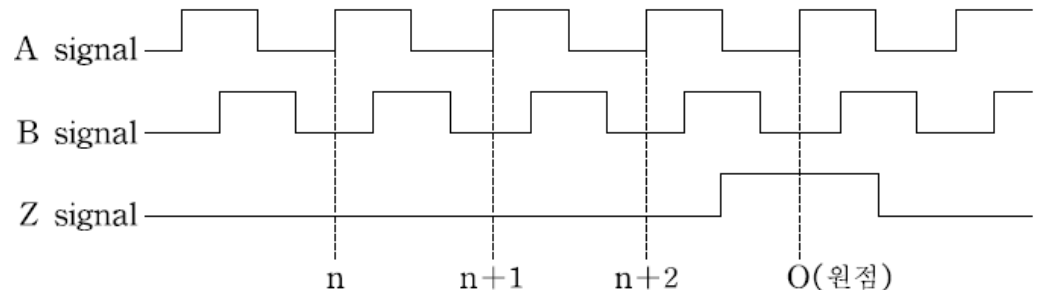
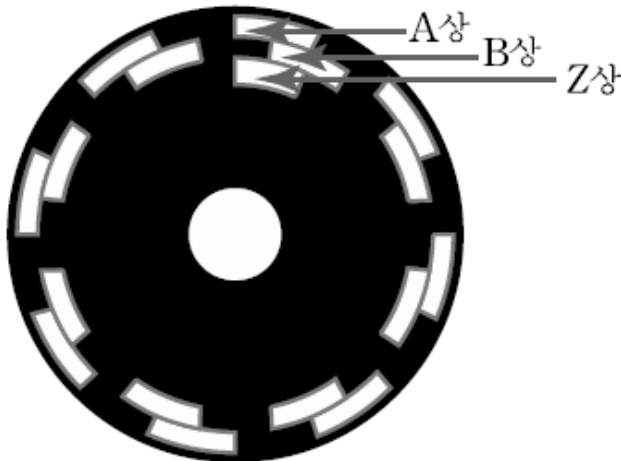


그림 9.4 ■ 증분형회전 엔코더의 회전판 구조

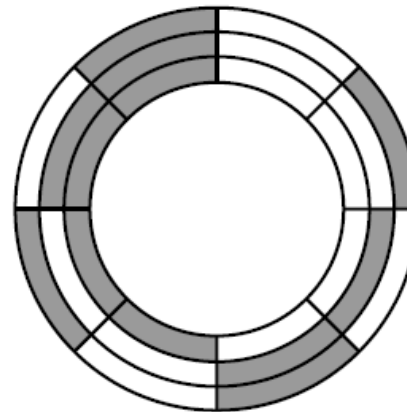
그림 9.5 ■ 증분형 엔코더의 각 상의 출력 파형

회전각도 검출기

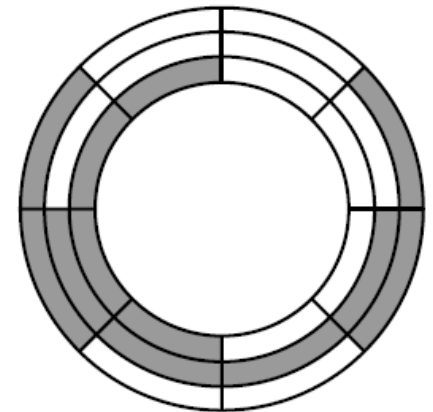
- **절대형 회전 엔코더 (absolute rotary encoder)**
 - 축에 연결된 회전판에 여러 열의 구멍이 뚫려 있고, 분해능은 출력 비트 수에 의해 결정됨
 - 패턴을 검출하기 위해 열의 수만큼의 광 센서(Photo Diode)가 있음
 - 정보는 2진 그레이 코드(Gray code)로 출력됨
- **절대 각도** 측정 가능



그림 9.6 ■ 절대형 회전 엔코더의 회전판 구조



Binary code



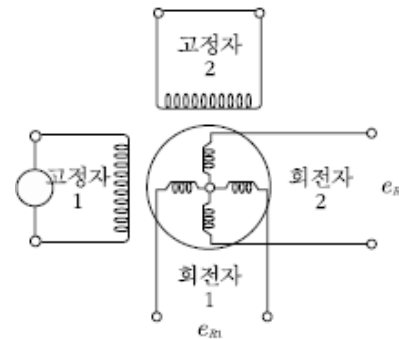
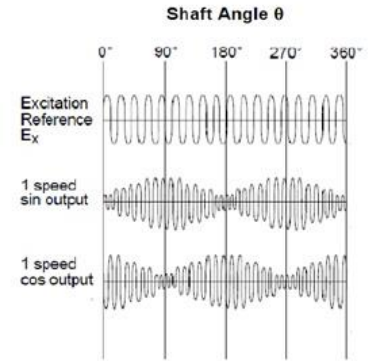
Gray code

그림 9.7 ■ 회전판 BCD 코드 출력 예

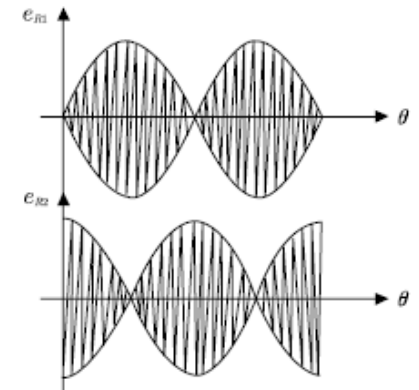
회전각도 검출기

- 리졸버(Resolver)

- 2개의 고정자와 2개의 회전자 코일로 구성
- 회전각도에 비례하는 sine 과 cosine 전압 출력
- 특징
 - 취급 용이
 - 신호잡음의 강건성
 - 고정밀도
 - 디지털 신호 변환의 용이
 - 센서의 대형화와 고비용



(a) 리졸버의 구조



(b) 리졸버의 입출력 신호

그림 9.8 ■ 리졸버의 구조

관성 센서 (inertial Sensor)

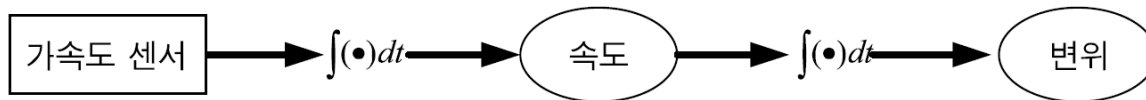
- **관성센서**

- 운동의 관성계에 작용하는 특정 힘을 검출하는 센서
 - 가속도 센서 (Accelerometer)
 - 자이로 센서 (Gyroscope)
- **INS (Inertial Navigation System), 관성항법장치**
 - 관성센서로부터 움직이는 물체의 가속, 속도, 방향, 거리 등 다양한 항법 관련 정보 제공
- **IMU (Inertial Measurement Unit)**
 - 가속도센서, 자이로센서 등을 조합하여 물체의 각속도 등을 측정하는 전자장치
- 검출 방식으로 분류하면, 기계식, 압전식, 실리콘반도체식이 있음

관성 센서 (inertial Sensor)

- **가속도센서 (Accelerometer sensor)**

- 물체의 가속도를 측정하여, 진동, 충격 등 동적인 힘에 관련된 물리량을 측정하고 증폭하여 전달함
- 물체의 운동상태(가속도, 속도 등)를 감지할 수 있으므로, 기기의 진동 계측이나 구조물의 진동계측 등에 사용됨
- 기계식, 압전식, 실리콘반도체식이 있음



가속도 센서

- 기계식 가속도 센서

- 질량-스프링-댐퍼(mass-spring-damper) 시스템을 이용

$$M\ddot{x}_o + B\dot{x}_o + Kx_o = M\ddot{x}_i$$

$$x_i = A \sin(\omega t)$$



$$x_o = \frac{r^2}{\sqrt{[1-r^2]^2 + [2\zeta r]^2}} A \sin(\omega t - \phi)$$

$$x_o \approx r^2 A \sin(\omega t - \phi) = -\frac{\ddot{x}_i}{\omega_n^2} = -\frac{M}{K} \ddot{x}_i$$

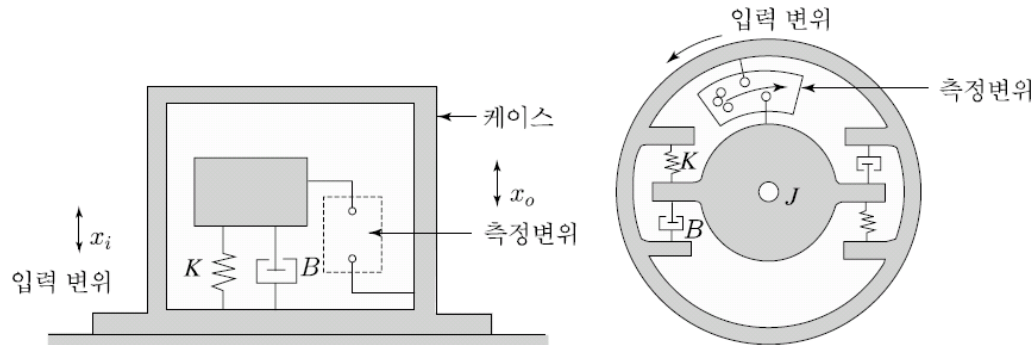


$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$\zeta = \frac{B}{2\sqrt{KM}}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{2\zeta r}{1-r^2}\right), \quad r = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)$$

- 출력변위 = 입력변위의 가속도에 비례



(a) 직선운동량 측정을 위한 기구부

(b) 회전량 측정을 위한 기구부

그림 9.10 ■ 가속도 측정을 위한 기구부

가속도 센서

• 압전식 가속도 센서

- 원리

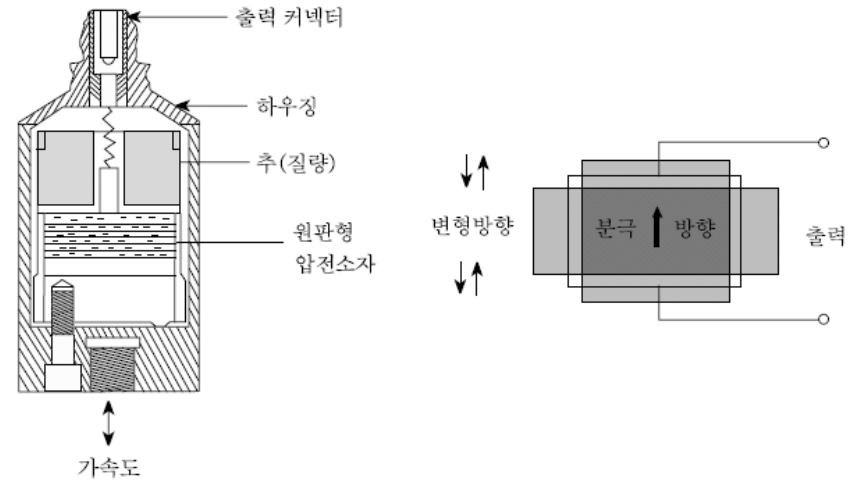
가속도 발생 → 압전소자에
 관성력 전달 → 압전소자의
 기계적 변형 → 압전효과 →
 내부회로에 의해 전압으로 변
 환

- 종류

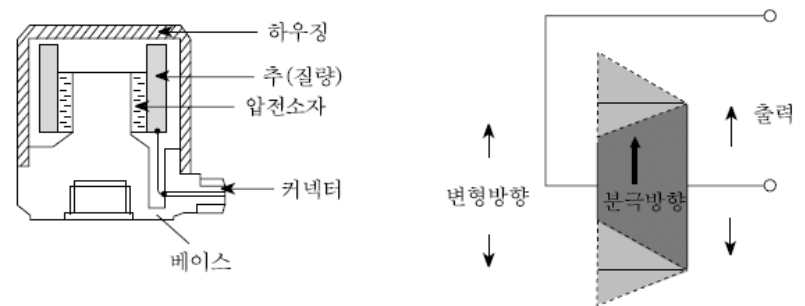
- 압축형: 압전재료의 종방향으로 하중을 부착
- 전단형: 압전재료의 극성축과 수직하게 하중을 부착

- 특징

- 넓은 동작범위
- 뛰어난 선형성
- 별도의 외부전원 불필요,



(a) 압축형 압전식 가속도 센서



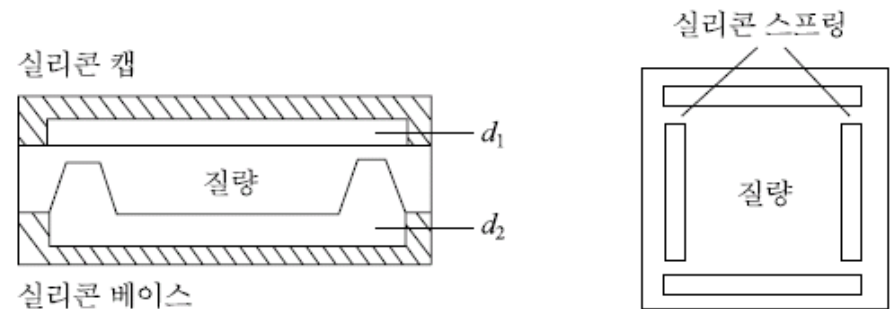
(b) 전단형 압전식 가속도 센서

그림 9.11 ■ 압전식 가속도 센서

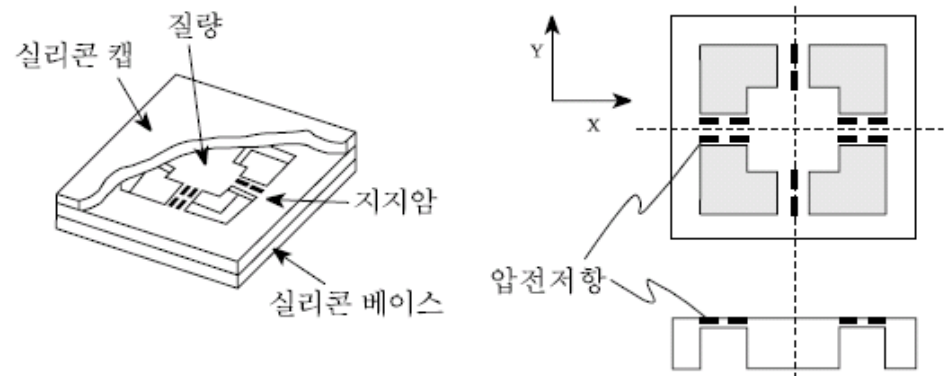
가속도 센서

• 실리콘 반도체식 가속도 센서

- 실리콘 마이크로 머시닝 기술을 이용한 초소형 센서
- 정전형(capacitive):
실리콘으로 제작된 질량의 변위 발생
- 압전저항형 (piezoresistive)
결정격자의 변위 발생으로 인한 저항의 변화 발생



(a) 정전형 실리콘반도체식 가속도 센서



(b) 압전저항형 실리콘반도체식 가속도 센서

그림 9.12 ■ 실리콘반도체식 가속도 센서

자이로 센서

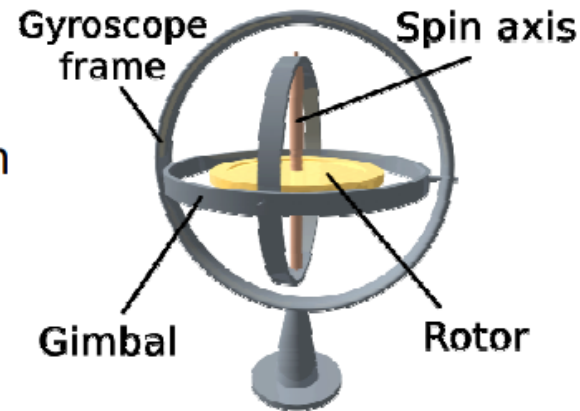
- **자이로 센서 (Gyro Sensor)**
 - 관성계에 작용하는 물체의 **각속도**를 감지하는 센서
 - 배, 항공기, 로켓, 자동차, 로봇, 스마트폰 등에서 쓰임
 - 종류
 - 기계식 방법: 각운동량 보존법칙
 - 광학식 방법: Sagnac Effect
 - 진동 방법: 코리올리 힘 측정

자이로 센서

- 기계식 자이로스코프

- Spinning Mass Gyroscopes

- Conservation of Angular Momentum
- The spinning mass will resist change in its angular momentum
- Angular momentum
 - $H = I \omega$ (Inertia * Angular velocity)
- By placing the gyro in a pair of frictionless gimbals it is free to maintain its inertial spin axis
- By placing an index on the x-gimbal axes and y-gimbal axis two degrees of orientational motion can be measured



https://www.youtube.com/watch?v=cquvA_lpEsA

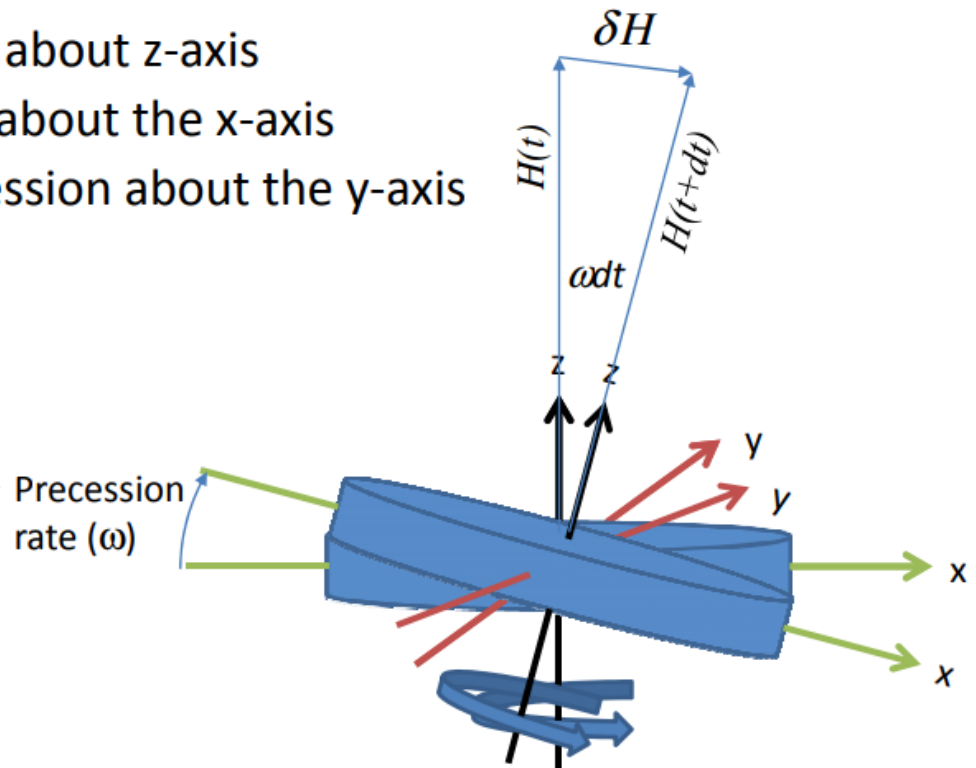
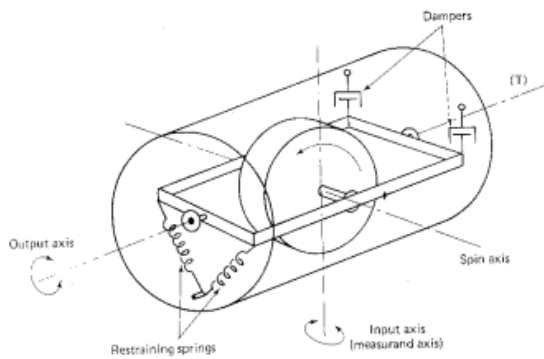
<https://www.youtube.com/watch?v=HmmbOVfHqcg>

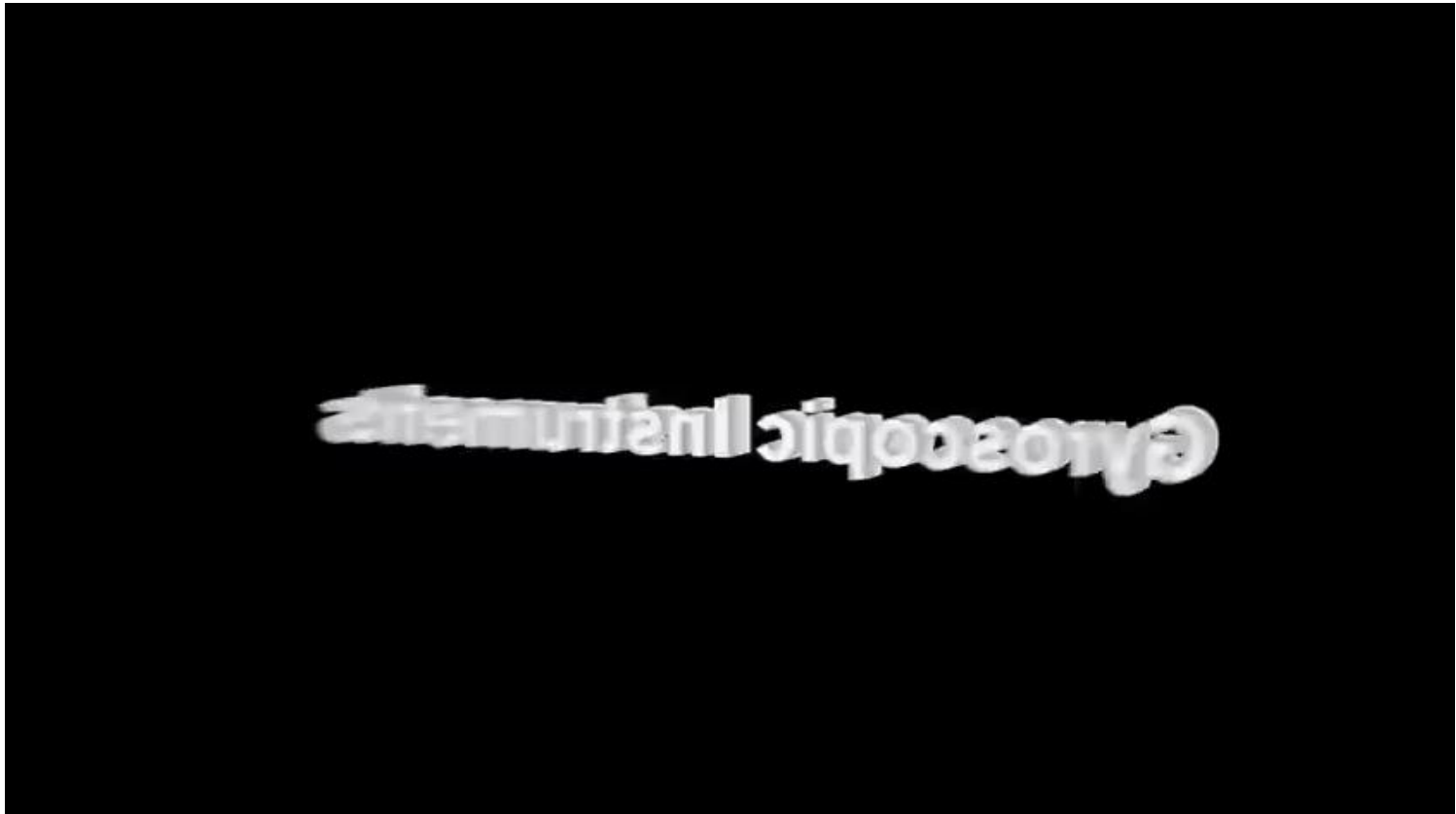
자이로 센서

- 기계식 자이로스코프

- Precession

- Disk is spinning about z-axis
- Apply a torque about the x-axis
- Results in precession about the y-axis
 - $\tau = \omega \times H$





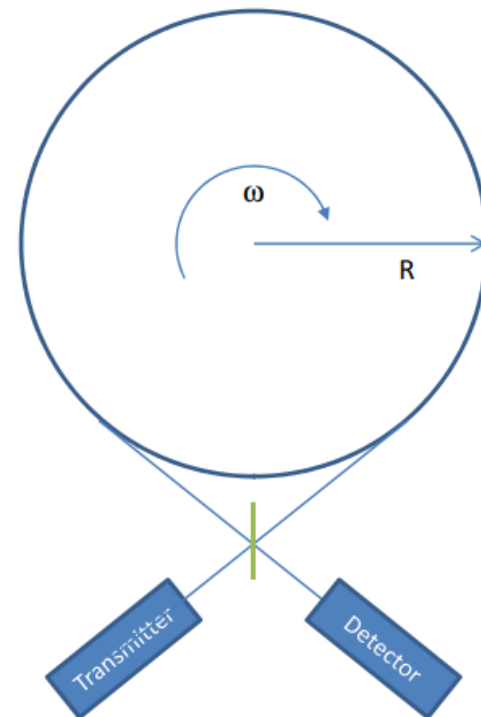
<https://www.youtube.com/watch?v=hVsx4XWafXg>

자이로 센서

- 광학식 자이로스코프

- Fiber Optical Gyro (FOG)

- Basic idea is that light travels at a constant speed
- If rotated (orthogonal to the plane) one path length becomes longer and the other shorter
- This is known as the Sagnac effect
- Measuring path length change (over a dt) allows ω to be measured



자이로 센서

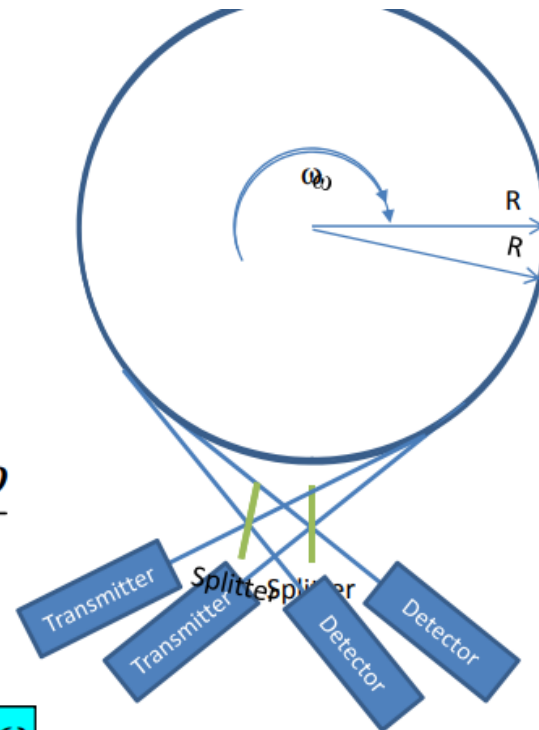
- 광학식 자이로스코프

- Measure the time difference between the CW and CCW paths
- CW transit time = t_{CW}
- CCW transit time = t_{CCW}
- $L_{CW} = 2\pi R + R\omega t_{CW} = ct_{CW}$
- $L_{CCW} = 2\pi R - R\omega t_{CCW} = ct_{CCW}$
- $t_{CW} = 2\pi R / (c - R\omega)$
- $t_{CCW} = 2\pi R / (c + R\omega)$
- With N turns $\Delta t \approx \frac{N4A\omega}{c^2}$
- Phase

$$\Rightarrow \Delta t \approx \frac{4\pi R^2 \omega}{c^2}$$

$$\Delta t \approx \frac{N4A\omega}{c^2}$$

$$\phi_c \approx 2\pi \Delta t f_c = 2\pi \Delta t c / \lambda_0 = \frac{8\pi NA\omega}{c\lambda_0}$$

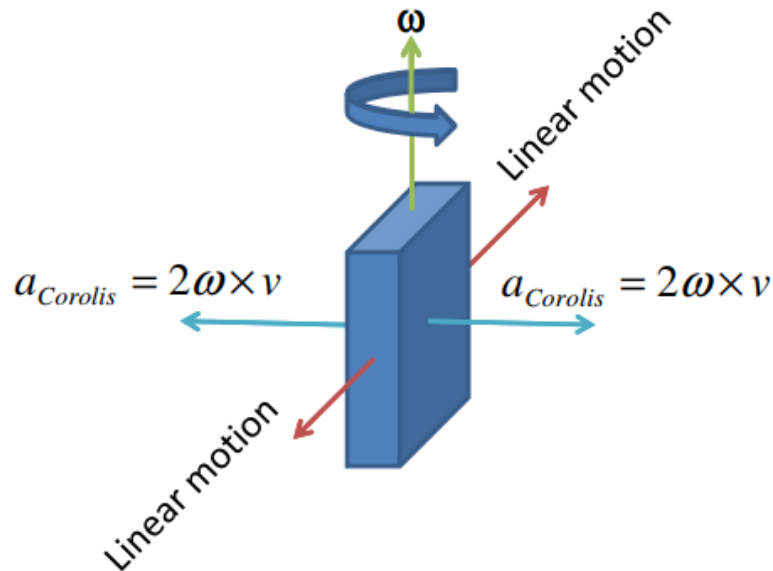


관성 센서 (inertial sensor)

- 진동식 자이로스코프

- Vibratory Coriolis Angular Rate Sensor

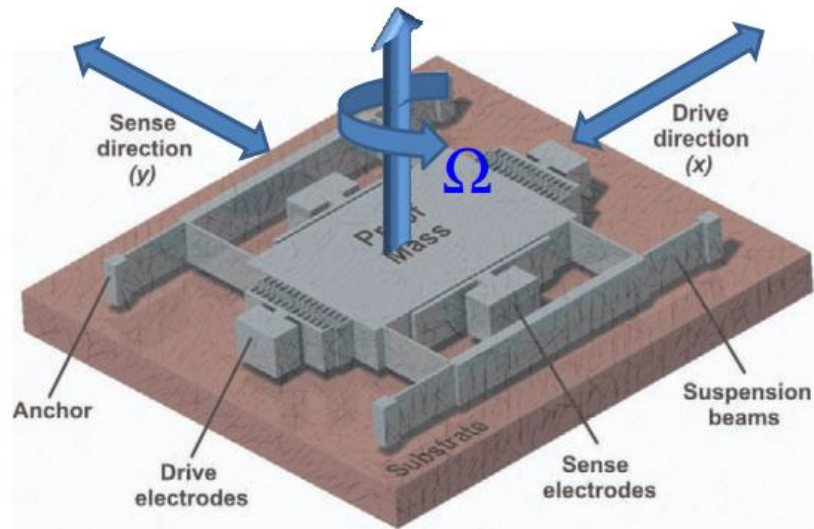
- Virtually all MEMS gyros are based on this effect



자이로 센서

- 진동식 자이로스코프

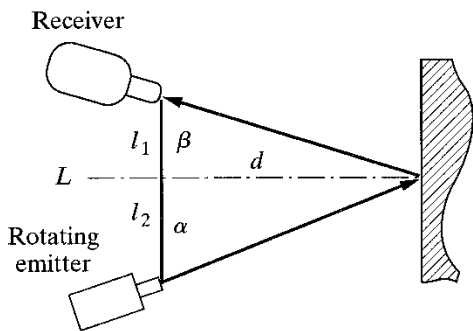
- Basic Planar Vibratory Gyro



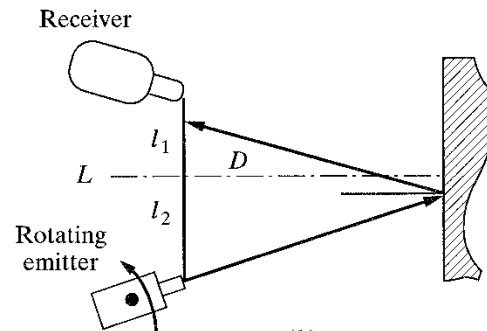
거리 센서 (Range Sensor)

• 원리

- 빛 (적외선, 레이저 등) 또는 초음파 를 송신하여 물체에 반사시키고 이를 수신한 데이터를 사용하여 거리 정보 계산
- **삼각 측량법(triangulation method)**
송신부-물체-수신부로 구성되는 삼각형으로부터 거리 계산
- **TOF 측정법(time of flight method)**
송신기로부터 송신된 신호가 물체에 반사되어 되돌아와 수신기에서 수신되는 시간을 측정하여 거리를 나타냄



(a)



(b)

$$\tan \beta = \frac{d}{l_1} \quad \tan \alpha = \frac{d}{l_2} \quad L = l_1 + l_2$$

$$d = \frac{d \tan \alpha \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

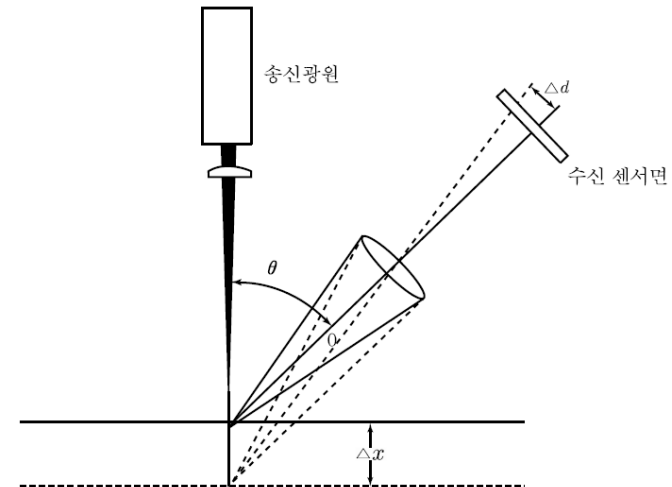
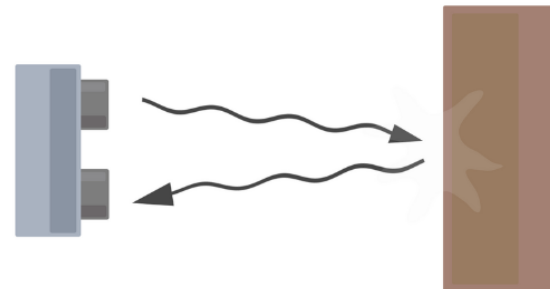


그림 9.15 ▣ 거리측정을 위한 삼각측량법의 원리

거리 센서 (Range Sensor)

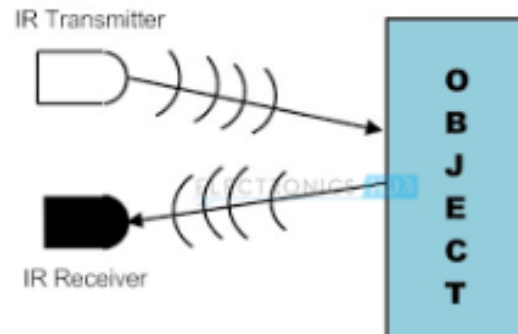
- 초음파 센서 (ultrasonic sensor)
 - 초음파: 20 KHz 이상의 음파
 - 거리측정방법: Time of Flight
 - 장점
 - 저렴하고 간단하게 구성
 - 저전력
 - 단점
 - 전파속도가 전달되는 매질의 탄성과 밀도에 의존
 - 분해능이 낮다
 - 거리에 따른 감쇄 효과가 크다
 - 간섭효과(Interference) 가 크다



거리 센서 (Range Sensor)

- 적외선 센서 (Infrared Sensor)

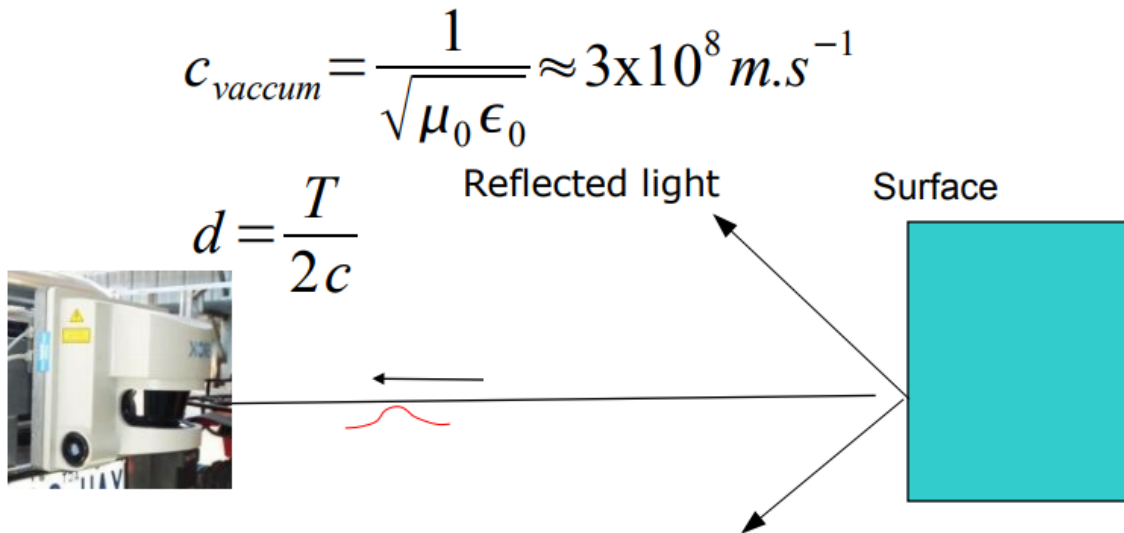
- 적외선: 가시광선의 붉은색보다 파장이 긴 파장을 갖는 빛을 말함
- 거리측정방법: 삼각 측량법(triangulation)
- 이동로봇 응용 분야
 - 거리 측정 (1 m 이내)
 - 근접 물체 유무 감지 등



거리 센서 (Range Sensor)

- **LIDAR**

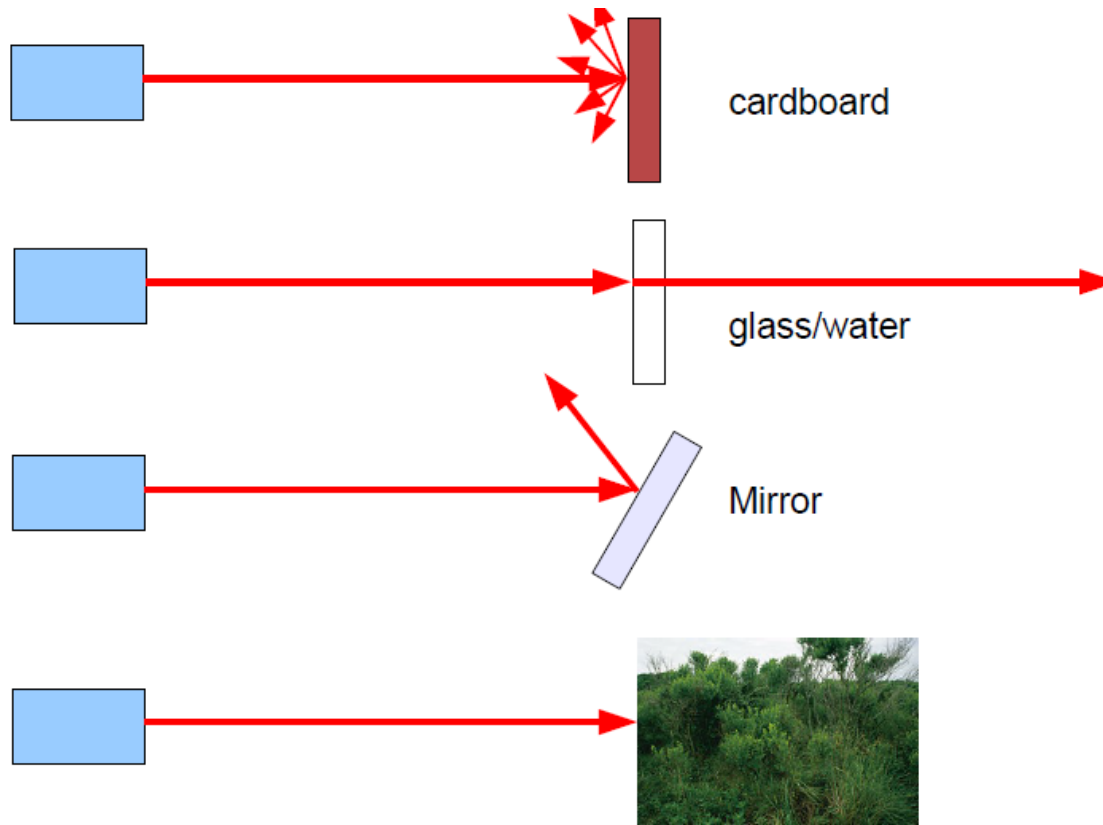
- Light Detection and Ranging
- 거리측정 원리
 - Time of Flight



거리 센서 (Range Sensor)

- **LIDAR**

- 반사체 문제



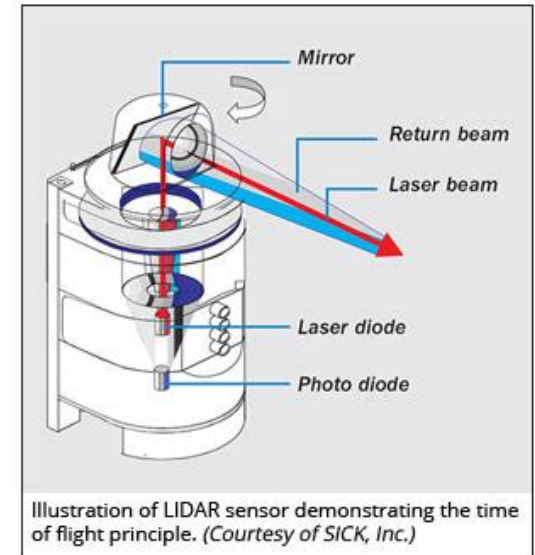
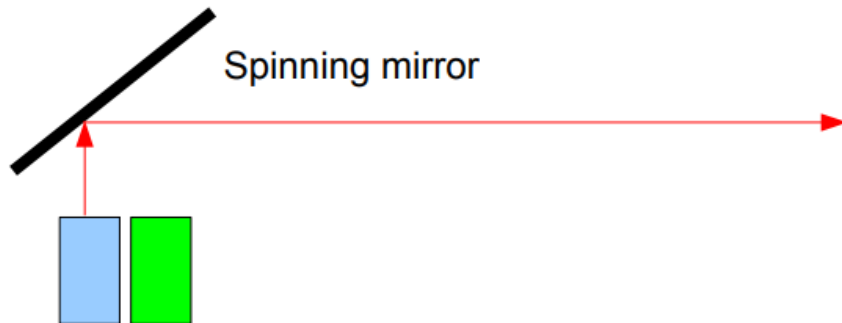
* 비, 안개 시 산란 문제

거리 센서 (Range Sensor)

- **2D LiDAR**

- 거울을 회전시키며, 평면에 대한 거리 데이터 획득
- SICK 사 LiDAR 예

- Ranges vary (90, 180 degree, 50+m)
- Scanning rates vary (e.g. 20Hz, 75Hz)
- Resolutions (e.g. 0.25 degree, 10mm)
- Accuracy ~30mm stdev in range



거리 센서 (Range Sensor)

- **3D LiDAR**

- 여러 채널의 2D LiDAR 조합 → 3D 데이터 취득가능

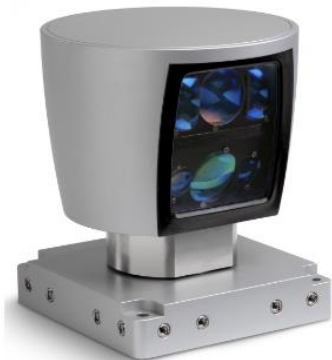
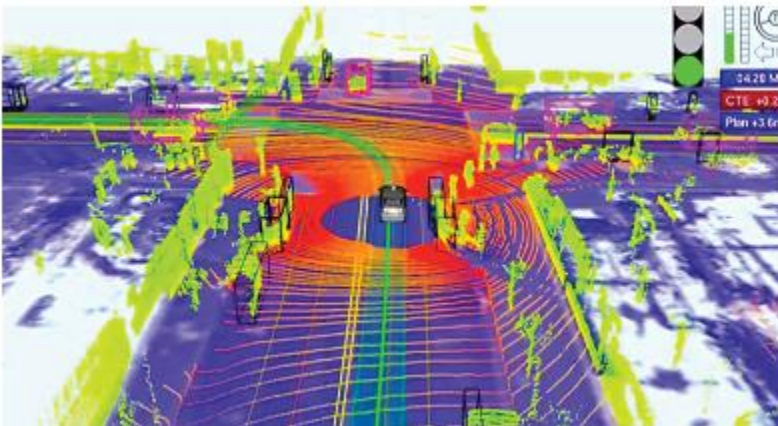


Figure 3.20. Velodyne HDL-64E laser scanner (Source: Velodyne)



Figure 3.21. General architecture of laser scanners (Source: Velodyne)





Velodyne Lidar 101



나중에 시청하기

공유

Velodyne LiDAR[®]

도여사 더보기
일시중지(k)



0:02 / 3:48



YouTube



거리 센서 (Range Sensor)

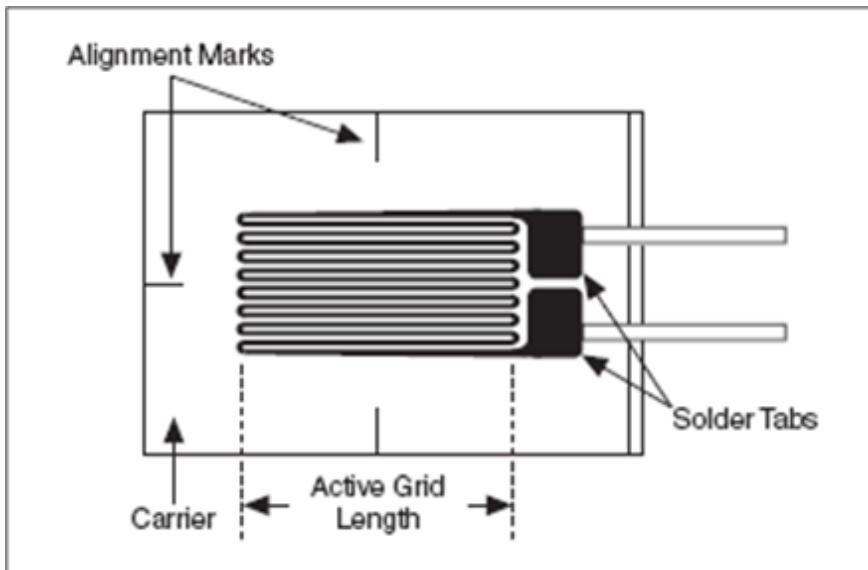


<https://www.youtube.com/watch?v=EBgdskiWIO8>

힘센서 (Force Sensor)

- 스트레인 게이지 (Strain gauge)

- 구조물의 단위길이에 대한 변형량을 스트레인(Strain)이라 함
- 구조물의 변형과 저항선의 변형이 비례하도록 하여 변화된 저항 값으로부터 구조물의 스트레인을 간접적으로 측정함
- 스트레인 게이지 센서로는 금속 스트레인 게이지와 반도체 스트레인 게이지 2종류가 있음



힘센서 (Force Sensor)

- 휘트스톤 브리지 (Wheatstone Bridge)
 - 휘트스톤브리지는 스트레인게이지의 온도보상에 이용됨
 - 미지저항 (R_{strain}) 을 스트레인 게이지라고 가정하고 응력을 준다면 값이 변화하고 휘트스톤 브릿지에 불균형이 발생되어 양 말단 사이에 전류가 흐르게 됨

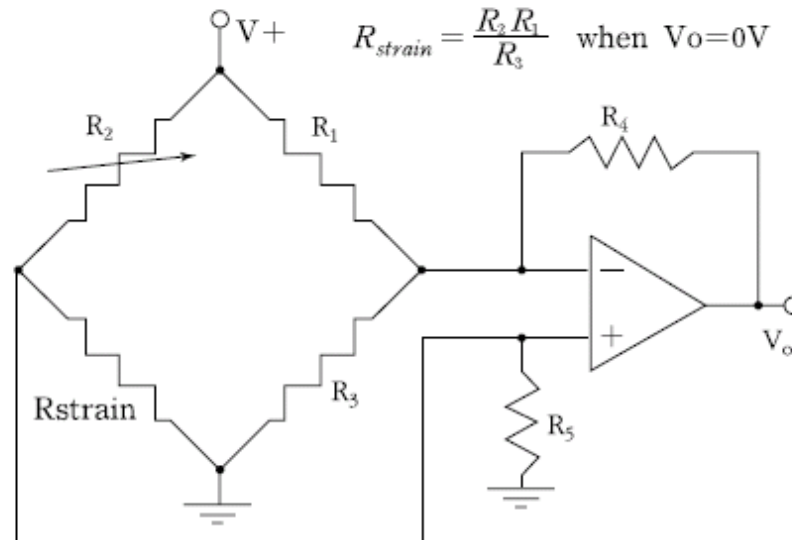


그림 9.20 ■ 스트레인 게이지의 브리지 회로 구조

힘센서 (Force Sensor)

- **로드 셀(Load Cell)**

- 하중을 가하면 그 크기에 비례하여 전기적 출력이 발생하는 힘 변환기의 총칭으로 스트레인 게이지식 로드 셀을 의미함
- 탄성체의 스트레인을 스트레인 게이지 저항 값의 변화로서 가해진 하중의 크기에 비례한 전기적 출력 신호를 얻음
- 구조와 스트레인 게이지 부착 방법에 따른 분류
 - 기둥형(Column Type)
 - 환상형(Ring Type)
 - 휨형(Bending Type)
 - 전단형(Shear type)



그림 9.21 ■ 로드 셀 종류