

11장 가속도·진동·충격 센서

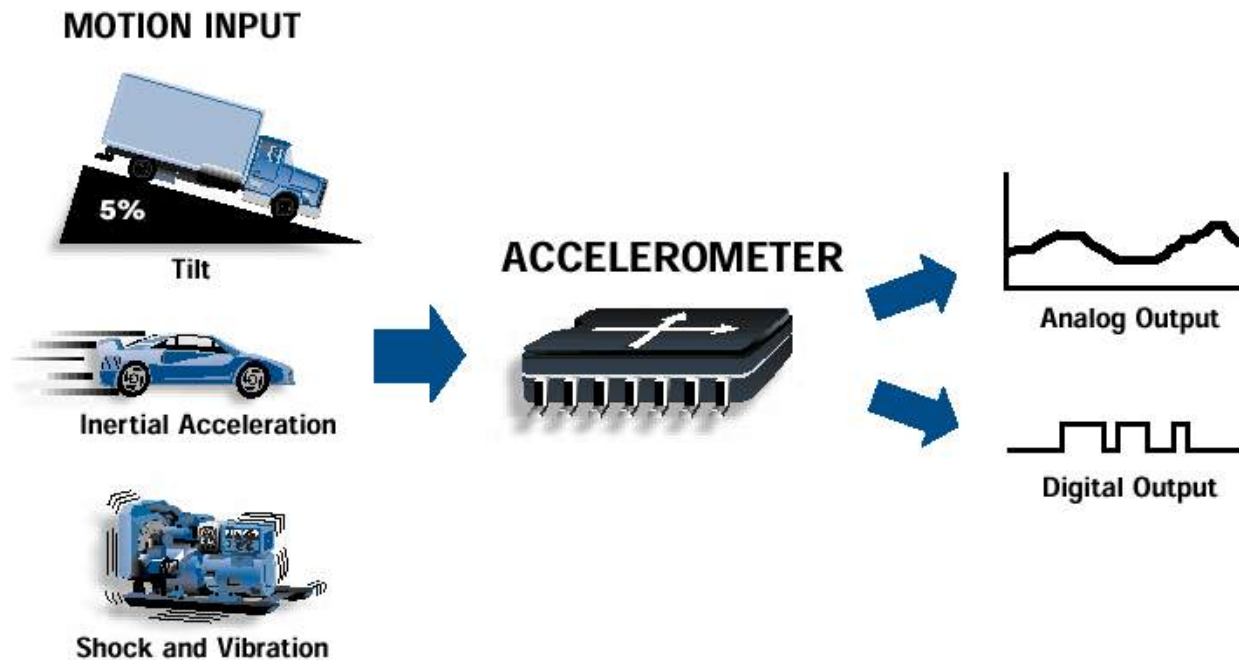
가속도·진동·충격 센서

- 압전형 가속도 센서
- 스트레인 게이지형 가속도 센서
- 정전용량형 가속도 센서
- LVDT형 가속도 센서
- 전위차계형 가속도 센서
- 서보형 가속도 센서
- 3축 가속도 센서

11.1 개요

• 가속도 센서의 정의

- 가속도계(accelerometer)는 기계적 충격(mechanical shock)이나 진동(vibration)을 받았을 때 전기적 출력을 발생시키는 전기기계적 변환기이다.
- 가속도계는 일반 목적의 가속도(acceleration) 뿐만 아니라, 충격, 진동 측정 등에 광범위하게 사용되고 있다.



- > 자동차 산업에서 에어 백 시스템(air bag system)과 샤시 컨트롤 등에 적용되는 것과 같이 차의 안정성이나 쾌적성을 위해 고성능의 가속도 센서 개발이 요구되고 있다.
- > 산업 각 분야의 기계설비, 차량, 항공기 등에서 이동체(移動體)의 경량화, 고도화, 고속화가 진행됨에 따라 충돌, 진동의 동적 변화상태를 파악하고 현상을 분석하는 것이 중요하게 되고, 또 기계의 대형화에 따라 공해진동 문제, 생체정보, 지진관측 등에서도 진동현상의 측정이 중요시되고 있다. 이러한 동적 진동, 충돌현상의 측정에 사용되는 것이 진동센서이다.
- > 진동에는 진동진폭(변위), 속도, 진동가속도의 3요소가 있으므로 이를 측정하는 센서를 사용하면 진동측정이 가능하다.

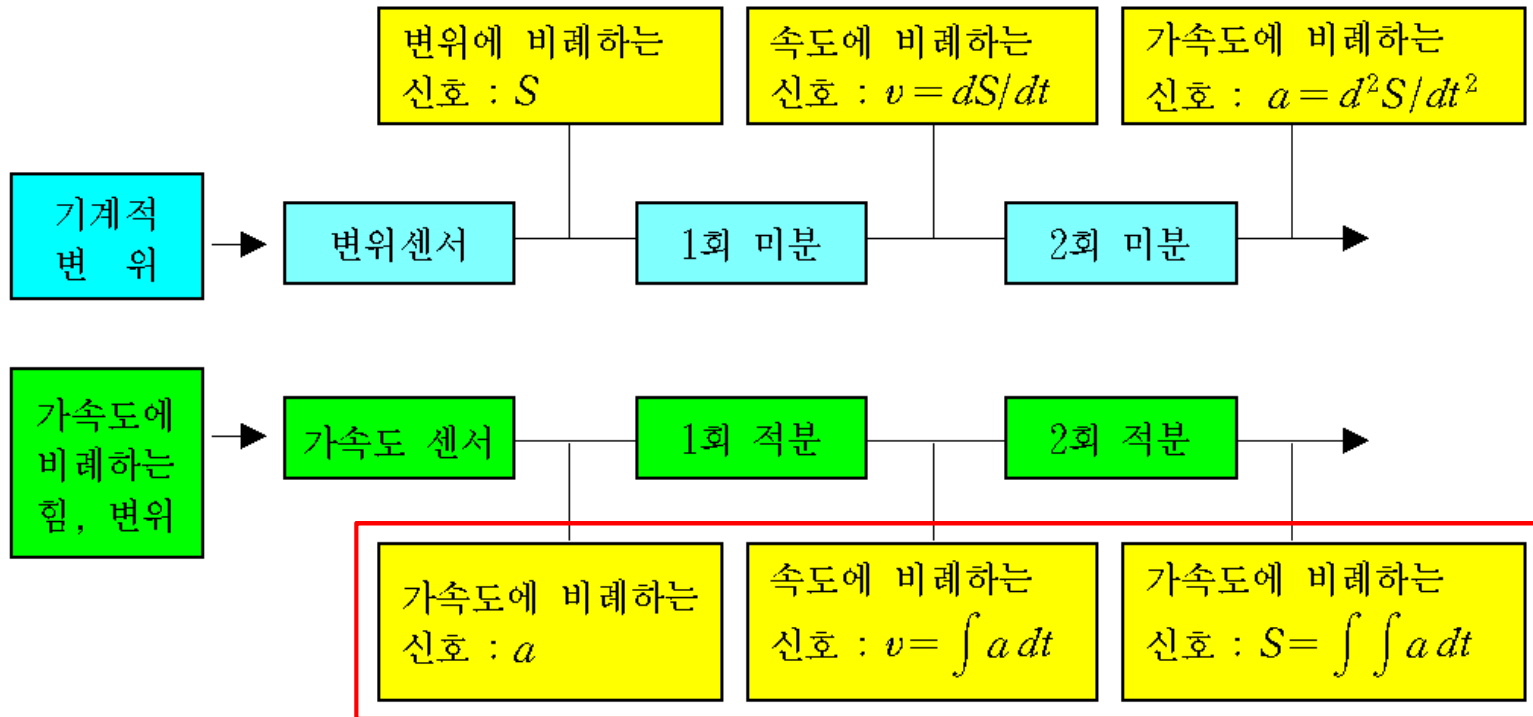
• 가속도 센서의 분류

- 가속도 센서는 고유진동수가 크고, 소형경량이라 설치위치가 자유롭고, 온도, 습도, 음향 등의 내환경성이 우수하고, 전기적 출력이 안정하고, 경년 변화가 적다는 이유로 스트레인 게이지식, 압전식, 서보식 등이 많이 이용되고 있다.
- 최근에는 1개의 검출소자로 3축 가속도 성분을 검출하는 3축 센서가 상품화되고 있다.

검출방식	사용센서
응력(stress)검출	압저항방식
	압 전 식
	금속 게이지
변위검출	정전용량식
	자 기 식
	광 학 식

11.2 변위, 속도, 가속도의 관계

- 변위, 속도, 가속도의 측정이 가능한 센서를 사용하면 진동 측정이 가능하지만, 변위센서는 진동의 추종성 등에 문제가 있고, 속도 센서는 고정점을 필요로 하는 등의 문제가 있다. 그래서, 일반적으로 **진동측정에는 가속도 센서가 많이 사용된다.**

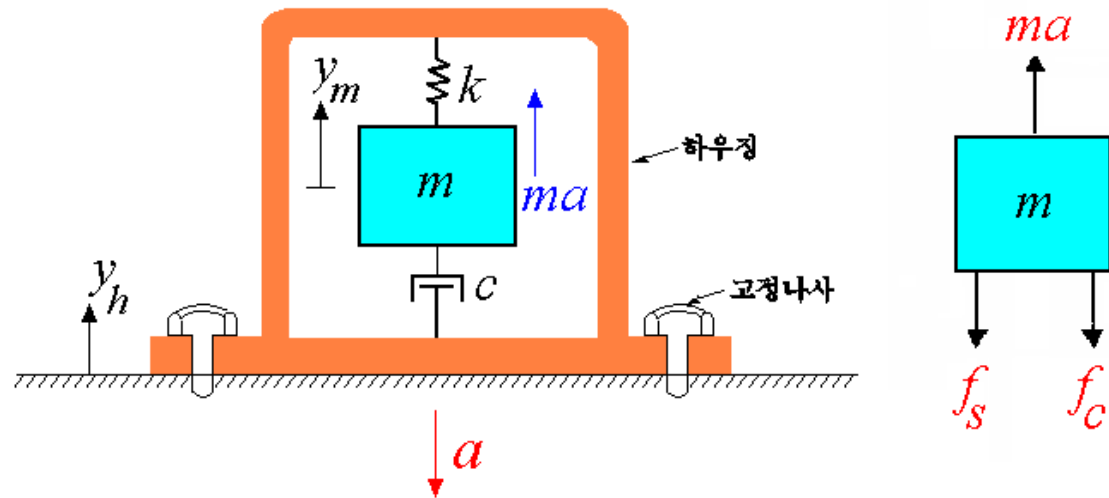


변위, 속도, 가속도 상호관계

11.3 가속도계의 기본 동작이론

- 대부분의 가속도·진동 측정기술에서는 질량-스프링-댐퍼 시스템(mass-spring-damper system)을 이용한다.
- 질량 m 을 스프링(스프링 정수 k)과 댐퍼(점성감쇠계수 c) 로 지지대 (support)에 고정시킨 구조를 생각해 보자.
- 이 시스템에 가속도 a 가 그림의 방향으로 인가되면, 그때 질량 m 은 반대 방향으로 관성력 ma 를 경험할 것이다. 이 힘은 스프링 힘(spring force) f_s 와 제동력(damping force) f_c 에 의해서 평형 된다.
- 질량의 변위를 y_m 를, 지지대(케이스)의 변위를 y_h 라고 하면, 질량의 지지대에 대한 상대적 변위는

$$y_r = y_m - y_h \quad (1)$$



- 각 요소에 작용하는 힘 :

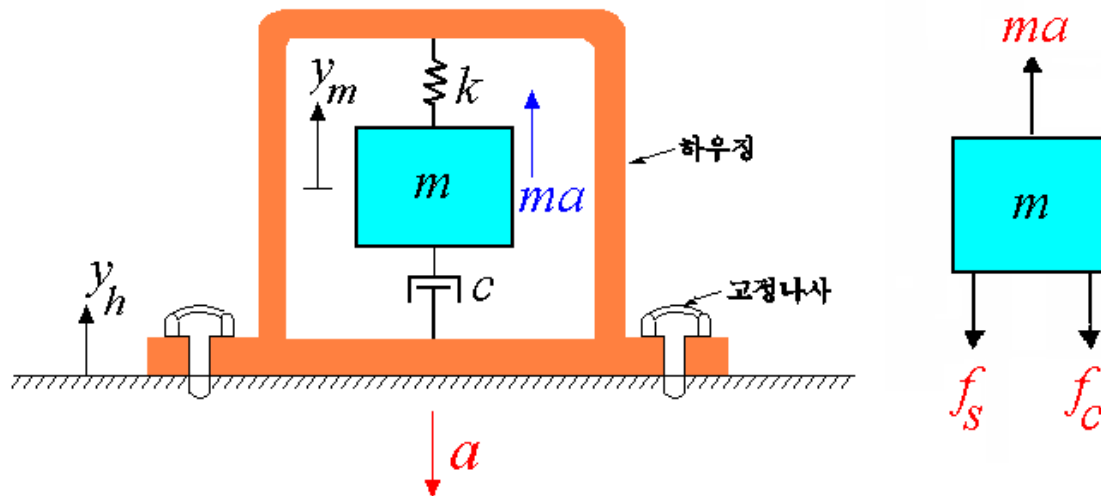
> 질량 m 에 작용하는 관성력 :

$$F = m \frac{d^2 y_m}{dt^2} = m\ddot{y}_m \quad (2)$$

> 댐퍼(damper)에 작용하는 제동력 :

$$F = c \frac{dy_r}{dt} = c\dot{y}_r \quad (3)$$

. 스프링의 복원력은 : $F = ky_r$ (4)



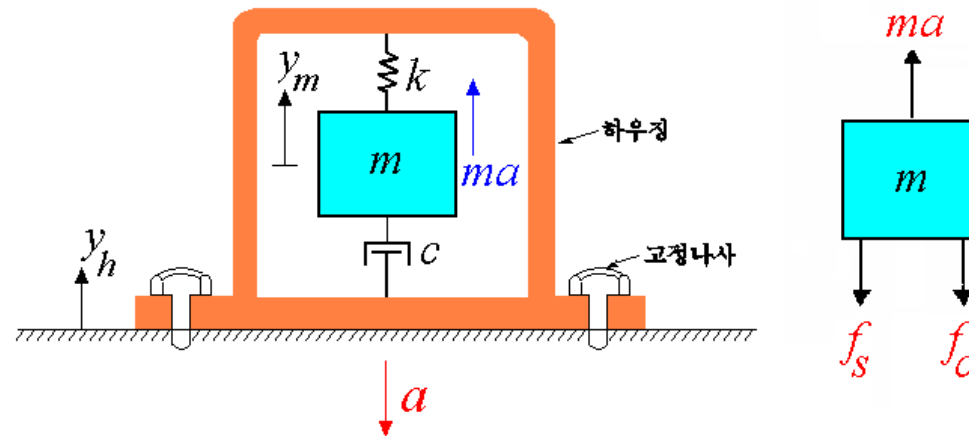
- 이 시스템에 가속도 a 가 그림의 방향으로 갑자기 인가되면, 질량 m 에 작용하는 힘은 더 이상 평형상태에 있지 않고, 질량은 지지대(케이스)에 상대적으로 운동한다. 즉, 속도 \dot{y}_r 와 가속도 \ddot{y}_r 는 더 이상 0 이 아니다.
- 그 결과 불평형 힘은

$$m\ddot{y}_m + c(\dot{y}_m - \dot{y}_h) + k(y_m - y_h) = 0 \quad (5)$$

$$m\ddot{y}_r + c\dot{y}_r + ky_r = -m\ddot{y}_h \quad (6)$$

위 식에서 질량 m 의 가속도 \ddot{y}_r 는 지지대(케이스) 자체의 가속도 a 와 완전히 다름에 유의하라.

- 이 시스템의 동적 거동(질량 m 의 운동)은 미분 방정식 (6)의 해를 구하면 얻어진다.



- 만약 지지대가 $y_h = A \sin \omega t$ (ω : 각주파수) 의 운동을 한다면, 미분 방정식 (6)의 정상상태 해(steady-state solution)는 다음과 같이 된다.

$$y_r = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} A \sin(\omega t - \phi) \quad (7)$$

$$= B \sin(\omega t - \phi)$$

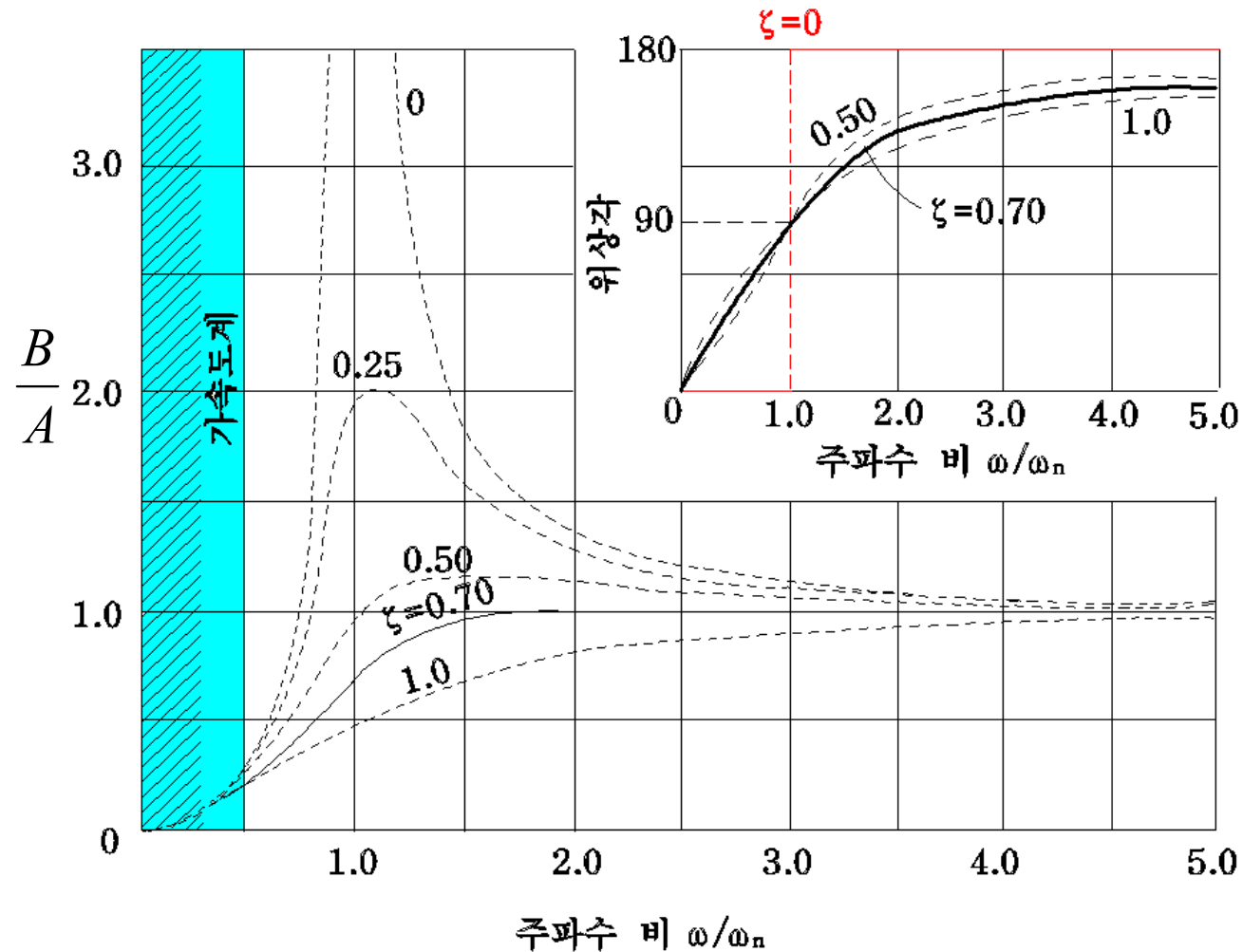
$$B = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 A}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \xrightarrow{\omega_n \gg \omega, \phi \rightarrow 0} \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 A \sin(\omega t - \phi) \quad (8)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} : \text{시스템의 고유 각주파수(natural frequency)} \quad (9)$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} : \text{시스템의 제동비(damping ratio)} \quad (10)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} : \text{위상각} \quad (11)$$

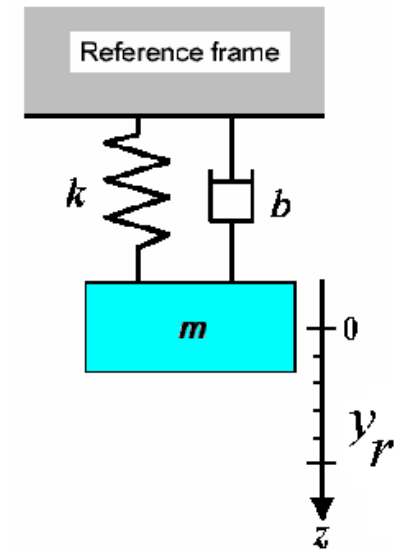
- 식 (7)로 부터, 이 시스템의 특성을 결정하는 중요한 파라미터는 주파수 비 ω/ω_n 와 댐핑계수 ζ 임을 알 수 있다.
- 그림은 조화운동(변위)에 대한 시스템의 응답을 주파수 비(ω/ω_n)의 함수로 나타낸 것이다.



- 센서의 형태는 측정하고자 하는 주파수와 공진주파수의 관계에 의해서 결정된다.
- 만약 $\omega \ll \omega_n$ 이고, $\phi \rightarrow 0$ 이면, 식 (7)은 다음과 같이 된다.

$$y_r \approx \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 A \sin \omega t \approx -\frac{\ddot{y}_h}{\omega_n^2} = -\frac{m}{k} \ddot{y}_h \quad (12)$$

- 질량의 상대적 변위 y_r 은 측정 대상물의 가속도 \ddot{y}_h 에 비례한다. 변위, 속도, 가속도는 각각 다른 양이지만, 결국 질량의 변위 y_r 를 측정하면 얻어진다.
- 가속도에 비례하는 출력을 얻기 위해서는 $\omega \ll \omega_n$ 이어야 하므로, ω_n 이 커야 한다. 그러나, 상대적 변위가 ω_n 에 반비례하므로 감도는 나빠진다.
- $\omega \ll \omega_n$ 으로 하기 위해서는 식 (9)에 따라 스프링 정수 k 가 크고, 질량 m 이 매우 작아야 된다.



$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

• 가속도 센서의 종류

- 가속도 센서에는 질량 m 의 변위를 검출하는 방식에 따라 여러 종류가 있다
 - 압전기형 (piezoelectric accelerometer),
 - 스트레인 게이지형 (strain gauge type accelerometer),
 - 압저항형 (piezoresistive accelerometer),
 - 정전용량형 (capacitive accelerometer)
- 가속도 센서는 크게 1개의 검출소자로 1방향의 가속도(1축 가속도)를 검출하는 1축형 가속도 센서와, 1개의 검출소자로 가속도의 3축 성분(a_x , a_y , a_z)을 검출할 수 있는 3축형 가속도 센서로 대별할 수 있다.

11.4 압전형 가속도계

• 압전소자

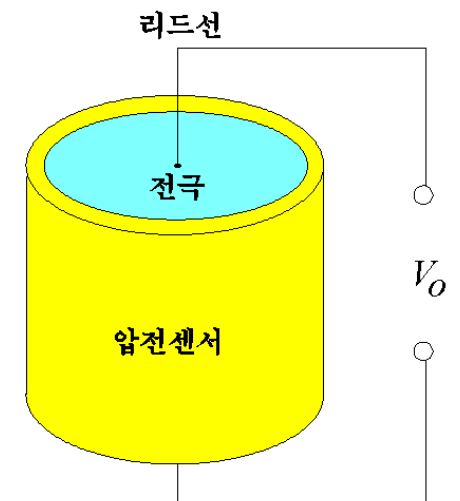
- 9.4절에서 설명한 바와 같이, 수정이나 산화바륨(BaTiO_3) 등과 같은 압전결정에 힘을 가하면, 내부에서 전기 분극이 발생하여 결정 표면에 전하가 나타난다. 또 역으로, 전계를 가하면 결정이 기계적 변형을 일으킨다. 이때 기계적 변형의 방향은 인가 전계의 방향(인가전압의 극성)에 의존한다.
- 그림의 압전소자(piezoelectric component)에 힘을 인가하면 전하가 발생하는데, 두 양 사이의 관계는

$$q = d_{ij}F = d_{ij}ma \quad (d_{ij}: \text{물질의 압전계수})$$

- 위 식에서 발생된 전하는 압전소자에 인가된 힘, 즉 가속도에 비례한다.
- 압전소자의 정전용량을 C 라고 하면, 출력전압은

$$V_o = \frac{q}{C} = d_{ij} \frac{F}{C}$$

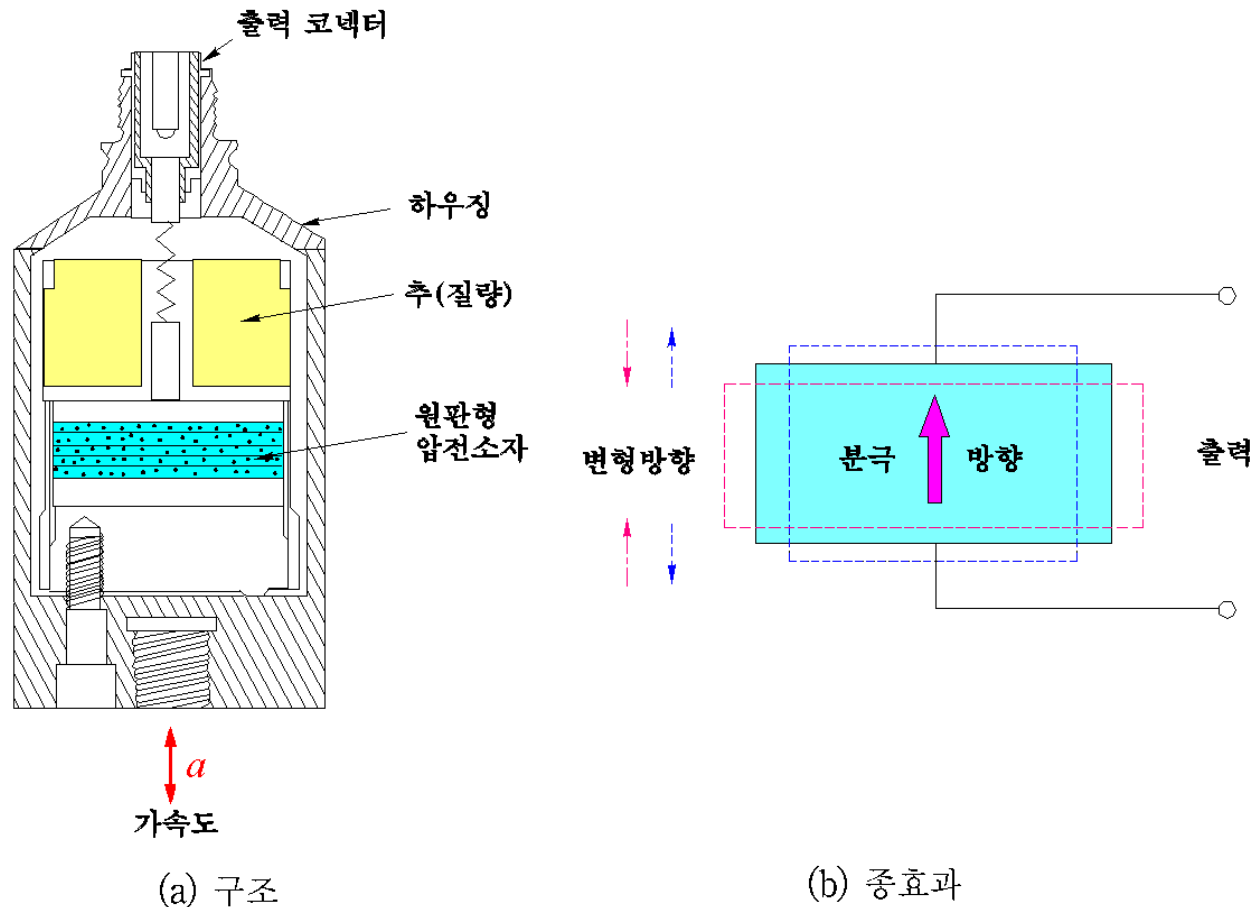
- 위 식에서 알 수 있듯이, 압전 소자의 출력은 그것의 기계적 특성(d_{ij})에 의존한다.



● 압축형 가속도계

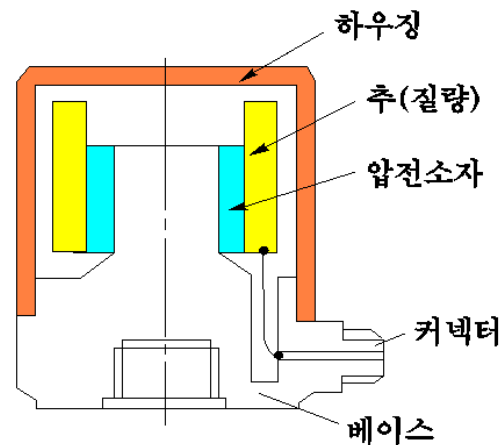
- 압축형(壓縮型; compression type)은 평판 또는 원판 모양의 압전소자를 베이스와 추(錘) 사이에 고정시킨 구조이며, 압전현상의 종효과를 이용한다.
- 구조가 간단하고 기계적 강도도 커서 큰 가속도 및 충격 계측에 적합하다.

- 그러나 분극방향과 출력 방향이 일치하므로 순간적인 온도변화에 의한 출력(이것을 초전기(焦電氣) 출력이라고 하며, 1[Hz] 이하의 성분을 가진다.)이 발생하기 때문에 낮은 진동수, 미소레벨의 진동 계측에는 부적합하다.

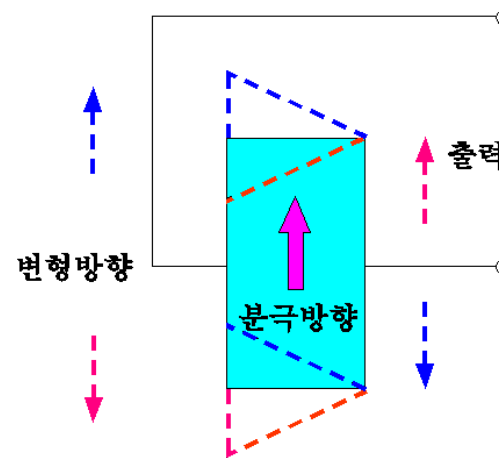


• 전단형 가속도계

- 전단형(剪斷型; shear stress type) 가속도계의 구조에서는 평판 또는 원통 모양의 압전소자를 사용하여 한쪽의 전극 면에는 무거운 추를, 다른 전극은 베이스에 고정시켜 압전소자에 전단이 발생하도록 한다.
- 그림(b)와 같이 압전소자의 분극방향과 출력방향이 직교하기 때문에 온도변화에 의한 출력이 작아진다.
- 또, 압전계수가 압축형보다 약 1.5배 크기 때문에 감도를 크게 할 수 있다.
- 전단형 가속도계는 일반 기계 진동은 물론 구조물, 지반, 지진 등의 낮은 진동수 계측, 잡음이 작기 때문에 미소 레벨 계측에 적합하다.



(a) 구조

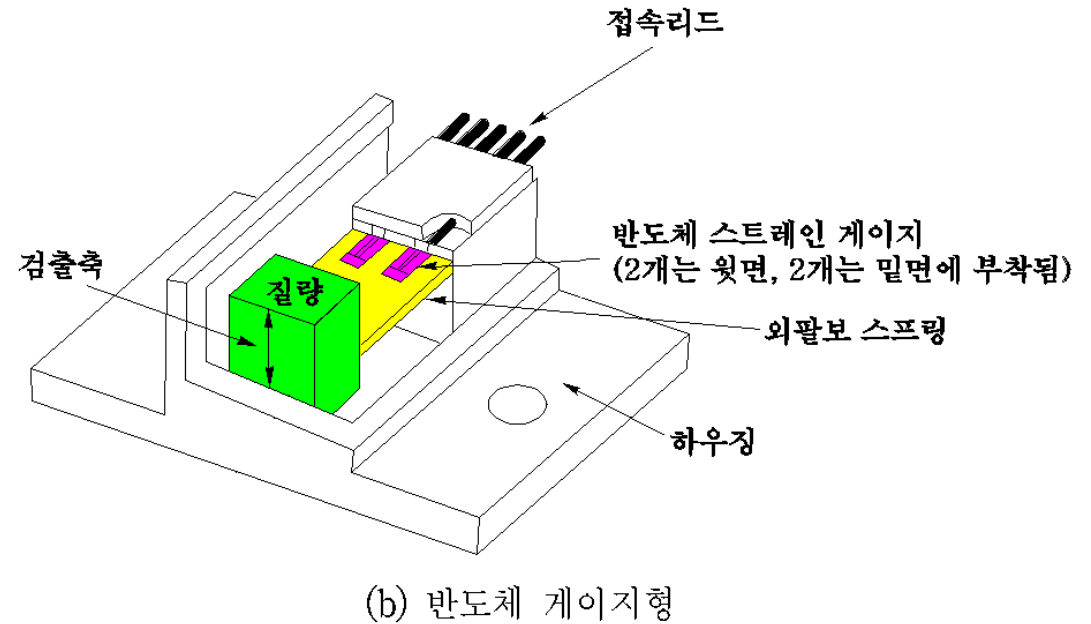
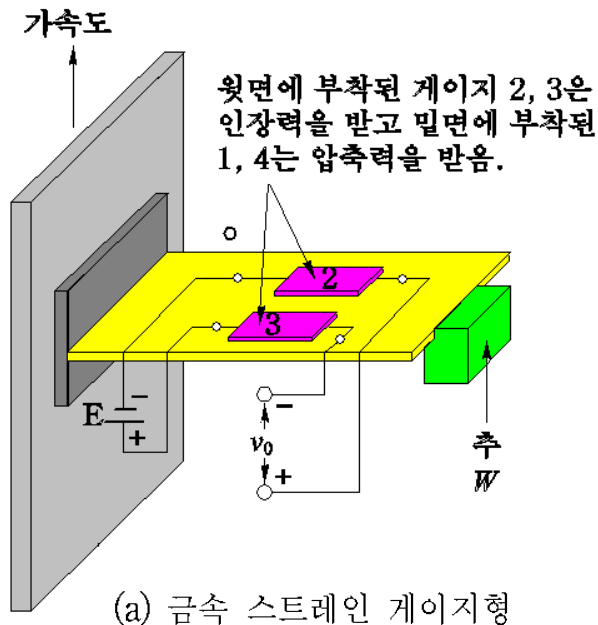


(b) 분극 방향과 출력 방향

- 압전형 가속도 센서는 구조가 간단하므로 소형, 경량이라는 특징이 있고 진동 해석에서 가속도 픽업으로 사용되고 있다. 또, 에어백 시스템용의 충돌 검출 센서에 사용되고 있다.
- 압전형 가속도 센서는 임피던스가 높고, 초전효과를 가지며, 정적인 가속도를 검출할 수 없다는 결점이 있으므로 취급상 주의할 필요가 있다.

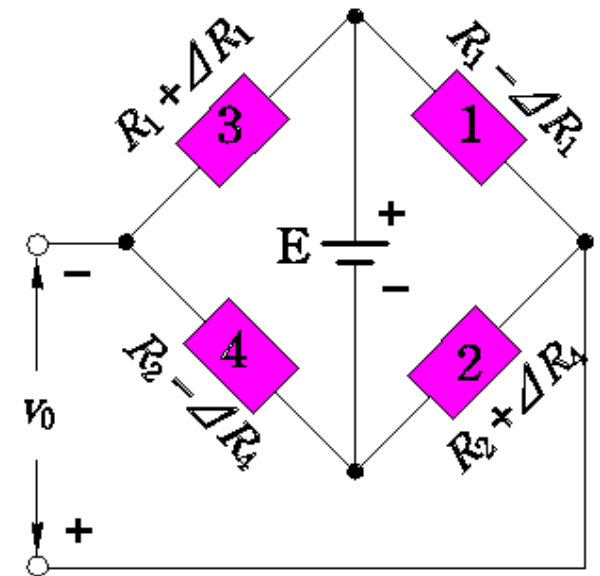
11.5 스트레인 게이지형 가속도계

- 스트레인 게이지형 가속도센서(strain gage accelerometer)에는 금속 게이지를 사용한 것과, 압저항 효과를 갖는 반도체 게이지를 사용한 것이 있다.
- 모두 그림과 같이 스프링과 추로 구성되며, 스프링에 4개의 게이지가 부착된다.
- 감도축 방향으로 진동이 있으면 스프링은 진동에 따라 변위하고, 스프링에 변형이 발생한다. 이 변형을 스트레인 게이지의 저항치 변화로 검출한다.
- 외함 속에는 제동(damping)을 위해 적당한 점도를 갖는 실리콘 유를 봉입함.



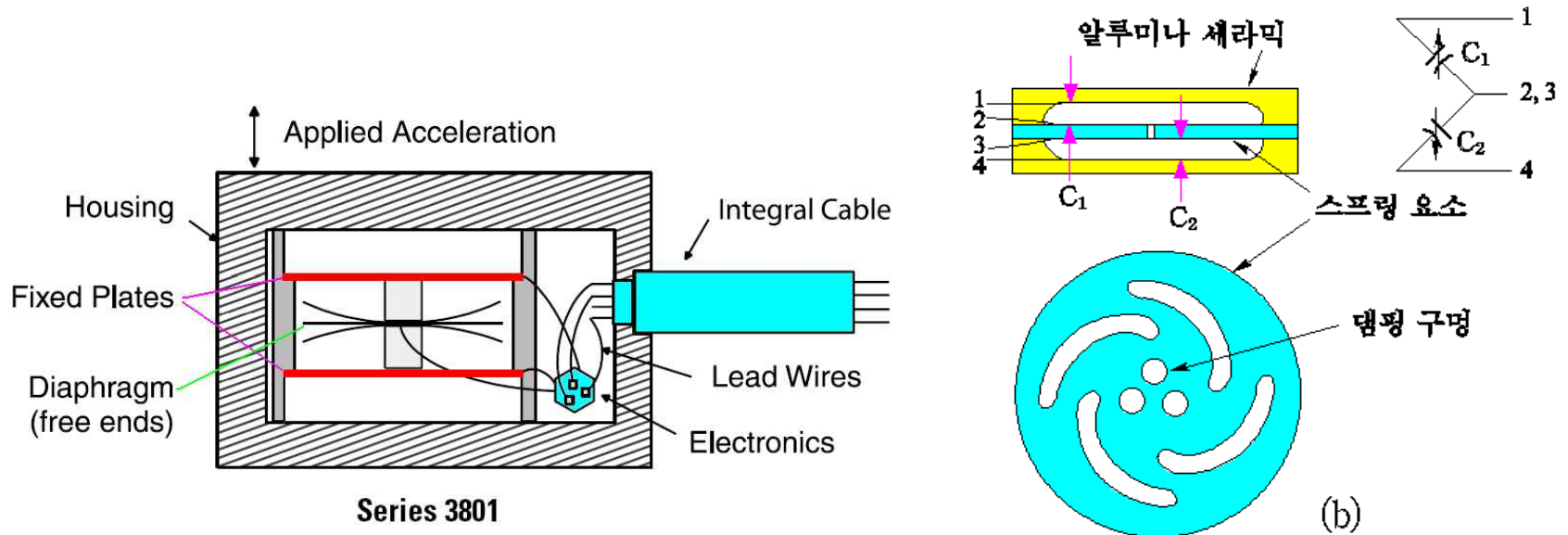
- 그림은 측정회로를 나타낸 것으로, 4개의 스트레인 게이지를 휘트스톤 브리지로 조합해서 변형에 비례하는 저항치의 변화를 전압의 변화로 출력한다.
- 출력 전압은 수 mV로 작아서 증폭기를 필요로 한다.
- 금속 스트레인 게이지를 사용한 가속도계의 측정범위는 $\pm 2 \sim 1,000g$, 비직선성은 0.5~1%, 분해능은 0.1% 정도 이다.
- 실리콘 유의 댐핑 비(damping ratio)는 0.6~0.7이며, 진폭의 편차를 $\pm 5\%$ 로 하면, 응답 주파수 범위는 고유진동수의 약 60%이다.

- 반도체 게이지는 금속 게이지에 비해 게이지율이 수 10~100까지 크기 때문에 감도를 크게 할 수 있다. 또, 금속 게이지의 저항 값은 증가하는 방향(정방향)으로만 변화하지만, 반도체 게이지의 저항값은 증가(正)와 감소(負)하는 방향으로도 가능하므로 능동소자만으로 브리지를 구성할 수 있다. 또 소형 경량화가 가능하여 압전형과 거의 같은 정도로까지 작게 할 수 있다.



11.6 정전용량형 가속도계

- 정전용량형 가속도계(capacitive accelerometer) 구조
 - > 정전용량형 가속도 센서의 검출부를 구성하는 전극부는 보통 기계부품 (금속판)으로 구성되는 형식과, 실리콘 마이크로머시닝기술 (micromachining)로 만드는 형식 등의 2가지가 있다.
 - > 그림에서 둘 다 두 개의 고정전극과, 그 사이에 샌드위치된 가동전극으로 구성된다.
 - > 가동전극은 질량과 스프링의 역할을 한다. 가동 전극판이 가속도를 받으면 변위를 일으켜 전극 사이의 거리가 변하므로 가동전극과 두 고정전극 간의 정전용량이 변화한다.



- 정전용량형 가속도 센서는 이러한 정전용량의 변화를 이용하여 가속도를 검출하는 것이다. 두 정전용량은 브리지 회로로 접속된다.
- 정전용량 값은 수십F에서 수 pF로 작아서 신호처리회로를 검출부 가까이 에 둘 필요가 있다.
- 검출부 자체만으로는 잡음이 존재하므로 사용할 수 없고, 일반적으로 시판되고 있는 정전용량형 가속도 센서는 신호처리회로가 내장되어 있다.
- 정전용량형 가속도 센서 모두 정적인 가속도의 검출이 가능하고 정도가 우수하다. 앞으로도 발전이 기대되는 가속도 센서이며 충돌 검출용 센서로 많이 사용된다.

11.7 LVDT형 가속도계

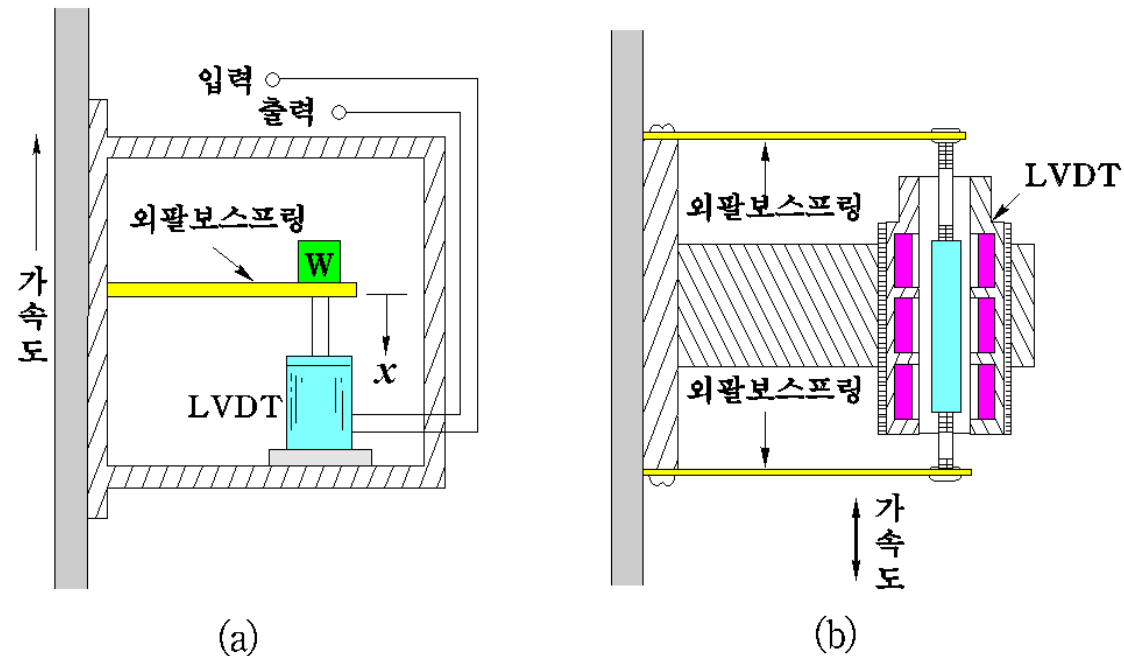
- 질량의 변위를 LVDT 사용해 검출하는 가속도계의 구조를 나타낸다.
- 그림 (a)와 같이 위로 향하는 가속도를 받으면, 질량(W/g)에 의해서 아래로 작용하는 힘이 발생하여 외팔보 스프링(cantilever spring)은 아래로 x만큼 변위한다. 이것은 위로 향하는 힘 kx (복원력)를 발생시킨다.
- 그림 (b)의 가속도계에서는 LVDT의 철심(core) 자체가 질량으로 작용한다
- 두 힘이 평형된 상태에서

$$ma = \frac{W}{g} a = kx$$

- LVDT의 출력을 $V_o = k_L x$ 라고 하면, 가속도는

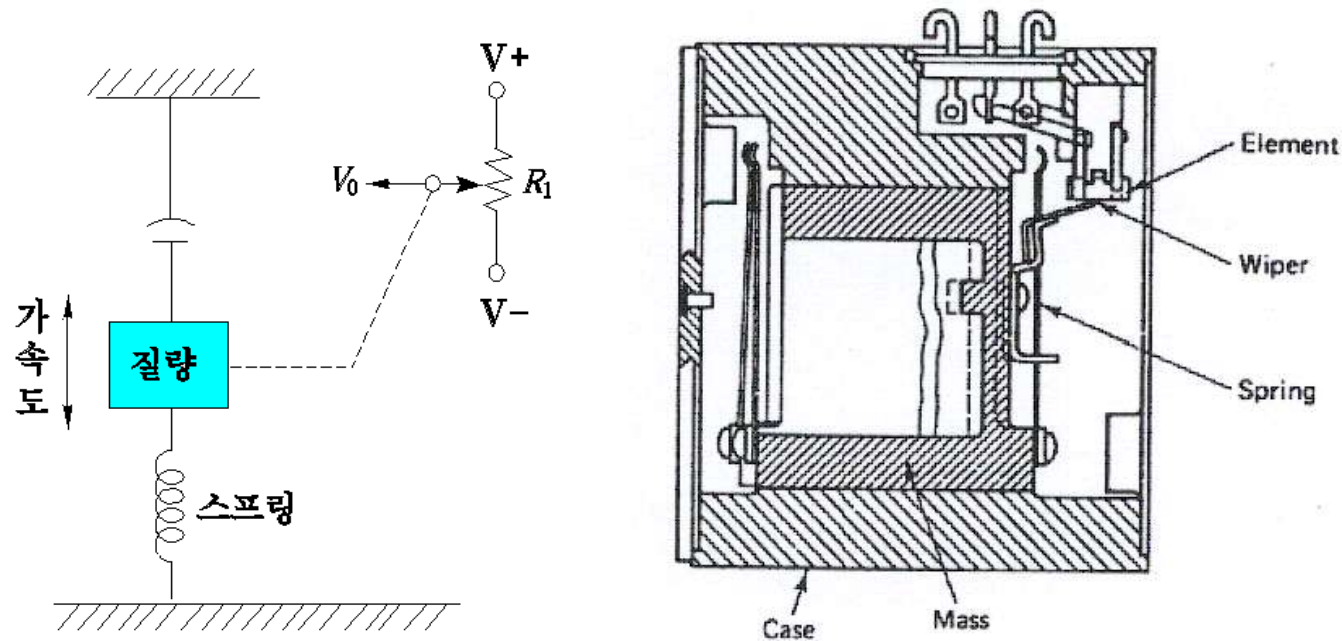
$$\frac{a}{g} = \frac{k}{W} x = \frac{k}{Wk_L} V_o$$

- 따라서, 측정하고자 하는 가속도는 LVDT의 출력전압에 비례한다.



11.8 전위차계형 가속도계

- 그림은 질량의 변위를 측정하는데 전위차계를 이용한 가속도계이다.
- 질량이 정지하면 전위차계의 와이퍼는 중앙 위치에 정지하여 출력전압은 0으로 된다.
- 인가된 가속도에 의해서 질량이 위로 이동하면 출력은 $+V_o$ 로 되고, 아래로 이동하면 $-V_o$ 로 된다.
- 전위차계의 저항 범위는 $1000 \sim 10,000 \Omega$ 이다.



- 전위차계식 가속도계의 특성

- > 측정범위는 $\pm 1g \sim \pm 50g$ 이고,
- > 고유진동수는 100 Hz 이하이다.
- > 출력이 크고, 비교적 **저가**라는 장점이 있으나, 전위차계의 관성과 마찰력을 극복하기 위해서 질량을 크게 할 필요가 있기 때문에 사용주파수가 100 Hz 이하로 낮다. 따라서 **천천히 변하는 정상상태의 가속도 측정에** 사용된다.

11.9 서보형 가속도계

- 서보형 가속도계(servo accelerometer)는 암페어의 법칙(Ampere's law)에 기본을 두고 있다.
- 자계 내에 놓여있는 도체에 전류가 흐르면, 도체에는 다음 식으로 주어지는 작용하는 힘이 작용한다.

$$F_m = ILB \sin \theta$$

I : 도선에 흐르는 전류

L : 도선의 길이

B : 자속밀도

θ : 도체와 자속이 이루는 각

- 서보형 가속도계의 일 예

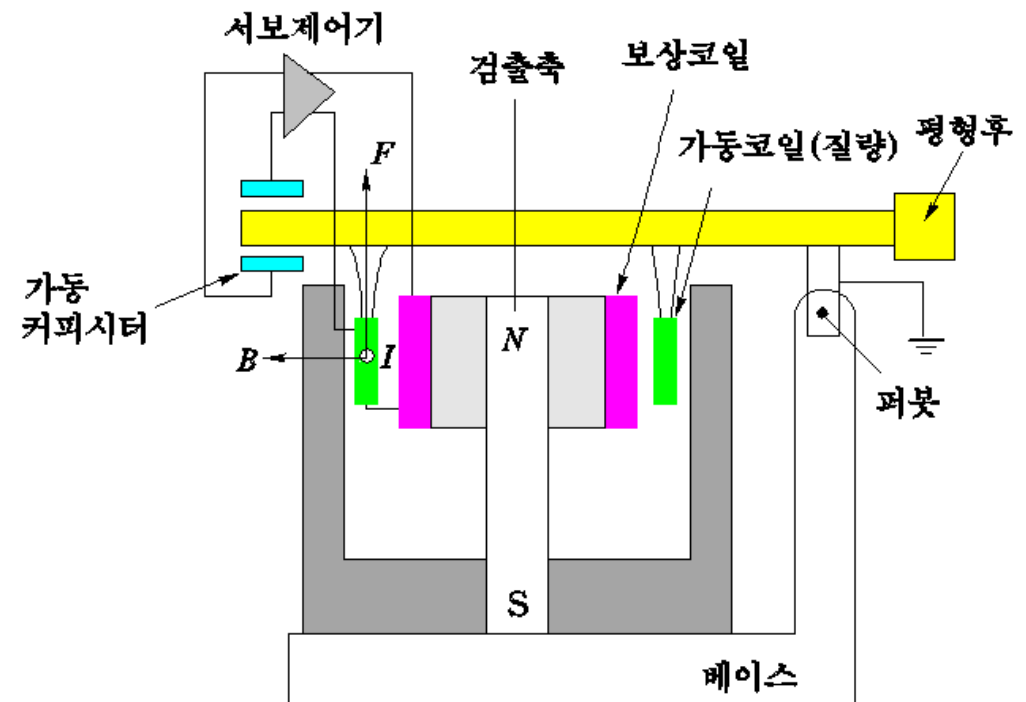
- > 귀환(feedback)에 원리를 두고 있다.
- > 질량에 가속도가 가해지면, 질량이 평형위치로부터 벗어난다.
- > 변위를 변위센서로 검출해서, 서보 증폭기를 통해서 구동부에 전류를 흘리고 변위에 비례하는 복원력을 발생시켜 질량을 평형위치로 복귀시킨다.
- > 지금, 아래로 향하는 가속도가 작용한다고 가정하자. 암페어의 법칙에 의해서, 코일이 경험하는 힘은

$$F = ma = ILB$$

- > 위 식으로부터 전류는

$$I = \frac{ma}{LB}$$

- > 복원력을 발생시킨 전류는 가속도에 비례하기 때문에 서보 증폭기로부터 구동부로 흐르는 전류를 측정함으로써 가속도를 측정할 수 있다.



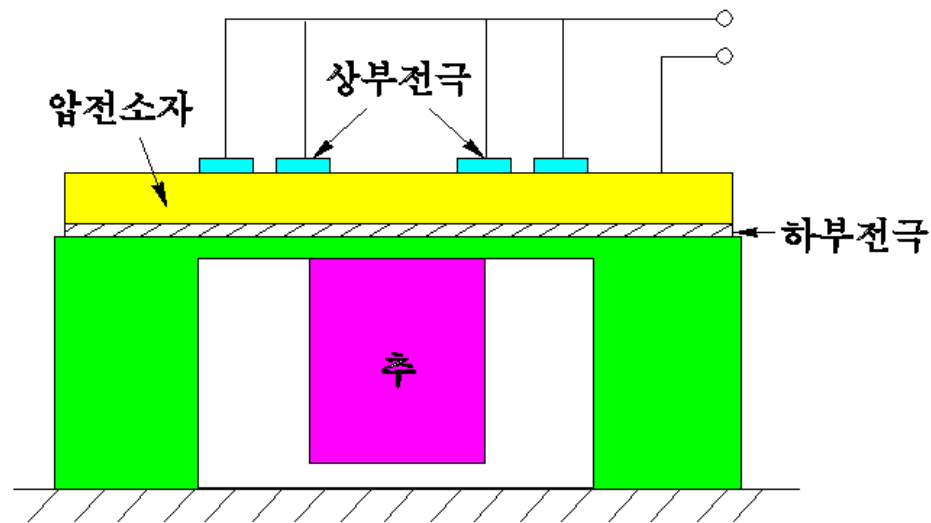
- 이 방식의 가속도 센서에서는 시스템이 외부 자계의 영향을 받지 않도록 자기자폐를 하여야 한다.
- 서보형 가속도계의 대표적인 성능은 감도 $0.1[V/m/s^2]$, 진동수 범위 $0 \sim$ 수백 Hz, 측정 레벨 범위 $10^{-6} \sim 10^2$ m/s (미소 가속도 측정에 적합) 이다.

11.11 3축 가속도 센서

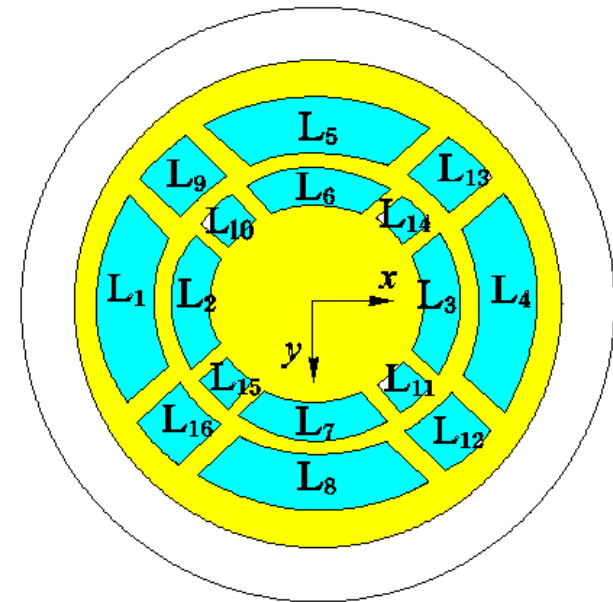
- 3축 가속도 센서는 1개의 검출소자로 가속도 A 의 3축 성분(A_x, A_y, A_z)을 검출할 수 있는 것으로, 최근에 개발된 새로운 형태의 가속도 센서이다.
- 3축 가속도 센서의 종류
 - > 압전형
 - > 압저항형
 - > 정전용량형

■ 압전형 가속도계

- 압전형 3축 가속도 센서는 압전 세라믹스(3장)를 사용하여 가속도의 3축 성분을 검출한다.
- 압전형 3축 가속도 센서의 구조
 - > 다이어프램 위에는 압전 세라믹이 형성되고, 아래는 가속도에 의해 압전 소자가 변형할 수 있도록 추(錘)가 접합되어 있다.
 - > 압전소자의 표면에는 그림(b)와 같은 전극 패턴이 형성된다.



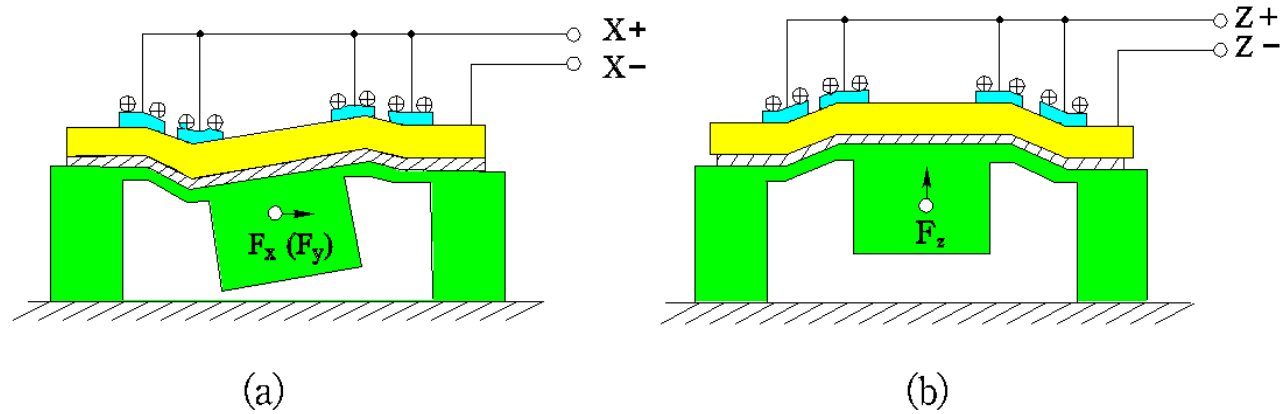
(a) 단면도



(b) 전극 패턴

- 압전형 3축 가속도 센서의 동작

- > X, Y, Z 방향의 가속도가 작용했을 때 압전소자는 그림과 같이 변위하여 각 전극에는 표에 보인 바와 같은 전하가 발생한다.
- > 표에 보인 각 전극끼리 각각의 축에 연결함으로써 3축 가속도 성분 (A_x , A_y , A_z)이 검출된다.
- > 각축의 가속도는 차동으로 검출되므로 피로 효과의 영향을 받지 않으며 온도 변화에 대해서 안정하다.

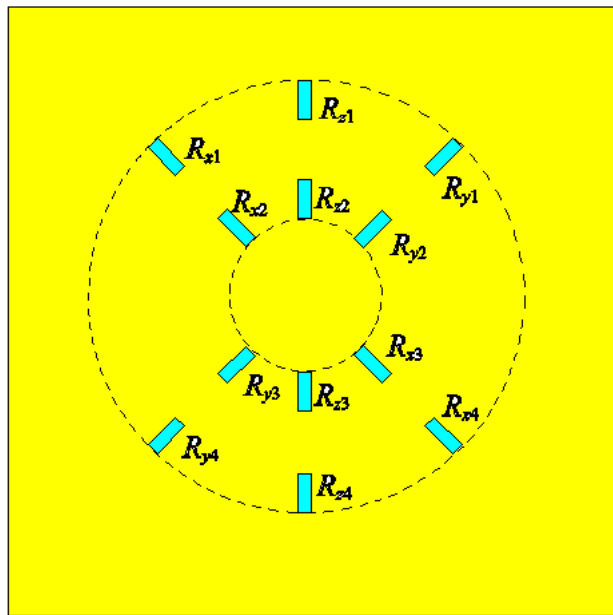


각 가속도에 의한 정·부전하의 발생

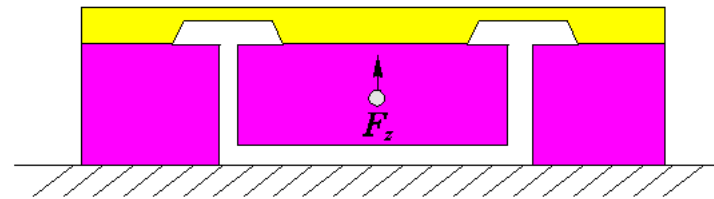
	X축 검출				Y축 검출				Z축 검출							
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}
A_x	+	+	+	+	0	0	0	0	+	-	+	-	-	+	-	-
A_y	0	0	0	0	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-
A_z	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

■ 압저항형 가속도계

- 압저항형 3축 가속도 센서는 압저항형 1축 가속도 센서와 마찬가지로 반도체 기술과 마이크로머시닝 기술(micromachining)을 이용하여 만든다.
- 압전형 3축 가속도 센서의 구조
 - 기판 표면에는 3축의 가속도 성분을 검출하기 위한 3조의 압저항 소자가 형성되어 있다.
 - 이면에는 환상의 다이어프램이 형성되고, 중앙부와 주변부에는 각각 추와 지지대가 접합(bonding)된다

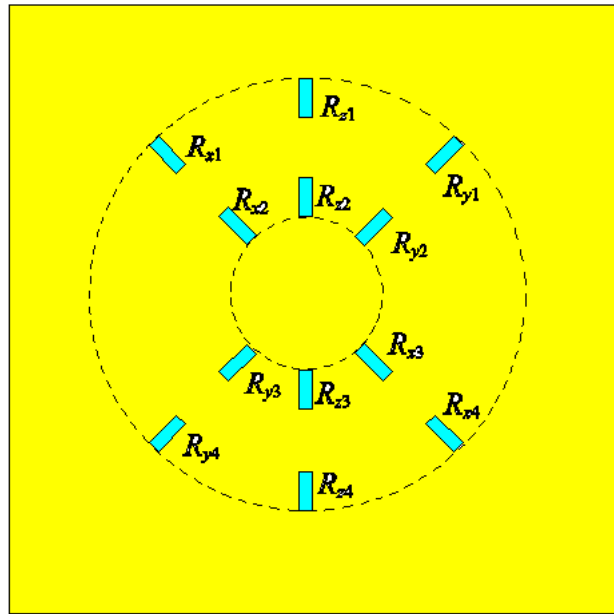


(a) 게이지 저항 배치도

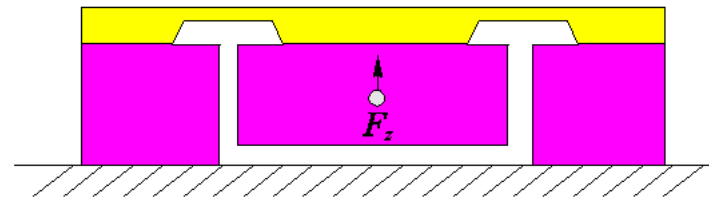


(b) 단면도

- 추와 지지대를 1장의 유리 기판에 만들어 놓고 이 유리기판을 실리콘 기판의 다이어프램 면에 접합한 후 유리기판을 절단함으로써 추와 지지대가 분리된다. 이러한 조립방식에 따라서 일괄 처리와 제조공정의 자동화가 가능하다.



(a) 게이지 저항 배치도



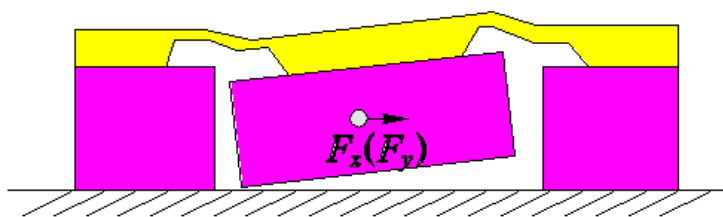
(b) 단면도

- 압저항형 3축 가속도 센서의 동작

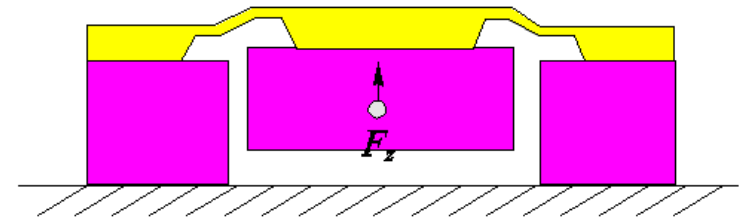
- > 추에 x (또는 y) 방향의 가속도가 작용하면 다이어프램은 그림 (a)과 같이 변위되고, Z 축 방향으로 작용하면 그림(b)와 같이 변위한다.
- > 이 때 실리콘 기판 위에 형성된 압저항 소자는 표와 같이 변화한다.
- > 표에서 "+"는 저항 값의 증가, "-"는 감소, "0"는 변화가 없음을 나타낸다.
- > 이러한 압저항 소자를 그림과 같은 브리지 회로로 결선함으로써 각 축의 가속도를 구할 수 있다.

각 축 가속도에 의한 압저항 소자의 저항변화

	X축 검출				Y축 검출				Z축 검출			
	R_{X1}	R_{X2}	R_{X3}	R_{X4}	R_{Y1}	R_{Y2}	R_{Y3}	R_{Y4}	R_{Z1}	R_{Z2}	R_{Z3}	R_{Z4}
A_x	+	-	+	-	0	0	0	0	+	-	+	-
A_y	0	0	0	0	+	-	+	-	+	-	+	-
A_z	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-



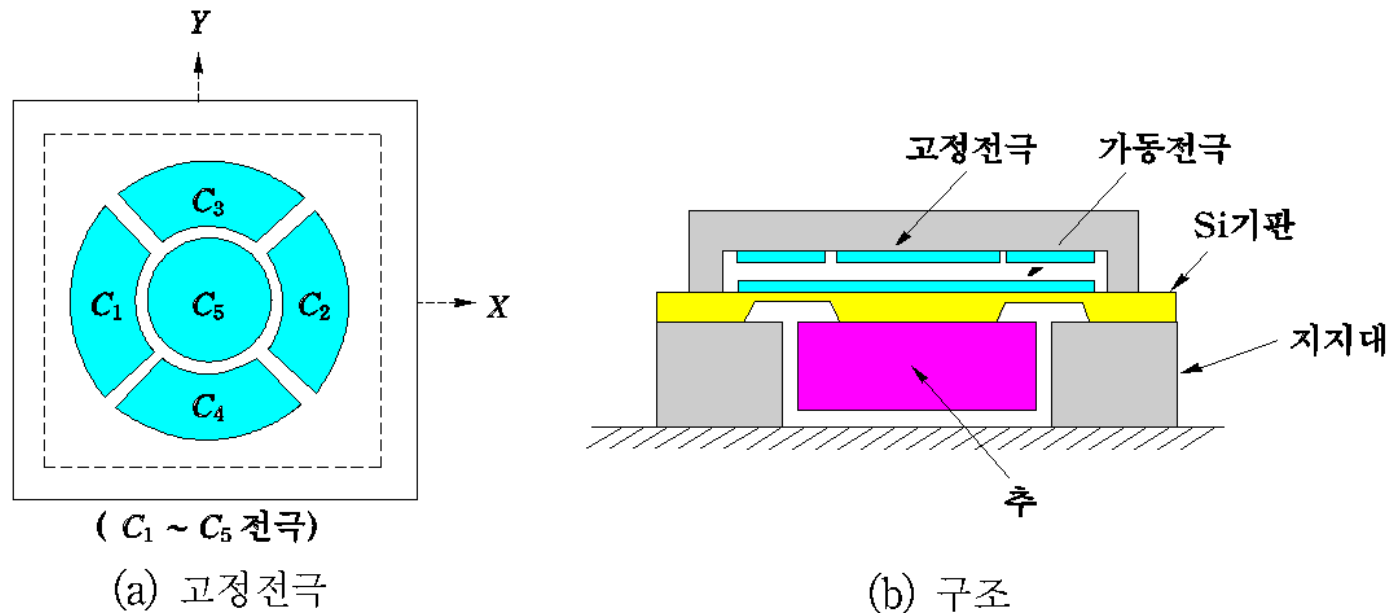
(a) X(Y)축 가속도에서 다이어프램의 변위



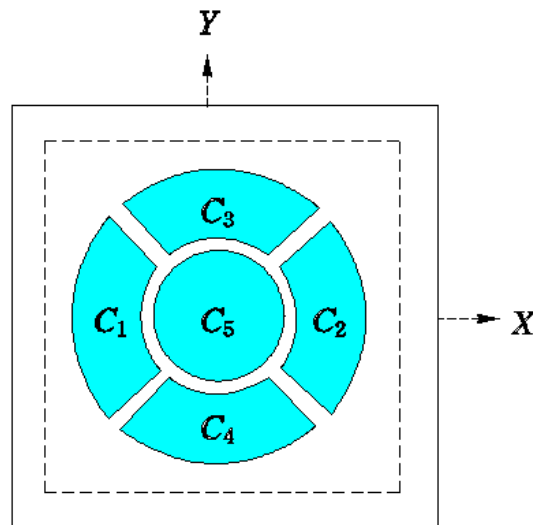
(b) Z축 가속도에서 다이어프램의 변위

■ 정전용량형 가속도계

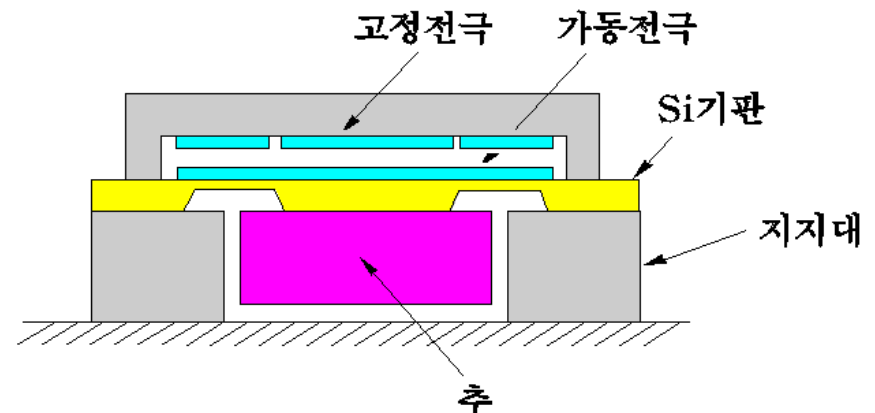
- 정전용량형 3축 가속도 센서의 구조
 - > 정전용량형 3축 가속도 센서도 전술의 압저항형 3축 가속도 센서와 마찬가지로 **반도체 기술과 마이크로머시닝기술**을 이용하여 만든다.
 - > 고정기판(유리기판) 표면에는 그림(a)와 같이 3축의 가속도 성분을 검출하기 위한 **5개의 전극**이 형성되고, 그것과 마주보는 **실리콘 기판 표면에 1개의 전극**이 형성되어 **5개의 커패시터**가 만들어진다.



- > 실리콘 기판의 이면에는 원형의 다이어프램이 형성되고 중앙과 주변에는 각각 추와 지지대가 접속된다. 추와 지지대도 각각 1장의 유리기판으로 되어 있고 유리기판을 실리콘 웨이퍼의 다이어프램에 접합 한 후 유리기판을 절단함으로써 추와 지지대가 분리된다. 이 조립 방법에 따라서 일괄처리와 제조공정의 자동화가 가능하다.



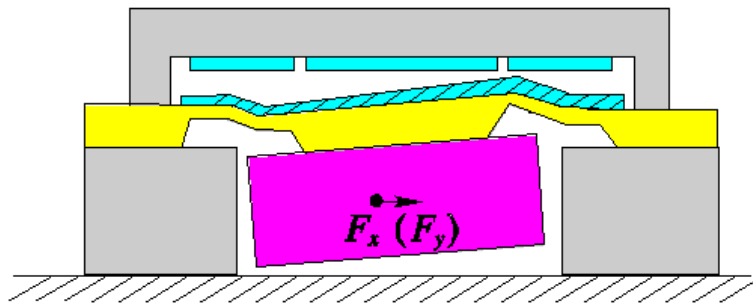
(C₁ ~ C₅ 전극)
(a) 고정전극



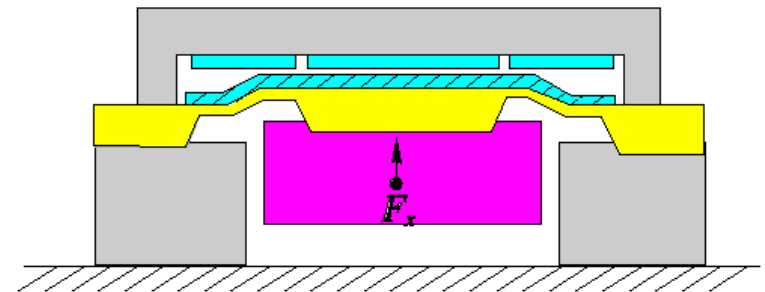
(b) 구조

- 정전용량형 3축 가속도 센서의 동작

- > 추에 x (또는 y) 방향의 가속도가 작용하면 다이어프램은 그림(a)와 같이 되고 Z 축 방향은 그림(b)와 같이 변위한다.
- > 이 때 실리콘 기판과 고정기판 사이에 형성된 정전용량은 표와 같이 변화한다. (다음 페이지)
- > 표에서 "+"는 정전용량의 증가, "-"는 감소, "0"는 변화가 없음을 나타내고 있다.
- > 이러한 정전용량을 그림과 같은 회로에 접속함으로써 각 축의 가속도를 구할 수 있다.



(a) X(Y)축 가속도

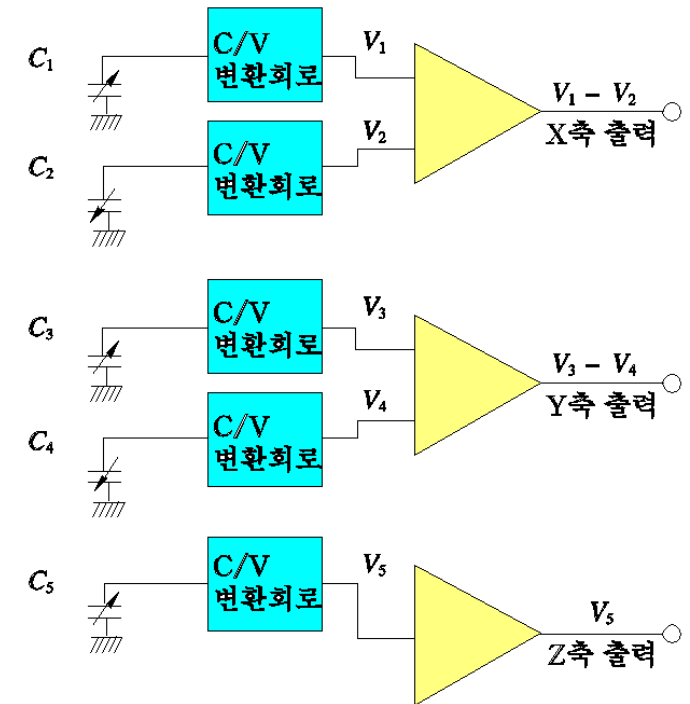


(b) Z축 가속도

- > 이러한 정전용량을 그림과 같은 회로에 접속함으로써 각 축의 가속도를 구할 수 있다.
- > 정전용량형 3축 가속도 센서는 전술한 압저항형 3축 가속도 센서와 거의 같은 성능을 가지며 대량생산이 가능하고 저가, 소형, 고신뢰성이라는 특징을 갖고 있다. 특히 온도특성과 분해능이 우수하다.

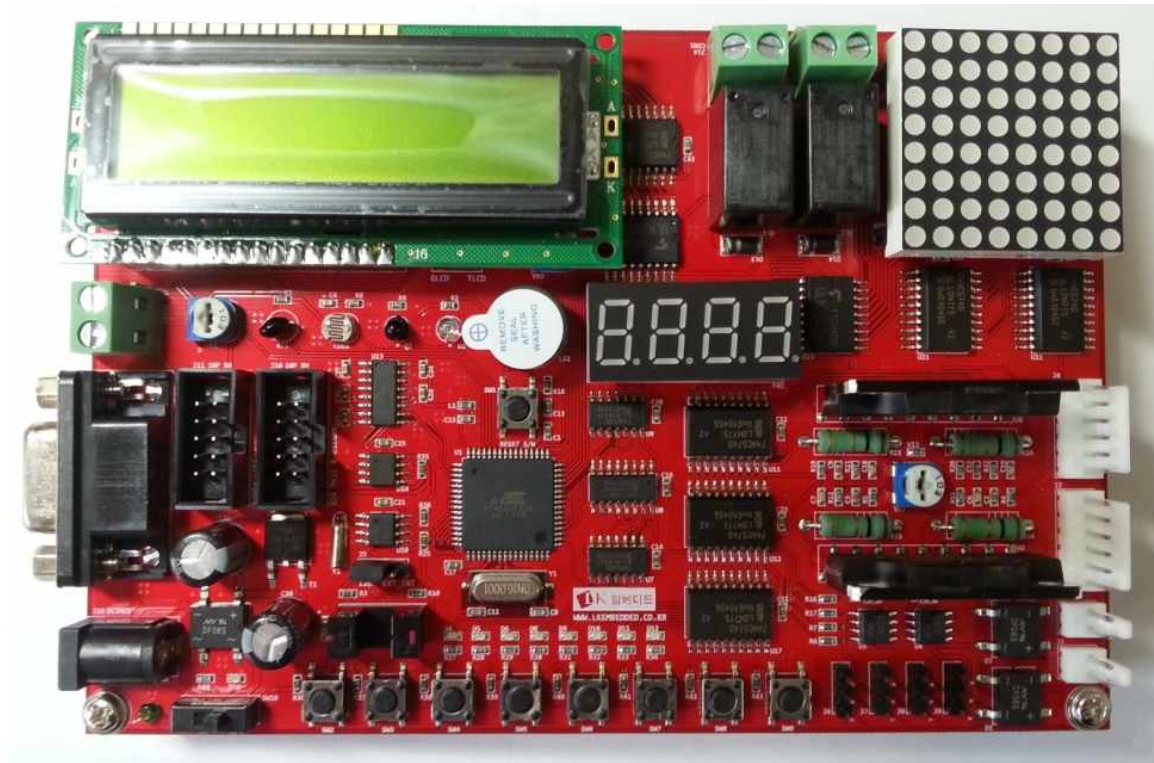
정전용량의 변화와 각 축 검출

	X축 가속도 검출		Y축 가속도 검출		Z축 가속도 검출
	C_1	C_2	C_3	C_5	C_5
A_x	+	-	0	0	0
A_y	0	0	+	-	0
A_z	+	+	+	+	+



정전용량형 3축 가속도 센서의 회로구성

Sensor System Design



- 센서시스템 발표 및 평가

1. 주제 - 주제의 창의성 여부
2. 구현 - 구현의 완성도/오동작 여부(보드의 오동작을 얼마나 줄이고 피해갔는지)
3. 태도 - 중간고사 이후 팀워크(상시평가 반영)
4. PPT - 발표자료의 구성 및 완성도, 성의에 대한 부분도 함께 평가
5. 발표시간 - 최소발표 시간 10분 명시

평가항목	발표자	주제 (20%)	구현 (20%)	태도 (10%)	PPT (15%)	발표시간 (15%)	프로그램 (20%)
1조							
2조							
3조							
4조							
5조							
6조							
7조							
8조							
9조							