



센서의 원리 및 응용

# 압력 센서



한국기술교육대학교  
온라인평생교육원

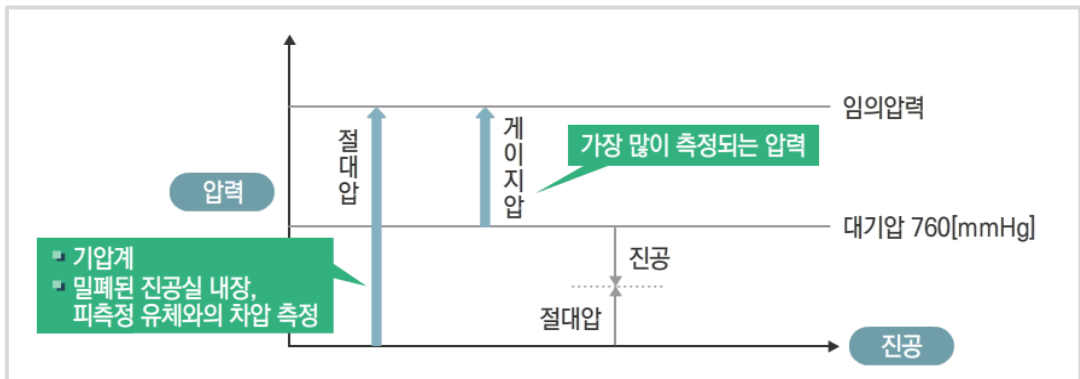
## ■ 압력 센서의 이해

### 1. 압력 센서(Pressure Sensor)란?

- 측정 대상의 압력을 검출하여 전기신호로 변환하여 전송하는 장치 및 소자
- 가장 폭 넓게 사용되는 센서 : 공업계측, 자동제어, 의료, 자동차 엔진제어, 환경제어, 전기용품 등
- 압력 센서는 보다 높은 정밀도와 높은 신뢰도를 가진 형태로 발전 중
  - 가스나 철강 등 대형 연소로를 갖는 산업분야에서 연소 효율 향상을 위한 흡배기 가스나 연료의 유량측정 등의 용도로 사용
  - 첨단 산업분야 등에서 미소량/고정밀 제어계측 기술을 요하는 응용분야에서 폭넓게 사용

### 2. 압력과 압력의 단위

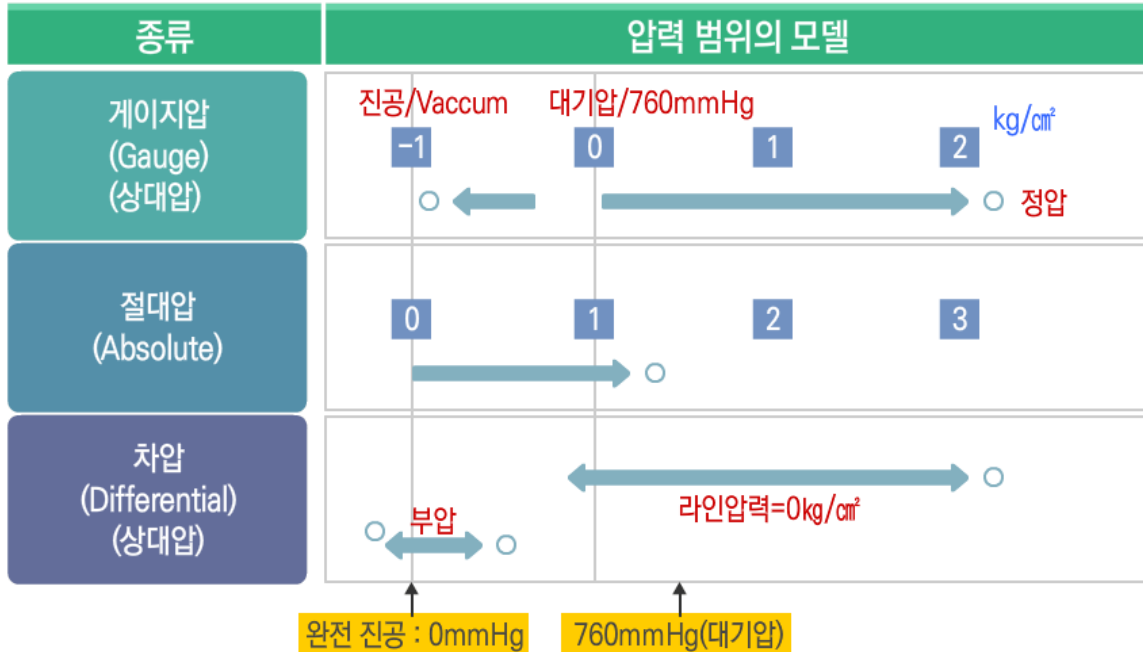
- 압력 : 물질이 인접하는 각 부분에 서로 미치는 힘의 크기를 나타내는 물리량으로 단위 면적당 작용하는 면과 법선 방향의 힘
- 압력의 구분 : 게이지압, 절대압
- 게이지압 : 대기압을 기준(0[mmHg])으로 측정된 압력으로, 일반적으로 가장 많이 측정되는 압력
- 절대압 : 물질이 존재하지 않는 공간, 즉 절대진공, 또는 완전진공(0[mmHg]abs)을 기준으로 측정된 압력
  - 기압계는 절대압 센서
  - 절대압력 센서는 밀폐된 진공실을 내장하고, 피측정 유체와의 차압을 측정



## ■ 압력 센서의 이해

### 2. 압력과 압력의 단위

- 게이지압, 절대압, 차압의 압력범위



### \* 더 알아보기

#### 압력 단위와 환산표

	1kgf/cm²	PSI	mmHg	mmH₂O	kPa	bar	atm
1kgf/cm²	1	14.22	735.6	10	98.07	0.9807	0.9678
1PSI	0.07032	1	51.73	703.2	6.897	0.06897	0.06807
1mmHg	$1.359 \times 10^{-3}$	0.01933	1	13.59	0.1333	$0.1333 \times 10^{-3}$	$0.1316 \times 10^{-3}$
1H₂O	$1 \times 10^{-4}$	$1.422 \times 10^{-3}$	0.07356	1	$9.807 \times 10^{-3}$	$9.807 \times 10^{-5}$	$9.678 \times 10^{-5}$
1kPa	1kPa	0.1450	7.501	102.5	1	0.01	$0.9868 \times 10^{-3}$
1bar	1bar	14.50	750.1	10200	100	1	0.9868
1atm	1atm	14.69	760.0	10330	101.3	1.013	1

1mHg = 1Torr, 1mmH₂O = 1mmAg.

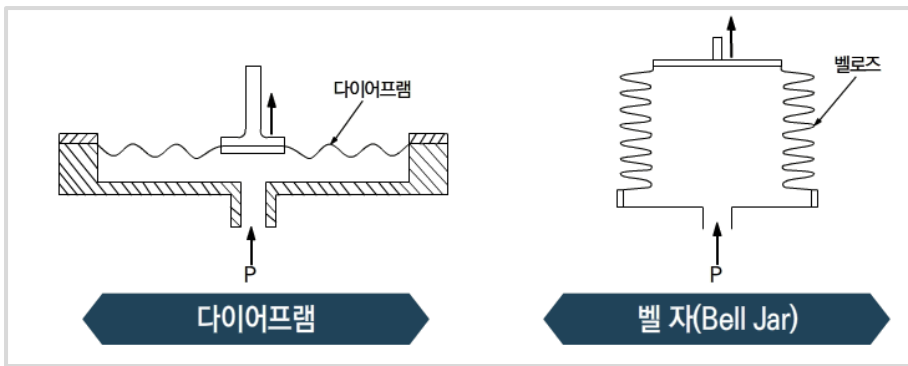
1Pa = 1N/m² (약 1013헥토파스칼  
= 1013mmbar)

## ■ 압력 센서의 이해

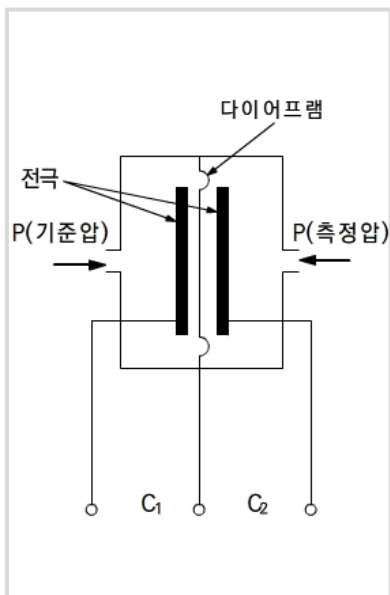
### 3. 원리에 따른 분류

#### 1) 기계식 압력 센서

- 압력 센서(diaphragm) : 원판 측면의 압력차에 비례하여 원판이 변형하고, 그 변위로부터 압력을 측정하는 원리
- 원통의 내부와 외부의 압력차에 의해 주름상자가 신축하여, 그 변위량이 압력차에 비례하는 것으로 측정 압력을 알 수 있음



#### 2) 전기식 압력 센서



- 전기식 압력 센서의 대부분은 기계적인 변위를 전기신호로 변환
- 2개의 물체(전극)간의 정전용량 변화로부터 그 사이의 변위를 측정하는 방법을 이용
- 벨자 혹은 다이어프램의 압력에 의한 변형으로 가동전극을 변위 → 정전용량의 변화를 변환 → 압력을 전기적으로 검출
- 전기식 압력 센서의 종류
  - 다이어프램을 직접 이용하는 경우
  - 판스프링으로 지지대는 이동전극이 연속축으로 다이어프램에 직속되어 있는 경우

## ▣ 압력 센서의 이해

### 3. 원리에 따른 분류

#### 3) 반도체식 압력 센서

- 압력을 왜(歪)응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에서 발생하는 동력을 전기신호로 변환
- 압저항식 : 실리콘의 압저항효과는 p 형과 n 형에 따라 압저항소자의 전도형이나 압저항소자가 형성되는 결정면에 의하여 다르며, 결정방위 의존성이 있음
- 브릿지 구동 방식

#### 정전압 방식

- 압저항계수는 부의 온도 특성을 갖고 있기 때문에, 정전압으로 브릿지를 구동하면 압력에 대한 감도가 부의 온도계수
- 반도체 압력 센서의 신호를 증폭하는 증폭기의 증폭률이 정의 온도계수를 가지게 되는 것으로서 감도의 온도보상<sup>1</sup>

#### 정전류 방식

- 압저항소자의 저항치 자체에 정의 온도의존성이 있기 때문에 압저항 효과의 부의 온도특성과 잘 매칭 (matching) 되는 것으로 감도의 온도보상

## ■ 압력 센서의 이해

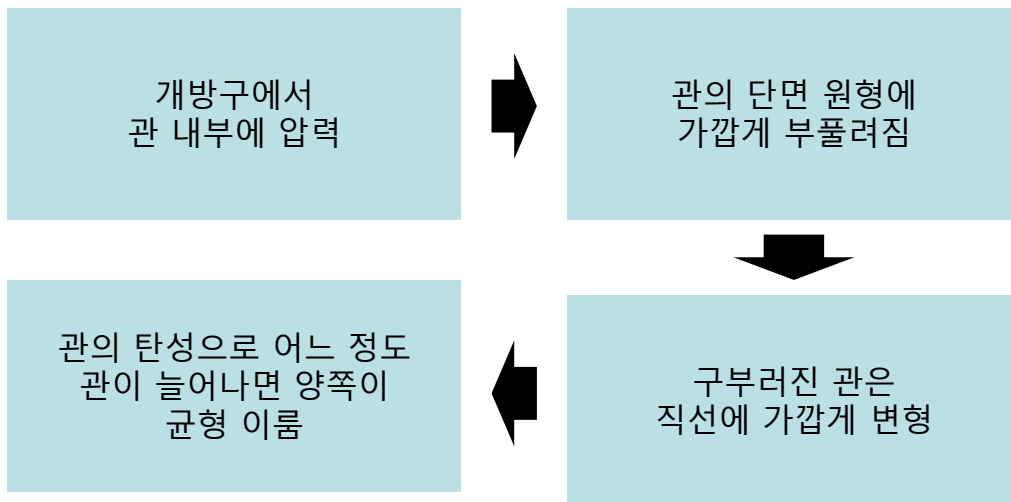
### 4. 신호검출 원리에 따른 분류

변위변환형	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 부하의 하중에 따른 탄성체의 변형을 검출하는 방식</li> <li>종류 : 정전용량식, 변형게이지식, 인덕턴스식, 자기식 등등</li> <li>특징 : 변형게이지식 로드셀이 가장 많이 사용</li> </ul>
물리변환형	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 압전효과나 자왜효과 등 물성치의 변화를 이용하는 방식</li> <li>종류               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 압전효과 - 압전저항식, 압전식</li> <li>- 자왜효과: 자왜식, 마그네셀식</li> </ul> </li> <li>변위변환형에 비해 작은 변위로 큰 출력을 얻을 수 있음</li> </ul>
힘평형형	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 피측정힘에 의해 검출부에 발생하는 변위를 상쇄하는 방향으로 힘을 발생시켜 그 변위가 "0"이 되도록 피측정력과 평행시키는 방식</li> <li>특징 : 발생력에 비례한 신호출력을 얻음</li> </ul>
진동식	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 진동자의 고유진동수가 힘에 의해 변화하는 성질을 이용</li> <li>종류 : 진동자의 형상에 따라 진동현식 및 음차식으로 분류</li> <li>특징 : 출력이 주파수이므로 디지털신호처리 용이, 고분해능</li> </ul>
자이로식	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : Gyro의 세차운동을 이용, 일정속도로 회전하는 로터의 회전벡터에 대해서 수직방향으로 힘이 가해지면, 그 회전벡터의 수직방향으로 새로운 회전력이 발생하며, 이때 발생한 회전각속도를 측정하여 힘의 크기를 구함</li> </ul>

## ■ 압력 센서의 이해

### 5. 검출 특징에 따른 분류

- 1) 부르동 관(Bourdonn tube)
- 단면이 타원형 또는 편평형의 관

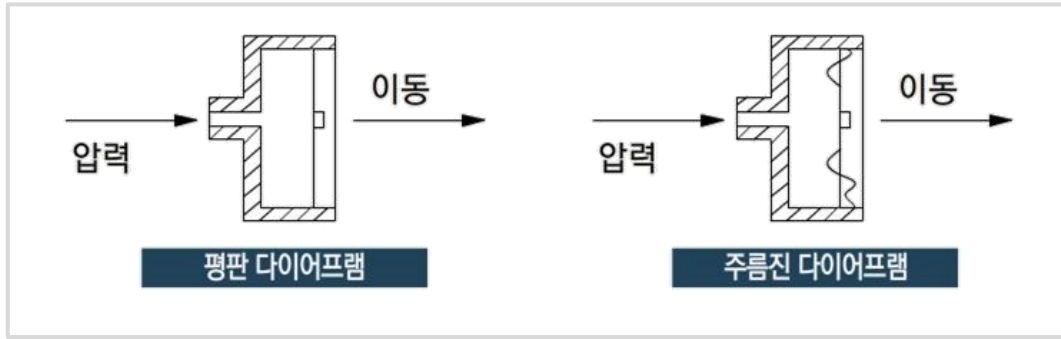


- 늘어난 부르동 관 선단 변위량 : 관내 압력의 크기에 거의 비례
- 압력 검출 범위 :  $0.1 \sim 2000 \text{ kg/cm}^2$
- 특징
  - 큰 압력 구조가 간단하고 미소압력 제작이 어려움
  - 가격이 저렴함

## ▣ 압력 센서의 이해

### 5. 검출 특징에 따른 분류

#### 2) 다이어프램(Diaphragm)



- 압력 검출 범위 : 수 mmH<sub>2</sub>O ~ +kg/cm<sup>2</sup>
- 특징
  - 작은 면적 차지
  - 변위(운동)가 변환소자를 동작시킬 만큼 충분히 큼
  - 부식방지를 위한 다양한 재질 이용 가능
  - 가장 널리 사용

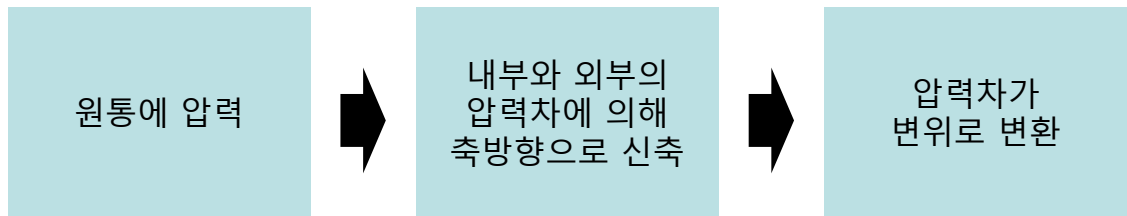
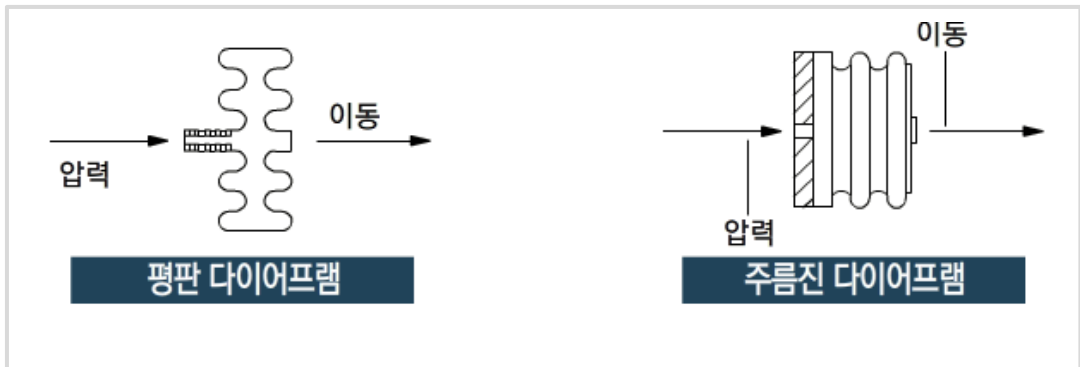


## ▣ 압력 센서의 이해

### 5. 검출 특징에 따른 분류

#### 3) 벨로우즈(Bellows)

- 얇은 금속 재질의 주름 잡힌 원통



- 압력 검출 범위 : 수 mmHg ~ 십수kg/cm<sup>2</sup>
- 특징
  - 변위량이 커 소형화 어려움



센서의 원리 및 응용

# 압력 센서



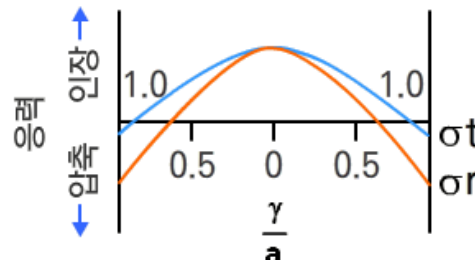
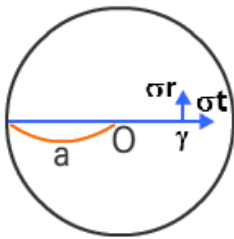
한국기술교육대학교  
온라인평생교육원

## ■ 반도체식 압력 센서와 로드 셀

### 1. 반도체식 압력 센서

- 프로세스 또는 시스템에서 압력을 측정하는 센서
- 미소 압력 : 방범 센서, 풍압 센서, GAS압제어, 기압계
- 저압력 : 전자혈압계, 고도계, 근접SW, 진공 흡착압 측정, 토크 제어, 로봇트 역학 센서, 인장력 제어, 터치SW, FA기기의 압력 센서, 체중계, 토크계, 접촉압 센서
- 중압력 : 자동차 브레이크, 자동차 써스펜션, 유압기기의 압력 센서
- 대압력 : 중량계, 큰토크계, 파괴력, 폭발력 검출
- 피에조 저항효과(Piezoresistive Effect) : 반도체와 같은 물체에 응력을 부하하면 전기저항이 변화하는 원리를 이용

#### 반도체식 압력 센서 검출 방법



$\sigma_t$  : 접선 방향의 응력  
 $\sigma_r$  : 반경 방향의 응력

반도체식 압력 센서는 다이어프램에 정수압을 인가하여  
발생하는 응력을 전기신호로 변환



- 진동자의 고속진동 변화를 검출 하는 방법
- 표면탄성파를 이용한 방법

## ▣ 반도체식 압력 센서와 로드 셀

### 2. 로드 셀

#### 1) 개요

- 로드 셀(load cell) : 외력에 의해 비례적으로 변하는 탄성체와 이를 전기적인 신호로 바꾸어주는 스트레인 게이지를 이용한 하중감지센서(Sensor)
- 상업용 전자식 저울에서부터 산업용 대용량 전자식 계량기에 이르기까지 각종 산업분야의 공장제어, 자동화 분야에서 핵심적인 역할을 수행
- 힘이나 하중에 의해 발생하는 변형률은 힘이나 하중의 크기에 직선적으로 변화하는 특징을 가지는데, 여기서 변형률(Strain)이란 단위길이당 발생하는 변형량을 말함

#### 2) 구성 및 특성

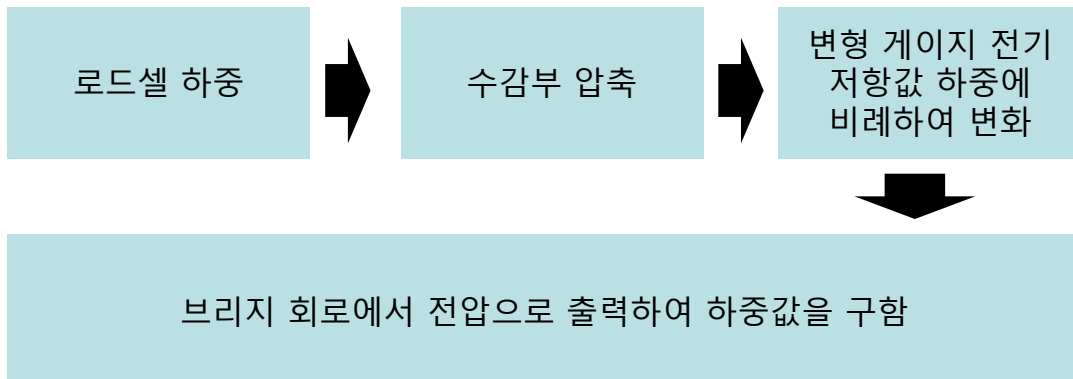
- 스트레인 게이지를 부착한 탄성 소재로 질량이 가해지면 소재는 탄성 거동을 함
- 스트레인 게이지는 가해진 질량에 직접적으로 반응하는 저항 변화를 일으킴



- 인장과 압축이 발생하는 4개의 스트레인 게이지를 휘트스톤 브리지 형태로 결선

- 영점보상, 온도보상, 영(Young)율 보상용 저항 부가

- 방습 및 기밀 유지를 할 수 있는 구조로 제작



## ▣ 반도체식 압력 센서와 로드 셀

### 2. 로드 셀

#### 2) 구성 및 특성

- 로드 셀의 출력과 성능

#### 출력전압

- 약 20~30[mV] 정도
- 각종 기기나 제어회로에 입력하기 위해서는 증폭회로 필요

#### 성능결정 요소

- 탄성변형체의 구조가 가장 중요하며 이 구조는 측정하고자 하는 하중 특성, 용량, 정밀도 등에 의해 결정됨
- 탄성변형체는 가해진 하중에 반응하여 스트레인 게이지를
- 부착한 지점에 집중적으로 균일한 **변형률**을 발생시킬 수
- 있어야 함

#### \*변형률

- 하중에 비례하여 직선적으로 변화해야 함
- 직선성은 탄성체요소의 형상설계, 재료, 제조 공정 등에 의해 좌우됨

---

## ▣ 반도체식 압력 센서와 로드 셀

### 2. 로드 셀

#### 3) 종류

- 기둥형 로드 셀
  - 외형 : 원통형
  - 방식 : 위에서 아래로 하중을 가하는 종류로 2장의 스트레인 게이지를 종, 횡으로 부착하여 측정
  - 장점 : 대용량의 로드 셀 제작에 용이
  - 단점 : 정밀도가 낮고 비스듬하게 가해지는 하중에 대해 오차가 큼
- 환상형 로드 셀
  - 외형 : 둥근 원형의 내면에 4장의 스트레인 게이지를 부착한 형태
  - 장점 : 원통형보다 정밀도가 높음, 방향도 인장, 압축형 모두 사용이 가능
  - 단점 : 대용량 및 소용량의 제작이 어려움
- 힘형 로드 셀
  - 방식 : 사각 막대를 한쪽이나 양쪽을 지지하여 휘어지는 양을 측정하는 방식
  - 장점 : 부착하기가 용이하고, 정밀도가 높음
  - 단점 : 대용량의 제작이 어렵고 구조상 밀봉하기 어려움



센서의 원리 및 응용

# 압력 센서



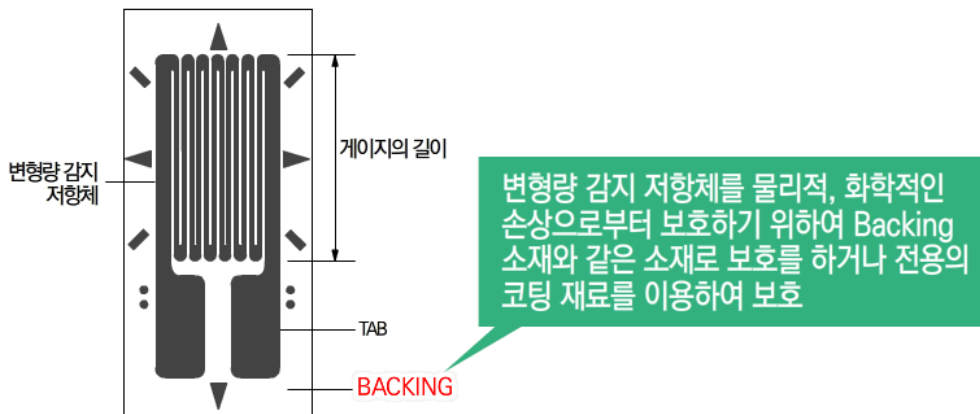
한국기술교육대학교  
온라인평생교육원

## ▣ 스트레인 게이지

### 1. 스트레인 게이지란?

- 스트레인을 측정하는 일반적 방법 : 스트레인 게이지로 측정하는 것
- 스트레인 게이지 : 대상 물체의 변화하는 스트레인 양에 비례하여 전기 저항이 달라지는 디바이스

#### 스트레인 게이지의 구조와 피측정물체에 부착시킨 상태에서의 단면도



- 여러 가닥의 세선을 한 방향으로 배열하여 직렬 연결
- 감지량 증대
- 용도에 따라 Constantan, Karma, Nichrome 등 금속 합금이 쓰임
- 구리와 니켈의 합금인 Constantan을 가장 많이 사용
- 두께는 대략  $5\mu\text{m}$  정도로 사용



## ▣ 스트레인 게이지

### 2. 스트레인 게이지의 용도

- 스트레인 게이지를 기계나 구조물의 표면에 접착하여 두면 그 표면에서 생기는 미세한 치수의 변화를 측정하는 것이 가능
- 측정 크기로 부터 강도나 안전성의 확인을 하는데 중요한 응력을 알 수 있음

#### 응력 해석용

- 측정하려고 하는 장소에 게이지를 붙이고, 그 장소에서 외력에 의해 발생하고 있는 변형을 측정하여, 그것에 가해진 힘(응력)을 알고, 그 재료, 구조물 등의 성질을 알려고 하는 것
  - 기계 요소의 설계 및 Test 부문
  - 항공기, 자동차, 선박, 열차, Cable Car 등 수송기계의 설계
  - 교량, 댐, 빌딩, 가드 레일, 산업용 구조물 등 에서 구조 해석
  - 금속, Plastic, 시멘트 등의 소재 산업
  - 스포츠와 의학 부문
  - 진동 등의 측정을 통한 환경 부문

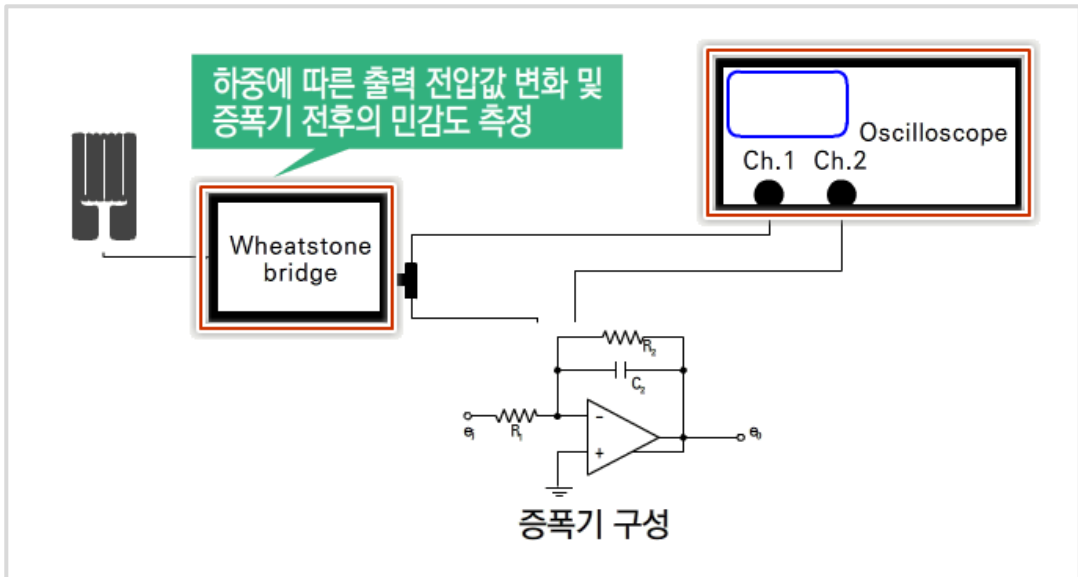
#### 변환기용

- 미리 정해진 재질, 치수에 해당하는 게이지를 붙이고, 여러 가지 물리량을 측정하기 위한 것
  - 로드 셀(하중 변환기)
  - 가속도 변환기
  - 압력 센서
  - 토크(Torque)변환기
  - 기타 물체에 변형을 줄 수 있는 여러 가지 물리량 변환

## ▣ 스트레인 게이지

### 3. 스트레인 게이지의 측정 방법

- 스트레인 게이지는 휘스톤 브리지에 연결하여 하중에 따른 출력 전압값 변화 측정 및 증폭기 전후의 민감도를 측정
  - 보통 스트레인 게이지를 만드는 제조사나 데이터 수집 장치 (DAS, Data Acquisition System)을 전문적으로 만드는 회사에서는 만드는 스트레인 게이지 전용 계측 장비 이용 (DAS 장비 안에 휘스톤 브리지 내장)
- DAS 구동 소프트웨어 프로그램도 DAS 제조사에서 함께 제공
  - 복잡한 설정 없이 쉽게 변형률 데이터를 실시간으로 측정가능

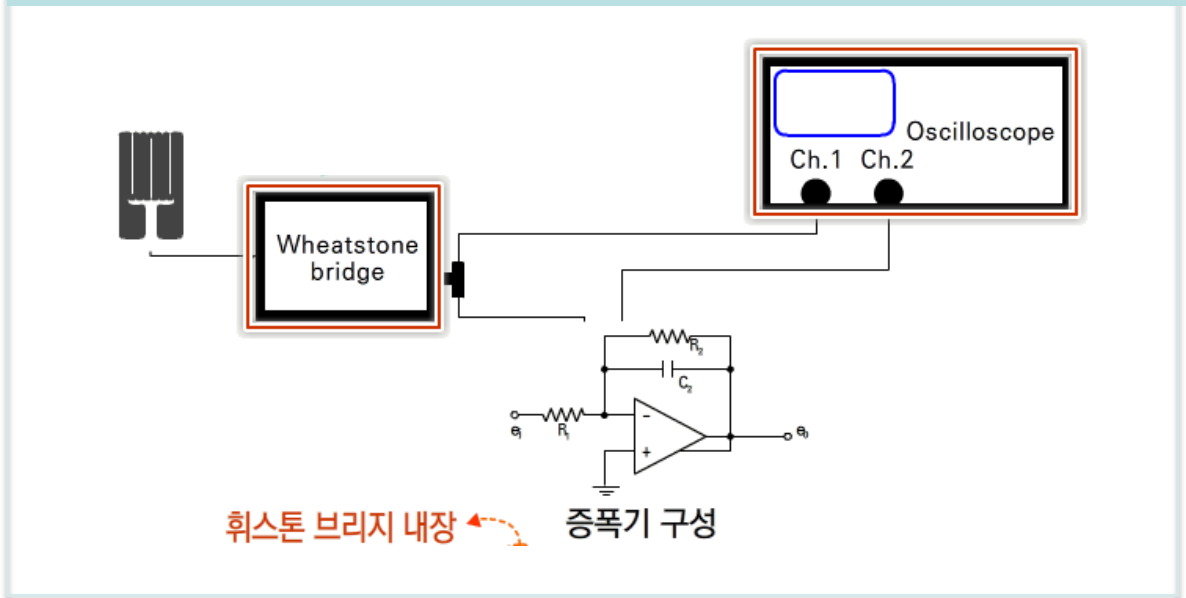


## ■ 스트레인 게이지

### 3. 스트레인 게이지의 측정 방법

하중에 따른 출력 전압값 변화 측정 및 증폭기 전후의 민감도 측정

그림과 같이 실험 구성



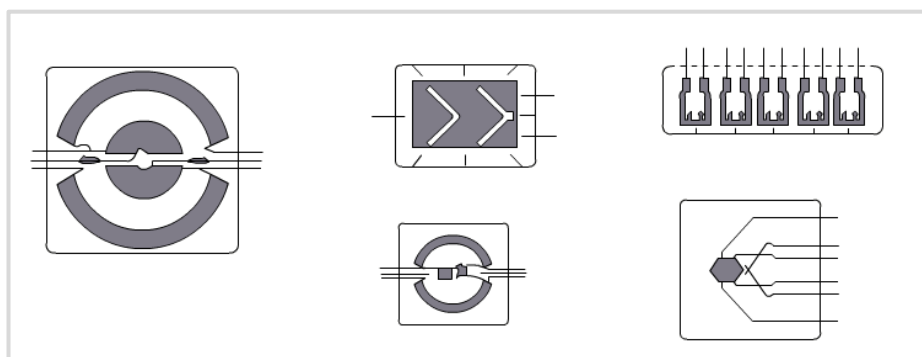
증폭기 전후의 하중에 따른 출력전압의 변화 측정

출력 전압에 대한 추세선을 구하고 기울기에 해당하는 민감도(Sensitivity) 비교

## ▣ 스트레인 게이지

### 4. 스트레인 게이지의 분류

- 저항체에 의한 분류
  - 저항선 게이지(저항 센서)
  - 저항박형 게이지(저항 박형)
  - 반도체 게이지(반도체 단결정)
  - 증착 게이지(금속 또는 반도체)
- 기본 재료의 의한 분류
  - 페이퍼 게이지
  - 베크라이트 게이지
  - 에폭시 게이지
  - 폴리에스테르 게이지
  - 폴리아미드 게이지
- 스트렌지 게이지의 형상과 분류



#### 형상에 의한 분류

단축 게이지

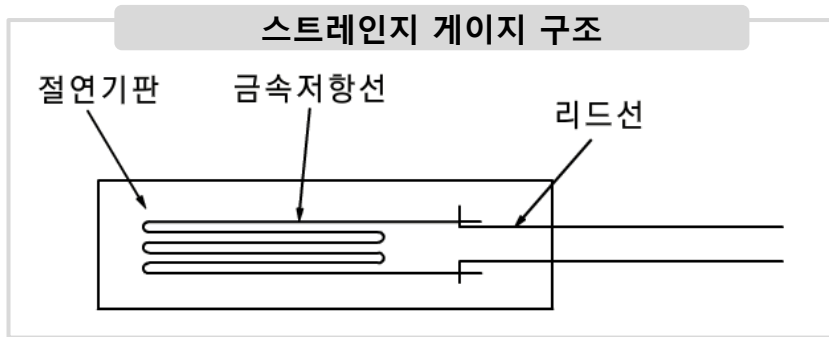
다축 게이지

특수 패턴 게이지

## ▣ 스트레인 게이지

### 5. 스트레인 게이지의 장단점

- 스트레인 게이지는 절연기판에 저항률이 높은 금속저항선을 접착제로 고정시키고 단말에 인출선을 연결함 → 이러한 구조로 인해 몇 가지 장점과 단점이 나타남

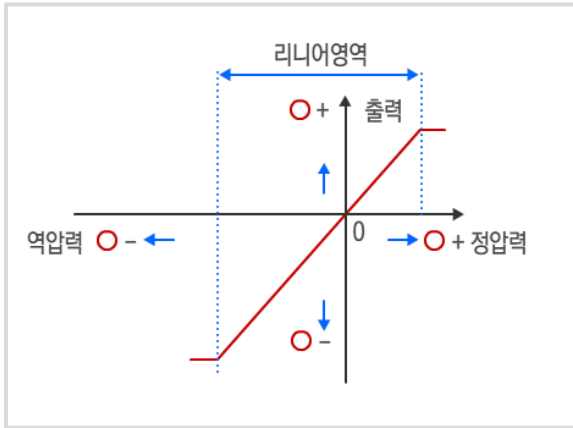


- 장점
  - 정도가 높고 온도변화에 대한 영향이 적음
  - 정압 및 동압에도 사용이 가능함
  - 직류 및 교류 회로에서도 사용이 가능함
  - 진동 및 외부의 충격에 비교적 강함
  - 연속 측정이 가능하고 주파수 응답 특성이 좋음
- 단점
  - 습기에 의한 오차가 큼
  - 변환 신호가 작으므로 증폭부가 필요함

## ▣ 스트레인 게이지

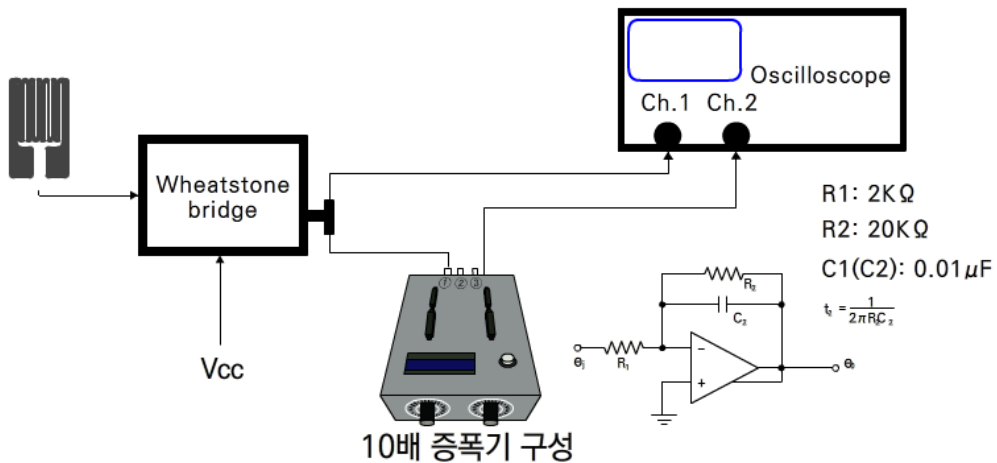
### 6. 스트레인 게이지의 출력 특성

- 국부적인 길이변화  $\Delta L$  검출하지만 실제로는 응력, 외력, 압력 등으로 치환하여 계측
- 시판 스트레인 게이지 용도 : 자기온도보상 게이지로부터 미지의 선팽창(線膨張)계수 측정



- 출력 특성
  - 큰 온도 의존성
  - 감도 :  $-2\%/^{\circ}\text{C}$  정도

### 스트레인 게이지를 측정하여 증폭기를 통하여 출력값을 측정하는 방법

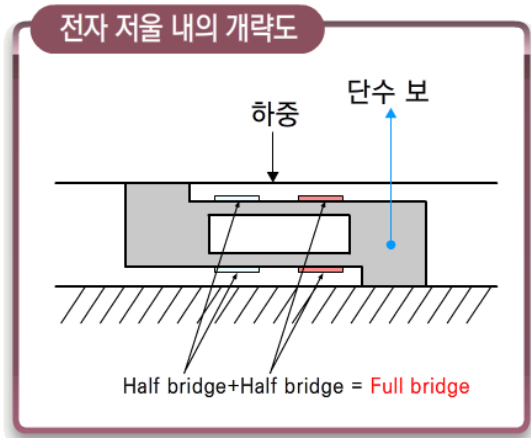


- OP AMP를 활용하면 증폭도의 증폭률을 높일 수 있음
- 하중에 따라 변화하는 출력값은 오실로스코프로 측정

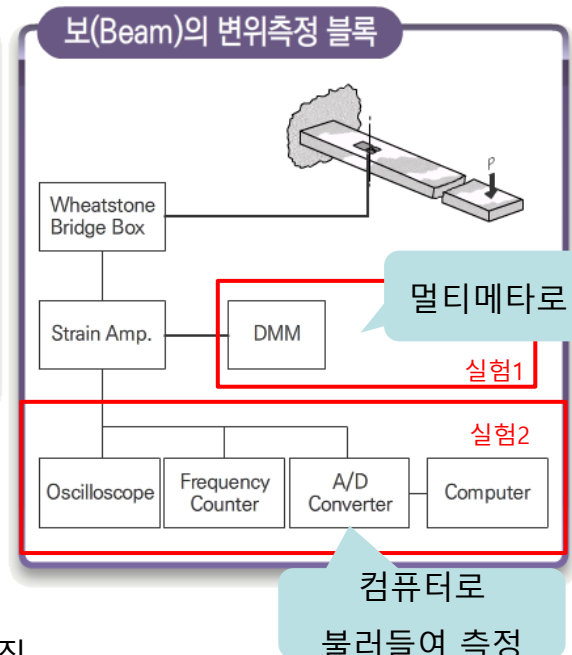
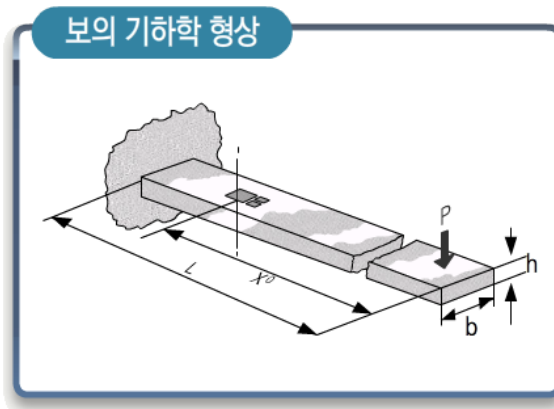
## ▣ 스트레인 게이지

### 7. 전자식 저울

- 보(Beam)의 변형률을 측정하여 보의 끝단에 가해진 하중을 알 수 있음
- 변형하지 않는 부분에 보정을 위한 스트레인 게이지가 부착되어 있음



- 스트레인 게이지의 보(Beam) 측정



- 스프링 상수  $K$  : 보 끝으로 갈수록 작아짐
- 상수 : 보의 끝에서의 값으로 보의 끝에 가해진 하중  $P$ 와 이에 대응하는 변위의 변화