

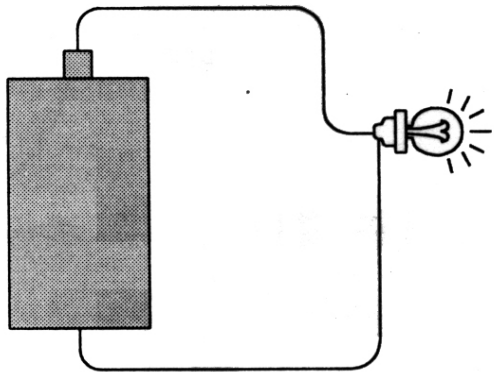
제 1 장 전기, 전자기초

1. 전기란 무엇일까?

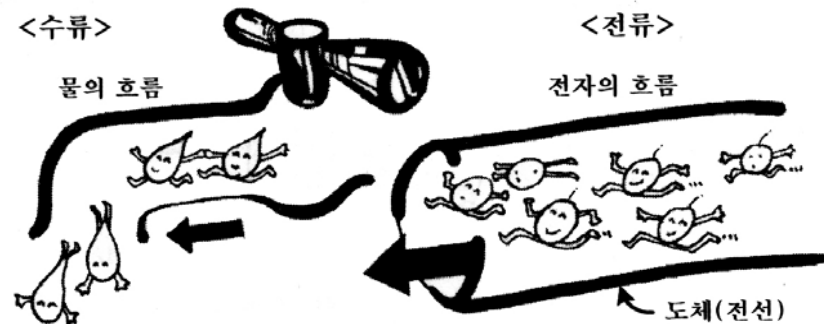
고대 그리스 시대의 탈레스는 호박(먹는 호박이 아닌 보석의 일종)을 마찰시키면 이것이 가벼운 물체를 끌어 당기는 성질이 있다는 것을 알았다. 이처럼 마찰된 물체를 끌어 당기거나 밀어내는 성질을 전기라 하고 마찰에 의해 생긴 전기를 마찰 전기라 한다.

1.1 전류

- <그림1>과 같이 건전지와 전구를 연결하면 전구가 켜진다.
- 구리선으로 전기적 에너지가 전달된다는 것은 <그림 2>와 같이 구리선으로 전자가 이동되기 때문이다. “전자가 이동하는 것”이 바로 전류이다. 이것은 마치 <그림 2>에서 물이 수도관으로 흘러가는 것과 같다.
- 전류의 양이 많고 적음을 나타내는 단위는 암페어[A]이다. 이것은 1880년경 프랑스의 앙페르(Ampere)의 연구업적을 기념하여 암페어라 하였다.



<그림 1> 전구를 켜다.



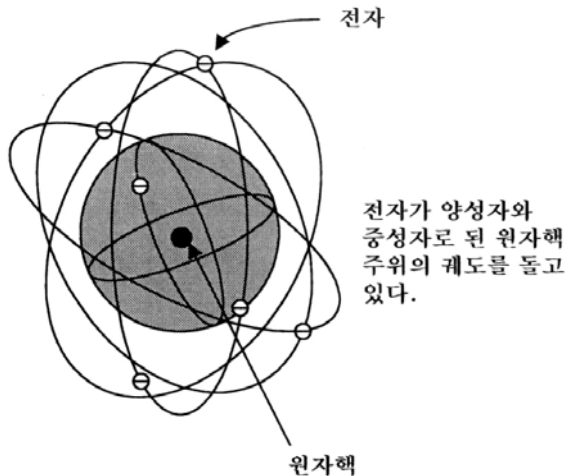
<그림 2> 전류는 물의 흐름(수류)과 같은 전자의 흐름

1.2 전자

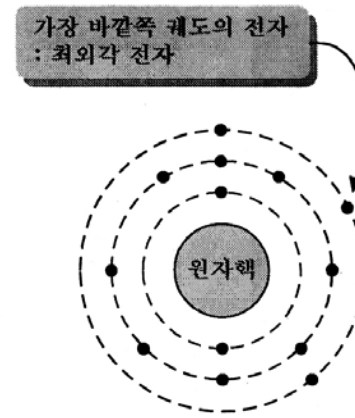
- 물질은 원자로 구성되어 있다.
- 그 원자의 모델은 <그림 3>과 같이 원자의 내부에 원자핵이 있고, 그 주위를 전자가 돌고 있다.
- 산소, 수소, 구리, 금 등 물질의 종류에 따라 원자당 전자의 숫자는 다르지만 모든 물질에 전자는 있다.

1.3 자유 전자

- 금속은 전기를 잘 흐르고 고무, 플라스틱 등은 전기가 잘 흐르지 않는데 그 이유는 금속에는 자유 전자가 많기 때문이다.
- <그림 4>는 알루미늄의 원자모형이다. 중심에 원자핵이 있고 그 주위에 13개의 전자가 회전하고 있다. 그 중 가장 바깥쪽 궤도의 전자를 최외각 전자라 하며 원자핵의 구속력이 약하기 때문에 외부의 작은 에너지에도 쉽게 궤도를 벗어나 자유로이 움직일 수 있다. 이 자유로이 움직일 수 있는 전자를 자유 전자라 한다.



<그림 3> 보어의 원자모형



<그림 4> 원자모형

1.4 전압

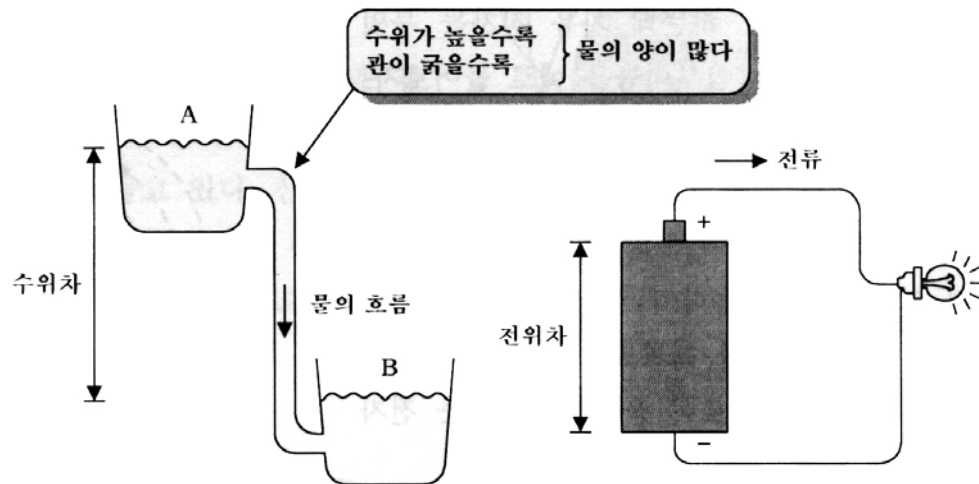
- <그림 5>와 같이 전기적인 흐름을 만들 수 있는 전기적인 에너지의 차이를 전위차 또는 전압이라 한다.
- 전압의 단위는 볼트[V]이다. 이는 1800년 이탈리아의 볼타(Volta)가 전지를 고안한 것을 기념하여 볼트라 하였다.

1.5 전력

- 전기적인 에너지가 할 수 있는 일의 양을 전력이라 한다.
- 수위가 높을 수록, 관이 굵을 수록 물의 양이 많듯이 전압이 높을 수록, 전류가 많이 흐를 수록 전력이 크다.

$$\text{전력} = \text{전압} \times \text{전류}$$

- 단위는 와트[W]이다. 이는 스코틀랜드 태생으로 1774년 증기기관을 발명하여 동력 기계와 에너지에 관한 공헌을 한 와트(Watt)를 기념하여 그의 이름을 전력의 단위로 사용하였다



<그림 5> 수위차와 전위차

2. 전자부품

2.1 저항

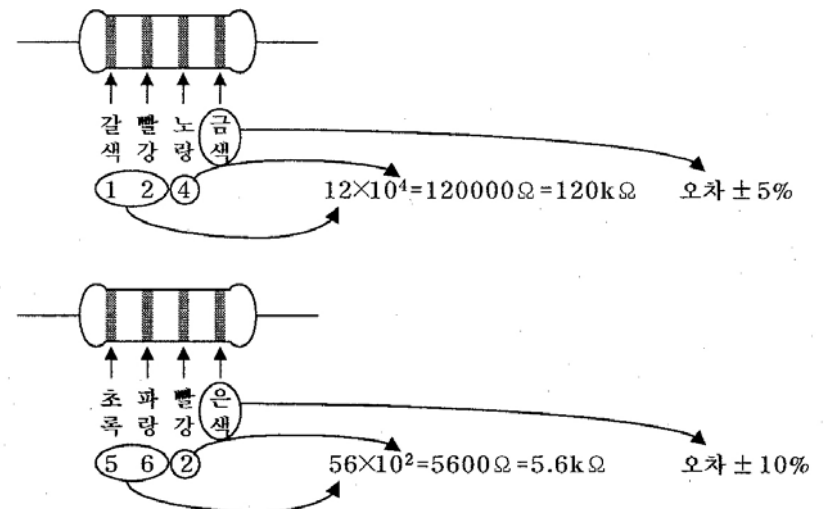
- 회로내에서 전류의 흐름을 방해하는 작용을 하며 전류의 흐름을 방해하는 정도를 "저항값"이라 하고 단위는 Ω [옴]이다.
- 저항값은 <그림 6>을 이용하여 알 수 있다.
- 저항의 종류는 다음과 같다.<그림 7>

고정저항: 보통 사용하는 저항이 고정저항이며 탄소 피막 저항이 대부분이다.

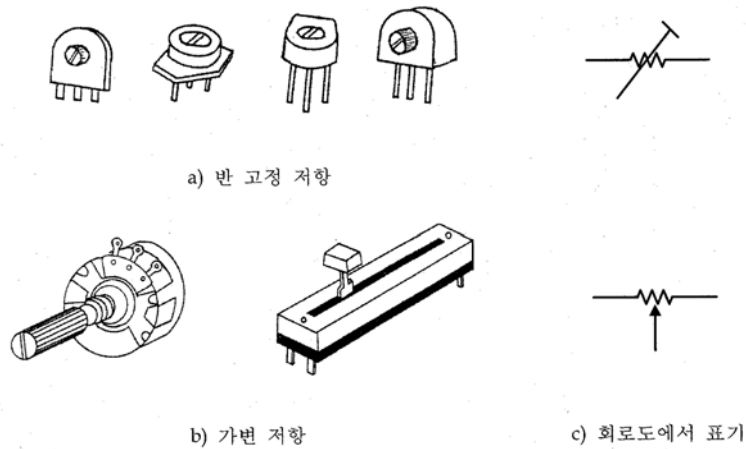
반고정저항: 한번만 조정하면 거의 변화가 필요 없는 경우에 사용한다.

가변저항: 항상 조정이 필요한 곳에 사용한다. 라디오나 TV의 음량을 조절하는 볼륨이 가장 대표적인 예이다.

색상	나타내는 수	승수	나타내는 오차
검정(흑 : 黑)	0	10^0	
갈색(갈 : 褐)	1	10^1	1%
빨강(적 : 赤)	2	10^2	2%
주황(등 : 橙)	3	10^3	
노랑(황 : 黃)	4	10^4	
초록(록 : 綠)	5	10^5	
파랑(청 : 靑)	6	10^6	
보라(자 : 紫)	7	10^7	
회색(회 : 灰)	8	10^8	
흰색(백 : 白)	9	10^9	
금색(금 : 金)		10^{-1}	5%
은색(은 : 銀)		10^{-2}	10%



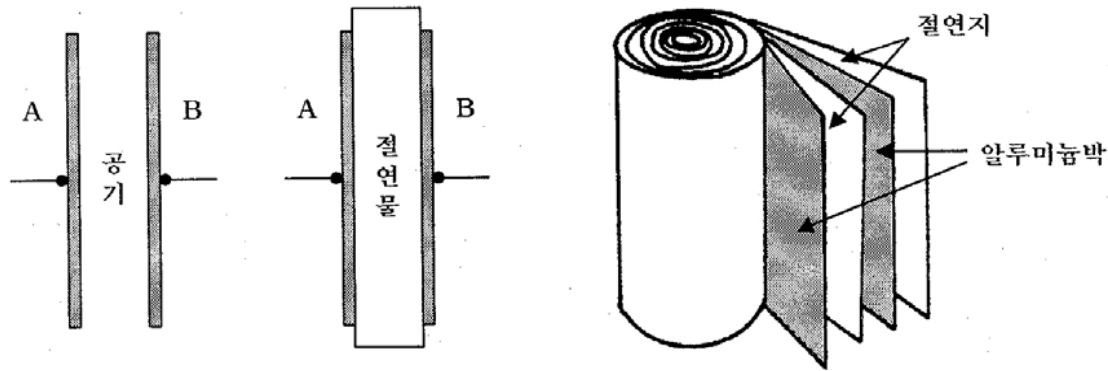
<그림 6> 저항 읽기



<그림 7> 가변저항과 반고정 저항

2.2 콘덴서

- 콘덴서라는 용어보다는 캐패시터(capacitor)라는 말이 더 적합하나, 콘덴서라는 말을 더 많이 사용한다.
- 콘덴서는 <그림 8>에서 두 금속판이 서로 마주보고 있는 것이다.
- 두 극판 사이에 전압이 가해지면 +전하와 -전하가 서로 끌어 당기려는 작용으로 마주 보고 있다가 외부의 전압이 없어도 어느 정도의 전하가 계속 남아 있게 된다.
- 두 극판 사이에 +와 -전하가 남아 있는 것이 바로 전기적인 에너지가 충전된 것을 의미하며 전기적인 에너지가 충전될 수 있는 크기를 "용량"이라 한다.
- 단위는 F[패럿]이다.



<그림 8> 콘덴서의 구조

- 콘덴서는 종류가 다양하고 각각 특성이 다르므로 회로에서의 작용에 따라 종류를 잘 구분하여 사용해야 한다.<그림 9>

세라믹 콘덴서: 고주파 특성이 우수하나 오차가 크고 $0.5\mu\text{F}$ 이하의 소용량만 사용이 가능하다.

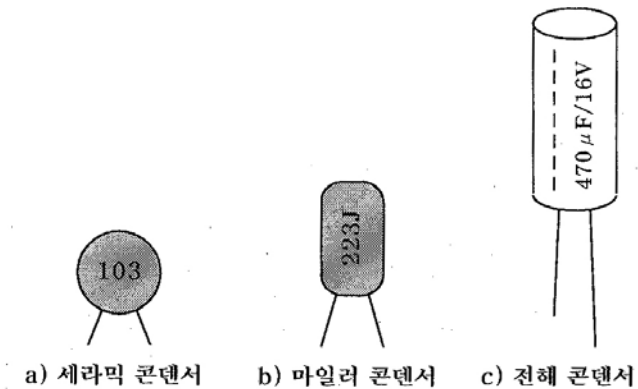
마일러 콘덴서: 고주파 회로에는 사용할 수 없으나 오차가 작고 온도에 따른 용량변화가 비교적 적으며 용량이 $0.001\mu\text{F} \sim 0.5\mu\text{F}$ 인 경우 많이 사용한다.

전해 콘덴서: 소형으로 대용량이 가능한 장점이 있으나 전기적인 특성은 여러 종류의 콘덴서 중에서 가장 나쁘다. +-의 극성을 구별하여 사용해야 하며 높은 주파수의 회로에서는 콘덴서로서의 역할을 하지 못한다.

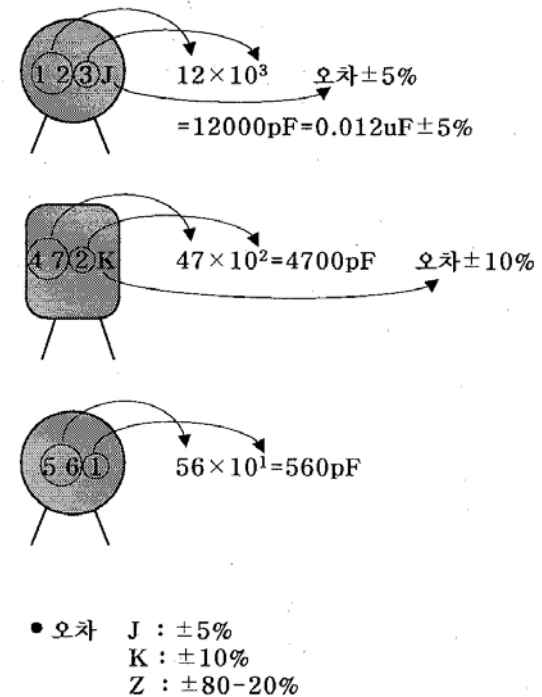
탄탈 콘덴서: 전해 콘덴서는 잡음 발생이 많고 누설 전류가 큰 단점이 있으므로 이를 개선한 것이 탄탈 콘덴서이다.

- 콘덴서의 용량 식별

전해 콘덴서와 같이 콘덴서에 용량이 적혀 있는 경우는 별 문제가 없으나 세라믹 콘덴서와 마일러 콘덴서는 <그림 10>과 같이 약자로 표기된다.



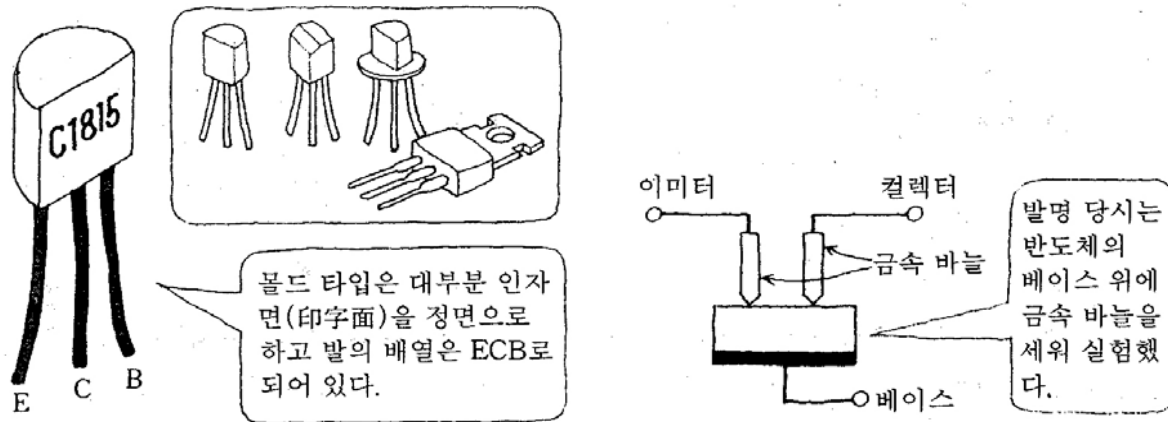
<그림 9> 고정 콘덴서



<그림 10> 콘덴서의 용량 읽기

2.3 트랜지스터

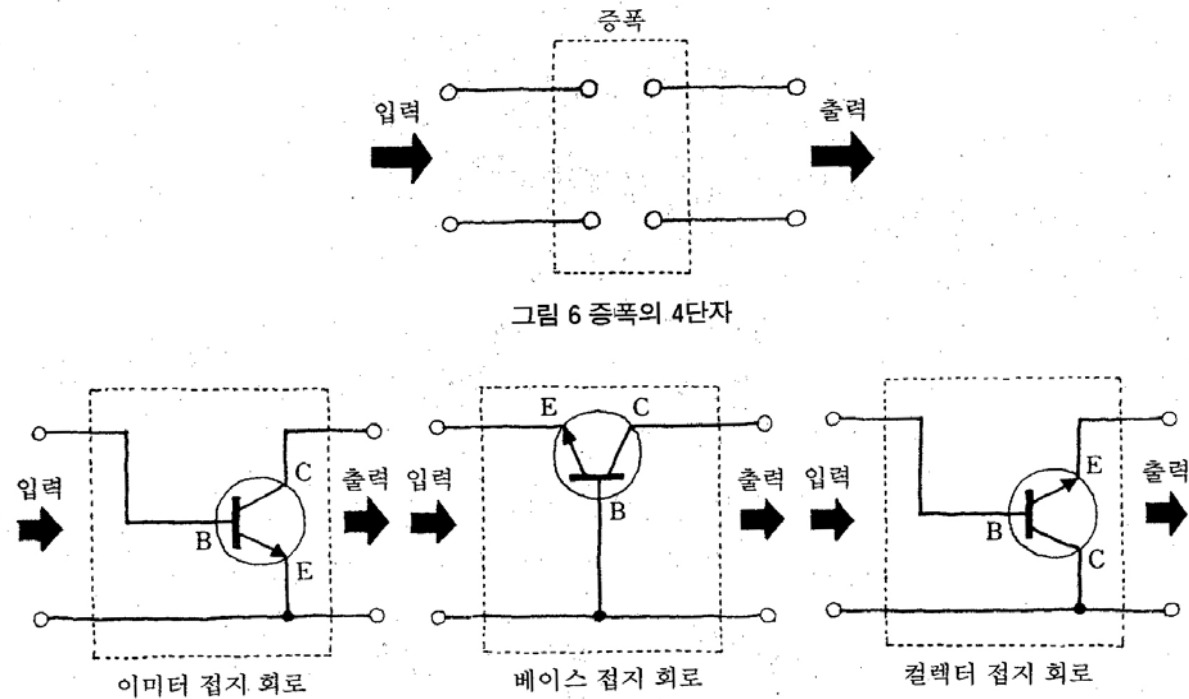
- <그림 11>은 트랜지스터의 대표적인 형상을 나타낸 것으로 3개의 단자를 각각 emitter, collector, base라 부른다.



<그림 11> 트랜지스터 단자명

- 트랜지스터는 작은 신호를 큰 출력으로 바꾸어 전달하는 증폭 작용을 한다.

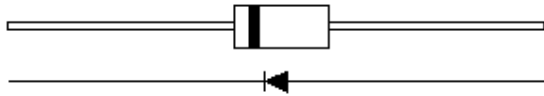
- 증폭에는 기본적으로 입력쪽과 출력쪽의 4개의 단자가 필요하지만 트랜지스터는 3개의 단자밖에 없으므로 <그림 12>와 같이 1개의 단자를 공통으로 사용한다. 이 공통 단자의 명칭을 각각 이미터, 베이스, 컬렉터 접지회로라고 호칭한다.
- 이미터 접지회로가 사용하기 쉽고 가장 큰 증폭 작용을 얻을 수 있기 때문에 많이 사용된다



<그림 12> 트랜지스터의 접지회로

2.4 다이오드(diode)

다이오드란 전류를 한쪽 방향으로만 흘리는 반도체 부품이다. 다이오드는 전원장치에서 교류전류를 직류전류로 바꾸는 정류기로서의 용도로 사용되며 라디오의 고주파에서 신호를 꺼내는 검파용으로도 사용된다. 회로기호는 가 사용된다.



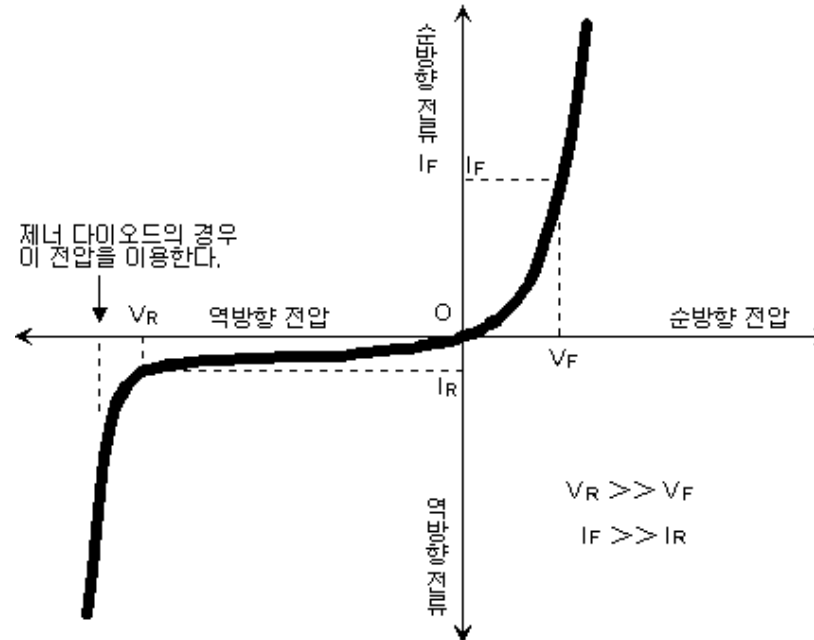
- 정전압 다이오드(제너 다이오드): 회로 기호는 

역방향으로 전압을 가했을 경우에 어떤 전압에서 일정한 값을 유지하는 다이오드이다.

- 발광 다이오드(LED): 회로 기호는 

전류를 순방향으로 흘렸을 때에 발광하는 다이오드이다.

<그림 13>은 다이오드의 특성을 나타낸 것이다. 순방향으로 전압을 가했을 경우, 약간의 전압에서도 순방향의 전류는 쉽게 흐른다는 것을 나타내고 있다. 순방향으로 흘릴 수 있는 전류는 다이오드에 따라 규정되어 있다. 그리고 통상적으로 사용하는 경우 다이오드 자체의 저항성분에 의해 강하하는 전압은 $0.6 \sim 1V(V_F)$ 정도이다

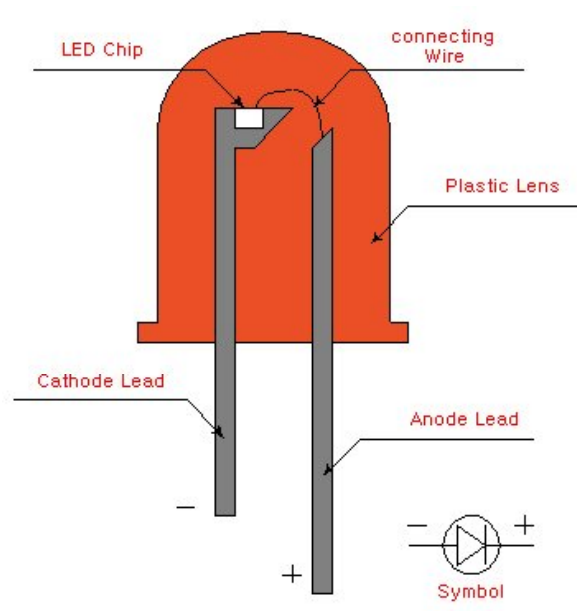


<그림 13> 다이오드의 특성

2.5 LED (Light-Emitting Diode)

LED는 소자의 리드에 순방향으로 소정의 전류를 인가할 경우 빛을 발생한다. 즉 전기에너지를 빛 에너지로 변화시킨다. LED를 많이 사용하는 이유는 수명이 거의 반영구적이고, 소비전력이 최소 20mA에서 최대 50mA 정도로 작고, 색상도 매우 다양하며, 제조단가도 매우 저렴하다는 것이다.

현재 생산되는 색상으로는 Red, Yellow, Green, Blue, White, Orange, Infrared Light로 다양하다. 대개 사용시 전류제한 저항을 설치하여 LED에 흐르는 전류를 25-30mA 정도로 제한하여 사용한다.



<그림 14> LED의 구조

2.6 계전기(relay)

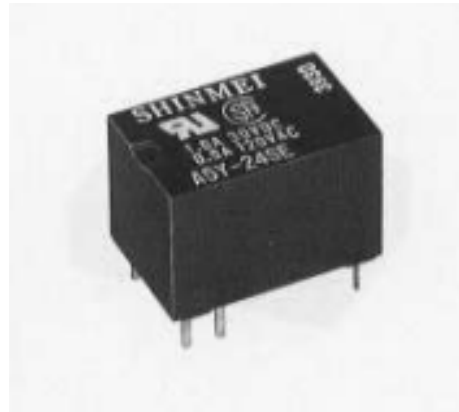
계전기(릴레이)란 코일에 전류를 흘리면 자석이 되는 성질을 이용한 소자이다.

코일이 전자석으로 되었을 때 철판을 끌어 당겨, 그 철판에 붙어 있는 스위치부의 접점을 닫거나 열기도 한다. 릴레이가 좋은 점은 전기적으로 독립된 회로를 연동시킬 수 있다는 점이다.

5V와 같은 저전압계로 구성된 회로의 동작에 의해 AC 100V계의 회로를 ON/OFF시키거나, 대전류의 회로를 ON/OFF시킬 수 있다.

릴레이는 기계적으로 접점을 닫거나 열기 때문에 일반적으로 고속 동작은 할 수 없다. (특수 용도로 고주파 릴레이라는 것도 있어 고속 동작이 가능하도록 제작하는 경우도 있다.)

릴레이도 여러 종류가 있으며, 코일에 가하는 전압(구동전압), 접점용량 등에 따라, 적절한 것을 선택할 필요가 있다.

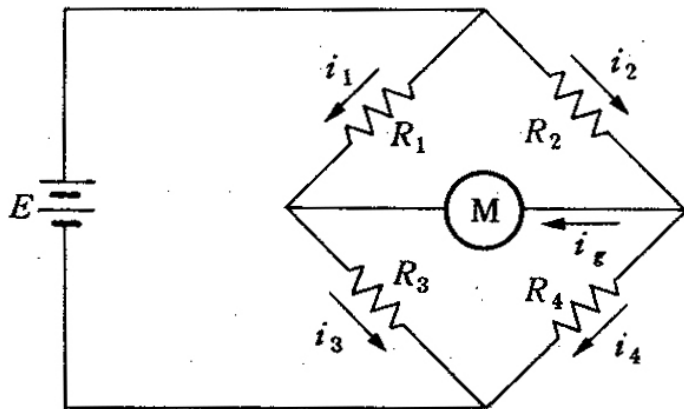


<그림 15> Relay

제 2장 스트레인 측정장치

1. 브리지 회로(bridge)

4개의 저항으로 구성되며 저항의 미소 변화를 전위차로 변환하는 회로를 브리지 회로라 한다. 특정 저항값 R_1 이 δR 만큼 증가하면 회로는 평형을 이루기 위해서 M에서 전위차가 발생한다. 이를 이용하여 스트레인값을 환산할 수 있다.



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$i_1 = \frac{E}{(R + \delta R) + R_3}$$

$$V_1 = i_1 \times R_1$$

$$= \frac{E}{2R + \delta R} (R + \delta R) = \frac{ER + E\delta R}{2R + \delta R}$$

$$i_2 = \frac{E}{R_2 + R_4} = \frac{E}{2R}$$

$$V_2 = i_2 \times R_2 = \frac{E}{2R} R = \frac{E}{2}$$

$$V = V_2 - V_1 = \frac{E}{2} - \frac{ER + E\delta R}{2R + \delta R} = \frac{2ER + \delta RE - 2ER - 2E\delta R}{4R + 2\delta R}$$

$$= \pm \frac{E\delta R}{4R + 2\delta R} \approx \pm \frac{E\delta R}{4R}$$

$$\approx \pm \frac{E}{4} \frac{\delta R}{R} = \pm \frac{E}{4} \epsilon_F$$

$$\epsilon = \frac{4V}{EF}$$

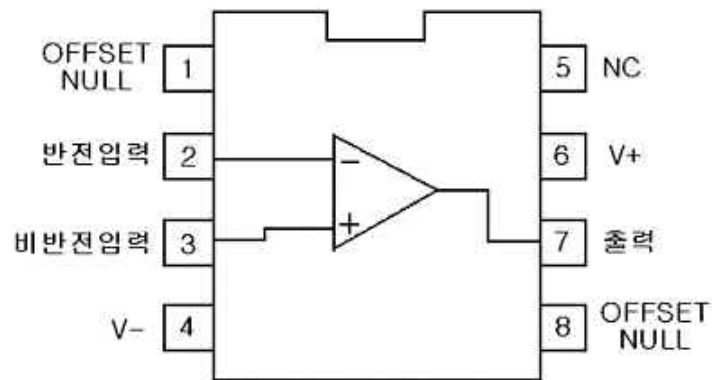
2. Operational Amplifier(연산증폭기)

- 연산증폭기란 수학적 연산의 기능을 행할 수 있도록 만들어진 고이득 직결 증폭기에 붙여진 이름이며 사용의 다양성 등으로 인해 신호처리, 통신컴퓨터 전력장치, 신호발생 장치 및 측정장치 등의 거의 모든 분야에 사용되고 있다.
- 미분, 적분, 덧셈, 뺄셈과 같은 여러 수학적 연산을 실행하는 증폭회로.

회로기호

V+, V-, 반전입력, 비반전입력, 출력

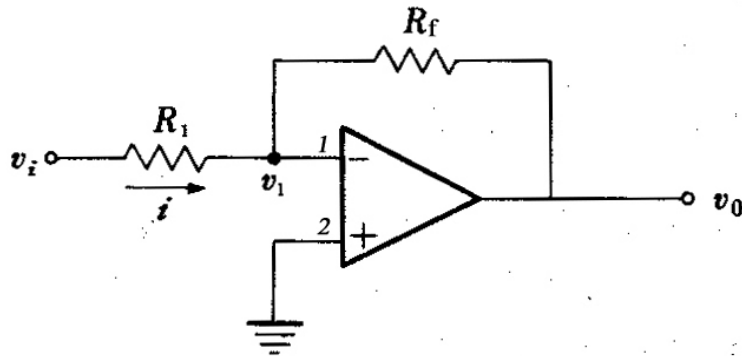
IC내부구조



2.1 반전증폭회로

반전입력에 입력을 가하여 증폭작용을 하는 회로를 말한다.

반전 입력(-)에 저항 R_i 를 접속시킨 입력을 가하고 비반전 입력(+)를 접지 시킨다. 입력저항 R_i 와 게환저항 R_f 로 구성된다.



$$i_i = \frac{v_i - v_1}{R_i}, \quad i_f = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$

imaginary short : 1과 2가 마치 연결된 것처럼 작동

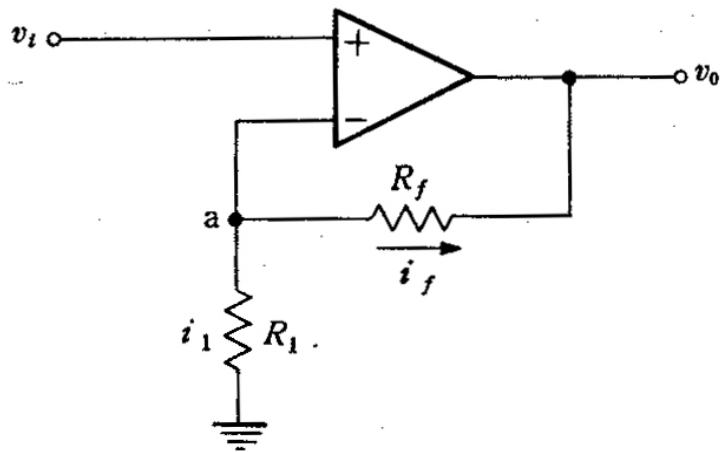
$$\frac{v_i}{R_i} = -\frac{v_o}{R_f}, \quad v_o = -\frac{R_f}{R_i} v_i$$

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i} : \text{전압증폭도}$$

imaginary short $v_1 = v_2$

2.2 비반전증폭회로

비반전입력에 입력을 가하여 증폭작용을 하는 회로. 반전입력에는 저항 R_f 을 접속하여 접지 시키고, 출력으로부터 저항 R_f 에 의하여 반전입력에 연결시킨다.



$$i_1 = \frac{v_a - 0}{R_1}, \quad i_f = \frac{v_o - v_a}{R_f}$$

$$\frac{v_a}{R_1} = \frac{v_o - v_a}{R_f}$$

$$\frac{v_o}{R_f} = \frac{R_1 + R_f}{R_1 R_f} v_a$$

$$v_o = \frac{R_1 + R_f}{R_1} v_a$$

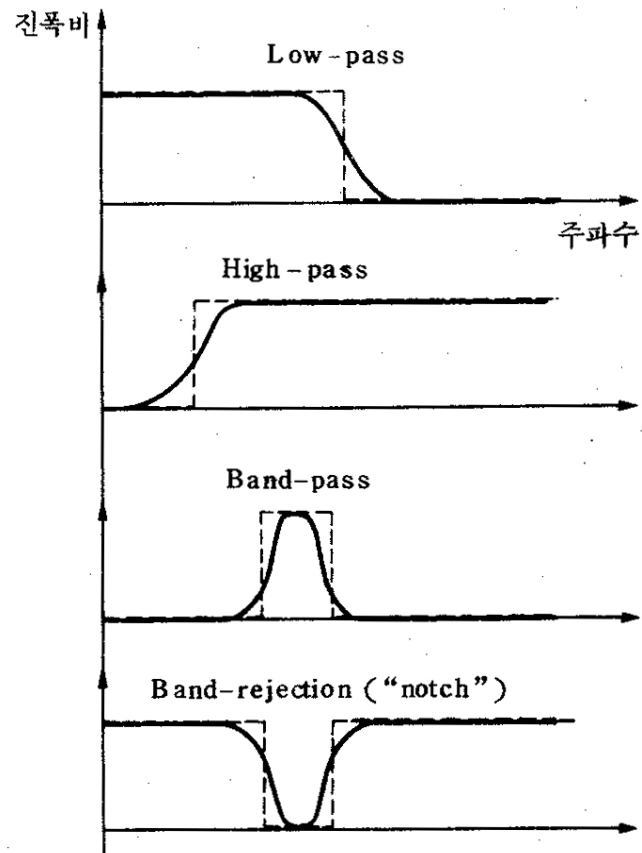
imaginary short $v_a = v_i$

$$v_o = \frac{R_1 + R_f}{R_1} v_i$$

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad : \text{전압증폭도}$$

3. Filter

특정의 주파수, 또는 일정한 주파수 대역의 전류를 흘리거나 전류의 흐름을 막아주는 소자나 회로를 말한다.

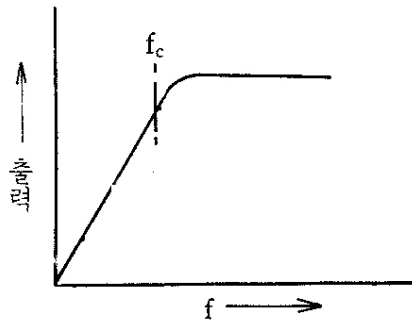
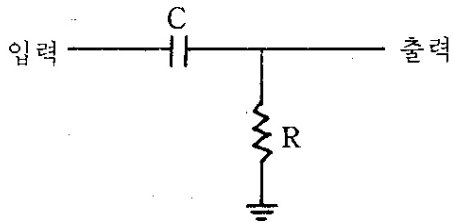


3.1 수동필터

저항과 Capacitor를 이용하여 구성하는 필터.

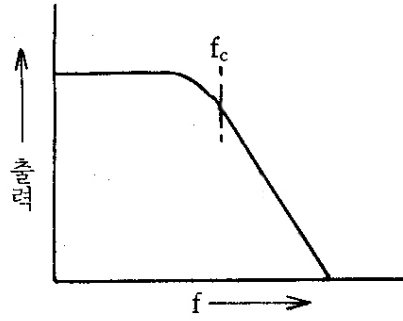
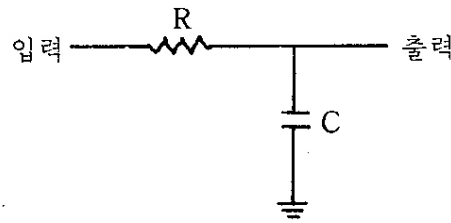
입력신호원중에서 높은 주파수 성분만(High-pass filter), 또는 낮은 주파수 성분만(Low-pass filter)을 뽑아낼 때 사용하는 가장 간단한 필터

High-pass filter



(a) 고역 필터

Low-pass filter



(b) 저역 필터

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

3.2 능동필터

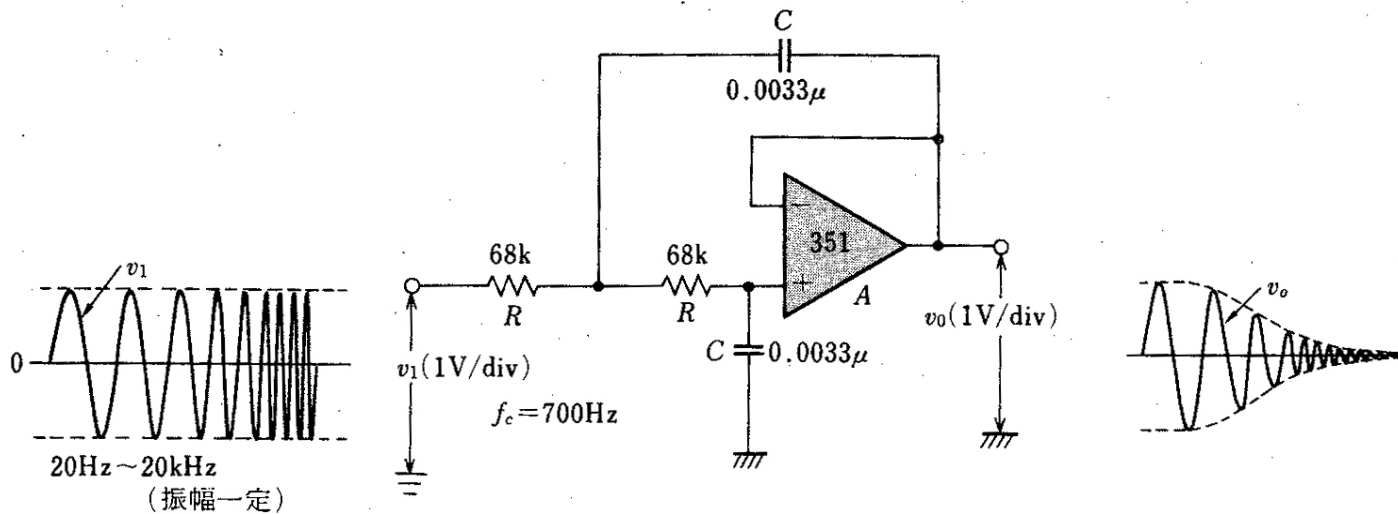
OP AMP와 저항 및 Capacitor를 이용하여 필터의 특성을 갖도록 한 회로를 말한다. 신호의 손실이 없고 넓은 범위의 주파수에 사용할 수 있는 장점이 있다.

- 저역 필터

입력신호가 낮은 주파수 성분만을 뽑아내서 사용하려 할 때에 쓰이는 필터.

$$f_c = \frac{1}{2\pi(R_1 R_2 C_1 C_2)^{1/2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi(RC)} = \frac{1}{2\pi(68 \times 10^3 \times 0.0033 \times 10^{-6})} = 709\text{Hz}$$

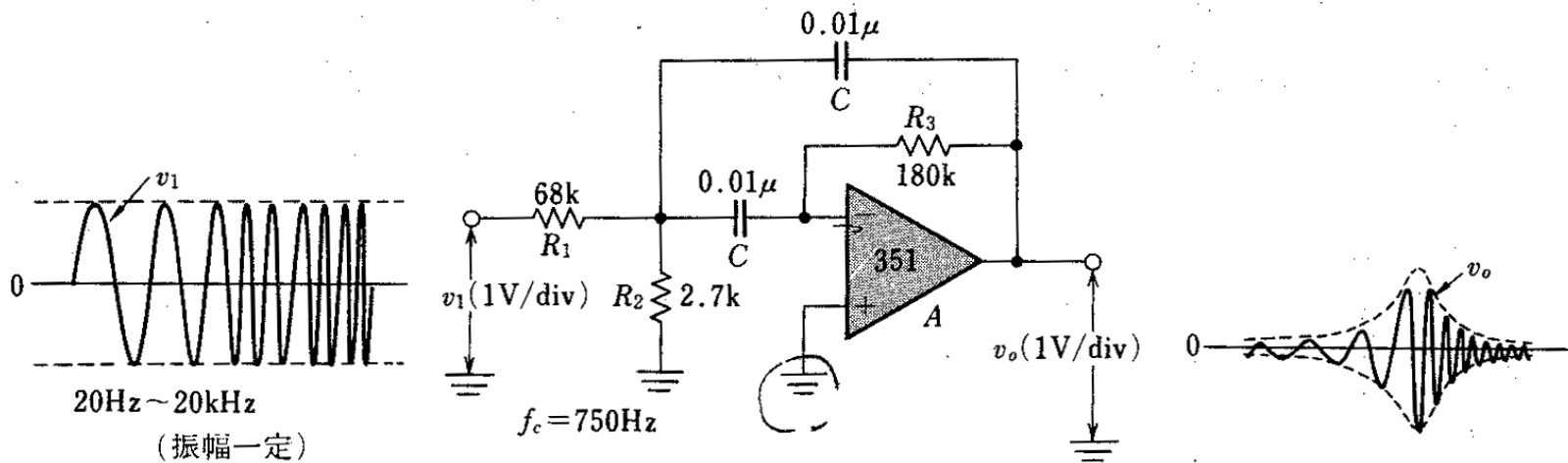


- 대역 통과 필터

특정주파수를 중심으로 뽑아내서 사용하려 할 때에 쓰이는 필터.

$$f_c = \frac{1}{2\pi C} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right)^{1/2}$$

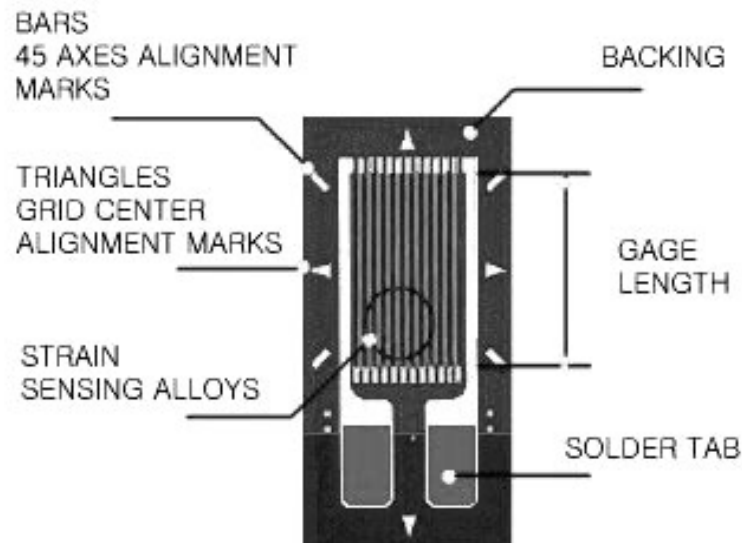
$$f_c = \frac{1}{2\pi(0.01 \times 10^{-6})} \left(\frac{1}{180 \times 10^3} + \frac{68 \times 10^3 + 2.7 \times 10^3}{68 \times 10^3 \times 2.7 \times 10^3} \right)^{1/2} = 736 \text{ Hz}$$



4. 스트레인게이지의 기본구조

구조해석 등을 하기 위해서는 응력 측정과 하중측정을 해야 하는데 이때 한 방법으로 스트레인 게이지를 이용하여 측정할 수 있다. 스트레인 게이지는 측정하는 대상의 변형을 직접 측정할 수 있으며, 이를 전기적인 신호로 바꾸어 우리가 알고자 하는 변형률이나 응력변화를 알 수가 있다. 여기서 측정할 변형량은 거의 대부분이 재료의 탄성 영역 부분에서 측정이 이루어 지고 있으며 변형의 방향에 따라 수직 변형과 전단 변형 측정이 있다.

스트레인 게이지는 크게 **Strain Sensing Alloys**부와 **Backing**부, **Tab**부로 이루어져 있으며 그 기능은 다음과 같다.



4.1 Strain Sensing Alloys

실제적인 변형량을 감지하는 부분으로 여러 가닥의 저항선으로 구성되어 있어 변형량을 증폭할 수 있도록 되어 있으며, 감지부의 저항선은 Wire 방식이나 Foil 방식으로 되어 있다. 그 재질은 용도에 따라서 Constantan(Ni + Cu), Nichrome(Ni + Cr), Manganin(Ni+Cr+Cu), Karma(Ni+Cr+Al+Fe), Lsaclastic(Ni+Cr+Fe+Mo), 순수 Nickel, Platinum, Soft Iron, Copper등이 있다. 하지만 가장 보편적으로 쓰는 재질은 니켈, 구리 합금인 Constantan을 많이 쓰고 있다.

4.2 Backing

Strain Sensing Alloys부의 형상을 유지시켜주고, 측정대상에 접착하기 용이하도록 하며, 측정물과의 절연 기능을 맡고 있다. 재질은 Polyimide나 Epoxy등이 있고 두께는 12~50 μ m 정도이다. 또한 이 재질은 감지부의 저항선을 보호할 수 있도록 코팅하는데 이용한다.

4.3 Tab

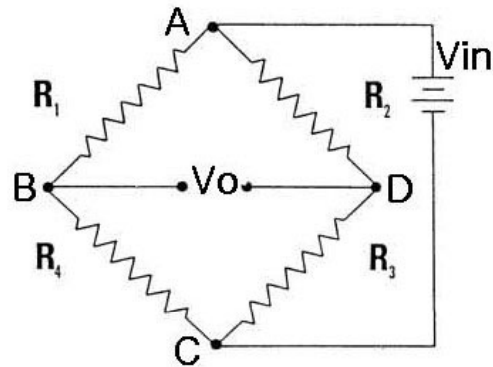
터미널부에 결선을 용이하게 할 수 있도록 저항선보다 넓은 면으로 되어 있으며, 이곳에 납땀을 한다.

4.4 기타

게이지를 붙일 때 수평 수직방향을 가능할 수 있도록 Triangles grid center alignment marks가 있으며 45°각도를 유지하는 alignment marks가 있다.

5. 측정 원리

5.1 Wheatstone Bridge



특정 저항 값 예를 들면 **R1**값이 평형 상태에서 변화한다면 입력전원이 일정하므로 회로의 평형을 이루기 위해서는 접점 **B**와 **D** 사이의 전위차가 발생하게 된다. 여기에서 변화하는 저항을 스트레인 게이지가 담당하게 되며 그 변화 값을 전압의 변화로 바꾸어 수치적으로 환산하면 물리적인 변형량 값이 된다.

5.2 측정 원리

먼저 측정하고자 하는 대상과 스트레인 게이지가 서로 일체가 되도록 붙어 있다면 측정대상이 변형을 일으키는 만큼 스트레인 게이지도 변형을 일으키게 된다. 이런 게이지의 변형 값은 결국 저항의 변화로 **Wheatstone Bridge**회로로 구성된 실험장비의 평형을 깨뜨려 전압의 변화를 발생하게 된다. 그 변화된 전압 값을 수치적 연산을 가미하여 우리가 얻고자 하는 응력의 변화 값으로 나타낼 수 있다.

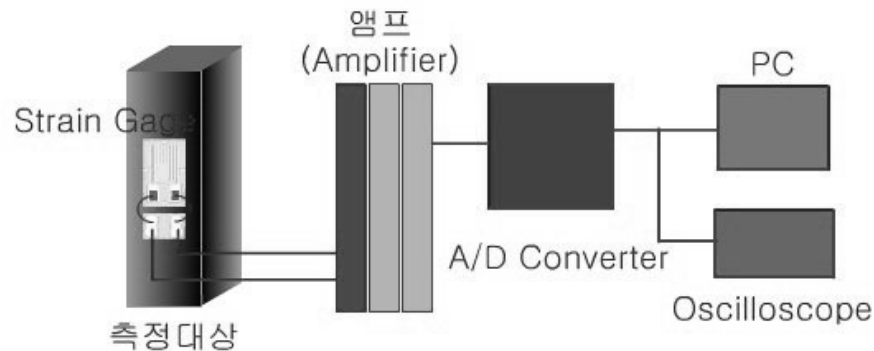
6. 게이지 선택 요령

시판하는 게이지의 저항 값은 보통 120Ω 과 350Ω 이 주를 이루고 있다.

일단 저항 값은 크면 클수록 안정적이다. 입력 전압이 동일할 경우 옴의 법칙에 따라 흐르는 전류 값이 작아지게 되고 당연히 발열량이 떨어져 온도 안정성이 좋아진다. 또 배선이 길 경우에는 배선 저항을 무시할 수 없는데 게이지의 저항이 크면 상대적으로 배선저항이 작아지므로 배선에 관련한 영향이 적어져 안정적이다. 그리고 측정시 항상 큰 문제인 잡음(Noise)을 줄일 수가 있다. 게이지 저항이 크면 클수록 입력 전압을 더 높일 수 있게 되고 변형을 변동에 따른 출력 전압의 변동 값이 커지게 되어 측정치가 실제 값에 좀더 가까워진다. 이러한 장점이 있지만 제품의 가격이 올라가고, 게이지 크기가 커져 형상조건에 역행하므로 형상조건이 허락하고 경제적인 조건이 허락한다면 저항 값이 큰 것을 선택해야 한다.

7. 데이터 처리

스트레인 측정시스템은 스트레인 게이지에 전원을 공급하고 회로를 구성하여 물리적인 변화를 전기적 신호로 바꾸어 변형을 측정할 수 있도록 해주는 앰프(Amplifier)가 있으며, 다음으로 앰프로부터 나오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 A/D Converter가 있다. 마지막으로 이러한 디지털 신호의 정보를 보여주고 저장할 수 있는 PC나 오실로스코프가 있다.



7.1 Amplifier & filter

스트레인 게이지로부터 측정대상의 변형을 감지하여 저항의 변화로 바꾸어 주면 이를 전압의 변화로 바꾸어 주는 **Gage Bridge** 회로와 **Bridge** 회로에서 출력되는 미소한 전압 신호를 증폭해주는 증폭 회로로 구성되며 잡음을 제거하기 위해서 **filter**가 사용된다.

7.2 A/D Converter

A/D Converter는 앰프로부터 들어오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 장치로 보통 PC용의 경우 내장형을 쓰고 있다. 이러한 A/D Converter는 처리속도와 채널 수, 분해능(**Resolution**)이 성능을 좌우한다. 처리속도는 **Hz**단위로 높을 수록 좋고, 채널 수는 동시 측정 가능한 수를 말한다. 분해능은 **bit** 수(**16bit, 32bit, 64bit**)로 나타내며 처리속도는 채널 수에 반 비례하고 독립된 A/D Converter 당 채널 수가 제한 되어 있다. 분해능의 경우 **bit**수가 높을수록 데이터의 손실을 낮출 수가 있어 높을수록 좋다.