



제 5 장

재료역학

5.1 재료역학 기초 / 556

5.2 응력과 변형률 / 562

5.3 압축, 인장 및 전단 / 586

5.4 축의 비틀림 / 598

5.5 보의 전단과 굽힘 / 601

5.6 보의 처짐 / 604

5.1 재료역학 기초

재료 시험

01 재료의 정적시험 방법을 6가지만 쓰고, 설명하시오.

해설

1. 개요

- * 재료가 사용 목적이나 조건에 적합한가를 알아보기 위하여 기계적, 물리적, 화학적 성질 등을 시험하는 것을 재료시험이라 하며, 보통 좁은 의미로는 기계적 성질을 시험하는 것만을 의미하는 경우가 많다.
- * 재료시험은 파괴시험(기계적 시험)과 비파괴시험으로 크게 분류할 수 있으며, 파괴 시험 중 정적시험에는 인장시험, 압축시험, 굽힘시험, 비틀림시험, 전단시험, 경도시험, 크리프시험 등이 있다

2. 재료시험의 분류

(1) 인장시험(Tensile Test)

- * 인장시험은 철강(금속)을 여러 가지 모양의 일정한 단면을 가진 시험편을 사용해서 인장시험기나 만능재료 시험기로서 잡아당겨(인장해서) 파단시켜 인장강도, 항복점, 단면수축률 등을 측정하는 방법이다.

(2) 압축시험(Compression Test)

- * 압축시험은 주철, 목재, 시멘트, 콘크리트 같은 연한 재료의 강도를 조사하는 경우나 강구, 용수철, 타이어 등의 부재료의 시험에 사용된다.

(3) 굽힘시험(Bending Test)

- * 굽힘시험은 시험편을 적당한 크기로 절취하여서 자유굽힘이나 형굽힘에 의하여 금속재료를 구부리는 것이다. 따라서 굽힘에 의하여 금속재료 표면에 나타나는 균열의 유무와 크기에 의하여 금속재료의 양부를 결정하는 것이다.

(4) 비틀림시험(Torsion Test)

- * 시험편을 비틀림시험기로 비틀어서 비틀림각, 비틀림 모멘트, 전단강도 등을 측정하는 시험이다.

(5) 전단시험(Shearing Test)

- * 시험기로 재료에 전단하중을 주어 전단력을 측정하는 시험이다.

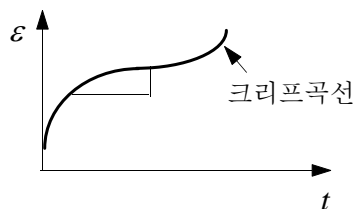
(6) 경도시험(Hardness Test)

- * 금속의 경도는 기계적 성질을 결정하는 중요한 것으로서 인장시험과 더불어 널리 사용되고 있다.
- * 경도란 물체의 견고한 정도를 나타내는 수치로서 경도 측정방법에 따라 브리넬 경도, 로크웰경도, 비커스경도, 쇼어경도 등이 있다.

(7) 크리프시험(Creep Test)

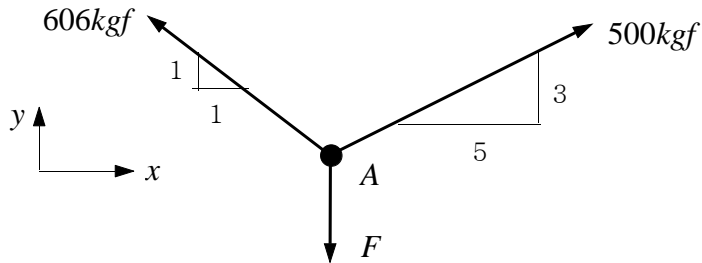
- * 재료의 일정한 응력을 가할 때에 기는 변형량의 시간적 변화를 크리프라 하며, 크리프 시험은 재료의 인장 크리프 스트레인의 크기를 측정하는 것으로서 시험의 온도 및 시험시간을 규정하고 있다.
- * 또한 크리프 파괴시험은 재료가 정온 및 정하중에서 파괴가 될 때까지의 인장 크리프 변형률을 측정하고 파괴시간을 정하는 것을 목적으로 한다
- * 여기서, 크리프란 소재에 일정한 하중이 가해진 상태에서 시간의 경과에 따라 소

재의 변형이 계속되는 현상으로, 크리프 변형률= $\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}$ 으로 판단한다.


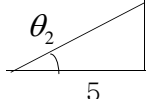


힘과 평형조건

01 다음 그림에서 A점이 정적평형(정지상태)을 유지하려면 힘 F 는 몇 kgf인가?

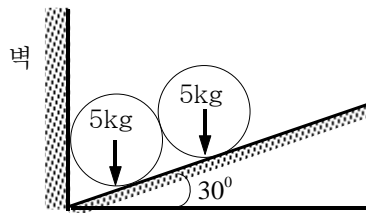


해설

* 힘의 평형은 제시된 그림에서  θ_1  θ_2 3 을 이용하여 구한다.

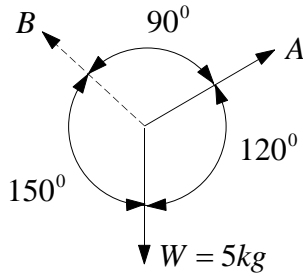
$$F = 606 \sin \theta_1 + 500 \sin \theta_2 = 606 \times \frac{1}{\sqrt{2}} + 500 \times \frac{3}{\sqrt{5^2 + 3^2}} = 685.8 \text{ [kgf]}$$

02 다음과 같은 구조로 물건을 쌓아 놓은 경우 벽에 힘(kg)은 얼마로 작용하는가? (단, A, B의 무게는 각각 5kg이다.)



해설

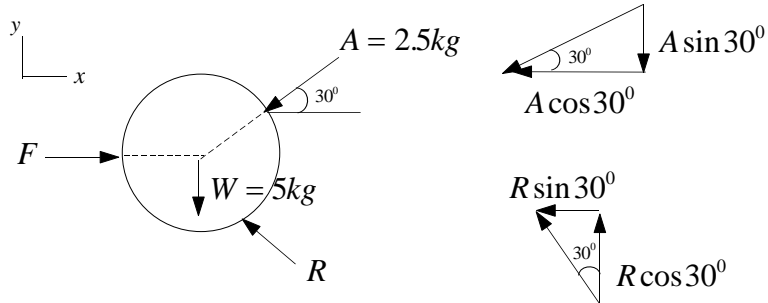
* 먼저 오른쪽에 있는 구조의 물건에 작용하는 하중을 사인법칙에 의거 구하면



* Sine 법칙(라미의 법칙)에 의거 $\frac{5}{\sin 90^{\circ}} = \frac{B}{\sin 120^{\circ}} = \frac{A}{\sin 150^{\circ}}$ 로부터

$$A = \sin 150^{\circ} \times \frac{5}{\sin 90^{\circ}} = 2.5kg \dots\dots\dots (1)$$

* 벽에 작용하는 힘을 구하면



$$\sum F_x = F - 2.5 \times \cos 30^{\circ} - R \times \sin 30^{\circ} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

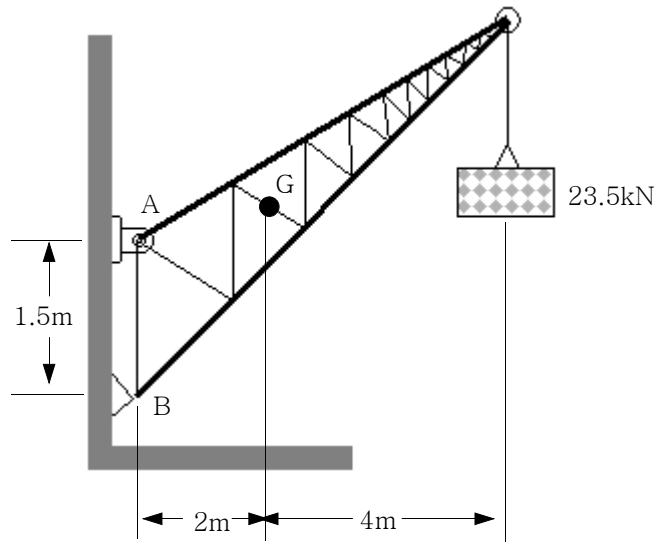
$$\sum F_y = 5 - 2.5 \times \sin 30^{\circ} + R \times \cos 30^{\circ} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

* 식 (3)으로부터 $R = \frac{2.5 \times \sin 30^{\circ} + 5}{\cos 30^{\circ}} = 7.22kg \dots\dots\dots (4)$

* 식 (4)를 식 (2)에 대입하면

$$F = R \times \sin 30^{\circ} + 2.5 \times \cos 30^{\circ} = 7.22 \times \sin 30^{\circ} + 2.5 \times \cos 30^{\circ} = 5.78kg$$

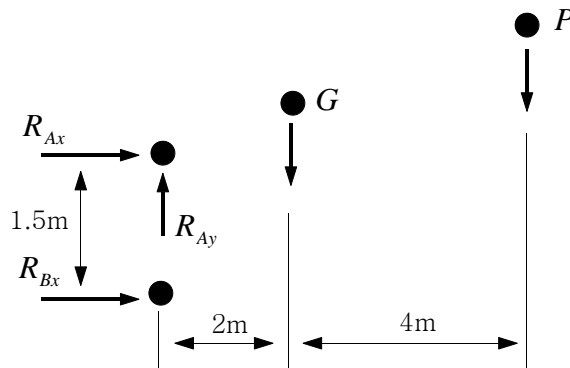
03 중량이 9.8kN인 고정된 크레인으로 23.5kN의 크레이트(Crate)를 들어 올린다. 크레인은 A점에서 힌지로, B점에서 로커(Rocker)로 고정되어 있다. 크레인의 중심이 G점일 경우 A, B점의 반력 성분을 구하시오



해설

○ 반력 구하기

* 먼저 FBD(Free Body Diagram)를 그리면 A점은 힌지연결로 수평방향과 수직방향의 반력이 작용하고 B점은 로커 연결이므로 지지평면에 수직인 방향의 반력만이 작용한다.



* B점에서의 힘의 평형을 고려하면

$$\sum F_x = R_{Ax} + R_{Bx} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum F_y = R_{Ay} - G - P = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum M_B = -R_{Ax} \times 1.5 - G \times 2 - P \times 6 = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

* 식 (2)에서 $R_{Ay} = G + P = 9.8 + 23.5 = 33.3 [kN]$

* 식 (3)에서 $R_{Ax} = \frac{-9.8 \times 2 - 6 \times 23.5}{1.5} = -107 [kN]$

* 식 (1)에서 $R_{Bx} = -R_{Ax} = 107.1 [kN]$

* 즉, A점에서는 x 축 방향(\leftarrow)으로 107.1kN, y 축 방향(\uparrow)으로 33.3kN이 작용하고, B점에서는 x 축 방향(\rightarrow)으로 107.1kN이 작용한다.

5.2 응력과 변형률

응력 작용

01 두께(t) 25mm인 중공원 기둥에 압축하중 100kN을 가하고 있다. 재료의 항복응력은 50MPa이며 안전계수가 2일 때 원기둥의 최소외경(d)은? (단, 항복응력 $\sigma_y = 50\text{MPa}$)

해설

$$\text{안전계수 } S = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{50}{\sigma_a} = 2 \rightarrow \sigma_a = 25 \text{ [MPa]}$$

$$\text{허용응력 } \sigma_a = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{4P}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} = 25$$

$$d_o^2 - d_i^2 = \frac{4 \times 100 \times 10^3 \text{ [N]}}{\pi \times 25 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}} = \frac{2}{125 \times \pi} = 0.005 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$d_o^2 - d_i^2 = d_o^2 - (d_o - 0.05)^2 = 0.005 \rightarrow d_o = 0.076 \text{ [m]} = 76 \text{ [mm]}$$

$$\text{여기서, } t = \frac{d_o - d_i}{2} = 0.025 \text{ [m]} \quad d_i = d_o - 0.05 \text{ [m]}$$

변형률

01 Al 1100과 Vanadium은 다음과 같은 진응력-진변형률(True Stress-true Strain) 관계를 가진다. 어느 재료의 연성이 더 큰지 설명하시오

$$* \sigma = 2,600 \varepsilon^{0.2} \text{ psi (Al 1100)} \quad * \sigma = 11,200 \varepsilon^{0.35} \text{ psi (Vanadium)}$$

해설

* 항복응력을 넘으면 대부분의 재료는 변형에 대한 저항이 증가한다. 이러한 현상을 가공경화(Strain Hardening)라 하고 응력과 변형은 다음의 관계식으로 나타낸다.

$$\sigma_T = K\varepsilon^n$$

여기서, n : 가공경화지수(Strain-hardening Exponent)

K : 강도계수(Strength Coefficient)

첨자 T 는 true의 두문자이다.

* 가공경화지수 n 의 값이 성형성과 깊은 상관이 있으므로 지수 n 을 중요한 가공경화특성치로서 성형성을 판단할 때 사용한다. 일반 성형과정을 생각하면 미변형부분이 변형하여 단단하며 변형하기가 어려워진다.

* 가공경화지수 n 의 값이 커지면 연성이 커지게 된다. 이는 연신율 $\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$ 는 1보다 작은 값이므로 ε^n 에서 n 이 크게 되면 ε^n 값은 작아지게 된다. 따라서 σ_T 가 작아지고, 응력이 작아지므로 연성이 커지게 되는 것이다.

* 결과적으로, 가공경화지수 n 값이 클수록 성형성이 우수하다는 것을 알 수 있다. 즉, 연성이 우수하다는 것이다.

위의 알루미늄의 가공경화지수 $n=0.2$ 이고 Vanadium의 가공경화지수 $n=0.36$ 이므로 Vanadium이 알루미늄보다 연성이 더 크다고 말할 수 있다.

응력-변형률 선도

01 허용응력과 안전계수에 대해서 설명하십시오.

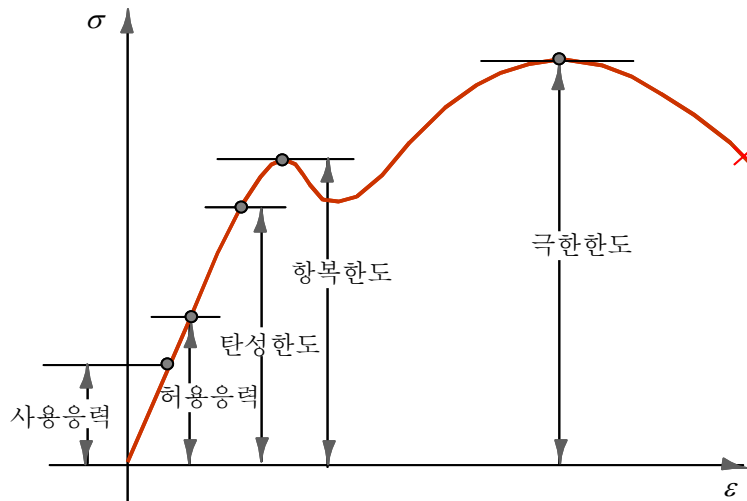
해설

1. 연성재료의 응력-변형률 선도

- * [그림 1]은 저탄소강의 전형적인 응력-변형률곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 연성재료는 응력이 항복점에 도달할 때까지 후크의 법칙을 따른다.
- * 항복점에서의 응력을 항복응력이라고 한다. 이 점을 지나면 응력은 감소하지만 변형률은 파괴가 될 때까지 여전히 증가한다. 여기에 상당한 응력을 과단응력(극한응력)이라고 한다.
- * 사용응력 σ_w 는 허용응력 σ_a 이하이어야 한다.

$$\sigma_a \geq \sigma_w$$

- * 탄성한도, 허용응력, 사용응력 등의 관계는 [그림 1]에서 보는 것처럼 된다.
 결국 「극한강도>항복점>탄성한도>허용응력>사용응력」의 관계가 된다



[그림 1] 연성재료의 응력-변형률 선도

2. 허용응력의 결정

- * 허용응력의 값은 실제실험에 의하여 실제의 사용상태에 맞도록 결정하는 것이 이상적이나, 실제실험은 곤란한 경우가 많으므로 재료시험의 결과에서 다음 사항들을 고려하여 결정 짓는 수가 많다.

- ① 하중 및 응력의 종류와 성질 : 정하중에서는 항복점 또는 극한강도가 허용응력을 결정하는 기준이 되나, 반복하중 및 충격하중에서는 피로한도 및 충격치가 기준으로 된다.
- ② 재료의 신뢰도 : 연강은 주철보다 신뢰도가 높다.
- ③ 부재의 형태 및 사용상태, 온도, 마모, 부식 등의 영향
- ④ 공작방법 및 그 정도(精度)

3. 안전계수

$$\text{안전계수 } S_f = \frac{\sigma_u}{\sigma_a} = \frac{\sigma_y}{\sigma_a}$$

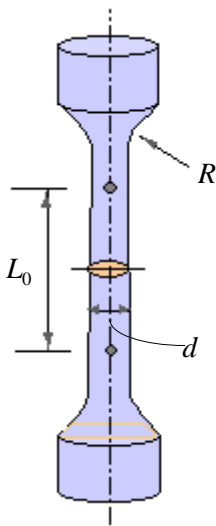
여기서, σ_a : 허용응력, σ_u : 극한응력, σ_y : 항복응력

02) 응력-변형률 곡선을 그리고, 탄성한도 및 극한한도에 대하여 설명하시오.

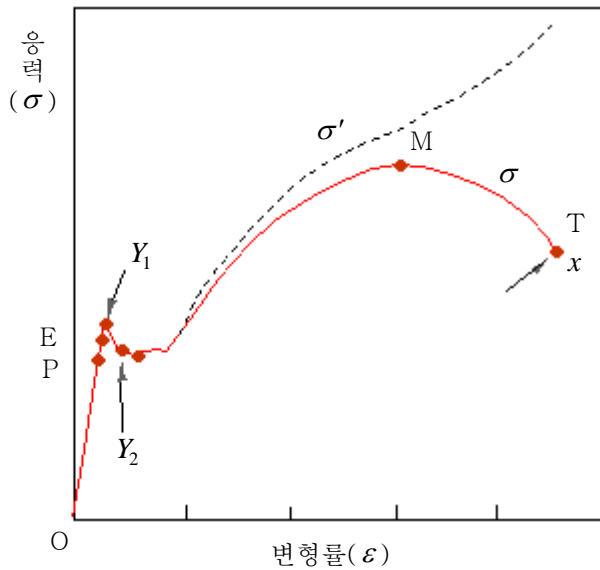
해설

1. 응력-변형률 선도의 기초

* 봉재나 판재의 재료를 규정된 표준 시험편을 만들어 양쪽 끝을 고정하고 인장하중 P 를 작용하여 λ 만큼 늘어나는 시험 방법을 인장시험(tensile test)이라 하고, 그 재료에 기계적 성질을 파악하는 가장 대표적이고 중요한 시험이다.



[그림 1] 인장시험편



[그림 2] 응력-변형률 선도

* [그림 1]은 KS B 0801에 규정된 표준시험편의 하나로 평행부 사이의 표점거리가 하중에 의하여 변형된 관계를 하중-변위선도($P-\lambda$ 선도)라고 하며, 응력과 변형률 관계를 선도로 표시한 것을 응력-변형률선도($\sigma-\epsilon$ 선도)라 한다.

2. 응력-변형률 선도의 특징

* [그림 2]는 표점거리 L_0 , 단면적이 A_0 인 재료의 인장시험편으로 인장시험을 하였을 때 응력-변형률 선도의 변화 모양이다. [그림 2]는 연강의 특성을 나타낸 선도이며, 재료의 기계적 성질의 특징들은 다음과 같다.

- ① 비례한도(proportional limit) : OP구간은 후크의 법칙이 성립하는 범위로 응력과 변형률이 정비례하고 있다. P 점을 비례한도 점이라고 한다.

- ② 탄성한도(elastic limit) : E점은 재료가 탄성을 유지하는 한계점으로 탄성한도라고 한다. 비례한도 부근에서 하중을 제거하면 원래의 상태로 되돌아 오며 변형률은 0이 되는 응력 상태이다. 하중을 제거하면 변형률이 0이 되어야 하지만 측정 장치의 감도에 따라 실제로는 잔류 변형률이 0.001%에서 0.01%만큼 생기는 점을 탄성한도 점이라고 한다.
- ③ 상향복점(upper yield point) : P와 E점을 지나 하중을 더욱 증가시키면 Y_1 점에 도달하는 점을 항복응력(yield stress) 또는 항복점(yield point)이라 부르며 연강에서는 상향복점이다.
- ④ 하향복점(lower yield point) : 상향복점을 통과한 후 하중이 떨어지고 항복응력이 국부적으로 지속하여 Y_2 점에 도달하는 동안 파형의 형태를 갖는다. 항복점 구간에서 시험편의 평행부는 뒤틀림(Lüders band)이라고 하는 미소소성변형의 전위를 일으키는 점으로, P와 E점에 비하여 시험과정이 명확하게 나타나므로 각종 강도 설계에 데이터로 많이 사용하기도 한다.
- ⑤ 인장강도(tensile strength) 또는 극한강도(ultimate strength) : 가공현상이 최대점 M에 도달하고 인장시험에서 최대 응력이 되는 점을 말하며, 재료의 강도를 나타내는 중요한 값이다.
- ⑥ 파단점(breaking point) : 인장강도 점을 지나면 평행부의 일부에는 국부 수축이 생기고 그 부분에는 변형이 집중하게 되며, 하중은 감소하면서 T점에서 파단된다. T점에서의 응력을 파단강도라고 한다.
- ⑦ 공칭응력-변형률선도(nominal stress-strain diagram) : 시험편이 늘어남에 따라 단면적은 점차로 감소하며, 특히 연한 재료는 파단에 접근할수록 단면적은 현저하게 감소하게 된다. 인장하중 P 의 변화에 대한 처음의 단면적 A_0 로 나눈 인장시험 선도를 “공칭응력-변형률선도”라 하고, 이때 공칭응력이 σ_n 이라면 다음과 같이 나타낸다.

$$\sigma_n = \frac{P}{A_0}$$

- ⑧ 진응력-변형률선도(actual stress-strain diagram) : 시험편에 작용하는 하중 P 와 하중점에서 순간적으로 줄어든 최소단면적 A 로 나눈 응력 선도를 진응력-변형률선도라고 하고, 이때 진응력을 σ_a 이라면 아래와 같이 나타낸다.

$$\sigma_a = \frac{P}{A}$$

- ⑨ 연신율(ultimate elongation) : 시험편이 파단 후 표점거리가 늘어난 양과 처음의 표점거리와의 비를 연신율이라고 하며, 재료의 연성과 전성의 특성을 나타내는데 중요한 값이다. 파단 후의 표점거리 L , 처음의 표점거리 L_0 이라면, 연신율 ϕ 는 다음과 같다.

$$\phi = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 (\%)$$

- ⑩ 단면수축률(contraction of area) : 시험편이 파단 후 단면적의 감소량과 처음의 단면적의 비를 단면수축률이라고 하며, 연신율과 같이 재료의 연성과 전성의 특성을 나타내는데 중요한 값이다. 단면 수축률을 φ 로 표시하면 다음과 같다.

$$\varphi = \frac{A_0 - A'}{A_0} \times 100 (\%)$$

03 단순 인장시험의 결과를 이용하여 재료의 연성(Ductility)을 표시하려 한다. 연성을 나타내는 양을 두 가지 들고 정의하시오.

해설

○ 연성의 지표

* 연성(Ductibility)은 재료의 시험편이 부하하중에 의해 파괴될 때 연신율(또는 신장률) 또는 단면감소율로써 아래의 각각의 식과 같이 정량적으로 나타낼 수 있다.

- ① 연신율(ultimate elongation) : 시험편이 파단 후 표점거리가 늘어난 양과 처음의 표점거리와의 비를 연신율이라고 하며, 재료의 연성과 전성의 특성을 나타내는데 중요한 값이다. 파단 후의 표점거리 L , 처음의 표점거리 L_0 이라면, 연신율 ϕ 는 다음과 같다.

$$\phi = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 (\%)$$

- ② 단면수축률(contraction of area) : 시험편이 파단 후 단면적의 감소량과 처음의 단면적의 비를 단면수축률이라고 하며, 연신율과 같이 재료의 연성과 전성의 특성을 나타내는데 중요한 값이다. 단면 수축률을 φ 로 표시하면 다음과 같다.

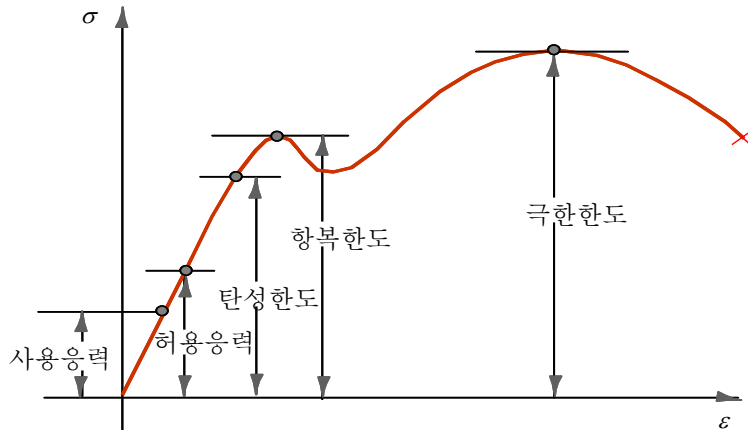
$$\varphi = \frac{A_0 - A'}{A_0} \times 100 (\%)$$

04 항복응력과 극한응력을 연성(Ductile)재료와 취성(Brittle)재료에 대하여 응력-변형률도 상에 표시하고 설명하시오.

해설

1. 연성재료(Ductile Materials)

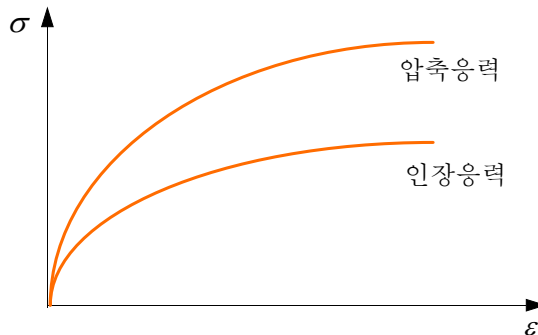
* [그림 1]은 저탄소강의 전형적인 응력-변형률곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 연성재료는 응력이 항복점에 도달할 때까지 후크의 법칙을 따른다. 항복점에서의 응력을 항복응력이라고 한다. 이 점을 지나면 응력은 감소하지만 변형률은 파괴가 될 때까지 여전히 증가하고, 파단시점에서의 응력을 파단응력이라고 한다.



[그림 1] 연성재료의 응력-변형률 선도

2. 취성재료(Brittle Materials)

* 주철과 같은 취성재료의 응력변형률곡선은 후크의 법칙을 따르지 않는다. [그림 2]는 인장 또는 압축에 대한 특징적인 응력-변형률곡선을 나타낸다.



[그림 2] 취성재료의 응력-변형률 선도

- * 여기서 봉을 λ 만큼 수축하는데 필요한 힘 P 는 후크의 법칙의 $\lambda = \frac{Pl}{AE}$ 에서 다음과 같다.

$$P = \frac{AE\lambda}{l} = \alpha AE(t_2 - t_1)$$

- * 봉에 생기는 응력은 다음의 식으로 된다.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \alpha E(t_2 - t_1)$$

이때, 벽에 고정된 상태이므로 변형률은 0이다.

- * 이와 같이 온도변화에 의한 팽창이나 수축을 구속하기 위해 생기는 응력을 열응력(thermal stress)이라 하고, 이 응력에 의한 변형을 구속하려고 하는 데서 발생하기 때문에 열응력 문제는 대부분 부정정 문제가 된다.

포아송 비

01 연강이 갖고 있는 탄성계수 값에서 포아송 수(Poissons Number)를 계산하시오.

해설

- * 연강의 탄성계수(중탄성계수) $E = 2.1 \times 10^6$ (kg/cm²)이며, 전단탄성계수(횡탄성계수) $G = 0.81 \times 10^6$ (kg/cm²)이다. 위에서 언급한 전단탄성계수차 탄성계수 및 포아

송 비 ν 와의 관계인 $E = 2(1 + \nu)G$ 로부터 $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$ 를 이용하여 포아송 수

m 을 구하면 된다. 즉 $\nu = \frac{E}{2G} - 1$ 이고, $\nu = \frac{2.1 \times 10^6}{2 \times 0.81 \times 10^6} - 1 = 0.29629$ 이다.

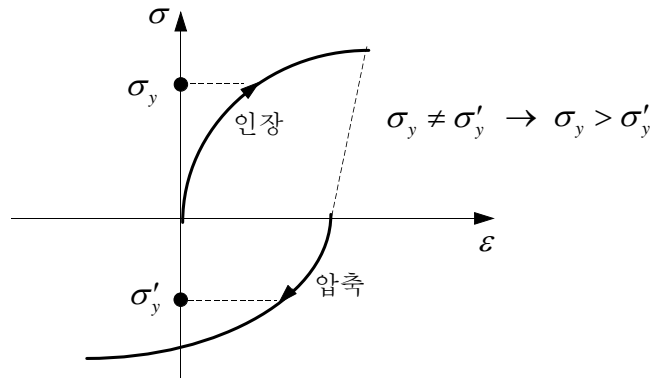
- * 포아송 수는 포아송 비의 역수이므로 포아송 수 $m = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0.29629} = 3.375$ 이다.

바우싱거 효과

01 바우싱거(Bauschinger) 효과에 대해 설명하시오.

해설

- * 기존의 강재가 가지고 있는 항복강도 σ_y 보다 낮은 항복점 σ'_y 에서 소성변형이 일어나는 현상이다.
- * 이론적으로 항복값은 인장이나 압축시에 동일한 값이어야 하나, 물체의 항복점을 초과하여 하중을 가한 다음 역으로 압축하는 교번하중을 받는 경우에 압축하중에 의한 항복점 σ'_y 는 이론적인 항복값보다 낮은 압축응력에서 발생하는 현상을 바우싱거(Bauschinger)효과라고 한다.



응력집중

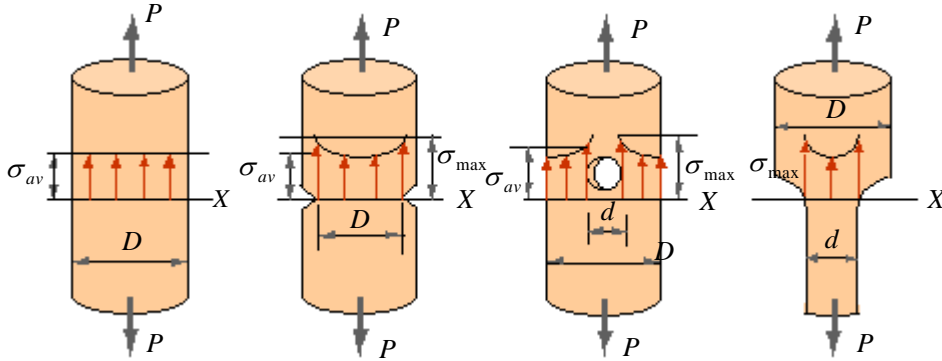
01 응력집중(Stress Concentration) 계수에 대해 설명하시오.

해설

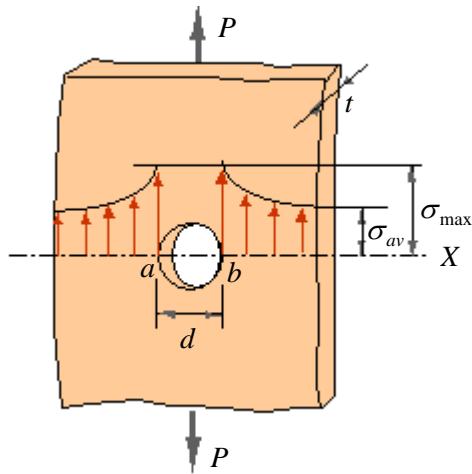
1. 응력집중의 기초

- * [그림 1]과 같이 균일한 단면의 봉에 축방향의 하중이 작용할 때 응력은 단면에 균일하게 작용한다. 그러나 환봉의 임의 부분에 노치(notch), 홀(hole), 키웨이 등이 있을 때, 이 봉에 하중을 작용시키면 그 단면에 나타나는 응력분포 상태는 대단히 불규칙하게 되고, 노치 등 급변하는 부분에서 균열 또는 파괴가 일어나게 된다.

- * 이와 같이 형상이 급격히 변화한 부분은 다른 부분에 비해 큰 응력이 일어나는 상태가 되는데 이러한 현상을 응력집중(stress concentration)이라 한다.



[그림 1] 응력집중 상태



[그림 2] 판재의 응력집중

- * 기계 운전시 일어나는 파단의 대부분은 노치(notch) 부분이 있는 부재가 외력을 받아 한 단면의 평균응력(σ_{av})보다 큰 응력이 발생하여 응력 분포가 불규칙해지기 때문인데, 여기에 교변 또는 반복하중까지 가해진다면 진행성의 균열이 생겨 결국 파괴된다.

2. 응력집중의 관계식

- * [그림 2]에서 판의 폭이 b , 두께가 t 인 균일한 단면판에 인장하중 P 가 작용하면 구멍에서 멀리 떨어진 단면에 일어나는 응력분포는 균일단면에서와 같이 일정하여, 다음의 식이 된다.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{bt}$$

- * 구멍의 중심을 통하는 단면에 일어나는 세로 방향의 응력 분포는 원형 구멍의 가장자리에 있는 a, b 점에서 응력집중이 발생하여 큰 응력으로 나타나고 a, b 에서 멀어질수록 감소한다. a, b 점 부분에서 일어나는 큰 응력을 최대집중응력 σ_{\max} 이라 한다.
- * 원형 구멍 부분의 단면에서 구멍 부분을 제외한 전단면적에 작용하는 응력을 공칭 응력(nominal stress, σ_n)이라 하며, 이것은 응력집중을 고려하지 않은 평균응력으로서, 그 크기는 다음의 식으로 된다.

$$\sigma_n = \frac{P}{(b-d)t} = \sigma_{av}$$

- * 최대집중응력 σ_{\max} 과 평균응력 σ_{av} 와의 비를 형상계수 또는 응력집중계수 α_k 라 하며, 다음의 식으로 구한다.

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{av}}$$

- * α_k 의 값은 탄성한도 내에 있으며 노치(notch) 등의 형상과 하중의 종류에 따라 정해지고 부재의 크기 또는 재질과는 무관하다. 형상이 간단한 경우에는 계산에 의하여 구하고, 복잡한 경우에는 스트레인 게이지(strain gauge)나 광탄성시험으로 측정한다. 또한 α_k 는 인장의 경우가 일반적으로 크며, 굽힘, 비틀림의 순으로 작게 된다.

02 강판의 폭 20(cm), 두께 20(mm)인 경우 판의 중앙에 직경 4(cm)의 구멍이 뚫려 있다. 축 방향에 2,000(kgf)의 인장하중이 작용한다면 응력집중계수는 얼마인가? (단, 탄성시험에 의해 발생하는 최대응력은 250(kgf/cm²)이다.)

해설

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{av}} = \frac{\sigma_{\max}}{\frac{P}{(b-d)t}} = \frac{250}{\frac{2,000}{(20-4) \times 2}} = 4$$

03 응력집중(Stress Concentration) 완화대책 4가지에 대해서 설명하시오.

해설

- ① 각, 홈 부분에 큰 곡률반경 적용
- ② 예리한 모서리 부분의 절단 가공처리
- ③ 응력집중 부분의 보강 ④ 표면처리로 경화

S-N 곡선

01 S-N 곡선에 관한 다음 물음에 답하시오.

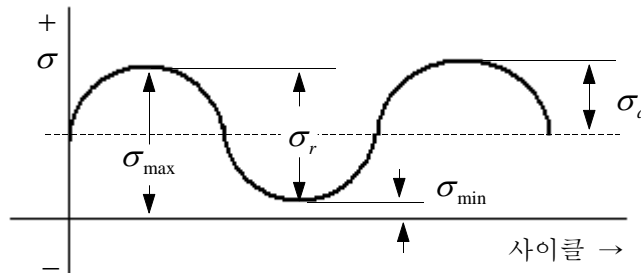
- 1) 응력비 R 은 어떻게 정의되고 피로수명에 주는 영향은?
- 2) S-N 곡선이란? (간단히 그림으로 그리고 설명하시오.)

해설

○ 응력비(Stress Ratio) R

* [그림 1]에서 보는 바와 같이 평균응력(Mean Stress) σ_m , 응력진폭(Stress Amplitude) σ_a , 응력폭(Stress Range) σ_r 이라고 하면 각각의 정의 식 표현은 다음과 같다.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \quad \sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 2\sigma_a, \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

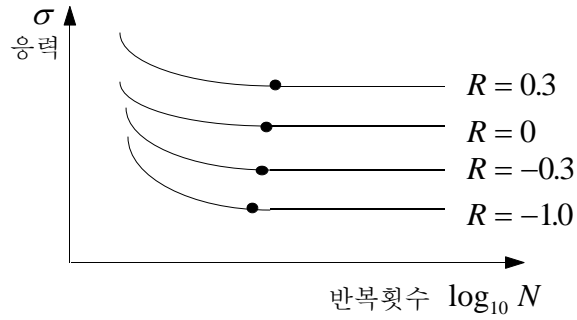


[그림 1] 응력 곡선

* 피로자료를 표시하는데 사용되는 응력비(Stress Ratio) R 의 값으로는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

* 응력비 R 의 값에 따른 S-N 곡선의 변화는 다음과 같다.



[그림 2] S-N 곡선

* 위의 [그림 2]에서 볼 수 있듯이 R 의 값이 증가함에 따라 피로한도가 증가하는 것을 알 수 있다.

5.3 압축, 인장 및 전단

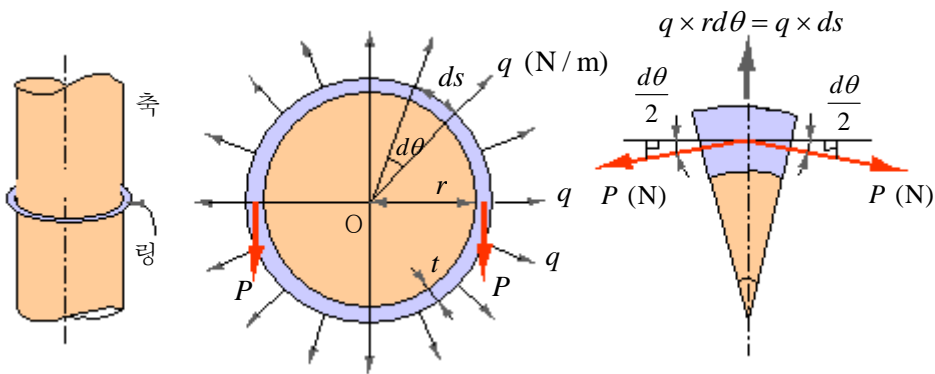
원환응력

01 회전하는 얇은 원통의 원둘레에 생기는 응력의 식을 쓰시오.

해설

○ 얇은 원환의 응력

* 두께가 얇은 원환(ring)이 [그림 1]과 같이 균일하게 분포된 반지름 방향의 하중을 받는 경우, 이 원환의 단면적 A 가 원주를 따라서 균일하고 두께 t 가 반지름 r 에 비하여 작은 경우 그와 같은 하중으로 인하여 그 원환 속에 발생하는 원주 방향의 응력과 변형률이 각 단면 위에 균일하게 분포된다고 볼 수 있으므로, 단순인장과 단순압축으로 취급할 수 있다.



[그림 1] 얇은 원환(ring)

- * 원환에 작용하는 분포하중은 내압 또는 외압이거나 회전하는 원환인 경우 원심력일 수도 있다. 모든 경우에 대하여 원환의 중심선, 즉 평균반지름 r 에 대한 원주의 단위길이당 작용하는 하중의 값 q (N/m)를 분포하중의 세기라 말할 수 있다.
- * 내압과 외압에 의한 하중으로 인해 원환 속에 발생하는 내력(內力)을 보면 길이 $ds(=rd\theta)$ 인 미소요소에서 평형 조건은 다음과 같다.

$$q \times rd\theta - 2P \times \frac{d\theta}{2} = 0 \rightarrow P = qr$$

여기서, P : 원환 인장력(hoop tension)으로 원주방향의 인장력

$q \times rd\theta$: 반지름 방향의 외적 하중의 원심력

* 힘(원환 인장력)은 원환의 단면적 A 위에 균일하게 분포하므로 원환응력 σ 는

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{qr}{A}$$

* 또한, 원환 둘레와 단면에 균일하게 분포되는 원주방향의 변형률 ε_1 은

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E} = \frac{qr}{AE}$$

이고, 원환의 둘레와 지름의 비는 원주율 π 와 같으므로 그 원환의 지름의 변형률은 원주 방향의 변형률과 같게 된다. 이 지름의 변형률은 가열 끼워맞춤의 문제에서 중요한 역할을 한다.

* 실제 응용에서는 회전하는 원환 속의 인장응력을 계산해야 하며, 이때 q 는 원환의 단위길이에 작용하는 원심력이 되며 원환의 각속도를 ω (rad/s), 반지름을 r , 원주 속도를 v , 원환의 단위길이당 중량을 w 로 표시할 때,

$$\text{단위 길이당 작용하는 원심력 } q = \frac{w}{g} \times \frac{v^2}{r}$$

$$\text{원환 속에 작용하는 원주방향의 원심력 } P = qr = \frac{wv^2}{g} = \frac{w}{g} \times \omega^2 r^2$$

[참고] $v = \omega r$ (또는 $v = r\omega$)

$$\text{원환 속의 인장응력 } \sigma = \frac{P}{A} = \frac{wv^2}{Ag} = \frac{v^2}{Ag} \times A\gamma = \frac{\gamma v^2}{g} = \frac{\gamma}{g} \times \omega^2 r^2$$

여기서, 단위길이당 중량 $w = A \times 1 \times \gamma = A\gamma$

* 고속으로 회전하는 큰 지름의 원환(ring) 속에는 매우 큰 응력이 발생하므로 회전 속도를 제한해야 한다.

원통응력

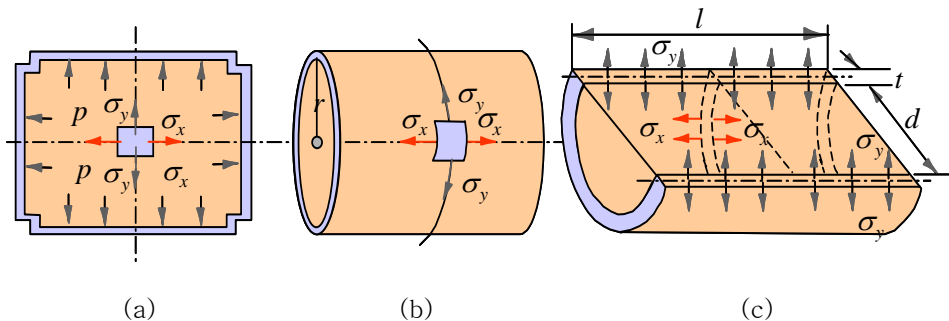
01 내압 P 를 받는 얇은 원통형(Thin-Walled Cylinder) 보일러에서 발생하는 원주방향응력(Hoop Stress, σ_h)과 축방향응력(Axial Stress, σ_a)의 크기를 안전의 관점에서 비교·설명하시오.

해설

[참고] 응력의 표기방법으로 원주방향응력(Hoop Stress) σ_h 는 σ_y 로, 축방향응력(Axial Stress) σ_a 는 σ_x 가 일반적으로 이용된다.

1. 내압을 받는 얇은 원통

* 보일러, 물 또는 가스 저장탱크, 송수관, 압력용기 등과 같이 안지름에 비하여 두께가 얇은 원통($d > 10t$) 또는 관(tube)에 내압이 작용하는 경우 강관의 내부에는 압력에 저항하는 인장응력이 발생한다.



[그림 1] 내압을 받는 얇은 원통

- * [그림 1]에서 보는 바와 같이 안지름이 d , 두께가 t 인 내압 P (N/m^2)를 받는 원통에서 [그림 1] (c)에서 처럼 가로 방향(상하방향)으로 파괴되는 경우와 세로 방향(좌우방향)으로 파괴되는 경우가 있다.
- * 가로 방향의 파괴에 대한 응력 σ_y 는 원통 벽면의 양면에서 발생하며, 세로 방향 파괴에 대한 응력 σ_x 는 원환 부분에 생긴다.

2. 가로 방향의 응력 (원주응력, 후프응력)

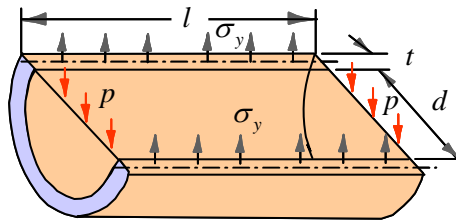
- * [그림 2]와 같이 원통의 하단 부분의 안지름을 d , 두께를 t , 내압을 P , 길이를 l 이라 하면 원통의 단면부에 작용하는 전체 힘 $p(d \times l) = pdl$ 과 이에 대응하여 원통의 두께 부분에 발생하는 내력 P 는 같으므로,

$$P = pdl$$

$$P = 2\sigma_y tl (= pdl)$$

$$\sigma_y = \frac{pd}{2t} = \frac{pd}{2t}, \quad t = \frac{pd}{2\sigma_y} \dots\dots\dots (1)$$

- * 여기서, σ_y 는 원통의 원주상에 균일하게 분포하는 응력이며, 이 응력을 원주응력 또는 후프응력(Hoop stress)라 한다. 이 후프응력은 원통벽의 안쪽이 크고 바깥쪽이 작으나, 지름에 비하여 두께가 작은 얇은 원통의 경우는 원통벽 내외측의 응력은 균일한 것으로 본다.



[그림 2] 가로 방향의 응력 (원주응력, Hoop응력)

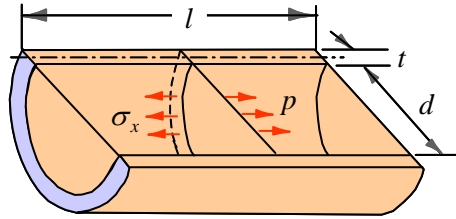
3. 세로 방향의 응력 (축응력)

- * [그림 3]과 같이 원통의 축 방향과 수직한 단면으로 절단한 단면에 작용하는 전체 힘은 $pA = p \times \frac{\pi d^2}{4}$ 이고, 이것에 저항하기 위해 원통의 세로 방향 단면에는 축 방향으로 인장응력 σ_x 가 발생하며, 저항력은 $\sigma_x A = \sigma_x \pi d t$ 이므로 힘의 평형으로부터 다음 식이 성립된다.

$$P = \left(pA = p \times \frac{\pi d^2}{4} \right) = (\sigma_x A = \sigma_x \times \pi d t)$$

$$\sigma_x = \frac{p \times (\pi d^2 / 4)}{\pi d t} = \frac{pd}{4t}, \quad t = \frac{pd}{4\sigma_x} \dots\dots\dots (2)$$

* 이 응력 σ_x 를 세로 응력, 즉 축 방향의 응력으로서 축응력이라 한다.



[그림 3] 세로 방향의 응력 (축응력)

4. 가로, 세로 방향의 응력 비교

* 식 (1), 식 (2)로부터 가로 방향의 응력(원주응력) σ_y 는 세로 방향의 응력(축 방향의 응력) σ_x 의 2배가 되므로 내압을 받는 얇은 원통의 파괴는 종단면(원주응력)을 따라 일어나며, 원통을 이음할 때는 세로 이음을 가로 이음의 2배의 강도가 되도록 이음하여야 한다.

02 안지름 300mm, 두께 6mm인 강제원통형 용기에 가할 수 있는 내압력 p 는 얼마인가? (단, 강의 인장강도는 45.9kgf/mm^2 이다.)

해설

1. 내압을 받는 원통에 작용하는 응력

* 내압을 받는 얇은 원통형 압력용기에 작용하는 응력에는 축방향응력과 원주방향응력이 있는데 원주방향응력이 축방향응력의 2배이므로 원통형 용기를 설계할 때는 원주방향응력에 대하여 설계를 중시하여야 한다.

$$\text{원주방향의 응력 } \sigma_y = \frac{pD}{2t}$$

$$\text{축방향의 응력 } \sigma_x = \frac{pD}{4t}$$

2. 내압력 p 계산

$$\text{원주방향의 응력 } \sigma_y = \frac{pD}{2t} \rightarrow p = \frac{2t\sigma_y}{D} = \frac{2 \times 6 \times 45.9}{300} = 1.836 \text{ [kgf/mm}^2 \text{]}$$

03) 2MPa의 내압이 작용되고 있는 원통형 및 구형 압력용기가 있다. 각 압력용기에 요구되는 최소두께를 각각 결정하라. 각 용기의 내경은 2m이고, 재료의 항복강도는 300MPa, 항복강도에 대한 안전계수는 3, 부식여유는 2mm이다.

해설

1. 내압을 받는 원통의 최소두께

$$\sigma_y = \frac{pD}{2t} [N/m^2] \rightarrow t = \frac{pD}{2\sigma_y}$$

용접효율 η 고려시 (두께 t 가 부식여유만큼 더 두꺼워 져야 함)

$$\sigma_y = \frac{pD}{2t\eta} \rightarrow t = \frac{pD}{2\sigma_y\eta}$$

$$t = \frac{2[Mpa] \times 2}{2 \times 100[Mpa] \times 1} = 0.02[m] = 20[mm]$$

$$\text{여기서, } \sigma_y = \frac{\sigma_u}{S} = \frac{300}{3} = 100 [MPa]$$

$$\text{최소두께} = t + \text{부식여유} = 20 + 2 = 22[mm]$$

2. 두께가 얇은 구의 최소두께

$$\sigma_t = \frac{pD}{4t} \rightarrow t = \frac{pD}{4\sigma_t\eta}$$

$$t = \frac{pD}{4\sigma_t\eta} = \frac{2 \times 2}{4 \times 100 \times 1} = 0.01 [m]$$

$$\text{최소두께} = t + \text{부식여유} = 10 + 2 = 12[mm]$$

04 두께가 t , 내부 반지름이 r 인 원통형 압력용기에 압력 p 가 작용되고 있다. 다음 사항에 대하여 설명하시오.

- 1) 원통부에 발생하는 최대 수직응력
- 2) 원통부에 발생하는 절대최대전단응력

해설

1. 내압을 받는 원통의 최대수직응력

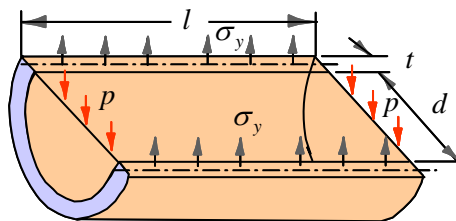
* 내압을 받는 원통의 최대수직응력은 가로 방향의 응력(원주응력, 후프응력)인 σ_y 를 의미한다.

* [그림 1]에서와 같이 원통의 하단 부분의 안지름을 d , 두께를 t , 내압을 p , 길이를 l 이라 하면 원통의 단면부에 작용하는 전체 힘 $p(d \times l) = pdl$ 과 이에 대응하여 원통의 두께 부분에 발생하는 내력 P 는 같으므로, $P = pdl$,

$$P = 2\sigma_y tl (= pdl) \text{ 이고}$$

* 원통부에 발생하는 최대 수직응력은 $\sigma_y = \frac{pd}{2t} = \frac{pd}{2t}$, 두께는 $t = \frac{pd}{2\sigma_y}$ 이다.

* 여기서, σ_y 는 원통의 원주상에 균일하게 분포하는 응력이며, 이 응력을 원주응력 또는 후프응력(Hoop stress)라 한다. 이 후프응력은 원통벽의 안쪽이 크고 바깥쪽이 작으나, 지름에 비하여 두께가 작은 얇은 원통의 경우는 원통벽 내외측의 응력은 균일한 것으로 본다.



[그림 1] 가로 방향의 응력 (원주응력, Hoop응력)

2. 원통부에 발생하는 절대최대전단응력

* 모어 응력원에서 주응력 σ_1 과 σ_2 를 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ 로써 표시해 보면 다음과 같다.

① 최대주응력 $\sigma_1 = \sigma_{av} + R = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$

$= \overline{OC} + \overline{CA} = \overline{OA}$

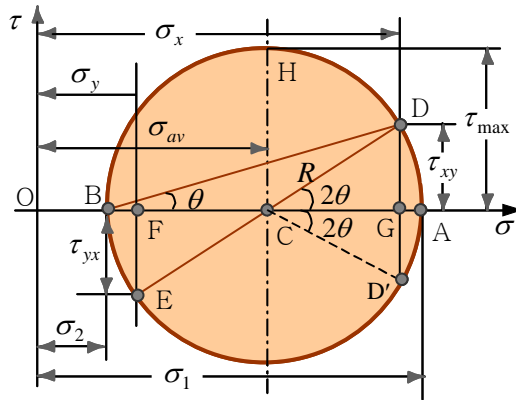
② 최소주응력 $\sigma_2 = \sigma_{av} - R = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$

$= \overline{OC} - \overline{CA} = \overline{OC} - \overline{BC} = \overline{OB}$

③ 최대전단응력 $\tau_{max} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} = R = \overline{CH} = \overline{BC} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$

④ 최소전단응력 $\tau_{min} = -\tau_{max} = -\overline{CH}$

⑤ 원통부에 발생하는 절대최대전단응력 $|\tau_{max}| = \tau_{max} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$



[그림 2] 평면응력 상태에서의 모어의 응력원

구형 압력용기 응력

01 두께가 10mm이고 내경이 2m인 구형 압력용기가 있다. 압력용기 재료의 인장강도는 400MPa이고 허용응력은 인장강도를 기준으로 안전계수가 4가 되도록 결정될 때 이 용기에 가할 수 있는 최대 내압을 구하시오. (단, 부식여유는 고려하지 않고, 이음효율은 100%라고 한다)

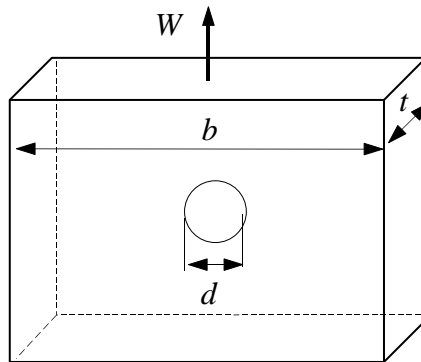
해설

$$\text{두께가 얇은 구의 응력 } \sigma_t = \frac{PD}{4t\eta} [N/m^2]$$

$$P = \frac{4t\eta\sigma_t}{D} = \frac{4 \times 0.01 [m] \times 1 \times (400/4) [MPa]}{2 [m]} = 2 [MPa]$$

인장, 압축 및 전단

01 그림과 같은 중앙에 지름이 $d=100(\text{mm})$ 의 구멍이 뚫린 폭 $b=220(\text{mm})$ 의 판에 인장하중 $W=33,600(\text{kgf})$ 이 작용할 때, 안전율을 13 이상으로 하려면 판의 두께는 얼마 이상으로 해야 하는가? (단, 재료의 인장강도는 $39(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 이다.)



해설

$$* \sigma_a = \frac{W}{A} = \frac{W}{(b-d) \times t} \text{ 의 식으로부터 두께 } t \text{ 를 구한다.}$$

$$t = \frac{W}{(b-d) \times \sigma_a} = \frac{3,600}{(220-100) \times 3} = 10 [mm]$$

여기서, W 는 인장하중으로 제시되었으나, 여기서는 사용하중으로 보고 대입함

$$\sigma_a = \frac{\sigma_u}{S_f} = \frac{39}{13} = 3 [kgf / mm^2]$$

02 지름 5(cm), 길이 1.5(m)인 연강의 한 끝을 고정하고, 다른 끝에 8,000 (kgf · cm)의 비틀림 모멘트가 작용할 때, 이 봉에 생기는 최대전단응력을 구하시오.

해설

$$\text{전단응력 } \tau = \frac{T}{Z_p} = \frac{T}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 8,000}{\pi \times 5^3} = 325.95 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

[참고] 굽힘응력 $\sigma_b = \frac{M}{Z} \rightarrow M = \sigma_b Z$ (여기서, 단면계수 $Z = \frac{\pi d^3}{32}$)

전단응력 $\tau = \frac{T}{Z_p} \rightarrow T = \tau \cdot Z_p$ (여기서, 극단면계수 $Z_p = \frac{\pi d^3}{16}$)

03 두께가 25mm인 중공원형봉에 압축하중 100kN을 가하고 있다. 재료의 항복응력은 50MPa이며 안전계수가 2일 때 원기둥의 최소외경 d_o 를 구하시오.

해설

안전계수 $S_f = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} \rightarrow \sigma_a = \frac{\sigma_y}{S_f} = \frac{50}{2} = 25 \text{ [MPa]}$

압축하중 $\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi(d_o^2 - d_i^2)/4}$ (여기서, $\sigma_c = \sigma_a$)

$$d_o^2 - d_i^2 = \frac{4P}{\pi\sigma_a} = \frac{4 \times 100 \times 10^3 \text{ [N]}}{\pi \times 25 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}} = 0.005 \text{ [m}^2\text{]} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, 두께 $t = \frac{d_o - d_i}{2} = 0.025 \text{ [m]} \rightarrow d_i = d_o - 0.05$ 이므로 식 (1)에 대입함

$$d_o^2 - d_i^2 = 0.05 \rightarrow d_o^2 - (d_o - 0.05)^2 = 0.05 \rightarrow d_o = 0.026 \text{ [m]}$$

04 3,600rpm으로 회전하는 35.5kW 모터에 필요한 원형단면축의 지름은 최소 몇 mm인가? (이때 축의 허용전단 응력은 60MPa이다.)

해설

○ 원형단면축 지름 구하기

* 축의 허용전단 응력 공식으로부터 원형단면축의 지름을 구한다.

* $T = \tau_a \cdot Z_p = \tau_a \times \frac{\pi d^3}{16}$ 으로부터

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 9,604.7}{3.14 \times 61.2}} = 19.99 [mm]$$

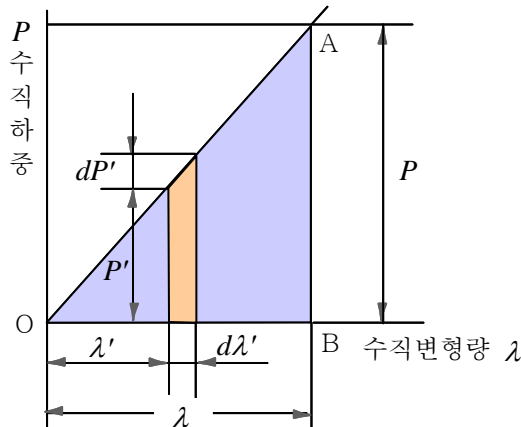
여기서, $T = 974,000 \frac{H_{kW}}{N}$ 에서 $T = 974,000 \times \frac{35.5}{3,600} = 9,604.7 [kgf \cdot mm]$

인장 · 압축 · 전단 탄성에너지

01 재료가 탄성한도 내에서 하중 (P)이 가해져서 Δx 만큼의 변형이 발생하였다. 이때 변형에너지(U)는 얼마인가?

해설

1. 변형에너지



[그림 1] 인장 · 압축 탄성에너지

- * 길이 l 이고, 단면적 A 가 일정한 봉에 인장하중을 가할 때 변형량 λ 와 하중 P 의 관계는 [그림 1]과 같이 직선관계가 된다. 즉, 하중 P' 일 때 변형량 λ' 이며, 하중 dP' 만큼 증가하면 변형량은 $d\lambda'$ 만큼 증가하게 된다
- * 이때 외부에서 작용하는 힘이 하는 일은 $dP'd\lambda'$ 이다. 봉이 인장하중 P 를 받을 때 봉 내부에 저장되는 전(全)에너지는 [그림 1]에서 $P'd\lambda'$ 과 같은 중간 음영부분을 모두 합한 면적으로 표시하며 이것은 봉의 내부에 변형에너지로 저장된다.
- * 하중 P 가 작용한 상태에서 변형량 λ 까지 변형할 때 물체에 저장된 전 에너지는 면적 OAB가 되며 이것을 탄성에너지 U 라고 하며, 다음의 식으로 된다.

$$U = \int_0^\lambda dU = \int_0^\lambda P' d\lambda' = \frac{P\lambda}{2}$$

- * 이때 P, λ 사이에는 후크의 법칙이 성립되기 때문에 종탄성계수를 E 라고 할 때

$$\lambda = \frac{Pl}{AE} \quad \text{또는} \quad P = \frac{AE\lambda}{l}$$

을 대입하면 탄성에너지 U 는 다음의 식으로 된다.

$$U = \frac{P\lambda}{2} = \frac{P^2 l}{2AE} = \frac{\sigma^2}{2E} Al = \frac{AE\lambda^2}{2l} = \frac{E\varepsilon^2}{2} Al \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

여기서, λ 는 변형량으로서 Δx 와 같은 의미이다.

2. 단위체적당 변형에너지

- * 단위체적당 변형에너지 또는 최대탄성에너지를 u 라고 하면, 다음의 식이 된다.

$$u = \frac{U}{V} = \frac{U}{Al} = \frac{P^2}{2A^2E} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\sigma\varepsilon}{2} = \frac{E\lambda^2}{2l^2} = \frac{E\varepsilon^2}{2} \quad (\text{N} \cdot \text{m} / \text{m}^3)$$

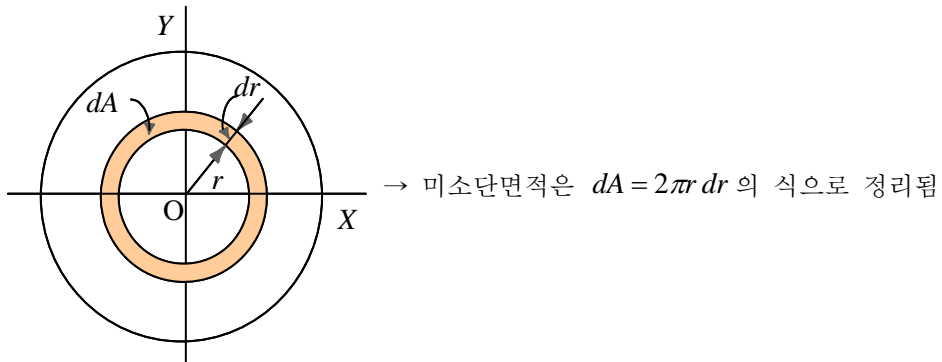
5.4 축의 비틀림

극관성모멘트

01 원형 단면축의 극관성 모멘트를 구하는 식을 쓰시오.

해설

* 원형 단면에서 중심 O점에 대한 극관성모멘트는 다음과 같이 구할 수 있다.



* 극관성모멘트(극단면2차모멘트)
$$I_p = \int r^2 dA = \int_0^{d/2} r^2 (2\pi r dr) = \frac{\pi d^4}{32}$$

[참고] 극단면계수, 관성모멘트, 단면계수

1. 극단면계수
$$Z_p = \frac{I_p}{e} = \frac{\pi d^4 / 32}{d / 2} = \frac{\pi d^3}{16}$$

2. 관성모멘트(단면2차모멘트)
$$I_x = I_y = I = \frac{I_p}{2} = \frac{\pi d^4 / 32}{2} = \frac{\pi d^4}{64}$$

3. 단면계수
$$Z = \frac{I}{e} = \frac{\pi d^4 / 64}{d / 2} = \frac{\pi d^3}{32}$$

전동축

01 240rpm으로 8kW를 전달하는 외경 70mm, 내경 60mm, 길이 2m의 중공 원축이 있다. 다음 각 항의 물음에 답하시오. ($G=0.81 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2$)

- 1) Torque(토크) T를 구하시오. 2) 극단면 2차 모멘트를 구하시오.
3) 비틀림각을 구하시오. 4) 극단면계수를 구하시오. 5) 전단응력을 구하시오.

해설

1. Torque(토크) T

$$T = 974,000 \times \frac{H_{kW}}{N} = 974,000 \times \frac{8}{240} = 3,246.67 [\text{kgf} \cdot \text{mm}]$$

2. 극단면 2차 모멘트

$$\begin{aligned} \text{극단면 2차 모멘트(극관성 모멘트)} \quad Z_p &= \frac{\pi}{32}(d_o^4 - d_i^4) \\ &= \frac{\pi}{32}(70^4 - 60^4) = 1,084.21 [\text{mm}^4] \end{aligned}$$

[참고] 관성모멘트 $I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64}$, 극관성모멘트 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$

$$\text{단면계수} \quad Z = \frac{\pi d^3}{32}, \quad \text{극단면계수} \quad Z_p = \frac{\pi d^3}{16}$$

3. 비틀림각

$$\text{비틀림각} [\text{rad}] \quad \phi = \frac{Tl}{GI_p} = \frac{3,246.67 \times 2,000}{0.81 \times 10^4 \times 1,084,831.213} = 0.000738 [\text{rad}]$$

$$\text{여기서, } I_p = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32} = \frac{\pi(70^4 - 60^4)}{32} = 1,084,831.213 [\text{mm}^4]$$

$$\text{비틀림각} [^\circ] \quad \phi = 0.000738 \times \frac{180}{\pi} = 0.0423 [^\circ]$$

4. 극단면 계수

$$Z_p = \frac{I_p}{d_o/2} = \frac{\pi}{16d_o} (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{16 \times 70} (70^4 - 60^4) = 30,979.46 [mm^3]$$

5. 전단응력

$$T = \tau \cdot Z_p = \tau \times \frac{\pi}{16d_o} (d_o^4 - d_i^4) \text{ 으로부터}$$

$$\tau = \frac{16d_o \times T}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} = \frac{16 \times 70 \times 3,246.67}{\pi(70^4 - 60^4)} = 0.105 [kgf / mm^2]$$

5.5 보의 전단과 굽힘

보와 하중의 종류

01 하중의 종류를 1) 작용하는 방향, 2) 걸리는 속도, 3) 분포상태에 따라 분류하고 설명하시오.

해설

○ 하중의 종류

1. 하중이 작용하는 방향에 따른 분류

- ① 인장하중 : 재료를 축선방향으로 늘어나게 작용하는 하중
- ② 압축하중 : 재료를 축방향으로 수축(압축)되게 작용하는 하중
- ③ 전단하중 : 재료를 가위로 자르듯이 하중으로 단면에 평행하게 작용되는 하중
- ④ 비틀림하중 : 재료를 비트는 하중
- ⑤ 굽힘하중 : 재료를 구부려 휘어지게 하는 하중

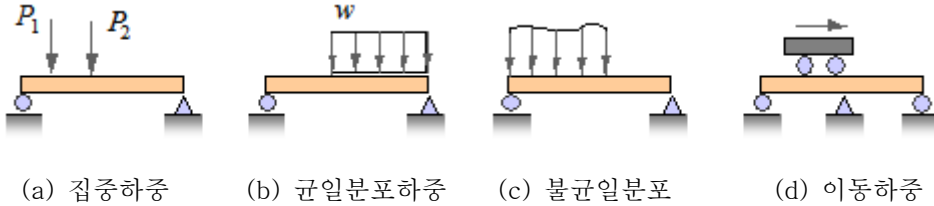
2. 하중의 걸리는 속도에 의한 분류

- ① 정하중 : 시간에 따라서 크기가 변하지 않거나 변화를 무시할 수 있는 하중
- ② 동하중 : 하중의 크기, 방향, 작용점이 시간의 흐름에 따라 변하는 하중
- ③ 교번하중 : 하중의 크기와 방향이 교대로 바뀌는 하중, 피스톤 로드
- ④ 충격하중 : 순간적으로 짧은 순간에(갑작스럽게) 작용하는 하중
- ⑤ 이동하중 : 이동하면서 작용하는 하중

3. 하중의 분포상태에 따른 분류

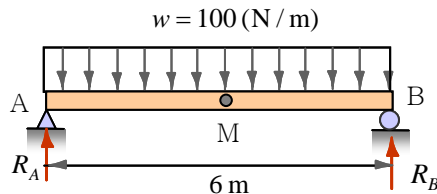
- ① 집중하중(concentrated load) : 보의 어느 한 지점에 집중하여 작용하는 하중이며, 크기는 N , kgf 로 표시한다.
- ② 균일분포하중(uniformly distributed load) : 보의 단위길이에 하중이 균일하게 분포하여 작용하는 하중으로, 등분포하중이라고도 하며, 크기는 N/m , kgf/m 이다.
- ③ 불균일분포하중(varying load) : 보의 단위길이에 하중이 불균일하게 분포하여 작용하는 하중이다.

- ④ 이동하중(moving load) : 차량이 교량 위를 통과할 때처럼 하중이 이동하여 작용하는 하중이다.
- ⑤ 점변분포하중 : 점점 크기가 커지거나 줄어드는 분포를 하는 하중이다.



전단력 선도와 굽힘모멘트 선도

- 01 아래 그림과 같이 같은 w 로 균일분포 하중을 받고 있는 길이 L 인 단순보 AB가 있다. 전단력과 굽힘모멘트를 구한 후 이를 각기 선도(BMD)로 나타내시오.



해설

1. 지점반력 계산

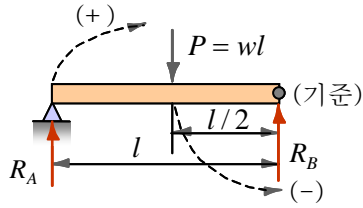
$$R_A + R_B - P = 0$$

$$\sum M_B = 0 ; R_A l - P \times \frac{l}{2} = 0 \rightarrow R_A = \frac{P}{2} = \frac{wl}{2} = \frac{100 \times 6}{2} = 300 \text{ N} = R_B$$

2. 전단력 (V) 산출

$$V_A = R_A = \frac{wl}{2} = 300 \text{ N}, \quad V_M = 0$$

$$V_B = R_A - P = -R_B = -\frac{wl}{2} = -300 \text{ N}$$

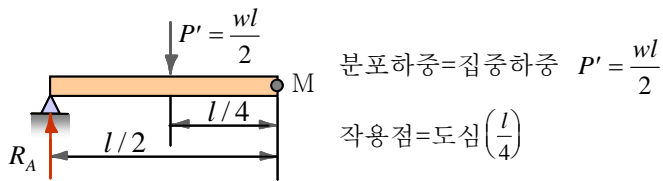


3. 굽힘 모멘트 (M) 산출

$$M_A = R_A \times l - wl \times \frac{l}{2} = \frac{wl}{2} \times l - wl \times \frac{l}{2} = 0$$

$$M_M = M_{\max} = R_A \times \frac{l}{2} - \frac{wl}{2} \times \frac{l}{4} = 300 \times \frac{6}{2} - \frac{100 \times 6}{2} \times \frac{6}{4} = 450 \text{ N} \cdot \text{m}$$

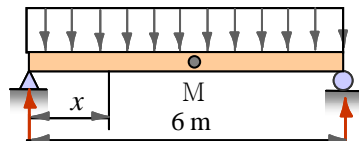
$$M_B = R_A l - wl \times \frac{l}{2} = 300 \times 6 - 100 \times 6 \times \frac{6}{2} = 0$$



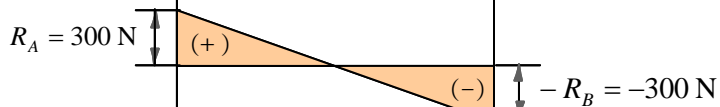
분포하중=집중하중 $P' = \frac{wl}{2}$, 작용점=도심 $\left(\frac{l}{4}\right)$

4. SFD와 BMD 작도

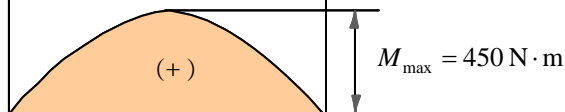
(a) 등분포하중
단순보



(b) SFD



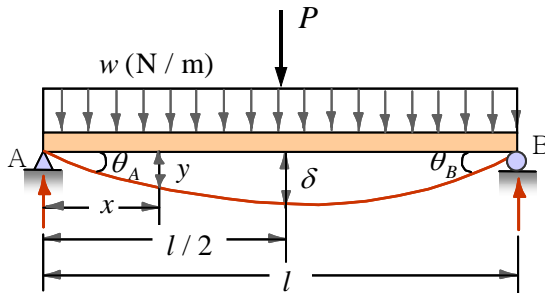
(c) BMD



5.6 보의 처짐

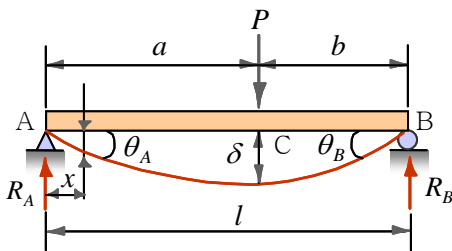
보의 처짐

01 천장 크레인에서 볼 수 있듯이 그림과 같은 단순보에 집중하중 P 와 균일분포하중 w 가 동시에 작용할 때 최대처짐 \max 는 얼마인가? (단, $wl = P$ 이다.)



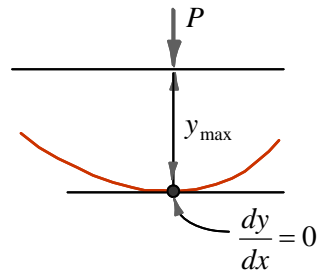
해설

1. 집중하중을 받는 경우의 처짐량



$$(a = l - b, \quad b = l - a)$$

(a)



(변곡점에서 기울기=0)

(b)

[그림 1] 집중하중을 받는 단순보의 처짐

* 최대처짐은 다음 식으로 구해진다(너무 길어서 유도과정은 생략. 결과만 제시).

$$y_{\max} = \delta = \frac{Pb}{9\sqrt{3}EI} \sqrt{(l^2 - b^2)^3}$$

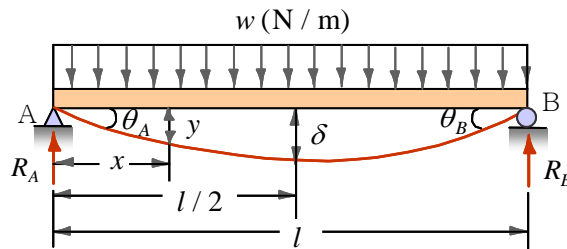
* 하중이 보의 중앙점($a = b = \frac{l}{2}$)에 작용할 때는 상기 식은 다음 식으로 된다.

$$y_{\max(x=l/2)} = \delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

* $a > b$ 인 보의 중앙점의 처짐은 다음 식으로 된다(유도과정은 생략. 결과만 제시).

$$y_{x=l/2} = \delta = \frac{Pb}{48EI} (3l^2 - 4b^2)$$

2. 균일분포하중을 받는 경우의 처짐량



[그림 2] 등분포하중을 받고 있는 단순보의 처짐

* $x = \frac{l}{2}$ (중앙)에서 최대처짐 y_{\max} 이 일어나며 다음의 식이 된다(결과만 제시)..

$$\text{최대처짐량 } y_{\max} = \delta = \frac{5wl^4}{384EI}$$

3. 집중하중과 균일분포 하중을 동시에 받는 경우

최대처짐량=(집중하중+ 균일분포하중)을 받는 경우의 최대처짐량

$$y_{\max(x=l/2)} = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Pl^3}{48EI} + \frac{5wl^4}{384EI}$$

[참고] 이 문제는 기계안전기술사 기출문제로서 유도과정이 어렵지는 않으나 매우 길어서 시험시간 제약상 문제점(이 문제 풀이에만 100분도 모자람)이 있다. 이론적 배경인 유도과정은 생략했으며, 지도사나 기술사 풀이 문제로는 시간 제약 측면상 부적절하다고 본다. 하지만 너무나 유명한 기초라서 알려진 그림과 결과식만이라도 이용해 풀이가 가능하도록 준비해야 한다.

제 7 장

기출문제풀이

-
- 7.1 2013년 기출문제(기계안전공학) / 804
 - 7.2 2014년 기출문제(기계안전공학) / 819
 - 7.3 2015년 기출문제(기계안전공학) / 834
 - 7.4 2016년 기출문제(기계안전공학) / 848
 - 7.5 2017년 기출문제(기계안전공학) / 858
 - 7.6 2018년 기출문제(기계안전공학) / 873
 - 7.7 2019년 기출문제(기계안전공학) / 883
 - 7.8 2020년 기출문제(기계안전공학) / 896
 - 7.9 2021년 기출문제(기계안전공학) / 905
 - 7.10 2022년 기출문제(기계안전공학) / 912
 - 7.11 2023년 기출문제(기계안전공학) / 921
 - 7.12 2024년 기출문제(기계안전공학) / 934
-

산업안전지도사	2019년도 2차시험 (기계안전공학)	시험시간 : 100분
---------	----------------------	-------------

※ 다음 단답형 5문제를 모두 답하시오. (각 5점)

01 위험기계기구 안전인증고시상 고소작업대 무게중심 및 주행장치에 따른 분류를 하고 설명하시오.

풀이 {

1. 개요

- * 고소작업대란 작업대, 연장구조물, 차대로 구성되며 사람을 작업위치로 이동시켜 주는 설비를 말하며 일반적으로 차량 탑재형, 자체 추진형, 보행자 제어형 등이 있다.
- * 고소작업대는 특히 무게중심이 높아 지면의 불균형 및 외부 충격 등 이상상황 발생시 장비의 전도위험과 작업자 추락 위험이 높아 안전작업에 관심이 요망된다. 또한 이런 위험성 등으로 인해 고소작업대는 무게중심 및 주행장치에 따라 분류하고 있는데 그 내용은 다음과 같다.

2. 무게중심에 의한 분류

- ① A그룹 : 작업대 무게중심의 수직 투영이 항상 전복선(tipping line) 안에 있는 고소작업대
- ② B그룹 : 작업대 무게중심의 수직 투영이 전복선(tipping line) 밖에 있을 수 있는 고소작업대

3. 주행 장치에 따른 분류

- ① 제1종 : 적재위치(stowed position)에서만 주행할 수 있는 고소작업대
- ② 제2종 : 차대의 제어위치에서 조작하여 작업대를 상승한 상태로 주행할 수 있는 고소작업대
- ③ 제3종 : 작업대의 제어위치에서 조작하여 작업대를 상승한 상태로 주행할 수 있는 고소작업대

[출처] 위험기계·기구 안전 인증 고시 제16조(정의)

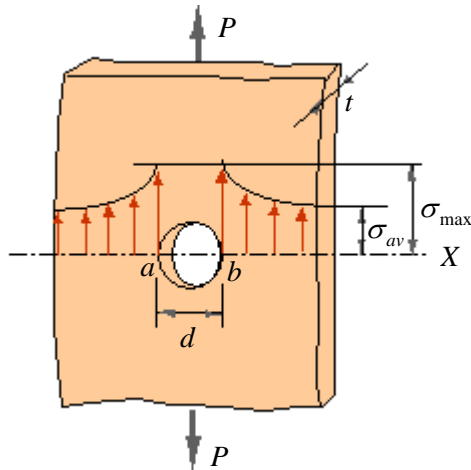
02 기계·기구·설비의 설계 제작에 관련된 응력집중 계수(Stress Concentration Factor)에 관하여 쓰시오.

풀이

1. 개요

- * 물체가 외부에서 힘을 받았을 때 그 힘을 외력이라 하고, 재료에 가해진 외력을 하중이라 하며, 어떤 물체에 하중이 작용하면 그 물체 내부에는 저항하는 힘이 생겨 균형을 이루려고 한다.
- * 이 저항력을 응력이라 하며 응력은 재료의 강도 저하, 파손 등을 야기시키므로 응력을 잘 이해하는 것은 안전을 위해 중요하며, 응력과 관련된 여러 개념 중 응력집중계수는 다음과 같다.

2. 응력집중 계수



[그림 1] 판재의 응력집중

- * [그림 1]에서 판의 폭이 b , 두께가 t 인 균일한 단면판에 인장하중 P 가 작용하면 구멍에서 멀리 떨어진 단면에 일어나는 응력분포는 균일단면에서와 같이 일정하여, 다음의 식이 된다.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{bt}$$

- * 구멍의 중심을 통하는 단면에 일어나는 세로 방향의 응력 분포는 원형 구멍의 가장자리에 있는 a, b 점에서 응력집중이 발생하여 큰 응력으로 나타나고 a, b 에서 멀어질수록 감소한다. a, b 점 부분에서 일어나는 큰 응력을 최대집중응력 σ_{\max} 이라 한다.
- * 원형 구멍 부분의 단면에서 구멍 부분을 제외한 전단면적에 작용하는 응력을 공칭 응력(nominal stress, σ_n)이라 하며, 이것은 응력집중을 고려하지 않은 평균응력으로서, 그 크기는 다음의 식으로 된다.

$$\sigma_n = \frac{P}{(b-d)t} = \sigma_{av}$$

- * 최대집중응력 σ_{\max} 과 평균응력 σ_{av} 와의 비를 형상계수 또는 응력집중계수 α_k 라 하며, 다음의 식으로 구한다.

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{av}}$$

- * α_k 의 값은 탄성한도 내에 있으며 노치(notch) 등의 형상과 하중의 종류에 따라 정해지고 부재의 크기 또는 재질과는 무관하다. 형상이 간단한 경우에는 계산에 의하여 구하고, 복잡한 경우에는 스트레인 게이지(strain gauge)나 광탄성시험으로 측정한다. 또한 α_k 는 인장의 경우가 일반적으로 크며, 굽힘, 비틀림의 순으로 작게 된다.

03 산업안전보건기준에 관한 규칙에 따라 다음 사례의 재해를 예방하기 위해 지게차에 있어야 하는 장치 명칭과 장치의 3가지 설치기준을 쓰시오.

산업현장에서 좌승식 전동지게차에 의한 중대재해가 발생하여, 현장을 확인해 보니 지게차에는 화물이 적재되어 있지 않은 상태였으며, 현장 목격자 진술에 의하면 현장에 적재된 화물이 지게차 운전자에 낙하되어 재해가 발생하였다고 진술하였다.

풀이 {

1. 개요

- * 상기 재해는 지게차에 적재된 화물이 지게차 운전자에게 낙하되어 일어난 사고로 판단되며, 이런 재해를 예방하기 위해 지게차에 있어야 할 장치와 설치기준은 다음과 같다.

2. 장치명칭 : 헤드가드

3. 설치기준

- ① 강도는 지게차의 최대하중의 2배 값(4톤을 넘는 값에 대해서는 4톤으로 한다)의 등분포정하중에 견딜 수 있을 것
- ② 상부틀의 각 개구의 폭 또는 길이가 16cm 미만일 것
- ③ 운전자가 앉아서 조작하거나 서서 조작하는 지게차의 헤드가드는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준(KS)에서 정하는 높이 기준 이상일 것

04 산업안전보건기준에 관한 규칙상 용접·용단, 가열에 사용되는 가스 등의 용기를 취급하는 경우 사용·설치·저장 또는 방치하지 않아야 할 3가지 장소에 관하여 쓰시오.

풀이

1. 개요

- * 용접·용단, 가열에 사용되는 가스 등의 용기는 취급부주의로 내용물이 누출되거나 충격을 받아 넘어질 경우 화재·폭발 등 대형 재해의 위험이 있으므로 관리에 관심이 요망되며 특히, 사용·설치·저장 또는 방치하지 않아야 할 장소는 다음과 같다.

2. 가스 등의 용기를 설치·저장 또는 방치하지 않도록 할 장소 (산기규 제234조)

- ① 통풍이나 환기가 불충분한 장소
- ② 화기를 사용하는 장소 및 그 부근
- ③ 위험물 또는 인화성 액체를 취급하는 장소 및 그 부근

05 다음과 같은 펌프에서 발생 가능한 문제를 방지하기 위한 5가지 대책을 쓰시오.

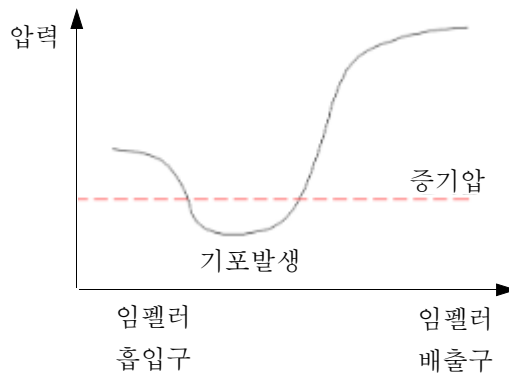
저장조에 저장된 물질을 운반하기 위한 원심펌프가 설치된 제조업 현장을 점검한 결과 펌프의 설치위치가 흡수면으로부터 약 6m 정도 높게 설치되었고, 흡입배관의 설치형태가 복잡하게 설치되어 있는 것을 확인하였다.

풀이 {

1. 캐비테이션(cavitation) 현상 가능성 및 대책

(1) 캐비테이션(공동현상)의 정의

- * 공동현상(空洞)이라고도 하며, 유체의 속도변화에 의해 유체 내에서 공동(증기포)이 생기고, 유속이 변할 때 공동이 파괴되는 현상이다.
- * 공동현상은 빠른 속도로 유체가 운동할 때 액체의 압력이 증기압 이하로 낮아져서 증기포가 발생한 후 파괴되는 현상이다.



(2) 캐비테이션의 영향

- * 침식, 충격, 진동, 소음, 추지성능(효율) 저하

(3) 캐비테이션 방지법

- ① 펌프의 설치위치를 낮추어 흡입수두를 줄인다.
- ② 유속을 낮게 한다. ③ 펌프의 회전수를 줄인다.
- ④ 흡입관경을 크게 한다. ⑤ 수중펌프를 이용한다.

2. 서징(Surging) 현상 가능성 및 대책

(1) 서징(Surging)의 정의

- * 서징(Surging) 현상은 맥동현상이라고도 한다.
- * 펌프의 운전 중에 압력계기의 눈금이 어떤 주기를 가지고 큰 진폭으로 흔들림과 동시에 토출량은 어떤 범위에서 주기적으로 변동이 발생하고 흡입 및 토출배관의 주기적인 진동과 소음을 수반한다.

(2) 원인

- ① 다음의 조건이 동시에 갖추어 졌을 때 발생한다.
 - ㉠ 펌프의 H-Q 곡선이 오른쪽 상향 구배 특성을 가지고 있다.
 - ㉡ 펌프의 토출관로가 길고, 배관 중간에 수조 또는 기체상태인 부분(공기가 괴어 있는 부분)이 존재한다.
 - ㉢ 수조 또는 기체상태가 있는 부분의 하류측 밸브에서 토출량을 조절한다.
 - ㉣ 운전점이 오른쪽 하향 구배 특성 범위 이하에서 운전한다.
- ② 즉, 상기 조건 중 어느 하나만 만족되지 않아도 서징은 발생하지 않는다.

(3) 발생현상

- ① 흡입 및 토출 배관의 주기적인 진동과 소음을 수반
- ② 한 번 발생하면 그 변동 주기는 비교적 일정하고, 송출밸브로 송출량을 조작하여 인위적으로 운전상태를 바꾸지 않는 한 이 상태가 지속된다.

(4) 방지책

- ① 펌프의 H-Q 곡선이 오른쪽 하향 구배 특성을 가진 펌프를 채용한다.
- ② 회전차나 안내깃의 형상 치수를 바꾸어 그 특성을 변화시킨다.
- ③ 바이패스관을 사용하여 운전점이 펌프 H-Q 곡선이 오른쪽 하향 구배 특성 범위에 있도록 한다.
- ④ 배관 중간에 수조 또는 기체상태인 부분이 존재하지 않도록 배관한다.
- ⑤ 유량조절밸브를 펌프 토출측 직후에 위치시킨다.
- ⑥ 불필요한 공기탱크나 잔류공기를 제어하고, 관로의 단면적, 유속, 저항 등을 바꾼다.

※ 다음 논술형 2문제를 모두 답하시오. (각 25점)

06 산업안전보건기준에 관한 규칙상 공기압축기를 가동할 때 작업전을 시작하기 전에 관리감독자가 확인할 점검사항에 관하여 쓰시오.

풀이

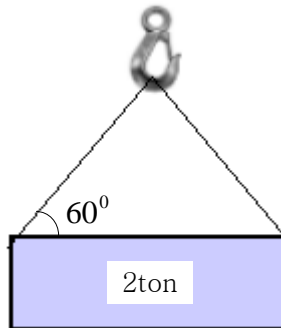
1. 개요

- * 공기압축기는 공기를 일정 압력 이상으로 압축하여 고압 탱크에 저장시키는 장치로서, 압축하는 공기를 생산하는 방식에 따라 피스톤식과 베인식으로 구분한다.
- * 공기압축기의 위험성은 일반적으로 과압에 의한 공기 저장탱크의 폭발, 가연성물질 사용에 따른 화재, 동력전달부에 접촉시 끼임의 위험이다. 따라서 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 관리감독자가 공기압축기 작업전 점검해야 할 사항을 규정하고 있는데 그 내용은 다음과 같다.

2. 작업전 관리감독자가 확인할 점검사항 (산기규 제35조 관련 별표 3)

- ① 공기저장 압력용기의 외관 상태 ② 드레인밸브의 조작 및 배수
- ③ 압력방출장치의 기능 ④ 언로드밸브의 기능 ⑤ 윤활유의 상태
- ⑥ 회전부의 덮개 또는 울 ⑧ 그 밖의 연결 부위의 이상 유무

07 아래 그림과 같이 크레인을 이용한 작업시 다음 물음에 답하시오



- 1) 줄걸이용 와이어 로프의 안전계수를 구하고, 기준규칙상 줄걸이용으로 사용 가능 여부를 판단하라. (단, 로프 절단하중은 8t, 단말고정 이음효율 70%, 소수점 셋째 자리에서 반올림하여 둘째 자리까지 구한다)

2) 산업안전보건기준에 관한 규칙상 줄걸이용 와이어로프 고리부분을 꼬아넣기 (아이스플라이스)로 제작하는 방법에 관하여 쓰시오.

풀이

1. 줄걸이용 와이어 로프의 안전계수 산출 및 사용가능 여부

$$\text{안전계수} = \frac{\text{과단하중} \times \text{단말고정이음효율}}{\text{최대사용하중}} = \frac{8 \times 0.7}{1.15} = 4.87$$

[참고] 이음효율이 고려될 경우, 100%이하인 경우에는 안전계수(안전율)가 낮은 값으로 얻어진다(계산된다).

$$\text{여기서, } T \times \cos 30^\circ \times 2 = 2$$

$$\rightarrow \text{최대사용하중 } T = \frac{2}{\cos 30^\circ \times 2} = \frac{2}{(\sqrt{3}/2) \times 2} = 1.15$$

* 화물의 하중을 직접 지지하는 달기와이어로프 또는 달기체인인 경우 안전율은 5이상이라야 한다. 따라서 사용불가이다.

2. 와이어로프 고리부분을 꼬아넣기(아이스플라이스)로 제작 방법

* 와이어로프의 모든 꼬임을 3회 이상 끼워 짤 후 각각의 꼬임의 소선 절반을 잘라내고 남은 소선을 다시 2회 이상(모든 꼬임을 4회 이상 끼워 짤 경우에는 1회 이상) 끼워 짜야 한다.

[참고] 와이어로프 등 달기구의 안전계수(산기규 제163조)

* 사업주는 양중기의 와이어로프 등 달기구의 안전계수(달기구 절단하중의 값을 그 달기구에 걸리는 하중의 최대값으로 나눈 값을 말한다)가 다음 각 호의 구분에 따른 기준에 맞지 아니한 경우에는 이를 사용해서는 아니 된다.

1. 근로자가 탑승하는 운반구를 지지하는 달기와이어로프 또는 달기체인인 경우: 10 이상
2. 화물의 하중을 직접 지지하는 달기와이어로프 또는 달기체인인 경우: 5 이상
3. 혹, 샤클, 클램프, 리프팅 빔의 경우: 3 이상
4. 그 밖의 경우: 4 이상

※ 다음 논술형 2문제 중 1문제를 선택하여 답하시오. (각 25점)

08 공장 자동화에 필요한 산업용 로봇의 4가지 구성요소에 관하여 쓰시오.

풀이

1. 개요

- * 공장자동화란 생산공정에서 사람의 손을 거치지 않고 기계로 가공물을 운반하고 이송하며, 자동제어에 의해 자동적으로 생산하는 개념이다.
- * 이런 공장자동화 기기로는 수치제어(NC : Numerical Control) 공작기계, 컴퓨터 수치제어(CNC : Computer NC) 공작기계, 직접수치 제어(DNC : Direct NC) 공작기계, 머시닝 센터 (MC : Machining Center), 산업용 로봇 등이 대표적이다.

2. 산업용 로봇의 구성요소 (시스템 측면)

- * 산업용 로봇은 용도에 따른 분류, 동작특성에 따른 분류 등 여러 가지 기준에 따라 분류할 수 있다. 그러나 이런 다양한 분류 기준에도 불구하고 일반적으로 로봇은 생산을 위한 로봇의 고유기능을 수행할 수 있도록 공통적인 구성요소를 가지고 있는데 그 대표적인 구성요소는 다음과 같다.

- ① 구동부(가동부) : 손과 팔, 그리고 발 부분으로 주로 동작을 담당하고 있는 부분이다. 즉, 제어부에서 신호를 받아 동작을 행하는 장치로 링크 및 관절로 구성된 몸체, 사람의 팔과 손에 해당하는 매니플레이터, 그리퍼 등의 말단장치, 그리고 전기모터, 유압모터, 공압 및 유압 실린더 등과 같은 구동장치가 해당된다.
- ② 제어부 : 구동부의 동작을 제어하기 위한 요소로 검출부가 송출하는 물리정보나 그 처리신호를 받아 로봇의 실제 움직임과 원하는 움직임이 일치하도록 출력 구동신호를 주는 부분이다. 제어기, 처리기, 제어 응용 소프트웨어 등이 해당된다. 일반적으로 서보(servo) 제어를 페루프 시스템, 비서보(non servo) 제어를 개루프 시스템이라고 한다.
- ③ 검출부 : 제어부의 기능 달성을 위한 요소로 다양한 센서로 구성되며 검출부의 기능은 ㉠ 자체 가동부를 감시하는 내계 계측기능, ㉡ 작업대상을 감시하는 외계 계측 인식기능, ㉢ 다른 기계장치 및 주변기기를 감시하는 제어정보 교환기능, ㉣ 자체 정상가동상태를 진단하는 진단기능 등의 4가지로 요약된다. 한편, 검출부가 필요없는 로봇도 있는데 이런 로봇은 단순 오픈 루프에 해당된다.

- ④ 동력원 : 구동부, 제어부, 검출부 등 다른 구성요소를 작동시키는데 필요한 에너지를 공급하고 조절하는 장치다. 로봇의 용도와 에너지원에 따라 전기식, 유압식, 공압식이 있으며, 이 중에서 몇 가지를 같이 사용하기도 한다.

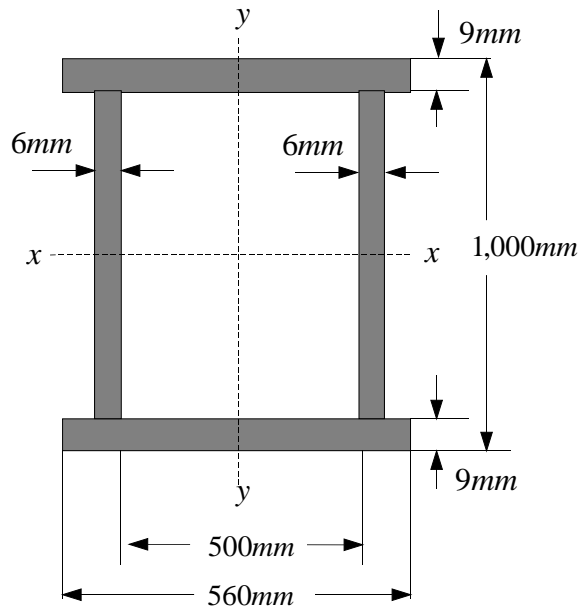
3. 결론

- * 과학기술의 발전과 더불어 로봇은 다양한 형태와 능력을 가지게 되었으며, 실제 산업현장에서는 인간이 극복할 수 없는 위험상황에서도 정확하고 정밀한 업무를 추진할 수 있다.
- * 그러나, 로봇의 설계, 배치, 점검, 보전 등은 여전히 인간의 관리를 받아야 하는데 로봇의 발전속도에 비해 실제 현장에서 이를 관리하는 작업자들의 로봇 관련 지식 및 운용기술은 낮은 편이다.
- * 이런 현상이 지속된다면 로봇의 사용 및 점검간 근로자들에게 신체적 위협 뿐만 아니라 근로의욕 저하마저 유발할 수 있으므로 로봇과 관련된 전문화교육을 강화해야 하겠다.

[참고] 로봇의 구성기기 분류 (역할 측면)

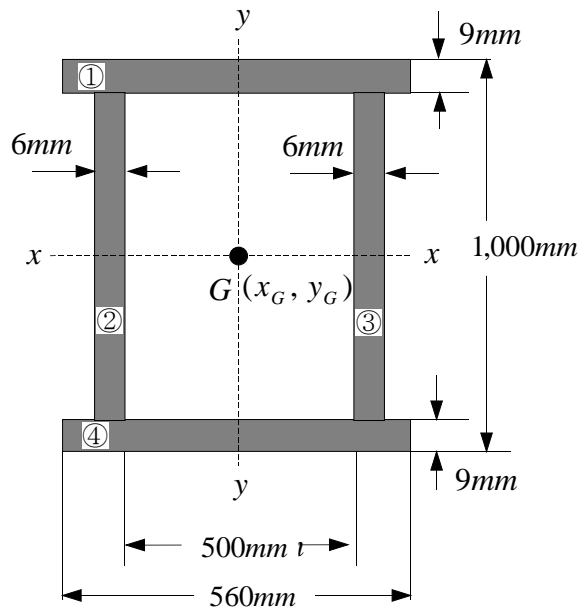
1. 매뉴플래이터 : 링크와 관절로 구성된 로봇의 몸체
2. 센서 : 관절의 위치를 처리기로 보냄
3. 처리기(프로세서) : 로봇 관절의 동작과 속도를 계산 (두뇌부에 해당)
4. 제어기 : 처리된 정보를 이용하여 구동기(액츄에이터)의 동작을 제어함(소뇌에 해당)
5. 액츄에이터 : 기구의 작동부에 해당(서보모터, 소형모터, 공압·유압 실린더 등)
6. 말단효과장치 : 마지막 관절에 연결된 로봇의 손(gripper)
7. 소프트웨어 : 실시간으로 로봇의 관절 제어 및 기구부의 위치·속도 제어

09 중량물 운반을 위해 작업장내 설치된 천장주행크레인의 거더 단면 형상이 아래와 같을 때, 단면 2차 모멘트(I_x, I_y)와 단면계수(Z_x, Z_y)의 값을 구하라. (단, 단위는 I_x, I_y 는 mm^4 , Z_x, Z_y 는 mm^3 이며, 값은 소수점 셋째 자리에서 반올림하여 둘째 자리까지 구한다)



풀이

1. 부재 4개로 도형 분할



2. 도형전체의 도심 산출

$$x_G = \frac{G_x}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = \frac{2981352}{21864} = 136.36$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, 단면1차모멘트 } G_x &= A_1x_{G1} + A_2x_{G2} + A_3x_{G3} + A_4x_{G4} \\ &= 5040 \times 0 + 5892 \times (250 + 3) + 5892 \times (250 + 3) + 5040 \times 0 \\ &= 2,981,352 \end{aligned}$$

$$y_G = \frac{G_y}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = \frac{4,994,640}{21,864} = 228.44$$

$$\begin{aligned} \text{단면1차모멘트 } G_y &= A_1y_{G1} + A_2y_{G2} + A_3y_{G3} + A_4y_{G4} \\ &= 5040 \times (500 - 4.5) + 5892 \times 0 + 5892 \times 0 + 5040 \times (500 - 4.5) \\ &= 4,994,640 \end{aligned}$$

3. 단면2차모멘트 I_x , 단면계수 Z_x 산출

No.	크기 ($b \times h$)	면적 (A)	거리(d)		$A \times d^2$	$I_x \left(\frac{bh^3}{12} \right)$	I_{xG} ($I_x + Ad^2$)
1	560×9	5,040	y_{G1} - y_G	(500-4.5) -228.44 =267.06	$5,040 \times 267.06^2$ =359,458,059.7	34,020	359,492,079.7
2	6×982	5,892	y_{G2} - y_G	0-0=0	0	473,483,084	473,483,084
3	6×982	5,892	y_{G3} - y_G	0-0=0	0	473,483,084	473,483,084
4	560×9	5,040	y_{G4} - y_G	(500-4.5) -228.44 =267.06	359,458,059.7	34,020	359,492,079.7
계		21,864					1,665,950,327

* 도형전체의 도심(G)에서 x 축에 대한

$$\text{단면2차모멘트 } I_x = I_{xGtotal} = 1,665,950,327 [mm^4]$$

$$\text{단면계수 } Z_x = \frac{I_{xGtotal}}{y_G} = \frac{1,665,950,327}{228.44} = 7,292,726 [mm^3]$$

4. 단면2차모멘트 I_y , 단면계수 Z_y 산출

No.	크기 ($b \times h$)	면적 (A)	거리(d)		$A \times d^2$	$I_y \left(\frac{hb^3}{12} \right)$	I_{yG} ($I_y + Ad^2$)
1	560×9	5,040	x_{G1} $-x_G$	0-0=0	0	131,712,000	131,712,000
2	6×982	5,892	x_{G2} $-x_G$	(250+3) -136.36 =116.64	$5,892 \times 116.64^2$ =80,160,0009.5	17,676	80,177,685.5
3	6×982	5,892	x_{G3} $-x_G$	(250+3) -136.36 =116.64	80,160,0009.5	17,676	80,177,685.5
4	560×9	5,040	x_{G4} $-x_G$	0-0=0	0	131,712,000	131,712,000
계		21,864					423,779,371

* 도형전체의 도심(G)에서 y 축에 대한

$$\text{단면2차모멘트 } I_y = I_{yGtotal} = 423,779,371 [mm^4]$$

$$\text{단면계수 } Z_y = \frac{I_{yGtotal}}{x_G} = \frac{423,779,371}{136.36} = 3,107,798 [mm^3]$$

산업안전지도사 2차대비

최신 기계안전공학

2024년 9월 30일 개정판 1쇄 발행

저 자 권 오 운
펴낸이 이 병 덕
펴낸곳 도서출판 정일
등록날짜 1989년 8월 25일
등록번호 제 3-261호
주소 경기도 파주시 한빛로 11
전화 031) 946-9152(대)
팩스 031) 946-9153
도서 내용 문의 jungilb@naver.com, kwonohw@naver.com
www.atpm.co.kr

잘못된 책은 구입하신 서점이나 본사에서 교환해 드립니다.

저작권 : 도서출판 정일에서는 저작권법에 따른 저작권을 준수하고 있습니다.

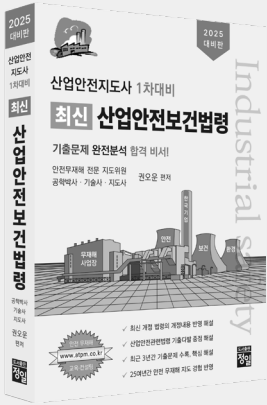
본 도서 내용 중 저작권자나 발행인의 승인없이 무단복제나 인용할 수 없습니다.

저작권법 : 제97조의5(권리의침해죄) 저작재산권 그 밖의 이 법에 의하여 보호되는 재산적 권리를 복제·공연·방송·전시·전송·배포·2차적 저작물 작성의 방법으로 침해한 자는 5년 이하의 징역 또는 5천만원 이하의 벌금에 처하거나 이를 병과할 수 있다.

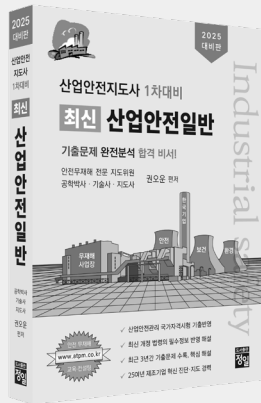
도서출판 정일

산업안전지도사 수험서

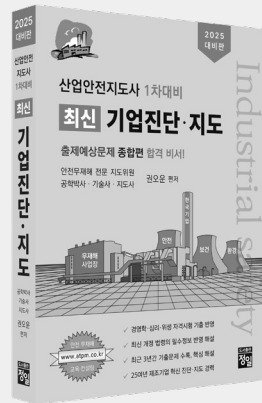
1차 시험대비서



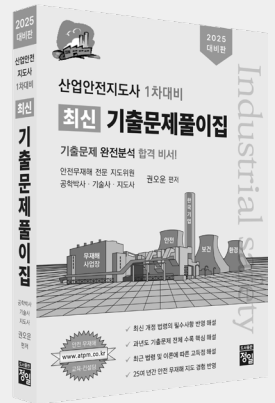
공통필수 I
산업안전보건법령



공통필수 II
산업안전일반

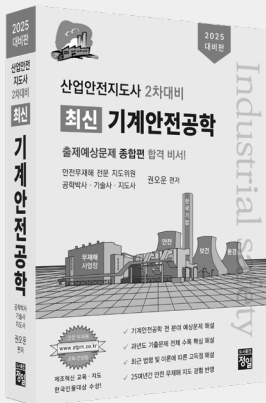


공통필수 III
기업진단·지도



기출문제해설
기출문제풀이집

2차 시험대비서



전공필수(선택)
기계안전공학



안전무재해 성공사례 실적보유
전문 지도위원

공학박사·기술사·지도사
권오운 수상

안전 무재해 : 재해 제로 · 고장 제로 · 불량 제로는 필수입니다!