제4장 나사

4.1 나사(螺絲, screw)의 구분

수나사(볼트)/ 암나사(너트)

____ 나사, 사각 나사, 사다리꼴 나사, ____ 나사, 둥근 나사, 볼 나사 등

4.2 나사의 구조와 명칭

4.2.1 피치와 리드

(1) _____(helix): 원통에 직각삼각형의 종이를 감을 때 빗변이 원통 표면에 나타내는 곡선.

가상 _____ 위의 한 점이 축방향의 직선운동과 접선방향의 회전운동을 일정한 비율로 동시에 하였을 경우 원통 위에 그려지는 궤적.

(2) _____(lead) l: 나선을 따라 원통을 한 바퀴 돌 때 축 방향으로 이동한 거리

(3) ______(pitch) p : 서로 인접한 나사산의 축 방향 거리

$$l = n\,p \qquad (n: \text{줄 수})$$

4.2.2 구조 및 명칭

(4) 나사산의 크기: 바깥지름을 d, 골지름을 d_1 이라고 하면,

_____지름 d_e : $d_e = \dfrac{d+d_1}{2}$

나사산의 높이 h : $h = \dfrac{d-d_1}{2}$

(5) _____각(또는 나선각) λ(또는 α) : $\tan\lambda = \dfrac{l}{\pi d_e}$

한줄 나사의 경우는 $l=p$ 가 되어, $p=\pi d_e \tan\alpha$

(6) 비틀림각(γ) : $\alpha+\gamma=90°$

4.3 나사의 표시방법

[1] 나사의 표기 순서

나사산의 감김방향 - 나사산의 줄의 수 - 나사의 호칭 - 나사의 등급

[2] 나사의 호칭 방법

피치를 mm로 표시하는 경우: 나사 종류 기호 - 나사 호칭지름 숫자 - 피치

4.4 나사의 정밀도

정밀(1급), 보통(2급), 거친 등급(3급)

4.5 나사의 종류

(1) 결합용 나사: 미터 나사, 유니파이 나사, 관용 나사

(2) 운동용 나사: 사각 나사, 사다리꼴 나사, 톱니 나사, 둥근 나사

4.6 나사의 역학

4.6.1 나사의 회전력과 토크

[1] 사각나사

(1) 나사를 _____ 때

나사를 돌려서 조이거나 푸는 것은 수평력 P를 가해서 무게 Q인 물체를 리드각 β의 경사면을 따라 밀어 올리거나 내리는 것에 해당된다.

체결용 나사에서 나사를 조이는 것을 생각하면, 나사에서 무게 Q인 물체를 밀어 올리는 것이므로 무게 Q인 물체의 움직임을 방해하는 방향으로 마찰력이 작용한다. 이때 마찰계수가 μ이면 마찰면 수직하중 N에 대하여 마찰력은 μN이다.

경사면에 수직인 방향의 힘의 합력=0으로부터, 리드각을 α라고 하면

$$N = P\sin\alpha + Q\cos\alpha$$

경사면에 평행한 방향의 힘의 평형은

$$\mu N = P\cos\alpha - Q\sin\alpha$$

두 식으로부터 $P\cos\alpha - Q\sin\alpha = \mu(P\sin\alpha + Q\cos\alpha)$

마찰각을 ρ라고 하면, 마찰계수 $\mu = \tan\rho$ 이므로

$$P = \left(\frac{\mu\cos\alpha + \sin\alpha}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}\right)Q = \left(\frac{\tan\rho + \tan\alpha}{1-\tan\rho\tan\alpha}\right)Q = Q\tan(\rho+\alpha)$$

또한 $\tan\beta = \dfrac{p}{\pi d_e}$ 이므로 $\qquad P = Q\left(\dfrac{\mu\pi d_e + p}{\pi d_e - \mu p}\right)$

회전토크 $T = P\dfrac{d_e}{2} = Q\dfrac{d_e}{2}\tan(\rho+\alpha) = \dfrac{Qd_e}{2}\,\dfrac{\mu\pi d_e + p}{\pi d_e - \mu p}$

(2) 나사를 _____ 때

체결용 나사에서 나사를 푸는 경우에는 나사에서 무게 Q인 물체를 경사면에서 내리는 것이므로 마찰력이 반대 방향으로 작용한다.

나사를 조이는 경우와 비교하면 마찰계수 μ 대신 $-\mu$, P 대신에 $-P'$를 대입하면 나사를 푸는 경우는

$$P' = Q\tan(\rho-\alpha) \text{ 또는 } P' = Q\left(\frac{\mu\pi d_e - p}{\pi d_e + \mu p}\right)$$

나사를 푸는 데 필요한 토크 T' 는 다음과 같다.

$$T' = P'r = \frac{Qd_e}{2}\tan(\rho-\alpha) \text{ 또는 } T' = \frac{Qd_e}{2}\,\frac{\mu\pi d_e - p}{\pi d_e + \mu p}$$

(3) 나사의 _____(self-locking) 조건

나사가 스스로 풀리지 않으려면, 나사를 푸는 데 필요한 ______가 양(+)으로 유지되어야 한다.

$$\rho \geqq \lambda \text{ 또는 } \mu \geq \frac{p}{\pi d_e}$$

(4) 운동용 나사

(5) 축방향 하중이 작용하는 사각나사의 회전토크

① 하중이 작용하는 방향의 _____ 방향으로 나사축을 이동시킬 때 필요한 회전 토크(T_2)

μ_n : 너트 또는 와셔의 자리면의 마찰계수

r_n : 너트 또는 와셔의 평균반지름

ρ : 마찰계수에 대한 마찰각

너트와 와셔 사이의 자리면에 발생하는 마찰로 인한 토크 저항(T_1)은

$$T_1 = r_n \cdot \mu_n Q$$

나사자리면에서의 마찰과 나사와 너트 사이의 마찰을 동시에 고려하는 경우 필요한 토크는

$$T_2 = T + T_1 = Q\left(\frac{d_2}{2} tan(\rho + \alpha) + \mu_n r_n\right)$$

② 하중이 작용하는 방향으로 나사축을 이동시킬 때 필요한 회전 토크(T_2)

$$T_2{}' = T' + T_1 = Q\left(\frac{d_2}{2} tan(\rho - \alpha) + \mu_n r_n\right)$$

[2] 삼각나사

(1) 삼각나사의 _____ 마찰계수

삼각나사를 돌려서 조이거나 푸는 경우는 나사산이 각도 2β인 삼각형이므로 나사면을 수직으로 누르는 힘 R과 축방향으로 미는 힘 Q의 관계는

$$R = \frac{Q}{\cos\beta}$$

수직으로 누르는 힘 R에 의한 마찰저항은 $\mu R = \mu \frac{Q}{\cos\beta} = \frac{\mu}{\cos\beta} Q = \mu' Q$

상당마찰계수 μ'와 상당마찰각 ρ'를 다음과 같이 정의하고

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos\beta} = \tan\rho' \quad \text{and} \quad \rho' = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos\beta}\right)$$

같은 크기의 마찰계수라면 삼각 나사가 사각 나사보다 _____ 마찰력이 발생한다.

(2) 삼각 나사의 회전력

나사를 조일 때 $P = Q\tan(\rho' + \alpha)$

나사를 풀 때 $P' = Q\tan(\rho' - \alpha)$

삼각나사를 조일 때 필요한 토크 T_Δ와 풀 때 필요한 토크 $T_{\Delta'}$는

$$T_\Delta = \frac{Qd_2}{2} tan(\rho' + \alpha)$$

$$T_{\Delta'} = \frac{Qd_2}{2} tan(\rho' - \alpha)$$

너트와 와셔 사이의 마찰로 인한 토크저항은 $T_1 = r_n \cdot \mu_n Q$

삼각나사를 조일 때 나사면의 마찰과 와셔의 마찰을 고려한 체결 토크는

$$T_2 = T + T_1 = Q\left(\frac{d_2}{2} \cdot (\tan\rho' + \alpha) + \mu_n r_n\right)$$

암나사의 골지름을 d라고 하면 너트 자리면 평균반지름은 $r_n = 0.74d$

와셔 바깥지름을 D, 와셔 안지름을 d라고 하면, 와셔 자리면의 평균 반지름은

$$r_n = 0.35\sqrt{D^2 + d^2}$$

삼각나사를 풀 때 나사면의 마찰과 와셔의 마찰을 고려한 체결 토크는

$$T_2 = T + T_1 = Q\left(\frac{d_2}{2} \cdot (\tan\rho' - \alpha) + \mu_n r_n\right)$$

(3) 나사의 _____ 조건

나사가 스스로 풀리지 않으려면, 나사를 푸는 데 필요한 토크가 양(+)으로 유지되어야 한다.

$$\rho' \geqq \alpha$$

4.6.2 나사의 효율

나사의 효율이란 나사를 1회전시키기 위하여 외력 P가 한 일 중 얼마가 하중 Q를 리드 l만큼 올리는 유효한 일을 하였는가의 ____이다.

[1] 사각나사의 효율

(1) 나사를 _____ 때

자리면 마찰을 고려하는 경우

$$\eta = \frac{Q \cdot p}{2\pi \cdot T_2} = \frac{Q \cdot \pi d_2 \tan\alpha}{2\pi\left[Q\frac{d_2}{2}tan(\alpha+\rho)+\mu_n r_n Q\right]}$$

정리하면 $\eta = \frac{d_2 \tan\alpha}{d_2 \tan(\rho+\alpha)+2\mu_n r_n}$

자리면 마찰을 무시하면 $\eta = \frac{Ql}{\pi d_2 P} = \frac{\tan\alpha}{\tan(\rho+\alpha)}$

(2) 나사를 _____ 때: $\eta' = \frac{d_2 \tan\alpha}{d_2 \tan(\rho-\alpha)+2\mu_n r_n}$

[2] 삼각/사다리꼴 나사의 효율

(1) 나사를 조일 때 $\eta = \frac{d_2 \tan\alpha}{d_2 \tan(\rho'+\alpha)+2\mu_n r_n}$

자리면 마찰을 무시하면 $\eta = \frac{\tan\alpha}{\tan(\rho'+\alpha)}$

(2) 나사를 풀 때 $\eta = \frac{d_2 \tan\alpha}{d_2 \tan(\rho'-\alpha)+2\mu_n r_n}$

[3] 최대효율

나사의 효율을 최대로 하는 나선각은 $\frac{d\eta}{d\alpha}=0$ 으로부터 $\alpha_{최대효율} = 45° - \frac{\rho}{2}$

자립상태($\rho \geq \alpha$)에서의 나사효율은 $\eta = \frac{\tan\rho}{\tan(2\rho)} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}tan^2\rho < 0.5$

4.7 나사 설계

4.7.1 축방향으로 _____하중만 작용할 때

Q: 축방향 하중

d_1: 수나사의 골지름($d_1 \approx 0.8d$)

볼트가 받는 인장응력은 $\sigma_a = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi d_1^2} = \frac{4Q}{\pi d_1^2}$

구하는 골지름은 $d_1 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi\sigma_a}}$

4.7.2 인장응력과 _____응력이 동시에 작용할 때

(나사잭의 핸들을 돌려서 무게 Q인 물체를 들어올리는 경우)

축하중으로 인하여 볼트에 생기는 인장응력은 $\sigma = \frac{4Q}{\pi d_1^2}$

나사잭에 작용하는 토크 T는 $T = \frac{Qd_e}{2}\tan(\rho'+\beta)$

전단응력 τ는 $\tau = \frac{16T}{\pi d_1^3} = \frac{8Qd_e}{\pi d_1^3}\tan(\rho'+\beta)$

직접전단하중(F)에 의한 전단응력은 $\tau = \frac{4F}{\pi d_1^2}$

Rankine의 최대 주응력설: $\sigma_{\max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$

Guest의 최대전단력설: $\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$

위의 두 식에서 최대 주응력 또는 최대 전단응력을 구한 후, 재료의 허용 전단응력 또는 허용 인장응력을 비교하여 수나사의 골지름 d_1을 구한다.

4.8 죄어진 볼트에 정적인 외력이 작용하는 경우

(생략)

4.9 면압강도를 고려한 너트 설계

(1) 나사산수

최소한의 나사산의 수는 나사에 작용하는 축방향의 하중을 한 개의 나사산이 받을 수 있는 하중으로 나눈 값이 된다. 한 개의 나사산이 받을 수 있는 하중은 허용 면압력을 투영면적으로 곱한 값이 된다.

나사산의 높이를 h, 유효지름을 d_e, 허용 면압력을 q, 나사산의 수 Z, 피치를 p라고 하면,

$$h = \frac{d-d_1}{2}, \quad d_e = \frac{d+d_1}{2}, \quad Z = \frac{Q}{\pi d_e h q} = \frac{4Q}{\pi(d^2-d_1^2)q}$$

(2) 너트의 높이

$$H = Zp = \frac{Q \cdot p}{\pi d_e h q}$$

4.10 볼트의 종류

4.10.1 일반 볼트

(1) 용도에 의한 볼트의 분류

관통 볼트(through bolt), 탭 볼트(tap bolt), 스터드 볼트(stud bolt), 양너트 볼트(double nuted bolt), 리머 볼트(reamer bolt)

(2) 볼트 머리부의 종류

육각 볼트, 소형 육각 볼트, 사각 볼트, 육각 구멍붙이 볼트

4.10.2 특수 볼트

(1) 아이 볼트(eye bolt)
(2) 나비 볼트(wing bolt)
(3) 간격유지 볼트(stay bolt)
(4) 기초 볼트(foundation bolt)
(5) T볼트(T-bolt)

4.10.3 특수 너트

(1) 와셔 너트(washer based nut)
(2) 캡 너트(cap nut)
(3) 홈붙이 둥근 너트(grooved ring nut)
(4) 둥근 너트(circular nut)
(5) 스프링판 너트

4.11 여러 가지 나사

(1) 작은 나사(screw)
(2) 멈춤 나사

4.12 와셔(washer)

둥근 와셔, 4각 와셔, 갈퀴붙이 와셔, 혀붙이 와셔, 양쪽 혀붙이 와셔, 스프링 와셔, 접시 와셔

제5장 리벳

5.1 리벳 작업(riveting)

강판이나 형강에 구멍을 뚫고 리벳을 넣은 후 _____ 변형시켜 _____적으로 결합시키는 것.

□ 리벳 이음의 작업 순서

① 강판이나 형강에 리벳이 들어갈 구멍을 뚫는다.
② 뚫린 구멍을 _____(reamer)로 정밀하게 다듬는다.
③ 리벳을 구멍에 넣고 _____(snap)을 대고 때려서 머리 부분을 만든다.
④ 기밀을 요하는 경우에는 _____(caulking)을 한다.

5.2 리벳의 종류

(1) 제조 방법에 따라: 냉간 리벳, 열간 리벳
(2) 머리 형상에 따라: 둥근머리, 접시머리, 납작머리, 둥근 접시머리 등
(3) 용도에 따라: 용기용, 구조용

5.3 리벳 재질

판재가 강판: 리벳의 재질로 연강 또는 특수강
판재가 듀랄루민판: 리벳의 재질로 알루미늄
판재가 구리판: 리벳의 재질로 구리

5.4 이음의 분류

(1) 사용 목적에 따라: 힘의 전달과 강도/ 강도와 기밀/ 기밀
(2) 판을 겹치는 방법에 따라
겹치기 이음: 1줄, 2줄, 3줄 겹치기 리벳 이음
맞대기 이음: 1줄, 2줄, 3줄, 4줄 맞대기 리벳 이음
(3) 전단면의 수에 따라 단일 전단면, 복 전단면
(4) 리벳 줄 수에 따라: 1줄, 2줄, 여러 줄 리벳 이음
(5) 리벳 배열 방법에 따라: 평행형, 지그재그형
(6) 작업 장소에 따라: 공장/현장 리벳 이음

□ 리벳의 표준 지름

리벳의 표준 지름(mm): 4, 5, 6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25
소형 리벳: 1, 1.2, 1.4, 1.7, 2, 2.3, 2.6, 3, 3.5, 4, 4.5

5.5 리벳 용어

(1) _____(p): 리벳의 중심간 거리
(2) 뒤피치(e_1): 여러 줄 리벳이음에서 리벳의 줄과 줄 사이 거리
(3) _____(e): 판의 가장자리부터 가장 가까운 리벳의 중심까지의 거리
(4) 모재의 두께 t
(5) 맞대기 판의 두께(t_1): 맞대기 이음에서 덮개 판의 두께
(6) 리벳의 길이(l): 판 두께의 합을 t_2. 리벳의 지름을 d라고 하면

$$l = t_2 + \left(1\frac{1}{3} \sim 1\frac{3}{4}\right)d$$

5.6 리벳 이음의 강도 및 효율

5.6.1 리벳의 강도

(1) 전단면의 ____에 따른 리벳강도

리벳의 지름을 d, 전단력을 W, 리벳의 전단응력을 τ_s 라고 하면,

$$\tau_s = \frac{W}{f_s\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)}$$

f_s : 전단면 계수, 단일(1) 전단면의 경우 $f_s = 1$,

복(2) 전단면의 경우 $f_s = 1.8$

(2) 여러 줄 리벳이음의 하중분포

① 동일한 두께의 판을 접합하는 경우

Z: 리벳의 줄 수(열 수)

α_z: 줄 수에 따른 부하 평균화 계수[171쪽, 표 5.2 참조]

W: 한 피치구간에서 판에 작용하는 인장하중

$$\tau_s = \frac{W}{Z \cdot \alpha_z\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)}$$

② 두께가 다른 판을 접합하는 경우 하중분포가 달라진다.

5.6.2 리벳이음의 응력 분포 [172쪽 표 5.3]

5.6.3 한줄 이음에서 리벳이음의 파괴형태 및 강도

(1) 리벳이 전단에 의해 파괴되는 경우

리벳의 지름을 d, 전단력을 W, 리벳의 전단응력을 τ_s 라고 하면,

$$\tau_s = \frac{W}{f_s\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)} \qquad (5.1)$$

f_s : 전단면 계수, 단일(1) 전단면의 경우 $f_s = 1$,

복(2) 전단면의 경우 $f_s = 1.8$

(2) 리벳구멍 사이에서 판이 절단되는 경우

한 피치구간에서 판에 작용하는 인장하중을 W, 피치를 p, 리벳의 지름을 d 라고 하면

판의 인장응력 $\sigma_t = \dfrac{W}{(p-d)t}$ (5.2)

(3) 판끝이 리벳에 의해 갈라지는 경우 : 마진(e)이 작은 경우

굽힘응력 $\sigma_b = \dfrac{3\,Wd}{t\,(2e-d)^2}$ (5.3)

(4) 리벳구멍 부분에서 판재가 압축파괴되는 경우 :

판재가 얇은 경우 발생한다. 리벳 구멍 부분에서 판재가 받는 압축응력은

$$\sigma_c = \frac{W}{t \cdot d} \qquad (5.4)$$

t: 판재 두께

d: 리벳 지름

5.6.4 한줄 이음에서 리벳이음의 설계

(1) 전단면에서 리벳의 전단저항과 판의 인장저항이 같다면

$$(p-d)t\sigma_t = \left(\frac{\pi}{4}d^2\right)\tau_s f_s$$

피치는 $p = d + \dfrac{\pi d^2 \tau_s f_s}{4t\sigma_t}$ (5.5)

(2) 판 끝에 걸리는 굽힘응력의 제한으로부터 마진의 크기를 구할 수 있다.

$$e = \frac{d}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{3\pi d\tau_s f_s}{4t\sigma_b}}\right) \qquad (5.6)$$

(3) 전단면에서 리벳의 전단력과 리벳구멍 부분에서 판재의 압축력이 같다면,

$$\frac{\pi}{4}d^2 \cdot \tau_s \cdot f_s = d \cdot t \cdot \sigma_c$$

리벳지름은 $d = \dfrac{4t\sigma_c}{\pi\tau_s f_s}$ (5.7)

5.6.5 여러 줄 이음에서 리벳이음의 설계

Z: 리벳의 줄 수

$$(p-d)t\sigma_t = \frac{\pi}{4}d^2\tau_s\sum_{k=1}^{Z}(f_s)_k$$

$$p = d + \frac{\pi d^2\tau_s\sum_{k=1}^{Z}(f_s)_k}{4t\sigma_t} \qquad (5.5a)$$

여러 줄 리벳 이음에서 판재가 받을 수 있는 압축저항의 합력과 리벳이 받을 수 있는 전단 저항의 합력이 같다고 하면,

$$\frac{\pi}{4}d^2\tau_s\sum_{k=1}^{Z}(f_s)_k = dt\sigma_c Z$$

정리하면,

$$d = \frac{4}{\pi}\frac{t\sigma_c Z}{\tau_s\sum_{k=1}^{Z}(f_s)_k} \tag{5.7a}$$

5.6.6 리벳이음의 효율

(1) 판의 효율

판의 효율(η_1): 리벳 구멍을 뚫은 판의 강도와 구멍을 뚫기 전의 판의 _____의 비율

$$\eta_1 = \frac{\text{1피치 폭의 구멍뚫린 판의 인장 파괴하중}}{\text{1피치 폭 판의 인장 파괴하중}} = \frac{t(p-d_1)\sigma_t}{tp\sigma_t} = \frac{p-d_1}{p}$$

여기에서 d_1: 리벳 구멍의 지름

(2) 리벳의 효율

리벳의 효율(η_2): 리벳 _____ 강도와 구멍을 뚫기 전의 판의 강도의 비율

$$\eta_2 = \frac{\text{1피치 내에 있는 리벳의 전단 파괴하중}}{\text{1피치 폭 판의 인장 파괴하중}} = \frac{\frac{\pi}{4}d^2\tau_s\cdot\sum_{k=1}^{Z}(f_s)_k}{pt\sigma_t}$$

5.7 편심하중을 받는 구조용 리벳 [그림 5.11]

[1] 하중에 의한 직접 전단력(F_D)

P는 외력, n은 리벳의 개수

$$F_D = \frac{P}{n} \tag{5.12}$$

[2] 편심에 의한 모멘트로 인하여 발생하는 하중(F_M)

리벳들의 기하학적 중심점에 대한 모멘트의 평형

$$P\cdot e = \sum_{i=1}^{n}F_{M(i)}\cdot r_i \tag{1}$$

e: 외력 P와 중심점 O 사이의 편심거리

r_i: 리벳군의 중심점 O 에서 각 리벳까지의 거리

$F_{M(i)}$: 편심에 의해 생긴 모멘트로 인하여 각 리벳에 발생한 전단력.

$F_{M(i)}$는 중심으로부터의 거리에 비례한다고 가정한다. 비례상수 K는

$$\frac{F_{M(1)}}{r_1} = \frac{F_{M(2)}}{r_2} = \cdots = \frac{F_{M(n)}}{r_n} = K \tag{2}$$

식 (2)를 식(1)에 대입하고 정리하면

$$K = \frac{P\cdot e}{\sum r_i^2} \tag{5.13}$$

각 리벳이 받는 편심 하중에 의한 전단력은

$$F_{M(i)} = K\cdot r_i \tag{5.14}$$

한편, 리벳군의 중심위치 $\bar{y}$는

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n}y_i}{n} \tag{5.15}$$

[3] 합성력

$\overrightarrow{R_i} = \overrightarrow{F_D} + \overrightarrow{F_{M(i)}}$ 이므로 사잇각을 θ라고 하면

$$R = \sqrt{F_D^2 + F_M^2 + 2F_D F_M\cos\theta} \tag{5.16}$$

[4] 전단응력

각 리벳에 작용하는 합성 전단력 R을 리벳의 단면적으로 나누면 전단응력 τ가 계산되며 허용전단응력 τ_a보다 작아야 한다.

$$\tau = \frac{R}{\pi d^2/4} < \tau_a \tag{5.17}$$

d: 리벳의 지름

제6장 용접

6.1 용접법의 종류

용접(비가압용접), 압접(가압용접), 납땜

6.2 용접부의 구성 및 용접부 결함

용접부: 모재, 용착부, 열영향부, 덧붙임

결함: 용입부족(undercut), 용접살 과다(overlap, 불완전 용접살 입힘),

기공(blow hole), 슬래그 섞임(slag inclusion) 등

6.3 용접이음의 분류

6.3.1 용접부의 모양에 따른 분류

Groove 용접[I, V, X, √, K, J, 양면 J형, U형, H형], Fillet(필렛) 용접, 플러그(plug) 용접, 비드(bead) 용접, 덧붙이(build-up) 용접

6.3.2 모재의 상대적 위치에 따라:

맞대기, 덮개판, 겹치기, T형, 모서리, 가장자리 이음

6.4 용접에 의한 변형과 잔류응력 (해소 방안)

예하중, 예열, 맞대기이음, 재가열, 면가공

6.5 용접효율

용접의 _____효율= (용접부의 강도)/(모재의 강도)

6.6 용접이음의 강도설계

6.6.1 맞대기 용접

l: 용접 길이

a: 목두께(모재의 두께 중 작은 값)

η: 이음효율

인장하중 작용 시: $P=\eta\sigma_t a l$

굽힘하중 작용 시: $\sigma_b=\dfrac{M_b\cdot(a/2)}{la^3/12}=\dfrac{6M_b}{la^2}$

6.6.2 _____ 용접

(1) 목두께(a)의 산정

f: 용접치수(직각이등변 삼각형에서 등변의 길이)

$$a=f\cdot\cos 45^\circ=\frac{f}{\sqrt{2}}$$

(2) 옆면(측면) 필릿 용접

① 하중이 측선 중앙을 따라 작용하는 경우

A_s: 목 단면의 면적

P: 용접부의 저항력

l: 용접부의 길이

f: 용접치수

전단응력 $\tau=\dfrac{P}{A_s}$ 이므로 $$P=\tau\cdot 2\left(\frac{f}{\sqrt{2}}l\right) \qquad (6.6)$$

② 하중이 축선에서 벗어나 편위된 경우 [그림 6.15]

$$\text{전단응력 }\ \tau=\frac{\sqrt{2}P}{f(l_1+l_2)} \qquad (6.7)$$

$$l_1=\frac{x_2}{x}l,\quad l_2=\frac{x_1}{x}l \qquad (6.8)$$

(3) 앞면(전면) 필릿 용접 : 하중이 용접선에 대하여 직각으로 작용하는 경우

P: 인장력

A: 목단면의 면적

① 한 면 이음에 인장력이 작용하는 경우

$$P=\tau_t\left(\frac{f}{\sqrt{2}}l\right) \qquad (6.9)$$

② 판의 두께가 다른 모재의 겹치기 양면 이음에 인장력이 작용하는 경우

$$P=\tau_t\left(\frac{f_1}{\sqrt{2}}l\right)+\tau_t\left(\frac{f_2}{\sqrt{2}}l\right) \qquad (6.10)$$

③ 판의 두께가 같은 모재의 겹치기 양면 이음에 인장력이 작용하는 경우

$$P=\tau_t\cdot 2\left(\frac{f}{\sqrt{2}}l\right) \qquad (6.11)$$

(4) 굽힘응력이 작용하는 경우

a: 목두께, $a=f/\sqrt{2}$

b: 용접 판의 두께

h: 용접부의 길이

$$\sigma_b=\frac{M_b\cdot(h/2)}{\dfrac{(b+2a)h^3}{12}-\dfrac{bh^3}{12}}=\frac{3M_b}{ah^2} \qquad (6.12)$$

(5) 편심하중을 받는 필릿 용접이음 [그림 6.19]

① 직접 전단력에 의한 전단응력

$$\tau_d=\frac{P}{2A_s} \qquad (6.13)$$

② 비틀림 모멘트에 의한 전단응력

$$T=\int r\tau\,dA=\frac{\tau_{\max}}{r_{\max}}\int r^2\,dA=\frac{\tau_{\max}}{r_{\max}}I_p$$

I_p는 용접중심에 대한 극단면 2차 모멘트

$$\tau_{t(\max)} = \frac{Tr_{\max}}{I_p} = \frac{(P \cdot e)r_{\max}}{I_p} \qquad (6.14)$$

여기에서 P는 편심하중, e는 편심거리.

※ 용접부의 극단면 2차 모멘트는

상하 2측 필릿: $I_{p1} = \frac{b(3h^2 + b^2)f}{6\sqrt{2}}$

좌우 2측 필릿: $I_{p2} = \frac{h(3b^2 + h^2)f}{6\sqrt{2}}$

4측 필릿: $I_p = I_{p1} + I_{p2} = \frac{(b+h)^3 f}{6\sqrt{2}}$

※ 용접부 중심의 위치 $G(\bar{x}, \bar{y})$를 계산하는 식은

$$\bar{x} = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2}{l_1 + l_2}, \qquad \bar{y} = \frac{l_1 y_1 + l_2 y_2}{l_1 + l_2}$$

③ 용접부에 생기는 최대 전단응력($\tau_{\max}$)

θ: 직접 전단응력 τ_d와 비틀림 모멘트에 의한 전단응력 τ_t가 이루는 각

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_d^2 + \tau_t^2 + 2\tau_d \tau_t \cos\theta} \qquad (6.16)$$

(6) 원형 단면의 필릿 용접 [그림 6.20]

① 인장인 경우

$$\sigma_t = \frac{P}{A} \qquad (6.17)$$

여기서 $A = \frac{\pi}{4}\{(D + \sqrt{2}f)^2 - D^2\}$

f는 용접치수

D는 원통의 바깥지름

② 굽힘인 경우

$$\sigma_b = \frac{My_{\max}}{I_{yy}} \qquad (6.18)$$

여기서 $I_{yy} = \frac{\pi}{64}\{(D + \sqrt{2}f)^4 - D^4\}$

$y_{\max} = \frac{D + \sqrt{2}f}{2}$

f는 용접치수

③ 비틀림인 경우

$$\tau = \frac{Tr_{\max}}{I_p} \qquad (6.19)$$

여기서 $I_p = \frac{\pi}{32}\{(D + \sqrt{2}f)^4 - D^4\}$

$r_{\max} = \frac{D + \sqrt{2}f}{2}$

f는 용접치수