

Mechanical Design I

6. Rivet (Chap. 6.6)

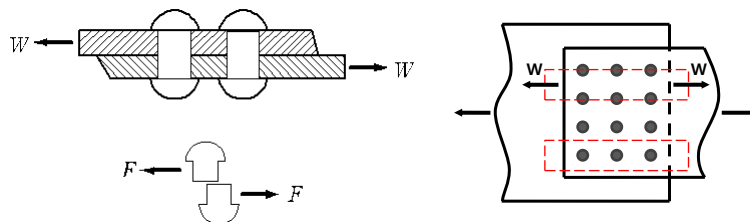
Bong-Kee Lee
School of Mechanical Engineering
Chonnam National University

Strength

■ 리벳 강도

(가정) 판 사이의 마찰력을 무시하고, 판재의 인장력과 리벳의 전단력이 평형을 이루는 상태

- 판재에 작용하는 인장 응력 = 리벳의 전단력 + (판 사이의 마찰력)
- W : 한 피치의 구간에서 작용하는 인장력



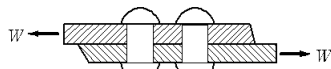
Strength

리벳 강도

- 전단면 수에 따른 리벳 강도

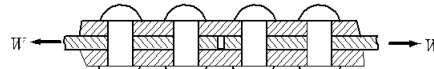
- 전단면 계수, f_s

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



(a) 단일 전단면

$$\tau_s = \frac{W}{f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{W}{1.8 \cdot \frac{\pi}{4} d^2}$$



(b) 복 전단면



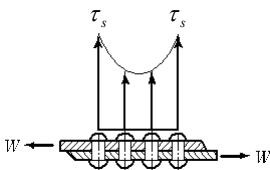
Strength

리벳 강도

- 여러 줄 리벳 이음에서의 전단 강도

- 동일한 두께의 판을 접합
 - (가정) 같은 줄의 리벳들은 같은 힘을 받음
 - 바깥 쪽 줄의 리벳이 가장 큰 전단응력을 받음

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



리벳의 줄수 Z	리벳의 줄번호						가장 바깥쪽에 있는 리벳에 부과되는 평균하중에 대한 초과하중 [%]	부하 평균화 계수 α_z
	1	2	3	4	5	6		
2	0.5	0.5	-	-	-	-	0	1.0
3	0.368	0.264	0.368	-	-	-	11	0.906
4	0.307	0.193	0.193	0.307	-	-	23	0.814
5	0.272	0.163	0.130	0.163	0.272	-	36	0.735
6	0.247	0.147	0.106	0.106	0.147	0.247	48	0.675

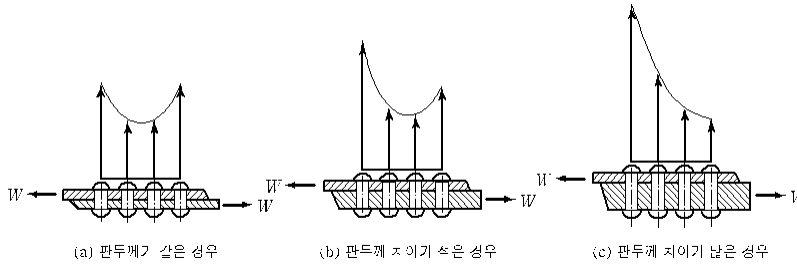


Strength

리벳 강도

- 여러 줄 리벳 이음에서의 전단 강도

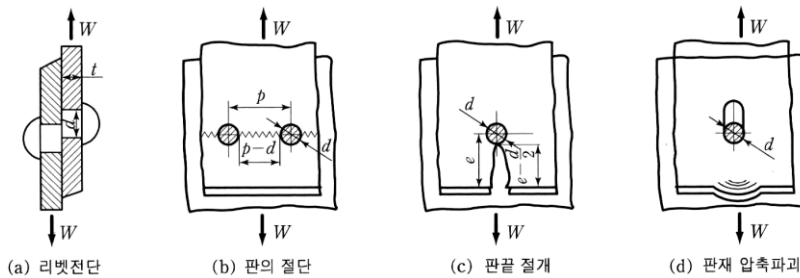
- 다른 두께의 판을 접합
 - 판 두께의 영향을 받음



Strength

리벳 이음의 파괴 형태

- 파단 시점을 기준으로 한 응력 분포를 가정
- 각 리벳에는 균등한 힘이 작용, 리벳과 판재에 작용하는 응력의 분포가 균일



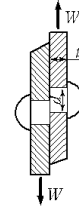
Strength

리벳 이음의 파괴 형태

- 리벳 전단

- 피치(p) > 리벳 지름(d)

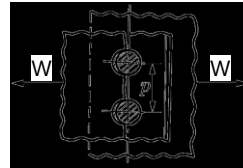
$$\tau_s = \frac{W}{f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2} \Leftrightarrow W = \tau_s \left(f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \right)$$



- 판의 절단

- 피치(p) < 리벳 지름(d)

$$\sigma_t = \frac{W}{(p-d)t} \Leftrightarrow W = \sigma_t (p-d)t$$



Strength

리벳 이음의 파괴 형태

- 판끝 절개

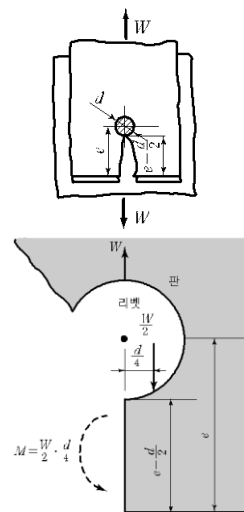
- 마진(e)이 작은 경우

$$\text{bending moment : } M_b = \frac{W d}{2 \cdot 4}$$

$$\rightarrow \text{bending stress : } \sigma_b = \frac{M_b \cdot y_{\max}}{I_{yy}}, I_{yy} = \frac{bh^3}{12}$$

$$\Rightarrow \sigma_b = \frac{\left(\frac{W d}{2 \cdot 4} \right) \cdot \frac{1}{2} \left(e - \frac{d}{2} \right)}{\frac{t \left(e - \frac{d}{2} \right)^3}{12}} = \frac{3Wd}{t(2e-d)^2}$$

$$\Leftrightarrow W = \sigma_b \cdot \frac{t(2e-d)^2}{3d}$$



Strength

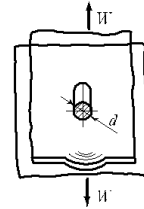
리벳 이음의 파괴 형태

- 판재 압축파괴

- 판재의 두께(t)가 작은 경우

$$\sigma_c = \frac{W}{t \cdot d}$$

$$\Leftrightarrow W = \sigma_c \cdot (t \cdot d)$$



- 판재 가장자리 파괴

- 판재의 전단 파괴

$$\tau_c = \frac{W}{2t \cdot e}$$

$$\Leftrightarrow W = \tau_c \cdot (2t \cdot e)$$



Strength

리벳 이음의 설계: 한 줄 이음

- 리벳의 전단력(저항)과 판재의 힘(저항)이 비슷하도록 설계

- (리벳의 전단 저항) ~ (판재의 인장 저항)

- 리벳 지름(d)으로부터 피치(p)를 결정

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

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

$$\rightarrow p = d + \frac{\pi d^2 \tau_s f_s}{4t \sigma_t}$$



Strength

- 리벳 이음의 설계: 한 줄 이음
 - (리벳의 전단 저항) ~ (판끝 절개 저항)
 - 마진의 크기(e)를 결정

$$\tau_s = \frac{W}{f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2} \Leftrightarrow W = \tau_s \left(f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \right) \quad \sigma_b = \frac{3Wd}{t(2e-d)^2} \Leftrightarrow W = \sigma_b \cdot \frac{t(2e-d)^2}{3d}$$

$$\Rightarrow \tau_s \left(f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \right) = \sigma_b \cdot \frac{t(2e-d)^2}{3d}$$

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



Strength

- 리벳 이음의 설계: 한 줄 이음
 - (리벳의 전단 저항) ~ (판재 압축 저항)
 - 판재 두께(t)와 리벳 지름(d) 사이의 관계

$$\tau_s = \frac{W}{f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2} \Leftrightarrow W = \tau_s \left(f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \right) \quad \sigma_c = \frac{W}{t \cdot d} \Leftrightarrow W = \sigma_c \cdot (t \cdot d)$$

$$\Rightarrow \tau_s \left(f_s \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \right) = \sigma_c \cdot (t \cdot d)$$

$$\rightarrow d = \frac{4t\sigma_c}{\pi\tau_s f_s}$$

$f_s = 1, \sigma_c = 2\tau_s \rightarrow d = \frac{4t\sigma_c}{\pi\tau_s f_s} \approx 2.55t$
$\left\{ \begin{array}{l} d < 2.55t \rightarrow \text{리벳의이음강도} \sim \text{리벳의전단강도} \\ d > 2.55t \rightarrow \text{리벳의이음강도} \sim \text{판재의압축강도} \end{array} \right.$



Strength

리벳 이음의 설계: 여러 줄 이음

- 리벳에 작용하는 힘이 가장 큰 부분(가장자리 쪽 줄)의 강도를 기준으로 설계

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

$$\Rightarrow W = \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \alpha_z Z \sim \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \alpha_z \sum_{k=1}^Z (f_s)_k \sim \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \sum_{k=1}^Z (f_s)_k$$

$$\sigma_t = \frac{W}{(p-d)t} \Leftrightarrow W = \sigma_t (p-d)t$$

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

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



Efficiency

리벳 이음의 효율

- 기준: 리벳 구멍이 없는 판재의 인장강도
- 같은 효율 ~ 주어진 하중에 견디는 강도가 같음
- 설계: 리벳의 효율(η_2) ~ 판재의 효율(η_1)



Efficiency

■ 리벳 이음의 효율

– 판재 효율

- (리벳 구멍이 없는 판의 인장강도)와 (리벳구멍이 있는 판의 인장강도)의 비

→ 리벳 구멍이 있는 판이 견딜 수 있는 하중의 정도

$$\sigma_t = \frac{W}{(p-d)t} \Leftrightarrow W = \sigma_t(p-d)t$$
$$\rightarrow \eta_1 = \frac{\sigma_t(p-d)t}{\sigma_t pt} = \frac{p-d}{p}$$



Efficiency

■ 리벳 이음의 효율

– 리벳 효율

- (리벳 구멍이 없는 판의 인장강도)와 (리벳의 전단강도)의 비

→ 리벳이 견딜 수 있는 하중의 정도

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \alpha_z Z \sim \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \alpha_z \sum_{k=1}^Z (f_s)_k \sim \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \sum_{k=1}^Z (f_s)_k$$
$$\rightarrow \eta_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 \tau_s \sum_{k=1}^Z (f_s)_k}{(pt)\sigma_t}$$



Efficiency

리벳 이음의 효율

- 조합 효율

- (리벳의 전단 응력이 가장 큰 부분) ≠ (판재의 인장 응력이 가장 큰 부분)

→ (가장 큰 인장 응력을 받는 판재의 효율) + (가장 큰 전단 응력을 받는 리벳의 효율) = 조합 효율

$$\eta_3 = \eta_1' + \eta_2'$$

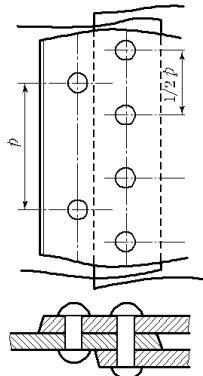
- η_1' : 리벳의 수가 가장 많은 줄에서의 판재 효율
- η_2' : 리벳의 수가 가장 적은 줄에서의 리벳 효율



Efficiency

리벳 이음의 효율

- 조합 효율



$$\eta_1' = \frac{\sigma_t \cdot \left(\frac{1}{2}p - d\right) \cdot t}{\sigma_t \cdot \left(\frac{1}{2}p\right) \cdot t} = \frac{\frac{1}{2}p - d}{\frac{1}{2}p}$$

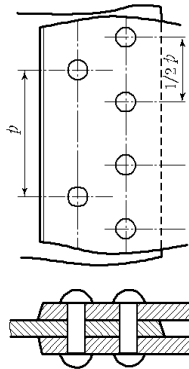
$$\eta_2' = \frac{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right) \cdot \tau_s \cdot \sum_{k=1}^z (f_s)_k}{(pt)\sigma_t} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right) \cdot \tau_s}{(pt)\sigma_t}$$

(a) 단일 전단면 이음과 복 전단면 이음의 혼합



Efficiency

- 리벳 이음의 효율
 - 조합 효율



(b) 복 전단면 이음

$$\eta_1' = \frac{\sigma_t \cdot \left(\frac{1}{2}p - d\right) \cdot t}{\sigma_t \cdot \left(\frac{1}{2}p\right) \cdot t} = \frac{\frac{1}{2}p - d}{\frac{1}{2}p}$$

$$\eta_2' = \frac{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right) \cdot \tau_s \cdot \sum_{k=1}^z (f_s)_k}{(pt)\sigma_t} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right) \cdot \tau_s \cdot 1.8}{(pt)\sigma_t}$$



Examples

- 6-1
 - 리벳: 허용전단강도(τ_a) 4[kg_f/mm²], 지름(d) 12[mm], 1 줄 겹치기 리벳이음
 - 하중: 6[tonf]
 - 강판: 폭(b) 800[mm], 두께(t) 10mm

$$\tau_a = \frac{W/n}{A_{rivet}} = \frac{W/n}{\pi d^2/4}$$

$$\rightarrow n = \frac{4W}{\pi d^2 \tau_a} = \frac{4 \times 6000}{\pi (12)^2 \cdot 4} = 13.2 \sim 14$$

$$\sigma_t = \frac{W}{(b - nd)t} = \frac{6000}{(800 - 14 \times 12)10} \sim 0.949 [\text{kg}_f/\text{mm}^2]$$



Examples

■ 6-4

- 리벳이음: 양쪽 덮개판 2줄 맞대기, 피치(p) 96[mm]
- 리벳: 허용전단강도(τ_a) 4[kg_f/mm²], 지름(d) 12[mm]
- 판: 허용인장강도(σ_t) 5[kg_f/mm²], 두께(t) 16mm

$$\eta_1 = \frac{p-d}{p} = \frac{96-22}{96} \sim 0.7708 = 77.08[\%]$$

$$\eta_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 \tau_a \sum_{k=1}^Z (f_s)_k}{pt\sigma_a} = \frac{\frac{\pi}{4} 22^2 \times 4 \times (1.8+1.8)}{96 \times 16 \times 5} \sim 0.7127 = 71.27[\%]$$

$$\Rightarrow \eta = \eta_2 = 71.27[\%]$$

