

Chapter 04 리벳, 용접 및 접착 이음

자료제공: 학진복스-김남용저

4-1 » 리벳 및 리벳 이음

(1) 리벳 이음의 장점

- ① 열응력에 의한 잔류변형이 생기지 않으므로 취성(脆性)파괴가 일어나기 어렵다.
- ② 구조물 등에 사용할 때 현장조립(現場組立)의 경우에는 용접작업보다 용이하다.
- ③ 경합금(輕合金)과 같이 용접이 곤란한 재료의 결합(結合)에는 신뢰성이 있다.

(2) 리벳 이음의 단점

- ① 영구(永久)적인 이음이 되므로 분해할 때는 파괴하여야 한다.
- ② 리벳 길이 방향으로 인장응력이 생기므로 이 방향의 하중에는 약하다.
- ③ 기밀(氣密) 및 수밀(水密)의 유지가 곤란하다.
- ④ 리벳이음을 할 때 소음이 발생한다.

1. 리벳의 종류

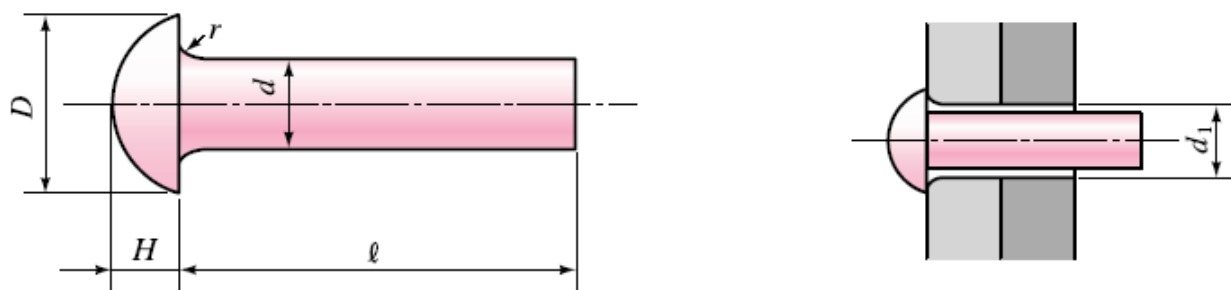
- 리벳의 구성 : 머리(head)와 몸체(shank)
- 리벳의 크기 : “지름×길이”로 표시
- 리벳의 호칭지름(d) : 자리면으로부터 $\frac{1}{4}d$ 인 곳에서 측정
- 호칭길이(ℓ) : 자리면으로부터 몸체 끝부분까지로 표시

(1) 제조방법에 따른 분류

① 냉간 성형 리벳(cold headed rivet)

- 연강선재 사용
- 호칭지름 1~13[mm]
- 소재의 재결정온도 이하에서 성형

<표 4-1> 냉간 등근머리 리벳의 규격(KS B 1101)



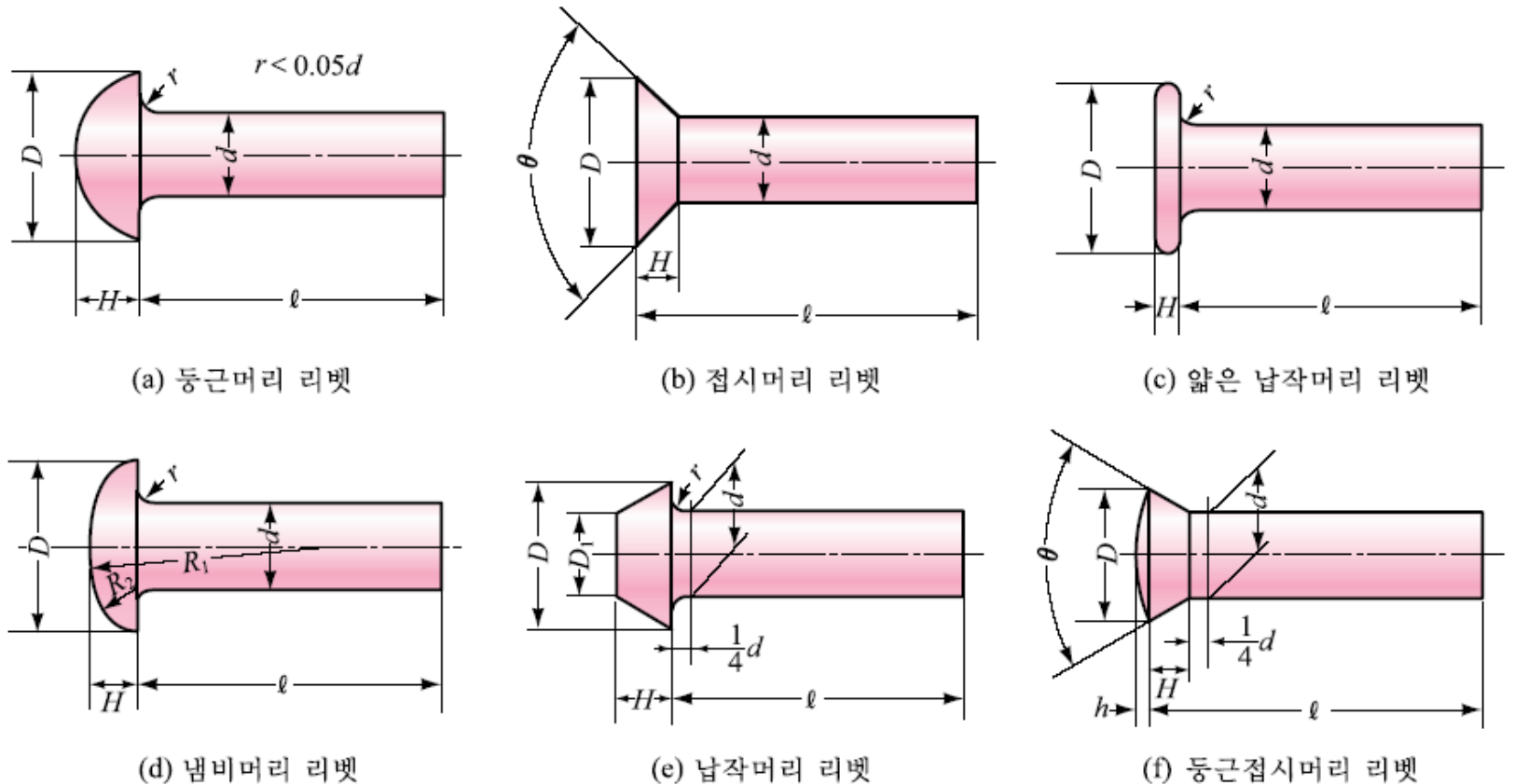
(단위 : [mm])

호칭 지름	1 란	3		4		5	6	8	10	12		
	2 란		3.5		4.5							14
	3 란										13	
축 지름 d	기본치수	3	3.5	4	4.5	5	6	8	10	12	13	14
머리부의 지름 D	기본치수	5.7	6.7		7.2	8.1	9	13.3	16	19	21	22
머리부의 높이 H	기본치수	2.1	2.5	2.8	3.2	3.5	4.2	5.6	7	8	9	10
머리말의 둥글기 r	최 대	0.15	0.18	0.2	0.23	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7
구멍의 지름 d_1	참 고	3.2	3.7	4.2	4.7	5.3	6.3	8.4	10.6	12.8	13.8	15
길 이 l		3~20	4~22	4~24	5~26	5~30	6~36	8~40	10~56	12~60	14~65	14~70

② 열간 성형 리벳(hot headed rivet)

- 압연선재 사용
- 호칭지름 10~44[mm]
- 소재의 재결정온도 이상에서 성형

(2) 머리 모양에 따른 분류



<그림 4-1> 리벳의 머리 모양에 따른 종류

(3) 용도에 따른 리벳의 분류

- ① 보일러용 : 강도와 기밀이 필요 ⇒ 보일러, 고압 탱크
- ② 저압용 : 기밀만이 필요 ⇒ 물탱크, 저압 탱크
- ③ 구조용 : 강도가 목적 ⇒ 차량, 철교 등의 구조물

(4) 특수 리벳

- ① 관 리벳(tubular rivet) :
 - 리벳 몸체 부분에 구멍이 뚫려져 있는 리벳
 - 부드러운 재료를 체결하면 강도 개선 효과

② 스플릿 리벳(split rivet) :

- 몸체의 끝부분이 갈라져 관 리벳과 같이 금속 박판
- 플라스틱, 피혁, 목재처럼 연한 재료의 대량 자동 체결

③ 압축 리벳(compression rivet) :

- 상대방에 다른 리벳을 끼워 결합하는 한 쌍의 리벳
- 나이프, 포크의 자루와 같이 금속/목재, 플라스틱 체결

④ 블라인드 리벳(blind rivet) :

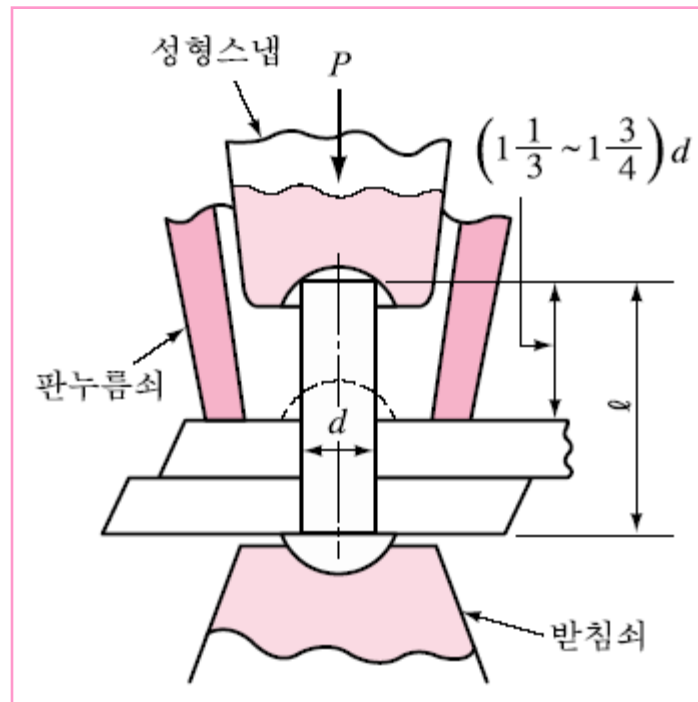
- 스냅이 없이 한쪽에서만 리벳을 조일 수 있게 한 것

2. 리벳 재료

- 일반적으로 체결하려는 판재와 같은 재료 사용
- 강판용 열간 성형 리벳 재료 : 일반용(SV 330),
인장강도 333~402[MPa], 333~490[MPa]의 압연강 사용
- 보일러 및 선박용(SV 400) : 인장강도 402~490[MPa]
- 리벳은 무리하게 성형되므로 리벳재료는 신장률이 큰 것 사용

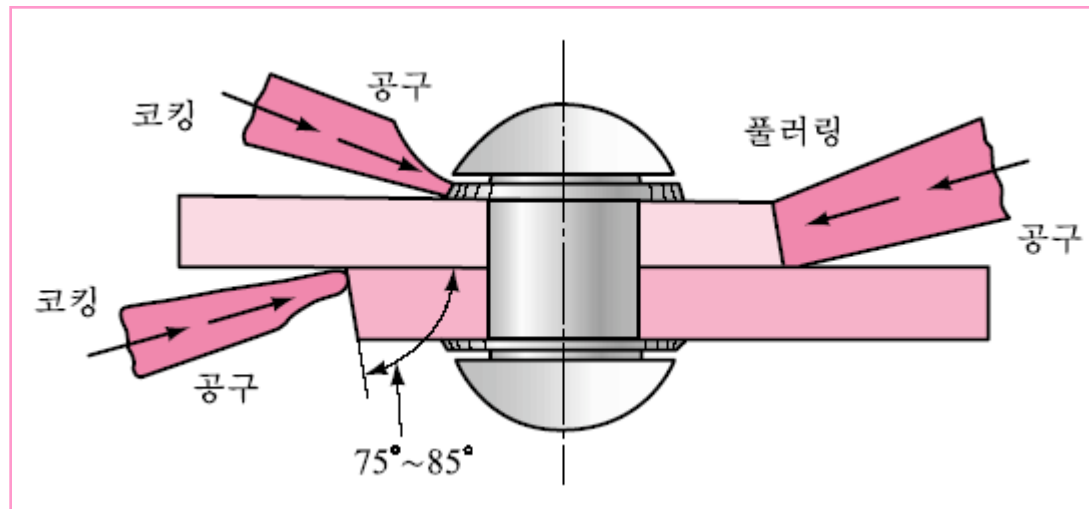
3. 리벳 작업(riveting)

- ① 편치나 드릴을 사용하여 결합하려고 하는 재료에 리벳 구멍을 뚫는다.
- ② 리벳 구멍에 리벳을 넣고 리벳 몸체의 끝에 스냅을 대고 두드려서 리벳의 머리를 성형



<그림 4-3> 리벳 작업

- 리벳 구멍 : 리벳 지름보다 1~1.5[mm]정도 크게 뚫음
- 리벳 길이 : 지름의 5배 이하(ℓ), 접합시킬 판의 총 두께보다 (1.3~1.6) d 정도 크게 한다.
- 코킹(caulking) : 보일러와 같이 기밀을 필요로 할 때는 리벳 작업이 끝난 후 리벳머리의 주위와 강판의 가장자리를 정(chisel)과 같은 공구로 두드리는 작업
 - 강판의 가장자리를 75~85° 정도 경사지게 한다.
 - 아래쪽 강판에 자국이 나지 않도록 주의한다.
- 풀러링(fullering) : 기밀성을 더욱 좋게 하기 위하여 강판과 같은 두께의 풀러링 공구로 때려 붙이는 작업



<그림 4-4> 코킹과 풀러링

4. 리벳 이음의 종류

(1) 사용목적에 따른 분류

- ① 강도와 기밀을 동시에 필요 $\Rightarrow$ 보일러, 압력용기 등
- ② 기밀을 주로 필요 $\Rightarrow$ 물탱크, 연통 등
- ③ 강도를 주로 필요 $\Rightarrow$ 교량, 건축물, 일반구조물 등

(2) 이음 형식에 따른 분류

(3) 리벳의 줄수에 따른 분류

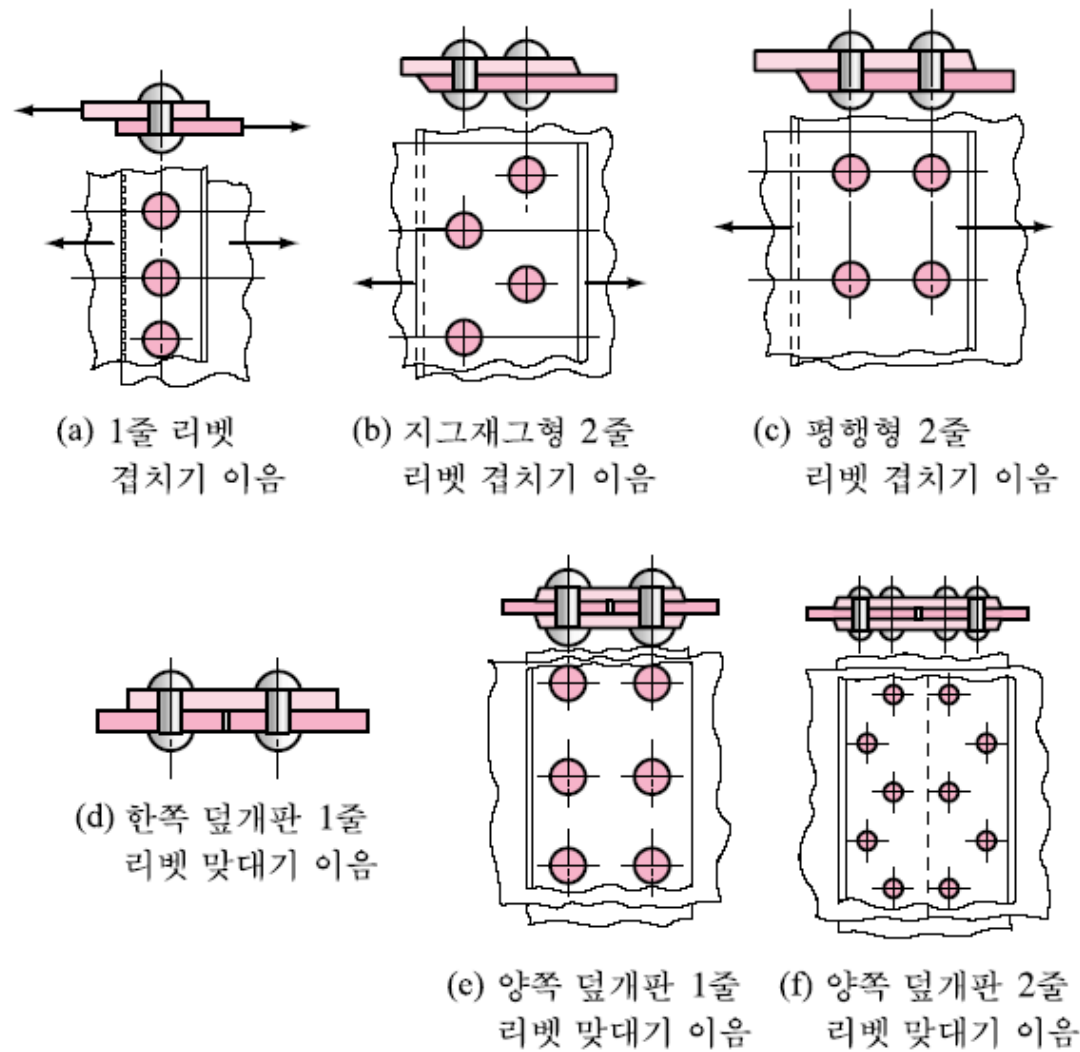
- ① 1줄 리벳 이음(single rivet joint)
- ② 2줄 리벳 이음(double rivet joint)
- ③ 여러줄 리벳 이음(multiple rivet joint)

(4) 리벳의 배열에 따른 분류

- ① 평행형 리벳 이음(chain rivet joint)
- ② 지그재그형 리벳 이음(zigzag rivet joint)

(5) 리벳 전단면의 개수에 따른 분류

- ① 단일 전단면 이음(single shear rivet joint)
- ② 이중 전단면 이음(double shear rivet joint)
 - 1줄 리벳 겹치기 이음
 - 2줄 리벳 겹치기 이음
 - 양쪽 덮개판 2줄 리벳 이음

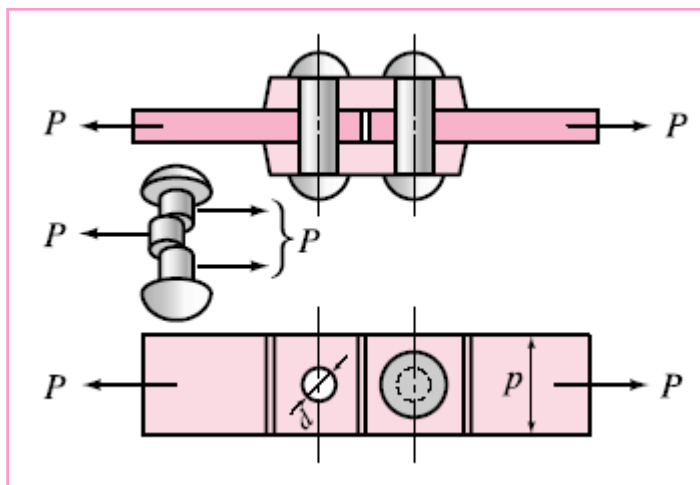


<그림 4-6> 리벳 이음의 종류

(6) 리벳 장소에 따른 분류

① 공장 리벳 이음

② 현장 리벳 이음



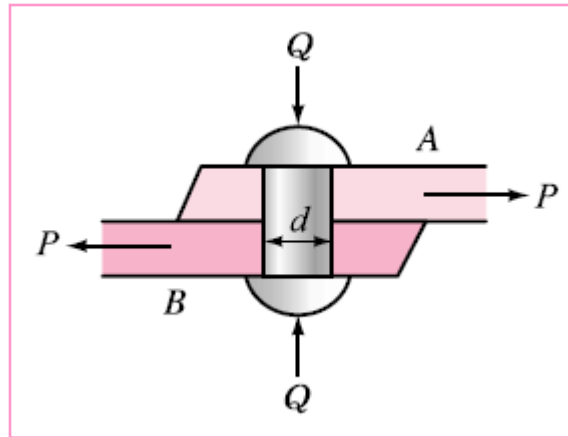
<그림 4-7> 이중 전단면 리벳 이음

5. 리벳 이음의 강도 설계

(1) 리벳의 강도

P : 전단하중, Q : 판 A 와 B 를 조이는 힘

$P = \mu Q$: 마찰력



<그림 4-8> 리벳에 작용 하중

① 전단하중

d : 리벳지름, τ : 리벳의 전단응력

$$P = \tau A = f_s \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \tau \quad (4 \cdot 1)$$

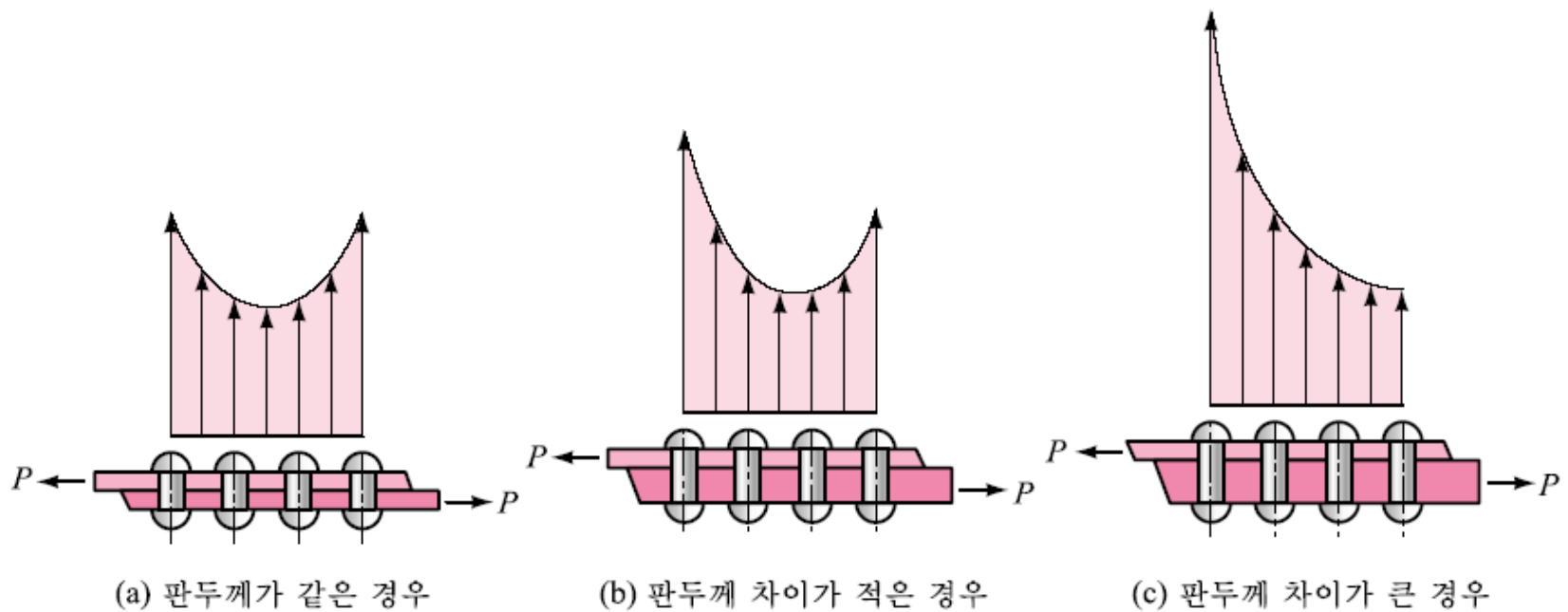
f_s : 전단면 계수 $\begin{cases} f_s = 1 (\text{단일 전단면의 경우}) \\ f_s = 1.8 (\text{이중 전단면의 경우}) \end{cases}$

② 여러줄 리벳강도

- 판 두께가 다른 경우 하중 분포를 구하여 리벳강도 계산
- 제일 바깥쪽 리벳에서 응력집중이 가장 크므로 이를 고려한 강도 계산이 필요
- 여러줄 리벳일 때 리벳 1피치 사이의 전단응력은

$$\tau = \frac{P}{z \alpha \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)} \quad (4 \cdot 2)$$

z : 리벳의 줄 수, α : 줄 수에 따른 부하평균화계수



<그림 4-9> 줄수 및 판두께에 따른 하중 분포

<표 4-3> 여러줄 리벳의 하중분포상태

번 호 리벳의 줄수 z	리벳하중의 분포비율						제일 바깥쪽 리벳의 하중이 평균값으로부터 초과되는 양 %	부하 평균화 계수 α
	1	2	3	4	5	6		
2	0.5	0.5	—	—	—	—	0	1.0
3	0.368	0.264	0.368	—	—	—	11	0.9
4	0.307	0.193	0.193	0.307	—	—	23	0.8
5	0.272	0.163	0.130	0.163	0.272	—	36	0.75
6	0.247	0.147	0.106	0.106	0.147	0.247	48	0.7

【주】 같은 두께의 겹치기 이음, 또는 모재의 1/2 두께의 덮개판을 사용한 양쪽 덮개판 이음의 1/2 인 경우

(2) 리벳 이음의 강도

① 리벳의 전단 파괴<그림 4-10(a)>

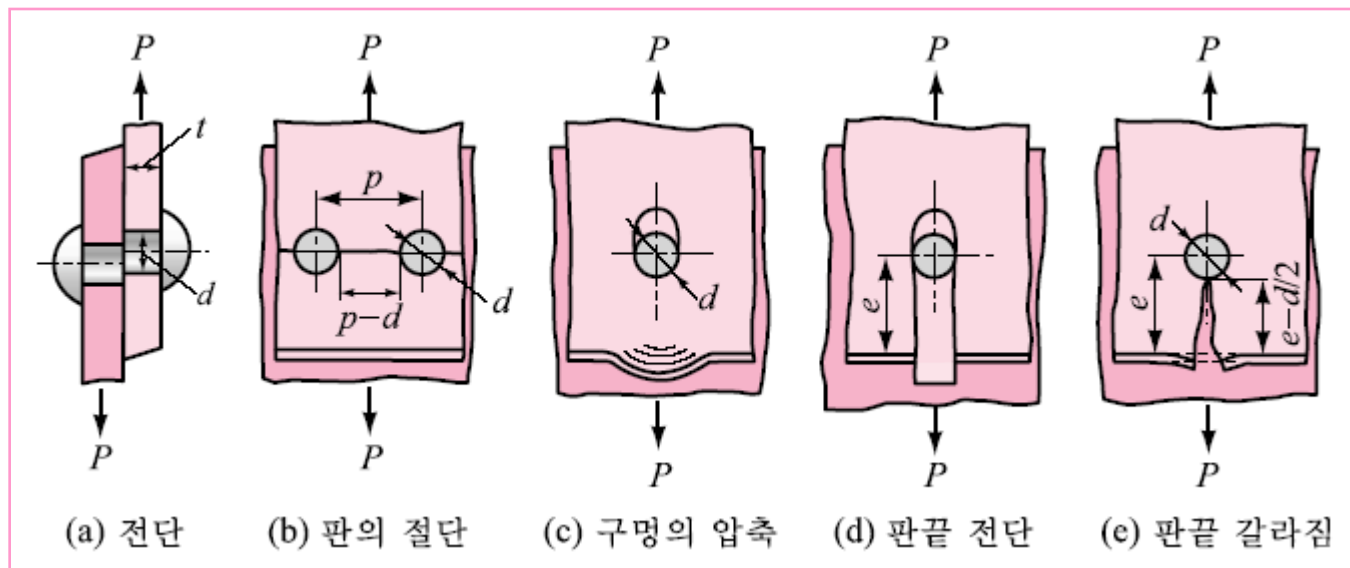
P : 리벳 이음에 작용하는 인장하중 [N]

- 리벳 몸체에 작용하는 전단응력

$$\tau = \frac{P}{f_s \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)} \quad (4 \cdot 3)$$

d : 리벳지름 [mm], τ : 리벳의 전단응력 [MPa]

f_s : 전단면(剪斷面) 계수



<그림 4-10> 리벳 이음의 파괴 형태

② 판의 절단<그림 4-10(b)>

- 작용하중으로 리벳구멍 사이의 판이 파괴될 때

$$\sigma_t = \frac{P}{(p-d)t} \quad (4 \cdot 4)$$

t : 판의 두께 [mm], p : 리벳의 피치 [mm]

σ_t : 판의 인장응력 [MPa]

③ 리벳 구멍의 압축 파괴<그림 4-10(c)>

- 리벳 구멍이 압축으로 파괴될 때 압축응력

$$\sigma_c = \frac{P}{dt} \quad (4 \cdot 5)$$

d : 리벳 지름 [mm]

σ_c : 리벳 구멍의 압축응력 [MPa]

④ 판 끝의 전단 파괴<그림 4-10(d)>

- 판 끝과 리벳 구멍사이의 판이 전단되는 경우

$$\tau_p = \frac{P}{2et}$$

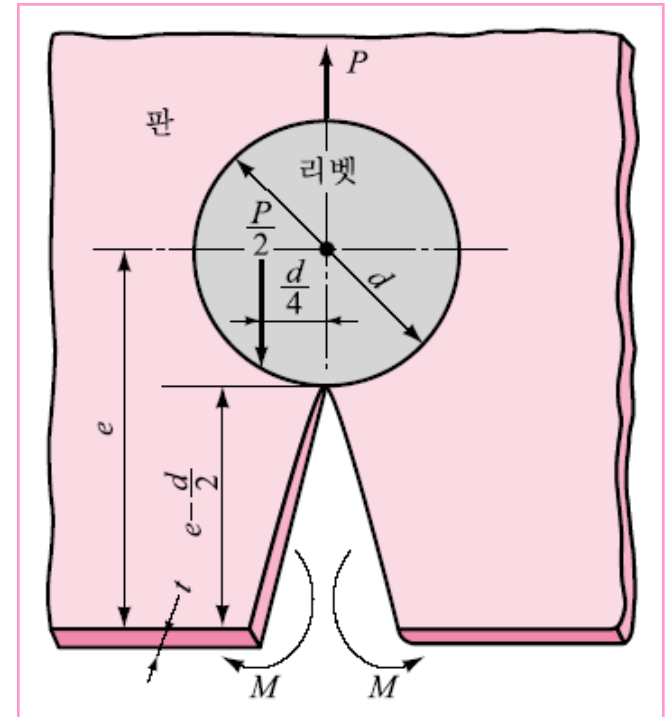
(4 • 6)

e : 리벳중심에서 판 끝까지의 거리 [mm]

τ_p : 판의 전단응력 [MPa]

⑤ 판 끝의 갈라짐<그림 4-10(e)>

- e 가 작을 때 인장하중 P 에 의해 판 끝의 굽힘 모멘트에 의해 판 끝이 갈라질 때



<그림 4-11> 판끝 갈라짐 굽힘 모멘트

- 판의 굽힘응력 : σ_b

$$M = \frac{1}{8}Pd, \quad Z = \frac{1}{6}\left(e - \frac{d}{2}\right)^2 t$$

$M = \sigma_b Z$ 의 관계로부터

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{3Pd}{(2e - d)^2 t} \quad (4 \cdot 7)$$

M : 굽힘 모멘트, Z : 단면계수

(3) 리벳 이음의 설계

① 리벳의 전단력과 판의 인장력이 같을 때

- 식 (4 · 3)과 식 (4 · 4)에서

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

- 리벳 피치 p 로 나타내면

$$p = d + \frac{\pi d^2 \tau f_s}{4t\sigma_t} \quad (4 \cdot 8)$$

② 이중 전단면의 리벳 전단력과 판끝 갈라짐 하중이 같을 때

- 식 (4 · 3)과 식 (4 · 7)로부터

$$e = \frac{d}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{3\pi d \tau f_s}{4t\sigma_b}} \right) \quad (4 \cdot 9)$$

- $\sigma_b = \sigma_t$, $\tau = 0.85\sigma_t$, $p = \frac{d}{2}$ 라 하고

이것을 식 (4 · 9)에 대입하면

$$e = 1.5d \quad (4 \cdot 10)$$

③ 리벳 전단력과 리벳 구멍의 판에 대한 압축력이 같을 때

- 식 (4 • 3), 식 (4 • 5)에서 판 두께와 리벳 지름은

$$d = \frac{4t\sigma_c}{\pi\tau f_s} \quad (4 \cdot 11)$$

(4) 리벳 이음의 효율(efficiency of rivet joint)

① 판 효율 : η_1

$$\eta_1 = \frac{\text{구멍이 있는 판의 인장강도}}{\text{구멍이 없는 판의 인장강도}} = \frac{(p-d)t\sigma_t}{pt\sigma_t} = \frac{p-d}{p} = 1 - \frac{d}{p} \quad (4 \cdot 12)$$

② 리벳 효율 : η_2

$$\eta_2 = \frac{\text{리벳의 전단강도}}{\text{구멍이 없는 판의 인장강도}}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{단일 전단면의 경우 : } \eta_2 &= \frac{\frac{1}{4}\pi d^2 \tau}{pt\sigma_t} \\ \text{이중 전단면의 경우 : } \eta_2 &= \frac{1.8 \times \frac{1}{4}\pi d^2 \tau}{pt\sigma_t} \end{aligned} \right\}$$

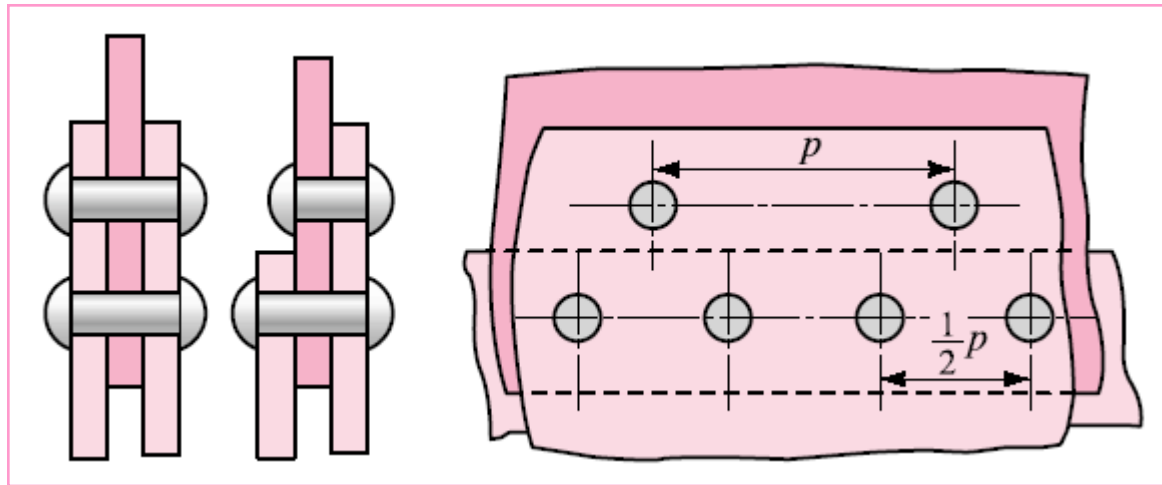
(4 · 13)

- 여러줄 리벳의 효율은 1피치에 대한 리벳의 수를 곱하여 계산한다.

③ 연합 효율 : η_3

- 2줄 이상의 리벳 이음에서 리벳의 피치가 다를 때 피치가 큰 곳에서는 리벳이 전단되고, 피치가 작은 곳에서는 강판이 동시에 절단 $\Rightarrow$ 판 효율과 리벳 효율을 합하여 표시
- 안쪽 리벳의 피치가 바깥쪽 리벳의 피치의 1/2인 경우 $\Rightarrow$ 바깥쪽 리벳은 전단, 안쪽 리벳은 판의 절단 파괴

$$\left. \begin{aligned}
 \text{▪ 한쪽 덮개판의 경우 : } \eta_3 &= \frac{p-2d}{p} + \frac{\frac{1}{4}\pi d^2 \tau}{pt\sigma_t} \\
 \text{▪ 양쪽 덮개판의 경우 : } \eta_3 &= \frac{p-2d}{p} + \frac{1.8 \times \frac{1}{4}\pi d^2 \tau}{pt\sigma_t}
 \end{aligned} \right\} \quad (4 \cdot 14)$$



<그림 4-12> 한쪽 및 양쪽 덮개판 이음

예제

4-1

100 [kN]의 인장하중을 받는 양쪽 덮개판 1줄 리벳 이음의 리벳 지름을 20 [mm]로 하면, 필요한 리벳의 수를 구하시오. 단, 리벳의 허용전단응력은 60 [MPa]로 한다.

〈풀이〉 양쪽 덮개판 이음의 경우 전단면의 수는 2개이다. 또한, 리벳은 전단력에 의해서만 파손된다고 하면, 식 (4·1)에서 리벳의 수가 n 이면

$$P = 1.8\tau \frac{\pi d^2}{4} n$$

$$\therefore n = \frac{4P}{1.8\tau\pi d^2} = \frac{4 \times 100 \times 10^3}{1.8 \times 60 \times \pi \times 20^2} = 2.9$$

따라서 리벳의 수는 3개로 한다.

예제
4-2

두께 10 [mm]의 강판을 지름 12 [mm]의 리벳으로 1줄 리벳 겹치기 이음을 할 때 피치 및 이음 효율을 구하시오. 강판의 허용인장응력을 40 [MPa], 리벳의 허용전단응력을 35 [MPa]로 한다.

〈풀이〉 리벳의 전단하중과 판의 절단하중이 같다면

$$\frac{\pi d^2}{4} \tau_r = (p-d)t\sigma_a$$

$$\therefore p = d + \frac{\pi d^2 \tau_r}{4t\sigma_a} = 12 + \frac{\pi \times 12^2 \times 35}{4 \times 10 \times 40} = 21.9 \text{ [mm]}$$

그러므로 리벳 이음의 효율은

$$\eta_1 = \frac{p-d}{p} = \frac{21.9-12}{21.9} \times 100 = 45.2 \text{ [%]}$$

예제
4-3

피치 48 [mm], 리벳 구멍의 지름 16 [mm], 강판의 두께 8 [mm]의 양쪽 덮개판 1줄 리벳 이음에서 리벳의 전단응력이 강판의 인장응력의 80 [%]일 때 리벳이음의 효율을 구하시오.

〈풀이〉 판 효율 η_1 은 식 (4·12)로부터

$$\eta_1 = \frac{p-d}{p} = \frac{48-16}{48} \times 100 = 66.7 \text{ [%]}$$

리벳 효율 η_2 는 식 (4·13)에서

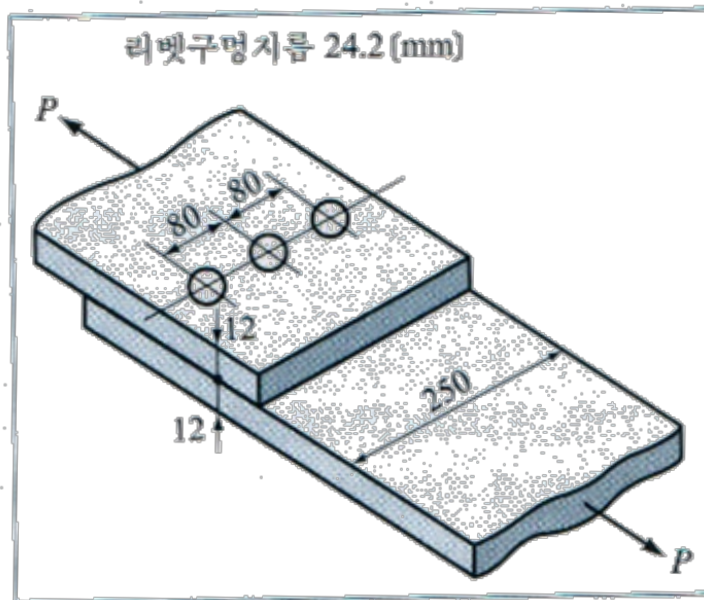
$$\eta_2 = \frac{1.8 \times \frac{1}{4} \pi d^2 \tau}{p t \sigma_t} = \frac{1.8 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 0.8}{48 \times 8} = 0.754 = 75.4 \text{ [%]}$$

그러므로 리벳 이음의 효율은 작은 값을 사용하므로 66.7 [%]이다.

예제

4-4

그림 4-12와 같은 리벳 이음에서 작용 하중 P 의 크기를 구하시오. 단, 리벳의 허용전단응력은 60 [MPa], 강판의 허용인장응력은 80 [MPa], 허용압축응력은 120 [MPa]이다.



〈그림 4-12〉

〈풀이〉 안전한 리벳이음의 인장하중 P 를 구하려면 다음 3가지의 경우를 고려한다.

1개의 리벳에 대한 하중은 $\frac{P}{n}$ 로 고려하면

(1) 리벳이 전단되는 경우

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \tau n = \frac{\pi \times 24.2^2 \times 60 \times 3}{4} = 82793.1 \text{ [N]} = 82.79 \text{ [kN]}$$

(2) 리벳구멍 사이의 강판이 절단되는 경우

$$P = (p - d) t \sigma_t n = (80 - 24.2) \times 12 \times 80 \times 3 = 160704 \text{ [N]} = 160.70 \text{ [kN]}$$

(3) 리벳구멍이 압축되는 경우

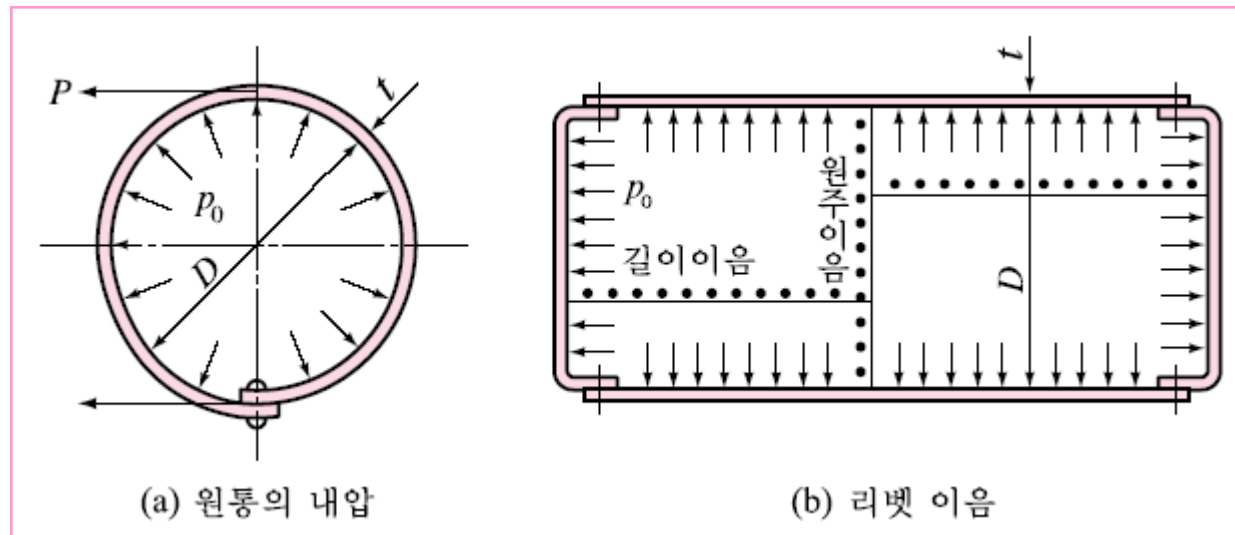
$$P = d t \sigma_c n = 24.2 \times 12 \times 120 \times 3 = 104544 \text{ [N]} = 104.54 \text{ [kN]}$$

그러므로 안전한 인장하중은 가장 작은 값을 선택하면, $P = 82.79 \text{ [kN]}$ 이 된다.

6. 보일러용 리벳 이음

- 기밀(氣密)과 강도(強度)를 동시에 만족

⇒ 증기보일러(steam boiler), 압력용기(pressure vessel)



<그림 4-14> 보일러의 길이 이음과 원주 이음

(1) 보일러 강판의 두께

p_0 : 원통의 내압 [Pa], σ_{tc} : 보일러 원통의 원주방향 응력,

$\sigma_{t\ell}$: 축방향(또는 길이방향) 응력, D : 원통의 지름,

t : 강판의 두께

- 보일러 원통의 원주방향 응력 :

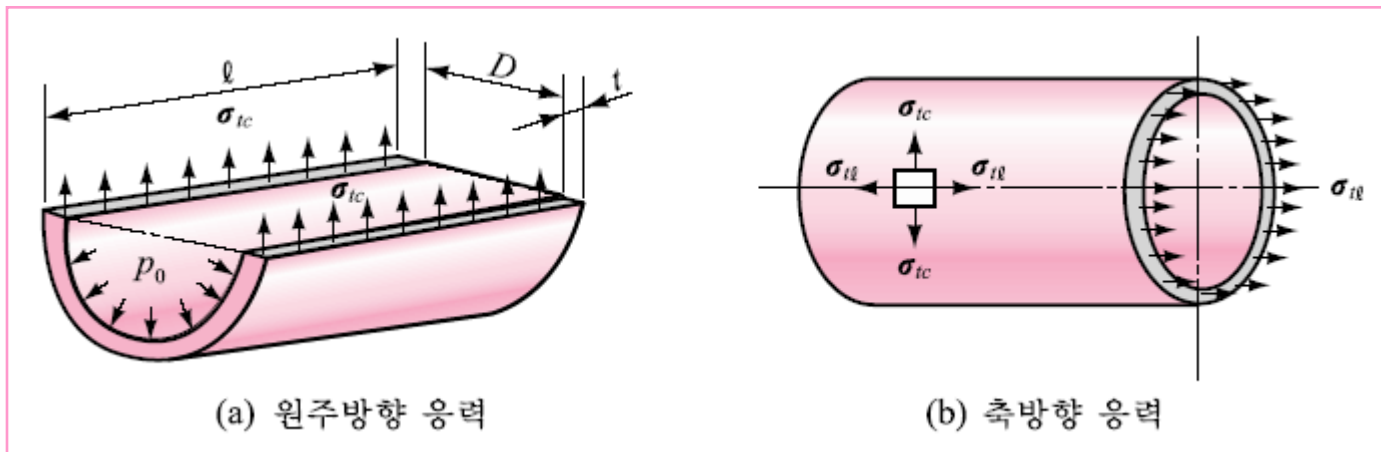
$$p_0(D\ell) = (2t\ell)\sigma_{tc}$$

$$\therefore \sigma_{tc} = \frac{p_0 D}{2t} \quad (4 \cdot 15)$$

- 축방향 응력 :

$$p_0\left(\frac{\pi}{4}D^2\right) = (\pi Dt)\sigma_{t\ell}$$

$$\therefore \sigma_{t\ell} = \frac{p_0 D}{4t} \quad (4 \cdot 16)$$



<그림 4-15> 보일러에 작용하는 응력

- $\sigma_{t\ell} \Rightarrow$ 원통의 축방향 인장으로 발생하는 응력
원주이음의 리벳에 발생
- $\sigma_{tc} \Rightarrow$ 원통의 원주방향 인장에 의한 응력
길이이음의 리벳에 발생
- 리벳의 길이이음은 원주이음보다 2배 강한 이음
- 강판 두께 $\Rightarrow$ 이음효율, 판 부식 등을 고려한 경험식

$$t = \frac{p_0 D S}{2\sigma_t \eta} + c \quad (4 \cdot 17)$$

t : 강판의 두께 [mm], σ_t : 강판의 인장응력 [Pa]

p_0 : 내압 [Pa], D : 보일러 원통의 안지름 [mm]

S : 안전계수, η : 리벳 이음의 효율

c : 부식여유 $\left\{ \begin{array}{l} \text{육상(陸上) 보일러} \Rightarrow 1 \text{ [mm]} \\ \text{선박용 보일러} \Rightarrow 1.5 \text{ [mm]} \\ \text{화학약품 용기} \Rightarrow 1 \sim 7 \text{ [mm]} \end{array} \right.$

(2) 리벳의 지름

- 겹치기 이음일 때 : $d = (2.5 \sim 1.3)t$
- 양쪽 덮개판 이음일 때 : $d = (1.4 \sim 0.8)t$

(4 · 19)

- 실제로는 다음의 경험식이 널리 사용

- 겹치기 이음일 때 : $d = \sqrt{50t} - 4$ [mm]
- 양쪽 덮개판 이음일 때 : $d = \sqrt{50t} - 6$ [mm] (2줄)
- $d = \sqrt{50t} - 7$ [mm] (3줄)

(4 · 20)

(3) 리벳의 피치 및 줄 간격

- 리벳의 줄 간격 e_1 :

$$\left. \begin{array}{l} - p/d \leq 4 \text{ 일 때 : } e_1 \geq 2d \text{ (길이이음)} \\ \qquad \qquad \qquad e_1 \geq 1.75d \text{ (원주이음)} \\ - p/d > 4 \text{ 일 때 : } e_1 \geq 2d + 0.1(p - 4d) \end{array} \right\} \quad (4 \cdot 21)$$

- 리벳 이음의 피치에 대한 경험식 :

- 피치는 리벳 이음의 효율에 영향을 미친다.
- 피치가 너무 크면 압축공기, 증기의 누설 우려

$$p \leq Ct + 42 \text{ [mm]} \quad (4 \cdot 22)$$

p : 최대 피치 [mm], t : 강판의 두께 [mm]

C : 계수 <표 4-6>

(4) 리벳 이음의 선정

- 길이이음의 단위길이에 작용하는 하중을 기준
- 단위길이에 작용하는 힘 Q 를 계산, <표 4-7>에서 선택

$$Q = \frac{p_0 D}{2} \text{ [N/mm]} \quad (4 \cdot 23)$$

여기서 D : 보일러 원통의 안지름 [mm]

p_0 : 보일러의 내압 [N/mm^2]

<표 4-7> 리벳 이음의 형식 선정

Q [N/mm]	길 이 이 음	원 주 이 음
490	1줄 리벳 겹치기 이음	1줄 리벳 겹치기 이음
382~981	2줄 리벳 겹치기 이음	"
686~1324	3줄 리벳 겹치기 이음	"
637~1324	양쪽 덮개판 2줄 리벳 이음	2줄 리벳 겹치기 이음
1079~2354	양쪽 덮개판 3줄 리벳 이음	2줄 또는 3줄 리벳 겹치기 이음
1765~3138	양쪽 덮개판 4줄 리벳 이음	"

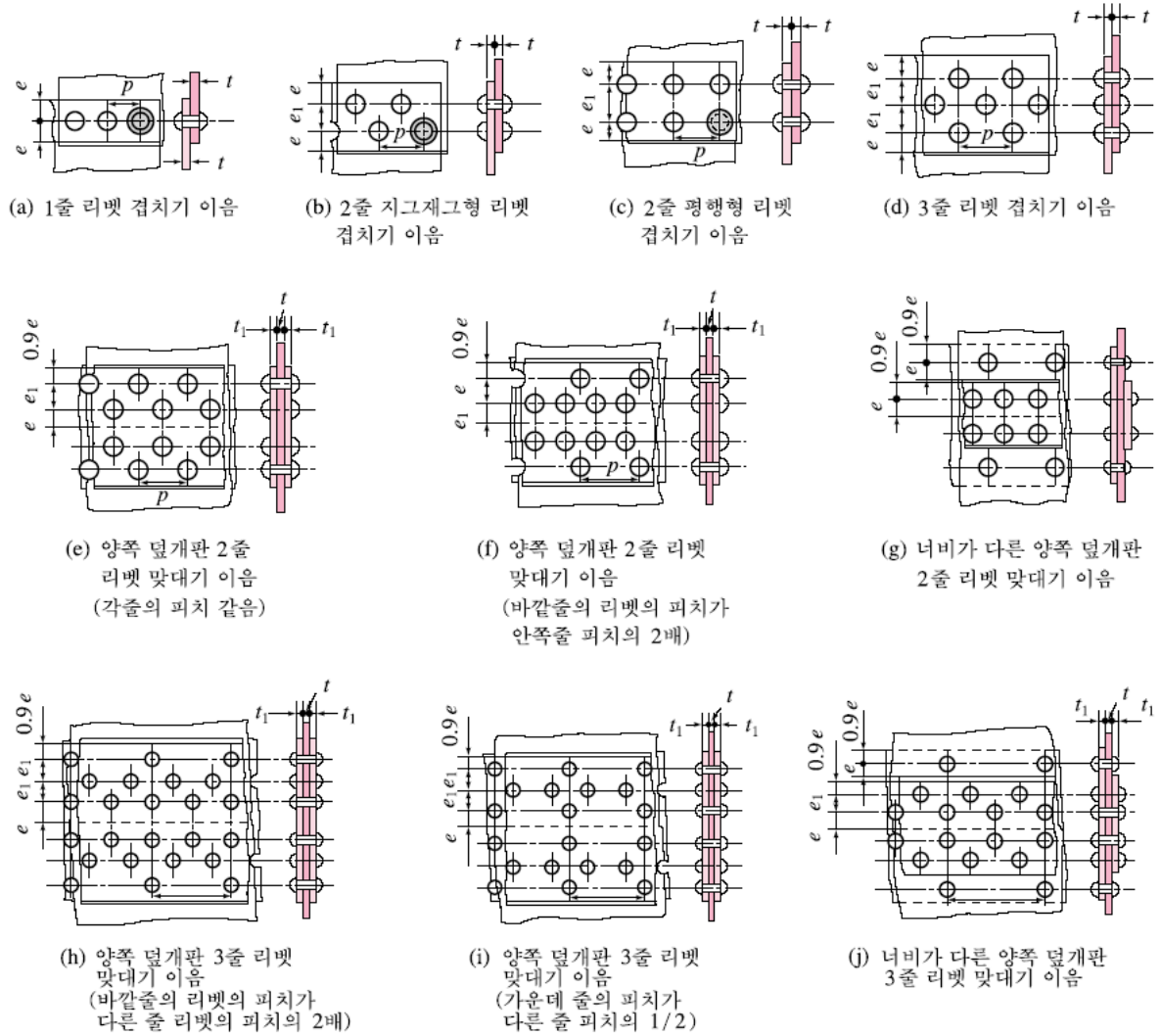
▪ 보일러용 리벳 이음의 종류에 대한 경험식<표 4-9>

⇒ 다음과 같은 가정

- ① 리벳의 전단응력 ⇒ 판의 인장응력의 85 [%]로 간주,
3가지 효율 중에서 최소값을 효율로 선택
- ② 이중 전단면의 강도 ⇒ 단일 전단면 강도의 1.8배
- ③ 리벳지름이 같고 판의 두께가 서로 다를 때
⇒ 두꺼운 판의 효율 중에서 최소값을 선택
- ④ 덮개판의 최소 두께 : $t_1 \geq 0.6t + 2$ [mm], 줄 간격 : $e_1 \geq 2d$,
리벳 구멍에서 판끝까지의 거리 : $e = (1.25 \sim 1.75)d$,
리벳의 최대피치는 식 (4·22)에서 계산

▪ 보일러 원통의 길이이음에 대한 KS 규격의 제한 조건

- ① 한쪽 덮개판 이음은 사용하지 않는다.
- ② $D > 1000$ [mm]인 경우 ⇒ 겹치기 이음은 사용 불가
- ③ $D < 1000$ [mm], $p_0 < 0.7$ [MPa]인 경우 ⇒ 겹치기 이음



<그림 4-16> 보일러용 리벳 이음의 종류

■ 보일러용 리벳 이음의 설계 방법

- ① 이음 효율(η)값을 가정, 식 (4·17)에서 판 두께를 구한다.
- ② 판 두께에서 리벳 이음 각부의 치수는 경험식을 이용 결정
- ③ 각부의 치수를 식 (4·17)의 판두께 식에 대입하여 정확한 효율을 구한 후 처음 가정한 값의 타당성을 검토한다.
- ④ 이론 효율 값과 가정한 값의 차이가 클 때는 설계의 수정

〈표 4-9〉 그림 4-16의 보일러용 리벳 이음의 경험식

이음의 종류 그림 번호	〈그림 4-15(a)〉	〈그림 4-15(b)〉	〈그림 4-15(c)〉	〈그림 4-15(d)〉	〈그림 4-15(e)〉
d [cm]	$\sqrt{5t}-0.4$	$\sqrt{5t}-0.4$	$\sqrt{5t}-0.4$	$\sqrt{5t}-0.4$	$\sqrt{5t}-0.6$
t_1	—	—	—	—	$(0.6 \sim 0.7)t$
p [cm]	$2d+0.8$	$2.6d+1.5$	$2.6d+1$	$3d+2.2$	$3.5d+1.5$
e	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$
e_1	—	$0.6p$	$0.8d$	$0.5d$	$0.5d$
η_1	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$
η_2^{*1}	k	$2k$	$2k$	$3k$	$3.6k$
이음의 종류 그림 번호	〈그림 4-15(f)〉	〈그림 4-15(g)〉	〈그림 4-15(h)〉	〈그림 4-15(i)〉	〈그림 4-15(j)〉
d [cm]	$\sqrt{5t}-0.6$	$\sqrt{5t}-0.6$	$\sqrt{5t}-0.7$	$\sqrt{5t}-0.7$	$\sqrt{5t}-0.7$
t_1	$(0.6 \sim 0.7)t$	$(0.6 \sim 0.7)t$	$0.8t$	$0.8t$	$0.8t$
p [cm]	$5d+1.5$	$5d+1.5$	$6d+2$	$6d+2$	$6d+2$
e	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$	$1.5d$
e_1	$0.4p$	—	$0.38p$	$0.38p$	$0.38p$
η_1	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$	$(p-d)/p$
η_2^{*1}	$5.4k$	$4.6k$	$9k$	$7.2k$	$8.2k$
η_3^{*1}	$(p-2d)/p+1.8k$	$(p-2d)/p+k$	$(p-2d)/p+1.8k$	$(p-2d)/p+k$	$(p-2d)/p+k$

【주】 *1 ; $k = (\pi d^2 \tau) / (4pt\sigma_t)$

<표 4-10> 보일러용 겹치기 이음의 표준치수

(단위 : [mm])

리벳 지름 d	판두께 t	e	1줄 피치 p	2줄 지그재그형		3줄	
				피치 p	e_1	피치 p	e_1
13	7	21	36	51	31	64	32
16	8~10	26	42	59	35	73	37
19	11~13	30	48	67	40	82	41
22	14~16	35	54	75	45	91	46
25	17~20	40	61	84	50	101	51
28	21~23	44	67	92	55	110	55
30	24~26	47	71	97	58	116	58
32	27~29	50	75	102	61	122	61
34	30~32	53	79	107	64	128	64
36	33~34	56	83	112	67	134	67
38	35~37	59	87	118	71	140	70
40	38~40	62	91	123	74	147	74

예제

4-5

지름 600 [mm], 내압 0.8 [MPa]인 보일러 원통을 길이어음을 설계하려고 한다. 강판의 인장강도는 400 [MPa], 리벳재료의 인장강도는 330 [MPa]이고, 안전계수는 4, 이음효율은 60 [%]로 한다.

〈풀이〉 강판의 두께 t 는 식 (4·17)로부터

$$t = \frac{p_0 D S}{2 \sigma_t \eta} + 1 = \frac{0.8 \times 600 \times 4}{2 \times 400 \times 0.6} + 1 = 5 \text{ [mm]}$$

따라서 $t = 5$ [mm]로 결정한다. 보일러 원통의 길이어음에 대한 KS 규격의 이음선정 기준으로부터 $D < 1000$ [mm], $p_0 > 0.7$ [MPa]이므로 양쪽 덮개판 이음을 선택한다. 리벳의 지름은 식 (4·20)에서

$$d = \sqrt{50t} - 6 = \sqrt{50 \times 5} - 6 = 9.8 \text{ [mm]} \approx 10 \text{ [mm]}$$

또한, <표 4-9>의 <그림 4-15(e)>로부터 다음과 같이 선정한다.

$$p = 3.5d + 1.5 = 3.5 \times 1.0 + 1.5 = 5.0 \text{ [cm]} = 50 \text{ [mm]}$$

$$e = 1.5d = 1.5 \text{ [cm]} = 15 \text{ [mm]}$$

$$e_1 = 0.5d = 0.5 \times 10 = 5 \text{ [mm]}$$

판 효율은

$$\eta_1 = \frac{p-d}{p} = \frac{50-10}{50} = 0.8 = 80 \text{ [%]}$$

리벳 재질의 인장강도는 330 [MPa], 허용전단응력 τ 는 <표 4-8>로부터 인장응력의 21 [%] 이므로

$$\tau = 330 \times 0.21 = 69.3 \text{ [MPa]} \text{ 이 된다.}$$

따라서 리벳의 효율은

$$\eta_2 = \frac{2 \times 1.8 \times \frac{\pi}{4} d^2 \tau}{p t \sigma_0} = \frac{2 \times 1.8 \times \pi \times 10^2 \times 69.3}{4 \times 50 \times 5 \times 100} = 0.784 = 78.4 \text{ [%]}$$

그러므로 리벳의 이음 효율은 60 [%] 이상을 만족한다.

7. 구조용 리벳 이음

- 구조용 리벳 지름의 경험식 :

$$d = \sqrt{50t} - 2 \text{ [mm]}$$

(4 • 24)

- 구조용 리벳 이음에서 각부의 치수 :

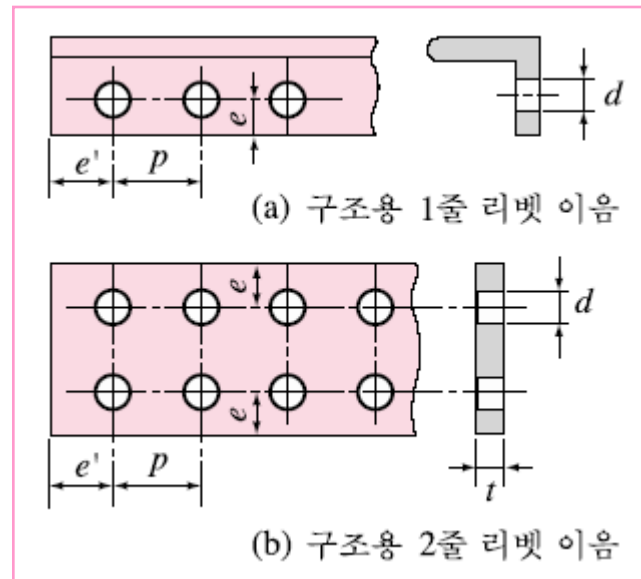
- 1줄 리벳 이음의 경우 :

$$p = (2.5 \sim 3.5)d, \quad e = (1.8 \sim 2.5)d$$

- 2줄 리벳 이음의 경우 :

$$p = (3 \sim 4.5)d, \quad p_1 = (4 \sim 7)d,$$

$$e = (2.5 \sim 4.5)d$$



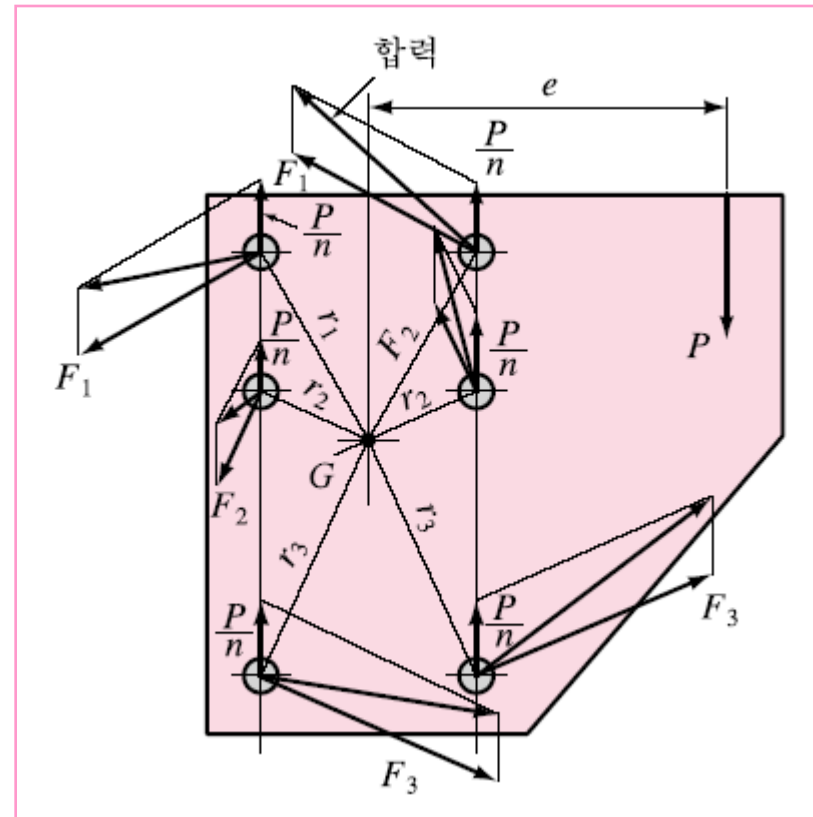
<그림 4-17> 구조용 리벳

8. 편심하중을 받는 리벳 이음

n : 리벳의 수, P : 하중,

$\frac{P}{n}$: 리벳의 전단력,

Pe : 편심에 의한 굽힘 모멘트



<그림 4-19>
편심하중을 받는 리벳 이음

▪ 모멘트에 의한 하중 :

- 리벳 전체의 중심(重心) G 에서 리벳까지의 거리에 비례한다.
- 重心으로부터 리벳 중심을 연결하는 직선에 수직방향으로 작용

k : 비례상수, $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$: 거리

$F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$: 각 리벳에 작용하는 편심

모멘트에 의한 하중

$$F_1 = kr_1, F_2 = kr_2, F_3 = kr_3 \quad (4 \cdot 25)$$

같은 거리에 있는 리벳의 수 : $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$

$$\begin{aligned} M = Pe &= n_1 F_1 r_1 + n_2 F_2 r_2 + n_3 F_3 r_3 + \dots + n_n F_n r_n \\ &= k(n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2 + n_3 r_3^2 + \dots + n_n r_n^2) \end{aligned} \quad (4 \cdot 26)$$

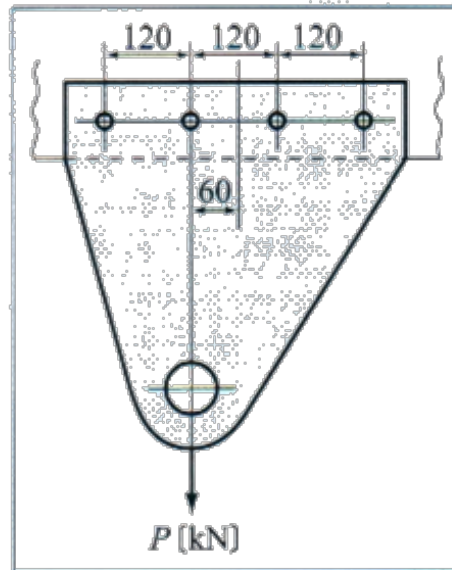
▪ 식 (4·26)을 이용하여 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ 등을

계산하고 제일 큰 $F_{\max}$ 를 선택, $\frac{P}{n}$ 와의 합력이 리벳의

허용강도보다 작으면 안전하다.

예제
4-6

〈그림 4-19〉와 같은 구조용 리벳 이음에서 작용시킬 수 있는 허용최대하중 P [kN]를 구하시오. 단, 리벳의 허용전단응력은 80 [MPa]이고, 리벳의 지름은 25 [mm]이다.



〈그림 4-19〉

〈풀이〉 리벳 전체의 중심(重心)에 대한 편심하중이 작용하는 거리 $e = 60$ [mm] 이므로 식 (4-26)에서 비례상수 k 는

$$k = \frac{Pe}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2 + \dots + n_4 r_4^2} = \frac{60P}{2 \times 60^2 + 2 \times 180^2} = 0.000833P$$

리벳에 작용하는 최대 모멘트에 의한 전단력

$$kr_1 = 0.000833P \times 180 = 0.15P$$

리벳에 작용하는 전단력

$$\frac{P}{4} = 0.25P$$

그러므로 리벳의 합성 전단력은

$$0.25P + 0.15P = 0.4P$$

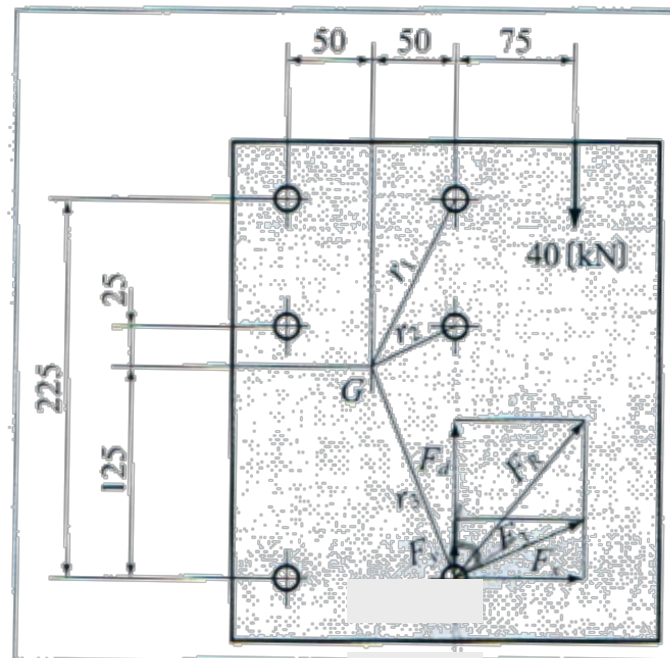
리벳의 전단응력

$$\tau = \frac{0.4P}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$\therefore P = \frac{\pi d^2}{4} \tau \times \frac{1}{0.4} = \frac{\pi \times 25^2 \times 80}{4 \times 0.4} = 98175 \text{ [N]} = 98.18 \text{ [kN]}$$

예제
4-7

〈그림 4-20〉과 같은 단일 전단면 리벳 이음에서 최대하중을 받는 리벳에 작용하는 힘을 구하시오. 또한, 리벳의 지름을 22 [mm]로 할 때 리벳에 작용하는 전단응력과 강판의 두께 10 [mm]일 때 압축응력을 구하시오.



〈그림 4-20〉 편심하중이 작용하는 리벳 이음

〈풀이〉 리벳에 작용하는 직접하중 F_d 는

$$F_d = \frac{P}{n} = \frac{40000}{6} = 6666.7 \text{ [N]}$$

가장 아래의 리벳 선에서 리벳 전체의 중심(重心)까지의 거리를 $\bar{y}$ 라 하고, 모멘트의 평형을 고려하면

$$\bar{y} = \frac{2 \times 150 + 2 \times 225}{6} = 125 \text{ [mm]}$$

<그림 4-20>에서 $r_1 = 112 \text{ [mm]}$, $r_2 = 55.9 \text{ [mm]}$, $r_3 = 135 \text{ [mm]}$ 이므로 편심 모멘트에 의한 최대하중은 중심(重心)에서 가장 먼 거리 r_3 에서 발생한다. 그러므로 식 (4-26)에서

$$P_e = 40000 \times 125 = k(2 \times 112^2 + 2 \times 55.9^2 + 2 \times 135^2)$$

$$\therefore k = 73.76 \text{ [N/mm]}$$

모멘트에 의하여 리벳에 작용하는 최대하중 F_3 는

$$F_3 = k r_3 = 73.76 \times 135 = 9957.6 \text{ [N]}$$

이다. 최대하중의 x 방향 분력 F_x 와 y 방향의 분력 F_y 는

$$F_x = F_3 \cos \theta = 9957.6 \times \cos \left(\cos^{-1} \frac{125}{135} \right) = 9920 \text{ [N]}$$

$$F_y = F_3 \sin \theta = 9957.6 \times \sin \left(\cos^{-1} \frac{125}{135} \right) = 3761 \text{ [N]}$$

이 된다. 그리고 리벳에 작용하는 직접하중 F_d 와 편심 모멘트에 의한 최대하중의 벡터 합은 다음과 같이 된다.

$$F_R = \sqrt{(F_d + F_y)^2 + F_x^2} = \sqrt{(6666.7 + 3761)^2 + 9920^2} = 14392.5 \text{ [N]}$$

최대하중이 작용하는 리벳의 전단응력은

$$\tau = \frac{F_R}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4 \times 14392.5}{\pi \times 22^2} = 37.86 \text{ [N/mm}^2\text{]} = 37.86 \text{ [MPa]}$$

리벳의 압축응력은

$$\sigma_c = \frac{F_R}{dt} = \frac{14392.5}{22 \times 10} = 65.42 \text{ [N/mm}^2\text{]} = 65.42 \text{ [MPa]}$$

4-2 ≫ 용접 및 용접 이음

- 용접(熔接, welding) : 모재(母材, base metal)의 접합부를 가열하여 용융(熔融) 또는 반용융 상태로 접합하거나, 용가재(熔加材, filler material)를 가열하여 용융시켜서 접합하는 결합법

<용접의 장·단점>

장 점	단 점
① 재료의 절약 ② 공정수 감소, 제작비 저가 ③ 이음효율 향상 ④ 기밀 및 수밀성 양호 ⑤ 제품의 성능 향상 ⑥ 보수 용이 ⑦ 중량 감소 ⑧ 설비비 저가 ⑨ 자동화 용이	① 열 영향으로 재료의 변질 ② 잔류응력 발생 ③ 용접 균열의 발생 ④ 숙련된 용접기술이 필요 ⑤ 용접부의 비파괴 검사의 어려움

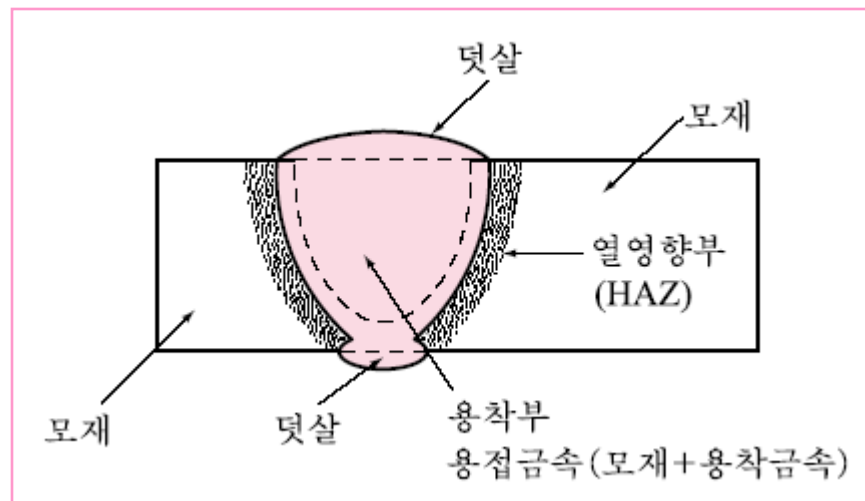
1. 용접의 종류

- 용접(融接, fusion welding) : 모재의 접합부를 가열하여 용융 또는 반응용 상태로 접합하거나 용가재를 가열 용융시켜 융합하는 용접
- 압접(壓接, pressure welding) : 모재를 반응용 또는 냉간에서 기계적인 압력을 가하여 접합시키는 방법
- 납땜(soldering) : 용점이 낮은 납을 용융시켜 접합할 부위에 충전(充填)하여 모재를 결합시키는 방법

2. 용접의 분류와 기호

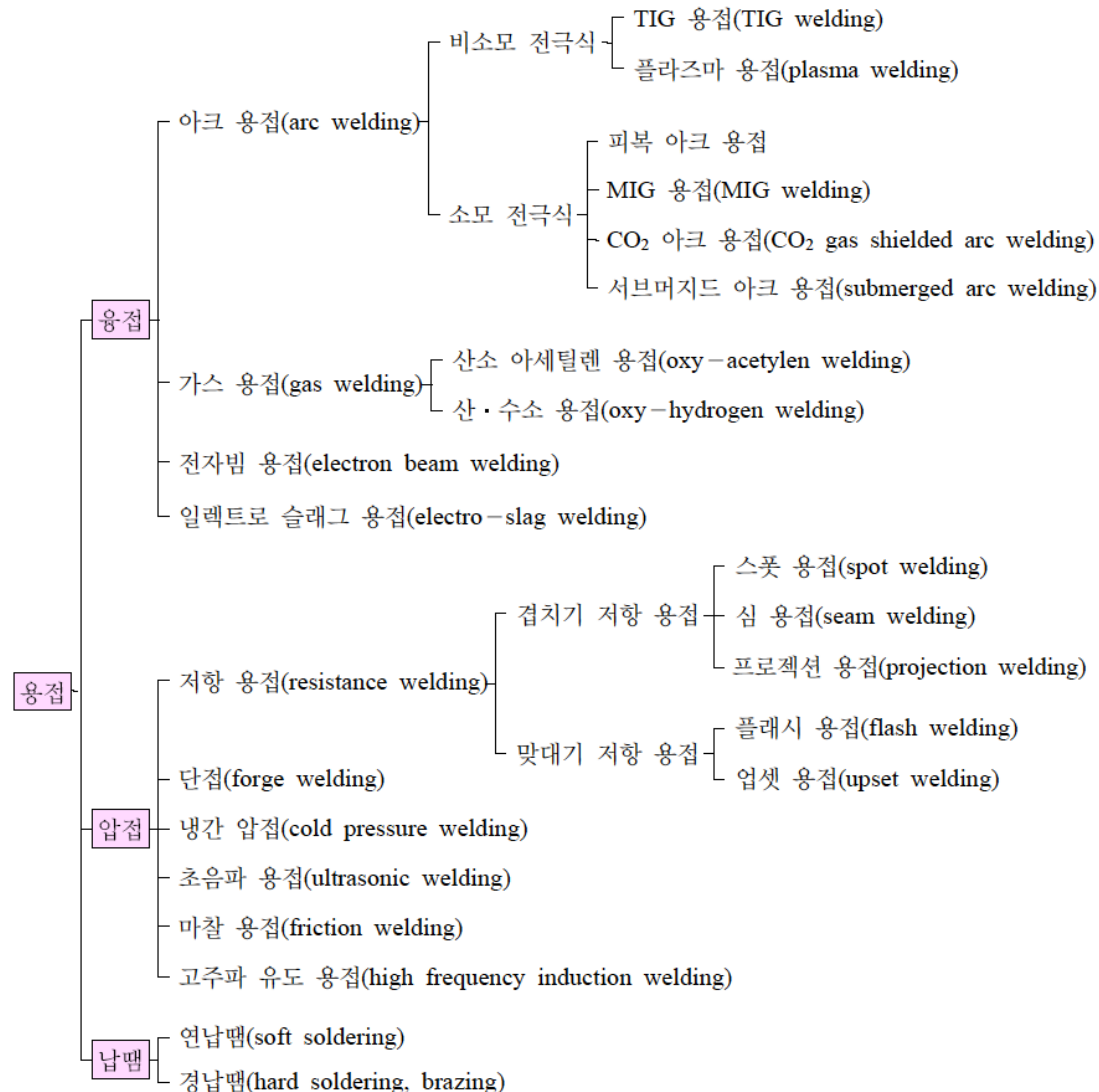
(1) 용접부의 구성

- 모재(母材, base metal) : 용접이 되는 금속(용접재)
- 용착부(熔着部, weld metal zone) : 용접봉 또는 모재의 일부가 용융되어 응고된 부분
- 용접금속(熔接金屬, weld metal) : 용착된 금속
- 용착금속(熔着金屬, deposit metal) : 용접금속 중에서 용접봉이 녹아서 된 것
- 열영향부(熱影響部, heat affected zone : HAZ) : 용융은 되지 않지만 열에 의해서 조직 및 특성 등이 변화된 모재 부분
- 용접부 : 용착부와 열영향부를 포함하는 부분
- 덧붙임(reinforcement of weld) : 표면에 모재의 두께보다 올라온 용착금속



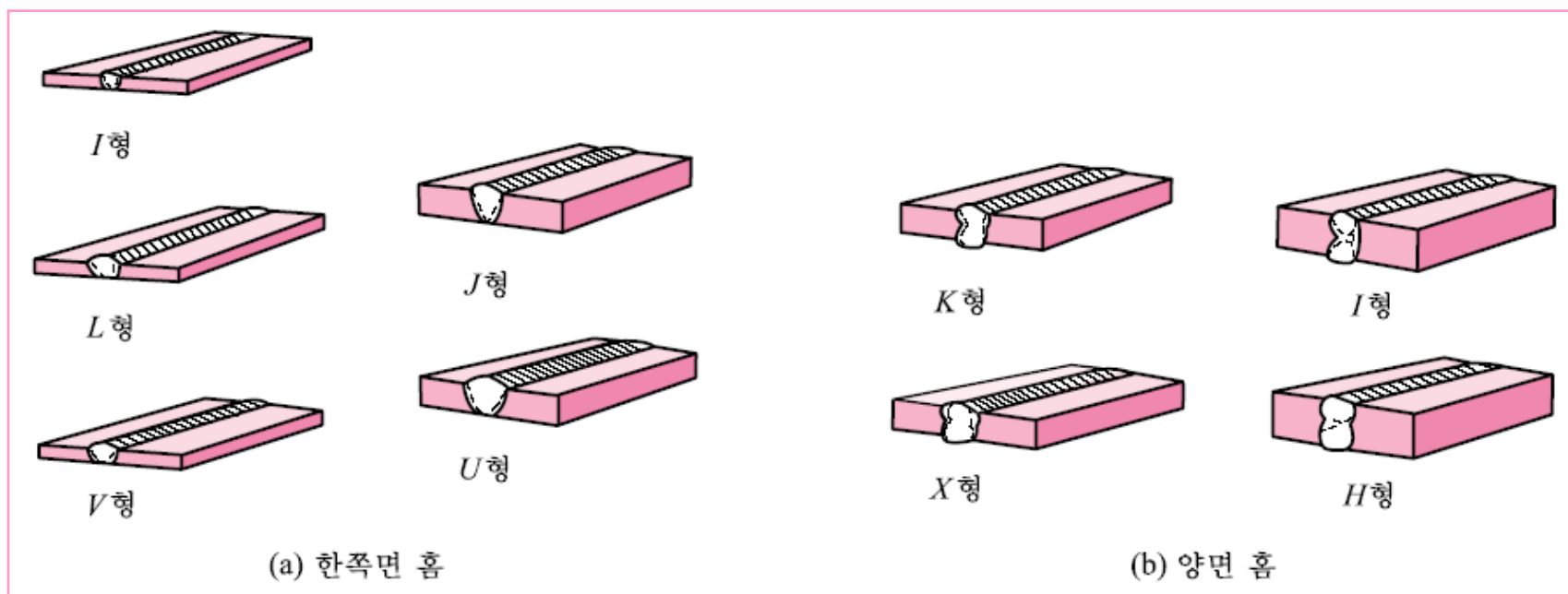
<그림 4-22> 용접부의 구성

<표 4-14> 용접의 분류



(2) 용접부의 종류

- 용접부 형상에 따른 분류

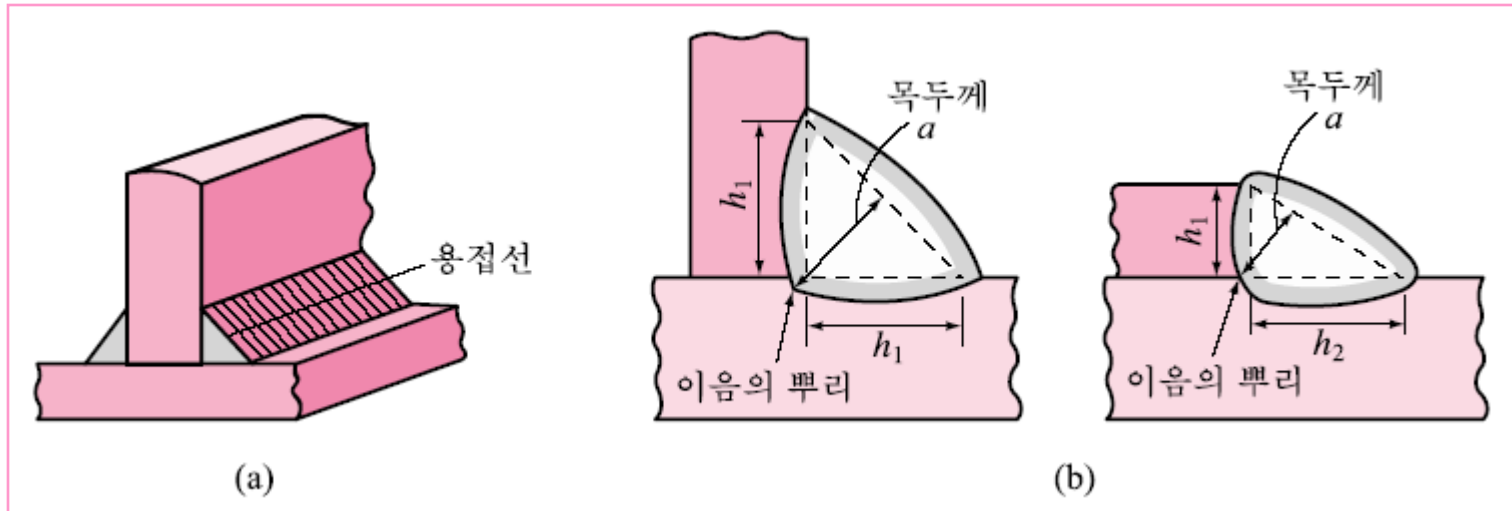


<그림 4-23> 그루브의 모양

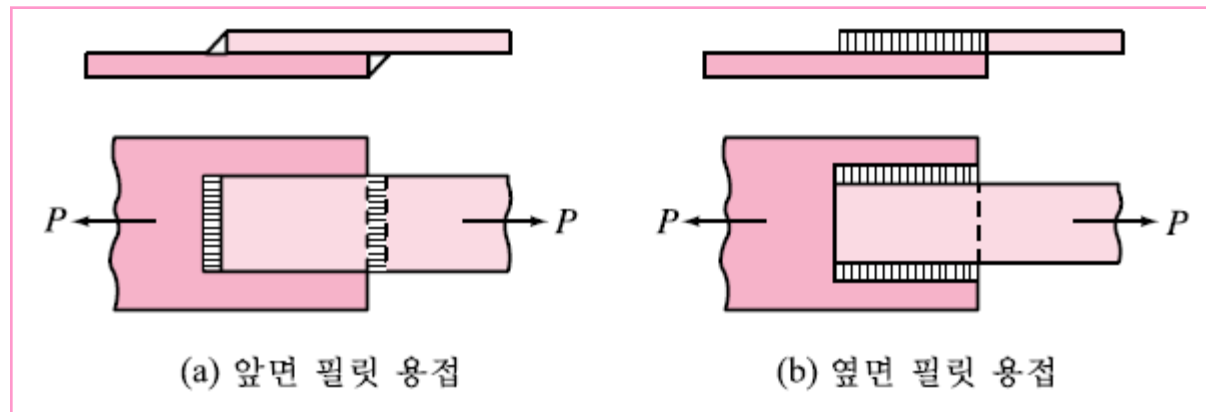
① 그루브 용접(groove weld)

② 필릿 용접(fillet weld)

- 용접 사이즈(weld size) $\Rightarrow h_1$ 과 h_2 로 표시
- 목두께(throat thickness) : 용접 크기로 정해지는 3각형의
빗면으로부터 이음의 뿌리(root)까지의 거리
 $\Rightarrow$ 용접부 강도 계산에 사용

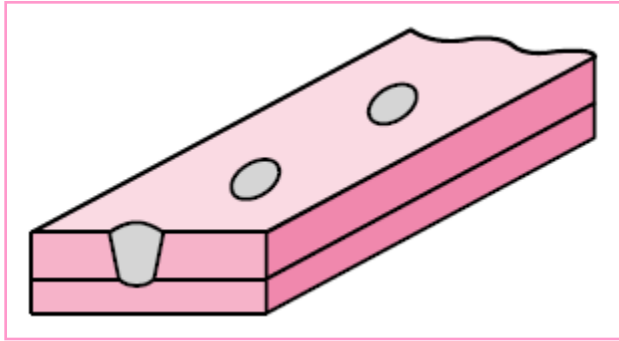


<그림 4-24> 필릿 용접의 크기

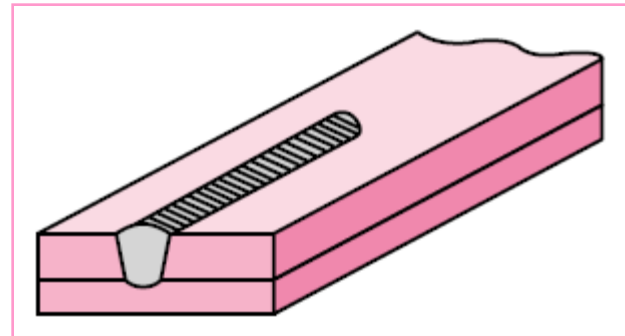


<그림 4-25> 필릿 용접 이음

③ 플러그 용접(plug weld)

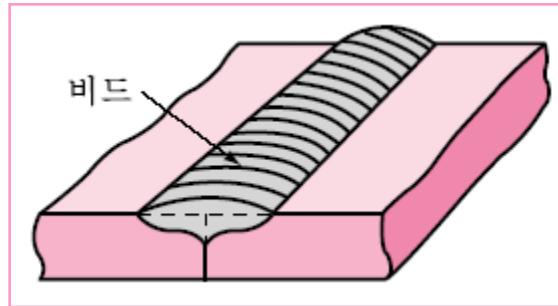


<그림 4-27> 플러그 용접



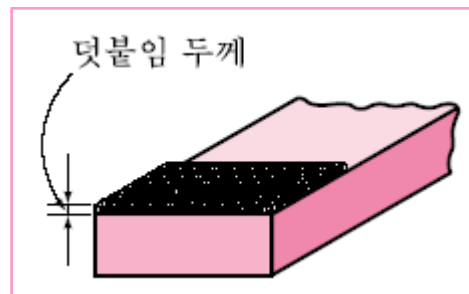
<그림 4-28> 슬롯 용접

④ 비드 용접(bead weld)



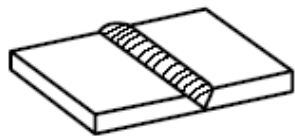
<그림 4-29> 비드 용접

⑤ 덧붙임 용접(build-up weld)

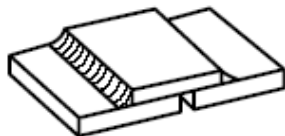


<그림 4-30> 덧붙임 용접

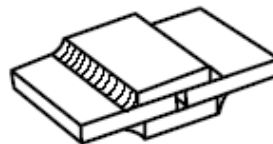
(3) 용접 이음의 종류



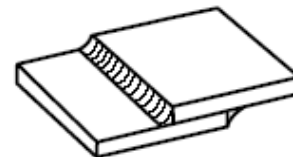
(a) 맞대기 이음



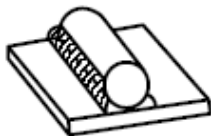
(b) 한면뿔개판 이음



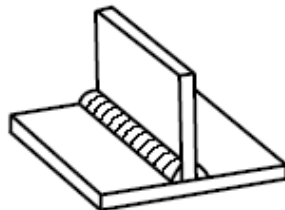
(c) 양면뿔개판 이음



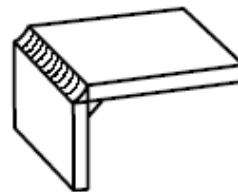
(d) 겹치기 이음



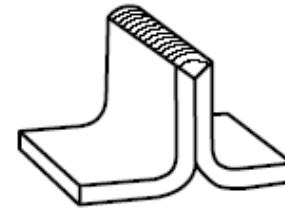
(e) 플레어 이음



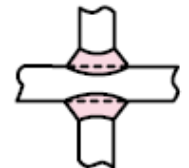
(f) T이음



(g) 모서리 이음

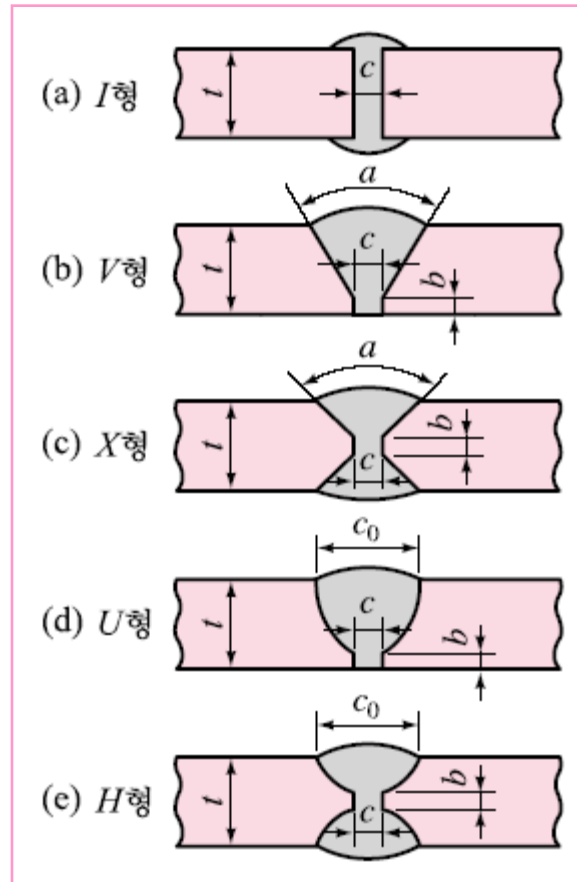


(h) 가장자리 이음



(i) 십자 이음

<그림 4-31> 용접 이음의 종류



<그림 4-32> 맞대기 이음의 종류

(4) 용접기호

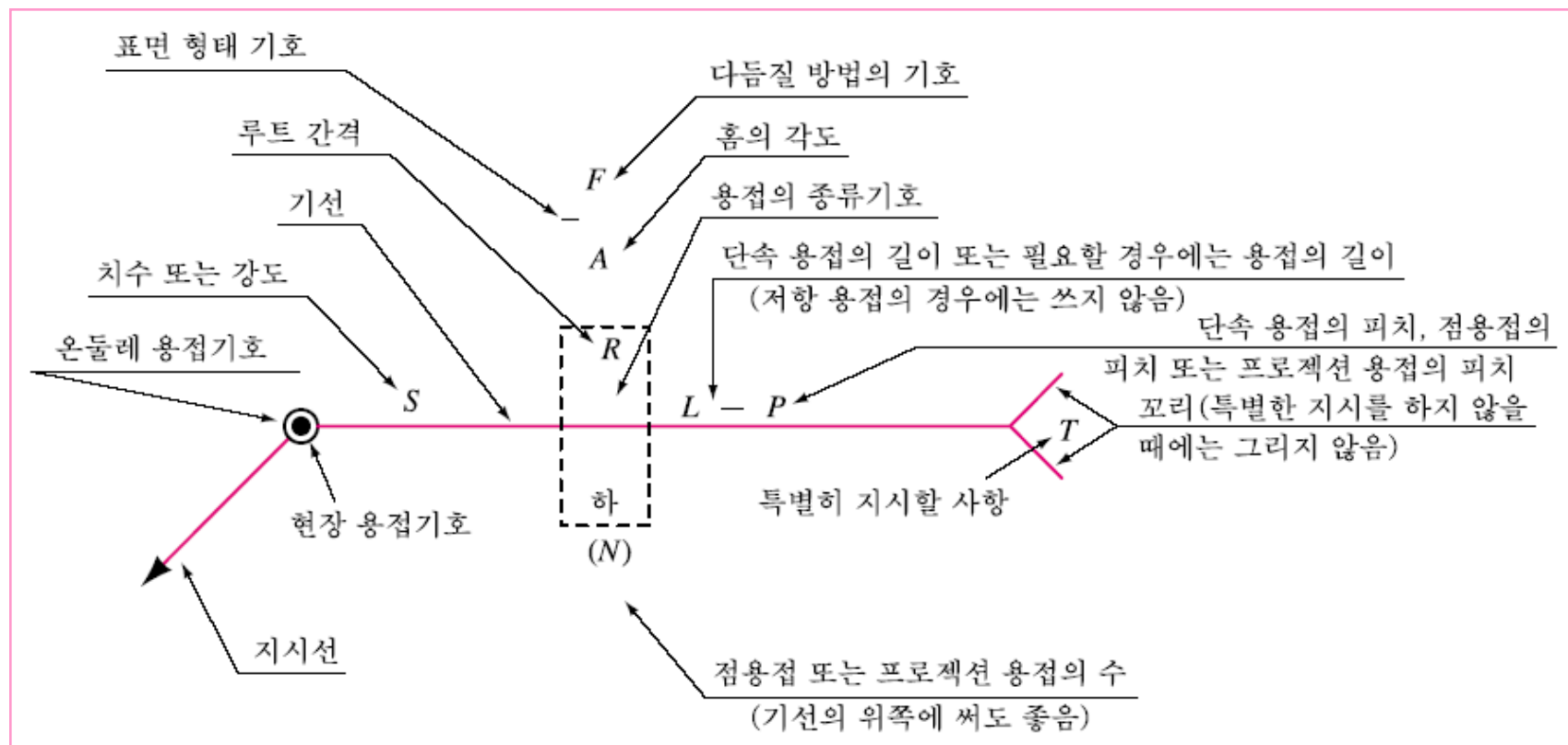
- KS B 0052에 규정 $\Rightarrow$ 기본기호, 보조기호

〈표 4-16〉 기본기호

용접 방법	용접의 종류		기 호	비 고	
아 크 및 가 스 용 접	그루브 용 접	양쪽 플랜지형			
		한쪽 플랜지형			
		I형			
		V형, X형		X형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다.	
		U형, H형		H형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다.	
		V형, K형		K형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다. 기호의 세로방향의 선은 왼쪽에 그린다.	
		J형, 양면 J형		양면 J형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다. 기호의 세로방향의 선은 왼쪽에 그린다.	
		플레어 V형 플레어 X형		플레어 X형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다.	
		플레어 V형 플레어 K형		플레어 K형은 기선과 대칭으로 이 기호를 기입한다.	
	필릿 용 접	연 속		기호의 세로 방향의 선은 왼쪽에 오도록 그린다.	
		단 속		단속용접인 경우는 기선과 대칭으로 이 기호를 기재한다. 단, 엇갈린 단속 용접인 경우에는 다음 기호를 쓸 수 있다.	
	플러그 용접			덧붙임인 경우에는 이 기호를 2개 가지런히 기입한다.	
	비드 용접				
저 항 용 접	점 용접			기선에 걸쳐 대칭으로 기입한다.	
	프로젝션 용접				
	심 용접			기선에 걸쳐 대칭으로 기입한다.	
	플래시 또는 업셋 용접			기선에 걸쳐 대칭으로 기입한다.	

<표 4-17> 보조 기호

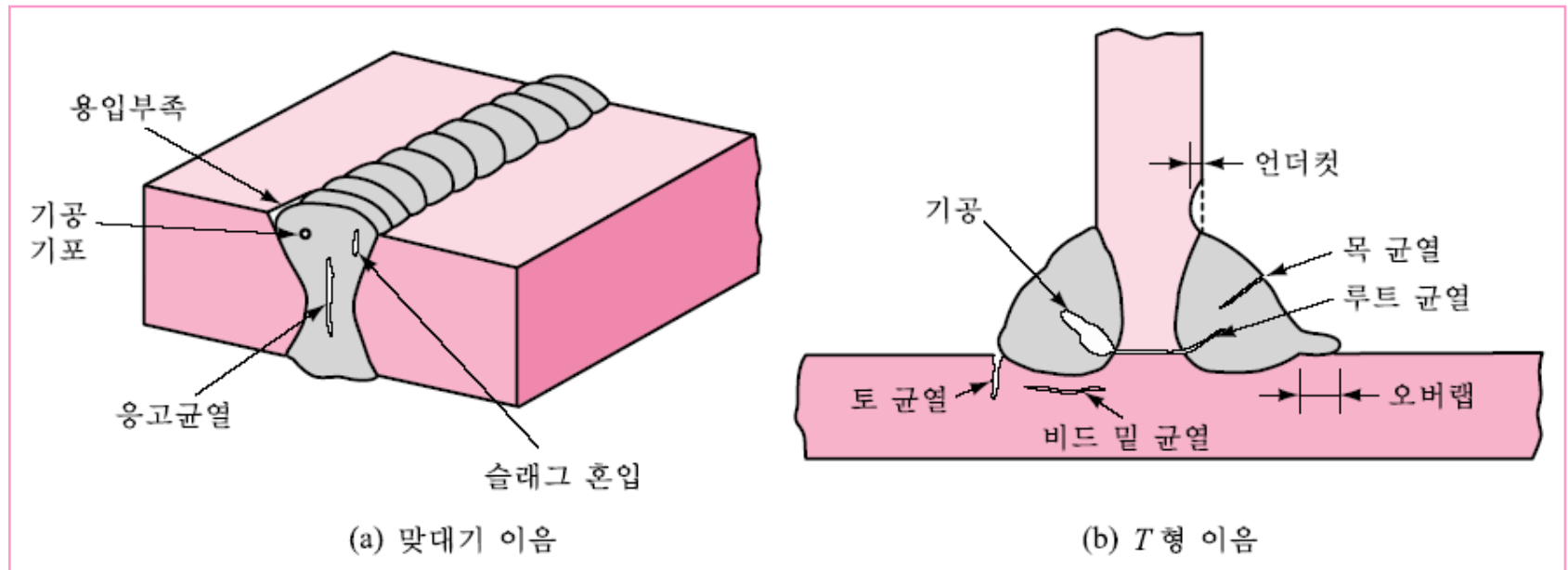
구 분		보조기호	비 고
용접부의 표면 모양	평 탄	—	
	볼 록	⌒	기선의 바깥쪽을 향하여 볼록하게 한다.
	오 목	⌒	기선의 바깥쪽을 향하여 오목하게 한다.
용접부의 다듬질 방법	치 평 연 삭 절 삭	C M G	다듬질 방법을 특별히 구별하지 않을 때에는 F라고 한다.
현장 용접		●	
온돌레 용접		○	온돌레 용접이 분명할 때에는 생략해도 좋다.
온돌레 현장 용접		◎	



<그림 4-33> 용접하는 쪽이 화살표 반대쪽인 용접기호의 표시법

3. 용접 결함

- 용접부는 가열 및 급랭으로 잔류응력(residual stress) 존재, 금속조직의 변화와 용접기술 불량에 의해 발생
- 응력집중 발생으로 용접이음의 강도 감소, 피로 파괴의 원인, 용접이음 강도의 신뢰성 저하
- 용접결함은 응력집중에 의해 파괴 초래
⇒ 결함 발생의 경감을 위해 용접 후 잔류응력 제거, 재질 및 기계적 성질의 향상시키기 위하여 어닐링(annealing), 또는 피닝(peening) 등의 열처리를 한다.
- 용접 결함의 종류 : 용입 부족, 융합 부족(lack of fusion), 언더컷(undercut), 오버랩(overlap), 슬래그 혼입(slag inclusion), 기공(blow hole), 비드 밑 균열(under crack) 등



<그림 4-34> 용접이음의 결함

▪ 언더컷(undercut) :

- 전류가 너무 많이 흘러 아크(arc)를 짧게 할 수 없을 때
모재 용접부의 일부가 많이 녹아 오목한 것
- 언더컷에는 응력이 집중되어 용접부의 강도 저하,
슬래그가 여기에 혼입되기 쉽다.

▪ 오버랩(overlap) : ① 용입부에 과잉의 용착금속이 남는 것
② 표면 불균일, 노치효과로 응력집중 발생

- 용접봉의 운행속도가 너무 느릴 때 발생
- 용접봉의 용융점이 모재의 것보다 낮을 때 발생
- 용접전류가 다소 부족할 때 발생

▪ 용접부의 결함 검출 : 비파괴 검사법

⇒ 육안검사(visual inspection), 방사선검사(radiography), 자기탐상법
(magnetic particle inspection), 초음파 탐상법(ultrasonic flaw inspection),
와전류 시험(eddy current test)

4. 용접이음의 강도 설계

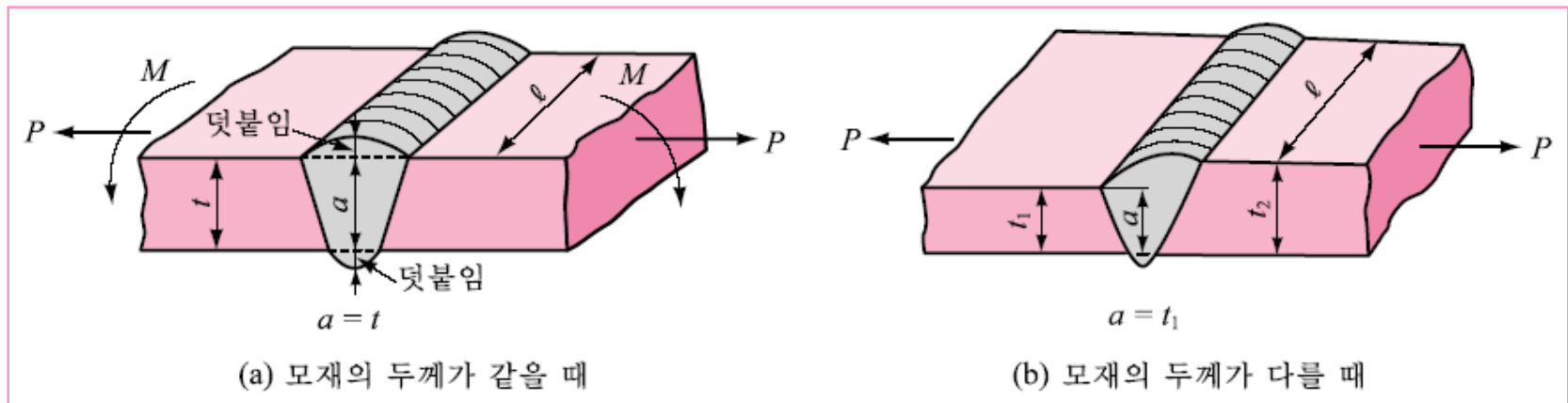
(1) 맞대기 이음(butt joint)

P : 인장하중, a : 목두께, t : 모재의 두께,
 ℓ : 용접길이, σ_t : 인장응력

$$P = \sigma_t \cdot a\ell = \sigma_t \cdot t\ell \quad (4 \cdot 27)$$

- 모재의 두께가 서로 다를 때 $\Rightarrow$ 두께가 작은 쪽 선택

$$P = \sigma_t \cdot a\ell = \sigma_t \cdot t_1\ell \quad (4 \cdot 28)$$



<그림 4-35> 맞대기 이음의 하중

- 굽힘 모멘트 M 가 작용할 때 $\Rightarrow$ 용접부의 굽힘응력

$$M = \sigma_b \cdot Z = \sigma_b \cdot \frac{a^2 \ell}{6} = \sigma_b \cdot \frac{t^2 \ell}{6} \quad (4 \cdot 29)$$

- 안전성 고려 : $a = t - 1$ [mm]