

KR C-09060

Rev.0, 5. December 2012

부재이음

2012. 12. 5



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 충칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 일반사항	1
2.1 부재의 연결	1
2.2 기호	1
3. 용접이음	2
3.1 용접의 종류	2
3.2 용접의 목두께를 결정하는 방법	2
3.3 용접의 유효길이	2
3.4 그루브용접에 의한 맞대기이음	3
3.5 그루브용접의 표시	4
3.6 필릿용접의 치수	5
3.7 필릿용접의 최소 유효길이	5
3.8 필릿용접의 끝돌림용접의 길이	5
3.9 겹침이음	5
3.10 필릿용접 또는 부분용입그루브용접을 사용한 T이음	6
3.11 인장력, 압축력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력	6
3.12 T형이음의 필릿용접이 휨모멘트와 전단력을 받는 경우의 검토	6
4. 고장력볼트 및 편이음	9
4.1 볼트이음 일반	9
4.2 볼트의 종류 및 규격	9
4.3 볼트의 길이	9
4.4 볼트 및 편이음의 작용력 계산	9
4.5 플레이트거더 복부판의 이음	10
4.6 이음판의 설계	11
4.7 볼트의 구멍	11
4.8 순단면적의 계산	12
4.9 볼트의 최소중심간격	12
4.10 볼트의 최대 중심간격	13
4.11 최소연단거리	13
4.12 최대 연단거리	14
4.13 L형강에 사용하는 볼트	14



4.14 연결부의 길이	14
4.15 볼트의 최소개수	15
4.16 경사진 와셔 및 곡면와셔	15
4.17 채움판	15
4.18 편연결	15
4.19 편 의 설계	15
4.20 편구멍 부재	15
해설 1. 용접 이음	17
1. 용접방법	17
1.1 피복 아크용접	17
1.2 가스메탈 아크용접	17
1.3 플렉스코어드 아크용접	17
1.4 서버머어지드 아크용접	17
1.5 스테드 용접	18
2. 용접이음 형태	18
3. 용접 종류	19
3.1 그루브용접	19
3.2 필릿용접	20
3.3 플러그용접 및 슬롯용접	21
4. 용접자세	21
5. 용접기호	21
5.1 용접기호	21
5.2 도면상 기호의 위치	23
5.3 용접부의 치수표시	25
6. 필릿용접	26
6.1 균형잡힌 하중전달	26
6.2 편심 하중 작용시 용접부의 응력	27
해설 2. 볼트 이음	29
1. 개요	29
2. 고장력 볼트	30
3. 볼트이음의 허용력	31
3.1 지압이음	31
3.2 마찰이음	33
3.3 보의 이음	34
RECORD HISTORY	39

1. 용어의 정의

- (1) 그루브용접 : 용접되는 모재사이에 용착금속을 채워 넣는 용접.
- (2) 모재 : 절단, 용접 등에 의해 가공되는 구조의 본체가 되는 재료.
- (3) 목두께 : 필릿용접의 유효단면두께.
- (4) 비드 : 1회의 패스에 의해 만들어진 용접금속.
- (5) 약축 : 부재의 단면상에서 휨에 대하여 약한 축.
- (6) 용접부 : 용착금속 및 열영향부를 포함한 부분의 총칭.
- (7) 필릿용접 : 겹친 이음, T 이음, +자이음, 각이음 등에 있어서 교차하는 두 모재의 우각부를 용접하는 삼각형상의 단면을 갖는 용접.

2. 일반사항

2.1 부재의 연결

- (1) 고장력볼트 또는 용접에 의한 부재의 연결은 설계단면력 또는 응력에 대해서 설계하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 그루브용접을 이용한 맞대기이음은 전단면이 용접되어야 한다.
- (2) 주요부재의 연결은 전향에 의한 것 외에 인장부재의 경우 허용인장응력, 압축부재의 경우 허용좌굴응력에(부재가 인장 및 압축의 양쪽을 받는 경우에는 어느 것이든 큰 쪽의 부재응력과 같은 부호의 허용응력에) 의한 부재강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계한다.
- (3) 부재의 연결부는 구성하는 각 재편에 대해서 가능한 한 편심을 최소화하도록 설계하는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 힘 작용방향의 볼트 갯수는 가능한 한 적게 해야 한다.

2.2 기호

- A = 볼트 몸체부 공칭직경을 기준으로 계산한 볼트의 공칭단면적(mm²)
 a = 용접의 목두께(mm)
 d = 볼트구멍의 지름(mm)
 e = 힘 작용방향으로의 볼트의 최소연단거리(mm)
 f = 축력 또는 휨에 의해 용접부나 강재에 발생하는 수직응력(MPa)
 f_a = 용접부나 강재의 허용인장응력 및 허용압축응력(MPa)
 g = 힘 작용방향에 직각인 방향의 볼트간 거리(mm)
 I = 필릿용접의 목 단면을 부재 단면에 평행한 면에 전개해서 얻어진 도형의 단면 2차모멘트 또는 부재의 중립축에 관한 이음판 총단면의 단면2차모멘트(mm⁴)



- l = 용접의 유효길이(mm)
 M = 이음 및 이음판에 작용하는 휨모멘트(N · mm)
 n = 이음에 사용한 볼트의 수 또는 이음선의 한쪽에 있는 고장력볼트의 총수
 P = 이음부에 작용하는 힘(kN)
 p = 힘 작용방향에 평행인 방향의 볼트간 거리(mm)
 Q = 이음선 외측의 종단면에 대한 단면1차모멘트로 플레이트거더 전체 단면의 중립축을 기준으로 계산한 값(mm³)
 S = 단면에 작용하는 전단력(kN)
 t = 판 또는 형강의 두께(mm)
 v = 용접부에 발생하는 전단응력(MPa)
 v_a = 용접부의 허용전단응력(MPa)
 y = 부재의 중립축으로부터 응력계산 위치까지의 거리(mm)
 α = 볼트와 모재의 허용전단응력비
 ρ = 볼트 한 개에 작용하는 힘(kN)
 ρ_h = 교축방향 이음의 고장력볼트 한 개에 작용하는 힘(kN)
 ρ_a = 고장력볼트 한 개의 허용력(kN)

3. 용접이음

3.1 용접의 종류

- (1) 힘을 전달하는 용접이음은 그루브용접 또는 연속 필릿용접으로 해야 한다.
- (2) 용접선에 직각방향으로 인장응력을 받는 이음은 부분용입 그루브용접으로 접합해서는 안 된다.
- (3) 주요부재의 연결부는 단속용접, 플러그용접 및 슬롯용접으로 접합해서는 안 된다.

3.2 용접의 목두께를 결정하는 방법

- (1) 그루브용접의 목두께는 <그림 1>에 나타난 바와 같이 연결되는 부재의 두께로 하고, 두께가 다를 경우에는 얇은 쪽 부재의 두께로 한다.
- (2) 필릿용접의 목두께는 <그림 2>에 나타난 바와 같이 용접부 루트를 꼭지점으로 하는 내접이등변 삼각형의 높이로 한다.

3.3 용접의 유효길이

- (1) 응력계산에 사용하는 용접의 유효길이는 설계상의 목두께를 확보할 수 있는 용접부의 길이로 해야 한다.

- (2) 그루브용접에서 용접선이 힘 작용방향에 직각이 아닌 경우의 유효길이는 <그림 3>에 나타난 바와 같이 실제의 용접길이를 힘 작용방향에 직각인 면에 투영한 길이로 해야 한다.
- (3) 필릿용접에서 끝돌림용접을 한 경우에는 끝돌림용접 부분은 유효길이에 포함되지 않는 것으로 해야 한다.

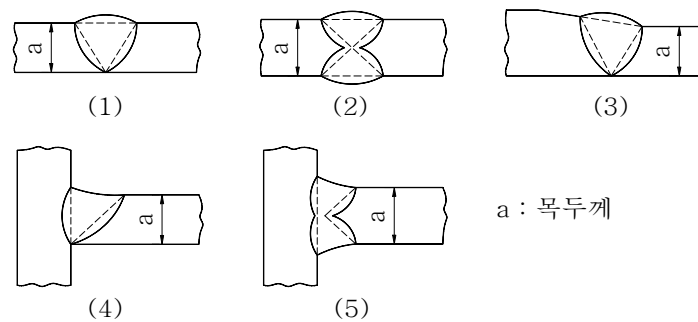


그림 1. 그루브용접의 목두께

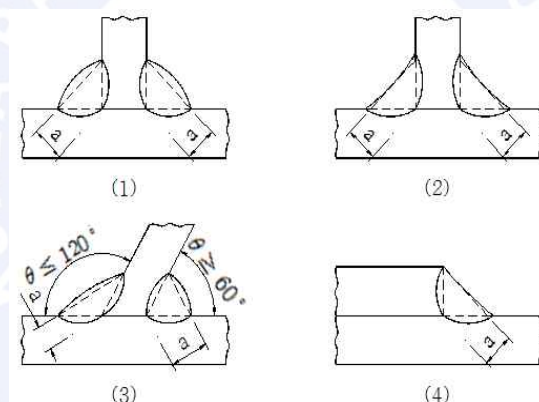


그림 2. 필릿용접의 목두께

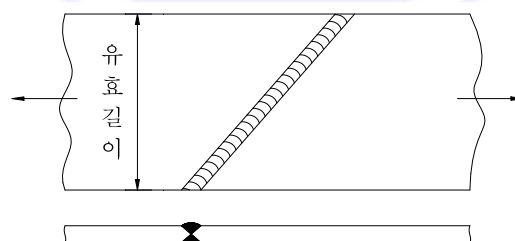


그림 3. 경사진 용접그루브의 유효길이

3.4 그루브용접에 의한 맞대기이음

- (1) 그루브용접에 의한 맞대기이음은 가능한 한 뒷면용접을 하여 전단면을 용접하도록 해야 한다. 다만, 구조상 뒷면용접이 불가능 할 경우에는 뒷담채를 사용하도록 해야 한다.



- (2) 그루브용접으로 단면이 다른 주요부재를 맞대기이음 한 경우에는 크기가 서로 다른 두께 및 폭은 <그림 4>에 나타난 바와 같이 길이 방향의 경사가 1/2.5 이하가 되도록 서서히 변해야 한다.
- (3) 두께가 다른 부재를 용접할 때 두꺼운 쪽 판의 두께가 얇은 쪽 판의 두께의 2배보다 커서는 안 된다.
- (4) 휨부재의 인장플랜지는 가용접을 사용해서는 안 된다.
- (5) 연결판 용접단부와 그루브용접한 판이음의 용접선 사이의 거리는 100mm 이상으로 한다.

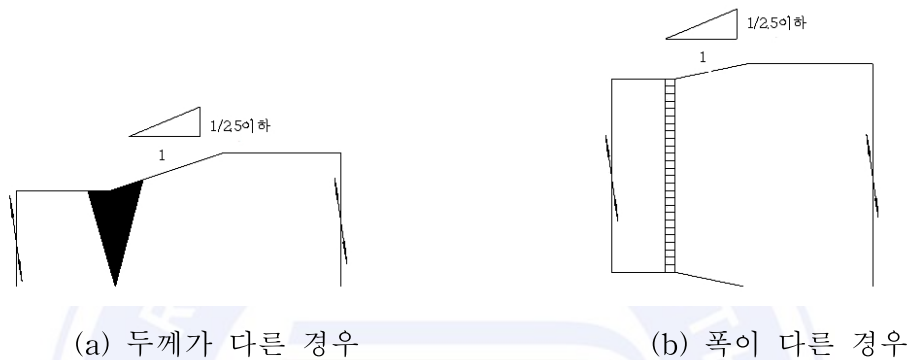


그림 4. 단면이 다른 부재의 용접

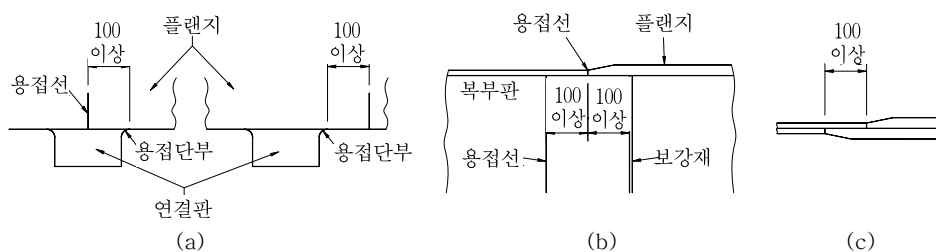


그림 5. 연결판 용접 단부와 판이음 용접선 사이의 거리

3.5 그루브용접의 표시

그루브용접을 설계도면에 나타낸 예는 <그림 6>과 같다.

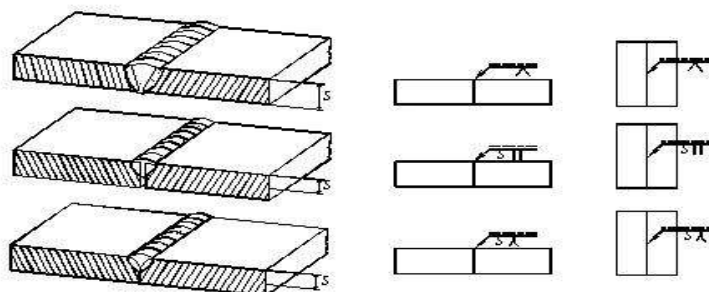


그림 6. 그루브용접 표시

- (1) 축방향력, 휨모멘트 및 전단력을 동시에 받는 완전용접 그루브용접에서는 강재의 파괴에 대한 전단 변형 에너지 일정설에 따라 유도한 다음 식의 합성응력 f_V 를 이용한다.

$$f_V = \sqrt{f^2 + 3v^2} \quad (1)$$

3.6 필릿용접의 치수

- (1) 필릿용접의 치수는 용접 단면의 형상이 이등변삼각형이 되는 등치수를 원칙으로 한다. 다만, 주요부재의 힘 작용 방향에 수직인 필릿용접은 응력방향으로 긴 치수를 갖는 부등치수로 하고 필요에 따라 다듬질해야 한다.
- (2) 주요부재의 힘을 전달하는 필릿용접의 치수는 <표 1>의 최소치수 이상, 용접부의 얇은 쪽 모재 두께 미만의 범위로 한다.

표 1. 필릿용접의 최소치수

두꺼운 쪽 모재 두께	최소 필릿용접 치수	비고
20mm 이하	6mm	1 패스 용접 적용
20mm 초과	8mm	

3.7 필릿용접의 최소 유효길이

주요부재에 대한 필릿용접의 최소 유효길이는 용접치수의 10배 이상 또는 80mm 이상으로 한다.

3.8 필릿용접의 끝돌림용접의 길이

용접선과 평행하지 않은 인장력을 받거나 반복하여 작용하는 힘을 받는 경우에는 필릿용접을 부재의 모서리에서 끝내지 말고 반드시 끝돌림용접을 해야 한다. 다만 끝돌림용접의 길이는 용접치수의 2배 이상으로 한다.

3.9 겹침이음

- (1) 응력을 전달하는 겹침이음에는 2줄 이상의 필릿용접을 하도록 하고 부재가 겹치는 길이는 얇은 쪽 판두께의 5배 이상으로 한다.
- (2) 축방향력을 받는 부재 끝의 겹침이음에서 모재의 측면에만 필릿용접을 할 경우 각 필릿용접의 길이는 용접선의 간격보다 크게 해야 한다. 이 경우 용접선의 간격은 얇은 쪽 판두께의 16배 이하로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만 인장력을 받을 경우에는 얇은 쪽 판두께의 20배 이하로 할 수 있다.



3.10 필릿용접 또는 부분용입그루브용접을 사용한 T이음

- (1) T이음에서 필릿용접 또는 부분용입그루브용접은 부재의 양쪽에 해야 한다. 다만 횡방지지되는 구조의 경우에는 한쪽에서만 용접하는 것도 허용된다.

용접부에서 재편이 서로 만나는 각이 60° 미만 또는 120°를 넘는 T이음에는 완전용입그루브용접을 하는 것을 원칙으로 해야 한다. 이 경우 필릿용접 또는 부분용입그루브용접은 힘을 전달하지 못하는 것으로 본다.

- (2) 용접과 지압이음 볼트를 병용한 이음에서는 볼트는 힘을 전달하지 못하는 것으로 본다.

3.11 인장력, 압축력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력

용접이음에 인장력, 압축력 또는 전단력이 작용하는 경우, 그루브용접 또는 필릿용접부에서 발생하는 응력은 <식 (2)>으로 계산해야 한다.

$$f = \frac{P}{\sum al} \quad , \quad v = \frac{P}{\sum al} \quad (2)$$

여기서, f : 용접부에서 발생하는 인장응력 또는 압축응력(MPa)

v : 용접부에서 발생하는 전단응력(MPa)

P : 이음부에 작용하는 인장력, 압축력 또는 전단력(N)

a : 용접의 목두께(mm)(<그림 2> 참조)

l : 용접의 유효길이(mm)(<그림 3> 참조)

3.12 T형이음의 필릿용접이 휨모멘트와 전단력을 받는 경우의 검토

- (1) T형이음의 필릿용접이 휨모멘트 및 전단력을 받는 경우 필릿용접이음에 발생하는 응력의 계산은 다음의 항들에 따른다.
- (2) 휨모멘트에 의한 응력은 <식 (3)>으로 구한다.

$$f = \frac{M}{I} y \quad (3)$$

여기서, f : 필릿용접에 발생하는 휨응력(MPa)

M : 이음에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

I : 필릿용접의 목 단면을 부재단면에 평행한 면에 전개해서 얻어진 도형의 단면2차모멘트(mm⁴) (<그림 7> 참조)

y : 전개도형의 중립축에서 계산위치까지의 거리(mm)

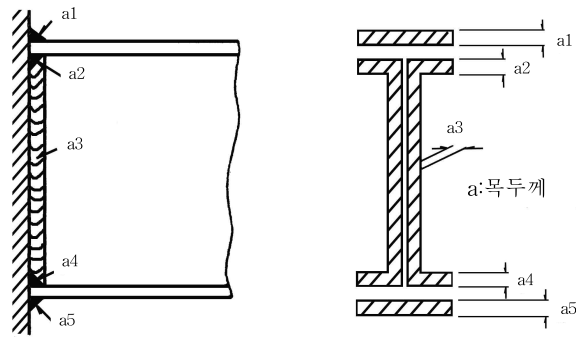


그림 7. 필릿용접의 휨응력 계산을 위한 목 단면의 전개

- (3) 전단력에 의한 응력(v)은 「3.11항」의 <식 (2)>에 의하여 구한다. 다만 L형강, H형강, ㄷ형강 및 이것과 유사한 단면에서의 전단력은 복부(또는 전단력을 주로 받는 부재 요소)의 용접만으로 저항하는 것으로 가정한다.
- (4) 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 경우에는 <식 (4)>로 검토한다.

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \leq 1.1 \quad (4)$$

여기서, f : ① 항에 따라 산출한 응력(MPa)

v : ② 항에 따라 산출한 응력(MPa)

f_a : <표 2>와 <표 3>에 따른 허용응력(MPa)

v_a : 용접부의 허용전단응력(MPa)

다만, f 및 v 는 각각 f_a 및 v_a 를 넘어서는 안 된다.

표 2. 용접부의 허용응력 (MPa)

응력의 종류, 판두께				강 종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
용 접 부	공 장 용 접	그루브용접	인장응력	40이하	140	190	215	270
				40초과 75이하	130	175	200	260
				75초과 100이하			195	250
			압축응력	40이하	140	190	210	270
				40초과 75이하	130	175	200	260
				75초과 100이하			195	250
			전단응력	40이하	80	105	120	155
				40초과 75이하	75	100	115	145
				75초과 100이하			110	145



용 접 부	공 장 용 접	필릿용접	비드방향의 인장, 압축응력	40이하	140	190	215	270
				40초과 75이하	130	175	200	260
				75초과 100이하			195	250
			목두께에 대한 인장, 압축, 전단응력	40이하	80	105	120	155
				40초과 75이하	75	100	115	145
				75초과 100이하			110	135
	현장용접		공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에는 상기의 90%로 한다.					

응력의 종류, 판두께(mm)					강 종	SM490C -TMC	SM520C -TMC	HSB 500	HSB 600 SM570 -TMC
용 접 부	공 장 용 접	그루브용접	인장응력	100 이하	190	215	230	270	
			압축응력	100 이하	190	210	230	270	
			전단응력	100 이하	105	120	130	155	
	필릿용접	비드방향의 인장, 압축응력	100 이하	190	215	230	270		
		목두께에 대한 인장, 압축, 전단응력	100 이하	105	120	130	155		
	현장용접		공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에는 상기의 90%로 한다.						

4. 고장력볼트 및 편이음

4.1 볼트이음 일반

- (1) 고장력볼트 이음은 마찰이음, 지압이음 및 인장이음 등으로 할 수 있다.
- (2) 고장력볼트 지압이음을 하는 경우에는 그 적용위치, 적합성 등에 관해서 충분한 검토가 있어야 한다.
- (3) 고장력볼트 인장이음을 하는 경우에는 이음부의 강성, 볼트의 강도, 체결축력 등에 대해 충분한 검토가 있어야 한다.
- (4) 받침부속품, 보도, 깔판, 배수설비 등 고장력볼트를 사용할 필요가 없는 경우에는 일반 볼트를 사용한다.

4.2 볼트의 종류 및 규격

- (1) 마찰이음용 고장력볼트, 너트 및 와서는 특별히 정한 경우를 제외하고 KS B 1010에

규정하는 제 1종부터 제 2종까지의 M20, M22, M24, M27 및 M30, 제 4종의 M20, M22, M24를 사용하는 것을 표준으로 한다.

- (2) 지압이음에는 마찰이음용 제 1종, 제 2종 및 제 4종의 고장력볼트 세트를 사용하거나, 다른 KS규격에 따르고 강도가 「①항」의 고장력볼트와 같은 볼트세트를 사용할 수 있다.
- (3) 일반볼트는 KS B 1002의 육각볼트, KS B 1012의 너트, KS B 1326의 평와셔 세트를 사용하는 것을 표준으로 한다.

4.3 볼트의 길이

볼트의 길이는 부재를 충분히 체결할 수 있도록 선택해야 한다. 특히, 지압이음에 있어서는 나사부가 전단면(剪斷面)에 걸려서는 안 된다.

4.4 볼트 및 핀의 작용력 계산

- (1) 볼트의 맞이음 또는 겹침이음에 인장력, 압축력 또는 전단력이 작용하는 경우 각 볼트에 작용하는 힘은 <식 (5)>에 의해 산출한다.

$$\rho = \frac{P}{n} \leq \rho_a \quad (5)$$

여기서, ρ : 볼트 및 핀 1개에 작용하는 힘(kN)

P : 이음부에 작용하는 힘(kN)

n : 이음에 사용한 볼트의 수(<그림 8> 참조)

ρ_a : 볼트 및 핀 1개의 허용력(kN)

- (2) 고장력볼트를 이용한 마찰이음의 경우에는 볼트 1개의 허용력은 <KR C-09030 표 10>에 규정한 값에 따라 계산한다.
- (3) 지압이음용 고장력볼트의 허용력은, 그 공칭지름에 따라 허용전단력과 허용지압력을 계산하고, 그 가운데 작은 쪽의 값을 적용한다.
- (4) 볼트의 유효지압면적은 공칭지름과 지압을 받는 강재의 두께와의 곱으로 해야 한다. 접시머리볼트의 유효지압면적을 계산할 때 접시머리부는 그 깊이의 1/2을 유효한 것으로 한다.(<그림 9> 참조)

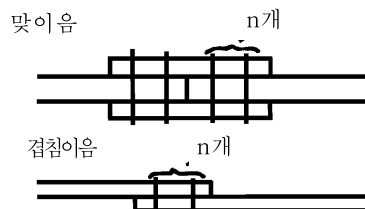


그림 8. 응력계산에 사용되는 볼트의 수

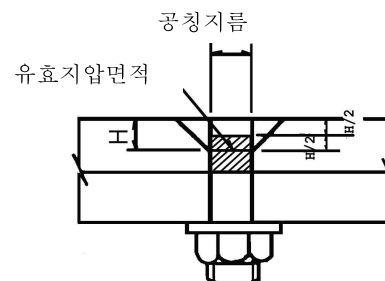


그림 9. 접시머리볼트의 유효지압면적



- (5) 핀의 지압력을 계산하는 경우의 유효지압면적은 그 지름과 지압을 받는 강재의 두께와의 곱으로 한다.

4.5 플레이트거더 복부판의 이음

- (1) 플레이트거더의 복부판 이음에는 이음판을 복부판의 양쪽에 대고, 이음선의 좌우 양쪽에 2열 이상으로 고장력볼트를 배열해야 한다.
- (2) 복부판에 모멘트가 작용하는 경우의 볼트는 <식 (6)>를 만족하도록 설계한다.

$$\rho = \frac{M}{\sum y_i^2} y_i \leq \frac{y_i}{y_n} \rho_a \quad (6)$$

여기서, ρ : 볼트 1개에 작용하는 힘(kN)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

M : 휨모멘트(kN · mm)

y_i : 판의 중립축으로부터 볼트까지의 거리(mm)

Σ : 접합선의 한쪽 편에 있는 볼트군의 집합

y_n : 판의 중립축으로부터 가장자리 볼트까지의 거리. 다만, 같은 연결부의 플랜지를 볼트로 연결한 경우에는 중립축으로부터 플랜지의 압축연 또는 인장연까지의 거리(mm)

- (3) 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 복부판을 연결할 경우의 볼트는 <식 (7)>을 만족하도록 설계한다.

$$\sqrt{(\rho_p + \rho_m)^2 + \rho_s^2} \leq \rho_a \quad (7)$$

여기서, ρ_p : 축방향력에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_m : 휨모멘트에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_s : 전단력에 의한 볼트 1개의 작용력(kN)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

- (4) 플랜지 또는 복부판을 교축방향으로 따라가며 서로를 볼트이음하는 경우는 <식 (8)>을 만족하도록 설계한다.

$$\rho_h = \frac{SQ}{I} \frac{p}{n} \leq \rho_a \quad (8)$$

여기서, ρ_h : 교축방향 이음의 고장력볼트 1개에 작용하는 힘(kN)

S : 계산 단면에 작용하는 전단력(kN)

Q : 이음선 외측 총단면의 단면1차모멘트로 플레이트거더 총단면의 중립축에 대한 값(mm³)

I : 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(mm⁴)

p : 고장력볼트의 피치(mm)

n : 집합선에 직각 방향의 볼트의 수
 ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kN)

4.6 이음판의 설계

(1) 고장력 볼트이음에 있어서, 이음판의 설계는 다음 규정에 의한다.

- ① 인장력이 작용하는 판의 이음판은 「4.8항」에 규정된 순단면에 생기는 응력이 허용인장응력 이하가 되도록 설계한다.
- ② 압축력이 작용하는 판의 이음판은 총단면에 생기는 응력이 「KR C-09030」의 허용압축응력의 상한값 이하가 되도록 설계한다.
- ③ 휨모멘트가 작용하는 부재의 이음판은 <식 (9)>를 만족하도록 설계한다.

$$f = \frac{M}{I} y \leq f_a \quad (9)$$

여기서, f : 이음판의 연단에 생기는 응력(MPa)

M : 이음판 총단면에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

I : 부재의 중립축에 관한 이음판 총단면의 단면2차모멘트(mm⁴)

y : 부재의 중립축으로부터 이음판 연단까지의 거리(mm)

f_a : <표 14>에 규정된 허용응력(MPa)의 상한값

- ④ 모재 한쪽의 이음판 소요 두께가 25mm를 초과하는 경우에는 두께 10mm 이상, 21mm 이하의 2개 또는 3개의 판재를 사용한다.

4.7 볼트의 구멍

- (1) 부재의 순단면적을 산정하는 경우 볼트구멍의 지름은, M20, M22, M24에 대해서는 볼트의 공칭 지름에 3mm를 더한 값으로 하고, M27 및 M30의 경우에는 4mm를 더한 값으로 한다.
- (2) 접시머리볼트에 대해서는 그 단면형상을 고려해서 공제단면적을 정한다.

4.8 순단면적의 계산

- (1) 인장재의 순단면적은 판의 순폭과 판두께의 곱으로 한다. 이 경우 재편의 순폭은 총폭에서 볼트구멍의 폭을 뺀 것으로 한다. 다만 접시머리볼트의 경우는 총단면적에서 볼트 줄기단면 및 접시머리부 공제면적을 뺀 것으로 한다.
- (2) 볼트구멍을 지그재그로 연결한 임의의 단면에 있어서 재편의 순폭은 총폭에서 그 단면의 인접 볼트구멍에 대해 순차로 <식 (10)>에 의한 폭 w 를 뺀 것으로 한다.

$$w = d - \frac{p^2}{4g} \quad (10)$$

여기서, d : 볼트구멍의 지름(mm)

p : 볼트의 피치(mm)



g : 볼트의 선간거리(mm)

- (3) T형, +형, 박스형 등의 조합단면의 부재에 있어서는 단면을 구성하는 재편마다 「①항」 및 「(2)항」에 의한 방법으로 계산한다.
- (4) L형강의 전개 총폭은 <그림 10>에서와 같이 다리폭의 합에서 다리의 두께를 뺀 것으로 하고, 양다리의 볼트 선간거리(g)는 L형 배면에서 각 볼트 선까지의 거리의 합에서 다리의 두께를 뺀 것으로 한다.

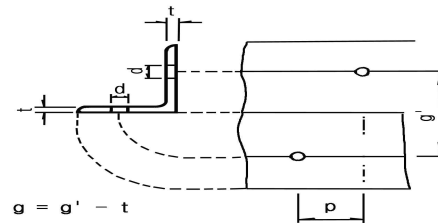


그림 10. L형강의 전개방법

4.9 볼트의 최소중심간격

볼트의 최소중심간격은 <표 3>에 나타난 값을 표준으로 한다. 다만, 특별한 경우에는 볼트 지름의 3배까지 감소시킬 수 있다.

표 3. 볼트의 최소중심간격

볼트의 호칭	최소중심간격(mm)
M30	105
M27	95
M24	85
M22	75
M20	65

4.10 볼트의 최대 중심간격

- (1) 이음 및 조립 압축부재에 있어서 볼트의 최대 중심간격은 <표 4>에 나타난 값 중 작은 쪽의 값으로 한다.

표 4. 볼트의 최대 중심간격

볼트의 호칭	최대 중심간격(mm)		
	p		g
M30	210	$12t$, 지그재그배치의 경우는 $15t - \frac{3}{8}g$ 다만, $12t$ 이하	$24t$, 다만, 300mm이하
M27	190		
M24	170		
M22	150		
M20	130		

여기서, t : 외측 판 또는 형강의 두께(mm)

p : 피치, 힘 작용방향의 볼트간 거리(mm)

g : 게이지, 힘 작용직각방향의 볼트선간 거리(mm)

(g 및 p 는 <그림 11> 참조)

일반적인 경우

지그재그 배치의 경우

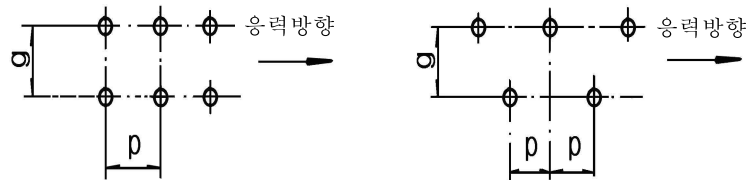


그림 11. 볼트의 피치(p)와 선간거리(g)

- (2) 인장재를 이음하는 볼트의 힘작용방향 최대 중심간격은 $24t$ 로 한다. 또한, 300mm를 초과해서는 안 된다.
- (3) 보도, 깔판, 배수설비 등에서는 위의 「(1)과 (2)항」에 의하지 않는다.

4.11 최소연단거리

- (1) 볼트의 중심에서 모재 또는 이음판의 가장자리에 이르는 최소연단거리는 <표 5>에 나타낸 값으로 한다. 모재 두께가 50mm 이상인 경우, 접합되는 모재의 단부가 서로 마주보는 쪽의 모재 최소연단거리는 인장의 경우 모재 두께, 압축의 경우 모재 두께의 0.75배로 한다.

표 5. 볼트의 최소연단거리

볼트의 호칭	전단연단, 수동가스 절단연단(mm)	압연연단, 다듬질연단, 자동가스 절단연단(mm)
M30	55	50
M27	48	43
M24	42	37
M22	37	32
M20	32	28

- (2) 지압이음에 있어서 응력방향의 볼트 수가 2개 이하의 경우, 힘 작용방향의 최소연단거리는 <표 5>에 의하되 <식 (11)>을 만족해야 한다.

$$\text{1면 전단의 경우 } e \geq \alpha \cdot \frac{A}{t} \quad (11)$$

$$\text{2면 전단의 경우 } e \geq \alpha \cdot \frac{2A}{t}$$

여기서, e : 응력방향으로 켜 최소연단거리(mm)



α : 볼트와 모재와의 허용전단응력의 비

A : 나사부 바깥지름을 기준으로 계산한 볼트의 공칭단면적(mm²)

t : 1면 전단의 경우에는 얇은 쪽 판의 두께(mm)

2면 전단의 경우에는, 모재의 두께와 연결판의 두께의 합계 중 얇은 쪽의 값(mm)

4.12 최대 연단거리

볼트의 중심으로부터 재편이 겹쳐지는 부분의 연단까지의 최대거리는 최외측의 판 또는 형강의 두께의 8배로 한다. 또한 150mm를 초과해서는 안 된다.

4.13 L형강에 사용하는 볼트

L형강에 사용하는 볼트의 지름은 L형강의 다리길이에 따라 <표 6>에 나타난 값을 초과해서는 안 된다.

표 6. L형강에 사용하는 볼트

L형강 다리길이(mm)	주부재	2차부재
100 이상	M24	M24
90	M22	M24
75	M20	M22

4.14 연결부의 길이

연결부의 길이가 길어지면, 연결부 외측으로 갈수록 볼트에 작용하는 힘이 증가하므로, 이에 대한 고려가 필요하다. 우리나라의 도로교시방서 해설편에서는 한 볼트선 위에 배치하는 볼트의 수를 지압이음의 경우에는 6개, 마찰이음의 경우에는 12개(가급적 8개)이하로, 일본의 철도구조물등설계표준·동해설에서는 지압이음의 경우에는 6개, 마찰이음의 경우에는 10개 이하로 제안하고 있다. Eurocode 3에서는 연결부의 최외측 볼트의 중심간 거리가 $15d$ (d :볼트의 공칭지름)이상인 경우, <식 (12)>과 같은 볼트의 전단강도감소계수 (β_{Lf})값의 사용을 제안하고 있다.

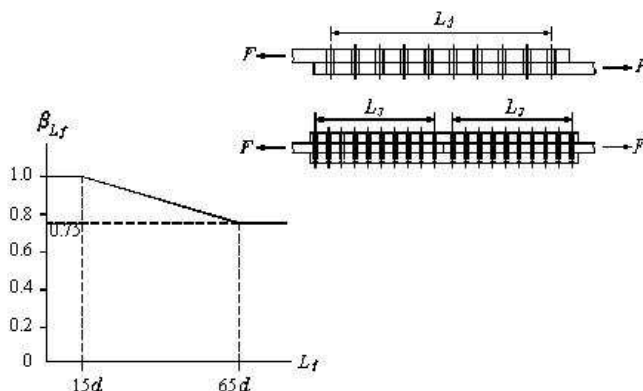


그림 12. 연결부 길이에 따른 강도감소계수 (β_{Lf})

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (12)$$

단, $0.75 \leq \beta_{Lf} \leq 1.0$ 이어야 한다.

AASHTO에서는 연결부 길이가 1270mm이내인 경우에 안전측으로 고려하여 볼트의 전단강도감소계수 0.80을 사용하고 있다.

4.15 볼트의 최소개수

부재 연결부에서 한 무리를 이루는 고장력볼트의 개수는 2개 이상으로 해야 한다.

4.16 경사진 와셔 및 곡면와셔

- (1) 볼트머리 또는 너트가 놓이는 부재의 외측 면이 볼트축에 직각인 면에 대해 1/20 이상의 경사를 이룬 경우에는, 경사진 채움재, 또는 경사진 와셔를 사용해야 한다. 단 축방향으로 반복 인장력이 작용하는 볼트의 경우는 위의 경사를 1/50으로 한다.
- (2) 볼트머리 또는 너트가 놓이는 부재의 외측 면이 곡률 반지름 500mm 이하의 곡면인 경우에는 곡면와셔를 사용한다.

4.17 채움판

- (1) 연결하려는 부재 또는 재편 사이에 채움판을 넣을 경우, 지압이음 고장력볼트의 설계는 다음 규정에 따른다.
 - ① 채움판의 두께가 6mm 이상인 경우에는, 채움판이 없는 경우에 필요한 볼트 수보다 30% 증가시키고, 그 두께가 6mm 미만인 경우에는 증가시킬 필요는 없다.
 - ② 채움판의 두께가 9mm 이상인 경우에는, 채움판을 밖으로 연장하고, 「가. 항」의 규정에 의해 증가된 볼트는 될 수 있는 대로 채움판과 부재와의 연결에 사용하도록 해야 한다.
- (2) 두 개 이상의 채움판을 겹쳐 사용하는 것은 피한다.

4.18 편연결

핀으로 부재를 연결하는 경우에는 그 연결부에서 부재가 이동하지 못하도록 하고, 또한 적당한 방법으로 너트가 풀어지지 않도록 한다.

4.19 핀의 설계

- (1) 핀의 지름은 75mm 이상으로 한다.
- (2) 핀 몸통의 길이는 부재의 외측면간 거리보다 6mm 이상 길게 하고, 핀의 양단에는 로마스너트(Lomas Nut) 또는 와셔가 붙은 일반너트를 사용한다.
- (3) 핀의 나사는 미터형나사를 이용하고 피치는 4mm를 표준으로 한다.

4.20 핀구멍 부재

- (1) 핀과 핀구멍 지름의 차이는 핀지름 130mm 미만의 것에 대해서는 0.5mm, 핀지름



130mm 이상 것에 대해서는 1mm를 표준으로 한다.

- (2) 인장재의 부재축에 직각인 방향으로 편구멍의 중심을 지나는 순단면적은 그 부재의 계산상 필요한 순단면적보다 40% 이상 크게 하고, 편구멍과 부재 끝 사이의 축방향으로 측정한 순단면적은 그 부재의 계산상 필요한 순단면적보다 크게 한다.
- (3) 편구멍이 있는 부분의 인장을 받는 복부판의 두께는 그 순폭의 1/8 이상으로 한다.



해설 1. 용접이음

1. 용접방법

강구조물의 제작에 주로 사용되고 있는 용접은 피복 아크용접, 가스메탈 아크용접, 플럭스코어드 아크용접, 서브머지드 아크용접, 그리고 스테드 용접 등이 있다. 이들 용접 방법에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

1.1 피복 아크용접 (SMAW : Shielded Metal Arc Welding)

일반적으로 길이 250mm~450mm, 직경 4mm~6mm 정도의 직선 용접봉을 사용한다. 용접봉은 광물질의 피복으로 둘러 싸여있다. 이 피복은 용접과정에서 쉽게 녹아 보호가스를 발생하여 용접 아크를 안정시키며, 용합된 금속에 공기 중의 산소, 질소 등이 스며드는 것을 차단하여 용접부가 취성을 갖게 되고 부식 저항성이 약해지는 것을 방지한다. 또한 용합지 위에 슬래그를 형성하여 아직 뜨거운 상태에 있는 용접금속을 주변 공기의 영향으로부터 보호하고, 갑작스러운 냉각을 어느 정도 방지하여 용접에 의한 잔류응력을 줄여주는 역할을 한다. 현장이나 공장에서 소규모 작업에 적합하다.

1.2 가스메탈 아크용접(GMAW : Gas Metal Arc Welding)

별도의 보호가스를 사용하면서 전극 와이어를 연속으로 공급하고 그 선단에서 아크가 발생하여 용적이 용합지로 이행되도록 하는 용접법이다. 보호가스로는 아르곤, 헬륨 등의 불활성 가스, 또는 이산화탄소(CO₂), 또는 이들을 일정한 비율로 혼합하여 사용한다. 보호가스는 아크 흐름과 용융된 용가재의 이동 성질을 제어하고 용입 깊이, 용합 폭, 용접부의 형상, 언더컷, 용접속도 등에 영향을 미친다.

1.3 플럭스코어드 아크용접 (FCAW : Flux Cored Arc Welding)

내부에 플럭스가 들어있는 관 모양의 용접와이어가 코일 형태로 감겨있어 연속으로 공급된다. 용접와이어 내부의 플럭스는 피복아크용접의 용접봉 피복과 같은 역할을 한다. 이 플럭스가 보호가스를 공급하나 필요에 따라 외부에서 공급되는 보호가스를 추가로 사용하기도 한다.

1.4 서브머지드 아크용접 (SAW : Submerged Arc Welding)

코일 형태로 둥글게 감겨있는 피복되지 않는 용접와이어와 작은 알갱이로 되어있는 플럭스를 사용한다. 자동, 또는 반자동으로 기계화하여 용접할 부분에 플럭스가 공급되고, 뒤따르는 전극과 모재사이에 아크가 발생하여 용접이 이루어진다. 플럭스의 일부는 녹아서 보호가스 층을 형성한다. 용접 속도가 빠르고 용합 깊이(모재의 표면에서부터 녹아 들어간 깊이)가 크다. 용접부분의 역학적 성질이 모재와 거의 동일한 균일한 품질을 얻을



수 있다. 기계에 의한 자동 용접은 공장에서 주로 사용하며 현장에서 사용되기도 한다.

1.5 스터드 용접 (Stud Welding)

스터드를 모재에 붙이는 자동화된 용접 방법이다. 용접 총에 물려있는 스터드의 끝이 전극과 같이 작동하여 모재와의 사이에 아크가 생성된다. 용접 총은 아크 생성 시간을 조정하며, 발생된 아크의 열로 스터드의 끝 부분과 모재가 적당히 융합되면 전원을 차단하고 스터드를 모재 쪽으로 밀어내어 스터드의 전단면이 완전용입된 용접이 되도록 한다. 스터드의 끝을 둘러싸고 있는 세라믹(ceramic ferrule)은 아크와 융합된 금속을 보호하고, 스터드의 둘레에 균일한 용접 덧살이 만들어 질 수 있도록 한다.

2. 용접이음 형태

용접이음의 형태는 연결되는 부재들의 상대적 위치와 배열에 따라서 <그림 13>과 같이 구분할 수 있다.

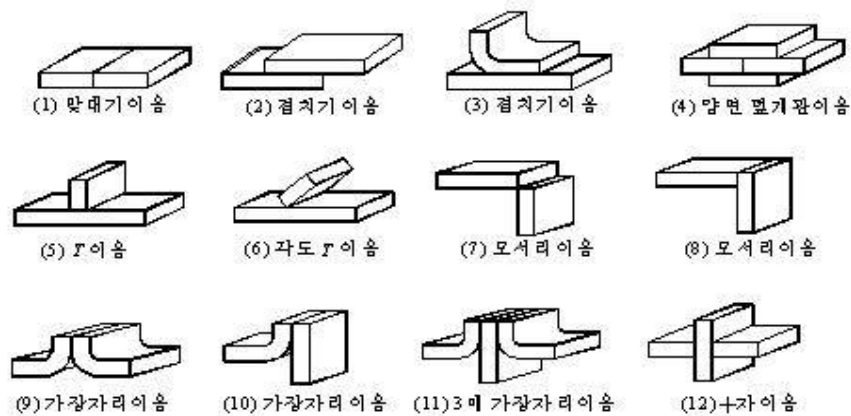


그림 13. 용접이음 형태

맞대기이음(Butt Joint)은 주로 두께가 거의 같은 두 강판을 같은 위치에서 서로 끝을 맞대어 연결한 것이다. 편심 없이 하중을 전달할 수 있고 연결부의 크기를 줄일 수 있으며, 외형상 매끄러워서 보기 좋은 장점이 있다. 그러나 모재의 용접될 부분을 사전 가공하여야 하고, 부재가 제대로 정렬되도록 세심한 주의를 기울여야 하는 단점이 있다. 두께, 폭, 또는 둘 모두 서로 다른 판을 맞대기 이음하는 경우 용접열이 가급적 양쪽 판에 같이 전달되도록, 또한 갑작스러운 단면의 변화로 인한 응력 집중이 크게 생기지 않도록 길이 방향으로 두께와 폭을 서서히 변화시켜야 한다.

이에 비하여 겹치기이음(Lap Joint)은 두 부재를 서로 다른 위치에서 평행으로 겹쳐 놓고 연결하는 것이다. 편심 하중이 작용하게 되는 단점이 있으나 부재의 제단 오차 등을 쉽게 흡수할 수 있고, 용접부에 대한 사전 가공이 필요하지 않으며, 작업을 수행하기 쉬운 장점이 있어 많이 사용되고 있다. 응력을 전달하는 겹치기이음에서는 두 줄

이상의 필릿용접을 사용하는 것을 원칙으로 하고, 얇은 쪽 강판 두께의 5배 이상 겹치게 하여야 한다.

T -연결을 필릿용접, 또는 부분용입 그루브용접으로 하는 경우는 한쪽만 용접하면 외력에 의해 용접부에 응력이 크게 생기고 변형에 대한 저항도 약하므로 이음의 양쪽을 용접하여야 한다. 그러나 완전용입 그루브용접을 하거나, 횡방향의 변형에 대해 저항할 수 있는 구조일 때는 한쪽 용접만으로도 좋다.

3. 용접 종류

용접의 종류는 용접부의 형상에 따라 필릿용접과 그루브용접으로 구분할 수 있다. 필

릿용접과 그루브용접으로 부족할 경우 보조적인 방법으로 플러그용접과 슬롯용접 등을 사용할 수 있다. (<그림 14> 참조) 완전용입 그루브용접은 모재와 같은 형태로 응력을 전달하지만, 필릿용접은 전단응력 형태로 힘을 전달한다.

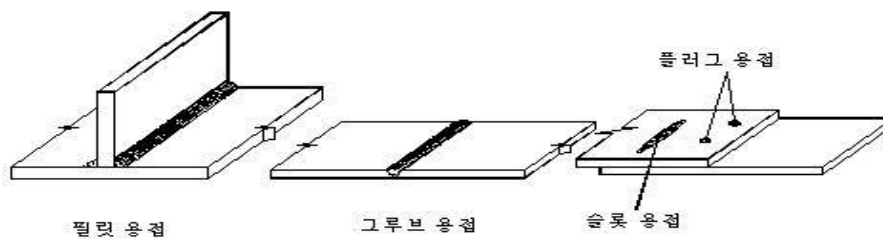


그림 14. 용접부 형상에 따른 용접 종류

3.1 그루브용접 (Groove Welds)

맞대기, T , 모서리 이음의 용접시 연결되는 두 부재의 서로 접하는 부분이 안쪽에서부터 용접되도록 모재의 용접 이음부를 미리 개선가공한 후 용접한다. 또한 용접부 루트가 녹아 흘러내리는 것(용락)을 방지하기 위해서 뒷담재(백킹)를 붙이기도 한다. 두께 5mm 이하의 강판은 이음부의 가공을 생략할 수도 있다. 이음부의 가공된 형태에 따라 수직, 단일 베벨, 이중 베벨, V 형, J 형, U 형 등 여러 가지 형태가 있다. (<그림 16> 참조) 모재의 용접 이음부 가공은 시간과 비용이 많이 소요되므로 비경제적이나 용접 이음부를 가공하지 않은 필릿용접보다 더 높은 강도를 발휘하는 장점이 있다. 두 판재가 서로 만나는 각이 60° 보다 작거나 120° 보다 큰 경우에는 판재의 모서리를 사전 가공하고 그루브용접을 해야 한다. 일반적으로 접하는 부분의 전 단면이 용접된 ‘완전용입 그루브용접’을 사용하고 있으며, 일부만 용접된 ‘부분용입 그루브용접’은 특별한 설계요구 조건이 적용된 경우에만 사용된다.

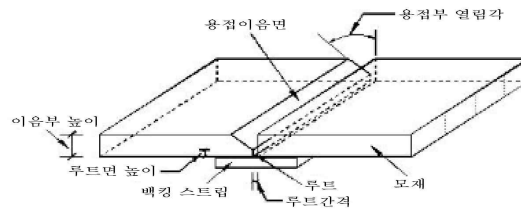


그림 15. 그루브용접부 사전준비

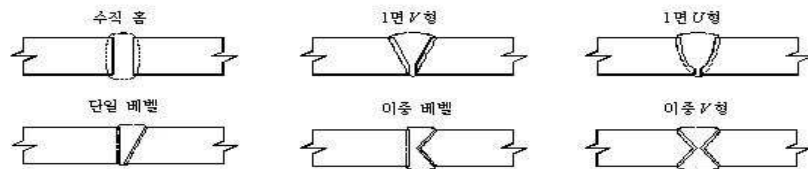


그림 16. 그루브용접 형식

3.2 필릿용접 (Fillet Welds)

필릿용접은 겹치기이음, T -이음, 모서리 이음 등의 경우에 두 부재의 서로 만나는 면과 면, 또는 면과 모서리 사이에 용접 단면 모양이 삼각형을 이루도록 용접한 것이다. <그림 17>은 전형적인 필릿용접의 모양을 나타내고 있다. 용접치수는 용접 다리의 길이로 나타낸다. 필릿용접의 용접루트는 삼각형의 정점, 또는 다리가 만나는 부분을 말한다. 이론적으로 용접루트에서 용접표면까지의 거리를 ‘목두께’라고 한다.

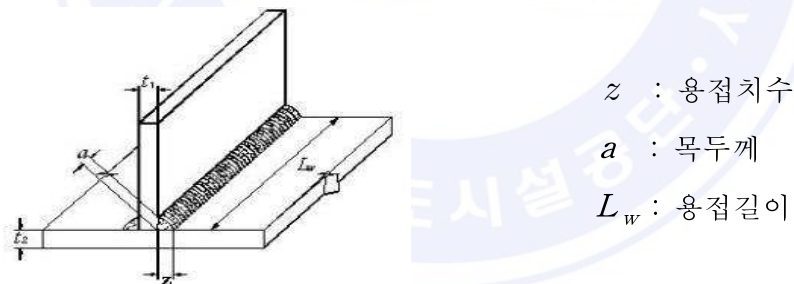


그림 17. 필릿용접

용접표면은 이론적으로 평면이나 오목하거나 볼록할 수 있다. 용접표면이 볼록하면 용접 후 냉각되는 동안의 수축으로 인한 균열발생이 적어지므로 바람직하다.

겹치기이음에서 용접단면은 대략 직각 삼각형을 형성하지만 T -이음과 같은 경우 모재가 직각으로 만나지 않을 수도 있다. 이와 같은 것을 비대칭 필릿용접이라고 한다. 필릿용접이 가능한 범위는 두 모재가 이루는 각이 $60^\circ \sim 120^\circ$ 이다.

용접될 모재의 모서리를 가공할 필요가 없으므로 경제적이다. 특히 1회의 용접 패스로 요구되는 용접크기를 얻을 수 있다면 더욱 경제적이다. 공장에서는 일반적으로 1회의 용접 패스로 얻을 수 있는 용접치수는 피복아크용접(SMAW)의 경우 8mm까지, 서브머

지드 아크용접(SAW)의 경우 용접기에 따라 12mm이상도 가능하다. 현장용접의 경우에는 일반적으로 가능한 치수보다 작게 하는 것이 좋다.

3.3 플러그용접 및 슬롯용접

플러그용접은 판을 겹치기이음 하는 경우 모재에 원형의 홈을 파서 용접하는 것이며, 슬롯용접은 원형 홈 대신 가늘고 긴 홈을 파서 용접한다. 플러그용접과 슬롯용접은 겹쳐진 부분의 전단력을 전달하거나 좌굴을 방지하는 역할을 한다. 필릿 용접을 할 수 있는 공간이 확보되지 못한 경우 또는 덮개판과 조립부재를 결합하는데 사용될 수 있으나 주요 부재에 사용하는 것은 피하는 것이 좋다. 부득이 적용할 경우에는 응력의 전달을 고려하여야 한다. 피로 강도가 낮으므로 반복하중이 작용하는 경우는 주의하여야 한다.

4. 용접자세

용접 위치에 따라 용접의 종류를 분류하면 <그림 18>과 같이 아래보기자세, 수평자세, 수직자세, 위보기자세 등이 있다. 용접의 품질은 용접 위치에 의해 좌우되며, 아래보기자세의 경우에 가장 좋은 품질을 얻을 수 있다. 위보기자세의 경우는 용접 품질이 가장 좋지 못하므로 불가피한 곳을 제외하고는 사용하지 않는 것이 바람직하다.

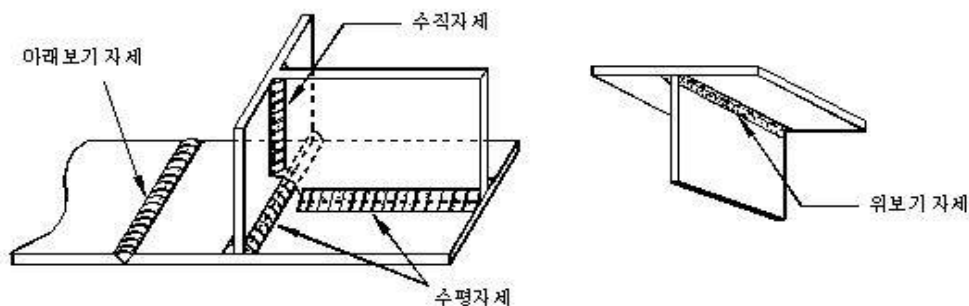


그림 18. 용접자세

5. 용접기호

용접방법, 종류, 용접부 가공 형상, 용접 위치, 용접자세, 시공장소 등을 나타내는 기호를 말한다. 용접기호를 표기하는 방식은 AWS식과 ISO식이 있다. 국내의 용접기호와 표기방법은 KS B 0052에 규격화되어 있다. 이 규격은 ISO 2553 : 1992을 근거로 한 2002년 개정판부터 종전에 적용해오던 ISO 2553 : 1974의 표기법과는 차이가 있다. 최근 개정된 2007년 판 KS규격의 내용을 개략적으로 소개하면 다음과 같다.

5.1 용접기호











용접기호는 <표 7>, <표 8>과 같으며 용접기호 표시방법은 <그림 19>와 같다.



표 7. 용접기호(KS B 0052)

명 칭	도 시	기 호
평면형 평행 맞대기 이음 용접		
한쪽면 V형 홈 맞대기 이음 용접		∨
양면 V형 맞대기 용접 (X형 용접)		X
한쪽면 K형 맞대기 이음 용접		∟
양면 K형 맞대기 용접		K
부분 용입 한쪽면 V형 맞대기 이음 용접		Y
부분 용입 양면 V형 맞대기 용접 (부분 용입 X형 이음)		YX
부분 용입 양면 K형 맞대기 용접 (부분 용입 K형 이음)		YK
한쪽면 U형 홈 맞대기 이음 용접 (평행면 또는 경사면)		U
뒷면 용접		⌒
필릿 용접		△

표 8. 용접보조기호

기 호	명 칭	적 용 예	
	평탄비드	V 홈 평탄비드(▽)	
	블록비드	X 홈 블록비드(X)	
	오목비드	필릿용접 오목비드()	
	끝 단부를 매끄럽게함		
	일주 용접		
	현장용접		

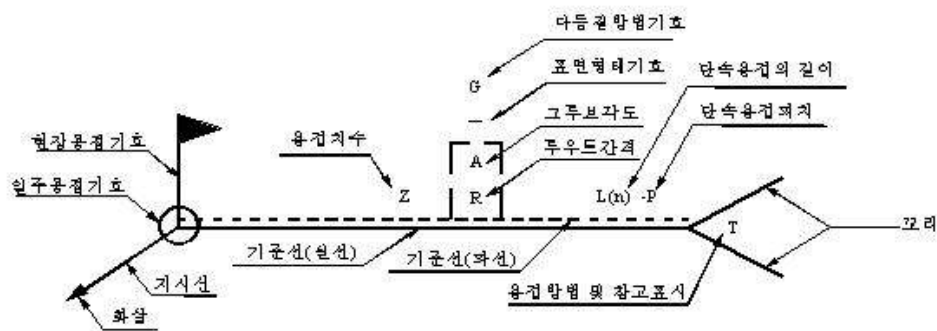


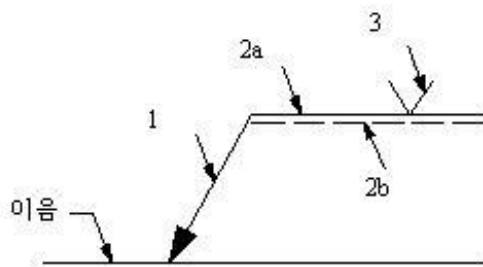


그림 19. 용접기호 표시방법

5.2 도면상 기호의 위치

5.2.1 일반사항

- (1) 다음의 규정에 근거하여 3가지 기호로 구성된 기호는 모든 표시 방법 중 단지 한 부분을 만든다. (<그림 20> 참조)
 - 하나의 이음에 하나의 화살표 (<그림 21>, <그림 22> 참조)
 - 하나는 연속선이고 다른 하나는 파선인 2개의 평행선으로 된 2중 기준선 (예외 비교 1. 참조)
 - 치수선의 정확한 숫자와 규정상의 기호
- (2) 파선은 연속선의 위 또는 그 바로 아래 중 어느 한 가지로 그을 수 있다.
즉,   로 그을 수 있다.



- 1 : 화살표(지시선)
- 2a : 기준선(실선)
- 2b : 동일선(파선)
- 3 : 용접 기호(이음 용접)

그림 20. 표시 방법

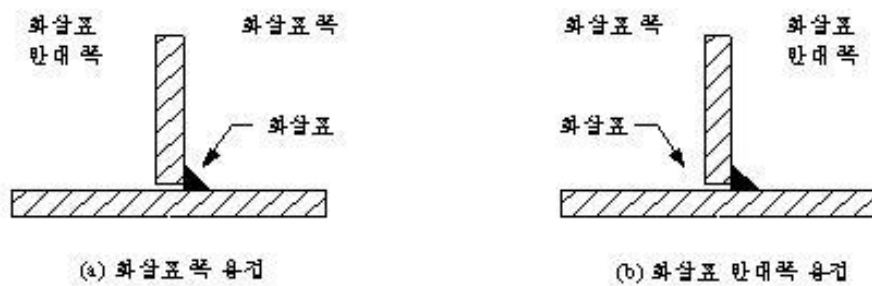


그림 21. T 이음의 한쪽면 필릿 용접

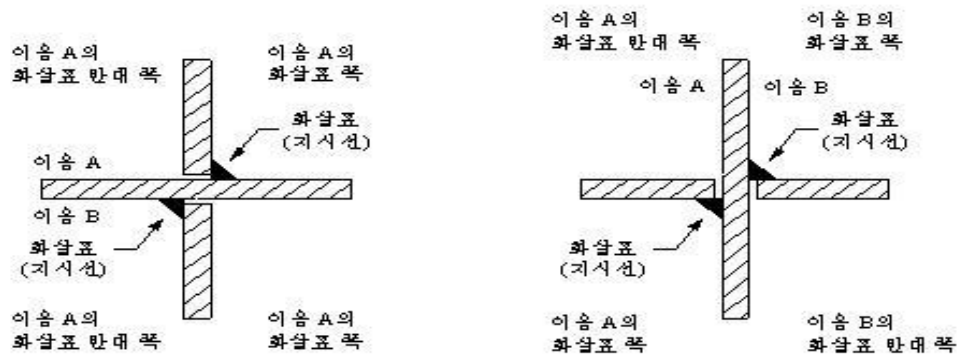


그림 22. +자 이음의 양면 필릿 용접

5.2.2 기준선에 대한 기호의 위치

- 기호는 다음 규정에 따라 기준선의 위 또는 그 바로 아래 둘 중 어느 한쪽에 표시한다.
- 만일 용접부(용접면)가 이음의 화살표 쪽에 있을 때에는 기호는 실선 쪽의 기준선에 기입한다. (<그림 23>의 (b) 참조)
- 만일 용접부(용접면)가 이음의 화살표와는 반대쪽에 있을 때에는 기호는 파선 쪽에 기입한다. (<그림 23>의 (c) 참조)

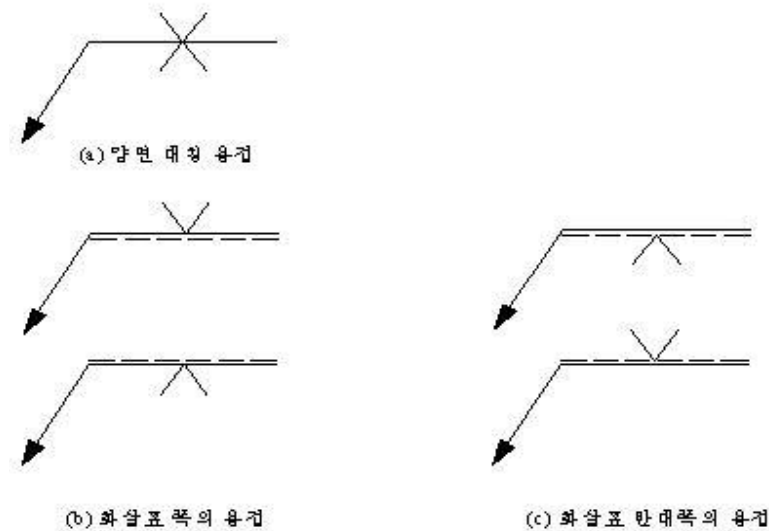


그림 23. 기준선에 따른 기호의 위치

5.3 용접부의 치수 표시

5.3.1 일반 규정

각 이음의 기호에는 확정된 치수의 숫자를 덧붙인다. 이와 같은 치수는 <그림 24>에 근거하여 다음과 같이 표시한다.

- 가로 단면에 관한 주요 치수는 기호의 좌측(기호의 앞)에 기입한다.
- 세로 단면 방향 치수는 기호의 우측(기호의 뒤)에 기입한다.

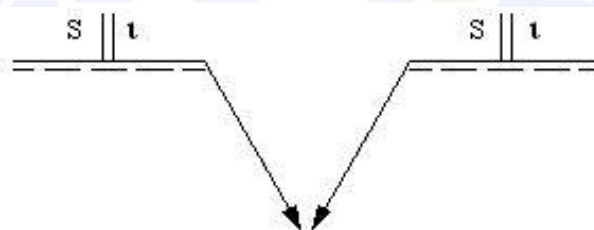


그림 7.3.12 원칙적인 치수 표시의 예

5.3.2 표시해야 할 주요 치수

판의 끝 단면에 용접되는 용접부의 치수는 도면상 외에는 기호로 표시하지 않는다.

- 기호에 연달아 어떠한 표시도 없는 경우에는 공작물의 전 길이에 걸쳐 연속 용접을 하는 것을 뜻한다.
- 치수 표시가 없는 한 맞대기 용접에서는 완전 용입 용접을 한다.
- 필릿 용접부에는 <그림 25>의 (a)에 나타낸 바와 같이 2개의 치수 표시 방법이 있다. 즉, <그림 25>의 (b)에 나타낸 바와 같이 문자 a 또는 z 를 해당하는 치수 값의 앞에 항상 배치한다.

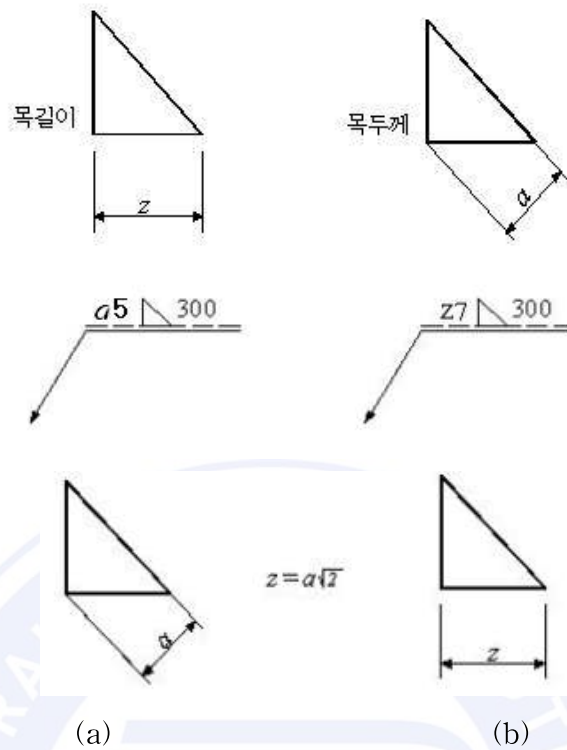


그림 25. 필릿 용접의 치수 표시 방법

필릿 용접부 용입 깊이를 지시하는 데에 <그림 26>에 나타난 목두께 a 가 있다.

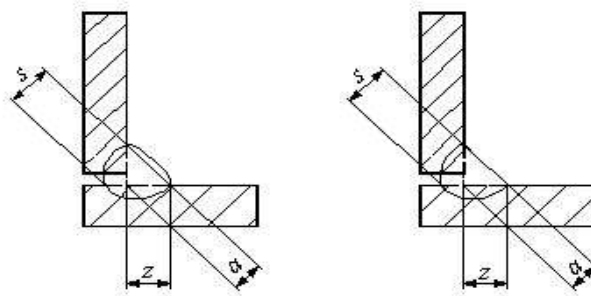


그림 26. 필릿 용접의 용입 깊이의 치수 표시 방법

경사된 끝 단면을 가진 플러그 또는 슬롯 용접부의 경우에는 구멍 밑의 치수를 표시한다. 예를 들면 필릿 용접의 경우 용입 깊이 치수는 $s8a6 \triangle$ 와 같이 표시한다.

6. 필릿용접

6.1 균형 잡힌 하중 전달

용접 이음부의 배치는 전달되는 하중의 작용 중심과 용접이음 단면의 중심이 가능한

한 일치되도록 배려하여 용접이음의 일부분에 응력이 지나치게 집중되지 않도록 하는 것이 좋다. L-형강의 한쪽 다리를 필릿용접하여 연결하는 경우 (<그림 27> 참조) 균형 잡힌 하중 전달이 이루어지기 위해서는 용접을 다음과 같이 고려하여 배치할 수 있다.

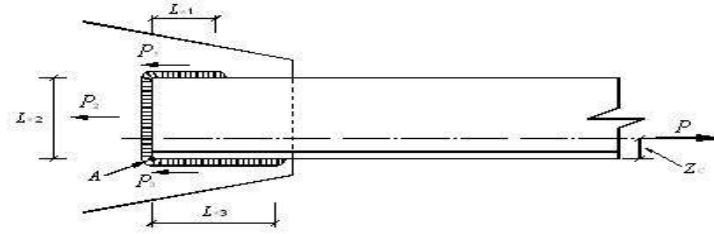


그림 27. L-형강의 필릿 용접

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 0.707 \cdot z \cdot L_{w2} \cdot v_a \\
 \sum M_A &= P_1 \cdot L_{w2} + P_2 \cdot \frac{L_{w2}}{2} - P \cdot Z_c = 0 \\
 P_1 &= (P \cdot Z_c - P_2 \cdot \frac{L_{w2}}{2}) / L_{w2} \\
 &= P \cdot \frac{Z_c}{L_{w2}} - \frac{P_2}{2} \\
 \sum H &= P - P_1 - P_2 - P_3 = 0 \\
 P_3 &= P - P_1 - P_2 \\
 L_{w1} &= \frac{P_1}{0.707 \cdot z \cdot v_a} \\
 L_{w3} &= \frac{P_2}{0.707 \cdot z \cdot v_a}
 \end{aligned}$$

실험에 의하면 균형 잡힌 용접이음부가 반드시 더 높은 극한 강도를 보이고 있지 않으므로 정적으로 하중이 재하된 1개 또는 2개의 L형강 또는 유사한 단면 끝의 용접 연결부는 균형 잡힌 연결이 요구되지 않는다. 일반적으로 전달되는 하중과 용접배치가 대략적으로 균형을 이루도록 고려해 주면 충분하다.

6.2 편심 하중 작용시 용접부의 응력

<그림 28>은 일정한 크기의 목두께 a 로 용접되어 있는 부재에 하중이 용접이음 단면의 중심에서 떨어져 임의의 방향으로 작용하고 있는 경우이다. 하중 P 의 수평방향과 연직방향 성분은 각각 P_H 와 P_V 이며, 편심 거리는 각각 e_x 와 e_z 이다. 이 편심 하중을 용접이음 단면의 중심에 작용하는 하중 P 와 모멘트 M_T 으로 치환시킬 수 있다. 여기서 모멘트 M_T 은 다음 식과 같다.



$$M_T = P_V \cdot e_x - P_H \cdot e_z \quad (13)$$

용접이음의 전체 단면적은 전체 용접길이(L_w)에 용접 목두께 a 를 곱한 값이므로 단면중심에 작용하는 하중 P 가 전체 단면에 균일한 응력크기로 분배된다고 가정하면 각 방향별 용접부 전단응력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{수평방향 : } v_{H,P} &= \frac{P_H}{aL_w} \\ \text{연직방향 : } v_{V,P} &= \frac{P_V}{aL_w} \end{aligned} \quad (14)$$

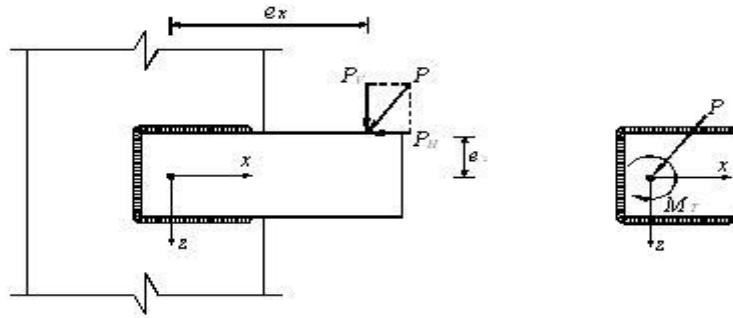


그림 28. 용접이음단면에 작용하는 편심하중

모멘트 M_T 에 의한 용접부의 응력은 용접이음단면의 중심으로부터 각 용접 요소까지의 거리 r 에 비례하여 변하고, 방향은 중심과 각 용접 요소를 잇는 선에 직각인 것으로 가정한다. 일반적인 비틀 공식을 적용하면 용접 요소에 작용하는 각 방향별 전단응력은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{수평방향 : } v_{H,M} &= \frac{M_T}{I_p} \cdot z_i \\ \text{연직방향 : } v_{V,M} &= \frac{M_T}{I_p} \cdot x_i \end{aligned} \quad (15)$$

여기서, I_p : 용접이음단면의 극관성 모멘트

$$I_p = \int_{A_w} r^2 dA = \int_{A_w} (x^2 + z^2) dA = I_x + I_z$$

r : 용접이음단면의 중심에서 각 용접 요소까지의 거리

x_i, z_i : 용접이음단면의 중심에서 각 용접 요소까지의 수평, 수직거리

$$v_H = v_{H,P} + v_{H,M}$$

$$v_V = v_{V,P} + v_{V,M}$$

$$v = \sqrt{v_H^2 + v_V^2}$$

해설 2. 볼트이음

1. 개요

볼트 연결부가 전달하는 힘의 방향과 볼트의 길이방향에 따라 구별하면 힘의 작용 방향이 볼트 축 방향에 직각인 전단이음 형태와 힘의 방향과 볼트 축 방향이 서로 평행인 인장이음 형태가 있다. 또한 볼트 축 방향에 직각인 성분과 평행인 성분의 힘이 동시에 작용하는 전단-인장 이음 형태가 있다.

전단이음 형태의 경우 전단력이 작용하는 면의 수에 따라 전단면이 하나인 경우를 1면 전단이음, 전단면이 2개인 경우를 2면 전단이음이라고 한다. 또한 하중작용시 연결부의 역학적 거동에 따라서 지압이음(bearing type connections)과 마찰이음(slip critical connections)으로 구분한다.

지압이음은 연결되는 부재의 상대적인 미끄러짐이 볼트구멍과 볼트몸체 사이의 접촉면에 발생하는 지압력과 볼트 몸체에서 저항하는 전단력에 의해 구속된다. 힘의 작용 방향이 바뀌면 볼트구멍과 볼트 사이의 접촉면의 위치가 변하게 된다. 볼트 몸체의 직경보다 더 크게 가공된 볼트구멍의 여유 때문에 연결된 두 부재사이에 여유 공간만큼의 미끄러움이 일어난다. 일반적으로 볼트 구멍은 제작오차를 고려하고 원활한 볼트 체결작업을 위하여 볼트 직경보다 2~3mm 정도 크게 한다. 이 때문에 연결부에서의 변형량이 커지고, 일부 볼트와 부재에 힘이 집중될 수도 있다. 이로 인하여 힘의 작용 방향이 빈번히 바뀌는 경우에는 볼트 체결의 이완, 볼트구멍의 확대 등 연결부의 성능 감소가 일어나기 쉽다.

힘의 작용방향이 자주 바뀌는 부재의 연결에서 부재간의 상대적인 미끄러짐을 방지하기 위해 마찰이음을 사용할 수 있다. 마찰이음은 볼트 체결시 볼트에 볼트의 길이 방향으로 미리 일정한 크기의 인장력이 도입되도록 조여준다. 볼트에 도입된 인장력에 의해 연결되는 부재들의 접촉면에는 압축력이 작용한다. 압축력을 받고 있는 접촉면에서는 전단력이 작용할 때 마찰력이 발생하여 저항하므로 미끄러짐이 일어나지 않고 힘을 전달할 수 있다.

볼트의 인장력이 도입되도록 체결하는 방법에는 부재가 서로 잘 접촉될 정도로 조인 상태에서 너트를 일정 크기의 회전각만큼 더 조여주는 회전각법과 일정한 크기의 회전모멘트(토크)로 너트를 조이는 토크법이 있다. 토크법은 토크렌치 등을 이용하여 볼트 조임정도를 쉽게 검사할 수 있으나 볼트와 너트의 나사산 사이의 마찰계수 크기에 따라서 인장력이 도입되는 정도가 달라질 수 있는 단점이 있다. 대형구조물의 경우에는 사용되는 볼트의 갯수가 많아서 모든 볼트의 긴장력 도입정도를 관리하기 매우 어렵다. 이러한 대형현장에서는 최근들어서 T/S볼트가 많이 사용되고 있다.

T/S볼트는 일정한 크기 이상의 토크가 가해질 경우 볼트의 꼬리부분이 잘려지므로



많은 수의 볼트 체결력 품질관리를 용이하게 할 수 있다.

2. 고장력 볼트

고장력 볼트는 특별히 정한 경우를 제외하고 KS B 1010의 마찰이음용 고장력볼트, 너트 및 와셔 제 1종과 제 2종의 M20, M22, M24, M27 및 M30, 제 4종의 M20, M22, M24를 사용하는 것을 표준으로 한다. 지압이음에는 마찰이음용 제 1종, 제 2종 및 제 4종의 고장력 볼트 세트를 사용하거나, 다른 KS 규격에 준용하고 강도가 고장력 볼트 세트와 같은 볼트세트를 사용할 수 있다. 일반볼트는 KS B 1002의 육각볼트, KS B 1012의 너트, KS B 1326 의 평 와셔 세트를 사용하는 것을 표준으로 한다.

표 9. 마찰이음용 고장력 볼트 세트의 종류 (KS B 1010)

세트 종류	부 품 등 급		
	볼 트	너 트	와 셔
1 종	F8T	F10 (F8)	F35
2 종	F10T	F10	
4 종	F13T	F13	

표 10. 볼트의 기계적 성질 (KS B 1010)

볼트 등급	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	단면 수축률 (%)	경 도	최소 인장하중 (kN)				
						M20	M22	M24	M27	M30
F8T	640 이상	800~1000	16이상	45이상	HRC18~31	195.8	242.7	282.0	367.0	449.0
F10T	900이상	1000~1200	14이상	40이상	HRC27~38	244.8	303.4	352.5	458.8	561.3
F13T	1170 이상	1300~1500	12이상	35이상	HRC40~45	318.2	394.4	458.3	596.4	729.7

표 11. 너트와 와셔의 기계적 성질 (KS B 1010)

등 급		경 도		보증 하중
		최소	최대	
너트	F8	HRB 85	HRB 100	볼트의 최소 인장하중과 같다.
	F10	HRB 95	HRC 35	
	F13	HRC 30	HRC 40	
와셔	F35	HRC 35	HRC 45	

표 12. 고장력 볼트의 단면적

볼트 호칭	볼트 공칭지름 (mm)	축 단면적 (mm ²)	유효 단면적 (mm ²)
M20	20	314	245
M22	22	380	303
M24	24	452	353
M27	27	573	459
M30	30	707	561

3. 볼트 이음의 허용력

3.1 지압이음

지압 이음에서는 미끄러짐이 볼트구멍과 볼트 사이의 접촉면에 발생하는 지압력과 볼트 몸체에서 저항하는 전단력에 의해 구속되므로 지압 이음의 허용력은 부재 또는 연결판의 허용 지압력과 볼트의 허용 전단력 중 작은 값에 의해 결정된다.

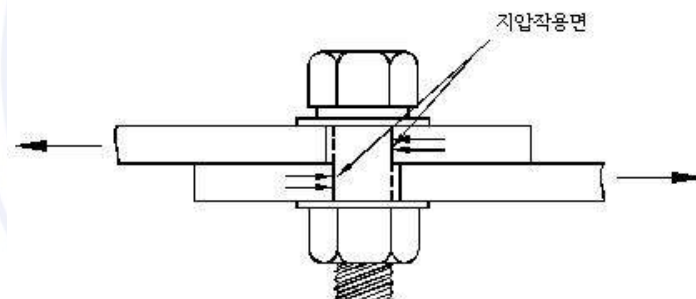


그림 29. 지압이음

3.1.1 허용 지압력

볼트와 볼트구멍 접촉면 사이의 공칭 지압응력(f_l)은 이곳을 통하여 전달되는 하중 P 를 유효 지압면적(A_l)으로 나눈 값이다. 볼트의 구멍 접촉면에 발생하는 실제 지압응력의 분포를 모르기 때문에 유효 지압면적은 볼트 몸체의 직경(d)과 연결 부재의 두께(t)를 곱하여 계산하고 이 구형단면에 작용하는 등분포 지압응력을 가정한 것이다. 철도교설계기준(철도교편)에 규정된 여러 강종에 대한 허용지압응력은 <표 13>과 같다.



표 13. 지압이음용 볼트를 적용한 모재의 허용지압응력 (단위 : MPa)

모재 및 거세트 판의 강종 강재판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	235	315	355	450
40 초과 75 이하	215	295	335	430
75 초과 100 이하			325	420

모재 및 거세트 판의 강종 강재판두께(mm)	SM490C-T MC	SM520C-T MC	HSB500	HSB600 SM570-TMC
100 이하	315	355	380	450

하나의 볼트가 받을 수 있는 허용 지압력은 다음 식과 같다.

$$\rho_{la} = f_{la} \cdot d \cdot t \quad (16)$$

여기서, ρ_{la} : 볼트 1개당 허용 지압력

d : 볼트의 공칭지름

t : 부재 또는 연결판의 두께

f_{la} : 허용 지압응력 (<표 13> 참조)

3.1.2 볼트의 허용 전단력

지압이음에는 <표 9>의 마찰이음용 고장력 볼트 세트 F8T, F10T, F13T를 사용하며 설계도서 등에 표시할 때에는 각각 B8T, B10T, B13T 등으로 표시한다. 이 경우 지압이음용 고장력 볼트의 허용 전단응력은 다음의 <표 14>와 같다

표 14. 지압이음용 고장력 볼트의 허용전단응력

볼트의 등급	B8T	B10T	B13T
허용전단응력	150	190	245

하나의 볼트가 한 개의 전단면에서 받을 수 있는 허용 전단력은 다음 식과 같다.

$$\rho_{va} = v_a \cdot A_b \quad (17)$$

여기서, ρ_{va} : 볼트 1개당, 전단면 1개소당 허용 전단력

A_b : 볼트의 공칭 단면적 (<표 12> 참조)

v_a : 허용 전단응력 (<표 14> 참조)

3.2 마찰 이음

볼트에 도입된 인장력에 의해서 부재와 연결판 사이의 접촉면에 압축력이 작용한다. 힘이 작용할 때 미끄러짐에 대한 저항은 접촉면에 작용하는 압축력과 접촉면의 마찰계수에 의해 결정된다.

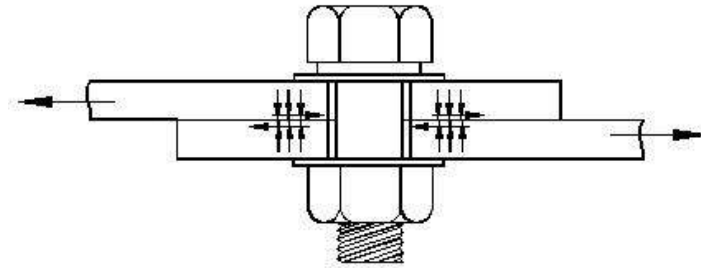


그림 30. 마찰이음

마찰이음의 허용력을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$N = \alpha \cdot \rho_y \cdot A_s$$

$$\rho_{va} = \frac{\mu \cdot N}{\gamma} \quad (18)$$

- 여기서, N : 설계 볼트축력
 A_s : 볼트의 응력 단면적 (나사부의 유효 단면적)
 α : 볼트의 항복강도에 대한 비율
 F8T에 대하여 0.85
 F10T, F13T에 대하여 0.75
 ρ_y : 볼트의 항복강도 (<표 10> 참조)
 ρ_{va} : 마찰이음용 볼트 1개당 허용력
 μ : 마찰계수 (0.4)
 γ : 이음의 미끄러짐에 대한 안전율 (1.7)

여기서 미끄러짐에 대한 안전율 γ는 미끄러짐 내력이 강재의 항복점에 상당한다고 생각하여 허용 인장응력의 항복점에 대한 안전율과 같이 1.7로 정하였다.

AISC와 AASHTO에서는 접촉면의 상태에 따라 마찰계수 μ를 0.33, 0.40, 0.50으로 구분하고 있다. 국내에서는 강교량 제작시 일반적으로 접촉면에 무기질 아연 프라이머를 도장하고 있으며, 이 경우 μ=0.4를 적용하고 있다. 마찰계수 μ는 소형 시험편에 의한 실험에서 흑피를 제거한 경우 평균 0.5 이상을 얻을 수 있다. 그러나 볼트의 배치나 접촉면 사이의 불균일한 압축력 등으로 인한 영향을 고려하여 0.4로 하였다.

설계 볼트축력의 항복점에 대한 비율 α는 F10T와 F13T에 대하여 변형성능, 볼트의 지연과괴에 대한 안전성 등을 고려하여 0.75로 하였으나 F8T의 경우는 조이는 힘을 높여



도 안전한 것으로 입증된 종래의 실적을 고려하여 0.85로 하였다.

이와 같이 하여서 계산한 마찰이음형식의 고장력볼트 1개당, 전단면 1개소당 허용 전단력과 볼트의 가상 전단면에 대한 허용 전단응력은 <표 15>과 같다. 볼트는 직접 전단력을 받지는 않지만 마찰 이음의 허용 전단력을 볼트의 공칭 단면적으로 나누면 볼트에 대한 허용 전단응력을 얻을 수 있다.

표 15. 마찰이음용 고장력 볼트의 허용력 (kN)

나사호칭 볼트의 등급	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30
F8T	31	39	45	58	71
F10T	39	48	56	73	89
S10T ¹⁾	39	48	56	73	89
F13T	50	63	73	— ²⁾	— ²⁾
S13T ¹⁾	50	63	73	— ²⁾	— ²⁾

주) 1) S10T, S13T : 각각 F10T와 F13T 등급의 T/S 볼트를 나타내는 기호

2) 볼트등급 F13T의 나사호칭 M27과 M30은 설계기준에 포함되지 않음.

3) 모재의 허용지압응력으로 결정되는 허용력을 초과할 수 없음.

표 16. 일반볼트의 허용응력 (단위 : MPa)

볼트의 등급	일반볼트 4.6
허용 전단응력	90
허용지압응력	190

3.3 보의 이음

보의 연결은 상·하 플랜지와 웨브의 양측면에 연결판을 사용하여 힘을 전달한다. 상·하 플랜지각각에 사용되는 연결판에 작용하는 힘은 휨모멘트에 의한 힘과 축력에 의한 힘의 합으로 다음 식으로 구할 수 있다.

3.3.1 플랜지의 연결

$$F_f = F_{f,M} + F_{f,N} = \left[\frac{M}{I} \cdot z_f + \frac{N}{A} \right] \cdot A_f \quad (19)$$

여기서, F_f : 해당 플랜지 연결판에 작용하는 힘

M : 휨모멘트 (정모멘트 (+) 부호)

N : 축력 (인장력 (+) 부호)

I : 보의 단면2차모멘트

A : 보의 단면적

Af : 해당 플랜지의 단면적

zf : 보 단면의 중심축으로부터 해당 플랜지 단면의 중심까지의 거리
(해당 플랜지 단면의 중심이 보의 중심축보다 아래에 있을 때(+)부호)

3.3.2 웨브의 연결

웨브의 연결부에서는 보가 받고 있는 전단력, 그리고 축력과 휨모멘트에 의해 웨브가 분담하는 힘이 전달된다. 이들 힘은 볼트군의 중심에 작용하는 수평방향의 힘, 수직방향의 힘, 그리고 모멘트, 그리고 이로 인한 볼트 1개당 1개 전단면당 받는 힘은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 수직 방향의 힘

플랜지에 의해 전달되는 전단력은 매우 작으므로 무시하고, 보의 전체 전단력을 웨브에서 받아주는 것으로 가정한다.

$$V_s = Q_{web} \approx Q$$

$$\rho_{1z, V} = \frac{V_s}{n_b n_s} \quad (20)$$

여기서, $\rho_{1z, V}$: V_s 에 의한 볼트 1개의 1개 전단면에 대한 수직방향 힘

n_b : 볼트의 개수

n_s : 볼트이음의 전단면 수

$$\frac{M}{I} z_{up} = \frac{M}{I} \frac{(z_{up} - z_{lo})}{2} + \frac{M}{I} \frac{(z_{up} + z_{lo})}{2}$$

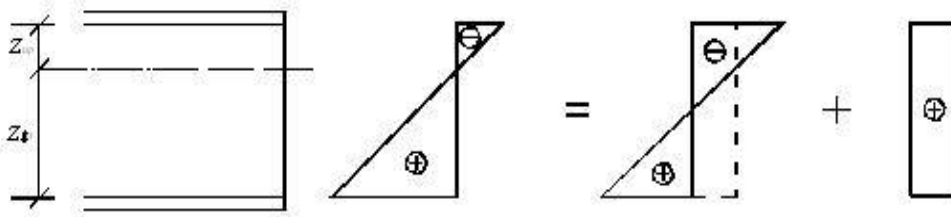


그림 31. 웨브의 응력분포

(2) 수평 방향의 힘

수평방향으로 작용하는 보의 축력 중 웨브가 분담하는 힘을 전달한다. 보 단면의 중심이 웨브 단면의 중심과 일치하지 않을 경우에는 휨모멘트에 의해 웨브에서 평형상태를 이루지 못한 웨브의 수평방향 힘을 같이 고려하여야 한다.

$$H_s = \left[\frac{N}{A} + \frac{M}{I} \frac{z_{up} + z_{lo}}{2} \right] A_{web}$$

$$\rho_{1x, H} = \frac{H_s}{n_b n_s} \quad (21)$$



여기서, A_{web} : 웨브의 단면적

z_{up} : 보 단면의 중심축으로부터 웨브 단면의 상단까지의 거리
(웨브 상단이 보의 중심축보다 위에 있을 때 (-)부호)

z_{lo} : 보 단면의 중심축으로부터 웨브 단면의 하단까지의 거리 ((+)부호)
(웨브 상단이 보의 중심축보다 아래에 있을 때 (+)부호)

$\rho_{1x,H}$: H_s 에 의한 볼트 1개의 1개 전단면에 대한 수평방향 힘

nb : 볼트의 개수

ns : 볼트이음의 전단면 수

(3) 모멘트

연결부 중심에서의 휨모멘트 중 웨브가 분담하는 휨모멘트. 볼트 군의 중심과 연결부 중심과의 거리가 클 경우 전단력에 의한 모멘트의 증가분을 더해서 구한다.

$$M_{web} = M \frac{I_{web}}{I}$$

$$M_s = M_{web} + Qe_Q \quad (22)$$

여기서 M_s : 볼트의 하중 작용점을 볼트 군의 중심으로 하였을 때 볼트에 작용하는 우력모멘트 M_s 가 작용할 때 연결부가 탄성거동을 한다고 하고 연결된 전체가 볼트군의 중심을 기준으로미세한 각 θ 만큼 동일하게 회전한다고 가정할 수 있다. 또한, 볼트의 반력 ρ_i 는 연결한 회전에 의한 변위의 크기에 비례하게 되므로 다음과 같다.

$$\rho_i = Kr_i\theta \quad (23)$$

또한 볼트의 반력 ρ_i 에 의한 모멘트 M_i 는 ρ_i 에 모멘트 팔의 길이 r_i 를 곱하여 구한다.

$$M_i = r_i \rho_i = r_i Kr_i \theta = K\theta r_i^2$$

$$M_s = \sum M_i = \sum K\theta r_i^2 \quad (24)$$

이 식으로부터 미지의 상수 $\rho\theta = \frac{M_s}{\sum r_i^2}$ 이 된다.

이로부터 j 번째 볼트의 반력은 다음과 같고,

$$\rho_j = \frac{M \cdot r_j}{\sum r_i^2} = \frac{M \cdot r_j}{\sum (x_i^2 + z_i^2)} \quad (25)$$

ρ_j 를 수평성분과 수직성분으로 구분하여 나타내면 다음 식과 같다.

$$\rho_{j,z} = \frac{M_s \cdot x_j}{\sum (x_i^2 + z_i^2)}$$

볼트의 최대반력은 볼트군의 중심에서 가장 멀리 떨어져 있는 최외각 볼트에서 발생하므로 이 경우의 볼트 1개당 1전단면에서 발생하는 힘은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}\rho_{1x,M} &= \frac{M_s \cdot z_e}{\sum (x_i^2 + z_i^2)} \cdot \frac{1}{n_s} \\ \rho_{1z,M} &= \frac{M_s \cdot x_e}{\sum (x_i^2 + z_i^2)} \cdot \frac{1}{n_s}\end{aligned}\quad (26)$$

ns : 웨브 볼트이음의 전단면 수

㉠, ㉡, ㉢로부터 구한 외측 볼트 1개가 받는 힘의 수직과 수평 성분으로부터 힘의 합력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho_{bl} = \sqrt{(\rho_{lxH} + \rho_{lxM})^2 + (\rho_{lzy} + \rho_{lzM})^2} \quad (27)$$

일반적으로, 휨모멘트를 받는 보의 웨브 등을 연결하는 경우에는 좁은 폭으로 집합선을 따라가면서 볼트를 배열하게 된다. 따라서 휨모멘트에 의해 볼트에 작용하는 수직방향의 힘은 수평방향의 힘에 비하여 상대적으로 매우 작아지게 된다. 위의 볼트 작용력 계산식 유도과정에서 힘의 수평방향 성분을 무시하면, 철도교시방서에서 제안하고 있는 다음의 식이 된다.

$$\rho = \frac{M_s}{\sum z_i^2} z_e \quad (28)$$

<그림 33>과 같이 힘에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 경우는, <식 (29)>를 만족하도록 설계하여야 한다.

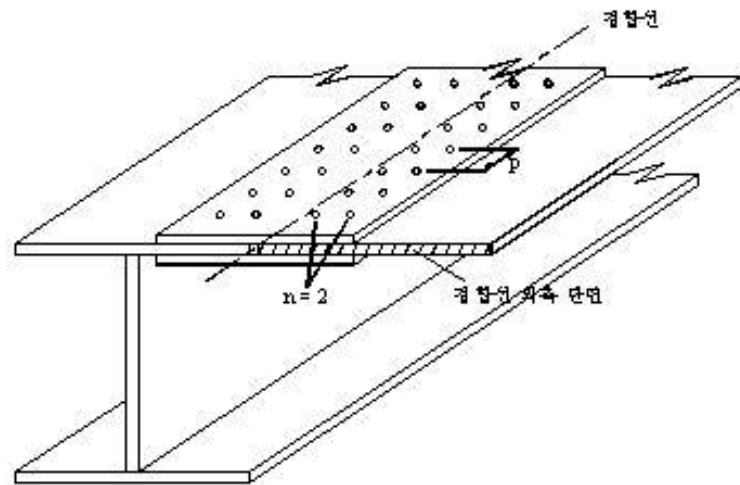


그림 33. 힘에 의한 전단력을 받는 판의 연결부 상세

$$\rho_h = \frac{VQ}{I} \frac{p}{n} < \rho_a \quad (29)$$

여기서, ρ_h : 수평방향으로 연결하는 볼트에 작용하는 힘

V : 계산하는 단면에 작용하는 전단력

Q : 접합선 외측 단면의 부재 총단면의 중립축을 기준으로 한 단면1차 모멘트

I : 부재 총단면의 단면2차모멘트

p : 볼트의 피치

n : 접합선에 직각 방향의 볼트의 수

ρ_a : 볼트 1개에 허용력

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.

