

제10장

접합부 설계



10.1 개요

10.1.1 일반사항

강구조의 접합부는 구조체의 거동 및 응력전달과 같은 구조적인 문제와 제작 및 설치 등의 시공적인 문제에 큰 영향을 미치는 중요한 구조요소이므로, 구조설계 시에 응력전달 방법, 건축물의 형태나 규모, 시공성 및 경제성 등을 고려하여야 한다.

강구조의 접합은 스티프너, 거셋 플레이트, 브래킷 등 접합소재와 용접, 볼트로 구성되며 골조의 구조해석에서 요구한 지점, 절점의 능력을 충분히 발휘할 수 있는 접합, 절점 및 파스너로 구성하는 것이 필요하다.

한계상태설계법에서 강구조 골조의 주요 구조부재인 기둥, 보, 가셋 플레이트 등은 강도한계내력과 소성변형능력이 확보되는 것을 전제로 하고 있다. 따라서 이와 같은 부재들의 접합부는 피접합부재가 충분한 소성변형능력이 발휘할 때까지 파괴되지 않는 설계조건이 필요하다. 그러기 위하여 이들 요소들은 구조체에 작용하는 계수하중에 대한 구조해석의 소요강도 이상이 되거나, 접합부재가 충분한 내력을 발휘할 수 있는 거동을 얻을 수 있는 접합, 절점 및 파스너가 설계되어야 한다.

강구조의 접합에는 동일 부재간의 이음과 작은보와 큰보, 트러스 접합 및 기둥-보 접합이 있다. 그림 10.1에 강구조 골조에 관한 접합부들을 나타내고 있다. 기둥-보 접합부는 접합부의 성능과 회전에 대한 구속 정도에 따라 단단접합(단순접합), 반강접합, 강접합으로 구분되므로 정확한 개념을 가지고 설계하고 그 성능을 만족하도록 도면에 명기해야 한다.

건축구조기준(KBC 2009) 제7장 강구조(0710)에서는 안전한 접합부를 설계하기 위하여 접합부의 최소강도 및 접합부에 관한 일반사항을 다음과 같이 규정하고 있다.

가) 접합부의 최소강도

접합부는 45kN 이상 지지하도록 설계되어야 한다. 다만, 연결재, 새그로드 또는 띠장은 제외한다.

나) 기둥의 이음 및 지압접합

기둥이음부는 고력볼트 및 용접이음으로 응력을 전달하되 인장강도는 압축강도의 1/2 이상이 되도록 한다. 다만 기둥이음부의 단면에 인장응력이 발생할 염려가 없고 접합부의 단면이 절삭마감에 의해 밀착되는 경우 소요강도(소요 압축력, 소요휨모멘트) 각각의 1/2은 접촉면에 의해 직접 응력을 전달시킬 수 있다.

다) 용접과 고력볼트의 병용

- ① 고력볼트는 용접과 병용해서 하중을 부담시킬 수 없다. 이러한 경우 용접에 전체하중을 부담시키도록 한다(4.5.2 참조).
- ② 다만 전단접합 시에는 용접과 고력볼트의 병용이 허용된다. 전단접합 시 하중방향에 수직인 표준크기구멍과 단슬롯구멍의 경우의 고력볼트와 하중방향에 평행한 모살용접이 하중을 각각 분담할 수 있다. 이 때 고력볼트의 설계강도는 지압접합 고력볼트설계강도의 50%를 넘지 않도록 한다.
- ③ 고력볼트 마찰접합으로 이미 시공된 구조물을 개축할 경우 고력볼트는 이미 시공된 하중을 받는 것으로 가정하고 병용되는 용접은 추가된 소요강도를 받는 것으로 용접설계를 병용할 수 있다.

밀착조임이란 임팩트 렌치로 수회 또는 일반렌치로 최대로 조여서 접합판이 완전히 밀착된 상태를 말한다. 이러한 밀착조임은 설계도면과 시공도면에 명확히 표기되어야 한다. 다음 접합의 경우에는 밀착조임을 하는 지압접합은 사용하지 못하고 반드시 마찰접합 또는 용접을 사용하여야 한다.

- ① 높이가 38m 이상 되는 다층구조물의 기둥이음부
- ② 높이가 38m 이상 되는 구조물에서 기둥가새가 연결된 기둥-보접합부
- ③ 용량 50kN 이상의 크레인구조물 중, 지붕트러스 이음, 기둥과 트러스 접합, 기둥이음, 기둥가새, 크레인지지부
- ④ 기둥-보 모멘트접합부에서 용접과 고력볼트가 병용될 경우에 고력볼트는 마찰접합을 사용

접합부의 설계에서 설계 대상이 되는 강도를 소요강도라고 하며, 소요강도를 결정하는 방법은 다음과 같은 두 가지 방법이 있다.

1) 존재응력설계법

계수하중에 의해 접합부에 발생하는 존재응력(휨모멘트, 전단력, 축력 등) 소요강도로 설계하는 방법이다. 존재응력설계법은 계산상으로는 안전한 설계 방법이나 존재응력이 작은 곳에서 접합부가 설계되는 경우가 있기 때문에 존재응력을 소요강도로 사용하면 접합부가 부재의 약점이 되어 부재 전체의 강성이 감소할 수 있다. 따라서 존재응력설계법으로 설계를 하는 경우 존재응력과 다음의 전강도설계법에 의한 부재설계강도의 50% 중 큰 값을 소요강도로 하여 설계한다.

2) 전강도설계법

전강도설계법은 부재 유효단면의 설계강도를 소요강도로 하는 방법으로, 접합부가 접합되는 부재의 단면과 동등한 강도를 가지기 때문에 접합부의 안전성 및 부재의 연속성이 큰 것이 특징이다. 특히 전강도설계는 존재응력에 무관하여 설계되기 때문에 비경제적일 수 있으나, 강도적인 면이나 강성적인 면에서 확실한 접합부를 얻을 수 있다. 따라서 부재의 전강도가 필요한 내진설계나 구조상의 주요한 부분의 접합부는 부재의 설계강도를 소요강도로 하는 것이 요망된다. 다만, 고력볼트 등으로 접합하는 경우에는 모재에 구멍이 뚫리기 때문에 이 고력볼트 구멍을 공제한 유효단면의 설계강도를 소요강도로 한다.

전단접합 설계시 설계전단력으로서 부재의 전단내력을 사용하는 경우가 있으나, 이는 매우 비경제적인 설계이다. 휨 부재에 발생할 수 있는 최대전단력은 부재의 휨내력 및 길이에 의하여 구할 수 있으며 일반적으로 최대전단력은 부재의 설계전단강도보다 매우 작다. 따라서 이 최대전단력을 소요전단강도로 하여 설계하는 것이 경제적이다.

10.1.2 강구조 접합부의 특성

모든 접합부 및 이음부는 하중 또는 모멘트를 받을 때 연결부재 사이의 모멘트에 대한 부재 상대회전각의 특성에 따라 다음과 같이 전단접합(단순접합), 반강접합, 강접합으로 분류할 수 있다.

1) 전단접합(단순접합)

전단이음이나 전단접합은 보의 단부가 회전저항에 유연해서 모멘트를 전달하지 않는 접합의 형태이다. 실제 구조물의 전단접합은 플랜지를 연결하지 않고 웹만 접합한 형태이다. 전단접합은 접합부가 어느 정도의 모멘트 저항을 갖고 있지만 저항의 정도가 부재의 모멘트 내력보다 상대적으로 작을 때 이 저항을 무시하고 전단에만 저항하는 것으로 본다.

2) 반강접합

반강접합은 부재 단부의 회전저항에 따른 단부모멘트를 발생시킬 수 있는 접합부이다. 보통 설계에서는 모든 접합부는 전단접합 또는 강접합으로 가정하여 단순하게 수행된다. 그러나 실제 구조물에서는 전단접합과 강접합의 중간인 반강접합의 상태가 대부분이다. 반강접합의 거동에 대해서는 10.3.1에서 다루기로 한다.

3) 강접합

강접합은 이론적으로 보 단부에서 회전을 허용하지 않고 100%에 가까운 단부 모멘트를 기둥 또는 이음부에 전달하는 접합부이다. 강접합의 몇 가지 예는 뒤에서 소개한다. 충분한 회전저항력을 확보하기 위해 기둥의 웨브에 스티프너가 필요하고 기둥의 패널존의 강성이 충분히 확보되어야 한다.

10.1.3 접합부의 설계내력 및 저감계수

강구조의 접합부의 한계상태설계는 접합부의 설계내력을 접합부의 소요강도 이상이 되도록 설계하여야 하는데, 이 조건을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_u \leq \phi R_n \quad (10.1)$$

여기서, ϕ : 접합부의 저감계수

R_n : 접합부의 공칭강도

S_u : 접합부 소요강도

이 설계조건식은 접합부의 설계강도 ϕR_n 이 계수하중의 조합에 관해서 산정된 소요강도 S_u 보다 커야 하는 설계규정을 나타낸 것이고, 이는 부재설계 기준과 동일하다.

일반적으로 접합부는 피접합재, 접합부 요소, 각종 보강재 등으로 구성되어 역학적으로 복잡하게 된다. 그러므로 접합부의 항복성상은 구조 부재들에 비하여 비교적 복잡하고, 접합부 상세에 따라 변화되는 경우가 많다. 접합부의 항복내력은 접합부에 관한 실험 자료로부터 추정할 수 있으나, 그것에 기초하여 항복내력식을 결정하여도 일반적인 적용성의 문제가 남는다. 이것에 비하여 접합부의 최대내력은 실험값에 의해서 비교적 쉽게 파악할 수가 있고, 또한 접합부의 파괴상황으로부터 최대내력에 영향을 주는 중요한 요소를 추정하여 그 요소에 포함된 내력식을 결정하는 것이 비교적 용이하다.

그러므로 접합부의 내력은 내력산정식을 최대내력에 관하여 규정해 두고, 접합부의 항복내력은 최대내력식에 적절한 저감계수를 곱하여 결정하는 방법으로 산정한다.

일반적으로 접합부 최대내력의 내력산정식은 접합부 내력을 지배한다고 보는 접합요소 또는 피접합재의 인장강도를 이용하여 구해지기 때문에, 항복내력 산정을 할 경우에 이용되는 저감계수는 접합요소 또는 피접합재 항복비를 이용한다.

접합부의 설계에 이용되는 접합부의 저감계수 ϕ 는 접합부 내력의 실험값의 평균값과 변동계수, 분리계수, 신뢰성 지표, 공칭내력에 따라 변화되는데, 일반적으로 저감계수값은 실제 구조물에 있어서의 변동, 불확실성을 고려하여 1.0 이하의 값이 된다.

10.2 이음 설계

10.2.1 보의 이음

보 부재는 이음을 하지 않는 것이 이상적이지만, 실제 강구조물의 설계에서는 다음 두 가지 이유로 인하여 보의 이음을 실시하고 있다. 첫 번째는 보의 스패인이 길기 때문에 철골부재의 가공, 운반, 설치 등의 용이성 및 강재의 정착 등을 고려하여 보부재를 적당한 길이로 공장에서 제작하여 현장에 운반한 후 보의 이음을 하는 경우이고, 두 번째는 보의 길이가 운반 및 설치에 지장이 없으나 기둥-보 접합부의 구조 및 시공성을 고려하여 기둥에 보의 일부를 공장에서 접합한 브래킷(bracket)형식에 보의 단부로부터 1~2m 정도 위치에서 보의 중간 부분을 이음하는 경우이다.

보의 이음방법은 그림 10.2와 같이 고력볼트에 의한 이음과 용접에 의한 이음 및 용접과 고력볼트를 병용하는 이음방법이 이용되고 있다. 현실의 구조물에서는 내력확보 및 현장에 있어서 시공성을 고려하여 일반적으로 신뢰성이 높은 고력볼트 이음이 많이 이용되고 있는 경우가 많으나, 용접이음 및 고력볼트와 용접접합의 병용이음도 이용되고 있다.

1) 설계방법

보 이음은 그림 10.2(a) 또는 (b)와 같이 이음판(splice plate)을 이용한 고력볼트 이음이나 그림 10.2(c)와 같이 맞댐용접을 사용한다. 공장제작의 경우 대부분 웨브까지 맞댐용접이 사용되고 현장 설치의 경우 그림 10.2(d)와 같이 웨브는 고력볼트로 현장에서 체결한 후 플랜지는 맞댐용접을 사용한다. 맞댐용접이 완벽하게 실시된 경우 이음부 강도는 원래 보의 강도와 같다. 또한 이음 재료는 원래 부재의 역할을 할 수 있어야 한다. 즉, 플랜지를 연결한 이음판은 플랜지의 역할을 해야 하고 웨브를 연결한 이음판은 웨브의 역할을 해야 한다. 부재에서 최대전단력과 최대모멘트가 같은 위치에서 동시에 일어나는 경우는 드물기 때문에 이음부의 강도를 부재단면의 강도와 동일하게 설계하는 것은 비경제적이다.

이음의 위치는 변곡점(모멘트가 0이 되는 위치)근처에서 하는 것이 유리하다. 변곡점은 하중의 조건에 따라서 이동하므로 이음부의 모멘트와 전단력은 다를 수 있다. 일반적으로 이음은 휨모멘트나 전단력 중 하나가 작은 부분에서 하고 소성설계일 경우 이음이 변곡점 근처에 위치하기 때문에 휨모멘트가 작은 부분에서 해야 한다. 하중의 상태에 따라서 이음부의 응력상태가 변하기 때문에 이음부의 소요강도는 신중하게 결정되어야 한다.

이음부의 강도는 비경제적이지만 부재설계강도($\phi_b M_n$, $\phi_v V_n$)를 소요강도로 설계하는 전강도설계법과, 이음부의 소요강도(M_u , V_u)와 부재설계강도의 50% 중 큰 값으로 설계하는 존재응력설계법이 있다.

보 이음 설계는 부재와 소요강도가 주어진 상태에서 이음판, 고력볼트의 개수와 배치, 용접설계 등을 결정하는 것으로 다음과 같은 순서로 한다.

(1) 보 이음부의 내력

보 이음부의 내력은 이음부의 소요강도(M_u, V_u) 이상이며, 또한 부재설계강도의 50% 이상으로 설계해야 하고, 설계자가 이음부의 중요도를 판단하여 그 이상의 값을 선정하여야 한다. 여기서 부재의 설계강도는 다음과 같다.

$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = 0.9 Z F_y \quad (10.2)$$

$$\phi_v V_n = \phi_v (0.6 F_y) A_w \quad (10.3)$$

여기서, M_n : 보의 공칭모멘트(N·m)

V_n : 보의 공칭전단강도(N)

M_p : 전소성모멘트(N·m)

A_w : 웨브 단면적(mm²)

ϕ_b : 휨강도 저감계수(= 0.9)

ϕ_v : 전단강도 저감계수(= 0.9)

(다만, $h/t_w \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{E_y}}$ 인 압연 H형강의 웨브는

$$\phi_v = 1.0)$$

(2) 플랜지 이음부 소요인장강도

플랜지 이음판은 인장력에 대한 항복 및 파단을 검토하여 설계하며, 플랜지 이음판의 폭은 사용 부재의 플랜지 폭과 같거나 작도록 한다.

플랜지 이음부의 설계에 필요한 플랜지 이음판의 소요인장강도 T_u 는 소요 휨강도 M_u 를 이용하여 플랜지중심의 팔길이로 나눈 값을 이용하되 다음 값 중 큰 값으로 한다.

$$T_u \geq \frac{M_u}{d - t_f} \quad (10.4a)$$

$$T_u \geq \phi_b F_y A_f / 2 \quad (10.4b)$$

여기서, d : 보의 춤(mm)

t_f : 플랜지의 두께(mm)

(3) 웨브 이음부 소요전단강도

웨브 이음판은 전단력을 모두 부담하여야 한다. 또한 플랜지 이음판만으로 휨모멘트 전체를 부담하지 못하는 경우 웨브 이음판이 부족한 휨모멘트를 부담하여야 한다.

웹 이음판의 소요전단강도 V_{wu} 는 이음부의 소요전단강도 V_u 이상 또한 부재설계강도의 50% 이상으로 설계한다. 따라서 웹 이음판의 소요전단강도는 다음 값 중 큰 값으로 한다.

$$V_{wu} \geq V_u \quad (10.5a)$$

$$V_{wu} \geq \phi_v V_n / 2 \quad (10.5b)$$

2) 고력볼트 집합에 의한 보의 이음

(1) 플랜지 이음판 소요 총단면적과 순단면적

플랜지 이음판의 소요 총단면적 A_{gt} 는 재료의 항복강도(F_y)를 이용하여 식(10.6)과 같이 구하고, 순단면적 A_{nt} 는 인장강도(F_u)를 이용하여 식(10.7)과 같이 구한다.

$$A_{gt} \geq \frac{T_u}{\phi F_y} = \frac{T_u}{1.0 F_y} \quad (10.6)$$

$$A_{nt} \geq \frac{T_u}{\phi F_u} = \frac{T_u}{0.75 F_u} \quad (10.7)$$

(2) 플랜지 이음판 고력볼트 개수

플랜지 이음판의 인장력에 대한 고력볼트 개수 N_b 는 다음과 같이 구한다.

$$N_b \geq \frac{T_u}{\phi R_n} \quad (10.8)$$

여기서, ϕR_n : 고력볼트의 설계미끄럼강도

이 때 플랜지 이음판은 인장재에 해당하므로 식(5.7)과 식(5.8)을 이용하여 블록전단과단에 대한 안전성을 검토하여야 한다.

(3) 웹 이음판의 소요 총단면적과 순단면적

웹 이음판의 소요 총단면적 A_{gv} 는 항복강도를 이용한 식(10.9)와 순단면적 A_{nv} 는 인장강도를 이용한 식(10.10)으로 구한다.

$$A_{gv} \geq \frac{V_{wu}}{\phi(0.6 F_y)} \quad (\phi = 1.0) \quad (10.9)$$

$$A_{nv} \geq \frac{V_{wu}}{\phi(0.6F_u)} \quad (\phi = 0.75) \quad (10.10)$$

(4) 웨브 이음판의 고력볼트 개수
전단력에 대한 고력볼트 개수 N_b 는 다음과 같다

$$N_b \geq \frac{V_{wu}}{\phi R_n} \quad (10.11)$$

■ 예제 10.1 보 이음부 설계(존재응력설계법)

H형강보 H-500×200×10×16(SS400)의 이음부를 설계하시오.
단, 이음부의 계수하중에 의한 소요휨강도 $M_u = 300\text{kN} \cdot \text{m}$, 소요전단강도 $V_u = 250\text{kN}$ 이고, 고력볼트는 M22(F10T)를 사용한다.

[풀이]

(1) 이음부의 소요강도

① 소요휨강도

$$\begin{aligned} & \text{H-500} \times 200 \times 10 \times 16 (Z = 2,180 \times 10^3 \text{mm}^3) \\ & \phi_b M_n = 0.9 Z F_y \quad (10.2) \\ & = 0.9 \times 2,180 \times 10^3 \times 235 \\ & = 461.1 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm} = 461.1 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$M_u = 300\text{kN} \cdot \text{m} > \phi_b M_n / 2 = 230.6\text{kN} \cdot \text{m} \text{ 이므로}$$

∴ 소요휨강도는 $M_u = 300\text{kN} \cdot \text{m}$

② 소요전단강도

$$\begin{aligned} \phi_v V_n &= 1.0 \times (0.6 F_y) A_w \quad (10.3) \\ &= 1.0 \times 0.6 \times 235 \times 500 \times 10 \\ &= 705,000\text{N} = 705\text{kN} \end{aligned}$$

$$V_u = 250\text{kN} < \phi_v V_n / 2 = 352.5\text{kN} \text{ 이므로}$$

소요전단강도 $V_u = 250\text{kN}$

(2) 플랜지 이음판 설계

플랜지 이음판은 인장재로 설계한다.

① 플랜지 이음판의 소요인장강도

$$T_u = \frac{M_u}{d - t_f} = \frac{300 \times 10^3}{(500 - 16)} = 619.8 \text{ kN} \quad (10.4a)$$

② 플랜지 이음판의 고력볼트 개수

M22(F10T) 고력볼트 한 개의 설계미끄럼강도(2면전단)

$$\phi R_n = \phi \mu h_{sc} T_o N_s = 0.85 \times 0.5 \times 1.0 \times 200 \times 2 = 170 \text{ kN} \quad (4.13)$$

$$\therefore N_b \geq \frac{T_u}{\phi R_n} = \frac{619.8}{170} = 3.64 \rightarrow 2\text{개씩 } 2\text{열 배치}$$

③ 플랜지 이음판의 소요단면적 및 소요두께

외부 이음판 1장의 폭은 200mm로 하며, 내부 이음판 2장의 폭은 각각 70mm로 가정한다.

인장항복에 대한 소요충단면적

$$A_{gt} \geq \frac{T_u}{\phi F_y} = \frac{619.8 \times 10^3}{1.0 \times 235} = 2,637 \text{ mm}^2 \quad (10.6)$$

$$t \geq \frac{2,637}{200 + 2 \times 70} = 7.8 \text{ mm}$$

인장파단에 대한 소요순단면적

$$A_{nt} \geq \frac{T_u}{\phi F_u} = \frac{619.8 \times 10^3}{0.75 \times 400} = 2,066 \text{ mm}^2 \quad (10.7)$$

$$t \geq \frac{2,066}{200 + 2 \times 70 - 4 \times 24} = 8.5 \text{ mm}$$

따라서 플랜지 이음판의 두께는 9mm로 한다.

이음판의 길이는 피치를 70mm, 연단거리를 45mm, 접합면 이격 거리를 10mm로 하면 $2 \times 70 + 4 \times 45 + 10 = 330 \text{ mm}$ 가 된다.

외부이음판은 PL-9×200×330, 내부이음판은 2PL-9×70×330으로 설계한다(접합부 상세도 그림 10.3 참조).

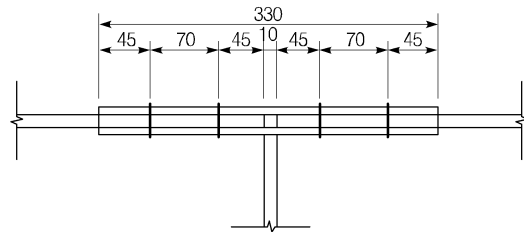


그림 10.3 플랜지 이음부

(3) 웨브 이음판 설계

웨브 이음판은 전단력만 부담하는 것으로 설계하고, 이음판은 양쪽 면에 설

치한다.

① 웨브 이음판 소요전단강도

$$V_{wu} = 352.5\text{kN}$$

② 웨브 이음판 소요 고력볼트 개수

2면 전단인 고력볼트의 설계미끄럼강도는 플랜지에서와 마찬가지로

$$\phi R_n = 170\text{kN}$$

소요 고력볼트 개수

$$\therefore \therefore N_b = \frac{352.5}{170} = 2.07 \rightarrow 4\text{개를 } 1\text{열 배치}$$

(전단력의 편심을 고려하여 여유있게 사용한다.)

③ 웨브 이음판 소요 단면적과 소요 두께

소요전단강도에 대한 소요충단면적 및 소요 두께

$$A_{gv} \geq \frac{V_{wu}}{(\phi 0.6 F_y)} = \frac{352.5 \times 10^3}{1.0 \times 0.6 \times 235} = 2,500\text{mm}^2 \quad (10.9)$$

$$t \geq \frac{2,500}{2 \times 330} = 3.8\text{mm}$$

소요전단강도에 대한 소요 순단면적

$$A_{nv} \geq \frac{V_{wu}}{(\phi 0.6 F_u)} = \frac{352.5 \times 10^3}{0.75 \times 0.6 \times 400} = 1,958\text{mm}^2 \quad (10.10)$$

$$t \geq \frac{1,958}{2(330 - 3 \times 24)} = 3.8\text{mm}$$

따라서 웨브 이음판 두께는 5mm로 한다.

웨브 이음판의 가로폭은 연단거리를 45mm로 하고, 접합면 이격거리는 10mm로 했으므로 $2 \times 45 \times 2 + 10 = 190\text{mm}$ 가 된다(그림 10.4).

따라서 웨브이음판은 2PL-5×190×330으로 설계한다.

지압강도의 검토는 생략한다.

3) 용접접합에 의한 보의 이음

용접접합으로 보를 이음하는 경우는 플랜지 부분과 웨브부분의 이음을 맞댐 용접으로 하는 방법과 이음판을 사용하여 모살용접하는 방법이 있다. 이음부의 응력전달에 있어서 플랜지의 이음은 휨모멘트를 부담하고, 웨브의 이음은 전단력만을 부담하는 것으로 한다.

플랜지 및 웨브를 포함한 전체단면을 맞댐용접으로 하면 전강도설계가 된다. 이 경우 맞댐용접에 있어서는 그 접합강도가 모재와 동일한 값을 얻을 수 있도록 작업성이 확보되어야 하고, 또한 플랜지 플레이트의 두께에 4mm 이상 차가 있을 때는 두꺼운 쪽의 판에 이음방향으로 1/2.5의 구배를 두어서 응력이 원활하게 전달되도록 하는 것이 필요하다. 현장용접으로 보의 이음을 하는 경우에는 루트간격을 적절히 확보하기가 어려우므로 맞댐용접을 피하는 것이 좋다.

4) 용접접합과 고력볼트를 병용한 보의 이음

용접과 고력볼트를 병용한 보의 이음은 플랜지 접합을 용접접합으로 하고, 웨브접합을 고력볼트로 접합하는 방법이다. 이 경우 보의 소요휨강도 M_u 는 플랜지의 맞댐용접접합으로, 보의 소요전단강도 V_u 이상 그리고 부재설계전단강도의 50%를 웨브의 고력볼트 접합으로 전달하는 방법이 많이 이용되고 있다. 보플랜지의 맞댐용접 목두께 단면적이 부족할 때에는 보플랜지에 덧판을 용접하여 보강한다.

또한 이 이음방법은 고력볼트접합을 먼저 시공하고 그 후에 용접접합을 시공하여야 하고, 플랜지의 맞댐용접을 완전하게 하기 위하여 웨브에 덧담재를 관통시킬 수 있도록 스캘롭(scallop)을 설치한다.

10.2.2 기둥 이음

기둥의 이음은 존재응력이 작은 곳에 설치하는 것이 이상적이지만, 공사현장에서 이음되는 경우는 보의 이음과 같이 제작, 운반, 시공 및 경제성을 고려하여 이음위치는 2~3층을 1 단위(절)로 하여 바닥판 위 1m 전후의 높이에 일정하게 설치하는 것이 일반적이다.

기둥이음의 종류는 그림 10.5와 같이 고력볼트 마찰접합, 고력볼트와 용접 접합의 병용, 전용접 접합의 3종류가 있으며, 시공성과 구조적인 면을 고려하여 선택한다.

그림 10.5(a)①은 단면 차이가 거의 없어 직접 이음판을 댄 경우이고, (a)②는 플랜지두께의 차이를 끼움 판(filler plate)으로 줄인 후 이음판을 댄 경우이고, (a)③은 단면 춤의 차이 때문에 맞댄판(butt plate)을 사용한 경우이다.

상부기둥 단면 춤과 하부기둥 단면 춤의 차이가 3cm보다 작을 경우 끼움판을 사용하고, 3cm 이상일 경우에는 맞댄판(butt plate)도 사용한다. 끼움판 두께는 $(0.5 \times \text{양단면 춤의 차이} - \text{세우기 여유폭})$ 이고 폭은 플랜지 폭과 같게 하고 상부 기둥의 플랜지 폭보다 크지 않게 한다.

기둥 이음의 설계는 아래와 같은 사항도 고려되어야 한다.

- 가) 설계응력은 시공시 안전을 고려하여 활하중을 무시하고 고정하중만이 작용한 압축력에 지진시 및 폭풍시 작용되는 수평력을 조합하여 발생하는 인장응력에 관해서도 안전하게 설계한다.
- 나) 이음판은 플랜지나 웨브 모두 양면이음판을 사용하고, 그 단면적 분포는 가능한 기둥단면과 일치하도록 한다.
- 다) 상하 기둥 단면의 폭이 약간씩 다를 경우는 상하 기둥의 중심선을 가능한 일치시키고, 이음판과 플랜지 사이에 생기는 틈에는 끼움판을 삽입하여 조정한다

1) 설계방법

고력볼트를 이용한 기둥 이음에는 이음판이 사용된다. 기둥 접합부는 서로 밀착되도록 가공하여 하중 전달이 원활하도록 하는 것이 원칙이고, 기둥이 압축력만 받는 경우를 포함하여 전단력, 휨모멘트를 받는 경우는 반드시 이음판을 사용하여야 한다.

기둥이 인장력을 받을 경우 이음판이 모든 하중을 부담하게 되나 압축력을 받을 경우 하중의 많은 부분이 기둥으로 직접 전달된다. 기둥 이음부에 인장응력이 발생하지 않고 이음부의 면을 페이스링 머신(facing machine) 또는 로터리 플레이너(rotary planer) 등의 절삭가공기를 사용하여 마감하고 충분히 밀착시키는 이음(metal touch)인 경우에는 밀착면으로 계수하중에 의한 압축강도 및 휨강도의 1/2이 전달된다고 가정할 수 있다. 따라서 계수하중에 의한 압축강도 및 휨강도의 1/2을 소요강도로 가정하여 설계할 수 있다.

기둥 접합부에서 하중의 형태에 따라 이음판의 고력볼트 배치 및 개수를 결정하고, 압축력 외에 다음 식에 의한 계수하중으로 발생할 수 있는 인장력을 부담하여야 한다.

$$0.9D \pm (1.3W \text{ 또는 } 1.5W) \quad (10.12)$$

즉, 고정하중과 풍하중에 대해 소요강도는 $0.9D - 1.3W$ 이고, 여기서 D 는 고정하중에 의한 압축력이고 W 는 풍하중에 의한 인장력이다.

$0.9D \geq 1.3W$ 일 경우 이음부는 인장력을 받지 않는다. 그러나 $0.9D < 1.3W$ 일 경우 이음부는 인장력을 받게 되고, 이음판의 설계인장강도 $\phi_t P_n$ 가 소요강도보다 커야 한다. 그렇지 않을 경우 적절한 인장이음 방법이 필요하게 된다.

기둥에 작용하는 전단력은 보통 미소하여 접합부의 플랜지나 웨브 그리고

맞댄판(butt plate)의 마찰력으로 지지된다. 그러나 소요전단강도가 기둥 이음판의 설계전단강도를 초과하는 경우 이음판은 적절한 연결 조건을 검토하여 설계하여야 한다.

(1) 기둥 이음부의 내력

기둥 이음부의 내력은 이음부의 소요강도(M_u, V_u, P_u) 이상 또한 부재설계강도의 50% 이상으로 설계하여야 하고, 설계자가 이음부의 중요도를 판단하여 그 이상의 값을 선정하여야 한다. 여기서 부재의 설계강도는 다음과 같다.

$$\phi_b M_n = 0.9 Z F_y \quad (10.13)$$

$$\phi_v V_n = 0.9 A_w (0.6 F_y) \quad (10.14)$$

$$\phi_t P_n = 0.9 A_g F_y \quad (10.15)$$

$$\phi_c P_n = 0.9 A_g F_y \quad (10.16)$$

여기서, A_g : 기둥의 단면적(mm²)

ϕ_b : 휨강도 저감계수(=0.9)

ϕ_v : 전단강도 저감계수(=0.9)

ϕ_t : 인장강도 저감계수(=0.9)

ϕ_c : 압축강도 저감계수(=0.9)

(2) 인장력을 받는 플랜지 이음부

인장력이 발생하는 플랜지의 이음판은 인장재로 설계한다. 플랜지 이음부의 설계에 요구되는 인장강도는 소요인장강도 이상 그리고 플랜지 인장강도의 50% 이상으로 설계한다.

따라서 소요인장강도는 다음 값 중 큰 값으로 한다.

$$T_u \geq P_{tu} \frac{A_f}{A_g} + \frac{M_u}{d - t_f} \quad (10.17a)$$

$$T_u \geq \frac{\phi_t P_n}{2} \frac{A_f}{A_g} + \frac{\phi_b M_n / 2}{d - t_f} \quad (10.17b)$$

(3) 플랜지 이음판의 소요단면적

① 이음판에 인장력이 작용할 경우

$$A_{nt} \geq \frac{T_u}{\phi F_u} \quad (\phi = 0.75) \quad (10.18a)$$

② 이음판에 압축력이 작용할 경우

$$A_{gc} \geq \frac{P_u}{\phi_c F_y} \quad (\phi_c = 0.9) \quad (10.18b)$$

(4) 웨브 이음판의 소요순단면적

웨브 이음판의 소요순단면적 A_{nv} 는 다음 값 중 큰 값으로 한다.

$$A_{nv} \geq \frac{V_{wu}}{\phi(0.6F_u)} \quad (10.19a)$$

$$A_{nv} \geq \frac{\phi_v V_n/2}{\phi(0.6F_u)} \quad (\phi = 0.75) \quad (10.19b)$$

2) 고력볼트 집합에 의한 기둥의 이음

고력볼트를 이용한 기둥이음은 다음의 순서로 한다.

(1) 웨브 고력볼트설계

웨브 이음판은 전단력을 모두 부담해야 하고 축방향력과 휨모멘트의 일부를 부담한다.

전단력에 대한 고력볼트 개수 N_b 은 다음 값 중 큰 값으로 한다.

$$N_b \geq \frac{V_u}{\phi R_n} \quad (10.20a)$$

$$N_b \geq \frac{\phi_v V_n/2}{\phi R_n} \quad (10.20b)$$

(2) 플랜지 고력볼트설계

플랜지 소요인장력에 대한 플랜지 이음판의 고력볼트 개수는 다음과 같다.

$$N_b \geq \frac{T_u}{\phi R_n} \quad (10.21)$$

■ 예제 10.2

H-350×350×12×19를 사용한 기둥의 이음부를 소요강도에 따른 미끄럼이 일어나지 않도록 마찰접합으로 설계하시오. 기둥이음부의 계수하중에 의한 소요강도는 $M_u = 170\text{kN}\cdot\text{m}$, $V_u = 200\text{kN}$, $P_u = 3,000\text{kN}$ 이고, 강재는 SM490이며, 고력볼트는 M20(F10T), 표준구멍을 사용한다.

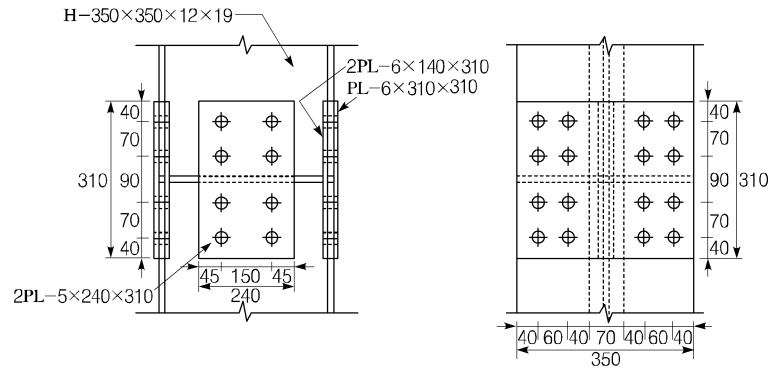


그림 10.6 예제 10.2

[풀이]

(1) 부재의 설계강도 검토

$$\phi_b M_n = 0.9 Z F_y = 0.9 \times 2.55 \times 10^6 \times 325 = 746 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (10.13)$$

$$\phi_v V_n = 0.9 (0.6 F_y) A_w = 0.9 \times 0.6 \times 325 \times 350 \times 12 = 737 \times 10^3 \text{ N} \quad (10.14)$$

$$\phi_c P_n = 0.9 F_y A_g = 0.9 \times 325 \times 1.739 \times 10^4 = 5,087 \times 10^3 \text{ N} \quad (10.16)$$

계수하중에 의한 소요휨강도는 설계휨강도의 23%이고 소요전단강도는 설계전단강도의 27% 소요압축강도는 설계압축강도의 59%이다.

설계압축강도의 조합이 큰 값이 되므로 부재내력의 전체강도를 이음판에 대해 전강도설계방법을 택한다. 또한 접합부 단부의 면을 절삭마감하여 밀착되는 경우로 하며, 계수하중에 의한 소요강도의 1/2은 접촉면에 의해 직접 응력전달되는 것으로 설계한다.

(2) 플랜지 이음판 설계

플랜지의 외부 이음판 1장의 폭은 플랜지 폭과 같이 350mm로 하며, 내부 이음판 2장의 폭은 각각 140mm로 한다.

① 플랜지 이음판 소요압축강도

$$P_u = 1/2 \times \phi_c F_y A_f = 1/2 \times 0.9 \times 325 \times (350 \times 19) = 973 \times 10^3 \text{ N} = 973 \text{ kN}$$

② 플랜지 이음판 소요볼트 개수

2면 전단에 고력볼트의 설계미끄럼강도

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \mu h_{sc} T_c N_s \\ &= 1.0 \times 0.5 \times 1.0 \times 165 \times 2 = 165 \text{kN}\end{aligned}$$

소요볼트 개수

$$N_b = \frac{973}{165} = 5.9 \rightarrow 6 \text{ 개} \quad (10.21)$$

- ③ 플랜지 이음판의 소요단면적과 소요두께
소요압축강도에 대한 총단면적과 소요두께

$$A_{gc} = \frac{P_u}{\phi_c F_y} = \frac{0.973 \times 10^6}{0.9 \times 325} = 3,326 \text{mm}^2 \quad (10.18)$$

$$t = \frac{3,326}{350 + 2 \times 140} = 5.3 \text{mm}$$

따라서 외부 이음판 PL-6×350×310 과
내부 이음판 2PL-6×140×310을 사용한다.

- (3) 웨브 이음판 설계

웨브의 이음판은 웨브의 압축력과 전장도를 부담하는 것으로 설계하며,
이음판의 폭은 각각 240mm로 한다.

- ① 웨브 이음판의 소요압축강도

$$\begin{aligned}P_u &= 1/2 \times \phi_c F_y A_w = 1/2 \times 0.9 \times 325 \times (350 \times 12) \\ &= 614 \times 10^3 \text{N} = 614 \text{kN}\end{aligned}$$

- ② 웨브 이음판의 소요고력볼트 개수 산정

$$N_b = \frac{614}{165} = 3.7 \rightarrow 4 \text{ 개, 4개씩 배치}$$

- ③ 웨브 이음판의 소요단면적과 소요두께
소요압축강도에 대한 총단면적과 소요두께

$$A_{gc} = \frac{P_u}{\phi_c F_y} = \frac{614 \times 10^3}{0.9 \times 325} = 2,099 \text{mm}^2$$

$$t = \frac{2,099}{240 \times 2} = 4.37 \text{mm} \rightarrow 5 \text{mm}$$

따라서 웨브 이음판은 2PL-5×240×310을 사용한다.

3) 용접접합에 의한 기둥의 이음

용접접합으로 기둥이음을 할 경우는 다음과 같은 방법으로 할 수 있다.

- (1) 이음부의 단면을 직접 맞댐용접으로 이음하는 방법
- (2) 이음부에 덧판을 이용하여 모살용접하는 방법
- (3) 이음부에 플랜지는 맞댐용접하고, 웨브는 고력볼트 접합으로 병용이음하는 방법(그림 10.7(a))

용접접합에 의한 기둥이음의 설계는 고력볼트접합에 의한 기둥이음의 설계와 같은 방법으로 산정하며, 기둥 이음부의 단면을 직접 맞댐용접하는 방법은 용접부의 내력이 모재와 동일한 값이 되므로 전강도설계가 비교적 용이하게 된다. 이음부의 소요강도가 작을 경우 부분용접 맞댐용접도 가능하다. 시공시에는 그림 10.7(b)와 같이 조립보조재를 사용하여 현장에서 볼트로 가조립한 후 현장용접을 한다.

10.3 | 접합부 설계

10.3.1 접합부의 거동

접합부의 일반적인 특징에 대하여 앞 절에서 이미 언급하였다. 실제 구조물에서는 완전강접 또는 완전회전인 접합은 없기 때문에 접합부의 형식은 완전강접 또는 완전 모멘트저항을 발휘할 수 있는 모멘트에 대한 비율에 따라 분류하는 것이 일반적인 관례이다. 그림 10.8과 같이 모멘트저항이 발휘할 수 있는 정도에 따라 전단(단순)접합은 0~20%, 반강접합은 20~90%, 강접합은 90~100% 범위의 모멘트에 대한 저항을 갖는 것으로 분류한다.

건축구조기준(KBC 2009)에서는 접합형식을 두 개의 형식으로 나누고 있는데, 접합부 저항의 정도에 따라 완전접합(Fully restrained: Type FR)과 부분접합(Partially restrained : Type PR)으로 분류하고 있다. 여기서 완전접합은 강접합을 가정한 것이고, 부분접합은 반강접합이나 단순접합을 가정한 것이다. 기둥-보 접합부에는 전단접합 또는 강접합이 사용되며 큰 보와 작은 보의 접합 시에는 주로 전단접합이 사용된다.

모든 접합부는 부재 단부의 회전을 구속하는 정도에 따라 보-기둥 접합부는 강접, 전단(단순) 또는 반강접으로 분류된다. 강접 접합부는 설계하중 상태에서 접합하는 부재들 사이의 원래 각도가 변화하지 않도록 유지하기 위해 충분한 강성을 가진 접합부이다. 전단 접합부는 회전 구속을 거의 하지 못할 것으로 보는 접합부이다. 반강접 접합부는 강접 접합부의 강성과 전단 접합부의 휨 사이에서 중간 정도의 모멘트 내력을 가지고 있는 접합부이다. 이것은 접합된 부재들 사이의 원래 각도를 유지하기에는 불충분한 강성을 가지고 있다. 강접 접합부는 전단과 휨 모멘트 전체에 저항하도록 설계된다. 전단 접합부는 접합부에서 휨 모멘트가 존재하지 않는다는 가정을 하고 전단력만을 전달하기 위해 설계된다. 반강접 접합부는 전단과 강접 접합부의 중간 값

을 가지는 전단과 모멘트에 대해 저항하도록 설계된다.

실제 접합부는 전단과 완전 강접 접합부 사이의 폭넓은 범위에서 회전저항에 대한 범위를 어느 정도 정할 필요가 있다. 그래서 90% 정도의 회전 또는 각도변화에 저항할 수 있는 접합부를 강접합으로 볼 수 있다. 유사한 방법으로 접합부는 접합된 부재들 사이의 각도가 약80%정도 변화하거나 마찰이 없는 힌지가 사용되는 경우에 전단접합으로 볼 수 있다. 또한 일반적으로 접합부의 회전 구속이 상대적인 변화를 방지하기 위해 필요한 값의 20~90%일 때 반강접으로 취급한다.

수직하중만을 받는 보에서 전단 접합부는 수직하중을 기둥에 충분히 전달할 수 있으며, 제작과 조립이 가장 쉽다. 따라서 강구조 건물에서 횡하중을 접합부가 아닌 대각 가새 또는 전단 벽체를 통해 얻을 때에는 전단접합부가 적절하다.

중층 건물에서(10~15층)는 보와 기둥의 휨을 통해 횡하중에 저항하는 것이 더 경제적이며, 이러한 경우 강접 접합부가 필요하다. 또 실제 일정 높이로 설계된 가새 또는 비가새건물에서 비탄성모멘트의 재분배는 골조의 전체 내력을 확보하는데 필수적이다. 따라서 접합부는 보의 소성모멘트에 저항하고 상당한 크기의 비탄성 회전능력을 가져야 한다.

1) 전단(단순) 접합부 (shear connections)

전단 접합부는 접합부의 회전이 단순보의 재단과 같이 휨모멘트에 대하여 충분히 회전할 수 있도록 연성이 요구되는 접합으로, 이러한 접합부는 기둥과 같은 지지부재에 휨모멘트를 전달하지 않고 전단력만을 전달하는 것으로 가정하여 설계할 수 있다. 그러나 실제 구조물의 전단 접합부는 어느 정도 휨모멘트 저항을 갖게 되는데 접합부에서 발생하는 모멘트 저항이 보의 고정단 모멘트에 비하여 충분히 작을 때는 전단 접합부라고 할 수 있다.

전단 접합부는 그림 10.9와 같이 접합방법이 간단하여 구조물의 공작 및 설치가 용이한 시공적인 특성과 보에 작용되는 휨모멘트를 기둥에 전달하지 않는 구조적인 특성으로 인해 고층건물의 튜브구조 형식에서 보-기둥 접합부나 저층 구조물, 공장 및 창고 건물 등과 같은 간단한 구조물에 많이 이용되고 있다.

전단 접합부는 연결재의 종류에 따라 플레이트 접합, 티 접합, 엔드플레이트 접합, 단일 Γ 형강 접합, 더블 Γ 형강 접합 등으로 분류되고, 이 중에서 플레이트 접합이 가장 일반적으로 사용되고 있다.

전단접합부의 전단연결재들은 고력볼트나 용접에 의하여 연결할 수 있는데 접합부의 제작 및 설치의 용이성을 고려하여 공장에서 기둥 플랜지에 전단연결재를 용접하고 현장에서 보 웹과 전단연결재를 고력볼트 접합하는 방법이 일반적으로 이용된다. 전단접합에서는 보의 전단력이 편심으로 작용하기 때문에 전단력 V 와 편심모멘트 $V \cdot e$ 에 대해 안전하도록 설계해야 한다.

2) 반강접 접합부(semi-rigid connections)

위에서 언급한 것과 같이 모멘트 저항능력이 20%~90% 정도인 접합부를 반강접합이라 말한다. 그러므로 모멘트 저항능력이 전혀 없는 단순 전단 접합부와 완전 모멘트 저항능력을 갖는 강접 접합부의 중간적인 거동특성을 나타낸다.

그림 10.10과 같이 등분포하중을 받는 보의 경우 단부 접합부의 회전저항에 따라서 최대 모멘트의 위치와 값이 달라짐을 볼 수 있다. 예를 들어 (d)의 경우에는, 단순지지인 (a)의 경우보다 최대모멘트가 50%에 불과함을 알 수 있고 강접합인 (b)의 경우의 75%에 불과함을 알 수 있다. 이와 같이 강접합의 경우보다 60%~70% 단부구속을 갖는 반강접합을 사용함으로써 부재의 단면을 감소시켜 강접합이나 전단접합보다 경제적인 설계가 가능하다.

일반적으로 플레이트 접합, 더블 I형강 접합, 엔드플레이트 접합 등이 반강접합부에 해당한다. 미국 ASD설계기준에서는 부분접합(Type 3)의 형식으로 분류하고 있으나 접합부 거동을 예측하는데 필요한 모멘트-회전각 관계곡선의 획득이 어려운 관계로 실제 설계에서는 많이 사용되고 있지 못하다. 한편 미국 LRFD설계기준에서는 부분접합(Type PR)으로 분류되고 있다. 일반적으로 소성해석을 통하여 건물이 설계되는 경우는 반강접합부는 사용하고 있지 않다.

3) 강접 접합부(rigid connections)

강접 접합부는 접합부가 모멘트 내력을 가지고 부재의 연속성이 유지되도록 충분한 회전강성을 갖는 접합으로 대표적인 강접합부의 형태는 그림 10.11과 같이 확장 엔드플레이트 접합, 스플릿 터 접합 등이 있다. 강접 접합부는 응력의 변화가 급격하며 응력집중으로 최대 응력이 발생하게 되는데 특히 패널 존의 기둥 플랜지와 웨브는 국부휨, 국부항복 등으로 파괴를 유발할 가능성이 높아지므로 이에 대한 충분한 검토를 필요로 한다. H형강 등의 형강을 사용하는 경우, 기둥과 보의 접합부는 기둥 관통형이 보통이며, 기둥 관통형의 기둥-보 접합부에서 일반적으로 사용되고 있는 강접합은 다음과 같다.

H형강 등 형강을 사용하는 경우, 기둥-보 접합부는 기둥 관통형이 보통이며, 이러한 경우에는 보 단부에 생기는 휨모멘트가 보 플랜지 위치에서 기둥에 집중력으로 작용한다. 이와 같이 보 단부의 휨모멘트가 클 경우에는 그림 10.12와 같이 기둥이 국부적으로 대변형을 일으키며 파괴를 유발한다. 따라서 이것을 방지하기 위하여 수평 스티프너(stiffener)를 설치해야 한다. 기둥 관통형이 기둥-보 접합부에서 일반적으로 사용되고 있는 강접 접합부는 다음과 같다.

기둥-보 접합부는 다음 사항을 고려하여 설계해야 한다.

- 가) 기둥-보 접합부를 구성하는 요소들은 구조물에 작용하는 계수하중에 대한 소요강도 이상이 되거나 또는 접합부와 충분한 내력을 발휘할 수 있는 강도 이상이 되도록 해야 한다.
- 나) 기둥-보 접합부는 구성요소가 설계강도의 50% 이상이 되도록 설계하는 것이 바람직하다.

- 다) 접합부 패널의 보 플랜지 위치에는 스티프너를 설치해야 한다.
- 라) 기둥-보 접합부에서 기둥 플랜지에 수직이며 웨브에 대하여 대칭인 집중하중을 받는 경우에 기둥 플랜지 및 웨브는 플랜지의 국부휨, 웨브의 국부항복, 웨브 크립플링에 대하여 설계한다.
- 마) 기둥-보 접합부에서 기둥 양측의 보 플랜지로부터 집중하중을 받는 경우에 기둥 웨브는 웨브 국부항복, 웨브 크립플링 및 웨브의 압축좌굴에 대하여 설계한다.
- 바) 큰 전단력을 받는 기둥의 웨브는 패널존 항복에 대하여 설계한다.

10.3.2 전단접합(단순접합) 설계

전단접합부는 전단만을 전달하고 모멘트는 전달할 수 없는 접합부이다. 따라서 전단 접합부를 가지고 있는 부재의 단부는 하중이 작용할 때 회전에 대해서 자유롭다고 가정한다. 물론, 이것은 최대 모멘트가 중앙에서 발생하며 단부모멘트가 감소되기 때문에 보의 단부는 모멘트에 대하여 안전하다.

단순지점으로 가정하는 전단접합부는 보를 거더의 웨브에 접합시키거나 보를 기둥의 플랜지 또는 웨브에 접합시키기 위해 강구조에서 폭넓게 사용되고 있다. 또한, 가새 골조에서 기둥-보 접합부는 일반적으로 전단접합부의 형태로 설치된다.

1) 기둥과 보의 접합

안전한 접합부 설계를 위해서는 아래의 사항들에 대해서 먼저 적절한 검토가 있어야 한다.

- 가) 고력볼트 설계강도
- 나) 용접부의 설계강도
- 다) 이음판의 인장항복 및 인장파괴
- 라) 이음판의 전단항복 및 전단파괴
- 마) 이음판의 블럭전단파단

집중하중을 받는 기둥의 플랜지와 웨브에 대해서는 아래의 설계기준도 만족하여 파괴가 발생되지 않도록 한다.

(1) 플랜지의 국부휨강도

플랜지에 수직으로 용접된 판에 적용된 인장력에 의해 힘을 받는 플랜지의 설계휨강도 $\phi_t R_n$ 은 7장(휨재)에 따라 산정한다.

(2) 웨브의 국부항복강도

그림 10.13과 같이 집중력이 작용하는 점에서 웨브필렛 선단부의 국부항복 설계강도 $\phi_t R_n$ 은 7장(휨재)에 따라 산정한다.

(3) 웨브 크립플링강도

집중하중을 받는 비보강 웨브의 설계압축강도 $\phi_c R_n$ 은 7장(휨재)에 따라 산정한다.

(4) 웨브의 압축좌굴강도

양쪽 플랜지에 집중압축력이 작용할 때 비보강 웨브의 설계 압축강도는 $\phi_t R_n$ 이고, 공칭강도 R_n 은 7장(휨재)에 따라 산정한다.

■ 예제 10.3 전단접합부 설계

다음 그림과 같이 계수하중에 의한 부재력 $V_u = 270\text{kN}$ 을 받는 고력볼트 마찰접합을 이용하여 단순접합부를 설계하시오. 기둥부재는 H-400×400×13×21(SM490)이고, 보 부재는 H-488×300×11×18(SS400)이다. 표준구멍을 사용한다.

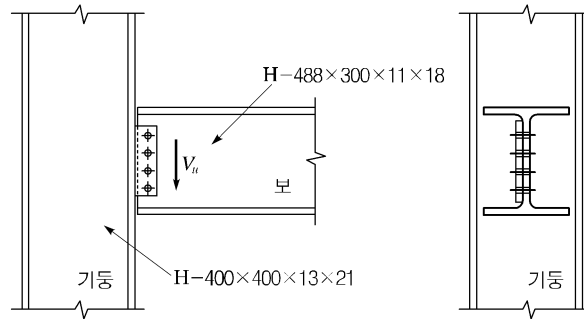


그림 10.14 예제 10.3

[풀이]

(1) 보 웨브의 볼트 설계

- ① 볼트형식을 가정 : 4-M20(F10T) 사용
- ② V_u 에 의해 작용하는 볼트의 수직 전단력

$$P_u = \frac{V_u}{n} = \frac{270}{4} = 67.5\text{kN}$$

③ 설계 미끄럼강도 검토

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \mu h_{sc} T_0 N_s \\ &= 1.0 \times 0.5 \times 165 \times 1 = 82.5\text{kN} \end{aligned}$$

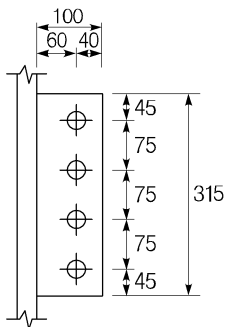
$$\phi R_n > P_u$$

(2) 플레이트

PL-10×100×310(SS400) 사용을 가정한다.

① 전단 항복강도

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.9 \times 0.6 (F_y A_g) \\ &= 0.9 \times 0.6 \times 235 \times (315 \times 10) = 399.7\text{kN} > 270\text{kN} \end{aligned}$$



② 전단 파괴강도

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 \times (0.6 F_u A_n) \\ &= 0.75 \times 0.6 \times 400 \times (315 - 4 \times 22) \times 10 \\ &= 408.6 \text{ kN} > 270 \text{ kN}\end{aligned}$$

③ 조합응력 검토

전단응력

$$A = 315 \times 10 = 3,150 \text{ mm}^2$$

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A} = \frac{270 \times 10^3}{3,150} = 86 \text{ N/mm}^2$$

편심 모멘트에 의한 휨응력

$$M = 270 \times 60 = 16.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{10 \times 315^2}{6} = 1.65 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$f_{ub} = \frac{M}{S} = \frac{16.2 \times 10^6}{1.65 \times 10^5} = 98 \text{ N/mm}^2$$

조합응력검토

$$f_u = \sqrt{f_{ub}^2 + 3f_{uv}^2} = \sqrt{98^2 + 3 \times 87^2} = 180 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi F_y = 0.9 \times 235 = 212 \text{ N/mm}^2 > f_u$$

O.K.

(3) 용접설계

① 플레이트 양면에 모살용접

모살치수 $s = 10 \text{ mm}$ 로 가정

유효용접길이

$$l_e = 315 - 2 \times 10 = 295 \text{ mm}$$

유효면적

$$A_w = l_e (2a) = 295 \times (2 \times 0.7 \times 10) = 4,130 \text{ mm}^2$$

② 전단력에 의한 전단응력

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A_w} = \frac{270 \times 10^3}{4,130} = 65 \text{ N/mm}^2$$

③ 편심휨모멘트에 의한 휨응력

$$S = a \frac{l_e^2}{6} = \frac{(2 \times 0.7 \times 10) \times 295^2}{6} = 2.03 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$f_{ub} = \frac{M}{S} = \frac{16.2 \times 10^6}{2.03 \times 10^5} = 80 \text{ N/mm}^2$$

④ 조합응력 검토

$$f_u = \sqrt{f_{ub}^2 + f_{uv}^2} = \sqrt{80^2 + 67^2} = 104\text{N/mm}^2$$

$$\phi(0.6F_y) = 0.9 \times 0.6 \times 235 = 127\text{N/mm}^2$$

$$\therefore f_u < \phi(0.6F_y)$$

2) 큰보와 작은보의 접합

큰보와 작은보의 접합은 작은 보의 단부접합 형식에 따라 두 가지 방법 즉, 그림 10.15(a)~(c)와 같이 작은 보를 단순보로 설계하는 방법과 그림 10.15(d)~(g)와 같이 연속보를 취급하는 방법이 있다.

작은보를 단순보로 취급하는 경우에는 큰보와 작은 보의 접합을 전단접합으로 설계하여 작은보로부터 전단력만을 큰보로 전달되도록 설계한다. 작은 보를 연속보로 취급하는 접합은 큰보와 작은보의 접합을 강접합에 가깝게 구성하여 작은보로부터 전단력을 큰보에 전달하고 휨모멘트는 큰보 양측의 작은보로 전달될 수 있도록 설계하는 방법이다. 위와 같은 접합방법을 이용할 때에는 큰보와 작은보가 겹치는 부분의 플랜지에 대해 2방향의 조합응력에 대한 검토가 필요하다.

전단하중만을 받는 전단접합부는 볼트의 전단파괴, 이음판의 지압파괴, 이음판의 블럭전단파괴와 같은 3가지의 한계상태가 문제시되므로, 이에 대한 설계를 다음과 같이 검토한다. 고력볼트의 전단은 이음판의 배치에 따라 1면 전단접합과 2면 전단접합으로 구분하여 설계한다.

(1) 웨브의 이음고력볼트

웨브에 사용한 고력볼트의 개수는 전단하중만을 지지하는 단순접합부로 가정하여 다음식을 이용하여 산정한다.

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} \quad (10.22)$$

여기서, V_u : 소요전단강도(N)

R_n : 고력볼트의 전단강도(N)

(2) 웨브 이음판의 설계강도

① 이음판의 전단파괴강도

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 0.6F_u A_{nv}$$

여기서, ϕ : 저감계수

A_{nv} : 전단저항 순단면적(mm²)

② 이음판의 전단항복강도

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = 0.6F_y A_{gv}$$

여기서, ϕ : 저감계수

A_{gv} : 전단저항 순단면적 (mm^2)

③ 이음판의 블럭전단파단 강도

이음판의 블럭전단은 접합부의 인장응력 저항면과 전단 저항면이 볼트 구멍주변에서 형성되어 파괴되는 것으로 5장 인장재에 제시된 식을 적용하여 검토한다.

■ 예제 10.4 큰보-작은보 접합

다음 아래의 그림과 같이 L-100×100×12에 고력볼트로 접합된 큰보와 작은보 H-400×200×200×8×13(SS400)의 안전성을 검토하시오. 고력볼트 M22(F10T)을 사용하고 소요전단력은 240kN이다. 고력볼트 설계볼트장력 $T_0 = 200\text{kN}$ 이다. 표준구멍을 사용한다.

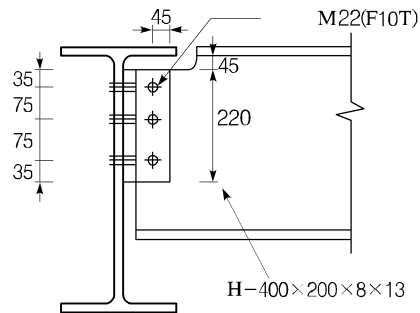


그림 10.16 예제 10.4

[풀이]

(1) M22(F10T)고력볼트 1개의 설계 미끄럼강도(1면전단)

$$\phi R_n = \phi \mu h_{sc} T_0 N_s$$

$$= 1.0 \times 0.5 \times 1.0 \times 200 \times 1 = 100\text{kN}$$

볼트 3개의 미끄럼강도

$$3 \times 100 = 300\text{kN} > P_u = 240\text{kN}$$

O.K.

(2) 보 웨브의 전단항복강도

$$\phi R_n = \phi (0.6F_y) A_g$$

$$= 0.9 \times (0.6 \times 235) \times (400 - 45) \times 8 \times 10^{-3}$$

$$= 360.4\text{kN} > 240\text{kN}$$

O.K.

(3) 보 웨브의 전단파단강도

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \times 0.6 A_{ns} F_u \\
 &= 0.75 \times 0.6 \times (400 - 45 - 3 \times 24) \times 8 \times 400 \times 10^{-3} \\
 &= 407.5 \text{ kN} > 240 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

O.K.

(4) 보 웨브의 블록전단파단

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (35 + 2 \times 75) \times 8 = 1,480 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= (35 + 2 \times 75 - 2.5 \times 24) \times 8 = 1,000 \text{ mm}^2 \\
 A_{gt} &= 45 \times 8 = 360 \text{ mm}^2 \\
 A_{nt} &= (45 - 0.5 \times 24) \times 8 = 264 \text{ mm}^2 \\
 F_u A_{nt} &= 400 \times 264 \times 10^{-3} = 105.6 \text{ kN} \\
 0.6 F_u A_{nv} &= 0.6 \times 400 \times 1,000 \times 10^{-3} = 240 \text{ kN} \\
 F_u A_{nt} &< 0.6 F_u A_{nv} \text{ 이므로} \\
 \phi R_n &= \phi (F_y A_{gt} + 0.6 F_u A_{nv}) \\
 &= 0.75 (235 \times 360 + 0.6 \times 400 \times 1,000) \times 10^{-3} \\
 &= 243.5 \text{ kN} > 240 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

O.K.

(5) Γ 형강의 전단

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= (220 - 3 \times 24) \times 12 = 1,776 \text{ mm}^2 \\
 \phi R_n &= \phi 0.6 F_u A_{nv} \\
 &= 0.75 \times 0.6 \times 400 \times 1,776 \times 10^{-3} \\
 &= 319.7 \text{ kN} > 240 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

O.K.

10.3.3 강접합(모멘트 접합) 설계

보-기둥 강접합 접합부는 보 단부에서 휨 모멘트, 축력, 전단력을 보와 기둥 사이의 각도 변화 없이 기둥에 전달하기 위해서 적합한 강도와 강성을 가져야 한다. 주축에 대한 H형 보의 휨에서 전단은 주로 웨브에 의해 지지된다. 따라서 보 웨브와 기둥의 접합부를 통하여 기둥에 직접적으로 전달될 수 있다. H형강 보에서 주축에 대한 휨 모멘트는 보 플랜지에 의해서 저항된다. 따라서 모멘트는 보 플랜지에서 작용하는 축력과 같은 역할을 하는 유효 인장-압축력으로 분해될 수 있다. 플랜지에 작용하는 힘 P_{uf} 은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d_m} \quad (10.23)$$

여기서, M_u : 보 단부 소요휨강도(MPa)

P_{uf} : 보 플랜지에 분해된 힘(kN)

d_m : 플랜지 힘 사이의 작용길이(mm)

중력이 작용할 때와 마찬가지로 보 단부의 소요휨강도에서 힘 P_{uf} 는 인장력을 기둥에 전달하는 상부 플랜지, 압축력을 전달하는 보 플랜지를 이용하여 그림 10.17(a)에 나타낸 것과 같은 방향으로 작용한다.

강접합에 대한 접합부 상세로서 설계 시 가장 일반적으로 사용하는 접합상세를 그림 10.17과 그림 10.18에 나타내었다. 접합부는 용접되거나 고력볼트를 사용하여 접합될 수 있다. 골조에서 기둥은 양쪽 플랜지 또는 한 쪽 플랜지에만 보가 접합된다.

보와 기둥 플랜지가 직접 용접된 접합부를 그림 10.17(a)에 나타내었다. 여기서 보 플랜지는 완전용입용접을 사용하여 기둥 플랜지에 용접된다. 보 웨브를 기둥 플랜지에 접합시키는 플레이트는 기둥에 공장용접되고 보는 현장 고력볼트접합된다. 이러한 단계로 보가 설치되면 보 플랜지가 기둥에 현장 용접될 수 있도록 하는 위치에 있게 된다. 전단 플레이트는 전단에 대해서만 저항하기 위해 설계된다. 이러한 강접 접합부는 매우 정밀한 오차조정이 필요하다. 실제로 철골가공공장에서 제작된 보의 길이와 춤은 약간의 오차가 있다. 또한, 보를 접합시키는 기둥은 자체적으로 오차를 발생시킬 것이다. 이런 오차는 그림 10.17(a)에서 나타낸 현장용접시에 고려되어야 한다.

그림 10.17(b)는 전체적으로 구속된 용접 모멘트접합부의 일반적인 형태를 보여주고 있다. 이것은 지지되는 보의 상부 플랜지에서 인장력을 모살 용접에 의해 상부 플랜지 플레이트에 전달시키고 전체 완전용입용접에 의해 상부 플랜지 플레이트에서 기둥으로 전달시킨다. 하부 플랜지 플레이트는 하부 플랜지의 힘을 기둥 플랜지에 전달시키기 위해 설치된다. 웨브 접합부 플레이트는 기둥 플랜지에 공장 용접되고 보 웨브에는 현장 고력볼트접합(그림 10.17(b))된다. 현장용접은 수평방향 용접이 되도록 하여야 하며, 맞댐용접보다 모살 용접이 선호된다. 따라서 용접이 플랜지의 상부에 위치될 수 있도록 하기 위해 상부 플랜지 플레이트는 보통 보 플랜지의 폭 보다 좁게 만들어져야 한다.

하지만, 하부 플레이트는 용접을 플레이트의 상부에 두어 상방향 용접을 피하도록 하기 위해 보 플랜지보다 넓게 제작된다. 이런 경우에 완전용입용접을 기둥에 완전히 접합시키기 위해서 뒷댐재(backing strip)를 보 상부 플랜지와 상부 플랜지 플레이트 사이에 둔다.

그림 10.18(a)는 플랜지 플레이트가 고력볼트로 접합된 기둥-보 모멘트 접합부를 보여주고 있다. 여기서 모멘트는 플랜지 플레이트에 의해 저항하고 기둥 플랜지는 공장용접, 보 플랜지는 현장고력볼트접합된다. 보의 전단력은 수직 플레이트에 의해 기둥에 전달되고 보 웨브는 현장볼트접합된다고 가정한다. 플랜지 플레이트 접합부에서 여유 구멍은 압연, 제작, 시공 오차를 보충하여 접합부 형태의 현장 조립을 돕는다.

그림 10.18(b)의 확장 엔드플레이트 모멘트접합부는 보의 단부에 공장 용접된 다음 기둥 플랜지에 현장 고력볼트접합된 보 춤보다 더 큰 길이의 플레이트로 구성된다. 보의 휨 인장력을 기둥 플랜지에 전달시키고 보 단부 전단력에 대한 저항을 돕는 역할을 고력볼트로 체결된 확장 엔드플레이트가 수행하게 된다.

■ 예제 10.5 강접합부(모멘트 접합부) 설계

다음 그림과 같이 계수하중에 의한 부재력 $M_u = 500\text{kN} \cdot \text{m}$, $V_u = 200\text{kN}$ 을 받는 강접합부를 설계하시오. 기둥부재는 H-400×400×13×21(SM490, $r = 22\text{mm}$)이고, 보 부재는 H-588×300×12×20(SS400)이고 표준구멍으로 한다.

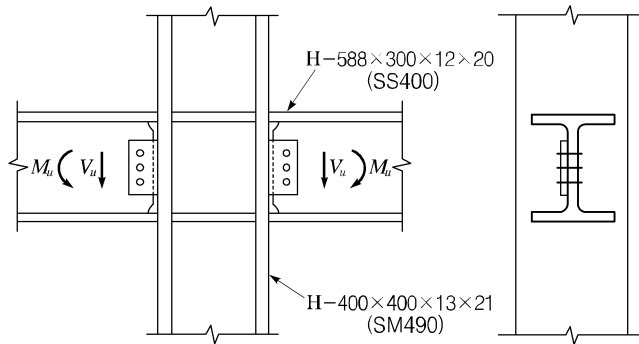


그림 10.19 예제 10.5

[풀이]

(1) 보 플랜지의 용접설계

① 소요휨강도에 의한 보 플랜지의 인장력

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d - t_f} = \frac{500 \times 10^3}{588 - 20} = 880\text{kN}$$

② 보 플랜지의 인장항복강도

인장강도

$$\phi P_{yf} = \phi A_f F_{by} = 0.9 \times 300 \times 20 \times 235 \times 10^{-3} = 1,269\text{kN}$$

$P_{uf} < \phi P_{yf}$ 이므로 소요휨강도는 보 플랜지가 지지하는 것으로 하며, 완전 용입 맞댐용접을 한다.

(2) 보웨브 고력볼트 설계

전단력만 지지하는 것으로 가정한다.

① 설계미끄럼강도 검토(M20(F10T)를 사용)

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \mu h_{sc} T_0 N_s \\ &= 1.0 \times 0.5 \times 1.0 \times 165 \times 1 = 82.5 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$n \geq \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{200}{82.5} = 2.4 \text{ 개}$$

∴ 3-M20(F10T)사용

(3) 웨브 플레이트 설계

PL-9×90×230(SM490)사용을 가정한다.

① 전단 항복강도

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.9 \times (0.6 F_y A_g) \\ &= 0.9 \times 0.6 \times 325 \times (230 \times 9) \times 10^{-3} = 403.7 \text{ kN} > 200 \text{ kN}\end{aligned}$$

② 전단 파괴강도

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0.75 \times (0.6 F_u A_n) \\ &= 0.75 \times 0.6 \times 490 \times (230 - 3 \times 22) \times 9 \\ &= 325.5 \text{ kN} > 200 \text{ kN}\end{aligned}$$

(4) 기둥 플랜지에 플레이트 용접

모살 사이즈 $s = 7.0 \text{ mm}$ 인 양면 모살용접으로 설계한다.

유효 용접길이

$$l_e = 230 - 2 \times 7 = 216 \text{ mm}$$

유효면적

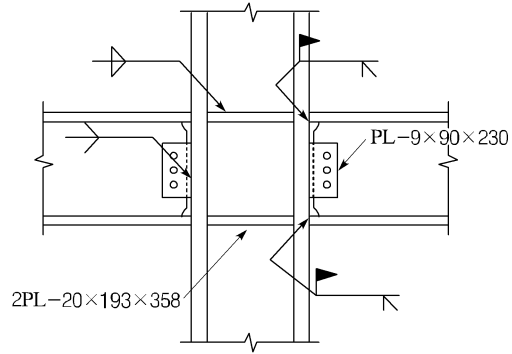
$$A_w = l_e (2a) = 216 \times (2 \times 0.7 \times 7) = 2,097 \text{ mm}^2$$

플레이트 용접부의 검토

$$\begin{aligned}\phi F_w A_w &= 0.9 (0.6 F_y) A_w \\ &= 0.9 \times 0.6 \times 325 \times 2,097 \times 10^{-3} \\ &= 368 \text{ kN} > 200 \text{ kN}\end{aligned}$$

(5) 집중하중을 받는 기둥웨브 및 플랜지 강도 검토

계산과정을 생략할 경우 기둥의 폭과 일치하고 두께는 보의 플랜지 두께와 같은 스티프너를 사용하면 된다.



즉 PL-20×193×358을 사용한다.

■ 예제 10.6

다음의 그림과 같이 계수하중에 의한 부재력 $M_u = 500\text{kN}\cdot\text{m}$, $V_u = 300\text{kN}$ 을 받는 기둥-보 접합부를 설계하시오. 기둥부재는 H-400×400×13×21 (SM490, $r = 22\text{mm}$) 이고, 보부재는 H-488×300×11×18 (SS400)이다.

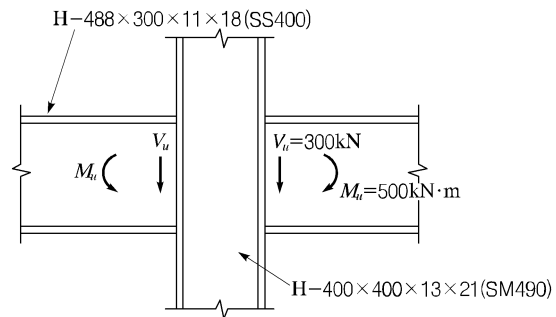


그림 10.20 예제 10.6

[풀이]

(1) 보 단부의 용접설계

① 보 플랜지 용접설계

소요휨강도에 의한 보 플랜지의 인장력

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d_b - t_f} = \frac{500 \times 10^3}{488 - 18} = 1,064\text{kN}$$

보 플랜지의 항복 인장항복강도

$$\phi P_{yf} = 0.9 A_f F_y = 0.9 \times 300 \times 18 \times 235 \times 10^{-3} = 1,142 \text{ kN}$$

$\phi P_{yf} > P_{uf}$ 이므로 소요힘강도는 보 플랜지가 지지하는 것으로 한다.

∴ 보 플랜지는 완전용입 맞댐용접을 한다.

② 보 웨브 모살용접

$$V_u = 300 \text{ kN}$$

최소모살사이즈 $s = 8 \text{ mm}$ 로 가정, 용접길이(스캘럽 반경 35mm)

$$A_w = l(2a) = 382 \times (2 \times 0.7 \times 8) = 4,278 \text{ mm}^2$$

전단항복강도 검토

$$\begin{aligned} \phi 0.6 F_w A_w &= 0.9 \times 0.6 \times 235 \times 4,278 \times 10^{-3} \\ &= 543 \text{ kN} > V_n = 300 \text{ kN} \end{aligned}$$

(2) 집중하중을 받는 웨브 및 플랜지 강도

① 기둥 플랜지의 국부힘강도

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.9 \times 6.25 t_f^2 F_{yf} \\ &= 0.9 \times 6.25 \times 21^2 \times 325 \times 10^{-3} = 806 \text{ kN} < 1,064 \text{ kN} \end{aligned} \quad \text{N.G.}$$

② 기둥 웨브의 국부항복강도

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1.0 \times (5k + l_c) t_w F_{yw} \\ &= 1.0 \times [5 \times (21 + 22) + 18] \times 13 \times 325 \times 10^{-3} \\ &= 984 \text{ kN} < 1,064 \text{ kN} \end{aligned}$$

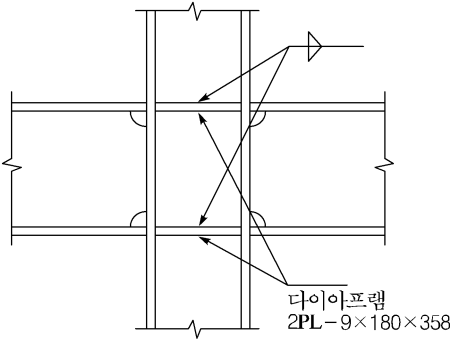
③ 기둥 웨브의 클리플링 강도

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times 0.8 t_w^2 \left[1 + 3 \frac{l_c}{d} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \\ &= 0.75 \times 0.8 \times 13^2 \left[1 + 3 \frac{18}{400} \left(\frac{13}{21} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{205,000 \times 325 \times 21}{13}} \times 10^{-3} \\ &= 1,121 \text{ kN} > 1,064 \text{ kN} \end{aligned} \quad \text{O.K.}$$

④ 기둥 웨브의 압축좌굴강도

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} \\ &= 0.9 \times \frac{24 \times 13^3 \times \sqrt{205,000 \times 325}}{(400 - 21 \times 2 - 22 \times 2)} \\ &= 95 \text{ kN} < 1,064 \text{ kN} \end{aligned} \quad \text{N.G.}$$

- ⑤ 스티프너 설계(SM490사용)
- ①항과 ④항에 의해서 스티프너가 요구됨
- 스티프너의 필요단면적



$$A_r = \frac{P_{uf} - \phi R_n}{\phi F_{yst}} = \frac{(1,064 - 806) \times 10^3}{0.85 \times 325} = 934 \text{mm}^2$$

기둥 웨브의 양면에 보 플랜지의 폭과 일치하게 스티프너를 설치한다.
두께를 9mm로 가정하면

$$A_{st} = 2 \times 9 \times 200 = 1,800 \text{mm}^2 > A_r = 934 \text{mm}^2$$

웨브의 양측에 보 플랜지와 똑같은 두께의 다이아프램 2PL-9×180×358을 설치함.

■ 예제 10.7

다음 그림과 같이 H-400×200×8×13을 사용한 보의 모살용접 안정성을 검토하시오. 소요강도 $M_u = 140 \text{kN} \cdot \text{m}$, $V_u = 120 \text{kN}$ 이고, 강재는 SM400이다.

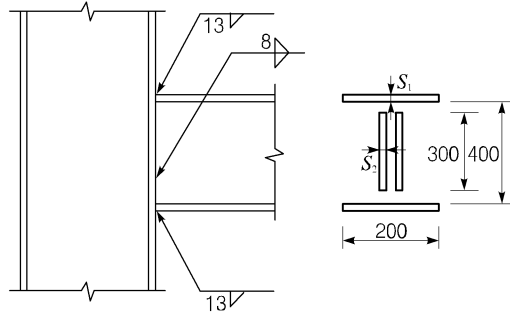


그림 10.21 예제 10.7

[풀이]

(1) 유효 목두께

① 플랜지

$$a = 0.7 s_1 = 0.7 \times 11 = 7.7 \text{mm}$$

② 웨브

$$a = 0.7 s_2 = 0.7 \times 6 = 4.2 \text{mm}$$

(2) 용접부의 단면2차모멘트 및 웨브부의 단면적

$$\begin{aligned}
 I_w &= 2 \left[\frac{t_{ww} h_1^3}{12} + t_{wf} B \left(\frac{H}{2} \right)^2 + \frac{B t_{wf}^3}{12} \right] \\
 &= 2 \left[\frac{4.2 \times 300^3}{12} + 7.7 \times 200 \left(\frac{400 + 7.7}{2} \right)^2 + \frac{200 \times 7.7^3}{12} \right] \\
 &= 1.47 \times 10^8 \text{mm}^4 \\
 A_{ww} &= 2 t_{ww} h_1 = 2 \times 4.2 \times 300 = 2,520 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

(3) 플랜지 검토

$$y = \frac{H}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{mm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_u}{I_w} y = \frac{140 \times 10^6}{1.47 \times 10^8} \times 200 = 190 \text{N/mm}^2$$

$$\phi F_w = \phi 0.6 F_y$$

$$= 0.9 \times 0.6 \times 235 = 127 \text{N/mm}^2 < \sigma_w$$

N.G.

(4) 웨브 검토

$$y_1 = \frac{h_1}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{mm}$$

$$\sigma_{wm} = \frac{M_u}{I_w} y_1 = \frac{140 \times 10^6}{1.47 \times 10^8} \times 150 = 143 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{V_u}{A_{ww}} = \frac{120 \times 10^3}{2,520} = 48 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{wv} = \sqrt{\sigma_{wm}^2 + \tau^2} = \sqrt{143^2 + 48^2} = 151 \text{N/mm}^2 > 127 \text{N/mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

∴ 안전

10.3.4 패널존의 전단강도

패널존은 강접합의 기둥-보 접합부에 기둥과 보로 둘러싸인 부분으로 그림 10.22에서 빗금친 부분에 해당한다. 패널존에 수평하중이 작용하는 경우는 상하 기둥의 단부와 좌우 보의 단부로부터 커다란 전단력과 휨모멘트가 작용하므로 패널존에 복잡한 응력분포가 나타난다. 이 경우에 패널존의 전단항복에 의한 과도한 전단 변형으로 골조 전체의 안전에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 패널존의 판 두께에 대한 충분한 검토를 통하여 전단강도와 강성을 높일 필요가 있다.

골조안정에 대한 패널존의 변형의 영향이 고려되지 않은 경우, 전단력과 압축력을 받는 패널존의 설계전단강도는 $\phi_t R_v$ 이고, 공칭전단강도 R_v 은 다음 식에 따라 산정한다.

$$\textcircled{1} P_u \leq 0.4P_y \text{인 경우} \quad (10.24a)$$

$$\phi_t = 0.90$$

$$R_v = 0.6F_{yw}d_c t_w$$

$$\textcircled{2} P_u > 0.4P_y \text{인 경우} \quad (10.24b)$$

$$\phi_t = 0.90$$

$$R_v = 0.6F_{yw}d_c t_w \left(1.4 - \frac{P_u}{P_y}\right)$$

여기서, R_v : 기둥 웨브의 공칭 전단강도(N)

P_u : 소요 압축력(N)

P_y : 부재의 항복내력($N = F_y A$)(N)

F_{yw} : 기둥 웨브의 항복강도(N/mm²)

t_w : 기둥웨브의 두께(mm)

d_c : 기둥의 춤(mm)

d_b : 보부재의 전체 춤(mm)

패널존의 두께(t)가 부족한 경우에는 그림 10.23과 같이 접합부의 패널존을 보강한다. 보강판의 용접방법으로서는 기둥 필렛까지 용접하는 것이 가장 효과적이다.

■ 예제 10.8 패널존의 전단강도

아래 그림과 같이 계수하중에 의한 부재력을 받는 패널존의 전단강도를 검토하시오. 기둥부재는 H-400×400×13×21(SM490, $A = 21.87 \times 10^3 \text{mm}^2$)이고, 보 부재는 H-588×300×12×20(SS400)이다.

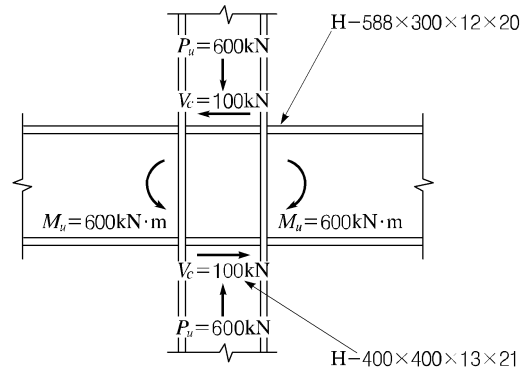


그림 10.24 예제 10.8

[풀이]

(1) 웨브 패널존의 설계전단강도

$$P_u = 600 \text{kN}$$

$$0.4P_y = 0.4 \times 7,108 = 2,843 \text{kN} \quad (P_y = F_y \cdot A)$$

$P_u \leq 0.4P_y$ 인 경우이므로,

$$\phi_t = 0.9$$

$$R_v = 0.6F_{yw}d_c t_w$$

$$\phi_t R_v = 0.9 \times 0.6 \times 325 \times 400 \times 13 \times 10^{-3} = 913 \text{kN}$$

(2) 패널존 보강

① 패널존에 작용하는 전단력

$$V_u = 2 \times \frac{M_u}{d_b - t_{fb}} - V_c$$

$$= 2 \times \frac{600,000}{588 - 20} - 100 = 2,013 \text{kN}$$

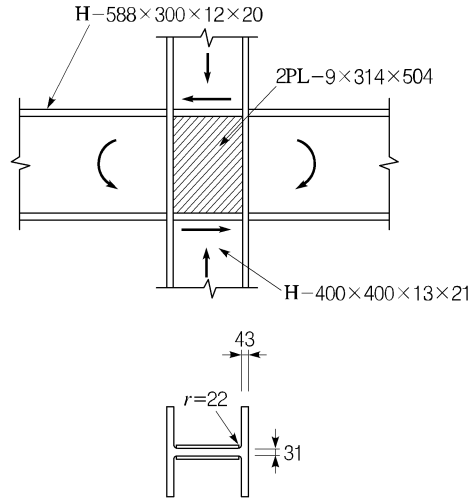
$\phi_t R_v < V_u$ 이므로 패널존 보강이 필요하다.

② 패널존 보강판(doubler plate)의 필요두께(SM490사용)

$$T_w \geq \frac{V_u}{\phi \cdot 0.6F_{yw}d_c} = \frac{2,013 \times 10^3}{0.9 \times 0.6 \times 325 \times 400} = 28.7 \text{mm}$$

28.7 - 13 = 15.7mm 두께이상의 보강필요

∴ 2PL-9×314×504을 용접함.



10.3.5 조합력을 받는 접합부설계

1) 조합력을 받는 고력볼트접합부

하중 P 가 볼트군의 중심을 통과하는 작용선 상에 위치하지 않는 경우, 볼트는 편심하중효과의 영향을 받는다. 볼트군의 중심으로부터 편심 e 만큼 떨어져 작용하는 하중 P 는 모멘트 $P \cdot e$ 와 볼트군의 중심에 작용하는 집중하중 P 에 의한 것과 같은 영향을 접합부에 미친다. 이와 같이 모멘트와 집중하중은 볼트군에 전단효과를 제공하기 때문에 이러한 현상을 편심전단(eccentric shear)라고 부른다. 편심전단을 받는 볼트군의 강도는 탄성해석법과 극한강도해석법을 사용하여 구할 수 있다.

탄성해석(elastic analysis)은 판재를 강체로, 긴결재를 탄성체로 이상화하고, 두 부재 사이에 마찰이 없는 것으로 가정하여 편심전단을 받는 긴결재의 강도를 구한다. 극한강도해석(ultimate strength analysis)은 편심전단을 받는 볼트군은 임시중심(instantaneous center of rotation)을 기준으로 회전하고, 각 긴결재의 변형은 임시중심으로부터의 거리에 비례한다고 가정하여 긴결재의 강도를 구한다.

(1) 탄성해석

탄성해석에 있어서 편심전단을 받는 볼트군은 탄성적으로 거동하고 판재간의 마찰은 무시한다. 따라서 탄성해석법은 극한강도해석법보다는 적용하기 쉬우나 너무 지나치게 안전한 설계가 될 수 있다. 접합부에 작용하는 모멘트 M

은 긴결재 단면 도심으로부터의 거리와 그림 10.27에 나타난 힘 R 의 곱의 총합과 같다.

$$M = R_1 d_1 + R_2 d_2 + \cdots + R_6 d_6 = \sum R d \quad (10.25)$$

각 긴결재의 변형은 비틀림의 중심으로부터의 거리 d 에 비례한다고 가정한다. 따라서 각 긴결재가 탄성적으로 거동한다고 가정하면 각 긴결재에 작용하는 힘 R 도 볼트군의 중심으로부터의 거리 d 에 비례한다고 가정할 수 있다. 그러므로 각 긴결재의 변형과 작용하는 힘 R 은 식(10.26)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{R_1}{d_1} = \frac{R_2}{d_2} = \cdots = \frac{R_6}{d_6} \quad (10.26)$$

R_1 과 d_1 에 의하여 긴결재에 작용하는 힘 R 을 다시 표현하면 식(10.27)과 같다.

$$R_1 = \frac{R_1 d_1}{d_1} ; R_2 = \frac{R_1 d_2}{d_1} ; \cdots ; R_6 = \frac{R_1 d_6}{d_1} \quad (10.27)$$

위의 식(10.27)을 이용하면 접합부에 작용하는 모멘트 M 은 식(10.28)과 같다.

$$M = \frac{R_1 d_1^2}{d_1} + \frac{R_1 d_2^2}{d_1} + \cdots + \frac{R_1 d_6^2}{d_1} = \frac{R_1}{d_1} [d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_6^2] = \frac{R_1}{d_1} \sum d_i^2 \quad (10.28)$$

따라서 각 긴결재의 힘 R 은 식(10.29)와 같고, 일반적으로 식(10.30)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \frac{M d_1}{\sum d_i^2} ; R_2 = \frac{M d_2}{\sum d_i^2} ; R_3 = \frac{M d_3}{\sum d_i^2} ; \cdots ; R_6 = \frac{M d_6}{\sum d_i^2} \quad (10.29)$$

$$R = \frac{M d}{\sum d_i^2} \quad (10.30)$$

그림 10.28에 나타난 것과 같이 각 긴결재에 작용하는 힘 R 은 수평성분 R_x 와 수직성분 R_y 로 분해하면 식(10.31)과 같고, 식(10.30)을 이용하면 식(10.32)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x = R \cdot \frac{y}{d} ; R_y = R \cdot \frac{x}{d} \quad (10.31)$$

$$R_x = \frac{Md}{\sum d^2} \cdot \frac{y}{d} = \frac{My}{\sum d^2} ; R_y = \frac{Md}{\sum d^2} \cdot \frac{x}{d} = \frac{Mx}{\sum d^2} \quad (10.32)$$

그런데 $d^2 = x^2 + y^2$ 이므로 힘 R 의 수평성분 R_x 와 수직성분 R_y 는 최종적으로 식(10.33)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x = \frac{My}{\sum x^2 + \sum y^2} ; R_y = \frac{Mx}{\sum x^2 + \sum y^2} \quad (10.33)$$

그림 10.26에 나타난 것과 같은 전단력 P 에 의해 각 긴결재에 발생하는 전단력 R_v 는 식(10.34)와 같다. N 은 볼트군에 사용된 긴결재의 수이다. 따라서 편심전단을 받는 볼트군의 각 긴결재에 작용하는 힘 R 은 벡터합 형태로 표현하면 최종적으로 다음 식(10.35)와 같다.

$$R_v = \frac{P}{\sum N} \quad (10.34)$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + (R_v + R_y)^2} \quad (10.35)$$

(2) 극한강도해석

극한강도해석은 가장 합리적인 해석법으로 인정되지만 반복해법이나 표의 작성을 통하여 긴결재의 강도를 구해야 하는 번거러움이 있다. 편심전단하중 P 는 볼트군의 병진과 회전을 일으키며, 볼트군의 병진과 회전은 임시중심(그림 10.29에서 IC)으로 정의되는 한 점에서는 순수회전만을 일으키는 것으로 단순화된다. 편심전단을 받는 볼트군의 평형방정식은 식(10.36)과 같다.

$$\sum F_H = 0 ; \quad \sum_{i=1}^n R_i \sin \theta_i - P \sin \delta = 0 \quad (10.36a)$$

$$\sum F_V = 0 ; \quad \sum_{i=1}^n R_i \cos \theta_i - P \cos \delta = 0 \quad (10.36b)$$

$$\sum M = 0 ; \quad \sum_{i=1}^n R_i d_i - P(e + x_0 \cos \delta + y_0 \sin \delta) = 0 \quad (10.36c)$$

위 식의 적용에 있어서 작용하중 P 와 임시중심의 좌표가 미지수이므로 임시중심의 좌표와 작용하중 P 의 크기를 정확히 결정하여야만 한다. 작용하중에 대한 볼트 저항력 R_i 가 변형에 비례하거나 각 δ 가 0° 혹은 90° 이면 각 α 는 각 δ 와 같게 되고, 이 경우에 모멘트에 관한 평형조건식은 식(10.37)과 같이 단순화 된다. r_0 는 임시중심과 접합부의 도심 사이의 거리이다.

$$\sum M = 0 \quad ; \quad \sum_{i=1}^n R_i d_i - P(e + r_0) = 0 \quad (10.37)$$

지압형태의 접합에서는 미끄럼 현상의 영향은 무시되므로 각 긴결재의 변형은 임시중심으로부터 각 긴결재 사이의 거리에 비례한다. 작용하중에 대한 각 긴결재의 저항강도는 볼트의 하중-변형 관계에 따른다. Crawford와 Kulak은 아래의 식(10.38)과 같은 하중-변형 관계식을 적용하여 각 긴결재의 저항강도를 구하였다.

$$R_i = R_{ult} (1 - e^{-10\Delta})^{0.55} \quad (10.38)$$

여기서, R_i : 볼트의 변형이 Δ 인 경우 볼트 한 개의 공칭전단강도

R_{ult} : 볼트 한 개의 극한전단강도

Δ : 볼트의 총 변형

2) 조합력을 받는 용접접합부 설계

(1) 탄성해석

탄성해석은 극한강도해석 보다 수행하기가 쉽지만 일반적으로 극한강도해석보다 과도한 설계가 된다. 탄성해석을 수행하는데 있어서 아래와 같은 가정들이 적용된다.

- 가) 같은 크기의 용접분절은 같은 힘으로 집중적으로 작용하는 하중에 저항한다.
- 나) 비틀림 모멘트에 의해서 생성되는 회전은 용접부의 도심 주위에 생기는 것으로 가정한다.
- 다) 비틀림 모멘트에 의해서 생성되는 용접 분절에 대한 하중은 용접부의 도심으로부터의 거리에 비례한다고 가정한다.
- 라) 비틀림에 의해서 생성되는 용접 분절 표면의 힘의 방향은 용접부의 도심으로부터의 반경거리에 직교하는 방향으로 작용한다고 가정한다.
- 마) 직접하중(direct load)과 비틀림에 의해서 생성되는 힘의 성분은 합력을 구하기 위하여 벡터적으로 합성된다.

편심전단을 받는 용접부(그림 10.30)의 강도는 직접 전단으로 생성되는 응력 f' 과 비틀림 모멘트에 의해 생성되는 응력 f'' 의 공칭 응력의 조합으로 구할 수 있다.

$$f' = \frac{P}{A} \quad (10.39)$$

$$f'' = \frac{Tr}{I_p} \quad (10.40)$$

여기서, r : 응력의 산정 점으로부터 도심까지의 반경거리

$$I_p = I_x + I_y = \sum I_{xx} + \sum Ay^2 + \sum I_{yy} + \sum Ax^2 : \text{극2차모멘트}$$

I_{xx}, I_{yy} : 각 용접분절의 분절 도심축에 대한 단면2차모멘트

\bar{x}, \bar{y} : 각 용접 분절의 중심으로부터 용접부의 중심까지의 거리

(2) 극한강도해석

편심전단을 받는 용접부강도는 볼트군에 대한 해석과 마찬가지로 필렛 용접의 하중-변형 관계를 이용하고, 회전의 임시중심 위치를 결정해야만 구할 수 있다. 그림 10.31에서와 같이 작용하중에 대한 용접분절의 저항 R_i 는 용접분절과 임시중심 사이의 거리에 비례하고 용접분절까지의 반경거리에 직각을 이루는 방향으로 작용한다. 편심전단을 받는 모살용접부 강도는 작용하중과 용접부 축 사이의 각도에 의존하며 식(10.41)을 이용하여 구할 수 있다.

$$R_i = 0.60 F_{EXX} t_e (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta) \left[\frac{\Delta_i}{\Delta_m} (1.9 - 0.9 \frac{\Delta_i}{\Delta_m}) \right]^{0.3} \quad (10.41)$$

여기서, R_i : 단위길이 당 용접분절의 공칭강도

θ : 용접부의 세로축과 이루는 사이 각(°)

Δ_i : 용접분절 i 의 변형, $\Delta_i = r_i \frac{\Delta_u}{r_{crit}}$

r_{crit} : 최소 Δ_u/r_i 를 갖는 용접부분과 회전의 임시중심 사이의 거리

$\Delta_m = 0.209(\theta + 2)^{-0.32} a$: 최대 강도에서 부재의 변형

$\Delta_u = 1.087(\theta + 6)^{-0.65} a \leq 0.17a$: 파단이 임박했을 때의 부재의 변형, 일반적으로 회전의 임시중심으로부터 가장 멀리 떨어진 부재

a : 모살용접의 용접 크기

F_{EXX} : 용접 전극봉 강도

t_e : 유효 목두께

■ 예제 10.9

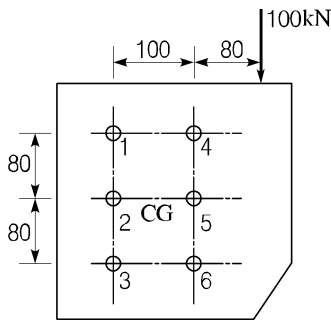


그림 10.32 편심전단을 받는
고력볼트군

그림 10.32와 같이 편심전단력 100kN을 받는 고력볼트군에 생기는 최대전단력을 구하시오. 단, 사용된 고력볼트는 같다고 가정한다.

[풀이]

오른쪽 상·하 끝에 위치한 고력볼트 4와 고력볼트 6이 최대의 동일한 응력을 받는다. 편심거리 e 는 회전중심으로 가정한 도심으로부터 하중작용점까지의 거리로 정의한다.

(1) 모멘트 및 전단력 산정

$$e = 80 + 50 = 130 \text{ mm}$$

$$M = 100 \times 130 = 13,000 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$R_x = \frac{My}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} = \frac{13,000 \times 80}{40,600} = 25.62 \text{ kN}$$

$$R_y = \frac{Mx}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} = \frac{13,000 \times 50}{40,600} = 16.01 \text{ kN}$$

$$R_v = \frac{P}{\Sigma N} = \frac{100}{6} = 16.67 \text{ kN}$$

(2) 조합력 산정

조합력에 관한 내력값은 식(10.35)에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \therefore R &= \sqrt{R_x^2 + (R_v + R_y)^2} = \sqrt{25.62^2 + (16.67 + 16.01)^2} \\ &= 41.53 \text{ kN} \end{aligned}$$

■ 예제 10.10

그림 10.33과 같이 편심거리 300mm, $P_u = 80\text{kN}$ 의 편심하중을 받는 볼트군 접합부의 소요강도에 대하여 미끄럼이 일어나지 않도록 검토하시오. 접합판의 두께 t 는 12mm(SS400), 고력볼트는 M20(F10T)이고 볼트구멍은 표준구멍을 사용한다.

[풀이]

하중조합에 따른 소요강도에 대하여 미끄럼이 일어나지 않도록 해야 하는 마찰접합에 대하여 $\phi = 0.85$ 이고

M20(F10T)의 미끄럼강도는 $\phi R_n = \phi \mu h_{sc} T_o N_s$ 가 된다.

표준 구멍에 대한 볼트 1개 설계미끄럼강도

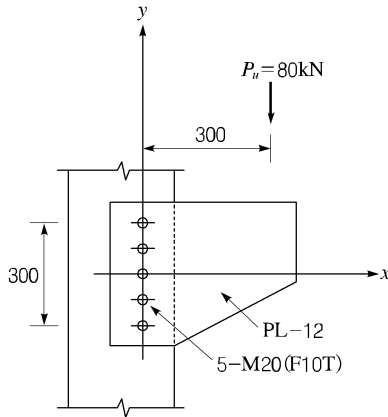


그림 10.33 편심하중을 받는
볼트군 접합부

$$\phi R_n = \phi \mu h_{sc} T_o N_s = 0.85 \times 0.5 \times 1.0 \times 165 \times 1 = 70.1 \text{ kN/개}$$

$$\text{모멘트 : } M_u = P_u e = 80 \times 300 = 24,000 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

(1) 단면극2차모멘트

$$I_p = \Sigma y_i^2 = 2 \times 75^2 + 2 \times 150^2 = 56,250 \text{ mm}^4$$

(2) 볼트 1개당 받는 전단력

$$R_y = \frac{P_u}{m \cdot n} = \frac{80}{1 \times 5} = 16 \text{ kN}$$

(3) 모멘트에 의한 최대수평력

$$R_{mx} = \frac{M_u y}{I_p} = \frac{24,000 \times 150}{56,250} = 64 \text{ kN}$$

(4) 수직력과 모멘트에 의해 볼트에 작용하는 조합력

$$R = \sqrt{16^2 + 64^2} = 66 \text{ kN} < 70.1 \text{ kN} \quad \text{O.K}$$

(5) 지압강도 검토

사용하중 상태에서 볼트구멍의 변형이 설계에 고려될 때
(변형이 발생하면 안 될 때)

$L_c = 35 \text{ mm}$ 로 (하중방향 순간격) 가정하여

$$R_n = 1.2 L_c t F_u \leq 2.4 dt F_u$$

$$R_n = 1.2 \times 35 \times 12 \times 400 = 202 \times 10^3 \text{ N} \leq 2.4 \times 20 \times 12 \times 400 = 230 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 202 = 152 \text{ kN} > 66 \text{ kN} \quad \text{O.K}$$

10.4 주각부 설계

10.4.1 주각의 개요

주각은 기둥의 하중과 모멘트를 기초를 통하여 지지기반에 전달하고, 기초 콘크리트에 지압응력이 잘 분포되도록 충분한 면적과 두께를 갖는 베이스플레이트를 필요로 한다. 강구조의 주각은 그림 10.34와 같이 여러 가지 형식이 있다.

기둥의 축방향력을 기초에 전달하기 위해서는 베이스 플레이트와 기초면의 밀착이 중요하다. 그러나 기초 콘크리트면은 일반적으로 평활하지 않으므로

베이스 플레이트를 직접 기초 콘크리트면에 밀착시키는 것은 곤란하다. 일반적으로 베이스 플레이트를 앵커볼트에 가조립한 후 베이스 플레이트 밑면에 무수축 모르타르로 충전시켜 기초 콘크리트와 베이스 플레이트를 밀착시킨다. 이러한 모르타르의 충전에 따라 주각의 성능에 크게 영향을 미치기 때문에 시공시 상당히 주의해야 한다.

10.4.2 주각부 설계

1) 주각부 및 콘크리트 지압

주각설계에 있어서 기초콘크리트에 대한 설계지압강도 $\phi_B P_p$ 는 베이스플레이트의 지지형식에 따라 다음 식과 같이 산정한다.

(1) 콘크리트 총단면이 지압을 받는 경우

$$\phi_B P_p = \phi_B 0.85 f_{ck} A_1 \quad (10.42)$$

(2) 콘크리트 단면의 일부분이 지압을 받는 경우

$$\phi_B P_p = \phi_B 0.85 f_{ck} A_1 \sqrt{A_2/A_1} \leq 1.7 f_{ck} A_1 \quad (10.43)$$

여기서, $\phi_B = 0.6$

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(N/mm²)

A_1 : 베이스플레이트의 면적(mm²)

A_2 : 베이스플레이트와 닦은꼴의 콘크리트 지지부분의 최대면적(mm²) 단, $\sqrt{A_2/A_1} \leq 2$

식(10.43)은 베이스플레이트 직하면의 콘크리트만으로는 부족한 경우 설계강도를 $0.85 f_{ck} A_1$ 에 $\sqrt{A_2/A_1}$ 배 할 수 있도록 허용한 것이다. 여기서 A_1 은 가상적인 것으로 그림 10.35의 기둥 단면의 춤과 플랜지 폭을 곱한 것이다. 즉, $A_1 = b_f d$ 로 계산하고 최종적으로 A_1 은 그림에서와 같이 B , N 을 조금씩 늘려가면서 다음과 같이 조정한다.

그림에서 m , n 은 동일한 길이로 두고 생각하므로

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta \quad (10.44)$$

여기서, A_1 : 식 (10.42) 및 식 (10.43)으로부터 구한 소요 베이스 플레이트의 면적(= BN mm²)

$$\Delta = 0.5(0.95d - 0.80b_f) \text{ (mm)}$$

$$B = A_1 / N \text{ (mm)}$$

2) 베이스플레이트의 소요판 두께

베이스플레이트는 그림 10.35와 같이 길이 m , n 의 캔틸레버로서 모멘트에 저항해야 한다. 강재 기둥의 베이스플레이트 두께 t_{bp} 는 다음 식으로 산정한다.

$$t_{bp} = l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_yBN}} \quad (10.45)$$

$$\text{여기서, } m = (N - 0.95d) / 2 \quad (10.46)$$

$$l = \max. [m, n, \lambda_n'] \quad (10.47)$$

$$n = (B - 0.8b_f) / 2 \quad (10.48)$$

$$\lambda_n' = \lambda \sqrt{db_f} / 4 \quad (10.49)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1-X}} \leq 1 \quad (10.50)$$

$$X = \frac{4db_f P_u}{(d + b_f)^2 \phi_B P_p} \quad (10.51)$$

d : 기둥 축(mm)

b_f : 기둥플랜지의 폭(mm)

B : 베이스 플레이트 폭(mm)

N : 베이스 플레이트 높이(mm)

P : 소요축력(N)

m, n : 베이스 플레이트 돌출길이(mm)

λ_n' : 축력이 작용하는 유효 H형강 단면의 돌출길이(mm)

F_y : 베이스 플레이트의 항복강도(N/mm²)

3) 앵커볼트

앵커볼트는 주각부의 베이스플레이트가 부담해야 할 휨모멘트, 전단력, 인장력 등 모든 설계조건에 대해 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 기타 사항은 건축구조기준(KBC 2009)의 콘크리트구조를 따른다.

■ 예제 10.11

그림 10.36과 같은 주각이 중심축하중 $P_u = 5,000\text{kN}$ 을 받을 때 베이스 플레이트(SM490)를 설계하시오. 단, 기둥 H-428×407×20×35(SM490), 기초크기 2,000×2,000mm, 콘크리트 압축강도 $f_{ck} = 21\text{N/mm}^2$ 이다.

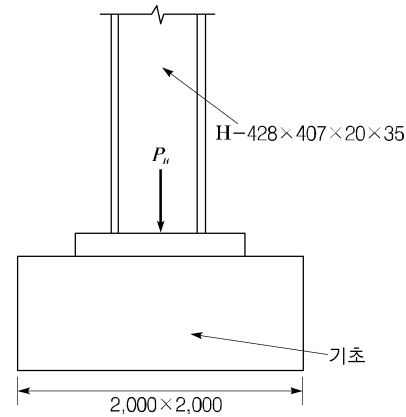


그림 10.36 베이스 플레이트 접합부

[풀이]

(1) 베이스플레이트 크기 결정

$$A_2 = 2,000 \times 2,000 = 4,000,000\text{mm}^2$$

지지콘크리트 면적이 베이스플레이트의 면적에 대하여 $\sqrt{A_2/A_1} \geq 2$ 배가 되도록 가정하면

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{P_u}{\phi_B(0.85f_{ck})\sqrt{A_2/A_1}} \\ &= \frac{5,000 \times 10^3}{0.6 \times 0.85 \times 21 \times 2} = 233,427\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sqrt{A_2/A_1} = \sqrt{4,000,000/233,427} = 4.1 > 2.0 \quad \text{O.K}$$

베이스플레이트는 기둥보다 커야 한다.

$$\begin{aligned} A_1 &= d b_f \\ &= 428 \times 407 = 174,196\text{mm}^2 < 233,427\text{mm}^2 \end{aligned}$$

최적 베이스플레이트의 크기

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{0.95d - 0.8b_f}{2} \\ &= \frac{0.95 \times 428 - 0.8 \times 407}{2} = 40.5\text{mm} \end{aligned}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{233,427} + 40.5 = 524\text{mm} \rightarrow 600\text{mm}$$

$$B = A_1/N = 233,427/600 = 389\text{mm} \rightarrow 500\text{mm}$$

$$\therefore B \times N = 500 \times 600 \text{mm}$$

(2) 베이스플레이트의 설계지압강도 검토

$$\begin{aligned} \phi_B P_p &= \phi_B 0.85 f_{ck} A_1 \sqrt{A_2/A_1} = \phi_B 0.85 f_{ck} (2BN) \\ &\quad (\sqrt{A_2/A_1} < 2 \text{ 이므로}) \\ &= 0.6 \times 0.85 \times 21 \times 2 \times 500 \times 600 \times 10^{-3} \\ &= 6,426 \text{kN} > 5,000 \text{kN} \end{aligned} \quad \text{O.K}$$

(3) 베이스플레이트의 두께 산정

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{600 - 0.95 \times 428}{2} = 96.7 \text{mm}$$

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} = \frac{500 - 0.8 \times 407}{2} = 87 \text{mm}$$

$$X = \frac{4db_f}{(d+b_f)^2} \frac{P_u}{\phi_B P_p} = \frac{4 \times 428 \times 407}{(428 + 407)^2} \times \frac{5,000}{6,426} = 0.778$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1-X}} = \frac{2\sqrt{0.778}}{1 + \sqrt{1-0.778}} = 1.2 > 1.0 \rightarrow \lambda = 1.0$$

$$\lambda_n' = \frac{\lambda \sqrt{db_f}}{4} = \frac{1.0 \sqrt{428 \times 407}}{4} = 104.3 \text{mm}$$

l 은 m, n, λ_n' 값 중 최대값 104.3mm 이다.

$$\begin{aligned} t_{bp} &\geq l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_yBN}} \\ &= 104.3 \sqrt{\frac{2 \times 5,000,000}{0.9 \times 325 \times 500 \times 600}} = 35.2 \text{mm} \end{aligned} \quad (10.45)$$

\therefore 베이스플레이트 PL-38×500×600 사용

연습문제

- 1) 격자배치된 고력볼트군에 전단력 450kN, 축방향력 150kN, 휨모멘트 150kN·m가 적용할 때 고력볼트에 생기는 최대전단력을 구하시오.

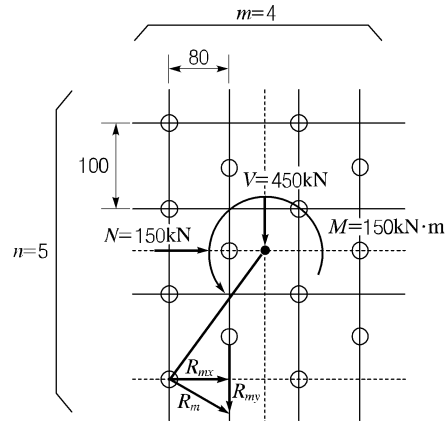


그림 10.37 연습문제 1)

[답] 82kN

- 2) 편심거리 350mm, $P_u = 90\text{kN}$ 의 편심하중을 받는 볼트군 접합부의 소요 강도에 대하여 미끄럼이 일어나지 않도록 검토하시오. 접합판의 두께 t 는 12mm (SS400), 고력볼트는 M20 (F13T)이고 고력볼트구멍은 표준구멍을 사용한다.

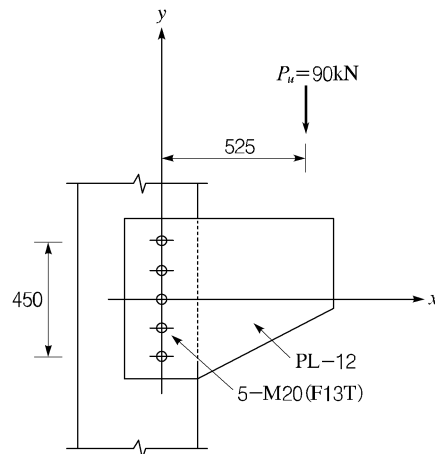


그림 10.38 연습문제 2)

[답] 모두 안전함

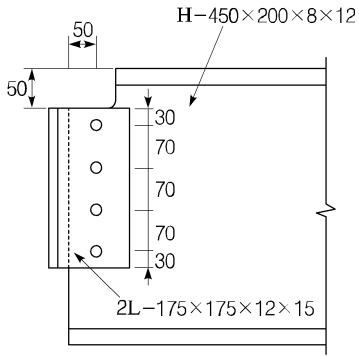


그림 10.39 연습문제 3)

3) 그림 10.39와 같이 2L-175×175×12에 고력볼트접합된 큰 보와 작은 보 H-450×200×8×12(SS400)에 소요전단력 $V_u = 250\text{kN}$ 이 작용하고 있을 때 다음의 접합부를 검토하시오. 단 고력볼트 M22(F10T)을 사용하고, 고력볼트 설계볼트장력은 $T_0 = 200\text{kN}$ 이고 표준구멍을 사용한다.

- 가) 고력볼트의 전단검토
- 나) 보 웨브의 전단 항복강도
- 다) 보 웨브의 전단 파단강도
- 라) 보 웨브의 블록전단파단
- 마) Γ 형강의 전단

[답] 모두 안전함

4) 그림 10.40과 같이 두께 8mm 웨브이음판에 고력볼트접합된 큰 보 H-446×199×8×12(SS400)과 작은 보 H-450×200×8×13(SS400)에 소요전단력 $V_u = 200\text{kN}$ 이 작용하고 있을 때 다음의 접합부를 검토하시오. 단 고력볼트 M22(F10T)을 사용하고, 고력볼트 설계볼트장력은 $T_0 = 200\text{kN}$ 이고 표준구멍을 사용한다.

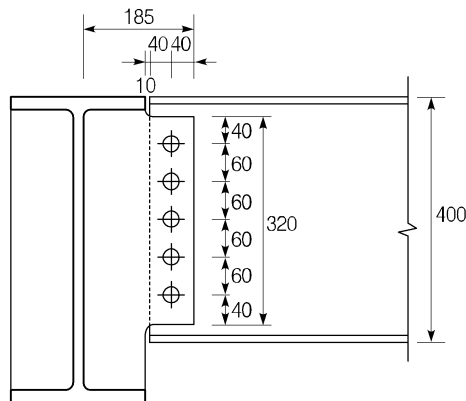


그림 10.40 연습문제 4)

- 가) 고력볼트의 전단검토
- 나) 보 웨브의 전단 항복강도
- 다) 보 웨브의 전단 파단강도
- 라) 보 웨브의 블록전단파단
- 마) Γ 형강의 전단

[답] 모두 안전함

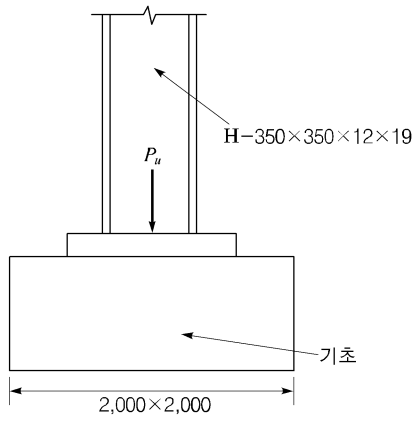


그림 10.41 연습문제 5)

- 5) 그림 10.41과 같은 주각이 중심축하중 $P_u = 4,000\text{kN}$ 을 받을 때 베이스 플레이트(SM490)를 설계하시오. 단, 기둥 H-350×350×12×19(SM490), 기초크기 2,000×2,000mm, 콘크리트 압축강도 $f_{ck} = 21\text{N/mm}^2$ 이다.

[답] PL-38×500×500 사용

참고문헌

- 10.1 대한건축학회 (2009). “건축구조기준 (KBC 2009), 제7장 강구조”
- 10.2 국토해양부 (2006). “건축공사 표준시방서”
- 10.3 한국강구조학회편 (1992.5.30.). “강구조용어사전”
- 10.4 AISC. “Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building”
- 10.5 AISC (1972). “Structural Steel Detailing”, 2nd ed., AISC
- 10.6 AISC (1992). “Manual of Steel Construction”, 9th ed., AISC
- 10.7 AISC (1994). “Load & Resistance Factor Design”, 2nd ed., AISC
- 10.8 Bjorhovde, R. 외 2인 (1995). “Connections in Steel Structures III”, BPC Wheatons Ltd
- 10.9 Galambos, T.V. (1976). “Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures”, John Wiley Sons
- 10.10 Gaylord E. H. (1992). “Steel Structures”, 3rd ed., McGraw-Hill
- 10.11 Geschwindner, L. F, Disque, R. O. and Bjorhovde, R. (1994). “Load and Resistance Factor Design of Structures”, Prentice Hall
- 10.12 AISC (1986). Manual of Steel Construction(LRFD)
- 10.13 McCormac, J. (1995). “Structural Steel Design LRFD method”, 2nd ed., Harper Collins
- 10.14 Owens, G.W, Knowles, P.R. and Dowling, P.J. (1994). “Steel Designer's Manual”, Blackwell Scientific Publications
- 10.15 Salmon, C. G. and Johnson, E.J. (1996). “Steel Structures Design and Behavior”, 4th Harper Collins College Publishers
- 10.16 Segui, W. T. (1999). “LRFD Steel Design”, 2nd ed., PWS Publishing
- 10.17 Tamboli, A. R. (1997). “Steel Design Handbook LRFD Method”, McGraw-Hill
- 10.18 日本建築學會 (1990). “鋼構造限界狀態設計規準(案)·同解説”, 社團法人 日本建築學會
- 10.19 日本建築學會 (1990). “鋼構造限界狀態設計例”, 社團法人 日本建築學會
- 10.20 日本建築學會 (1978). “鋼構造設計規準”, 社團法人 日本建築學會
- 10.21 日本鋼構造協會 (1978). “H形鋼構造標準接合部(I)”, 技報堂