

1. 일반사항

1.1 목적

(1) [KDS 41 30 30](#)은 냉간성형강으로 구성된 구조부재 및 접합부의 해석 및 설계의 일반적인 요구사항을 규정하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용 범위

1.2.1 범위

(1) 이 기준은 두께 25mm를 초과하지 않는 탄소강판, 저합금강판, 또는 탄소봉강, 저합금봉강을 냉간성형한 부재로서 다음 대상의 구조물에 하중전달을 목적으로 사용된 구조부재의 설계에 적용한다.

① 건축물

② 동적효과가 감안된 건물 이외의 구조물

1.2.2 적용

(1) 요소, 부재, 결합체, 접합부 및 상세와 같은 냉간성형강 구조요소들의 공칭강도 및 강성은 1.6, 3, 4의 규정에 따라서 산정한다.

(2) 구성품의 구성 또는 형상이 이들 규정 (4.9의 규정은 제외)에 따라서 설계강도를 산정할 수 없는 경우, 구조성능은 다음 중 하나의 방법을 이용하여 산정한다.

① 실험만에 의한 설계강도 또는 강성

설계강도는 실험에 의한 공칭강도에 4.9.2.1(1)①에 따라서 평가한 저항계수를 적용하여 산정한다.

② 확인실험을 거친 합리적인 공학적 해석에 의한 설계강도

설계강도는 계산된 공칭강도에 4.9.2.1(1)②에 따라서 평가한 저항계수를 적용하여 산정한다.

③ 타당한 이론과 공학적 판단에 근거한 합리적인 공학적 해석에 의한 설계강도 또는 강성

설계강도는 계산된 공칭강도에 다음의 저항계수를 적용하여 산정한다.

부재에 대해서, $\phi = 0.80$

접합부에 대해서, $\phi = 0.55$

(3) 이 기준에 이미 규정된 한계상태에 대한 공칭강도를 산정하기 위해 1.1.2(2) 또는 1.1.2(3)에 따른 합리적인 공학적 해석을 사용할 경우, 강도저항계수는 규정된 한계상태에 대한 강도저항계수를 초과하지 않아야 한다.

1.2.3 내진설계

(1) 이 설계기준을 만족하는 냉간성형강 골조의 내진설계계수(반응수정계수, 시스템 초과강도계수, 변위증폭계수)는 모두 3.0으로 취한다. 단, 역추형 구조시스템의 경우는 내진설계기준을 따른다.

1.3 참고 기준

(1) 이 기준에서는 다음의 기준과 규격을 참조한다.

1.3.1 관련 법규

내용 없음.

1.3.2 관련 기준

- [KDS 14 31 00](#) 강구조설계(하중저항계수설계법)
- [KDS 41 10 00](#) 건축구조기준 일반사항
- [KDS 41 12 10](#) 건축물 설계하중
- [KDS 41 17 00](#) 건축물 내진설계기준
- [KDS 41 20 00](#) 건축물 콘크리트구조 설계기준
- [KDS 41 30 10](#) 강구조 설계기준
- KS D 3030 용융 아연 알루미늄 마그네슘 합금 도금 강판 및 강대
- KS D 3503 일반 구조용 압연 강재
- KS D 3506 용융 아연 도금 강판 및 강대

● KS D 3512 냉간 압연 강판 및 강대

● KS D 3515 용접 구조용 압연 강재

● KS D 3529 용접 구조용 내후성 열간 압연 강재

● KS D 3530 일반 구조용 경량 형강

● KS D 3542 고 내후성 압연 강재

● KS D 3566 일반 구조용 탄소 강관

● KS D 3568 일반 구조용 각형 강관

● KS D 3632 건축 구조용 탄소 강관

● KS D 3770 용융 55 % 알루미늄 아연 합금 도금 강판 및 강대

● KS D 3781 철탑용 고장력강 강재

● KS D 3854 건축 구조용 표면 처리 경량 형강

● KS D 3861 건축 구조용 압연 강재

● KS D 3864 건축 구조용 각형 탄소 강관

1.4 용어의 정의

● 1차해석: 변형되지 않은 구조물에 대한 평형조건을 적용한 구조해석 (2차 효과 무시)

● 1축 대칭단면: 단면의 도심을 지나는 단 하나의 축에 대해서 대칭인 단면

● 2축 대칭단면: 도심을 지나는 2개의 직교축에 대하여 대칭인 단면

● 2차해석: 변형된 구조물에 대한 평형조건을 적용한 구조해석. 2차효과를 고려한 구조해석으로서 별도로 명시하지 않는 한 $P-\delta$ 및 $P-\Delta$ 효과를 모두 포함함

● 2차효과: 구조물의 변형된 형상에 작용하는 하중의 영향; $P-\delta$ 효과 및 $P-\Delta$ 효과가 포함됨

● 가변하중: 영구하중으로 분류되지 않는 하중

● 가상하중: 설계기준 내의 다른 방법으로 고려하지 않는 불안정화 효과를 고려하기 위하여 구조해석 시에 적용하는 가상의 하중

● 강도저항계수: 공칭강도와 설계강도 사이의 피할 수 없는 오차 그리고 파괴모드 및 파괴결과가 부차적으로 유발하는 위험도를 반영하기 위한 계수

● 강성: 부재 또는 구조물의 변형에 대한 저항성능으로서 작용한 힘(또는 모멘트)과 발생 변위(또는 회전)의 비율로 정의됨

● 계수하중: 공칭하중과 하중계수의 곱

● 공개사양: 제조사, 가공자, 생산자, 구매자 또는 기타 관계자가 명시한 강재에 대한 요구사항

(1) 대체로 공개되어 있는 것들 또는 요청하면 일반인도 받아볼 수 있는 것들

(2) 강재를 주문하기 전에 확정되어야 할 것들

(3) 최소한의 정보로서 규정된 최소의 기계적 물성값, 화학적 성분의 한도값, 코팅이 된 강재라면 코팅재의 물성 등

● 구조부재: 냉간성형강 구조부재의 정의 참조

● 구조요소: 부재, 접합재, 접합요소 또는 조립품

● 구조해석: 구조역학의 원리에 기초하여 부재 및 접합부에 작용하는 하중의 효과를 산정하는 작업

● 구속 압축요소 또는 부분구속 압축요소: 응력방향에 평행한 양쪽 가장자리에 웨브, 플랜지, 끝단 스티프너, 중간 스티프너 등으로 구속된 평판 압축요소. (즉, 휨부재의 압축플랜지나 압축재의 웨브 또는 플랜지)

● 국부좌굴: 요소들간의 연결선이 직선으로 유지되며, 요소들이 이루는 각도가 변하지 않는 압축판 요소의 좌굴한 계상태

● 국부휨: 면외 집중하중에 의한 플랜지의 대변형 한계상태

● 국부항복: 요소의 국부적인 영역에서 발생하는 항복

● 냉간성형강 구조부재: 프레스기계를 사용하여 재단된 판재, 코일 또는 강판을 절단한 강재를 가공하거나, 냉간 또는 열간 압연된 코일이나 판재를 롤포밍하여 제작된 형상(두 성형작업 모두 상온에서 이루어짐. 즉 열간성형에서 와 같은 추가적인 가열없이 성형함.)

● 다이아프램: 횡력저항시스템으로 면내응력을 전달하는 지붕, 바닥 또는 그 외 막재, 또는 가새시스템

● 다중스티프너요소 : 웨브와 웨브 사이 또는 웨브와 끝단스티프너 사이를 중간스티프너로 구속한 요소

● 다중스티프너요소의 부분요소: 다중스티프너요소에서 인접한 중간스티프너 사이, 웨브와 중간스티프너 사이 또는 끝단스티프너와 중간스티프너 사이 부분

● 단면형상변형좌굴: 단면의 형상변화를 수반하는 좌굴/좌굴양상(국부좌굴은 제외)

● 두께: 모든 요소 또는 단면의 두께는 피복을 제외한 강재만의 두께를 의미함

● 띠장: 풍하중과 같은 횡하중 작용시 벽체 외장판을 지지하는 수평 휨부재

● 마스터코일: 열간압연, 냉간 압연, 금속코팅 또는 도장 공정을 거쳐 코일의 고유식별 번호를 부여하여 생산된 연속적이며 용접이 없는 코일. 때로는 이 마스터코일을 작게 분할하거나, 폭이 가늘게 분할하기도 함. 그러나, 이렇게 작게 그리고/또는 가늘게 마무리된 코일도 최초의 마스터코일의 고유번호를 추적할 수 있다면 동일한 마스터코일로부터 생산된 코일이라고 할 수 있음

● 면내 불안정: 골조나 부재가 속한 구조평면내의 좌굴이 관계되는 한계상태

● 면외좌굴: 횡좌굴 또는 횡비틀림좌굴을 포함한 보, 기둥 또는 보-기둥의 한계상태

● 모멘트골조: 골조부재 및 접합부의 전단 및 휨저항성능에 의해 횡력에 저항하고 구조안정성을 확보한 골조시스템.

● 반복형 구멍: 부재의 종축을 따라 뚫린 반복된 형상의 구멍들로, 단면의 모서리에 있는 구멍들은 제외함.

● 벽다이아프램: 벽체가 속한 평면내에 작용하는 힘에 저항하도록 설계된 벽체(일반적으로 '수직 다이아프램' 또는 '전단벽'이라고 함).

● 불안정: 하중 또는 구조물의 형상에 미소한 증가나 변화를 가해도 대변형이 출발되는 구조요소, 골조 또는 구조물의 한계상태

● 블록전단파단: 인장파단-전단항복 또는 인장파단-전단파단이 발생하는 접합부 한계상태

● 비구속 압축요소: 응력방향에 평행한 한쪽 가장자리만 구속된 평판 압축요소

● 비대칭단면: 축 또는 점에 대하여 대칭이 아닌 단면

● 비틀림좌굴: 압축부재가 전단중심축을 중심으로 비틀리는 좌굴/좌굴양상

● 비지지길이: 부재의 횡지지점 사이의 거리로서, 횡지지 부재의 도심 간의 거리로 함

● 사용하중: 사용성 한계상태를 평가하기 위한 하중

● 사용성 한계상태: 구조물의 외형, 유지 및 관리, 내구성, 사용자의 안락감 또는 기계류의 정상적인 기능 등을 유지하는 구조물의 성능에 영향을 미치는 한계상태

● 상부 옆겹침 아크봉합용접: 상부 측면 겹침접합에 적용하는 아크 봉합용접

● 상부 측면 겹침 접합: 널재의 가장자리 안으로 겹쳐지거나 또는 수직 널재 다리의 등끼리 맞댐에 의한 수직 널재의 다리 (데크의 끝단 스티프너)에 의해 구성된 접합

● 설계강도: 공칭강도와 저항계수의 곱

● 설계기준최소항복응력 : KS에 규정된 재료의 최소항복응력

● 성능시험: 이 기준의 1 ~ 4.8과 4.10~ 4.11 또는 이 기준의 참고문헌에 따라서 성능을 산정할 수 없는 구조부재, 접합부 및 조립재에 대해 실시하는 시험

● 순단면적: 총단면적에서 구멍, 개구부 및 잘라낸 부분의 면적을 감한 단면적, A_n

● 안정성: 골조요소, 골조 또는 구조체가 하중과 형상의 경미한 변동에 대해 대변형을 일으키지 않고 하중을 받을 수 있는 상태

● 유효단면적: 4.12에 따라서 구성요소의 유효폭을 사용하여 계산된 단면적, A_e . 만일 4.12에 따라서 산정된 모든 구성요소의 유효폭이 실제 평판폭과 동일하다면, 유효단면적은 해당되는 총단면적 또는 순단면적과 같음.

● 영구하중: 시간의 경과에 따라 변동이 거의 없거나 변동이 작은 하중. 그 외 모든 하중은 변동하중임.

● 원강재(버진스틸): 제강업체 또는 물류창고에서 수급된 강재로서 가공작업의 결과로 냉간가공경화가 아직 발생하지 않은 강재

● 원강재 물성: 항복응력, 인장강도 및 신장과 같은 원강재의 기계적 성질

● 원단면적: 구성요소의 국부좌굴을 고려하지 않고 계산된 해당 총단면적 또는 순단면적, 저감하지 않은 원래의 단면적

● 웨브: 힘을 받는 부재에서, 두 개의 플랜지에 연결된 부분 또는 하나의 플랜지에만 연결되어 중립축을 가로지르는 부분

● 웨브크리플링: 집중하중을 받는 부분 또는 반력 부근에서의 웨브 판의 국부적인 파손에 대한 한계상태

● 유효설계폭(유효폭): 설계용으로 저감한 요소의 평판폭으로, 단순히 유효폭이라고도 함.

● 유효길이: 단부지지조건이 다른 기둥의 강도를 동일한 강도를 가진 양단회전 지지조건으로 구하기 위한 기둥의 길이

● 유효길이계수: 부재의 비지지길이에 대한 유효길이의 비

● 유효길이법: 유효길이계수를 이용하여 설계강도를 계산함으로써 안정성해석을 수행하는 설계법

● 유효폭설계법: 비선형응력분포하의 총단면적을 단순 선형응력분포하의 유효단면적으로 저감함으로서 냉간성 형강 부재의 국부좌굴을 고려하는 설계법

● 응력: 이 기준에서 사용되는 응력은 단위면적당의 힘을 의미함

● 인장강도: KS에 정의된 바와 같이 재료가 저항할 수 있는 최대 인장응력

● 인장 및 전단 파단: 볼트 또는 다른 종류의 기계적인 접합재에서 인장력과 전단력의 동시 작용으로 인한 파단 한 계상태

● 전단좌굴: 보의 웨브와 같은 판요소가 면내에 적용하는 순수전단력에 의해 변형하는 좌굴모드

● 전단벽: 벽체 면내의 횡방향 하중에 대해 저항하는 동시에 전체 구조시스템에 안정성을 제공하는 벽체

● 접합: 2개 이상의 부재사이에 응력전달을 위해 사용되는 구조요소와 조인트(연결부)의 결합

● 점대칭단면: 플랜지가 동일한 Z형 단면과 같이 점(도심)에 대하여 대칭인 단면

● 조인트: 2개 이상의 단부, 표면 또는 모서리가 부착된 부위. 사용된 파스너 또는 용접의 유형 및 하중전달의 방법에 따라 분류

● 좌굴: 임계하중조건 하에서 구조체 또는 구조체내 일부 요소의 급격한 기하학적 변화 한계상태

● 좌굴강도: 불안정성 한계상태에 대한 공칭강도(저항력)

● 중도리: 지붕데크를 지지하는 수평 구조부재로서 적설하중, 풍하중 또는 고정하중과 같은 수직하중에 의해 주로 힘을 받는 부재

● 지압: 접합부에서 기계적 긴결재에 의해 접합요소들에 전달되는 전단력의 한계상태

● 지압강도(국부압축항복): 다른 부재 또는 표면을 지압하는 부재의 작용으로 인한 국부압축항복 한계상태

● 직접강도법: 유효폭을 사용하지 않고 부재의 강도를 예측하는 설계법

● 직접해석법: 2차해석에서 강성저감 및 가상횡하중을 적용하여 부재의 잔류응력 및 초기수직도 오차의 영향을 반영하는 안정설계법

● 총단면적: 구멍, 개구부 및 잘라낸 부분에 대한 문제가 없는 면적, 

● 커튼월 스터드: 횡하중(면외)을 전달하는 강재로 된 외벽시스템의 부재로 외장재를 제외하고 측면이 1,460N/m를 초과해서는 안되며, 개별 스터드 당 890N을 초과해서도 안됨

● 타정공구직결파스너(PAF): 구동 동력원으로 파우더카트리지나 압축가스를 사용하여 강재부재를 관통하여 매립재속으로 뚫고 들어가 고정시키는 견고한 강재 긴결재(파스너)

● 타정공구직결파스너(PAF) 단부: 직경이 변화하는 전동식 긴결재 몸체의 뾰족한 끝부분

● 파단강도: 부재나 또는 연결요소의 파단이나 찢어짐에 의해 정해지는 강도

● 평판폭: 모서리부분을 제외한 요소의 폭

● 평판폭두께비 (평판폭비): 요소의 평판폭을 그 두께로 나눈 값

● 표점거리: 재료시험에 있어서 시험편의 동일 단면을 지닌 부분에 붙인 두 표점간의 거리

● 피로: 활하중의 반복작용에 따른 균열 생성 및 성장 한계상태

● 하중: 건축재료의 자중, 거주자 및 소유물품, 환경적 영향, 부등변형, 또는 치수변화에 대한 구속으로 인한 외력

또는 기타 작용

● 하중효과: 작용하중에 의해 구조요소에 발생하는 응력, 응력도 및 변형

● 하중계수: 하중 및 하중효과의 해석 시 변동성을 고려하기 위하여 KDS에서 규정한 계수

● 한계상태: 구조체 또는 구조요소가 의도된 기능을 상실하여 더 이상 사용할 수 없는 상태(사용성한계상태) 또는 극한하중지지능력에 도달한 상태(강도 한계상태)인 조건

● 합리적인 공학적 해석: 상황에 적합한 이론, 가능하다면 관련된 시험근거 및 정상적인 공학적 판단에 근거한 해석

● 항복: 항복응력에 도달했을 때 발생하는 비탄성변형의 한계상태

● 항복(소성모멘트): 휨모멘트가 소성모멘트에 도달하여 부재의 단면전체에 생기는 항복

● 항복(항복모멘트): 휨모멘트가 항복모멘트에 도달하여 부재의 단면 최연단부에 생기는 항복

● 항복강도: 응력과 변형의 비례상태로부터 KS에서 규정한 크기를 벗어날 때의 응력

● 항복모멘트: 휨을 받는 부재에서 단면의 최연단부가 처음으로 항복응력에 도달할 때의 모멘트

● 항복응력: 재료에 적합한 항복점 또는 항복강도를 나타내는 일반용어

● 항복점: KS에 정의된 바와 같이 응력증가 없이 변형만이 증가하는 첫 번째 응력

● 확인실험: 실제 성능과 계산된 성능을 비교하기 위하여 이 기준, 또는 이 기준의 특정 참고문헌, 또는 합리적인 공학적 해석에 따라 설계된 부재, 접합 및 조립재에 대해 필요할 경우 행해지는 실험

● 휨비틀림좌굴: 단면형상의 변화 없이 압축부재에 휨과 비틀림변형이 동시에 발생하는 좌굴모드

● 횡비틀림좌굴: 면외방향의 휨 변형과 더불어 단면의 전단중심에 대하여 비틀림이 발생하는 휨부재의 좌굴모드

● 휨좌굴: 단면형상의 비틀림이나 변화없이 압축부재가 휨에 의해 횡으로 처짐이 발생하는 좌굴모드

● 횡지지골조: 횡력에 저항하고 구조시스템의 안정성에 기여하는 본질적으로 수직트러스에 준하는 시스템

● P- δ 효과: 절점 사이에서 발생한 변형에 대해 작용하는 축력이 유발하는 2차 효과

● P- Δ 효과: 횡변위가 발생한 구조체 절점에 작용하는 하중의 효과이며, 층상의 구조물에서는 바닥이나 지붕의 횡변위가 발생한 위치에 작용하는 하중의 효과

1.5 기호의 정의

A : 부재의 원단면적

A_{avg} : 가중 평균단면적

A_b : 내부지점 또는 집중하중 점의 지압스티프너에 대해서는 $b_1 t + A_s$, 단부지점의 지압스티프너에 대해서는 $b_2 t + A_s$

A_b : 볼트의 전체 단면적

A_c : 내부지점 또는 집중하중 점의 지압스티프너에 대해서는 $18t^2 + A_s$, 단부지점의 지압스티프너에 대해서는

$10t^2 + A_s$

A_e : 응력 F_n 에서의 유효단면적

A_e : 지압스티프너의 유효단면적

A_e : 인장력을 받는 부재의 유효순단면적

A_f : 플랜지와 끝단스티프너의 단면적

A_g : 부재의 총단면적

A_g : 스티프너를 포함한 부재의 총단면적

A_{gy} : 전단을 받는 부재의 총단면적

A_n : 부재의 순단면적

A_{net} : 구멍 위치에서의 순단면적

A_{nt} : 인장을 받는 부재의 순단면적(힘과 수직인 방향)

A_o : 국부좌굴을 고려해 감소된 단면적

A_{nv} : 전단을 받는 부재의 순단면적(힘과 평행 방향)

A_p : 지붕판의 단위폭당 총단면적

A_s : 지압스티프너의 총단면적

A_s : 스티프너의 총단면적

A_{st} : 횡방향웨브스티프너의 총단면적

A_t : 인장력을 받는 순단면적

A_w : 웨브의 단면적

$A_{web,gross}$: 부재 전 길이에 걸친 웨브 표면적

$A_{web,net}$: 부재 전 길이에 걸친 웨브 표면적에서 구멍 면적을 뺀 표면적

B_c : 모서리(곡면부)의 항복응력 결정을 위한 계수

B_1 : P- δ 효과를 고려하기 위한 계수

B_2 : P- Δ 효과를 고려하기 위한 계수

C : 압축 부재에서는 전체 원단면적에 대한 모서리(곡면부) 전체 단면적의 비; 휨 부재에서는 설계에 영향을 미치는 플랜지에서 전체 원단면적에 대한 모서리(곡면부) 전체 단면적의 비

C : 계수

C : 지압계수

C_b : 모멘트 변화를 고려한 휨강도 보정계수

C_c : 상관계수

C_f : 표 4.11-1의 상수

C_h : 웨브의 세장계수

C_m : 골조의 횡방향 변형이 발생하지 않을 때의 계수

C_N : 지압길이계수

C_p : 보정계수

C_R : 안쪽 구부림 반지름계수

C_s : 횡비틀림좌굴계수

C_{TF} : 단부모멘트계수

C_v : 횡방향웨브스티프너계수

C_w : 단면의 비틀림 와핑상수

$C_{w,net}$: 구멍에서의 단면 두께 0으로 가정한 순 와핑 상수

C_{wf} : 플랜지의 비틀림 와핑 상수

C_y : 압축 변형률 계수

C_{yt} : 압축 변형률 계수

C_{yt} : 항복 변형률에 대한 최대 인장 변형률의 비

C_1, C_2, C_3 : 축방향 좌굴 계수

C_1, C_2, C_3, C_4 : 계수

$C1 \sim C6$: 표 4.7-2 ~ 표 4.7-4에 표로 표시된 계수

C_o : 보정계수

D : 원통형 단면의 외경

D : 단순끌단스티프너의 전체 길이

D : 횡방향웨브스티프너 계수

E : 강재의 탄성계수

F : 제작계수

F : 횡변위를 고려하는 방향의 횡하중에 의한 총전단력

F_a : 가속도기반 지반계수

F_{bs} : 기본응력계수 (455 MPa)

F_c : 기둥의 임계좌굴응력

F_{cr} : 전단탄성좌굴응력

F_{cr} : F_{cre} :전체(휩, 비틀림 또는 휨비틀림), F_{crl} :국부, 또는 F_{cra} :압축에서의 탄성단면형상변형좌굴응력

F_{cr} : F_{cre} :전체(휩비틀림), F_{crl} :국부, 또는 F_{cra} :최외측압축단을 기준으로 하는 탄성단면형상변형좌굴응력

F_{cra} : 탄성단면형상변형좌굴응력

F_{cre} : 탄성임계(휩)좌굴응력

F_{cre} : 휨비틀림좌굴응력

F_{cre} : 적용 가능한 탄성전체좌굴응력 중에서 최솟값

F_{cre} : 가중평균 단면성능에 기반한 적용 가능한 전체탄성좌굴응력 중에서 최솟값

F_{cre} : 탄성임계횡비틀림좌굴응력

F_{crl} : 단면의 최소임계좌굴응력

F_{crl} : 판 탄성좌굴응력

F_{crl} : 단면 내의 모든 요소의 국부좌굴응력 중에서 가장 작은 값

F_{cra} : 압축측 최외단에서의 국부좌굴응력

F_{cra} : 탄성단면형상변형좌굴응력

F_m : 제작계수의 평균값

F_n : 공칭압축응력

F_n : 공칭휨응력

F_n : 볼트의 공칭강도

F_{nt} : 볼트의 공칭인장강도

F_{nt} : 인장과 전단의 조합력을 받는 볼트의 공칭인장강도

F_{nv} : 볼트의 공칭전단강도

F_{SR} : 설계응력범위

F_{sv} : 3.2.1, 3.2.2 또는 3.2.3에 따라 결정된 접합판의 설계기준 최소항복강도

F_{sv} : 3.2 또는 3.3에 명시된 설계기준 항복강도

F_{TH} : 피로임계응력

F_u : 강재의 인장강도

F_u : 볼트의 인장강도

F_{uh} : 경화 강재를 사용한 타정공구직결파스너의 인장강도

F_{ut} : 비경화 강재를 사용한 타정공구직결파스너의 인장강도

F_{uv} : 3장에 의해 명시되거나 4.9.2.3(3)에 따라 설정된 원강재의 인장응력

F_{u1}, F_{u2} : 접합재 t_1 과 t_2 각각의 인장강도

F_{u1} : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 인장강도

F_{u1} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 인장강도

F_{u2} : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 인장강도

F_{u2} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 인장강도

F_{wy} : 지압스티프너의 F_{ys} 와 보웨브의 F_y 중에서 작은 값

F_{xx} : 용접재의 인장강도

F_y : 강재의 항복강도

F_{y0} : 단면의 평균항복강도

F_{yc} : 모서리(곡면부)의 인장항복강도

F_{yf} : 평판부의 가중평균 인장강도

F_{y2} : 스티프너 강재의 항복강도

F_{yv} : 3장에 명시되거나 4.9.2.3(3)에 따라 정의된 원강재의 인장항복강도

F_{y3} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 항복강도

G : 강재의 전단탄성계수

H : 층고

HRC_p : 타정공구직결파스너 강재의 로크웰 C 경도

I_a : 각 구성요소가 구속판요소로 거동하기에 충분한 적정크기 스티프너의 단면2차모멘트

I_{avg} : 좌굴축에 대한 가중 평균 단면2차모멘트

I_E : 지진에 대한 구조물의 중요도계수

I_{eff} : 유효단면2차모멘트

I_g : 총단면의 단면2차모멘트

I_g : 좌굴축에 대한 총단면의 단면2차모멘트

I_{net} : 좌굴축에 대한 순단면의 단면2차모멘트

I_s : 구속할 판요소와 평행한 스티프너의 자체 도심축에 대한, 스티프너의 감소되지 않은 단면2차모멘트

I_s : 웨브 면내의 한 축에 대한 한 쌍의 횡방향 웨브 스티프너 또는 단일 횡방향 웨브 스티프너의 실제 단면2차모멘트

$I_{sm\ in}$: 웨브 면내의 한 축에 대한 한 쌍의 횡방향 웨브 스티프너 또는 단일 횡방향 웨브 스티프너의 실제 단면2차모멘트의 최솟값

I_{sp} : 요소의 평판 부분의 중심선에 대한 스티프너의 단면2차모멘트

I_x, I_y : x축 및 y축에 대한 원단면의 단면2차모멘트

$I_{x,aug}, I_{y,aug}$: x축 및 y축에 대한 가중 평균 단면2차모멘트

I_{xf} : 플랜지의 x축 단면2차모멘트

I_{xy} : 중도리 웨브에 평행한 도심축과 수직인 도심축에 대한 원단면의 단면상승모멘트

I_{xyf} : 강축과 약축에 대한 플랜지의 단면상승모멘트

I_{yc} : 원단면에서, 웨브에 평행한 전체 단면의 도심축에 대한 단면의 압축부분의 단면2차모멘트

I_{yf} : y축에 대한 플랜지의 단면2차모멘트

J : 비틀림상수

J_{avg} : 가중평균 비틀림상수

J_f : 플랜지의 비틀림상수와 끝단스티프너의 비틀림상수의 합

J_g : 좌굴축에 대한 총단면의 비틀림상수

J_{net} : 좌굴축에 대한 순단면의 비틀림상수

K : 유효길이계수

K' : 상수

K_a : 고정장치의 횡강성

$K_{eff,ij}$: i번째 중도리에 대한 j번째 고정장치의 유효횡강성

K_{req} : 소요강성

K_{sys} : 고정장치를 무시한 지붕시스템의 횡강성

K_t : 비틀림에 대한 유효길이계수

$K_{total,i}$: P_i 에 저항하는 모든 요소의 유효횡강성

K_x : x 축에 대한 유효길이계수

K_y : y 축에 대한 유효길이계수

KL : 유효길이

$(KL/r)_0$: 조립부재의 축에 대한 전체 단면의 세장비

K_1 : 부재의 양단부에 횡변위가 없다고 가정하여 산정한 휨좌굴에 대한 유효길이계수, 휨 평면에 따라 K_x 또는 K_y

를 적용함

L : 단순보의 전경간, 연속보의 변곡점 사이의 거리, 캔틸레버보 길이의 2배

L : 경간 길이

L : 용접 길이

L : 종방향 용접길이, 접합부 길이

L : 원형 단부를 제외한 봉합용접 길이

L : 모살용접 길이

L : 부재의 비지지길이

L : L_{crd} 와 L_m 의 최소값

L_b : 중심압축 부재의 비지지길이

L_{br} : 요소의 단면형상변형좌굴을 구속하는 횡지지점 또는 그 외 구속점 사이의 비지지길이

L_{crd} : 단면형상변형좌굴에 대한 임계 비지지길이

L_g : 구멍이 없는 부분의 길이

L_h : 구멍의 길이

L_m : 단면형상변형좌굴을 구속하는 불연속 구속점 사이의 거리

L_m : 전단좌굴을 구속하는 불연속 구속점 사이의 거리

L_{net} : 구멍의 길이 또는 순단면 부분의 길이

L_o : 지압면 가장자리에서 부재 단부까지의 돌출 길이

L_{st} : 지압스티프너의 길이

L_t : 비틀림에 대한 압축재의 비지지길이

L_u : 횡비틀림좌굴을 고려하지 않아도 되는 최대 비지지길이

L_w : 상부 측면겹침 아크봉합용접의 길이

L_x : x 축에 대한 힘을 받는 압축재의 비지지길이

L_x : x 축에 대한 힘을 받는 부재의 비지지길이

L_y : y 축에 대한 힘을 받는 압축재의 비지지길이

L_y : y 축에 대한 힘을 받는 부재의 비지지길이

L_0 : 국부좌굴응력과 흔좌굴응력이 같아지는 부재의 길이

H : 재료계수

M : 고려하는 부재의 사용하중에 의한 모멘트

M_u : 소요휨강도

M_u : 집중하중 작용점 또는 지점, 또는 그 부근에서의 소요휨강도

M_u : 흔만 고려할 경우에 4.4.3에 따라 산정한 설계휨강도

M_{cr} : 흔 축에 대한 탄성좌굴모멘트로서, 전체(횡비틀림)좌굴모멘트 M_{cre} , 국부좌굴모멘트 M_{crl} , 단면형상변형좌굴모멘트 M_{crd} 가 존재함.

M_{crd} : 단면형상변형좌굴모멘트

M_{cre} : 전체좌굴모멘트

M_{cre} : 횡비틀림좌굴모멘트

M_{crl} : 국부좌굴모멘트

M_a : 4.4에 정의된 직접강도법에 의한 공칭휨강도 M_a , 단 모든 식에서 M_a 를 M 으로 대체한다.

M_{a2} : λ_2 에서의 단면형상변형좌굴에 대한 공칭휨강도

M_{bt} : 구조물에 횡변위가 발생하는 경우(비가새 골조에 대해), 하중조합을 사용한 1차 탄성해석으로 구한 모멘트

M_m : 재료계수의 평균값

M_{max}, M_A, M_B, M_C : C_b 값을 결정하는 비지지구간의 모멘트의 절대값

M_n : 공칭휨강도

M_{nd} : 단면형상변형좌굴에 대한 공칭휨강도

M_{ne} : 항복과 부재 전체(횡비틀림)좌굴에 대한 공칭휨강도

M_{nl} : 국부좌굴에 대한 공칭휨강도

M_{nlo} : 전반적으로 횡지지된 부재에 대하여 4.6.2의 수식설명 (2)의 ①과 ②에 따라 산정한 공칭휨강도

M_{nlo} : 전반적으로 횡지지된 부재에 대하여 $F_n = F_y$ 또는 $M_{ne} = M_y$ 로 하여 4.4.3에 따라 산정한 설계휨강도

M_{nlo} : 전반적으로 횡지지된 부재에 대하여 4.6.2에 따라 산정한 설계휨강도

M_{nlo} : 축력이 없을 때 $F_n = F_y$ 또는 $M_{ne} = M_y$ 로 하여 4.4.3에 따라 도심축 x에 대하여 산정한 설계휨강도

M_{nt} : 횡변위가 구속된(가새) 구조물에 대해 하중조합을 사용한 1차 탄성해석으로 구한 모멘트

M_{nx}, M_{ny} : 4.4에 따라 산정한 도심축에 대한 공칭휨강도

M_{nxt}, M_{nyt} : 도심축에 대한 공칭휨강도

M_p : 소성휨모멘트

M_r : 2차효과를 고려한 소요휨강도

M_{ux}, M_{uy} : 중립축에 대한 소요휨강도

M_u : 항복모멘트 ($= S_{fv} F_y$)

M_{ue} : 압축항복 시작점의 모멘트 (인장항복 이후)

$M_{y_{net}}$: 부재 순단면 항복모멘트

M_{yt3} : 최대인장변형률에서의 항복모멘트

M_z : 전단중심에 대한 비틀림모멘트

M_1, M_2 : 비지지구간에서의 최대, 최소 휨모멘트

N : 가상하중

N : 지압길이

N : 설계수명 내의 응력범위 변동 수

N_a : 일련의 고정열상에 있는 고정장치의 수

N_i : i 층의 가상하중

N_p : 지붕 경사면상의 중도리 선의 수

P : 전문성계수

P_u : 소요축압축강도

P_u : 4.4.1에 따라 산정한 소요축압축강도

P_u : 중도리의 경간 중간의 횡지지 소요강도를 산정하기 위한 가장 불리한 집중하중

P_u : 휨모멘트가 작용할 때의 집중하중 또는 반력에 대한 소요강도

P_{cr} : 압축에 대한 탄성좌굴강도로서, 전체(휨, 비틀림, 휨비틀림)좌굴강도 P_{cre} , 국부좌

굴강도 P_{cr1} , 단면형상변형좌굴강도 P_{crd}

P_{crd} : 단면형상변형좌굴강도

P_{cre} : 전체좌굴강도

P_{cr1} : 국부좌굴강도

P_{d2} : λ_{d2} 에서의 단면형상변형좌굴 공칭강도

P_{e1} : 부재 양단의 횡변위가 없다고 가정하여 산정한 흡평면에 대한 탄성임계좌굴강도

P_{e2} : 횡변위좌굴해석 또는 식 (4.1-11)로 산정한 골조의 횡변위 방향에 대한 해당 층의 탄성임계좌굴강도

P_i : i 번째 중도리에서 구조물에 유입되는 수평력

P_L : j 번째 고정장치에 의해 지지되는 수평력

P_{L1}, P_{L2} : 횡지지 소요축력

P_{lt} : 구조물에 횡변위가 발생하는 비횡구속골조에 대해 계수하중을 적용하여 1차탄성해석으로 구한 축력

P_{ra} : 횡지지되어야 할 개개의 중심압축 부재의 소요압축강도

P_{rb} : 축력 P_{ra} 를 받는 단일 압축 부재를 횡지지하기 위한 소요횡지지강도

P_m : 예측강도에 대한 시험강도 비의 평균

P_m : 전문성계수의 평균값

P_{mf} : 해당 층에서 횡변위를 고려하는 방향의 모멘트골조를 구성하는 기둥의 총 수직하중

P_n : 공칭웨브크리플링강도

P_n : 4.5.5 또는 4.5.6절에 따라 산정한 흡모멘트가 없을 때의 집중하중 또는 반력에 대한 공칭웨브크리플링강도

P_n : 부재 공칭압축강도

P_n : 지압스티프너의 공칭압축강도

P_n : 그루브용접공칭강도

P_n : 모살용접공칭강도

P_n : 플레어용접공칭강도

P_n : 공칭 볼트강도

P_{nb} : 공칭지압강도

P_{nb} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭 지압강도 및 공칭젖힘강도

P_{nc} : 단부가 돌출된 C형단면 또는 Z형단면 부재의 공칭웨브크리풀링강도

P_{nd} : 단면형상변형좌굴 공칭축강도

P_{ne} : 전체좌굴 공칭축강도

P_{nl} : 국부좌굴 공칭축강도

P_{nos} : 타정공구직결파스너 하나당 전단을 받을 때의 공칭뽑힘강도

P_{not} : 나사못 하나당 접합판의 공칭뽑힘강도

P_{not} : 타정공구직결파스너 하나당 인장을 받을 때의 공칭뽑힘강도

P_{nov} : 나사못 하나당 공칭빠짐강도

P_{nov} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭 빠짐강도

P_{nr} : 공칭 블록전단파단강도

P_{nt} : 용접부의 공칭인장강도

P_{nt} : 횡변위가 구속된 구조물에 대해 계수하중을 적용하여 1차탄성해석으로 구한 축력

P_{ntp} : 타정공구직결파스너의 공칭인장강도

P_{nts} : 나사못의 공칭인장강도

P_{nv} : 아크점용접의 공칭전단강도

P_{nv} : 아크봉합용접의 공칭전단강도

P_{nv} : 상부 측면겹침 아크봉합용접의 공칭전단강도

P_{nv} : 플레이 그루브용접의 공칭전단강도

P_{nv} : 전기저항용접의 공칭전단강도

P_{nv} : 나사못 하나당 접합판의 공칭전단강도

P_{nv} : 타정공구직결파스너의 공칭전단강도

P_{nv} : 공칭 전단파단강도

P_{nup} : 타정공구직결파스너의 공칭전단강도

P_{nus} : 나사못의 공칭전단강도

P_{nv1}, P_{nv2} : t_1 과 t_2 에 해당하는 각 접합의 공칭전단강도

P_r : 2차해석에 의한 소요압축강도

P_s : 가장 불리한 하중조합에 의한 집중하중 또는 반력

P_{story} : 휙력저항시스템에 속하지 않는 기둥의 하중을 포함한, 해당 층에서 지지되는 총 수직하중

P_x, P_y : 계수하중 P 의 x축, y축 성분

P_{wc} : C형단면 휨재의 공칭웨브크리플링강도

P_y : 부재의 축방향 항복강도

P_{wet} : 부재의 순단면에 대한 항복강도

Q_i : 하중 효과

R : 판의 단면형상변형좌굴계수에 대한 수정계수

R : 감소계수

R : 안쪽 구부림 반지름(내측곡률반경)

R : 바깥쪽 구부림 반지름(외측곡률반경)

R_b : 감소계수

R_c : 감소계수

R_I : I_s/I_a

R_n : 공칭강도

R_n : 공칭파단강도

R_n : 모든 시험 결과 값의 평균

$R_{n,i}$: 합리적인 공학적 해석으로 산정한 i 번째 시험의 공칭강도

R_r : 감소계수

R_t : 시험으로 구한 강도

$R_{t,i}$: i 번째 시험으로 구한 강도

R_u : 소요강도

R_1, R_2 : 바깥쪽 구부림 반지름(외측곡률반경)

S : 1.28 $\sqrt{E/f}$

$S_a(T)$: 주기 T 에서 정의된 5%감쇠 응답스펙트럼가속도

S_e : 압축연단 또는 인장연단의 응력이 F_v 일 때 산정한 유효단면계수

S_e : 압축연단의 응력이 F_n 일 때 산정한 유효단면계수

S_{et} : 인장연단의 응력이 F_v 일 때 산정한 유효단면계수

S_f : 압축연단에 대한 감소하지 않은 원단면의 탄성단면계수

S_{fnet} : 최초로 항복하는 연단에 대한 순단면의 단면계수

S_{ft} : 감소시키지 않은 원단면의 각 도심축에 대한 인장연단 단면계수

S_{fv} : 감소시키지 않은 원단면에서 최초로 항복하는 연단에 대한 탄성단면계수

T_a : 4.2에 따라서 산정된 설계인장강도

T_n : 공칭인장강도

T_r : 인장력 받는 접합부의 소요강도

T_s : 인장을 받는 접합부의 설계강도

T_u : 소요축인장강도

T_u : 연결 파스너별 소요인장강도

U_{b3} : 비균일 블록 전단계수

U_{s1} : 표 4.8-8에 희한 전단지연계수

V_{cr} : 전단좌굴강도

V_F : 제작계수의 변동계수

V_M : 재료계수의 변동계수

V_n : 공칭전단강도

V_P : 예측강도 대 실험강도 비의 변동계수

V_P : 시험결과의 변동계수 (0.065 이상)

V_Q : 하중효과의 변동계수

V_u : 접합 파스너 하나당 소요전단강도

V_u : 소요전단강도

V_y : 단면의 항복전단력

W : 횡지지점 양쪽 0.5a 거리 내에 작용하는 가장 불리한 계수하중

W_{pi} : 단일 경간에 있는 i번째 중도리에 의하여 지지되는 소요 연직하중

W_x , W_y : 계수하중 W 의 분력성분

Y : 중력하중

Y : 스티프너 강재에 대한 웨브 강재의 항복강도의 비

Y_i : i층에 작용하는 하중조합에 의한 중력하중

Z_f : 소성단면계수

a : 횡지지점 중심간 거리

a : 횡방향스티프너가 없는 웨브의 전단판 길이 또는 횡방향스티프너를 가진 웨브의 횡방향스티프너 간의 순간격

a : 중간 파스너 또는 점용접 간격

a : 웨브의 바깥쪽 면에서 파스너까지의 거리

a : 지름이 변하는 머리를 가진 타정공구로 직결한 파스너의 큰 쪽 머리의 지름

b : 끝단스티프너 요소의 평판 폭(중간스티프너 무시)

b : 유효폭

b : 플랜지 폭

b : 플랜지의 중심선기준 폭

b_d : 변형 계산을 위한 유효폭

b_e : 스티프너를 포함한 판요소의 도심에서 산정한 유효폭

b_e : 4.12.1에서 *f₁*을 *f*로 대체하고, 4.12.1.2에 따라 *k*를 구하여 산정한 유효폭 *b*

b_f : 접합되지 않은 플랜지의 외측기준 폭

b_o : 끝단스티프너를 가진 요소의 외측기준 폭(중간스티프너 무시)

b_o : 그림 4.12-4에서 정의된 압축 플랜지의 최외단부 폭

b_o : 그림 4.12-9에서 정의된 비구속판요소의 전체 폭

b_o : 구속판요소의 전체 평판폭

b_o : 단부구속 요소의 전체 평판 폭

b_p : 가장 큰 부분요소의 평판 폭

b_w : 접합된 웨브의 외측기준 폭

b₁, b₂ : 유효폭

b₁, b₂ : 유효폭의 부분

b_1, b_2 : 지압스티프너의 유효폭

b_1 : 접합되지 않은 L 형강 다리의 외측기준 폭

b_2 : 접합된 L 형강 다리의 외측기준 폭

c : 구멍으로 분리된 평판 조각의 폭

c : 감소계수 a 를 결정하기 위한 변수

c_f : 플랜지말림 변위량

c_i : 요소 단부에서 스티프너 중심선까지의 수평 거리

d : 비구속판요소의 평판 폭(중간스티프너 무시)

d : 평판 폭

d : 단면의 춤

d : 단순끝단스티프너의 중심선기준 치수

d : 나사못의 공칭지름

d : 그림 4.12-10에 정의된 단순끝단스티프너의 평판 부분 춤

d : 아크점용접의 표면 지름

d : 아크봉합용접의 표면 폭

d : 공칭볼트지름

d : 타정공구로 직결한 파스너에서, 박히는 쪽 표면에서 측정한 파스너의 지름 또는 파스너의 첨단부 전체가 반대 쪽 뒤에 위치하는 경우는 d .

d_a : 아크점용접의 평균 지름

d_a : 아크봉합용접의 평균 폭

d_{av} : 타정공구로 직결한 파스너에서, 박히는 쪽 표면과 반대 쪽 표면에서 측정한 파스너 지름의 평균 또는 파스너의 첨단부 전체가 반대 쪽 뒤에 위치하는 경우는 d .

d_b : 공칭지름(몸체 지름)

d_c : 지지 콘크리트의 두께

d_e : 아크점용접에서의 용융영역의 유효지름

d_{eq} : 아크봉합용접에서의 용융영역의 유효폭

d_h : 구멍의 지름

d_h : 구멍의 춤

d_h : 나사못의 머리 지름 또는 와셔붙이 육각머리 직결나사의 와셔 지름

d_o : 비구속판요소의 외측기준 폭(중간스티프너 무시)

d_{p_i} : i 번째 중도리 선과 j 번째 고정장치 사이의 지붕 경사에 따른 거리

d_s : 스티프너의 감소된 유효폭

d_s : 파스너 몸체의 공칭지름

d_s' : 4.12.2.1 또는 4.12.2에 따라 계산된 스티프너의 유효폭.

d_w : 강재 와셔의 지름

d_w : 나사 머리 또는 와셔 지름 중 더 큰 값

d_w' : 유효빠짐저항 지름

d_w' : 접합되는 판에 접촉된 와셔 또는 파스너 머리의 실제 지름

d_1, d_2 : 표면에 평평한 면과 용접면의 차이

e : 자연로그 ($= 2.718$)

e : 연결재의 첫 번째 선과 끝단스티프너 사이의 평판 폭

e_{net} : 부재의 연단과 파스너 구멍 또는 용접부 가장자리 사이의 거리

e_x, e_y : 전단중심에서 산정한 x, y 각 방향에 대한 하중성분의 편심

e_y : 항복변형률 = F_y/E

f : 유효폭에 기반하여 계산된 압축요소의 응력

f : 평판요소에 작용하는 균일압축응력

f' : 끝단스티프너의 유효폭을 산정하기 위해 4.12.3(1)절에서 사용된 응력

f_{av} : 감소하지 않은 전체 플랜지 폭에서 산정한 평균응력

$f_{bending}$: 단면 내의 흔과 비틀림의 조합응력이 최대인 위치에서의 흔응력

$f_{bending_{max}}$: 중립축에서 $f_{bending}$ 의 위치와 동일한 쪽의 최외단 흔응력

f_c : 덧판 또는 박판의 압축응력

f'_c : 콘크리트의 설계기준압축강도

f_d : 처짐을 산정하기 위한 하중에 대한 유효단면을 기반으로 산정한 압축응력

f_{d1}, f_{d2} : 그림 4.12-3에 나타낸 사용성을 결정하기 위한 하중에 대한 유효단면을 기반으로 산정한 응력

f_{d1}, f_{d2} : 그림 4.12-7 ~ 4.12-9에 정의된, 비구속판요소의 사용성을 결정하기 위한 하중에 대한 유효단면을 기반으로 산정한 응력

$f_{torsion}$: 단면 내의 흔과 비틀림의 조합응력의 효과가 최대인 위치에서의 비틀림 워핑 응력

f_v : 볼트의 소요전단응력

f_1, f_2 : 그림 4.12-3에서 정의된 웨브 응력

f_1, f_2 : 웨브의 반대편 끝에서의 응력

f_1, f_2 : 그림 4.12-7 ~ 4.12-9에서 정의된 비구속판요소에서의 응력

g : 상하 플랜지에서 가장 가까운 두 접합열 사이의 수직거리

g : 파스너의 게이지 열 사이의 가로방향 중심 간격

h : 웨브 평면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤(중간스티프너 무시)

h : 웨브의 평판부 춤

h : 중심선을 기준한 춤

h : 구속판 요소에 인접한 요소의 폭

h : 단순끝단스티프너의 높이

h_{ET} : 타정공구직결파스너의 콘크리트 속 매입 깊이

h_o : 웨브의 최외단부 높이

h_o : 그림 4.12-9에서 정의된 끝단스티프너가 없는 C형단면의 전체 폭

h_{st} : 공칭 봉합 높이

h_{wc} : 플랜지를 따낸 단면에서의 웨브의 평판 부분 춤

h_{xf} : 플랜지의 도심으로부터 플랜지와 웨브의 교차점까지 x방향 거리

h_{yf} : 플랜지 도심으로부터 플랜지와 웨브의 교차점까지 y방향 거리

i : 스티프너 인덱스

i : 각 중도리선에 대한 지수

i : 시험지수

j : 각 고정장치 지수

k : 판좌굴 계수

k_{af} : 감소계수

k_d : 단면형상변형좌굴에 대한 판좌굴계수

k_f : 4.1.1.1(1)③에서 수정된 휨평면에 대한 휨강성

k_{loc} : 부분요소의 좌굴에 대한 판좌굴계수

k_y : 전단좌굴계수

k_ϕ : 회전강성

$k_{\phi_{fe}}$: 플랜지에서 플랜지/웨브 교차점으로 제공되는 탄성회전강성

$\tilde{k}_{\phi_{fa}}$: 플랜지에서 요구되는 플랜지/웨브 접속부로부터의 기하학적 회전강성

$k_{\phi_{we}}$: 웨브에서 플랜지/웨브 교차점으로 제공되는 탄성회전강성

$\tilde{k}_{\phi_{wg}}$: 플랜지/웨브 교차점에서 웨브에 요구되는 기하학적 회전강성

l : 집중하중점에서 횡지지점까지의 거리

l_{dp} : 타정공구직결파스너의 첨단부 길이

m : 자유도

m : 모서리의 인장 항복점을 결정하기 위한 값

m : C형단면의 전단중심으로부터 웨브의 중심면까지의 거리

m_f : 지압접합 유형에 따른 보정계수

n : 계수

n : 위험단면상의 파스너의 수

n : 요소의 스티프너 수

n : 등간격으로 배치된 중간 횡지지재 개수

n : 시험체에서 동일 부하면적을 가진 고정장치의 수(고정장치가 파괴된 경우), 또는 동일한 경간과 하중을 받는 지붕판의 수(고정장치가 파괴되지 않은 경우)

n : 위험 단면상의 파스너의 수

n : 인치(길이당) 나사산의 수

n : 총 실험수

n_b : 파단선 상에 있는 파스너 수

n_f : 압축을 받는 구속판요소의 중간스티프너 개수

n_{fe} : 스티프너를 가진 요소의 중간스티프너 개수

n_w : 웨브처럼 등변응력을 받는 구속판요소의 중간스티프너 개수

p : 나사산의 간격

q : 접합부의 길이방향 간격을 결정하기 위한 보의 설계하중

q_s : 감소계수

r : 보정계수

r : 감소하지 않은 원단면의 좌굴축에 대한 단면2차반경

r_t : 조립재 개별 단면의 감소하지 않은 원단면에 대한 최소 단면2차반경

r_o : 전단중심에 대한 단면극관성반경

r_{oavg} : 전단중심에 대한 단면극관성반경의 가중평균

$r_{o,g}$: 총단면의 전단중심에 대한 단면극관성반경

$r_{o,ss}$: 순단면의 전단중심에 대한 단면극관성반경

r_x, r_y : 주축에 대한 단면2차 반경

s : 구멍 중심간 거리

s : 접합재의 압축응력 방향 중심간격

s : 압축을 받는 덧판과 비일체형 스티프너 또는 기타의 요소를 접합하는 용접, 리벳 또는 볼트의 응력방향 간격

s : 검토하는 단면 내의 볼트구멍의 개수로 나눈 박판의 폭

s : 길이방향 접합부 간격

s' : 2개의 연속적인 구멍 사이의 길이방향 중심간격

s_c : 모든 실험결과에 대하여 $R_{t,i}$ 를 $R_{n,i}$ 으로 나눈 표준편차

s_{end} : 끝단에서 구멍까지의 순연단거리

s_{max} : 두 개의 C형단면으로 I형단면을 조립하기 위한 용접 또는 기타 접합재의 길이방향 최대허용간격

s_t : 모든 실험결과에 대한 표준편차

t : 요소나 단면 모재의 판두께

t : 최대 전단력 전달면 상부에서 전단력 전달에 기여하는 모재들의 전체 두께(도금두께 제외)

t : t_1 과 t_2 중에서 작은 값

t : 가장 얇은 외측박판 두께

t : 플랜지를 따낸 단면의 웨브 두께

t : 그림 4.8-14에서 4.8-16까지 설명된 용접부재의 두께

t_c : 관통(관입) 깊이와 t_2 중 작은 값

t_e : 그루브용접의 유효목두께

t_i : 압축되지 않은 유리섬유단열재의 두께

t_r : 보정두께

t_s : 스티프너 강재의 두께

t_w : 용접의 유효목두께

t_w : 강재 와셔 두께

t_{wf} : 표 4.8-1에 따라 산정된, 표면과 평평하게 채운 그루브 용접의 유효목두께

t_1 : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 두께

t_1 : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 두께

t_2 : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 두께

t_2 : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 두께

t_1, t_2 : 모살용접으로 접합되는 모재의 두께

w : 압축 플랜지의 평판 폭

w : $w/t \leq 60$ 인 비구속판요소의 평판 폭

w : 압축 구속판요소의 평판 폭(중간스티프너 무시)

w : 요소의 평판 폭

w : 구속판요소와 비구속판요소에 대한 지압스티프너의 평판 폭

w : 길이방향 접합선 사이에서 측정한 요소의 평판 폭 (스티프너의 반지름을 제외한다.)

w : 접합부에 기여하는 압축 비구속판요소의 평판 부분 중 최소폭

w' : 끝단스티프너의 유효폭을 산정하기 위한 등가의 평판 폭

w_f : I형단면 보 또는 이와 유사한 단면에서는 웨브 면에서 돌출한 플랜지의 폭, 상자형 또는 U형 단면에서는 웨브 사이의 거리의 절반

w_f : 용접면의 폭

w_i : i 번째 중도리에 의해 지지되는 단위 길이당 소요분포중력하중

w_o : 최외단부 폭

w_1 : 압축요소에서 연결재의 첫 번째 선과 두 번째 선 사이의 횡간격

w_1, w_2 : 용접 다리길이

x : 식 (4.7-11)과 식 (4.7-12)에 따라 산정한 Z형단면과 C형단면의 플랜지 폭에 대한 파스너 거리의 비

x : 웨브 구멍과 지압부 가장자리 사이의 최단거리

x_o : 도심에서 전단중심까지의 x축방향 거리

$x_{o,aug}$: 도심에서 전단중심까지의 x축방향 가중평균거리

$x_{o,g}$: 총단면의 도심에서 총단면의 전단중심까지의 x축방향 거리

$x_{o,net}$: 순단면의 도심에서 순단면의 전단중심까지의 x축방향 거리

x_{of} : 플랜지의 도심에서 플랜지의 전단중심까지의 x축방향 거리

\bar{x} : 전단 평면에서 단면의 도심까지의 거리

y_o : 도심에서 전단중심까지의 y축방향 거리

$y_{o,aug}$: 도심에서 전단중심까지의 y축방향 가중평균거리

$y_{o,g}$: 총단면의 도심에서 총단면의 전단중심까지의 y축방향 거리

$y_{o,net}$: 순단면의 도심에서 순단면의 전단중심까지의 y축방향 거리

y_{of} : 플랜지의 도심에서 플랜지의 전단중심까지의 y축방향 거리

α : 중도리방향계수

α : 단위환산계수

α : 단부의 돌출 길이에 따른 강도증가계수

α : 계수

α_b : 계수

α_w : 타정공구직결파스너의 유형계수

β : 계수

β : 4.12.4.1(1)에서 사용되는 변수

β : $1 - (x_{o,aug}/r_{o,aug})^2$

β : 모멘트의 변화를 고려하는 값

β_o : 목표신뢰성지수

β_{rb} : 단일 압축부재를 횡지지하기 위한 횡지지재의 최소 소요강성

γ, γ_i : 계수

γ_i : 하중계수

δ, δ_i : 계수

ε : 계수

η : 변수

θ : 웨브면과 지압면 사이 각도

θ : 중도리 웨브면과 수직면 사이 각도

θ : 요소와 요소끝단스티프너 사이 각도

λ, λ_c : 세장비

λ_l : 기둥이나 보의 국부좌굴 세장비

λ_d : 기둥이나 보의 단면형상변형좌굴 세장비

λ_{dp} : 타정공구직결파스너의 첨단부 길이

$\lambda_{d1}, \lambda_{d2}$: 기둥 또는 보의 세장비

λ_t : 세장비

λ_v : 세장비

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: 압축변형률계수를 산정하기 위한 계수(세장비)

μ : 강재의 프와송비 = 0.3

ξ_{web} : 웨브의 응력구배

ρ : 국부감소계수

ρ : 감소계수

ρ_m : 감소계수

ρ_t : 감소계수

σ_{ez} : $(\pi^2 E) / (K_z L_z / r_z)^2$ 또는 $(\pi^2 E) / (L / r_z)^2$

σ_{ey} : x축에 대한 가중평균 단면이차모멘트에 기반한 탄성휨좌굴응력

σ_{ey} : $(\pi^2 E) / (K_y L_y / r_y)^2$ 또는 $(\pi^2 E) / (L / r_y)^2$

σ_{ey} : y축에 대한 가중평균 단면이차모멘트에 기반한 탄성휨좌굴응력

σ_{ey} : 웨브에 평행한 도심축 y에 대한 가중평균 단면이차모멘트에 기반한 탄성휨좌굴응력

σ_t : 비틀림좌굴응력

σ_t : 가중평균단면성능에 의한 비틀림좌굴응력

τ_b : 2차해석에 사용하는 강성저계수

ϕ : 강도저항계수

ϕ_b : 휨강도 저항계수

ϕ_c : 압축강도 저항계수

ϕ_t : 인장강도 저항계수

ϕ_y : 전단강도 저항계수

ϕ_w : 웨브크리플링강도 저항계수

ϕ : 계수

ω_i : 계수

Ψ : $|f_2/f_1|$

Δ_F : 4.1.1.1(1)③에서 요구하는 강성을 사용하여 1차탄성해석으로 구한, 횡변위를 고려 하는 방향의 층전단력 F

에 의한 층간변위

1.6 해석과 설계원칙

1.6.1 일반사항

(1) 이 장은 냉간성형강 구조부재, 조립재 및 시스템에 대한 설계 일반 요구사항을 규정한다. 구조부재 및 접합부의 설계는 설계자가 의도한 냉간성형강 구조체의 거동과 구조해석의 가정과 부합하여야 한다.

1.6.2 하중과 하중조합

(1) 하중 및 하중조합은 [KDS 41 12 00](#)에 따른다.

1.6.3 설계기본원칙

1.6.3.1 기본사항

(1) 구조물은 모든 하중조합에 대하여 강도 및 사용성 한계상태를 만족하여야 한다.

1.6.3.2 소요강도

(1) 구조부재와 접합부의 소요강도(계수하중에 의한 효과)는 1.6.2에서 규정하고 있는 하중조합에 의한 구조해석으로 산정한다.

1.6.3.3 강도설계

(1) 각 구조부재와 접합부의 설계강도는 하중저항계수설계법의 하중조합에 근거하여 산정된 소요강도 이상이어야 한다.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1.6-1)$$

여기서, R_u : 소요강도

ϕR_n : 설계강도

ϕ : 4.1, 4.9, 4.11에서 규정한 강도저항계수

R_n : 4.1, 4.9, 4.11에서 규정한 공칭강도

1.6.3.4 구조부재의 설계

(1) 1.6.4에서 규정한 형상 및 재료 제한조건을 만족하는 냉간성형강 구조부재의 저항계수는 4.2, 4.3, 4.4, 4.5

및 4.6의 사항에 따라 산정한다. 1.6.4에 규정된 제한범위를 벗어나는 냉간성형강 구조부재는 1.2.2에 따라 설계하는 것이 허용된다.

1.6.3.5 접합부설계

(1) 접합요소는 4.8에 따라 설계한다. 설계에서 사용된 힘과 변형은 설계자가 의도한 접합부의 목표성능과 구조해석의 가정조건과 부합하여야 한다. 접합부 자체의 제한적인 비탄성 변형은 허용된다. 다른 수단에 의한 횡구속이 제공되지 않으면 보와 트러스의 지지점에서는 부재 길이방향 축에 대한 회전을 구속하여야 한다.

1.6.3.6 콘크리트 정착설계

(1) 냉간성형강과 콘크리트와의 정착부는 건축구조기준에 따라서 설계하여야 한다. 현장매립이나 후설치 앵커의 경우 냉간성형강 부재나 접합요소에 의해 결정되는 접합부의 강도는 4.8.3에 따라 산정한다.

1.6.3.7 안정성설계

(1) 구조시스템과 구성 부재의 안정성은 4.1에 따라 산정한다.

1.6.3.8 구조 조립체와 시스템의 설계

(1) 다이아프램과 수집재를 포함한 냉간성형강 조립체와 구조시스템은 1.6.2에서 규정한 하중효과에 대하여 설계하여야 한다. 구조 조립체와 시스템은 4.7과 함께 4.1 ~ 4.6, 4.8 ~ 4.11의 관련 규정에 따라 설계한다.

1.6.3.9 사용성설계

(1) 구조체는 기대수명 동안 필요한 기능을 수행하도록 설계하여야 한다. 사용성 한계상태는 구조물의 의도된 기능에 기초하여 선택하며 실제 하중 및 하중조합을 사용하여 평가하여야 한다. 사용성에 대한 요구사항은 4.10의 규정에 따른다.

1.6.3.10 물고임설계

(1) 지붕면의 형상이 물고임을 방지할 수 있도록 고려되어 있지 않다면, 물고임 조건하에서 충분한 강도와 안정성을 확보할 수 있도록 지붕시스템에 대한 검토를 수행하여야 한다.

1.6.3.11 피로설계

(1) 초기균열과 점진적 파단을 초래할 수 있을 정도로 충분한 횟수와 크기의 탄성응력이 반복적으로 작용하는 냉강성형강 구조부재와 접합부에 대해서는 4.11의 규정에 따라 피로여부를 검토하여야 한다. 일반적인 건축물의 흡력저항시스템과 건물외장요소에 작용하는 지진이나 풍하중 효과에 대해서는 피로를 고려할 필요가 없다.

1.6.3.12 부식설계

(1) 부식이 구조물의 강도 또는 사용성을 손상시킬 수 있는 경우, 구조요소는 부식을 방지하거나 부식에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

1.6.4 치수제한 및 고려사항

1.6.4.1 기본사항

(1) 유효폭법 또는 직접강도법에 의한 설계가 모두 허용된다. 4.3 ~ 4.6에서 제시된 유효폭법 또는 직접강도법을 사용할 경우, 4.3 ~ 4.6에서 제안된 저항계수를 사용하기 위해 1.6.4.2의 제한조건을 만족하여야 한다. 1.6.4.2의 제한조건을 만족하지 않는 부재는 1.6.4.3을 따른다.

1.6.4.2 유효폭법 또는 직접강도법의 적용 제한

(1) 유효폭법 또는 직접강도법에 따라 설계되고, 4.3 ~ 4.6의 강도저항계수(ϕ)를 적용하는 부재는 표 1.6-1의 치수제한 조건을 만족해야 한다.

표 1.6-1 유효폭법 또는 직접강도법에 의한 경우 4.3 ~ 4.6의 부재설계에 대한 적용 한계

조건	제한 변수 ¹⁾	유효폭법	직접강도법
압축을 받는 구속판요소	w/t ²⁾	≤ 500	≤ 500

압축을 받는 단부 구속판 요소	b/t	$\text{I}_s \geq \text{I}_k$ 인 경우, ≤ 90 $\text{I}_s < \text{I}_k$ 인 경우, ≤ 60	≤ 160
압축을 받는 비구속판 요 소	d/t ²⁾	≤ 60	≤ 60
힘을 받는 구속판요소 (웨브 등)	h/t	비보강 웨브 < 200 지압스티프너 ³⁾ ≤ 260 지압 및 중간 스티프너 ³⁾ ≤ 300	≤ 300
안쪽 구부림 반지름	R/t	≤ 10 ⁴⁾	≤ 20
단순 끝단스티프너 길이/폭 비	d_0/b_0	≤ 0.7	≤ 0.7
끝단스티프너 유형		단순	단순 및 복합
h 에서 중간스티프너의 최 대 개수	n_f	4	4
h 에서 중간스티프너의 최 대 개수	n_{fe}	2	2
h 에서 중간스티프너의 개 수	n_w	0	4

주 1) 변수 정의

w : 압축 구속판 요소의 평판 폭 (중간스티프너 무시)

t : 요소의 두께

b : 끝단스티프너 요소의 평판 폭 (중간스티프너 무시)

b_0 : 끝단스티프너 요소의 외측기준 폭 (중간스티프너 무시)

d : 비구속판 요소의 평판 폭 (중간스티프너 무시)

d_0 : 비구속판 요소의 외측기준 폭 (중간스티프너 무시)

h : 웨브 평면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤 (중간스티프너 무시)

R : 안쪽 구부림 반지름

n_f : 압축을 받는 구속판요소의 중간스티프너의 개수

n_{fe} : 끝단스티프너를 가진 요소의 중간스티프너의 개수

n_w : 웨브처럼 등변응력을 받는 구속판요소의 중간스티프너의 개수

F_v : 공칭항복강도

2) $w/t > 250$ 인 압축 구속판요소와 $d/t > 30$ 인 압축 비구속판 요소는 전강도에 도달하기 전에 상당한 변형이 동반 될 수 있다.

3) 4.4.5.1절에 따른 지압 및 중간스티프너 요구사항.

4) 안쪽 구부림 반지름 두께비(R/t)가 10을 초과하는 경우, 합리적인 공학적 해석이 허용된다.

5) 추가 제한사항은 3장 참조.

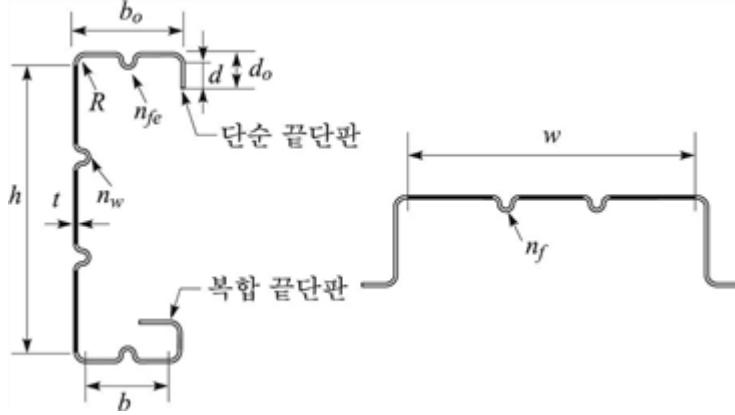


그림 1.5-1 표 1.5-1 관련 기호

1.6.4.3 적용범위를 벗어나는 부재

(1) 1.5.4.2에 제시된 형상 및 재료 제한조건을 벗어나는 부재는 1.2.2의 규정을 따른다. 단, 다음의 ① 또는 ②를 사용하여 저항계수(ϕ)를 산정한다면 예외적으로 직접강도법을 사용할 수 있다.

① 1.2.2(3)의 합리적인 공학적 해석에 의해 산정된 저항계수(ϕ)를 사용하는 경우

② 4.9를 이용하여 실험데이터를 분석할 때 4.9.2의 예상강도저항계수(ϕ)가 4.3 ~ 4.6에서 사용된 것보다 같거나 클 경우, 4.3 ~ 4.6의 기존 저항계수(ϕ)를 사용한다.

(2) 4.9.2에서 전문성계수(F)는 실험강도에 대한 예측강도의 비이며, 여기서 예측강도는 직접강도법에 의한 예측치이다. F_m 은 F 의 평균값이며, V_F 는 F 의 변동계수이다. 만약 V_F 가 15%이하이면 C_F 는 1.0로 한다. 최소 3회의 실험을 수행하여야 한다.

1.6.4.4 전단지연계수 - 집중하중을 받는 단경간보

(1) 경간이 $30w_f$ 미만의 보에서 하나의 집중하중 또는 $2w_f$ 간격 이상으로 다수의 하중을 받는 경우, 인장력과 압축력에 관계없이 모든 플랜지의 유효설계폭은 표 1.6-2의 값으로 제한한다.

표 1.6-2 넓은 플랜지를 가진 단경간 보의 실제폭(w)에 대한 유효설계폭(b)의 최대 허용비

주 1) L = 단순보의 전 경간, 연속보의 변곡점 사이의 거리, 캔틸레버보 길이의 2배

2) w_f = I형단면 보 또는 이와 유사한 단면에서는 웨브 면에서 돌출한 플랜지의 폭, 상자형 또는 U형 단면에서는 웨브 사이의 거리의 절반

(스티프너의 깊이를 더하여 계산한다)

L/w_f	b/w
30	1.00
25	0.96
20	0.91
18	0.89
16	0.86
14	0.82
12	0.78
10	0.73
8	0.67
6	0.55

1.6.5 부재단면특성

(1) 단면의 특성(단면적, 단면 2차 모멘트, 단면계수, 단면 2차 반경 등)은 기존의 구조 설계방법에 따라 산정한다.

부재강도를 산정하는 데 사용되는 특성은 4.12 사항에 따라 산정한 감소 단면 또는 유효설계 폭에 따라 결정된 경우를 제외하고 부재의 전체단면 (또는 순단면을 적용할 수 있는 경우는 순단면)으로 한다. 사용성 설계에 사용하는 단면은 4.10 사항에 따라 결정한다.

1.6.6 제작 및 설치

(1) 이 조항은 [KDS 41 30 20](#) 건축물 강구조 설계기준을 따른다.

1.6.7 품질관리 및 품질보증

1.6.7.1 제작 최소 두께

(1) 현장 납품 무도장 냉간성형 강재의 최소두께는 설계두께의 95%이상이어야 한다. 그러나 모서리(곡면부)의 두께는 냉간성형에 의한 굴곡가공으로 더 얇은 두께를 허용한다.

1.6.8 기존 구조물의 평가

(1) [KDS 41 30 10](#)(4.14) 에 따른다.

1.7 구조설계도서

(1) [KDS 41 30 10](#)(1.7) 에 따른다.

1.8 제작?설치 및 품질관리

(1) [KDS 41 30 10](#)(1.8) 에 따른다.

2. 조사 및 계획

내용 없음.

3. 재료

3.1 일반사항

(1) 이 기준에서는 한국산업표준(이하 'KS'라 한다)에 적합한 강재를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 3.2의 요구조건을 만족하지 않는 강재는 3.3의 조건을 만족하면 구조용으로 사용할 수 있다.

3.2 적용 강재

(1) 강재는 표 3.2-1에 나타낸 KS에 적합한 것을 사용하여야 하며, 강재의 항복강도 및 인장강도는 표 3.2-2에 나타낸 값으로 한다. 강재는 KS에 의해 기계적 성질이 제공되어야 하며 시험성적서를 통해 이를 확인할 수 있어야 한다.

표 3.2-1 주요 강재의 재질규격

번호	명칭	강종
KS D 3030	용융 아연 마그네슘 알루미늄 합금 도금 강판 및 강대	SGMH245Y, SGMH295Y, SGMH335Y, SGMH365Y, SGMH400Y, SGMC245Y, SGMC295Y, SGMC335Y, SGMC365Y, SGMC560Y
KS D 3503	일반 구조용 압연 강재	SS235, SS275, SS315, SS410, SS450, SS550
KS D 3506	용융 아연 도금 강판 및 강대	SGH245Y, SGH295Y, SGH335Y, SGH365Y, SGH400Y, SGC245Y, SGC295Y, SGC335Y, SGC365Y, SGC560Y
KS D 3512	냉간 압연 강판 및 강대	SPCD, SPCE, SPCF, SPCG
KS D 3515	용접 구조용 압연 강재	SM275A, B, C, D, -TMC SM355A, B, C, D, -TMC SM420A, B, C, D, -TMC SM460B, C, -TMC
KS D 3529	용접 구조용 내후성 열간압연 강재	SMA275AW, AP, BW, BP, CW, CP SMA355AW, AP, BW, BP, CW, CP

KS D 3530	일반 구조용 경량 형강	SSC275
KS D 3542	고 내후성 압연 강재	SPA-H, SPA-C
KS D 3566	일반 구조용 탄소 강관	SGT275, SGT355, SGT410, SGT450, SGT550
KS D 3568	일반 구조용 각형 강관	SRT275, SRT355, SRT410, SRT450, SRT550
KS D 3632	건축 구조용 탄소 강관	SNT275E, SNT355E, SNT460E, SNT275A, SNT355A, SNT460A
KS D 3770	용융 55% 알루미늄 아연 합금 도금 강판 및 강대	SGLH295Y, SGLH335Y, SGLH365Y, SGLH400Y, SGLC295Y, SGLC335Y, SGLC365Y, SGLC560Y
KS D 3781	철탑용 고장력강 강재	SH450P, SH450S
KS D 3854	건축 구조용 표면 처리 경량 형강	ZSS295Y
KS D 3861	건축 구조용 압연 강재	SN275A, B, C SN355B, C SN460B, C
KS D 3864	건축 구조용 냉간 각형 탄소 강관	SNRT295E, SNRT360E, SNRT275A, SNRT355A

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa)

	SGMH245Y	SGMH295Y	SGMH335Y	SGMH365Y		
--	----------	----------	----------	----------	--	--

강 도	강재	SGMC245Y	SGMC295Y	SGMC335Y	SGMC365Y	SGMH400Y	SGMC560Y
	기호	1)	1)	1)	1)	SGH400Y ³⁾	2)
	판 두께	SGH245Y ³⁾ SGC245Y ⁴⁾	SGH295Y ³⁾ SGC295Y ⁴⁾	SGH335Y ³⁾ SGC335Y ⁴⁾	SGH365Y ³⁾ SGC365Y ⁴⁾		SGC560Y ⁵⁾

- 주 1) SGMC245Y, SGMC295Y, SGMC335Y, SGMC365Y의 판두께는 0.25mm 이상 2.3mm 이하
 2) SGMC560Y의 판두께는 0.25mm 이상 2.0mm 이하
 3) SGH245Y, SGH295Y, SGH335Y, SGH365Y, SGH400Y의 판두께는 1.2mm 이상 6.0mm 이하
 4) SGC245Y, SGC295Y, SGC335Y, SGC365Y의 판 두께는 0.25mm 이상 2.0mm 이하
 5) SGC560Y의 판두께는 0.25mm 이상 2.0mm 이하

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강 도	강재	SGLH295Y	SGLH335Y	SGLH365Y	SGLH400Y	SGLC560Y ²⁾
	기호	SGLC295Y ¹⁾	SGLC335Y ¹⁾	SGLC365Y ¹⁾		
	판 두께					
<i>F_v</i>	1.6mm 이상 2.3mm 이하	295	335	365	400	560
	1.6mm 이상 2.3mm 이하	400	440	490	540	570

주 1) SGLC295Y, SGLC335Y, SGLC365Y의 판두께는 0.25mm 이상 2.3mm 이하

2) SGLC560Y의 판두께는 0.25mm 이상 2.0mm 이하

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강재 종별	SPCD	SPCE	SPCF	SPCG	SSC275	SPA-H SPA-C	SH450P SH450S	ZSS295Y
판두께 (mm)			0.6 이상		1.6~6.0	16 이하 ¹⁾	6.0~35 ²⁾	0.8~2.5
강 도	<i>F_s</i>	240	220	210	190	275	335	450
	<i>F_u</i>	270	270	270	270	410	490	590

주 1) SPA-C의 판두께는 0.6mm 이상 2.3mm 이하

2) SH450S의 판두께는 35mm 이하

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강 도	강재 기호 판 두께	SS235	SS275	SS315	SS410	SS450	SS550
<i>F_s</i>	16mm 이하	235	275	315	410	450	550
	16mm 초과 40mm 이하	225	265	305	400	440	540
<i>F_u</i>	100mm 이하	330	410	490	540	590	690

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강 도	강재 기호 판 두께	SM275 SMA275	SM355 SMA355	SM420	SM460	SN275	SN355	SN460
<i>F_v</i>	16mm 이하	275	355	420	460	275	355	460
	16mm 초과 40mm 이하	265	345	410	450			
	75mm 이하	410	490	520	570	410	490	570

표 3.2-2 주요 구조용 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강도	강재 기호 판 두께	SM275-TMC SN275-TMC	SM355-TMC SN355-TMC	SM420-TMC	SM460-TMC SN460-TMC
<i>F_v</i>	80mm 이 하	275	355	420	460
<i>F_u</i>	80mm 이 하	410	490	520	570

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강재 종별	SNT275	SNT355	SNT460	SNRT275A	SNRT295E	SNRT355A	SNRT360E	
판두께 (mm)	2.3~40 ²⁾			6.0~40 ²⁾				
	<i>F_u</i>	275	355	460	275	295	355	360

강 도	F_u	410	490	570	410	410	490	490
--------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

주 1) SNRT295E의 판두께는 22 mm 이하

표 3.2-2 주요 강재의 재료강도(MPa) (계속)

강도	강재 종별 판두께	SGT275 SRT275 ¹⁾	SGT355 SRT355 ¹⁾	SGT410 SRT410 ¹⁾	SGT450 SRT450 ¹⁾	SGT550 SRT550 ¹⁾
F_u	40mm 이하	275	355	410	450	550
F_u	40mm 이하	410	500	540	590	690

주 1) SRT275, SRT355, SRT410, SRT450, SRT550의 판두께는 30 mm 이하

(2) 구조부재, 데크, 접합부 등에 사용되는 강재는 3.2와 3.3의 사용범위와 제한을 따른다.

(3) 적용 가능한 강재는 50mm 표점거리에 대한 최소 연신율 요구조건에 따라 유형을 구분한다.

3.2.1 최소 연신율이 10% 이상인 강재 (연신율 $\geq 10\%$)

(1) 다음 조건을 모두 만족시키는 강재들은 별도의 제한 없이 사용할 수 있다.

① 항복비가 93% 이하인 경우

② 최소 연신율이 50mm 표점거리 기준 10% 이상인 경우 또는 200mm 표점거리 기준 7% 이상인 경우

(2) 표3.1-1의 강재들은 위 (1)항의 조건을 만족한다.

3.2.2 최소 연신율이 3% 이상 10% 미만인 강재 ($3\% \leq$ 연신율 $< 10\%$)

(1) 표점거리 50 mm 기준 최소 연신율이 3% 인 강재의 경우, 구조 부재 및 접합부의 강도가 이 기준의 1.5 ~ 4.11

(4.8의 용접 기준 제외), 4.12 및 4.13의 사항에 따라 계산할 경우 사용할 수 있다. 이 경우, 강도 계산 시 강재의 설

계기준항복강도는 F_{u0} 대신 $0.9F_{u0}$ 를 사용하며, 설계기준인장강도는 F_u 대신 $0.9F_u$ 를 사용한다.

3.2.3 최소 연신율이 3% 미만인 강재 (연신율 < 3%)

3.2.1과 3.2.2의 규정을 만족하지 못하는 강재는 지붕, 사이딩 및 바닥 데크 등 복수의 웨브를 갖는 부재에만 다음과 같은 설계변수의 조정을 통해 적용할 수 있다.

(1) 4.4의 공칭 휨강도 계산 시 감소된 항복강도 $R_b F_{sv}$ 를 적용한다. 이 때, 감소계수 R_b 는 다음 식 ① 또는 ②를 이용하여 산정한다.

① 구속 또는 부분구속 압축 플랜지

가. $w/t \leq 0.067 E/F_{sv}$ 인 경우,

$$R_b = 1.0$$

나. $0.067 E/F_{sv} < w/t \leq 0.974 E/F_{sv}$ 인 경우,

$$R_b = 1 - 0.26(wF_{sv}/(tE) - 0.067)^{0.4}$$

다. $0.974 E/F_{sv} < w/t \leq 500$ 인 경우,

$$R_b = 0.75$$

② 비구속 압축 플랜지

가. $w/t \leq 0.0173 E/F_{sv}$ 인 경우,

$$R_b = 1.0$$

나. $0.0173 E/F_{sv} < w/t \leq 60$ 인 경우,

$$R_b = 1.079 - 0.6 \sqrt{wF_{sv}/(tE)}$$

여기서, w : 압축 플랜지의 평판 폭

t : 단면두께

E : 탄성계수

F_{sv} : 3.2.3에서 정의된 최소 항복강도, $\leq 550 \text{ MPa}$

(2) 4.12와 4.1 ~ 4.8(4.4.2.4 제외)의 공칭강도 계산을 위한 항복강도 F_v 는 최소 항복강도의 75% 또는 414 MPa 중 작은 값을 적용한다.

(3) 4.8의 공칭강도 계산을 위한 인장강도 F_u 는 최소 인장강도의 75% 또는 427 MPa 중 작은 값을 적용한다.

(4) 위 방법에 대한 대안으로, 복수의 웨브를 갖는 부재의 적합성은 4.9.2.1의 규정에 따른 하중실험에 의해 평가할 수 있다. 이 실험에 의한 설계강도는 최소항복강도 $F_{u,y}$ 및 최소인장강도 $F_{u,t}$ 를 이용해 4.1 ~ 4.8, 4.12 및 4.13에 의해 산정된 설계강도를 초과할 수 없다.

3.3 기타 강재

(1) 아래의 조건이 만족된다면, 3.2절에서 열거한 강재가 아니라도 25mm 두께까지 사용할 수 있다.

① 강재는 이 기준에서 적용한 규격 또는 다른 공개된 사양에서 요구하는 화학적, 기계적 요구조건을 만족해야 한다. $F_{u,y}$ 와 $F_{u,t}$ 는 규정된 규격에서 요구하는 최솟값을 적용한다.

② 강재의 화학적, 기계적 성질은 이 기준에서 인용된 모든 일반 요구사항과 기술표준에 부합되도록 생산자, 공급자 또는 구매자가 결정한다.

③ 도금된 박판강재의 도금 특성은 관련 전문기준에 따라 생산자, 공급자 또는 구매자가 결정한다.

④ 강재를 용접할 경우, 원하는 용접 공정에 대한 적합성은 해당 전문기준에 따라 생산자, 공급자 또는 구매자가 결정한다.

(2) 3.3에서 규정한 강재는 3.2에서 허용한 용도와 제한조건을 만족하여야 한다.

(3) 철강 생산과 관련한 증명 및 관련 문서가 확보되지 않은 경우, 요구사항 3.3.(1)에서 3.3.(4)에 추가하여 냉간성형 철강제품 제조업체는 코일의 항복응력과 인장응력을 설정하되, 이는 관련 공개사양에서 요구하는 값보다 적어도 10% 더 커야 한다.

3.3.1 기타 강재의 연성도 요구조건

3.3.1.1 기본사항

(1) 3.2에 규정되지 않고, 3.3에 따라 구조용 부재 및 접합재로 사용하고자 하는 강재는 다음 요구조건을 만족하도록 한다.

① 파단부 12.7mm 표점거리에서의 최소 국부 연신율은 20%

② 파단 이외 부분의 최소 균일 연신율은 3%

(2) 이러한 기준에 따라 재료의 연성도가 결정되면, 강재는 4.4, 4.7.6.2(1), 4.7.6.2(2) 및 4.7.6.3(1)의 규정에 따라 중도리, 띠장, 커튼월 스터드 등에 사용하는 것으로 한정한다. 중도리, 띠장, 커튼월 스터드 등이 축력과 흐모멘트를 받는 경우, $\frac{P_u}{\phi_c P_n}$ 는 0.15를 넘지 않도록 한다.

3.3.1.2 커튼월 스터드 적용에 대한 제한

(1) 내진설계법주 D에 해당되는 건축물에 기타 강재를 커튼월 스터드로 사용하는 경우, 벽체 표면 면적당 고정하중은 0.72 kN/m^2 이하인 경우로 제한한다.

3.4 냉간성형에 의한 항복강도 및 강도 증가

3.4.1 항복 강도

(1) 설계에 적용하는 항복강도 F_v 는 4.9.2의 방법에 의해 3.2에서 정의한 최소항복강도 또는 3.4.2의 냉간성형에 의해 증가된 항복강도보다 크지 않도록 한다.

3.4.2 냉간성형에 의한 강도 증가

(1) 냉간성형에 의한 강도 증가는 F_v 대신 F_{vc} (전단면의 평균항복강도)를 사용하여 고려할 수 있다. 이러한 강도 증가는 4.2, 4.3, 4.4(4.4.2.4 제외) 및 4.6.1, 4.7.4, 4.7.6.2에 한정하며, 응력수준 F_v 에서 국부좌굴 또는 단면형상변화좌굴에 의한 강도저감이 발생하지 않는 경우에 적용한다. 구체적으로 기둥의 경우, 4.3.1에 따라 $P_{nl} = P_{ne}$ 및 4.3.4에 따라 $P_{nd} = P_v$ 를 적용하며, 보의 경우는 4.4.3에 따라 $M_{nl} = M_{ne}$ 및 4.4.4에 따라 $M_{nd} = M_v$ 를 적용할 수 있다. 냉간성형에 따른 강도증가 제한조건 및 F_{vc} 결정은 다음의 ①, ②, ③에 따른다.

① 강재의 설계 항복강도 F_{vc} 는 다음 방법에 의해 산정한다.

가. 전체단면 인장시험(4.9.2.3(1)① 참조)

나. 단주 압축시험(4.9.2.3(1)② 참조)

다. 식 3.4-1에 의한 계산

$$F_{vc} = \phi F_{vc} + (1 - \phi) F_{vf} \leq F_{uv} \quad (3.4-1)$$

여기서, F_{ya} : 압축부재 총단면 또는 휨재의 플랜지 총단면의 평균항복강도

C : 압축부재의 경우 전체 원단면적에 대한 모서리(곡면부) 전체 단면적의 비, 휨부재의 경우, 설계를 지배하는 플랜지의 전체 원단면적에 대한 모서리(곡면부) 전체 단면적의 비

$F_{yc} = B_c F_{yy} / (R/t)^m$, 모서리(곡면부)의 인장항복강도 (3.4-2)

식 3.4-2는 $F_{uv}/F_{yy} \geq 1.2$, $R/t \leq 7$ 이고 각도가 120° 이하인 경우에 적용함.

여기서, $B_c = 3.69(F_{uv}/F_{yy}) - 0.819(F_{uv}/F_{yy})^2 - 1.79$ (3.4-3)

F_{yy} : 3.4 또는 4.9.2.3(3)에 정의된 원강재의 설계기준항복강도

R : 모서리(곡면부)의 내측 반경

t : 단면의 요소두께

$m = 0.192(F_{uv}/F_{yy}) - 0.068$ (3.4-4)

F_{uv} : 3.4 또는 4.9.2.3(3)에 정의된 원강재의 인장강도

F_{yt} : 평판 부위의 가중평균 인장 항복강도로, 4.9.2.3(2)의 방법으로 산정하거나, 실험 자료가 없을 경우는 원강재의 항복강도를 택함

② 축방향 하중을 받는 인장부재의 항복강도는 ①의 가. 또는 나.의 방법에 따른다.

③ 용접에 의한 기계적 성질의 영향은 전체 단면에 대한 실험에 근거하여 결정하며, 이때 시험체는 표점거리 내에 용접부가 포함되도록 한다. 용접부가 포함된 구조부재는 용접의 영향을 적절히 고려하도록 한다.

4. 설계

4.1 안정성 설계

(1) 이 절은 안정성을 위한 구조물의 설계 요구사항에 대해 다룬다.

4.1.1 시스템 안정성 설계

(1) 이 장에서는 구조물의 안정성 확보를 위한 탄성설계 요구사항을 다룬다. 구조물 전체 및 각 요소에 대하여 안정

성을 확보하여야 한다. 구조물과 구조물 요소의 안정성에 미치는 다음 사항들의 영향을 모두 고려하여야 한다.

① 휨, 전단 및 축 방향 변형 및 구조물의 변형에 기여하는 다른 모든 구성 요소 및 접합부 변형

② 2차효과[골조효과($P-\Delta$)와 부재효과($P-\delta$) 포함]

③ 기하학적 불완전성

④ 잔류응력 및 단면의 국부항복에 의한 강성 감소

⑤ 단면변형 또는 국부 및 단면형상변형 좌굴에 의한 강성감소;

⑥ 시스템, 부재 및 접합부에 대한 강성과 강도의 불확실성

(2) 4.1.1.1, 4.1.1.2 또는 4.1.1.3에 제시된 방법으로 열거된 모든 효과를 고려하여 안정성에 대해 설계한다.

4.1.1.1 엄밀 2차탄성해석을 이용한 직접해석법

(1) ①에 따른 소요강도와 ②에 따른 설계강도로 구성되는 직접해석법은 모든 구조시스템에 사용할 수 있다.

① 소요강도 결정

직접해석법으로 설계할 경우, 구조체의 구성요소에 대한 소요강도는 가.에 의한 해석으로부터 산정한다. 이 해

석에서는 나.에 의한 초기변형과 다.에 따른 강성조정에 대한 고려를 포함한다.

가. 해석

각각의 부재력에 대한 시스템 및 부재 변형의 영향을 반영하여 $P-\Delta$ 및 $P-\delta$ 효과를 고려하여 탄성해석을 적용

한다. 대안으로 부재력에 대한 시스템 변형의 영향을 반영하는 $P-\Delta$ 효과만 고려된 탄성 해석을 수행하되, 계

수하중에 대한 소요휨강도 M_u 는 4.1.1.2(1)①가.에 따라 B_1 계수를 곱하여 산정한다.

나. 초기변형의 고려

부재가 교차되는 점에서 초기변형은 아래 (가), (나) 가운데 하나의 방법에 의해 고려한다. 추가적으로 부재

의 길이 방향의 다수 포인트에 초기변형을 포함시킬 수 있다.

(가) 초기변형에 대한 직접적 기하학적 고려사항

모든 경우에 해석과정에 직접적으로 초기변형의 영향을 반영하는 것이 허용된다. 구조물은 원래 위치에서 벗어난 부재의 교차점에 대해 해석한다. 초기변형의 크기는 설계에서 고려한 최대값으로 하고, 초기변형의 유형은 가장 큰 불안정 효과를 제공한 것으로 한다. 수직 기둥, 벽 또는 골조를 통해 중력하중을 지지하는 구조물의 해석에서, 모든 층에서 1차 탄성해석 최대 수평처짐에 대한 2차 탄성해석 최대 수평처짐의 비가 1.7 이하인 경우, 초기변형은 중력하중이 포함되는 경우에만 적용하고, 횡하중을 포함하는 하중 조합에 대한 해석은 하지 않아도 된다.

(나) 가상하중 적용에 의한 초기변형 고려

수직 기둥, 벽 또는 골조를 통하여 중력하중을 지지하는 구조물의 경우, 이 절의 요구조전에 따라 가상하중을 적용하여 초기변형의 영향을 반영할 수 있다. 가상하중은 공칭치수를 기초로 한 구조해석 모델에 적용한다.

☞ 가상하중은 모든 층레벨에서 횡하중 형태로 가한다. 아래 Ⓞ항의 경우를 제외하면 가상하중은 다른 횡하중에 추가하며 모든 하중조합에 적용한다. 가상하중의 크기는 다음과 같다.

$$N_i = (1/240) Y_i \quad (4.1-1)$$

여기서, N_i : i 층에 적용된 가상하중

Y_i : 하중조합에 따라 i 층에 적용된 중력하중

설계프로젝트 또는 다른 품질확보기준에서 더 엄격한 초기변형 제한기준이 있다면 위 식의 1/240보다 더 작은 값으로 대체할 수 있다.

☞ 어떤 층에서 가상하중 N_i 는 그 층에서 중력하중과 동일하게 해당 층에 분포시켜야 한다. 가상하중은 가장 큰 불안정 효과를 나타내는 방향으로 적용한다.

☞ 1차탄성해석 최대횡변위에 대한 최대 2차 탄성해석 최대횡변위의 비가 1.7이하인 구조물에 대해서는 중력하중이 작용하는 하중조합에만 가상하중 N_i 를 적용하고, 횡하중을 포함하는 하중 조합에는 가상하중의 적용을 생략하는 것이 허용된다.

다. 단면강성 수정

구조부재의 소요강도 [계수하중에 의한 효과]를 산정하기 위한 구조물의 해석에는 다음과 같이 감소강성을 사용한다.

(가) 구조물의 안정성에 기여하는 것으로 고려되는 부재의 모든 강성에는 0.90의 계수를 적용한다. 추가로, 흡력저항 시스템의 일부가 아닌 부재에도 강성감소를 적용할 수 있다.

(나) 흡강성이 구조물의 안정성에 기여하는 부재의 모든 흡강성에 대해서 추가감소계수 τ_b 를 적용한다.

① $P_u/P_y \leq 0.5$ 의 경우

$$\tau_b = 1.0 \quad (4.1-2)$$

② $P_u/P_y > 0.5$ 의 경우

$$\tau_b = 4(P_u/P_y)[1 - (P_u/P_y)] \quad (4.1-3)$$

여기서, P_u : 계수하중에 의한 압축강도

P_y : 부재의 축방향 항복강도

$$= F_y A_y \quad (4.1-4)$$

여기서, F_y : 항복강도

A_y : 총단면적

(다) $P_u/P_y > 0.5$ 인 경우, $\tau_b < 1.0$ 을 사용하는 대신, $(1/1000)Y$ 의 가상하중을 모든 하중조합에서 4.1.1.1(1)

①나.(나)의 규정한 방향으로 모든 층에 적용하면, 모든 부재에 대해 $\tau_b = 1.0$ 을 적용할 수 있다.

이러한 가상하중은 4.1.1.1(1)①나.(나)가 적용되지 않는 경우를 제외하고는, 4.1.1.1(1)①나.에서 규정한 하중에 추가해서 가해야 한다.

(라) 냉간성형 강재 이외의 재료로 구성된 구조요소가 구조물의 안정성에 기여하는 경우에는, 강성감소는 해당 설계기준에 의해 요구되는 값을 사용한다.

② 설계강도의 결정

가. 부재 및 접합부의 설계강도는 전체 구조물 안정성에 대한 추가적인 고려 없이 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 및 4.9의 규정에 따라 산정한다.

나. 모든 부재의 횡좌굴 유효길이계수 K_y 와 K_x 는 합리적인 공학적 해석에 의해 더 작은 값이 입증되지 않으면 1.0으로 한다.

다. 부재의 횡지지가새는 가새가 설치된 지점에서 부재 움직임을 제어할 수 있도록 충분한 강성과 강도를 가져야 하고 4.1.2에 따라 설계한다.

라. 4.1.1.1(1) ①나.에서 규정된 교차점에서의 초기변형에 추가하여 부재의 내부 포인트에 초기변형을 반영하여 해석하는 것을 고려하는 경우, 초기변형 평면에서의 부재의 횡좌굴강도를 단면의 강도로 적용하는 것이 허용된다.

마. 압축부재의 비틀림, 흔비틀림, 국부 및 단면형상변형 좌굴에 의한 설계강도는 4.3에서 규정한다.

4.1.1.2 증폭 1차탄성해석을 이용한 직접해석법

(1) ①에 따른 소요강도(계수하중에 의한 효과)의 산정과 ②에 따른 설계강도의 산정으로 구성되는 설계의 직접 해석방법은 수직방향으로 구축된 기둥, 벽 또는 골조를 통해 중력하중을 지지하는 구조물로 제한한다.

① 소요강도의 결정

직접해석법에 의해 설계를 수행할 경우, 구조요소의 소요강도는 가.에 따른 해석으로 산정한다. 이 해석 과정에 나.에 따라 초기변형의 영향과 다.에 따라 강성조정을 고려한다.

가. 해석

모든 부재에 대한 소요휨강도 M_u ,와 소요축강도 P_u 는 다음식에 따라 산정한다.

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{ht} \quad (4.1-5)$$

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{ht} \quad (4.1-6)$$

여기서, B_1 : 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 각 부재에 대해 작용하는 P- δ 효과(부재 효과)를 고려하기 위한 증폭계수, 식 (4.1-7)에 따라 해당 부재의 각 휨방향로 산정하고 압축력을 받지 않는 부재에 대해서는 B_1 은 1.0으로 한다.

B_2 : 구조물의 각층별로 정해지는 P- Δ 효과(골조효과)를 고려하기 위한 증폭계수; 식(4.1-10)을 사용해 해당 층의 횡변위 방향으로 산정한다.

M_{nt} : 구조물에 횡변위가 발생하는 비횡구속 골조에 대해 계수하중을 적용하여 1차탄성해석으로 구한 모멘트

M_{nt} : 횡변위가 구속된 구조물에 대해 하중조합을 사용한 1차 탄성해석으로 구한 모멘트

M_u : 2차효과(모멘트증폭효과)가 고려된 소요휨강도

P_u : 구조물에 횡변위가 발생하는 비횡구속골조에 계수하중을 적용하여 1차 탄성해석으로 구한 축력.

P_u : 횡변위가 구속된 구조물에 대해 계수하중을 적용하여 1차탄성해석으로 구한 축력

P_u : 2차효과가 포함된 소요축강도

P- δ 효과에 의한 증폭계수 B_1 은 식 4.1-7에 의해 산정한다. 여기서, P_u 는 반복해석에 의해 산정하거나, $P_{nt} + P_u$ 로 할 수 있다.

$$B_1 = C_m / (1 - P_u / P_{u1}) \geq 1.0 \quad (4.1-7)$$

여기서, C_m : 골조의 횡변형이 없다는 가정 하에 다음에 의해 산정한 계수

가. 휨을 받는 평면에서 지지점 사이에 횡하중이 작용하지 않는 보-기둥에 대해

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2) \quad (4.1-8)$$

여기서, M_1 , M_2 : 고려대상의 휨평면에서 비지지된 부재 단부에서의 최소휨모멘트와 최대휨모멘트. M_1 과 M_2 는 1차 탄성해석으로부터 산정한다.

M_1 / M_2 의 부호 : 부재의 변형이 복곡률이면 양수, 단곡률이면 음수이다.

나. 지지점 사이에 횡하중이 작용하는 보-기둥에 대한 C_m 은 해석에 의해 결정하거나 보수적으로 모든 경우에 대해 1.0을 적용한다.

다. P_{el} 는 휨평면에서 부재의 탄성임계좌굴강도이며, 부재의 양단부에서 횡변형이 없다는 조건하에 산정한다.

$$P_{el} = \pi^2 k_f / (K_1 L)^2 \quad (4.1-9)$$

여기서 k_f : 4.1.1.2(1)③에 의해 수정된 휨평면에서 대한 휨강성

L : 부재의 비지지길이

K_1 : 부재의 양단부에 횡변위가 없다고 가정하여 산정한 휨좌굴에 대한 유효길이계수, 휨평면에 따라 K_1 또는

K_2 를 적용함

= 1.0, 해석에 의해 더 작은 값을 확정할 수 없는 경우

각층과 각횡변형의 방향에 대한 P-Δ 효과 증폭계수 B_2 는 다음과 같이 산정한다.

$$B_2 = 1 / [1 - (P_{story} / P_{e, story})] \geq 1.0 \quad (4.1-10)$$

$$P_{e, story} = R_M H F / \Delta_F \quad (4.1-11)$$

$$R_M = 1.0 - 0.15 (P_{m,f} / P_{story}) \quad (4.1-12)$$

여기서, P_{story} : 고려하는 층에서 지지되는 총 수직하중으로 횡력저항시스템에 속하지 않은 기둥들의 하중을 포함한다.

$P_{e, story}$: 고려하는 횡변위 방향으로의 탄성임계 좌굴강도로서 횡좌굴해석 또는 식(4.1-11)에 의해 산정한다.

$P_{m,f}$: 고려하는 횡변위 방향으로의 모멘트골조에 속한 기둥들에 작용하는 총 수직하중; 가새골조시스템인 경우에는 0을 적용한다.

Δ_F : 고려하는 횡변위방향에 대한 1차탄성해석에 의한 층간변위로 4.1.1.2(1)③에서 요구하는 강성을 사용하여 산정한 층전단력 F 에 의해 발생한 상대 층간 변위를 의미한다.

H : 층고

F : 고려하는 횡변위방향에 대한 계수하중에 의한 층전단력

강체 다이아프램을 갖는 3차원 시스템에서 구조물의 평면 영역에 따라 Δ_{Fz} 값이 달라지는 경우, 수직하중에

비례하여 가중된 평균변위 또는 층의 최대 변위로 한다. 유연 및 반 강체 다이아프램을 갖는 2차원 시스템인 경우, Δ_{Fz} 는 각각의 독립된 골조에 대해 산정하거나 층의 최대 횡변위로 한다.

나. 초기변형의 고려

초기변형은 4.1.1.1(1)①나(가) 또는 4.1.1.1(1)①나(나)의 규정에 따른다.

다. 단면강성 수정

4.1.1.1(1)①다.에 따라 단면강성을 수정해야 한다.

② 설계강도의 결정

부재와 접합부의 설계강도는 4.1.1.1(1)①나.의 규정에 따라 산정한다.

4.1.1.3 유효길이법

(1) 유효길이법의 적용은 다음 조건에 의해 제한된다.

- ① 구조물은 수직으로 시공된 기둥, 벽 또는 골조에 의해 대부분의 중력하중을 지지한다.
- ② 모든 층에서 2차해석 최대층간변위와 1차해석 최대층간변위의 비가 1.5이하이어야 한다. 위 해석에서 강성은 저감하지 않은 공칭강성을 사용한다.

(2) 소요강도 결정

구조물의 구성요소의 소요강도는 ①에 따른 해석으로 결정하되, ②에 따라 초기변형에 대한 영향을 고려한다.

① 해석

해석은 4.1.1.2(1)①가.에 따라 수행하고, 공칭강성이 해석에 사용되어야 하며 4.1.1.2(1)①다.를 적용하지 않아야 한다.

② 초기변형 고려

4.1.1.1(1)①나(나)에 따라 해석에 가상하중을 적용해야 한다.

(3) 설계강도의 결정

부재와 접합부의 설계강도는 4.2 ~ 4.9의 규정에 따라 계산한다.

압축부재의 휨좌굴 유효길이계수, K_x 및 K_y 는 다음의 ① 또는 ②에 따라 적용한다.

① 가새골조시스템, 전단벽시스템 및 횡하중에 대한 횡방향 안전성과 저항력이 기둥의 휨강성에 의존하지 않는 구조시스템에서는, 합리적인 공학적 해석에 의해 더 낮은 값이 적절하다는 것을 입증하지 않는 한, 압축을 받는 부재의 K_x 및 K_y 는 1.0으로 사용한다.

② 모멘트골조 시스템과 기둥의 휨강성이 횡하중에 대한 횡방향 안정성 및 저항에 기여하는 기타구조 시스템에서는, 휨강성이 횡방향 안정성 및 내력에 기여하는 것으로 간주되는 기둥의 K_x 와 K_y 또는 탄성 임계좌굴 응력(최대좌굴응력) F_{cre} 는 구조물의 횡방향 좌굴해석으로 산정한다. 휨강성이 횡방향 안정성과 횡하중에 대한 저항에 기여하는 것으로 간주되지 않는 기둥의 K_x 와 K_y 는 1.0으로 한다.

예외: 모든 층에서 2차해석 최대층간변위와 1차해석 최대층간변위의 비가 1.1이하이면, 모든 기둥 설계에서 K_x 또는 K_y 를 1.0으로 할 수 있다.

부재의 횡지지에 사용되는 횡지지재는 지지점에서 부재 이동을 제어하기에 충분한 강성과 강도를 가져야 하며, 4.1.2에 따라 설계한다.

4.1.2 부재 횡지지

4.1.2.1 C형 단면과 Z형 단면의 보

(1) 웨브의 면내 하중을 받는 보로 사용되는 C형 단면 및 Z형 단면의 비틀림을 억제하기 위한 4.1.2.1(1)①의 횡지지 규정은, 어느쪽 플랜지도 효과적으로 횡변위가 억제되도록 데크 또는 외장재에 연결되지 않은 경우에만 적용한다. 상단 플랜지만 연결된 경우 4.7.6.4를 참조한다. 두 플랜지가 데크 또는 외장재에 효과적으로 연결되어 있는 경우 횡지지를 추가할 필요가 없다.

① 플랜지가 C 또는 Z형 단면의 강도 및 안정성에 기여하는 외장재에 연결되지 않은 경우

C형 단면 또는 Z형단면 부재의 상단 및 하단 플랜지의 각 중간 횡지지재는 P_{L1} 과 P_{L2} 의 저항력을 갖도록 설계 한다. 여기서 P_{L1} 은 x축과 y축이 모두 양인 사분면의 플랜지에 필요한 횡지지력이고, P_{L2} 는 다른 플랜지의 횡지지력이다.

x축은 웨브에 수직인 도심축으로, y축은 웨브에 평행한 도심축으로 지정해야 한다. x와 y 좌표는 플랜지 중 하나가 모두 양의 부호를 갖는 x축-y축 사분면에 위치하도록 방향을 정해야 한다. 좌표계 및 양의 힘 방향은 그림 4.1-1을 참조한다.

가. 등분포하중의 경우

$$P_{L1} = 1.5 [W_y K' - (W_x/2) + (M_e/d)] \quad (4.1-13)$$

$$P_{L2} = 1.5 [W_y K' - (W_x/2) + (M_e/d)] \quad (4.1-14)$$

여기서, W_x , W_y : 하중 W 의 x방향 및 y방향 성분; W_x 와 W_y 는 각각 양의 x와 y방향을 가리킬 경우 양의 부호를 갖는 것으로 한다.

여기서, W : 횡지지부재 양쪽 각각 0.5a 이내에 작용하는 하중

여기서, a : 횡지지재 중심간 거리

$$K' = 0 \quad (\text{C형 단면의 경우})$$

$$K' = I_{xy}/(2I_x) \quad (\text{Z형 단면의 경우}) \quad (4.1-15)$$

여기서, I_{xy} : 중도리 웨브에 평행한 도심축이나 수직인 도심축에 대한 원단면의 단면 상승모멘트

I_x : x축에 대한 원단면의 단면2차모멘트

$$M_e = -W_x e_{xy} + W_y e_{xx}, \text{ 전단중심에 대한 } W \text{의 비틀림모멘트}$$

여기서, e_{xy} , e_{xx} : x방향 및 y방향 하중성분의 전단중심에 대한 편심거리

d : 단면의 춤

등분포하중 W 가 웨브 평면을 통해 작용하는 경우(즉 $W_y = W$, $W_x = 0$ 인 경우) :

(가) C형 단면의 경우

$$P_{L1} = -P_{L2} = 1.5K'W \quad (4.1-16)$$

(나) Z형 단면의 경우

$$P_{L1} = P_{L2} = 1.5K'W \quad (4.1-17)$$

여기서, W : 횡지지부재 양쪽 각각 $0.5a$ 이내에 작용하는 하중

여기서, a : 횡지지재 중심간 거리

$$K' = m/d \quad (\text{C형 단면의 경우})$$

$$K' = I_{xy}/(2I_x) \quad (\text{Z형 단면의 경우})$$

m : C형 단면의 전단중심에서 웨브의 두께중심까지의 거리

$$\text{여기서, } m = \frac{w_f^2}{2w_f + d/3} \quad (\text{끝단판이 없는 C형 단면})$$

$$m = \frac{w_f dt}{4I_x} \left[w_f d + 2d_o \left(d - \frac{4d_o^2}{3d} \right) \right] \quad (\text{단순 끝단판이 있는 C형 단면})$$

여기서, $w_f = b_o - t$, 웨브의 내부면으로부터 플랜지의 둘출길이

d : 단면의 춤

t : 웨브의 두께

d_o : 단순 끝단판의 외측폭(그림 1.5-1 참조)

b_o : 플랜지의 최외단부 폭 (그림 1.5-1 참조)

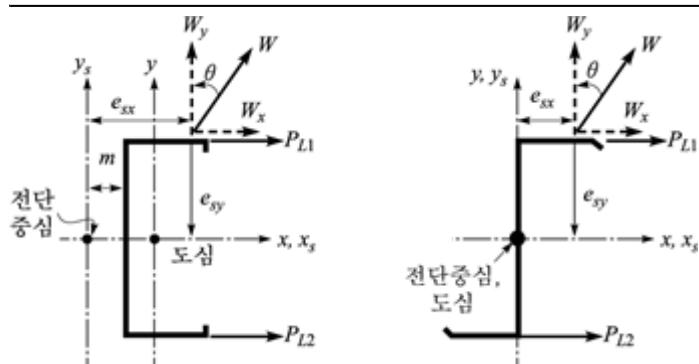


그림 4.1-1 좌표계 및 양의 부호를 갖는 힘의 방향

나. 집중하중의 경우

$$P_{L1} = P_y K' - (P_x/2) + (M_e/d) \quad (4.1-18)$$

$$P_{L2} = P_y K' - (P_x/2) - (M_i/d) \quad (4.1-19)$$

집중하중이 웨브 평면을 통해 작용하는 경우(즉 $P_y = P$ 이고, $P_x = 0$ 인 경우):

$$P_L = K' \left[P + 1.4 \sum \left(1 - \frac{l}{a} \right) P' \right] \quad (4.1-20)$$

(가) C형 단면의 경우

$$P_{L1} = -P_{L2} = K' P \quad (4.1-21)$$

(나) Z형 단면의 경우

$$P_{L1} = P_{L2} = K' P \quad (4.1-22)$$

여기서, P_x, P_y : 집중하중 P 의 x방향 및 y방향 성분으로 양의 x와 y방향을 가리킬 경우 양의 부호를 갖는 것으로 한다.

$$K' = m/d \quad (\text{C형 단면의 경우})$$

$$K' = I_{xy}/(2I_x) \quad (\text{Z형 단면의 경우})$$

$$M_i = -P_x e_{iy} + P_y e_{ix}, \text{ 전단중심에 대한 } P \text{의 비틀림 모멘트}$$

P : 횡지지재로부터 양측에서 각각 0.3a이내에 작용하는 집중하중

P' : 횡지지재로부터 양측에서 각각 0.3a 이상 1.0a 이내에 작용하는 집중하중, 이 위치에 있는 각 집중하중 P' 에 $1.4(1 - l/a)$ 를 곱한 값을 횡지지력에 추가한다.

l : 집중하중 작용점에서 횡지지재까지의 거리

다른 변수의 정의는 4.1.2.1①를 따른다.

횡지지력 P_{L1}, P_{L2} 은 음의 x 방향으로 해당 플랜지의 이동을 방지하기 위해 구속이 필요한 경우는 양의 값이다.

횡지지재가 설치되는 경우 양단 및 임의의 중간 횡지지점에서 양쪽 플랜지의 횡방향 변위를 막을 수 있도록 횡지지재를 접합한다.

비틀림 회전 및 횡방향 변위에 대해 단면을 효과적으로 구속하는 방법에 의해 보에 작용하는 모든 하중과

반력이 부재를 통해 골조에 전달되는 경우, 4.4.3에 따른 강도요구사항 이외에는 추가적인 횡지지재 설치는 필요하지 않다.

② 플랜지가 C 또는 Z 형 단면의 강도 및 안정성에 기여하는 외장재에 연결된 경우

외장재가 압축 플랜지에 부착된 부재에 대해서, 4.7.6.4 (1)의 규정을 만족하는 경우 4.7.6.4 (1)를 따른다. 외장재가 인장 플랜지에 부착된 부재에 대해서는, 4.7.6.4 (2)의 규정을 만족하는 경우 4.7.6.4 (1)를 따른다.

4.1.2.2 축 순수압축력을 받는 부재의 횡지지재

(1) 횡지지재의 소요 설계강도 및 강성은 4.1.1의 요구요건에 따라 2차해석으로 산정하는 것이 허용된다. 또는 대안으로 개별 중심 축하중을 받는 압축부재가 소요압축강도를 발휘할 수 있는 적절한 중간 횡지지재(또는 다수의 횡지지재 포함)를 제공하려면, 횡지지재에 작용하는 소요설계강도는 식(4.1-22)에 따라 산정한다.

$$P_{rb} = 0.01 P_{ra} \quad (4.1-22)$$

여기서, P_{rb} : 축력 P_{ra} 를 받는 단일 압축부재를 지지하기 위한 횡지지재의 소요압축강도

P_{ra} : 횡지지재에 의해 지지되는 개별 중심 축하중을 받는 압축부재의 소요압축강도

각 횡지지재의 강성은 식(4.1-23)에서 계산된 β_{rb} 이상이어야 한다.

$$\beta_{rb} = \frac{2[4 - (2/n)]}{L_b} \left(\frac{P_{ra}}{\phi} \right) \quad (4.1-23)$$

여기서, $\phi = 0.75$

β_{rb} : 단일 압축부재를 횡지지하기 위한 횡지지재의 최소 소요강성

n : 등간격으로 배치된 중간 횡지지재 개수

L_b : 중심 축압축력을 받는 개별 부재에 설치된 횡지지재 사이의 거리

횡지지된 부재에 대해 수직방향으로 설치되지 않는 횡지지재의 소요강도와 강성은 경사각도에 맞게 조정하여야 한다.

4.2 인장 부재

(1) 이 절은 중심축 인장력을 받는 부재에 적용한다.

4.2.1 일반 요구사항

(1) 중심축 인장력을 받는 부재의 설계인장강도는 총단면의 항복한계상태와 순단면의 파단한계상태에 대해 각각

4.2.2와 4.2.3에 의해 산정된 값 중 작은 값으로 한다. 계수하중은 1.5.3.3의 설계법에 따라 결정한다. 공칭인장강도는 4.8에 따라 산정한 인장부재의 접합부 강도에 의해 제한된다.

4.2.2 총단면의 항복

(1) 총단면의 항복에 대한 공칭인장강도는 아래와 같이 산정한다.

$$T_n = F_y A_g \quad (4.2-1)$$

$$\phi_t = 0.90$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

F_y : 강재의 항복강도

4.2.3 순단면의 파단

(1) 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도는 아래와 같이 산정한다.

$$T_n = F_u A_e \quad (4.2-2)$$

$$\phi_t = 0.75$$

여기서, A_e : 부재의 유효단면적

F_u : 인장강도

4.3 압축 부재

(1) 이 절은 중심축 압축력을 받는 부재에 적용한다.

4.3.1 일반 요구사항

(1) 설계압축강도는 4.3.2, 4.3.3과 4.3.4에 의해 산정된 한계상태에 대한 설계강도 중에서 가장 작은 값으로 한다.

4.3.2 항복 및 전체 좌굴(휩좌굴, 비틀림좌굴 및 휨비틀림좌굴)

(1) 항복과 전체(휩좌굴, 비틀림좌굴 및 휨비틀림좌굴)좌굴에 대한 공칭축강도 P_{ne} 는 이 절을 따라 산정한다. 설계

강도 산정을 위한 강도저항계수는 1.5.3.3을 따른다.

$$P_{ne} = F_n A_s \quad (4.3-1)$$

$$\phi_c = 0.85$$

여기서, A_s : 부재의 총단면적

F_n : 공칭압축응력으로 다음과 같이 산정한다.

(1) $\lambda_c \leq 1.5$ 인 경우

$$F_n = F_{cr} = (0.658)^{\frac{1}{\lambda_c}} F_y \quad (4.3-2)$$

(2) $\lambda_c > 1.5$ 인 경우

$$F_n = F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (4.3-3)$$

$$\text{여기서, } \lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} \quad (4.3-4)$$

여기서, F_{cre} : 4.3.2.1에서 4.3.2.5 또는 4.13에 의해 결정된 탄성 전체(휩좌굴, 비틀림좌굴, 휨비틀림좌굴)좌굴응력 중 최솟값

F_y : 항복강도

4.3.2.1 비틀림 또는 휨비틀림 좌굴에 지배받지 않는 단면

(1) 2축대칭단면, 닫힌 상자형 단면 등 비틀림좌굴 혹은 휨비틀림좌굴이 발생하지 않는 단면의 경우, 탄성휩좌굴

강도는 다음과 같이 산정한다.

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (4.3-5)$$

여기서, E : 강재의 탄성계수

K : 4.1에서 결정되는 유효좌굴길이계수

L : 부재의 횡좌굴에 대한 비지지길이

r: 감소하지 않은 원단면의 좌굴축에 대한 단면2차반경

① 닫힌 상자형 단면

중심축 압축력을 받는 닫힌 상자형 단면을 갖는 부재 중 3% 이상 10% 이하의 최소 연신율을 갖는 강재로 제작되고, 유효좌굴길이 KL 이 (4.3-6)을 통해 산정되는 L_0 의 1.1배보다 작을 경우에는 식 (4.3-5)에 저감된 단면2차반경 $(R_r)(r)$ 을 사용한다. 저감된 단면반경 $(R_r)(r)$ 은 (4.3-7)을 따른다.

$$L_0 = \pi r \sqrt{\frac{E}{F_{cr1}}} \quad (4.3-6)$$

$$R_r = 0.65 + \frac{0.35(KL)}{1.1L_0} \quad (4.3-7)$$

여기서, L_0 : 국부좌굴응력과 휨좌굴응력이 같아지는 부재의 길이

r: 감소하지 않은 원단면의 좌굴축에 대한 단면2차반경

E: 강재의 탄성계수

F_{cr1} : (4.12-4)에 의해 산정된 단면의 최소임계좌굴응력

R_r : 감소계수

KL : 4.1에 의해 결정된 유효좌굴길이

4.3.2.2 비틀림 또는 휨비틀림 좌굴에 지배받는 2축 또는 1축 대칭부재

(1) 휨비틀림좌굴을 받는 1축 대칭 부재의 경우, F_{cre} 는 4.3.2.1을 통해 산정된 F_{cre} 와 다음의 식을 통해 산정된 F_{cre} 중 작은 값을 사용한다.

$$F_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (4.3-8)$$

(4.3-8) 대신 보수적으로 (4.3-9)를 사용해도 된다.

$$F_{cre} = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}} \quad (4.3-9)$$

여기서, $\beta = 1 - (x_o/r_o)^2$ (4.3-10)

여기서, $r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2}$ (4.3-11)

: 전단중심에 대한 단면극관성반경

여기서, r_x , r_y : 주축에 대한 단면2차반경

x_o : 도심에서 전단중심까지의 x주축방향 거리로, 음수값으로 취함

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.3-12)$$

여기서, A : 부재의 원단면적

G : 강재의 전단탄성계수

J : 비틀림상수

E : 강재의 탄성계수

C_w : 단면의 비틀림 와평상수

K_t : 4.1에 의해 결정되는 비틀림좌굴에 대한 유효길이계수

L_t : 비틀림에 대한 압축재의 비지지길이

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (4.3-13)$$

여기서, K_x : 4.1에 의해 결정되는 x축 힘에 대한 유효길이계수

L_x : x축에 대한 힘을 받는 압축재의 비지지길이

1축 대칭부재의 경우, x축은 대칭축으로 한다.

2축 대칭부재가 비틀림좌굴을 받는 경우, F_{cre} 는 4.3.2.1에 의해 계산된 값과 $F_{cre} = \sigma_t$ 중에서 작은 값으로 한다.

여기서 σ_t 는 (4.3-12)에 따라 산정한다.

1축 대칭 비구속 L형 단면에서, 항복응력 F_y 에서의 유효단면적 (A_e)이 저감되지 않은 원단면적 (A)와 같은 경우

또는 4.3.3의 직접강도법에 따라 $P_{nl} = P_{ne}$ 인 경우에는, F_{cre} 를 식(4.3-8)을 사용하여 산정한다. 여기서 r 은 최소 단면반경을 사용한다.

4.3.2.3 점대칭단면

(1) 점대칭단면의 경우, F_{cre} 는 4.3.2.2에 의해 결정되는 σ_t 와 4.3.2.1에 의해 단면의 소주축방향에 대해 결정된 F_{cre} 중 작은 값을 사용한다.

4.3.2.4 비대칭단면

(1) 특정선이나 점에 대해 대칭성이 전혀 없는 비대칭부재의 경우, F_{cre} 는 4.13나 합리적인 공학적 해석을 통해 결정한다. 대안으로, 4.9.2에 의해 규정된 실험을 통한 산정이 허용된다.

4.3.2.5 구멍이 있는 단면

(1) 단면에 구멍이 포함된 경우, F_{cre} 는 4.13에 의해 구멍의 영향을 고려한다. 대안으로, 4.9.2에 규정된 실험을 통해 구멍의 영향을 평가하여 반영한다.

단, 유효폭법 적용 시 구멍 크기가 4.12.1.1의 제한을 만족할 경우 이 절의 규정은 따르지 않아도 된다.

4.3.3 항복 및 전체좌굴과 상호작용하는 국부좌굴

(1) 항복 및 전체좌굴과 상호작용하는 국부좌굴에 대한 공칭축강도 P_{n1} 는 이 절을 따라 산정한다. 모든 부재는 국부좌굴과 항복 또는 국부좌굴과 전체좌굴과의 상호작용으로 인한 강도저하 가능성에 대해 검토한다. 이 상호작용에 따른 강도저하는 4.3.3.1의 유효폭법 또는 4.3.3.2의 직접강도법에 의해 고려하여야 한다. 강도저항계수는 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_c = 0.85$$

4.3.3.1 유효폭법

(1) 유효폭법을 사용할 경우, 국부좌굴에 대한 공칭축강도 P_{n1} 은 다음과 같이 산정한다.

$$P_{n1} = F_n A_e \leq P_{ne} \quad (4.3-14)$$

여기서, F_n : 4.3.2에 정의된 공칭좌굴응력

A_e : 4.3.3.1(1)과 4.3.3.1(2)에 의해 결정된 응력 F_n 에서의 유효단면적

P_{ne} : 4.3.2에 의해 결정되는 항복과 전체좌굴을 고려한 공칭축강도

중심축하중을 받는 L형단면은 4.6.1.2의 M_{ux} 와 M_{uy} 의 정의에서 명시된 추가휨모멘트를 고려하여 설계한다.

① 구멍이 없는 부재

닫힌 원형부재를 제외한 구멍이 있는 부재의 경우, A_e 는 두께와 단면을 구성하는 각 요소의 유효폭을 곱한 값의 합으로 결정하며, 이 때 모든 요소의 유효폭은 응력 F_n 에서 4.12에 따라 결정한다.

가. 닫힌 원통형단면

외경두께비 D/t 가 $0.441E/F_y$ 보다 크지 않는 경우, 유효단면적 A_e 는 다음과 같이 산정한다.

$$A_e = A_o + R(A - A_o) \quad (4.3-15)$$

$$\text{여기서, } A_o = \left[\frac{0.037}{(DF_y)/(tE)} + 0.667 \right] A \leq A, \quad \left(\frac{D}{t} \leq 0.441 \frac{E}{F_y} \right) \quad (4.3-16)$$

여기서, D : 원통형단면의 외경

F_y : 항복강도

t : 두께

E : 강재의 탄성계수

A : 부재의 원단면적

$$R = F_y / (2F_{cr,e}) \leq 1.0 \quad (4.3-17)$$

여기서, $F_{cr,e}$: 4.3.2.1에 의해 산정된 탄성휨좌굴강도

② 원형구멍이 있는 부재

원형구멍이 있는 부재에 대해, 유효단면적 A_e 는 4.12.1.1(1)에 제시된 유효폭으로 결정하며 해당 절의 제한조건에 따른다.

만약 유효길이 구간에 위치한 구멍의 개수와 구멍의 직경을 곱한 값을 유효길이로 나눈 값이 0.015를 초과하지 않는 경우, 구멍의 존재를 무시하고 4.3.3.1(1)①에 따라 설계할 수 있다.

4.3.3.2 직접강도법

(1) 직접강도법 적용 시, 국부좌굴축강도 P_n 은 4.3.3.2(1)①과 4.3.3.2(1)②에 따라 산정한다.

① 구멍이 없는 부재

가. $\lambda_l \leq 0.776$ 인 경우

$$P_{nl} = P_{ne} \quad (4.3-18)$$

나. $\lambda_l > 0.776$ 인 경우

$$P_{nl} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne} \quad (4.3-19)$$

$$\text{여기서, } \lambda_l = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{crl}}} \quad (4.3-20)$$

여기서, P_{ne} : 4.3.2.1에서 4.3.2.5에 의해 산정된 전체축강도

P_{crl} : 4.13에 의해 산정된 탄성임계국부좌굴강도

② 원형구멍이 있는 부재

본 절은 구멍을 포함하는 압축재의 국부좌굴에 대한 공칭축강도 P_{nl} 은 4.12.1.1(1)①에 따라 산정한다. 다만,

P_{crl} 은 구멍의 영향을 반영하며, 다음을 따른다.

$$P_{nl} \leq P_{y_{net}} \quad (4.3-21)$$

$$\text{여기서, } P_{y_{net}} = A_{net} F_y \quad (4.3-22)$$

여기서, A_{net} : 구멍 위치에서의 순단면적

F_y : 항복강도

4.3.4 단면형상변형좌굴

(1) 단면형상변형좌굴 공칭축강도 P_{nl} 은 이 절에 따라 산정한다. 이 절의 규정은 I형, Z형, C형, 모자형 단면과, 기타 플랜지 끝단에 스티프너가 있는 열린단면에 적용한다. 설계강도 산정을 위한 강도저항계수는 다음의 값을 적용한다.

$$\phi_c = 0.85$$

4.3.4.1 구멍이 없는 부재

(1) 공칭축강도 P_{nd} 는 다음과 같이 산정한다.

① $\lambda_d \leq 0.561$ 인 경우

$$P_{nd} = P_y \quad (4.3-22)$$

② $\lambda_d > 0.561$ 인 경우

$$P_{nd} = \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y \quad (4.3-23)$$

$$\text{여기서, } \lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}} \quad (4.3-24)$$

$$\text{여기서, } P_y = F_y A_g \quad (4.3-25)$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

F_y : 항복강도

P_{crd} : 4.13에 의해 산정한 탄성임계단면형상변형좌굴강도

4.3.4.2 구멍이 있는 부재

(1) 구멍이 있는 부재 단면형상변형좌굴 공칭축강도 P_{nd} 는 4.3.4.1을 통해 결정하되 P_{crd} 은 구멍의 영향을 포함하여 산정되어야 하며, $\lambda_d \leq \lambda_{d2}$ 인 경우는 다음을 따른다.

① $\lambda_d \leq \lambda_{d1}$

$$P_{nd} = P_{y_{net}} \quad (4.3-26)$$

② $\lambda_{d1} < \lambda_d < \lambda_{d2}$

$$P_{nd} = P_{y_{net}} - \left(\frac{P_{y_{net}} - P_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right) (\lambda_d - \lambda_{d1}) \quad (4.3-27)$$

$$\text{여기서, } \lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}} \quad (4.3-28)$$

$$\lambda_{d1} = 0.561 \left(\frac{P_{y_{net}}}{P_y} \right) \quad (4.3-29)$$

$$\lambda_{d2} = 0.561 \left[14.0 \left(\frac{P_y}{P_{y_{net}}} \right)^{0.4} - 13.0 \right] \quad (4.3-30)$$

$$P_{d2} = \left[1 - 0.25 \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right)^{1.2} \right] \left(\frac{1}{\lambda_{d2}} \right)^{1.2} P_y \quad (4.3-31)$$

$$P_y = F_y A_s \quad (4.3-32)$$

$$P_{y_{net}} = F_y A_{net} \quad (4.3-33)$$

여기서, A_s : 부재의 총단면적

A_{net} : 구멍 위치에서의 순단면적

F_y : 항복강도

4.4 휨부재

(1) 이 절은 하나의 주축에 대해 휨을 받는 부재, 또는 웨브를 통과하거나 웨브에 수직인 도심축에 대해 휨을 받는 Z형 단면 부재를 다룬다. 또한, 부재는 전단중심을 통과하는 축과 평행하게 가력되거나 비틀림이 적절히 구속하여야 한다.

4.4.1 일반 요구사항

(1) 설계휨강도($\phi_b M_n$)는 4.4.2에서 4.4.4의 적용 가능한 부분에 따라 계산된 값 중 가장 작은 값이어야 한다.

4.4.2 항복 및 전체(횡비틀림)좌굴

(1) 항복과 부재 전체좌굴에 대한 공칭휨강도(M_{ne})는 강관 단면의 경우 4.4.2.1, 4.4.2.3에 따라 최초 항복까지의 내력 또는 4.4.2.4에 따라 비탄성 여유강도를 고려하여 계산한다.

휨부재의 강도저항계수는 별도의 규정이 없는 한 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_b = 0.90$$

4.4.2.1 휨항복의 시작

(1) 최초 항복까지의 내력을 고려한 항복과 부재 전체좌굴에 대한 공칭휨강도(M_{ne})는 식 (4.4-1)에 따라 계산하여야 한다.

$$M_{ne} = S_f F_n \leq M_y \quad (4.4-1)$$

여기서, M_{ne} : 항복과 부재 전체(횡비틀림)좌굴에 대한 공칭휨강도

S_f : 압축연단에 대한 감소하지 않은 원단면의 탄성단면계수

$$M_n = S_f F_n \quad (4.4-2)$$

여기서, S_n : 감소하지 않은 원단면에서 최초로 항복하는 연단에 대한 탄성단면계수

F_n : 강재의 항복응력

① F_n 은 다음과 같이 정의한다.

가. $F_{cre} \geq 2.78F_y$ 일 경우

$$F_n = F_y \quad (4.4-3)$$

나. $2.78F_y > F_{cre} > 0.56F_y$ 일 경우

$$F_n = \frac{10}{9}F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_{cre}} \right) \quad (4.4-4)$$

다. $F_{cre} \leq 0.56F_y$ 인 경우

$$F_n = F_{cre} \quad (4.4-5)$$

여기서, F_{cre} : 탄성임계횡비틀림좌굴응력 (4.4.2.1(1)②~⑥ 또는 4.13에 따라 산정됨)

② 1축 또는 2축 대칭단면의 대칭축에 대한 휨

대칭축에 대해 휨을 받는 1축 또는 2축 대칭 단면의 탄성좌굴응력은 다음과 같이 구한다.

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (4.4-6)$$

여기서, A : 원단면적

S_f : 압축연단에 대한 감소하지 않은 원단면의 탄성단면계수

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_b + 3M_c} \quad (4.4-7)$$

여기서, M_{max} : 비지지구간의 최대 모멘트의 절댓값

M_A : 비지지구간의 1/4 지점 모멘트의 절댓값

M_b : 비지지구간의 중앙부 모멘트의 절댓값

M_c : 비지지구간의 3/4 지점 모멘트의 절댓값

모든 경우에 C_b 값을 보수적으로 1을 적용하는 것이 허용된다. 자유단이 횡지지되지 않은 캔틸레버와 내민부분의 경우 C_b 를 1로 할 수 있다.

r_o : 전단중심에 대한 단면극관성반경

$$= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} \quad (4.4-8)$$

여기서, r_x, r_y : 도심 주축에 대한 단면2차 반경

x_o : 도심에서 전단중심까지의 x축 주축 방향 거리

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (4.4-9)$$

여기서, E : 강재의 탄성계수

K_y : y축에 대한 유효좌굴길이계수

L_y : y축에 대한 힘을 받는 부재의 비지지길이

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.4-10)$$

여기서, G : 강재의 전단탄성계수

J : 비틀림 상수

C_w : 단면의 비틀림 와핑 상수

K_t : 비틀림에 대한 유효길이계수

L_t : 비틀림에 대한 압축재의 비지지길이

1축 대칭단면의 경우, x축을 대칭축으로 삼는다.

2축 대칭 I형단면의 경우, 대안으로 F_{cre} 값은 다음의 식을 이용하여 산정한다.

$$F_{cre} = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{S_f (K_y L_y)^2} \quad (4.4-11)$$

여기서, $\textcolor{brown}{d}$: 단면의 춤

$\textcolor{brown}{I}_{\text{yc}}$: 웨브에 평행한 전체단면(저감되지 않은 원단면) 도심축에 대한 압축단면의 단면2차모멘트

③ 대칭축에 수직인 도심축에 대한 1축대칭 단면의 힘

대칭축에 수직인 도심축에 대한 힘을 받는 1축대칭단면의 탄성좌굴응력, $\textcolor{brown}{F}_{\text{cre}}$ 은 다음과 같이 산정한다. 여기서

x 축은 전단중심이 음의 x 좌표를 갖도록 하는 단면의 대칭축이다.

$$\textcolor{brown}{F}_{\text{cre}} = \frac{C_s A \sigma_{\text{ex}}}{C_{TF} S_f} [j + C_S \sqrt{j^2 + r_o^2 (\sigma_t / \sigma_{\text{ex}})}] \quad (4.4-12)$$

여기서, $\textcolor{brown}{C}_s = +1$, 도심에서 전단중심 쪽에 압축을 일으키는 모멘트의 경우

= -1, 도심에서 전단중심쪽에 인장을 일으키는 모멘트의 경우

$$\sigma_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / \textcolor{brown}{r}_x)^2} \quad (4.4-13)$$

여기서, $\textcolor{brown}{K}_x$: x축에 대한 유효좌굴길이계수

$\textcolor{brown}{L}_x$: x축에 대한 힘을 받는 압축재의 비지지길이

$$C_{TF} = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2) \quad (4.4-14)$$

여기서, $\textcolor{brown}{M}_1$, $\textcolor{brown}{M}_2$: 힘을 받는 면에서 비지지길이의 단부에서 발생하는 최소 및 최대 힘모멘트; 단부 모멘트의 비

율인 $\textcolor{brown}{M}_1 / M_2$ 는 $\textcolor{brown}{M}_1$ 과 $\textcolor{brown}{M}_2$ 가 동일한 부호(복곡률)를 갖는 경우 양수이고 반대 부호(단곡률)일 경우 음수이다. 비

지지 길이 내의 어느 지점에서든 힘모멘트가 비지지길이 단부값보다 큰 경우 $\textcolor{brown}{C}_{TF}$ 는 1.0으로 할 수 있다.

$$j = \frac{1}{2I_y} \left[\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - \textcolor{brown}{x} \quad (4.4-15)$$

여기서, $\textcolor{brown}{x}_o$: 도심에서 주 x축 방향 전단중심까지의 거리(음수값으로 취급함)

다른 변수는 4.4.2.1(1)②에 정의되어 있다.

④ 점대칭 단면

웨브와 직교이며 도심을 통과하는 x 축에 힘을 받는 점대칭 Z형단면의 탄성좌굴응력 $\textcolor{brown}{F}_{\text{cre}}$ 은 다음과 같이 산정

한다.

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{2 S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (4.4-16)$$

또는 대안으로 F_{cre} 는 식 (4.4-16)을 사용하여 산정한다.

$$F_{cre} = \frac{C_b \pi^2 E d I_y}{2 S_f (K_y L_y)^2} \quad (4.4-17)$$

여기서, 다른 변수들은 4.3.2.1(1)②에 정의되어 있다.

⑤ 닫힌 상자형 단면

닫힌 상자형 단면 부재의 경우, 횡방향 비지지 길이가 식 (4.4-18)로 산정된 L_u 보다 작거나 같으면 전체 좌굴을 고려할 필요가 없으며, 공칭강도 $F_u = F_y$ 가 된다.

$$L_u = \frac{0.36 C_b \pi}{F_y S_f} \sqrt{E G J I_y} \quad (4.4-18)$$

위에서, J : 단면의 비틀림 상수

I_y : y축에 대한 원단면의 단면2차모멘트

F_y : 강재의 항복응력

다른 변수는 4.3.2.1(1)②에 정의되어 있다.

횡방향 비지지길이가 식 (4.4-19)에 의해 산정된 L_u 보다 클 경우, 대칭축에 대한 흔을 받을 때 탄성 좌굴 응력

F_{cre} 은 다음과 같이 산정한다.

$$F_{cre} = \frac{C_b \pi}{K_y L_y S_f} \sqrt{E G J I_y} \quad (4.4-19)$$

⑥ 기타 단면

4.4.2.1(1)②~⑤에 정의된 것 이외의 단면의 탄성좌굴응력은 4.13.2에 따라 산정할 수 있다.

4.4.2.2 구멍이 있는 보

(1) 단면에 구멍이 있는 경우 F_{cre} 는 4.13에 따라 구멍의 영향을 고려하여야 한다.

단, 유효폭법에서 구멍 크기가 4.12.1.3의 제한사항을 충족하는 경우 이 항의 내용은 요구되지 않는다.

4.4.2.3 닫힌 원통형 단면에 대한 항복개시강도

(1) 외경두께비 D/t 가 $0.441E/F_y$ 이하인 닫힌 원통형 단면 부재의 경우, 공칭휨강도, M_{n_e} 은 식 (4.4-20)에 따라 산정한다.

정한다.

(2) 강도저항계수는 아래의 값으로 한다.

$$M_{n_e} = S_f F_n (4.4-20)$$

$$\phi_b = 0.95$$

여기서, M_{n_e} : 항복과 부재 전체(횡비틀림)좌굴에 대한 공칭휨강도

S_f : 압축연단에 대한 감소하지 않은 원단면의 탄성단면계수

F_n 은 다음과 같이 산정한다.

① $D/t \leq 0.0714E/F_y$ 인 경우

$$F_n = 1.25F_y (4.4-21)$$

② $0.0714E/F_y < D/t \leq 0.318E/F_y$ 인 경우

$$F_n = [0.970 + 0.020(\frac{E/F_y}{D/t})]F_y (4.4-22)$$

③ $0.318E/F_y < D/t \leq 0.441E/F_y$ 인 경우

$$F_n = 0.328E/(D/t) (4.4-23)$$

여기서, F_y : 강재의 항복강도

D : 닫힌 원통형 단면의 외경

t : 원통형 단면의 두께

다른 변수의 정의에 대해서는 4.4.2.1(1)②을 참조한다.

4.4.2.4 비탄성 여유강도

(1) 비탄성 여유강도를 고려한 항복 및 전체(횡비틀림)좌굴에 대한 공칭휨강도, M_{n_e} 은 이 절에 따라 산정한다. 비

탄성 여유강도는 4.4.2.4(1)①의 요소기반법 또는 4.4.2.4(1)②의 직접강도법을 통해 고려 될 수 있다.

① 요소기반법

비탄성 휨 여유강도는 다음 조건이 충족되는 경우 사용할 수 있다.

가. 부재는 단면형상변형 또는 횡비틀림 또는 휨비틀림 좌굴의 영향을 받지 않는다.

나. 냉간 가공의 효과는 항복강도 F_y 결정에 포함되지 않는다.

다. 웨브의 압축 부분 깊이의 두께에 대한 비율은 식 (4.4-26)에 정의된 대로 λ_1 을 초과하지 않는다.

라. 전단력은 웨브 면적(구속판요소의 경우 ht , 비구속판요소의 경우 wt)에 $0.6F_y$ 를 곱한 값을 초과하지 않는다.

여기서, h : 웨브의 평판부 춤

t : 요소의 모재의 판두께

w : 요소 평판 폭

마. 웨브과 수직요소 사이의 각도는 30° 를 초과하지 않는다.

공칭휨강도, M_{ne} 는 $1.25S_eF_y$ 를 초과하지 않거나 $C_y\epsilon_y$ 의 최대 압축변형률을 유발하지 않아야한다 (최대 인장변형률에 대한 제한은 없다).

여기서, S_e : 압축연단 또는 인장연단의 응력이 F_y 일 때 산정한 유효단면계수

F_y : 강재의 항복강도

$\epsilon_y = F_y/E$, 항복변형률 (4.4-24)

여기서, E : 강재의 탄성 계수

C_y : 다음과 같이 산정된 압축 변형률 계수

(가) 중간 구속재가 없는 구속 압축 요소

중간 구속재가 없는 압축 요소의 경우 C_y 는 다음과 같이 계산한다.

$w/t \leq \lambda_1$ 인 경우 $C_y = 3$

$$\lambda_1 < w/t < \lambda_2 \text{인 경우 } C_y = 3 - 2 \left[\frac{w/t - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \quad (4.4-25)$$

$w/t \geq \lambda_2$ 인 경우 $C_y = 1$

여기서, $\lambda_1 = \frac{1.11}{\sqrt{F_y/E}}$ (4.4-26)

$\lambda_2 = \frac{1.28}{\sqrt{F_y/E}}$ (4.4-27)

(나) 비구속판 압축요소

비구속 압축요소의 경우 C_y 는 다음과 같이 계산한다.

Ⓐ 길이방향 한쪽 끝은 압축을 받고 다른 쪽은 인장을 받아 생기는 응력 구배를 가지는 비구속 압축요소

$\lambda \leq \lambda_3$ 인 경우 $C_y = 3$

$\lambda_3 < \lambda < \lambda_4$ 인 경우 $C_y = 3 - 2[(\lambda - \lambda_3)/(\lambda_4 - \lambda_3)]$ (4.4-28)

$\lambda \leq \lambda_4$ 인 경우 $C_y = 1$

여기서, λ : 4.12.2.2에 정의된 세장비

$\lambda_3 = 0.43$

$\lambda_4 = 0.673(1 + \psi)$ (4.4-29)

여기서, ψ : 4.12.2.2에 정의된 값

Ⓑ 길이방향 양쪽 끝이 압축을 받아 생기는 응력구배를 가지는 비구속 압축요소

$C_y = 1$

Ⓒ 균등한 압축을 받는 비구속 압축요소

$C_y = 1$

Ⓓ 다중 구속 압축 요소와 끝단구속 압축요소

다중 구속판 압축 요소와 단부구속판 압축 요소의 C_y 는 다음과 같다.

$C_y = 1$

M_n 은 인장일 경우나 압축일 경우 동일하게 이상적인 탄소성 응력-변형률 곡선을 취하고 평면유지의 가정

하에 응력의 평형 조건이 만족되도록 산정한다. 휨과 웨브 크리플링의 조합에 대해서는 4.6.3에 따라 검토 한다.

② 직접강도법

비탄성 휨 여유강도를 고려한 공칭강도, M_{ne} 는 이 항의 규정에 따라 산정한다.

즉, $M_{cre} > 2.78M_y$ 인 경우,

$$M_{ne} = M_p - (M_p - M_y) \frac{\sqrt{M_y/M_{cre}} - 0.23}{0.37} \leq M_x \quad (4.4-30)$$

여기서, $M_{cre} = S_f F_{cre}$, 탄성임계 횡비틀림좌굴 모멘트 (4.4-31)

여기서, S_f : 감소하지 않은 원단면의 압축연단에 대한 탄성단면계수

F_{cre} : 4.4.2.1 또는 4.13에 의한 탄성임계횡비틀림좌굴응력

M_y : 4.4.2.1에 따른 부재의 항복모멘트

$M_p = Z_f F_y$, 소성힘모멘트 (4.4-32)

여기서, Z_f : 소성단면계수

F_y : 강재의 항복강도

4.4.3 항복 및 전체좌굴과 상호작용하는 국부좌굴

(1) 모든 부재에 대해서 항복 또는 전체좌굴과 국부좌굴의 상호작용으로 인한 설계강도의 잠재적 감소 가능성을 확

인해야 한다. 이러한 강도저하가능성은 4.4.3.1의 유효폭법 또는 4.4.3.2의 직접강도법을 통해 검토하여야 한다.

강도저항계수는 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_b = 0.90$$

4.4.3.1 유효폭법

(1) 유효폭법의 경우, 국부좌굴에 대한 공칭휨강도, M_{nl} 는 다음에 따라 산정한다.

$$M_{nl} = S_e F_n \leq S_{et} F_y \quad (4.4-33)$$

여기서, S_e : 4.4.3.1(1)에서 4.4.3.1(3)에 의한 압축연단의 응력이 F_n 일 때 산정한 유효단면계수

F_n : 4.4.2에 정의된 전체 휨응력

S_{et} : 인장연단의 응력이 F_y 일 때 산정한 유효단면계수

① 구멍이 없는 부재

구멍이 없는 부재의 경우, 단면을 구성하는 각 요소의 유효폭으로부터 S_e 를 산정한다. 모든 요소의 유효폭은 최대압축응력 F_y 에서 4.12에 따라 산정한다.

외경두께비 D/t 가 $0.441E/F_y$ 이하인 닫힌 원통형 부재의 경우 국부좌굴을 확인할 필요가 없다.

② 구멍이 있는 부재

구멍이 있는 부재의 경우 구멍에 인접한 요소는 비구속판 요소로 취급해야 한다. S_e 는 4.12에 따른 유효폭을 고려하여 산정한다.

③ 비탄성 여유강도를 고려한 부재

4.4.2.4(1) ①의 요소기반법은 이 항에 규정된 바에 따라 적용하여야 한다. 적용 가능한 경우 유효 설계 폭(4.12)을 단면 특성 계산에 사용한다.

4.4.3.2 직접강도법

(1) 직접강도법의 경우, 국부좌굴에 대한 공칭휨강도 $M_{n,t}$ 는 4.4.3.2(1) ①~③에 따라 산정한다.

① 구멍이 없는 부재

국부좌굴과 전체좌굴의 상호작용을 고려하기 위한 공칭휨강도 $M_{n,t}$ 는 다음과 같이 산정한다.

가. $\lambda_t \leq 0.776$

$$M_{n,t} = M_{n,e} \quad (4.4-34)$$

나. $\lambda_t > 0.776$

$$M_{n,t} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{M_{cr,t}}{M_{n,e}} \right)^{0.4} \right] \left(\frac{M_{cr,t}}{M_{n,e}} \right)^{0.4} M_{n,e} \quad (4.4-35)$$

$$\text{여기서, } \lambda_t = \sqrt{M_{n,e}/M_{cr,t}} \quad (4.4-36)$$

$M_{n,e}$: 4.4.2에 정의된 횡비틀림좌굴에 대한 공칭휨강도

② 구멍이 있는 부재

구멍이 있는 보의 국부좌굴에 대한 공칭휨강도 M_{nl} 는 구멍의 영향을 고려하여 M_{cr} 이 결정된 경우를 제외하고는 4.4.3.2(2)에 따라 산정한다.

$$M_{nl} \leq M_{unet} \quad (4.4-37)$$

여기서, $M_{unet} = S_{unet} F_u$, 부재 순단면의 항복모멘트 (4.4-38)

여기서, S_{unet} : 최초로 항복하는 연단에 대한 순단면의 단면계수

F_u : 강재의 항복강도

③ 국부 비탄성여유강도를 고려하는 부재

$\lambda_l \leq 0.776$ 과 $M_{ne} \geq M_{cr}$ 인 경우, 비탄성 여유강도는 다음과 같이 산정할 수 있다.

가. 휨축에 대해 대칭인 단면 또는 압축측에서 최초 항복이 발생하는 단면

$$M_{nl} = M_y + (1 - 1/C_{yl}^2)(M_p - M_y) \quad (4.4-39)$$

나. 인장측에서 최초 항복이 발생하는 단면

$$M_{nl} = M_{yc} + (1 - 1/C_{yl}^2)(M_p - M_y) \leq M_{y+3} \quad (4.4-40)$$

$$\text{여기서, } \lambda_l = \sqrt{M_p/M_{cr}} \quad (4.4-41)$$

M_{ne} : 단면 4.4.2에 정의된 공칭휨강도

$$C_{yl} = \sqrt{0.776/\lambda_l} \leq 3 \quad (4.4-42)$$

M_{cr} : 4.13에 따라 결정된 탄성임계국부좌굴모멘트

M_p : 식 (4.4-32)에 따른 소성휨모멘트

M_y : 4.4.2.1에 따른 항복모멘트

M_{yc} : 압축항복 시작점의 모멘트 (인장항복 이후)

M_{sc} = M_y (보수적 근사치로 사용될 수 있음)

$$M_{\text{sc3}} = M_y + (1 - 1/C_{\text{sc}}^2)(M_p - M_y) \quad (4.4-43)$$

$C_{\text{sc}} = 3$: 항복 변형률에 대한 최대 인장 변형률의 비

4.4.4 단면형상변형좌굴

(1) 이 항의 규정은 끝판 스티프너가 있는 압축 플랜지를 가진 I형, Z형, C형 및 기타 개방형 단면 부재에 적용한다.

강도저항계수는 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_b = 0.90$$

4.4.4.1 구멍이 없는 부재

(1) 공칭휨강도, $M_{n,d}$ 는 식 (4.4-44) 또는 (4.4-45)에 따라 산정한다.

① $\lambda_d \leq 0.673$

$$M_{n,d} = M_y \quad (4.4-44)$$

② $\lambda_d > 0.673$

$$M_{n,d} = \left[1 - 0.22 \left(\frac{M_{\text{crd}}}{M_y} \right)^{0.5} \right] \left(\frac{M_{\text{crd}}}{M_y} \right)^{0.5} M_y \quad (4.4-45)$$

여기서, $\lambda_d = \sqrt{M_y/M_{\text{crd}}}$ (4.4-46)

$$M_y = S_A F_y \quad (4.4-47)$$

여기서, S_A : 감소하지 않은 원단면에서 최초로 항복하는 연단에 대한 탄성단면계수

F_y : 강재의 항복강도

$$M_{\text{crd}} = S_f F_{\text{crd}} \quad (4.4-48)$$

여기서, S_f : 압축연단에 대한 감소하지 않은 원단면의 탄성단면계수

F_{crd} : 4.13에 따라 산정된 탄성 단면형상변형좌굴응력

4.4.4.2 구멍이 있는 부재

(1) 단면형상변형좌굴에 대한 공칭휨강도, M_{nd} 는 구멍의 영향을 고려하여 결정된 M_{ord} 를 제외하고는 4.4.4.1에 따라 산정한다.

$$\textcircled{1} \quad \lambda_d \leq \lambda_{d1}$$

$$M_{nd} = M_{y_{net}} \quad (4.4-49)$$

$$\textcircled{2} \quad \lambda_{d1} < \lambda_d \leq \lambda_{d2}$$

$$M_{nd} = M_{y_{net}} - \left[\frac{M_{y_{net}} - M_{d2}}{\lambda_{d2} - \lambda_{d1}} \right] (\lambda_d - \lambda_{d1}) \leq \left[1 - 0.22 \left(\frac{M_{ord}}{M_y} \right)^{0.5} \right] \left(\frac{M_{ord}}{M_y} \right)^{0.5} M_y \quad (4.4-50)$$

$$\text{여기서, } \lambda_d = \sqrt{M_y/M_{ord}} \quad (4.4-51)$$

여기서, M_{ord} : 구멍의 영향을 고려한 탄성임계 단면형상변형좌굴모멘트

$$\lambda_{d1} = 0.673 (M_{y_{net}}/M_y)^{0.5} \quad (4.4-52)$$

λ_{d2} : 단면형상변형 한계세장비

$$= 0.673 [1.7 (M_y/M_{y_{net}})^{0.7} - 0.7] \quad (4.4-53)$$

$$M_{d2} = [1 - 0.22 (1/\lambda_{d2})] (1/\lambda_{d2}) M_y \quad (4.4-54)$$

M_y : 식 (4.4-47)에 주어진 항복모멘트

$M_{y_{net}}$: 식 (4.4-38)에 주어진 부재 순단면 항복모멘트

4.4.4.3 단면형상변형 비탄성 여유강도를 고려하는 부재

(1) 비탄성 여유강도는 $\lambda_d \leq 0.673$ 인 경우 다음과 같이 고려될 수 있다.

① 흠축에 대하여 대칭 단면 또는 압축에 의한 최초 항복이 발생하는 단면

$$M_{nd} = M_y + (1 - 1/C_{yd}^2)(M_p - M_y) \quad (4.4-55)$$

② 인장에 의한 최초 항복이 발생하는 단면 :

$$M_{nd} = M_{yc} + (1 - 1/C_{yd}^2)(M_p - M_{yc}) \leq M_{yt3} \quad (4.4-56)$$

$$\text{여기서, } \lambda_d = \sqrt{M_y/M_{ord}} \quad (4.4-57)$$

$$C_{yd} = \sqrt{0.673 / \lambda_d} \leq 3 \quad (4.4-58)$$

M_{ord} : 4.13에 의한 탄성임계 단면형상변형좌굴모멘트

M_p : 식 (4.4-32)에 의한 부재 소성휨모멘트

M_q : 4.4.2.1에 의한 부재 항복모멘트

M_{qc} : 4.4.3.2(3)에 따른 압축항복 시작점의 모멘트 (인장항복 이후)

M_{q3} : 식 (4.4-43)에 주어진 최대인장변형률에서의 항복모멘트

4.4.5 스티프너

4.4.5.1 지압스티프너

(1) 집중하중 또는 반력 지점의 보 웨브에 부착된 지압스티프너는 압축부재로 설계하여야 한다. 집중하중 또는 반력은 스티프너에 직접 가력하며, 각 스티프너는 지압하중이 직접 스티프너에 작용될 수 있도록 플랜지의 평평한 부분에 정확하게 밀착한다. 스티프너와 웨브 사이 전단력의 전달은 4.8에 따른다. 집중하중 또는 반력의 경우, 공칭강도, P_n 은 아래의 ①과 ②에 의해 산정된 값 중 작은 값으로 한다. 강도저항계수는 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_c = 0.85$$

$$\textcircled{1} \quad P_n = F_{wy} A_c \quad (4.4-59)$$

$$\textcircled{2} \quad P_n = 4.3.3.1 \text{의 } A_e \text{를 } A_b \text{로 대체하여 산정된 공칭축강도}$$

여기서, F_{wy} : 지압스티프너에 대한 F_{wy} 또는 보 웨브에 대한 F_y 의 하한치

$$A_c = 18t^2 + A_s, \text{ 내부 지점 또는 집중하중 점의 지압스티프너의 경우} \quad (4.4-60)$$

$$= 10t^2 + A_s, \text{ 단부 지점의 지압스티프너의 경우} \quad (4.4-61)$$

여기서, t : 보 웨브의 모자 판두께

A_s : 지압스티프너의 총단면적

$$A_b = b_1 t + A_s, \text{ 내부 지점 또는 집중하중 점의 지압스티프너의 경우} \quad (4.4-61)$$

$$= b_2 t + A_s, \text{ 단부 지점의 지압스티프너의 경우} \quad (4.4-63)$$

여기서, $b_1 = 25t [0.0024(L_{st}/t) + 0.72] \leq 25t$ (4.4-64)

$b_2 = 12t [0.0044(L_{st}/t) + 0.83] \leq 12t$ (4.4-65)

여기서, L_{st} : 지압스티프너의 길이

지압스티프너의 구속판 및 비구속판 요소에 대한 w/t 비는 각각 $1.28\sqrt{E/F_y}$ 와 $0.42\sqrt{E/F_y}$ 를 초과할 수 없다. F_y 는 스티프너의 항복강도, t 는 스티프너의 두께이다.

4.4.5.2 C형 단면 휨부재의 지압스티프너

(1) 4.4.5.1의 요구조건을 만족하지 못하는 지압스티프너를 사용하는 양쪽 플랜지에 하중을 받는 C형단면 휨부재의 경우, 공칭강도 P_n 은 식(4.4-66)에 따라 산정한다.

$$P_n = 0.7(P_{wc} + A_e F_y) \geq P_{wc} \quad (4.4-66)$$

(2) 강도저항계수는 아래의 값을 사용한다.

$$\phi_c = 0.90$$

여기서, P_{wc} : 단부 또는 내부 위치의 단일 웨브 부재를 위한 식 (4.5-24)에 따라 산정된 C형단면 휨부재의 공칭 웨브크리플링 강도

A_e : 항복응력 수준에 대해 산정된 균등 압축응력을 받는 지압스티프너의 유효순단면적

F_y : 강재 스티프너의 항복강도

(3) 식 (4.5-24)은 다음의 제한조건 아래에서 적용가능하다.

① 스티프너의 전체에 대한 지압이 요구된다. 만약 스티프너 플랜지 중 하나가 지지되지 않을 정도로 지압폭이 좁으면, P_n 을 50% 감소시킨다.

② 스티프너는 최소 웨브 깊이가 89 mm이고 최소 강재 두께가 0.8 mm인 C형단면 스터드 또는 트랙 부재이다.

③ 스티프너는 3개 이상의 고정 장치(나사 또는 볼트)로 휨부재 웨브에 부착한다.

④ 휨부재의 플랜지에서 첫 번째 파스너까지의 거리는 $d/8$ 이상 확보한다. 여기서 d 는 힘 부재의 전체 춤이다.

⑤ 스티프너의 길이는 흔 부재의 춤에서 10 mm를 뺀 값 이상이어야 한다.

⑥ 지압폭은 38 mm 이상이어야 한다.

4.4.5.3 규정에 따르지 않는 스티프너

(1) 압형 또는 압입 가공된 스티프너와 같이 4.4.5.1 및 4.4.5.2의 요구사항을 만족시키지 못하는 스티프너를 가진 부재의 설계강도는 4.9.2에 규정된 실험 또는 1.1.2에 따른 합리적인 공학적 해석에 의해 결정한다.

4.5 전단 및 웨브크리플링

(1) 이 절은 웨브에 면내전단력이 작용하거나 웨브에 집중하중 또는 반력에 의한 웨브크리플링이 일어나는 1축, 2축 또는 점대칭 단면 부재의 웨브에 적용한다. 웨브는 구멍이 있거나 횡방향 스티프너를 가질 수 있다.

4.5.1 일반요구사항

(1) 설계전단강도는 구멍이 없는 웨브인 경우에는 4.5.2절, 구멍이 있는 웨브의 경우에는 4.5.3절에 따라 산정한다. 횡방향 웨브 스티프너는 4.5.4절에 따라 설계한다. 집중하중을 받는 웨브는 4.5.5절 또는 4.5.6절에 따라 웨브크리플링을 검토한다.

4.5.2 구멍이 없는 웨브의 전단강도

(1) 웨브에 구멍이 없는 흔재의 공칭전단강도 V_n 은, 적용 가능한 경우, 이 절에 따라 산정한다. 1.5.4의 기하학적 적용 한계와 재료적 적용 한계를 충족하는 흔재의 경우, ϕ_v 은 다음과 같아야 한다.

$$\phi_v = 0.95$$

그 밖의 모든 흔재의 경우, ϕ_v 는 1.2.2(2)의 규정을 적용한다.

4.5.2.1 횡방향 웨브 스티프너가 없는 흔재

(1) 횡방향 웨브 스티프너가 없는 흔재의 공칭전단강도 V_n 은 다음과 같이 산정한다.

① $\lambda_v \leq 0.815$ 일 경우,

$$V_n = V_u \quad (4.5-1)$$

② $0.815 < \lambda_v \leq 1.2275$ 일 경우,

$$V_n = 0.815 \sqrt{V_{cr} V_v} \quad (4.5-2)$$

$$= 0.6t^2 \sqrt{Ek_v F_v} \quad (4.5-3)$$

③ $\lambda_v > 1.227$ 인 경우,

$$V_n = V_{cr} \quad (4.5-4)$$

$$= 0.904 Ek_v t^3 / h \quad (4.5-5)$$

여기서, $\lambda_v = \sqrt{V_v / V_{cr}}$ (4.5-6)

V_v : 단면의 항복전단력 ($= 0.6 A_w F_v$) (4.5-7)

A_w : 웨브의 단면적 ($= ht$) (4.5-8)

여기서, h : 웨브 면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤

t : 웨브의 두께

F_v : 3.4.1에 따라 결정한 설계항복강도

V_{cr} : 탄성전단좌굴강도, 웨브의 평판 부분에 대하여 4.5.2.3절에 따라 산정하거나, 표 1.5-1의 적용 한계를 충족하는 웨브의 총단면에 대하여 4.13절에 따라 산정한다.

E : 강재의 탄성계수

k_v : 4.5.2.3절에 따라 결정한 전단좌굴계수

4.5.2.2 횡방향 웨브 스티프너가 있는 휨재

(1) 횡방향 웨브 스티프너가 4.5.4의 규정을 충족하고 그 간격이 웨브 춤의 2배를 초과하지 않는 웨브의 경우,

4.5.2.1 대신에 이 절에 따라 공칭전단강도 V_n 을 산정할 수 있다.

① $\lambda_v \leq 0.776$ 일 경우

$$V_n = V_v \quad (4.5-9)$$

② $\lambda_y > 0.776$ 일 경우

$$V_n = \left[1 - 0.15 \left(\frac{V_{cr}}{V_y} \right)^{0.4} \right] \left(\frac{V_{cr}}{V_y} \right)^{0.4} V_y \quad (4.5-10)$$

여기서, V_{cr} : 탄성전단좌굴강도, 웨브의 평판 부분에 대하여 4.5.2.3절에 따라 산정하거나, 표 1.5-1의 적용한 계를 충족하는 웨브의 원단면에 대하여 4.13절에 따라 산정한다.

다른 변수는 4.5.2.1절에서 정의하고 있다.

4.5.2.3 웨브의 탄성전단좌굴강도 V_{cr}

(1) 웨브의 전단좌굴강도 V_{cr} 은 이 절에 따라 산정한다.

$$V_{cr} = A_w F_{cr} \quad (4.5-11)$$

여기서, A_w : 식 (4.5-6)에 주어진 웨브의 단면적

F_{cr} : 탄성전단좌굴응력

$$V_{cr} = \frac{\pi^2 E k_y}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (4.5-12)$$

E : 강재의 탄성계수

k_y : 다음의 ① 또는 ②에 따라 산정한 전단좌굴계수:

① 횡방향 스티프너가 없는 웨브, $k_y = 5.34$

② 4.5.4절의 요구사항을 충족하는 횡방향 스티프너를 가진 웨브

가. $a/h \leq 1.0$ 일 때

$$k_y = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad (4.5-13)$$

나. $a/h > 1.0$ 일 때

$$k_y = 5.340 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad (4.5-14)$$

여기서, a : 횡방향 스티프너가 없는 웨브의 전단판의 길이

: 횡방향 스티프너를 가진 웨브의 횡방향 스티프너 간의 순간격

다른 변수는 4.5.2.1절에서 정한 것에 따른다.

4.5.3 구멍이 있는 C형 단면 웨브의 전단강도

(1) 이 절의 규정을 적용하기 위한 제한사항은 다음과 같다:

① $d_h/h \leq 0.7$

② $h/t \leq 200$

③ 구멍의 중심은 웨브의 중간 깊이에 위치

④ 구멍 사이의 순간격 $\geq 450\text{mm}$

⑤ 원형 구멍이 아닌 경우, 모서리 반지름 $\geq 2t$

⑥ 원형 구멍이 아닌 경우, $d_h \leq 63.5\text{ mm}$ 이고 $L_h \leq 114\text{mm}$

⑦ 원형 구멍인 경우, 지름 $\leq 150\text{mm}$

⑧ $d_h > 14\text{ mm}$

여기서, d_h : 웨브구멍의 춤

h : 웨브 평면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤

t : 웨브의 두께

L_h : 웨브구멍의 길이

(2) 구멍이 있는 C형 단면 웨브의 경우, 4.5.2.3절에 따라 산정한 V_{cr} 에 이 절에 정의된 감소계수 q_s 를 곱하여 4.5.2

절에 따라 전단강도를 산정한다.

① $c/t \geq 54$ 일 때

$q_s = 1.0$

② $5 < c/t < 54$ 일 때

$q_s = c/(54t)$ (4.5-15)

여기서, $c = h/2 - d_h/2.83$ (원형 구멍인 경우) (4.5-16)

$$= h/2 - d_h/2 \text{ (원형 구멍이 아닌 경우) (4.5-17)}$$

4.5.4 횡방향 웨브 스티프너

4.5.4.1 규정에 따른 횡방향 웨브 스티프너

(1) 전단에 대한 횡방향 웨브 스티프너가 필요한 경우, 그 간격은 4.5.2.2절에 따라 산정하는 공칭전단강도 V_n 에

맞추어야 하며, a/h 는 $[260/(h/t)]^2$ 와 3.0을 초과하지 않아야 한다.

한 쌍의 횡방향 웨브 스티프너 또는 단일 횡방향 웨브 스티프너의 웨브 면내의 한 축에 대한 실제 단면2차모멘트 I_s 의 최솟값은 다음과 같이 식(4.5-18)에 따라 산정한다.

$$I_{s_{min}} = 5ht^3 [h/a - 0.7(a/h)] \geq (h/50)^4 \quad (4.5-18)$$

여기서, h, t : 4.5.2.1절에 따라 산정한 값

a : 횡방향 웨브 스티프너 간의 간격

횡방향 웨브 스티프너의 총단면적은 다음의 식으로 얻어진 값 이상이어야 한다.

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{(a/h) + \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] Y D h t \quad (4.5-19)$$

여기서, $C_v = \frac{1.53Ek_v}{F_v(h/t)^2}$ ($C_v \leq 0.8$ 일 때) (4.5-20)

$$= \frac{1.11}{h/t} \sqrt{\frac{Ek_v}{F_v}} \quad (C_v > 0.8 \text{일 때}) \quad (4.5-21)$$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad (a/h \leq 1.0 \text{일 때}) \quad (4.5-22)$$

$$= 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad (a/h > 1.0 \text{일 때}) \quad (4.5-23)$$

Y = 스티프너 강재에 대한 웨브 강재의 항복강도의 비

D = 1.0 (한쌍으로 설치된 스티프너인 경우)

= 1.8 (단일 L형 단면 스티프너인 경우)

= 2.4 (단일 판 스티프너인 경우)

다른 변수는 4.5.2.1절에서 정한 것에 따른다.

4.5.4.2 규정에 따르지 않는 횡방향 웨브 스티프너

(1) 압형가공 스티프너 또는 압입가공 스티프너와 같이 4.5.4.1절을 적용하기에 적합하지 않은 횡방향 웨브 스티프너를 가진 부재의 설계강도는 4.9.2절에 따른 실험 또는 1.2.2에 따른 합리적인 공학적 해석에 의해 결정한다.

4.5.5 구멍이 없는 웨브의 웨브크리플링강도

(1) 공칭웨브크리플링강도 P_n 은, 식 (4.5-24) 또는 식 (4.5-25) 중에서 적용 가능한 식에 따라 산정한다. 설계강도는 표 4.5.5-1에서 4.5.5-5까지의 강도저항계수를 사용하여 산정한다.

$$P_n = C^2 F_y \sin \theta \left(1 - C_R \sqrt{\frac{R}{t}}\right) \left(1 + C_N \sqrt{\frac{N}{t}}\right) \left(1 - C_h \sqrt{\frac{h}{t}}\right) \quad (4.5-24)$$

여기서, P_n : 공칭웨브크리플링강도

C : 표 4.5.5-1, 4.5.5-2, 4.5.5-3, 4.5.5-4, 또는 4.5.5-5의 계수

t : 웨브두께

F_y : 3.4.1에 따라 산정한 설계항복강도

θ : 웨브면과 지압면 사이 각도($45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)

C_R : 표 4.5.5-1, 4.5.5-2, 4.5.5-3, 4.5.5-4, 또는 4.5.5-5의 안쪽 구부림 반지름 계수

R : 안쪽 구부림 반지름

C_N : 표 4.5.5-1, 4.5.5-2, 4.5.5-3, 4.5.5-4, 또는 4.5.5-5의 지압길이계수

N : 지압길이(최소 20 mm)

C_h : 표 4.5.5-1, 4.5.5-2, 4.5.5-3, 4.5.5-4, 또는 4.5.5-5의 웨브의 세장계수

h : 웨브 평면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤

① 표 4.5.5-1은 $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1$, 그리고 $\theta = 90^\circ$ 인 두 개의 C형 단면의 등을 맞대어 조립한 I형 단면 보에 적용한다.

표 4.5.5-1 맞댄 웨브로 조립된 단면에 대한 강도저항계수 및 기타 계수

지점과 플랜지의 조건		하중		C	C_R	C_p	C_h	ϕ_w	제한
지점에 접합 한 부재	구속 또는 부분구속 플랜 지	한쪽 플랜지 에 하중 또는 반력	단부	10	0.14	0.28	0.001	0.75	$\frac{R}{t} \leq 5$
			내부	20.5	0.17	0.11	0.001	0.85	$\frac{R}{t} \leq 5$
지점에 접합 하지 않은 부 재	구속 또는 부분 구속 플랜 지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	10	0.14	0.28	0.001	0.75	$\frac{R}{t} \leq 5$
			내부	20.5	0.17	0.11	0.001	0.85	$\frac{R}{t} \leq 3$
	비구속 플랜지	양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	15.5	0.09	0.08	0.04	0.75	$\frac{R}{t} \leq 3$
			내부	36	0.14	0.08	0.04	0.75	
			단부	10	0.14	0.28	0.001	0.75	$\frac{R}{t} \leq 5$
			내부	20.5	0.17	0.11	0.001	0.85	$\frac{R}{t} \leq 3$

② 표 4.5.5-2는 $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 2$, 그리고 $\theta = 90^\circ$ 인 단일 웨브의 C형 단면 부재에 적용한다. 표 4.5.5-2에서, 부재의 내부 양쪽 플랜지 하중 또는 반력에 대해서, 플랜지를 지점에 고정한 경우에는 지압면 가장자리로부터 부재의 단부까지의 거리는 $2.5h$ 이상이어야 한다. 플랜지를 고정하지 않은 경우에는 지압면 가장자리로부터 부재의 단부까지의 거리는 $1.5h$ 이상이어야 한다.

표 4.5.5-2 단일 웨브 C형 단면의 강도저항계수 및 기타 계수

주 1) d : 웨브 평면의 단면 전체 깊이

지점에 접 합한 부재	구속 또는 부분 구속 플 랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	내부	13	0.23	0.14	0.01	0.90	$\frac{R}{t} \leq 5$
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	7.5	0.08	0.12	0.048	0.85	$\frac{R}{t} \leq 12$
			내부	20	0.10	0.08	0.031	0.85	$\frac{R}{t} \leq 12$ $d^1 \geq 110\text{mm}$
지점에 접 합하지 않 은 부재	구속 또는 부분 구속 플 랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.14	0.35	0.02	0.80	$\frac{R}{t} \leq 5$
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	내부	13	0.23	0.14	0.01	0.90	$\frac{R}{t} \leq 2$
			단부	13	0.32	0.05	0.04	0.90	
	비구속 플랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	내부	24	0.52	0.15	0.001	0.80	$\frac{R}{t} \leq 2$
			단부	4	0.40	0.60	0.03	0.85	$\frac{R}{t} \leq 2$
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	내부	13	0.32	0.10	0.01	0.85	$\frac{R}{t} \leq 1$
			단부	2	0.11	0.37	0.01	0.75	$\frac{R}{t} \leq 1$
		내부	13	0.47	0.25	0.04	0.80		

③ 표 4.5.5-3은 $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 2$, 그리고 $\theta = 90^\circ$ 인 단일 웨브의 Z형 단면 부재에 적용한다. 표

4.5.5-3에서, 부재의 내부 양쪽 플랜지 하중 또는 반력에 대해서, 플랜지를 지점에 고정한 경우에는 지압면 가장

자리로부터 부재의 단부까지의 거리는 $2.5h$ 이상이어야 한다. 플랜지를 고정하지 않은 경우에는 지압면 가장자리

로부터 부재의 단부까지의 거리는 $1.5h$ 이상이어야 한다.

표 4.5.5-3 단일 웨브 Z형 단면의 강도저항계수 및 기타 계수

지점과 플랜지의 조건		하중		C	C_R	C_N	C_h	ϕ_u	제한
지점에 접합 한 부재	구속 또는 부분 구속 플 랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.14	0.35	0.02	0.85	$\frac{R}{t} \leq 9$
			내부	13	0.23	0.14	0.01	0.90	$\frac{R}{t} \leq 5.5$
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	9	0.05	0.16	0.052	0.85	$\frac{R}{t} \leq 12$
			내부	24	0.07	0.07	0.04	0.80	$\frac{R}{t} \leq 12$
	구속 또는 부분 구속 플 랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	5	0.09	0.02	0.001	0.85	$\frac{R}{t} \leq 5$
			내부	13	0.23	0.14	0.01	0.90	
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	13	0.32	0.05	0.04	0.90	$\frac{R}{t} \leq 3$
			내부	24	0.52	0.15	0.001	0.80	
지점에 접합 하지 않은 부재	비구속 플랜지	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.40	0.60	0.03	0.85	$\frac{R}{t} \leq 2$
			내부	13	0.32	0.10	0.01	0.85	$\frac{R}{t} \leq 1$
		양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	2	0.11	0.37	0.01	0.75	$\frac{R}{t} \leq 1$
			내부	13	0.47	0.25	0.04	0.80	

④ 표 4.5.5-4는 $h/t \leq 200$, $N/t \leq 200$, $N/h \leq 2$, and $\theta = 90^\circ$ 을 충족하는 단일 모자형 단면부재에 적용한다.

표 4.5.5-4 단일 모자형 단면의 강도저항계수 및 기타 계수

지점과 플랜지의 조건	하중		C	C_R	C_N	C_h	ϕ_w	제한
	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부						
지점에 접합한 부재	양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.25	0.68	0.04	0.75	$\frac{R}{t} \leq 5$
		내부	17	0.13	0.13	0.04	0.85	$\frac{R}{t} \leq 10$
	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	9	0.10	0.07	0.03	0.85	$\frac{R}{t} \leq 10$
		내부	10	0.14	0.22	0.02	0.85	
지점에 접합하지 않은 부재	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.25	0.68	0.04	0.75	$\frac{R}{t} \leq 5$
		내부	17	0.13	0.13	0.04	0.85	$\frac{R}{t} \leq 10$

⑤ 표 4.5.5-5는 $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 3$, 그리고 $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 을 충족하는 다중 웨브 단면 부재에 적용 한다.

표 4.5.5-5 다중 웨브 데크 단면의 강도저항계수 및 기타 계수

지점의 파스너 간격이 450mm보다 큰 다중 웨브 데크 단면은 지점에 접합하지 않은 부재로 간주한다.

지점과 플랜지의 조건	하중		C	C_R	C_N	C_h	ϕ_w	제한
	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부						
지점에 접합한 부재	양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	4	0.04	0.25	0.025	0.90	$\frac{R}{t} \leq 20$
		내부	8	0.10	0.17	0.004	0.85	
	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	9	0.12	0.14	0.040	0.85	

지점에 접합하지 않은 부재	양쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	내부	10	0.11	0.21	0.020	0.85	$\frac{R}{t} \leq 10$
		단부	3	0.04	0.29	0.028	0.60	$\frac{R}{t} \leq 20$
		내부	8	0.10	0.17	0.004	0.85	
	한쪽 플랜지 의 하중 또는 반력	단부	6	0.16	0.15	0.050	0.90	$\frac{R}{t} \leq 5$
		내부	17	0.10	0.10	0.046	0.90	

(2) 대안으로, 단부가 돌출된 C형 또는 Z형 단면 부재의 단부 한쪽 플랜지 하중조건인 경우, 공칭웨브크리플링강도

P_{nc} 는 다음과 같이 산정하여야 하며, 내부 한쪽 플랜지 하중조건의 공칭웨브크리플링강도 보다 크지 않아야 한다.

$$P_{nc} = \alpha P_n \quad (4.5-25)$$

여기서, P_{nc} : 단부가 돌출된 C형 또는 Z형 단면 부재의 공칭웨브크리플링강도

$$\alpha = \frac{1.34(L_o/h)^{0.26}}{0.009(h/t) + 0.3} \geq 1.0 \quad (4.5-26)$$

L_o : 지압면 가장자리에서 부재 단부까지의 돌출 길이

P_n : 식(4.5-24) 및 표 4.5.5-2 및 4.5.5-3에 의해 산정된 단부 한쪽 플랜지 하중조건의 공칭 웨브크리플링 강도

① 식(4.5-25)는 $0.5 \leq L_o/h \leq 1.5$ 이고 $h/t \leq 154$ 인 경우로 제한된다. 이러한 제한범위를 벗어난 L_o/h 또는 h/t 의

경우, $\alpha = 1.0$ 이다.

② h/t 의 값이 200보다 큰 휨재의 웨브에 대해서는 집중하중 또는 반력을 웨브에 직접적으로 전달하도록 적절한 조치를 한다.

③ P_n 과 P_{nc} 는 상부플랜지와 하부플랜지를 연결하고 있는 하나의 견고한 웨브에 대하여, 집중하중 또는 반력에 대한 공칭강도를 나타낸다. 모자형 단면, 다중웨브 단면, C형 단면 또는 Z형 단면의 경우, P_n 과 P_{nc} 는 하나의 웨브에 대한 공칭강도이므로, 총공칭강도는 P_n 과 P_{nc} 에, 고려하는 단면의 웨브 개수를 곱하여 산정한다.

가. 한쪽 플랜지 하중 또는 반력은, 그 집중하중 또는 반력의 지압면 가장자리와 인접한 반대편의 집중하중 또는 반력의 지압면 가장자리 사이의 순거리가 $1.5h$ 이상인 조건으로 정의한다.

나. 양쪽 플랜지 하중 또는 반력은, 그 집중하중 또는 반력의 지압면 가장자리와 인접한 반대편의 집중하중 또는 반력의 지압면 가장자리 사이의 순거리가 $1.5h$ 미만인 조건으로 정의한다.

다. 단부하중 또는 단부반력은, 그 지압면의 가장자리로부터 부재의 단부까지의 거리가 $1.5h$ 이하인 조건으로 정의한다.

라. 내부 하중 또는 내부반력은, 여기서 달리 정의한 것을 제외하고, 지압면의 가장자리로부터 부재의 단부까지의 거리가 $1.5h$ 를 초과하는 조건으로 정의한다.

4.5.6 구멍이 있는 C형 단면의 웨브크리풀링강도

(1) 지압길이 내에 웨브 구멍이 있는 경우에는 지압스티프너를 사용하여야 한다.

보의 웨브에 구멍이 있는 경우에는 4.5.5에 따른 설계웨브크리풀링강도에 이 절에서 규정한 감소계수 R_c 를 곱하여 산정한다.

이 절의 규정은 다음의 제한범위 내에서 적용한다.

① $d_h/h \leq 0.7$

② $h/t \leq 200$

③ 구멍의 중심은 웨브의 중간 깊이에 위치

④ 구멍 간 순간격 ≥ 450 mm

⑤ 부재 끝단과 구멍 가장자리 사이의 거리 $\geq d$

⑥ 원형 구멍이 아닌 경우, 모서리 반지름 $\geq 2t$

⑦ 원형 구멍이 아닌 경우, $d_h \leq 63.5 \text{ mm}$ 이고 $L_h \leq 114 \text{ mm}$

⑧ 원형 구멍의 경우, 지름 $\leq 150 \text{ mm}$

⑨ $d_h > 14 \text{ mm}$

여기서, d_h : 웨브 구멍의 춤

h : 웨브 면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤

t : 웨브의 두께

d : 단면의 춤

L_h : 웨브 구멍의 길이

(2) 웨브 구멍이 지압길이 내에 있지 않은 단부 한쪽 플랜지 반력[표(4.5.5-1), 식(4.5-24) 적용]에 대한 감소계수 R_c

는 다음과 같이 산정한다.

$$R_c = 1.01 - 0.325d_h/h + 0.083x/h \leq 1.0 \quad (4.5-27)$$

$$N \geq 25 \text{ mm}$$

(3) 웨브 구멍의 어느 부분도 지압길이 내에 있지 않은 내부 한쪽 플랜지 반력[식(4.5-24), 표(4.5.5-2) 적용]에 대

한 감소계수 R_c 는 다음과 같이 산정한다.

$$R_c = 0.9 - 0.047d_h/h + 0.053x/h \leq 1.0 \quad (4.5-28)$$

$$N \geq 75 \text{ mm}$$

여기서, x : 웨브 구멍과 지압면 가장자리 사이의 최단거리

N : 지압길이

4.6 조합력을 받는 부재

(1) 이 절은 축력과 1축 또는 2축에 대한 흔, 흔과 비틀림, 흔과 전단, 그리고 흔과 웨브크리플링의 조합력을 받는 부재에 적용한다.

4.6.1 축력과 힘을 받는 부재

4.6.1.1 축인장력과 힘을 받는 부재

(1) 소요강도 T_u , M_{ux} , M_{uy} 는 다음의 상관관계식을 만족하여야 한다.

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx,t}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny,t}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1.0 \quad (4.6-1)$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} - \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1.0 \quad (4.6-2)$$

여기서, M_{ux} , M_{uy} : 도심축에 대한 소요휨강도

T_u : 소요축인장강도

$\phi_b M_{nx,t}$, $\phi_b M_{ny,t}$: 인장항복을 고려한 각 도심축에 대한 설계휨강도

$$= \phi_b S_{ft} F_u \quad (4.6-3)$$

S_{ft} : 감소시키지 않은 원단면의 각 도심축에 대한 인장연단 단면계수

F_u : 3.3.1에 따라 산정한 강재의 설계항복강도

$$\phi_b = 0.90$$

$\phi_b M_{nx}$, $\phi_b M_{ny}$: 4.4에 따라 산정한 압축좌굴을 고려한 각 도심축에 대한 설계휨강도

$\phi_t T_n$: 4.2절에 따라 산정한 설계축인장강도

4.6.1.2 압축력과 힘을 받는 부재

(1) 소요강도 P_u , M_{ux} , M_{uy} 는 4.1.1에 따라 산정한다. 식 (4.6-4)의 각 항의 비는 1.0을 초과하지 않아야 한다.

유효단면적이 감소되지 않는 1축대칭 비구속 L형 단면 또는 $P_{nl} = P_{ne}$ 인 단면의 경우에는 M_{uy} 를 소요휨강도만으로 취할 수 있다. 그 밖의 L형 단면이나 항복응력 F_u 에서의 유효단면적 A_e 가 원단면적 A 미만인 1축 대칭 비구속 L형 단면 또는 $P_{nl} < P_{ne}$ 인 단면의 경우에는 M_{uy} 를 소요휨강도 또는 소요휨강도에 $(P_u L / 1,000)$ 을 더한 값 중에서 허용되는 P_u 의 값이 더 작아지는 쪽으로 한다.

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (4.6-4)$$

여기서, P_u : 4.1.1에 따라 산정한 소요축압축강도

$\phi_b P_n$: 4.3장에 따라 산정한 설계축압축강도

M_{u_x} , M_{u_y} : 4.1.1에 따라 산정한 소요휨강도

$\phi_b M_{n_x}$, $\phi_b M_{n_y}$: 4.4에 따라 산정한 도심축에 대한 설계휨강도

P_{n_l} : 4.3.3.2에 정의된 국부좌굴에 대한 공칭축강도

P_{n_e} : 4.3.2에 정의된 항복 및 전체좌굴에 대한 공칭축강도

4.6.2 휨과 전단을 받는 부재

(1) 휨과 전단을 받는 보의 경우, 소요휨강도 M_u 와 소요전단강도 V_u 는 $\phi_b M_n$ 과 $\phi_v V_n$ 을 각각 초과하지 않아야 한다.

4.5.4에 정의된 횡방향 웨브 스티프너가 없는 보의 경우, 소요휨강도 M_u 와 소요전단강도 V_u 는 다음의 상관관계

식을 만족하여야 한다

$$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nlo}}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n}\right)^2} \leq 1.0 \quad (4.6-5)$$

$M_u/\phi_b M_{nlo} > 0.50$ 이고 $V_u/\phi_v V_n > 0.7$ 일 때, 4.5.4에 정의된 횡방향 웨브 스티프너가 있는 보의 경우에 M_u 과 V_u 는

다음의 상관관계식을 만족하여야 한다

$$0.6 \left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nlo}} \right) + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right) \leq 1.3 \quad (4.6-6)$$

여기서, M_u : 소요휨강도

V_u : 소요전단강도

$\phi_b M_n$: 휨만 고려할 경우에 4.4에 따라 산정한 설계휨강도

$\phi_v V_n$: 전단만 고려할 경우에 4.5.2~4.5.4에 따라 산정한 설계전단강도

$\phi_b M_{nlo}$: 전체적으로 횡지지된 부재에 대하여 다음에 따라 산정한 설계휨강도:

(1) 횡방향 웨브 스티프너가 없는 부재인 경우, $\phi_b M_{nlo}$ 은 $F_n = F_v$ 또는 $M_{n_e} = M_u$ 으로 하여 4.4.3에 따라 산정한다.

(2) 횡방향 웨브 스티프너가 있는 부재인 경우, $\phi_b M_{nlo}$ 은 다음 값 중에서 작은 값이다.

① 4.4에서 $F_n = F_y$ 또는 $M_{n,e} = M_y$ 으로 하여 얻어진 $M_{n,l}$

② 4.4.4의 $M_{n,d}$

F_n : 4.4.2에 정의된 공칭휨좌굴응력

F_y : 강재의 항복강도

$M_{n,e}$: 4.4.2에 의거하여 산정되는 항복과 부재 전체좌굴에 대한 공칭휨강도

M_y : 4.4.2.1에 따른 항복모멘트

4.6.3 휨과 웨브크리플링이 조합된 부재

(1) 휨과 집중하중 또는 반력을 받는 횡방향 스티프너가 없는 웨브는 소요휨강도 M_u 와 집중하중 또는 반력 P_u 가

$M_u \leq \phi_b M_{n,lo}$ 와 $P_u \leq \phi_c P_n$ 를 충족하도록 설계하여야 한다. 추가로 다음의 ①, ②, ③의 요구사항도 만족하여야 한다.

① 횡방향 스티프너가 없는 단일 웨브 단면에 대해서는, 다음과 같이 식(4.6-7)을 만족하여야 한다.

$$0.91 \left(\frac{P_u}{P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{M_{n,lo}} \right) \leq 1.33\phi \quad (4.6-7)$$

여기서, $\phi = 0.90$

예외사항: 데크 또는 2개 이상의 단일 웨브를 가진 보에서, 연속 경간의 내부 지점에는 식(4.6-7)을 적용하지 않아야 한다. 단, 이는 부모멘트 영역에서 인접한 웨브들의 압축 연단이 연속 또는 단속적으로 플랜지 요소로 연결되거나, 견고한 외장재 또는 횡지지재에 의해 횡방향으로 지지되고, 인접한 웨브 사이의 간격이 250 mm를 초과하지 않아야 한다는 것을 전제조건으로 한다.

② 두 개의 C형 단면의 등을 맞대어 조립한 I형 단면 또는 웨브의 회전에 대해 높은 억제력을 가진 유사한 단면(C형 단면에 두 개의 L형 단면을 용접하여 조립한 I형 단면 등)과 같이 횡방향 스티프너가 없는 다중 웨브 단면에 대해서는, 다음과 같이 식(4.6-8)을 만족하여야 한다.

$$0.88 \left(\frac{P_u}{P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{M_{n,lo}} \right) \leq 1.46\phi \quad (4.6-8)$$

여기서, $\phi = 0.90$

③ 두 개의 Z형 단면을 중첩한 단면에 대해서는, 다음과 같이 식(4.6-9)를 만족하여야 한다.

$$0.86 \left(\frac{P_u}{P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{M_{n,lo}} \right) \leq 1.65 \phi \quad (4.6-9)$$

여기서, $\phi = 0.90$

가. 식(4.6-9)은 다음의 제한사항을 충족하는 단면형상에 적용한다.

(가) $h/t \leq 150$

(나) $N/t \leq 140$

(다) $F_y \leq 480 \text{ MPa}$

(라) $R/t \leq 5.5$

여기서, h : 웨브 면을 따라 측정한 웨브의 평판 부분 춤(중간스티프너 무시)

t : 웨브두께

N : 지압길이

F_y : 강재의 항복강도

R : 안쪽 구부림 반지름

나. 또한, 다음의 조건도 만족시켜야만 한다.

(가) 각 단면의 양단부는 웨브를 통하여 두 개 이상의 F10T M12 고장력볼트로 다른 단면에 접합하여야 한다.

(나) 조립단면은 플랜지를 통하여 두 개 이상의 F10T M12 고장력볼트로 지점에 접합하여야 한다.

(다) 두 단면의 웨브는 접촉되어 있어야 한다.

(라) 얇은 단면의 두께에 대한 두꺼운 단면의 두께 비는 1.3을 초과하지 않아야 한다.

이 절에서는 다음 기호를 적용한다.

P_u : 휨모멘트가 작용할 때의 집중하중 또는 반력에 대한 소요강도

M_u : 집중하중 또는 반력 P_u 의 작용점 또는 그 부근에서의 소요휨강도

$\phi_w P_n$: 4.5.5와 4.5.6 중 적용할 수 있는 조항에 따라 산정한 휨모멘트가 없을 때의 집중하중 또는 반력에 대한 설계웨브크리플링강도

$\phi_b M_{nlo}$: 축력이 없을 때 $F_n = F_y$ 또는 $M_{ne} = M_y$ 로 하여 4.4.3절에 따라 도심축 x 에 대하여 산정한 설계휨강도

P_n : 4.5.5와 4.5.6 중 적용할 수 있는 조항에 따라 산정한, 휨모멘트가 없을 때의 집중하중 또는 반력에 대한

공칭웨브크리플링강도

F_n : 4.4.2에 정의된 공칭 전체휨좌굴응력

M_{ne} : 4.4.2에 따라 산정한 항복과 전체좌굴을 고려한 공칭휨강도

M_y : 4.4.2.1에 따른 항복모멘트

4.6.4 휨과 비틀림을 받는 부재

(1) 휨과 비틀림을 받는, 비틀림이 구속되지 않은 휨재에 대해서는, $F_n = F_y$ 또는 $M_{ne} = M_y$ 으로 하여 4.4.3절에 따

라 산정한 설계휨강도에 감소계수 R 을 곱하여야 한다.

식(4.6-10)에 규정된 바와 같이, 감소계수 R 은 최대 휨응력을, 휨과 비틀림 워핑의 조합응력이 최대인 단면 위치의 조합응력으로 나눈 값이다. 식 (4.6-10)은 하나의 대칭축에 대한 휨만을 받는 1축 또는 2축 대칭 단면에 한정하여 적용한다. 그 밖의 단면에 대한 비틀림효과는 합리적인 공학적 해석을 통하여 고려하여야 한다.

$$R = \frac{f_{bending, \max}}{f_{bending} + f_{torsion}} \leq 1 \quad (4.6-10)$$

여기서, $f_{bending, \max}$: $f_{bending}$ 과 동일한 쪽의 최외단 휨응력

$f_{bending}$: 휨과 비틀림의 조합응력이 최대인 단면 위치의 휨응력

$f_{torsion}$: 휨과 비틀림의 조합응력이 최대인 단면 위치의 비틀림 워핑 응력

F_n : 4.4.2에 정의된 전체 휨좌굴응력

F_y : 강재의 항복강도

M_{ne} : 4.4.2에 따라 산정한 항복과 전체좌굴을 고려한 공칭휨강도

(2) 모든 응력은 원단면의 단면성능을 사용하여 산정한다. 플랜지의 끝단에 스티프너를 가진 C형 단면에 대해서는, 최대 조합응력이 웨브와 플랜지의 접속면에서 일어나면 R 계수는 15% 증대할 수 있다. 단, R 계수는 1.0을 넘지 않아야 한다.

(3) 4.7.6.2(1)과 4.7.6.2(2)의 규정을 적용하는 경우에는 이 절의 규정을 적용하지 않아야 한다.

4.7 조립재와 시스템

(1) 이 절은 냉간성형강의 조립재와 시스템에 관련한 설계규정을 다룬다.

4.7.1 조립단면

4.7.1.1 등을 맞댄 C형 단면 조립휨재

(1) I형 단면을 구성하기 위하여 2개의 C형 단면을 조립할 때, 접합점(하나 이상의 용접 또는 기타의 접합재)의 길이방향 최대간격 s_{max} 는 다음 식으로 구한다.

$$s_{max} = \frac{L}{6} \text{ 과 } \frac{2g T_s}{mq} \text{ 중 작은 값} \quad (4.7-1)$$

여기서, L : 보의 경간 길이

g : 상부 및 하부 플랜지에 가장 가까운 두 개의 접합 열 사이 수직 거리

T_s : 인장을 받는 접합부의 설계강도 (4.8)

m : 하나의 C형 단면의 전단중심에서 웨브면의 중간까지의 거리

q : 접합부의 길이방향 간격을 산정하는데 있어 보에 작용하는 설계하중 (아래 산정 방법 참조)

① 하중 q 는 집중하중 또는 반력을 지압길이로 나누어 구한다. 등분포하중으로 설계하는 보에서는, 하중조합에 따라 구한 등분포하중 중에서 가장 큰 값의 3배를 q 로 한다. 집중하중 또는 반력의 지압길이가 길이방향 접합간격 s 보다 작으면, 하중 또는 반력에 가장 근접한 접합부의 소요강도를 다음 식으로 구한다.

$$T_r = P_s m / 2g \quad (4.7-2)$$

여기서, P_s : 하중조합에 따라 산정한 가장 큰 집중하중 또는 반력

T_r : 인장을 받는 접합부의 소요강도

② 접합점의 최대간격 δ_m 은, 직접적으로 그 접합점의 하중의 크기에 따라 결정된다. 따라서 보의 전 길이에 걸쳐 접합점의 간격을 균일하게 하는 경우에는, 하중의 크기가 국부적으로 최대인 지점에서 그 간격을 산정한다.

이러한 방법을 사용하여 비경제적으로 좁은 간격이 되는 경우에는 다음 방법 중 하나를 채택할 수 있다.

③ 집중하중이 발생하는 지점에 보강 덧판을 플랜지에 용접한다. 이 보강 덧판과 플랜지를 연결하는 접합부의 설계전단강도를 T_s 로 하고 보의 춤을 α 로 간주한다.

(2) 보의 길이를 따라서 하중 크기의 변화에 적합하게 접합 간격을 달리 한다.

4.7.1.2 2개의 단면을 맞댄 조립압축재

(1) 2개의 단면을 맞대어 조립한 압축재는, 다음 수정사항을 거쳐 4.3.2에 따라 설계압축강도를 산정한다. 좌굴 양상이 개별 부재 사이의 접합재에 전단력을 발생시키는 상대적 변형을 수반하는 경우에는, KL/r 을 다음 식으로 산정한 $(KL/r)_m$ 으로 대체한다.

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{\alpha}{r_i}\right)^2} \quad (4.7-3)$$

여기서, $(KL/r)_o$: 조립 부재 축에 대한 총단면의 전체 세장비

α : 중간 파스너 또는 점용접 간격

r_i : 조립 부재 내의 개별 부재에 대한 원단면적의 최소 회전 반경

다른 기호들에 대한 정의는 4.3.2.1을 참조한다.

덧붙여 파스너의 강도와 간격은 다음을 만족해야 한다.

① 중간 파스너 또는 점용접 간격 α 는 α/r_i 가 조립 부재의 지배 세장비의 절반을 초과하지 않도록 제한한다.

② 조립 압축 부재의 단부는 부재의 최대 폭 이상의 길이를 가진 용접부 또는 최대 폭의 1.5 배와 동일한 거리 내에 길이방향으로 지름의 4배 이하의 간격으로 배치한 접합재로 연결한다.

③ 부재의 길이방향 연결 위치에 있는 모든 중간 파스너 또는 용접부는, 어느 방향으로도 조립 부재의 설계압축

강도의 2.5%에 해당하는 소요강도를 전달할 수 있도록 한다.

4.7.1.3 덧판 단면의 접합 간격

(1) 압축 요소의 필요한 강도를 발현하기 위해서는, 압축을 받는 덧판, 박판 또는 단속 접합 스티프너를 다른 요소에 연결하는 용접, 리벳, 볼트의 응력선 방향의 간격은 다음의 ①, ② 및 ③을 초과하지 않아야 한다.

① 이 기준의 다른 조항에서 규정한 설계강도에 근거한, 접합하는 요소 사이에 전단력을 전달하는 데 필요한 간격

② $1.5t \sqrt{E/f_c}$

여기서, t : 덧판의 두께

E : 강재의 탄성계수

f_c : 하중조합에 따른 덧판의 압축응력

③ 접합부에 속한 가장 좁은 비구속 압축 요소의 평판 폭 w 의 3배, 그러나 더 좁은 간격이 위의 ① 또는 ②에서 요구되지 않는 한, $w/t < 0.5 \sqrt{E/F_y}$ 인 경우 $1.11t \sqrt{E/F_y}$, $w/t \geq 0.5 \sqrt{E/F_y}$ 인 경우 $1.33t \sqrt{E/F_y}$ 보다 작을 필요는 없다.

(2) 응력 방향에 평행한 단속 모살용접의 경우에는, 그 간격을 용접부 사이의 순 거리에 12.7 mm를 더한 값으로 한다. 그 밖의 모든 경우에는, 이 간격을 접합부 중심 간 거리로 하여야 한다.

예외 사항 : 이 절의 요구사항은 외장재 역할만 하고 하중 전달 부재로 고려하지 않는 덧판에는 적용하지 않는다.

(3) 이 절의 (1)의 제한 값을 하나라도 초과하는 경우에는, 유효 폭을 4.12.1.4에 따라 산정한다.

4.7.2 바닥, 지붕 또는 벽체의 강판 다이아프램 구조

(1) 다이아프램 설계는 적용 가능한 관련 기준을 따른다.

4.7.3 혼합재료 시스템

(1) 다른 재료와 함께 냉간성형강 요소를 사용하는 혼합재료 시스템의 부재 설계는 이 기준과 적용 가능한 다른 재료의 기준을 따른다.

4.7.4 냉간성형강 경량골조구조

(1) 냉간성형강 골조에서 반복적으로 적용하여 활용하는 구조 부재는 적절한 강도 및 강성을 확보하도록 설계하고 설치하여야 한다.

4.7.4.1 조립벽체 샷기등의 강재 단독 설계

(1) 조립벽체 샷기등을 강재 단독으로 설계할 때는 부착된 외장재의 구조적 기여를 무시하고 설계하여야 하며 4.2 ~4.6의 요구사항을 따라야 한다.

4.7.5 냉간성형강 지진력 저항 시스템

(1) 냉간성형강 지진력 저항 시스템은 1.2.3을 따른다.

4.7.6 금속 지붕판과 벽체판 시스템

(1) 4.7.6.1부터 4.7.6.4까지의 규정은 냉간성형강 부재(띠장 및 중도리)를 둘러싼 금속판 지붕 및 벽체 시스템에 적용하여야 한다. 부재는 4.7.6.1 또는 4.7.6.2의 해당 기준에 따라 설계하며, 돌출 이음 지붕 판 시스템은 4.7.6.3에 따라, 지붕 시스템의 횡지지 및 고정은 4.7.6.4에 따라 설계한다.

4.7.6.1 부재의 강도: 일반 단면과 시스템의 연계성

(1) 압축재의 설계

공칭압축강도 P_n 은 4.7.6.1(1)①절 ~ 4.7.6.1(1)③절에서 규정한 P_{ne} , P_{nl} 및 P_{nd} 중에서 최솟값으로 한다. 1.5.4의 기하학적 및 재료적 제한을 만족하는 부재에 대한 강도저항계수는 다음과 같다.

$$\phi_c = 0.85$$

그 외의 모든 부재에 대한 강도저항계수는 1.2.2(3)을 적용한다. 설계강도는 1.5.3.3에 따라 산정한다.

① 흠좌굴, 비틀림좌굴 또는 흠비틀림좌굴

휩, 비틀림 또는 휨비틀림 좌굴에 대한 공칭압축강도 P_{ne} 은 4.3.2에 따라 산정한다. 단, F_{cre} 또는 P_{cre} 는 데크 또는

는 외장판, 버팀대, 횡지지 및 경간 연속성에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

② 국부좌굴

국부좌굴에 대한 공칭압축강도 P_n 은 4.3.3에 따라 산정한다. 단, F_n 또는 P_{ord} 는 데크 또는 외장판에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

③ 단면형상변형좌굴

단면형상변형좌굴에 대한 공칭압축강도 P_{nd} 는 4.3.4에 따라 산정한다. 단, P_{ord} 는 데크 또는 외장판에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

(2) 휨재 설계

공칭휨강도 M_n 은 4.7.6.1(2)① ~ 4.7.6.1(2)③에 규정한 M_{ne} , M_{nl} 및 M_{nd} 의 최솟값으로 한다. 1.6.4의 기하학적 및 재료 제한을 만족하는 부재들에 대한 강도저항계수는 다음과 같다.

$$\phi_c = 0.90$$

설계강도는 1.5.3.3에 따라 산정한다.

① 횡비틀림좌굴

횡비틀림좌굴에 대한 공칭휨강도 M_{ne} 는 4.4.2에 따라 산정한다. 단, F_{cre} 또는 M_{cre} 는 데크 또는 외장판, 버팀대, 횡지지 및 경간 연속성에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

② 국부좌굴

국부좌굴에 대한 공칭휨강도 M_{nl} 은 4.4.3에 따라 산정한다. 단, F_n 또는 M_{ord} 는 데크 또는 외장판에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

③ 단면형상변형좌굴

띠장 및 중도리의 단면형상변형좌굴에 대한 공칭휨강도 M_{nd} 은 4.4.4에 따라 산정한다. 단, M_{ord} 는 데크 또는 외장판에 의한 횡방향 강성, 회전 강성 및 합성 강성을 고려하여 산정한다.

(3) 휨과 비틀림의 조합에 대한 부재 설계

휘과 비틀림을 동시에 받는 부재들에 대한 공칭휘강도 M_n 은 식 (4.6-10)에 따라 계산된 저감계수 R 을 적용하여 저감한다.

4.7.6.2 부재의 강도: 특정 단면과 시스템의 연계성

(1) 한쪽 플랜지를 데크 또는 외장판에 관통 접합한 휨재

이 절은 연속보의 지점에 인접한 변곡점 사이 부분 또는 캔틸레버 보에는 적용하지 않아야 한다.

인장 플랜지가 데크 또는 외장판에 부착되고 압축 플랜지가 횡지지된, C형 또는 Z형 단면에 웨브 면에 평행한 방향으로 하중이 작용할 때의 공칭휘강도 M_n 은 식 (4.7-4)에 따라 산정한다.

4.4.4에 따른 단면형상변형좌굴에 대한 고려사항은 제외할 수 있다.

설계휘강도는 다음의 강도저항계수를 사용하여 1.6.3.3에 따라 산정한다.

$$M_n = R M_{n,lo} \quad (4.7-4)$$

$$\phi_b = 0.90$$

여기서, R : C형 또는 Z형 단면에 대하여 표 4.7-1에 따른 값

$M_{n,lo}$: $F_n = F_y$ 또는 $M_{n,e} = M_u$ 로 하여 4.4.3에 따라 산정한, 국부좌굴만을 고려한 공칭휘강도

표 4.7-1 C형 또는 Z형 단면의 R 값

단순지지 경간		
부재의 춤, mm	단면 형상	R
$d \leq 165$	C 또는 Z	0.70
$165 < d \leq 215$	C 또는 Z	0.65
$215 < d \leq 305$	Z	0.50
$215 < d \leq 305$	C	0.40

연속지지 경간

단면 형상	R
C	0.60
Z	0.70

저감계수 R 은 다음 조건들을 만족시키는 지붕 및 벽체 시스템에 한하여 적용한다.

① 부재 춤 ≤ 300 mm

② 플랜지에 끝단스티프너를 가진 부재

③ $60 \leq$ 춤/두께 ≤ 170

④ $2.8 \leq$ 춤/플랜지 폭 ≤ 5.5

⑤ 플랜지 폭 ≥ 54 mm

⑥ $16 \leq$ 플랜지의 평판 폭/두께 ≤ 43

⑦ 연속경간 시스템의 경우, 각 내부 지점에서 각 방향의 겹침 길이(지점 중심에서 겹침부 끝까지의 거리)가 1.5

▫ 이상인 경우

⑧ 부재 경간 길이가 10 m보다 크지 않은 경우

⑨ 양쪽 플랜지가 지점에서 횡방향 이동이 방지된 경우

⑩ 지붕 판 또는 벽체판이 최소 340 MPa의 항복강도, 최소 0.46 mm의 모재 금속 두께, 최소 29 mm의 리브

춤, 최대 300 mm의 리브 중심 간격을 가지며 판과 부재의 플랜지 사이에 상대적인 이동을 효과적으로 억제할 수 있도록 부착된 강재 박판인 경우

⑪ 단열재가 0~150 mm 두께의 유리섬유이고 사용하는 파스너와 일치하는 방식으로 부재와 판 사이에 압축되는 경우

⑫ 파스너 유형이 최소 12.5 mm 지름인 와셔를 가진, 5.5mm 직결나사못 또는 4.7 mm 리벳인 경우

⑬ 파스너가 돌출머리 나사못이 아닌 경우

⑭ 파스너가 300 mm 이하의 중심 간격으로 부재의 플랜지 중심 부근에 위치하며, 금속판의 상부 리브에 인접한 경우

⑮ 설계항복강도에 대한 인장강도의 비율이 1.08 이상인 경우

위에 명시한 제한사항을 벗어나는 경우에는 이 기준의 4.9.2.1에 따라 실규모 실험을 수행하거나 합리적인 공학적 해석 절차를 적용하여야 한다. 인접한 경간의 길이가 20%를 초과하여 달라지는 연속 띠장 및 중도리 시스템의 경우, 인접한 경간에 대한 R 값은 표 4.7-1의 단순 경간의 값으로 취한다. 이 절에 규정한 절차에 대한 대안으로 4.9.2.1에 따라 실험을 수행할 수 있다.

단순 경간 부재의 경우, 금속과 부재 사이의 절연재의 압축효과를 고려하여 R 을 저감하여야 한다. 이 저감은 표 4.7-1에 다음 보정 계수 r 을 곱하여 계산한다.

$$r = 1.00 - 0.0004t_i \quad (4.7-5)$$

여기서, t_i : 압축되지 않은 유리섬유 단열재의 두께

(2) 한쪽 플랜지를 돌출이음지붕판시스템에 접합한 휨재

상부 플랜지가 돌출이음지붕판 시스템을 지지하고, 웨브와 평행한 면으로 하중이 작용하는 C형 또는 Z형 단면의 설계휨강도는, 단속적인 절점 횡지지와 4.4.3절의 규정을 사용하여 산정하거나, 이 절의 규정에 따라 산정한다. 4.4.4에 따른 단면형상변형좌굴에 대한 고려사항은 제외할 수 있다.

설계휨강도는 다음의 강도저항계수를 사용하여 1.6.3.3에 따라 산정한다.

$$M_n = R M_{nlo} \quad (4.7-6)$$

$$\phi_b = 0.90$$

여기서, R : 관련 기준에 따른 시험으로 산정한 값

M_{nlo} : $F_n = F_v$ 또는 $M_{n_e} = M_v$ 로 하여 4.4.3에 따라 산정한, 국부좌굴만을 고려한 공칭휨강도

(3) 한쪽 플랜지를 데크 또는 외장판에 관통 접합한 압축재

이 규정은 한쪽 플랜지만 관통 파스너로 데크 또는 외장판에 부착되고 길이방향 축으로 중심 하중을 받는 C형 또는 Z형 단면에 적용하여야 한다. 단순경간 또는 연속경간의 C형 또는 Z형 단면의 공칭압축강도는 다음의 ①과 ②에 따라 산정한다. 4.3.4절에 따른 단면형상변형좌굴에 대한 고려사항은 제외할 수 있다.

① 약축 공칭압축강도 P_n 은 식 4.7-7에 따라 산정한다. 설계압축강도는 이 절의 강도저항계수를 사용하여

1.6.3.3에 따라 산정한다.

$$P_n = C_1 C_2 C_3 A_E / 29500 \quad (4.7-7)$$

$$\phi = 0.85$$

$$\text{여기서, } C_1 = (0.79x + 0.54) \quad (4.7-8)$$

$$C_2 = (1.17at + 0.93) \quad (4.7-9)$$

$$C_3 = 0.0965b - 0.0642d + 22.8 \quad (4.7-10)$$

여기서, x : 그림 4.7-1과 같이, Z형 단면은 웨브의 외측 면에서 파스너까지의 거리를 플랜지 폭으로 나눈 값

: 그림 4.7-1과 같이, C형 단면은 플랜지 폭에서, 웨브의 외측 면에서 파스너까지의 거리를 뺀 값을 플랜지 폭으로 나눈 값

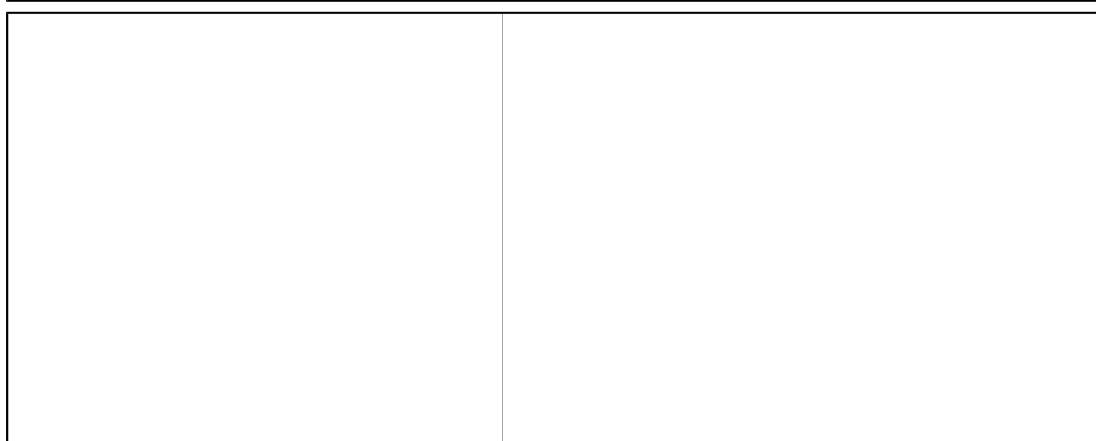
t : C형 또는 Z형 단면 두께

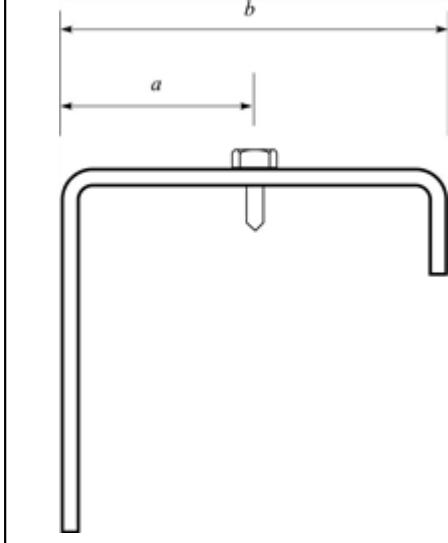
b : C형 또는 Z형 단면 플랜지 폭

d : C형 또는 Z형 단면 깊이

A : C형 또는 Z형 단면의 감소하지 않은 원단면적

E : 강재의 탄성계수





Z형 단면의 경우, $\frac{x}{b} = \frac{a}{b}$

C형 단면의 경우, $\frac{x}{b} = \frac{b-a}{b}$

그림 4.7-1 x 의 정의

식 (4.7-7)의 적용은 다음 조건들을 충족하는 지붕 및 벽체 시스템으로 제한하여야 한다.

가. $t \leq 3.20\text{mm}$

나. $150\text{mm} \leq d \leq 300\text{mm}$

다. 플랜지가 구속판 압축 요소인 경우

라. $70 \leq \frac{d}{t} \leq 170$,

마. $2.8 \leq \frac{d}{b} \leq 5$

바. $16 \leq$ 플랜지의 평판 폭 / $t \leq 50$

사. 양쪽 플랜지가 지점에서 횡방향 이동이 방지된 경우

아. 강재 지붕판 또는 강재 벽체판이 중심 간격 300 mm이하의 파스너로 체결되고, 관련 기준에 따라 산정한

횡방향 회전강성이 $10,300 \text{ N/m/m}$ 이상인 부재의 경우 (강성 산정은 플랜지 폭의 중간 파스너로 한다.)

자. 항복강도 225 MPa 이상의 C형 및 Z형 단면

차. 10 m 를 초과하지 않는 경간 길이

② 강축에 대한 설계압축강도는 4.3.2절 및 4.3.3절에 따라 산정한다.

(4) 한쪽 플랜지를 돌출이음지붕판 시스템에 접합한 Z형 단면 압축재

이 규정은 한쪽 플랜지만 돌출이음지붕판에 부착되고 길이방향 축으로 중심 하중을 받는 Z형 단면에 적용하여야 한다.

대안으로, 특수한 시스템에 대한 설계변수는, 단속적인 절점 횡지지 위치 또는 4.9에 따른 시험에 근거하여 산정할 수 있다.

단순경간 또는 연속경간의 Z형 단면의 공칭압축강도는 다음의 ①과 ②에 따라 산정한다. 4.3.4절에 따른 단면 형상변형좌굴에 대한 고려사항은 제외할 수 있다.

설계압축강도는 이 절의 강도저항계수를 사용하여 1.6.3.3에 따라 산정한다.

① 약축에 대한 설계압축강도

$$P_n = k_{af} R F_y A \quad (4.7-11)$$

$$\phi = 0.85$$

여기서, $k_{af} = 0.36$, $d/t \leq 90$ 일 때

$$= 0.72 - \frac{d}{250t}, \quad 90 < d/t \leq 130 \text{일 때} \quad (4.7-12)$$

$$= 0.2, \quad d/t > 130 \text{일 때}$$

R : 관련 기준에 따라 수행한 들어 올리는 하중 시험으로 산정한 감소계수

A : Z형 단면의 감소하지 않은 원단면적

d : Z형 단면 깊이

t : Z형 단면의 두께

F_y : 3.4.1에 따라 산정한 강재의 설계항복강도

식 (4.7-13)의 적용은 다음 조건들을 충족하는 지붕 시스템으로 제한하여야 한다.

가. $1.40 \text{mm} \leq t \leq 3.20 \text{mm}$

나. $150 \text{mm} \leq d \leq 300 \text{mm}$

다. 플랜지가 구속판 압축 요소인 경우

라. $70 \leq \frac{d}{t} \leq 170$

마. $2.8 \leq \frac{d}{b} \leq 5$

바. $16 \leq \text{플랜지의 평판 폭} / \frac{t}{\sqrt{2}} \leq 50$

사. 양쪽 플랜지가 지점에서 횡방향 이동이 방지된 경우

아. 항복강도, $F_y \leq 480 \text{ MPa}$

② 강축에 대한 설계압축강도는 4.3.2절 및 4.3.3절에 따라 산정한다.

4.7.6.3 돌출이음지붕판 시스템

(1) 돌출이음지붕판 시스템의 강도

① 중력하중에 대한 돌출이음지붕판의 공칭강도는 이 기준의 4.4에 따라서 산정하거나, 관련 기준에 따른 시험으로 결정하여야 한다.

② 들어 올리는 하중에 대한 돌출이음지붕판 시스템의 공칭강도는 관련 기준에 따른 시험으로 결정하여야 한다.

4.7.6.4 지붕시스템의 횡지지와 고정

(1) 중력하중을 받는 중도리의 상부플랜지를 금속 외장판에 접합하여 횡지지하는 지붕시스템의 고정관통접합 지붕판 또는 돌출이음지붕판이 상부 플랜지에 부착되고, 4.4와 4.7.6.1 ~ 4.7.6.2에 따라 설계하는 C형 단면 또는 Z형 단면을 가진 지붕 시스템에 대해서는, 지붕 격막에서 지점으로 힘을 전달할 수 있는 고정장치를 설치하여야 한다. 각 고정장치는 식 4.7-13에 따라 산정된 힘 P_r 를 저항할 수 있도록 설계되어야 하며 식 (4.7-19)의 최소 강성 요구사항을 만족해야 한다.

(2) 추가로, 중도리는 외장판으로 횡지지하여 고정장치 열 사이 상부 플랜지의 사용하중 하중조합에 의한 최대 횡변위가 경간 길이를 360으로 나눈 값을 초과하지 않도록 하여야 한다.

(3) 고정장치는 각 중도리 구간에 위치해야 하며 중도리 또는 중도리 상부 플랜지 근처에 연결하여야 한다. 고정장치가 각 중도리 구간의 모든 중도리 선에 직접적으로 연결되지 않는 경우에는 다른 중도리 선의 힘을 고정장치로 전달할 수 있는 대책을 세워야 한다. 요구되는 힘 P_r 이 지붕 외장판과 그 접합 시스템을 통하여 고정장치로 전달

될 수 있음을 입증하여야 한다. 고정장치의 횡방향 강성은 해석 또는 실험을 통하여 결정하여야 한다. 해석과 실험

은 고정장치 연결부 상부의 중도리 웨브의 유연성을 고려하여야 한다.

$$P_{L_i} = \sum_{i=1}^{N_g} \left(P_i \frac{K_{eff,i,t}}{K_{total}} \right) \quad (4.7-13)$$

여기서, P_i : j번째 고정장치에 의해 지지되는 수평력(중도리가 지붕 경사의 상부 방향으로 이동하는 것을 방지하기 위해 횡지지가 필요한 경우에는 양수)

N_g : 지붕경사 내의 중도리선의 수

i : 각 중도리선에 대한 지수 ($i=1, 2, \dots, N_g$)

j : 각 고정장치 지수 ($j=1, 2, \dots, N_s$)

N_s : 고정 선상의 고정장치 수

P_i : i번째 중도리에서 구조물에 유입되는 수평력

$$= (C1) W_i \left\{ \left[\left(\frac{C2}{1000} \right) \frac{L_{xy} L}{L_y d} + (C3) \frac{(m+0.25b)t}{d^2} \right] \alpha \cos\theta - (C4) \sin\theta \right\}$$

(4.7-14)

여기서, $C1, C2, C3, C4$: 표 4.7-2~4.7-4에 제시된 계수

W_i : 단일 경간에 있는 i번째 중도리에 의하여 지지되는 소요연직하중

$= w_i L$ (4.7-15)

w_i : i번째 중도리에 의해 지지되는 단위 길이당 소요분포중력하중

L_{xy} : 중도리 웨브에 평행하고 수직인 도심축에 대한 감소하지 않은 원단면의 단면상승모멘트(C형 단면에 대해서는 $L_{xy} = 0$)

L : 중도리 경간 길이

m : 전단중심으로부터 웨브 면의 중심까지의 거리(Z형 단면에 대하여 $m = 0$)

b : 중도리의 상부 플랜지 폭

t : 중도리의 두께

I : 중도리 웨브에 수직인 도심축에 대한 감소하지 않은 원단면의 단면2차모멘트

d : 중도리의 춤

a = +1, 상부 플랜지가 지붕 경사 상부로 향한 경우

= -1, 상부 플랜지가 지붕 경사 하부로 향한 경우

θ : 중도리 웨브 면과 수직면 사이 각도

$K_{eff,i,t}$: *i* 번째 중도리에 대한 *j* 번째 고정장치의 유효횡강성

$$= \left[\frac{1}{K_a} + \frac{d_{p,i,t}}{(C6)LA_pE} \right]^{-1} \quad (4.7-16)$$

여기서, $d_{p,i,t}$: *i* 번째 중도리 선과 *j* 번째 고정장치 사이의 지붕경사에 따른 거리

K_a : 고정장치의 횡강성

C6 : 표 4.7-2 ~ 표 4.7-4에 따른 계수

A_p : 지붕패널의 단위폭 총단면적

E : 강재의 탄성계수

K_{total} : P_t 를 저항하는 모든 요소들의 유효횡강성

$$= \sum_{j=1}^{N_p} (K_{eff,i,t}) + K_{sys} \quad (4.7-17)$$

여기서, K_{sys} : 지붕 구조의 횡강성 (고정장치 무시)

$$= \left(\frac{C5}{1000} \right) (N_p) \frac{ELt^2}{d^2} \quad (4.7-18)$$

여기서, *C5* : 표 4.7-2 ~ 표 4.7-4에 따른 계수

① 다중 경간 시스템에 대해서는 P_t 를 식 (4.7-14)에 따라 산정하고, 표 4.7-2 ~ 표 4.7-4의 ‘외부 골조 열’, ‘단부 구간’, 또는 ‘단부 구간 외부 고정부’ 등의 경우에 대한 C1~C4 계수들은 상응하는 ‘모든 다른 위치’의 경우에 대한 C2~C4 계수들을 사용하여 산정된 힘의 80% 이상이어야 한다.

② 지점에 고정장치를 가진(지점 횡지지) 다중 경간 시스템에서, 2개의 인접 구간이 서로 다른 단면성능 또는 경간 길이를 가진 경우에는, 다음 절차를 사용하여야 한다.

가. 식 (4.7-13)과 식 (4.7-20)에서 P_i 값은, 식 (4.7-14)로부터 2개 구간에 대하여 개별적으로 평가하여 구한 값의 평균으로 하여야 한다.

나. 식 (4.7-17)에 사용하는 K_{sys} 와 식 (4.7-13) 및 식 (4.7-17)에 사용하는 K_{eff} 는 L , t 및 d 를 2개 구간의 평균 값으로 하여 식 (4.7-16)과 식 (4.7-18)을 사용하여 산정한다.

③ 경간의 1/3 지점 또는 중간 지점에 고정장치를 가진 다중 경간 시스템에서, 인접 구간들이 고려중인 구간과 다른 단면성능 또는 경간 길이를 가진 경우에는, 인접 구간들의 영향을 고려하기 위하여 다음 절차를 사용하여야 한다.

가. 식 (4.7-13)과 식 (4.7-20)에서 P_i 는, 식 (4.7-14)로부터 3개 구간에 대하여 개별적으로 평가하여 구한 값들의 평균으로 한다.

나. 식 (4.7-17)에 사용하는 K_{sys} 는 L , t 및 d 를 3개 구간의 평균값으로 하여 식 (4.7-18)을 사용하여 산정한다.

다. K_{eff} 는 L 을 고려중인 구간의 경간 길이로 하여 식(4.7-16)을 사용하여 산정한다.

라. 단부 구간에서는, P_i 에 대한 평균값을 산정하거나 K_{sys} 를 산정하기 위한 속성 값을 평균할 때, 이 평균값은 첫 번째 내부 구간 값에 단부 구간 값의 2배를 더한 값을 3으로 나누어서 구하여야 한다.

④ 각 중도리의 총 유효강성은 다음 식을 만족해야 한다.

$$K_{total,i} \geq K_{req} \quad (4.7-19)$$

$$K_{req} = \frac{1}{\phi} \frac{20 \left| \sum_{i=1}^{N_d} P_i \right|}{d} \quad (4.7-20)$$

$$\phi = 0.75$$

⑤ 횡지지력은 식 (4.7-13) ~ 식 (4.7-18) 대신에 대체 해석으로 산정할 수도 있다. 대체 해석은, 1차 또는 2차 효과를 포함하여야 하고 지붕의 경사도, 전단중심에 대한 편심하중에 의한 비틀림, 외장판의 횡저항력에 의한 비틀림 그리고 주축에 대한 경사 하중, 등의 효과를 고려해야 한다. 또한, 대체 해석은 상부 플랜지에 부착된 외장

판에 의한 횡지지와 회전 구속의 영향도 포함해야 한다. 고정장치의 강성을 고려해야 하며, 고정장치 연결부 상

부의 중도리 웨브의 유연성을 고려하여야 한다.

⑥ 횡지지력을 합리적인 공학적 해석으로 산정할 때는, 횡지지 열 사이 중도리 상부 플랜지의 사용하중 하중조합에 의한 최대 횡변위가 경간 길이를 360으로 나눈 값을 초과하지 않아야 한다. 횡지지선 상의 중도리 상부 플랜지의 횡변위 Δ_{tf} 는 식 (4.7-21)를 만족해야 한다.

$$\Delta_{tf} \leq \phi \frac{d}{20} \quad (4.7-21)$$

표 4.7-2 지점 횡지지에 대한 계수

			c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
단순지지 경간	관통 접합		0.5	8.2	33	0.99	0.43	0.17
	돌출 이음		0.5	8.3	28	0.61	0.29	0.051
다중지지 경간	관통 접합	외부 골조 열	0.5	14	6.9	0.94	0.073	0.085
		첫 번째 내부 골조 열	1.0	4.2	18	0.99	2.5	0.43
		모든 다른 위치	1.0	6.8	23	0.99	1.8	0.36
	돌출 이음	외부 골조 열	0.5	13	11	0.35	2.4	0.25
		첫 번째 내부 골조 열	1.0	1.7	69	0.77	1.6	0.13
		모든 다른 위치	1.0	4.3	55	0.71	1.4	0.17

표 4.7-3 경간 2등분점 횡지지에 대한 계수

			c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
단순 경간	관통 접합		1.0	7.6	44	0.96	0.75	0.42
	돌출 이음		1.0	7.5	15	0.62	0.35	0.18

다중	관통	단부 구간	1.0	8.3	47	0.95	3.1	0.33
경간	접합	첫 번째 내부 구간	1.0	3.6	53	0.92	3.9	0.36
		모든 다른 위치	1.0	5.4	46	0.93	3.1	0.31
		돌출	단부 구간	1.0	7.9	19	0.54	2.0
	이음	첫 번째 내부 구간	1.0	2.5	41	0.47	2.6	0.13
		모든 다른 위치	1.0	4.1	31	0.46	2.7	0.15

표 4.7-4 경간 3등분점 횡지지에 대한 계수

			<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>C₄</i>	<i>C₅</i>	<i>C₆</i>
단순	관통 접합		0.5	7.8	42	0.98	0.39	0.40
	돌출 이음		0.5	7.3	21	0.73	0.19	0.18
경간	관	단부 구간 외부 고정부	0.5	15	17	0.98	0.72	0.043
	통	단부 구간 내부 고정부	0.5	2.4	50	0.96	0.82	0.20
	접	첫 번째 내부 구간 외부 고정부	0.5	6.1	41	0.96	0.69	0.12
	합	모든 다른 위치						
	돌	단부 구간 외부 고정부	0.5	13	13	0.72	0.59	0.035
	출	단부 구간 내부 고정부	0.5	0.84	56	0.64	0.20	0.14
	이	첫 번째 내부 구간 외부 고정부	0.5	3.8	45	0.65	0.10	0.014
	음	모든 다른 위치						

(4) 중도리에 대한 지붕시스템의 횡지지와 안정지지의 대안

4.7.6.4(1)~(3)의 요구사항을 대신하여, 상부 플랜지의 횡변위에 저항하는 횡지지재 역할과 함께 부재의 길이방

향 축에 대한 비틀림 방지 역할을 하는 비틀림 횡지지재를 골조 열에 사용할 수 있다. 비틀림 지지재는 부재의 경

간을 따라, 서로 떨어진 위치에 배치하여 단면의 비틀림 회전을 방지해야 한다. 비틀림 지지재는 C형 및 Z형 단면을 포함한 일반적인 열린 단면의 양쪽 플랜지 또는 그 부근에 접합하여야 한다. 단면의 비틀림 회전을 방지하기 위한 비틀림 지지재의 유효성과 골조 열에서의 횡지지에 대한 소요강도는 합리적인 공학적 해석 또는 시험에 의해 결정하여야 한다. 골조 열에서의 C형 및 Z형 단면의 상부 플랜지의 횡변위는 $\phi d/20$ 로 제한하여야 한다. 여기서 d 는 C형 또는 Z형 단면 부재의 춤, ϕ 는 강도저항계수이다. 사용하중 하중조합에 대한 골조 열 사이의 횡변위는 $L/180$ 이하로 제한한다. 여기서 L 은 부재의 경간 길이이다. 서로 비틀림을 지지하고 있는 한 쌍의 인접한 중도리에 대해서는 비틀림 지지력의 외부 고정이 필요하지 않다.

여기서, $\phi = 0.75$

4.7.7 선반 구조 시스템

(1) 강재 선반 구조시스템은 관련 기준에 따라 설계하고 시공하여야 한다.

4.8 접합 및 접합부

(1) 이 절은 냉간성형강과 강재, 냉간성형강과 기타 다른 재료와의 용접, 볼트, 나사못, 타정공구직결파스너 접합에 대해 적용한다.

4.8.1 일반사항

(1) 접합은 편심을 고려하여 접합 부재에 작용하는 소요강도가 전달될 수 있도록 설계하여야 한다.

4.8.2 용접 접합

(1) 연결부분의 가장 얇은 두께가 5mm 이하인 냉간성형강 구조 부재에 대한 용접 접합의 설계는 4.8의 세부 항목을 따른다. 연결부분의 가장 얇은 두께가 5mm 초과하는 냉간성형강 구조 부재에 대한 용접 접합의 설계는 강구조 설계기준을 적용한다. 격막부분은 4.7.2을 적용한다.

4.8.2.1 맞댐 접합부의 그루브용접

(1) 한쪽 또는 양쪽에서 용접하는 맞댐 접합부의 그루브용접의 공칭강도 P_n 과 강도저항계수는 해당하는 항 ① 또는 ②에 따라 결정한다.

① 유효면적에 수직으로 작용하는 인장 또는 압축에 대한 공칭강도 P_n 은 식 (4.8-1)에 따라 산정한다.

$$P_n = L t_e F_y \quad (4.8-1)$$

$$\phi = 0.90$$

② 유효면적에 작용하는 전단에 대한 공칭강도 P_n 은 식 (4.8-2)과 식 (4.8-3)으로 산정한 값 중에서 작은 값이어야 한다.

$$P_n = L t_e 0.6 F_{xx} \quad (4.8-2)$$

$$\phi = 0.80$$

$$P_n = L t_e F_y / \sqrt{3} \quad (4.8-3)$$

$$\phi = 0.90$$

여기서, P_n : 그루브용접의 공칭강도

L : 용접길이

t_e : 그루브용접의 유효목두께

F_y : 모재의 항복강도 중 최솟값

F_{xx} : 용접재의 인장강도

4.8.2.2 아크점용접

(1) 이 기준에서 허용하는 아크점용접은 박판을 더 두꺼운 강판 지지 부재에 용접하거나 박판과 박판을 하향자세로 용접하는 경우이어야 한다. 아크점용접을 가장 얇은 박판의 두께가 3.8mm를 초과하거나 겹친 박판의 두께의 합이 3.8mm 초과하는 강판에 실시해서는 아니 된다.

(2) 박판의 두께가 0.7mm 미만인 경우에는 그림 4.8-1 및 4.8-2에서와 같은 용접와셔를 사용해야 한다. 용접와셔는 미리 뚫은 구멍의 지름이 9.5mm 이상이며 두께가 1.25mm에서 2.0mm 사이어야 한다. 박판과 박판 사이의 용접에는 용접와셔가 필요하지 않다.

(3) 아크점용접은 용융 영역의 유효지름 d_e 를 명시하여야 하며, 최소 유효지름은 9.5mm이어야 한다.

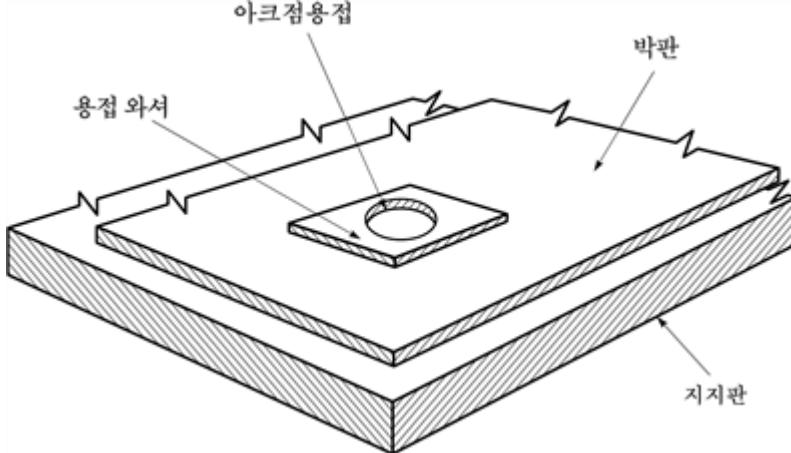


그림 4.8-1 일반적인 용접와셔

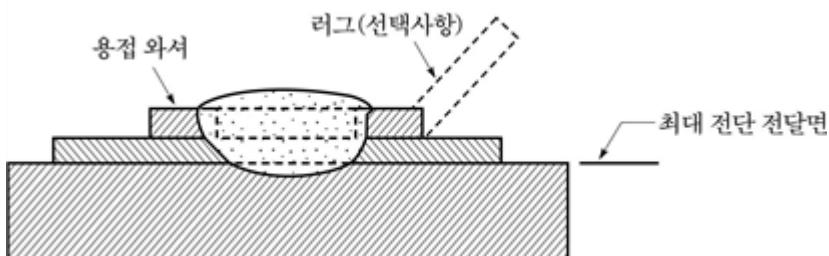


그림 4.8-2 와셔를 사용한 아크점용접

① 최소연단거리

아크점용접의 중심선에서 접합부재의 양방향 연단까지의 거리는 $1.5d$ 이상이어야 한다. 어떤 경우라도 용접부와 부재의 양방향 연단 사이의 순 거리가 $1.0d$ 보다 작아서는 안 된다. 여기서 d 는 아크점용접의 표면 지름이다 (그림 4.8-3 및 4.8-4 참조).

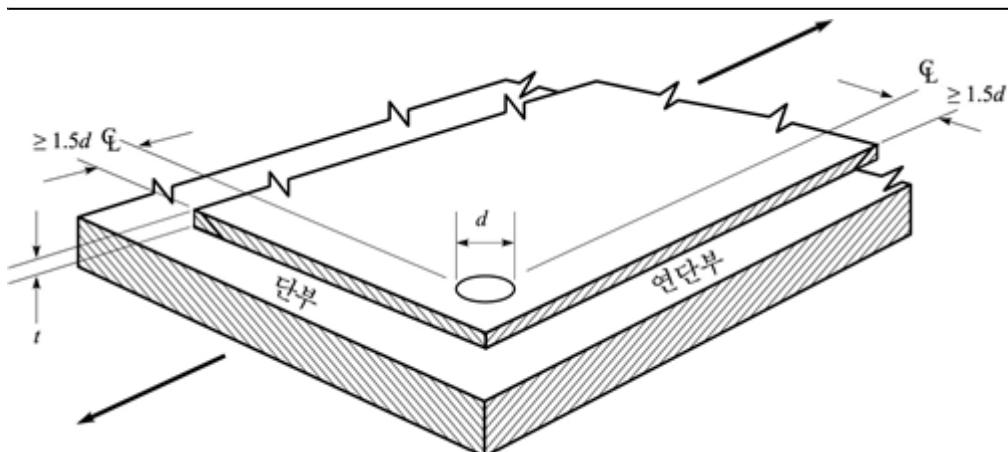


그림 4.8-3 아크점용접의 단부 및 연단부 거리 (단일 박판)

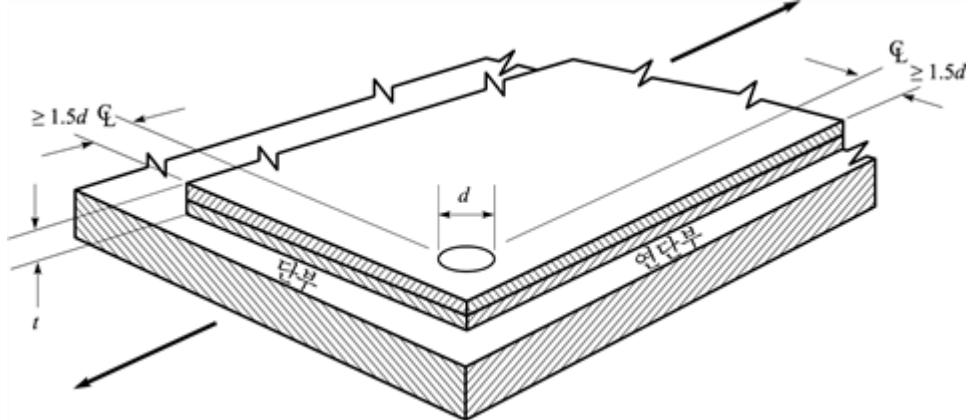


그림 4.8-4 아크점용접의 단부 및 연단부 거리 (이중 박판)

② 전단

가. 박판과 더 두꺼운 지지판 사이의 용접 전단강도

박판과 박판 또는 다중 박판과 더 두꺼운 지지판 사이의 아크점용접의 설계전단강도는 식(4.8-4)와 식(4.8-

5) 중에서 작은 값을 사용한다.

$$P_{uv} = \frac{\pi d_e^2}{4} 0.75 F_{xx} \quad (4.8-4)$$

$$\phi = 0.60$$

$$P_{u,y} = 2.20 t d_y F_y \quad (4.8-5)$$

$$\phi = 0.70$$

$$0.815 \sqrt{E/F_u} < (d_a/t) \leq 1.397 \sqrt{E/F_u} \text{ 일 때.}$$

$$P_{n_u} = 0.280 \left[1 + 5.59 \frac{\sqrt{E/F_u}}{d_a/t} \right] t d_a F_u \quad (4.8-6)$$

$$\phi = 0.55$$

$$(d_g/t) > 1.397 \sqrt{E/F_u}$$
 일 때.

$$P_{uu} = 1.40 t d_a F_u \quad (4.8-7)$$

여기서 P_{uu} : 아크점용점의 공칭전단강도

• 용유 영역의 유효지를

$$= 0.7d - 1.5t \leq 0.55d \quad (4.8-8)$$

여기서 d · 야코점 유클리드 표면 지를

t : 최대 전단력 전달 면에서 전단력 전달에 기여하는 모재들의 전체 두께(도금 두께 제외)

F_{xx} : 용접재의 인장강도

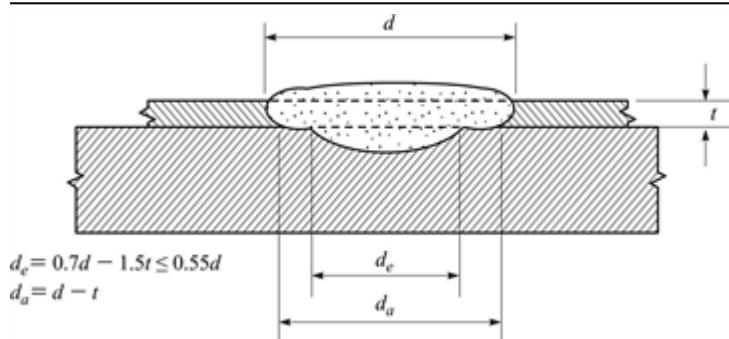


그림 4.8-5 아크점용접 - 단일 박판 두께

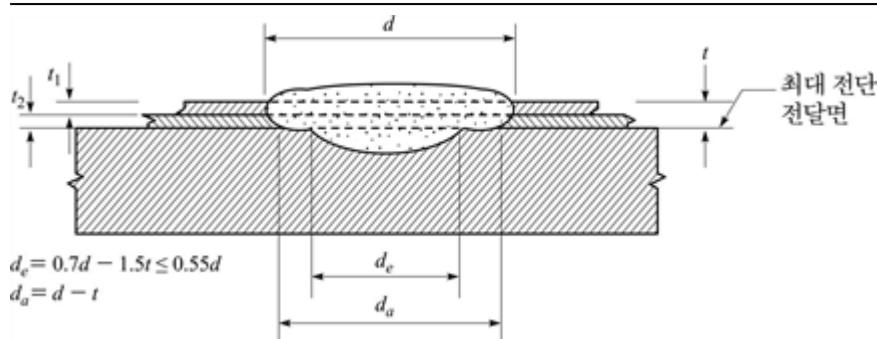


그림 4.8-6 아크점용접 - 이중 박판 두께

d_a : 두께 t 의 중간에서의 아크점용접의 평균지를

여기서, d_a 는 지지판 위에 단일 박판 혹은 4장이 넘지 않는 다중 박판 접합인 경우에, $d_a = (d - t)$ 로 계산한다

(지름의 정의는 그림 4.8-5과 4.8-6을 참조).

E : 강재의 탄성계수

F_u : 3.2 또는 3.3에 따라 결정된 인장강도

나. 박판과 박판 접합부에 대한 전단강도

동일한 두께의 두 박판 사이의 각 용접에 대한 공칭전단강도 P_{nv} 는 식 (4.8-9)에 따라 결정한다.

$$P_{nv} = 1.65 t d_a F_u \quad (4.8-9)$$

$$\phi = 0.70$$

여기서, P_{nv} : 박판과 박판 접합의 공칭전단강도

t : 단일 용접 시트의 모재 두께(도금 두께 제외)

d_a : 두께 t 의 중간에서의 아크점용접의 평균지를(지름의 정의는 그림 4.8-7 참조)

$$= (d - t) \quad (4.8-10)$$

여기서, d : 아크점용접의 표면 지름

F_u : 3.2 또는 3.3에 따라 결정된 인장강도

추가적으로 다음과 같은 제한을 적용한다.

가. $F_u \leq 400 \text{ MPa}$

나. $F_{xx} = F_u$

다. $0.70 \text{ mm} \leq t \leq 1.60 \text{ mm}$

F_{xx} 의 정의는 4.8.2.2(2)① 절 참조한다.

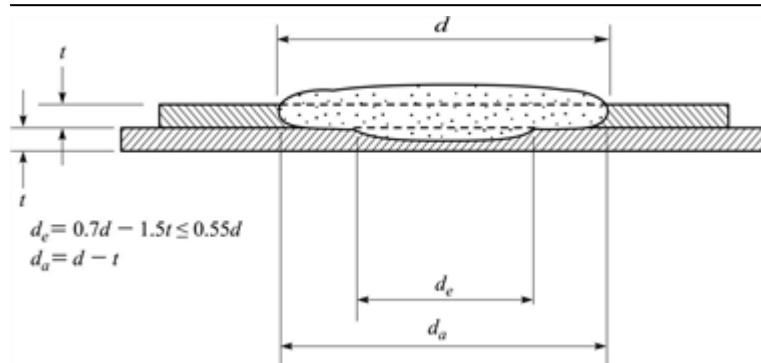


그림 4.8-7 아크점용접 - 박판과 박판의 접합

③ 인장

가. 각각의 집중하중을 받는 박판과 지지부재를 접합하는 아크점용접부에서 들어 올리는 공칭인장강도 P_{nt} 는

식 (4.8-11)와 식 (4.8-22)중에서 작은 값으로 산정한다.

$$P_{nt} = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{xx} \quad (4.8-11)$$

$$P_{nt} = 0.8 (F_u / F_y)^2 t d_a F_u \quad (4.8-12)$$

패널과 데크의 경우:

$$\phi = 0.60$$

기타 다른 경우:

$$\phi = 0.50$$

추가적으로 다음과 같은 제한을 적용한다.

가. $t d_a F_u \leq 13.3 \text{ kN}$,

나. $F_{tx} \geq 410 \text{ MPa}$,

다. $F_u \leq 560 \text{ MPa}$ (접합하는 박판)

라. $F_{tx} > F_u$

변수 정의는 ②가.를 참조한다.

나. 들어 올리는 인장하중을 받는 아크점용접에 편심하중이 작용하는 경우에는 공칭인장강도를 앞의 값의 50%로 한다.

다. 다중 박판을 접합하는 경우에는 식 (4.8-12)로 주어진 박판 두께의 합을 사용하여 강도를 산정한다.

라. 데크 시스템의 측면겹침용접부의 공칭인장강도는 앞의 값의 70%로 한다.

마. 특정한 용접절차를 통하여 일관되게 더 큰 유효지름 (d_e) 또는 평균지름 (d_a)이 측정되는 경우에는 그 특정한 용접절차를 준수하는 한 더 큰 지름을 사용할 수 있다.

④ 아크점용접의 전단과 인장의 조합

전단과 인장의 조합력을 받는 아크점용접 접합의 경우 다음의 상호작용 검토를 해야 한다.

$\left(\frac{T_u}{\phi P_{nt}}\right)^{1.5} \leq 1.5$ 인 경우 상호작용 검토 불필요

$\left(\frac{T_u}{\phi P_{nt}}\right)^{1.5} > 1.5$ 인 경우 $\left(\frac{V_u}{\phi P_{nv}}\right)^{1.5} + \left(\frac{T_u}{\phi P_{nt}}\right)^{1.5} \leq 1$ (4.8-13)

여기서, T_u : 하중조합에 따른 연결 파스너 별 소요인장강도

V_u : 하중조합에 따른 연결 파스너 별 소요전단강도

ϕP_{nt} : 4.8.2.2(3)의 설계인장강도

ϕP_{nv} : 4.8.2.2(2)의 설계전단강도

추가적으로 다음과 같은 제한을 만족하여야 한다.

가. $F_u \leq 720 \text{ MPa}$,

나. $F_{xx} \geq 410 \text{ MPa}$,

다. $td_a F_u \leq 13.3 \text{ kN}$,

라. $F_u / F_y \geq 1.02$,

마. $11.9 \text{ mm} \leq d \leq 25.9 \text{ mm}$.

변수 정의는 ②가.를 참조한다.

4.8.2.3 아크봉합용접

(1) 이 장에서 규정하는 아크봉합용접은 다음과 같은 접합부에만 적용한다.

① 하향자세로 용접하는 박판과 더 두꺼운 지지판 사이의 접합부 (그림 4.8-8 참조)

② 수평자세 또는 하향자세로 용접하는 박판과 박판 사이의 접합부

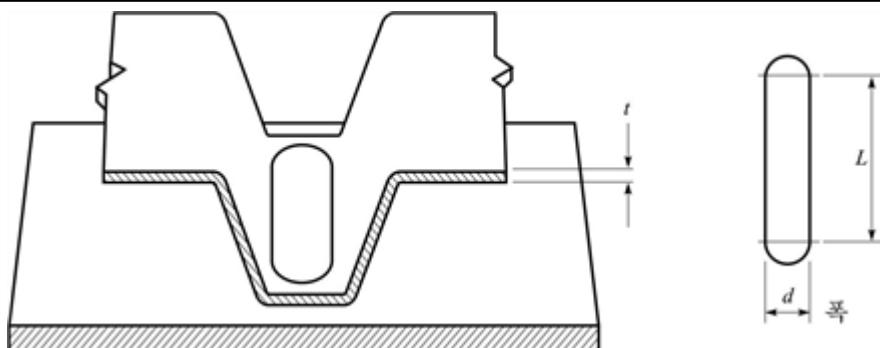


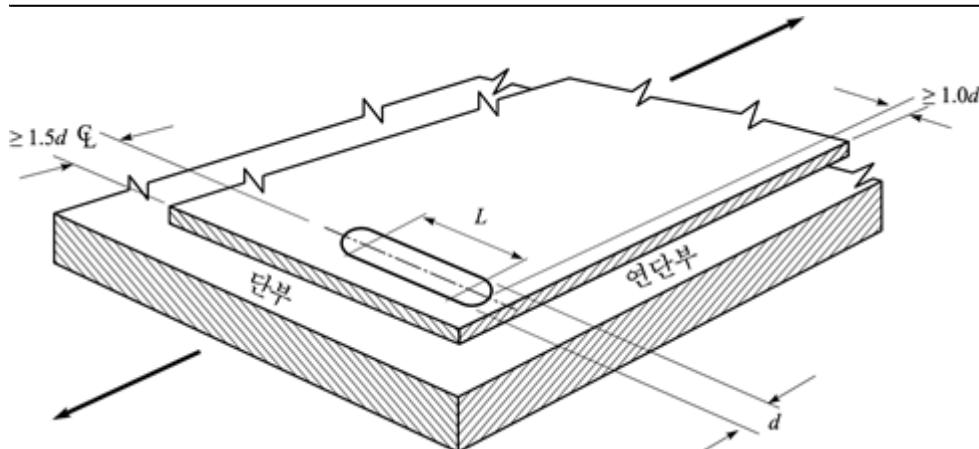
그림 4.8-8 아크봉합용접 - 하향자세로 용접하는 박판과 지지판 사이의 접합

(2) 최소연단거리

아크봉합용접의 중심선에서 접합부재의 양방향 연단까지의 거리는 $1.5d$ 이상이어야 한다. 어떤 경우라도 용접

부와 부재의 양방향 연단 사이의 순 거리가 $1.0d$ 보다 작아서는 안 된다. 여기서 d 는 아크봉합용접의 표면 폭이

다 (그림 4.8-9 참조).



(3) 전단

① 박판과 두꺼운 지지판 사이의 용접전단강도

아크봉합용접의 공칭전단강도 P_{nv} 는 식 (4.8-14)와 식 (4.8-15) 중 작은 값을 사용하여 결정한다.

$$P_{nv} = \left(\frac{\pi d_s^2}{4} + L d_s \right) 0.75 F_{xx} \quad (4.8-14)$$

$$P_{nv} = 2.5 t F_u (0.25 L + 0.96 d_a) \quad (4.8-15)$$

$$\phi = 0.60$$

여기서, P_{nv} : 아크봉합용접의 공칭전단강도

d_s : 용융 영역의 아크봉합용접의 유효폭

$$= 0.7d - 1.5t \quad (4.8-16)$$

여기서, d : 아크봉합용접의 표면 폭

L : 반원형 단부를 제외한 봉합용접의 길이

(계산 할 때는 L 이 $3d$ 를 초과하지 않아야 한다)

d_a : 아크봉합용접의 평균 폭

$$= (d - t) \text{ 단일 또는 이중 박판인 경우} \quad (4.8-17)$$

F_u , F_{xx} , t 의 정의는 4.8.2.2(2)①절을 참조

② 박판과 박판 사이의 용접전단강도

동일한 두께의 두 시트 사이의 각 용접에 대한 공칭전단강도 P_{nv} 는 식 (4.8-18)에 따라 결정한다.

$$P_{nv} = 1.65 t d_a F_u \quad (4.8-18)$$

$$\phi = 0.70$$

여기서, P_{nv} : 박판과 박판 접합의 공칭전단강도

d_a : 두께 중간 지점에서의 아크봉합용접의 평균 폭(폭의 정의는 그림 4.8-10 참조)

$$= (d - t) \quad (4.8-19)$$

여기서, t : 아크봉합용접의 표면 폭

t : 용접되는 단일 박판의 모재 두께(도금 두께 제외)

F_u : 3.2 또는 3.3에 따라 결정된 인장강도

추가적으로 다음과 같은 제한을 적용한다.

가. $F_u \leq 410 \text{ MPa}$

나. $F_{xx} > F_u$

다. $0.70 \text{ mm} \leq t \leq 1.60 \text{ mm}$

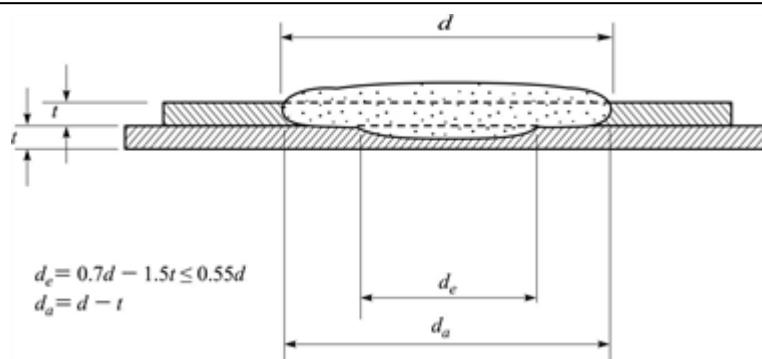


그림 4.8-10 아크봉합용접 - 박판과 박판의 접합

4.8.2.4 상부 측면겹침 아크봉합용접

(1) 상부 측면겹침 아크봉합용접의 전단강도

상부 측면겹침 아크봉합용접의 길이방향 하중에 대한 공칭 전단강도 P_{uv} 는 식 (4.8-20)에 따라 결정한다. 다음

과 같은 제한을 적용한다.

① $h_{st} \leq 32 \text{ mm}$

② $F_{xx} \geq 410 \text{ MPa}$

③ $0.70 \text{ mm} \leq t \leq 1.60 \text{ mm}$

④ $25 \text{ mm} \leq L_w \leq 63.5 \text{ mm}$

여기서, h_{st} : 공칭 봉합 높이(그림 4.8-11 참조)

F_{xx} : 용접재의 인장강도

L_w : 상부 측면겹침 아크봉합용접의 길이

t : 더 얇은 접합판의 모재 두께

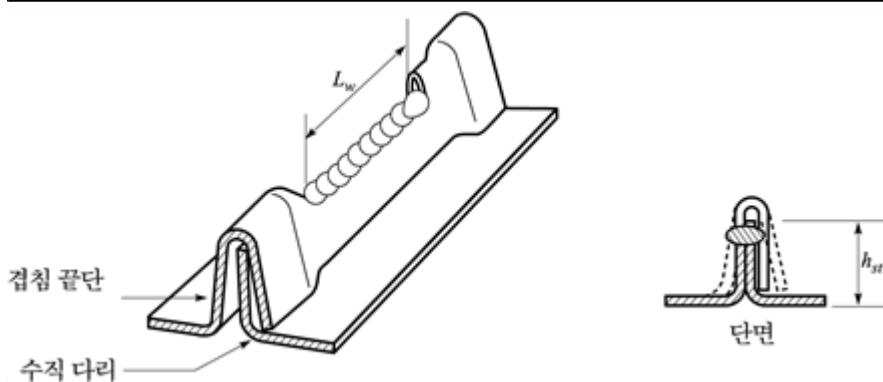
$$P_{uw} = [4.0(F_u/F_{uy}) - 1.52](t/L_w)^{0.33}L_w t F_u \quad (4.8-20)$$

$\phi = 0.60$

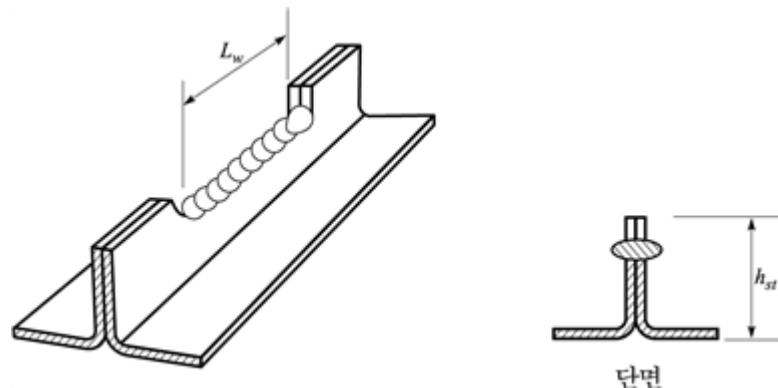
여기서, P_{uw} : 상부 측면겹침 아크봉합용접의 공칭전단강도

F_u : 3.2.1, 3.2.2, 또는 3.2.3에 따라 결정된 접합판의 최소 인장강도

F_{uy} : 3.2.1, 3.2.2, 또는 3.2.3에 따라 결정된 접합판의 최소 항복강도



(1) 수직 다리와 겹침 끝단 접합



(2) 수직 다리 맞댐 접합

그림 4.8-11 상부 측면겹침 아크봉합용접

(2) 상부 아크봉합용접이 강판 데크 격막의 측면 겹침의 최소 간격 요구사항을 충족하는 경우 3.2.2, 3.2.3(1)

② 및 3.2.3(1)③에서 규정하는 접합 설계 강도 저감을 제외할 수 있다.

(3) 최소연단거리와 용접 간격은 4.8.6절의 전단 파단 요구 사항을 만족해야 한다.

(4) 상부 측면겹침 아크봉합용접은 다음과 같이 이루어져야 한다.

① 수직 다리와 겹침 끝단 접합 또는 수직 다리 맞댐 접합에서 수직 다리가 밀착되게 잘 맞추어져야한다.

② 수직 다리와 겹침 끝단 접합에서는 겹침 끝단을 수직 다리 위에 압착하고 그 압착 길이가 용접 길이 L_u 보다 길어야 한다.

③ 용접부의 한쪽 또는 양쪽 겹침 끝단에 구멍이나 개구부를 둘 수 있다.

4.8.2.5 모살용접

(1) 이 기준에서 다루는 모살용접은 다음 접합부의 용접에 적용한다.

① 박판과 박판의 용접 또는

② 박판과 더 두꺼운 강재와의 용접

(2) 모살용접의 공칭 전단강도 P_{nv} 는 이 절의 규정에 따라 결정된 P_{nv1} 과 P_{nv2} 중 작은 값으로 한다.

① 용접선에 평행한 하중인 경우

$L/t < 25$ 일 때

$$P_{nv1} = \left(1 - \frac{0.01L}{t_1}\right) L t_1 F_{u1} \quad (4.8-21)$$

$$P_{nv2} = \left(1 - \frac{0.01L}{t_2}\right) L t_2 F_{u2} \quad (4.8-22)$$

$\phi = 0.60$

$L/t \geq 25$ 일 때

$$P_{nv1} = 0.75 t_1 L F_{u1} \quad (4.8-23)$$

$$P_{nv2} = 0.75 t_2 L F_{u2} \quad (4.8-24)$$

$\phi = 0.50$

② 용접선에 직교인 하중의 경우 :

$$P_{nv1} = t_1 L F_{u1} \quad (4.8-25)$$

$$P_{nv2} = t_2 L F_{u2} \quad (4.8-26)$$

$\phi = 0.65$

여기서, t_1, t_2 : 접합부재의 각 두께 (그림 4.8-12, 그림 4.8-13 참조)

t : t_1 과 t_2 중 작은 값

F_{u1} , F_{u2} : 접합재 t_1 과 t_2 각각의 인장강도

P_{uu1} , P_{uu2} : t_1 과 t_2 에 해당하는 각 접합의 공칭전단강도

③ 추가적으로 $t > 2.54\text{mm}$ 인 경우, ①과 ②에 따라 결정된 공칭 강도는 다음의 P_n 값을 초과하지 않아야 한다.

$$P_n = 0.75t_w L F_{xx} \quad (4.8-27)$$

$\phi = 0.60$

여기서, P_n : 모살용접공칭강도

L : 모살용접 길이

F_{xx} : 용접봉의 인장강도

t_w : 유효 목두께

: $0.707w_1$ 또는 $0.707w_2$ 중 작은 값. 단 사용하는 용접절차를 통해 지속적으로 더 큰 값의 t_w 가 측정되는 경우에 더 큰 유효 목두께를 사용할 수 있다.

여기서, w_1 , w_2 : 용접 다리길이 (그림 4.8-12과 그림 4.8-13 참조), 겹침접합에서는 $w_1 \leq t_1$ 이어야한다.

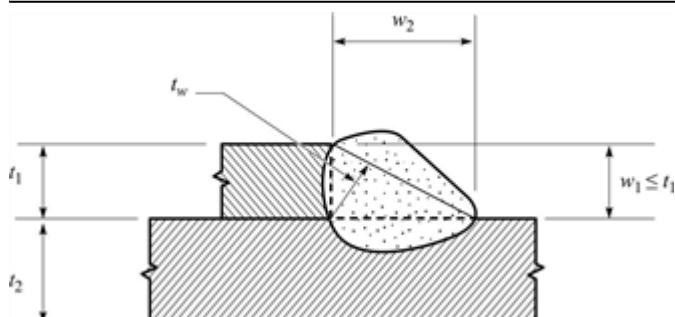


그림 4.8-12 모살용접 - 겹침접합

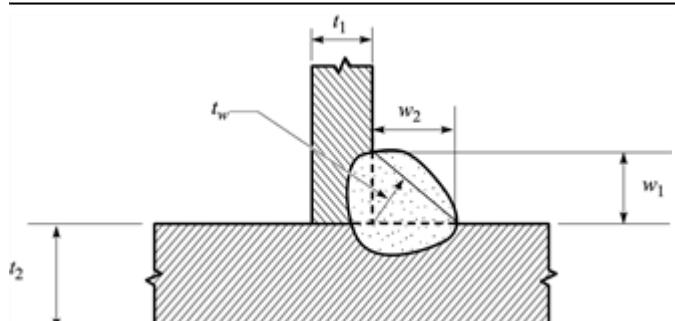


그림 4.8-13 모살용접 - T접합

4.8.2.6 플레이어그루브용접

(1) 이 기준에서 다루는 플레이그루브용접은 모든 용접자세에 대하여, 박판과 박판 사이의 플레이V형그루브용접, 박판과 박판 사이의 플레이베벨그루브용접, 또는 박판과 더 두꺼운 강재 사이의 플레이베벨그루브용접에 적용한다.

(2) 플레이그루브용접의 공칭전단강도 P_{n_v} 는 이 절의 규정에 따라 산정한다. 제작자가 품질검사에 의하여 식(4.8-32) 또는 식(4.8-34)에 따라 계산된 유효목두께 t_w 보다 더 큰 유효 목두께를 지속적으로 산출할 수 있다는 것을 증명한다면, 더 큰 유효목두께를 사용할 수 있다.

(3) 품질검사는 용접 길이 중간과 용접부 양단에서 용접 축에 수직으로 단면을 절단하여 수행하여야 한다. 그러한 단면절단은 제작에 사용된 범위를 대표하는 재료의 크기에 대한 다수의 조합으로 구성하여야 한다.

① 플레이베벨그루브용접에 직교 하중인 경우(그림 4.8-14)

$$P_{n_v} = 0.833tLF_u \quad (4.8-28)$$

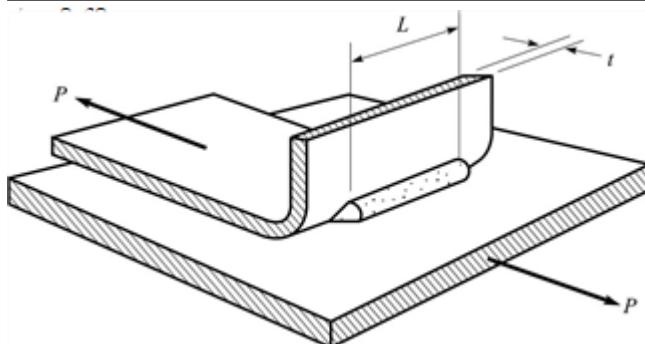


그림 4.8-14 플레이 베벨 그루브용접

② 플레이베벨그루브용접에 평행한 하중인 경우(그림 4.8-15, 4.8-16)

가. $t_w \leq t_w < 2t$ 또는 끝단스티프너 높이 h 가 용접 길이 L 보다 작은 경우

$$P_{n_v} = 0.75tLF_u \quad (4.8-29)$$

$$\phi = 0.55$$

나. $t_w \geq 2t$ 이고 끝단스티프너 높이 h 가 용접 길이 L 이상인 경우

$$P_{n_v} = 1.5tLF_u \quad (4.8-30)$$

$$\phi = 0.55$$

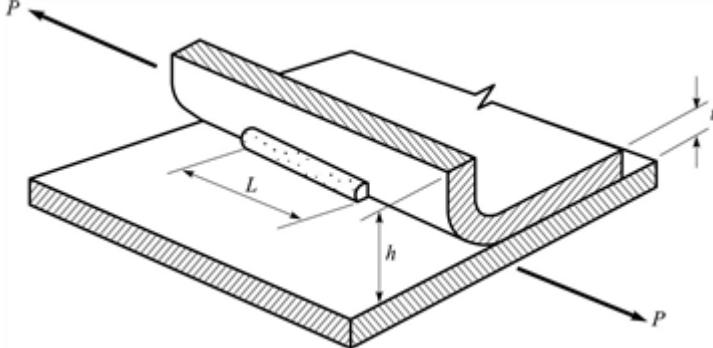


그림 4.8-15 플레이어 베벨 그루브용접의 전단

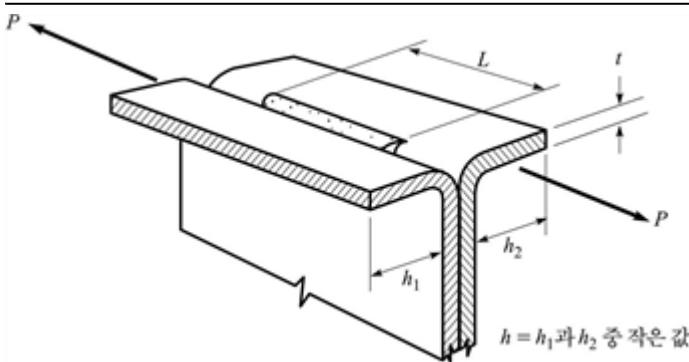


그림 4.8-16 플레이어 V-그루브용접의 전단

③ $t > 2.54$ mm인 경우, ① 또는 ②에 따라 결정된 공칭 강도는 식 (4.8-31)에 의해 계산된 P_n 값을 초과해서는 안된다.

$$P_n = 0.75t_w L F_{xx} \quad (4.8-31)$$

$$\phi = 0.60$$

여기서, P_n : 플레이어 그루브용접 공칭강도

t : 그림 4.8-14에서 4.8-16 까지에 나타낸 접합판 두께

L : 용접 길이

F_u , F_{xx} : 4.8.2.2(3)②가. 절에서 정의되는 값

h : 끝단스티프너 높이

t_w : 식 (4.8-32) 또는 (4.8-34)에 의해 산정된 플레이어 그루브 용접의 유효 목두께

가. 플레이어 베벨 그루브용접인 경우

$$t_w = \left(w_2 + t_{wf} - R + \sqrt{2Rw_1 - w_1^2} \right) \left(\frac{w_1}{w_f} \right) - R \eta \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \quad (4.8-32)$$

여기서, w_1 , w_2 : 용접 다리길이(그림 4.8-17 참조)

t_{wf} : 표면과 평평하게 채운 그루브용접(즉, $w_1 = R$)의 유효목두께, 표 4.8-1에 따라 산정한다.

R : 외측 곡률반경

η : $[1 - \cos(\text{등가의 각도})]$ (표 4.8-1에 의해 결정)

w_f : 용접면 폭

$$= \sqrt{w_1^2 + w_2^2} \quad (4.8-33)$$

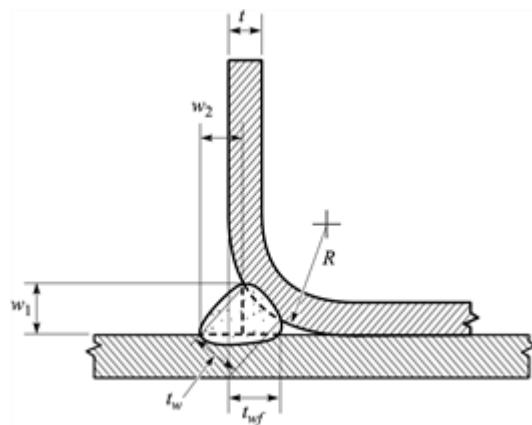


그림 4.8-17 플레어-베벨 그루브용접

표 4.8-1 플레어 베벨 그루브용접

용접법	목두께 (t_{wf})	η
SMAW, FCAW-S	5/16 R	0.274
GMAW, FCAW-G	5/8 R	0.073
SAW	5/16 R	0.274

나. 플레어V형그루브용접인 경우

$t_w = (t_{wf} - d_1)$ 과 $(t_{wf} - d_2)$ 중 작은 값 (4.8-34)

여기서, d_1 , d_2 : 표면에 평평한 면과 용접면의 차이 (그림 4.8-18 참조)

t_{wf} : 표면과 평평하게 채운 그루브용접(즉, $d_1 = d_2 = 0$)의 유효목두께, 표 4.8-2에 따라 산정한다.

R_1 , R_2 : 그림 4.8-18의 외측 곡률반경

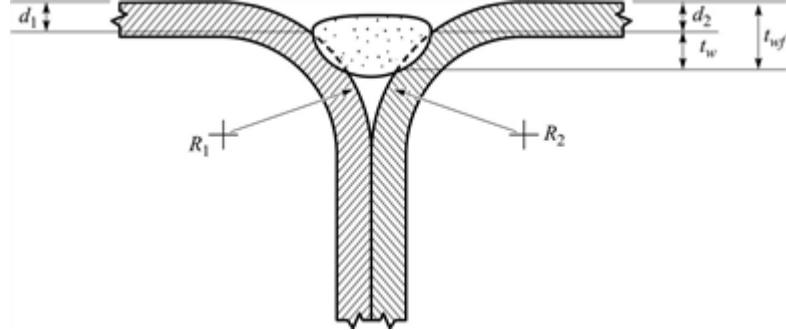


그림 4.8-18 플레어V형그루브용접

표 4.8-2 플레어V형그루브용접

용접법	목두께 ($t_{w,f}$)
SMAW, FCAW-S	5/8 R
GMAW, FCAW-G	3/4 R
SAW	1/2 R

여기서, R 은 R_1 과 R_2 중 작은 값

4.8.2.7 전기저항용접

(1) 전기저항(점)용접의 공칭전단강도 $P_{n,v}$ 이 장의 규정에 따라 산정한다.

$$\phi = 0.65$$

① $0.25 \text{ mm} \leq t < 3.56 \text{ mm}$ 일 때

$$P_{n,v} = 5.51t^{1.47} \quad (4.8-35)$$

② $3.56 \text{ mm} \leq t \leq 4.57 \text{ mm}$ 일 때

$$P_{n,v} = 7.6t + 8.57 \quad (4.8-36)$$

여기서, $P_{n,v}$: 전기저항용접의 공칭전단강도(kN)

t : 가장 얇은 외측 박판의 두께(mm)

4.8.3 볼트접합

(1) 이 장의 규정은 가장 얇은 평판의 두께가 5mm 이하인 냉간성형강 구조부재의 강재와 강재 사이의 볼트접합에 적용하여야 한다.

(2) 가장 얇은 평판의 두께가 5mm를 초과하는 볼트 접합은 강구조설계기준을 적용하여야 한다.

(3) 이 절에서 제시되지 않은 볼트, 너트, 그리고 와셔를 사용한 경우, 사용된 볼트의 형태 및 크기와 설계단계에서 가정한 공칭강도를 도면에 명확하게 표기하여야 한다.

(4) 볼트는 접합부가 만족스러운 성능을 확보할 수 있도록 적절히 설치되고 체결하여야 한다.

(5) 볼트 구멍의 크기는 표 4.8-3에서 규정된 크기를 초과해서는 안 된다. 단, 볼트가 콘크리트 벽체에 접합된 구조 시스템 또는 주각부 상세에 사용된 경우에는 예외로 한다.

표 4.8-3 최대 볼트구멍 크기 (mm)

공칭 볼트 지름, d	표준 구멍 지름, d_h	대형 구멍 지 름, d_h	단슬롯구멍 크기	장슬롯구멍 크기	대안 단슬롯 구멍 ¹ 크기
$d < 12$	$d+1$	$d+2$	$(d+1) \times (d+6)$	$(d+1) \times (2.5d)$	
$12 \leq d < 20$	$d+2$	$d+4$	$(d+2) \times (d+6)$	$(d+2) \times (2.5d)$	15×23
$20 \leq d < 24$	$d+2$	$d+6$	$(d+2) \times (d+8)$	$(d+2) \times (2.5d)$	
$d = 24$	27	30	27×32	27×60	
$d \geq 24$	$d+3$	$d+8$	$(d+3) \times (d+10)$	$(d+3) \times (2.5d)$	

주 1) 대안 단슬롯 구멍은 공칭 볼트 지름, $d=12mm$ 인 경우에만 허용된다.

① 구멍의 변형을 고려하는 경우

식 4.8-37에 따라, 볼트구멍의 변형이 설계 고려사항인 경우, 다음의 요구조건을 적용해야 한다.

가. 설계자가 대형 구멍, 슬롯 구멍을 볼트접합에 사용하도록 허용한 경우를 제외하고는, 표준 구멍을 사용해야 한다.

나. 슬롯 구멍의 길이 방향은 전단력의 방향과 수직이어야 한다.

다. 4.9.2절에 제시된 시험에 따라 적절한 성능이 확인되지 않는다면, 외부 접합판의 대형구멍 또는 슬롯구멍 위에는 와셔 또는 보조 평판을 설치해야 한다.

② 구멍의 변형을 고려하지 않는 경우

볼트구멍의 변형이 설계 고려사항이 아닌 경우, 대형구멍 또는 단슬롯구멍을 사용할 수 있다. 이때, 볼트 구멍의 크기는 표 4.8-1에 제시된 크기를 초과할 수 없다.

Z형단면 부재를 겹치거나 포갤 경우에 겹친 부분 내의 슬롯구멍 또는 대형구멍은 다음의 제한사항을 충족하면 표준구멍으로 간주할 수 있다.

가. 와셔 또는 보조 평판의 사용 여부와 상관없이 지름 12mm의 볼트 만 사용

나. 최대 슬롯 크기가 15mm×23mm이며 세로방향 슬롯

다. 최대 대형 구멍의 지름이 16mm

라. 부재의 최소 공칭 두께가 1.52mm

마. 부재의 최대 항복 강도가 414MPa

바. 골조의 중심에서 겹침 단부까지 최소 겹침 길이는 부재 춤의 1.5배

4.8.3.1 최소 간격

(1) 볼트의 중심간 거리는 공칭 볼트 지름, d 의 3배 이상이어야 한다. 또한 볼트 구멍의 중심간 최소 거리는 볼트의 머리, 너트, 와셔, 그리고 렌치를 위한 공간을 충분히 확보하여야 한다. 대형 구멍과 슬롯 구멍의 경우, 인접한 두 구멍의 연단 사이의 거리는 $2d$ 이상이어야 한다.

4.8.3.2 최소연단거리

(1) 볼트의 중심으로부터 접합부의 최소 연단까지의 거리는 공칭 볼트 지름, d 의 1.5배 이상이어야 하며, 대형구

명 또는 슬롯구멍은 구멍 연단으로부터 부재 연단까지의 거리는 d 이상이어야 한다.

4.8.3.3 지압

(1) 볼트 접합부의 설계지압강도는 ①, ②에 따라 산정한다. 설계지압강도를 알 수 없는 경우에는 시험에 의해 결정한다.

① 볼트구멍의 변형이 설계 고려사항이 아닌 경우의 지압강도

볼트구멍 주변의 변형이 설계 고려사항이 아닌 경우에는 개별 볼트의 접합판에 대한 공칭지압강도 P_{nb} 는 식 (4.8-37)에 따라 산정한다.

$$P_{nb} = C m_f d t F_u \quad (4.8-37)$$

$$\phi = 0.6$$

여기서, C : 표 4.8-4에 따라 산정한 지압계수

m_f : 표 4.8-5의 지압접합 유형에 따른 보정계수

d : 볼트의 공칭지름

t : 비도장 강판의 두께

F_u : 3.2, 3.3에 따른 강재(접합판)의 인장강도

표 4.8-4 지압계수, C^1

	표준 구멍 접합부		대형구멍 또는 단슬롯구멍 접합부	
접합부재의 두께, t (mm)	부재 두께에 대한 볼트 지름의 비, d/t	C	부재 두께에 대한 볼트 지름의 비, d/t	C
$0.61 \leq t < 4.76$	$d/t < 10$	3.0	$d/t < 7$	3.0
	$10 \leq d/t \leq 22$	$4 - 0.1(d/t)$	$7 \leq d/t \leq 18$	$1 + 14/(d/t)$

주 1) 4.8.3절에 따라 Z형단면 부재를 겹치거나 포갤 경우에 겹친 부분 내의 슬롯구멍 또는 대형구멍은 표준 구멍으로 간주할 수 있다.

표 4.8-5 지압접합의 유형¹에 따른 보정계수, m_f

지압접합의 유형	m_f
볼트 머리와 너트 아래에 모두 와셔가 있는 표준 구멍을 사용한 1면전단과 2면전단 접합의 외부 강판	1.00
볼트 머리와 너트 아래에 와셔가 없거나, 혹은 어느 한 곳만 와셔가 사용된 표준 구멍을 사용한 1면전단과 2면전단 접합의 외부 강판	0.75
볼트 머리와 너트 아래에 와셔가 없거나, 혹은 어느 한 곳만 와셔가 사용되며 대형 구멍 또는 하중과 평행한 방향의 단슬롯구멍을 사용한 1면전단과 2면전단 접합의 외부 강판	0.70
와셔의 유무와 상관없이, 표준구멍을 사용한 2면전단 접합의 내부 강판	0.55
와셔의 유무와 상관없이, 대형구멍 또는 하중과 평행한 방향의 단슬롯구멍을 사용한 2면전단 접합의 내부 강판	1.10
와셔의 유무와 상관없이, 하중과 수직한 방향의 단슬롯구멍을 사용한 2면전단 접합의 내부 강판	0.90

주 1) 4.8.3절에 따라 Z형단면 부재를 겹치거나 포갤 경우에 겹친 부분 내의 슬롯구멍 또는 대형구멍은 표준 구멍으로 간주할 수 있다.

② 볼트구멍의 변형이 설계 고려사항인 경우의 지압강도

볼트구멍 주변의 변형이 설계 고려사항인 경우, 공칭지압강도, $P_{n\cdot b}$ 는 식 (4.8-38)에 따라 산정한다. 이때, 설계 강도는 ①에 따라 산정한 설계강도를 초과할 수 없다.

$$P_{n\cdot b} = (4.64\alpha t + 1.53)dt F_u \quad (4.8-38)$$

$$\phi = 0.65$$

여기서, α : 0.0394

다른 기호의 정의는 4.8.3.3(1)①을 참조한다.

4.8.4 나사못 접합

(1) 이 절의 규정은 냉간성형강 부재에 사용하도록 명시한 제한범위 내에서 강재와 강재 사이의 나사못 접합에 적용하여야 한다.

(2) 이 절의 모든 규정은 지름 d 가 $2.0\text{mm} \leq d \leq 6.3\text{mm}$ 인 나사못에 적용하여야 한다.

(3) 나사못은 자체 천공 뾰족끝의 유무와 관계없이 나사산 형성 또는 나사산 절단 방식이어야 한다.

(4) 나사못은 제조사의 권장 사항에 따라 설치하고 체결하여야 한다. 또한 나사못 접합부의 공칭강도는 4.2에 따라서도 제한한다.

(5) 격막에서 사용하는 경우에는 4.7.2을 적용하여야 한다.

(6) 별도로 명시하지 않는 한 설계강도는 다음의 강도저항계수를 사용하여 산정한다.

$$\phi = 0.50$$

대안으로, 4.9.2에 따라 결정한 강도저항계수 ϕ 를 사용하여 시험에 기반한 특정한 설계값을 사용할 수 있다.

(6) 4.8.4에서는 다음의 기호를 적용한다.

d : 나사못의 공칭지름

d_h : 나사못의 머리 지름 또는 와셔불이 육각머리 직결나사의 와셔 지름

d_w : 강재 와셔 지름

d'_w : 유효빠짐저항 지름

P_{nv} : 나사못 하나당 접합판의 공칭전단강도

P_{nv} : 제조자의 보고서 또는 독자적인 시험에 따라 결정한 나사못의 공칭전단강도

P_{not} : 나사못 하나당 접합판의 공칭뽑힘강도

P_{nov} : 나사못 하나당 접합판의 공칭빠짐강도

P_{nts} : 제조자의 보고서 또는 독자적인 시험에 따라 결정한 나사못의 공칭인장강도

t_1 : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 두께

t_2 : 나사못 머리와 접촉하지 않는 부재의 두께

t_c : 관입 깊이와 t_2 중 작은 값

F_{u1} : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 인장강도

F_{u2} : 나사못 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 인장강도

4.8.4.1 최소간격

(1) 나사못의 중심간 거리는 $3d$ 이상이어야 한다.

4.8.4.2 최소연단거리

(1) 나사못의 중심으로부터 접합판의 최소 연단까지의 거리는 $1.5d$ 이상이어야 한다.

4.8.4.3 전단

(1) 나사못 젓힘과 접합판 지압에 의한 전단강도 제한

나사못 하나 당 접합판의 공칭전단강도, P_{nv} 는 이 절에 따라 산정한다.

① $\frac{t_2}{t_1} \leq 1.0$ 인 경우, P_{nv} 는 다음 중, 최솟값으로 결정된다.

$$P_{nv} = 4.2(t_2^3 d)^{0.5} F_{u2} \quad (4.8-39)$$

$$P_{nv} = 2.7t_1 dF_{u1} \quad (4.8-40)$$

$$P_{nv} = 2.7t_2 dF_{u2} \quad (4.8-41)$$

② $t_2/t_1 > 2.5$ 인 경우, P_{nv} 는 다음 중, 최솟값으로 결정된다.

$$P_{nv} = 2.7t_1 dF_{u1} \quad (4.8-42)$$

$$P_{nv} = 2.7t_2 dF_{u2} \quad (4.8-43)$$

③ $1.0 < t_2/t_1 < 2.5$ 인 경우, P_{nv} 는 상기의 두 경우에서 계산된 값을 직선보간하여 결정한다.

(2) 나사못의 전단

나사못의 공칭전단강도는 4.8.4에 정의한 P_{nvz} 로 한다. 4.8.4에 정의한 값 대신에 4.9.2.1절에 따라 결정한 강도 저항계수를 사용할 수 있다. 단, 이때 $\phi/1.25$ 는 0.5 이상이어야 한다.

4.8.4.4 인장

(1) 나사못이 인장을 받는 경우, 나사머리의 지름 d_h 또는 와셔가 있는 경우에는 와셔의 지름 d_w 가 8mm 이상이어야 한다. $t_1 > 0.7\text{mm}$ 인 경우에는 공칭와셔두께가 1.3mm 이상이어야 하며, $t_1 \leq 0.7\text{mm}$ 인 경우에는 공칭와셔 두께가 0.6mm 이상이어야 한다. 그리고 $16\text{mm} < d_w \leq 19\text{mm}$ 인 경우에는 공칭와셔의 두께가 1.6mm 이상이어야 한다.

① 나사못 뽐힘강도

나사못 하나당 접합판의 공칭�от힘강도, P_{not} 는 다음 식으로 산정한다.

$$P_{not} = 0.85t_s dF_{u2} \quad (4.8-44)$$

② 접합판 빠짐강도

나사못 하나당 접합판의 공칭빠짐강도, P_{nov} 는 다음 식으로 산정한다.

$$P_{nov} = 1.5t_1 d'_{uw} F_{u1} \quad (4.8-45)$$

여기서, d'_{uw} : 다음 ①, ②, ③에 따라 결정되는 유효빠짐저항지름

① 나사머리 하부에 별도의 견고한 와셔가 있는 둥근 머리, 육각머리(그림 4.8-19(1)), 팬케이크형 나사와셔머리(그림 4.8-19(2)), 또는 육각와셔머리(그림 4.8-19(3))를 가진 나사못의 경우,

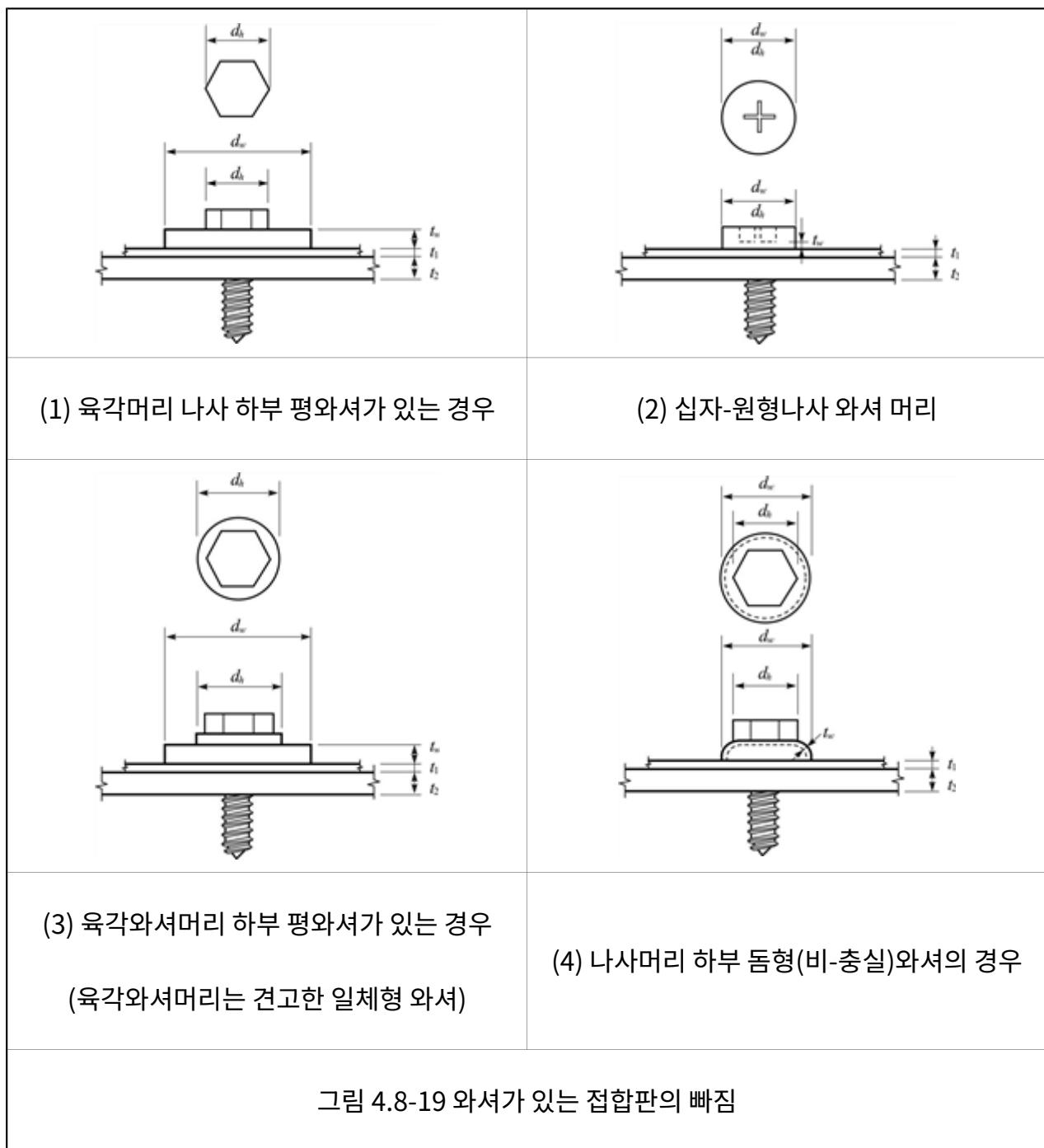
$$d'_w = d_h + 2t_w + t_1 \leq d_w \quad (4.8-46)$$

여기서, t_w : 강재 와셔 두께

② 나사머리 하부에 별도의 와셔가 없는 둥근머리, 육각머리, 또는 육각와셔머리 나사의 경우,

$$d'_w = d_h \leq 19\text{mm}$$

③ 나사머리 하부에 견고하지 않은 분리형 또는 일체형 둠형와셔가 있는 경우(그림 4.8-19(4)), 식 (4.8-46)에서 산정한 d'_w 를 사용할 수 있다. 이때, t_w 는 둠형 와셔의 두께이며, d'_w 는 19mm를 초과할 수 없다.



③ 나사못의 인장

나사못의 공칭인장강도는 4.8.4에서 정의한 P_{nts} 로 한다. 4.8.4에 정의한 값 대신에 4.9.2.1절에 따라 결정한

강도저항계수를 사용할 수 있다. 단, 이때 $\phi/1.25$ 는 0.5 이상이어야 한다.

4.8.4.5 전단과 인장의 조합응력

(1) 전단과 접합판 빠짐의 조합응력

전단과 접합판 빠짐이 동시에 작용하는 나사못 접합부의 경우, 나사못의 소요전단강도, V_u 와 소요인장강도, T_u 는 각각 4.8.4.3과 4.8.4.4에 따라 산정된 상응하는 설계강도를 초과할 수 없다.

또한, 다음 요구조건을 만족해야 한다.

$$\frac{V_u}{P_{nv}} + 0.71 \frac{T_u}{P_{nsv}} \leq 1.10\phi \quad (4.8-47)$$

여기서, V_u : 나사못 하나당 소요전단강도

T_u : 나사못 하나당 소요인장강도

P_{nv} : 나사못 하나당 접합판의 공칭전단강도

$$= 2.7t_1dF_{u1} \quad (4.8-48)$$

P_{nsv} : 나사못 하나당 접합판의 공칭빠짐강도

$$= 1.5t_1d_wF_{u1} \quad (4.8-49)$$

여기서, d_w : 나사 머리 지름과 와셔 지름 중 큰 값

$$\phi = 0.65$$

식 (4.8-47)은 다음 요구조건을 만족하는 경우에 유효하다.

① $0.724\text{mm} \leq t_1 \leq 1.13\text{mm}$

② 와셔 유무에 관계없이 지름 5.5mm와 6.3mm의 직결나사못

③ $d_w \leq 19\text{mm}$

④ 4.8.4.4절의 와셔 치수에 대한 요구조건 적용

⑤ $F_{u1} \leq 483\text{MPa}$

⑥ $t_2/t_1 \geq 2.5$

접합부에 편심하중이 작용하여 나사에 비균일 빠짐하중이 발생하는 경우, 공칭 빠짐강도는 $0.5P_{not}$ 로 산정한다.

(2) 전단과 나사못 뿐힘의 조합응력

전단과 접합판 뿐힘이 동시에 작용하는 나사못 접합부의 경우, 나사못의 소요전단강도, V_u 와 소요인장강도, T_u 는 각각 4.8.4.3과 4.8.4.4에 따라 산정된 상응하는 설계강도를 초과할 수 없다.

또한, 다음 요구조건을 만족해야 한다.

$$\frac{V_u}{P_{nv}} + \frac{T_u}{P_{not}} \leq 1.15\phi \quad (4.8-50)$$

여기서, P_{nv} : 나사못 하나당 접합판의 공칭전단강도

$$= 4.2(t_2^3 d)^{0.5} F_{u2} \quad (4.8-51)$$

P_{not} : 나사못 하나당 접합판의 공칭뽑힘강도

$$= 0.85t_c d F_{u2} \quad (4.8-52)$$

$$\phi = 0.60$$

다른 기호의 정의는 4.8.4.5(1)을 참조한다.

식 (4.8-50)은 다음 제한사항을 만족하는 경우에 유효하다.

① $0.754\text{mm} \leq t_2 \leq 1.84\text{mm}$

② 와셔 유무에 관계없이 지름 4.2mm, 4.8mm, 5.5mm, 6.3mm의 직결나사못

③ $F_{u2} \leq 834\text{MPa}$

④ $1.0 \leq \frac{F_u}{F_y} \leq 1.62$

(3) 전단과 인장의 조합응력을 받는 나사못

전단과 인장이 동시에 작용하는 나사못 접합부의 경우, 나사못의 소요전단강도, V_u 와 소요인장강도, T_u 는 각각

4.8.4.3(2)과 4.8.4.4(1)③에 따라 산정된 상응하는 설계강도를 초과할 수 없다.

또한, 다음 요구조건을 만족해야 한다.

$$\frac{V_u}{P_{nus}} + \frac{T_u}{P_{nts}} \leq 1.3\phi \quad (4.8-53)$$

여기서, V_u : 소요전단강도

T_u : 소요인장강도

P_{nus} : 나사못의 공칭전단강도

P_{nts} : 나사못의 공칭인장강도

ϕ : 4.8.4절에 따른 강도저항계수, ($\phi=0.50$)

4.8.5 타정공구로 직결한 파스너 접합

(1) 이 장의 규정은 명시한 제한사항 내에서 강재간의 타정공구직결파스너 접합부에 적용하여야 한다.

① 파스너 머리에 접촉하지 않는 기판의 강재 두께는 19mm 이하여야 하고, 파스너 머리에 접촉하는 기판의 강재 두께는 1.5mm 이하여야 한다.

② 와셔의 지름이 실제로는 15mm를 초과하더라도 강도 산정 시에는 15mm를 초과하여 적용할 수 없다. 파스너 지름은 2.7mm에서 5.2mm 사이로 제한한다.

③ 격막에서 사용하는 경우에는 4.7.2의 규정을 적용하여야 한다.

대안으로, 4.9.2에 따라 결정한 강도저항계수 ϕ 를 사용하여 독립적인 시험에 기반한 특정한 설계강도를 사용할 수 있다.

④ P_{ntp} 와 P_{nus} 는 제조자가 제공한 값을 사용할 수 있다.

(2) 4.8.5에서는 다음의 기호를 적용한다.

a : 지름이 변하는 파스너 머리에서 가장 큰 머리지름

d : 박히는 쪽 표면에서 측정한 파스너의 지름, 파스너의 첨단부 전체가 반대 쪽 표면 뒤에 위치하는 경우에는 d_s

d_{ae} : 박히는 쪽 표면과 반대 쪽 표면에서 측정한 파스너 지름의 평균 또는 파스너의 첨단부 전체가 반대 쪽 표면 뒤에 위치하는 경우는 d_s

d_s : 파스너 몸체의 공칭지름

d_w : 접합되는 판에 접촉된 와셔 또는 파스너 머리의 실제 지름 (강도 산정 시에는 최대 15mm)

E : 강재의 탄성계수

F_{b1} : 기본응력계수 (455 MPa)

F_{u1} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 인장강도

F_{u2} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 인장강도

F_{uh} : 경화 강재를 사용한 타정공구직결파스너의 인장강도

F_{ut} : 비경화 강재를 사용한 타정공구직결파스너의 인장강도

F_{u3} : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 항복강도

HRC_P : 타정공구직결파스너 강재의 로크웰 C 경도

l_{dp} : 타정공구직결파스너의 첨단부 길이 (그림 4.8-20 참고)

P_{nb} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭 지압강도 및 공칭젖힘강도

P_{nos} : 타정공구직결파스너 하나당 전단을 받을 때의 공칭뽑힘강도

P_{not} : 타정공구직결파스너 하나당 인장을 받을 때의 공칭뽑힘강도

P_{nou} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭빠짐강도

P_{nt} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭인장강도

P_{ntp} : 타정공구직결파스너의 공칭인장강도

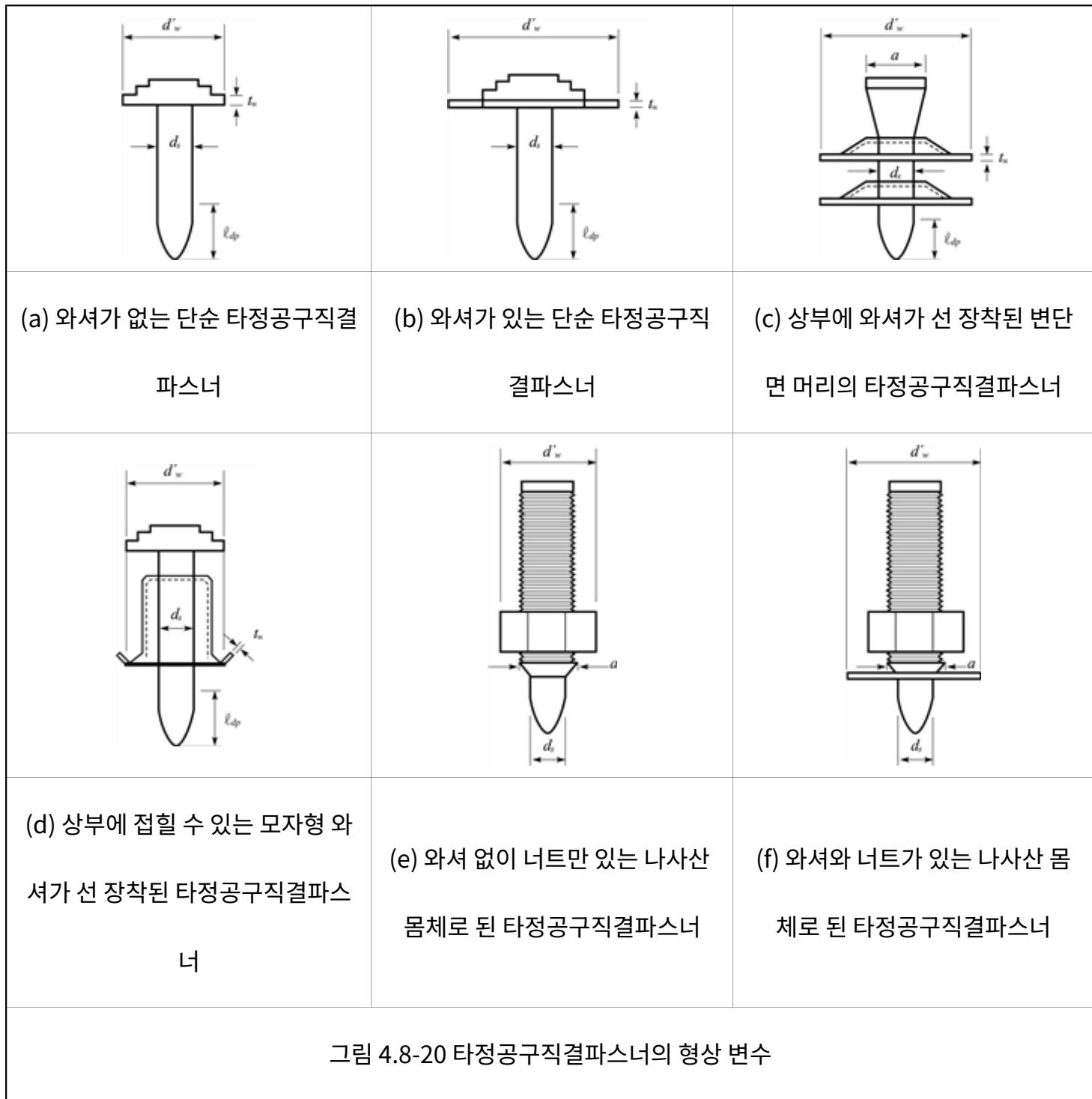
P_{nu} : 타정공구직결파스너 하나당 공칭전단강도

t_1 : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하는 부재의 두께

t_2 : 타정공구직결파스너의 머리 또는 와셔와 접촉하지 않는 부재의 두께

t_w : 강재 와셔의 두께

(3) 4.8.5에서 사용되는 다양한 형태의 파스너 치수는 그림 4.8-20과 같다.



4.8.5.1 최소간격과 최소연단거리

(1) 타정공구직결파스너의 중심간 최소 간격, 파스너의 중심에서 접합부 연단까지의 최소 거리는 힘의 방향에 관계없이 표 4.8-6에 따라 결정된다.

표 4.8-6 강재 내의 최소 간격 및 최소 연단거리 (mm)

파스너 몸체의 지름, d_s	파스너의 최소 간격	최소 연단 거리
$2.69 \leq d_s < 5.08$	25.4	12.7
$5.08 \leq d_s < 5.23$	40.6	25.4

4.8.5.2 인장을 받는 타정공구로 직결한 파스너

(1) 타정공구직결파스너 하나당 설계인장강도는 4.8.5.2(2)①~③에 따라 산정한 설계강도 중에서 최솟값으로 결정한다.

(2) 와셔의 두께 t_w 는 4.8.4의 제한사항을 적용해야 한다. 단, 지름이 변하는 머리를 가진 파스너에서는 와셔의 두께 t_w 가 1.0mm 이상이어야 한다. 미리 장착한 찌그러지는 탑햇와셔의 두께는 0.5mm를 초과해서는 안 된다.

① 타정공구로 직결한 파스너의 인장강도

타정공구직결파스너의 공칭인장강도, P_{ntp} 는 식 4.8-54에 따라 산정하며, 다음의 강도저항계수를 사용해야 한다.

$$P_{ntp} = (d/2)^2 \pi F_{uh} \quad (4.8-54)$$

$$\phi = 0.60$$

식 (4.8-54)의 F_{uh} 는 식 4.8-55에 따라 산정한다. HRC_P 가 52 이상인 파스너의 경우,

$F_{uh} = 1,790 \text{ MPa}$ 로 적용할 수 있다.

$$F_{uh} = F_{us} e^{(HRC_P/40)} \quad (4.8-55)$$

여기서, e : 자연로그 ($=2.718$)

② 타정공구로 직결한 파스너의 뽐힘강도

타정공구직결파스너의 공칭뽑힘강도, P_{not} 는 4.9.2에 따라 산정한 강도저항계수, ϕ 를 사용하여 독자적인 시험을 통하여 결정하여야 한다. 대안으로, 타정공구직결파스너의 전체 첨단부 길이, l_{dp} 가 t_2 보다 짧은 접합부의 경우에는 다음의 강도저항계수를 사용하여 설계강도를 산정할 수 있다.

$$\phi = 0.40$$

③ 타정공구로 직결한 파스너 접합판의 빠짐강도

접합판의 공칭빠짐강도, P_{not} 는 식 4.8-56에 따라 산정하며, 다음의 강도저항계수를 사용해야 한다.

$$P_{not} = \alpha_w t_1 d' w F_{u1} \quad (4.8-56)$$

$$\phi = 0.50$$

여기서, $\alpha_w = 1.5$, 머리 와셔의 유무에 관계없이, 나사못, 볼트, 못처럼 평판 머리를 가진 파스너 또는 단순한 형태의 파스너(그림 4.8-20(a), 4.8-20(b))의 경우

= 1.5, 나사형 파스너 또는 미리 장착한 와셔의 마찰과 잠김 작용에 의해 빠짐에 저항하는, 지름이 변하는 돌출머리를 가진 파스너(그림 4.8-20(c))에서 $(a/d_s) \geq 1.60$ 이고 $(a - d_s) \geq 3.1\text{mm}$ 인 경우

= 1.25, 나사형 파스너 또는 미리 장착한 와셔의 마찰과 잠김 작용에 의해 빠짐에 저항하는, 지름이 변하는 돌출머리를 가진 파스너(그림 4.8-20(c))에서 $(a/d_s) \geq 1.40$ 이고 $(a - d_s) \geq 2.0\text{mm}$ 인 경우

= 2.0, 접이식 스프링 와셔를 가진 파스너(그림 4.8-20(d))의 경우

4.8.5.3 전단을 받는 타정공구로 직결한 파스너

(1) 타정공구로 직결한 파스너의 설계전단강도는 ①~⑤에 따라 산정한 설계강도 중 최솟값으로 결정한다.

① 타정공구로 직결한 파스너의 전단강도

타정공구로 직결한 파스너의 공칭전단강도, P_{typ} 는 식 (4.8-57)에 따라 산정하며, 다음의 강도저항계수를 사용해야 한다.

$$P_{typ} = 0.6(d/2)^2 \pi F_{uh} \quad (4.8-57)$$

$$\phi = 0.60$$

여기서, F_{uh} 은 4.8.5.2(1)에 따라 산정한다.

② 접합판 지압강도와 파스너 젓힘강도

타정공구로 직결한 파스너의 전체 첨단부 길이, l_{dp} 가 t_2 보다 짧은 타정공구직결파스너의 경우, 접합판의 공칭 지압강도와 젓힘강도, P_{nvp} 는 식 (4.8-58)에 따라 산정한다. 설계강도를 산정하기 위해 다음의 강도저항계수를 사용해야 한다.

$$P_{nvp} = \alpha_b d_s t_1 F_{u1} \quad (4.8-58)$$

$$\phi = 0.80$$

여기서, α_b : 그림 4.8-20(c) 및 (d)의 타정공구직결파스너 형태를 갖는 접합부의 경우, 3.7

: 다른 형태의 타정공구직결파스너를 갖는 접합부의 경우, 3.2

식 4.8-58은 다음의 제한사항을 만족하는 접합부에 적용한다.

가. $t_2/t_1 \geq 2$

나. $t_2 > 3.18\text{mm}$

다. $3.71\text{mm} \leq d_s \leq 4.50\text{mm}$

③ 전단에 의한 파스너 뽑힘강도

깊이가 $0.6t_2$ 이상인 강재를 관통한 타정공구직결파스너의 경우, 전단을 받을 때의 파스너 공칭뽑힘강도, P_{nos}

는 식 (4.8-59)에 따라 산정한다. 설계강도를 산정하기 위해 다음의 강도저항계수를 사용해야 한다.

$$P_{nos} = \frac{d_{se}^{1.8} t_2^{0.2} (F_{y2} E^2)^{1/3}}{30} \quad (4.8-59)$$

$$\phi = 0.60$$

식 4.8-59은 다음의 제한사항을 만족하는 접합부에 적용한다.

가. $2.87\text{mm} \leq t_2 \leq 19.1\text{mm}$

나. $2.69\text{mm} \leq d_s \leq 5.23\text{mm}$

④ 순단면의 파단강도

순단면의 파단과 블록전단파괴로 인한 설계강도는 4.8.6에 따라 산정한다. 순단면의 파단과 블록전단파괴의 한계상태 산정 시에는 구멍의 크기를 타정공구직경파스너 공칭몸체지름의 1.10배로 간주하여야 한다.

⑤ 연단거리에 의한 전단강도 제한

연단거리에 의해 제한을 받는 설계전단강도는 표 4.8-7에 규정한 강도저항계수를 적용하여 4.8.6.1에 따라 산정한다. 연단거리는 공칭몸체지름 d_s 에 근거하여 고려하여야 한다.

4.8.5.4 전단과 인장의 조합

(1) 타정공구직결파스너 접합부의 설계는 전단과 뽑힘의 조합, 전단과 빠짐의 조합 및 전단과 인장의 조합으로 인한 상호작용의 영향을 고려하여야 한다.

4.8.6 파단

(1) 이 절의 규정은 명시한 제한범위 내에서 강재간의 용접, 볼트, 나사못, 타정공구직결파스너 접합부에 적용하여야 한다.

① 이 절의 설계규정은 가장 얇은 접합부재의 두께가 5mm 이하인 경우에 적용하여야 한다. 가장 얇은 접합부재의 두께가 5mm를 초과하는 접합부에는 강구조설계기준을 적용하여야 한다.

② 용접 또는 볼트를 사용하는 접합부의 공칭파단강도 R_n 은 4.8.6.1, 4.8.6.2, 4.8.6.3에 따라 산정한 값 중에서 가장 작은 값이어야 한다.

③ 나사못 또는 타정공구직결파스너를 사용하는 접합부의 공칭파단강도 R_n 은 4.8.6.1 및 4.8.6.2에 따라 산정한 값 중에서 작은 값이어야 한다.

④ 접합부의 설계파단강도는 표 4.8-7의 강도저항계수를 적용하여 산정한다.

표 4.8-7 강도저항계수

접합 형태	강도저항계수 (ϕ)
용접	0.60

볼트	0.65
나사못, 타정공구직결파스너	0.50

4.8.6.1 전단파단

(1) 공칭전단파단강도, $P_{n\psi}$ 는 식 (4.8-60)에 따라 계산한다.

$$P_{n\psi} = 0.6 F_u A_{n\psi} \quad (4.8-60)$$

여기서, F_u : 3.2 또는 3.3에 명시한 접합부재의 인장강도

$A_{n\psi}$: 전단을 받는 순단면적 (힘과 평행한 방향):

① 각각의 파스너가 개별적으로 부재를 연단부 방향으로 끌어당기는 접합의 경우

$$A_{n\psi} = 2nt\epsilon_{n\psi} \quad (4.8-61)$$

여기서, n : 위험단면 내의 파스너 개수

t : 단면의 모재 두께

$\epsilon_{n\psi}$: 부재의 연단과 파스너 구멍 또는 용접부 가장자리 사이의 거리

② 하나 이상의 플랜지를 따낸 보 단부 접합의 경우

$$A_{n\psi} = (h_{wc} - n_b d_h) t \quad (4.8-62)$$

여기서, h_{wc} : 플랜지를 따낸 웨브의 평판 부분 총

n_b : 파단선상에 있는 파스너의 수

d_h : 구멍의 지름

t : 플랜지를 따낸 웨브의 두께

4.8.6.2 인장파단

(1) 공칭인장파단강도 $P_{n\tau}$ 는 식 (4.8-63)에 따라 계산한다.

$$P_{n\tau} = F_u A_\tau \quad (4.8-63)$$

여기서, A_e : 인장력을 받는 부재의 유효순단면적

$$= U_{s1} A_{et} \quad (4.8-64)$$

여기서, U_{s1} : 표 4.8-8에 의한 전단지연계수

A_{et} : 인장력을 받는 순단면적 (힘과 수직인 방향), 표 4.8-8에 명시된 경우는 그에 따름.

$$= A_g - n_b d_h t + t \Sigma [s'^2 / (4a + 2d_h)] \quad (4.8-65)$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

s' : 2개의 연속적인 구멍 사이의 길이방향 중심 간격

a : 파스너 게이지 라인 사이의 가로방향 중심 간격

n_b : 파단선상에 있는 볼트의 수

d_h : 표준구멍의 지름

t : 단면의 모재 두께

F_u : 3.2 또는 3.3에 명시된 접합부재의 인장강도

4.8.6.3 블록전단파단

(1) 공칭블록전단파단강도 P_{nr} 는 다음 중 작은 값으로 결정한다.

$$P_{nr} = 0.6 F_v A_{gv} + U_{ss} F_u A_{et} \quad (4.8-66)$$

$$P_{nr} = 0.6 F_u A_{gv} + U_{ss} F_u A_{et} \quad (4.8-67)$$

여기서, A_{gv} : 전단을 받는 부재의 총단면적 (힘과 평행한 방향)

A_{gv} : 전단을 받는 부재의 순단면적 (힘과 평행한 방향)

A_{et} : 인장을 받는 부재의 순단면적 (힘과 수직인 방향), 표 4.8-8에 명시된 경우는 그에 따름.

U_{ss} : 비균일 블록 전단계수

= 0.5; 2개 이상의 수직 접합 열이 있는 전단을 받는 플랜지를 따낸 보의 경우

= 1.0; 다른 경우

F_u : 3.2 또는 3.3에 명시된 접합부의 항복 강도

F_u : 3.2 또는 3.3에 명시한 접합부의 인장 강도

표 4.8-8 인장부재의 접합부 전단지연계수

요소 설명	전단지연계수, U_{s1}
(1)엇모배치 구멍이 아닌 평판접합	$U_{s1} = 0.9 + 0.1d/s$ (4.8-68)
(2)엇모배치 구멍인 평판 접합	$U_{s1} = 1.0$
① 횡방향 용접으로만 하중이 전달 되는 경우	$U_{s1} = 1.0$ 그리고 A_{nt} = 직접 연결된 요소의 단면적
② 요소의 모든 단면으로 하중이 직 접 전달되는 경우	$U_{s1} = 1.0$
(3)평판 접합이 아닌 경우	용접접합 ㄱ형강: $U_{s1} = 1.0 - 1.20\bar{x}/L \leq 0.9$ (4.8-69)
	단, U_{s1} 은 0.4 이상 볼트접합 ㄱ형강 $U_{s1} = \frac{1}{1.1 + \frac{0.5b_t}{b_w + b_t} + \frac{2\bar{x}}{L}} \quad (4.8-70)$
④ ①나 ②를 충족하지 못하는 C형 단면 부재의 접합	용접접합 ㄷ형강: $U_{s1} = 1.0 - 0.36\bar{x}/L \leq 0.9$ (4.8-71)
	단, U_{s1} 은 0.5 이상 볼트접합 ㄷ형강: $U_{s1} = \frac{1}{1.1 + \frac{b_t}{b_w + 2b_t} + \frac{\bar{x}}{L}} \quad (4.8-72)$

주1) 표 4.8-8의 변수는 다음과 같이 정의한다.

\bar{x} = 전단 평면에서 단면의 도심까지의 거리

L = 종방향 용접길이 또는 접합부 길이

a = 검토하는 단면 내의 볼트구멍의 개수로 나눈 박판의 폭

d = 공칭 볼트지름

b_1 = 접합되지 않은 L형강 다리의 외측 기준 폭

b_2 = 접합된 L형강 다리의 외측 기준 폭

b_3 = 접합되지 않은 플랜지의 외측 기준 폭

b_4 = 접합된 웨브의 외측 기준 폭

4.8.7 다른 재료에 대한 접합

(1) 볼트, 나사못, 타정공구직결파스너로 다른 재료와 접합하는 접합부의 설계강도는 4.8.7.1에 따라 산정한다. 콘크리트에 타정하는 타정공구직결파스너의 경우 4.8.7.2를 대안으로 적용할 수 있다.

4.8.7.1 다른 재료에 대한 접합강도

(1) 지압

이 기준에서 다루는 강재요소에서 다른 재료로 만들어진 인접 구조요소로 지압력을 전달하기 위한 조건을 검토하여야 한다.

(2) 인장

① 접합부 내의 여러 인접 구조요소로부터 전달되는 축하중과 흄모멘트에 의해 발생하는

파스너의 뽑힘 하중뿐만 아니라 파스너 머리 주변 강판의 빠짐 전단력 또는 빠짐 인장력을 고려해야 한다.

② 파스너의 공칭인장강도 및 인접 구조요소의 공칭매입강도는 관련 기준, 제품 성적서, 제품 사양 또는 이들의 조합에 의해 결정하여야 한다.

(3) 전단

① 이 기준에서 다른 강재요소에서 다른 재료로 만들어진 인접 구조요소로 전단력을 전달하기 위한 조건을 검토하여야 한다.

② 강재요소의 계수하중에 의한 소요 전단 및 지압강도는 이 기준에서 제안하는 허용값을 초과하지 않아야 한다.

③ 파스너 및 다른 재료에 대한 설계전단강도를 초과하지 않아야 한다.

④ 매입부에 대한 요구조건을 만족하여야 한다.

⑤ 전단력과 다른 하중과의 조합력에 대해서도 조건을 검토하여야 한다.

4.8.7.2 콘크리트에 타정공구로 직결한 파스너

(1) 최소간격과 최소연단거리

타정공구직결파스너의 중심간 최소간격과 중심으로부터의 접합부의 최소연단거리는 하중의 방향과 무관하게 표 4.8-9에 따라야 한다.

표 4.8-9. 콘크리트에 타정한 파스너의 최소간격 및 연단거리

타정공구직결파스너의 직경 d_s (mm)	타정공구직결파스너의 최소간격 (mm)	최소연단거리 (mm)
$2.69 \leq d_s < 4.01$	100	80
$4.01 \leq d_s < 5.00$	125	90
$5.00 \leq d_s < 5.23$	150	100

(2) 전단에 의한 파스너의 뽐힘강도

그림 4.8-20(a)에 나타낸 것과 같이 냉간성형강 골조와 콘크리트 연결부에 사용되는 타정공구직결파스너의 경우, 전단에 대한 공칭뽑힘강도, $P_{n,s} = 6,450\text{N}$ 으로 사용할 수 있으며, 다음의 강도저항계수를 적용한다.

$$\phi = 0.50$$

추가로 다음과 같은 제한 조건을 적용하여야 한다.

① $d_s \geq 3.00 \text{ mm}$,

② 설계기준압축강도 $f_{ck} = 17.2 \text{ MPa}$ 이상인 보통중량콘크리트

③ $d_s \geq 3h_{ET}$,

④ $h_{ET} \geq 25\text{mm}$,

⑤ 표 4.8-9에 의한 최소 연단거리 및 간격.

여기서, d_s : 파스너몸체의 공칭지름

d_s : 지지 콘크리트의 두께

h_{ET} : 파스너의 콘크리트 속 매입깊이

4.9 특수한 경우의 강도

(1) 이 절은 실험에 의한 부재 및 접합부의 강도 결정에 대해 다룬다.

4.9.1 시험 기준

(1) 실험을 통해 냉간성형강 부재 및 접합부의 강도, 연성도 혹은 강성을 결정하기 위해서는 관련된 전문기준을 사용할 수 있다.

4.9.2 특수한 경우에 대한 시험

(1) 실험은 독립적인 실험 연구실 혹은 제조업체의 실험 연구실에 의해 수행되어야 한다.

4.9.2.1 구조성능을 결정하기 위한 시험

(1) 1.2.2(2)①에 따른 실험 혹은 1.2.2(2)②의 규정에 따른 확인실험과 더불어 수행되는 합리적인 공학해석에 의해 확립할 필요가 있는 임의의 구조성능은 다음의 수행절차에 따라 평가하여야 한다:

① 1.1.2(1)의 규정에 따른 실험결과 만에 의한 평가는 3개 이상의 동일한 실험체의 실험결과로부터 얻어진 데 이터의 평균값에 근거해 수행되어야 하며, 모든 실험결과의 평균값으로부터 각각의 실험값의 편차가 $\pm 15\%$ 를 초과하지 않아야 한다.

가. 만약 $\pm 15\%$ 를 초과하는 편차가 발생할 경우, 어떤 개별적인 실험값도 모든 실험결과의 평균값으로부터 $\pm 15\%$ 를 초과하는 편차가 발생하지 않을 때까지 추가적으로 동일 종류의 실험을 수행하거나, 아니면 최소한 3번 이상의 실험을 추가적으로 수행하여야 한다.

나. 어떠한 실험결과도 합리적인 근거가 제시되지 않는 한 제외해서는 안 된다. 그리고 나서 모든 실험결과의 평균값은 일련의 실험에 대한 공칭강도 R_n 로 간주하여야 한다.

다. R_n 과 실험의 변동계수 V_P 는 통계학적인 분석에 의해 결정하여야 한다.

② 1.1.2(2)의 규정에 따른 확인실험과 함께 합리적인 공학해석에 의한 평가의 경우:

실험강도(R_t) 및 합리적인 공학해석 모델에 의해 예측된 공칭강도(R_n) 사이의 상관계수 C_c 는 적어도 0.8 이상이어야 한다. 검증된 합리적 공학해석모델에 대해 단 하나의 한계상태로 평가할 수 있으며, 고려 중인 한계상태가 실험결과에도 잘 나타나야 한다.

합리적인 공학해석 모델은 오직 실험에 사용된 변수 범위 내에서만 검증된다. 실험변수의 범위를 초과하는 외삽법은 사용할 수 없다. 평가된 각각의 실험변수에 대해:

가. 모든 다른 실험변수는 동일하게 유지하여야 한다.

나. 실험변수의 공칭 선택값은 실험변수의 특정영역에 편향되지 않아야 한다.

다. 최소 3회의 실험을 수행하여야 한다. 어떠한 실험결과도 합리적인 근거가 제시되지 않는 한 제외해서는 안 된다.

모든 실험체에 대해 치수 및 재료물성을 측정하여야 한다. 측정한 치수와 재료물성은 아래 항목 ③에 따라 저항계수의 산정에 사용한 것과 마찬가지로 공칭강도의 산정에 사용하여야 한다. 규정된 치수와 재료물성은 설계를 위한 공칭강도의 산정에 사용하여야 한다. 측정된 치수 및 재료물성과 공칭 치수 및 재료물성 사이의 편중 및 분산은 표 4.9-1의 선택된 재료 (M_m , V_M) 및 제작 (F_m , V_F) 계수에 반영하여야 한다. 그렇지 않은 경우

선택된 M_m 및 F_m 의 값은 표 4.9-1에 주어진 값보다 크지 않아야 하며, V_M 및 V_F 의 값은 표 4.9-1에 주어진

값보다 작지 않아야 한다.

③ 실험 평가된 요소, 조립체, 접합부 혹은 부재의 강도는 다음 식 (4.9-1)을 만족하여야 한다.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (4.9-1)$$

여기서, $\sum \gamma_i Q_i = 1.5.2$ 에 따라 산정한 가장 결정적인 하중조합에 근거한 소요강도(계수하중효과)이며, γ_i 와 Q_i

는 각각 하중계수 및 하중효과이다.

ϕ : 저항계수

$$= C_\phi (M_m F_m P_m) e^{-\beta_0 \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_F V_F^2 + V_R^2}} \quad (4.9-2)$$

여기서, C_ϕ : 보정계수

= 1.52

= 1.6, (데크 혹은 마감재에 고정된 인장플랜지 및 횡방향으로 구속되지 않은 압축플랜지를 지닌 보의 경우)

M_m : 통계학적 분석에 의해 결정되거나, 혹은 적용가능할 경우 관련 요소 형태에 대해 표 4.9-1에 의해 제한된 재료계수 M 의 평균값

F_m : 통계학적 분석에 의해 결정되거나, 혹은 적용가능할 경우 관련 요소 형태에 대해 표 4.9-1에 의해 제한된 제작계수 F 의 평균값

P_m : 실험 평가된 요소에 대한 직업계수 P 의 평균값

= 1.0 (설계강도가 4.9.2.1(1)①에 따라 결정될 경우) 또는,

$$= \frac{\sum_{i=1}^n R_{i,d}}{n} \quad (\text{설계강도가 4.9.2.1(1)②에 따라 결정될 경우}) \quad (4.9-3)$$

여기서, i : 실험지수로 1부터 n 까지 값을 지닌다. (n 은 수행된 총 실험의 개수)

$R_{i,d}$: i 번째 실험의 실험강도

$R_{i,d}$: 합리적인 공학분석 모델에 따라 계산된 i 번째 실험의 공칭강도

ϵ : 자연로그 밀

= 2.718

β_o : 목표신뢰지수

= 2.5 (구조 부재), 3.5 (접합부)

= 1.5 (데크 혹은 마감재에 고정된 인장플랜지 및 횡방향으로 구속되지 않은 압축 플랜지를 지닌 보의 경우)

V_M : 관련 요소의 형태에 대해 표 4.9-1에 제시된 재료계수에 대한 변동계수

V_F : 관련 요소의 형상에 대해 표 4.9-1에 제시된 제작계수에 대한 변동계수

C_F : 보정계수

$$= \frac{m}{m-2} \left(1 + \frac{1}{n} \right) \quad (n \geq 4 \text{일 경우}) \quad (4.9-4)$$

= 5.7 (n = 3일 경우)

여기서, n : 수행된 총 실험의 개수,

m : 자유도 (= n - 1)

V_F : 실험결과의 변동계수, 단 0.065보다 작지 않아야 한다.

$$= \frac{s_t}{R_n} \quad (\text{설계강도가 4.9.2.1(1)①에 따라 결정될 경우}) \quad (4.9-5)$$

$$= \frac{s_c}{P_m} \quad (\text{설계강도가 4.9.2.1(1)②에 따라 결정될 경우}) \quad (4.9-6)$$

여기서, s_t : 모든 실험결과의 표준편차,

s_c : 모든 실험결과에 대한 $R_{t,f}/R_{n,f}$ 의 표준편차

V_G : 하중효과의 변동계수

= 0.21

= 0.43 (데크 혹은 마감재에 고정된 인장플랜지 및 횡방향으로 구속되지 않은 압축플랜지를 지닌 보의 경우)

C_c : 상관계수

$$= \frac{n \sum R_{t,i} R_{n,i} - (\sum R_{t,i}) (\sum R_{n,i})}{\sqrt{n(\sum R_{t,i}^2) - (\sum R_{t,i})^2} \sqrt{n(\sum R_{n,i}^2) - (\sum R_{n,i})^2}} \quad (4.9-7)$$

R_n : 모든 실험결과의 평균값

가. 표 4.9-1에서 재료물성 및 제작에 대한 충분한 결과로부터 얻어진 다른 통계자료가 있을 경우, 이의 사용을 배제해서는 안 된다.

나. 3.2에 수록되지 않은 강재의 경우 M_m 및 V_m 값은 사용된 재료의 통계분석에 의해 결정하여야 한다. 단면형상변형이 실제 사용되는 실험체의 적절한 기능발휘를 방해할 경우, 저항계수 ϕ 가 1.0으로 그리고 자중에 대한 하중계수가 1.0으로 설정된 경우를 제외하고는 허용가능한 단면형상변형 발생 시의 임계하중조합에 근거한 하중효과가 식 (4.9-1)를 또한 만족하여야 한다.

④ 4.9.2.1(1)① 또는 4.9.2.1(1)②에 따라 결정된 강도에 대해, 강재시트의 기계적 물성치는 시편 혹은 시편을 만들기 위해 사용된 평판시트로부터 채취된 대표 재료샘플에 근거해 결정하여야 한다. 대안으로, 관련 전문기준에 따라 표준 사이즈 혹은 서브-사이즈 인장시편을 얻기에 너무 작고 기계적 혹은 화학적 물성을 변화시키는 2차 과정을 거치지 않은 강재 시트코일로부터 제작된 연결부 혹은 장치에 대해서는 품질 인증서에 근거해 기계적 물성치를 결정할 수 있으며, 재료계수 M_m 의 평균값은 0.85가 되어야 한다.

가. 강재의 항복강도가 공칭값보다 클 경우 시험결과는 제조업체가 사용을 의도한 강재의 공칭항복강도 값으로 하향 조정되어야 한다.

나. 시험체의 항복강도가 공칭항복강도보다 작다 하더라도 시험결과를 상향 조정해서는 안 된다.

다. 인장강도가 주요한 결정요소인 경우에는 항복강도 대신 인장강도를 근거로 앞서 언급한 유사한 조정을 하여야 한다.

라. 설계두께와 실험에 사용된 시험체 두께 간의 차이에 대해서도 또한 고려하여야 한다.

표 4.9-1 저항계수의 결정을 위한 통계 자료

요소 형식	M_m	V_m	F_m	V_F
부재				

인장	1.10	0.10	1.00	0.05
압축	1.10	0.10	1.00	0.05
휨	1.10	0.10	1.00	0.05
전단 및 웨브크리플링	1.10	0.10	1.00	0.05
조합 하중	1.05	0.10	1.00	0.05
부재의 그 외 한계상태 ¹⁾	1.00	0.10	1.00	0.05
접합부 및 조인트				
용접 접합부	1.10	0.10	1.00	0.10
볼트 접합부	1.10	0.08	1.00	0.05
나사못 접합부	1.10	0.10	1.00	0.10
타정공구직결 파스너	1.10	0.10	1.00	0.10
다른 연결재 혹은 파스너 ²⁾	1.10	0.10	1.00	0.15
콘크리트와의 접합부	1.10	0.10	0.90	0.10
목재와의 접합부	1.10	0.15	1.00	0.15

주1) 실험에선 발생하나 본 기준에서 다루지 않는 부재의 한계상태에 대하여

2) 아직 표에는 없는 강재간 연결재 혹은 파스너에 대해

4.9.2.2 구조성능을 확인하기 위한 시험

(1) 이 기준 또는 특정 참고문헌에 따라 공칭강도를 계산한 구조부재, 접합부 및 조립재에 대하여, 실제강도가 이 기준 또는 특정 참고문헌에서 관련 거동형상에 대해 규정한 공칭강도, R_n 보다 작지 않다는 것을 입증하기 위한 확인실험을 수행할 수도 있다.

4.9.2.3 기계적 특성을 결정하기 위한 시험

(1) 원단면

3.4.2에 사용될 원단면의 기계적 특성을 결정하기 위한 시험은 이 장에 따라 수행하여야 한다.

- ① 인장시험 과정은 관련기준의 요구사항에 부합하여야 한다.
 - ② 압축 항복강도는 짧은 시험체의 압축시험에 의거해 결정한다. 관련 전문기준을 참조한다.
-

압축 항복강도는 단면의 최대 압축강도를 단면적으로 나눈 값 혹은 다음 방법 중 하나로 결정된 응력 중 작은 값을 취하여야 한다:

가. 항복이 뚜렷하게 나타나는 강재의 경우, 항복강도는 자동기록 도표법 또는 재하 중 총변형률법에 의해 결정된다.

나. 항복이 점진적으로 나타나는 강재의 경우, 항복강도는 재하 중 변형률법 또는 0.2 퍼센트 오프셋법에 의해 결정된다.

재하 중 총변형률법이 사용될 경우, 항복강도가 0.2 퍼센트 오프셋법에 의해 결정된 값의 5 퍼센트 이내의 범위에 있다는 근거를 제시하여야 한다.

- ③ 사용 시 부재에 작용하는 하중의 주된 효과가 힘응력인 경우, 항복강도는 플랜지만으로 결정하여야 한다. 그러한 항복강도 결정 시, 각각의 시험체는 하나의 완전한 플랜지와 시험체에 대한 ρ 의 값이 1.0인 평판 폭 비가 되는 웨브의 일부 영역으로 구성하여야 한다.
-

- ④ 승인 및 조정을 위해서는, 각각의 마스터 코일에 대해 하나의 원단면 시험을 하여야 한다.
-

⑤ 제조업체의 선택사항으로서, 통상적인 승인 및 조정의 목적으로 인장 또는 압축 시험을 할 수 있으며, 이 경우 제조업체는 이러한 시험이 부재의 사용 시 발생하는 응력이 작용하는 단면의 항복강도를 확실히 나타낸다는 것을 입증하여야 한다.

(2) 성형단면의 평판요소

성형단면의 평판요소에 대한 기계적 특성 및 3.4.2에서 사용되는 원강재의 대표적인 기계적 특성을 결정하기 위한 시험은 이 장에 따라야 한다:

① 평판항복강도 $F_{u,f}$ 는 대표적인 냉간성형 부재의 평평한 부분에서 길이방향으로 채취된 표준인장쿠폰의 항복응력에 대한 가중평균에 의해 결정하여야 한다.

② 가중평균은 각각의 평평한 영역에 대한 평균 항복응력과 그 단면적의 곱의 합을 단면 내 평판의 총단면적으로 나눈 값이 되어야 한다.

③ 이러한 쿠폰의 정확한 수는 부재의 형상, 즉 단면 내 평판의 개수에 의해 결정되어야 하지만, 각각의 평판 중앙부에서 최소 하나의 인장쿠폰은 절취하여야 한다.

④ 만약, 실제 원강재의 항복강도가 공칭항복강도를 초과할 경우, 평판항복강도 $F_{u,f}$ 는 시험값을 실제 원강재의 항복강도에 대한 공칭항복강도의 비로 곱하여 보정해야 한다.

(3) 원강재

원강재의 특성으로부터 3.4.2에 따라서 산정한 냉간성형 후 증가된 항복응력을 단면에 사용할 경우, 다음의 규정을 3.2에 기재된 KCS 시방서와는 달리 생산된 강재에 적용하여야 한다.

① 승인 및 조정의 목적으로 원강재의 인장 항복강도와 인장강도의 대표값을 확정하기 위해서는 최소한 네 개의 인장시편을 각각의 마스터 코일로부터 절취하여야 한다.

② 시험체는 코일의 외단부 주변의 폭 4분점에서 길이방향으로 절취하여야 한다.

4.10 사용성 설계

(1) 이 절은 유효폭법 및 직접강도법을 이용한 사용성 결정 및 플랜지 말림에 대해 다룬다. 4.1장에 기술된 직접해석

법에 사용되는 저감된 강성은 이 장의 규정과 함께 사용해서는 안 된다.

4.10.1 유효폭법에 대한 사용성 판정

(1) 사용하중에 의한 임의의 모멘트 M 에서의 흔처짐은 4.12에 따라 산정한 유효단면2차모멘트 I_{eff} 를 이용하여 산정할 수 있다.

4.10.2 직접강도법에 대한 사용성 판정

(1) 사용하중에 의한 임의의 모멘트 M 에서의 흔처짐은 전체 단면2차모멘트 I_g 를 다음 식 (4.10-1)에 주어진 유효단면2차모멘트, I_{eff} 로 감소시켜 산정할 수 있다:

$$I_{eff} = I_g (M_d/M) \leq I_g \quad (4.10-1)$$

여기서, M_d : 4.4장의 직접강도법에서 정의된 공칭휨강도 M_u , 단 모든 수식에서 M_d 를 M 으로 치환한다.

M : 고려하는 부재의 사용하중에 의한 모멘트 ($M \leq M_u$)

4.10.3 플랜지 말림

(1) 흔부재의 플랜지가 예외적으로 넓고 말림의 최대량 혹은 중립축 방향으로의 플랜지 이동을 제한할 필요가 있을 경우, 다음과 같이 식 (4.10-2)을 플랜지 판의 구속 여부에 상관없이 압축 및 인장 플랜지에 적용할 수 있다:

$$w_f = \sqrt{0.061tdE/f_{av}} \sqrt[4]{(100c_f/d)} \quad (4.10-2)$$

여기서, w_f : 웨브면에서 돌출한 플랜지의 폭 혹은 상자형 또는 U형 단면에서는 웨브사이의 거리의 절반

t : 플랜지 두께

d : 보의 총

E : 강재 탄성계수

f_{av} : 감소하지 않은 전체 플랜지 폭으로 산정한 평균응력 (부재가 유효설계폭 과정에 의해 설계된 경우 평균응력은 실제폭에 대한 유효설계폭의 비를 곱한 최대응력과 동일하다.)

4.11 피로 설계

(1) 이 절은 피로한계상태로 정의하는 균열 및 진행성파괴를 유발하기에 충분한 빈도 및 강도의 탄성범위내 응력이 반복적으로 작용하는 냉간성형강 구조부재 및 접합부를 다룬다.

4.11.1 일반사항

(1) 반복하중이 설계 고려사항일 경우, 사용하중 조합을 기반으로 산정된 응력에 이 장의 규정을 적용하여야 한다.

① 최대 허용인장응력은 $0.6F_y$ 이다. 응력범위는 적재하중의 적용 혹은 제거로 인한 응력변화의 크기로 정의해야 한다.

② 응력 반전의 경우, 최대 인장 및 압축 반복응력의 절대값의 합 혹은 균열 발생가능 시점에서 반대방향으로의 최대 전단응력의 절대값의 합으로 응력범위를 산정한다.

③ 일반적인 건물의 횡력저항시스템 및 건물외피요소에 작용하는 지진 또는 풍하중의 효과에 대해서 피로를 고려 할 필요는 없다.

④ 활하중의 응력범위가 표 4.11-1에 주어진 피로임계응력 F_{TH} 보다 작을 경우 피로를 고려할 필요가 없다. 활하 중의 적용 반복횟수가 20,000번 미만일 경우 피로강도는 평가할 필요가 없다.

⑤ 이 장의 규정에 의해 결정된 피로강도는 부식방지 처리되었거나 혹은 유해하지 않은 환경에 노출된 구조물에 적용하여야 한다.

⑥ 이 장의 규정에 의해 결정된 피로강도는 섭씨 149°C 를 초과하지 않는 온도에 노출된 구조물에 적용하여야 한다.

⑦ 계약서에는 접합부에 대해 용접사이즈를 포함한 완벽한 상세를 제공하거나, 또는 계획된 설계수명과 모멘트, 전단력 및 반력의 최대범위를 규정하여야 한다.

표 4.11-1 냉간성형 강구조물에 대한 피로 설계변수

	응력	F_{TH}	참고

요소 타입	범주	C_f	(MPa)	그림
전단 단부 및 냉간성형 모서리를 포함하는 금속 모재 및 압연 표면처리된 요소	I	3.2×10^{10}	172	그림 4.11-1
길이방향으로의 연속 용접에 의해 접합된 부재에서 금속 모재 및 용접 금속	II	1.0×10^{10}	103	그림 4.11-2
플레이트나 보에 용접으로 부착된 요소, 50.8mm 이하의 횡방향 모살용접 및 연속 적인 길이방향 모살용접, 볼트나 나사못 접 합부, 점용접	III	3.2×10^9	110	그림 4.11-3 그림 4.11-4
작용응력 방향과 평행한 50.8mm 초과의 길이방향 모살용접된 요소 및 작용응력 방 향과 평행한 단속용접	IV	1.0×10^9	62	그림 4.11-4



그림 4.11-1 응력범주 I에 대한 일반적인 상세

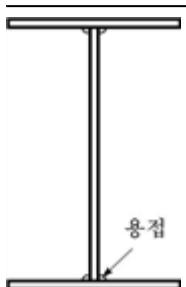
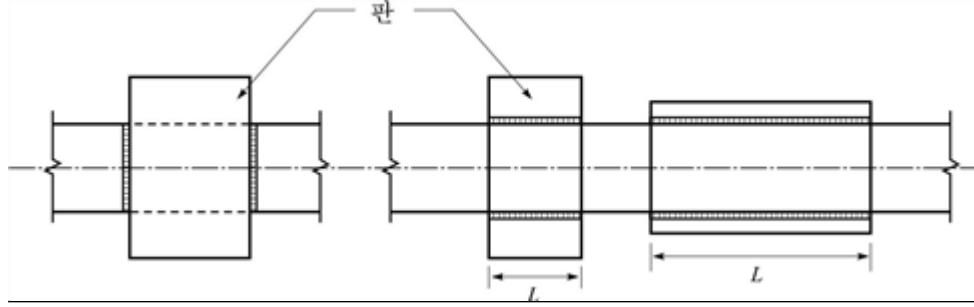


그림 4.11-2 응력범주 II에 대한 일반적인 상세



(1) 직교방향 용접

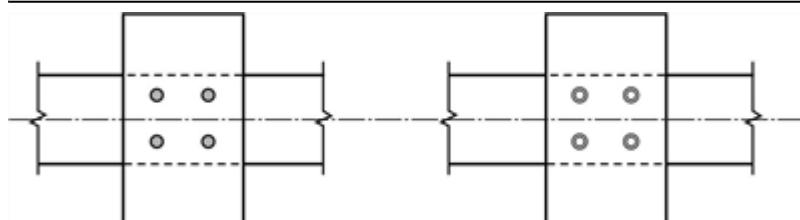
응력범주 III

(2) 길이방향 용접

응력범주 III, $L \leq 50\text{mm}$

응력범주 IV, $50\text{mm} < L \leq 100\text{mm}$

그림 4.11-3 응력범주 III 및 IV에 대한 전형적인 부착 요소



(1) 아크 점 또는 플러그 용접

(2) 나사못

그림 4.11-4 응력범주 IV에 대한 전형적인 부착 요소

4.11.2 최대응력과 응력범위의 산정

(1) 탄성해석에 근거하여 응력을 산정한다.

- ① 기하학적 불연속에 대한 응력집중계수로 응력을 증폭하지 않아야 한다.
- ② 축인장력을 받는 볼트 및 나사부는 해당될 경우 지렛대효과를 포함하여 응력을 산정한다.
- ③ 휨과 축력의 조합응력인 경우, 각각의 최대응력은 적용된 하중의 동시작용을 반영하여 결정하여야 한다.
- ④ 대칭단면의 부재에 대해, 패스너와 용접부는 부재축에 대해 대칭으로 배열하거나 혹은 편심으로 인한 영향이 포함된 전체응력을 포함하여 응력범위를 산정한다.
- ⑤ 축응력을 받는 L형강 부재에 대해, 연결용접부의 무게중심이 L형강 단면의 무게중심선과 접합된 다리의 중심 사이에 위치할 경우, 편심에 의한 효과는 무시한다. 만약 연결용접부의 무게중심이 이 영역을 벗어난 경우, 접합부 편심에 의한 영향을 포함한 전체응력을 포함하여 응력범위를 산정한다.

4.11.3 설계응력의 범위

(1) 응력의 범위는 다음과 같이 모든 응력범주에서 식 (4.11-1)을 이용해 계산된 설계응력범위를 초과하지 않아야 한다.

$$F_{SR} = (\alpha C_f / N)^{0.333} \geq F_{TH} \quad (4.11-1)$$

여기서, F_{SR} : 설계응력범위

α : 단위 변환을 위한 계수

= 327 (SI 단위)

C_f : 표 4.11-1에서 정해진 상수

N : 설계수명 내의 응력범위 변동수

= 1일 응력범위 변동수 $\times 365 \times$ 설계수명 년 수

F_{TH} : 피로 임계응력, 표 4.11-1에 제시된 확정되지 않은 설계수명에 대한 최대응력범위

4.11.4 볼트와 나사부

(1) 전단력이 작용하는 기계적으로 접합된 연결부에 대해, 연결된 재료 내의 최대 응력범위는 식 (4.11-1)을 이용해 계산된 설계응력범위를 초과하지 않아야 한다. C_f 계수는 22×10^3 의 값을 취한다. 피로임계응력 F_{TH} 는 48 MPa의 값을 취한다.

(2) 완전히 체결되지 않은 고장력볼트, 일반볼트 그리고 절삭, 연마 혹은 압연나사산을 지닌 나사형앵커로드에 대해, 지렛대 작용에 의한 하중이 추가된 축력 및 모멘트로부터 인장 순단면적에 대한 인장응력의 최대범위는 식 (4.11-1)을 이용해 계산된 설계응력범위를 초과하지 않아야 한다. C_f 계수는 3.9×10^3 의 값을 취한다. 피로임계응력 F_{TH} 는 48 MPa의 값을 취한다.

(3) 인장 순단면적은 식 (4.11-2)을 이용해 계산하여야 한다.

$$A_t = (\pi/4)[d_b - (0.9382p)]^2 \quad (4.11-2)$$

여기서, A_t : 인장 순단면적

d_b : 공칭 직경 (몸체 직경)

p : 피치 (나사선 당 mm)

4.11.5 제작에 대한 특별 요구사항

- (1) 응력장에 평행한 용접부의 뒷댐재는 원래 자리에 남겨둘 수 있으며, 만약 사용된다면, 연속되어야 한다.
 - (2) 응력장에 직교하는 용접부의 뒷댐재를 사용하는 경우에는 제거하여야 하며, 접합면은 이면 가우징하고 용접하여야 한다.
 - (3) 반복 응력범위에 속하는 불꽃-절단된 단부는 관련 기준의 용접조항에 부합되게 25 μm 를 초과하지 않는 표면거칠기를 가져야 한다.
 - (4) 절단부, 따냄부 그리고 용접접근공의 오목한 모서리는 9.53mm 이상의 절단부 반경 형성을 위해 사전-드릴링 또는 서브-펀칭 및 구멍의 리밍 또는 열절단에 의해 절단반경을 형성 한다.
 - (5) 만약 반지름 부분이 열절단에 의해 형성된다면, 잘린 표면은 관련 기준의 용접조항 또는 그 외 승인된 동등 기준에 부합되게 25 μm 를 초과하지 않는 표면거칠기의 흠이 없는 곡선형 전이부로 된 밝은 금속윤곽을 지니도록 연마 처리 한다.
 - (6) 큰 인장응력이 작용하는 영역의 횡방향 맞댐이음부는 완료된 접합부외의 용접 끝단부를 계단형태로 하기 위해 용접탭을 사용하여야 한다. 단부 댐을 사용해서는 안 된다. 용접탭은 제거되어야 하며, 용접단부는 부재단부와 꼭 맞도록 끝나야 한다.
- 예외 : 사용된 용접과정이 매끈한 평단부를 만들 경우, 판재에는 용접탭을 사용하지 않는다.
-

4.12 판요소의 유효폭

- (1) 이 절은 압축응력을 받는 냉간성형강 단면요소의 유효폭을 다룬다. 유효단면의 특성은 부재의 강도와 처짐을 산정하기 위해 사용한다.
-

4.12.1 균일압축을 받는 구속판요소의 유효폭

- (1) 강도 결정
-

유효폭(b)은 다음과 같이 산정한다.

$$b = \rho w \quad (4.12-1)$$

여기서, w : 평판 폭 (그림 4.12-1 참조)

ρ : 국부감소계수로서 다음과 같이 산정한다.

$\lambda \leq 0.673$ 일 때, $\rho = 1$

$\lambda > 0.673$ 일 때, $(1 - 0.22/\lambda)/\lambda$ (4.12-2)

$$\lambda \text{는 세장비, } \left(= \sqrt{\frac{f}{F_{\sigma l}}} \right) \quad (4.12-3)$$

여기서, f : 고려하는 요소의 압축응력으로서 다음과 같이 산정한다.

휩부재에서:

① 전체, 단면형상변형과 국부좌굴을 고려할 때 f 는 4.4에 따라 산정한 F_n 과 같다.

② 비탄성 여유를 고려할 때 f 는 압축요소의 응력이다.

③ 4.4.2.4(1)을 이용한다면, f 는 유효단면을 기준으로 산정된 공칭휩강도 M_4 에서 고려하는 요소의 응력이다.

압축재에서, f 는 4.3에 따라 정의된 F_n 과 같다.

$$F_{\sigma l} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 \quad (4.12-4)$$

여기서, k : 판좌굴계수로서 길이방향 모서리의 웨브에 의해 지지되는 구속판요소에 대해서는 4가 되고, 다양한

요소의 형태에 따른 값은 각 장에서 주어진다.

E : 강재의 탄성계수

t : 균일압축을 받는 구속판요소의 두께

μ : 강재의 푸아송비

(2) 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭 b_d 은 다음과 같이 산정한다.:

$$b_d = \rho w \quad (4.12-5)$$

여기서, w : 평판 폭

ρ : 국부감소계수로서 다음의 2가지 방법 중에서 한가지로 산정한다.

① 유효폭의 보수적인 예측으로 4.12.1(1)에 의하여, f 를 f_d 로 대체한다. 여기서 f_d 는 고려하는 요소의 계산된 압축응력이다.

② 길이방향 모서리의 웨브에 의해 지지되는 구속판요소에 대해서는, 다음과 같이 국부감소계수(ρ)를 계산함으로서 유효폭에 대해 개선된 예측값을 구한다.

단, 모든 경우에서 ρ 는 1 이하이다.

가. $\lambda \leq 0.673$ 일 때, $\rho = 1$

나. $0.673 < \lambda \leq \lambda_c$ 일 때, $\rho = (1.358 - 0.461/\lambda)/\lambda$

(4.12-6)

다. $\lambda > \lambda_c$ 일 때, $\rho = (0.41 + 0.59 \sqrt{F_v/f_d} - 0.22/\lambda)/\lambda$

(4.12-7)

여기서, λ : 식 (4.12-3)에서 f 를 f_d 로 대체하여 계산한 세장비

$$\lambda_c = 0.256 + 0.323 \frac{w}{t} \sqrt{\frac{F_v}{E}} \quad (4.12-8)$$

F_v : 항복강도

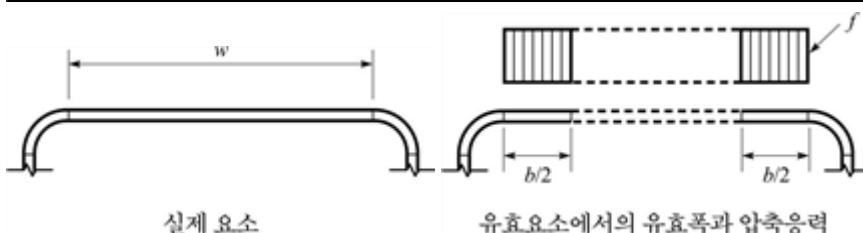


그림 4.12-1 구속판요소

4.12.1.1 원형 또는 비원형 구멍이 있는 균일압축을 받는 구속판요소

(1) 강도 결정

① 원형구멍이 있는 구속판요소

유효폭(b)은 다음의 식 (4.12-9) 또는 식 (4.12-10)에 의해 산정한다.

$0 \leq \frac{d_h}{w} \leq 0.50$ 및 $\frac{w}{t} \leq 70$ 를 충족하고, 구멍중심 간 거리가 $0.50w$ 이상이며 또한 $3d_h$ 이상이면,

$\lambda \leq 0.673$ 일 때, $b = w - d_h$ (4.12-9)

$$\lambda > 0.673 \text{일 때, } b = \frac{w \left[1 - \frac{0.22}{\lambda} - \frac{0.8d_h}{w} + \frac{0.085d_h}{w\lambda} \right]}{\lambda} \quad (4.12-10)$$

모든 경우에서 $b \leq w - d_h$

여기서, w : 평판 폭

t : 요소의 두께

d_h : 구멍의 지름

λ : 4.12.1에서 정의된, 판좌굴계수, $k = 4.0$ 일 때의 세장비이다.

② 비원형 구멍이 있는 구속판요소

구멍에 인접한 평판폭, c 로 된 두개의 비구속 스트립으로 구성된다고 가정한다(그림 4.12-1참조). 구멍에 인접

한 각 비구속 스트립의 유효폭(b)은 4.12.1(1)을 따르되, 이 경우 판좌굴계수 k 는 0.43이고 w 는 c 가 된다. 이 규

정은 다음의 제한사항 내에서 적용가능하다.

가. 구멍중심 간 간격(s)이 610mm 이상인 경우

나. 끝단에서 구멍까지의 순연단거리(s_{end})가 254mm 이상인 경우

다. 구멍의 깊이(d_h)가 63.5mm 이하인 경우

라. 구멍의 길이(L_h)가 114mm 이하인 경우

마. 구멍의 깊이(d_h)와 최외단부 폭(w_0)의 비(d_h / w_0)가 0.5 이하인 경우

대안으로, 유효폭(b)은 관련 기준에 따라 수행한 단주압축실험에 의해서 결정할 수 있다.

(2) 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭 b_e 은 4.12.1.2의 방법 1에 의해 계산한 b 와 같되, f_d 가 f 를 대체한다. 여기서 f_d 는 고려하는 요소에 작용하는 계산된 압축응력이다.

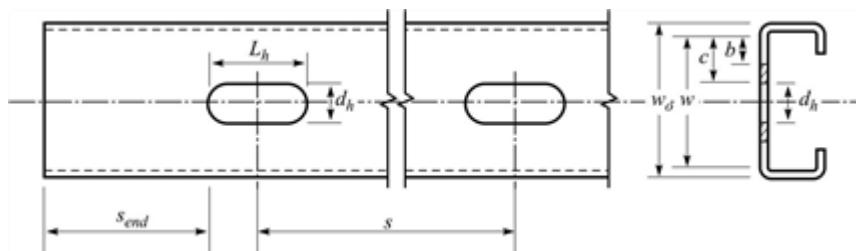


그림 4.12-2 균일압축을 받는 비원형 구멍을 가진 구속판요소

4.12.1.2 등변응력을 받는 웨브와 그 밖의 구속판요소

(1) 다음의 기호는 이 장에서 적용한다.

b_1 : 그림 4.12-3에 정의된 유효폭

b_2 : 그림 4.12-3에 정의된 유효폭

b_e : 4.12.1절에 따라 산정한 유효폭 b 로서, f 를 f_1 으로 대체하고 이 절에서 주어진 k 를 적용한다.

b_0 : 그림 4.12-4에서 정의된 압축플랜지의 최외단부 폭

f_1, f_2 : 유효단면을 기준으로 산정한 응력(그림 4.12-3참조)이고, $f_1 \geq f_2$

h_0 : 그림 4.12-4에 정의된 웨브의 최외단부 높이

k : 판좌굴계수

ψ : f_2/f_1 의 절대값 (4.12-11)

(2) 강도 결정

① 등변응력(그림 4.12-3(1)에서 f_1 은 압축응력, f_2 는 인장응력)을 받는 웨브에 대해서, 유효폭과 판좌굴계수는 다음과 같이 산정한다.

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \quad (4.12-12)$$

$h_0/b_0 \leq 4$ 인 경우

$$b_1 = b_e / (3 + \psi) \quad (4.12-13)$$

$\psi > 0.236$ 일 때, $b_2 = b_e/2$ (4.12-14)

$\psi \leq 0.236$ 일 때, $b_2 = b_e - b_1$ (4.12-15)

추가로, $b_1 + b_2$ 는 유효단면을 기준으로 산정한 웨브의 압축부분을 초과할 수 없다.

$h_0/b_0 > 4$ 인 경우

$b_1 = b_e/(3 + \psi)$ (4.12-16)

$b_2 = b_e/(1 + \psi) - b_1$ (4.12-17)

② 등변응력하의 그 밖의 구속판요소[그림 4.12-3(2)에서 f_1 과 f_2 는 압축응력]

$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi)$ (4.12-18)

$b_1 = b_e/(3 - \psi)$ (4.12-19)

$b_2 = b_e - b_1$ (4.12-20)

(3) 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭은 4.12.1.2(1)을 따르되, f_{d1} 과 f_{d2} 는 f_1 과 f_2 로 각각 대체한다. 여기서 f_{d1} 과 f_{d2} 는 사용성 하중에서 유효단면을 기준으로 산정한 각각의 응력 f_1 과 f_2 이다.

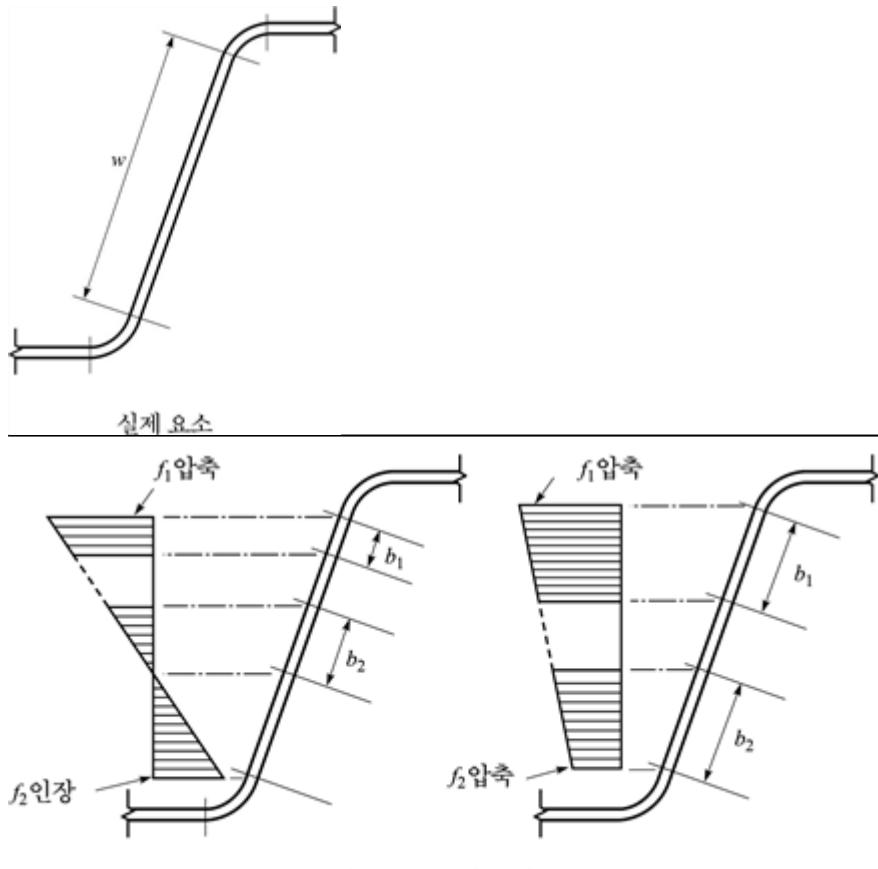


그림 4.12-3 등변응력하의 웨브와 그 밖의 구속판요소

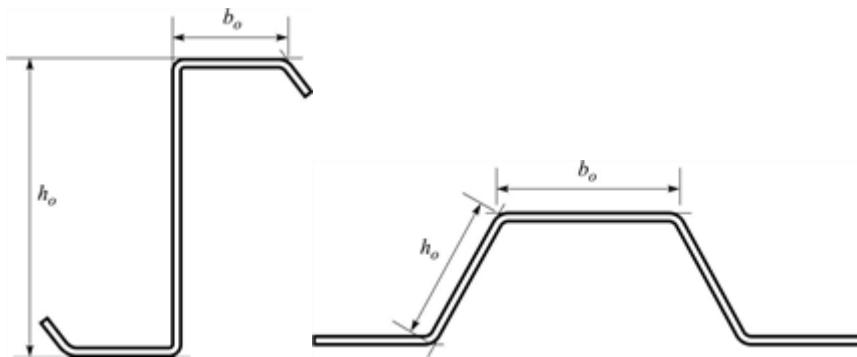


그림 4.12-4 등변응력하의 웨브와 그 밖의 구속판요소의 최외단부 치수

4.12.1.3 등변응력을 받으며 구멍이 있는 C-형단면 웨브

(1) 이 절의 규정은 다음의 제한사항 내에서 적용한다.

① $d_h/h \leq 0.7$

② $h/t \leq 200$

③ 웨브의 중간 높이에 구멍이 있는 경우

④ 구멍 간 순간격이 457mm 이상인 경우

⑤ 비원형 구멍의 모서리 반지름이 $2t$ 이상인 경우

⑥ 비원형 구멍의 깊이 d_h 와 길이 L_h 가 각각 63.5mm, 114mm 이하인 경우

⑦ 원형 구멍의 지름이 152mm 이하인 경우

⑧ 구멍의 깊이가 14.3mm 초과한 경우

여기서, d_h : 웨브에 있는 구멍의 깊이

h : 웨브의 면을 따라 측정된 웨브 평판부분의 깊이

t : 웨브의 두께

L_h : 웨브에 있는 구멍의 길이

(2) 강도 결정

$d_{\text{h}}/h < 0.38$ 인 경우, 그림 4.12-3의 유효폭 b_1 과 b_2 은 웨브에 구멍이 없다고 가정하여 4.12.1.2(2)에 따라 산정한다.

다.

$d_{\text{h}}/h \geq 0.38$ 인 경우, 유효폭은 그림 4.12-3처럼 웨브의 압축부분이 구멍에 인접한 비구속판요소로 구성되고

$f = f_1$ 으로 가정하여 4.12.1.2(2)에 따라 산정한다.

(3) 사용성 검토

유효폭은 웨브에 구멍이 없다고 가정하여 4.12.1.2(3)에 따라 산정한다.

4.12.1.4 균일압축을 받는 단속접합으로 구속된 판요소

(1) 이 장의 규정은 흔재의 압축 판요소에만 적용하고, 단부 보강한 덧판이 있는 다중 플루트 조립재에 한하여 규정을 적용한다. 균일압축을 받고 단속접합으로 구속된 요소에서 파스너의 간격(s)이 4.7.1.3에서 규정한 제한값을 초과하지 않을 경우, 유효폭은 4.12.1에 따라서 산정하여야 하나, 제한값을 초과할 경우는 아래의 ①과 ②에 따라서 유효폭을 산정한다.

① 강도 결정

균일압축을 받는 단속접합으로 구속된 판요소의 유효폭은 다음과 같이 산정한다.

가. $f < F_c$ 일 때, 접합선 사이 압축요소의 유효폭은 4.12.1(1)을 따른다.

나. $f \geq F_c$ 일 때, 접합선 사이 압축요소의 유효폭은 4.12.1(1)을 따르되, 감소계수 ρ 는 4.12.1에 정의된 값과 식 (4.12-21)에 의해 산정한 값 중 작은 값으로 한다.

$$\rho = \rho_t \rho_m \quad (4.12-21)$$

여기서, $\lambda_t \leq 0.673$ 일 때, $\rho_t = 1.0$

$$\lambda_t > 0.673 \text{일 때, } \rho_t = (1.0 - 0.22/\lambda_t)/\lambda_t \quad (4.12-22)$$

$$\lambda_t = \sqrt{\frac{F_c}{F_{ct}}} \quad (4.12-23)$$

여기서, F_c : 압축요소의 기둥 임계좌굴응력,

$$= \frac{3.29}{(s/t)^2} \quad (4.12-24)$$

\circ : 압축응력선상에 있는 연결재의 중심 간격

E : 강재의 탄성계수

t : 압축측 덧판의 두께

$F_{\sigma t}$: 식 (4.12-4)의 임계좌굴응력이고, w 는 연결재의 횡방향 간격

$$\rho_m = 8 \frac{F_y}{f} \sqrt{\frac{tF_c}{df}} \leq 1.0 \quad (4.12-25)$$

F_y : 단속접합으로 구속된 압축판요소의 설계항복강도

d : 조립재의 전체 높이

f : 지배적인 최연단 응력이 항복강도 F_y 에 이를 때 단속접합으로 구속된 압축판요소의 응력

다. 이 장의 기준은 다음의 제한사항을 만족하는 형상에 적용한다.

(가) $38.1 \text{ mm} \leq d \leq 191 \text{ mm}$

(나) $0.889 \text{ mm} \leq t \leq 1.52 \text{ mm}$

(다) $50.8 \text{ mm} \leq s \leq 203 \text{ mm}$

(라) $228 \text{ MPa} \leq F_y \leq 414 \text{ MPa}$

(마) $100 \leq w/t \leq 350$

단부 스티프너의 유효폭과 평판 부분 e 는 다음과 같이 수정하여 4.12.3(1)①에 따라 산정한다.

$f < F_c$ 인 경우, $w = e$ (4.12-26)

$f \geq F_c$ 인 경우, 평판 부분 e 에 대해서 식 (4.12-43)와 식 (4.12-44)의 유효폭 b 는 다음 3가지 사항을 반영하여 4.12.1(1)에 따라 산정한다.

① $w = e$

② $D/e \leq 0.8$ 이면 k 는 표 4.12-1을 따르고,

$D/e > 0.8$ 이면 k 는 1.25이다.

④ ρ 는 식 (4.12-2) 대신에 식 (4.12-21)로 산정한다.

여기서, w : 스티프너의 반지름을 제외한 길이방향 접합선 사이의 평판 폭

e : 연결재의 첫 번째 선과 끝단스티프너 사이의 평판 폭(그림 4.12-5 참조)

D : 4.12.3에 정의된 스티프너의 전체 길이

단부 스티프너에서, d 와 L 는 w 와 f 를 각각 대체한 w' 와 f' 을 이용하여 산정한다.

$$w' = 2e + \min(0.75s, w_1) \quad (4.12-27)$$

$$f' = \max(\rho_m f, F_c) \quad (4.12-28)$$

여기서, f' : 끝단스티프너의 유효폭을 정의하기 위해 4.12.3(1)에서 이용하는 응력

F_c : 식 (4.12-24)에 따라 산출된 덧판의 좌굴응력

w' : 끝단스티프너의 유효폭을 산정하기 위한 등가의 평판폭

w_1 : 압축요소에서 연결재의 첫 번째와 두 번째 선 사이의 횡간격 (그림 4.12-5 참조)

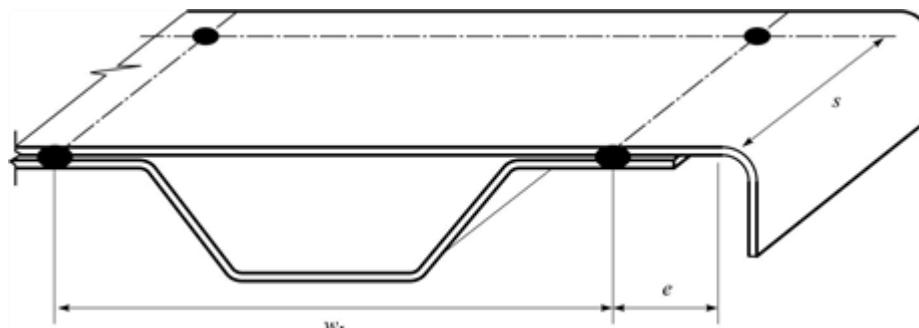


그림 4.12-5 셀룰라데크의 치수

라. 이 장의 규정은 단부 스티프너가 있는 압축판으로 구성된 단일 플루트 부재에는 적용하지 않는다.

② 사용성 판정

균일압축을 받는 단속접합으로 구속된 판요소의 처짐계산을 위한 유효폭은 4.12.1.4(1)①을 따르되 다음 사항을 반영한다.

가. f 를 f_d 로 대체한다. 여기서, f_d 는 고려하는 판요소의 사용하중으로 계산된 압축응력이다.

나. 조립재의 최연단의 최대응력으로 F_v 를 대체한다.

4.12.2 비구속판요소의 유효폭

4.12.2.1 균일압축을 받는 비구속판요소

(1) 강도 결정

유효폭 b 은 4.12.1(1)을 따르되, 판 좌굴계수(k)는 0.43으로 하고 w 는 그림 4.12-6에서 정의한다.

(2) 사용성 판정

사용성 검토를 위한 유효폭 b_a 은 4.12.1(2)의 방법 1을 따르되, f 를 f_d 로 대체하고 k 값은 0.43이다.

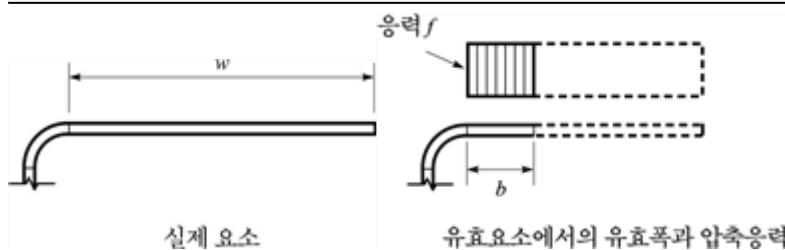


그림 4.12-6 균일압축을 받는 비구속판요소

4.12.2.2 등변응력을 받는 비구속판요소와 끝단스티프너

(1) 다음의 기호는 이 장에서 적용한다.

b : 지지된 단부로부터 측정한 유효폭으로, 4.12.1(1)을 따른다. 여기서, f 는 유효요소에 작용하는 최대압축응력

이고, k 와 α 는 이 절에서 정의된 값으로 한다.

b_0 : 보강되지 않은 C형 단면에서 비구속판요소의 전체 폭 (그림 4.12-9 참조)

f_1, f_2 : 그림 4.12-7 ~ 4.12-9에 나타낸 압축응력이고, $f_1 \geq f_2$

h_0 : 보강되지 않은 C형 단면의 전체 높이 (그림 4.12-9 참조)

k : 이 장 또는 4.12.1(1)에서 정의된 판 좌굴계수

t : 요소의 두께

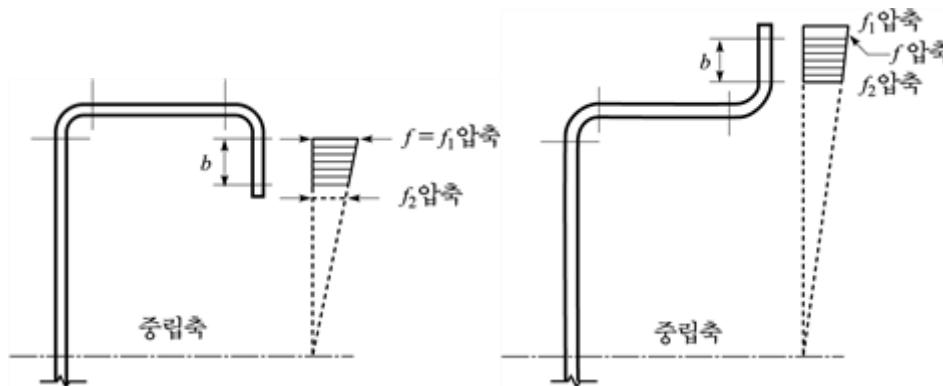
w : 비구속판요소의 평판 폭, $w/t \leq 60$

ψ : f_2/f_1 의 절댓값 (4.12-29)

λ : 4.12.1(1)에서 정의된 세장비, 여기서 f 는 유효요소에 작용하는 최대압축응력과 같다.

(2) 강도 결정

등변응력하의 비구속판요소의 유효폭 b 은 4.12.1(1)을 따르되, 달리 언급이 없다면 응력 f 는 유효요소에 작용하는 최대압축응력이고, 판좌굴계수(k)는 이 절을 따른다. f_1 이 압축이고 f_2 가 인장일 때 4.12.1(1)의 ρ 는 이 장을 따른다.



(a) 내향의 끝단판 (b) 외향의 끝단판

그림 4.12-7 등변응력을 받는 비구속판요소와 압축측 두 개의 길이방향 단부

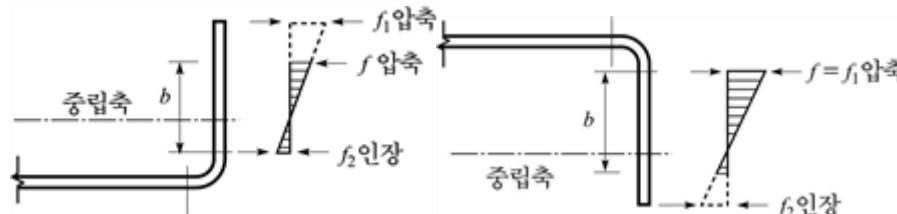
① 그림 4.12-7에서 f_1 과 f_2 가 압축일 때, 판좌굴계수는 다음의 식 (4.12-30) 또는 식 (4.12-31)으로 산정한다.

그림 4.12-7(a)처럼 비지지 단부방향으로 응력이 감소한다면,

$$k = \frac{0.578}{\psi + 0.34} \quad (4.12-30)$$

그림 4.12-7(b)처럼 비지지 단부방향으로 응력이 증가한다면,

$$k = 0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2 \quad (4.12-31)$$



(a) 압축측 비지지단부 (b) 압축측 지지단부

그림 4.12-8 등변응력을 받는 비구속판요소, 압축측 길이방향 단부와 인장측 길이방향 단부

② 그림 4.12-8처럼 f_1 이 압축이고 f_2 가 인장일 때, 감소계수와 판 좌굴계수는 다음과 같이 산정한다.

가. 그림 4.12-8(a)처럼 비지지단부가 압축을 받으면,

$\lambda \leq 0.673(1+\psi)$ 일 때, $\rho = 1$

$$\lambda > 0.673(1+\psi) \text{ 일 때, } \rho = (1+\psi) \frac{1 - \frac{0.22(1+\psi)}{\lambda}}{\lambda} \quad (4.12-32)$$

$$k = 0.57 + 0.21\psi + 0.07\psi^2 \quad (4.12-33)$$

나. 그림 4.12-8(b)처럼 지지단부가 압축을 받으면,

$\psi < 1$ 에 대해서는

$\lambda \leq 0.673$ 일 때, $\rho = 1$

$$\lambda > 0.673 \text{ 일 때, } \rho = (1-\psi) \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} + \psi \quad (4.12-34)$$

$$k = 1.70 + 5\psi + 17.1\psi^2 \quad (4.12-35)$$

$\psi \geq 1$ 에 대해서는 $\rho = 1$

비보강 C 형단면 부재에서 비구속판요소의 유효폭, b 는 다음의 해당되는 대안법으로 산정할 수 있다.

(가) 대안법 1 : 그림 4.12-9(a)처럼 비지지단부가 압축, 지지단부가 인장을 받을 때

$$\lambda \leq 0.856 \text{ 일 때, } b = w \quad (4.12-36)$$

$$\lambda > 0.856 \text{ 일 때, } b = \rho w \quad (4.12-37)$$

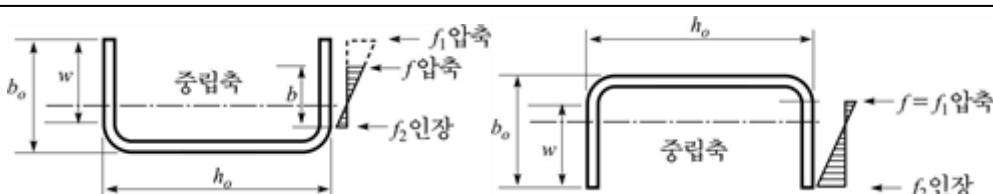
$$\text{여기서, } \rho = 0.925 / \sqrt{\lambda} \quad (4.12-38)$$

$$k = 0.145(b_0/h_0) + 1.256 \quad (4.12-39)$$

$$0.1 < b_0/h_0 \leq 1.0$$

(나) 대안법 2 : 그림 4.12-9(b)처럼 지지단부가 압축, 비지지 단부가 인장을 받을 때, 유효폭은 4.12.1.2를

따른다.



(1) 압축측 비구속판요소 (2) 압축측 구속판요소

응력 f_1 이 그림 4.12-7(b), 4.12-8(a)와 4.12-9(a)처럼 비지지 단부에서 일어날 때, 설계응력 f 는 유효단면의 최연단에서 발생하는 응력이며. f_1 은 유효단면을 기준으로 전체단면의 단부에서 계산된 응력이다. 그림 4.12-9(a)처럼 일부 유효요소만이 등변응력을 받는 비구속판요소라면, 응력 f_1 과 f_2 는 전체단면을 기준으로 산정할 수 있으며, f 는 f_1 과 같으며 반복 계산할 필요가 없다.

4.4.3.1의 유효단면계수 S_e 를 계산할 때에, 그림 4.12-7(b), 4.12-8(a)와 그림 4.12-9(a)의 압축연단부는 비지지 단부에 가까운 유효단면의 단부로 취하고, 그림 4.12-8(b)와 그림 4.12-9(b)의 인장연단부는 비지지 단부에 가까운 유효단면의 단부로 취한다.

(3) 사용성 판정

사용성 검토를 위한 유효폭 b_e 산정은 4.12.2.2(3)을 따르되, f_1 과 f_2 를 f_{d1} 과 f_{d2} 로 각각 대체한다. 여기서 f_{d1} 과 f_{d2} 는 그림 4.12-7, 그림 4.12-8와 그림 4.12-9처럼 사용성 검토를 위한 하중으로 각각 산정한 응력 f_1 과 f_2 이다.

4.12.3 균일압축을 받는 단순끝단스티프너가 있는 판요소의 유효폭

(1) 단순끝단스티프너가 있고 균일압축을 받는 판요소의 유효폭은 다음의 ① 강도산정과 ② 사용성 검토에 따라 산정한다.

① 강도 산정

$w/t \leq 0.328S$ 에 대해서

$$I_a = 0 \text{ (끝단스티프너 불필요)}$$

$$b = w \text{ (4.12-40)}$$

$$b_1 = b_2 = w/2 \text{ (그림 4.12-10 참조) (4.12-41)}$$

$$d_3 = d'_3 \text{ (4.12-42)}$$

$w/t > 0.328S$ 에 대해서

$b_1 = (b/2)(R_I)$ (그림 4.12-10 참조) (4.12-43)

$b_2 = b - b_1$ (그림 4.12-10 참조) (4.12-44)

$d_s = d' + (R_I)$ (4.12-45)

여기서, $S = 1.28 \sqrt{E/f}$ (4.12-46)

E : 강재의 탄성계수

f : 압축플랜지의 응력

w : 플랜지의 평판폭 (그림 4.12-10 참조)

t : 단면의 두께

I : 각 구성요소가 구속판요소로서 거동하도록 하는 적정 크기의 스티프너 단면2차모멘트

$$= 300t^4 \left(\frac{w/t}{S} - 0.328 \right)^3 \leq t^4 \left(115 \frac{w/t}{S} + 5 \right) \quad (4.12-47)$$

b : 유효폭

b_1, b_2 : 유효폭의 부분 (그림 4.12-10 참조)

d_s : 스티프너의 감소된 유효폭 (그림 4.12-10 참조), 이는 전체유효단면의 특성을 계산할 때 사용한다.

d_s : 4.12.2.1 또는 4.12.2.2에 따라 계산한 스티프너의 유효폭 (그림 4.12-10 참조)

$$(R_I) = I_g/I_a \leq 1 \quad (4.12-48)$$

I : 구속할 판요소와 평행한 자체 도심축에 대한 감소되지 않은 스티프너의 단면2차모멘트. 끝단스티프너에 대해서는, 스티프너와 구속할 판요소 사이의 둑근 모서리는 스티프너의 일부로 고려하지 않는다.

$$= (d^3 t \sin^2 \theta) / 12 \quad (4.12-49)$$

그 외 치수변수의 정의는 그림 1.3-1을 참조.

식 (4.12-43)과 식 (4.12-44)의 유효폭 b 는, 다음 표 4.12-1에 주어진 판좌굴계수 k 를 고려하여 4.12.1.1에 따라 산정한다.

단순끝단스티프너 ($40^\circ \leq \theta \leq 140^\circ$)

$$D/w \leq 0.25$$

$$3.57(R_I)^n + 0.43 \leq 4$$

$$0.25 < D/w \leq 0.8$$

$$\left(4.82 - \frac{5D}{w}\right)(R_I)^n + 0.43 \leq 4$$

$$\text{여기서, } n = \left(0.582 - \frac{w/t}{4S}\right) \geq \frac{1}{3} \quad (4.12.3-50)$$

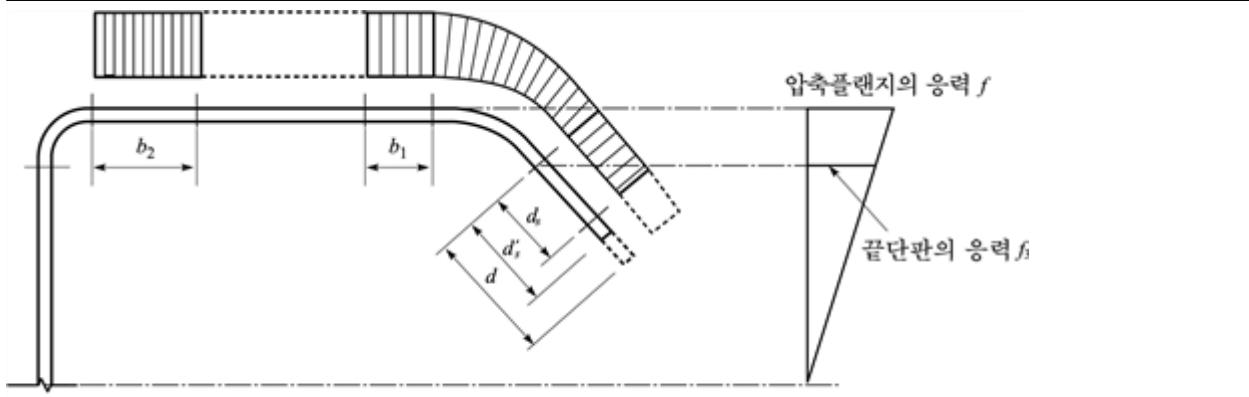
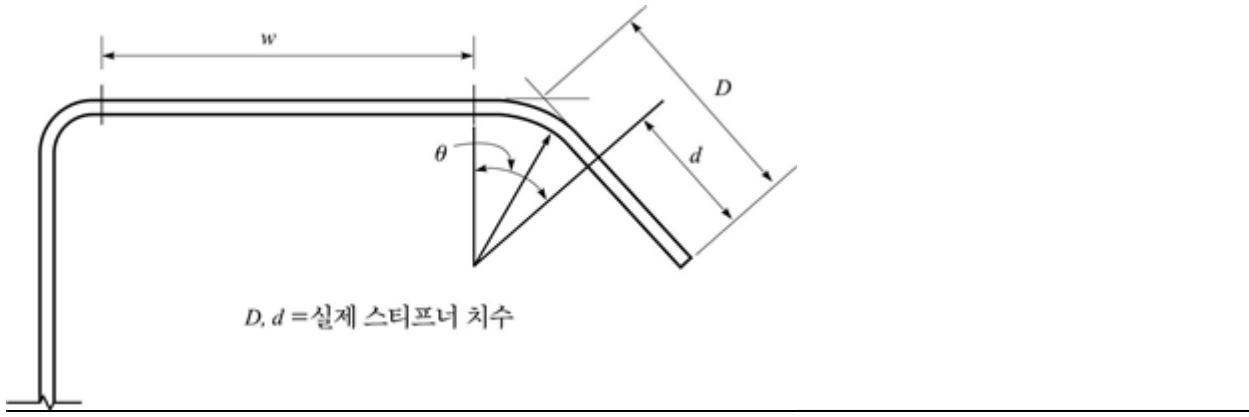


그림 4.12-10 단순끝단스티프너가 있는 판요소

② 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭 b_s 는 4.12.3(1)②를 따르되, f 를 f_s 로 대체한다. 여기서 f_s 는 사용성 검토를 위한 하중으로 산정한 유효단면의 압축응력이다.

4.12.4 단일 또는 다중 중간스티프너를 가진 구속판요소 또는 중간스티프너가 있는 단부구속판요소의 유효폭

4.12.4.1 단일 또는 다중 중간스티프너가 있고, 균일압축을 받는 구속판요소의 유효폭

(1) 다음의 기호는 이 장에서 적용한다.

A_s : 스티프너를 포함한 판요소의 총단면적

A_s : 스티프너의 총단면적

b_e : 스티프너를 포함한 판요소의 도심에서 산정한 유효폭 (그림 4.12-12 참조)

b₀ : 구속판요소의 전체 평판폭 (그림 4.12-11 참조)

b_p : 가장 큰 부분요소의 평판폭 (그림 4.12-11 참조)

c_i : 판요소의 단부에서 스티프너의 중심선까지의 수평거리 (그림 4.12-11 참조)

E : 강재의 탄성계수

F_{ctrl} : 판 탄성좌굴응력

f : 평판요소에 작용하는 균일압축응력

h : 구속판요소에 인접한 요소의 폭 (압축플랜지에서 다중 중간스티프너가 있는 모자형단면()의 웨브 높이는 *h*이다. 인접한 요소의 폭이 서로 다르면, 가장 작은 값을 이용한다.)

I_p : 판요소 평판부의 중심선에 대한 스티프너의 단면2차모멘트 (스티프너를 평판에 연결하는 반지름을 포함할 수 있다.)

k : 요소의 판좌굴계수

k_d : 단면형상변형좌굴에 대한 판좌굴계수

k_{loc} : 국부적 부분요소의 좌굴에 대한 판좌굴계수

L_{br} : 요소의 단면형상변형좌굴을 구속하는 횡지지점 또는 그 외 구속점 사이의 비지지길이

R : 단면형상변형 판좌굴계수에 대한 수정계수

n : 요소의 스티프너 개수

t : 요소의 두께

i : 스티프너 "i"에 대한 표시

λ : 세장비

μ : 강재의 푸아송비

ρ : 감소계수

유효폭은 다음의 식(4.12-51)을 따라 계산한다.

$$b_e = \rho \left(\frac{A_g}{t} \right) \quad (4.12-51)$$

여기서, $\lambda \leq 0.673$ 일 때, $\rho = 1$

$\lambda > 0.673$ 일 때, $\rho = (1 - 0.22/\lambda)/\lambda$ (4.12-52)

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{\sigma l}}} \quad (4.12-53)$$

$$F_{\sigma l} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b_0} \right)^2 \quad (4.12-54)$$

판좌굴계수 k 는 해당되는 4.12.4.1(1) 또는 4.12.4.1(2)에 따라 정의된 Rk_d 와 k_{loc} 중에서 작은 값으로 산정한다.

$$k = \min(Rk_d, k_{loc}) \quad (4.12-55)$$

$b_0/h < 1$ 일 때, $R = 2$

$$b_0/h \geq 1 \text{ 일 때, } R = \frac{11 - b_0/h}{5} \geq \frac{1}{2} \quad (4.12-56)$$

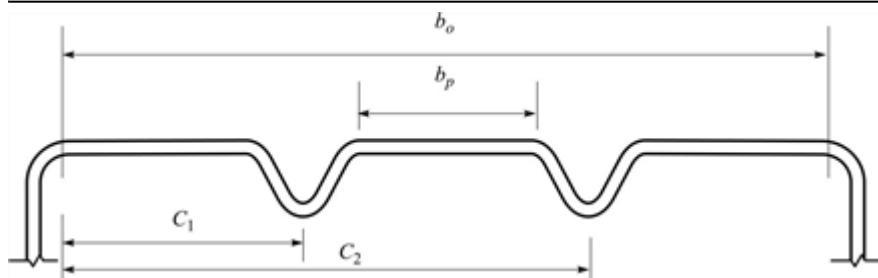


그림 4.12-11 판폭과 스티프너 위치

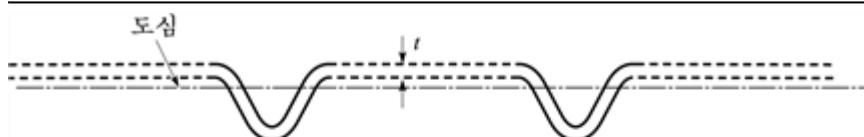


그림 4.12-12 유효폭의 위치

(2) 특수한 경우 : 단일스티프너 또는 다중의 동일 스티프너를 등간격으로 배치한 경우

단일 또는 다중의 동일 스티프너를 같은 간격으로 배치하고, 균일압축을 받는 판요소에서는 판좌굴계수와 유효

폭은 다음과 같이 산정한다.

① 강도 결정

$$k_{loc} = 4(b_o/b_p)^2 \quad (4.12-57)$$

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + \gamma(1 + n)}{\beta^2 \{1 + \delta(n+1)\}} \quad (4.12-58)$$

$$\text{여기서, } \beta = \{1 + \gamma(n+1)\}^{\frac{1}{4}} \quad (4.12-59)$$

$$\gamma = \frac{10.92 I_p}{b_o t^3} \quad (4.12-60)$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_o t} \quad (4.12-61)$$

$L_{tr} < \beta b_o$ 이면, 횡지지에 의한 강도증가를 보완하기 위해 β 를 L_{tr}/b_o 로 대체할 수 있다.

② 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭 b_d 는 4.12.4.1(1)①을 따르되, f 를 f_d 로 대체한다. 여기서 f_d 는 사용성 검토를 위한 하중에서 고려하는 요소의 유효단면을 기준으로 계산된 압축응력이다.

(3) 일반적인 경우 : 스티프너의 크기, 위치 및 개수를 임의로 한 경우

스티프너의 크기, 위치 및 개수가 임의로 된, 균일압축을 받는 구속판요소에서, 판 좌굴계수와 유효폭은 다음과 같이 산정한다.

① 강도 결정

$$k_{loc} = 4(b_o/b_p)^2 \quad (4.12-62)$$

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i}{\beta^2 \left(1 + 2 \sum_{i=1}^n \delta_i \omega_i\right)} \quad (4.12-63)$$

$$\text{여기서, } \beta = \left(2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i + 1\right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.12-64)$$

$$\gamma_i = \frac{10.92 (I_{sp})_i}{b_o t^3} \quad (4.12-65)$$

$$\omega_i = \sin^2 \left(\pi \frac{c_i}{b_o} \right) \quad (4.12-66)$$

$$\delta_i = \frac{(A_s)_i}{b_o t} \quad (4.12-67)$$

$L_{br} < \beta b_0$ 이면, 횡지지에 의한 강도증가를 보완하기 위해 β 를 L_{br}/b_0 로 대체할 수 있다.

② 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭, b_d 는 4.12.4.1.(2)①을 따르되, f 를 f_d 로 대체한다. 여기서 f_d 는 사용성 검토를 위한 하중에서 고려하는 요소의 유효단면을 기준으로 계산된 압축응력이다.

4.12.4.2 중간스티프너가 있는 단부구속판요소

(1) 강도 결정

중간스티프너가 있는 단부구속판요소의 유효폭, b_0 는 다음과 같이 산정한다.

① $b_0/t \leq 0.3285$ 이면, 요소는 전단면이 유효하고, 국부좌굴감소는 하지 않아도 된다.

② $b_0/t > 0.3285$ 이면, 판좌굴계수 k 는 4.12.3을 따르되, 모든 식에서 b_0 는 w 를 대체한다.

가. 4.12.3에서 산정한 k 가 4보다 작으면($k < 4$), 중간스티프너는 무시하고 유효폭 산정은 4.12.3을 따른다.

나. 4.12.3절에서 산정한 k 가 4와 같다면($k = 4$), 단부구속판요소의 유효폭은 4.12.4.1의 규정을 따르되, 다음 예외사항을 고려한다.

4.12.4.1에 따라 산정한 R 은 1보다 작거나 같아야 한다.

여기서, b_0 는 단부구속판요소의 전체 평판폭이다.

(2) 사용성 검토

사용성 검토를 위한 유효폭, b_d 는 4.12.4.2(1)을 따르되, f 를 f_d 로 대체한다. 여기서 f_d 는 사용성 검토를 위한 하중에서 고려하는 요소의 유효단면을 기준으로 계산된 압축응력이다.

4.13 부재의 탄성좌굴 해석

(1) 이 절은 기준에서 부재의 강도를 결정하는데 사용되는 탄성좌굴응력과 단면력(힘 또는 모멘트)을 다룬다.

탄성좌굴(선형탄성재료로 단순화한)은 부재가 서로 대조되는 좌굴과 직선 사이 중립적인 상태인 평형의 하중에서 발생한다.

박판 냉간성형강 부재는 국부좌굴, 단면형상변형좌굴, 전체좌굴 등 적어도 3가지가 관련된 탄성좌굴모드를 가질

수 있다. 전체좌굴모드에는 기둥에 대한 휨좌굴, 비틀림좌굴 또는 휨비틀림 좌굴 및 보에 대한 휨비틀림좌굴이 포함된다. 이 절은 설계과정에서 사용되는 세 가지 관련 좌굴모드를 결정하는 방법을 제공한다.

4.13.1 일반사항

(1) 4.2 ~ 4.6에서는 탄성좌굴응력 또는 단면력(힘 또는 모멘트)을 4.13.2에 따라 수치적으로 계산할 수 있고, 4.13.3에 따라 해석적으로 계산할 수도 있으며, 또는 복합적으로 계산할 수 있다.

압축에서는 전체좌굴, 국부좌굴 및 단면형상변형좌굴의 힘과 응력의 변환에 총단면적을 사용한다. (기준에서 순 단면적 또는 유효단면적 등의 감소된 단면적을 명시적으로 요구하는 경우에는 예외임). 따라서

$$P_{cr} = A_g F_{cr} \quad (4.13-1)$$

여기서, P_{cr} : 압축에 대한 탄성좌굴강도로서, P_{cr} -전체(힘, 비틀림, 또는 휨비틀림)좌굴강도, P_{cr} -국부좌굴강도, 또는 P_{cr} -단면형상변형좌굴강도.

F_{cr} : 압축에 대한 탄성좌굴응력으로서, F_{cr} -전체(힘, 비틀림, 또는 휨비틀림)좌굴응력, F_{cr} -국부좌굴응력, 또는 F_{cr} -단면형상변형좌굴응력.

A_g : 부재의 총단면적

힘에 대한 전체좌굴, 국부좌굴 및 단면형상변형좌굴에서 최외측 압축단에서의 모멘트와 응력 사이의 변환에는 총 단면계수를 사용한다. 다만 기준에서 명시적으로 요구하는 감소된 (예: 순면적 또는 유효면적) 단면계수를 사용하는 경우는 예외로 한다. 따라서

$$M_{cr} = S_f F_{cr} \quad (4.13-2)$$

여기서, M_{cr} : M_{cr} -전체좌굴모멘트(횡비틀림), M_{cr} -국부좌굴모멘트, 또는 M_{cr} -힘 축에 대한 탄성단면형상변형좌굴 모멘트

F_{cr} : F_{cr} -전체좌굴응력(횡비틀림), F_{cr} -국부좌굴응력, 또는 F_{cr} -최외측압축단에 대한 탄성단면형상변형좌굴응력

S_f : 최외측압축단에서 산정된 감소하지 않은 총단면의 탄성단면계수

전단에서 힘과 응력 사이의 전단좌굴 변환은 기준에 의해 감소된 면적이 명시적으로 요구되는 경우를 제외하고는 웨브의 총단면적을 사용해야 한다. 따라서

$$V_{\sigma} = F_{\sigma} A_w \quad (4.13-3)$$

여기서, V_{σ} : 전단탄성좌굴강도

F_{σ} : 전단탄성좌굴응력

A_w : 웨브의 총단면적

4.13.2 수치적 해

(1) 고려하는 좌굴모드에 대해 관련된 역학을 포함하고 있는 모든 수치적 탄성좌굴해를 사용할 수 있다.

국부 좌굴의 경우, 판의 휨과 단면의 단면형상변형이 탄성좌굴모드에 미치는 영향을 고려해야 한다.

단면형상변형좌굴의 경우, 종방향 변형으로 인한 단면형상변형을 포함하여 판의 휨 및 단면 단면형상변형을 고려해야 한다.

전단좌굴(특수한 경우의 국부좌굴 또는 단면형상변형좌굴이나 두 가지 모두)의 경우, 판의 휨 및 단면 단면형상변형에 대한 전단 및 종방향 응력의 상호작용을 고려해야 한다.

전체좌굴의 경우, 특히 이중 대칭이 아닌 단면에 대해 휨과 비틀림(즉, 휨비틀림 좌굴 또는 횡비틀림 좌굴)의 상호작용을 고려해야 한다.

4.13.3 해석적 해

(1) 이 장에서 설명하는 해석적 해는 주어진 경계조건 및 단면형상에 대해 사용할 수 있다. 다른 경계조건 또는 단면형상의 경우 4.13.2의 상세한 수치해석을 사용해야 한다.

4.13.3.1 압축을 받는 부재

(1) 집중하중을 받는 구조용 냉간성형강 부재의 좌굴하중은 이 장에 따라 해석적으로 결정할 수 있다.

① 전체좌굴

전체좌굴하중 P_{cre} 은 다음과 같이 산정해야 한다.

$$P_{cre} = A_g F_{cre} \quad (4.13-4)$$

여기서, F_{cre} : 전체(휩, 흠비틀림, 비틀림) 좌굴강도

A_g : 부재의 총단면적

F_{cre} : 4.3.3.1 ~ 4.3.3.4에 따라 산정된 집중하중을 받는 부재의 전체좌굴응력; 또는 비대칭단면을 포함한 모든 단면에 대해 F_{cre} 는 다음 3차 방정식의 가장 작은 근으로 산정된다.

$$(F_{cre} - \sigma_{ex})(F_{cre} - \sigma_{ey})(F_{cre} - \sigma_t) - F_{cre}^2(F_{cre} - \sigma_{ey})\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2 - F_{cre}^2(F_{cre} - \sigma_{ex})\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2 = 0 \quad (4.13-5)$$

여기서, x 와 y 는 단면의 주축, 그리고

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (4.13-5)$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (4.13-6)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A_g r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.13-7)$$

여기서, K_x : 4.1에 따른 x 축에 대한 휨을 받는 유효길이계수

K_y : 4.1에 따른 y 축에 대한 휨을 받는 유효길이계수

K_t : 4.1에 따른 비틀림을 받는 유효길이계수

L_x : x 축에 대한 휨을 받는 부재의 비지지길이

L_y : y 축에 대한 휨을 받는 부재의 비지지길이

L_t : 비틀림에 대한 부재의 비지지길이

r_x : x 축에 대한 단면2차반경

r_y : y 축에 대한 단면2차반경

J : 단면의 비틀림 상수

G : 강재의 전단탄성계수

E : 강재의 탄성계수

C_w : 단면의 비틀림 와핑 상수

x_o : x 축 방향 도심부터 전단중심까지의 거리

y_o : y 축 방향 도심부터 전단중심까지의 거리

r_o : 전단중심에 대한 극관성반경

$$= \sqrt{x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_p}} \quad (4.13-8)$$

여기서, I_x : x 축에 대한 단면2차모멘트

I_y : y 축에 대한 단면2차모멘트

② 국부좌굴 (F_{crI} , P_{crI})

부재의 국부좌굴강도는 다음과 같이 단면의 요소 중 가장 작은 좌굴응력을 기반으로 해야 한다.

$$P_{crI} = A_g F_{crI} \quad (4.13-9)$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

F_{crI} : 단면의 모든 요소 중에서 가장 작은 국부좌굴응력

$$= k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 \quad (4.13-9)$$

여기서, $k = 4.12$ 에서 다양한 요소별 및 지점조건에 따라 제시되는 판좌굴계수

E : 강재의 탄성계수

t : 요소의 두께

μ : 강재의 푸아송비

w : 요소의 평판 폭

③ 단면형상변형좌굴 (F_{crd} , P_{crd})

이 장의 규정은 보강재가 단순 끝단스티프너인 모든 열린 단면에 적용하고 복합 끝단스티프너인 경우에는 동일한 치수의 보강플랜지가 있는 열린 단면에 적용한다. 탄성 단면형상변형좌굴 하중 P_{crd} 는 다음과 같이 계산해야 한다.

$$P_{crd} = A_g F_{crd} \quad (4.13-10)$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

$$F_{crd} = \frac{k_{ofe} + k_{owg} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{ofe} \tilde{k}_{owg}} \quad (4.13-11)$$

여기서, k_{ofe} : 플랜지에서 플랜지/웨브 교차점으로 제공되는 탄성 회전강성

$$= \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \left[EI_{xf} (x_{of} - h_{xf})^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xf}^2}{I_{wf}} (x_{of} - h_{xf})^2 \right] + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 GJ \quad (4.13-12)$$

k_{owg} : 웨브에서 플랜지/웨브 교차점으로 제공되는 탄성 회전강성

$$= \frac{Et^3}{6h_o(1-\mu^2)} \quad (4.13-13)$$

여기서, h_o : 끝단에서 끝단까지의 웨브 깊이 (그림 4.12-4 참조)

t : 모재의 두께

k_{ϕ} : 요소(횡지지, 패널, 피복재)를 구속함으로써 부재의 플랜지/웨브 접합부에 제공되는 회전 강성(플랜지가 구속되지 않으면 0). 두 개의 플랜지에 제공되는 회전강성이 다르면 더 작은 회전 강성을 사용한다.

\tilde{k}_{ofe} : 플랜지/웨브 교차점에서 플랜지에 요구되는 기하학적 회전강성

$$= \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left\{ A_f \left[(x_{of} - h_{xf})^2 \left(\frac{I_{xf}}{I_{wf}} \right)^2 - 2u_{of}(x_{of} - h_{xf}) \left(\frac{I_{xf}}{I_{wf}} \right) + h_{xf}^2 + u_{of}^2 \right] + I_{xf} + I_{wf} \right\}$$

$$(4.13-14)$$

\tilde{k}_{owg} : 플랜지/웨브 교차점에서 웨브에 요구되는 기하학적 회전강성

$$= \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \frac{th_o^3}{60} \quad (4.13-15)$$

여기서, L : L_{crd} 와 L_m 의 최소값

$$여기서, L_{crd} = \left\{ 6\pi^4 h_o (1 - \mu^2) \left[I_{xf} (x_{of} - h_{xf})^2 + C_{wf} - \frac{I_{xf}^2}{I_{wf}} (x_{of} - h_{xf})^2 \right] \right\}^{1/4}$$

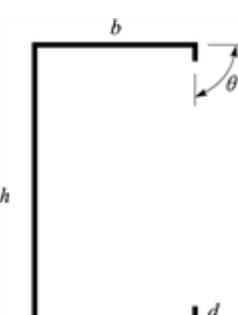
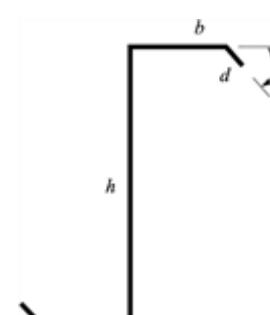
L_m : 단면형상변형좌굴을 구속하는 구속점 사이의 거리

(연속적으로 구속된 부재에서는 $L_m = L_{ext}$)

변수 A_f , J_f , I_x , I_y , I_{xy} , C_{wf} , x_{of} , y_{of} , h_{xf} 는 표 2.3.1.3-1에서 정의되며 변수 L_x , L_y , L_t , E , G , u , A_s 는 4.13.3.1과

4.13.3.1(2)에서 정의된다.

표 4.13-1 C-단면과 Z-단면의 플랜지와 끝단스티프너의 기학학적 물성치

 $J_f = \frac{1}{3}bt^3 + \frac{1}{3}dt^3$ $I_{xf} = \frac{t(t^2b^2 + 4bd^3 + t^2bd + d^4)}{12(b+d)}$ $I_{yf} = \frac{t(b^4 + 4db^3)}{12(b+d)}$ $I_{xyf} = \frac{tb^2d^2}{4(b+d)}$ $x_{of} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $h_{xf} = \frac{-(b^2 + 2db)}{2(b+d)}$ $h_{yf} = u_{of} = \frac{-d^2}{2(b+d)}$	 $J_f = \frac{1}{3}bt^3 + \frac{1}{3}dt^3$ $I_{xf} = \frac{t(t^2b^2 + 4bd^3 - 4bd^3\cos^2(\theta) + t^2bd + d^4 - d^4\cos^2(\theta))}{12(b+d)}$ $I_{yf} = \frac{t(b^4 + 4db^3 + 6d^2b^2\cos^2(\theta) + 4d^3b\cos^2(\theta) + d^4\cos^2(\theta))}{12(b+d)}$ $I_{xyf} = \frac{tbd^2\sin(\theta)(b+d\cos(\theta))}{4(b+d)}$ $x_{of} = \frac{b^2 - d^2\cos(\theta)}{2(b+d)}$ $h_{xf} = \frac{-(b^2 + 2db + d^2\cos(\theta))}{2(b+d)}$ $h_{yf} = u_{of} = \frac{-d^2\sin(\theta)}{2(b+d)}$
--	--

주1) b , d , h 는 단면의 중간선 치수이다.

2) x - y 축시스템은 플랜지의 중심에 위치하며 x 는 중심에서 오른쪽으로, y 는 중심에서 아래로, 향하는 것을 양 (+)으로 한다.

표 4.13-1은 모서리 반지름의 영향을 포함하지 않는다. 더욱 상세한 값도 허용된다.

3) 변수 정의

A_s : 플랜지 단면적(끝단스티프너 포함)

t : 단면의 두께

J_f : 플랜지의 비틀림 상수(끝단스티프너 포함)

I_{x_f} : 플랜지의 x 축 단면2차모멘트

I_{y_f} : 플랜지의 y 축 단면2차모멘트

I_{v_f} : 플랜지의 단면상승모멘트

C_{w_f} : 플랜지의 비틀림 와핑 상수

x_{of} : x 축 방향 플랜지 도심에서 플랜지 전단중심까지의 거리

y_{of} : y 축 방향 플랜지 중심에서 플랜지 전단중심까지의 거리

h_{x_f} : 플랜지 중심으로부터 플랜지/웨브 교차점까지의 x 축 거리

h_{y_f} : 플랜지 중심으로부터 플랜지/웨브 교차점까지의 y 축 거리

4.13.3.2 구멍이 있는 압축 부재

(1) 구멍이 있는 부재의 전체좌굴 (F_{cre} , P_{cre})

전체좌굴강도인 P_{cre} 는 다음과 같이 계산한다.

$$P_{cre} = A_g F_{cre} \quad (4.13-17)$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

P_{cre} : 전체좌굴강도(휨, 휨비틀림, 비틀림)

F_{cre} : 4.3.2.1 ~ 4.3.2.4에 따라 결정되는 부재의 전체좌굴응력 최소값

① 비틀림 또는 휨비틀림 좌굴을 받지 않는 구멍이 있는 단면

이중 대칭 단면, 폐쇄 단면, 비틀림 또는 휨비틀림 좌굴을 받지 않는 다른 단면의 경우, 구멍이 있는 부재의 탄

성휨좌굴응력, F_{cre} 는 다음과 같이 계산한다.

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 EI_{aug}}{A_g (KL)^2} \quad (4.13-18)$$

L : 좌굴 축에 대한 비지지길이

A_g : 부재의 총단면적

L_{avg} : 4.13-2에 정의된 좌굴 축에 대한 가중 평균 단면2차모멘트

표 4.13-2 부재 길이의 중간정도 위치에 구멍이 대칭으로 분포한 경우 가중된 평균 단면 물성치

평균 특성	공식
단면적	$A_{avg} = \frac{A_g L_g + A_{net} L_{net}}{L}$
좌굴 축에 대한 단면2차모멘트	$I_{avg} = \frac{I_g L_g + I_{net} L_{net}}{L}$
비틀림상수	$J_{avg} = \frac{J_g L_g + J_{net} L_{net}}{L}$
x 축 방향에서 도심으로부터 전단 중심까지의 거리	$x_{o,avg} = \frac{x_{o,g} L_g + x_{o,net} L_{net}}{L}$
y 축 방향에서 중심으로부터 전단 중심까지의 거리	$y_{o,avg} = \frac{y_{o,g} L_g + y_{o,net} L_{net}}{L}$
전단 중심에 대한 극관성반경	$r_{o,avg} = \sqrt{x_{o,avg}^2 + y_{o,avg}^2 + \frac{I_{x,avg} + I_{y,avg}}{A_{avg}}}$

주 1) 변수 정의

A_g, A_{net} : 총단면적, 순단면적

L_g : 구멍이 없는 부분의 길이

L_{net} : 구멍의 길이, 또는 순 단면 길이

L : 좌굴 축에 대한 비지지길이

$$= L_g + L_{net}$$

I_g, I_{net} : 좌굴 축에 대한 총단면의 단면2차모멘트, 좌굴 축에 대한 순단면의 단면2차모멘트

J_g, J_{net} : 총단면의 비틀림상수, 순단면의 비틀림상수

$x_{o,g}$, $x_{o,net}$: x 축 방향 총단면 중심에서 총단면 전단중심까지의 거리, x 축 방향 순단면 중심에서 순단면 전단

중심까지의 거리

$y_{o,g}$, $y_{o,net}$: y 축 방향 총단면 중심에서 총단면 전단중심까지의 거리, y 축 방향 순단면 중심에서 순단면 전단중

심까지의 거리

$r_{o,g}$, $r_{o,net}$: 총단면의 전단중심에 대한 극관성반경, 순단면의 전단중심에 대한 극관성반경

② 비틀림 또는 흔비틀림 좌굴을 받는 (구멍이 있는) 이중 또는 단일 대칭 단면

부재의 길이방향 중간높이에서 대칭인 구멍의 영향을 포함하는 단일 대칭단면이 흔비틀림 좌굴응력을 받는 경우, 좌굴응력 F_{cre} 는 4.13.3.2(1)①에 따라 계산된 F_{cre} 에서 작은 값을 취한다. F_{cre} 는 다음과 같이 계산한다.

$$F_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (4.13-19)$$

여기서, $\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 EI_{x,aug}}{A_g (K_x L_x)^2}$ $(4.13-20)$

$$\sigma_t = \frac{1}{A_g r_{o,aug}^2} \left[GJ_{aug} + \frac{\pi^2 EC_{y,net}}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.13-21)$$

여기서, $C_{y,net}$: 구멍에서의 단면 두께를 0으로 가정한 순 와평상수

$$\beta = 1 - \left(\frac{x_{o,aug}}{r_{o,aug}} \right)^2 \quad (4.13-22)$$

변수 A_g , $I_{x,aug}$, J_{aug} , $r_{o,aug}$, $x_{o,aug}$ 는 4.13-2에 정의된 구멍이 있는 가중 평균 단면 특성이며 4.3과 4.5는 4.13.3.1

(1)에 정의된다.

③ 구멍이 있는 점 대칭 단면

구멍이 있는 점 대칭 단면의 경우 4.13.3.2(1)②에서 정의된 바와 같이 F_{cre} 를 작은 σ_t 의 값으로 취해야 하며 2.3.2.1에서 계산한 것과 같이 단면의 부 주축을 사용하여야 한다.

④ 구멍이 있는 비대칭 단면

비대칭 단면을 포함한 모든 단면의 경우 전체 좌굴 응력인 F_{cre} 는 구멍을 가진 부재에 대해 다음 3차 방정식의 가장 작은 값의 근으로 결정한다.

$$(F_{cre} - \sigma_{ex})(F_{cre} - \sigma_{ey})(F_{cre} - \sigma_t) - F_{cre}^2 (F_{cre} - \sigma_{ey}) \left(\frac{x_{o,aug}}{r_{o,aug}} \right)^2 - F_{cre}^2 (F_{cre} - \sigma_{ex}) \left(\frac{y_{o,aug}}{r_{o,aug}} \right)^2 = 0$$

여기서, A_g : 부재의 총단면적

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 EI_{x-aug}}{A_g (K_x L_x)^2} \quad (4.13-24)$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 EI_{y-aug}}{A_g (K_y L_y)^2} \quad (4.13-25)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A_g r_{o-aug}^2} \left[GJ_{aug} + \frac{\pi^2 EC_{w-net}}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (4.13-26)$$

여기서, K_x , K_y : C장에 따라 정해진 각 주축 (x 축, y 축)에 대한 유효길이계수

K_t : 4.1에 따라 정해진 비틀림에 대한 유효길이계수

L_x , L_y : x 축에 대한 힘을 받는 부재의 비지지길이, y 축에 대한 힘을 받는 부재의 비지지길이

L_t : 비틀림에 대한 부재의 비지지길이

J_{aug} : 표 4.13-2에 정의된 가중평균 비틀림 상수

C_{w-net} : 구멍에서의 단면 두께를 0으로 가정한 순 와핑상수

변수 I_{x-aug} , I_{y-aug} , x_{o-aug} , y_{o-aug} 와 r_{o-aug} 는 표 4.13-2에 정의되어 있고, 4.3와 4.5는 4.13.3.1(1)에 정의되어 있다.

(2) 구멍이 있는 부재의 국부좌굴(F_{crl} , P_{crl})

구멍이 있는 부재의 국부좌굴은 4.13.3.1(2)에 따라 계산한다. 모든 요소에 대해 F_{crl} 을 결정할 때, 구멍이 있는 요소는 구멍 위치에서 비보강인 요소와 구멍이 없는 별도의 요소로 계산 한다. 구멍 위치에서 비보강인 요소의 경우, 좌굴응력은 순단면을 고려하기 위해 A_{net}/A_g 비율을 곱하여 수정한다.

(3) 구멍이 있는 부재의 단면형상변형좌굴(F_{crd} , P_{crd})

4.13.3.1(3)의 기하학적 기준을 충족하고 웨브에 구멍이 있는 부재의 경우 단면형상변형좌굴 강도는 4.13.3.1(3)에 따라 결정하고, 식 4.12-14 및 4.13-15에서의 두께 t 는 다음과 같이 수정된 두께 t_r 로 대체한다.

$$t_r = t \left(1 - \frac{L_h}{L_{crd}} \right)^{1/3} \quad (4.13-27)$$

여기서, t : 웨브의 두께

L_h : 구멍의 길이

L_{ord} : 총 단면을 갖는 부재의 반파장 단면형상변형좌굴, 수치적으로 결정하거나 (식. 4.13-16)을 사용한다.

4.13.3.1(3)의 기하학적 기준을 충족하고 웨브를 따라 정형화된 구멍을 갖는 부재의 경우, 단면형상변형좌굴 강도는 4.13.3.1(3)에 따라 결정하고, 식 2.3.1.3-4, 2.3.1.3-6 및 2.3.1.3-7에서의 두께 t 는 다음과 같이 수정된 두께 t_r 로 대체한다.

$$t_r = t \left(\frac{A_{web_net}}{A_{web_gross}} \right)^{1/3} \quad (4.13-28)$$

여기서, A_{web_net} : 구멍면적을 제외한 부재 길이방향의 웨브 표면적

A_{web_gross} : 부재길이 방향의 웨브 표면적

4.13.3.3 힘을 받는 부재

(1) 힘을 받는 냉간성형강 구조용 부재의 좌굴모멘트는 이 장에 따라 해석적으로 산정할 수 있다.

① 전체좌굴 (F_{cre} , M_{cre})

힘을 받는 부재의 전체(횡비틀림) 좌굴모멘트는 적용 가능한 4.4.2.1에 의해 결정한다.

② 국부좌굴 (F_{crl} , M_{crl})

부재의 국부좌굴 모멘트 M_{crl} 은 다음과 같이 최외측 압축단에서의 단면의 요소들 중 가장 작은 좌굴응력값을 기반으로 한다.

$$M_{crl} = S_f F_{crl} \quad (4.13-29)$$

여기서, S_f : 최대 압축응력과 관련하여 산정된 총단면의 탄성단면계수

F_{crl} : 최외측 압축단에서의 국부 좌굴응력

$$= k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 \quad (4.13-30)$$

여기서, k : 4.12에 제시된 다양한 종류의 요소와 지지조건에 대한 판좌굴계수

E : 강재의 탄성계수

t : 요소의 두께

u : 강재의 푸아송비

w : 요소의 평판 폭

③ 단면형상변형좌굴 (F_{crd} , M_{crd})

이 장의 규정은 단일 웨브 열린 단면과 압축플랜지가 웨브의 한쪽으로 연장되어 단일 가장자리가 보강되어 있는 임의의 열린 단면에 적용할 수 있다. 여기서 스티프너는 단순 또는 복합 끝단스티프너 중 하나를 일컫는다.

탄성단면형상변형좌굴모멘트 M_{crd} 는 다음과 같이 계산한다.

$$M_{crd} = S_f F_{crd} \quad (4.13-31)$$

$$\text{여기서, } F_{crd} = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{k_{\phi fg} + k_{\phi wg}} \quad (4.13-32)$$

여기서, β : 모멘트 구배를 고려하기 위한 값으로 보수적으로는 1.0으로 취할 수 있다.

$$= 1.0 \leq 1 + 0.4(L/L_m)^{0.7}(1 + M_1/M_2)^{0.7} \leq 1.3 \quad (4.13-33)$$

여기서, L : L_{crd} 와 L_m 의 최소값

$$\text{여기서, } L_{crd} = \left\{ \frac{4\pi^4 h_o (1 - \mu^2)}{t^3} \left[I_{xf} (x_{of} - h_{xf})^2 + C_{wf} - \frac{I_{xf}^2}{I_{wf}} (x_{of} - h_{xf})^2 \right] + \frac{\pi^4 h_o^4}{720} \right\}^{1/4}$$

$$(4.13-34)$$

L_m : 단면형상변형좌굴을 구속하는 구속점 사이의 거리 (연속적으로 구속된 부재의 경우 $L_m = L_{crd}$)

M_1 , M_2 : 보의 비지지구간(L_m)에서의 최대, 최소 모멘트이다. M_1/M_2 는 모멘트가 역 곡률을 일으킬 때는 양수, 단일 곡률로 구부릴 때는 음수이다.

$k_{\phi fe}$: 플랜지에 의해 플랜지/웨브 접속부로 제공되는 탄성회전강성으로 식 4.13-11에 의해 주어진다.

$k_{\phi we}$: 웨브에 의해 플랜지/웨브 접속부로 제공되는 탄성회전강성

k_{ϕ} : 구속 요소(횡지지, 패널, 피복재)에 의해 부재의 플랜지/웨브 접합부에 제공되는 회전 강성(압축 플랜지가 구속되지 않으면 0)

\tilde{k}_{flg} : 플랜지/웨브 접합부에서 플랜지에 의해 요하는 기하학적 회전강성 식 4.13-13에 의해 주어진다.

\tilde{k}_{web} : 플랜지/웨브접합부에서 웨브로부터 요구하는 기하학적 회전강성,

$$= \frac{h_o t \pi^2}{13440} \left[\frac{[45360(1-\xi_{\text{web}}) + 62160] \left(\frac{L}{h_o} \right)^2 + 448\pi^2 + \left(\frac{h_o}{L} \right)^2 [53 + 3(1-\xi_{\text{web}})]\pi^4}{\pi^4 + 28\pi^2 \left(\frac{L}{h_o} \right)^2 + 420 \left(\frac{L}{h_o} \right)^4} \right]$$

(4.13-35)

여기서, $\xi_{\text{web}} = (f_1 - f_2)/f_1$ 는 웨브의 응력 구배이고, f_1 과 f_2 는 웨브의 반대쪽 끝에서의 응력이다. $f_1 > f_2$ 압축, 압축

은 양수, 인장은 음수 그리고 응력은 전단면을 근거로 계산한다. (예: 순수 대칭 휨, $f_1 = -f_2$, $\xi_{\text{web}} = 2$)

다른 모든 변수는 4.13.3.2(3)에 정의되어 있다.

4.13.3.4 구멍이 있는 부재

(1) 구멍이 있는 휨재의 횡비틀림좌굴강도 (F_{cre} , M_{cre})

전체좌굴 모멘트 M_{cre} 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$M_{\text{cre}} = S_f F_{\text{cre}} \quad (4.13-36)$$

여기서, S_f : 최대 압축응력과 관련하여 산정된 총단면의 탄성단면계수

M_{cre} : 전체(횡비틀림)좌굴 모멘트

F_{cre} : 4.13.3.4(1)①부터 4.13.3.4(1)③에 따라 결정되는 가장 작은 횡비틀림좌굴응력

① 대칭축 휨에 대한 (구멍이 있는) 단일 또는 이중 대칭 단면

부재 길이방향에 따라 대칭으로 배치된 구멍을 가지는 단일 또는 이중 대칭 단면에서 대칭축을 중심으로 구부

러지는 전체(횡비틀림)좌굴응력 F_{cre} 는 다음과 같이 계산한다.

$$F_{\text{cre}} = C_b \frac{r_{o, \text{aug}} A_b}{S_f} \sqrt{\sigma_{eu} \sigma_t} \quad (4.13-37)$$

여기서, C_b : 4.3.2.1(1)②에서 정의하는 모멘트 구배계수

S_f : 식(4.13-36)에 정의되어 있고 나머지 변수들도 4.13.3.2(1)④에 정의되어 있다.

② 구멍이 있는 점 대칭단면

길이방향으로 대칭으로 간격을 둔 구멍을 가지며 단면에서 웨브에 수직이고 도심을 지나는 \times 축 흔에 대한 점

대칭 Z-단면에 대한 전체(횡비틀림) 좌굴응력 F_{cre} 는 다음과 같이 계산해야 한다.

$$F_{cre} = C_b \frac{r_{o,aug} A_g}{2S_f} \sqrt{\sigma_{sy} \sigma_t} \quad (4.13-38)$$

모든 변수들은 4.13.3.4(1)①에 정의되어 있다.

③ 구멍이 있는 폐합 상자형 단면

길이를 따라 대칭으로 간격을 둔 구멍이 있는 폐합 상자형 단면의 전체 (횡-비틀림) 좌굴응력 F_{cre} 는 다음과 같이 계산해야 한다.

$$F_{cre} = C_b \frac{\pi}{S_f K_y L_y} \sqrt{EI_{y,aug} GJ_{aug}} \quad (4.13-39)$$

모든 변수는 4.13.3.4(1)①과 4.13.3.2(1)④에 정의되어 있다.

(2) 구멍이 있는 부재의 국부좌굴 (F_{cr1} , M_{cr1})

구멍이 있는 부재의 국부좌굴은 4.13.3.2(2)에 따라 계산한다. 모든 요소에 대해 F_{cr1} 을 결정할 때, 구멍이 있는 요소는 구멍 위치에서 비지지 요소와 구멍이 없는 별도의 요소로 계산한다. 구멍 위치에서의 비지지 요소의 경우, 순단면을 고려하기 위해 좌굴응력에 S_{fnet}/S_f 비율을 곱하여 좌굴응력을 수정한다.

(3) 구멍이 있는 부재의 단면형상변형좌굴 (F_{crd} , M_{crd})

4.13.3.3의 기하학적 기준을 충족하고 웨브에 구멍이 있는 부재의 경우, 단면형상변형좌굴 모멘트는 4.13.3.3

(1)③에 따르고, 식 (4.13-35)에서 제시된 두께 t 는 다음과 같이 수정된 두께 t_r 로 대체하여 결정한다.

$$t_r = t \left(1 - \frac{L_h}{L_{crd}} \right)^{1/3} \quad (4.13-40)$$

여기서, t : 웨브의 두께

L_h : 구멍의 길이

L_{crd} : 수치적이나 식 (4.13-34)를 사용함으로서 정의된 부재의 전단면에 대한 단면형상변형좌굴 반파장 길이

4.13.3.3(1)③의 기하학적 기준을 충족하고 웨브를 따라 패턴이 있는 구멍(들)을 갖는 부재의 경우에는 단면형상좌굴모멘트를 4.13.3.3(1)③에 따라 산정해야 한다. 식 (4.13-34) 및 식 (4.13-35)에서 제시된 두께 t 는 다음과 같이 수정된 두께 t_r 로 대체한다.

$$t_r = t \left(\frac{A_{\text{web, net}}}{A_{\text{web, gross}}} \right)^{1/3} \quad (4.13-41)$$

여기서, t : 웨브의 두께

$A_{\text{web, net}}$: 부재길이에 따른 구멍 면적을 제외한 웨브의 표면 단면적

$A_{\text{web, gross}}$: 부재길이에 따른 웨브의 표면 단면적

4.13.3.5 전단좌굴강도 (V_{cr})

(1) 탄성 전단좌굴강도 V_{cr} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_{cr} = k_v \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} A_w \quad (4.13-42)$$

여기서, V_{cr} : 웨브의 탄성 전단좌굴강도

E : 강재의 탄성계수

A_w : 웨브의 단면적

μ : 강재의 푸아송비

h : 웨브의 면을 따라 측정되는 웨브의 면 부분의 깊이

t : 웨브의 두께

k_v : 전단좌굴계수 4.5.2.3에 따라 계산되거나, 단일 웨브 및 일연지지 압축 플랜지가 있는 열린 단면에 대해 스티

프너가 단순 또는 복합 끝단스티프너인 웨브의 한쪽으로 연장되는 전단좌굴계수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$k_v = \frac{0.9}{\sin 2\varphi} \left[\frac{1}{(L/h)^2 \cos^2 \varphi} + C_1 (L/h)^2 \cos^2 \varphi + C_2 (1 + 2 \sin^2 \varphi) \right]$$

(4.13-43)

여기서, $\varphi = \arccos(\sqrt{C_3 + \sqrt{C_3^2 + C_4}})$ (4.13-44)

$$C_1 = \frac{5.143e^2 + 64.58e + 108.6}{e^2 + 20.57e + 108.6}$$

$$C_2 = \frac{2.472\epsilon^2 + 41.14\epsilon + 217.2}{\epsilon^2 + 20.57\epsilon + 108.6}$$

$$C_3 = \frac{1.5C_2 - \frac{2}{(L/h)^2}}{4C_2 + C_1(L/h)^2}$$

$$C_4 = \frac{\frac{3}{(L/h)^2}}{4C_2 + C_1(L/h)^2}$$

L : L_{ord} 과 L_m 의 최소값

여기서, $L_{ord} = 0.85h$

L_m : 전단좌굴을 구속하는 구속점 사이의 거리

$$\epsilon = \frac{k_{ofe}h}{Et^3/[12(1-\mu^2)]}$$

여기서, k_{ofe} : 플랜지/웨브 교차부에서 플랜지에 의한 탄성회전강성
