한국전산구조공학회
1999년도 봄학술발표회 논문집

철골볼트 접합부 존재응력설계와 부재내력설계의 비교 연구

A Comparative Study on Design by Actual Stress and Design by Member Strength in Bolt Connections

이 만 승*
Lee, Man-Seung

ABSTRACT

There are two methods commonly used in design of splice plate connection of frame structure. The one is Design by Actual Stress which can sufficiently transfer actual force to an adjacent member using rows of bolts. The other is Design by Member Strength which is able to transfer total allowable stress of effective section area to a connected member. In real design, as a matter of convenience, Standard Connection Drawings have used according to Design by Member Strength. But this method underestimate connection force in shear connection where large connection moment occured.

In this study, these Design methods are compared by connection moment in shear connections. and the adequate use of them are recommended. Also In order to evaluate more accurately the actual stress of splice plate of flange on moment connection, a new calculation method of it is recommended.

1. 서 론

철골구조물은 구조부재들의 접합으로 구성되므로 접합부는 구조물 전체의 안전을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 접합부 설계에 사용되는 방법은 두가지로 분류할 수 있는데 유럽이나 미국에서 사용하는 방법으로 부재의 존재응력(부재력)을 충분히 전달할 수 있도록 설계하는 존재응력설계와 일본과 국내에서 많이 사용되는 방법인 접합부재의 유효단면적의 전허용응력을 전달할 수 있도록 설계하는 부재내력설계(전강도설계)가 있다.

존재응력설계는 합리적이고 접합부 물량을 최소로 구성할 수 있으나 존재응력의 정확한 예상과 계산을 위해 구조해석시 작용하중을 정확한 하중조합으로 분류하여 상당히 많은 하중조합조건에 대해 해석을 수행해야만 구할 수 있는 각 접합부 하중성분의 최대값을 사용해야 하기 때문에 많은 시간과 노력이 요구된다. 이와같은 단점때문에 실무에서는 존재응력에 대한 검토없이 설계자가 예기치 못한 응력이 발생하더라도 설계품질을 유지하기 쉬운 안전한 방법인 부재내력설계가 주로 사용되고 있다.

부재내력설계에서는 접합부에 실제로 발생하는 하중이 필요치 않으므로 자주 쓰이는 단면(특히 H형강) 대해서는 표준화된 접합부 도면이 일반적으로 사용된다.

* 정회원 · 포스코개발(주) 설계본부 대리, 공학석사

한편, 많은 시간과 노력이 소요되므로 인해 설계자들이 꺼려하였던 존재응력 설계방식의 절차를 정도있게 정식화하여 전산화하면 이러한 단점들이 다소 줄어들 수 있으므로 두 설계방법을 적절하게 활용할 수 있으리라 생각된다.

본 연구에서는 두가지 철골볼트접합부 계산방식을 비교하고 핀접합부(Shear connection)에서 전단력과 편심모멘트(Connection moment)가 큰 경우에 대해서는 부재내력에 의한 설계가 접합내력을 과소평가하는 경우가 있음을 설명하고 기준을 제시하였다. 또한 존재응력설계에 의한 Moment접합부(Moment connection)계산에서 새로운 Flange이음판(Splice plate)계산방법을 제안하고 기존의 방법과 비교하였다. 계산에 사용된 접합부에 대한 가정은 다음과 같다.

① 축방향력 또는 전단력을 전달하는 접합부에서 볼트응력은 모재를 강체로 가정하여 응력방향으로 균등하게 분포하는 것으로 가정한다.
② 휨 모멘트를 전달하는 접합부의 볼트응력은 회전중심부터의 거리에 비례하는 것으로 보고 산정한다.
③ 존재응력설계에서 휨 모멘트는 Flange와 Web에 이들의 단면 2차모멘트의 비로 배분된다.
④ 형강은 Flange에서는 전단력의 분포가 미소하기 때문에 전단력은 모두 Web에서 부담하는 것으로 가정한다.
⑤ 축방향력은 전단면적에서 각 부분의 면적에 비례하여 부담하는 것으로 가정한다.

2. 부재내력에 의한 접합부 설계

2.1 전단접합부에서 Web 볼트산정

형강보에서 전단접합(핀접합)은 볼트 혹은 고력볼트에 의해 이웃부재에 Flange는 접합하지 아니하고 Web만 접합한 경우를 의미한다. 여기서 볼트배치는 설계규준에 따라 규칙적으로 최소간격이상으로 배치되는 것으로 한다.

전단 접합부에서 전단력을 부담하는 Web의 소요볼트수, n_w 는

$$n_w = \frac{V}{R_f}$$

최대설계하중, $V = A_{ew} \cdot f_s$

$$A_{ew} = t_w \cdot (H - 2t_f - m \cdot d)$$

여기서, V : Web가 지지하는 전단력

R_f : 한 개의 볼트가 지지하는 허용전단력

A_{ew} : 볼트구멍을 공제한 Web의 단면적

f_s : Web의 허용 전단응력

t_w : Web 두께

H : 보의 깊이

t_f : Flange 두께

m : 볼트의 부재깊이 방향 행수

d : 볼트구멍 직경

3. 존재응력에 의한 접합부 설계

3.1 전단 접합부에서 Web 볼트산정

볼트에 작용하는 힘은 전단력과 편심에 의한 휨모멘트(Connection Moment)이므로 하나의 볼트에 부과되는 최대 전단력은 다음과 같이 구할 수 있다.(Fig. 1, 2 참조)

수직 방향 전단력

$$N_y = \frac{V}{(m\ n)} + \frac{M}{I_p} \cdot r_{x,\ max}$$

$$I_p = I_x + I_y = \sum r_{x\,i}^2 + \sum r_{y\,i}^2 = \sum (r_{x\,i}^2 + r_{y\,i}^2) = \sum r_i^2$$

수평 방향 전단력

$$N_x = \frac{M}{I_p} \cdot r_{y,\ max}$$

볼트에 부과되는 최대 전단력, $N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2}$,

설계만족 조건, $N \leq N_{al}$ (볼트의 허용 전단력)

여기서, M : 편심에 의한 휨모멘트(Connection moment)

I_P : 극관성 모멘트의 거리 성분

$r_{x,\ max}$: 접합중심에서 수평방향 최외단 볼트까지의 거리

$r_{y,\ max}$: 접합중심에서 수직방향 최외단 볼트까지의 거리

V : 작용 전단력

m : 볼트의 부재깊이 방향 행 수

n : 볼트의 부재길이 방향 행 수

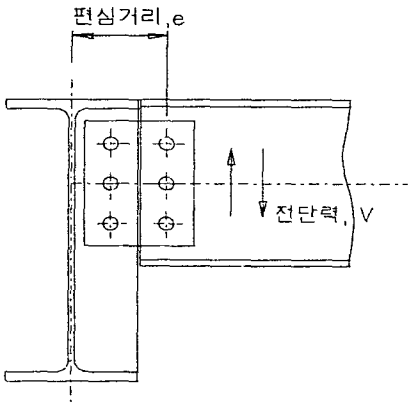


Fig. 1 전단접합의 Connection Moment

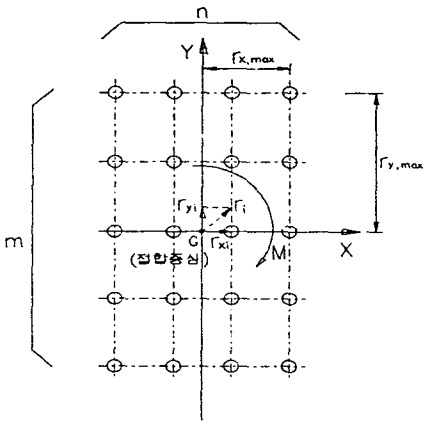


Fig. 2 접합부에서 극관성 모멘트의 거리성분

3.2 모멘트 접합부에서 Flange 및 Flange 이음판 검토

모멘트 접합부는 모멘트 M, 전단력 Q 및 축방향력 N이 동시에 작용하므로 Flange는 M과 N을 분담하고 Web는 M, N, 및 Q를 각각 분담하는 것으로 한다.

(1) Flange에 작용하는 하중산정

Flange에 작용하는 축하중은 다음과 같다.

$$\sum N_{FL} = N_{FL} + N_{FL,M}$$

$$N_{FL} = N \cdot \frac{A_{FL}}{A}$$

$$N_{FL,M} = \frac{M_{FL}}{h}$$

$$M_{FL} = M \cdot \frac{I_{FL}}{I}$$

$$I_{FL} = 2 \cdot B \cdot t_f \cdot h^2$$

여기서, N_{FL} : Flange에 작용하는 축력

$N_{FL,M}$: 모멘트에 의해 Flange에 발생하는 축력

M_{FL} : Flange에 작용하는 모멘트

h : 두 Flange 단면 중심간의 거리 $(=H-t_f)$

I_{FL} : Flange의 단면 2차모멘트

I : 보의 단면 2차모멘트

B : Flange폭

(2) Flange 이음판에 작용하는 하중산정

Flange에 작용하는 하중을 외측 Flange 이음판과 내측 Flange 이음판으로 분배하여 다음과 같이 구할 수 있다.

외측 이음판에 작용하는 축하중, N_O

$$N_O = \frac{N_{FL}}{\sum A} \cdot A_O + \frac{N_{FL,M}}{\sum S_O} \cdot S_O$$

내측 이음판에 작용하는 축하중, N_I

$$N_I = \frac{N_{FL}}{\sum A} \cdot A_I + \frac{N_{FL,M}}{\sum S} \cdot S_I$$

여기서, A_O, A_I : 외측과 내측 이음판의 단면적

$\sum A$: 외측과 내측 이음판의 단면적의 합

S_O, S_I : 외측과 내측 이음판의 단면 1차 모멘트

$\sum S$: 외측과 내측 이음판의 단면 1차 모멘트의 합

또한, $N_O + N_I$ 는 (1)절의 $\sum N_{FL}$ 값과 동일해야 한다.

(3) Flange 볼트 전단력 및 응력 검토

1) Flange plate

볼트 전단력, $N = \frac{\sum N_{FL}}{2\ m\ n} \leq N_{al}$ (볼트 허용 전단응력 ; 2면 전단)

지압응력, $\sigma_b = \frac{N}{d \cdot t_f} \leq \sigma_{al}$ (허용 지압응력)

순단면적에 대한 응력, $\sigma_{NET} = \frac{\sum N_{FL}}{A_{NET}} \leq \sigma_t$ (허용 인장응력)

$A_{NET} = (B - nd)t_f$

여기서, 2 : 2면 전단상태에서 하중을 반으로 나눈값

$m,\ n$: 한쪽 Flange의 볼트수

A_{NET} : 볼트구멍을 공제한 Flange 단면적

n : Flange폭방향 볼트 행수

2) 외측 Flange 이음판

볼트전단력, $F_O = \frac{N_O}{m\ n} \leq F_{al}$ (볼트 허용 전단응력 ; 1면 전단)

지압응력, $_O\sigma_b = \frac{F_O}{d\ t_f} \leq \sigma_{al}$ (허용 지압응력)

순단면적에 대한 응력, $_O\sigma_{NET} = \frac{F_O}{_OA_{NET}} \leq \sigma_t$ (허용 인장응력)

$_OA_{NET} = (B - n\ d)\ \ _Ot_f$

여기서, N_O : 외측 Flange 이음판에 작용하는 축하중

$_OA_{NET}$: 볼트구멍을 공제한 외측 Flange이음판의 단면적

$_Ot_f$: 외측 Flange 이음판 두께

3) 내측 Flange 이음판

볼트전단력, $F_I = \frac{N_I}{m\ n} \leq F_{al}$ (볼트 허용전단응력 ; 1면 전단)

지압응력, $_I\sigma_b = \frac{F_I}{d\ t_f} \le \sigma_{al}$ (허용 지압응력)

순단면적에 대한 응력, $_I\sigma_{NET} = \frac{F_I}{_IA_{NET}} \le \sigma_t$ (허용 인장응력)

$$_IA_{NET} = (B - n \cdot d) \cdot\ _It_f$$

여기서, N_I : 내측 Flange 이음판에 작용하는 축하중

$_IA_{NET}$: 볼트구멍을 공제한 내측 Flange이음판의 단면적

$_It_f$: 내측 Flange 이음판 두께

4. 부재내력 설계와 존재응력 설계의 비교

4.1 전단 접합부에서 비교

전단 접합부에서 Roll된 구조용강 SS400, H형강의 고력볼트 마찰접합에 대해서 앞절의 부재내력설계식으로 계산된 표준 접합부[1] 가 존재응력설계에서 고려되는 편심모멘트(Connection moment)에 따른 영향을 검토한다.

Table 1은 Web 접합부 볼트가 1열로 구성된 H형강을 보깊이(H198~H700)에 따라 한가지씩 선정하여 부재내력설계에서 받을 수 있는 최대 전단력을 구했고, 또한 이 최대 전단력이 작용할 때 존재응력설계에서 허용될 수 있는 최대 편심거리를 나타내었다. Table 1에서 알 수 있는 것처럼 대부분의 부재가 부재내력설계에서 최대전단력이 작용할때 존재응력설계에서는 허용되는 편심거리가 없으므로 편심모멘트에 대한 여유강도가 없다. 따라서 구조설계시 정해지는 접합부의 편심거리에서 최대로 받을 수 있는 전단력을 Fig. 3과 같이 존재응력설계에서 결정한 후 이를 초과하는 전단력이 발생할때는 부재내력설계조건이 만족되더라도 존재응력설계조건은 만족시키지 못하는 경우가 된다. 그러므로 두 설계조건을 모두 만족하는 설계를 하기 위해서는 각 부재접합부에서 편심거리에 따른 허용 최대전단력이 평가기준이 될 수 있다.

Table 1 H 형강의 부재내력설계에서 최대전단력과 존재응력설계에서 허용편심거리

H형강	접합볼트	Web 볼트수 (EA)	볼트간격 (mm)	f_s (kgf/mm^2)	A_{ew} (mm^2)	최대전단력 (kgf)	편심거리 (mm)	참고문헌1의 기호
H 198×99×4.5/7	F10T-M16	4	60	12	670	8050	33	GGF-1001
H 250×125×6/9	F10T-M16	6	90	12	1180	14200	0	GGF-1004
H 300×150×6.5/9	F10T-M16	6	60	12	1490	17900	5	GGF-1008
H 400×200×8/13	F10T-M20	6	90	12	2430	29100	0	GGF-1015
H 500×200×10/16	F10T-M20	8	90	12	3740	44900	0	GGF-1023
H 600×200×11/17	F10T-M20	10	90	12	4930	59200	0	GGF-1029
H 700×300×13/24	F10T-M20	14	60	12	6340	76000	0	GGF-1127

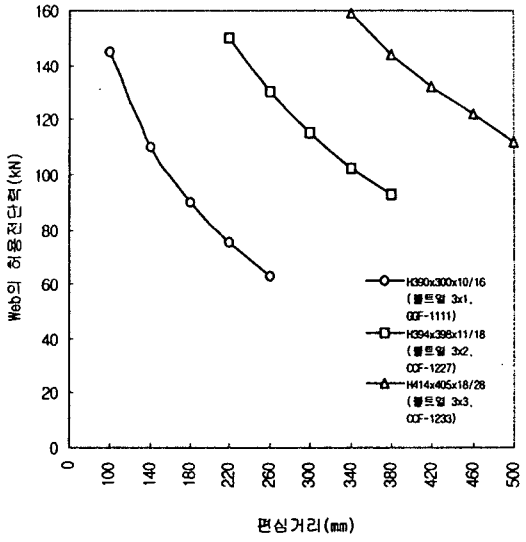
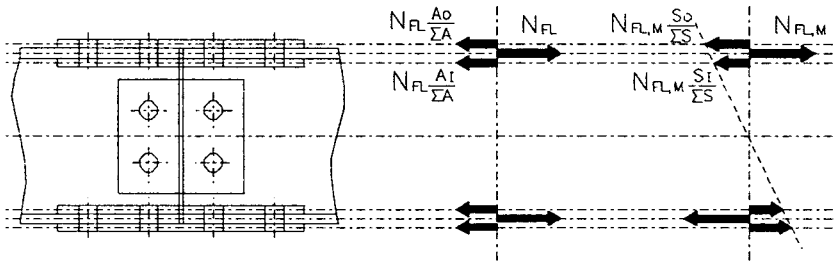


Fig. 3 H400 형강의 편심거리에 따른 Web 허용 전단응력

4.2 모멘트 접합부에서 비교

모멘트 접합부는 기본적으로 부재내력설계에서는 허용 휨모멘트는 Flange에 작용하고 허용전단력은 Web에 분담하여 작용하는 것으로 가정하는데 반해서 존재응력설계에서 휨모멘트는 Flange와 Web에 이들의 단면 2차모멘트의 비로 배분된다. 본 연구에서는 존재응력설계에서 새로운 Flange이음판의 계산방법을 제안하였다. 현재까지는 Flange에 작용하는 축력성분과 휨모멘트에 의해 Fiange에 작용하는 축력성분을 더한 축력에 안전하도록 Flange이음판을 설계해 왔다. 그러나 Fig. 4처럼 휨모멘트에서 발생하는 축력은 거리에 비례하므로 Flange 외측 이음판과 Flange 내측 이음판에서 크기가 달라진다. 따라서 3.2절(2)와 같이 이들 다른 축력성분들을 분리하여 Flange이음판을 설계하는 것이 정확한 평가라고 판단된다.



(a) H형강의 Flange 이음 (b) 축력성분 (c) 모멘트 성분

Fig. 4 Flange와 Flange 이음판에 작용하는 축력성분과 휨 모멘트 성분(기호는 3.2절(2) 참조)

5. 결 론

철골 전단 접합부를 부재내력설계에 의한 표준화 도면을 사용하여 설계할때 Web접합부에서 작용 전단력과 편심모멘트가 큰 경우 (특히 두 하중이 모두 큰 경우)에는 접합부가 존재응력설계의 관점에서 보면 약하게 설계될 수 있다. 따라서 표준화된 접합부를 사용할때 접합부 전단응력이 크고 편심거리가 큰 경우에는 존재응력설계에 의한 검토가 함께 검토되어야 한다고 판단된다.
한편으로 존재응력설계에 의한 모멘트접합부 Flange이음판 계산은 제안된 식이 기존방식보다 다소 복잡하지만 계산과정을 전산화함으로써 이런 불편함을 해결한다면 정확한 평가측면에서 볼 때 바람직한 방향이라고 생각된다.

참고문헌

1. 철골구조 접합부 표준화 위원회, "철골구조 표준 접합부 SCSS(1) 上, 下", 공간도서, 1987.
2. 신종순, "철골구조의 설계", 청문각, 1997, pp.330~408.
3. 최인성,유승규 편저, "철골구조물의 접합부 설계 · 시공", 대건사, 1994, pp.92~99
4. 김혜숙, "철골구조물의 접합부설계(Bolt 접합)", 포스코개발주식회사, '97년도(제5회) 설계기술연구집, IR-530-44, 1997, pp.3~51.
5. 이병우, "고로 Tower Structure Joint Type 정리", 포스코개발주식회사, 종합기술계획 보유기술정리 기반기술부문, 1999.