

TÍNH TOÁN LIÊN KẾT BU LÔNG TRONG NÚT KHUNG NHÀ CÔNG NGHIỆP

ThS. Nguyễn Thanh Hà

Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Ở Việt Nam hiện nay việc tính toán cấu tạo liên kết bu lông ở nóc khung thép nhà công nghiệp còn chưa thống nhất vì chưa có chỉ dẫn cụ thể trong tiêu chuẩn thiết kế. Bài viết này đề cập đến một số cách tính cho liên kết bu lông ở nóc khung, cụ thể là giả thiết liên kết quay quanh trục trung hòa; quay quanh hàng bu lông ngoài cùng và quay quanh tâm cánh nén của tiết diện cột. Kết quả tính toán làm rõ hơn ưu nhược điểm khi áp dụng các cách tính này.

Summary: The structural engineers often meet difficulties when selecting design methods for bolt connections in pre-engineering buildings because specific guide of the design has not been mentioned in the design norm of Vietnam. This paper presents design methods for horizontal knee connections of pre-engineering buildings with the assumption of zezo-moment points at the neutral axis, the outermost row of bolts and the center of compression flange of column section. The advantages and disadvantage of these methods are also presented.

1. Đặt vấn đề

Nhà thép tiền chế là một trong những công trình áp dụng công nghệ xây dựng mới đang được phát triển nhanh chóng và được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới. Với những ưu điểm nổi trội như thời gian xây dựng nhanh, độ tin cậy cao, tiết kiệm vật liệu, chế tạo dễ dàng, chính xác, tiện bảo quản, trọng lượng nhẹ,..., nhà thép tiền chế dạng khung thép đã nhanh chóng được chấp nhận và phổ biến đối với ngành xây dựng công nghiệp ở nước ta hiện nay.

Trước đây, khi thiết kế khung thép vượt nhịp lớn ta thường dùng các giàn tổ hợp từ các thanh thép góc. Phương pháp này đáp ứng được vấn đề chịu lực, tiết kiệm vật liệu nhưng chiều cao giàn thường khá lớn, tốn công chế tạo. Để khắc phục nhược điểm đó người ta đã thay thế giàn thép bằng dầm thép. Loại cấu kiện này có thể vượt được nhịp lớn, trong khi đơn giản cho chế tạo và chiều cao nhỏ hơn giàn nhiều.

Để có thể vận chuyển đến công trường và đơn giản cho lắp dựng thì tại các vị trí nối của khung thép tiền chế thường sử dụng liên kết bu lông. Một trong những mối nối quan trọng của khung là nối dầm với cột thép. Tuy nhiên, việc tính toán, cấu tạo mối nối này chưa có chỉ dẫn thống nhất theo quy phạm nên người thiết kế còn lúng túng. Bài báo này giới thiệu một số cách tính liên kết bu lông của nút khung và đồng thời làm rõ hơn ưu nhược điểm khi áp dụng các cách tính này.

2. Bố trí bu lông ở nút khung

Trên thực tế ở nách khung thường sử dụng bản bích với 2 cách bố trí bu lông: cách 1 là bố trí 2 bu lông trên 1 hàng, cách 2 là 4 bu lông trên một hàng [2, 3, 4, 5, 6]. Ứng với mỗi cách bố trí này, tùy thuộc vào số lượng bu lông và cách bố trí các sườn gia cường ta chia thành 3 trường hợp (Hình 1). Bài báo này chỉ xét đến tính toán cho cách liên kết có 2 bu lông trên mỗi hàng và không xét đến sườn gia cường.

Ở liên kết nút khung thép tiền chế thường sử dụng 5 loại bu lông đường kính $\phi 16$, $\phi 20$, $\phi 24$, $\phi 27$, $\phi 30$. Để đạt hiệu quả về cả chịu lực và kinh tế thì các bulông được bố trí thành nhóm ở xa trục trung hòa, khoảng cách các bulông tại mỗi nhóm dùng khoảng cách nhỏ nhất theo điều kiện cấu tạo (bảng 1)

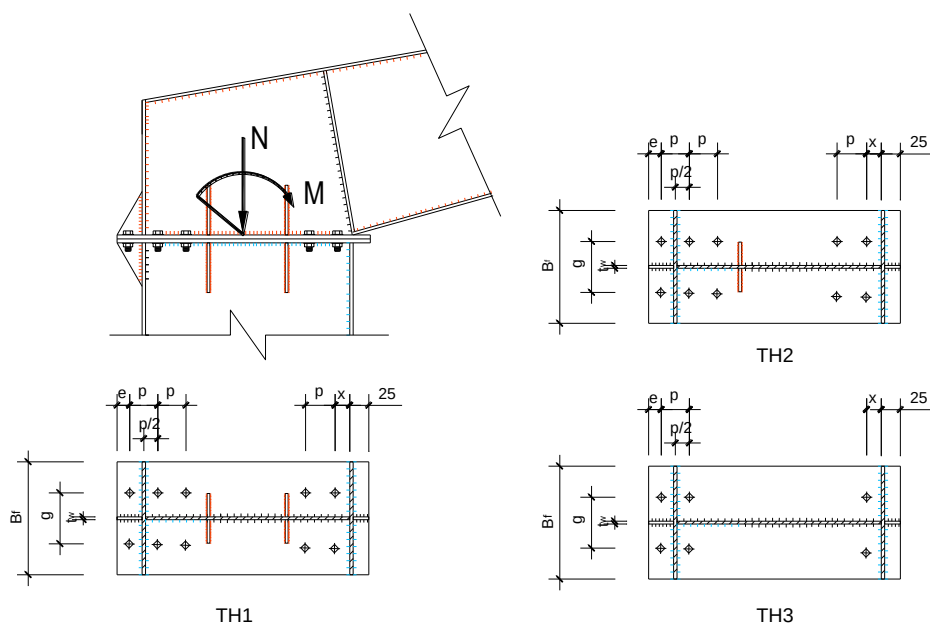
Bảng 1. Khoảng cách bố trí bulông thường dùng (mm)

Ký hiệu	Đường kính bulông $\phi \leq 24\text{mm}$ $\phi 16, \phi 20, \phi 24$	Đường kính bulông $\phi \geq 24\text{mm}$ $\phi 24, \phi 27, \phi 30$
b	60	80
x	60÷100	60÷100
g	100	120
p	100	120
e	45	55

(Các ký hiệu b, x, g, p, e xem hình vẽ 1)

3. Tính toán liên kết

Nội lực để tính toán liên kết nút khung bao gồm momen M, lực dọc N, lực cắt V. Xét trường hợp bố trí bulông ở nút khung chịu mômen có chiều quay như hình 1.



Hình 1. Các trường hợp bố trí bu lông ở liên kết nút khung

3.1. Cách tính thứ nhất: (Hình 2) [3,4,5]

Coi liên kết quay quanh trục trung hòa. Lực bulông phải chịu có kể đến sự biến dạng thực tế của liên kết. Dưới tác dụng của momen M và lực nén N bản bích bị xoay, gây nén cho một phần bản bụng và cánh cột liền kề.

Gọi y là khoảng cách từ trục trung hòa đến mép ngoài bản bụng phía cánh nén; A_f là diện tích tiết diện bản cánh cột; A_b là diện tích tiết diện ngang 1 bulông; Z_i là lực kéo trong hàng bulông thứ i (tính từ mép ngoài vùng kéo vào); σ_n là ứng suất nén ở cánh cột (do cánh cột là mỏng so với chiều cao tiết diện cột gần đúng coi như ứng suất phân bố đều)

Để đơn giản cho tính toán, gần đúng coi hợp lực của 3 hàng bulông là $3Z = 3Z_2 = Z_1 + Z_2 + Z_3$ và với giả thiết bản bích là cứng và phẳng thì biến dạng tỷ lệ với khoảng cách đến trục trung hòa.

Lập 3 phương trình cân bằng để xác định 3 ẩn số là y , Z , σ_n

Phương trình hình chiếu các lực lên phương đứng

$$\sigma_n \cdot A_f + \frac{t_w \cdot y}{2} \cdot \sigma_n - N - 3 \cdot Z = 0 \quad (1)$$

Phương trình cân bằng momen lấy với trọng tâm vùng ứng suất nén

$$3 \cdot Z \cdot \left[h - \left(t_f + \frac{y}{3} \right) - \frac{p}{2} \right] + \sigma_n \cdot A_f \cdot \left(\frac{y}{3} + \frac{t_w}{2} \right) = M - N \cdot \left(\frac{h_w}{2} - \frac{y}{3} \right) \quad (2)$$

Phương trình biến dạng:

$$\frac{\epsilon_{bl}}{\epsilon_n} = \frac{C}{y} \Rightarrow \frac{Z}{2 \cdot A_b \cdot E} = \frac{\sigma_n}{E} \cdot \frac{(a-y)}{y} \quad (3)$$

$$\text{Đặt } a = h_w + \frac{t_f}{2} - \frac{p}{2} \quad \text{suy ra} \quad Z = \sigma_n \cdot \frac{a-y}{y} \cdot 2A_b \quad (4)$$

Thay (4) vào (1), ta được

$$\sigma_n \cdot A_f + \frac{t_w \cdot y \cdot \sigma_n}{2} - 3 \cdot \frac{\sigma_n}{y} \cdot 2A_b \cdot (a-y) - N_n = 0 \quad (5)$$

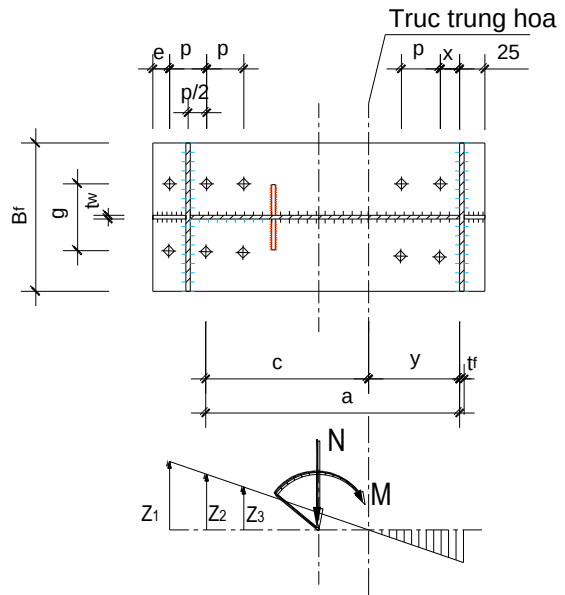
Biểu diễn σ_n theo y , ta được

$$\sigma_n = \frac{N \cdot y}{\frac{t_w}{2} \cdot y^2 + (6A_b + A_f) \cdot y - 6a \cdot A_b} \quad (6)$$

Thay (4) vào (2), ta được:

$$3 \cdot \sigma_n \cdot \frac{a-y}{y} \cdot 2A_b \cdot \left[a - \frac{y}{3} \right] + \sigma_n \cdot A_f \cdot \left(\frac{y}{3} + \frac{t_w}{2} \right) = M - N \cdot \left(\frac{h_w}{2} - \frac{y}{3} \right) \quad (7)$$

Đặt $B = M - N \cdot \frac{h_w}{2}$, ta có:



Hình 2. Tâm quay là trục trung hòa

$$\sigma_n = \frac{\left(\frac{Ny}{3} + B\right) \cdot y}{\left(2A_b + \frac{A_f}{3}\right) \cdot y^2 + \left(\frac{A_f \cdot t_f}{2} - 8a \cdot A_b\right) \cdot y + 6a^2 \cdot A_b} \quad (8)$$

Từ (6) và (8) ta lập được phương trình chứa ẩn số y

$$\frac{N \cdot y}{\frac{t_w}{2} \cdot y^2 + (6A_b + A_f) \cdot y - 6a \cdot A_b} = \frac{\left(\frac{Ny}{3} + B\right) \cdot y}{\left(2A_b + \frac{A_f}{3}\right) \cdot y^2 + \left(\frac{A_f \cdot t_f}{2} - 8a \cdot A_b\right) \cdot y + 6a^2 \cdot A_b} \quad (9)$$

Đặt $a = h_w + \frac{t_f}{2} - \frac{p}{2}$ và $B = M - N \cdot \frac{h_w}{2}$, ta có

$$f(y) = \frac{N \cdot t_w}{6} \cdot y^3 + \frac{B \cdot t_w}{2} \cdot y^2 + \left[6(Na + B) \cdot A_b + \left(B - \frac{Nt_f}{2}\right) \cdot A_f\right] \cdot y - 6a(Na + B) \cdot A_b = 0 \quad (10)$$

Đặt $a_1 = \frac{N \cdot t_w}{6}$; $a_2 = \frac{B \cdot t_w}{2}$; $a_3 = \left[6(Na + B) \cdot A_b + \left(B - \frac{Nt_f}{2}\right) \cdot A_f\right]$; $a_4 = -6a(Na + B) \cdot A_b$, ta nhận được

$$f(y) = a_1 \cdot y^3 + a_2 \cdot y^2 + a_3 \cdot y + a_4 = 0 \quad (11)$$

Biểu thức (11) có dạng là phương trình bậc 3 dạng $f(y) = 0$. Giải phương trình này tìm được chiều cao vùng nén y của bản bụng và từ y suy ra ứng suất nén lớn nhất

$$\sigma_n = \frac{N \cdot y}{\frac{t_w}{2} \cdot y^2 + (6A_b + A_f) \cdot y - 6a \cdot A_b} \quad (12)$$

Từ đó kết hợp (12) với (4), ta có

$$Z = Z_2 = \sigma_n \frac{a - y}{y} \cdot 2A_b \quad (13)$$

Lực kéo lớn nhất của 2 bulông hàng ngoài cùng

$$Z_1 = \frac{a - y + p}{a - y} \cdot Z \quad (14)$$

3.2. Cách tính thứ 2 (Hình 3) [3]

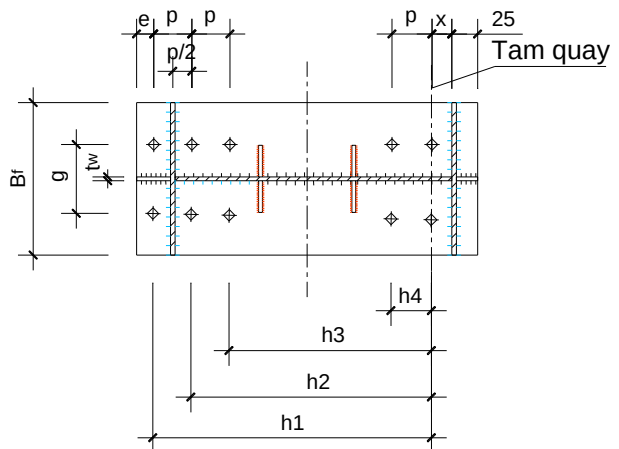
Coi liên kết xoay quanh hàng bulông ngoài cùng phía nén, lực kéo lớn nhất tại bulông ngoài cùng phía kéo. Khi lực dọc N nén, momen gây uốn làm tách hai bản bích xa nhau ra, lực dọc lại ép hai bản vào nhau, hạn chế bớt sự uốn tách này.

- Thiên về an toàn ta bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc N này. Khi đó lực kéo lớn nhất của một bulông hàng ngoài cùng

$$N_{bmax} = \frac{M \cdot h_1}{2 \cdot \sum_{i=1}^4 h_i^2} \quad (15)$$

Trong đó h_i - khoảng cách từ hàng bulông thứ i đến trục quay (hình 3).

- Nếu kể đến ảnh hưởng của lực dọc N



Hình 3. Tâm quay là trục bu lông trong cùng

$$N_{bmax} = \frac{M' \cdot h_1}{2 \cdot \sum_{i=1}^4 h_i^2} \quad (16)$$

Trong đó $M' = M - N \cdot e'$ với e' là khoảng cách từ điểm đặt lực N đến trục tính toán đang xét.

3.3. Cách tính thứ 3 (Hình 4)

Coi liên kết xoay quanh trục của bản cánh nén của tiết diện cột. Tính tương tự như cách tính 2 với L_i - khoảng cách từ hàng bulông thứ i đến trục cánh nén.

- Khi bỏ qua lực dọc N nén

$$N_{bmax} = \frac{M \cdot L_1}{2 \cdot \sum_{i=1}^5 L_i^2} \quad (17)$$

Với L_i - khoảng cách từ hàng bulông thứ i đến trục xoay.

- Nếu kể đến ảnh hưởng của lực nén N

$$N_{bmax} = \frac{M' \cdot L_1}{2 \cdot \sum_{i=1}^5 L_i^2} \quad (18)$$

Trong đó $M' = M - N \cdot e'$ với e' là khoảng cách từ điểm đặt lực N đến trục tính toán đang xét.

So với cách tính 1 thì cách tính thứ 2 và thứ 3 đơn giản hơn do không mất thời gian và công sức để lập và giải phương trình bậc 3. Vấn đề cần xem xét là chúng sai khác nhau bao nhiêu so với cách thứ 1 và có đủ an toàn hay không? Ta tiến hành một số ví dụ bằng số với các bu lông thông dụng.

4. Kết quả tính toán so sánh của các cách tính bằng số cụ thể

Xét một nút liên kết ở nách khung, tiết diện chữ H như các hình vẽ ở trên. Gọi h_w , t_w : chiều cao, chiều dày bản bụng; b_f , t_f : bề rộng, chiều dày bản cánh; ϕ : đường kính bulông liên kết. Chọn trước x là một giá trị nào đó theo BS5950, $x \approx h_w/7$ [6]. Kết quả tính toán được chỉ ra ở bảng 2.

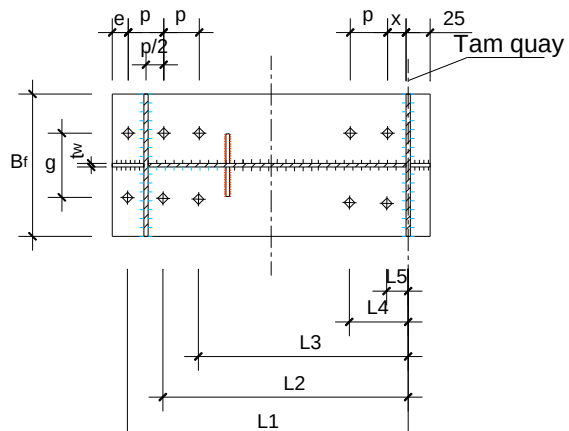
Một số nhận xét từ kết quả tính toán như sau:

- Trong 3 cách tính, cách tính 1 cho kết quả chính xác nhất bởi vì đã kể đến biến dạng theo quan điểm giả thiết liên kết quay quanh trọng tâm vùng nén; Do vậy ta lấy cách tính 1 làm chuẩn để so sánh, đánh giá các cách tính khác.

- Cách tính thứ 3 (coi liên kết xoay quanh trục của bản cánh nén) trong nhiều trường hợp cho kết quả nhỏ hơn cách tính 1 khá nhiều nhất là khi nút khung có độ lệch tâm e lớn. Tính theo cách này không an toàn.

- Giá trị lực kéo trong bulông của cách tính 2 khi không kể đến ảnh hưởng của lực nén N luôn cho giá trị lớn nhất so với các cách tính còn lại và luôn lớn hơn cách tính 1. Vì vậy cách tính này là thiên về an toàn nhất.

- Theo cách tính thứ 2 (coi liên kết xoay quanh hàng bulông ngoài cùng), độ lệch tâm M/N càng nhỏ thì sai số càng lớn đặc biệt là khi bỏ qua vai trò của N trong tính toán.



Hình 4. Trục xoay là trọng tâm bản cánh

Bảng 2. Lực lớn nhất trong bu lông theo một số cách tính

Thông số chung (cm)	Nội lực tại nút		Lực lớn nhất trong bu lông (kN)					Chênh lệch các cách tính %	
	M (kNcm)	N (kN)	Cách tính 1	Cách tính 2		Cách tính 3		So với cách 1 (có N)	
				Không có N	Có N	Không có N	Có N	Cách 2	Cách 3
h _w = 70	10000	25	29,6	34,3	32,2	24,8	23,2	8,8	-21,5
t _w = 1	15000	25	45,5	51,5	49,3	37,1	35,6	8,5	-21,8
b _f = 30	20000	25	61,4	68,7	66,5	49,5	48,0	8,3	-21,9
t _f = 1	25000	25	77,3	85,8	83,7	61,9	60,3	8,2	-22,0
φ = m	10000	35	28,7	34,3	31,3	24,8	22,6	9,2	-21,3
p =10	15000	35	44,6	51,5	48,5	37,1	35,0	8,7	-21,6
x =10	20000	35	60,5	68,7	65,6	49,5	47,3	8,5	-21,8
	25000	35	76,4	85,8	82,8	61,9	59,7	8,4	-21,9
h _w = 50	10000	25	46,9	55,7	53,7	38,7	37,2	14,3	-20,7
t _w = 1	15000	25	71,6	83,6	81,5	58,0	56,6	13,8	-21,0
b _f = 30	20000	25	96,3	111,5	109,4	77,4	75,9	13,6	-21,2
t _f = 1	25000	25	121,0	139,4	137,3	96,7	95,3	13,4	-21,3
φ = 2	10000	35	46,0	55,7	52,8	38,7	36,7	14,9	-20,2
p = 10	15000	35	70,7	83,6	80,7	58,0	56,0	14,2	-20,7
x = 10	20000	35	95,3	111,5	108,6	77,4	75,4	13,9	-21,0
	25000	35	120,0	139,4	136,4	96,7	94,7	13,7	-21,1
h _w = 50	10000	25	46,9	51,1	48,8	38,1	36,4	3,9	-22,4
t _w = 1	15000	25	71,6	76,6	74,3	57,2	55,5	3,8	-22,6
b _f = 30	20000	25	96,3	102,2	99,9	76,2	74,5	3,7	-22,6
t _f = 1	25000	25	121,0	127,7	125,4	95,3	93,6	3,6	-22,7
f = 2	10000	35	46,0	51,1	47,9	38,1	35,7	4,1	-22,3
p = 10	15000	35	70,7	76,6	73,4	57,2	54,8	3,9	-22,5
x = 7	20000	35	95,3	102,2	99,0	76,2	73,8	3,8	-22,6
	25000	35	120,0	127,7	124,5	95,3	92,9	3,7	-22,6

- Khi thay đổi chiều cao tiết diện cột nhưng vẫn giữ không đổi khoảng cách hàng bulông ngoài cùng vùng nén đến mép bản cánh ($x = 10\text{cm}$) thì sai số giữa các cách tính thay đổi đáng kể. Điều này có thể giải thích là do sự sai lệch vị trí các trục xoay khi giả thiết khác nhiều hơn so với vị trí thực của nó (là trọng tâm vùng nén).

5. Kết luận

Từ các số liệu cụ thể cho các cách tính trên đây thì tính toán liên kết nút khung theo cách tính thứ 2 là gần đúng, dễ tính và thiên về an toàn. Để đơn giản cho tính toán và thiên về an toàn thì trong tính toán có thể bỏ qua lực nén N . Tuy nhiên, khi cần tận dụng tối đa sự làm việc của bu lông thì nên kể đến lực nén N trong tính toán liên kết này.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Hội (2009), *Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
2. Phạm Văn Hội (2007), *Kết cấu thép - Công trình dân dụng và công nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
3. Hoàng Văn Quang (2011), *Thiết kế khung thép nhà công nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
4. TCXDVN 338:2005, *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*
5. *Design manual*. DM 03.10.00, Zamil steel company limited, Pre-engineered buildings division.
6. LJ Morris; DR Plum - *Structural steelwork design to BS 5950*.