

XÁC ĐỊNH HỆ SỐ CHIỀU DÀI TÍNH TOÁN CHO CỘT TRONG KHUNG THÉP CÓ XÉT ĐẾN ĐỘ ĐÀN HỒI CỦA LIÊN KẾT

TS. VŨ QUỐC ANH, KS. CHU THỊ HOÀNG ANH

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu phương pháp hiệu chỉnh biểu đồ dùng để xác định hệ số chiều dài tính toán cho cột trong khung thép xét đến độ đàn hồi của liên kết dựa trên tiêu chuẩn thực hành kết cấu thép công trình dân dụng và cầu của Hoa Kỳ. Việc xác định hệ số hiệu chỉnh có xét đến các điều kiện liên kết khác nhau giữa dầm và cột trong các khung giằng và khung không giằng. Bài báo cũng đưa ra một số thí dụ xác định hệ số chiều dài tính toán của cột trong khung thép có xét đến độ đàn hồi của liên kết.

1. Mở đầu

Khi sử dụng phương pháp biểu đồ [1] và những phương trình hệ số chiều dài tính toán của cột khung, các kỹ sư thiết kế phải chấp nhận các giả thiết sử dụng trong mô hình tính toán. Tuy nhiên, trong thực tế điều kiện làm việc của kết cấu thường khác với các giả thiết này dẫn đến việc thiết kế không còn chính xác. SSRC (Ủy ban nghiên cứu về sự ổn định kết cấu) [2] đã đưa ra hướng dẫn thực hiện những hiệu chỉnh đơn giản cho phương pháp biểu đồ trong một vài trường hợp đặc biệt như: khung không đối xứng, điều kiện biên chân cột khác nhau, điều kiện các liên kết đàn hồi. Phương pháp được đề xuất bởi Duan và Chen [3] có thể được sử dụng để tính toán cho liên kết chân cột là khớp hoặc ngàm; xem xét ảnh hưởng của vật liệu không đàn hồi tới hệ số K đã được phát triển bởi Yura [4] và mở rộng bởi Disque [5]. LeMessurier [6] giới thiệu tổng quát về khung không giằng có và khung có cột chống. Một phương pháp gần đúng đã được AISC-LRFD [7] đề xuất dùng để tính toán giá trị hệ số chiều dài tính toán khi khung thép có liên kết đàn hồi [8, 9,10].

Bài báo này giới thiệu cách hiệu chỉnh cho phương pháp biểu đồ khi xác định chiều dài tính toán trong khung thép có tính đến độ đàn hồi của liên kết. Cụ thể là xét đến hệ số hiệu chỉnh với những điều kiện biên khác nhau của dầm, của cột trong khung giằng và khung không giằng.

2. Một số khái niệm liên kết cơ bản trong kết cấu khung thép

Phương pháp thiết kế thông thường giả thiết liên kết giữa dầm và cột là cứng hoặc khớp. Trong thực tế, qua nhiều kết quả thực nghiệm chúng ta nhận thấy các loại liên kết đang sử dụng đều có độ đàn hồi nhất định và thường nằm trong khoảng giữa hai trường hợp: liên kết cứng và liên kết khớp. Để kể đến sự làm việc thực tế của các liên kết trong khi thiết kế khung thép, AISC 1999 (*American Institute of Steel Construction*), và EC3 (*EUROCODE 3*) đã phân ra ba loại liên kết trong khung thép như sau:

Loại 1 - Liên kết cứng. Loại liên kết này được giả thiết: liên kết giữa dầm và cột đủ cứng để đảm bảo góc hình học ban đầu của liên kết khi kết cấu làm việc. Khi kết cấu làm việc góc xoay của tiết diện cột bằng góc xoay của tiết diện đầu dầm tại liên kết. Liên kết cứng cần được thiết kế sao cho sự biến dạng của liên kết không ảnh hưởng đến sự phân bố nội lực và chuyển vị trong hệ kết cấu.

Loại 2 - Liên kết khớp. Loại liên kết này được giả thiết: mô men trong liên kết bằng không, chỉ tồn tại thành phần lực cắt. Khả năng chống xoay của liên kết không đáng kể. Khi kết cấu làm việc dầm được xoay tự do và không ảnh hưởng đến góc xoay của cột tại liên kết.

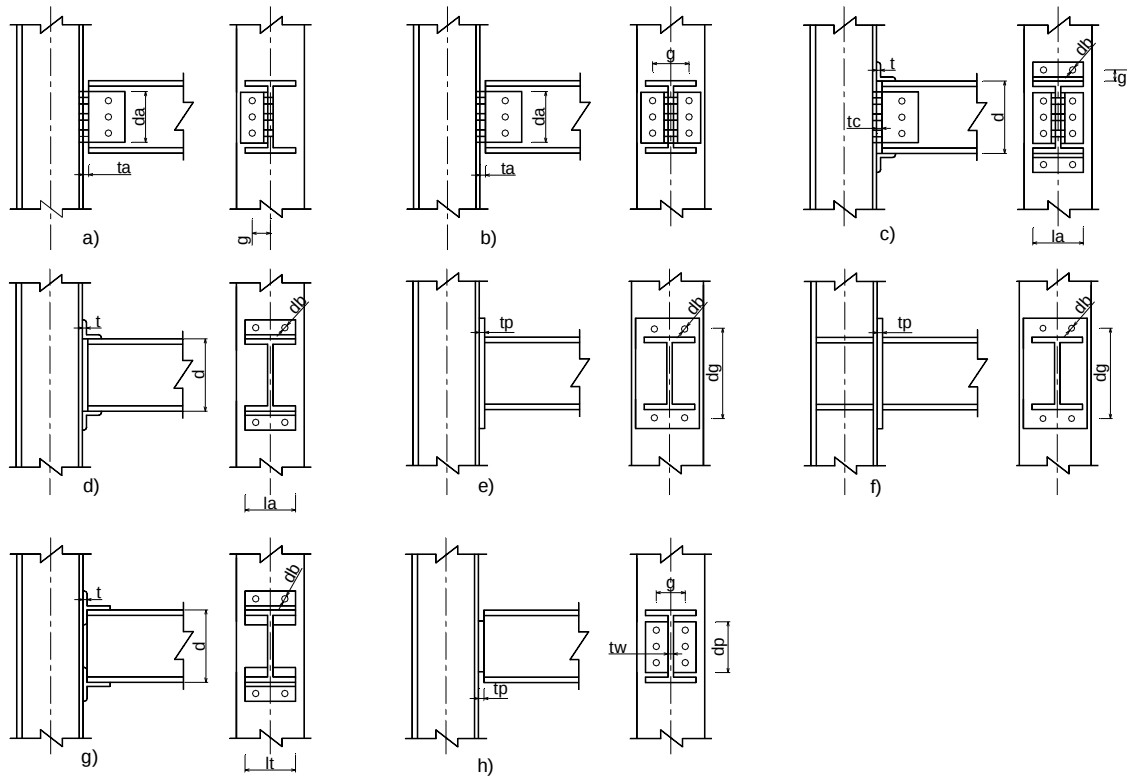
Loại 3 - Liên kết đàn hồi (nửa cứng). Loại liên kết này được giả thiết: không đủ độ cứng để giữ được góc hình học ban đầu của liên kết khi kết cấu làm việc. Loại liên kết này chịu toàn bộ lực cắt và một phần mô men.

Xem xét một số dạng liên kết giữa cột và dầm thường gặp sau (hình 1): a) Liên kết một thép góc nối cột với bụng dầm; b) Liên kết hai thép góc nối cột với bụng dầm; c) Liên kết hai thép góc nối cột với cánh trên và cánh dưới của dầm và hai thép góc nối cánh cột với bụng dầm; d) Liên kết hai thép góc nối cột với cánh trên và cánh dưới của dầm; e) Liên kết tấm nối mở rộng; f) Liên kết tấm nối có sườn gia cường ở bụng cột; g) Liên kết bản nối bụng dầm với cột; h) Liên kết hai thép hình T nối cánh dầm với cột.

Theo phân loại của AISC:

- Loại 1 - Liên kết cứng: hình 1e, 1f, 1g;

- Loại 2 - Liên kết khớp: hình 1a, 1b;
- Loại 3 - Liên kết đàn hồi (nửa cứng): hình 1c, 1d, 1h.

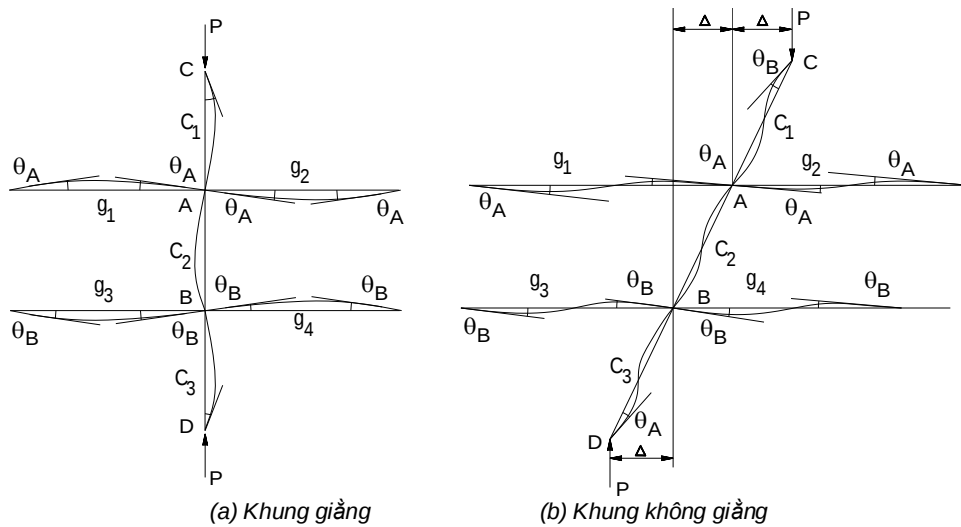


Hình 1. Sơ đồ các kiểu liên kết dầm và cột

3. Xác định hệ số chiều dài tính toán theo phương pháp biểu đồ [1]

Mô hình kết cấu sử dụng xác định hệ số K cho cột khung trong phương pháp biểu đồ được thể hiện trong hình 2. Những giả thiết sử dụng trong mô hình này là:

- Tất cả các cấu kiện có mặt cắt ngang không đổi và làm việc đàn hồi;
- Lực dọc trong các dầm là không đáng kể;
- Tất cả các nút là cứng;
- Trong những khung giằng, góc xoay ở điểm đầu và điểm cuối bằng nhau về độ lớn nhưng ngược chiều nhau;
- Trong khung không giằng, góc xoay ở điểm đầu và điểm cuối bằng nhau về độ lớn và cùng chiều;
- Tham số độ cứng $L\sqrt{P/EI}$ của tất cả các cột là như nhau;
- Tất cả các cột mất ổn định đồng thời.



Hình 2. Các mô hình cho hệ số K của cột khung

Hình dạng uốn cong của cột được thể hiện bằng đường nét đứt	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Giá trị K theo lý thuyết	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Giới thiệu các giá trị thiết kế gần đúng khi các điều kiện biên gần lý tưởng	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
	   	Không quay & không chuyển vị Quay tự do & không chuyển vị Không quay & Chuyển vị tự do Quay tự do & Chuyển vị tự do				

Hình 3. Hệ số K lý thuyết và áp dụng cho cột đơn với điều kiện biên lý tưởng

Sử dụng phương trình chuyển vị và hàm ổn định, thu được phương trình xác định hệ số chiều dài tính toán của cột khung như sau:

- Cho những cột trong khung giằng:

$$\frac{G_A G_B}{4} (\pi / K)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} \right) + \frac{2 \tan(\pi / 2K)}{\pi / K} - 1 = 0 \quad (1)$$

- Cho những cột trong khung không giằng:

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36^2}{6(G_A + G_B)} - \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} = 0 \quad (2)$$

Trong đó: G_A và G_B là tỉ số độ cứng của cột và dầm tại 2 điểm A và B (đỉnh cột và chân cột) của đoạn cột tương ứng được xét đến. Chúng được định nghĩa như sau:

$$G_A = \frac{\sum_A (E_C I_C / L_C)}{\sum_A (E_g I_g / L_g)} \quad (3)$$

$$G_B = \frac{\sum_B (E_C I_C / L_C)}{\sum_B (E_g I_g / L_g)} \quad (4)$$

Trong đó: $\sum A$ hoặc $\sum B$ là tổng của tất cả các cấu kiện được liên kết cứng tại nút A hoặc B và nằm trong mặt phẳng của cột bị uốn dọc được xét. Chỉ số C và G chỉ cột và dầm tương ứng.

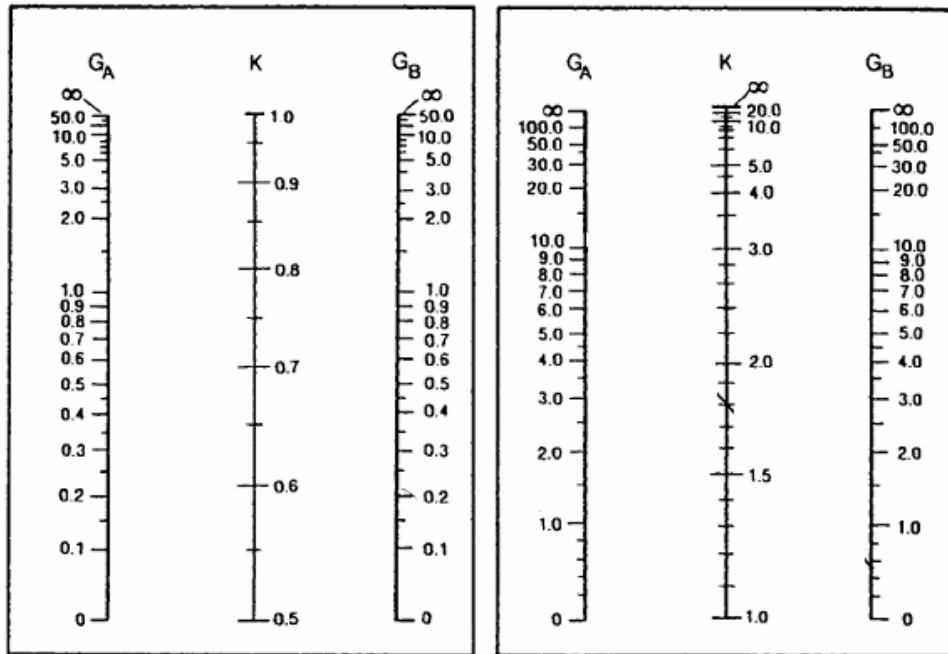
Phương trình (1) và (2) được thể hiện bằng biểu đồ trong hình 4, chú ý:

- Với cột trong khung giằng, giá trị của K là:

$$0.5 \leq K \leq 1.0$$

- Với cột trong khung không giằng, giá trị của K là: $1.0 \leq K \leq \infty$

Với những cột mà chân không được liên kết cứng với đế móng hoặc nền móng, theo lý thuyết G là vô cùng, trừ khi trong thiết kế thực tế bỏ qua ma sát có thể lấy G bằng 10 cho thiết kế. Nếu chân của cột được liên kết cứng với đế móng, G có thể lấy bằng 1.0.



a. Khung giằng b. Khung không giằng
Hình 4. Biểu đồ hệ số chiều dài tính toán K cho cột khung [1]

4. Xác định tỉ số độ cứng của cột và dầm khi xét đến độ đàn hồi của liên kết

Khi dầm trong khung không liên kết cứng với cột, độ cứng của dầm (I_g/L_g) sử dụng trong tính toán giá trị G_A và G_B - tỉ số độ cứng của cột và dầm tại 2 điểm cuối A và B trong biểu thức (3) và (4) phải được nhân với hệ số hiệu chỉnh α_k :

$$G = \frac{\sum (E_C I_C / L_C)}{\sum \alpha_k (E_g I_g / L_g)} \quad (5)$$

Trong đó: Hệ số hiệu chỉnh α_k cho khung giằng được đề xuất bởi Duan và Lu [10] và cho khung không giằng được đề xuất bởi Kishi, Chen và Goto [9] được cho trong bảng 1 và 2.

Bảng 1. Hệ số hiệu chỉnh α_k cho khung giằng [10]

Điều kiện biên của dầm trong khung		Hệ số hiệu chỉnh α_k
Điểm đầu	Chân	
Liên kết cứng	Liên kết cứng	1.0
Liên kết cứng	Liên kết khớp	1.5
Liên kết cứng	Liên kết đàn hồi	$\left(1 + \frac{6E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right)$
Liên kết cứng	Liên kết ngàm	2.0
Liên kết đàn hồi	Liên kết cứng	$1 / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$
Liên kết đàn hồi	Liên kết khớp	$1.5 / \left(1 + \frac{3E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$
Liên kết đàn hồi	Liên kết đàn hồi	$\left(1 + \frac{6E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / R^*$
Liên kết đàn hồi	Liên kết ngàm	$2 / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$

Ghi chú: $R^* = \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right) \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) - \left(\frac{E_g I_g}{L_g}\right)^2 \frac{4}{R_{kN} R_{kF}}$

Bảng 2. Hệ số hiệu chỉnh α_k cho khung không giằng [9]

Điều kiện biên của dầm trong khung		Hệ số hiệu chỉnh α_k
Điểm đầu	Chân	
Liên kết cứng	Liên kết cứng	1.0
Liên kết cứng	Liên kết khớp	0.5
Liên kết cứng	Liên kết đàn hồi	$\left(1 + \frac{2E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right)$
Liên kết cứng	Liên kết ngàm	2/3
Liên kết đàn hồi	Liên kết cứng	$1 / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$
Liên kết đàn hồi	Liên kết khớp	$0.5 / \left(1 + \frac{3E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$
Liên kết đàn hồi	Liên kết đàn hồi	$\left(1 + \frac{2E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / R^{**}$
Liên kết đàn hồi	Liên kết ngàm	$(2/3) / \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)$

Ghi chú: $R^{**} = \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right) \left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) - \left(\frac{E_g I_g}{L_g}\right)^2 \frac{4}{R_{kN} R_{kF}}$

Trong các bảng này R_{kN} và R_{kF} là hệ số đàn hồi của liên kết ở điểm đầu và cuối tương ứng của dầm.

5. Xét trường hợp riêng khi chân cột C1 và C3 là liên kết khớp

Để so sánh sự ảnh hưởng khác nhau của điều kiện biên tại chân của cột khung, ta xét phương trình hệ số chiều dài tính toán chung cho cột C₂ (hình 2) được đề xuất bởi Duan và Chen [11, 12, 13]. Do giả thiết chân của cột C₁ và C₃ là khớp và sử dụng phương trình chuyển vị cho từng phần trong hình 2, ta được:

5.1. Cho khung giằng

$$C^2 - S^2 \left[G_{AC1} + G_{BC3} + G_{AC2} G_{BC2} + \frac{2G_{BC3} + \frac{2G_{AC1}}{G_A} + \frac{2G_{AC1}}{G_B}}{C} - G_{AC1} G_{BC3} \left(\frac{S}{C} \right)^2 \right] + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6)$$

C và S là những hàm ổn định được định nghĩa như sau:

$$C = \frac{(\pi/K) \sin(\pi/K) - (\pi/K)^2 \cos(\pi/K)}{2 - 2 \cos(\pi/K) - (\pi/K) \sin(\pi/K)} \quad (7)$$

$$S = \frac{(\pi/K)^2 - (\pi/K) \sin(\pi/K)}{2 - 2 \cos(\pi/K) - (\pi/K) \sin(\pi/K)} \quad (8)$$

G_A và G_B được định nghĩa bởi biểu thức (3) và (4).

G_{AC1} , G_{AC2} , G_{BC2} và G_{BC3} - tỉ số độ cứng tương ứng tại hai nút A và B của cột được xét. Chúng được định nghĩa:

$$G_{Ci} = \frac{E_{Ci} I_{Ci} / L_{Ci}}{\sum E_{Cj} I_{Cj} / L_{Cj}} \quad (9)$$

Trong đó: Σ - tổng của tất cả các cột liên kết cứng tại nút và nằm trong mặt phẳng của cột C_i bị uốn dọc được xét đến. Theo định nghĩa này trong mô hình 2:

$$G_{AC1} = \frac{E_{C1} I_{C1} / L_{C1}}{E_{C1} I_{C1} / L_{C1} + E_{C2} I_{C2} / L_{C2}}$$

$$G_{AC2} = \frac{E_{C2} I_{C2} / L_{C2}}{E_{C1} I_{C1} / L_{C1} + E_{C2} I_{C2} / L_{C2}}$$

$$G_{BC2} = \frac{E_{C2} I_{C2} / L_{C2}}{E_{C2} I_{C2} / L_{C2} + E_{C3} I_{C3} / L_{C3}}$$

$$G_{BC3} = \frac{E_{C3} I_{C3} / L_{C3}}{E_{C2} I_{C2} / L_{C2} + E_{C3} I_{C3} / L_{C3}}$$

Phương trình (6) được nêu ra cho trường hợp đặc biệt là chân của cả hai cột C_1 và C_3 đều là khớp, nhưng nó cũng được áp dụng cho các trường hợp khác với sự điều chỉnh G_{Ci} như sau:

- Nếu chân của cột C_i (C_1 và C_3) là ngàm, lấy $G_{Ci} = 0$ (trừ G_{C2});
- Nếu chân của cột C_i (C_1 và C_3) là liên kết cứng, lấy $G_{Ci} = 0$ và $G_{C2} = 1$.

Như vậy phương trình (6) có thể được sử dụng cho những trường hợp sau :

- Nếu chân của cả hai cột C_1 và C_3 là ngàm, chúng ta có $G_{AC1} = G_{BC3} = 0$ và phương trình (6) trở thành:

$$C^2 - S^2 (G_{AC2} G_{BC2}) + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6a)$$

- Nếu chân cột C_1 là liên kết cứng và chân của cột C_3 là ngàm, chúng ta có $G_{AC2} = 1$, $G_{AC1} = G_{BC3} = 0$ và phương trình (6) trở thành:

$$C^2 - S^2 + G_{BC2} + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6b)$$

- Nếu chân cột C_1 là liên kết cứng và chân của cột C_3 là khớp, chúng ta có $G_{AC1} = 0$ và $G_{AC2} = 1$ và phương trình (6) trở thành:

$$C^2 - S^2 \left(G_{BC3} + G_{BC2} + \frac{2G_{BC3}}{G_A C} \right) + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6c)$$

- Nếu chân cột C_1 là khớp và chân của cột C_3 là ngàm, ta có $G_{BC3} = 0$ và phương trình (6) trở thành:

$$C^2 - S^2 \left(G_{AC1} + G_{AC2} G_{BC2} + \frac{2G_{AC1}}{G_B C} \right) + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6d)$$

- Nếu chân cột C_1 và C_3 là liên kết cứng (giả thiết được dùng xây dựng biểu đồ) ta có $G_{C2} = 1$, $G_{C1} = 0$ và phương trình (6) trở thành:

$$C^2 - S^2 + 2C \left(\frac{1}{G_A} + \frac{1}{G_B} \right) + \frac{4}{G_A G_B} = 0 \quad (6e)$$

5.2. Cho khung không giằng

$$\det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = 0 \quad (10)$$

$$\text{Hoặc: } a_{11}a_{22}a_{33} + a_{21}a_{32}a_{13} + a_{31}a_{23}a_{12} - a_{31}a_{22}a_{33} - a_{21}a_{12}a_{33} + a_{11}a_{23}a_{32} = 0 \quad (11)$$

Trong đó:

$$a_{11} = C + \frac{6}{G_A} - G_{AC1} \frac{S^2}{C} \quad (12)$$

$$a_{22} = C + \frac{6}{G_B} - G_{BC3} \frac{S^2}{C} \quad (13)$$

$$a_{33} = -2 \left[C + S - \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{K} \right)^2 \right] \quad (14)$$

$$a_{12} = G_{AC2} S \quad (15)$$

$$a_{21} = G_{BC2} S \quad (16)$$

$$a_{31} = a_{32} = C + S \quad (17)$$

$$a_{13} = -(C + S) + G_{AC1} \left(S + \frac{S^2}{C} \right) \quad (18)$$

$$a_{23} = -(C + S) + G_{BC3} \left(S + \frac{S^2}{C} \right) \quad (19)$$

Phương trình (10) được nêu ra cho trường hợp đặc biệt là chân của cả hai cột C_1 và C_3 đều là khớp, nhưng nó cũng được áp dụng cho các trường hợp khác với sự điều chỉnh G_{Ci} như sau:

- Nếu chân của cột C_i (C_1 và C_3) là ngàm, lấy $G_{Ci} = 0$ (trừ G_{C2});

- Nếu chân của cột C_i (C_1 và C_3) là liên kết cứng, lấy $G_{Ci} = 0$ và $G_{C2} = 1$.

Như vậy phương trình (10) có thể sử dụng cho những trường hợp sau:

- Nếu chân của cả hai cột C_1 và C_3 là ngàm, chúng ta có $G_{C1} = G_{C3} = 0$ và phương trình (12), (13), (18) và (19) trở thành:

$$a_{11} = C + \frac{6}{G_A} \quad (12a)$$

$$a_{22} = C + \frac{6}{G_B} \quad (13a)$$

$$a_{13} = a_{23} = -(C + S) \quad (18a)$$

- Nếu chân cột C_1 là liên kết cứng và chân của cột C_3 là ngàm, ta có $G_{AC2} = 1$, $G_{AC1} = G_{BC3} = 0$ và phương trình (12), (13), (15), (18) và (19) trở thành:

$$a_{11} = C + \frac{6}{G_A} \quad (12b)$$

$$a_{22} = C + \frac{6}{G_B} \quad (13b)$$

$$a_{12} = S \quad (15b)$$

$$a_{13} = a_{23} = -(C + S) \quad (18b)$$

- Nếu chân cột C_1 là liên kết cứng và chân của cột C_3 là khớp, chúng ta có $G_{AC1} = 0$, $G_{AC2} = 1$ và phương trình (12), (15) và (18) trở thành:

$$a_{11} = C + \frac{6}{G_A} \quad (12c)$$

$$a_{12} = S \quad (15c)$$

$$a_{13} = -(C + S) \quad (18c)$$

- Nếu chân cột C_1 là khớp và chân của cột C_3 là ngàm, chúng ta có $G_{BC3} = 0$, phương trình (13) và (19) trở thành:

$$a_{22} = C + \frac{6}{G_B} \quad (13d)$$

$$a_{23} = -(C + S) \quad (19d)$$

- Nếu chân cột C_1 và C_3 là liên kết cứng (giả thiết xây dựng biểu đồ), đó là $\theta_C = \theta_B$ và $\theta_D = \theta_A$ ta có $G_{C2} = 1$, $G_{C1} = 0$ và phương trình (12) tới (19) trở thành:

$$a_{11} = C + \frac{6}{G_A} \quad (12e)$$

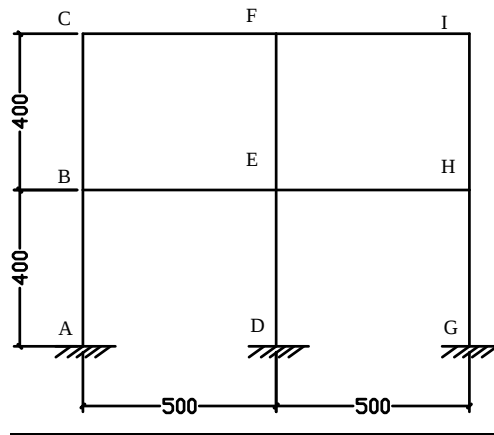
$$a_{22} = C + \frac{6}{G_B} \quad (13e)$$

$$a_{12} = a_{21} = S \quad (15e)$$

$$a_{13} = a_{23} = -(C + S) \quad (18e)$$

6. Ví dụ

Cho khung thép không giằng 2 tầng trong hình 5; đặc trưng tiết diện các thanh trong khung cho trong bảng 3. Sử dụng phương pháp biểu đồ với những hiệu chỉnh cần thiết cho điều kiện biên của dầm, xác định hệ số đàn hồi K cho cột DE và EF. Cho $E = 21000 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$.



Hình 5. Khung không giằng 2 tầng 2 nhịp

Bảng 3. Đặc trưng tiết diện các thanh trong khung

Kích thước tiết diện	Thanh	I_x (cm ⁴)	L (cm)	I_x/L (cm ³)
	AB, GH, BC, HI	3640.8	400	9.1
	DE, EF	7563.8	400	18.9
	BE, EH	27925.3	500	55.9
	CF, FI	26600.1	500	53.2

Lời giải:

a. Tính toán hệ số chiều dài tính toán cho cột DE

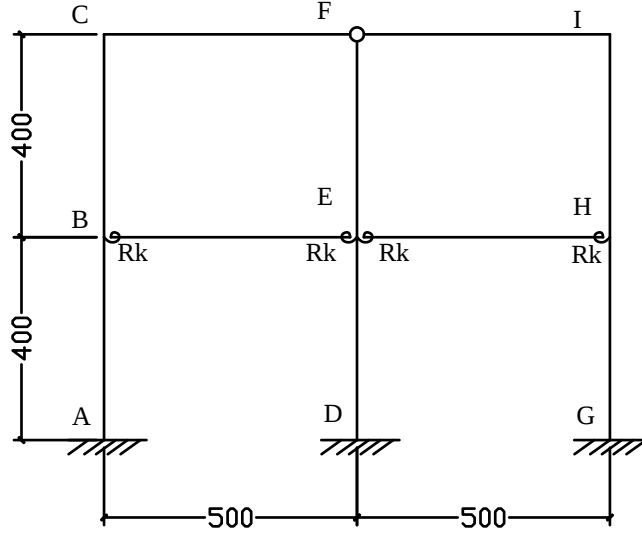
* Tính toán hệ số G cho cột DE với giả thiết liên kết giữa dầm và cột là cứng (hình 5):

$$G_E = \frac{\sum_E (E_C I_C / L_C)}{\sum_E (E_g I_g / L_g)} = \frac{18.9 + 18.9}{55.9 + 55.9} = 0.338 \quad G_D = 1 \text{ (AISC - LRFD.1993)}$$

Từ biểu đồ tuyến 4b cho giá trị K=1.2.

* Tính toán hệ số G cho cột DE sử dụng hiệu chỉnh với điều kiện biên của dầm:

Chọn liên kết cột giữa và cột biên với dầm BE, EH là liên kết dùng hai thép góc nối cột với cánh trên và cánh dưới của dầm và hai thép góc nối cánh cột với bụng dầm. Độ cứng của liên kết đàn hồi này $R_{ki} = 26093.508$ (kN.m) = 2609351 kN.cm (hình 6).



Hình 6. Sơ đồ liên kết giữa cột và dầm

Điểm đầu và điểm cuối của dầm BE, EH là liên kết đàn hồi, độ cứng của dầm phải nhân với hệ số:

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{2E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / R^{**} &= \left(1 + \frac{2E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) / \left[\left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kN}}\right)\left(1 + \frac{4E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) - \left(\frac{E_g I_g}{L_g}\right)^2 \frac{4}{R_{kN} R_{kF}}\right] \\ &= 1 / \left(1 + \frac{6E_g I_g}{L_g R_{kF}}\right) = 1 / \left(1 + \frac{6 \cdot 2.1 \cdot 10^4 \cdot 27925.3}{500 \cdot 2609351}\right) = 0.2705 \text{ (bảng 2).} \\ G_E &= \frac{\sum_E (E_C I_C / L_C)}{\sum_E \alpha_k (E_g I_g / L_g)} = \frac{18.9 + 18.9}{0.2705 \cdot (55.9 + 55.9)} = 1.25 \quad G_D = 1 \text{ (AISC - LRFD.1993)} \end{aligned}$$

Từ biểu đồ hình 4b cho giá trị $K=1.36$.

b. Tính toán hệ số chiều dài tính toán cho cột EF

* Tính toán hệ số G cho cột EF với giả thiết liên kết giữa dầm và cột là cứng (hình 5):

$$G_F = \frac{\sum_F (E_C I_C / L_C)}{\sum_F (E_g I_g / L_g)} = \frac{18.9}{53.2 + 53.2} = 0.178 \quad G_E = 0.338$$

Từ biểu đồ tuyến 4b cho giá trị $K = 1.08$.

* Tính toán hệ số G cho cột EF sử dụng hiệu chỉnh:

Chọn liên kết giữa cột giữa với dầm CF, FI là liên kết dùng hai thép góc nối cột với bụng dầm. Theo phân loại của AISC đây thuộc loại liên kết khớp. Liên kết dầm với cột biên là liên kết tẩm nối mở rộng. Theo phân loại của AISC đây thuộc loại liên kết cứng (hình 6).

Điểm đầu của dầm CF, FI là liên kết cứng và điểm cuối là liên kết khớp, độ cứng của dầm phải nhân với hệ số 0.5 (bảng 2). Sử dụng tính chất của các tiết diện như trong phần 1, thu được:

$$G_F = \frac{\sum (E_C I_C / L_C)}{\sum \alpha_k (E_g I_g / L_g)} = \frac{18.9}{0.5 \cdot (53.2 + 53.2)} = 0.355 \quad G_E = 1.25$$

Từ biểu đồ hình 4b cho giá trị $K = 1.12$.

7. Nhận xét

Bài báo đã giới thiệu cách xác định hệ số chiều dài tính toán cho cột trong khung thép có tính đến độ đàn hồi của liên kết theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ AISC. Trong thực tế xây dựng kết cấu khung nhà thép gặp những kiểu liên kết khác giả thiết liên kết giữa dầm và cột là cứng hoặc khớp, nhưng việc xác định hệ số chiều dài tính toán

trong khung như vậy vẫn chưa được quy định cụ thể trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Việt Nam [14]. Vì vậy đây có thể là một tài liệu dùng để tham khảo cho các kỹ sư khi thiết kế khung thép với các liên kết đàn hồi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Specification for Structural Steel Buildings - 2005, American institute of steel construction, inc. *One East Wacker Drive, Suite 700 Chicago, Illinois 60601-1802*.
2. JOHNSTON, B.G., Structural Stability Research Council, Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 3rd ed., *John Wiley & Sons, New York, Ed 1976*.
3. DUAN, L. and CHEN, W.F. Structural Engineering Handbook *Ed. Chen Wai-Fah, CRC Press LLC, 1999*.
4. YURA, J.A. The Effective Length of Columns in Unbraced Frames. *AISC Eng. J.*, 8(2):37-42, 1971.
5. DISQUE, R.O. Inelastic K-Factor in Design. *AISC Eng. J.*, 10(2):33-35, 1973.
6. LEMESSURIER, W.J. A Practical Method of Second Order Analysis. *Part 2- Rigid Frames. AISC Eng. J.*, 14(2):49-67, 1977.
7. American Institute of Steel Construction. Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building, 2nd ed., *AISC, Chicago, IL., 1993*.
8. BAKARAT, M. and CHEN, W.F. Design Analysis of Semi-Rigid Frames: Evaluation and Implementation. *AISC Eng. J.*, 28(2): 55-64, 1991.
9. KISHI, N., CHEN, W.F., and GOTO, Y. Effective Length Factor of Columns in Semi- Rigid and Unbraced Frames, *Structural Engineering Report CE- STR-95-5, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, in, 1995*.
10. DUAN, L. and LU, Z. G. A Modified G-Factors for Columns in Semi- Rigid Frames. *Research Report, Division of Structures, California Department of Transportation, Sacramento, CA, 1996*.
11. DUAN, L. and CHEN, W.F. Effective Length Factor for Columns in Braced Frames. *J. Struct. Eng.*, 114(10):2357-2370, 1988.
12. DUAN, L. and CHEN, W.F. Effective Length Factor for Columns in Unbraced Frames. *J. Struct. Eng.*, 115(1):149-165, 1989.
13. DUAN, L. and CHEN, W.F. Errata of Paper: Effective Length Factor for Columns in Unbraced Frames. *J. Struct. Eng.*, 122(1):224-225, 1996.
14. Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế TCXDVN 338: 2005.