TÍNH TOÁN THIẾT KẾ DẦM THÉP KHOÉT LỖ LIÊN TỤC THEO TIÊU CHUẨN MỸ ANSI/AISC 360-16

TS. **TRƯƠNG VIỆT HÙNG**
Trường Đại học Thủy Lợi
PGS. TS. **VŨ QUỐC ANH**
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
ThS. **NGUYỄN TRỌNG TỪ**
Công ty CP Tư vấn Đầu tư và Xây dựng An Thành

Tóm tắt: *Nội dung bài báo trình bày chi tiết cấu tạo và các phương pháp chế tạo, lý thuyết tính toán dầm thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn Mỹ. Dựa vào lý thuyết tính toán, xây dựng chi tiết quy trình và các bước tính toán thiết kế. Cùng với đó, lập ra sơ đồ khối các bước tính toán thiết kế thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn Mỹ. Thông qua lý thuyết và các ví dụ tính toán, bài báo đưa ra các nhận xét cần thiết đối với các kỹ sư khi tính toán thiết kế loại dầm này*

Từ khóa: *Dầm thép khoét lỗ liên tục,*

Abstract: *The content of the article presents the structure and manufacturing methods, the theory of calculating Castellated and Cellular Beam Design according to American Standard. Based on calculation theory, elaborate process details and design calculation steps. Along with that, creating a design algorithm of Castellated and Cellular Beam according to American Standard. Through theory and calculation examples, the paper gives the necessary attention to the engineers when calculating the design of this beam.*

Key word: *Continuous Steel Beam holes according,*

1. Tổng quan

Hiện nay, trong quá trình phát triển ngày càng cao của ngành xây dựng cũng như nhu cầu thực tế. Các công trình công cộng, nhà xưởng, bãi đỗ xe, nhà ga sân bay, các khu dịch vụ,… sử dụng kết cấu thép ngày càng nhiều. Sử dụng kết cấu thép trong công trình mang lại hiệu quả cao do vật liệu thép có khả năng chịu lực rất lớn, có trọng lượng nhỏ, khả năng chịu mỏi, chịu tải trọng độc lập tốt. Đồng thời kết cấu thép thi công nhanh chóng, chính xác, giúp rút ngắn thời gian xây dựng công trình…

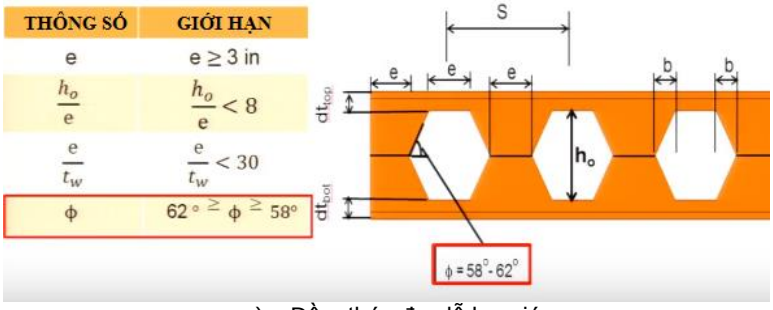
Trong quá trình sử dụng đối với nhà cao tầng hoặc các công trình công nghiệp, các công trình công cộng, nhu cầu về tăng không gian sử dụng và tối ưu hóa chiều cao thông thủy ngày càng cấp thiết. Việc này dẫn đến phải tối ưu hóa chiều cao lắp đặt hệ thống kỹ thuật phía trên trần nhà. Đối với dạng kết cấu như trên, giải pháp khoét lỗ ở bản bụng dầm thép để cho hệ thống kỹ thuật chạy xuyên qua là một giải pháp khả dĩ và hiệu quả. Phương án hữu hiệu được các kiến trúc sư, các kỹ sư kết cấu lựa chọn là sử dụng các dầm thép có lỗ mở trên bụng dầm. Đặc biệt với các loại dầm thép khoét lỗ liên tục (dầm khoang tròn hoặc dầm lỗ răng cưa) còn tạo thêm điểm nhấn kiến trúc, phô trương vẻ đẹp của kết cấu, đồng thời giảm trọng lượng cấu kiện.

Tuy nhiên, các lỗ mở là nguyên nhân làm giảm khả năng chịu lực cũng như tính ổn định của dầm. Việc tính toán về kích thước, vị trí của lỗ cần cân nhắc quan trọng trong thiết kế để đảm bảo khả năng chịu lực cũng như công năng của cấu kiện. Ở Việt Nam hiện nay, tài liệu về hướng dẫn quy trình chế tạo, tính toán và sử dụng loại kết cấu khoét lỗ liên tục là chưa nhiều, do đó cần đòi hỏi sự nghiên cứu thêm về lý thuyết tính toán cũng như quy trình chế tạo. Vì vậy, việc nghiên cứu "Tính toán thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn Mỹ" là cần thiết nhằm cụ thể hóa các vấn đề nêu trên.

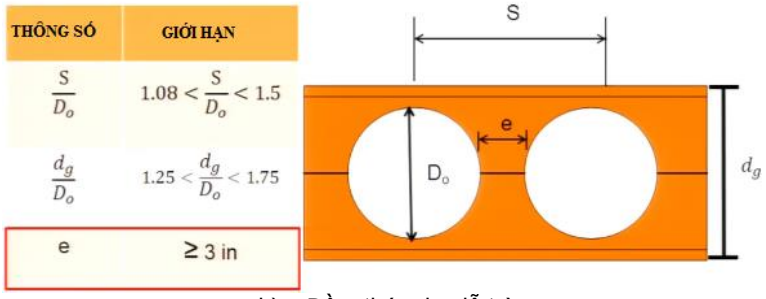
2. Cấu tạo và phương pháp chế tạo dầm thép khoét lỗ liên tục

2.1 Cấu tạo của dầm thép khoét lỗ liên tục

Dầm khoét lỗ liên tục được đề cập trong bài báo là dầm thép chữ I có phần bản bụng được khoét các lỗ liên tục, đều nhau. Các lỗ mở chủ yếu là lỗ hình tròn và lỗ hình ô van. Khi thiết kế dầm thép khoét lỗ, bên cạnh các điều kiện về chịu lực, đường kính và khoảng cách các lỗ cần thỏa mãn một số điều kiện cấu tạo [3].



a) Dầm thép đục lỗ lục giác



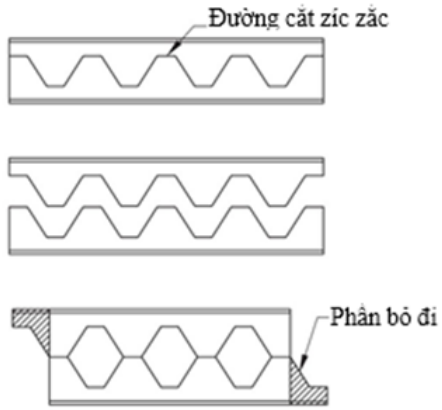
b) Dầm thép đục lỗ tròn

Hình 1. *Quy định cấu tạo khi chế tạo dầm thép đục lỗ liên tục*

2.2 Phương pháp chế tạo

Có 3 phương pháp chính:

- Các lỗ mở riêng lẻ được cắt trong bản bụng của một cấu kiện thép cán nóng. Phương pháp này được sử dụng cho các dầm với lỗ mở độc lập;
- Lỗ mở được cắt trước hoặc sau đối với tiết diện thép I tổ hợp hàn. Phương pháp này được sử dụng đồng thời cho các lỗ mở độc lập và cho các lỗ mở liên tục có khoảng cách đều nhau;
- Một cấu kiện thép I cán nóng được cắt lượn sóng dọc theo bụng cấu kiện. Sau đó, dầm được hàn lại bản bụng nhằm tạo ra các lỗ mở liên tục, đều đặn dọc theo bản bụng. Phương pháp này chỉ thích hợp áp dụng cho các lỗ mở có khoảng cách đều đặn.



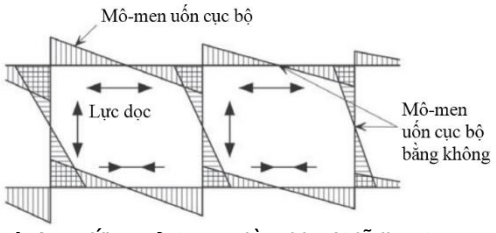
Hình 2. *Chế tạo dầm thép khoét lỗ bằng phương pháp cắt lượn sóng*

2.3 Ứng xử trong dầm thép khoét lỗ liên tục

Về cơ bản, dầm thép khoét lỗ làm việc như hệ giàn không có thanh xiên, chỉ có các thanh cánh và thanh đứng liên kết cứng với nhau. Khi dầm khoét lỗ chịu uốn, trong thanh cánh và thanh đứng ngoài lực dọc và lực cắt còn xuất hiện mô-men uốn cục bộ. Loại giàn chỉ có thanh cánh và thanh đứng mà không có thanh xiên được gọi là giàn Vierendeel, hiện tượng xuất hiện mô-men cục bộ trong thanh dàn được gọi là hiệu ứng Vierendeel.

Do sự xuất hiện với số lượng đáng kể của các lỗ mở liên tục trên bản bụng của dầm, nên các tiết diện dọc dầm có thể là tiết diện đặc hoàn toàn, hoặc tiết diện có lỗ mở. Khi đó, khả năng chịu tải trọng của các phần tử đặc và các phần tử chữ T là khác nhau. Đồng thời, với các lỗ mở hình răng cưa, việc tập trung ứng suất tại các góc lỗ mở cần nghiên cứu tính toán. Kết quả thí nghiệm thực tế cho thấy dầm có thể bị phá hoại tại vùng góc lỗ hoặc tại khu vực bản bụng giữa hai lỗ liên tiếp. Khi tính toán dầm khoét lỗ liên tục, cần nghiên cứu thiết kế đảm bảo an toàn trước các dạng phá hoại sau:

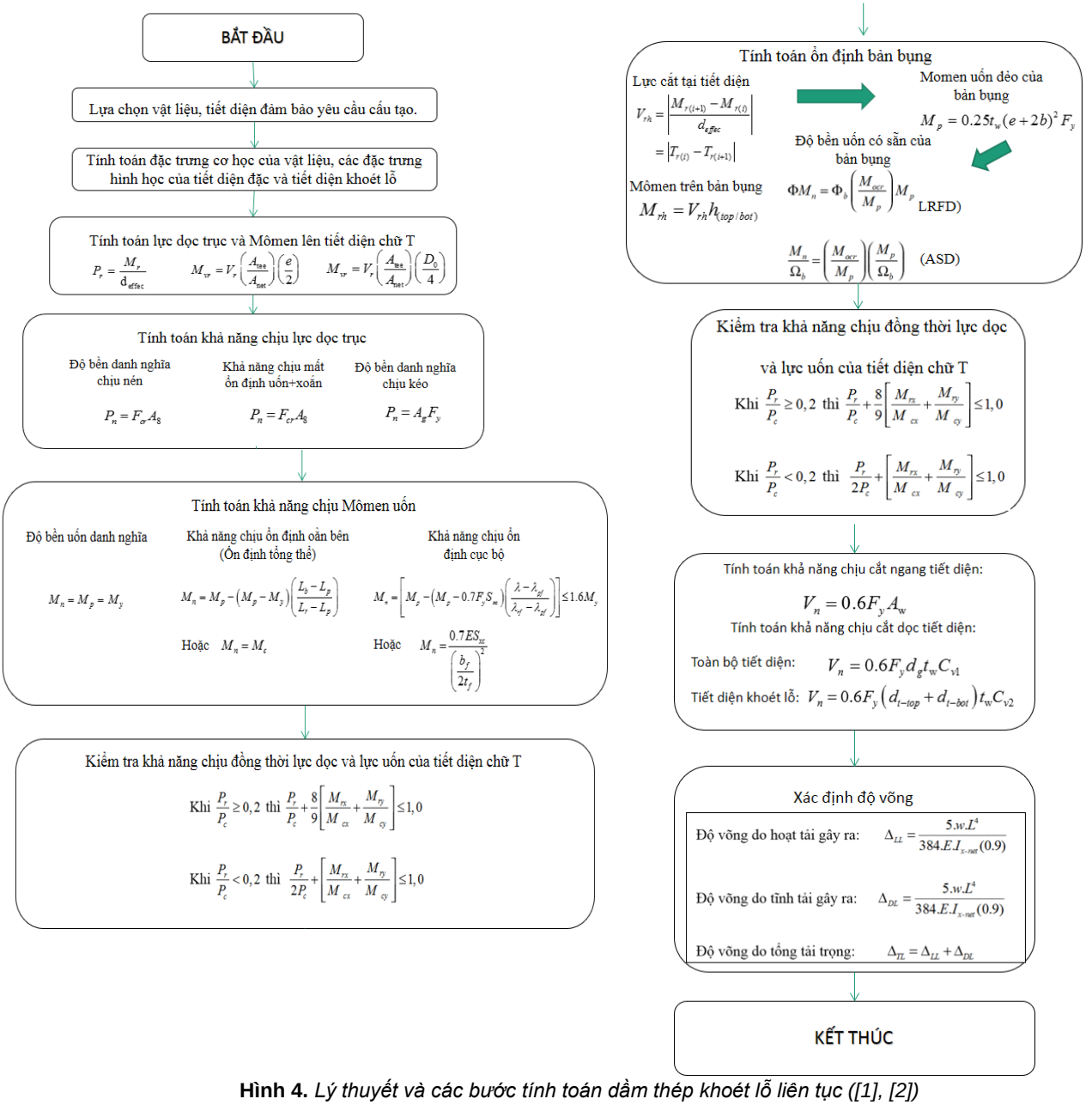
- Phá hoại gây ra bởi uốn tổng thể;
- Phá hoại gây ra bởi hiệu ứng uốn Vierendeel;
- Phá hoại gây ra bởi mất ổn định cục bộ bản bụng;
- Phá hoại gây ra bởi cắt dọc dầm;
- Phá hoại gây ra bởi cắt ngang phần bản bụng giữa hai lỗ;
- Phá hoại gây ra bởi mất ổn định phần bản bụng giữa hai lỗ;
- Chuyển vị.



Hình 3. *Ứng xử trong dầm khoét lỗ liên tục*

3. Quy trình thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn AISC 360-10

- Bước 1: Xác định yêu cầu thiết kế, dữ liệu đầu vào:
  + Công năng sử dụng, sơ đồ dầm, sơ đồ giằng biên...;
  + Tải trọng tác dụng.
- Bước 2: Lựa chọn tiết diện:
  + Vật liệu áp dụng;
  + Kích thước dầm ban đầu;
  + Phương pháp, thông số lỗ khoét.
- Bước 3: Kiểm tra điều kiện cấu tạo.
- Bước 4: Tính toán tải trọng và nội lực trên các tiết diện dầm.
- Bước 5: Kiểm tra các khả năng về chịu lực:
  + Khả năng chịu mômen, lực dọc;
  + Khả năng chịu uốn nén đồng thời;
  + Khả năng chịu cắt.
- Bước 6: Kiểm tra các khả năng về ổn định:
  + Kiểm tra ổn định tổng thể;
  + Kiểm tra ổn định cục bộ bản cánh;
  + Kiểm tra ổn định cục bộ bản bụng.
- Bước 7: Kiểm tra điều kiện độ võng.

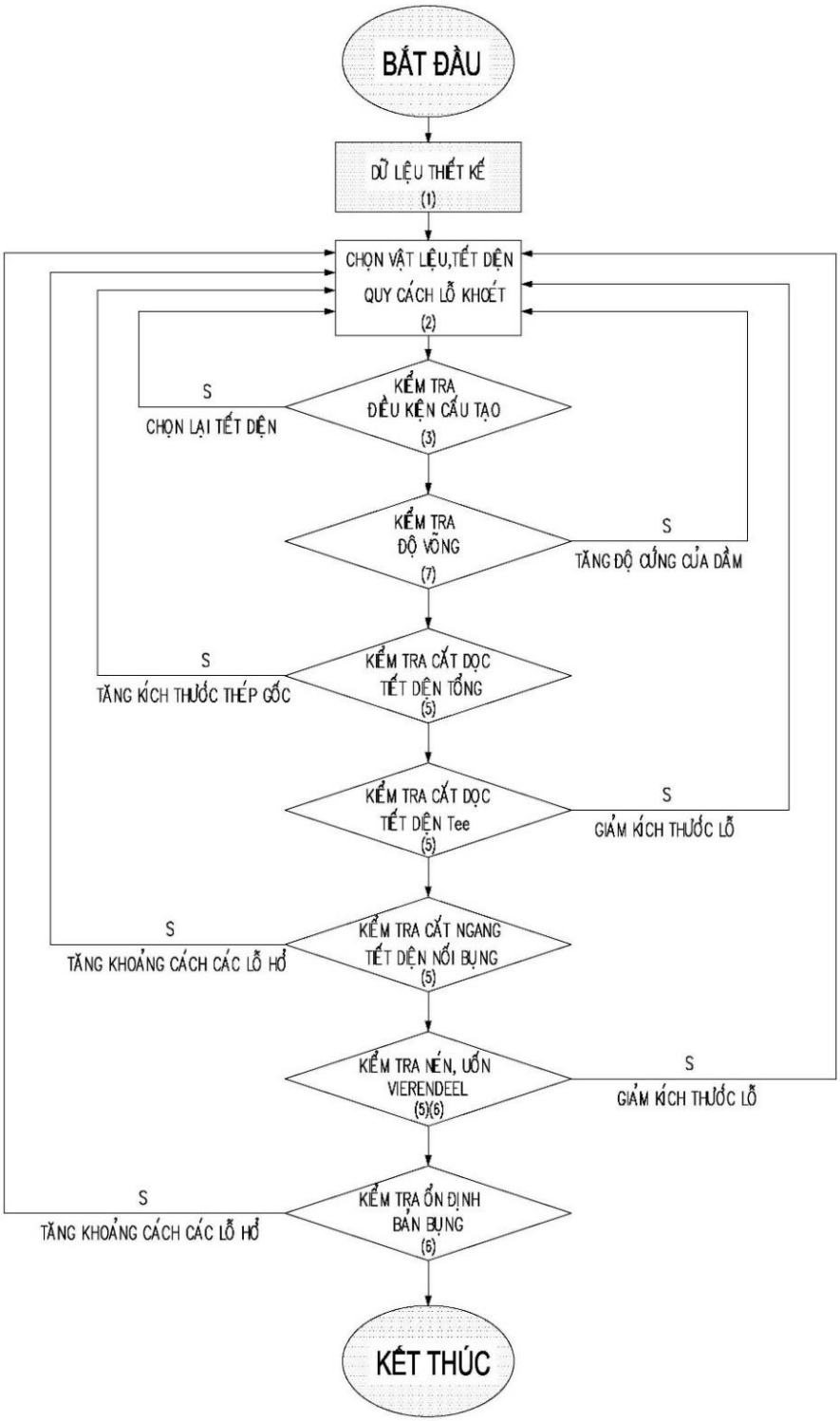


Hình 4. *Lý thuyết và các bước tính toán dầm thép khoét lỗ liên tục ([1], [2])*

4. Sơ đồ khối thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục

Việc bố trí lỗ mở trên bản bụng làm phát sinh một số dạng phá hoại mới so với dầm truyền thống, dẫn tới việc cần kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện chữ T và khả năng chịu lực của bản bụng giữa hai lỗ liên tiếp. Dựa trên các dạng phá hoại, công thức kiểm tra khả năng chịu lực tương ứng với từng dạng phá hoại vừa trình bày ở trên, một quy trình đơn giản thiết kế dầm khoét lỗ liên tục được đề xuất. Quy trình được trình bày dưới dạng sơ đồ khối như sau:

Ghi chú: Chỉ số trong ngoặc đơn - (x) - tương ứng với các bước trong quy trình tính toán tại mục 3.



Hình 5. *Sơ đồ khối thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục [1]*

5. Ví dụ tính toán

5.1 Ví dụ thiết kế dầm thép khoét lỗ

Thiết kế dầm trong hệ dầm sàn thép chịu tải trọng nhẹ. Dầm đỡ sàn nhịp 12,9m, bước dầm 1,52m. Tải trọng trên sàn gồm tĩnh tải 122 kG/m^2 và hoạt tải 97,65 kG/m^2.

Yêu cầu: Thiết kế dầm thép như trên theo tiêu chuẩn Mỹ. Giả thiết hệ dầm được giằng ngang bởi sàn.

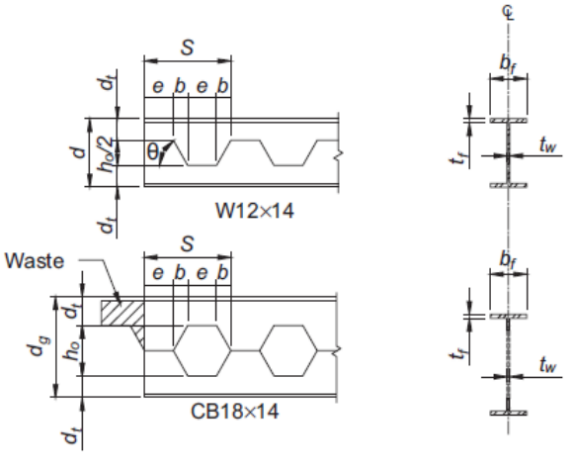
A. Kết quả tính toán thiết kế

Vật liệu: Thép hình loại A572 gr.50.

F_y = 345Mpa; F_u = 148Mpa;

G = 77200Mpa;

Sử dụng dầm thép I đúc sẵn loại W12×14 (dầm thép có chiều cao 30,48cm và nặng 20,8 kg/m khoét lỗ lục giác thành dầm CB18×14 (cao 45,72cm). Quy cách đục lỗ: e = 7,62cm; b = 8,89cm; d_t = 7,62cm.



Hình 6. *Quy cách khoét lỗ dầm I*

B. Các giá trị tính toán chi tiết như sau:

- Độ võng do tổng tải trọng:

$$\Delta_{TL} = \Delta_{LL} + \Delta_{DL}$$

$$= 2{,}85+3{,}96 = 6{,}81 \text{ cm}$$

$$\le \frac{L}{180} = \frac{1290\,\text{cm}}{180} = 7{,}17\text{cm}$$

- Khi tiết diện chịu kết hợp giữa uốn và nén, sử dụng 02 công thức sau [2]:

Khi $\frac{P_r}{P_c} \ge 0{,}2$ thì $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left[\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right] \le 1{,}0$

Khi $\frac{P_r}{P_c} < 0{,}2$ thì $\frac{P_r}{2P_c} + \left[\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right] \le 1{,}0$

Bảng 1. *Kiểm tra khả năng chịu đồng thời lực dọc và lực uốn theo LRFD [2]*

Vị trí lỗ mở	*Xi*	Nội lực trong tiết diện chữ T		Kiểm tra khả năng chịu lực		
	m	*Pr*	*Mrv*	*Pr/Pc*	*Theo H1-1a*	*Theo H1-1b*
		kN	kN.m			
Đầu dầm	0.00	0.00	0.55	0		0.17
1	0.20	13.92	0.54	0.05		0.19
2	0.53	35.50	0.51	0.12		0.22
3	0.86	55.87	0.48	0.19		0.24
4	1.19	74.99	0.45	0.26	0.38	
5	1.52	92.83	0.42	0.32	0.44	
6	1.85	109.47	0.39	0.38	0.48	
7	2.19	124.81	0.36	0.43	0.53	
8	2.51	138.96	0.33	0.48	0.57	

9	2.84	151.85	0.29	0.53	0.61	
10	3.18	163.46	0.27	0.57	0.64	
11	3.51	173.87	0.24	0.6	0.67	
12	3.83	183.04	0.21	0.63	0.69	
13	4.17	190.91	0.18	0.66	0.71	
14	4.50	197.58	0.15	0.68	0.72	
15	4.82	203.01	0.12	0.7	0.73	
16	5.16	207.14	0.09	0.72	0.74	
17	5.49	210.08	0.06	0.73	0.74	
18	5.82	211.77	0.02	0.73	0.74	
Giữa dầm	6.10	212.21	0.00	0.74	0.74	

Bảng 2. *Kiểm tra khả năng chịu đồng thời lực dọc và lực uốn theo ADS [2]*

Vị trí lỗ mở	*Xi* m	Nội lực trong tiết diện chữ T		Kiểm tra khả năng chịu lực		
		Pr	*Mrv*	*Pr/Pc*	*Theo H1-1a*	*Theo H1-1b*
		kN	kN.m			
Đầu dầm	0.00	0	0.41	0		0.24
1	0.20	10.19	0.39	0.05		0.26
2	0.53	25.98	0.37	0.14		0.29
3	0.86	40.88	0.35	0.21	0.40	
4	1.19	54.84	0.33	0.29	0.46	
5	1.52	67.88	0.30	0.35	0.52	
6	1.85	80.06	0.28	0.42	0.57	
7	2.19	91.27	0.26	0.48	0.61	
8	2.51	101.64	0.24	0.53	0.66	
9	2.84	111.07	0.22	0.58	0.69	
10	3.18	119.56	0.19	0.62	0.73	
11	3.51	127.17	0.17	0.66	0.75	
12	3.83	133.84	0.15	0.70	0.78	
13	4.17	139.62	0.13	0.73	0.80	
14	4.50	144.52	0.11	0.75	0.81	
15	4.82	148.47	0.08	0.77	0.82	
16	5.16	151.50	0.06	0.79	0.82	
17	5.49	153.63	0.04	0.80	0.82	
18	5.82	154.88	0.02	0.81	0.82	
Giữa dầm	6.10	155.19	0.00	0.81	0.81	

Bảng 3. *Kiểm tra ổn định bản bụng dầm thép khoét lỗ*

LRFD	ASD
$\Phi M_n = \Phi_b \left(\frac{M_{ocr}}{M_p}\right) M_p$ $= 0.90(0.418).28{,}25$ $= 10{,}63\ \text{kN.m} > M_u = 3{,}25\ \text{kN.m}$	$\frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{1}{\Omega_b}\left(\frac{M_{ocr}}{M_p}\right) M_p$ $= \frac{1}{1.67}(0.418).28{,}25$ $= 7{,}07\ \text{kN.m} > M_a = 2{,}37\ \text{kN.m}$

Bảng 4. *Tổng hợp khả năng chịu cắt của dầm thép khoét lỗ liên tục [2]*

LRFD	ASD
Cắt ngang dầm $V_{uh} / \phi_v V_{n\text{-}horiz} = 21{,}6\ kN / 80\ kN$	Cắt ngang dầm $V_{ah}\Omega_v / V_{n\text{-}horiz} = 15{,}8 kN / 53{,}4\ kN$
Cắt dọc dầm – phần tiết diện khoét lỗ $V_u / \phi_v V_{n\text{-}net} = 28 kN / 160 kN$	Cắt dọc dầm – phần tiết diện khoét lỗ $V_a\Omega_v / V_{n\text{-}net} = 20{,}6 kN / 106{,}6\ kN$
Cắt dọc dầm – phần toàn bộ tiết diện $V_u / \phi_v V_{n\text{-}gross} = 29{,}1 kN / 312{,}7\ kN$	Cắt dọc dầm – phần toàn bộ tiết diện $V_a\Omega_v / V_{n\text{-}gross} = 21{,}3 kN / 207{,}7\ kN$

5.2 Khảo sát các phương án

Tiến hành tương tự với các bài toán thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục chịu các mức độ tải trọng khác nhau, các sơ đồ, bước dầm khác nhau. Kết quả như sau [1]:

- Tải trọng q = 80 kG/m2 - Vật liệu CCT34
  Trong đó: D = 30 kG/m2 - Bước cột B = 6m
  L = 50 kG/m2

Loại tiết diện	Thông số		Nhịp dầm L (m)		
			12	24	36
- Tiết diện dầm đặc (Tính theo TCVN)	H	mm	900	1700	2600
	B		250	500	700
	t_w		10	12	16
	t_f		12	20	30
	Đơn trọng	kG/m	116	313	649
- Tiết diện dầm khoét lỗ (Tính theo AISC)			W18x71 --> CB27x71	W27x194 --> CB40x194	W40x362 --> CB60x362
	H	mm	469	714	1046
	B		194	356	312
	t_w		12,6	19	33
	t_f		20,6	34	59
	Đơn trọng	kG/m	105.79	289.05	539.36

Với các sàn văn phòng, sàn để xe, tải trọng lên hệ sàn là trung bình. Tiến hành khảo sát với các nhịp dầm 6m, 8m và 10m. Kết quả như sau [1]:

- Tải trọng q = 400 kG/m2 - Vật liệu CCT34
  Trong đó: D = 200 kG/m2 - Bước cột B = 4m
  L = 200 kG/m2

Loại tiết diện	Thông số		Nhịp dầm L (m)		
			6	8	10
Tiết diện dầm đặc (Tính theo TCVN)	H	mm	450	580	700
	B		200	200	200
	t_w		8	8	10

	t_f		10	10	12
	Đơn trọng	kG/m	58	67	91
Tiết diện dầm khoét lỗ (Tính theo AISC)			W14x48 ---> CB21x48	W18x71 ---> CB27x71	W21x83 ---> CB30x83
	H	mm	363	469	544
	B		173	194	212
	t_w		9	12,6	13
	t_f		15,7	20,6	21
	Đơn trọng	kG/m	71,52	105,79	123,67

Kết luận:

- Phương án sử dụng dầm thép khoét lỗ liên tục rất phù hợp với các hệ kết cấu có tải trọng nhỏ, đồng thời vượt nhịp lớn;

- Trong trường hợp tải trọng trung bình và lớn, để đảm bảo điều kiện làm việc ổn định và không sử dụng gân tăng cứng hay gia cường các lỗ mở thường kích thước tiết diện của dầm khoét lỗ sẽ lớn hơn dầm thép đặc.

6. Kết luận

Trong bối cảnh kết cấu thép đang được áp dụng rộng rãi, đặc biệt là kết cấu dầm thép có lỗ khoét với những ưu điểm lớn. Việc nghiên cứu cấu tạo, phương pháp chế tạo và thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục là cần thiết và có tính ứng dụng cao. Ứng xử dầm thép khoét lỗ, các yêu cầu về cấu tạo và công thức kiểm tra tương ứng được nghiên cứu, từ đó đưa ra một sơ đồ khối thể hiện quy trình thiết kế cho loại hình kết cấu này. Quy trình tính toán theo tiêu chuẩn Mỹ đã thể hiện được sự chi tiết trong các quy định cấu tạo và kiểm tính với các trường hợp gây phá hoại. Và quan trọng hơn tiêu chuẩn Mỹ cho phép thiết kế dầm thép khoét lỗ với các tải trọng tập trung bất kỳ, không giới hạn vị trí đặt tải tập trung như tiêu chuẩn Việt Nam. Các ví dụ tính toán và khảo sát cho thấy vùng ưu điểm của dầm thép khoét lỗ liên tục trong các công trình. Bài báo đưa ra kiến nghị áp dụng dầm thép khoét lỗ cho hệ dầm vượt nhịp lớn và chịu tải trọng nhỏ. Nội dung bài báo có tính ứng dụng cao trong thực tế thiết kế, đặc biệt tại Việt Nam khi các quy trình tính và áp dụng thực tiễn chưa nhiều. Bài báo là tài liệu tham khảo hữu ích dành cho các kỹ sư thiết kế cũng như các nghiên cứu sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Trọng Từ (2019). Tính toán thiết kế dầm thép khoét lỗ liên tục theo tiêu chuẩn Mỹ, *Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.*
2. Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-16), American Institute of Steel Construction.
3. Sameer S. Fares (2016), “Castellated and Cellular Beam Design”, *American Institute of Steel Construction.*

Ngày nhận bài: *27/02/2020.*

Ngày nhận bài sửa lần cuối: *03/4/2020.*