



THIẾT KẾ TỐI ƯU TRỌNG LƯỢNG DẦM LIÊN HỢP THÉP-BÊ TÔNG SỬ DỤNG DẦM THÉP I KHÔNG ĐỐI XỨNG

Vũ Anh Tuấn¹

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp thiết kế tối ưu dầm liên hợp thép-bê tông sử dụng tiết diện chữ I tổ hợp không đối xứng theo tiêu chuẩn thiết kế Eurocode 4. Hàm mục tiêu là tối thiểu hóa trọng lượng dầm thép có kể đến ảnh hưởng của mác thép và chiều cao sàn bê tông. Một bài toán tối ưu cụ thể để kiểm chứng và để chứng minh khả năng của phương pháp thiết kế tối ưu dầm liên hợp. Kết quả thiết kế tối ưu đề cập ở bài báo này trong một số trường hợp trọng lượng dầm thép không đối xứng nhỏ hơn dầm thép đối xứng đến 15%.

Từ khóa: dầm liên hợp, dầm không đối xứng, thiết kế tối ưu, tối ưu kết cấu

Summary: This paper presents an optimal design method of steel-reinforced concrete composite beams using asymmetric welded I-section under the guidance of norm Eurocode 4. The target function is the weight of steel beam taking into account the effects of steel strength and height of concrete slab. An optimal design example was analyzed in order to validate the design results and to demonstrate its capabilities in optimizing composite beams. The optimal results in some cases presented in this paper showed that the weight of asymmetric I beam is smaller upto 15% than symmetric I beam.

Keywords: composite beam, asymmetric beam, optimal design, structural optimization

Nhận ngày 09/5/2013, chỉnh sửa ngày 25/5/2013, chấp nhận đăng 30/6/2013



1. Giới thiệu

Nhu cầu xây dựng công trình nhà cao tầng và siêu cao tầng đang phát triển mạnh mẽ ở Việt Nam, đặc biệt tại các thành phố lớn như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh. Kết cấu liên hợp thép - bê tông (LHT-BT) với các ưu điểm như có khả năng chịu lực và độ tin cậy cao, tăng cường khả năng chống cháy, giảm được trọng lượng bản thân kết cấu, thời gian thi công nhanh... trong tương lai gần chắc chắn sẽ được áp dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng.

Dầm LHT-BT thường được cấu tạo bởi tấm tôn định hình, sàn bê tông cốt thép liên kết với dầm thép I cán nóng hoặc I tổ hợp hàn bằng các chốt hoặc các liên kết chịu cắt, cùng làm việc đồng thời trong giai đoạn sử dụng. Dầm thép thường có tiết diện đối xứng, tiết diện bản cánh trên và bản cánh dưới bằng nhau. Tiết diện đối xứng làm việc khá hiệu quả với kết cấu không liên hợp, tuy nhiên khi bản sàn bê tông và cánh trên nằm ở vùng chịu nén của dầm liên hợp, tiết diện đối xứng làm việc sẽ kém hiệu quả. Dầm thép có tiết diện không đối xứng có khả năng chịu mômen lớn hơn khoảng 10% so với dầm có tiết diện đối xứng có cùng khối lượng [3].

Khi thiết kế dầm LHT-BT các thông số như đặc trưng vật liệu, tải trọng, chiều dày sàn, kích thước hình học của dầm thép, các chốt liên kết chịu cắt... thường được chọn theo kinh nghiệm của kỹ sư thiết kế và sự lựa chọn này ảnh hưởng lớn đến giá thành. Bài báo trình bày phương pháp thiết kế dầm LHT-BT đơn giản, chịu tải trọng phân bố đều với hàm mục tiêu tìm trọng lượng nhỏ nhất của dầm thép I tổ hợp đối xứng hoặc không đối xứng có xét đến ảnh hưởng của mác thép và chiều cao sàn bê tông.

¹TS, Khoa Xây dựng DD và CN. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: vuanhtuan.uce@gmail.com



2. Phương pháp

Phương pháp tối ưu phi tuyến (rời rạc) áp dụng thuật toán tiến hóa vi phân [2] để xác định trọng lượng dầm thép nhỏ nhất. Để tìm được trọng lượng dầm thép cần định nghĩa biến số thiết kế, hằng số thiết kế, hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc.

2.1 Biến số thiết kế

Khác với bài toán tối ưu [5], để mô tả kích thước tiết diện dầm thép I tổ hợp không đối xứng cần 6 biến số (Bảng 1). Các biến tối ưu này sẽ được lấy ngẫu nhiên trong một khoảng giới hạn được định nghĩa bởi kỹ sư thiết kế và kích thước chọn phụ thuộc vào “danh mục thép tấm” cho trước.

Bảng 1. Các biến số mô tả kích thước tiết diện dầm thép I tổ hợp không đối xứng

Biến số	$x_1 (h_w)$	$x_2 (t_w)$	$x_3 (b_f)$	$x_4 (t_f)$	$x_5 (b_b)$	$x_6 (t_b)$
Giới hạn biến số	$h_w^{max} \div h_w^{min}$	$t_w^{max} \div t_w^{min}$	$b_{ft}^{max} \div b_{ft}^{min}$	$t_{ft}^{max} \div t_{ft}^{min}$	$b_{fb}^{max} \div b_{fb}^{min}$	$t_{fb}^{max} \div t_{fb}^{min}$

2.2 Hằng số thiết kế

Để giảm mức độ phức tạp của bài toán tối ưu, giả thiết các kích thước hình học của dầm LHT-BT như khoảng cách giữa các dầm, nhịp của dầm và các thông số của tấm tôn định hình không thay đổi trong quá trình tối ưu.

2.3 Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu dựa trên việc tối thiểu hóa trọng lượng của dầm thép, đồng thời thỏa mãn được các điều kiện ràng buộc về đảm bảo khả năng chịu lực, ổn định trong giai đoạn thi công cũng như trong giai đoạn sử dụng (trạng thái giới hạn thứ nhất - TTGH1) và điều kiện đảm bảo yêu cầu về sử dụng (trạng thái giới hạn thứ hai - TTGH2).

Hàm mục tiêu được biểu diễn như sau:

$$W = \sum (x_1 x_2 + x_3 x_4 + x_5 x_6) \cdot \rho \cdot L \quad (1)$$

Trong đó W là trọng lượng của dầm thép; ρ và L là trọng lượng riêng của thép và chiều dài của dầm.

2.4 Điều kiện ràng buộc

Dầm LHT-BT được thiết kế theo tiêu chuẩn Eurocode 4 [1]. Dầm được kiểm tra theo TTGH1 gồm mômen tính toán nhỏ hơn khả năng chịu mômen của dầm trong giai đoạn thi công cũng như trong giai đoạn sử dụng, lực cắt nhỏ hơn khả năng chịu cắt của dầm và theo TTGH2 về độ võng phải nhỏ hơn độ võng cho phép trong cả hai giai đoạn thi công và sử dụng.

(a) Giá trị mômen trong giai đoạn thi công phải thỏa mãn:

$$M_{Sd} \leq M_{apl,Rd} \quad (2)$$

Trong đó M_{Sd} là mômen lớn nhất của dầm trong giai đoạn thi công; $M_{apl,Rd}$ là khả năng chịu uốn dẻo tính toán của dầm thép.

b) Giá trị mômen trong giai đoạn sử dụng (composite) phải thỏa mãn:

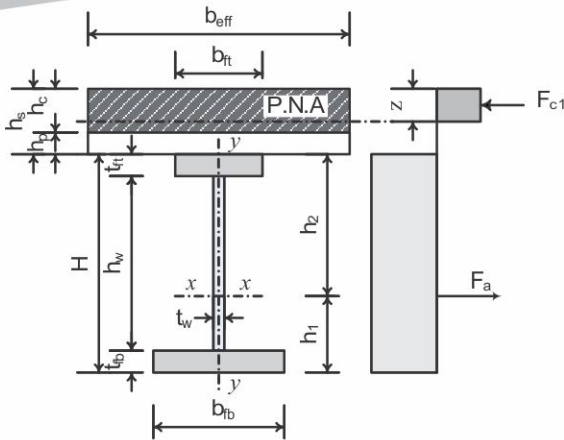
$$M_{Sd} \leq M_{pl,Rd} \quad (3)$$

Trong đó M_{Sd} là mômen lớn nhất của dầm trong giai đoạn sử dụng; $M_{pl,Rd}$ là khả năng chịu uốn dẻo tính toán của dầm LHT-BT có liên kết chịu cắt hoàn toàn.

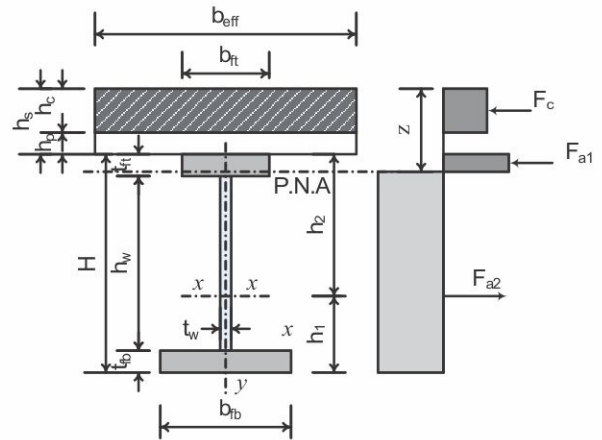
$M_{pl,Rd}$ được xác định phụ thuộc vào phân loại tiết diện, vị trí của trục trung hòa dẻo (P.N.A - Plastic Neutral Axis) nằm ở phần bản sàn bê tông (Hình 1), phần bản cánh của dầm thép (Hình 2) hay bản bụng của dầm thép (Hình 3).

Trường hợp P.N.A nằm ở phần bản sàn bê tông khi $F_a < F_c$. Dùng các phương trình cân bằng lực theo phương nằm ngang và lấy mômen với một điểm nằm trên P.N.A khi đó $M_{pl,Rd}$ được xác định theo (5).

$$\text{Với } F_a = A_a \frac{f_y}{\gamma_a}; F_c = h_c b_{eff} \frac{0.85 f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4)$$



Hình 1. Trục trung hòa dẻo nằm ở phần bản sàn bê tông



Hình 2. Trục trung hòa dẻo nằm ở phần bản cánh của dầm thép

$$M_{pl,Rd} = F_a \left(h_2 + h_p + h_c - \frac{z}{2} \right) \quad (5)$$

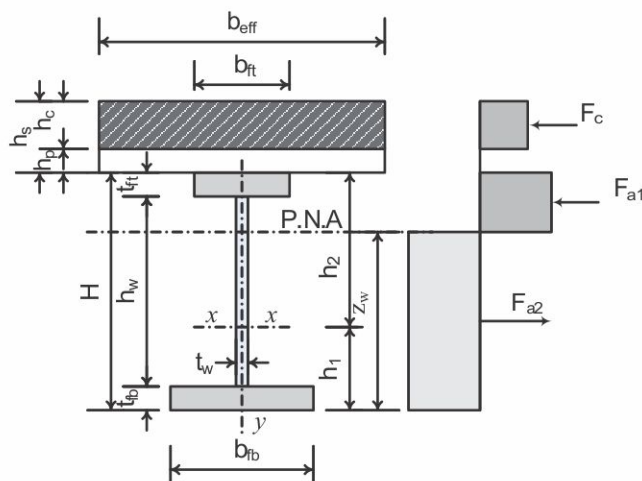
$$z = \frac{F_a}{b_{eff} 0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} \quad (6)$$

Trường hợp P.N.A nằm ở phần cánh trên của dầm thép khi $F_a - F_c \leq 2b_{ft}t_{ft}f_y / \gamma_a$. Dùng các phương trình cân bằng lực theo phương nằm ngang và lấy mômen với một điểm nằm trên P.N.A khi đó $M_{pl,Rd}$ được xác định theo(7)

$$M_{pl,Rd} = F_a \left(h_2 + h_p + \frac{h_c}{2} \right) - (F_a - F_c) \left(\frac{z + h_p}{2} \right) \quad (7)$$

$$z = \frac{F_a - F_c}{2b_{ft} \frac{f_y}{\gamma_a}} (h_c + h_p) \quad (8)$$

Trường hợp P.N.A nằm ở phần bản bụng của dầm thép khi $2b_{ft}t_{ft}f_y / \gamma_a \leq F_a - F_c$. Dùng các phương trình cân bằng lực theo phương nằm ngang và lấy mômen với trọng tâm của dầm tổ hợp, khi đó $M_{pl,Rd}$ được xác định theo(9).



Hình 3. Trục trung hòa dẻo nằm ở phần bản bụng của dầm thép

$$M_{pl,Rd} = M_{pl,a,Rd} + F_c \left(h_2 + h_p + \frac{h_c}{2} \right) - (z_w - h_1)^2 t_w \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (9)$$

$$z_w = \frac{F_c}{2t_w \frac{f_y}{\gamma_a}} - \left(\frac{t_{fb} b_{fb} - t_{ft} b_{ft}}{2t_w} \right) + \left(\frac{t_{fb} - t_{ft} + H}{2} \right) \quad (10)$$

Các công thức (5), (7) và (9) khi thay $h_1 = h_2 = \frac{H}{2}$, ta sẽ được công thức xác định khả năng chịu uốn dẻo tính toán của dầm LHT-BT sử dụng dầm thép tiết diện đối xứng đã được trình bày ở [5].

(c) Giá trị mômen trong giai đoạn sử dụng phải thỏa mãn:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (11)$$

M_{Rd} là khả năng chịu uốn dẻo tính toán của dầm LHT-BT có liên kết chịu cắt hoàn toàn hoặc không hoàn toàn, phụ thuộc vào $M_{pl,Rd}$, cường độ, đường kính và số lượng chốt chịu cắt trong dầm LHT-BT.

(d) Giá trị lực cắt trong giai đoạn sử dụng phải thỏa mãn:

$$V_{Sd} \leq V_{pl,Rd} \quad (12)$$

V_{Sd} là lực cắt lớn nhất của dầm khi sử dụng, $V_{pl,Rd}$ là khả năng chịu cắt của dầm LHT-BT.

(e) Điều kiện chuyển vị trong giai đoạn thi công không có giáo chống và trong giai đoạn làm việc liên hợp:

$$\Delta_y^{cs} = \frac{5}{384} \frac{q_y^{cs} L^4}{E_a I_a} \leq [\Delta_y^{cs}] \quad (13)$$

$$\Delta_y^{ws} = \frac{5}{384} \frac{q_y^{ws} L^4}{E_a I_c} \leq [\Delta_y^{ws}] \quad (14)$$

Trong đó q_y^{cs} , Δ_y^{cs} , q_y^{ws} , Δ_y^{ws} lần lượt là tải trọng tiêu chuẩn và chuyển vị của dầm LHT-BT trong giai đoạn thi công và trong giai đoạn liên hợp; $[\Delta_y^{cs}]$ và $[\Delta_y^{ws}]$ là chuyển vị cho phép của dầm trong giai đoạn thi công và giai đoạn sử dụng được xác định theo tiêu chuẩn thiết kế.

(f) Giới hạn trên và dưới cũng như điều kiện ràng buộc của các biến số thiết kế được trình bày như sau:

$$\begin{aligned} D_i^L &\leq x_i \leq D_i^U, \quad i = 1 \div 6; \\ D_i &\in S = (S_d | d = 1, 2, \dots, ns) \end{aligned} \quad (15)$$

Trong đó D_k^L và D_k^U là biên trên và biên dưới của S , S và ns là danh sách và số lượng các kích thước thép tấm có sẵn trong “danh mục thép tấm”.

Để đảm bảo điều kiện liên kết hàn chốt chịu cắt với cánh trên của dầm thép, bề rộng tối thiểu cánh trên của dầm $b_{tf}^{min} \geq 120mm$. “Danh mục thép tấm” cho trước được tham khảo theo danh sách sau:

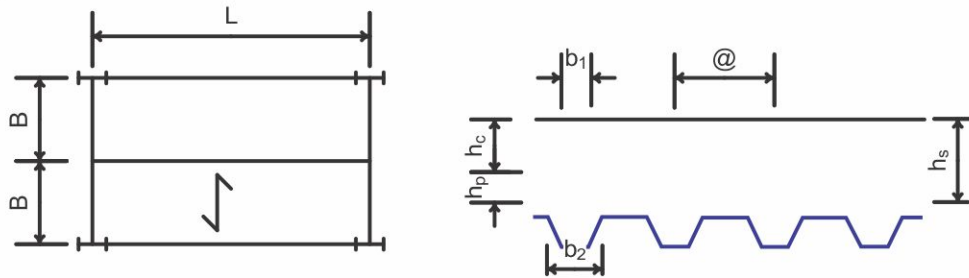
Chiều dày bản bụng (mm)	4 5 6 7 8 9 10 12
Chiều dày bản cánh (mm)	5 6 7 8 10 12 16 20 24 30
Bề rộng bản cánh (mm)	120 150 160 180 200 220 250 300



3. Tối ưu dầm LHT-BT

Hệ dầm LHT-BT đơn giản, với nhịp $L=10m$, khoảng cách giữa các dầm $B=3m$, sàn liên hợp, không sử dụng thanh chống tạm khi thi công (Hình 4). Dữ liệu thiết kế xem Bảng 2.

Giá trị ban đầu của biến số được tham khảo dựa trên ví dụ thiết kế dầm liên hợp của “The Steel Construction Institute” được trình bày ở [1], tiết diện dầm thép hình trong ví dụ này sử dụng loại UB406×178×60, thông số được trình bày ở Bảng 3.



Hình 4. Sơ đồ hình học của hệ dầm sàn LHT-BT

Bảng 2. Dữ liệu thiết kế dầm LHT-BT

Giá trị	Biến số thiết kế			Hằng số thiết kế				
Cấu kiện	Sàn			Dầm	Chốt	Tấm tôn sàn		
Kích thước (mm)	$h_s=90$	$h_p=50$	$h_c=40$	Tổ hợp I không đối xứng	$d=19$	$b_1=120$	$b_2=180$	@=300
	$h_s=100$		$h_c=50$					
	$h_s=110$		$h_c=60$					
	$h_s=120$		$h_c=70$					
	$h_s=130$		$h_c=80$					
Vật liệu	C25/30			S355/S275	S355	S355		

Bảng 3. Kích thước hình học dầm thép ở ví dụ [1]

Biến số (mm)	$x_1 (h_w)$	$x_2 (t_w)$	$x_3 (b_f)$	$x_4 (t_f)$	$x_5 (b_{fb})$	$x_6 (t_{fb})$
	360.4	7.8	177.8	12.8	177.8	12.8

Chuyển vị cho phép của dầm không sử dụng thanh chống phụ trong giai đoạn thi công và trong giai đoạn sử dụng được xác định theo:

$$[\Delta_y^{cs}] = \frac{1}{350} L ; [\Delta_y^{ws}] = \frac{1}{200} L \quad (16)$$

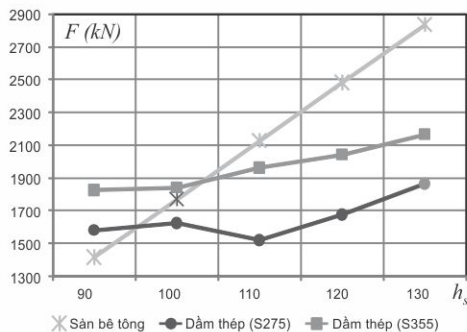
Trọng lượng tối ưu của dầm LHT-BT sử dụng dầm thép I tổ hợp không đối xứng được trình bày ở Bảng 4. Kết quả thiết kế tối ưu cho thấy:

Bảng 4. Kết quả tối ưu

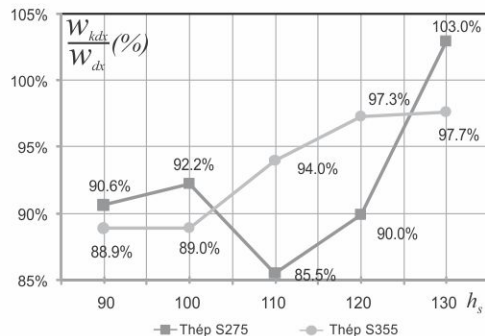
ID	Mác thép	S275		S355	
	Tiết diện I	$\bar{d}x$	$k\bar{d}x$	$\bar{d}x$	$k\bar{d}x$
1	$W(kG)$ khi $h_s=90$	523	474	477	424
	Phần trăm (%)	100	90.6	100	88.9
2	$W(kG)$ khi $h_s=100$	528	487	480	427
	Phần trăm (%)	100	92.2	100	89.0
3	$W(kG)$ khi $h_s=110$	532	455	484	455
	Phần trăm (%)	100	85.5	100	94.0
4	$W(kG)$ khi $h_s=120$	558	502	487	474
	Phần trăm (%)	100	90.0	100	97.3
5	$W(kG)$ khi $h_s=130$	537	553	514	502
	Phần trăm (%)	100	103.0	100	97.7

- Trọng lượng dầm được xác định theo nhịp L và kích thước tiết diện cho ở Bảng 3 là 589kG [1]. Bảng 4 trình bày trọng lượng tối ưu của dầm thép có giới hạn cùng chiều cao so với dầm ở ví dụ [1] và có kể đến ảnh hưởng của chiều dày sàn và mác thép. Trọng lượng dầm thép tối ưu đều nhỏ hơn trọng lượng dầm ban đầu, cụ thể trong trường hợp đối xứng là 514kG (87.3%); không đối xứng là 502kG (85.2%).

- Mác thép có ảnh hưởng đến trọng lượng của dầm. Sự chênh lệch trọng lượng lớn nhất của dầm với mác thép S275 và S355 lần lượt là 12.7% (ID4 - dầm đối xứng) và 12.3% (ID2 - không đối xứng). Tuy nhiên, trong thiết kế thực tế cần phải kể đến yếu tố tăng chi phí cho thép cường độ cao.



Hình 5. Khả năng chịu nén của bê tông và dầm thép



Hình 6. So sánh trọng lượng dầm thép có tiết diện đối xứng và không đối xứng có kể đến ảnh hưởng của mác thép và chiều cao sàn

- Ảnh hưởng của dạng tiết diện I và chiều cao của sàn đến trọng lượng của dầm được trình bày ở Hình 5 và Hình 6. Khi khả năng chịu nén của bản bê tông nhỏ hơn khả năng chịu nén của dầm thép đối xứng $F_c < F_a$, tương ứng với chiều cao sàn là $h_s = 90mm$ và $h_s = 100mm$ thì sử dụng dầm không đối xứng sẽ kinh tế hơn dầm đối xứng khoảng 6%÷10%. Sự chênh lệch trọng lượng của dầm không đối xứng và đối xứng sẽ thu hẹp dần khi khả năng chịu nén của sàn tăng. Khi $h_s \geq 120mm$, sử dụng dầm thép không đối xứng sẽ không đem lại hiệu quả kinh tế.



4. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp thiết kế tối ưu trọng lượng dầm LHT-BT sử dụng dầm thép I không đối xứng dựa trên thuật toán tiến hóa vi phân có xét đến các yếu tố ảnh hưởng như kích thước tiết diện bản thép, mác thép và chiều cao sàn bê tông.

Kết quả ở trên cho thấy phương pháp thiết kế tối ưu cho kết quả tốt hơn so với các phương pháp thiết kế truyền thống. Trong một số trường hợp nghiên cứu trên dầm LHT-BT có dầm I tiết diện không đối xứng cho hiệu quả kinh tế tốt hơn. Nên áp dụng dầm I không đối xứng có hiệu quả khi trục trung hòa dầm nằm trong bản cánh trên của dầm hay khả năng chịu nén tính toán của bản sàn bê tông nhỏ hơn khả năng chịu nén của dầm thép.

Tài liệu tham khảo

1. R.M. Lawson; K.F. Chung (1994); *Composite Beam Design to Eurocode 4*; The Steel Construction Institute.
2. K.V. Preis, R.M. Storn, J.A. Lampinen (2005); *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*, Springer.
3. H. Adeli, K. C. Sarma (2006); *Cost Optimization of Structures: Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, and Parallel Computing*, Wiley.
4. Phạm Văn Hội (2006); *Kết cấu liên hợp thép - bê tông*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật; Hà Nội.
5. Vũ Anh Tuấn, Hàn Ngọc Đức (2011); *Thiết kế tối ưu dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép*; Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.