

Sự làm việc của bản mã kích thước lớn trong liên kết bulông của giàn chuyển

Behavior of large-scale gusset plate in bolted connection of transfer truss

Ngày nhận bài: 18/9/2014

Ngày sửa bài: 22/10/2015

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2015

Nguyễn Trần Hiếu,
Vũ Anh Tuấn

TÓM TẮT

Bài báo đề cập sự làm việc của bản mã có kích thước lớn trong liên kết nút giàn chuyển. Căn cứ trên những dạng phá hoại có thể xảy ra trên bản mã để ra công thức kiểm tra độ bền của bản mã dưới tác dụng của từng cấu kiện đơn lẻ cũng như trong trường hợp chịu lực tổng thể. Một phương pháp hữu hiệu để nghiên cứu sự làm việc của bản mã là sử dụng lý thuyết phần tử hữu hạn (PTHH). Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp PTHH cho kết quả chính xác hơn các phương pháp tính toán lý thuyết truyền thống khác.

Từ khóa: Bản mã, giàn chuyển, kết cấu thép, phần tử hữu hạn, mô phỏng nút

ABSTRACT

In this paper, the behavior of large-scale gusset plate in bolted connection of transfer truss is introduced. Based on failure modes, some formulas to evaluate the gusset plate strength are mentioned. This paper also presents some methods to analyze gusset plate under combined stress. Among these presented methods, the FEM method has more advantages than conventional methods.

Keywords: Gusset plate, transfer truss, steel structure, FEM, joint simulation

Nguyễn Trần Hiếu

Công ty TNHH Polysius Việt Nam,

Vũ Anh Tuấn

Khoa Xây dựng DD và CN,

Trường Đại học Xây dựng,

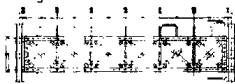
Email: hieu.nguyen-tran@outlook.com

Điện thoại: 090 733 328

1 GIỚI THIỆU

Hiện nay cơ sở hạ tầng và tốc độ đô thị hóa của Việt Nam đang trên đà phát triển mạnh mẽ, kèm theo đó là những công trình nhà cao tầng cần không gian linh hoạt nhằm phục vụ đa dạng các lĩnh vực như kinh doanh, giải trí... Do yêu cầu cần không gian lớn mà kết cấu giàn chuyển xuất hiện ngày càng nhiều. Ở Việt Nam hiện nay có một số công trình lớn đã sử dụng kết cấu giàn chuyển như Trụ sở Bộ Công An, Bảo tàng Hà Nội, Tòa tháp văn phòng Vietinbank (VietinBank Tower - VBT) (Hình 1)...

Kết cấu giàn chuyển bao gồm thanh cánh trên, thanh cánh dưới và các thanh bụng đứng và xiên. Việc liên kết trực tiếp những thanh giàn với nhau thường rất khó khăn. Do vậy bản mã thường được sử dụng như một cấu kiện trung gian để truyền lực từ thanh giàn này sang thanh giàn khác.



Hình 1. Sơ đồ giàn chuyển dự án Tháp văn phòng VBT

Một trong những đặc điểm chính của kết cấu giàn chuyển là chịu tải trọng rất lớn, do đó kích thước tiết diện của các thanh trong giàn chuyển cũng lớn hơn nhiều so với kết cấu giàn thông thường. Sự làm việc của nút liên kết giàn chuyển sử dụng bản mã là rất phức tạp, chưa được đề cập đến trong tiêu chuẩn cũng như các tài liệu hướng dẫn thiết kế.

Bài báo trình bày cách tính toán bản mã theo liên kết cấu thép của Mỹ AISC-360/05 và sự làm việc của bản mã có kích thước lớn trong nút giàn chuyển, trong đó trình bày cụ thể một số phương pháp đánh giá khả năng chịu lực tổng thể của bản mã khi chịu lực.

2 SỰ LÀM VIỆC CỦA BẢN MÃ TRONG LIÊN KẾT NÚT GIÀN CHUYỂN

Bản mã có thể bị những dạng phá hoại như sau:

a) Phá hoại chảy dẻo hoặc kéo đứt trong trường hợp thanh chịu kéo

b) Mất ổn định bản mã trong trường hợp thanh chịu nén

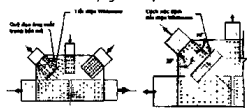
c) Phá hoại cắt khối của bản mã

d) Phá hoại trong trường hợp chịu lực tổng thể

Trong những dạng phá hoại trên, dạng (a), (b), (c) xảy ra cục bộ tại vị trí liên kết của bản mã và một thanh riêng rẽ trong nút. Dạng phá hoại (d) xét tới tác dụng tổng thể của tất cả các cấu kiện trong nút.

2.1 Phá hoại chảy dẻo hoặc kéo đứt trong trường hợp thanh chịu kéo

Năm 1952, Whitmore đã tiến hành thí nghiệm với bản mã kim loại và xác định được quỹ đạo ứng suất truyền trong bản mã. Căn cứ vào kết quả thí nghiệm, ông đã đề xuất phương pháp xác định tiết diện chịu kéo hữu hiệu của bản mã (tiết diện Whitmore) như sau: từ tâm hai bu lông ngoài cùng hàng đầu tiên, dựng hai đường thẳng nghiêng góc 30° so với trục thanh (Hình 2a). Giao của hai đường này với đường thẳng đi qua tâm các bu lông hàng cuối cùng xác định một bề rộng hữu hiệu W.



Hình 2. Quỹ đạo ứng suất và cách xác định tiết diện Whitmore

Có thể sử dụng công thức J4-1 và J4-2 trong Tiêu chuẩn AISC-360/05 để xác định độ bền của tiết diện Whitmore:

$$R_n = F_u A_{nt} \quad (1)$$

$$R_n = F_u A_{nt} \quad (2)$$

Trong đó: F_u - ứng suất chảy tiêu chuẩn

F_u - ứng suất bền (kéo đứt) tiêu chuẩn

A_{nt} - diện tích tiết diện Whitmore không giảm yếu

A_{nt} - diện tích tiết diện Whitmore giảm yếu

Trong công thức (1), hệ số an toàn $\phi = 0.9$, trong công thức (2) $\phi = 0.75$.

Nghiên cứu chỉ ra rằng dạng phá hoại kéo đứt của tiết diện giảm yếu thường không xảy ra trước

khí xảy ra phá hoại cắt khối. Vì thế trong thực tế thiết kế, dạng phá hoại này ít được xem xét tới.

2.2 Mất ổn định trong trường hợp thanh chịu nén

Có hai dạng mất ổn định của bản mã:

- Mất ổn định của vùng mép biên bản mã

- Mất ổn định của vùng bản mã phía sau cấu kiện liên kết

Thực tế hai hiện tượng trên không tách biệt rõ ràng mà có sự liên quan đến nhau. Các kết quả thí nghiệm do Sheng và Yam thực hiện năm 2002 cho thấy khi gia cường thêm các sườn cứng bên trong bản mã, khả năng ổn định của vùng phía trong bản mã tăng lên và khả năng ổn định của mép biên cũng tăng theo. Hơn thế nữa, theo Chambers và Ernst (2005) nếu bố trí các sườn tại vùng biên của bản mã thì khả năng ổn định của vùng bản mã phía trong cũng tăng lên. Hiện nay vẫn chưa có một nghiên cứu cụ thể nào về mối quan hệ này, các công thức trình bày trong bài báo vẫn xem xét hai hiện tượng một cách riêng biệt.

(i) Mất ổn định của vùng mép biên bản mã

Tiêu chuẩn AASHTO 2007 giới hạn tỷ lệ chiều dài trục do mép biên trên chiều dày bản mã theo công thức sau.

$$L_y/t_b \leq 2.06\sqrt{E/F_y} \quad (3)$$

Công thức trên áp dụng cho trường hợp thiết kế không xét tới điều kiện kháng chấn, hệ đơn vị là kip-inch. Đối với trường hợp có xét tới kháng chấn, Abolhassan Astane-Afshari trong [3] đề xuất sử dụng công thức:

$$L_y/t_b \leq 0.75\sqrt{E/F_y} \quad (4)$$



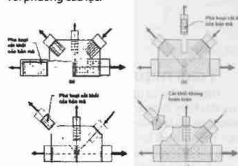
Hình 3. Mất ổn định vùng mép biên bản mã

(ii) Mất ổn định của vùng bản mã phía sau cấu kiện liên kết

Khi chỉ có một cấu kiện chịu nén, để xác định độ bền ổn định của bản mã cũng có thể sử dụng phương pháp tiết diện hữu hiệu Whitmore. Theo đó, độ bền của bản mã được xác định giống như một cột tiết diện chịu nén nhất kích thước $W \times t_b$ chiều dài cột bằng khoảng cách trung bình từ tiết diện Whitmore tới mép biên bản mã. Công thức xác định độ bền mất ổn định tham khảo phần Thiết kế cấu kiện chịu nén AISC-360/05.

2.3 Phá hoại cắt khối

Hiện tượng cắt khối xảy ra khi cấu kiện liên kết chịu kéo. Có hai loại cắt khối: cắt khối của cấu kiện được liên kết và cắt khối của bản mã. Thông thường chiều dày bản mã nhỏ hơn cấu kiện được liên kết vì thế dễ xảy ra hiện tượng cắt khối bản mã. Bản chất của hiện tượng cắt khối bao gồm sự kéo đứt trên mặt phẳng vuông góc với chiều của lực và sự phá hủy về cắt trên mặt phẳng song song với phương của lực.



Hình 4. Một số dạng cắt khối (thường gặp ở bản mã)

Công thức J.4-5 AISC-360/05 cho phép xác định độ bền cắt khối của bản mã

$$R_n = 0.6F_u A_{nt} + U_{ts} F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{ts} F_y A_{gv} \quad (5)$$

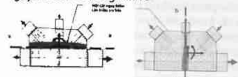
Trong đó: $0.6F_u A_{nt}$ - độ bền phần tiết diện chịu cắt; $F_u A_{nt}$ - độ bền phần tiết diện chịu kéo U_{ts} - hệ số để tính sự phân bố không đều của ứng suất kéo

Trường hợp thanh có hai thành phần lực dọc và lực cắt có thể sử dụng công thức như sau [3]:

$$(V/\phi R_{nv})^2 + (H/\phi R_{nh})^2 \leq 1 \quad (6)$$

2.4 Phá hoại trong trường hợp chịu lực tổng thể

Khi thiết kế cần xét tới sự phá hoại xảy ra không chỉ ở từng cấu kiện mà còn cần xem xét sự làm việc tổng thể. Thông thường việc kiểm tra độ bền của bản mã trong trường hợp chịu lực tổng thể được tiến hành tại những mặt cắt nguy hiểm như trong Hình 5



Hình 5. Mặt cắt nguy hiểm của bản mã chịu đồng thời momen, lực cắt, lực dọc

Nội lực tại mặt cắt nguy hiểm được xác định bằng cách quy đổi lực như trong Sức bền vật liệu, dựa trên giả thiết liên kết không bị biến dạng trong quá trình chịu lực. Thước kẻ trong giai đoạn chịu lực, trục của các cấu kiện liên kết còn đồng quy tại một điểm nữa, vì thế momen tại mặt cắt nguy hiểm cần được cộng thêm một lượng kể đến độ lệch tâm này. Cách xác định giá trị nội lực có thể đến biến dạng cấu kiện có

thể tham khảo Phương pháp lực đồng nhất (The uniform force method) [2]. Phương pháp kiểm tra bền cho bản mã trường hợp này được trình bày cụ thể tại mục 3.

3 MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP KIỂM TRA ĐỘ BỀN BẢN MÃ KHİ CHỊU LỰC TỔNG THỂ

3.1 Phương pháp "điểm đơn giản"

Phương pháp thường được áp dụng nhất là coi bản mã như một tấm đơn giản, khi đó ta có trạng thái ứng suất bên trong bản mã đảm như Hình 6. Để kiểm tra độ bền của bản mã, cần xem xét tại 03 điểm nguy hiểm: điểm A có ứng suất pháp lớn nhất, ứng suất tiếp bằng không, điểm B có ứng suất tiếp lớn nhất, ứng suất pháp bằng không và điểm C có ứng suất pháp và ứng suất tiếp đều tương đối lớn. Việc kiểm tra theo ứng suất chính tương tự như bài toán ứng suất phẳng của Sức bền Vật liệu.



Hình 6. Phân bố ứng suất của bản mã theo phương pháp điểm đơn giản

Một công thức đơn giản để kiểm tra độ bền của bản mã chịu đồng thời momen, lực dọc và lực cắt được đề cập trong [3]:

$$(N/\phi N_u)^2 + (M/\phi M_u)^2 + (V/\phi V_u)^2 \leq 1.0 \quad (7)$$

$$(N/\phi N_u)^2 + (M_u/\phi M_u) + (V/\phi V_u)^2 \leq 1.0 \quad (8)$$

Trong đó: N_u, M_u, V_u là độ bền chảy dẻo của phần tiết diện nguyên bản mã

N_u, M_u, V_u là độ bền kéo đứt của phần tiết diện giảm yếu bản mã

$$\phi = 0.9 \text{ và } \phi_u = 0.75$$

Công thức kiểm tra trên có ưu điểm đơn giản, dễ sử dụng, nhưng nhược điểm là không xác định được ứng suất cụ thể tại từng vị trí, dẫn tới không xác định được vùng ứng suất nguy hiểm trên bản mã.

3.2 Phương pháp cộng ứng suất

Phương pháp được Astane-Afshari đề xuất trong [3]:

• Sử dụng phương pháp họa đồ xác định tiết diện hữu hiệu Whitmore cho từng cấu kiện tham gia nối liên kết.

• Từ hai điểm ngoài cùng của tiết diện Whitmore vẽ hai đường thẳng song song với trục cấu kiện. Hai đường thẳng này xác định vùng ứng suất gây ra bởi cấu kiện tương ứng. Ứng suất tại bất kỳ điểm nào trong vùng này

Bảng 1. Dữ liệu tính toán nút giàn

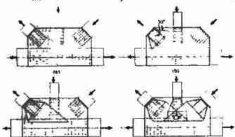
Cấu kiện	Hình dạng tiết diện	Bản cánh		Bản bụng		Bản cánh ngoài	Nội lực cấu kiện	
		B (mm)	T _r (mm)	D (mm)	T _w (mm)	T _p (mm)	N (kN)	V (kN)
T2	H (hai bản cánh)	1100	100	900	50	100	-62920	22620
T4	H	1000	100	1100	50	-	-43700	-
T5	H	800	100	1100	50	-	30200	-
T9	H	600	50	1100	25	-	-11100	-

đều chỉ có thành phần ứng suất pháp và có giá trị bằng $\sigma = N / (W \cdot x_t)$

▪ Tại vùng giao giữa các vùng ứng suất gây ra bởi các cấu kiện, bằng phương pháp Sức bền vật liệu xác định ứng suất pháp và ứng suất tiếp cho một phần tử đơn vị.

▪ Sử dụng ứng suất tương đương Von-Mises để kiểm tra điều kiện bền theo công thức sau:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq F_y \quad (9)$$



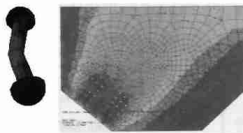
Hình 7. Phương pháp cộng ứng suất

3.3 Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH)

Phương pháp PTHH là một phương pháp số dựa trên nền tảng toán học để mô hình hóa các vấn đề thực tiễn. Phương pháp PTHH được dùng phổ biến trong các bài toán cơ học để xác định trường ứng suất – biến dạng của vật thể. Một số phần mềm PTHH phổ biến có thể kể đến như ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS.

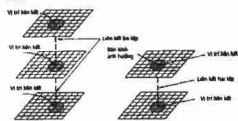
Một vấn đề khi mô hình nút liên kết bằng phương pháp PTHH là mô phỏng bu lông. Có nhiều cách để mô phỏng bu lông, tùy thuộc vào yêu cầu đặt ra của bài toán mà lựa chọn phương pháp phù hợp.

Phổ biến nhất là mô hình bu lông dạng vật thể khối ba chiều (3D solid) như trong Hình 8. Ưu điểm của phương pháp này là mô hình nút liên kết một cách chi tiết, gần nhất so với sự làm việc thực tế, cho phép xem xét được trạng thái ứng suất – biến dạng của từng bu lông. Tuy nhiên nhược điểm của phương pháp này là số lượng phần tử quá lớn đến mức khối lượng tính toán lớn, thời gian phân tích kéo dài



Hình 8. Bu lông mô hình bằng phần tử khối và trường ứng suất trong bản má khi phân tích bằng phần mềm ABAQUS

Bên cạnh đó, phần mềm ABAQUS còn có một kiểu phần tử là "abaqus fastener" dùng để liên kết các điểm của hai hay nhiều mặt phẳng. Loại phần tử này thường được sử dụng để mô hình các liên kết như liên kết hàn điểm, liên kết bu lông, đinh tán trong các bài toán mà mục tiêu là xác định trường ứng suất tổng thể của nút.



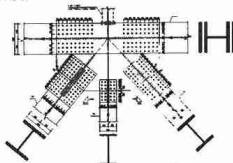
Hình 9. Sơ đồ liên kết "abaqus fastener"

Bên cạnh việc mô phỏng ứng xử của liên kết (cứng tuyệt đối, đàn hồi hoặc phi tuyến), ABAQUS còn cho phép khai báo bán kính ảnh hưởng của liên kết như trong Hình 9. Phương pháp này tuy không thể xem xét cụ thể ứng suất trong từng bu lông nhưng lại có ưu điểm lớn là mô hình đơn giản, giảm thiểu thời gian phân tích.

3.4 Ví dụ tính toán

Để hình dung cụ thể, tiến hành tính toán một nút trong giàn chuyển vượt nhịp 54m, chiều cao giàn 9.36m, đỡ 20 tầng của dự án Tháp văn phòng VBT. Nút gồm 04 cấu kiện được liên kết với nhau thông qua bản má và bản nối (Hình 10). Kích thước tiết diện và nội lực các cấu kiện trình bày trong Bảng 1. Các cấu kiện liên kết được tổ hợp từ các bản thép mác ASTM A572 cấp cường độ 50 (cường độ chảy tiêu chuẩn bằng 50 ksi). Liên kết bản cánh sử dụng bu lông M40 cường độ cao ASTM A490,

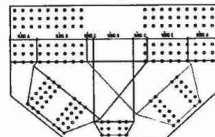
liên kết bản bụng sử dụng bu lông M24ASTM A490.



Hình 10. Chi tiết nút cánh trên giàn chuyển khối văn phòng VBT

▪ Phương pháp cộng ứng suất

Tiến hành theo các bước đã trình bày trong mục 3.2, tại mặt cắt đang xét, ứng suất được chia thành 05 vùng riêng biệt. Ứng suất tại từng vùng thể hiện trong Bảng 2.



Hình 11. Phương pháp cộng ứng suất

Bảng 2. Kết quả tính toán theo phương pháp cộng ứng suất

Vùng	Vùng	Vùng	Vùng	Vùng
A	B	C	D	E
0.00	272.52	52.42	185.25	221.13

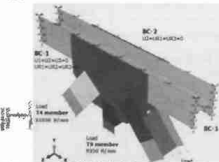
▪ Phương pháp PTHH



Hình 12. Mô hình nút liên kết trong phần mềm ABAQUS

▪ **Vật liệu:** Trong mô hình nút liên kết, các cấu kiện thanh, bản má, bản nối được mô

phòng bằng phần tử tấm đồng nhất (*shell homogeneous*). Vật liệu thép ASTM A592 cấp 50 được khai báo trong ABAQUS bằng mô hình biến đàn dẻo có các đặc trưng cơ học: modun đàn hồi $E = 200,000 \text{ N/mm}^2$; hệ số Poisson $\mu = 0.3$.



Hình 13. Tài trọng và điều kiện biên của mô hình



Hình 14. Kết quả phân tích nứt liên kết trong phần mềm

Điều kiện biên và tải trọng gán vào mô hình thể hiện trong Hình 13. Tải trọng tác dụng vào từng cấu kiện của nút lấy từ nội lực thu được sau khi phân tích nội lực giàn. Trong mô hình mô phỏng nứt, tải trọng được nhập vào cạnh biên phần tử tấm.

Chia lưới phần tử: Cũng như tất cả các phần mềm PTH khác, các cấu kiện trong mô hình ABAQUS cần được chia lưới phần tử khi phân tích. Lưới chia càng mịn thì kết quả phân tích càng chính xác. Trong trường hợp này, bản mã được chia lưới kích thước tối đa 50mm, các cấu kiện còn lại được chia lưới kích thước tối đa 100mm. Loại phần tử sử dụng trong mô hình chia lưới là phần tử tấm tích phân giản lược, dạng tứ giác 4 nút (SAR).

Kết quả phân tích: bài toán đang xét là bài toán tĩnh, vì thế sử dụng modun ABAQUS /

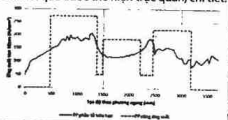
Standard để phân tích. Kết quả sau khi phân tích là ứng suất, biến dạng tại các điểm trong mô hình đã chia lưới phần tử. Về ứng suất, phần mềm cho phép hiển thị nhiều loại ứng suất như ứng suất theo các phương, ứng suất chính. Kết quả thường được sử dụng nhất là ứng suất Von-Mises. Đây là ứng suất tương đương được để xuất trong tiêu chí dẻo của Von-Mises, theo đó nếu ứng suất Von-Mises lớn hơn giới hạn chảy dẻo của vật liệu thì vật liệu sẽ bị biến dạng dẻo.

Theo kết quả phân tích, ứng suất tương đương Von-Mises lớn nhất trong bản mã $\sigma_{\text{Von-Mises}}^{\text{max}} = 208.3 \text{ N/mm}^2$. Trong khi đó giới hạn chảy dẻo đối với vật liệu thép ASTM A572 cấp 50 là $F_y = 345 \text{ N/mm}^2$. Như vậy bản mã vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

• So sánh kết quả tính toán

Hình 15 thể hiện đồ thị ứng suất của bản mã trên mặt cắt nghiên cứu theo hai phương pháp công ứng suất và PTHH. Từ đó có thể rút ra một vài nhận xét như sau:

- Ứng suất lớn nhất theo phương pháp công ứng suất lớn hơn ứng suất lớn nhất theo phương pháp PTHH.
- Phương pháp công ứng suất cho kết quả có nhiều điểm không hợp lý như: ứng suất tại vùng biên liên bằng không (điều này không hợp lý vì nếu ứng suất tại vùng biên bằng không thì không thể xảy ra hiện tượng mất ổn định vùng biên của bản mã); ứng suất trong một vùng có giá trị không đổi nhưng khi chuyển sang vùng khác có bước nhảy đột ngột.
- Phương pháp PTHH cho kết quả kinh tế hơn. Kết quả được thể hiện trực quan, chi tiết.



Hình 15. Đồ thị ứng suất tại mặt cắt nghiên cứu theo hai phương pháp tính toán

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày các dạng phá hoại có thể xảy ra của bản mã có kích thước lớn trong nút liên kết giàn chuyển, mỗi dạng phá hoại đều có đề xuất công thức kiểm tra độ bền. Bài báo cũng trình bày phương pháp hữu hiệu để nghiên cứu sự làm việc của nút liên kết đó là phương pháp PTHH. Phương pháp trên có nhiều ưu điểm như: đánh giá sự làm việc của bản mã một cách chính xác, kết quả trực quan, cho phép nghiên cứu đồng thời sự làm việc của

từng cấu kiện đơn lẻ cũng như sự làm việc tổng thể của nút liên kết.

Số với phương pháp PTHH, phương pháp công ứng suất xem xét tác dụng của các cấu kiện liên bản mã một cách riêng rẽ, không trong sự làm việc đồng thời của nút. Bên cạnh đó, phương pháp công ứng suất mới xét tới thành phần ứng suất pháp mà chưa kể tới thành phần ứng suất tiếp. Kết quả cuối cùng của phương pháp công ứng suất thường lớn hơn giá trị ứng suất theo phương pháp PTHH, vì thế kiểm tra theo phương pháp công ứng suất thiên về an toàn hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. American Institute of Steel Construction –ANSI/AISC 360/05 –Specification for Structural Steel Building, 2005.
2. American Institute of Steel Construction –Steel Construction Manual 13th, 2006
3. Abolhasan Astaneh-Asl –Gusset plates in Steel Bridges –Design and Evaluation, 2010
4. Roger L. Brockenbrough, Frederick S. Merritt –Structural Steel Designer's Handbook, McGrawHill, 2011.
5. National Transportation Safety Board –Structural and local failure study of gusset plate in Minneapolis Bridge collapse, 2008
6. SIMULIA –Abaqus 6.11 Analysis User's Manual, 2011.
7. Nguyễn Trần Hiếu –Liên kết bu lông trong nhà cao tầng bằng thép, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, 2012.
8. Hồ sơ thiết kế kỹ thuật dự án Tháp văn phòng VTB