

# ỨNG DỤNG PHẦN MỀM RM 2011 PHÂN TÍCH CẦU VƯỢT THÉP MẶT CẮT DẠNG HỘP HỖ “STEEL TUB GIRDER”

ThS. ĐẶNG QUANG LUẬT  
Tổng công ty Tư vấn thiết kế GTVT - CTCP

**Tóm tắt:** Cầu vượt thép mặt cắt dạng hộp hỡ đã được sử dụng thí điểm cho một số nút giao thông quan trọng tại thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh nhằm giải quyết tình trạng ách tắc giao thông tại hai thành phố này. Với dạng kết cấu thép tổ hợp liên hợp bản bê tông cốt thép và siêu tĩnh bậc cao đòi hỏi phải có phần mềm phân tích kết cấu mạnh để ứng dụng tính toán. Phần mềm RM 2011 bản V8i đã được Tổng công ty TVTK GTVT (TEDI) mua bản quyền đáp ứng tốt các tính năng để phân tích dạng kết cấu này. Kết quả phân tích đã được các kỹ sư của TEDI sử dụng để đưa ra các cấu tạo hợp lý và áp dụng thành công dạng kết cấu này vào thực tế xây dựng.

## 1. TỔNG QUAN

### a. Giới thiệu chung

Phần mềm RM của hãng TDV – Cộng hòa Áo đã được các kỹ sư thiết kế của Tổng công ty TVTK GTVT (TEDI) sử dụng từ những năm 90 để thiết kế các cầu đúc hẫng đầu tiên của Việt Nam là cầu Phú Lương. Kể từ thời gian đó, RM đã được sử dụng ở rất nhiều công trình do TEDI thiết kế. Hầu hết các kết cấu cầu lớn của TEDI thời gian qua đều áp dụng RM với các phiên bản cập nhật mới để phân tích kết cấu ( Rạch Miễu, Pá Uôn, Hàm Luông...).

Với tình trạng ùn tắc giao thông tại hai thành phố trung tâm của cả nước là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh ngành giao thông vận tải đã đưa ra giải pháp là áp dụng kết cấu cầu vượt nhẹ thi công nhanh tại các nút giao thông có lưu lượng phương tiện giao thông lớn để giải quyết tình trạng ùn tắc giao thông. Kết cấu dầm hộp thép liên hợp bản bê tông cốt thép đã được

sử dụng cho rất nhiều nút giao như cầu vượt nút Nguyễn Chí Thanh-Láng, Nút giao Nam Hồng, nút Nguyễn Tri Phương-3/2, nút giao Cộng Hòa-Hoàng Hoa Thám, nút giao Gò Vấp.

Phần mềm RM đã hỗ trợ đắc lực cho các kỹ sư thiết kế trong việc tính toán kết cấu các cầu này.

### b. Các công trình sử dụng kết cấu dầm hộp thép liên hợp bản BTCT



Hình 1. Cầu vượt Nguyễn Chí Thanh-Láng - Hà Nội



Hình 2. Cầu vượt Nguyễn Tri Phương-3/2 - TP. Hồ Chí Minh

Kết cấu cầu dầm hộp thép dạng hộp hở liên hợp bản BTCT đã được các nước tiên tiến như Hoa Kỳ, Nhật Bản ... sử dụng từ khá lâu tuy nhiên tại Việt Nam kết cấu này còn khá mới mẻ. Các cầu dầm thép trước đây tại nước ta thông thường là các cầu dầm thép I định hình liên hợp bản BTCT. Với yêu cầu tăng khẩu độ nhịp nên dầm I đã được phát triển thành dạng dầm hộp hở. Đến thời điểm hiện tại tại hai đô thị lớn nhất Việt Nam là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh đã có một số công trình cầu vượt tiêu biểu do TEDI thiết kế sử dụng dạng kết cấu này.

**c. Đặc điểm của dạng kết cấu dầm hộp thép dạng hộp hở liên hợp bản mặt cầu BTCT**

Dầm thép dạng hộp hở được phát triển từ dạng dầm I thép bằng cách tách sườn dầm I thành hai sườn và đẩy ra xa nhằm tăng độ cứng chống xoắn cho dầm, bên cạnh đó sườn dầm được tạo góc xiên để giảm thiểu bề rộng của bản cánh dưới nhằm tiết kiệm vật liệu. Cấu tạo dầm thép dạng hộp hở bao gồm dầm thép ( steel girder) được tổ hợp từ bản cánh trên, bản cánh dưới và bản sườn; hệ sườn tăng cường (stiffner); hệ liên kết dọc trên (lateral bracing system), hệ khung ngang trong (intenal cross frame); hệ khung ngang ngoài (external cross frame).

Với cấu tạo là dầm liên tục nên tại vị trí đỉnh trụ mô men âm lớn cho nên phải tăng cường kích thước bản cánh trên, đồng thời bản cánh dưới chịu nén lớn phải bố trí sườn tăng cường; tại vị trí giữa nhịp mô men dương lớn, mô men âm nhỏ nên cần giảm tiết diện cho bản cánh trên.

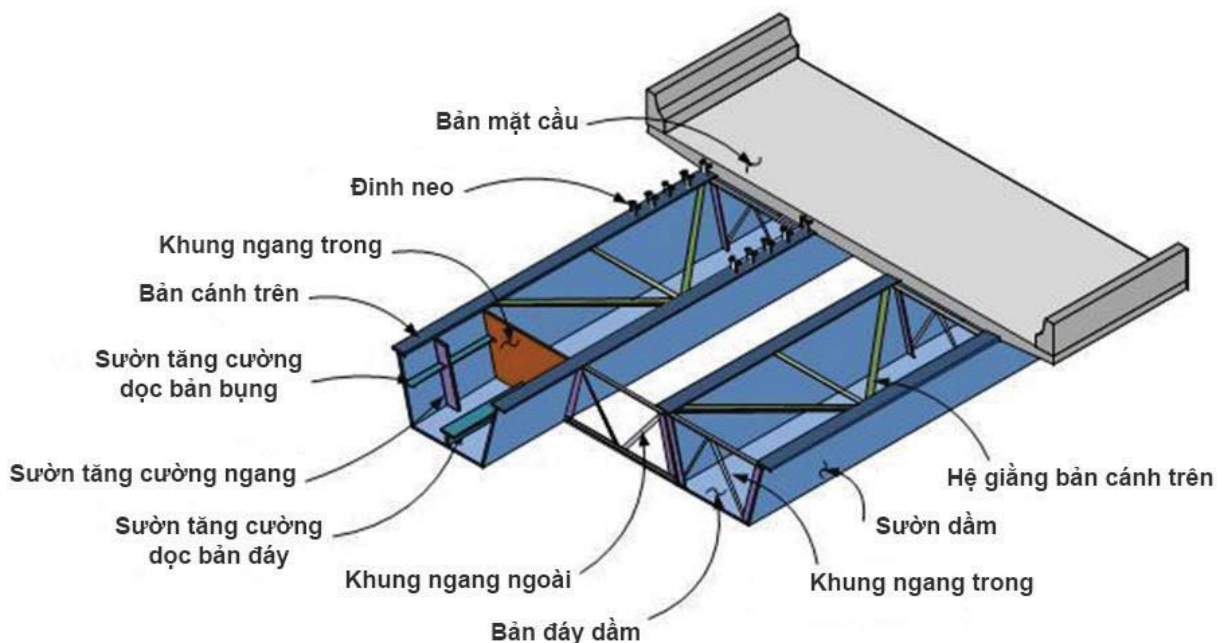
Việc sử dụng cầu hộp thép liên hợp đã khắc phục được các nhược điểm của dầm I về khả năng vượt nhịp và tính thẩm mỹ cao, có được hai ưu điểm trên là nhờ dầm hộp thép có khả năng chống xoắn tốt hơn và tất cả các sườn tăng cường, hệ liên kết dọc trên, dầm ngang đều được dấu vào trong lòng hộp. Hai ưu điểm trên đã làm cho cầu dầm hộp thép trở thành phương án lựa chọn tối ưu cho các giải pháp cầu vượt nút trong thành phố.

**2. MÔ HÌNH HÓA CẦU VƯỢT THÉP MẶT CẮT DẠNG HỘP HỖ BẰNG PHẦN MỀM RM 2011**

Trong khuôn khổ bài báo cáo này tác giả chỉ nêu ví dụ tính toán cho cầu vượt thép nút giao Gò Vấp, cầu vượt thép điển hình với dầm thép mặt cắt dạng hộp hở và cong trên mặt bằng.

**a. Tổng quan về phần mềm RM 2011**

RM-Spaceframe có các tính năng chính của chương trình: Khả năng phân tích trên 50000



Hình 3. Cấu tạo dầm hộp thép liên hợp bản BTCT

phần tử, 50000 nút. Dữ liệu đầu vào sử dụng dữ liệu nhập vào theo khối, được chia thành các mô đun, chương trình hỗ trợ không hạn chế về mặt mô tả hình học, các điều kiện liên kết hay tải trọng. Phương pháp phân tích, phân tích biến dạng đàn hồi và phân tích biến dạng lớn. Các tổ hợp của nội lực và biến dạng bất cứ tổ hợp nào của tĩnh và hoạt tải. Tiêu chuẩn chương trình tự động áp dụng các quy định về vật liệu theo nhiều tiêu chuẩn khác nhau. Phân tích theo giai đoạn thi công, chương trình hỗ trợ phân tích theo các giai đoạn thi công có xét đến co ngót từ biến và sự thay đổi tính năng vật liệu theo thời gian. Hiện nay RM Space frame đã được chuyển giao cho hãng phần mềm Bentley và được hãng này phát triển thành phiên bản RM 2011-V8i.

**b. Khái quát về cầu vượt thép nút giao Gò Vấp**

Vị trí: Nút giao thông ngã sáu Gò Vấp nằm ở khu vực quận Gò Vấp, Thành phố Hồ Chí Minh.

Quy mô: Xây dựng cầu vượt dạng chữ Y, theo hướng Nguyễn Oanh – Nguyễn Kiệm và Phạm Ngũ Lão – Nguyễn Oanh. Các nhánh đường ra vào nút và hai bên hông cầu được cắt xén vỉa hè và mở rộng lòng đường xe chạy:

- + Vận tốc thiết kế:  $V_{tk} = 40\text{km/h}$ ;
- + Tải trọng thiết kế: 0,5HL-93;
- + Cấp động đất: Cấp 7 (Thang MSK-64); Hệ số gia tốc động đất  $A = 0,0832$ ;
- + Lực va xe vào trụ: 1800KN;
- + Tĩnh không đường chui dưới cầu:  $H \geq 4,75\text{m}$ .

**c. Kết cấu và tải trọng tác dụng**

*i. Kết cấu*

Cầu dầm hộp thép thành xiên liên hợp với bản mặt cầu bằng BTCT, thi công theo phương pháp lắp ghép (từng phân đoạn dầm thép được chế tạo trong xưởng, vận chuyển ra công trường, lắp ghép các đoạn dầm và cầu lắp lên nhịp), bản mặt cầu bê tông đổ tại chỗ theo các phân đoạn. Cầu dầm liên tục với sơ đồ nhịp cầu nhánh Nguyễn Oanh – Nguyễn Kiệm gồm 7 nhịp: (25+32+3x40+32+25m; nhánh Phạm Ngũ Lão – Nguyễn Oanh gồm 8 nhịp: (25+32+4x40+32+25)m. Cầu cong trên mặt bằng.

Bề rộng mỗi nhánh cầu trên đường Nguyễn Kiệm và Phạm Ngũ Lão là 6.0m; trên đường Nguyễn Oanh là 11.75m.

- Cầu dầm hộp thép thành xiên liên tục, liên hợp với bản mặt cầu BTCT: Chiều cao bản bụng dầm 1.2m.

- Kết cấu phần dưới:

+ Mố chữ U bằng BTCT. Móng cọc khoan nhồi đường kính D1.2m.

+ Trụ: thân trụ bằng thép, mặt cắt thân trụ dạng tròn đường kính ngoài D1.2m, các khối dầm liên kết ngàm hoặc kê trên đỉnh trụ. Bệ trụ bằng BTCT đặt trên nền cọc khoan nhồi. Dầm được liên kết ngàm với các trụ giữa, chỉ trụ biên T1R, T6R và mố đặt gối di động.

*ii. Tải trọng tác dụng*

Một số tải trọng thông thường trong khuôn khổ báo cáo tác giả không nêu lại, bài viết chỉ nêu một số tải trọng điển hình cho cầu hộp thép liên hợp bản bê tông cốt thép.

- Hoạt tải: Sau khi xem xét về tải trọng cầu vượt nhẹ cho các cầu trong thành phố, tác giả đề xuất hoạt tải như sau:

Hoạt tải sử dụng để thiết kế cầu được lấy theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN272-05, hoạt tải thiết kế HL93 bao gồm tổ hợp của:  $0.5 * \text{Xe tải thiết kế}$  hoặc  $0.5 * \text{xe 2 trục}$  thiết kế, và tải trọng làn thiết kế.

- Nhiệt độ biến đổi đều:

*Biên nhiệt độ cho các bộ phận kết cấu*

Kết cấu bê tông	Mặt cầu bê tông trên dầm hộp thép
+10.0°C ~ +47.0°C	+6.0°C ~ +55.0°C

Nhiệt độ tham chiếu: +27°C.

*Nhiệt độ biến đổi đều*

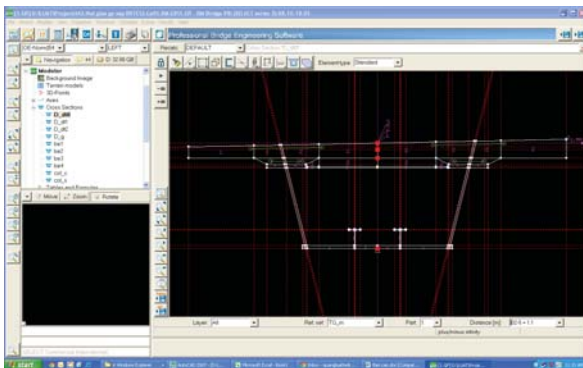
Kết cấu (°C)	Nhiệt độ tăng	Nhiệt độ giảm
Kết cấu bê tông cốt thép	<b>+20.0</b>	<b>-17.0</b>
Mặt cầu bê tông trên dầm hộp thép	<b>+28.0</b>	<b>-21.0</b>

**d. Mô hình hóa kết cấu bằng RM 2011**

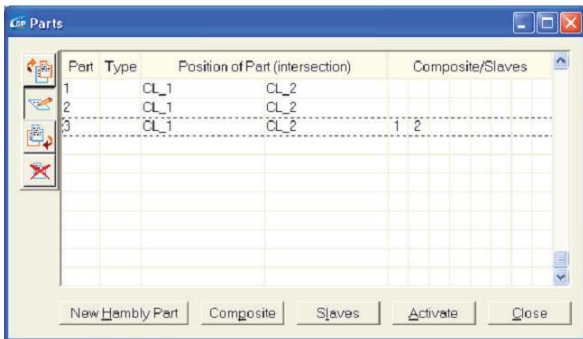
Các phiên bản RM space frame trước đây (RM 2004, RM 2006) luôn bao gồm 2 phần là GP và RM, GP hỗ trợ cho việc mô hình hóa hình học, mặt cắt, điều kiện biên; RM sẽ cập nhật GP và khai báo thêm các dự ứng lực, tải trọng, các giai đoạn thi công sau đó tiến hành phân tích kết cấu. Với phiên bản RM 2011 thì phần GP và RM được tích hợp chung và GP trở thành mô đun Modeler, các bước tiến hành trong Modeler tương tự như thao tác trong GP.

**i. Mô hình hóa hình học, liên kết bằng mô đun Modeler**

Mặt cắt dầm hộp thép liên hợp bản bê tông cốt thép được RM 2011 hỗ trợ gồm 3 phần: Phần 1: phần mặt cắt hộp thép hờ; Phần 2: phần mặt cắt bản mặt cầu bê tông cốt thép; Phần 3: phần mặt cắt liên hợp giữa bê tông và thép.



Hình 4. Mô hình hóa mặt cắt

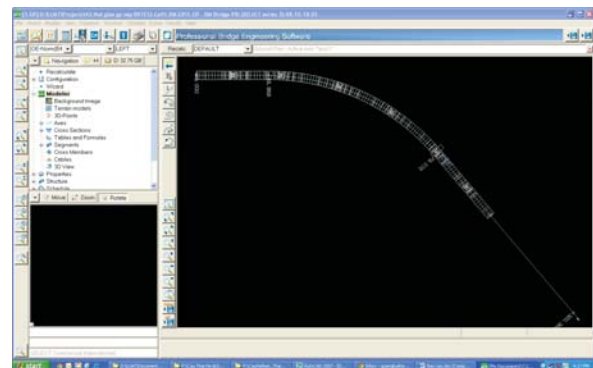


Hình 5. Mô hình liên hợp mặt cắt

**Lưu ý:** Đây là cầu thép cong trên mặt bằng nên việc tính toán ổn định cho dầm thép trong giai đoạn thi công rất quan trọng. Trong mô hình hóa kết cấu dầm thép liên hợp việc đưa toàn bộ liên

kết ngang trong, hệ liên kết dọc trên và sườn tăng cường như cấu tạo đúng của dầm thép vào mô hình sẽ làm mô hình hết sức phức tạp cho nên tác giả đề xuất đưa bản cánh ảo nối hai bản cánh trên nhằm làm tăng ổn định cho dầm thép trong giai đoạn thi công.

Mô hình hóa nút và phần tử: Các điểm nút được mô hình hóa đúng vào vị trí có các thay đổi về chiều dày các tấm thép của bản cánh trên, dưới, sườn dầm; các vị trí mối nối và sườn tăng cường, các liên kết mố, trụ và liên kết tạm trong giai đoạn thi công.



Hình 6. Mô hình hoàn chỉnh cầu vượt thép

Mô hình hóa liên kết: Căn cứ vào sơ đồ kết cấu nêu trên ta đưa các liên kết ngầm và gối phù hợp. Với liên kết mố, trụ với đất "SPO" thì có hai cách mô hình, thứ nhất có thể mô hình cả cọc khoan nhồi với chiều dài bằng chiều dài tự do "L0" của cọc, cách thứ hai là tính toán độ cứng móng cọc khoan nhồi. Với việc mô hình hóa cả cọc khoan nhồi cho phép ta có thể kiểm toán luôn vật liệu của cọc.

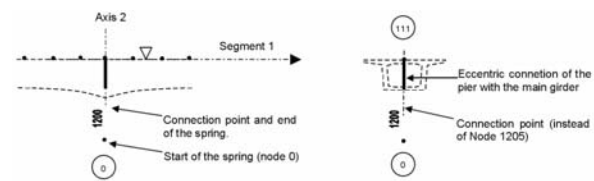


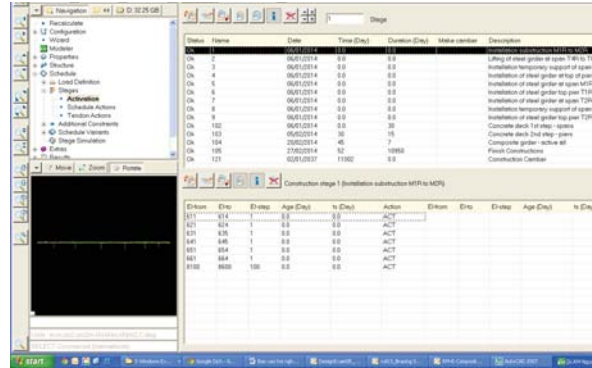
Figure 6-11: Support definition.

Hình 7. Mô hình điều kiện biên

**ii. Mô hình hóa tải trọng và các giai đoạn thi công**

Trình tự tính toán cầu dầm hộp thép liên hợp bản BTCT trong RM như sau:

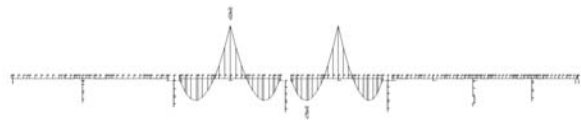
- Định nghĩa các tải trọng tác dụng trong các giai đoạn thi công.
- Khai báo hoạt tải theo tiêu chuẩn 22 TCN 272-05.
- Định nghĩa các giai đoạn thi công.
- Tiến hành phân tích kết cấu.
- Xuất ra các kết quả dưới dạng bảng biểu.
- Kiểm tra ứng suất tại các thớ của mặt cắt thép trong giai đoạn thi công và trong giai đoạn khai thác.
- Kiểm tra tải trọng tới hạn.
- Kiểm tra khả năng chịu cắt.



Hình 10. Mô hình giai đoạn thi công

iii. Kết quả tính toán

- Biểu đồ nội lực:



Hình 11. Biểu đồ mô men giai đoạn 6-Cầu lắp dầm đặt trên trụ tạm



Hình 12. Biểu đồ mô men giai đoạn đổ bản mặt cầu mô men âm



Hình 13. Biểu đồ mô men hoạt tải

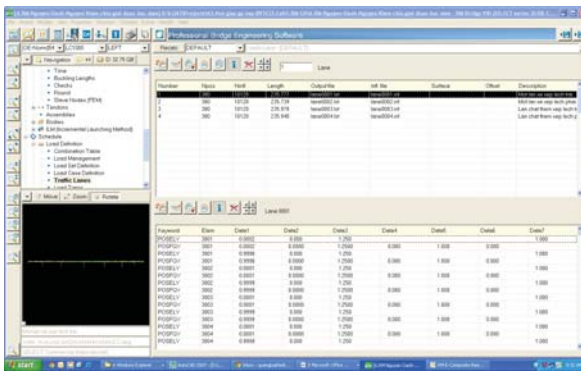


Hình 14. Biểu đồ mô men tổ hợp cường độ 1

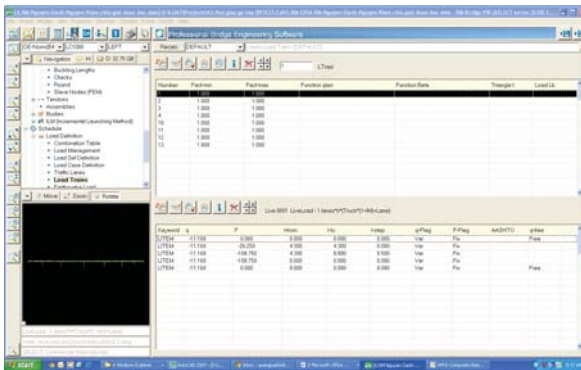
- Biểu đồ ứng suất:



Hình 15. Biểu đồ ứng suất dầm thép giai đoạn khai thác

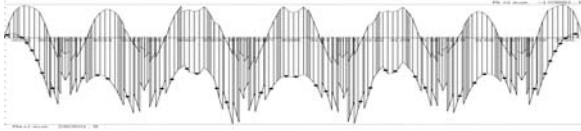


Hình 8. Mô hình làn



Hình 9. Mô hình xe

Mô hình hóa giai đoạn thi công: Khi mô hình hóa giai đoạn thi công ta cần nắm rõ trình tự thi công, biện pháp và thời gian thi công để tính toán kết cấu đúng với thực tế làm việc của nó. Cầu dầm hộp thép thường thi công trước các đốt trên đỉnh trụ và các đốt giữa nhịp sẽ được cẩu lắp các đoạn dầm đặt lên trụ tạm và nối với các đốt trên đỉnh trụ bằng mối nối bu lông cho nên trong mô hình cần đưa vào các liên kết tại vị trí cầu lắp và trụ tạm để mô hình đúng quá trình này.



Hình 16. Biểu đồ ứng suất dầm thép giai đoạn khai thác

**- Nhận xét:**

Khi phân tích kết cấu dầm hộp thép dạng hộp hở liên hợp bản mặt cầu bê tông cốt thép cần lưu ý: Trong mô hình kết cấu phải đưa được 3 giai đoạn của mặt cắt liên hợp: dầm thép, bản mặt cầu bê tông và dầm liên hợp, đưa liên kết hai bản cánh trên bằng liên kết ảo (do mô hình không xét hết hệ liên kết ngang, khung ngang...) nhằm tăng sự ổn định cho kết cấu. Đặt gối theo đúng hướng chuyển vị nhằm giảm thiểu tác động của tải trọng co ngót từ biến và nhiệt độ. Trong phân tích kết cấu cần xét đến bản mặt cầu tại mô men âm bị nứt để xác định đúng ứng suất của bản cánh trên nhằm đưa ra được kích thước bản cánh hợp lý.

**3. KẾT LUẬN**

Giải pháp cầu dầm hộp thép liên hợp bản bê tông áp dụng cho các nút giao thông trong thành phố là một giải pháp hợp lý bởi tính thẩm mỹ cao, thời gian thi công nhanh và cơ giới hóa tốt, trong thi công không ảnh hưởng nhiều đến giao thông, ít tác động đến môi trường. Do vậy hiện nay có rất nhiều nút giao ở Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh đã sử dụng kết cấu này.

Khi áp dụng kết cấu dầm hộp thép vào thực tế xây dựng thì việc tính toán phân tích tốt kết cấu là yêu cầu bắt buộc nhằm đưa ra kết cấu hợp lý về chịu lực và giá thành hạ. Phần mềm RM 2011 là một công cụ rất hữu hiệu để các kỹ sư thiết kế có thể sử dụng để phân tích dạng kết cấu này.

Bên cạnh việc sử dụng RM 2011 thì vẫn phải phối hợp tốt với một số phần mềm khác để phân tích cục bộ các cấu kiện mà RM 2011 chưa xét tới như tính toán cục bộ các khối đỉnh trụ, dầm ngang trên mố bằng Midas FEA hoặc Ansys... và kiểm toán các mặt cắt theo quy định của quy trình AASHTO LRFD.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. AASHTO LRFD 4th Edition 2007.
- [2]. Design example 5: Three span continous horizontal curved composite steel tub girder bridge-Steel bridge design handbook FHWA-IF-12-052-vol 25.- Federal Highway Administrator.
- [3]. RM v8i userguige.
- [4]. Part IV Substructure Specifications for hightway bridges – Japan Road Association.
- [5]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22 TCN-272-05.
- [6]. Thiết kế bản vẽ thi công – Dự án cầu vượt thép nút giao Gò Vấp-Tổng công ty TVTK GTVT.
- [7]. Báo cáo khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Tổng công ty TVTK GTVT-Chuyên đề cầu dầm hộp thép.

