

# PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA HỆ CẢN KHỐI LƯỢNG KẾT HỢP VỚI HỆ CẢN LƯU BIẾN TỪ NÓI GIỮA HAI KẾT CẤU CHỊU ĐỘNG ĐẤT

## THE EFFICIENCY OF VIBRATION REDUCTION OF COMBINATION OF BOTH TUNED MASS DAMPER AND MAGNETO-RHEOLOGICAL DAMPER CONNECTED BETWEEN TWO STRUCTURES DUE TO GROUND MOTION OF EARTHQUAKE

Hoàng Phương Hoa<sup>1</sup>, Phạm Đình Trung<sup>2</sup>, Nguyễn Trọng Phước<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; hphoa@dut.udn.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Quang Trung, Bình Định; dinhtrungcc14@yahoo.com

<sup>3</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM; ntphuc@hcmut.edu.vn

**Tóm tắt** - Sự hiệu quả của hệ cản khối lượng (Tuned Mass Damper, TMD) kết hợp với hệ cản lưu biến từ (Magneto-Rheological, MR) nối giữa hai kết cấu chịu động đất được trình bày trong bài báo này. Hệ cản MR được mô hình bởi các lò xo và cản nhớt, lực cản sinh ra từ hệ này là một hàm phụ thuộc vào điện thế cung cấp và những thông số đặc trưng của thiết bị này. Phương trình chuyển động của hệ kết cấu và hệ cản chịu tác dụng gia tốc nền động đất được thiết lập dựa trên nguyên lý cân bằng động và giải bằng phương pháp Newmark trên toàn miền thời gian. Sự đáp ứng của hệ cản MR trong từng bước thời gian được mô phỏng bằng phương pháp số Runge-Kutta. Kết quả số từ phân ứng động gồm có chuyển vị, vận tốc và nội lực trong kết cấu cho thấy sự hiệu quả của hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR khi được nối giữa hai kết cấu chịu động đất.

**Từ khóa** - hệ cản lưu biến từ; hệ cản khối lượng; gia tốc nền động đất; phương pháp Newmark; phương pháp số Runge-Kutta.

### 1. Đặt vấn đề

Từ năm 2005 đến nay, trên lãnh thổ Việt Nam liên tục xảy ra các trận động đất có cường độ vừa và nhỏ, đặc biệt từ năm 2007 trở lại đây các trận động đất xảy ra với mật độ ngày càng nhiều. Mặc dầu cường độ các trận động đất là chưa lớn và hậu quả chưa thật sự nghiêm trọng nhưng điều đó cũng chứng tỏ rằng vỏ địa chất ở Việt Nam thật sự không hoàn toàn ổn định. Bên cạnh đó, cùng với tốc độ đô thị hóa toàn cầu thì rõ ràng trong tương lai việc xảy ra động đất có thể sẽ gây ra những tổn thất lớn về người và tài sản.

Vì vậy, bài toán ứng xử của kết cấu công trình xây dựng chịu động đất luôn là đề tài có tính thời sự đối với các nhà khoa học. Một trong những giải pháp truyền thống trong việc thiết kế kết cấu chịu động đất là tăng độ cứng của kết cấu nhằm giảm thiểu thiệt hại của công trình do tác động của động đất gây ra. Tuy vậy, giải pháp này chưa thật sự đem lại nhiều hiệu quả vì tăng độ cứng dẫn đến tăng trọng lượng kết cấu, góp phần tăng thêm tải trọng do lực quán tính. Do đó, việc tìm ra các giải pháp kết cấu khác để chúng ứng xử tốt hơn với động đất và làm giảm bớt tổn thất do động đất gây ra cũng là một hướng nghiên cứu được nhiều nhà khoa học quan tâm [1, 5, 6 và 7]. Một trong những hướng nghiên cứu có tính thời sự và cũng thật sự có ý nghĩa đó là gắn thêm các thiết bị lên kết cấu. Các thiết bị này hấp thụ một phần năng lượng do động đất tác động, dẫn đến năng lượng còn lại của động đất tác động vào kết cấu chính sẽ giảm đi, vì vậy kết cấu sẽ bớt nguy hiểm hơn.

Sự hấp thụ năng lượng của thiết bị điều khiển có thể được mô tả thông qua mối quan hệ về năng lượng dựa trên khả năng

**Abstract** - The paper studies the efficiency of vibration reduction of combination of both Tuned Mass Damper (TMD) and Magneto-Rheological (MR) damper connected between two structures due to ground motion of earthquake. MR damper is modelled by springs and viscous dampers and the damping force of MR damper depends on the voltage and other typical parameters. The equation of motion of the system is derived based on dynamic balance principle and solved by Newmark method in the time domain. The response of Magneto-Rheological damper in every time step is simulated by Runge-Kutta method. The numerical results including dynamic displacement, acceleration and internal forces demonstrate the effectiveness of the combination of both Tuned Mass Damper and Magneto-Rheological connected between two structures due to ground motion of earthquake.

**Key words** - magneto-rheological damper; tuned mass damper; ground acceleration; earthquake; Newmark method; Runge-Kutta method.

bảo tồn, được mô tả như sau [1]:  $E = E_k + E_s + E_h + E_d$ , trong đó  $E$  là tổng năng lượng kích thích công trình;  $E_k$  là động năng công trình;  $E_s$  là năng lượng biến dạng đàn hồi;  $E_h$  là năng lượng biến dạng không đàn hồi (kê đèn hư hỏng của công trình);  $E_d$  là năng lượng tiêu hao bởi thiết bị chống dao động. Từ biểu thức trên cho thấy, đối với kết cấu được thiết kế theo truyền thống thì về phải chi bao gồm  $E_k$ ,  $E_s$  và  $E_h$ . Do đó, bằng cách thông qua thiết bị giảm chấn lắp đặt cho công trình thì sẽ bổ sung thêm vào năng lượng  $E_d$  hay nói cách khác, động năng và năng lượng biến dạng sẽ giảm xuống, từ đó thiết bị giảm chấn đã hạn chế bớt sự phá hoại của kết cấu do động đất gây ra.

Gần đây, có một số nghiên cứu đề cập về hệ cản lưu biến từ (Magneto-Rheological, MR) trong bài toán điều khiển kết cấu ở Việt Nam. Đặc biệt trong tài liệu [1], có giới thiệu tương đối chi tiết về thiết bị cản lưu biến từ là thiết bị tiêu tán năng lượng bán chủ động sử dụng chất lưu. Chất này có dạng là các hạt sắt trôi lơ lửng trong dung môi đặc biệt và có thể chuyển từ lỏng sang rắn khi có lực từ đi qua từ đó sinh ra giới hạn đàn hồi cho chất lưu [2, 3, 8 và 9]. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ cản MR có ảnh hưởng nhất định đến phản ứng động của hệ khi chịu động đất.

Ngoài ra, hệ cản khối lượng TMD [10-16] là một trong những dạng thiết bị điều khiển bị động được biết đến từ khá sớm và có mô hình vật lý rõ ràng. Đồng thời, việc nghiên cứu mô hình vật lý, thực nghiệm kiểm chứng ứng xử và tối ưu các thông số của hệ TMD cũng thu hút rất nhiều sự quan tâm nghiên cứu của nhiều tác giả. Trong [15] giới thiệu các ứng

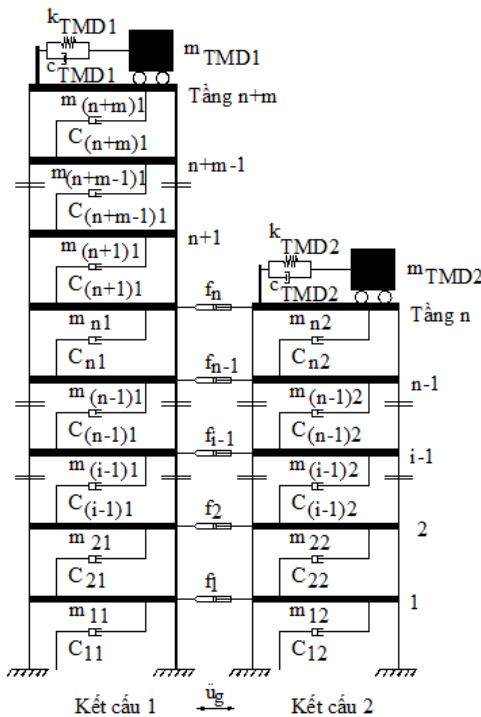
dụng rộng rãi của TMD trong một số công trình nhiều tầng đã được xây dựng tại: Mỹ, Nhật Bản, Canada...

Nội dung của bài báo này đánh giá hiệu quả giảm chấn của hệ cân TMD kết hợp với hệ cân MR nối giữa hai kết cấu chịu động đất. Phản ứng động của hệ được giải bằng phương pháp tích phân số trong từng bước thời gian dựa trên chương trình máy tính được viết bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB. Kết quả số gồm chuyển vị, gia tốc, nội lực và năng lượng tiêu tán bên trong hệ cho thấy hiệu quả giảm chấn của hệ TMD kết hợp với hệ cân MR nối giữa hai kết cấu chịu động đất.

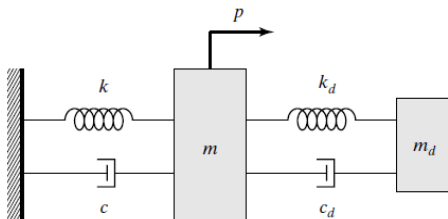
## 2. Cơ sở lý thuyết

### 2.1. Mô hình kết cấu

Xét hai kết cấu nhà có số tầng khác nhau, kết cấu 1 có số tầng là  $n+m$  và kết cấu 2 có số tầng là  $n$ , được mô hình với số bậc tự do động lực học lần lượt là  $m+n$  và  $n$ , được thể hiện trên Hình 1. Trong mô hình này, kết cấu sàn ở các tầng được xem là cứng tuyệt đối và chỉ xét thành phần chuyển vị theo phương ngang. Đồng thời, hệ cân MR được gắn tại vị trí các tầng và hệ cân TMD được gắn ở tầng trên cùng của mỗi kết cấu.



Hình 1. Mô hình kết cấu



Hình 2. Mô hình hệ cân TMD

Hệ cân TMD được mô tả gồm một khối lượng  $m_d$ , lò xo đàn hồi  $k_d$  và cản nhớt  $c_d$  gắn thêm vào một kết cấu có khối lượng  $m$ , độ cứng  $k$  và cản nhớt  $c$  [4], được thể hiện trên Hình 2.

Các đặc trưng động lực học của kết cấu tương đương

với hệ một bậc tự do được thể hiện như sau:

$$\omega = \sqrt{k/m}, c = 2\xi\omega m \quad (1)$$

Và các đặc trưng động học của hệ cân TMD được xác định bởi:

$$\omega_d = \sqrt{k_d/m_d}, c = 2\xi_d\omega_d m_d \quad (2)$$

Trong đó  $\xi, \xi_d$  lần lượt là tỷ số cản của kết cấu và hệ cân.

Phương trình chuyển động của kết cấu và hệ cân TMD chịu tác dụng của lực kích thích  $p$  được xác định như dưới đây:

$$(1 + \bar{m})\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = \frac{P}{m} - \bar{m}\ddot{u}_d \quad (3)$$

$$\ddot{u}_d + 2\xi_d\omega_d\dot{u}_d + \omega_d^2 u_d = -\ddot{u} \quad (4)$$

Trong đó  $\bar{m} = m_d/m$  là tỷ số khối lượng giữa hệ cân TMD và khối lượng của kết cấu.

Dưới tác dụng của ngoại lực thì hệ TMD sinh ra lực tương tác lên kết cấu và lực này ngược chiều với lực kích thích, từ đó làm giảm dao động trong kết cấu. Do đó, để hiệu quả của hệ TMD được phát huy thì việc tối ưu các thông số của hệ TMD là cần thiết ứng với từng dạng dao động thứ  $i$  của kết cấu chính. Thông thường một hệ kết cấu khung thì dạng dao động đầu tiên được quan tâm nhiều nhất và cũng là dạng dao động chủ yếu góp phần lớn vào ứng xử tổng thể của hệ nên một số nghiên cứu hay chọn tần số đầu tiên của kết cấu chính để xác định thông số tối ưu của hệ cân TMD [11 và 12]. Và thông số hệ cân TMD được xác định bởi:

$$\omega_d = \omega_i \sqrt{\frac{2 + \mu_i}{2(1 + \mu_i)^2}}, k_d = m_d \omega_d^2 \quad (5)$$

$$\text{với: } \mu_i = \frac{m_d}{M_i}, \omega_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad (6)$$

Giá trị cản được xác định như sau:

$$c_d = 2\gamma\omega_d m_d, \gamma = \sqrt{\frac{\mu(4 + 3\mu)}{8(1 + \mu)(2 + \mu)}} \quad (7)$$

Với  $M_i, K_i$  lần lượt là khối lượng và độ cứng suy rộng của hệ kết cấu tương ứng với dạng dao động thứ  $i$ , được xác định theo công thức:

$$\mathbf{M}_i = \mathbf{f}_i^T \mathbf{M} \mathbf{f}_i, \mathbf{K}_i = \mathbf{f}_i^T \mathbf{K} \mathbf{f}_i \quad (8)$$

Trong đó  $\mathbf{K}, \mathbf{M}, \mathbf{f}_i$  lần lượt là ma trận khối lượng, độ cứng của hệ và vector dạng dao động. Khi thiết kế hệ cân TMD thì tỷ số khối lượng  $\mu$  của hệ cân được chọn trước, từ đó xác định các đặc trưng của hệ cân TMD như độ cứng, khối lượng và cản dựa vào các phương trình (5 đến 8).

### 2.2. Mô hình cân MR

Mô hình động lực học của cân MR [1, 6, 8, 9] được Spencer (1996) đề xuất để mô phỏng ứng xử động lực học như Hình 3.

Trong mô hình này, độ cứng của bộ phận khí nén (accumulator) được đặc trưng bởi  $k_1$ ; hệ số cản nhớt ứng với vận tốc lớn được đặc trưng bởi  $c_0$ ; hệ số cản của bộ phận giảm chấn ứng với vận tốc nhỏ được đặt trung bởi hệ số  $c_1$ ;  $x_0$  là chuyển vị ban đầu của lò xo  $k_1$ ;  $k_0$  là độ cứng của bộ phận giảm chấn ứng với vận tốc nhỏ; các thông số được xác định từ thực nghiệm bao gồm:

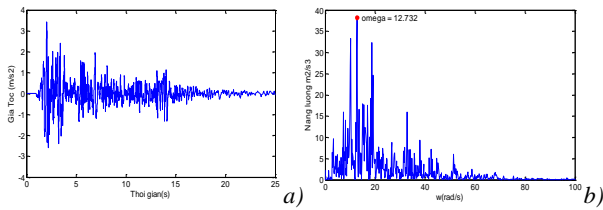


Kết cấu tách rời, không lắp hệ cản TMD và hệ cản MR (Uncontrolled);

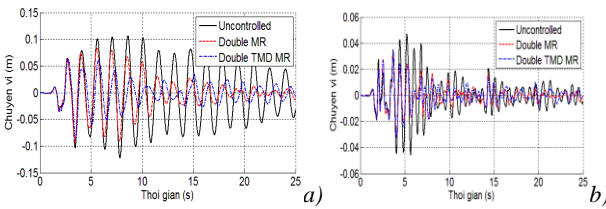
Kết cấu chỉ lắp hệ cản MR (Double-MR);

Kết cấu lắp hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR (Double-TMD+MR).

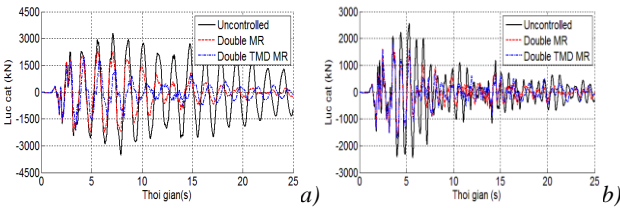
Trong khảo sát số này, bài báo khảo sát ảnh hưởng của hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu lên ứng xử động của kết cấu trong trường hợp điện thế cung cấp cho thiết bị MR  $V=6v$  và thông số khối lượng của hệ cản TMD được chọn  $\mu = 0.75\%$ . Kết quả chuyển vị động của tầng đỉnh và lực cắt tầng trệt theo thời gian được xem xét và thể hiện trên Hình 6 và 7. Hình 8 trình bày ứng xử trễ của hệ cản MR dựa trên quan hệ giữa lực và chuyển vị với lực và vận tốc trong mô hình kết cấu chỉ gắn hệ cản MR và mô hình gắn đồng thời hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu.



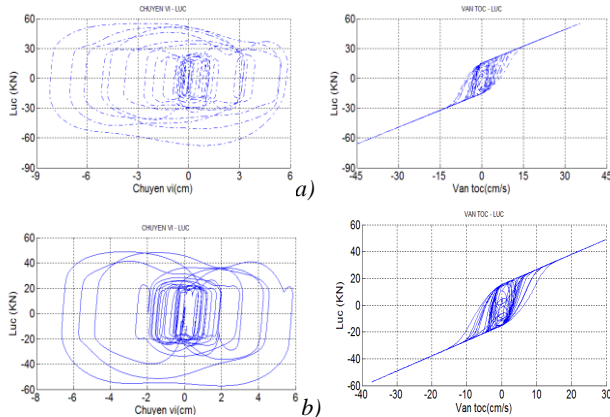
**Hình 5.** Bảng gia tốc nền Elcentro 1940: a) Gia tốc đồ, b) Phổ năng lượng



**Hình 6.** Chuyển vị động ở tầng đỉnh theo thời gian: a) Kết cấu 1, b) Kết cấu 2



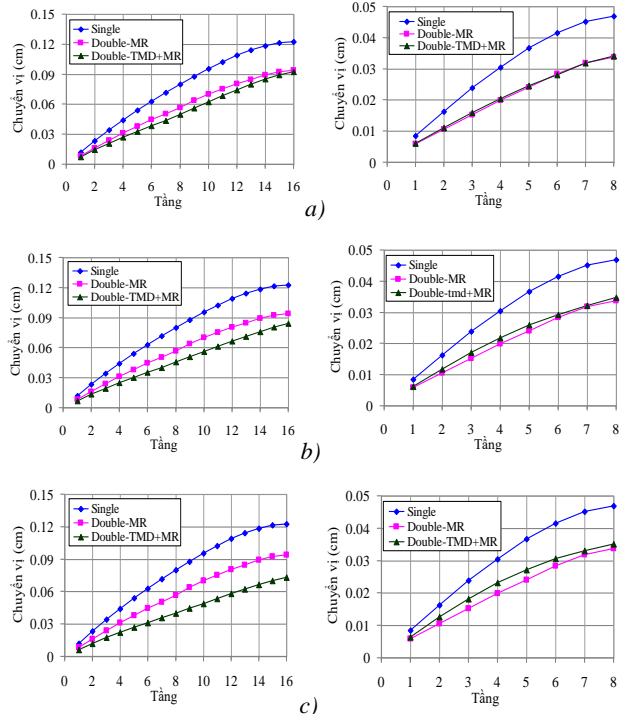
**Hình 7.** Lực cắt tầng trệt theo thời gian: a) Kết cấu 1 và b) Kết cấu 2



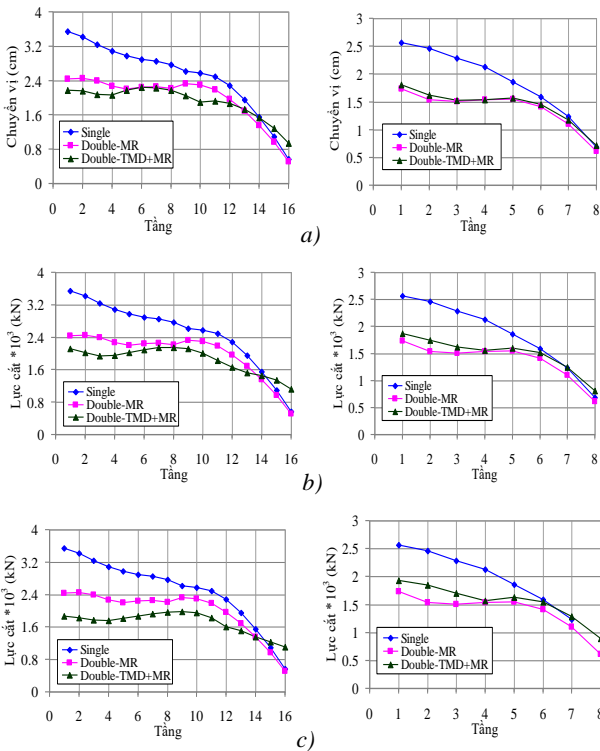
**Hình 8.** Ứng xử trễ của hệ cản MR: a) Chỉ gắn hệ cản MR, b) Gắn đồng thời TMD và MR

Trong khảo sát số tiếp theo, hệ cản MR được cung cấp một điện thế  $V=6v$  và ảnh hưởng của tỷ số thông số khối lượng của hệ cản TMD lên chuyển vị động và lực cắt lớn nhất của các tầng được khảo sát và thể hiện trên Hình 9 và 10. Từ kết quả cho thấy, đối với kết cấu 1 thì hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu làm giảm đáng kể ứng xử động bên trong hệ so với trường hợp hệ kết cấu không có gắn thiết bị cản. Đồng thời thông số khối lượng của hệ cản TMD cũng ảnh hưởng và làm giảm đáng kể ứng xử động bên trong kết cấu so với trường hợp hệ chỉ gắn hệ cản MR. Trong khi đó, đối với kết cấu 2 thì ứng xử động bên trong hệ kết cấu có gắn hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu là giảm đáng kể so với trường hợp hệ không có gắn thiết bị cản, nhưng không có nhiều sự khác biệt so với trường hợp hệ kết cấu chỉ gắn hệ cản MR ứng với các thông số khối lượng của hệ cản TMD.

Trong khảo sát số ảnh hưởng của điện thế cung cấp cho hệ cản MR lên ứng xử động của hệ kết cấu lần lượt được xem xét và thông số khối lượng  $\mu = 1\%$ . Kết quả chuyển vị động và lực cắt lớn nhất của các tầng được khảo sát và thể hiện trên Hình 11 và 12. Từ kết quả cho thấy: đối với kết cấu 1 thì điện thế cung cấp cho hệ cản MR là ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử bên trong kết cấu, khi điện thế cung cấp tăng lên thì đồng nghĩa với việc là giảm ứng xử động trong kết cấu trong mô hình hệ chỉ gắn thiết bị cản MR. Nhưng với sự gia tăng của điện thế cung cấp cho thiết bị cản MR thì ứng xử động trong trường hợp kết cấu có gắn hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR là không có nhiều sự khác biệt. Bên cạnh đó, đối với kết cấu 2 thì ảnh hưởng của điện thế cung cấp cho thiết bị MR trong mô hình chỉ gắn hệ cản MR và mô hình hình hệ cản TMD kết hợp với MR là không có nhiều sự khác biệt, nhưng cả hai mô hình đều làm giảm đáng kể ứng xử nội lực trong kết cấu.

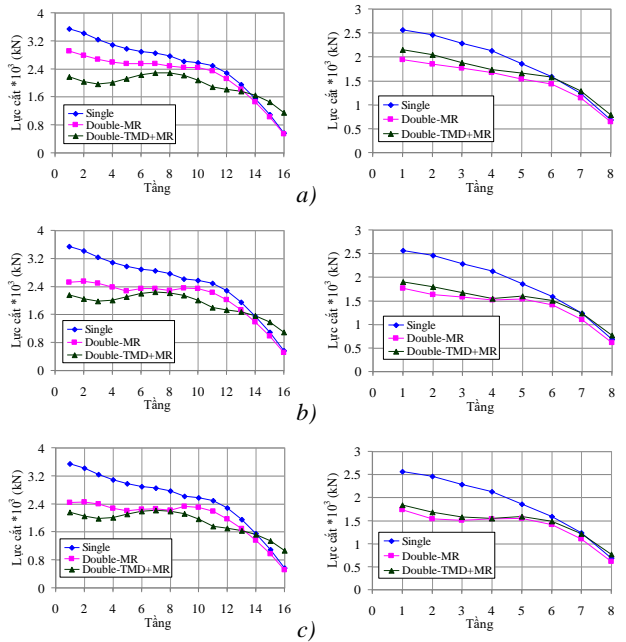


**Hình 9.** Chuyển vị đỉnh lớn nhất của các tầng: a)  $\mu = 0,5\%$ , b)  $\mu = 1\%$ , c)  $\mu = 1,5\%$



**Hình 10.** Lực cắt lớn nhất của các tầng:  
a)  $\mu = 0, 5\%$ , b)  $\mu = 1\%$ , c)  $\mu = 1, 5\%$

Từ hai khảo sát số đã thực hiện, cho thấy mô hình kết cấu chỉ gắn hệ cản MR và hệ gắn đồng thời hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu đều làm giảm ứng xử động bên trong hệ. Trường hợp hệ gắn đồng thời hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu làm giảm ứng xử động trong kết cấu nhiều hơn so với kết cấu chỉ gắn thiết bị cản MR trong các trường hợp có điện thế hoặc không có điện thế cung cấp cho thiết bị.



**Hình 12.** Lực cắt lớn nhất của các tầng:  
a)  $V=0v$ , b)  $V=4v$ , c)  $V=6v$

Hiệu quả giảm chấn của mô hình hệ kết cấu chỉ gắn hệ cản MR và hệ kết cấu gắn đồng thời hệ cản TMD và MR nối giữa hai kết cấu chịu băng gia tốc nền ứng với các thông số khối lượng của hệ cản TMD và MR được thể hiện trong các Hình từ 8-12.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã mô tả và thiết lập phương trình chuyển động của hệ kết cấu có gắn hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR nối giữa hai kết cấu chịu băng gia tốc nền động đất. Các thông số của hệ cản TMD được xác định dựa trên thông số tối ưu của thiết bị và hệ cản MR được mô tả một cách tường minh dựa trên quan hệ giữa lực với chuyển vị và vận tốc. Một chương trình máy tính được viết bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB dùng để phân tích hiệu quả giảm chấn của hệ cản TMD kết hợp với hệ cản MR. Kết quả phân tích cho thấy hệ kết cấu chỉ gắn MR và hệ gắn đồng thời hệ cản TMD và MR đều làm giảm ứng xử động bên trong hệ so với trường hợp hệ không gắn thiết bị cản. Đồng thời kết quả cũng cho thấy rằng khi gắn hệ cản TMD kết hợp với MR thì làm giảm đáng kể ứng xử động trong kết cấu 1 so với trường hợp hệ chỉ gắn MR, nhưng đối với kết cấu 2 thì hiệu quả giảm chấn trong hai mô hình gắn thiết bị cản là không có nhiều sự khác biệt. Bên cạnh đó các thông số tỷ số khối lượng hệ cản TMD và điện thế cung cấp cho thiết bị cản đều ảnh hưởng đến hiệu quả giảm chấn trong các mô hình. Vì vậy, khi gắn hệ cản MR hoặc kết hợp TMD với MR nối giữa hai kết cấu chịu động đất thì đều làm giảm ứng xử động trong hệ kết cấu và mô hình gắn kết hợp hệ cản TMD với MR đem lại hiệu quả giảm chấn rõ rệt ứng với các thông số của thiết bị đối với kết cấu thứ nhất so với mô hình chỉ gắn hệ cản MR.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lê Thanh Cường, *Phân tích sự hiệu quả giảm chấn của hệ cản MR nối giữa hai kết cấu*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa TP HCM, 2013.

**Hình 11.** Chuyển vị đỉnh lớn nhất của các tầng:  
a)  $V=0v$ , b)  $V=4v$ , c)  $V=6v$

- [2] Lê Văn Thắng, *Khảo sát khả năng giảm chấn của MR Damper dựa trên lý thuyết điều khiển mờ*, Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, 2005.
- [3] Nguyễn Minh Hiếu, *Các giải thuật điều khiển hệ cân MRD*, Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, 2007.
- [4] Đỗ Kiên Quốc, Lương Văn Hải, *Động lực học kết cấu*, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP HCM, 2010.
- [5] Xu Y. L., He Q., Ko J. M., Dynamic response of damper-connected adjacent building under earthquake excitation, *Engineering Structures* 21, 1999, 135-148.
- [6] Yang G, Spencer J. B., Carlson J. D., Sain MK, Large-scale MR fluid dampers: modeling and dynamic performance considerations, *Eng., Structures*, 24, pp. 309-323, 2002.
- [7] Bharti S.D., Dumne S.M., Shrimali M.K., Seismic response analysis of adjacent buildings connected with MR dampers, *Engineering Structures*, 32, 2003, pp. 2122-2133.
- [8] Spencer J. B., Dyke S. J., Sain M. K., Carlson J. D., Phenomenological model for magnetorheological dampers, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE: 123(3), (1996), pp. 230-238.
- [9] San-Wan Cho, Simple control algorithms for MR dampers and smart passive control system, *Doctoral Thesis*, KAIST, 2004.
- [10] Arfiadi Y., Hadi M.N.S., Optimum placement and properties of Tuned Mass Dampers using hybrid genetic algorithms, *Int. J. Optim. Civil Eng.*, 1:167-187, 2011.
- [11] Jangid, R. S., Optimum multiple tuned mass dampers for base-excited undamped system, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 28, 1041–1049, 1999.
- [12] Alexander N.A., Schilder F., Exploring the performance of a nonlinear Tuned Mass Damper, *J. of Sound and Vibration*, 319, pp 445–462, 2009.
- [13] Johnson J.G., A nonlinear/inelastic rooftop Tuned Mass Damper frame, Doctor of Philosophy, The University of Utah, 2012.
- [14] Mishra R., Application of tuned mass damper for vibration control of frame structures under seismic excitations, MS Thesis, NIT, Rourkela, 2011.
- [15] Singh, M. P., Singh, S., and Moreschi, L. M., Tuned Mass Dampers for response control of torsional buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(4), pp749–769, 2003.
- [16] Wong K.K.F., Seismic Energy Dissipation of Inelastic Structures with Tuned Mass Dampers, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 134, No. 2, 2008.

(BBT nhận bài: 25/01/2015, phản biện xong: 09/03/2015)