

Hiệu suất phân bố sự khác nhau của hệ cản nhớt đến khả năng kháng chấn đối với khung bê tông cốt thép bình thường và không bình thường

The effect of different viscous dampers on the resistance seismic action on normal and abnormal reinforced concrete frames

Thiếu tá, ThS. Thịnh Văn Thanh^{1,*}, Thượng tá, ThS. Đỗ Thành Huế¹ và Trung tá, ThS. Đỗ Văn Dũng¹

¹ Bộ môn Công sự, Khoa Công trình, Trường Sĩ quan Công binh;

*Tác giả liên hệ: Thanhz756@gmail.com

■ Nhận bài: 11/09/2024 ■ Sửa bài: 28/10/2024 ■ Duyệt đăng: 14/11/2024

TÓM TẮT

Mục đích chính là khảo sát hiệu quả của hệ cản nhớt đến khả năng kháng chấn cho khung nhà nhiều tầng, được phân bố khác nhau theo phương đứng dưới dạng phi tuyến. Đặc biệt, những phân bố đơn giản mà khác nhau thì được so sánh với những biện pháp khác, bao gồm hai phương pháp năng lượng và một giải thuật lặp tìm kiếm một cách tuần tự. Hiệu quả của sự phân bố khác nhau này đã được kiểm tra ngay sau đó bằng cách thực hiện các phân tích lịch sử thời gian và liên quan đến một ứng xử phi tuyến đối với hệ cản nhớt và các thành phần kết cấu. Các kết cấu đã được xét đến là năm khung bê tông cốt thép với số tầng khác nhau và cả về hệ cao độ bình thường và không bình thường. Các kết quả của việc phân tích động đã được kiểm tra trong trường hợp các khoảng trống lệch tầng lớn nhất, gia tốc đỉnh sàn và lực cản lớn nhất. Cụ thể, phương pháp năng lượng cung cấp nhiều kết quả tốt liên quan đến việc giảm chi phí, hiệu suất phân phối và ứng dụng đơn giản so với các phương pháp khác phức tạp hơn, với hiệu suất khác hơn.

Từ khóa: Hiệu suất phân bố, hệ cản nhớt, khả năng kháng chấn, khung bê tông cốt thép không bình thường, khung bê tông cốt thép

ABSTRACT

The main objective was to investigate the effect of viscous damping on the seismic resistance of multi-storey building frames, which are distributed differently along the vertical direction in a nonlinear manner. In particular, the simple but different distributions were compared with other measures, including two energy methods and a sequential iterative search algorithm. The effect of these different distributions was then tested by performing time history analyses and involving a nonlinear response to the viscous damping system and the structural members. The structures considered were five reinforced concrete frames with different numbers of storeys and both normal and abnormal elevation systems. The results of the dynamic analysis were tested in the case of the largest offset gaps, the top acceleration of the floors and the largest resistances. Specifically, the energy method provides many good results with regard to cost reduction, distribution efficiency, and simplicity of application compared to other more complex methods with different efficiencies.

Keywords: Distributed efficiency, viscous dampers, seismic resistance, abnormal reinforced concrete frames, reinforced concrete frames

1. GIỚI THIỆU

Một số nhà nghiên cứu đã nghiên cứu phản ứng địa chấn và tiêu chí thiết kế của các

cấu trúc được trang bị hệ cản nhớt [1, 2]. Mặc dù nó có vai trò quan trọng, nhưng các quy định và hướng dẫn xây dựng nói chung không

quy định một phương pháp cụ thể nào để tối ưu hóa sự phân bố các hệ cản nhớt. Các nhà khoa học họ đã đề xuất ra các phương pháp đặt hệ cản nhớt và có thể được phân loại thành hai loại chính [3]. Loại đầu tiên dựa trên các công thức thiết kế đơn giản để tính toán tỷ lệ kháng chấn bổ sung [4]. Tuy nhiên, chỉ có một số phương pháp được cung cấp để chỉ ra cách phân bố tổng hệ số cản thiết cho từng tầng của tòa nhà khi áp dụng các biểu thức thiết kế này. Đây là trường hợp mặc dù thực tế là có vô số khả năng trong việc lựa chọn phân phối các hệ số kháng chấn dựa trên tỉ lệ kháng chấn của khung nhà được định sẵn dọc theo chiều cao của tòa nhà. Về loại thứ hai, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra vị trí phân phối tối ưu dựa trên các nguyên tắc của lý thuyết điều khiển chủ động hoặc các phương pháp dựa trên tìm kiếm theo độ dốc. Ngoài các phương pháp thiết kế trên, một thuật toán tìm kiếm tuần tự (SSA) [5-7] và một thuật toán tìm kiếm tuần tự đơn giản hóa (SSSA) đều đã được đề xuất làm phương pháp xác định vị trí kháng chấn và phân phối hệ số cản nhớt. Takewaki [8] đã trình bày một danh sách toàn diện hơn về những đóng góp cho lĩnh vực bố trí hệ cản nhớt và kết luận rằng, các kỹ sư kết cấu vẫn khó tìm ra vị trí tối ưu cho hệ cản nhớt mặc dù có nhiều thông tin quan trọng.

Do đó, nghiên cứu này là để điều tra tác động của một số phương pháp phân phối chủ yếu thuộc về loại đầu tiên và sử dụng phương pháp thiết kế cho hệ cản nhớt do Ramirez và cộng sự đề xuất [9]. Các phương pháp phân phối khác nhau đã được áp dụng cho một bộ khung bê tông cốt thép có số tầng khác nhau. Để nghiên cứu mối tương quan giữa các phương pháp phân phối và tính đều đặn của kết cấu, các kết cấu được xem xét khác nhau về tính đều đặn theo độ cao của chúng. Hơn nữa, trong nghiên cứu này, hành vi cấu trúc được coi là phi tuyến tính và để nghiên cứu ảnh hưởng của sự dịch chuyển không đàn hồi, các cấu trúc đã được cải tạo, với các mức độ kháng chấn bổ sung khác nhau được xem xét. Các thí nghiệm liên quan đến cả đầu ra của thiết kế, về mặt hệ số kháng chấn tổng thể và phản ứng động đất của cấu trúc và hệ thống cản nhớt, về mặt ảnh hưởng giữa tầng cao nhất và các tầng còn lại còn lại, gia tốc sàn đỉnh và lực kháng chấn tối đa.

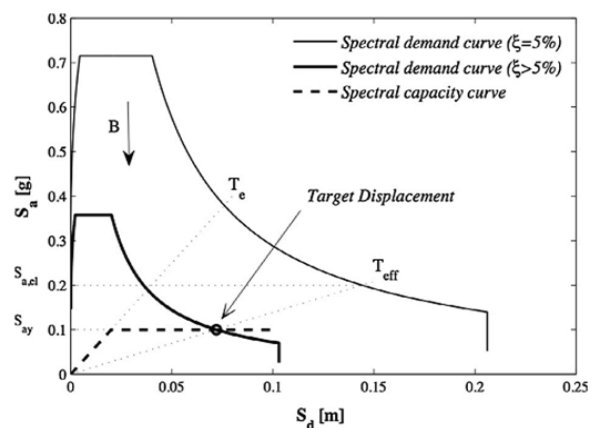
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở để xác định nhu cầu cung cấp hệ cản kháng chấn

Trong giai đoạn thiết kế, nhu cầu về kháng chấn được xác định theo phương pháp được đề xuất và mô tả trong tài liệu [10]. Phương pháp này dựa trên sự so sánh phổ năng lượng và phổ nhu cầu thể hiện trong một đồ thị chuyển vị - gia tốc. Phổ năng lượng có nguồn gốc từ một phân tích phi tuyến tĩnh, trong khi đó phổ nhu cầu thu được bằng cách giảm phổ phản ứng đàn hồi tương ứng với các trạng thái giới hạn được xem xét. Cụ thể hơn, phổ nhu cầu được xác định là phổ phản ứng cản liên quan đến hiệu quả của tỷ số cản tổng thể tòa nhà. Việc tính toán tỷ số cản này cho cả cơ cấu phân bố tiêu tán và ứng xử chậm của các thành phần kết cấu. Giao điểm giữa đường cong năng lượng và phổ nhu cầu cho biết điểm đặc trưng và nhu cầu chuyển vị thực tế. Đường cong này dựa vào lực cắt V_b và chuyển vị đỉnh D_{roof} thu được từ phân tích cân bằng chuyển thành phổ năng lượng bằng cách áp dụng các mối liên hệ sau đây (Hình 1).

$$S_a = \frac{V_b}{M_1} \quad S_d = \frac{D_{roof}}{\varnothing_{roof_1} \Gamma_1} \quad (1)$$

Trong đó: \varnothing_{roof_1} là một biến dạng tại đỉnh so với một đầu tiên $\varnothing_{roof_1} = 1$, nếu dạng một là chuẩn thì phải thống nhất giữa các thành phần đỉnh. Γ_1 và M_1 là hệ số tham gia và khối lượng có hiệu của những một cơ bản tương ứng. Việc áp dụng các bước đòi hỏi một sự lý tưởng hóa về song tuyến tính của phổ năng lượng, để có được độ cứng đàn hồi, điểm chảy dẻo và độ cứng sau đàn hồi của kết cấu SDOF tương đương.



Hình 1. Dạng ADRS: đường cong phổ năng lượng và phổ nhu cầu

2.2. Trình tự thiết kế hệ cân nhớt phi tuyến

Trong giai đoạn thiết kế, khi cần thiết thì việc trang bị thêm hệ giảm chấn đã được tính toán, bước tiếp theo là xác định khoảng cách các cơ cấu để bổ sung các thiết bị giảm chấn mong muốn. Phương trình thể hiện các tỷ số giảm chấn bổ sung được cung cấp cho một đầu tiên bằng hệ cân nhớt phi tuyến:

$$\xi_{ve} = \xi_{ve1} = \frac{\sum_{j=1}^{N_D} (2\pi)^{a_j} T_{el}^{2-a_j} \lambda_j C_{NLj} f_j^{1+a_j} D_{roof}^{a_j-1} \varnothing_{rj1}^{1+a_j}}{8\pi^3 \sum_{i=1}^N m_i \varnothing_{i1}^2}$$

Trong đó: C_{NLj} là hệ số cản của thiết bị j , λ_j là một hàm của α , N_D và N là tương ứng với số lượng thiết bị và số bậc tự do, f_i là hệ số khuếch đại liên quan đến việc bố trí hình học các thiết bị, T_{el} là chu kỳ đàn hồi ở một dao động đầu tiên, \varnothing_{rj1} là sự khác biệt giữa phương thức liên kết với các bậc tự do bởi các thiết bị, \varnothing_{i1} và m_i là biên độ và khối lượng của bậc tự do thứ i .

Lưu ý rằng các tiêu chí dựa trên phương trình trên cho phép xem các khoảng cách của hệ cân ở chế độ đơn, đặc biệt là một đầu tiên. Tiêu chí này liên quan đến tầm quan trọng của kết cấu ở một đầu tiên.

2.3. Phương pháp phân bố hệ cân

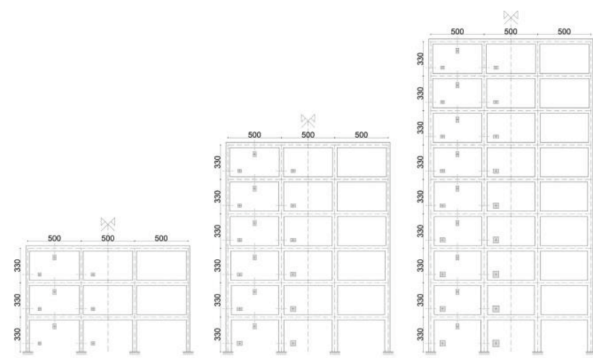
Việc sử dụng cách phân bố liên tục tương ứng với đặc tính của sự phân bố thông thường theo độ cao của các kết cấu chính, chẳng hạn như khối lượng và độ cứng. Nếu yêu cầu về kháng chấn của hệ cân là không giống nhau tại những tầng khác nhau, ví dụ: trong các kết cấu bất thường mà yêu cầu kháng chấn nơi đó ở một mức độ nhất định, thì việc phân bố sẽ tốt hơn. Các phương pháp phân bố khác có thể được giả định bằng cách xem xét các hệ số tắt dần tỷ lệ với tham số chung của tầng γ_k .

$$C_{NLk} = p \cdot \gamma_k$$

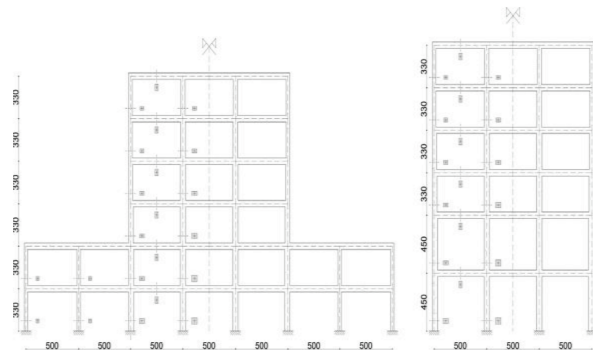
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để so sánh sự phân bố khác nhau của các phương pháp được áp dụng cho một loạt các tòa nhà, xét năm kết cấu khung bê tông cốt thép và những khung này bao gồm ba khung phẳng bình thường phân bố theo phương đứng

với 3, 6 và 9 tầng (Hình 2) và hai khung phẳng không bình thường phân bố theo phương đứng (Hình 3). Một trong các khung không bình thường là một khung 6 tầng, có khoảng cách thay đổi (6FIR), còn cái kia và một khung 6 tầng với khoảng lùi ở tầng thứ ba (6FIM). Nó đã được giả định rằng những kết cấu nằm trong một khu vực nơi mà sự phân vùng địa chấn đã bị biến đổi.



Hình 2. Khung bê tông cốt thép bình thường 3, 6 và 9 tầng bố trí theo phương đứng



Hình 3. Khung bê tông cốt thép 6 tầng bất thường được bố trí theo phương đứng: có khoảng lùi và khoảng cách tầng thay đổi

Tất cả những nhịp có chiều dài 5m và các tầng có chiều cao 3.3m, ngoại trừ khung không bình thường có khoảng cách tầng thay đổi, nơi mà chiều cao của hai tầng đầu tiên là 4.5m. Tất cả các dầm rộng là 30cm và sâu là 50cm. Tỷ lệ tăng cường đầu dầm dọc, ở các khớp bên trong, bằng 0.80%. Các cột được thiết kế được xem xét cả mặt cắt hình vuông và hình chữ nhật với kích thước khác nhau từ tối thiểu là 30cm cho khung 3 tầng đến tối đa là 60cm ở đáy khung 9 tầng. Kích thước của tất cả các cột, cùng với tỷ lệ tăng cường của chúng. Cho tất cả các khung bình thường và khung có khoảng cách tầng thay đổi, trọng lượng địa chấn, không bao gồm trọng lượng bản thân của dầm và cột, tương đương với 676,5kN

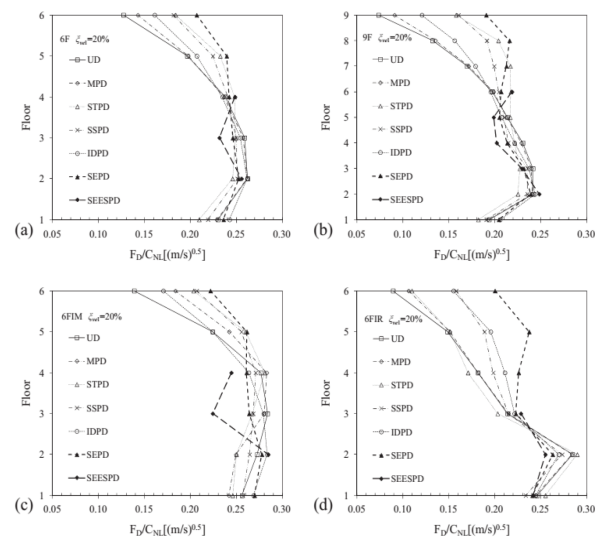
cho các tầng thấp hơn và đến 511,5kN cho các tầng trên cùng. Đối với khung có khoảng lùi ở tầng thứ ba (6FIM), trọng lượng địa chấn, không bao gồm trọng lượng bản thân của dầm và cột, tương đương 1498.5kN ở tầng đầu tiên và đến 1318.5kN ở tầng thứ hai. Đối với trọng lượng bản thân của các yếu tố kết cấu, khối lượng riêng bê tông cốt thép được lấy bằng 25kN/m³. Nó đã được giả định rằng cường độ của bê tông là 25MPa và giới hạn chảy dẻo của thép là 450MPa.

Tỷ lệ giữa phân phối dạng tối đa, các hệ số giảm chấn giữ nguyên theo chiều cao, trong khi các tầng trên lực giảm chấn thu được có xu hướng giảm đáng kể (Hình 4). Do đó, hệ số giảm chấn ở các tầng này do UD cung cấp hoạt động không hiệu quả để tiêu tán năng lượng. Đối với các phương pháp phân phối khác, sự phân phối của các hệ số giảm chấn không có sự nhất quán tốt nhất so với sự phân phối lực trong mọi trường hợp, với các phương pháp năng lượng. Vì vậy, sự khác biệt thu được về tổng lực giảm chấn giữa các phương pháp UD và phân phối thấp hơn sự khác biệt về tổng hệ số giảm chấn.

Liên quan đến sự khác biệt giữa các phương pháp phân phối và UD, xét về tổng lực giảm chấn, có thể cung cấp thông tin quan trọng liên quan đến chi phí và cả về lực truyền đến các thành phần cấu trúc được liên kết, nhưng lại bỏ qua hiệu quả của phân phối giảm chấn, chính vì thế mà các xu hướng này được thảo luận bằng cách xem xét những khác biệt trên. Đối với mức giảm chấn bổ sung lớn hơn, sự khác biệt bị hạn chế và trong nhiều trường hợp, gần bằng không đối với các phương pháp không năng lượng. Kết quả thí nghiệm tương tự cũng thu được với phương pháp SEPD, mặc dù phương pháp này mang lại những cải tiến lớn hơn so với các phương pháp không năng lượng. Trong số các phương pháp năng lượng, phương pháp SEESPD xác định các giá trị thấp nhất cho lực giảm chấn tối đa và những cải tiến không bị ảnh hưởng nhiều bởi giá trị của giảm chấn bổ sung.

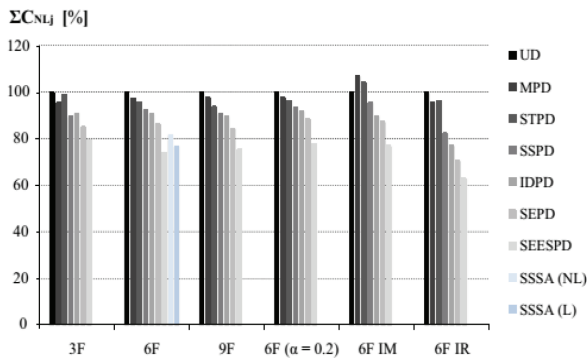
Mặc dù hệ số giảm chấn thu được giảm từ a = 0,5 xuống a = 0,2, nhưng lực giảm chấn

cực đại tại các tầng khác nhau đối với khung 6F với a = 0,2 tương tự như lực giảm chấn thu được khi sử dụng a = 0,5. Khía cạnh thứ nhất cần xem xét là tỷ số giảm chấn bổ sung, đối với các giá trị khác nhau của a, là như nhau. Thứ hai, kết quả này có thể được giải thích nếu vận tốc giảm chấn cực đại được ước tính là vận tốc giả, cụ thể là tích của tần số tròn cơ bản và độ dịch chuyển cực đại, tỷ lệ với D_{roof}. Theo cách này, lực giảm chấn cực đại, được đưa ra bởi tích của hệ số giảm chấn và vận tốc tăng lên, a sẽ tỷ lệ với D_{roof} và số mũ của D_{roof} cũng như số mũ của T_{el}, sẽ độc lập với a.



Hình 4. Tỷ số sàn giữa lực giảm chấn tối đa và hệ số giảm chấn (nvel = 20%): 6F (a), 9F (b), 6FIM (c) và 6FIR (d)

Để so sánh các kết quả của toàn bộ các trường hợp nghiên cứu điển hình hiệu quả hơn. Giá trị minh họa là các tỷ suất, biểu diễn dưới dạng tỷ lệ phần trăm, giữa kết quả của các phương pháp phân bố khác nhau và kết quả của phương pháp UD (Hình 5). Hình này xác nhận đúng xu thế như mô tả trước đây. Có thể thấy rằng ưu điểm các phương pháp MPD, STPD, SSPD và IDPD không xác định được phương pháp nào nổi trội hơn phương pháp nào. Trong số phương pháp, thì kết quả của phương pháp SSPD và IDPD có phần khá hơn, đối với khung 6 tầng có khoảng lùi (6FIR). Sự biến dạng theo pháp năng lượng có phần tốt hơn, với tỷ suất trung bình khoảng 20% và kết quả này tốt nhất được trao cho phương pháp SEESPD.



Hình 5. So sánh của tổng toàn của hệ số bộ giảm chấn (cho cả $\xi_{ve1} = 20\%$ và $\xi_{ve1} = 10\%$)

4. KẾT LUẬN

Những khung phân phối hệ cản khác nhau thì được đặt một bộ bảy thiết bị nổi đất, sử dụng phần mềm REXEL để chọn lọc và so sánh với phổ tiêu chuẩn xây dựng của Ý được dùng trong pha thiết kế. Xét sáu trường hợp nghiên cứu điển hình, với mỗi hệ cản khác nhau được định nghĩa bằng hai giá trị được thêm vào là tỷ cản và sự phân bố của bảy hệ số cản đặt nổi đất, sự phân tích theo thời gian có thể đạt được 588 lần. Bao gồm việc phân tích các khung rỗng và khung 6 tầng theo phương pháp SSSA, tổng cộng có 637 lần được phân tích theo thời gian. Toàn bộ các phân tích này được thực hiện trên giả thiết là một ứng xử phi tuyến đối với hệ cản và các phần tử kết cấu thông qua một khớp dẻo ứng xử song tuyến tính. Giả thiết này đã được thực hiện nhằm đơn giản việc tính toán và dễ dàng phân tích sự hội tụ với một lượng lớn kết quả theo thời gian. Nên cũng xem xét đến tính lâu dài của thiết bị để làm tiêu tán phần lớn năng lượng trong hệ cản hơn là trong kết cấu ban đầu.

Các kết quả phân tích phi tuyến theo thời gian được khảo sát theo quan điểm cực đại và lệch tầng, gia tốc đỉnh và lực kháng chấn cực đại. Nói chung, các kết quả đó cho thấy rằng dạng biên dao động qua các thông số phản ứng, giống như trường hợp của tầng lệch, là giống nhau đối với các kết cấu, với sự phân bố hệ cản khác nhau, và không có bất kỳ biến thiên có ý nghĩa đặc biệt đối với dao động cực đại. Kết quả cũng đã nhấn mạnh rằng, khi ứng

dụng phương pháp SEESPD, chú ý cần phải kiểm soát tham số phản ứng của các tầng mà không có hệ cản.

Liên quan đến hiệu suất của các phân bố khác nhau, bao gồm sự phân bố của hệ số giảm chấn và lực kháng chấn đồ, phương pháp UD có hiệu suất thấp, trong khi hai phương pháp năng lượng khác, nói chung là với phương pháp SSSA thì thể hiện hiệu suất tốt hơn.

So sánh giữa phương pháp khác liên quan đến độ giảm của lực cản toàn phần đến sự phân bố theo phương pháp UD, các phương pháp phi năng lượng đơn giản khác không thể hiện được lợi thế lớn, mặc dù phương pháp IDPD cho kết quả tốt hơn. Độ giảm tốt nhất của lực kháng chấn toàn phần là thuộc về phương pháp SEESPD, cho ra các giá trị tương tự đối với phương pháp dùng giải thuật lặp phức tạp. Phương pháp SEPD được xác định là cho độ giảm thấp hơn phương pháp SEESPD, nhưng tương thích tốt với việc thiết kế hệ thống kháng chấn và kiểm soát được biến dạng kết cấu.

Do đó, nghiên cứu này, đã được xác nhận, đối với việc phân tích các trường hợp, đó là các phương pháp năng lượng là lựa chọn tốt nhất có thể đối với thiết kế ứng dụng cho hệ cản nhớt. Thực tế, phương pháp này cung cấp nhiều kết quả tốt liên quan đến việc giảm chi phí, hiệu suất phân phối và ứng dụng đơn giản so với các phương pháp khác phức tạp hơn, với hiệu suất khác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. C. Constantinou và M. D. Symans, “Seismic response of structures with supplemental damping”, *Struct. Des. Tall Build.*, vol 2, số p.h 2, tr 77–92, 1993, doi: 10.1002/tal.4320020202.

[2] N. Gluck, A. M. Reinhorn, J. Gluck, và R. Levy, “Design of Supplemental Dampers for Control of Structures”, *J. Struct. Eng.*, vol 122, số p.h 12, tr 1394–1399, tháng 12 1996, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:12(1394).

[3] J.-S. Hwang, W.-C. Lin, và N.-J. Wu, “Comparison of distribution methods for viscous damping coefficients to buildings”,

- Struct. Infrastruct. Eng. - STRUCT INFRASTRUCT ENG*, vol 9, tr 1–14, tháng 9 2010, doi: 10.1080/15732479.2010.513713.
- [4] B. S. S. Council, “NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings”, *FEMA-273 Fed. Emerg. Manag. Agency Wash. DC*, tr 2–12, 1997.
- [5] R. Zhang và T. T. Soong, “Seismic Design of Viscoelastic Dampers for Structural Applications”, *J. Struct. Eng.*, vol 118, số p.h 5, tr 1375–1392, tháng 5 1992, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:5(1375).
- [6] D. Lopez-Garcia, “A Simple Method for the Design of Optimal Damper Configurations in MDOF Structures”, *Earthq. Spectra*, vol 17, tr 387–398, tháng 8 2001, doi: 10.1193/1.1586180.
- [7] D. Lopez Garcia và T. T. Soong, “Efficiency of a simple approach to damper allocation in MDOF structures”, *J. Struct. Control*, vol 9, số p.h 1, tr 19–30, 2002, doi: 10.1002/stc.3.
- [8] I. Takewaki, *Building Control with Passive Dampers*. 2009. doi: 10.1002/9780470824931.
- [9] O. M. Ramirez, M. C. Constantinou, A. S. Whittaker, C. A. Kircher, và C. Z. Chrysostomou, “Elastic and Inelastic Seismic Response of Buildings with Damping Systems”, *Earthq. Spectra*, vol 18, số p.h 3, tr 531–547, tháng 8 2002, doi: 10.1193/1.1509762.
- [10] C. P. D. Amoussou, H. Lei, Y. Halabi, và W. Alhaddad, “Performance-based seismic design methodology for tall buildings with outrigger and ladder systems”, *Structures*, vol 34, tr 2288–2307, tháng 12 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.08.078.