

Nghiên cứu tính toán lực cản tác động lên tào cáp khi luồn cáp vào ống gen trong thi công dầm cầu bê tông cốt thép dự ứng lực

Nguyễn Xuân Khang, Nguyễn Chí Minh*

Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải

Ngày nhận bài 22/5/2017; ngày chuyển phản biện 25/5/2017; ngày nhận phản biện 21/6/2017; ngày chấp nhận đăng 26/6/2017

Tóm tắt:

Bài báo trình bày phương pháp tính toán lực cản giữa tào cáp dự ứng lực với thành ống gen và giữa các tào cáp trong cùng một bó cáp khi luồn tào cáp vào ống gen. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho công tác thiết kế cũng như việc lựa chọn máy luồn cáp phục vụ thi công dầm cầu bê tông dự ứng lực.

Từ khoá: Máy luồn cáp dự ứng lực, tào cáp dự ứng lực.

Chỉ số phân loại: 2.3

Research on calculating the drag impact on prestressing steel strand when pushing strands into the duct in the construction of girders

Xuan Khang Nguyen, Chi Minh Nguyen*

Institute of Transport Science and Technology

Received 22 May 2017; accepted 26 June 2017

Abstract:

This article presents the method of calculating the resistance between the prestressing steel strand and the duct wall, and between the strands of the same cable bundle when threading the cable into the duct. Research result is the basis for the design as well as the selection of strand pushing machines for the construction of prestressed concrete girders.

Keywords: Prestressing steel strand, strand pushing machine.

Classification number: 2.3

Đặt vấn đề

Kết cấu bê tông dự ứng lực (DƯL) hiện đang được áp dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng hạ tầng giao thông, thủy lợi, công nghiệp... Đặc biệt, trong các công trình cầu bê tông ngày nay hầu như đều sử dụng dầm dạng kết cấu bê tông DƯL kéo căng sau.

Trong quy trình thi công cầu kiện bê tông cốt thép DƯL nói chung và các dầm cầu bê tông cốt thép DƯL kéo căng sau nói riêng có công đoạn không thể thiếu là luồn các tào cáp DƯL (thép DƯL) vào trong lòng các ống gen đã đặt sẵn bên trong cầu kiện [1]. Đây là một trong những công đoạn mất nhiều thời gian và công sức, đặc biệt đối với các dầm hộp liên tục vượt khẩu độ lớn thi công theo công nghệ hiện đại như đúc hẫng, lắp hẫng hoặc dây văng có nhiều tào cáp trong một bó với chiều dài lớn (từ 70 tới 150 m với cầu đúc hẫng, lớn hơn 200 m với cầu dây văng) thì việc luồn bằng tay là không thể, khi đó công đoạn luồn tào cáp DƯL phải được thực hiện bằng các thiết bị chuyên dùng.

Để lựa chọn được loại thiết bị luồn tào cáp phù hợp cũng như làm cơ sở cho việc thiết kế máy luồn cáp, một trong những thông số quan trọng cần phải nghiên cứu tính toán là lực cản ma sát tác động lên tào cáp khi luồn vào trong ống gen, từ đó tính toán được lực đẩy cần thiết của máy.

Nội dung nghiên cứu

Các tào cáp DƯL (Strand) cần phải được luồn vào trong ống gen bằng tole sóng mạ kẽm (Corrugated Metal Duct) hoặc polyethylene (Corrugated Plastic Duct) đặt sẵn bên trong dầm cầu bê tông DƯL. Tùy vào từng loại dầm cầu mà

*Tác giả liên hệ: Email: chiminh73@gmail.com

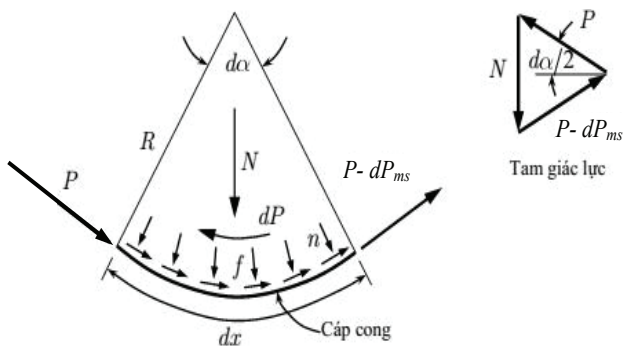
mỗi ống gen có chứa các bó cáp gồm 1 tao cáp DUL hoặc 2, 4, 7, 12, 19, 22 đến 31 tao cáp..., thậm chí tới 49 tao cáp. Trong quá trình đẩy tao cáp vào trong ống gen, lực đẩy của máy truyền lên tao cáp DUL phải thắng được lực cản ma sát giữa tao cáp với thành ống gen và lực cản ma sát giữa các tao cáp trong cùng một bó cáp với nhau.

Lực ma sát này thường được phân biệt do ba nhóm nguyên nhân: Do sự chuyển hướng quỹ đạo cáp theo chủ định của người thiết kế dầm cầu và sự thay đổi góc không mong muốn của cáp dọc theo chiều dài; do trọng lượng bản thân cáp; do các nguyên nhân ngẫu nhiên khác như ma sát do các tao cáp trong cùng một ống gen bị xoắn vặn vào nhau, do đầu tao cáp đang luôn gặp phải vật cản lọt vào trong ống gen...

Để tính toán các thành phần lực cản trên, qua nghiên cứu các tài liệu của nước ngoài [2-5], nhóm nghiên cứu đưa ra các mô hình và cách tính như sau:

Xét lực ma sát do sự chuyển hướng quỹ đạo và sự thay đổi góc của tao cáp

Tương ứng hai thành phần lực ma sát do sự chuyển hướng quỹ đạo cáp theo chủ định của người thiết kế và do sự thay đổi góc không mong muốn của cáp dọc theo chiều dài thường được gọi là lực do “ma sát cong” (Curvature Frictional) và lực do “ma sát lắc” (Wobble Frictional).



Hình 1. Lực do “ma sát cong”.

Khi máy đẩy tao cáp DUL với lực đẩy là P, ta xét nếu trên chiều dài dx cáp DUL đổi hướng một góc là $d\alpha$ thì sự đổi hướng này sẽ sinh ra một lực vuông góc với tiếp tuyến của cáp là N được tính như sau (hình 1):

$$N = 2.P.\sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right)$$

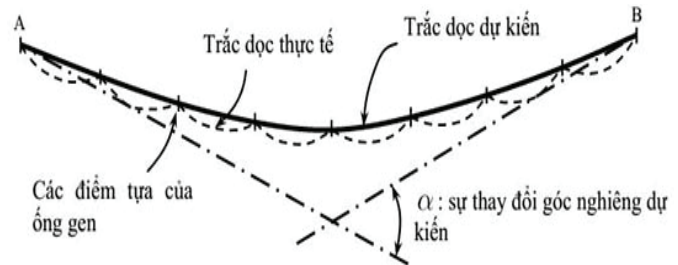
Nếu hệ số ma sát giữa tao cáp và ống gen là μ thì lực do “ma sát cong” trên chiều dài dx sẽ là:

$$dP_{msc} = \mu.N = \mu.2.P.\sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right)$$

Do góc lệch thường nhỏ nên $\sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \cong \frac{d\alpha}{2}$, khi đó lực

do “ma sát cong” ứng với góc chuyển hướng $d\alpha$ là:

$$dP_{msc} = \mu.P.d\alpha \quad (1)$$



Hình 2. Lực do “ma sát lắc”.

Độ lớn của lực do “ma sát lắc” phụ thuộc vào độ cứng của ống gen, đường kính ống (ống càng rộng thì lực ma sát càng nhỏ), khoảng cách giữa các điểm gối tựa hoặc treo của ống, kiểu cáp, kiểu ống và phương pháp thi công. Lực do “ma sát lắc” trên chiều dài dx của cáp là (hình 2):

$$dP_{msl} = k.P.dx \quad (2)$$

Do đó, tổng lực “ma sát cong” và “ma sát lắc” trên chiều dài dx theo (1) và (2) là:

$$dP_{ms} = \mu.P.d\alpha + k.P.dx \quad (3)$$

Tổng lực ma sát do “ma sát cong” và “ma sát lắc” trên chiều dài đoạn dầm AB = L (m) là:

$$\int_{P_A}^{P_B} \frac{dP_{ms}}{P} = \mu \int_0^\alpha d\alpha + k \int_0^L dx \quad (4)$$

Kết quả của việc giải phương trình (4) ta được:

$$P_{ms} = P.[1 - e^{-(\mu.\alpha + k.L)}] \quad (5)$$

Trong đó: P là lực đẩy của máy truyền lên tao cáp DUL; P_{ms} là tổng lực ma sát từ “ma sát cong” và “ma sát lắc” trong tao cáp DUL giữa hai đầu dầm cầu; L là chiều dài tao cáp luôn trong ống gen giữa hai đầu dầm (m); μ là hệ số ma sát giữa tao cáp với ống gen; α là tổng góc thay đổi góc nghiêng của tao cáp giữa hai đầu dầm cầu (rad); k là hệ số “ma sát lắc” trên đơn vị chiều dài tao cáp DUL (m^{-1}).

Hệ số ma sát μ phụ thuộc vào các đặc trưng bề mặt của cáp DUL và ống gen, giá trị của μ có thể thay đổi từ 0,05 đến 0,50. Giá trị của đại lượng này được cung cấp trong các tiêu chuẩn thiết kế. Hệ số “ma sát lắc” k phụ thuộc vào hệ số ma sát và độ cứng của ống và có thể thay đổi từ 0,003/m đến 0,0066/m. Hệ số ma sát tăng khi bán kính cong giảm,

khi lực kéo tăng và có sự rỉ bề mặt. Các bảng 1, 2, 3 lần lượt cung cấp các giá trị hệ số ma sát được khuyến nghị trong các tiêu chuẩn ACI, CEB-FIP và 22 TCN 272:05.

Bảng 1. Phạm vi của hệ số ma sát được ACI khuyến nghị.

Dạng cáp DUL	Hệ số μ	Hệ số k (theo mét)
Cáp sợi đơn	0,15-0,25	0,0033-0,0049
Tạo cáp 7 sợi	0,15-0,25	0,0016-0,0066
Thanh cường độ cao	0,08-0,30	0,0003-0,0020
Cáp nằm trong ống gen kim loại - tạo 7 sợi	0,15-0,25	0,00066
Cáp bọc mỡ, không dính bám - tạo 7 sợi	0,05-0,15	0,0010-0,0066
Cáp bọc matit - sợi và tạo 7 sợi	0,05-0,15	0,0033-0,0066

Bảng 2. Các giá trị hệ số ma sát đại diện do CEB-FIP khuyến nghị cho cáp DUL có bán kính cong lớn hơn 6 m.

Dạng cáp DUL	Hệ số μ	Hệ số k (theo mét)
Cáp nằm trong ống gen (cáp có vỏ bọc)	0,50	0,0050
Cáp nằm trong các ống bọc bằng kim loại	0,20	0,0020
Các sợi kéo nguội	0,20	0,0020
Tạo cáp (thường gồm 7 sợi xoắn bên vào nhau)	0,25	0,0025
Các sợi tròn trơn, các sợi có gờ	0,30	0,0030

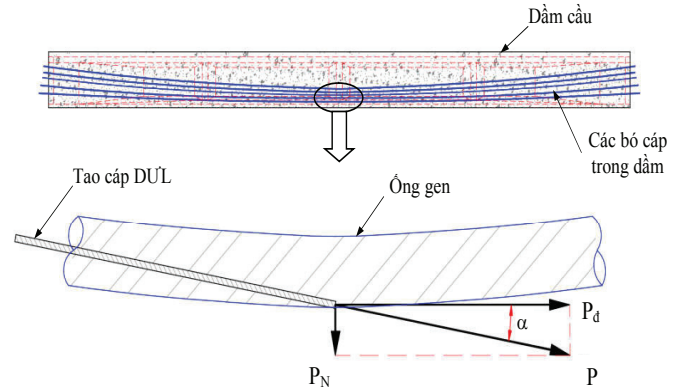
Bảng 3. Các giá trị hệ số ma sát do 22 TCN 272:05 khuyến nghị.

Dạng cáp DUL	Loại ống gen	Hệ số μ	Hệ số k (theo mét)
Sợi hay tạo	Ống thép mạ cứng hay nửa cứng	0,15-0,25	$6,6 \times 10^{-7}$
	Vật liệu polyethylene	0,23	$6,6 \times 10^{-7}$
	Các ống chuyển hướng bằng thép cứng cho bó thép ngoài	0,25	$6,6 \times 10^{-7}$
Thanh cường độ cao	Ống thép mạ	0,30	$6,6 \times 10^{-7}$

Xét lực ma sát do trọng lượng bản thân của tạo cáp

Các ống gen chứa tạo cáp trong dầm cầu bê tông DUL thường có hình dạng võng xuống (trắc dọc cáp thường

được bố trí theo dạng parabol dựa trên biểu đồ mô men uốn) để sau khi kéo căng các bó cáp DUL thì dầm có xu hướng võng lên tạo ra độ võng theo yêu cầu.



Hình 3. Bố trí ống gen trong dầm (trên) và mô hình tính lực cản ma sát khi luồn cáp.

Độ võng của ống gen tùy thuộc vào từng loại dầm, kích thước dầm (chiều cao, chiều dài nhịp), tải trọng và vị trí từng bó cáp trên dầm. Việc luồn các tạo cáp này vào trong ống gen càng gặp bất lợi khi độ võng của ống gen càng lớn, lúc này góc nghiêng của tạo cáp so với phương nằm ngang càng lớn.

Ta xét một tạo cáp DUL được máy đẩy vào trong ống gen với góc nghiêng α so với phương ngang, lực đẩy của máy truyền lên tạo cáp là P.

Tại đầu tạo cáp khi đó lực đẩy được phân thành 2 thành phần (hình 3):

+ Thành phần nằm ngang P_d có tác dụng đẩy tạo cáp vào trong ống gen.

+ Thành phần thẳng đứng P_N có tác dụng làm gia tăng áp lực của tạo cáp lên thành ống gen. P_N cùng với trọng lượng G của tạo cáp tạo ra lực ma sát giữa tạo cáp với ống gen.

$$\text{Ta có: } P_d = P \cdot \cos \alpha, P_N = P \cdot \sin \alpha$$

Khi đó lực ma sát giữa tạo cáp và ống gen trong trường hợp này là:

$$F_{ms} = (G + P_N) \cdot \mu = (G + P \cdot \sin \alpha) \cdot \mu \quad (6)$$

Trong đó:

+ G - Trọng lượng một tạo cáp luồn trong ống gen (kg):

$$G = L \cdot \gamma \quad (7)$$

Với L là chiều dài tạo cáp luồn trong ống gen (m); γ là trọng lượng một mét chiều dài tạo cáp (kg/m).

- + μ - Hệ số ma sát giữa tao cáp với ống gen.
- + α - Góc nghiêng của tao cáp đẩy so với phương ngang.

Xét lực ma sát do nguyên nhân ngẫu nhiên khác

Khi thi công đẩy nhiều tao cáp vào trong một ống gen (bó nhiều tao cáp) có thể gặp trường hợp ngẫu nhiên không mong muốn như tao cáp đang đẩy bị vặn xoắn với các tao cáp đã được luồn vào từ trước (điều này rất dễ gặp khi luồn những tao cáp cuối của bó có nhiều tao cáp), đầu tao cáp đang đẩy gặp phải vật cản lọt vào ống gen trong quá trình đổ bê tông hoặc mép ống gen bị quần lên trong lòng ống... Khi đó lực đẩy tao cáp phải đủ lớn để ngoài việc khắc phục lực ma sát còn phải đẩy tao cáp vượt được các chướng ngại ngẫu nhiên không mong muốn gặp phải như đã nêu.

Giá trị lực ma sát giữa tao cáp với ống gen là tổng lực ma sát do “ma sát cong” và “ma sát lắt” P_{ms} tính theo biểu thức (5) và lực ma sát giữa tao cáp và ống gen do trọng lượng tao cáp F_{ms} tính theo (6). Nhưng việc xác định chính xác lực cần thiết để đẩy tao cáp vượt các chướng ngại ngẫu nhiên không mong muốn bằng tính toán là rất khó. Vì vậy qua nghiên cứu tham khảo các tài liệu và thiết bị hiện có trên thế giới cũng như kinh nghiệm thi công tại Việt Nam thì nhận thấy việc lựa chọn lực đẩy cáp thiết kế cho máy được tính theo giá trị lực ma sát giữa tao cáp với ống gen sau đó tăng thêm 20 đến 30%.

Lực đẩy của máy tính theo giá trị lực ma sát giữa tao cáp với ống gen là:

$$P = (P_{ms} + F_{ms}) \quad (8)$$

Thay (5) và (6) vào (8) ta được:

$$P = P[1 - e^{-(\mu \cdot \alpha + k \cdot L)}] + (G + P \cdot \sin \alpha) \cdot \mu$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{G \cdot \mu}{e^{-(\mu \cdot \alpha + k \cdot L)} - \mu \cdot \sin \alpha} \quad (9)$$

Trong đó: P là lực đẩy của máy truyền lên tao cáp DUL; L là chiều dài tao cáp cáp luồn trong ống gen (giữa hai đầu dầm) [m]; G là trọng lượng một tao cáp luồn trong ống gen (kg); μ là hệ số ma sát giữa tao cáp với ống gen (tham khảo bảng 1, 2 và 3); k là hệ số “ma sát lắt” trên đơn vị chiều dài tao cáp DUL (tham khảo bảng 1, 2 và 3); α là góc nghiêng của tao cáp đẩy so với phương ngang.

Qua khảo sát các dầm cầu bê tông DUL đã, đang và sắp thi công ta có các thông số đầu vào cho việc tính toán như sau:

- Đường kính tao cáp lớn nhất: $d_c = 15,2$ mm (theo tiêu chuẩn ASTM A416) loại không vỏ bọc có $\gamma = 1,102$ kg/m.
- Chiều dài tối đa tao cáp luồn trong ống gen: $L = 200$ m (đối với các bó cáp có chiều dài lớn hơn 200 m thì tiến hành luồn từ hai đầu vào).

- Hệ số ma sát giữa tao cáp với ống gen trong dầm cầu thường sử dụng ống gen bằng tole sóng mạ kẽm hoặc polyethylene ($\mu = 0,25$).

- Hệ số “ma sát lắt” trên đơn vị chiều dài tao cáp DUL với tao cáp 7 sợi ($k = 0,0066$ /m).

- Góc nghiêng của tao cáp đẩy so với phương ngang: Theo 22TCN 272:05 (Tiêu chuẩn thiết kế cầu) [6] thì với các dầm cầu bê tông DUL thường có α từ 0 đến 30° tùy theo độ võng của từng bó cáp, để tính toán ta lấy $\alpha = 30^\circ = 0,5236$ rad.

Thay các giá trị trên vào (7) và (9) ta tính được:

$$P = 355,56 \text{ kG}$$

Lực cần thiết để đẩy tao cáp vượt các chướng ngại ngẫu nhiên không mong muốn ta lấy bằng 30% lực ma sát như đã tính. Khi đó lực đẩy tao cáp cần thiết của máy là:

$$P_{dm} = 1,3; P = 462,23 \text{ kG}$$

Căn cứ vào giá trị lực đẩy cần thiết như vừa tính, ta có thể lựa chọn được máy luồn cáp phù hợp hoặc làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế máy mới.

Kết luận

Việc sử dụng thiết bị cơ giới hóa, tự động hóa phục vụ công tác thi công dầm cầu bê tông DUL là xu hướng hiện nay trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Máy luồn cáp là một trong những thiết bị rất hữu ích trong thi công dầm cầu bê tông DUL, giúp tăng năng suất, đảm bảo chất lượng công trình và giảm sức lao động của con người. Một trong những thông số quan trọng để lựa chọn được máy phù hợp là trị số lực cản tác động lên tao cáp trong khi luồn vào trong ống gen. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở quan trọng cho việc tính lực đẩy cần thiết của máy, từ đó giúp cho việc thiết kế, lựa chọn máy phù hợp với từng điều kiện thi công cụ thể, nhằm mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ GTVT (1998), *Tiêu chuẩn ngành 22TCN 247:98 - Quy trình thi công và nghiệm thu dầm cầu bê tông DUL*.
- [2] Amlan K. Sengupta and Devdas Menon (2001), *Prestressed Concrete Structure*, Indian Institute of Technology Madras.
- [3] Gail S. Kelley (2000), “Prestress Losses in Post - Tensioned Structures”, *PTI Technical Notes*, Issue 10, pp.1-3.
- [4] Modjeski and Masters (2003), *Comprehensive Design Example for Prestressed Concrete Girder Superstructure Bridge with Commentary*, Task order DTFH61-02-T-63032.
- [5] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (2013), *Prestress Manual-Post Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual*, Report No. FHWA-NHI-13-026.
- [6] Bộ GTVT (2005), *Tiêu chuẩn ngành 22TCN 272:05 - Tiêu chuẩn thiết kế cầu*.