

ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ LỆ NƯỚC/XI MĂNG VÀ THỜI GIAN ĐẾN MỘT SỐ THÔNG SỐ BƠM CỦA HỖN HỢP BÊ TÔNG

INFLUENCE OF WATER-CEMENT RATIO AND TIME TO SOME PUMPING PARAMETERS OF FRESH CONCRETE

Vũ Văn Nhân, Nguyễn Thế Dương¹

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Duy Tân, 25/K7 Quang Trung, Đà Nẵng

¹ Tác giả liên hệ, e-mail: theduong.nguyen@duytan.edu.vn

Tóm tắt - Bài báo trình bày một số kết quả đo thông số bơm của một số cấp phối bê tông thương phẩm bao gồm độ sụt, thông số ma sát giữa vữa bê tông và thành ống thép theo thời gian lưu giữ vữa bê tông. Sự thay đổi của các thông số này được khảo sát theo sự thay đổi của hàm lượng nước và xi măng. Kết quả thực nghiệm cho thấy tỉ lệ nước và xi măng trong cấp phối bê tông cũng như thời gian ảnh hưởng đến lớn tính công tác và tính ma sát của hỗn hợp bê tông. Kết quả thí nghiệm cung cấp thêm một cơ sở dữ liệu và thông tin để thiết kế hỗn hợp bê tông đáp ứng về cường độ và thi công bơm.

Từ khóa - thông số bơm; ma sát tiếp xúc; ngưỡng trượt bề mặt; hằng số nhớt tiếp xúc; độ sụt; thời gian lưu vữa.

1. Mở đầu

Công nghệ bơm bê tông lần đầu tiên được sử dụng tại Mỹ trong những năm đầu 1930 và đến nay, công nghệ này đã được sử dụng rộng rãi cho các công trình xây dựng. Đặc biệt đối với việc thi công các công trình có quy mô lớn như nhà cao tầng hoặc công trình cầu thì việc vận chuyển hỗn hợp bê tông từ vị trí chân công trình đến vị trí cần đổ bê tông bằng phương pháp bơm gần như là lựa chọn tối ưu nhất, tính đến thời điểm này.

Ưu điểm của công nghệ bê tông bơm là bê tông được đổ một cách liên tục, từ đó rút ngắn được thời gian thi công, tiết kiệm được hao phí nhân lực và chi phí xây dựng.

Ở nước ta hiện nay, kỹ thuật về bơm bê tông được quy định trong tiêu chuẩn TCXD 200-1997 [1]. Về phần vật liệu, trong tiêu chuẩn này đưa ra một số quy định chung về thiết kế cấp phối, trong đó việc kiểm tra tính thi công được của hỗn hợp bê tông được thực hiện thông qua kiểm soát kích thước của vật liệu và thông số độ sụt. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây trên thế giới [2]–[5] chỉ rõ rằng, thông số độ sụt thực tế không phản ánh hết được tính dễ bơm hay khó bơm của bê tông cũng như không đủ để dự báo áp lực bơm. Thực vậy, mô hình dòng chảy của bê tông trong ống bơm được Kaplan [2] đề xuất và được khẳng định bởi Kwon [6] chỉ rõ rằng, có từ hai đến ba pha khi bê tông chảy trong ống bơm (**Hình 1**) gồm (i) bê tông chuyển động tịnh tiến ở phần lõi, (ii) lớp trượt ở biên và (iii) lớp cát là lớp chuyển tiếp giữa lớp trượt và lớp tịnh tiến. Trong trường hợp vận tốc dịch chuyển của bê tông còn nhỏ thì dòng chảy trong ống chỉ có lớp 1 và lớp 3. Khi vận tốc lớn thì có cả 3 lớp. Tùy vào số lớp mà áp lực cần thiết để đẩy bê tông đi là khác nhau. Trong các công thức tính toán áp lực bơm được Kaplan đề xuất và đã được chứng minh bằng thực nghiệm [3], [7] thì áp lực bơm, phụ thuộc vào lưu lượng bơm, sẽ có 3 thành phần tương ứng với 3 pha chuyển động. Trong đó thành phần liên quan đến lớp trượt ở biên phụ thuộc được đặc trưng bằng thông số ma sát tiếp xúc giữa bê tông và thành ống. Thông số ma sát gồm hai thành phần, là ngưỡng trượt tiếp

Abstract – This paper presents some pumping parameters obtained from experimental measurement on the ready mixed concrete, including slump and frictional parameters with time. The variation's trend of these parameters are investigated with the variation of water-cement ratio. It is shown that the water-cement ratio and time influence with importance to the workability and frictional properties of fresh concrete. The experimental results provide useful information for the design of composition of concrete in order to satisfying the strength and pumpability requirements.

Key words – pumping parameters; interface friction; interface yield stress; viscous constant; slump; time.

xúc ban đầu τ_0 và hằng số nhớt tiếp xúc η . Lớp cát liên quan đến tính chất lưu biến của bê tông, bao gồm ngưỡng cắt ban đầu τ_s và thông số nhớt dẻo μ , mà trong thực tế hay được đặc trưng bằng độ sụt. Như vậy nếu chỉ quan tâm đến duy nhất thông số độ sụt thì sẽ không tính toán và dự báo một cách chính xác được áp lực bơm cũng như đánh giá một cách xác đáng tính dễ hay khó bơm của bê tông tươi. Các thông số ma sát và lưu biến được gọi chung là thông số bơm của bê tông.

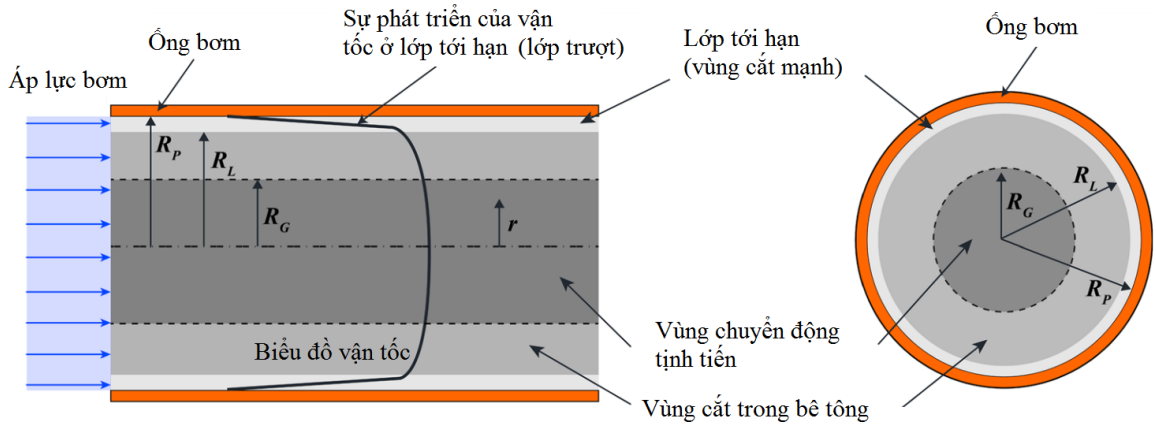
Quan tâm đến tính bơm của hỗn hợp bê tông, trong thời gian gần đây, một số tác giả trong [8]–[10] và ngoài nước [5], [11], [12] đã quan tâm nghiên cứu tính chất ma sát của hỗn hợp bê tông khi chảy trong ống bơm cứng bằng thép. Các nghiên cứu này chủ yếu thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm và chế tạo, chuẩn hoá thiết bị thực nghiệm [6], [11], [13] và thực nghiệm đo đạc trên hỗn hợp bê tông được làm từ các thành phần khác nhau [5], [8]–[10], [14]. Các phép đo đã chỉ ra rằng, thông số độ sụt không thể phản ánh một cách đầy đủ tính dễ/khó bơm của bê tông. Thực tế, các nghiên cứu thực nghiệm trên chỉ ra rằng, khi thay đổi tỉ lệ cốt liệu thô [8], thay đổi hàm lượng phụ gia [10] với một số cấp phối khác nhau về thành phần thì có thể có cùng một độ sụt nhưng thông số ma sát lại chênh lệch nhau đáng kể.

Để bổ sung cho cơ sở dữ liệu thực nghiệm cũng như làm cơ sở cho việc đánh giá xu hướng thay đổi tính dễ bơm của bê tông, trong nghiên cứu này, các tác giả khảo sát ảnh hưởng của thể tích hồ xi măng đến tính bơm của bê tông có xét thời gian lưu vữa. Thời gian cũng là một yếu tố quan trọng vì hỗn hợp bê tông thương phẩm thông thường sẽ được trộn ở trạm trộn, sau đó dùng xe vận chuyển đến công trường. Việc vận chuyển này nhiều lúc sẽ mất rất nhiều thời gian, đặc biệt là công trình thi công trong khu vực đô thị hoặc tại những khu vực có giao thông khó khăn.

2. Thí nghiệm xác định và tính toán thông số bơm

+ Nguyên lý xác định thông số ma sát

Như đã trình bày ở trên, thông số ma sát bao gồm (i)



Hình 1. Mô hình dòng bê tông chảy trong ống bơm [4].

ngưỡng trượt ban đầu τ_0 , là cơ sở tính toán áp lực cần thiết ban đầu của piston để đẩy bê tông bắt đầu dịch chuyển trong ống và (ii) hệ số nhớt tiếp xúc η , đặc trưng cho tính ma sát động (ma sát phụ thuộc vào vận tốc dịch chuyển) tiếp xúc bề mặt giữa bê tông và thành ống bơm. Hai thông số ma sát này bổ sung thêm cho thông số độ sụt giúp thiết kế thành phần cấp phối cũng như thiết kế bơm bê tông.

Khi biết hai thông số ma sát thì ứng suất trượt tức thời tại mặt tiếp xúc bê tông – thành ống khi bê tông dịch chuyển được tính:

$$\tau = \tau_0 + \eta v \quad (1)$$

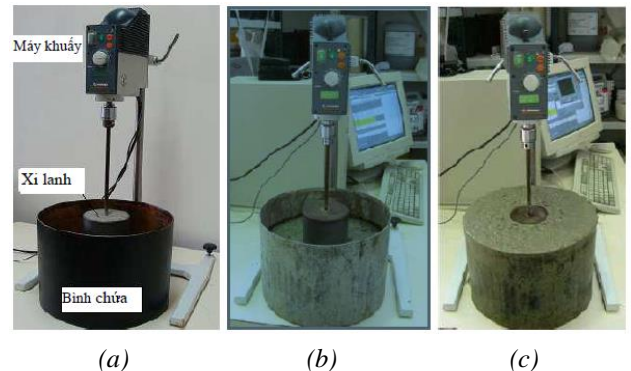
trong đó τ (Pa) là ứng suất trượt tại mặt tiếp xúc, τ_0 (Pa) ngưỡng trượt ở mặt tiếp xúc, η (Pa.s/m) là hằng số nhớt, v (m/s) là vận tốc trượt tương đối giữa bê tông và thành ống.

+ *Thí nghiệm đo thông số ma sát*

Sự tiếp xúc giữa bê tông và thành ống bơm được mô phỏng lại theo sự tiếp xúc của một ống kim loại quay đều trong môi trường bê tông. Sự quay của trục được tạo ra và điều khiển bằng máy khuấy cơ học (Hình 2a). Máy khuấy có thể ghi lại được tốc độ quay và mô men xoắn tương ứng. Tốc độ quay thay đổi theo thời gian được điều khiển bằng phần mềm. Bê tông đựng trong thùng chứa có đường kính 30 cm, xi lanh hình trụ bằng thép có đường kính 106 mm, cao 100 mm (Hình 2a). Các thông số của thiết bị được tham khảo dựa trên cơ sở các nghiên cứu trong tài liệu [11].

Khi thí nghiệm, ta thu được thông tin mô men xoắn T (N.mm) tương ứng với các tốc độ quay của xi lanh V (vòng/s). Lần lượt tiến hành thí nghiệm xác định mômen xoắn ở mặt đáy xi lanh T_1 (N.mm) và mô men xoắn T_2 (N.mm) của mặt đáy và mặt xung quanh tương ứng với các tốc độ quay của xi lanh V (chu kì/s) (Hình 2b,c). Mô men thành T được tính bằng cách lấy trung bình các trị số mô men T_2 trừ cho trung bình các trị số mô men T_1 tại mỗi tốc độ quay. Từ đó tính được ma sát bề mặt trung

binh ở tất cả các khu vực xung quanh của hình trụ, nơi tốc độ quay không đổi với từng giai đoạn tốc độ áp đặt. Kết quả thí nghiệm thô được xử lý nhanh chóng bằng phần mềm «Pumping parameter calculation» [15].



Hình 2. Dụng cụ đo ma sát giữa bê tông và thành ống

(a). Dụng cụ đo ma sát; (b). Thí nghiệm xác định mômen xoắn T_1 ; (c). Thí nghiệm xác định mômen xoắn T_2 .

Các mẫu cấp phối bê tông được kiểm tra độ sụt và thí nghiệm đo thông số ma sát tại các thời điểm 0 phút; 30 phút; 60 phút và 90 phút sau khi hoàn thành công tác trộn hỗn hợp bê tông.

3. Cấp phối bê tông thí nghiệm

Vật liệu chế tạo hỗn hợp bê tông thí nghiệm gồm:

- + Xi măng Kim Định PCB40.
- + Cát vàng có mô đun độ lớn $M_{dl} = 2.9$, đảm bảo các yêu cầu theo TCVN 7570-2006.
- + Đá dăm 0.5×1 ; đá dăm 1×2 , đảm bảo các yêu cầu theo TCVN 7570-2006.
- + Phụ gia Sika Plast 257.
- + Nước sạch.

Các cấp phối được chế tạo đáp ứng các yêu cầu theo [16]. Có 08 loại cấp phối, ký hiệu: CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, CP7, CP8 được trình bày trong **Bảng 1**.

Bảng 1: Các loại cấp phối bê tông thí nghiệm.

| Tên cấp phối | Thành phần vật liệu cho 1 m ³ bê tông | | | | | |
|--------------|--|---------|--------|--------|--------|-------------|
| | X (kg) | N/X (l) | N (kg) | C (kg) | Đ (kg) | Phụ gia (l) |
| CP1 | 420 | 0.35 | 147 | 870 | 1023 | 4.2 |
| CP2 | 420 | 0.37 | 155 | 859 | 1011 | 4.2 |
| CP3 | 420 | 0.40 | 168 | 844 | 993 | 4.2 |
| CP4 | 420 | 0.45 | 189 | 818 | 963 | 4.2 |
| CP5 | 460 | 0.35 | 161 | 836 | 984 | 4.6 |
| CP6 | 460 | 0.37 | 170 | 825 | 971 | 4.6 |
| CP7 | 460 | 0.40 | 184 | 808 | 951 | 4.6 |
| CP8 | 460 | 0.45 | 207 | 780 | 918 | 4.6 |

4. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm được trình bày ở bảng 2. Bảng này trình bày 3 thông số là độ sụt, ngưỡng trượt bề mặt và hằng số nhớt tiếp xúc ở 4 thời điểm thí nghiệm lần lượt là: 0 phút, 30 phút, 60 phút và 90 phút sau khi trộn

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm.

| Loại BT | Thông số bơm | Thời gian lưu vữa bê tông (phút) | | | |
|---------|-----------------|----------------------------------|------|------|-------|
| | | 00 | 30 | 60 | 90 |
| CP1 | SN (cm) | 12 | 10.5 | 8.5 | 5 |
| | τ_0 (Pa) | 61.6 | 87.4 | 76 | 100.8 |
| | η (Pa.s/m) | 991 | 1036 | 1148 | 1324 |
| CP2 | SN (cm) | 16.5 | 15 | 13 | 10 |
| | τ_0 (Pa) | 46.2 | 62.5 | 49.1 | 78.4 |
| | η (Pa.s/m) | 781 | 829 | 911 | 1152 |
| CP3 | SN (cm) | 17 | 16 | 15 | 12.5 |
| | τ_0 (Pa) | 36.4 | 47.7 | 34 | 61.5 |
| | η (Pa.s/m) | 673 | 718 | 738 | 959 |
| CP4 | SN (cm) | 21 | 19.5 | 18 | 16 |
| | τ_0 (Pa) | 25.8 | 38.9 | 27.1 | 47.3 |
| | η (Pa.s/m) | 516 | 560 | 589 | 776 |
| CP5 | SN (cm) | 19 | 18 | 16.5 | 14.5 |
| | τ_0 (Pa) | 29.4 | 41.2 | 29.8 | 52.5 |
| | η (Pa.s/m) | 572 | 603 | 668 | 825 |
| CP6 | SN (cm) | 20 | 19 | 18 | 16 |
| | τ_0 (Pa) | 26 | 39 | 27.3 | 47.9 |
| | η (Pa.s/m) | 522 | 557 | 593 | 764 |
| CP7 | SN (cm) | 21.5 | 20 | 19 | 17.5 |
| | τ_0 (Pa) | 20.7 | 32.3 | 23 | 42 |
| | η (Pa.s/m) | 389 | 475 | 507 | 684 |
| CP8 | SN (cm) | 22 | 21 | 20 | 19 |
| | τ_0 (Pa) | 20.2 | 27.7 | 21.5 | 39.7 |
| | η (Pa.s/m) | 381 | 429 | 466 | 639 |

Kết quả thí nghiệm các thông số ma sát được tổng hợp ở bảng 2, cho thấy quy luật biến đổi của thông số SN, τ_0 và η theo thời gian và tỉ lệ N/X như sau:

+ Độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm đi theo thời gian lưu sụt và tăng lên khi tỉ lệ N/X tăng.

+ Thông số τ_0 tăng dần trong khoảng thời gian lưu sụt từ 0 đến 30 phút, đến thời điểm 60 phút τ_0 giảm xuống và tăng lên khá lớn khi hỗn hợp bê tông được lưu sụt đến thời điểm 90 phút.

+ Thông số η tăng dần trong khoảng thời gian lưu sụt từ 0 đến 90 phút, mức độ tăng lớn nhất đạt được ở thời điểm 90 phút.

5. Ảnh hưởng của tỉ lệ nước/xi (N/X) và thời gian

5.1.1. Ảnh hưởng đến tính linh động của hỗn hợp bê tông

Theo **Hình 3**, khi tỉ lệ N/X biến đổi trong một khoảng từ 0.35 đến 0.45, độ sụt của hỗn hợp bê tông tăng dần. Theo thời gian, mức độ suy giảm độ sụt của các cấp phối có tỉ lệ N/X thấp (N/X=0.35-0.37) xảy ra mạnh hơn, tuy nhiên sự chênh lệch so với các cấp phối có tỉ lệ N/X lớn hơn là không đáng kể. Trị số độ sụt suy giảm theo thời gian lưu vữa hỗn hợp bê tông và xảy ra mạnh hơn ở thời điểm lưu sụt từ 60 đến 90 phút. Như vậy có thể thấy tỉ lệ N/X ảnh hưởng đến độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông nhưng thời gian mới là yếu tố chính tác động đến trị số độ sụt của hỗn hợp bê tông ở các thời điểm khác nhau.

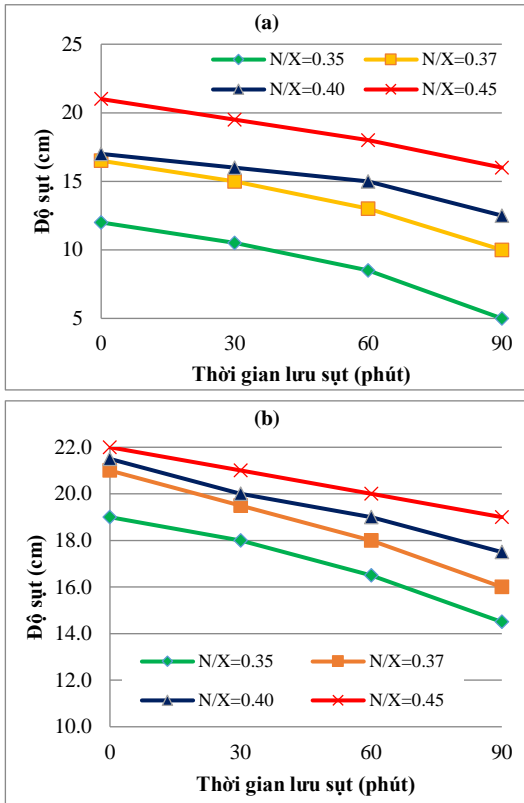
Hình 4 biểu diễn sự gia tăng độ sụt theo tỉ lệ N/X với các hàm lượng xi măng và ở các thời điểm lưu sụt khác nhau của hỗn hợp bê tông. Xem xét các đường quan hệ trên biểu đồ **Hình 4a** và **Hình 4b**, khi hàm lượng xi măng trong hỗn hợp thấp (X=420kg) hơn thì sự biến đổi của độ sụt theo tỉ lệ N/X xảy ra khá rõ rệt. Các khoảng biến đổi của trị số độ sụt ở các thời điểm lưu sụt 0; 30; 60 và 90 phút lần lượt là 5-16; 8.5-18; 10.5-19.5 và 12-21cm. Khi tăng hàm lượng xi măng lên (X=460kg) thì hầu như các hỗn hợp bê tông đều có trị số độ sụt khá lớn, khoảng biến đổi độ sụt nhỏ (SN= 14.5-22cm). Như vậy hỗn hợp bê tông có hàm lượng xi măng thấp hơn thì có sự gia tăng về trị số độ sụt nhiều hơn khi tăng dần tỉ lệ N/X, khi hàm lượng xi măng đủ lớn thì tác động của tỉ lệ N/X đến sự thay đổi của độ sụt là không đáng kể.

5.1.2. Ảnh hưởng đến tính ma sát với thành ống bơm của hỗn hợp bê tông

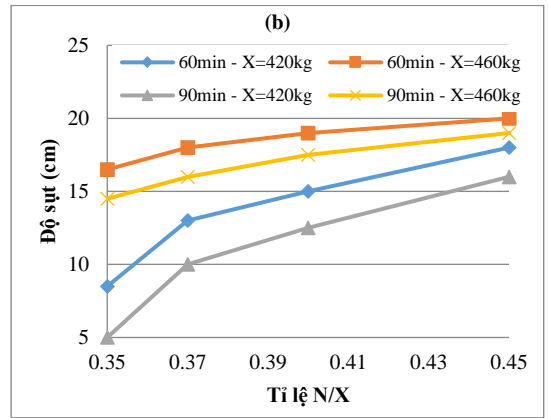
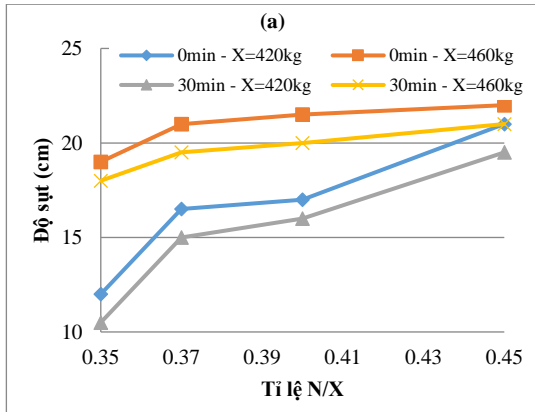
Khi tỉ lệ N/X thấp, giá trị các thông số ma sát đo đạc được là khá lớn, khi tăng dần tỉ lệ N/X lên thì giá trị các thông số ma sát có xu hướng giảm đi. Khi tăng tỉ lệ N/X từ 0.35 lên đến tỉ lệ 0.45 thì mức độ suy giảm các thông số ma sát τ_0 và η có thể đạt đến giá trị lần lượt là 64% và 49% (theo kết quả thí nghiệm ở **Bảng 2**).

Trên biểu đồ **Hình 5**, có thể thấy các đường quan hệ có độ dốc giảm dần khi tăng dần tỉ lệ N/X, điều này có nghĩa là mức độ suy giảm hai thông số ma sát τ_0 và η giảm dần khi tỉ lệ N/X tăng dần. Khi tăng tỉ lệ N/X đến mức 0.45 thì sự suy giảm của các thông số ma sát là không đáng kể. Như vậy khi tỉ lệ N/X đạt đến một

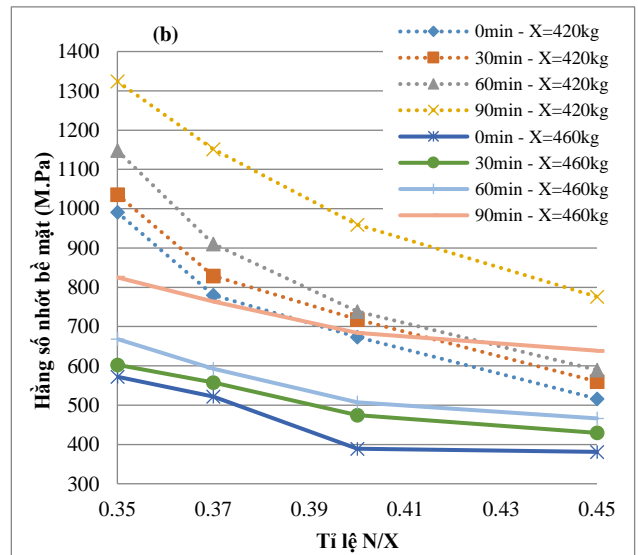
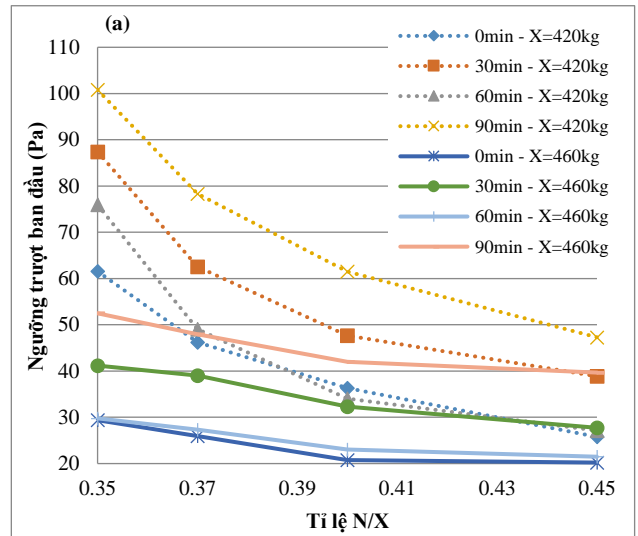
ngưỡng nào đó thì việc tăng thêm tỉ lệ N/X cũng không có nhiều hiệu quả trong việc làm giảm các thông số ma sát với thành ống bơm của hỗn hợp bê tông. Cũng cần chú ý rằng việc tăng thêm tỉ lệ N/X quá nhiều cũng sẽ làm giảm cường độ của bê tông.



Hình 3. Quan hệ giữa độ sụt của hỗn hợp bê tông và tỉ lệ N/X theo thời gian. (a) X=420kg; (b) X=460kg.



Hình 4. Độ sụt của hỗn hợp bê tông theo tỉ lệ N/X. (a) X=420kg; (b) X=460kg.



Hình 5. Quan hệ thực nghiệm giữa tỉ lệ N/X, hàm lượng xi măng X (kg) và các thông số ma sát. (a) Ngưỡng trượt ban đầu. (b) Hằng số nhớt

Quan sát các biểu đồ ở Hình 5 ta cũng thấy đối với cấp phối bê tông có hàm lượng xi măng X = 420 kg thì ảnh hưởng của tỉ lệ N/X đến các thông số ma sát khá rõ rệt. Khi tăng tỉ lệ N/X từ 0.35 lên 0.37, 0.4 và 0.45 thì sự biến đổi của các thông số ma sát xảy ra như sau: τ_0 giảm

từ 53-64%; η giảm từ 41-49%. Tuy nhiên khi tăng hàm lượng xi măng lên $X=460$ kg thì ảnh hưởng của tỉ lệ N/X đến các thông số ma sát của hỗn hợp bê tông là rất ít (tỉ lệ giảm các thông số ma sát τ_0 và η lần lượt là 9-20% và 3-17%). Điều này có thể giải thích, khi lượng X trong hỗn hợp bê tông đủ lớn (đủ để tạo ra một thể tích hồ xi măng đủ lớn) thì việc tăng tỉ lệ N/X không có nhiều tác dụng trong việc làm giảm các thông số ma sát với thành ống bơm của bê tông.

Qua các phân tích ở trên có thể thấy, tỉ lệ N/X chỉ có tác động làm suy giảm đáng kể các thông số ma sát của bê tông với thành ống bơm đối với các cấp phối bê tông có tỉ lệ N/X và hàm lượng xi măng thấp. Khi tăng tỉ lệ N/X lên đến một mức độ nào đó và lượng xi măng đủ lớn (đủ để tạo ra một thể tích hồ xi măng đủ lớn) thì các thông số ma sát có sự biến đổi là không đáng kể khi thay đổi tỉ lệ N/X .

6. Kết luận

Việc nghiên cứu, đánh giá tác động của các thành phần trong cấp phối bê tông đến khả năng dễ và khó bơm của hỗn hợp bê tông thông qua các thông số ma sát là rất cần thiết. Làm rõ được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố thành phần, qua đó có những định hướng trong công tác thiết kế hỗn hợp bê tông bơm, đảm bảo các yêu cầu về kỹ thuật thi công và kinh tế. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng máy khuấy cơ điện tử để thực hiện phép đo các thông số ma sát, đồng thời nghiên cứu thông số độ sụt bằng côn Abram truyền thống. Thí nghiệm có xét đến yếu tố thời gian từ ngay sau khi trộn đến thời điểm 90 phút, là thời điểm mà bê tông được lưu giữ trong quá trình vận chuyển từ trạm trộn đến công trường. Qua chuỗi thí nghiệm trên 8 cấp phối, xét ở 4 mốc thời gian, xét ở góc độ thay đổi tỉ lệ N/X và hàm lượng xi măng, có xét đến yếu tố phụ gia, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- 1- Ảnh hưởng của tỉ lệ N/X đến khả năng bơm của hỗn hợp bê tông là rất cụ thể, có thể đánh giá một cách định lượng qua sự gia tăng của trị số độ sụt và sự suy giảm các thông số ma sát của hỗn hợp bê tông.
- 2- Tỉ lệ N/X ảnh hưởng đến độ lớn của độ sụt hỗn hợp bê tông nhưng không quyết định đến mức độ suy giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông theo thời gian.
- 3- Mức độ ảnh hưởng của tỉ lệ N/X đến các thông số ma sát giữa hỗn hợp bê tông và thành ống bơm phụ thuộc vào độ lớn của tỉ lệ N/X . Khi tỉ lệ N/X thấp mức độ thay đổi các thông số ma sát là khá lớn. Khi tỉ lệ N/X đủ lớn thì các thông số ma sát thay đổi không đáng kể.
- 4- Khi điều chỉnh tỉ lệ N/X để điều chỉnh tính linh động và tính ma sát của hỗn hợp bê tông cũng cần cân nhắc thêm ảnh hưởng của hàm lượng xi măng.

Lời cảm ơn



Bài báo này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài NCKH cấp Bộ, theo quyết định số 238/QĐ-BGDĐT ngày 21/01/2016 của Bộ Giáo dục và Đào tạo.

Tài liệu tham khảo

- [1] TCVN-200:1997, “Nhà cao tầng - Kỹ thuật về bê tông bơm,” 1997.

- [2] D. Kaplan, “Pompage des Béton,” Etudes et recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées, 2000.
- [3] K. Denis, de L. Francois, and S. Thierry, “Design of concrete pumping circuit,” *ACI Mater. J.*, vol. 102, no. 2, pp. 110–117, 2005.
- [4] S. H. Kwon, P. J. Kyong, J. H. Kim, and P. S. Surendra, “State of the Art on Prediction of Concrete Pumping,” *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, 2016.
- [5] C. T. Mai, E. H. Kadri, T. T. Ngo, A. Kaci, and M. Riche, “Estimation of the pumping pressure from concrete composition based on the identified tribological parameters,” *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [6] S. H. Kwon, C. K. Park, J. H. Jeong, S. D. Jo, and H. L. Seung, “Prediction of Concrete Pumping: Part I - Development of New Tribometer for Analysis of Lubricating Layer,” *ACI Mater. J.*, vol. 110, no. 6, pp. 647–656, 2013.
- [7] K. Denis, de L. Francois, and S. Thierry, “Avoidance of Blockages in Concrete Pumping Process,” *ACI Mater. J.*, vol. 102, no. 3, pp. 183–191, 2005.
- [8] N. T. D. Vũ Văn Nhân, “Ảnh hưởng của tỉ lệ cốt liệu đến tính chất ma sát giữa bê tông và thành ống bơm theo thời gian,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (ISSN 1859-1566)*, vol. 171, pp. 48–56, 2015.
- [9] H. Q. M. Đ. Nguyễn Thế Dương, Đỗ Vũ Thảo Quyên, Phan Đình Thoại, “Ảnh hưởng của hồ xi măng và tỉ lệ n/x đến tính chất ma sát giữa bê tông và thành ống bơm bằng thép,” *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng (ISSN 0866-0762)*, pp. 72–76, 2014.
- [10] V. T. C. Nguyễn Thế Dương, Phạm Quang Nhật, Vũ Văn Nhân, “Ảnh hưởng của thời gian và hàm lượng phụ gia đến các thông số bơm của một số bê tông thương phẩm,” *Tạp chí Xây dựng - Bộ Xây dựng (ISSN 0866-0762)*, vol. 171, pp. 106–109, 2016.
- [11] T. T. Ngo, “Influence de la composition des bétons sur les paramètres de pompage et validation d’un modèle de prévision de la contrainte visqueuse,” Université de Cergy – Pontoise, France, 2009.
- [12] H. D. Le, E. H. Kadri, S. Aggoun, J. Vierendeels, P. Troch, and G. De Schutter, “Effect of lubrication layer on velocity profile of concrete in a pumping pipe,” *Mater. Struct.*, vol. 48, no. 12, pp. 3991–4003, 2015.
- [13] D. Feys, K. H. Khayat, A. Perez-Schell, and R. Khatib, “Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 57, pp. 102–115, 2015.
- [14] T. T. Ngo, E. H. Kadri, R. Bennacer, and F. Cussigh, “Use of tribometer to estimate interface friction and concrete boundary layer composition during the fluid concrete pumping,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 7, pp. 1253–1261, 2010.
- [15] T. D. Nguyễn, “Phần mềm «Pumping Parameters Calculation» tính toán thông số ma sát bê tông tươi - thành ống thép,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân*, vol. 15, no. 2, pp. 69–75, 2015.
- [16] TCVN-9340:2012, “Hỗn hợp bê tông trộn sẵn – Yêu cầu cơ bản đánh giá chất lượng và nghiệm thu - Tiêu chuẩn Việt Nam,” 2012.

Thông tin về tác giả

| | |
|--|--|
|  | <p>Nguyễn Thế Dương:</p> <ul style="list-style-type: none">- Tiến sỹ ngành Kỹ thuật Công trình, tốt nghiệp năm 2009 tại Đại học Paris-Est Cộng hòa Pháp.- Trưởng Khoa Xây dựng, Trường Đại học Duy Tân.- Lĩnh vực nghiên cứu: Cơ học Vật liệu, Cơ học định hướng ứng dụng, Kết cấu làm việc trong điều kiện phức tạp; Tính chất của bê tông;- Điện thoại: 05113 827 111 (x202) |
|  | <p>Vũ Văn Nhân:</p> <ul style="list-style-type: none">+ Năm 2003: Tốt nghiệp hệ đại học, chuyên ngành xây dựng cầu đường, trường đại học Bách Khoa Đà Nẵng+ Năm 2010: Hoàn thành hệ cao học, chuyên ngành Xây dựng Đường ô tô và Đường thành phố, trường Đại học Xây dựng Hà Nội- Tóm tắt công việc hiện tại (chức vụ, cơ quan): Giảng viên bộ môn Cầu đường, khoa Xây dựng, trường Đại học Duy Tân Đà Nẵng- Lĩnh vực quan tâm: Tính chất lưu biến, ma sát và nhớt của vật liệu bê tông- Điện thoại: 0995322968 |