

# ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG NƯỚC ĐẾN BIẾN DẠNG CO NGÓT CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG CÁT MỊN PHỐI TRỘN CÁT NGHIÊN TRONG XÂY DỰNG CẦU

TS NGUYỄN ĐỨC DŨNG, TS NGUYỄN XUÂN LAM\*

BỘ MÔN CẦU HẦM, KHOA CÔNG TRÌNH, TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

## Tóm tắt

Vật liệu cát mịn phối trộn cát nghiền có thể coi là một vật liệu mới thay thế cát vàng trong chế tạo bê tông. Việc sử dụng cát hỗn hợp trong chế tạo bê tông cần có những nghiên cứu, đánh giá không chỉ về các đặc tính cường độ mà còn phải xem xét đến biến dạng co ngót. Co ngót vốn là một đặc tính cố hữu của bê tông, gây ra biến dạng cho kết cấu, ở tuổi sớm ứng suất - biến dạng có thể dẫn đến hình thành vết nứt, làm giảm tính thẩm mỹ cũng như sự toàn vẹn của cấu trúc kết cấu, theo thời gian co ngót khô dẫn đến mất mát dự ứng lực, gia tăng độ võng cho kết cấu, làm thay đổi ứng suất đối với các kết cấu siêu tĩnh... Trong đó, hàm lượng nước và chế độ bảo dưỡng là các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến biến dạng co ngót của bê tông. Trong nội dung bài báo này, các tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu biến dạng co ngót của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền khi thay đổi hàm lượng nước đơn vị và điều kiện bảo dưỡng. Từ đó có những phân tích, đánh giá so sánh với các tiêu chuẩn hiện hành áp dụng trong xây dựng cầu ở Việt Nam.

## Abstract

Fine sand mixed with crushed sand can be considered as a new material to replace yellow sand in concrete manufacturing. The use of mixed sand in making concrete requires research and evaluation not only on strength properties but also on shrinkage deformation. Shrinkage is an inherent property of concrete, it causes deformation to the structure, at an early age stress-deformation can lead to crack formation, reducing aesthetics as well as integrity of the structural structure, over time the dry shrinkage leads to loss of pre-stress, increases the deflection for the structure, and changes the stress for super-static structures... In which, water content and curing mode are important factors affecting shrinkage deformation of concrete. In the content of this paper, the authors will present the results of research on shrinkage deformation of concrete using fine sand mixed with crushed sand when changing the unit water content and curing conditions. From there, there are analyzes and comparisons with current standards applied in bridge construction in Vietnam.

## ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên thế giới, sự suy giảm nguồn tài nguyên cát tự nhiên đã tạo ra nhu cầu về việc sử dụng vật liệu thay thế cốt liệu nhỏ để chế tạo bê tông [1], việc thay thế cát sông bằng cát nghiền (CN) là một vấn đề bắt buộc do sự khan hiếm [2]. Cát nghiền được chế tạo bằng cách nghiền hoặc xay đá tới kích thước thích hợp, với đặc tính kỹ thuật tốt như đồng nhất về hình dáng kích thước, không bị lẫn các tạp chất, độ nhám bề mặt cao giúp tăng độ kết dính của bê tông, ngoài ra, có thể xây dựng các nhà máy sản xuất cát nghiền ở khắp nơi, giảm giá thành vận chuyển... nên nó được ưu tiên lựa chọn để thay thế cát sông. Trong thực tế, đã có nhiều công trình lớn trên thế giới sử dụng vật liệu này: Nhật Bản đã dùng cát nghiền được 40 năm; Ấn Độ cũng sử dụng cát nghiền gần 20 năm trước, năm 2002, cao tốc Mumbai - Pune 6 làn xe hoàn thành, sử dụng hoàn toàn cát nghiền... Việt Nam bắt đầu sử dụng cát nghiền từ những năm đầu tiên của thế kỷ XXI tại công trình xây dựng nhà máy thủy điện Sơn La [3].

Sử dụng cát nghiền dần trở nên phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam. Tuy

hiên, cát nghiền phải trải qua nhiều công đoạn sàng, lọc, rửa, phối trộn... để có cấp phối thành phần hạt theo đúng tiêu chuẩn cho phép, mới có thể thay thế hoàn toàn cát sông, chính vì vậy mà công nghệ sản xuất cũng trở nên phức tạp, giá thành cũng tương đối cao.

Do đặc điểm điều kiện tự nhiên phía Nam nước ta thuộc vùng hạ lưu sông Mê Kông, cát sông ở đây có cỡ hạt nhỏ, mô đun độ lớn dưới 2,24 [4], không đủ tiêu chuẩn chế tạo bê tông chịu lực. Để khắc phục tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng nguồn cát vàng trong xây dựng, các nhà thầu đã phối trộn cát mịn (CM) với cát nghiền thô (tên địa phương gọi là đá Mi rửa) với tỉ lệ thích hợp để tạo thành cát hỗn hợp có đủ thành phần hạt và tính chất cơ lý đáp ứng công tác chế tạo bê tông [5].

Bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền về cơ bản đáp ứng được các yêu cầu về cường độ đối với các cấp bê tông phổ biến trong xây dựng cầu [6,7,8]. Tuy nhiên, co ngót khô, cùng với cường độ kéo uốn thấp, có lẽ là đặc tính bất lợi nhất của bê tông xi măng nói chung. Sự co lại của vật liệu thường bị cản trở bởi các hạn chế bên trong hoặc bên ngoài

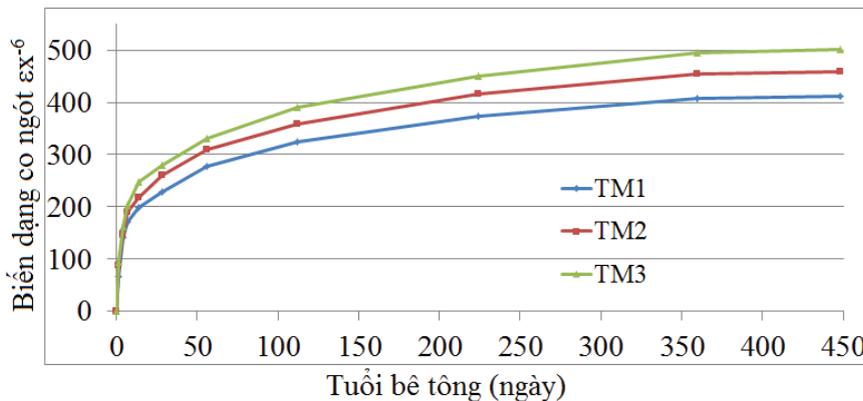
và ứng suất kéo của bê tông. Ứng suất do co ngót có thể vượt cường độ kéo uốn của bê tông và là nguyên nhân gây nứt bê tông. Ngoài ra, vấn đề biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép, tổn hao dự ứng lực do biến dạng co ngót cũng cần được tính toán chính xác để hạn chế các ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chịu lực của công trình. Cát nghiền thường có bề mặt thô nhám, lồi lõm, lẫn nhiều bột đá... không tròn trơn như cát tự nhiên đã trải qua quá trình phong hóa, do đó thường yêu cầu lượng nước cao hơn để đảm bảo tính công tác của bê tông [1,2,3,6], khi hàm lượng nước tăng sẽ làm gia tăng biến dạng co ngót của bê tông, theo kết quả nghiên cứu tác giả sẽ trình bày dưới đây, ảnh hưởng của hàm lượng nước đến biến dạng co ngót của bê tông là rõ rệt nhất so với các ảnh hưởng khác do thuộc tính của vật liệu.

## CÔNG TÁC THÍ NGHIỆM

Nghiên cứu thực hiện với cấp bê tông C40, là loại cường độ được sử dụng phổ biến trong chế tạo kết cấu nhịp công trình cầu; sử dụng cát mịn mỏ Tân Châu phối trộn với cát từ nghiền đá gốc Andesite mỏ Châu Pha, Bà Rịa Vũng Tàu, đây là hai loại cát phổ biến ở Đồng bằng

Tổ mẫu	Xi măng (kg)	Đá (kg)	Cát mịn (kg)	Cát nghiền (kg)	Nước (l)	Tỉ lệ CN/CM	Điều kiện bảo dưỡng
TM1	460	1046	480	320	159	460	Tiêu chuẩn
TM2	460	1046	480	320	164	460	Tiêu chuẩn
TM3	460	1046	480	320	169	460	Tiêu chuẩn
TM4	460	1046	480	320	159	460	Bọc kín
TM5	460	1046	480	320	164	460	Bọc kín
TM6	460	1046	480	320	169	460	Bọc kín
TM7	460	1046	480	320	159	460	không BD
TM8	460	1046	480	320	164	460	không BD
TM9	460	1046	480	320	169	460	không BD

Bảng 1. Thành phần bê tông của các tổ mẫu thí nghiệm



Hình 1. Biểu đồ quan hệ biến dạng co ngót theo thời gian của các tổ mẫu TM1, TM2 và TM3

sông Cửu Long (ĐBSCL) hiện nay; tỉ lệ phối trộn CN/CM là 60/40 cho đường cong thành phần hạt phù hợp theo tiêu chuẩn ASTM C33/C33M [9] và AASHTO-M6 [10] và gắn với đường cong thành phần hạt tối ưu theo lý thuyết Fuller [6,7,8]; tính toán thành phần bê tông theo tiêu chuẩn ACI 211.R4-08 [11].

Lượng nước cho 1m<sup>3</sup> bê tông khảo sát theo ba giá trị lần lượt là: 159l (theo giá trị tính toán thành phần bê tông), 164l (tăng 5l so với giá trị tính toán) và 169l (tăng 10l so với giá trị tính toán).

Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C157/157M [12], mẫu thí nghiệm là mẫu lăng trụ có kích thước 75x75x285mm. Mẫu được tháo ra khỏi khuôn sau 23±1/2h kể từ khi đổ bê tông. Sau khi tháo khuôn ngâm mẫu vào trong nước ở nhiệt độ 23±0.5°C thời gian tối thiểu 30 phút cho mẫu thử 75x75x285mm, vớt mẫu ra lau khô và đo giá trị đầu tiên. Ngâm mẫu trong nước ở nhiệt độ 23±0.5°C cho đến khi mẫu đã

đạt được độ tuổi 28 ngày, bao gồm cả thời gian trong khuôn. Vớt mẫu ra lau khô và đo giá trị thứ hai. Mẫu được đưa đến buồng khí hậu duy trì độ ẩm 50±4% và nhiệt độ 23±2°C. Số liệu đo tiếp theo sau khi bảo dưỡng tại 4, 7, 14 và 28 ngày, và sau 8, 16, 32, và 64 tuần.

Các tổ mẫu TM1, TM2, TM3 được bảo dưỡng ban đầu theo tiêu chuẩn ASTM C157. Các tổ mẫu TM4, TM5, TM6 sau khi tháo khuôn dùng màng mỏng Polyethylene (PE) trong suốt bọc kín nhiều lớp và đưa vào buồng khí hậu. Các tổ mẫu TM7, TM8, TM9 sau khi tháo khuôn, để nguyên đưa vào buồng khí hậu để nghiên cứu.

Buồng khí hậu có nhiệt độ 23±2°C và độ ẩm 50±4% được đặt tại Phòng thí nghiệm bộ môn Vật liệu xây dựng trường Đại học Giao thông Vận tải. Nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn được khống chế bằng rơ le nhiệt và rơ le ẩm thông qua việc đóng cắt các công tắc tự động.

## KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

### Các tổ mẫu bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn

Kết quả đo biến dạng co ngót của các tổ mẫu TM1, TM2, TM3 được trình bày trên Hình 1, 14 ngày đầu biến dạng co ngót tăng nhanh các đồ thị có dạng dốc đứng, từ ngày 14 đến ngày 112 biến dạng co ngót chậm hơn, đồ thị có dạng đường cong, từ ngày 112 trở đi biến dạng co ngót chậm dần đồ thị có dạng đường thẳng gần nằm ngang tuyến tính theo thời gian. Ở giai đoạn đầu trước 14 ngày thì chênh lệch biến dạng của các tổ mẫu TM1, TM2, TM3 là nhỏ, các đồ thị gần sát nhau, sau 14 ngày biến dạng co ngót của các tổ mẫu có chênh lệch lớn các đồ thị có sự tách biệt riêng rẽ.

Tại thời điểm 448 ngày biến dạng co ngót của tổ mẫu TM3 (169 lít nước) có giá trị lớn nhất là 501,77x10<sup>-6</sup>, sau đó đến tổ mẫu TM2 (164l nước) có giá trị 458,46x10<sup>-6</sup>, tổ mẫu TM1 (159l nước) có giá trị nhỏ nhất là 410,96x10<sup>-6</sup>.

Lượng nước sử dụng trong tổ mẫu TM2 là 164l và tổ mẫu TM3 là 169l, tăng lần lượt là 5l và 10l so với tổ mẫu TM1 sử dụng 159l, tương ứng tăng 3,06% và 6,13%, biến dạng co ngót tổ mẫu TM2 và TM3 tăng lên lần lượt là 11,56% và 22,10% so với tổ mẫu TM1 tại thời điểm 448 ngày.

So với các ảnh hưởng của tính chất vật liệu cát như tỉ lệ trộn CN/CM, thay đổi hàm lượng bột đá trong cát nghiền [8]... ảnh hưởng của hàm lượng nước đơn vị đến biến dạng co ngót của bê tông là rõ rệt nhất.

### Các tổ mẫu được bọc kín bằng màng mỏng PE trong suốt

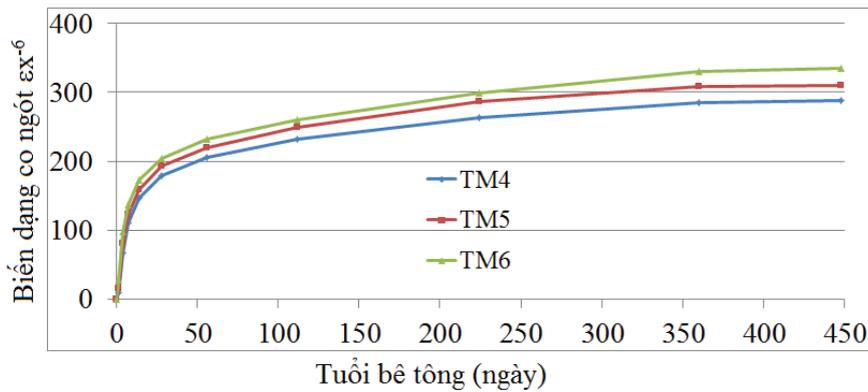
Kết quả đo biến dạng co ngót của các tổ mẫu TM4, TM5, TM6 trình bày trên Hình 2. Tại thời điểm 448 ngày biến dạng co ngót của tổ mẫu TM6 (169l nước) có giá trị lớn nhất là 335,46 x10<sup>-6</sup>, sau đó đến tổ mẫu TM5 (164l nước) có giá trị 310,78x10<sup>-6</sup>, tổ mẫu TM4 (159l nước) có giá trị nhỏ nhất là 288,02x10<sup>-6</sup>.

### Các tổ mẫu không được bảo dưỡng

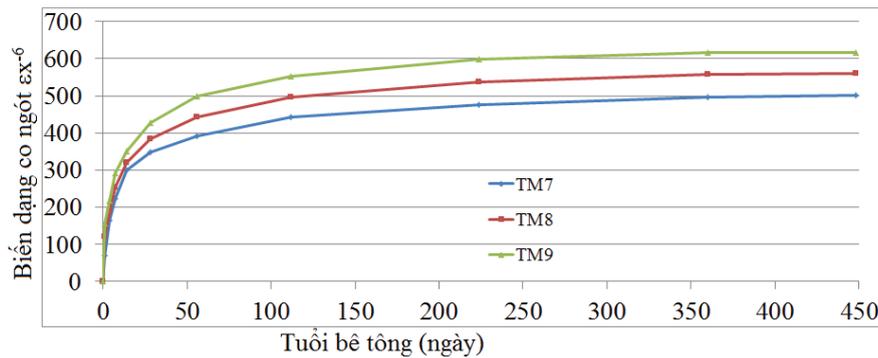
Kết quả đo biến dạng co ngót của các tổ mẫu TM7, TM8, TM9 biểu diễn trên Hình



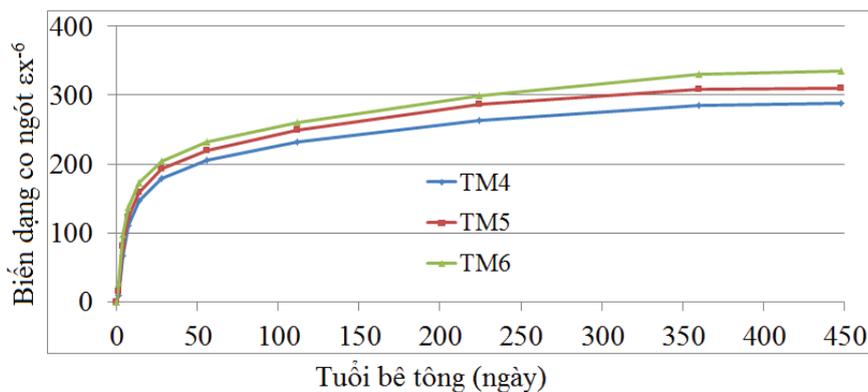
Buồng khí hậu lắp đặt tại Trường ĐH Giao thông Vận tải



Hình 2. Biểu đồ quan hệ biến dạng co ngót theo thời gian của các tổ mẫu TM4, TM5, và TM6



Hình 3. Biểu đồ quan hệ biến dạng co ngót theo thời gian của các tổ mẫu TM7, TM8, và TM9



Hình 4. Biểu đồ quan hệ biến dạng co ngót của các tổ mẫu TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM6, TM7, TM8, TM9 và giá trị tính toán theo các tiêu chuẩn

3. Tại thời điểm 448 ngày biến dạng co ngót của tổ mẫu TM9 (169l nước) có giá trị lớn nhất là  $617,23 \times 10^{-6}$ , sau đó đến tổ mẫu TM8 (164l nước) có giá trị  $559,23 \times 10^{-6}$ , tổ mẫu TM7 (159l nước) có giá trị nhỏ nhất là  $500,49 \times 10^{-6}$ .

Biến dạng co ngót trong 28 ngày đầu chiếm 68,50% đến 69,70% so với thời điểm cuối cùng 448 ngày.

So sánh với các tổ mẫu được bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn thì biến dạng co ngót của các tổ mẫu không bảo dưỡng lớn hơn từ 47,6÷52,93% tại thời điểm 28 ngày, và từ 21,78÷23,01% tại thời điểm 448 ngày. So sánh với các tổ mẫu được bọc kín bằng màng PE thì biến dạng co ngót của các tổ mẫu không bảo dưỡng lớn hơn từ 95,2÷108,85% tại thời điểm 28 ngày, và từ 73,77÷84,0% tại thời điểm 448 ngày.

Như vậy, ảnh hưởng của việc bảo dưỡng trong quá trình thi công đến biến dạng co ngót của bê tông là rất lớn.

### So sánh kết quả thí nghiệm với các tiêu chuẩn hiện hành

Sử dụng kết quả thí nghiệm so sánh với giá trị tính toán theo các tiêu chuẩn đang được áp dụng trong thiết kế cầu tại Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 [13], tiêu chuẩn ACI 209.2R-08 [14], tiêu chuẩn CEB/FIP 2010 [15] và tiêu chuẩn Eurocode 2 [16].

Biến dạng co ngót theo tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 được tính như sau:

$$\varepsilon_{sh} = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot k_s \cdot k_{hs} \cdot k_f \cdot k_{hd} \quad (1)$$

Trong đó:  $k_f$  là hệ số ảnh hưởng của cường độ bê tông,  $k_{hs}$  là hệ số độ ẩm,  $k_s$  là hệ số ảnh hưởng của tỉ lệ giữa thể tích với bề mặt cấu kiện,  $k_{hd}$  là hệ số phụ thuộc vào thời gian.

Công thức tính biến dạng co ngót theo tiêu chuẩn ACI.2R.09:

$$\varepsilon_{sh(t-tc)} = \frac{(t-tc)^\alpha}{f + (t-tc)^\alpha} \varepsilon_{shu} \quad (2)$$

Trong đó:  $\alpha$  là hệ số thời gian,  $\varepsilon_{shu}$  là biến dạng co ngót cực hạn,  $t$  là tuổi của bê tông,  $tc$  là thời gian bảo dưỡng ban đầu,  $f$  là hệ số phụ thuộc vào tỉ lệ giữa thể tích với diện tích bề mặt cấu kiện.

Biến dạng co ngót theo tiêu chuẩn châu Âu CEB FIP 2010 được tính như sau:

$$e_{cs}(t, t_s) = e_{cas}(t) + e_{cds}(t, t_s) \quad (3)$$

Trong đó:  $\varepsilon_{cas}(t)$  là co ngót tự sinh,  $\varepsilon_{cds}(t, t_s)$  là độ co ngót khô.

Công thức tính biến dạng co ngót theo tiêu chuẩn Eurocode 2, biến dạng co ngót  $\varepsilon_{cs}(t)$  là tổng của hai thành phần biến dạng co ngót tự sinh  $\varepsilon_{ca}(t)$  và biến dạng co ngót do khô  $\varepsilon_{cd}(t)$ .

$$e_{cs}(t) = e_{ca}(t) + e_{cd}(t) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \varepsilon_{ca}(\infty) [1 - \exp(-0.2t^{0.5})] \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \varepsilon_{cd,0} \frac{t-t_s}{(t-t_s) + 0.04\sqrt{h_0^3}} k_h \quad (6)$$

Từ công thức (1), (2), (3), (4) tính được biến dạng co ngót của bê tông theo các tiêu chuẩn, kết quả tính toán và kết quả thí nghiệm trình bày trên Hình 4.

Đường cong biểu diễn đặc trưng biến dạng co ngót theo thời gian của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền gắn với đường cong biến dạng co ngót của tiêu chuẩn CEB/FIP 2010 và tiêu chuẩn Eurocode hơn so với đường cong biến dạng của tiêu chuẩn TCVN 11823 và tiêu chuẩn ACI209.2R.

Xét với các tổ mẫu bảo dưỡng theo phương pháp bọc kín bằng màng mỏng PE, biến dạng co ngót đo được

nhỏ hơn so với giá trị tính toán theo các tiêu chuẩn.

Đối với các tổ mẫu bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn ASTM C157, trước 28 ngày tuổi biến dạng co ngót đo được lớn hơn so với giá trị tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 11823 và tiêu chuẩn ACI209.2R nhưng nhỏ hơn so với hai tiêu chuẩn còn lại, sau 28 ngày tuổi tổ mẫu TM4 (sử dụng 159l nước) và tổ mẫu TM5 (sử dụng 164l nước) có giá trị biến dạng co ngót nhỏ hơn cả bốn tiêu chuẩn, tổ mẫu TM6 (sử dụng 169l nước) biến dạng co ngót lớn hơn tiêu chuẩn TCVN 11823 và nhỏ hơn ba tiêu chuẩn còn lại.

Các tổ mẫu không bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn, tổ mẫu TM8 (164l nước), TM9 (169l nước) có giá trị lớn hơn cả 4 tiêu chuẩn, tổ mẫu TM7 (159l nước) trước 28 ngày tuổi thì biến dạng co ngót cũng lớn hơn giá trị tính toán theo cả 4 tiêu chuẩn nhưng tại thời điểm 448 ngày thì biến dạng co ngót của tổ mẫu này lớn hơn so với tiêu chuẩn TCVN 11823 nhưng nhỏ hơn giá trị tính toán theo ba tiêu chuẩn còn lại.

## KẾT LUẬN

Giá trị biến dạng co ngót đo được tại thời điểm cuối cùng bê tông 448 ngày tuổi dao động từ  $410,96 \times 10^{-6}$  đến  $501,77 \times 10^{-6}$  đối với các tổ mẫu được bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn,  $288,02 \times 10^{-6}$  đến  $335,46 \times 10^{-6}$  đối với các tổ mẫu bọc PE,  $500,49 \times 10^{-6}$  đến  $617,23 \times 10^{-6}$  đối với các tổ mẫu không bảo dưỡng.

Biến dạng co ngót của bê tông sử dụng cát hỗn hợp phụ thuộc khá lớn vào hàm lượng nước, khi hàm lượng nước tăng 3,06% và 6,13% thì biến dạng co ngót tăng lên lần lượt là 11,56% và 22,10% tại thời điểm bê tông 448 ngày tuổi. Bên cạnh đó phương pháp bảo dưỡng trong quá trình thi công cũng có tác động đáng kể đến biến dạng co ngót, tại thời điểm 448 ngày, biến dạng co ngót của các tổ mẫu không bảo dưỡng ngâm nước lớn từ 21,78÷23,01% so với các tổ mẫu bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn và từ 73,77÷84,0% so với các tổ mẫu được bọc kín bằng màng mỏng PE.

Các tổ mẫu sử dụng hàm lượng nước cao và không bảo dưỡng theo điều kiện tiêu chuẩn thì biến dạng co ngót về cơ bản là lớn hơn giá trị tính toán theo các tiêu chuẩn hiện hành áp dụng trong xây dựng cầu tại Việt Nam. Do đó, cần phải giới hạn lượng nước phù hợp với bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền để đảm bảo vấn đề co ngót, từ kết quả thí nghiệm trên tác giả kiến nghị giá trị giới hạn lượng nước sử dụng cho  $1m^3$  bê tông có sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền không quá 164l trong trường hợp bê tông được bảo dưỡng theo tiêu chuẩn./.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Michael L. Leming, Ph.D (2008), *Effects of Manufactured Sands and Blended Aggregates on the Durability of Concrete Bridge Decks and Pavements, Highway Research Project HWY-98-6, Final Report.*
2. V. Umamaheswaran1, (2015), *Use of M Sand in High Strength and High Performance Concrete, Indian Journal of Science and Technology, Vol 8.*
3. Nguyễn Quang Cung (2004), *Nghiên cứu cát nhân tạo sử dụng cho bê tông và vữa nhân tạo. Tuyển tập các công trình NCKH công nghệ VLXD, NXB Xây dựng.*
4. Lê Văn Quang (2012), *Sử dụng cát mịn vùng ĐBSCL để chế tạo bê tông, Hội thảo cát mịn vùng Đồng bằng sông Cửu Long, Hội thảo cát mịn vùng ĐBSCL.*
5. Báo cáo chất lượng nguồn vật liệu phục vụ sản xuất bê tông thi công các hạng mục công trình gói thầu J1- cầu Bình Khánh và cầu dẫn (2016), *dự án xây dựng đường cao tốc Bắc Nam (Đoạn Bến Lức - Long Thành).*
6. Nguyễn Đức Dũng, Nguyễn Duy Tiến, Thái Khắc Chiến (2021). *Nghiên cứu đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền trong xây dựng cầu. Tạp chí Khoa học GTVT Trường ĐH GTVT, số 72, 8/2021, p 686-700.*
7. Nguyễn Đức Dũng, Nguyễn Duy Tiến, Thái Khắc Chiến, Trần Thế Truyền (2021). *Nghiên cứu ảnh hưởng của cát nghiền từ các loại đá gốc khác nhau đến các đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền trong xây dựng cầu. Tạp chí Cầu Đường Việt Nam, số 8/2021, p 12-18.*
8. Nguyễn Đức Dũng, Nguyễn Duy Tiến, Thái Khắc Chiến (2022). *Nghiên cứu ảnh hưởng của bột đá đến các đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền trong xây dựng cầu. Tạp chí Khoa học GTVT Trường ĐH GTVT, số 73, 2/2022, p 100-110.*
9. American Society for Testing and Materials (2016), *ASTM C33/C33M-16 Standard specifications for Concrete Aggregates.*
10. *Standard specifications Roads and Bridges (2017), AASHTO M6 American Association of State Highway and Transportation Officials*
11. American Concrete Institute (2008), *ACI 211.4R-08 Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials.*
12. American Society for Testing and Materials (2014), *ASTM C157/157M-08 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.*
13. *Tiêu chuẩn Việt Nam (2017), Bộ khoa học công nghệ và Bộ xây dựng TCVN 11823 Thiết kế cầu đường bộ Việt Nam.*
14. American Concrete Institute (2008), *ACI 209.2R-08 Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete.*
15. *CEB – FIP model code 2010 design code, Comite euro - international du beton, volume 1, 2.*
16. Eurocode 2- Comité Européen De Normalisation (2001), *Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels: CEN. 230 p.*