

Nghiên cứu biến dạng co ngót ở tuổi sớm của bê tông trong điều kiện khí hậu của tỉnh Đồng Nai

Study on Early Age Shrinkage Deformation of Concrete in the Climate of Dong Nai Province

> THS NGUYỄN KHÁNH HÙNG^{1*}, PGS.TS PHẠM THANH TÙNG², PGS.TS NGUYỄN TUẤN TRUNG², THS TRẦN THÁI DƯƠNG¹

¹Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng

Email: nguyengkhanhhung@lhu.edu.vn, duongtt@lhu.edu.vn

²Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

Email: tungpt@nuce.edu.vn, trungnt@nuce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này phân tích hiện tượng co ngót tuổi sớm ($t \leq 7$ ngày tuổi) của bê tông trong điều kiện khí hậu nóng và khô của tỉnh Đồng Nai. Nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá mức độ co ngót của bê tông với các tỷ lệ nước/xi măng khác nhau, qua đó đề xuất mô hình dự báo co ngót tuổi sớm. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn, hỗ trợ cải thiện thiết kế và bảo trì các kết cấu bê tông trong điều kiện khí hậu nóng khô.

Từ khóa: Co ngót tuổi sớm; bê tông; điều kiện khí hậu nóng khô; Đồng Nai.

ABSTRACT

This paper analyzes the phenomenon of early-age shrinkage of concrete ($t \leq 7$ days) under the hot and dry climatic conditions of Dong Nai Province. The study focuses on evaluating the shrinkage levels of concrete with different water/cement ratios and proposes a model for predicting early-age shrinkage. The results provide a scientific and practical basis for enhancing the design and maintenance of concrete structures in harsh climatic conditions.

Keywords: Early-age shrinkage; concrete; harsh climatic conditions; Dong Nai.

1. GIỚI THIỆU

Trong ngành Xây dựng, hiện tượng co ngót tuổi sớm của bê tông là những vấn đề quan trọng liên quan đến sự giảm thể tích xảy ra ngay sau khi đổ bê tông. Các hiện tượng này chủ yếu xuất phát từ sự mất nước và quá trình hydrat hóa xi măng. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến co ngót dẻo và co ngót tuổi sớm trong bê tông bao gồm tỷ lệ nước/xi măng (N/X), thành phần vật liệu và điều kiện môi trường. Ngoài ra, các hiện tượng như bay hơi, hydrat hóa, cacbonat hóa có thể góp phần vào sự co ngót toàn phần của vật liệu xi măng [3]. Đặc biệt, trong điều kiện khí hậu nóng và khô tại tỉnh Đồng Nai,

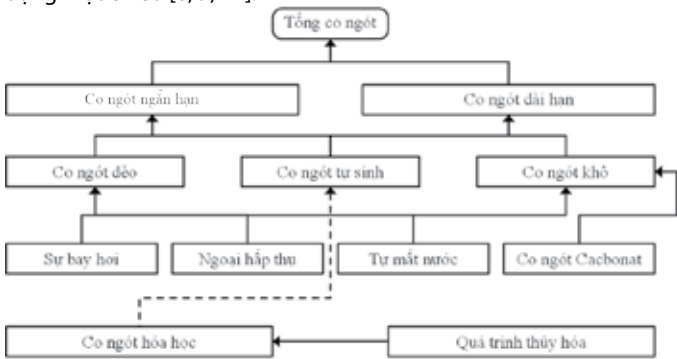
hiện tượng co ngót trở nên nghiêm trọng hơn do tốc độ bay hơi nước tăng cao, dẫn đến sự co rút nhanh và lớn hơn của bê tông. Hệ quả là các vết nứt xuất hiện trên bề mặt, ảnh hưởng tiêu cực đến tính thẩm mỹ, khả năng chịu lực và tuổi thọ của các công trình.

Dù đã có nhiều nghiên cứu về co ngót bê tông, nhưng phần lớn tập trung vào các khu vực có khí hậu ôn đới, chưa phản ánh đầy đủ tác động của các điều kiện khí hậu nóng khô như ở Đồng Nai. Hiện nay, các nghiên cứu ở Việt Nam chủ yếu về co ngót dài hạn của bê tông và hầu như chưa có các nghiên cứu về co ngót ở tuổi sớm [2, 7, 11, 14]. Điều này làm nổi bật nhu cầu cấp thiết cho việc nghiên cứu chuyên sâu, nhằm hiểu rõ cơ chế co ngót và phát triển các biện pháp kiểm soát hiệu quả. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá tác động của điều kiện khí hậu Đồng Nai, với nhiệt độ cao và độ ẩm thấp, đến co ngót tuổi sớm của bê tông. Qua việc xác định biến dạng co ngót của bê tông với các tỷ lệ N/X khác nhau, nghiên cứu xây dựng một mô hình dự báo co ngót với các hệ số thu được từ thực nghiệm. Mô hình này là công cụ hữu ích cho các nhà khoa học, kỹ sư và nhà thầu trong việc nghiên cứu thiết kế và bảo trì các kết cấu bê tông, giúp cải thiện chất lượng và độ bền của công trình. Bài báo hy vọng đóng góp quan trọng vào việc đo lường và quản lý hiện tượng co ngót tuổi sớm, giúp các kỹ sư thiết kế cải thiện việc kiểm soát độ bền vững và an toàn của các công trình bê tông trong điều kiện khí hậu nóng khô.

Định nghĩa về tuổi sớm của bê tông chưa được định nghĩa thống nhất và phụ thuộc vào các đặc tính cần nghiên cứu. Nói cách khác, thời gian cần thiết để đạt được một mức độ nhất định của một đặc tính đang khảo sát được xem là giai đoạn đầu [8]. Nói chung, giai đoạn sớm là vài ngày đầu tiên sau khi đổ bê tông được đặc trưng bởi hai quá trình chính: ninh kết (mất dần tính lưu động) và đông cứng (tăng cường độ). Độ co ngót toàn phần của bê tông có thể được chia thành biến dạng co ngót ngắn hạn và biến dạng co ngót dài hạn [3]. Hình 1 minh họa các cơ chế chủ đạo trong co ngót toàn phần trong bê tông và ảnh hưởng của các cơ chế này đến sự co ngót sớm và dài hạn.

Theo [5], các hệ thống đo biến dạng có thể chia thành sáu nhóm: Sử dụng chốt định vị, xuyên qua mặt bích ở cuối đầu dầm, một đầu được nhúng hoàn toàn trong bê tông; Sử dụng mặt bích di động với các jack cắm trong dầm bê tông; Sử dụng thanh ngang xuyên qua dầm đặt trước trong khuôn đúc; Sử dụng các thanh đứng cắm vào mẫu dạng tấm; Sử dụng cảm biến đo biến dạng đặt trong mẫu thử; Sử dụng các tấm kim loại đặt trên ống mềm hình trụ. Để đo biến dạng tự sinh của vật liệu gốc xi măng (đặc biệt là hồ xi măng), có thể

sử dụng phương pháp biến dạng thể tích hoặc phương pháp biến dạng một chiều [6, 9, 12].



Hình 1. Các cơ chế co ngót trong bê tông

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế thí nghiệm

Nghiên cứu này được thiết kế để đánh giá biến dạng co ngót tuổi sớm ($t \leq 7$ ngày tuổi) của bê tông trong điều kiện khí hậu của tỉnh Đồng Nai. Các mẫu bê tông được chuẩn bị với các tỷ lệ nước/xi măng (N/X) khác nhau để quan sát ảnh hưởng của tỷ lệ N/X đến co ngót. Thí nghiệm được thực hiện trong buồng khí hậu điều chỉnh để kiểm soát nhiệt độ và độ ẩm.

2.2. Vật liệu

2.2.1. Xi măng

Trong nghiên cứu này, xi măng Nghi Sơn PC-Type I được sử dụng để chế tạo các mẫu bê tông. Xi măng này có các chỉ tiêu cơ lý đảm bảo tiêu chuẩn, bao gồm độ mịn, độ ổn định thể tích và cường độ nén, được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu của xi măng

| STT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị | Phương pháp thử | MCL | Kết quả thử nghiệm | | |
|-----|--------------------|--------|-----------------|-----|--------------------|---------|------|
| 1 | Cường độ nén | MPa | ASTM C 109-21 | - | - | | |
| | 3 - ngày | | | | | min 12 | 32,0 |
| | 7 - ngày | | | | | min 19 | 40,9 |
| | 28 - ngày | min 28 | 47,9 | | | | |
| 2 | Độ dẻo tiêu chuẩn | % | ASTM C 187- 16 | - | 25,6 | | |
| 3 | Thời gian đông kết | Phút | ASTM C 191- 18a | - | - | | |
| | Bắt đầu | | | | | min 45 | 125 |
| | Kết thúc | | | | | max 375 | 160 |

Bảng 3. Chỉ tiêu của cát sông

| STT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị | Kết quả | Phương pháp thử |
|-----|----------------------------------|--------|----------------------------|-------------------|
| 1 | Sét cục và các tạp chất dạng cục | % | Không có | TCVN 7572-08:2006 |
| 2 | Hàm lượng bụi, bùn, sét | % | 1,25 | TCVN 7572-08:2006 |
| 3 | Tạp chất hữu cơ | So màu | Sáng hơn màu chuẩn | TCVN 7572-09:2006 |
| 4 | Hàm lượng ion clo (Cl) | % | 0,0071 | TCVN 7572-15:2006 |
| 5 | Khả năng phản ứng kiềm - silic | - | Trong vùng cốt liệu vô hại | TCVN 7572-14:2006 |

2.2.4. Nước và phụ gia

Nước sạch được sử dụng trong quá trình trộn và bảo dưỡng bê tông. Để cải thiện tính chất của hỗn hợp bê tông, các phụ gia hóa học như phụ gia giảm nước và phụ gia giảm co ngót được thêm vào. Sử dụng trong hỗn hợp bê tông trộn cũng như để rửa cốt liệu dùng trong thí nghiệm là nước sinh hoạt do thành phố cung cấp. Nước được sử dụng trong thí nghiệm thỏa mãn yêu cầu theo Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012. Sử dụng phụ gia Nikko SR3.0.

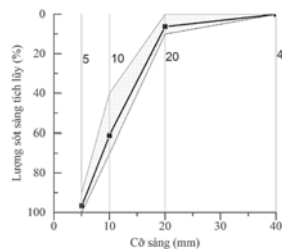
| | | | | | |
|---|---------------------------|--------------------|-------------------|----------|------|
| 4 | Độ giãn nở autoclave | % | ASTM C 151- 18 | max 0,80 | 0,01 |
| 5 | Độ nghiêng mịn | m ² /kg | ASTM C 204 - 18e1 | min 260 | 357 |
| 6 | Khối lượng riêng | g/cm ³ | ASTM C 188 - 17 | - | 3,10 |
| 7 | Hàm lượng bột khí của vữa | % | ASTM C 185 - 20 | max 12,0 | 9,0 |

2.2.2. Cốt liệu lớn (Đá dăm)

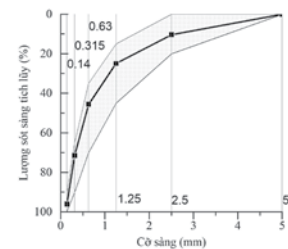
Cốt liệu lớn sử dụng là đá dăm với kích thước hạt từ 5 mm đến 20 mm. Đá dăm được sàng lọc và rửa sạch để loại bỏ tạp chất, đảm bảo đạt tiêu chuẩn về hình dạng và độ bền. Đá được sử dụng cho bê tông thí nghiệm là đá dăm (nguồn gốc: Tân Cang, Đồng Nai). Đá có chỉ tiêu được thể hiện trong Bảng 2 và đường cong cấp phối thành phần hạt được thể hiện trên Hình 2.

Bảng 2. Chỉ tiêu của đá

| STT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị | Kết quả | Phương pháp thử |
|-----|---------------------------------------|--------|----------------------------|-------------------|
| 1 | Độ nén đập trong xi lanh | % | 12,7 | TCVN 7572-11:2006 |
| 2 | Lượng bùn, bụi, đất sét | % | 0,53 | TCVN 7572-8:2006 |
| 3 | Tạp chất hữu cơ | | Không thăm hơn mẫu chuẩn | TCVN 7572-9:2006 |
| 4 | Hàm lượng ion clo (Cl ⁻), | % | <0,01% | TCVN 7572-15:2006 |
| 5 | Độ hao mòn khi và đập | % | 37,4 | TCVN 7572-12:2006 |
| 6 | Hàm lượng thoi dẹt | % | 11,8 | TCVN 7572-13:2006 |
| 7 | Khả năng phản ứng kiềm - silic | | Trong vùng cốt liệu vô hại | TCVN 7572-14:2006 |



Hình 2. Đường cong phân phối thành phần hạt của đá



Hình 3. Biểu đồ cấp phối hạt của cát sông

2.2.3. Cốt liệu nhỏ (Cát)

Cát sông được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông. Cát này được xử lý để đảm bảo sạch sẽ và có độ hạt phù hợp. Cốt liệu nhỏ dùng để chế tạo các loại bê tông thí nghiệm là cát hạt thô (Đồng Tân, Đồng Nai). Các chỉ tiêu và biểu đồ cấp phối hạt của cát được trình bày lần lượt trên Bảng 3, và Hình 3.

2.3. Buồng khí hậu

2.3.1. Mục đích

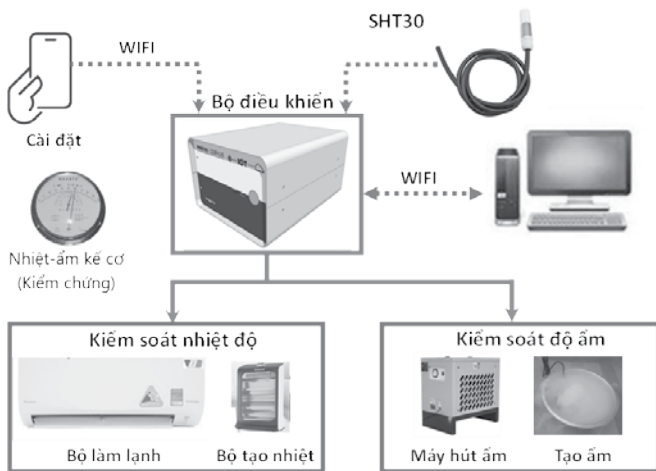
Buồng khí hậu được thiết kế nhằm mô phỏng các điều kiện môi trường tại tỉnh Đồng Nai. Các thí nghiệm đo co ngót bê tông được thực hiện trong buồng khí hậu với các thông số môi trường được cài đặt như trong Bảng 4. Mục tiêu là tạo ra một môi trường kiểm soát nhiệt độ và độ ẩm chính xác, giúp nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố này lên quá trình co ngót của bê tông.

Bảng 4. Điều kiện môi trường cần mô phỏng

| Điều kiện thí nghiệm | Nhiệt độ (°C) | Độ ẩm (%) | Ký hiệu |
|----------------------|---------------|-----------|---------|
| Nóng khô | 35±2 | 46±5 | KHNK |

2.3.2. Nguyên lý hoạt động

Buồng khí hậu hoạt động dựa trên nguyên lý điều khiển tự động nhiệt độ và độ ẩm, sử dụng các cảm biến và hệ thống điều khiển tiên tiến. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của buồng khí hậu được thể hiện trong Hình 4. Các cảm biến nhiệt-ẩm được lắp đặt bên trong buồng để liên tục theo dõi các thông số nhiệt độ và độ ẩm. Thông tin từ các cảm biến được gửi về bộ điều khiển trung tâm, sau đó hệ thống sẽ tự động điều chỉnh để duy trì các điều kiện môi trường mong muốn. Khi độ ẩm lệch khỏi giá trị cài đặt, bộ điều khiển sẽ kích hoạt thiết bị kiểm soát độ ẩm để điều chỉnh độ ẩm trong buồng. Thiết bị này có thể bổ sung thêm ẩm hoặc khử ẩm tùy thuộc vào mức độ sai lệch so với giá trị cài đặt. Tương tự, bộ điều khiển sẽ kích hoạt máy điều hòa hoặc bộ tạo nhiệt để duy trì nhiệt độ cài đặt. Máy điều hòa sẽ làm mát khi nhiệt độ vượt quá mức cài đặt, trong khi bộ tạo nhiệt sẽ làm nóng khi nhiệt độ thấp hơn mức cài đặt. Các giá trị nhiệt độ và độ ẩm trong buồng khí hậu được kiểm chứng thông qua thiết bị đo chuyên dụng đã được hiệu chuẩn để đảm bảo độ chính xác cao.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của buồng khí hậu

2.3.3. Chế tạo buồng khí hậu



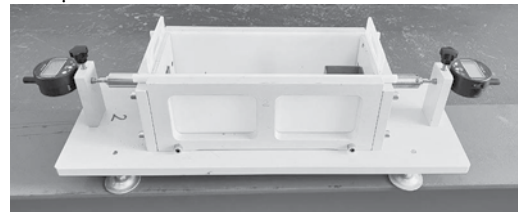
Hình 5. Buồng khí hậu

Buồng khí hậu được xây dựng với diện tích 2 m x 3 m, sử dụng kết cấu khung thép và vách EPS cách nhiệt dày 50 cm. Thiết kế này đảm bảo khả năng cách nhiệt tốt, giúp duy trì ổn định các điều kiện môi trường bên trong buồng khí hậu. Kết cấu khung thép: Khung thép chắc chắn, chịu lực tốt, đảm bảo độ bền và an toàn cho buồng khí hậu. Vách EPS cách nhiệt: Vách EPS dày 50 cm giúp cách nhiệt hiệu quả, giảm thiểu sự mất mát nhiệt và duy trì ổn định nhiệt độ và độ ẩm bên trong buồng khí hậu. Buồng khí hậu được trang bị các thiết bị kiểm soát môi trường tiên tiến và hệ thống giám sát tự động, tạo ra môi trường theo yêu cầu để thực hiện các thí nghiệm đo co ngót tuổi sớm của bê tông. Điều này đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của các kết quả thí nghiệm, cung cấp dữ liệu quan trọng cho nghiên cứu và phát triển các loại bê tông mới có khả năng chịu đựng điều kiện môi trường. Buồng khí hậu được chế tạo và lắp đặt tại Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai (Hình 5).

2.4. Thiết bị và quy trình đo lường

2.4.1. Thiết bị đo biến dạng co ngót tuổi sớm

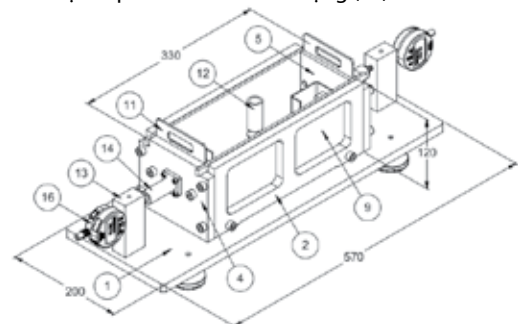
Các thiết bị được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm khuôn, cảm biến đo chuyển vị điện tử, cảm biến đo nhiệt độ và độ ẩm SHT30, và hệ thống ghi dữ liệu (datalogger). Cụ thể, ba bộ khuôn được chế tạo từ vật liệu CT3 và POM theo kích thước tiêu chuẩn, dùng để tạo hình mẫu và gắn thiết bị đo. Các cảm biến đo chuyển vị điện tử với dải đo tối thiểu 10 mm, độ phân giải 0,001mm và độ chính xác 0,004mm được sử dụng để đo chuyển vị và kết nối với đầu thu dữ liệu CORVUS-B, nhằm vẽ đường đặc trưng co ngót theo thời gian. Hệ thống datalogger, có khả năng ghi dữ liệu liên tục với tần suất lấy mẫu 30 giây/mẫu/kênh, được sử dụng để tự động ghi dữ liệu hoặc giao tiếp với máy tính để ghi dữ liệu theo thời gian thực, và có khả năng truyền dữ liệu về server nội bộ qua mạng không dây. Hệ thống này đảm bảo độ chính xác và độ phân giải phù hợp với các cảm biến đã sử dụng. Hình 6 thể hiện một thiết bị đã được chế tạo.



Hình 6. Thiết bị đo co ngót tuổi sớm

2.4.2. Phương pháp đo biến dạng co ngót tuổi sớm

Sơ đồ tổng thể của thiết bị đo co ngót tuổi sớm được thể hiện trong Hình 7. Khuôn được sử dụng để đúc các mẫu với kích thước bên trong (DxRxC) là 285 x 100 x 100 mm (ASTM C157). Lòng khuôn được bôi trơn bằng dầu để giảm ma sát với bê tông. Biến dạng được đo bằng hai cảm biến chuyển vị điện tử (LVDT) (16) ở hai đầu mẫu thử. Đầu dò của LVDT (16) tiếp xúc trực tiếp với ti của Chốt đi động (14).

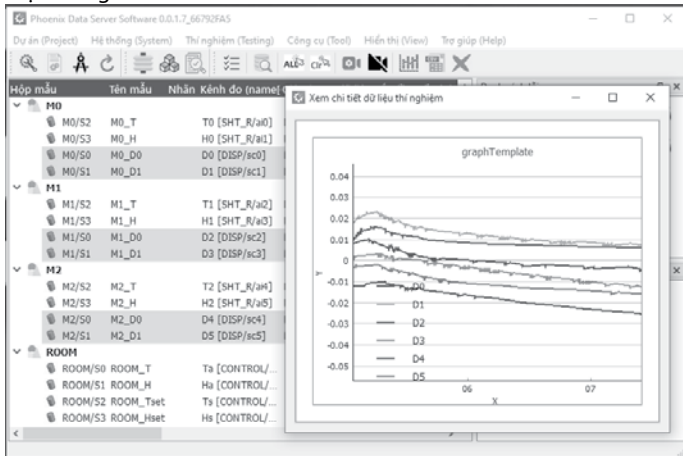


1-Đế khuôn co ngót; 2-Thành Khuôn; 4-Nắp khuôn; 5-Nắp mẫu; 9-Tấm lót hồng; 11-Tấm chêm; 12-Ống chứa CB; 13-Giá đỡ LVDT; 14-Ổ trượt; 16-Cảm biến chuyển vị điện tử

Hình 7. Sơ đồ thiết bị đo co ngót tuổi sớm

2.4.3. Phần mềm

Phần mềm thu thập và lưu trữ dữ liệu được phát triển để đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt của thí nghiệm đo co ngót dẻo và co ngót tuổi sớm của bê tông, với giao diện thân thiện và dễ sử dụng. Nó hỗ trợ hiển thị và lưu trữ dữ liệu từ 9 kênh đầu vào, bao gồm các phép đo co ngót, nhiệt độ, và độ ẩm từ buồng khí hậu, cho phép người dùng theo dõi các thông số thí nghiệm theo thời gian thực. Chức năng hiệu chuẩn tích hợp đảm bảo độ chính xác của thiết bị đo, và khả năng thiết lập giá trị ban đầu (zero) cho cảm biến đo chuyển vị LVDT giúp duy trì tính chính xác của các phép đo biến dạng. Phần mềm cho phép điều chỉnh tần suất lấy mẫu phi tuyến, giúp tối ưu hóa việc thu thập dữ liệu với các cài đặt: 10 giây/mẫu trong 24 giờ đầu, 1 phút/mẫu từ 24-48 giờ, và 30 phút/mẫu từ 48 giờ trở đi, nhằm tiết kiệm dung lượng lưu trữ và tập trung vào các giai đoạn quan trọng của thí nghiệm. Dữ liệu thí nghiệm được lưu trữ liên tục và xuất ra file Excel để dễ dàng phân tích và báo cáo. Phần mềm cũng được thiết kế với tính năng bảo vệ dữ liệu, đảm bảo tính toàn vẹn và độ tin cậy ngay cả trong các tình huống khẩn cấp như mất điện hoặc sự cố máy tính. Giao diện phần mềm được thể hiện trong Hình 8.



Hình 8. Giao diện phần mềm thu thập dữ liệu

3. CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

3.1. Điều kiện môi trường

Các mẫu bê tông được thử nghiệm trong điều kiện môi trường được kiểm soát: nhiệt độ 35±2°C và độ ẩm tương đối 46±5%.

3.2. Cấp phối thí nghiệm

Các cấp phối khác nhau (Bảng 5) được thiết kế nhằm khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ N/X đến biến dạng co ngót. Các cấp phối thí nghiệm bao gồm các tỷ lệ N/X: 0,35; 0,40 và 0,45.

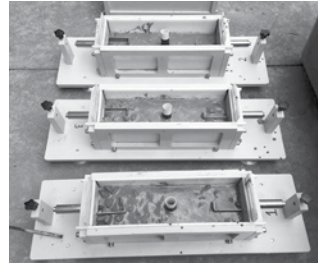
Bảng 5. Thành phần cấp phối bê tông

| STT | Ký hiệu | N/X | Xi măng (kg) | Nước (kg) | Cát (kg) | Đá dăm (kg) | Phụ gia SD (kg) |
|-----|---------|------|--------------|-----------|----------|-------------|-----------------|
| 1 | BT.N35 | 0,35 | 462 | 162 | 728 | 1129 | 4,62 |
| 2 | BT.N40 | 0,40 | 462 | 185 | 728 | 1070 | 4,62 |
| 3 | BT.N45 | 0,45 | 462 | 208 | 728 | 1010 | 4,62 |

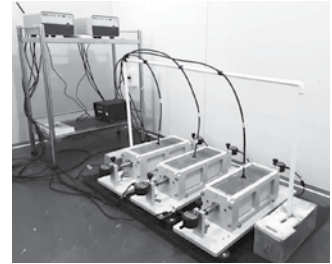
3.3. Quy trình thí nghiệm

Đối với mỗi cấp phối (Bảng 5), 3 mẫu thử với kích thước 285 × 100 × 100 mm được chế tạo để đo biến dạng co ngót. Các mẫu bê tông được đổ vào khuôn đo tự động và bảo dưỡng trong điều kiện mô phỏng khí hậu nóng khô tại tỉnh Đồng Nai. Quá trình bảo dưỡng được thực hiện trong buồng khí hậu được cài đặt các thông số môi trường cố định (nhiệt độ 35±2°C và độ ẩm tương đối 46±5%). Sau khi chuẩn bị, bê tông được đổ vào khuôn theo quy trình thí nghiệm

(Hình 9). Sau đổ bê tông, khuôn đo co ngót được chuyển ngay vào buồng khí hậu và kết nối với các thiết bị đo (đồng hồ đo chuyển vị, cảm biến nhiệt ẩm). Sau đó các thiết bị đo được kết nối với bộ thu dữ liệu (Hình 10).



Hình 9. Đổ bê tông vào khuôn đo tự động

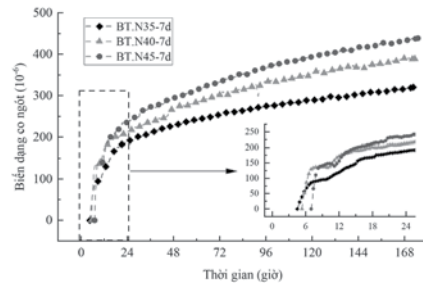


Hình 10. Kết nối thiết bị đo vào hệ thống thu dữ liệu

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả đo biến dạng co ngót tuổi sớm

Kết quả đo biến dạng co ngót đến 7 ngày (168 giờ) của các cấp phối BT.N35, BT.N40 và BT.N45 được thể hiện trong Hình 11. Kết quả thể hiện là giá trị trung bình của tổ mẫu gồm 3 mẫu thử.



Hình 11. Kết quả đo biến dạng co ngót đến 7 ngày (168 giờ)

Các mẫu bê tông được bảo dưỡng trong buồng khí hậu với điều kiện kiểm soát nhiệt độ và độ ẩm. Trong 24 giờ đầu, các mẫu có tỷ lệ N/X thấp (0,35) cho thấy biến dạng co ngót ít hơn so với các mẫu có tỷ lệ N/X cao hơn (0,40 và 0,45). Biến dạng co ngót tiếp tục tăng theo thời gian (các kết quả đo biến dạng co ngót được thu thập đến 7 ngày), với sự khác biệt rõ rệt giữa các mẫu bê tông có tỷ lệ N/X khác nhau. Mẫu có tỷ lệ N/X cao nhất (0,45) cho thấy mức độ co ngót lớn nhất. Các kết quả cho thấy rằng biến dạng co ngót của bê tông có xu hướng tăng lên khi tỷ lệ N/X tăng, đặc biệt là trong điều kiện nhiệt độ cao và độ ẩm thấp.

4.2. Mô hình dự báo co ngót

Các mô hình co ngót được sử dụng trong các tiêu chuẩn đã được xác nhận dựa trên dữ liệu thực nghiệm trước khi chúng được đưa vào sử dụng thực tế, nhưng vẫn có những khác biệt lớn trong dự đoán của chúng. Gardner [4] đã so sánh các dự đoán về biến dạng co ngót của các mô hình ACI 209, MC 1990, B3 và GL2000 với các kết quả đo thực nghiệm được đưa ra trong ngân hàng dữ liệu RILEM; nghiên cứu đi đến kết luận rằng mô hình GL2000 và mô hình B3 có khả năng dự đoán độ co ngót tốt hơn đáng kể so với các mô hình khác. Đối với số liệu biến dạng co ngót thu thập được trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích hồi quy được sử dụng để phân tích và đề xuất các tham số trong mô hình dự báo co ngót ở tuổi sớm ($t \leq 7$ ngày tuổi) của bê tông trong điều kiện khí hậu nóng khô của tỉnh Đồng Nai. Mô hình được xây dựng dựa trên mô hình ACI-209 [1] và mô hình B3 [13].

4.2.1. Phân tích mô hình

Mô hình ACI sửa đổi - ACI(M)

$$\varepsilon(t) = \frac{t}{t_0 + t} \varepsilon_{ult} \tag{1}$$

trong đó: $\varepsilon(t)$ là biến dạng co ngót tại thời điểm t giờ ($\times 10^{-6}$); ε_{ult} là biến dạng co ngót tới hạn ($\times 10^{-6}$); t_0 là thời điểm biến dạng co ngót đạt một nửa giá trị ε_{ult} (giờ).

Theo ACI 209R-92 [1], t_0 bằng 35 ngày. Trong nghiên cứu này, sau khi thu thập dữ liệu biến dạng co ngót trong 7 ngày, phân tích hồi quy được sử dụng để dự đoán các giá trị cho $\varepsilon(t)$ tương ứng với tập dữ liệu thu được trong thời gian t , đồng thời thay đổi giá trị của ε_{ult} và t_0 để phù hợp nhất với dữ liệu thu được.

Mô hình B3 sửa đổi - B3(M)

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{ult} \left(1 - h^3\right) \tanh\left(\frac{t}{\tau_{sh}}\right)^{0,5} \quad (2)$$

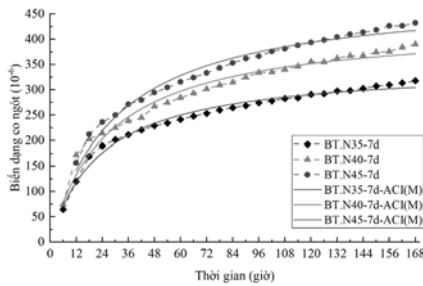
trong đó: $\varepsilon(t)$ là biến dạng co ngót tại thời điểm t giờ ($\times 10^{-6}$); h là độ ẩm tương đối môi trường (%); ε_{ult} là biến dạng co ngót tới hạn ($\times 10^{-6}$); τ_{sh} là thời điểm biến dạng co ngót đạt một nửa giá trị ε_{ult} (giờ).

Theo RILEM [13], τ_{sh} là hệ số phụ thuộc cường độ chịu nén của bê tông và hình dạng mẫu thử. Trong nghiên cứu này, các giá trị τ_{sh} và ε_{ult} thu được từ phân tích hồi qui theo giá trị đo đạc thực nghiệm.

Kết quả mô hình ACI(M) được thể hiện trong Bảng 6 và Hình 12. Kết quả mô hình ACI(M) được thể hiện trong Bảng 7 và Hình 13.

Bảng 6. Các hệ số mô hình ACI(M)

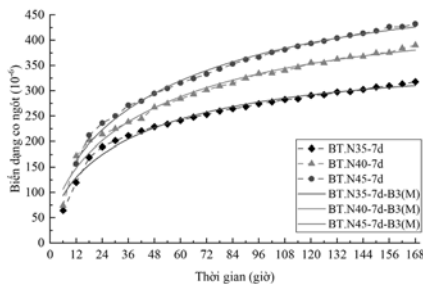
| Hệ số | BT.N35 | BT.N40 | BT.N45 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| ε_{ult} | 346,798 | 430,465 | 491,288 |
| t_0 | 23,259 | 26,915 | 29,813 |
| R^2 | 0,984 | 0,968 | 0,977 |



Hình 12. Mô hình dự báo biến dạng co ngót ACI(M)

Bảng 7. Các hệ số mô hình B3(M)

| Hệ số | BT.N35 | BT.N40 | BT.N45 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| ε_{ult} | 380,800 | 487,367 | 552,945 |
| τ_{sh} | 76,384 | 97,580 | 104,061 |
| R^2 | 0,981 | 0,981 | 0,994 |



Hình 13. Mô hình dự báo biến dạng co ngót B3(M)

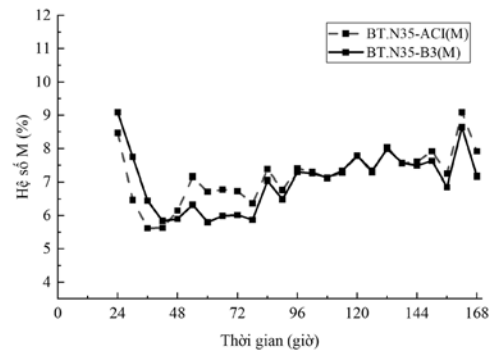
4.2.2. Đánh giá mô hình

Theo Neville và cộng sự [10], độ chính xác của các mô hình có thể được đánh giá thông qua hệ số sai số M được tính bởi biểu thức sau:

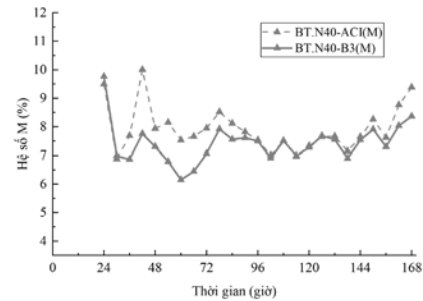
$$M = \frac{1}{\varepsilon_{avg}(t)} \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_m(t) - \varepsilon_p(t))^2}{n}} \times 100 \quad (3)$$

trong đó: M là hệ số sai số; $\varepsilon_m(t)$ và $\varepsilon_p(t)$ là biến dạng ngót thực nghiệm và dự đoán tại thời điểm t giờ; $\varepsilon_{avg}(t)$ biến dạng ngót thực nghiệm trung bình từ số lượng mẫu n .

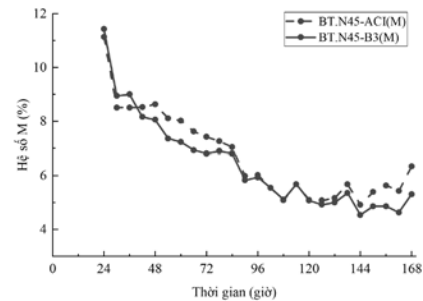
Kết quả tính toán hệ số M đối với các cấp phối bê tông BT.N35, BT.N40 và BT.N45 được thể hiện trong Hình 14, Hình 15 và Hình 16 tương ứng.



Hình 14. Hệ số M của các mô hình ACI(M) và B3(M) đối với cấp phối BT.N35



Hình 15. Hệ số M của các mô hình ACI(M) và B3(M) đối với cấp phối BT.N40



Hình 16. Hệ số M của các mô hình ACI(M) và B3(M) đối với cấp phối BT.N45

Các mô hình ACI(M) và B3(M) cho giá trị hệ số M nằm trong khoảng 4-12% đối với các giá trị biến dạng co ngót dự đoán từ 1-7 ngày. Đối với cấp phối BT.N35, BT.N40 và BT.N45, hệ số M của mô hình B3(M) thấp hơn mô hình ACI(M), cho thấy khả năng dự báo tốt hơn. Độ chênh lệch giá trị M giữa các mô hình này là không đáng kể (trong khoảng 2%); tuy nhiên, mô hình B3(M) có hệ số xác định R^2 cao hơn so với mô hình ACI(M) (Bảng 6, Bảng 7), cho thấy khả năng dự đoán các giá trị thực nghiệm phù hợp hơn. Mô hình B3(M) với các hệ số thu được từ thực nghiệm được phát triển trong nghiên cứu này cho thấy khả năng dự báo chính xác biến dạng co ngót tuổi

sớm của bê tông trong điều kiện khí hậu và cấp phối tương đồng. Mô hình này có thể áp dụng rộng rãi để dự báo và kiểm soát biến dạng trong thực tế xây dựng.

4.2.3. Đề xuất mô hình co ngót tuổi sớm của bê tông

Từ các phân tích ở mục 4.2.2, mô hình B3(M) được đề xuất để dự đoán biến dạng co ngót ở tuổi sớm cho bê tông trong điều kiện khí hậu nóng khô ở tỉnh Đồng Nai. Sử dụng phân tích hồi quy tuyến tính cho các giá trị các hệ số ε_{ult} và τ_{sh} trong Bảng 7, thu được phương trình liên hệ giữa các hệ số này và tỷ lệ N/X (thay đổi từ 0,35 đến 0,45) theo các biểu thức (4) và (5) tương ứng.

$$\varepsilon_{ult} = A_1 \cdot X + B_1 \quad (4)$$

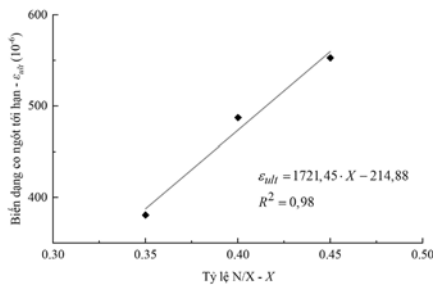
$$\tau_{sh} = A_2 \cdot X + B_2 \quad (5)$$

trong đó: ε_{ult} là biến dạng co ngót tới hạn ($\times 10^{-6}$); X là tỉ lệ N/X ($X = 0,35 \div 0,45$); A_i và B_i là các hệ số thực nghiệm.

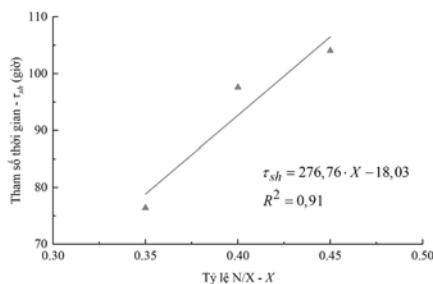
Giá trị các hệ số A_i và B_i được thể hiện trong Bảng 8 và Hình 17, Hình 18.

Bảng 8. Các hệ số thực nghiệm dùng trong mô hình B3(M)

| ε_{ult} , biểu thức (4) | A_1 | B_1 | R^2 |
|-------------------------------------|---------|---------|-------|
| | 1721.45 | -214.88 | 0.98 |
| τ_{sh} , biểu thức (5) | A_2 | B_2 | R^2 |
| | 276.76 | -18.03 | 0.91 |



Hình 17. Quan hệ giữa ε_{ult} và tỷ lệ N/X



Hình 18. Quan hệ giữa τ_{sh} và tỷ lệ N/X

Từ các biểu thức (2), (4), (5) và Bảng 8; biểu thức (6) được đề xuất để dự đoán biến dạng co ngót theo thời gian và tỷ lệ N/X của bê tông trong điều kiện nóng khô của tỉnh Đồng Nai.

$$\varepsilon(t) = (1721,45 \cdot X - 214,88) \cdot (1 - h^3) \cdot \tanh\left(\frac{t}{276,76 \cdot X - 18,03}\right)^{0,5} \quad (6)$$

trong đó: $\varepsilon(t)$ là biến dạng co ngót tại thời điểm t giờ ($\times 10^{-6}$); h là độ ẩm tương đối của môi trường (%); X là tỉ lệ N/X ($X = 0,35 \div 0,45$).

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã xây dựng được buồng khí hậu có khả năng mô phỏng các điều kiện môi trường (nhiệt độ và độ ẩm) theo yêu cầu; đồng thời chế tạo thiết bị có thể đo biến dạng co ngót tuổi sớm của mẫu bê tông kể từ thời điểm bắt đầu đông kết và hệ thống thu thập dữ liệu tự động. Kết quả nghiên cứu đã thu thập được bộ số

liệu thực nghiệm về biến dạng co ngót tuổi sớm (đến 7 ngày) của bê tông với các tỷ lệ nước/xi măng khác nhau (0,35; 0,40 và 0,45) sử dụng cốt liệu địa phương trong điều kiện khí hậu nóng khô (nhiệt độ $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối $46\% \pm 5\%$) của tỉnh Đồng Nai, kết quả này sử dụng làm cơ sở cho việc nghiên cứu tính toán thiết kế kết cấu bằng bê tông cốt thép. Đề xuất công thức thực nghiệm, biểu thức (6), dự báo biến dạng co ngót tuổi sớm của bê tông theo thời gian.

Để nâng cao khả năng ứng dụng, các tác giả đề xuất mở rộng thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các tham số liên quan đến nhiệt độ và độ ẩm trong các mô hình, thực hiện các điều chỉnh phù hợp với điều kiện khí hậu tại địa phương nhằm cải thiện độ chính xác. Nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào nghiên cứu các môi trường khí hậu khác nhau theo các mùa của tỉnh Đồng Nai. Điều này sẽ giúp xây dựng các hướng dẫn và tiêu chuẩn kỹ thuật cụ thể cho công tác thiết kế thi công kết cấu bê tông cốt thép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ACI 209R-92 (1992), "Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures".
- [2]. Nguyễn Ngọc Bình (2017), *Nghiên cứu biến dạng co ngót của bê tông trong điều kiện tiêu chuẩn khí hậu Việt Nam*, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [3]. Oskar Esping (2007), *Early age properties of self-compacting concrete-Effects of fine aggregate and limestone filler*, Chalmers University of Technology.
- [4]. NJ Gardner (2004), "Comparison of prediction provisions for drying shrinkage and creep of normal-strength concretes", *Canadian Journal of Civil Engineering*. 31(5), tr. 767-775.
- [5]. Tor Arne Hammer (2007), *Deformations, strain capacity and cracking of concrete in plastic and early hardening phases*, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi.
- [6]. Ole Mejlhede Jensen và Per Freiesleben Hansen (2001), "Autogenous deformation and RH-change in perspective", *Cement and Concrete Research*. 31(12), tr. 1859-1865.
- [7]. Trần Ngọc Long (2016), "Nghiên cứu thực nghiệm về biến dạng dài hạn của cột bê tông cốt thép chịu nén đúng tâm", *Tạp chí KHCN Xây dựng*.
- [8]. P Kumar Mehta và Paulo JM Monteiro (2014), *Concrete: microstructure, properties, and materials*, McGraw-Hill Education.
- [9]. O Mejlhede Jensen và P Freiesleben Hansen (1995), "A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening Portland cement paste", *Materials and structures*. 28, tr. 406-409.
- [10]. Adam M Neville, Walter H Dilger và JJ Brooks (1983), *Creep of plain and structural concrete*, Construction Press.
- [11]. Hoàng Quang Nhu (2007), "Nghiên cứu thực nghiệm xác định tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông", *Tạp chí KHCN Xây dựng*.
- [12]. P Paulini (1992), A weighing method for cement hydration, *Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement*, National Council for Cement and Building Materials, New Delhi, India, tr. 248-25.
- [13]. RILEM Draft Recommendation (1995), "Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures-model B3", *Mater. Struct.* 28(357-365).
- [14]. Nguyễn Bá Thạch (2019), *Nghiên cứu thực nghiệm biến dạng co ngót của bê tông trong điều kiện khí hậu chuẩn Gia Lai*, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Trường đại học Bách Khoa, Đà Nẵng.