

**NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CO NGÓT TỰ SINH  
CỦA HỒ XI MĂNG RẤT NON TUỔI**

Nguyễn Văn Hương<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Sự thay đổi thể tích của bê tông non tuổi là kết quả của một quá trình hóa lý phức tạp, nó thường thể hiện bằng hiện tượng co ngót. Sự giảm thể tích này được gọi là co ngót tự sinh, nó liên quan đến co ngót hóa học và sự thay đổi nội cấu trúc. Đối với bê tông truyền thống ứng suất do co ngót thường không xem xét, nhưng đối với bê tông có tỷ lệ nước/xi măng nhỏ hay sử dụng muối silic thì ứng suất co ngót nội sinh là đáng kể. Sự cản trở co ngót bởi cốt liệu hoặc các kết cấu tiếp giáp có thể dẫn đến sự hình thành các vết nứt làm giảm cường độ, độ bền và tính thẩm mỹ. Trong thực tiễn, giá trị đo thực tế của co ngót tự sinh tuổi rất sớm (24 giờ đầu) là khó đạt được bởi sự khó trong cách đo và thiếu tiêu chuẩn hướng dẫn. Nghiên cứu này hướng đến phát triển một thiết bị để xác định các trị số co ngót tự sinh ngay khi hồ xi măng được nhào trộn trong vòng 24 giờ đầu.

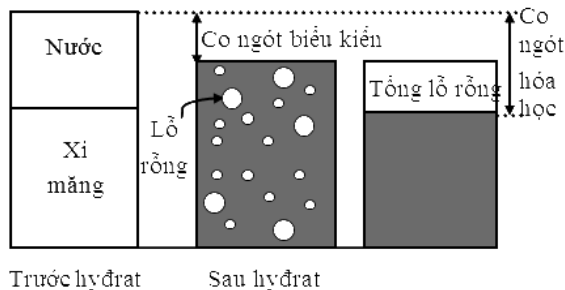
**Từ khóa:** Bê tông, chất kết dính, co ngót tự sinh, co ngót hóa học, nứt.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Sự thay đổi thể tích của bê tông non tuổi là kết quả của một quá trình hóa lý phức tạp. Sự thay đổi thể tích này thường được xem là cơ chế chính dẫn đến sự nứt của bê tông non tuổi dẫn đến sự mất độ bền của công trình bê tông (Mounanga et al. 2004). Ở thời điểm rất sớm (very early age) và trong suốt quá trình ngưng kết, hai yếu tố quyết định trực tiếp sự ngót của chất kết dính trong điều kiện kín hay không trao đổi ẩm với môi trường là sự giảm của lỗ rỗng mao dẫn và co ngót hóa học (chemical shrinkage). Nhìn chung bê tông non tuổi được bảo dưỡng nên các hoạt động mao dẫn là không đáng kể. Vì vậy, co ngót hóa học của vật liệu xi măng góp phần đáng kể vào sự thay đổi thể tích sớm của bê tông (Yodsudjai and Wang 2013).

Co ngót hóa học được định nghĩa là sự giảm thể tích tuyệt đối (absolute volume) của hồ xi măng do sự thay đổi về hóa-lý xảy ra trong suốt quá trình hydrat của xi măng (Hình 1), có nghĩa là tổng thể tích của các pha lỏng và rắn sau hydrat nhỏ hơn thể tích ban đầu của xi măng và nước. Trong khi đó, co ngót tự sinh (autogenous

shrinkage) là sự giảm thể tích biểu kiến (apparent volume) của hồ xi măng trong suốt quá trình hydrat (Bouasker et al. 2008). Sự khác nhau giữa co ngót hóa học và co ngót tự sinh được minh họa như ở Hình 1.



Hình 1. Co ngót biểu kiến và co ngót hóa học

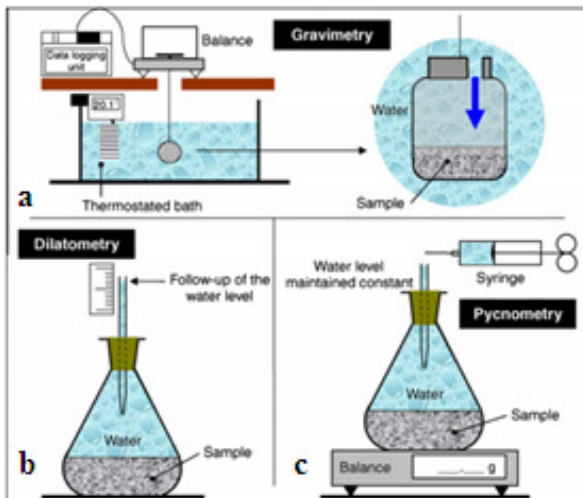
Nhìn chung, co ngót tự sinh của bê tông nhỏ hơn so với hồ xi măng bởi do sự ngăn cản của cốt liệu (Torrenti et al. 1988). Đối với bê tông thường thì co ngót tự sinh là tương đối nhỏ so với co ngót khô (drying shrinkage), do vậy thường bị bỏ qua tuy nhiên nó vẫn đóng góp vào giá trị co ngót sau cùng của bê tông. Đối với bê tông có tỷ lệ nước/xi măng nhỏ, bê tông cường độ cao, đặc biệt là bê tông chứa muối silic (silica fume) co ngót tự sinh là đáng kể (Zhang et al. 2003), (Aitcin et al. 1997), do đó thông số này cần phải xem xét khi thiết kế bê tông.

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng Thủy lợi – thủy điện, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng.

Nghiên cứu này tập trung thiết kế thiết bị và phương pháp đo xác định thể tích co ngót nội sinh một cách tự động và liên đới với hồ xi măng (neat paste) rất non tuổi.

## 2. THIẾT KẾ THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

Theo Justnes và các cộng sự (Justnes et al. 2000), cho đến năm 2000 có ba phương pháp cơ bản để đo co ngót hóa học gồm: giãn nở kế (dilatometry - Hình 2b), phép đo vòng (pycnometry - Hình 2c) và đo trọng lượng (gravimetry - Hình 2a). Trong ba phương pháp này thì phương pháp đo co ngót hóa học bằng giãn nở kế được sử dụng rộng rãi nhất (Bouasker et al. 2008). Hiện nay, cả phương pháp đo giãn nở kế và phương pháp đo vòng đều được nêu trong tiêu chuẩn ASTM C 1608, tuy nhiên cả hai phương pháp này đều có nhược điểm là quá trình đo thủ công, gặp khó khăn khi thời gian đo kéo dài và tần suất đo dày. Phương pháp trọng lượng được phát triển từ phương pháp đo vòng (xác định co ngót thông qua đo khối lượng) tuy nhiên nó được cải tiến để quá trình thu số liệu được thực hiện một cách tự động (Geiker and Knudsen 1982), (Zhang et al. 2013).



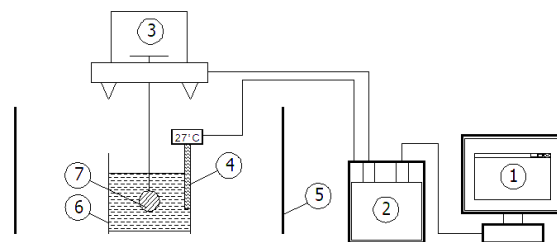
Hình 2. Nguyên lý của các phương pháp đo co ngót hóa học (Bouasker et al. 2008)

Trong nghiên cứu này, để đo co ngót tự sinh, tác giả dựa trên nguyên lý của phương pháp đo co ngót hóa học theo phương pháp đo trọng lượng. Tuy nhiên, thay vì mẫu đo được đặt trực tiếp vào bình chứa liên thông với nước (flash)

như ở Hình 2a tác giả đã cho mẫu đo (hồ xi măng) vào bao cao su kín (latex membrane - Hình 3a). Có thể diễn tả ngắn gọn là việc xác định co ngót tự sinh dựa trên nguyên lý Archimedes (sự co ngót làm giảm lực đẩy nổi do đó làm tăng khối lượng của bao su chứa mẫu đặt trong nước). Sơ đồ thiết kế thiết bị thí nghiệm được thể hiện như ở Hình 3b. Số liệu khối lượng mẫu đặt trong nước đo được từ cân (độ chính xác 0.001g, có tích hợp bộ thu thập dữ liệu (datalogger)) kết nối với máy tính thông qua cổng giao tiếp RS-232; để thu thập số liệu một cách tự động và liên tục với tần suất đo thay đổi theo yêu cầu, tác giả đã xây dựng phần mềm trên nền ngôn ngữ Visual Basic, giao diện của phần mềm được mô tả như ở Hình 4. Thiết bị thí nghiệm trong nghiên cứu này được đặt tên gọi là ACS-DUT (Autogenous and Chemical Shrinkage - Danang University of Science and Technology), thiết bị ACS-DUT thực tế như ở Hình 5.



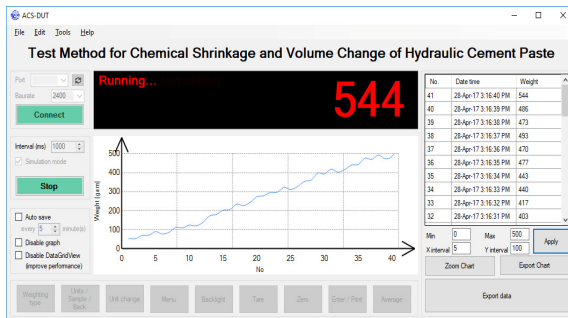
a. Mẫu được cho vào bao cao su



①: Máy tính, ②: Data Logger, ③: Cân điện tử, ④: cảm biến đo và điều chỉnh nhiệt độ, ⑤: Hộp kính, ⑥: Bình chứa nước; ⑦: Mẫu đo

b) Sơ đồ thiết kế

Hình 3. Sơ đồ thiết kế thiết bị thí nghiệm



Hình 4. Giao diện phần mềm thu thập xử lý số liệu của thiết bị ACS-DUT



Hình 5. Hình ảnh thực tế của thiết bị ACS-DUT

### 3. CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

#### 3.1 Vật liệu

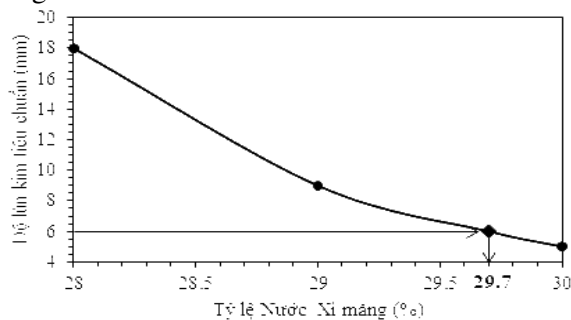
Xi măng dùng để nghiên cứu là xi măng pooc lăng Kim Định PC40, tính chất hóa - lý của xi măng thí nghiệm phù hợp với Tiêu chuẩn Việt Nam về Xi măng Poóc Lăng – Yêu cầu Kỹ thuật TCVN 2682:2009, ASTM C150 (Type I) và EN 197-1:2000 (CEM I 42.5N); Nước dùng để trộn tạo hồ xi măng là nước thủy cục thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 - Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật. Ngoài ra, nước dùng để ngâm mẫu trong quá trình thí nghiệm là loại nước cất phù hợp với Tiêu chuẩn TCVN 4851: 1989 (ISO 3696: 1987) – Nước dùng để phân tích trong phòng thí nghiệm.

#### 3.2 Thiết bị và dụng cụ thí nghiệm

Các thiết bị và dụng cụ thí nghiệm chính gồm: Thiết bị ACS-DUT như đã thiết kế ở Hình 5; Thiết bị xác định lượng nước tiêu chuẩn VICA Hình 6. Ngoài ra còn có các dụng cụ khác như: máy trộn vữa dung tích 5 lít, cân điện tử VIBRA SHINKO và các dụng cụ khác phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 6017-2015.

### 3.3 Mẫu thí nghiệm

Mẫu được xác định trên cơ sở tạo ra hồ xi măng đạt độ dẻo tiêu chuẩn. Quy trình được thực hiện theo TCVN 6017-2015 (ISO 9597-2008). Độ lún kim tiêu chuẩn với tỷ lệ N/X=0.28, 0.29 và 0.30 tương ứng là 18 mm, 9 mm và 5mm, kết quả thí nghiệm này được biểu diễn dưới dạng đồ thị như ở Hình 6. Từ đồ thị này xác định được tỷ lệ N/X để có được hồ xi măng đạt độ dẻo tiêu chuẩn (tương ứng với độ lún kim tiêu chuẩn  $6 \pm 2$ mm) là 0.297. Cũng theo TCVN 6017-2015 xác định được thời điểm bắt đầu và kết thúc ngưng kết của hồ xi măng với N/X=0.297 tương ứng là 1h55' và 3h05'.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm xác định độ dẻo tiêu chuẩn

#### 3.4 Trình tự thí nghiệm xác định co ngót tự sinh

- Trộn mẫu: Quy trình và các điều kiện trộn mẫu tuân theo tiêu chuẩn TCVN 6017-2015, với tỷ lệ giữa lượng nước/ xi măng là 0.297.

- Cho mẫu vào bao cao su: Đưa mẫu vào bao cao su bằng phễu inox đường kính 3.2cm, mẫu được cho vào từ từ để hạn chế bọt khí bên trong và tiếp giáp giữa hồ xi măng và thành bao cao su, khối lượng mẫu khoảng 150g, mẫu sau khi cho vào bao cao su như ở Hình 3a. Kết quả thí nghiệm sẽ giảm độ chính xác nếu bao cao su chứa mẫu hấp thụ nước trong quá trình thí nghiệm. Để khắc phục điều này, bao cao su rộng sẽ được làm bão hòa (ngâm trong nước) trong 24 giờ trước khi tiến hành thí nghiệm.

- Cân mẫu: cân khối lượng mẫu hồ xi măng.

- Thu thập số liệu: Bao cao su chứa mẫu được treo vào giá cân và ngâm vào trong nước (Hình 5), chờ cho mẫu ngừng giao động (ổn định) trong khoảng 5 phút, quá trình thu thập số

liệu bắt đầu. Việc thu thập số liệu được tiến hành liên tục sau mỗi 5 phút và kéo dài 24 tiếng (289 lần cân mẫu).

#### 4. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

Co ngót tự sinh được tính toán dựa trên sự khác nhau giữa thể tích biểu kiến của hồ xi măng ở thời điểm ban đầu ( $V_0$ ) và thể tích biểu kiến của hồ xi măng ở thời điểm bất kỳ ( $V_t$ ). Thể tích biểu kiến của hồ xi măng được xác định gián tiếp qua giá trị ghi nhận của cân:

- Khối lượng cân ghi nhận ở thời điểm ban đầu ( $m_n^{cân}$ ):

$$m = m_n^{cân} - \rho \cdot V_0 \quad (1)$$

- Khối lượng cân ghi nhận ở thời điểm bất kỳ ( $m_t^{cân}$ ):

$$m = m_t^{cân} - \rho \cdot V_t \quad (2)$$

Từ (1) và (2), suy ra thể tích co ngót tự sinh của 1 gam hồ xi măng như sau:

$$\frac{V_0 - V_t}{m_{mẫu}} = \frac{m_n^{cân} - m_t^{cân}}{\rho \cdot m_{mẫu}} \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_0 - V_t}{m_{mẫu}} = \frac{1000(m_n^{cân} - m_t^{cân})}{m_{mẫu}} \text{ [mm}^3/\text{g]} \quad (4)$$

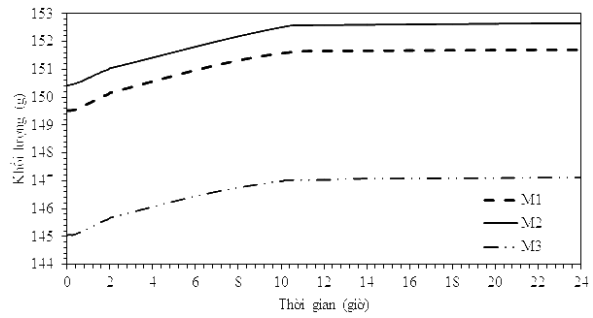
Với:

$m_n^{cân}$  [g]: khối lượng tổng của hồ xi măng và bao cao su (giá trị này không đổi);

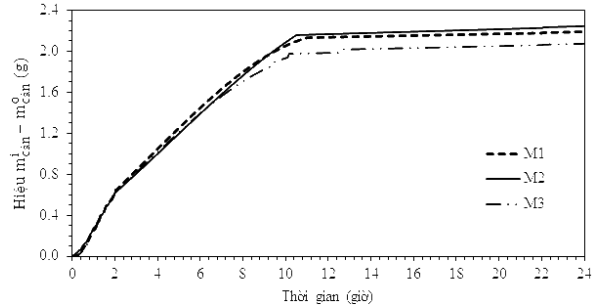
$m_r$  [g]: khối lượng mẫu hồ xi măng;

$\rho = 10^{-3}$  [g/mm<sup>3</sup>]: khối lượng riêng của nước ngâm mẫu.

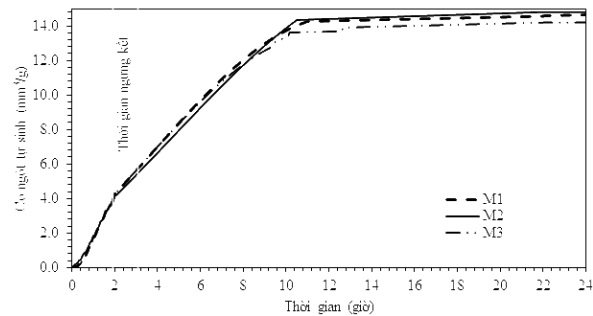
Để đảm bảo tính ổn định của kết quả thí nghiệm, tác giả đã tiến hành lặp lại thí nghiệm ba lần (ký hiệu mẫu cho ba lần đo tương ứng là M1, M2 và M3, với khối lượng mẫu hồ xi măng tương ứng là 149.52 g, 150.42 g và 145.05g). Kết quả sự thay đổi khối lượng của các mẫu được cân ghi nhận được một cách tự động và liên tục (mỗi 5 phút một lần) trong 24 giờ đầu như ở Hình 7. Hình 8 biểu diễn giá trị tuyệt đối tăng khối lượng của các mẫu ở thời điểm đo so với thời điểm ban đầu. Kết quả xác định giá trị co ngót tự sinh của ba lần đo của hồ xi măng xác định theo Công thức (4) được thể hiện như ở Hình 9. Ngoài ra, để xem xét mối liên hệ giữa co ngót tự sinh và thời gian ngưng kết, thời điểm bắt đầu và kết thúc ngưng kết cũng được biểu diễn trên Hình 9.



Hình 7. Kết quả thay đổi khối lượng của ba lần đo trong 24 giờ (tần suất đo: 5 phút)



Hình 8. Kết quả giá trị tuyệt đối tăng khối lượng của các mẫu ở thời điểm đo so với thời điểm ban đầu



Hình 9. Kết quả co ngót tự sinh của các mẫu theo thời gian

Kết quả ở Hình 7, Hình 8 và Hình 9 cho thấy:

Họ các đường (khối lượng, thay đổi khối lượng và co ngót tự sinh) của mẫu hồ xi măng gần như đồng dạng với nhau. Điều này cho thấy việc chuẩn bị mẫu cũng như kết quả thu được từ thiết bị ACS-DUT là ổn định và phù hợp với diễn giải từ công thức (1) đến công thức (4).

Quá trình diễn biến của co ngót nội sinh đối với mẫu hồ dùng trong nghiên cứu này có thể phân làm hai giai đoạn được phân biệt bởi điểm gãy khúc tại thời điểm khoảng 10 giờ (Hình 7 ÷ Hình 9):

- Giai đoạn đầu (từ 0 giờ đến 10 giờ): co ngót nội sinh phát triển với tốc độ nhanh (thể hiện thông qua đường biểu diễn co ngót nội sinh có độ dốc lớn), giá trị co ngót nội sinh trung bình của ba lần đo  $13.8 \text{ mm}^3/\text{g}$  (95% so với cuối thời điểm đo). Kết quả này phù hợp với bản chất của quá trình hydrat của xi măng: các phản ứng thủy hóa của các thành phần khoáng của xi măng ( $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  và  $\text{C}_4\text{AF}$ ) xảy ra gây ra sự giảm thể tích đồng thời trong thời đoạn này hồ xi măng còn ở trạng thái dẻo/ mềm nên quá trình co ngót xảy ra tự do.

- Giai đoạn sau (sau 10 giờ đến kết thúc thí nghiệm ở 24 giờ): tốc độ co ngót nội sinh giảm đột ngột (đường biểu diễn sự co ngót theo thời gian gần như nằm ngang). Giá trị co ngót trung bình ở thời điểm 24 giờ là  $14.5 \text{ mm}^3/\text{g}$ , chỉ tăng 5% so với cuối thời điểm của giai đoạn đầu. Kết quả này có thể giải thích: trong giai đoạn này các sản phẩm sinh ra do quá trình hydrat ( $\text{C-S-H}$ ,  $\text{C-H}$ ,  $\text{C-A-H}$ , ...) của xi măng đủ để tạo nên bộ khung (skeleton) chịu lực chống lại lực co ngót, do đó mặc dù quá trình hydrat (các phản ứng thủy) còn tiếp tục xảy ra nhưng giá trị co ngót nội sinh phát triển rất chậm.

## 5. KẾT LUẬN

Hiện tượng co ngót của bê tông non tuổi là

một quá trình hóa lý phức tạp, làm nứt bê tông và làm ảnh hưởng đến độ bền của công trình.

Thiết bị đo co ngót nội sinh được phát triển trong bài báo này dựa trên nguyên lý Archimedes, do đó độ chính xác của kết quả đo co ngót tự sinh tùy thuộc vào độ chính xác của cân sử dụng và tác động của môi trường thí nghiệm (các tác nhân ảnh hưởng đến giá trị của cân đo). Thiết bị ACS-DUT đã thiết kế có tính đến các yếu tố này nên kết quả thí nghiệm với tính chính xác là chấp nhận được.

Kết quả thí nghiệm trên hồ của xi măng PC40 cho thấy: Sự diễn biến của co ngót tự sinh theo thời gian trong điều kiện kín (không có sự đối đổi độ ẩm với môi trường) có liên hệ trực tiếp với quá trình hydrat của xi măng (hay quá trình phát triển cường độ của hồ xi măng). Cụ thể, giá trị co ngót nội sinh tăng mạnh khi hồ xi măng ở giai đoạn còn ở trạng thái dẻo/ mềm, theo thời gian hồ xi măng chuyển sang trạng thái cứng do các sản phẩm hydrat của xi măng tạo ra thì diễn biến của co ngót tự sinh càng chậm dần.

Thiết bị ACS-DUT sẽ có hiệu ích trong việc nghiên cứu lựa chọn hỗn hợp chất kết dính (xi măng + phụ gia khoáng + phụ gia hóa học) hợp lý nhằm giảm co ngót nội sinh cho cấp phối bê tông.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aitcin, Pierre-Claude, Adam Neville, and Paul Acker. 1997. "Integrated View of Shrinkage Deformation." *Concrete International* 19(9): 35–41.
- Bouasker, Marwen et al. 2008. "Chemical Shrinkage of Cement Pastes and Mortars at Very Early Age: Effect of Limestone Filler and Granular Inclusions." *Cement and Concrete Composites* 30(1): 13–22.
- Geiker, Mette, and Torben Knudsen. 1982. "Chemical Shrinkage of Portland Cement Pastes." *Cement and Concrete Research* 12(5): 603–10.
- Justnes, H et al. 2000. "Chemical Shrinkage of Cement Pastes with Plasticizing Admixtures." *NORDIC CONCRETE RESEARCH-PUBLICATIONS* - 24: 39–54.
- Mounanga, Pierre, Abdelhafid Khelidj, Ahmed Loukili, and Véronique Baroghel-Bouny. 2004. "Predicting  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Content and Chemical Shrinkage of Hydrating Cement Pastes Using Analytical Approach." *Cement and Concrete Research* 34(2): 255–65.
- Torrenti, Jean-Michel, Paul Acker, Claude Boulay, and Danièle Lejeune. 1988. "Contraintes Initiales Dans Le Béton." *Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussees* 158: 39–44.
- Yodsudjai, Wanchai, and Kejin Wang. 2013. "Chemical Shrinkage Behavior of Pastes Made with Different Types of Cements." *Construction and Building Materials* 40: 854–62.

- Zhang, M H, C T Tam, and M P Leow. 2003. “*Effect of Water-to-Cementitious Materials Ratio and Silica Fume on the Autogenous Shrinkage of Concrete.*” *Cement and Concrete Research* 33(10): 1687–94.
- Zhang, Tongsheng et al. 2013. “*Measurement of Chemical Shrinkage of Cement Paste: Comparison Study of ASTM C 1608 and an Improved Method.*” *Construction and Building Materials* 48: 662–69.

**Abstract:**

**RESEARCH DETERMINATION OF AUTOGENOUS SHRINKAGE  
OF CEMENT PASTES AT VERY EARLY AGE**

*The early volume change of concrete is the result of a complex physico-chemical process, the volume change of hydraulic cement paste is usually expressed by a shrinkage phenomena. This volume reduction is called autogenous shrinkage, it is correlated to chemical shrinkage and internal structural changes. For conventional concrete, autogenous shrinkage strain is generally negligible, but in concrete with low water-cementitious materials ratio or with silica fume it may be considerable. Restraint of the autogenous shrinkage by aggregates or adjoining structural members may result in formation of micro and macro cracks that impair strength, durability and aesthetics. In practice, actual measurements of this early age (first 24 hours) shrinkage are rarely obtained due to difficulty in measuring and lack of standardization. This work aimed at developing a test apparatus to assess the autogenous shrinkage values occurring immediately after mixing the paste and continuing for the first 24 hours.*

**Keywords:** concrete, binder, autogenous shrinkage, chemical shrinkage, cracking.

---

Ngày nhận bài: 06/8/2017

Ngày chấp nhận đăng: 30/8/2017