

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH THỦY HÓA XI MĂNG CÓ SỬ DỤNG TRO BAY, MUỘI SILIC BẰNG CÔNG CỤ SỐ VCCTL

Trần Văn Quân

Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

Nguyễn Hữu Năm

Viện Thủy điện và Năng lượng tái tạo

Tóm tắt: Công cụ số *Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory* viết tắt là (VCCTL) là phần mềm được phát triển bởi Viện tiêu chuẩn và công nghệ Hoa Kỳ vào năm 2001. Hiện nay công cụ này vẫn được tiếp tục hoàn thiện bởi Viện tiêu chuẩn công nghệ Hoa Kỳ, hệ thống các trường đại học và các công ty sản xuất xi măng. Mục tiêu của việc phát triển công cụ số VCCTL là dự đoán các tính chất của bê tông tươi cũng như bê tông đông kết dựa vào các điều kiện trộn bê tông, điều kiện bảo dưỡng mẫu. VCCTL giúp xác định thiết kế tối ưu của hỗn hợp bê tông, giảm số lượng mẫu không hiệu quả cần tiến hành trong phòng thí nghiệm, từ đó tiết kiệm được thời gian và chi phí cho xây dựng công trình. Thông qua việc mô phỏng quá trình thủy hóa của ba loại cấp phối hồ xi măng: 100% xi măng, 20% tro bay + 80% xi măng và 20% muội silic + 80% xi măng, bài báo sẽ giới thiệu về công cụ số VCCTL cũng như các thông số đầu vào cần thiết để có thể mô phỏng quá trình thủy hóa của bê tông xi măng để từ đó có thể dự đoán một số tính chất cơ học của bê tông.

Từ khóa: Công cụ số, VCCTL, bê tông, tro bay, muội silic, thủy hóa, xi măng

Summary: The *Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory* (VCCTL) is a numerical tool developed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) in 2001. Currently, the tool is still being improved by NIST, a system of universities and cement companies. The objective of the development of the VCCTL numerical tool is to predict the properties of fresh as well as hardened concrete based on concrete mixing conditions and sample curing conditions. VCCTL helps determine the optimal design of concrete mixes, reducing the number of inefficient samples that need to be carried out in the laboratory, thereby saving time and cost for construction. By simulating the hydration process of three types of cement slurry mix: 100% cement, 20% fly ash + 80% cement and 20% silica fume + 80% cement, the article will introduce about VCCTL as well as the necessary input parameters to simulate the hydration process of cement so that some mechanical properties of paste can be predicted.

Keywords: Numerical tools, VCCTL, concrete, fly ash, silica fume, hydration, cement

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay thiết kế hỗn hợp bê tông cùng với đánh giá các tính chất của bê tông tươi và bê tông sau khi đông kết được thực hiện chủ yếu dựa vào các phương trình thực nghiệm có sẵn trong các tiêu chuẩn như ASTM C109 [1], ASTM C215 [2]. Các phương pháp thí nghiệm

trong phòng thí nghiệm thông thường rất tốn kém và mất thời gian, đòi hỏi phải sử dụng số lượng lớn nguyên vật liệu, cùng với các kỹ thuật viên tay nghề cao để có thể tiến hành thí nghiệm. Đặc biệt là đối với thí nghiệm trong phòng, các thí nghiệm đôi khi phải chờ đợi rất lâu để có kết quả. Công cụ số Virtual Cement

Ngày nhận bài: 16/3/2020

Ngày thông qua phản biện: 15/4/2020

Ngày duyệt đăng: 17/4/2020

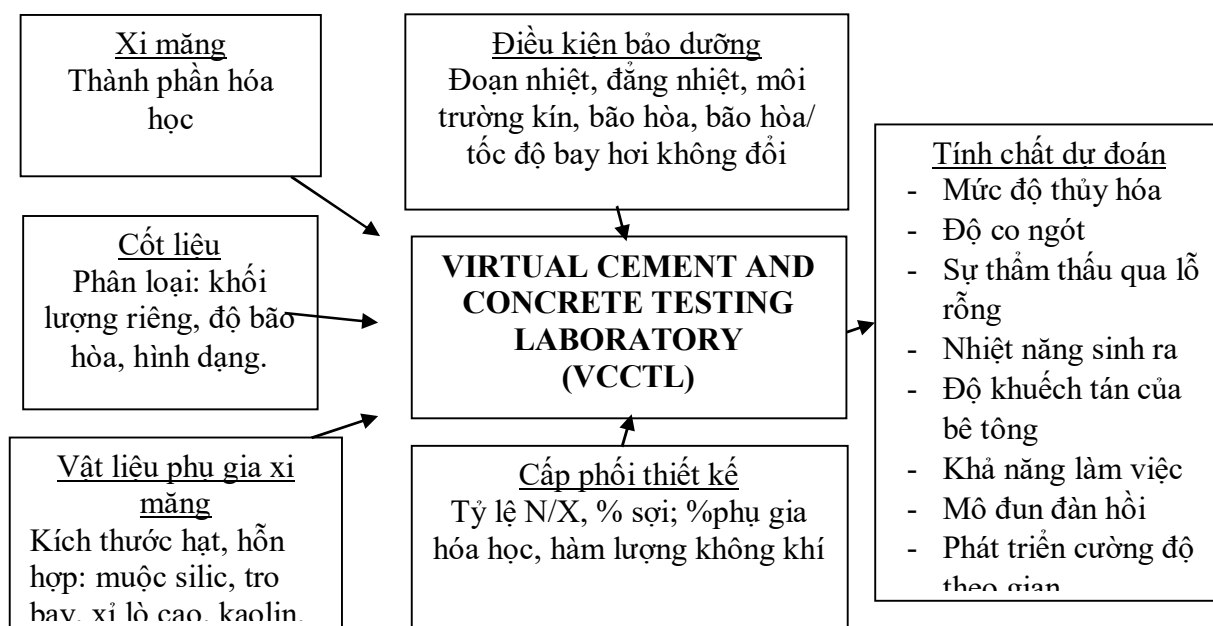
and Concrete Testing Laboratory viết tắt là (VCCTL) là phần mềm được phát triển bởi Viện tiêu chuẩn và công nghệ, Viện nghiên cứu xây dựng và cháy Hoa Kỳ vào năm 2001. Công cụ này được phát triển với mục đích giảm chi

phí thí nghiệm và rút ngắn thời gian thiết kế cấp phối bê tông. Bảng 1 tóm tắt so sánh giữa việc thiết kế cấp phối truyền thống trong phòng thí nghiệm và sử dụng công cụ số VCCTL

Bảng 1: So sánh các phương pháp thử nghiệm hiện tại và thử nghiệm số hóa [3]

Phương pháp thử nghiệm hiện tại	Phương pháp thử nghiệm số hóa
- Dựa trên các thử nghiệm vật lý	- Dựa trên sự tính toán của máy tính
- Kỹ thuật viên tay nghề cao	- Tính toán chuyên sâu
- Cần nhiều vật liệu	- Nhu cầu về vật liệu nhỏ
- Thời gian có kết quả : tuần/tháng	- Thời gian có kết quả : Giờ/ngày
- Chi phí cao	- Chi phí thấp

Các đầu vào cần thiết cho công cụ số VCCTL và các tính chất của bê tông mà công cụ có thể dự đoán được tổng hợp trong hình 1.



Hình 1: Dữ liệu đầu vào cần thiết cho việc dự đoán các tính chất bởi phương pháp thử nghiệm số [4]

Ngoài ra, hiện nay việc sử dụng các thành phần phụ gia như tro bay, xỉ lò cao hay muối silic ngày càng phổ biến với hàm lượng thay thế xi măng ngày càng cao. Tuy nhiên hiện nay tại Việt Nam, việc thiết kế cấp phối bê tông có sử dụng các phụ gia vẫn được thực hiện bằng các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm với số lượng mẫu lớn dẫn đến chi phí thiết kế cấp phối bị tăng

cao, đồng thời cần thời gian dài để tìm ra cấp phối dẫn đến chậm tiến độ thi công. Do đó việc ứng dụng công nghệ số VCCTL sẽ là một phương pháp thí nghiệm số giúp rút ngắn thời gian thí nghiệm cấp phối bê tông trong quá trình thi công. Các tính chất cơ học của bê tông phụ thuộc rất lớn vào các điều kiện thủy hóa cũng như thành phần chất kết dính. Do đó trong bài

báo, VCCTL được ứng dụng mô phỏng quá trình thủy hóa các loại bê tông có sử dụng các chất kết dính khác nhau: (1) không sử dụng tro bay, xỉ lò cao, (2) có sử dụng 20% tro bay (3) có sử dụng 20% muối silic. Kết quả cho thấy khả năng áp dụng của công cụ số VCCTL vào thiết kế thành phần cấp phối bê tông xi măng ngoài thực tế tại Việt Nam

2. CÁC THÔNG SỐ ĐẦU VÀO CẦN THIẾT CHO CÔNG CỤ VCCTL

Hình 1: Thành phần chất kết dính: xi măng và phụ gia

Cũng tương tự như việc thiết kế cấp phối trong phòng thí nghiệm, việc mô phỏng bằng công cụ

VCCTL cũng cần các thông số sau : (1) thành phần chất kết dính (thành phần clinke, hàm lượng thạch cao trong xi măng ; phụ gia hóa bao gồm tro bay, xỉ lò cao, muối silic, cát, đá vôi, vôi bột) (Hình 1). Thông thường các thành phần này đã có trong cơ sở dữ liệu của công cụ VCCTL, trong trường hợp cần thiết người dùng có thể tự định nghĩa thành phần xi măng hoặc các phụ gia khác cho phù hợp đúng với điều kiện thực tế (Hình 3).

Hình 2: Thành phần cấp phối: tỷ lệ nước/xi măng

(2) Thành phần cấp phối của bê tông bao gồm: tỷ lệ nước/chất kết dính (xi măng và phụ gia hóa), hàm lượng chất kết dính, cốt liệu bao gồm cốt liệu to (đá, sỏi) và cốt liệu mịn.

Cũng tương tự như xi măng và phụ gia hóa, thành phần hạt của cốt liệu thường đã tích hợp trong cơ sở dữ liệu của công cụ, tuy nhiên nếu cần thiết khi sử dụng các loại cốt liệu mới có thể hiệu chỉnh cho phù hợp (Hình 4)

(a)

(b)

Phase	Fraction
Aluminosilicate glass	0.5
Calcium Aluminum Disilicate	0.45
Tricalcium Aluminate	0.0
Calcium Chloride	0.0
Silica	0.03
Anhydrite (CaSO4)	0.02
Sum	1.0

Description: Generic fly ash material. Chemical composition and phase distribution based on that reported in X. Feng, E.J. Garboczi, D.P. Bentz, P.E. Stutzman, T.O. Mason, "Estimation of the degree of hydration of blended cement pastes by a scanning electron microscope point-counting procedure," Cem. Concr. Res. 34 [10] (2004) 1787-1793.

(c)

Name: quartz
Specific gravity: 2.62
Particle Size Distribution (PSD): cement141.psd

Description: Inert filler with the density of alpha-quartz and particle size distribution (PSD) consistent with CCR1 Cement 141 from the CCR1 Proficiency sample program

(d)

Hình 3: Hiệu chỉnh thành phần (a) xi măng; (b) xỉ lò cao; (c) tro bay; (d) cát

Coarse aggregate source: Coarse Steel Slag
Upload data from a ZIP file for the coarse aggregate: [Chọn tệp] Không có tệp nào được chọn

Image and shape data

Image: [Image of coarse steel slag]

Shape Data

Number of particles analyzed: 239

Mean L/T = 1.980 ± 0.544
Range of L/T = [1.087, 4.423]

Mean W/T = 1.475 ± 0.355
Range of W/T = [1.024, 3.176]

Distribution (%):

Specific gravity: 2.65
Bulk modulus: 36.7 GPa
Shear modulus: 22.0 GPa
Conductivity: 0.0

Description: Desc: Coarse steel slag
Name: H0990C-5-coarse
Source1: Langenfelder, Sparrow Point plant
Source2: Baltimore, Maryland

Fine aggregate source: AASHTO Proficiency Sand #30
Upload data from a ZIP file for the fine aggregate: [Chọn tệp] Không có tệp nào được chọn

Image and shape data

Image: [Image of fine aggregate]

Shape Data

Number of particles analyzed: 533

Mean L/T = 2.504 ± 0.777
Range of L/T = [1.165, 5.506]

Mean W/T = 1.688 ± 0.467
Range of W/T = [1.009, 3.564]

Distribution (%):

Specific gravity: 2.65
Bulk modulus: 30.0 GPa
Shear modulus: 18.0 GPa
Conductivity: 0.0

Description: Desc: AASHTO Proficiency Sand #30
Name: FM114B-3-fine
Info: AASHTO Materials Reference Laboratory
Info: Proficiency sample #30

Hình 4: Hiệu chỉnh thành phần (a) cốt liệu thô từ luyện thép; (b) cốt liệu mịn

Trong bài báo, nhằm giới thiệu khả năng mô phỏng của quá trình thủy hóa xi măng, bài báo sẽ lựa chọn mô phỏng quá trình thủy hóa của hồ xi măng không có sử dụng cốt liệu. Xi măng Portland thông thường được chọn ký hiệu là cement140, tro bay ký hiệu flyash01.fly và muối silic SF. Tỷ lệ cấp phối với tỷ lệ nước/chất kết dính 0.45, với cấp phối sử dụng tro bay, hàm lượng tro bay được xác định theo tỷ lệ tro bay/xi măng là 0.10 và 0.20. Lượng xi măng sử dụng là 300 kg cho 1 m³ bê tông.

Ngoài ra điều kiện thủy hóa cũng được mô phỏng trong công cụ VCCTL. Tùy chỉnh điều kiện thủy hóa của hỗn hợp: năng lượng tạo ra

bởi phản ứng thủy hóa của xi măng, phản ứng puzzolanic, xỉ lò cao phản ứng (nếu sử dụng), nhiệt độ dưỡng ban đầu: đẳng nhiệt hay đoạn nhiệt hoặc kết hợp cả hai, điều kiện mẫu bảo hòa hoặc không bão hòa. Thời gian giả thiết thủy hóa cùng với độ thủy hóa được định nghĩa trong khoảng (0-1) (Hình 5). Trong bài báo này, giả thiết trong cả ba cấp phối: (1) 100% Xi măng; (2) tro bay thay thế 20% khối lượng xi măng và (3) muối silic thay thế 20% khối lượng xi măng, các điều kiện thủy hóa là như nhau: đẳng nhiệt T=25°C; sau 28 ngày hệ số thủy hóa 0.95; trạng thái bão hòa trong quá trình bảo dưỡng.

Curing conditions

Thermal

Conditions:

- ☐ isothermal
- ☒ semi-adiabatic
- ☐ adiabatic

Initial temperature: 25.0 °C

Ambient temperature: 25.0 °C

Heat transfer coefficient: 0.0

Aging

Hydrate for: 28.0 days

... Or stop at degree of hydration:

- ☒ Use time conversion
- ☐ Use a calorimetry file
- ☐ Use a chemical shrinkage file

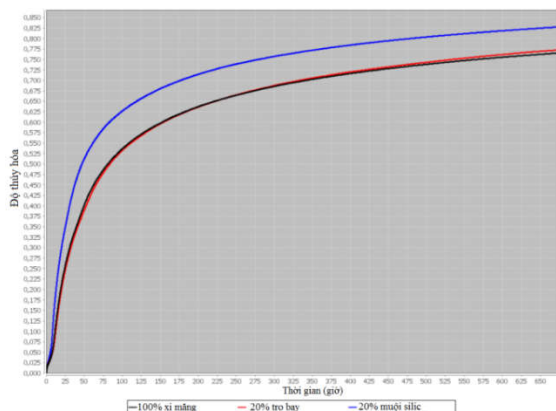
Time conversion factor: 3.5E-4 h/cycle²

Saturation conditions

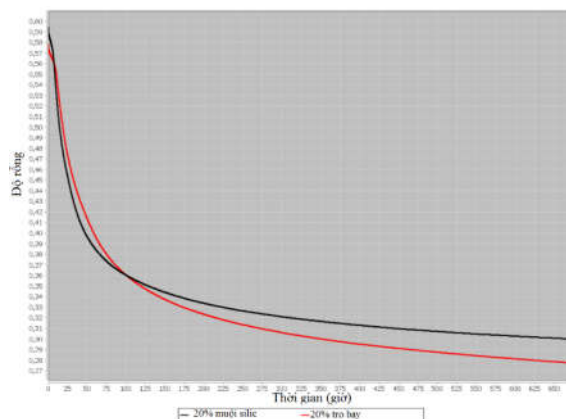
- ☒ saturated
- ☐ sealed

Hình 5: Điều kiện thủy hóa của bê tông, vữa, hồ xi măng

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

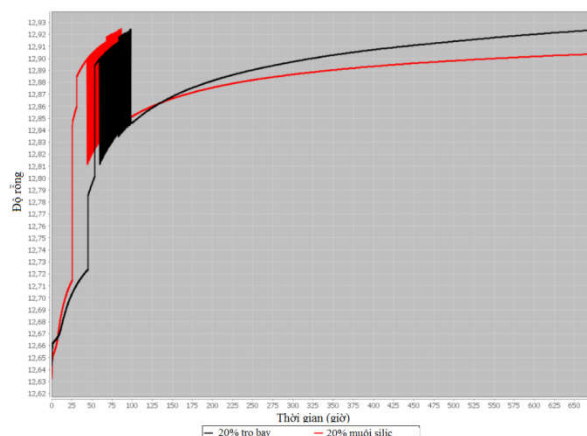


Hình 6: Độ thủy hóa theo thời gian trong 28 ngày



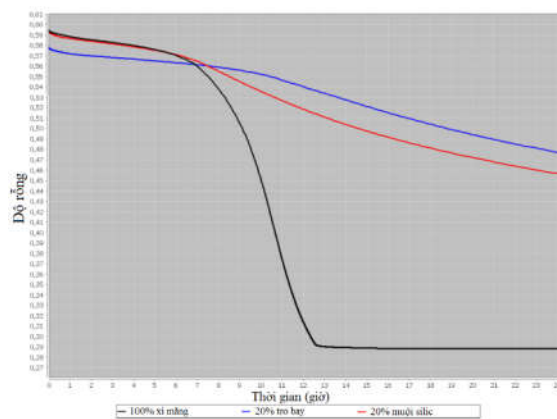
(a)

Hình 6 là kết quả của độ thủy hóa của ba loại cấp phối hồ xi măng, tro bay và muối silic. Kết quả này cho thấy hồ xi măng có sử dụng 20% muối silic có tốc độ thủy hóa nhanh hơn so với sử dụng 100% xi măng và 80% xi măng+20% tro bay. Điều này dẫn tới pH của hỗn hợp hồ xi măng muối silic có pH cao tại thời điểm sớm hơn so với sử dụng 20% tro bay (Hình 7)



Hình 7: pH của hồ xi măng trong 2 trường hợp sử dụng tro bay và sử dụng muối silic

Hình 8 cho thấy độ rỗng của các pháp phối đều giảm khi độ thủy hóa tăng theo thời gian. Sử dụng 100% xi măng, độ rỗng giảm nhanh chóng sau 12h và đạt giá trị nhỏ nhất, tuy nhiên với cấp phối sử dụng tro bay và muối silic độ rỗng vẫn tiếp tục giảm sau 28 ngày. Có thể thấy rằng tro bay và muối silic thay đổi tốc độ thủy hóa và tính chất của hỗn hợp hồ xi măng.



(b)

Hình 8: Độ rỗng của hồ xi măng theo thời gian (a) sau 28 ngày (b) sau 25 giờ

Bảng 2: Các tính chất cơ lý của hồ xi măng, tro bay và muối silic sau 28 ngày

Các tính chất cơ lý	Cấp phối		
	100% xi măng	20% tro bay	20% muối silic
Mô đun chống cắt (GPa)	7.66	7.5	6.37
Mô đun Young	19.55	18.65	16.23
Hệ số Poisson	0.275	0.269	0.274
Độ rỗng	0.23	0.275	0.30

Có thể nhận thấy rằng giá trị mô đun Young E (hay còn gọi mô đun đàn hồi), hệ số Poisson ν của hồ xi măng rất sát với giá trị thực nghiệm $E=16$ Mpa, $\nu=0.26$ trong nghiên cứu của Becker và nnk [5]; hay $\nu=[0.20\div 0.32]$ trong thực nghiệm của Tang [6]. Sử dụng 100% xi măng cho các tính chất cơ lý tốt nhất trong 3 cấp phối với mô đun chống cắt, mô đun đàn hồi lớn và độ rỗng thấp. Kết quả so sánh giữa cấp phối 100% xi măng và 80% xi măng+20% tro bay ở bảng 2 phù hợp với nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của tro bay đến cường độ của bê tông, được công bố trong Tài liệu tập huấn tổ chức thi công bê tông khối lớn và bê tông có sử dụng tro bay trong xây dựng công trình thủy lợi phát hành 2019 bởi Cục quản lý xây dựng công trình, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn [7].

4. KẾT LUẬN

Hiện nay ứng dụng công nghệ số hóa được áp dụng trong mọi lĩnh vực đời sống xã hội, phù hợp với việc phát triển công nghệ 4.0. Không nằm ngoài xu thế đó, lĩnh vực xây dựng tại Việt

Nam cũng đã đưa vào những công nghệ ứng dụng các công nghệ số này. Do vậy bài báo đã giới thiệu một công cụ số trong thiết kế thành phần cấp phối bê tông xi măng có sử dụng các phụ gia hóa khác. Công cụ số VCCTL đã thành công trong việc mô phỏng quá trình thủy hóa của hồ xi măng và hồ xi măng có sử dụng tro bay và muối silic. Kết quả được so sánh với các kết quả thí nghiệm trong thực tế, các kết quả số phù hợp với kết quả thí nghiệm và các kết luận của các nghiên cứu đã được công bố trước đó. Các kết quả công cụ số VCCTL đã dự đoán được trong nghiên cứu này là: Mô đun chống cắt, Mô đun Young (Mô đun đàn hồi), hệ số Poisson và độ rỗng của cấp phối hồ xi măng, tro bay và muối silic. Có thể thấy rằng công cụ số VCCTL là khả thi để áp dụng vào thiết kế cấp phối bê tông tại Việt Nam, đặc biệt cho các công trình sử dụng bê tông khối lớn như đập thủy điện, hồ chứa. Để có thể áp dụng rộng rãi công cụ số VCCTL vào thực tế, cần so sánh nhiều kết quả thí nghiệm đã được thực hiện với kết quả của công cụ số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C01 Committee, "Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)," ASTM International.
- [2] C09 Committee, "Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens," ASTM International.

- [3] S. Erdogan, E. J. Garboczi, and J. W. Bullard, “Prediction of Elastic Properties of Concrete Using the Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory,” Nov. 2007.
- [4] “Bullard, J.W., Ferraris, C.F., Garboczi, E., Martys, N. & Stutzman, P. 2004, ‘Virtual Cement’ Reprinted from Innovations in Portland Cement Manufacturing, Chapter 10.3, eds J.I. Bhatti, F.M. Miller & S.H. Kosmatka, Portland Cement Association, 5420 Old Or.”
- [5] Becker Jens, Jacobs Laurence J., and Qu Jianmin, “Characterization of Cement-Based Materials Using Diffuse Ultrasound,” *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 129, no. 12, pp. 1478–1484, Dec. 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2003)129:12(1478).
- [6] C.-W. Tang, “Effect of presoaking degree of lightweight aggregate on the properties of lightweight aggregate concrete,” *Computers and Concrete*, vol. 19, no. 1, pp. 69–78, Jan. 2017, doi: 10.12989/CAC.2017.19.1.069.
- [7] “Tài liệu tập huấn tổ chức thi công bê tông khối lớn và bê tông có sử dụng tro bay trong xây dựng công trình thủy lợi,” Cục quản lý xây dựng công trình, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Nghệ An, 2019.