

Mô hình tính toán mức độ thủy hóa các chất kết dính thành phần trong hồ xi măng

Nguyễn Trọng Dũng^{1,*}

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Sự hình thành và phát triển các tính chất cơ học của bê tông ngay từ khi bắt đầu trộn đến khi đạt cường độ sử dụng phụ thuộc rất lớn vào quá trình thủy hóa các chất kết dính thành phần cũng như các chất phụ gia khoáng hoạt tính được thêm vào trong hồ xi măng. Tuy nhiên, đánh giá mức độ thủy hóa của các chất kết dính này trong quá trình ninh kết của bê tông là công việc hết sức khó khăn do các cơ chế phản ứng hóa lý phức tạp ở mức độ phân tử của các thành phần tham gia. Trong báo cáo này, tác giả đề xuất sử dụng mô hình số để xác định mức độ thủy hóa của xi măng thông qua việc phân tích cơ chế phản ứng và đo nhiệt lượng tỏa ra trong quá trình thủy hóa xi măng của các mẫu thực nghiệm.

Từ khóa: mô hình; thủy hóa; chất kết dính; hồ xi măng

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, trên thế giới cũng như tại Việt nam, xi măng được sử dụng phổ biến trong xây dựng chủ yếu là xi măng Portland có thành phần chính là clinker Portland, tác nhân tạo nên tính kết dính của xi măng. Xét về hàm lượng các hợp chất chính, thông qua phương pháp phân tích của (Bogue, 1952), ít nhất 2/3 khối lượng của clinker phải được cấu thành bởi các khoáng Alit (C_3S) và Belit (C_2S), phần còn lại chứa lượng lớn của Aluminat Tricanxit (C_3A) và Feroaluminat Tetracaxi (C_4AF) cùng một số khoáng phụ khác. Trên thực tế, quá trình thủy hóa xi măng chính là các phản ứng hòa tan các hợp chất trên nhằm tạo ra pha kết dính chủ lực C-S-H và CH (Canxi hydroxit). Trong các nghiên cứu (Taylor, 1990; Adenot, 1992; Vernet, 1994) các tác giả đã đề xuất các tỷ lệ phản ứng khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ C/S trong xi măng. Thủy hóa xi măng là quá trình tiêu thụ nước và tỏa nhiệt, kèm theo đó là các cơ chế phức tạp về cân bằng nhiệt và cân bằng thủy lực giữa các pha (Lacarrière, 2007). Quá trình này có ý nghĩa quan trọng đến sự hình thành và phát triển các tính chất cơ học của hồ xi măng ngay từ khi bắt đầu trộn đến khi đạt cường độ sử dụng.

Tuy nhiên việc xây dựng mối liên hệ giữa tốc độ thủy hóa và sự phát triển các tính chất cơ lý của hồ xi măng là hết sức khó khăn do các cơ chế phản ứng phức tạp ở cấp độ phân tử cũng như việc quan sát và đo đạc các đại lượng đòi hỏi phải có phương tiện thí nghiệm hiện đại (Lei, 2006). Hướng đến việc khắc phục những khó khăn này, việc xây dựng các mô hình số cho phép dự đoán tốc độ thủy hóa cũng như sự hình thành cường độ của hồ xi măng là một hướng đi phù hợp với xu hướng nghiên cứu chung hiện nay trên thế giới trong đó ưu tiên sử dụng các công cụ số để tối ưu hóa việc tính toán cũng như tiết kiệm chi phí thực nghiệm (Avrami, 1939; Copeland et al., 1960; Gutteridge and Dalziel, 1990a; Gutteridge and Dalziel, 1990b; Roelfstra and Salet, 1994; Humbert, 1989; Waller, 1999; Lacarrière, 2007). Trong báo cáo này, tác giả trình bày về cơ chế và khái niệm mức độ thủy hóa xi măng cũng như đề xuất sử dụng mô hình số của (Lacarrière, 2007) để xác định mức độ thủy hóa của xi măng thông qua việc phân tích cơ chế phản ứng của các chất kết dính thành phần. Các thông số đầu vào của mô hình được xác định dựa vào việc phân tích thành phần hóa học của loại xi măng sử dụng cũng như kết quả đo nhiệt lượng tỏa ra bằng bình Langavant trong quá trình thủy hóa xi măng của các mẫu thực nghiệm.

2. Mức độ thủy hóa của xi măng và phương pháp xác định mức độ thủy hóa

2.1. Thủy hóa xi măng và các phản ứng pozzolanic

Sản phẩm chính của quá trình thủy hóa clinker xi măng là các chất kết dính tuýp C-S-H (xem Bảng 1) và một số sản phẩm kết dính khác chứa oxit nhôm và oxit sắt. Ngoài ra còn có sản phẩm phụ CH (canxi hydroxit), đây là hợp chất không ổn định khi độ pH trong bê tông nhỏ hơn 12,5 và có thể bị hòa tan trong

* Tác giả liên hệ

Email: nguyentrongdung@humg.edu.vn

nước, dẫn tới giảm độ ổn định và độ bền của bê tông. Để cải thiện cường độ bê tông, có thể giảm bớt hàm lượng CH bằng cách trộn thêm các phụ gia khoáng hoạt tính như tro bay, muối silic, xỉ lò cao, ... Các phụ gia khoáng này đều có tính pozzolanic - tính chất của các hợp chất chứa oxit silic có thể phản ứng với canxi hydroxit- và sẽ phản ứng với CH để tạo ra các chất kết dính ổn định, qua đó cải thiện cường độ và độ bền của bê tông. Các phản ứng này được gọi chung là các phản ứng pozzolanic (xem Bảng 1). Lưu ý rằng trong các phương trình phản ứng của C₃A và C₄AF có sự xuất hiện của hợp chất C $\bar{S}H_2$ hay còn gọi là thạch anh. Đây là hợp chất thường được thêm vào trong thành phần xi măng nhằm tăng mức độ hình thành C-S-H và giảm hàm lượng CH được tạo thành, qua đó tăng cường độ cho bê tông.

Bảng 1. Phương trình phản ứng thủy hóa các hợp chất trong clinker xi măng và các phản ứng pozzolanic

Phản ứng thủy hóa clinker xi măng	Phản ứng pozzolanic
$C_3S + (1,3 + y)H \rightarrow C_{1,7}SH_y + 1,3CH + Q_1$	$S + xCH + yH \rightarrow C_xSH_{x+y}$
$C_2S + (0,3 + y)H \rightarrow C_{1,7}SH_y + 0,3CH + Q_2$	$A + 3CH + 3H \rightarrow C_3AH_6$
$C_3A + C\bar{S}H_2 + xH \rightarrow (C_4\bar{A}SH_{12}, C_6\bar{A}S_3H_{32}, C_3AH_6) + Q_3$	$A + S + 2CH + 6H \rightarrow C_2ASH_8$
$C_4AF + C\bar{S}H_2 + x'H \rightarrow (AFm, AFt, C\{A, F\}H) + Q$	$A + xS + 3CH + (y-3)H \rightarrow C_3AS_xH_y$

2.2. Mức độ thủy hóa xi măng – khái niệm và phương pháp xác định

Mức độ thủy hóa xi măng tại thời điểm t được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng xi măng đã hòa tan hoàn toàn và tổng khối lượng xi măng khan ban đầu (t=0) :

$$\alpha(t) = \frac{m_{ch}(t)}{m_{can}(t=0)} = 1 - \frac{m_{can}(t)}{m_{can}(t=0)} \quad (1)$$

Trong đó: m_{ch}(t) - khối lượng xi măng đã hòa tan tại thời điểm t

m_{can}(t) - khối lượng xi măng khan còn lại tại thời điểm t

Mức độ thủy hóa có thể được xác định thông qua phương pháp phân tích hình ảnh MEB (Lei 2006, Lacarrière, 2007) nhằm trực tiếp xác định hàm lượng chất khan còn lại. Ngoài ra có thể sử dụng một số phương pháp gián tiếp như đo nhiệt lượng tỏa ra trong quá trình thủy hóa, đo hàm lượng nước liên kết ... để xác định α(t). Với phương pháp đo nhiệt tỏa ra, mức độ thủy hóa được xác định bởi phương trình:

$$\alpha(t) = \frac{Q(t)}{Q_{max}} \quad (2)$$

Trong đó: Q(t) là nhiệt lượng tỏa ra tại thời điểm t

Q_{max} là nhiệt lượng tỏa ra khi thủy hóa hoàn toàn

2.3. Cơ sở lý thuyết và mô hình tính toán mức độ thủy hóa bằng phương pháp đo nhiệt lượng tỏa ra

Trong điều kiện nội sinh, quá trình thủy hóa các chất kết dính trong xi măng cũng như các phụ gia khoáng hoạt tính là một quá trình tiêu thụ nước và tỏa nhiệt, kèm theo đó là các cơ chế cân bằng nhiệt và cân bằng thủy lực giữa các pha. Sự thay đổi lượng nước và nhiệt độ bên trong khối bê tông khi thủy hóa sẽ làm thay đổi quá trình thủy hóa động học của các pha thành phần (hoạt động thủy học và hoạt động nhiệt học). Như vậy, mô hình quá trình thủy hóa được xây dựng dựa trên các phương trình mô tả sự phát triển của mức độ thủy hóa, hàm lượng nước, và nhiệt độ. Theo (Lacarrière, 2007) phương trình mô tả quy luật phát triển của mức độ thủy hóa được đề xuất dưới dạng hàm số của các hệ số ảnh hưởng như sau:

$$\dot{\alpha}_i = A_i \cdot c_i(\alpha_i, W) \cdot \Pi_i(\bar{r}_{mi}) \cdot h_i(T) \cdot g_i \quad (3)$$

Trong đó: A_i - hệ số điều chỉnh của mô hình được xác định từ thực nghiệm; c_i(α_i, W) - hệ số hoạt động hóa học; h_i(T) - hệ số hoạt động nhiệt học; g_i - hệ số hiệu ứng của phản ứng pozzolanic; Π_i(r_{mi}) - hệ số hòa tan (biểu diễn khả năng nước có thể tiếp xúc với các hạt khan)

Lưu ý rằng phương trình (3) được viết dưới dạng tổng quát cho từng pha chất khan riêng biệt. Trong trường hợp chỉ có clinker thì i=1, nếu có thêm phụ gia khoáng thêm vào thì tương ứng với từng pha khan cho thêm i=2...n. Các hệ số trong phương trình (3) được xác định như sau

- **Hệ số hoạt động hóa học:**

$$c_i = \frac{V_{An\ diss_i}}{V_W} = \frac{\alpha_i \cdot (m_{An_i} / \rho_{An_i})}{V_W} \quad (4)$$

Trong đó: V_W - thể tích nước ban đầu; m_{An_i} - khối lượng ban đầu của pha khan thứ “i”; ρ_{An_i} -

khối lượng thể tích của pha khan thứ “i”; $V_{Andiss\ i}$ - thể tích của pha khan thứ “i”

• **Hệ số hòa tan:**

$$\Pi_i = \exp(B_i \cdot r_{mi}^{n_i}) \quad (5)$$

Trong đó: B_i và n_i - hệ số của mô hình xác định từ thực nghiệm; r_{mi} - hàm số hòa tan (hay còn gọi là bán kính hòa tan) được xác định bởi nồng độ nước, độ rỗng và nồng độ của các chất là sản phẩm của quá trình hòa tan:

$$r_{mi} = \frac{C_{P\ hydr_i} \cdot (1/\Phi_P)}{C_{P\ anh_i} \cdot W_P} \quad (6)$$

Trong đó: W_P - nồng độ nước trong hồ xi măng; Φ_P - độ rỗng của hồ xi măng:

$$\Phi_P = 1 - \sum_i (C_{P\ hydr_i} + C_{P\ anh_i}) \quad (7)$$

Với $C_{P\ hydr_i}$ và $C_{P\ anh_i}$ Nồng độ thể tích của các chất là sản phẩm của quá trình hòa tan pha khan thứ “i” và nồng độ thể tích của các chất khan thứ “i”:

$$C_{P\ hydr_i} = R_i \cdot \alpha_i \frac{(m_{An_i} / \rho_{An_i})}{V_{paste_{mi}}} \quad C_{P\ anh_i} = R_i \cdot \alpha_i \frac{(m_{An_i} / \rho_{An_i})}{V_{paste_{mi}}} \quad (8)$$

Trong đó: R_i - Tỷ lệ thể tích giữa các chất hòa tan đã tạo ra và các chất khan thứ “i”; V_{paste} - thể tích ban đầu của hồ xi măng (nước + các chất khan)

• **Hệ số hoạt động nhiệt học:**

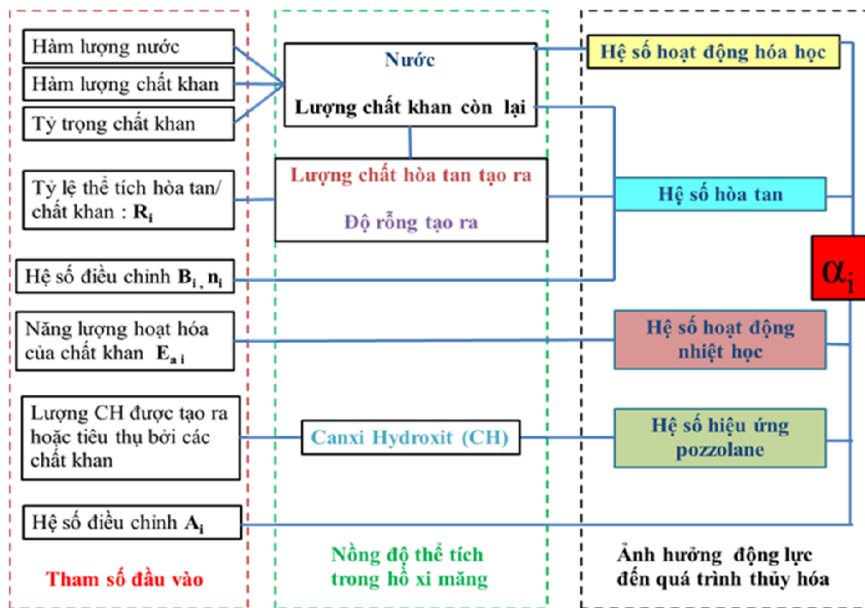
$$h_i = \exp\left(\frac{E_{a_i}}{RT}\right) \quad (9)$$

Trong đó: E_{a_i} - Năng lượng hoạt động của pha khan thứ “i”; R - Hằng số khí lý tưởng (8,314 J/mol.K)

• **Hệ số hiệu ứng của phản ứng pozzolanic:**

$g_i = C_{p\ CH}$ nếu pha khan là các phụ gia khoáng ($C_{p\ CH}$ là nồng độ canxi hydroxit của hồ xi măng)
 $g_i = 1$ nếu pha khan là clinker xi măng

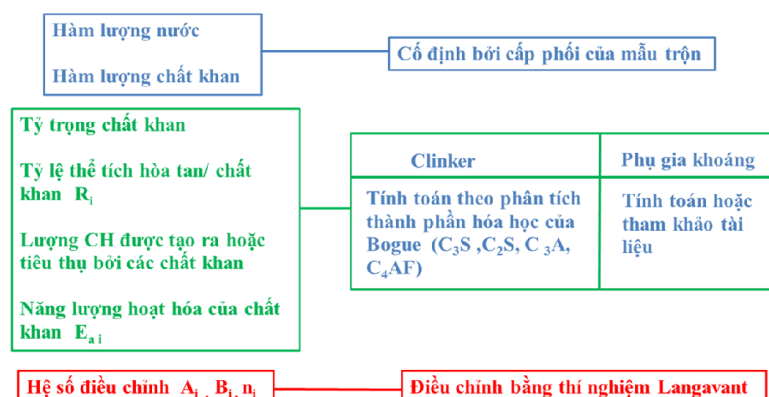
Trong hình vẽ dưới đây, trình bày sơ đồ tổ hợp tính toán các hệ số cũng như tốc độ thủy hóa α_i của mỗi pha khan (Hình 1). Lưu ý rằng tất cả các tham số đầu vào trong mô hình (trừ hàm lượng nước) đều được hiểu là cho từng pha khan riêng biệt thứ “i”.



Hình 1. Sơ đồ mô hình tính toán tốc độ thủy hóa từ các tham số đầu vào

Các bước tổng quát nhằm xác định các tham số đầu vào của mô hình trên (8 tham số) được giới thiệu trong Hình 2. Trong sơ đồ này, việc xác định các hệ số A_i , B_i , n_i được thực hiện thông qua thí nghiệm Langavant

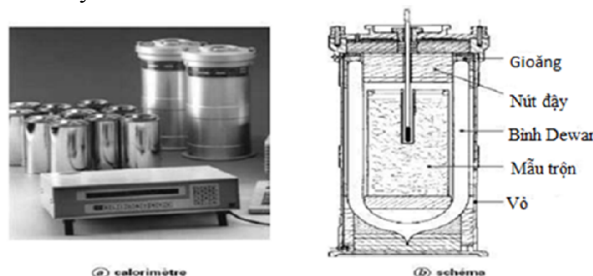
(Lacarrière, 2007), trong khi việc xác định các tham số khác được giới thiệu chi tiết trong (Nguyễn Trọng Dũng, 2008).



Hình 2. Sơ đồ xác định các tham số đầu vào (Nguyễn Trọng Dũng, 2008)

2.4. Thí nghiệm Langavant và cách xác định các hệ số điều chỉnh của mô hình

Phép đo nhiệt lượng (calorimetry) là một phương pháp tương đối đơn giản, dễ thực hiện và là công cụ đắc lực trong việc nghiên cứu quá trình thủy hóa ngay từ những giờ đầu tiên sau khi trộn mẫu (0-72h). Dựa trên các nguyên lý nhiệt động học, việc đo nhiệt lượng tỏa ra được thực hiện theo 1 trong 2 điều kiện sau: điều kiện đoạn nhiệt (adiabatic) hoặc đẳng nhiệt (isothermal). Phương pháp giới thiệu trong bài báo này là một phương pháp kết hợp - phương pháp bán đoạn nhiệt (semi adiabatic) hay còn được gọi là phương pháp Langavant (Lacarrière, 2007). Mẫu trộn với cấp phối được đã biết được đưa vào hộp Langavant (Hình 3) ngay sau khi trộn, sự biến đổi nhiệt độ trong bình sẽ được ghi nhận tự động nhờ vào một thiết bị nối trực tiếp với máy tính và thông qua tính toán cho ta xác định được lượng nhiệt tỏa ra theo thời gian của mẫu. Tùy theo loại xi măng, nhìn chung, nhiệt lượng tỏa ra là từ khoảng 200 – 500 (J)/ 1g xi măng. Phần lớn lượng nhiệt này sẽ được tạo ra trong những giờ đầu tiên, sau đó giảm dần nhưng vẫn duy trì trong thời gian dài đến khi kết thúc quá trình thủy hóa.



Hình 3. Cấu tạo hộp Langavant (Lacarrière, 2007)

Nguyên lý tính toán nhiệt lượng tỏa ra Q_t là nguyên lý áp dụng cho hệ đoạn nhiệt:

$$Q_t = Q_a + Q_d \quad (10)$$

Trong đó : Q_d - Nhiệt thất thoát trong quá trình đo do đoạn nhiệt không hoàn toàn (xác định theo thông số kỹ thuật kèm theo của máy đo); Q_a - Nhiệt tỏa ra mà máy đo được, $Q_a = C_p \cdot \Delta T$ với C_p là nhiệt dung của hệ và ΔT là chênh lệch giữa nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ ở thời điểm đo.

Nhiệt dung của hệ C_p được xác định bởi công thức sau:

$$C_p = C_{p_m} + C_{p_e} \quad (11)$$

Trong đó: C_{p_m} là nhiệt dung của máy đo, được xác định bởi thông số kỹ thuật kèm theo của máy; C_{p_e} là nhiệt dung của mẫu, xác định bởi công thức sau:

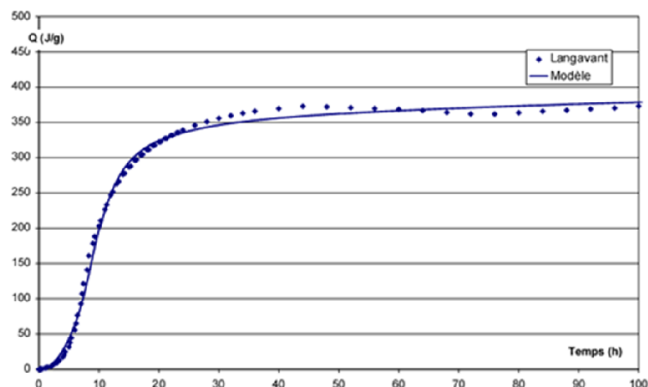
$$C_{p_e} = C_{p_{xi}} \cdot M_{xi} + C_{p_n} \cdot M_n + C_{p_p} \cdot M_p \quad (12)$$

Với: $C_{p_{xi}}$, C_{p_n} , C_{p_p} lần lượt là nhiệt dung riêng của xi măng, nước, phụ gia cho thêm trong mẫu. Trong báo cáo này $C_{p_{xi}} = 0,75 (J/g^\circ C)$, $C_{p_p} = 0,7 (J/g^\circ C)$ và $C_{p_n} = 3,76 (J/g^\circ C)$; M_{xi} , M_n , M_p lần lượt là khối lượng xi măng, nước, phụ gia có trong mẫu (theo cấp phối).

Dựa trên kết quả đo và tính toán như trên, chúng ta có thể xác định nhiệt lượng tỏa ra theo thời gian của

mẫu, và qua đó xác định được mức độ thủy hóa tại từng thời điểm thông qua biểu thức (2).

Các hệ số điều chỉnh của mô hình A_i , B_i và n_i được xác định bằng xấp xỉ hàm trong Excel theo phương pháp bình phương tối thiểu. Chọn các giá trị bất kỳ cho A_i , B_i và n_i và sử dụng các công thức tính toán theo đúng trình tự như trong mục 2.3 để xác định được tốc độ thủy hóa α_i tương ứng. Biết nhiệt lượng tỏa ra sau khi thủy hóa hoàn toàn Q_{max} (đo bằng máy), ta dùng biểu thức (2) để xác định biểu đồ $Q(t)$ theo thời gian. So sánh hai đường biểu diễn nhiệt lượng tỏa ra (tính toán theo mô hình và đo từ thí nghiệm Langavant) và sử dụng phương pháp xấp xỉ hàm để tính A_i , B_i và n_i sao cho sự sai khác giữa 2 đường biểu diễn là nhỏ nhất (Hình 3). Khi sai số nằm trong giới hạn cho phép, giá trị A_i , B_i , n_i nhận được chính là các hệ số điều chỉnh của mô hình (Chi tiết xem trong (Nguyễn Trọng Dũng, 2008)).



Hình 3. Nhiệt lượng tỏa ra theo thời gian sau khi điều chỉnh các hệ số [12]

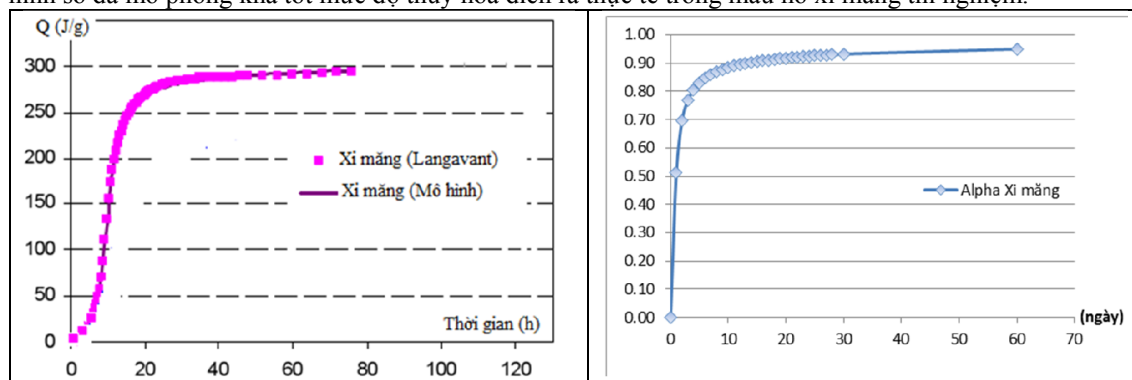
3. Kết quả và thảo luận

Trong báo cáo này, tác giả nghiên cứu mức độ thủy hóa của mẫu hồ xi măng được chế tạo từ xi măng CEM I - 52,5R (Pháp) với tỷ lệ nước/xi măng được chọn là $E/C=0,5$. Thành phần hóa học của loại xi măng này được cho trong Bảng 2 và tỷ lệ phần trăm các hợp chất theo phân tích của Bogue (%) lần lượt là $C_3S=60,75$; $C_2S=12,17$; $C_3A=10,04$ và $C_4AF=6,87$.

Bảng 2. Thành phần hóa học của xi măng CEM I

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
64,66	20,20	5,23	2,26	3,69

Các thông số của mô hình được xác định theo (Lacariere 2007) như sau: $Q_{th}^T = 453,9$ (J/g); $Ea/R = 5669$ (K); $Q_{th}^W = 0,33$ (g/g); $Q_{CH} = 0,27$ (g/g); $R(m^3/m^3) = 1,85$ và $\rho = 3,153$ (g/cm³). Dựa trên kết quả đo nhiệt tỏa ra bằng bình Langavant (xem Hình 4a), sử dụng phương pháp xấp xỉ hàm bình phương tối thiểu ta xác định được các hệ số điều chỉnh của mô hình $A(1/h) = 1,88 \cdot 10^9$; $B = 3,147$ và $n = 0,246$. Sự phát triển mức độ thủy hóa theo tính toán được biểu diễn trong Hình 4b. Có thể thấy tốc độ thủy hóa diễn ra mạnh mẽ trong những giờ đầu tiên sau khi trộn và diễn ra chậm hơn khi mẫu đạt độ tuổi 14 ngày. Sau đó quá trình diễn ra chậm cho đến khi gần như không đổi ở tuổi 28 ngày. Mức độ thủy hóa tối đa đạt gần 95%. Kết quả cho thấy mô hình số đã mô phỏng khá tốt mức độ thủy hóa diễn ra thực tế trong mẫu hồ xi măng thí nghiệm.



(a) So sánh nhiệt lượng tỏa ra giữa mô hình sau khi đã hiệu chỉnh và kết quả thí nghiệm Langavant

(b) Sự phát triển của mức độ thủy hóa theo thời gian của mẫu hồ xi măng

Hình 4. Mức độ thủy hóa của mẫu hồ xi măng CEM I với tỷ lệ nước/xi măng = 0,5.

4. Kết luận

Trong báo cáo, tác giả đã giới thiệu tổng quan về cơ chế thủy hóa clinker xi măng cũng như các phụ gia khoáng hoạt tính trộn thêm. Mức độ thủy hóa các chất kết dính thành phần trong hồ xi măng được xác định nhờ một mô hình số xây dựng dựa trên việc phân tích cơ chế phản ứng và tính toán các tác nhân ảnh hưởng như hệ số hoạt động hóa học, thủy học và nhiệt học. Các hệ số điều chỉnh của mô hình được xác định nhờ phương pháp đo nhiệt lượng tỏa ra trong quá trình thủy hóa bằng thí nghiệm Langavant. Kết quả tính toán dựa trên đo đạc thực nghiệm với mẫu hồ xi măng chế tạo từ xi măng CEM I – 52,5R cho thấy mô hình đã mô phỏng khá tốt mức độ thủy hóa diễn ra trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

- Adenot F., 1992. *Durabilité du béton: caractérisation et modélisation des processus physiques et chimiques de dégradation du ciment*. PhD Thesis, Université d'Orléans, France.
- Avrami M., 1939. Kinetics of Phase Change. I General Theory. *The Journal of Chemical Physics*, Vol 7, Issue 12, pp 1103-1112.
- Bogue R.H., 1952. *La chimie du ciment Portland*. Eyrolles, Paris, 586p.
- Copeland L.E., Kantro D.L., Verbeck G., 1960. Chemistry of hydration of cement. *Proceeding of 4th International Symposium, Chemistry of Cement*, Paper IV-3.
- Gutteridge W.A., Dalziel J.A., 1990a. Filler cement: the effect of the secondary component on the hydration of Portland cement. Part 1. *Cement and Concrete Research*, vol. 20, issue number 5, pp 778-782.
- Gutteridge W.A., Dalziel J.A., 1990b. Filler cement: the effect of the secondary component on the hydration of Portland cement. Part 2. *Cement and Concrete Research*, vol. 20, issue number 6, pp 853-861.
- Humbert P., 1989. CESAR-LCPC: un code de calcul par éléments finis. *Bulletin de liaisons du Laboratoire des Ponts et Chaussées*, vol. 160, Mars-Avril, pp. 112-115.
- Lacarrière L.B., 2007. *Prévision et évaluation de la fissuration précoce des ouvrages en béton*. PhD Thesis, INSA Toulouse, France, 250p.
- Lei Z., 2006. *Caractérisation de l'hydratation des liants composés*. Rapport du stage, LMDC - INSA Toulouse, France.
- Nguyễn Trọng Dũng, 2008. *Evolution des propriétés mécaniques des bétons à base de liants composés au cours de l'hydratation*. Rapport du stage, LMDC - INSA Toulouse, France.
- Roelfstra P.E., Salet T.A.M., 1994. Modelling of heat and moisture transport in hardening concrete. *Thermal cracking in concrete at early age. Rilem proceeding 25*, ISBN 0419187103, pp. 273-281.
- Taylor H.F.W. 1990. *Cement chemistry*. Academic Press, London, 475p. ISBN 012683900X.
- Vernet C., 1994. *Pour une nouvelle approche de la structure des silicates de calcium hydrates (C-S-H) des ciments*. Séminaires des Laboratoires des Ponts et Chaussée (LPC), France.
- Waller V., 1999. *Relations entre composition des bétons, exothermie en cours de prise et résistance en compression*. PhD Thesis, ENPC Paris, France, 297p.

ABSTRACT

Modeling of hydration degree of adhesive compositions in cement paste

Nguyen Trong Dung¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology

The evolution of the mechanical properties of concrete from the early depends strongly on the hydration process of the adhesive compositions as well as the admixed mineral in cement paste. However, the estimation of hydration degree of these adhesive compositions during the hardening process of cement paste is difficult due to the complex physico-chemical mechanism at the molecular level. In this report, the author introduces a numerical model which allows to determine the hydration degree of the adhesive compositions in cement paste by analyzing the reaction mechanism and measuring heat generated during the hydration process of experimental specimen.

Keywords: modeling; hydration; binder components; cement paste.