

# **ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG TRO BAY THAY THẾ XI MĂNG VÀ QUY TRÌNH DƯỠNG HỘ NHIỆT ẤM ĐẾN MỨC ĐỘ PHẢN ỨNG POZZOLANIC CỦA HỆ XI MĂNG - TRO BAY**

**ThS. NGUYỄN LÊ THI**

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3

*Tóm tắt: Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để xác định tương quan giữa mức độ phản ứng pozzolaníc (d.o.p) của tro bay với hàm lượng tro bay thay thế xi măng, nhiệt độ dưỡng hộ lớn nhất và thời gian đẳng nhiệt của quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm. D.o.p được xác định bằng phương pháp hòa tan chọn lọc. Kết quả cho thấy d.o.p tăng theo thời gian và ở mỗi độ tuổi xác định, d.o.p sẽ tăng khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng giảm, nhiệt độ dưỡng hộ lớn nhất tăng và hầu như không phụ thuộc vào thời gian đẳng nhiệt. Dưỡng hộ nhiệt ẩm làm tăng nhanh d.o.p của mẫu so với dưỡng hộ thông thường ở giai đoạn đầu nhưng giảm dần ảnh hưởng sau 28 ngày tuổi. Sau 1,5 năm tuổi vẫn còn hơn 60% lượng tro bay chưa tham gia phản ứng và không có khác biệt đáng kể giữa d.o.p của mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm và mẫu đối chứng tương ứng.*

*Từ khóa: dưỡng hộ nhiệt ẩm, tro bay, đá xi măng, phản ứng pozzolaníc, hòa tan chọn lọc.*

*Abstract: Experimental planning was applied to determine the relationship between the degree of pozzolaníc reaction (d.o.p) of fly ash with the fly ash-cement replacement content, maximum curing temperature, and isothermal time of steam curing. D.o.p was determined with the selective dissolution method. The results showed that the d.o.p of fly ash increased with time and at each age determined, d.o.p increased as fly ash replacement cement content decreased, maximum curing temperature increased and almost did not depend on isothermal*

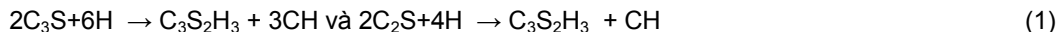
*time. Steam curing accelerates d.o.p of the sample compared to the normal condition in the early ages but reduces its effectiveness after 28 days. After 1.5 years, more than 60% of fly ash was still nonreactive and there was no significant difference of d.o.p between the steam curing samples and the control samples.*

*Keywords: steam curing, fly ash, cement paste, pozzolaníc reaction, selective dissolution.*

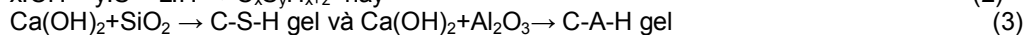
## **1. Giới thiệu**

Khi sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng sẽ ảnh hưởng đến quá trình và sản phẩm thủy hóa của hồ xi măng thông qua phản ứng pozzolaníc, là phản ứng giữa silica hoạt tính và Ca(OH)<sub>2</sub> trong xi măng với nước để hình thành chuỗi C-H-S. Đây là phản ứng quan trọng nhất của hỗn hợp xi măng - tro bay. Ngoài ra hàm lượng nhôm trong tro bay khá cao cũng giúp hình thành các sản phẩm thủy hóa khác như canxi aluminat hydrate C<sub>4</sub>AH<sub>19</sub>, gehlenite hydrate C<sub>2</sub>ASH<sub>8</sub>, ettringite và canxi monosulfat aluminat. Phản ứng thủy hóa xảy ra tùy thuộc nồng độ các ion canxi, alkali, sunphat và aluminat trong dung dịch chứa tro bay và xi măng. Như vậy, có hai phản ứng hóa học quan trọng trong xi măng chứa tro bay, như được mô tả dưới đây:

- Phản ứng thủy hóa: hay “phản ứng hydrat hóa” là do thành phần chính của xi măng pooc lăng (C<sub>3</sub>S và C<sub>2</sub>S) có phản ứng hóa học với nước pha trộn, thể hiện bởi phương trình sau [1]:



- Phản ứng pozzolaníc: Tiếp sau phản ứng thủy hóa, phản ứng pozzolaníc sẽ xảy ra do phản ứng hóa học giữa silica oxide (SiO<sub>2</sub>) và calcium hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) tạo ra calcium silicate hydrate theo phương trình sau [2, 3, 4]:

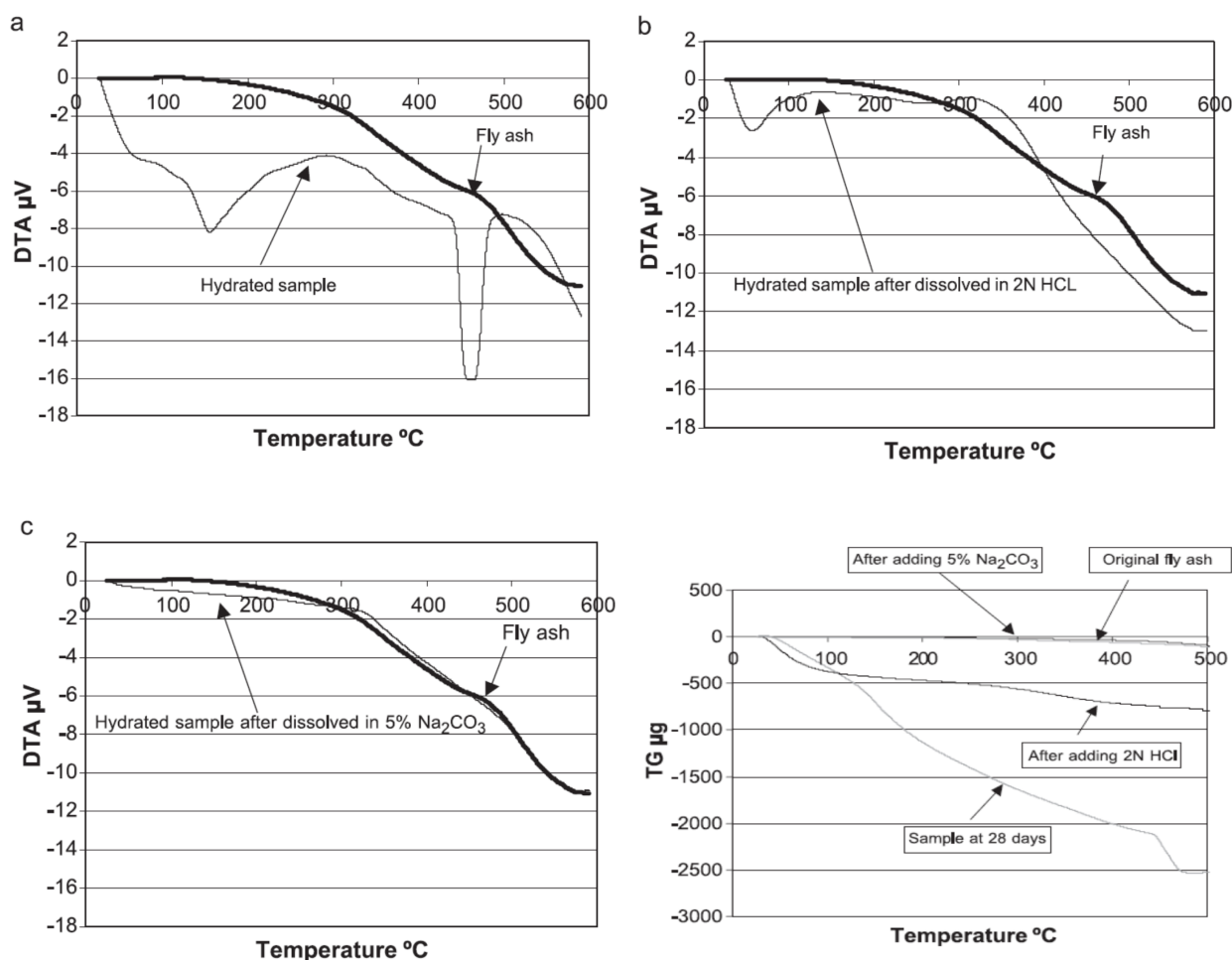


Những nghiên cứu liên quan đến cơ chế phản ứng thủy hóa của xi măng và xi măng chứa

tro bay được thực hiện từ rất sớm nhưng phần nghiên cứu định lượng d.o.p chỉ mới tiến hành

những năm gần đây. Takashima [5], Li và Roy [6] ghi nhận rằng lượng tro bay không phản ứng trong hỗn hợp tro bay-xi măng đã đóng rắn có thể được tách thành công bằng dung dịch methanol axit picric và tiếp theo là thêm nước cất vào. Ohsawa và cộng sự [7] cũng xác định d.o.p khi cùng tồn tại trong dung dịch  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  và  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Tuy nhiên, báo cáo gần đây của Ohsawa [8] cho thấy dung dịch methanol acid picric không có khả năng hòa tan hoàn toàn phần xi măng không phản ứng. Do đó, ông đề xuất một phương pháp hòa tan có chọn lọc bằng cách sử dụng HCl và  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  [7]. Nghiên cứu của Pipat Termkhajornkit và các cộng sự [9] đã kiểm chứng lại đề xuất của Ohsawa thông qua phân tích DTA và TG để xác định thành phần từng giai đoạn khi hòa tan bằng

dung dịch HCl và  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Kết quả phân tích nhiệt vi sai ở hình 1 (a, b, c) cho thấy sau khi dung dịch HCl 2N được thêm vào, các đỉnh nhiệt độ ở 470, 120 và 160 °C biến mất (hình 1b). Sau khi dung dịch  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5% được thêm vào, đường cong DTA trở nên rất giống với đường tro bay 100% (hình 1c). Phân tích nhiệt khối lượng ở hình 1d. cho thấy sau khi mẫu được hòa tan với HCl 2N và 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , đường cong TG của mẫu chiết còn lại gần bằng với tro bay 100%. Kết quả dữ liệu nghiên cứu còn cho thấy một phần nhỏ tro bay bị hòa tan. Nguyên nhân là do một số thành phần của tro bay, chẳng hạn như CaO và MgO, cũng được hòa tan bằng HCl 2N. Do đó, hiệu ứng này cần được xem xét trong việc tính toán mức độ phản ứng pozzolanic của tro bay.



Hình 1. Kiểm chứng mức độ hòa tan của mẫu bằng phương pháp DTA & TG

Nghiên cứu này đã lựa chọn phương pháp hòa tan chọn lọc để định lượng d.o.p. Tiến hành định lượng d.o.p như sau: Cân khoảng 1 g bột đá xi măng đã thủy hóa được hòa tan trong 30 cm<sup>3</sup> dung dịch axit HCl 2N ở 60 °C trong 15 phút. Để thúc đẩy nhanh phản ứng, sử dụng ống ly tâm và thường xuyên khuấy dung dịch bằng đũa thủy tinh. Phần dung dịch được trích ra bằng thiết bị ly tâm 4000 vòng/phút trong 30 giây. Axit HCl 2N đã được thêm vào mục đích là hòa tan ion Ca<sup>2+</sup> từ xi măng chưa thủy hóa và các sản phẩm đã thủy hóa như Ca(OH)<sub>2</sub>, ettringite and monosulfate, để còn lại bao gồm gel SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> và tro bay chưa phản ứng. Phần không hòa tan còn lại trong ống ly tâm được rửa bằng nước nóng 3 lần để làm sạch HCl trước khi nó được hòa tan thêm trong 30 cm<sup>3</sup> dung dịch bazơ 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ở 80 °C trong 20 phút. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 5% được thêm vào nhằm để hòa tan gel SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> và Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cuối cùng, chỉ có tro bay chưa phản ứng còn sót lại. Phần còn lại này được ly tâm trong vòng 30 giây và cuối cùng được rửa lại bằng nước nóng khoảng 60 °C 3 lần. Sau đó đem cả phần giấy lọc có chứa cặn không tan đi sấy khô

ở 105°C trong 4 giờ rồi đem nung ở nhiệt độ tăng dần từ 300°C, 450 °C và sau đó duy trì ở 950 °C trong 2 h. Thực tế, bản thân tro bay cũng bị hòa tan một phần trong quá trình trên do phản ứng của các oxyt CaO, MgO với dung dịch HCl 2N. Do vậy, d.o.p của tro bay được tính từ phần lượng của tro bay chưa phản ứng theo công thức sau [10]:

$$d.o.p = 100 \times [1 - (S_s - P_c S_c) / P_f S_f], \% \quad (4)$$

trong đó: S<sub>s</sub> - phần cặn không tan của mẫu thử; S<sub>c</sub> - cặn không tan của mẫu xi măng đã thủy hóa không chứa tro bay; S<sub>f</sub> - cặn không tan của mẫu tro bay và P<sub>c</sub>, P<sub>f</sub> - phần trăm lượng xi măng, tro bay có trong mẫu.

**2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu**

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: Xi măng poóc lăng OPC (X), ASTM C150, type I, Nghi Sơn; Tro bay (F), ASTM C 618, class F, Formosa; Nước cất. Các vật liệu này có tính chất cơ lý và thành phần hóa học phù hợp với tiêu chuẩn kỹ thuật tương ứng theo ASTM. Thành phần hóa học và thành phần khoáng của xi măng poóc lăng cho ở bảng 1.

**Bảng 1. Thành phần hóa học, thành phần khoáng của xi măng và tro bay**

Thành phần hóa học			Thành phần khoáng		
Chỉ tiêu	OPC	Tro bay	Chỉ tiêu	OPC	Tro bay
MKN	1,90	2,22	C <sub>3</sub> S	44,9	-
SiO <sub>2</sub>	22,35	50,03	C <sub>2</sub> S	19,1	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,57	26,38	C <sub>3</sub> A	9,0	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,41	10,82	C <sub>4</sub> AF	10,4	-
CaO	61,53	2,60	Mulite	-	5,6
MgO	2,22	2,23	Magnetite	-	0,8
SO <sub>3</sub>	2,77	0,49	Hematite	-	0,2
K <sub>2</sub> O	0,89	2,13	Rutile	-	0,1
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,80	Glass content	-	85,23

Thành phần cấp phối hồ xi măng được thiết kế tham khảo theo ASTM C109 [11] dựa trên nguyên tắc mẫu có độ dẻo tiêu chuẩn [12] và giữ nguyên tỉ lệ N/CKD = 0.28 ở tất cả các cấp phối. Sử dụng tỉ lệ tro bay thay thế xi măng cơ bản từ 20% đến 50%. Thành phần cấp phối được cho ở bảng 2.

**Bảng 2. Thành phần cấp phối hồ xi măng**

Ký hiệu cấp phối	Thành phần vật liệu cho mẻ trộn. g					N/CKD
	X	F	C <sub>TC</sub>	N	Tỉ lệ F thay thế X. %	
X0	450	0	0	126	0	0,28
X1	225	225	0	126	50,0	0,28
X2	360	90	0	126	20,0	0,28
X3	292,5	157,5	0	126	35,0	0,28
X4	210,6	239,4	0	126	53,2	0,28
X5	374,4	75,6	0	126	16,8	0,28

Quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm áp dụng quy hoạch thực nghiệm dùng trong nghiên cứu cho như bảng 3. Trong đó, thời gian chờ được cố định là 4 giờ; tốc độ tăng/giảm nhiệt được khống chế nhỏ hơn 25°C/h. Các biến cần nghiên cứu là nhiệt độ tối đa và thời gian duy trì đẳng nhiệt ở nhiệt độ tối đa.

## BÊ TÔNG - VẬT LIỆU XÂY DỰNG

**Bảng 3.** Quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm dùng trong nghiên cứu

Giai đoạn	Chờ đông kết	Tăng nhiệt		Đẳng nhiệt $T_{max}$	Giảm nhiệt	
		Giai đoạn 1	Giai đoạn 2		Giai đoạn 1	Giai đoạn 2
Thời gian. h	4	1	2	2→6	2	-
Nhiệt độ. °C	MT	MT → 40	40 → $T_{max}$	52; 55; 70; 85; 88	$T_{max}$ → 40	40 → MT

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố trong quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm (nhiệt độ tối đa; thời gian duy trì đẳng nhiệt ở nhiệt độ tối đa) và hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến sự phát triển cường độ của đá xi măng theo thời gian. Các yếu tố ảnh hưởng đến thông số cường độ nén là:

- $Z_1$  - tỉ lệ tro bay thay thế xi măng, biến thiên từ (20 – 50) %. Tương ứng giá trị mã hóa là  $x_1$ , biến thiên từ (-1; +1);

$$y' = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{k-1,k}x_{k-1}x_k + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{kk}x_k^2 \quad (5)$$

Thực nghiệm được thực hiện là thực nghiệm các yếu tố toàn phần TYP với số lượng mẫu:  $2^3+6+1=15$  mẫu. Trong đó có 8 thí nghiệm nhân phương án, bổ sung 2k điểm sao (\*) và 1 thí nghiệm ở tâm phương án [13]. Ngoài ra, còn thí nghiệm thêm 2 thí nghiệm ở tâm phương án và 1 thí nghiệm trên mẫu không sử dụng tro bay thay thế xi măng. Ma trận quy hoạch thực nghiệm tham khảo ở bảng 4.2 – Ma trận quy hoạch cấu trúc có tâm cấp hai, ba yếu tố [13].

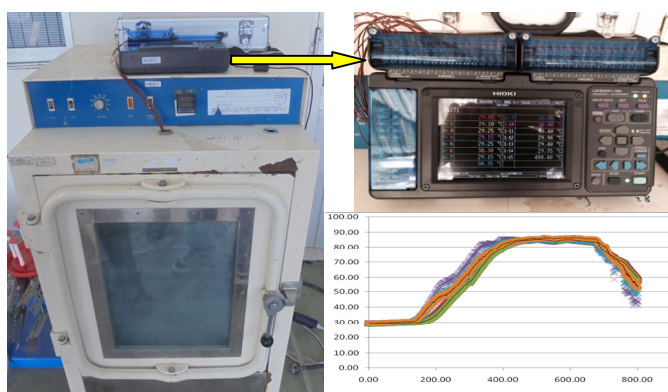
Mẫu hồ xi măng sau khi đúc được đặt ổn định trong phòng thí nghiệm ở  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$  theo đúng thời gian chờ cố định là 4 giờ trước khi cho vào tủ dưỡng hộ nhiệt. Các tấm thép được đặt lên mặt mẫu ngay sau khi đúc, được cố định trong suốt quá trình dưỡng hộ nhằm tránh mất nước và tránh hơi

- $Z_2$  - nhiệt độ bảo dưỡng tối đa, biến thiên từ (55 - 85) °C. Tương ứng giá trị mã hóa là  $x_2$ , biến thiên từ (-1; +1);
- $Z_3$  - thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa, biến thiên từ (2 - 6) h. Tương ứng giá trị mã hóa là  $x_3$ , biến thiên từ (-1; +1).

Mô hình được lựa chọn để nghiên cứu là mô hình trực giao, bậc 2 có tâm, 3 yếu tố:

nước tiếp xúc trực tiếp với bề mặt mẫu xi măng. Nhiệt độ tủ dưỡng hộ được điều khiển thông qua thay đổi điện trở đốt nóng và lưu lượng nước luân chuyển để làm mát trong quá trình tăng và giảm nhiệt. Nhiệt độ tủ dưỡng hộ được theo dõi bằng các đầu cảm biến nhiệt có khả năng đọc đến  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , được đặt tại 3 vị trí trước, sau và giữa tủ tại các vị trí đặt mẫu. Ngoài ra, còn có các đầu cảm biến nhiệt độ đặt tại tâm các mẫu đại diện để đo nhiệt độ trong mẫu xi măng. Tất cả các đầu cảm biến nhiệt độ này đều được theo dõi và ghi nhận tự động 1 phút/ lần.

Thiết bị theo dõi và ghi nhận nhiệt độ môi trường, nhiệt độ mẫu thử trong quá trình dưỡng hộ nhiệt ẩm dùng trong nghiên cứu - HIOKI có thang đo đến  $250^\circ\text{C}$ , 24 kênh, có khả năng đọc đến  $0,01^\circ\text{C}$  được mô tả như ở hình 2 và hình 3.



**Hình 2.** Tủ dưỡng hộ nhiệt ẩm và thiết bị theo dõi nhiệt độ



**Hình 3.** Mẫu được bảo dưỡng nhiệt ẩm

## BÊ TÔNG - VẬT LIỆU XÂY DỰNG

Mẫu đá xi măng sau khi thử nén xong sẽ được ngăn chặn quá trình thủy hóa tiếp tục của hồ xi măng bằng cách nghiền mẫu thành hạt mịn có kích thước hạt khoảng (3 – 5) mm và ngâm phần mẫu này vào dung dịch acetone trong 24h. Sau đó, đem sấy khô ở nhiệt độ 40°C trong 3h rồi đặt mẫu trong bình hút ẩm trong thời gian 2 ngày. Mẫu này sẽ tiếp tục nghiền mịn đến khi lọt qua sàng 0,075 mm và dùng để thí nghiệm định lượng phản ứng pozzolaníc.

### 3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

a) Ma trận quy hoạch thực nghiệm:

- Ma trận quy hoạch thực nghiệm và kết quả cho ở bảng 4 như sau:
- + Các thí nghiệm từ 1-8 ở nhân phương án theo ma trận quy hoạch thực nghiệm. Các thí nghiệm 9-14 là thí nghiệm cánh tay tròn (\*);

- + Thí nghiệm 15 là thí nghiệm ở tâm và thí nghiệm 17, 18 là thí nghiệm bổ sung ở tâm phương án để xác định phương sai tái hiện;
- + Thí nghiệm 16 là thí nghiệm đối chứng trên mẫu không sử dụng tro bay.
- Độ phản ứng pozzolaníc được tính toán từ kết quả thử nghiệm tại các độ tuổi: 1 ngày, 28 ngày, 1 năm và 1,5 năm tuổi. Trong đó:
  - +  $y$  - Giá trị d.o.p theo thực nghiệm ở các chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm, %;
  - +  $y'$  - Giá trị d.o.p theo tính toán từ phương trình hồi quy, %;
  - +  $y_{27}$  - Giá trị d.o.p theo thực nghiệm ở chế độ dưỡng hộ ở nhiệt độ (27±2)°C, %;
  - +  $y_1, y_{28}, y_{365}, y_{545}$  và  $y'_1, y'_{28}, y'_{365}, y'_{545}$  lần lượt là giá trị thực nghiệm và giá trị tính toán của d.o.p ở 1, 28, 365 và 545 ngày tuổi.

**Bảng 4. Ma trận quy hoạch thực nghiệm - d.o.p**

TT	Ký hiệu mẫu	Giá trị mã hóa			Giá trị thực			Kết quả d.o.p, %			
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$y_1$	$y_{28}$	$y_{365}$	$y_{545}$
1	X1856	+	+	+	50	85	6	14.7	21.3	26.1	29.3
2	X2856	-	+	+	20	85	6	18.5	26.5	31.9	33.9
3	X1556	+	-	+	50	55	6	13.9	20.3	24.5	27.7
4	X2556	-	-	+	20	55	6	16.5	24.5	29.2	31.9
5	X1852	+	+	-	50	85	2	14.4	20.8	25.3	28.5
6	X2852	-	+	-	20	85	2	17.9	25.9	31.2	33.2
7	X1552	+	-	-	50	55	2	13.3	18.9	23.2	26.9
8	X2552	-	-	-	20	55	2	15.9	22.5	28.5	29.9
9	X4704	+1.215	0	0	53.2	70	4	11.7	17.8	21.3	24.8
10	X5704	- 1.215	0	0	16.8	70	4	20.6	27.7	34.9	37.3
11	X3884	0	+1.215	0	35	88	4	16.3	23.2	28.5	30.1
12	X3524	0	- 1.215	0	35	52	4	15.2	21.7	26.2	28.9
13	X3706	0	0	+1.215	35	70	6.4	16.0	22.4	27.4	29.3
14	X3702	0	0	- 1.215	35	70	1.6	14.8	21.7	28.2	28.9
15	X3704	0	0	0	35	70	4	15.6	22.1	27.0	29.7
16	X0704				0	70	4	3.6	-	-	-
17	X3704	0	0	0	35	70	4	15.6	22.5	26.6	28.6
18	X3704	0	0	0	35	70	4	15.9	21.6	27.4	30.8

b) Biểu diễn kết quả thực nghiệm

- Phương trình hồi quy từ thực nghiệm có dạng:

$$y' = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}(x_1^2 - 0.73) + b_{22}(x_2^2 - 0.73) + b_{33}(x_3^2 - 0.73) + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$$

## BÊ TÔNG - VẬT LIỆU XÂY DỰNG

- Giải hệ phương trình trên ta được các phương trình hồi quy tương thích với thực nghiệm của d.o.p ở 1 ngày, 28 ngày, 1 năm (365 ngày) và 1,5 năm tuổi (545 ngày) như sau:

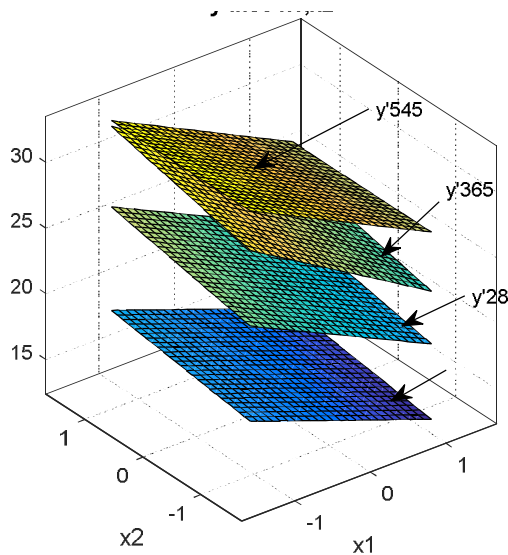
$$y'_1 = 15,69 - 2,13x_1 + 0,66x_2 \quad (6)$$

$$y'_{28} = 22,49 - 2,76x_1 + 0,92x_2 \quad (7)$$

$$y'_{365} = 27,56 - 3,48x_1 + 1,08x_2 \quad (8)$$

$$y'_{545} = 30,01 - 2,87x_1 \quad (9)$$

- Chuyển đổi các biến mã hóa  $x_i$  sang biến thực  $Z_i$ , ta có các phương trình hồi quy cho d.o.p ở các độ tuổi tương ứng như sau:



Hình 4. Biểu đồ 3D biểu diễn d.o.p

$$d.o.p'_1 = 17,58 - 0,142Z_1 + 0,044Z_2 \quad (10)$$

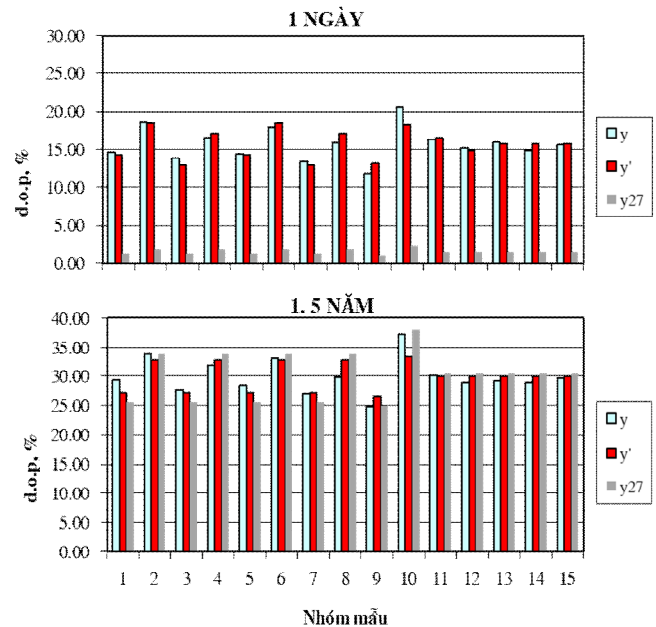
$$d.o.p'_{28} = 24,64 - 0,184Z_1 + 0,061Z_2 \quad (11)$$

$$d.o.p'_{365} = 30,64 - 0,232Z_1 + 0,072Z_2 \quad (12)$$

$$d.o.p'_{545} = 36,80 - 0,191Z_1 \quad (13)$$

- Biểu đồ 3D biểu diễn d.o.p với các biến mã hóa  $x_1, x_2$  ở các độ tuổi cho ở hình 4;

- Biểu đồ cột so sánh d.o.p ở 1 ngày và 1,5 năm tuổi giữa giá trị thực nghiệm, giá trị tính toán ở chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm và mẫu đối chứng cho ở hình 5.



Hình 5. Biểu đồ cột so sánh d.o.p ở 1 ngày & 1,5 năm

### c) Bàn luận kết quả thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm d.o.p và các phương trình hồi quy (6), (7), (8) và (9) cho thấy, đối với mẫu được dưỡng hộ nhiệt ẩm:

- Ở 1 ngày, 28 ngày và 1 năm tuổi, d.o.p phụ thuộc vào các tham số  $x_1, x_2$ ; ở 1,5 năm tuổi, d.o.p chỉ phụ thuộc vào các tham số  $x_1$ ;
- Giá trị d.o.p nghịch biến với  $x_1$  và đồng biến với  $x_2$  và không phụ thuộc vào  $x_3$ . Tức là hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng thấp và nhiệt độ dưỡng hộ càng cao thì giá trị d.o.p càng cao;
- Giá trị d.o.p sau 1 ngày tuổi của mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm là cao hơn nhiều so với giá trị tương ứng sau 28 ngày tuổi của mẫu đối

chứng. D.o.p sau 28 ngày tuổi của mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm xấp xỉ với giá trị tương ứng sau 1 năm tuổi của mẫu đối chứng. Sau 1,5 năm tuổi thì không có khác biệt đáng kể giữa d.o.p của mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm và mẫu đối chứng tương ứng;

- Sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm và tiếp tục dưỡng hộ trong môi trường ẩm 1,5 năm thì vẫn còn hơn 60% lượng tro bay chưa tham gia phản ứng pozzolanic.

So sánh với kết quả nghiên cứu của C.S. Poon. L. Lam. Y.L. Wong [14], ứng với N/CKD = 0.24, hàm lượng tro bay thay thế xi măng là 25 % và 45 % thì: d.o.p ở 7, 28 và 90 ngày lần lượt là 5,7%, 13,9%, 22,6% và 5,3%, 12,8%, 16,5% cho thấy có hơn 80%

tro bay chưa phản ứng ở tuổi 90 ngày khi dưỡng hộ ở điều kiện thông thường.

So sánh với kết quả nghiên cứu của Etsuo Sakai và các cộng sự [15], ứng với hai loại tro bay F và F' có tỉ lệ thay thế xi măng từ (20 – 60) % trong điều kiện dưỡng hộ ở nhiệt độ thường thì d.o.p hầu như bằng không ở 7 ngày tuổi, tăng từ (2 – 5) % ở 28 ngày tuổi lên (10 – 25) % ở 180 ngày tuổi và tăng lên (12 – 27) % ở 360 ngày tuổi.

So sánh với kết quả nghiên cứu của Mongkhon Narmluk và Toyoharu Nawa [16], cho thấy d.o.p ở 2160 giờ hay 90 ngày ứng với nhiệt độ bảo dưỡng ở 20 °C, 35 °C, 50 °C lần lượt là 22%, 37%, 43% khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng là 25 % (theo thể tích và tích) và 15%, 23%, 27% khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng là 50 %. Đồng thời, nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng khi tăng nhiệt độ dưỡng hộ từ 20°C lên 50°C thì d.p.p tăng lên dẫn đến thời gian tương ứng giảm từ 28 ngày xuống còn 12 giờ. Các kết quả thực nghiệm nêu trên cũng hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu của Qiang Wang, Jingjing Feng, Peiyu Yan [17] cho rằng có hơn 72,7% tro bay còn lại, chưa phản ứng sau 4 năm khi dưỡng hộ ở điều kiện thông thường.

Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng trong hệ xi măng – tro bay, khi hàm lượng tro bay tăng lên, lượng xi măng pooc lăng sẽ giảm, dẫn đến lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sẽ giảm tương ứng sau phản ứng thủy hóa. Mặc dù lượng  $\text{SiO}_2$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tăng nhưng vì  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  giảm nên theo phương trình (3), d.o.p sẽ giảm khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng tăng. Ngoài ra, do phản ứng pozzolanic diễn ra khá chậm, tiếp theo sau phản ứng thủy hóa nên trong khoảng thời gian đẳng nhiệt nghiên cứu từ (2 – 6) h, có biến thiên không nhiều, dẫn đến d.o.p hầu như chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ bảo dưỡng tối đa mà không phụ thuộc vào thời gian đẳng nhiệt ở nhiệt độ này.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu, có thể rút ra các kết luận và kiến nghị như sau:

a) Dưỡng hộ nhiệt ẩm làm gia tăng mức độ phản ứng pozzolanic của tro bay so với mẫu đối chứng tương ứng dưỡng hộ ở điều kiện thông thường. Hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng thấp và nhiệt độ dưỡng hộ càng cao thì

mức độ phản ứng pozzolanic của tro bay càng nhanh.

- b) Dưỡng hộ nhiệt ẩm làm tăng mức độ phản ứng pozzolanic so với dưỡng hộ thông thường ở giai đoạn đầu nhưng giảm dần ảnh hưởng sau 28 ngày tuổi. Sau 1,5 năm tuổi thì không có khác biệt đáng kể về độ phản ứng pozzolanic giữa mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm và mẫu đối chứng tương ứng.
- c) Mẫu dưỡng hộ nhiệt ẩm và tiếp tục dưỡng hộ trong môi trường ẩm thì sau 1,5 năm, vẫn còn hơn 60% lượng tro bay chưa tham gia phản ứng pozzolanic.
- d) Kiến nghị trong các nghiên cứu tiếp theo, nên thiết lập tương quan giữa đặc điểm cấu trúc, cường độ và mức độ phản ứng pozzolanic của tro bay trong hệ xi măng poóc lăng – tro bay.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

1. H.F.W. Taylor (1990). *Cement Chemistry*. Academic Press, London.
2. Verbeck, G.J., and Helmuth R.A (1968). Structures and physical properties of cement paste. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Symp. On the Chemistry of Cement, Tokyo, Vol. 3*, pp. 1-32.
3. Marsh B.K., Day R.L (1988). Pozzolanic and cementitious reactions of fly ash in blended cement pastest, *Cement and Concrete Research* 18(2), pp. 301-302.
4. Pietersen, H. S., (1993), Reactivity of fly ash and slag in cement. *PhD. Thesis Delft University of Technology*
5. S. Takashima, Sem. Gijutsu Nempo, 11, 188, 1957, JCEA Review. 11th Gen. Mtg., pp. 45 (1957).
6. S. Li. D.M. Roy. A. Kumer (1985). Quantitative determination of pozzolanans in hydrated system of cement or  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  with fly ash or silica fume. *Cement Concrete Res.* 15, 1079 – 1086.
7. S. Ohsawa, K. Asaga, S. Goto, M. Daimon (1985), Quantitative determination of fly ash in the hydrated fly ash– $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – $\text{Ca}(\text{OH})_2$  system, *Cement Concrete Res.* 15, pp. 357–366.

8. S. Ohsawa, E. Sakai, M. Daimon (1999), Reaction ratio of fly ash in the hydration of fly ash–cement system, *Science Technology Cement Concrete* 53, pp. 96– 101.
9. Pipat Termkhajornkita, Toyoharu Nawaa, Masashi Nakaib, Toshiki Saito (2005), Effect of fly ash on autogenous shrinkage. *Cement and Concrete Research* 35, pp. 473–482.
10. Ya Mei Zhang. Wei Sun. Han Dong Yan (2000). Hydration of high-volume fly ash cement pastes. *Cement & Concrete Composites* 22. pp 445–452.
11. ASTM C 109/ 109M. Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens), *ASTM Book of Standards Volume: 04.01*.
12. Lea. F.M (1971). The Chemistry of Cement and Concrete. *Chemical Publishing Company. N.Y., page 544*.
13. Nguyễn Cảnh (2011). Quy hoạch thực nghiệm. *Nhà Xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh*.
14. C.S. Poon. L. Lam. Y.L. Wong (2000). A study on high strength concrete prepared with large volumes of low calcium fly ash. *Cement and Concrete Research* 30, 447 – 455.
15. E. Sakai. S. Miyahara. S. Ohsawa. S. H. Lee. and M. Daimon (2005). Hydration of fly ash cement. *Cement and Concrete Research. vol. 35., pp. 1135-1140*.
16. Mongkhon Narmluk and Toyoharu Nawa (2014). Effect of Curing Temperature on Pozzolanic Reaction of Fly Ash in Blended Cement Paste. *International Journal of Chemical Engineering and Applications. Vol. 5. No. 1. February*.
17. Qiang Wang. Jingjing Feng. Peiyu Yan (2012). The microstructure of 4-year-old hardened cement-fly ash paste. *Construction and Building Materials* 29, pp 114–119.

**Ngày nhận bài: 13/7/2018.**

**Ngày nhận bài sửa lần cuối: 22/8/2018.**