



A THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF BINDERS IN SELF-COMPACTING CONCRETE MANUFACTURED UNDER CONDITIONS OF HOT WEATHER

Le Vinh An

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 22/03/2023

Revised: 12/04/2023

Accepted: 14/04/2023

Published online: 15/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.7>

* *Corresponding author*

Email: levinhan@utc.edu.vn; Tel: +84888681018

Abstract. Recent studies show that the strength of self-consolidating concrete is less adversely affected when fabricated and cured in hot weather than conventional concrete. This difference may be due to the difference of the binder composition used in the two types of concrete. This paper describes an experimental investigation by thermogravimetric analysis (TGA, DTG) of the hydration of binder paste for self-consolidating concrete (SCC) produced and cured in conditions simulating hot weather. The corresponding binder samples in the SCC series are designed as a combination of Portland cement and limestone powder fine filler. The superplasticizer used is a polycarboxylate base type. Different from the study results for conventional vibrating concrete tested under the same conditions, the SCC series in this study showed that compressive strength increased not only at 1 day of age, but also maintained or increased at 7 and 28 days of age. The compressive strength evolution of the SCC series was correlated with the results of the thermogravimetric analysis of the binder samples.

Keywords: binder paste; self-consolidating concrete; hot weather; thermogravimetric analysis.



PHÂN TÍCH NHIỆT TRỌNG LƯỢNG CỦA CHẤT KẾT DÍNH TRONG BÊ TÔNG TỰ ĐẦM ĐƯỢC CHẾ TẠO TRONG ĐIỀU KIỆN THỜI TIẾT NÓNG

Lê Vĩnh An

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 22/03/2023

Ngày nhận bài sửa: 12/04/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/04/2023

Ngày xuất bản Online: 15/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.7>

* Tác giả liên hệ

Email: levinhan@utc.edu.vn; Tel: +84888681018

Tóm tắt. Các nghiên cứu gần đây cho thấy cường độ của bê tông tự đầm ít bị ảnh hưởng bất lợi khi được chế tạo và bảo dưỡng trong điều kiện thời tiết nóng so với bê tông truyền thống. Sự khác nhau này có thể do sự khác biệt về thành phần chất kết dính được sử dụng trong hai loại bê tông. Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm thông qua phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA, DTG) để đánh giá quá trình thủy hóa của chất kết dính trong bê tông tự đầm được chế tạo và bảo dưỡng trong điều kiện mô phỏng thời tiết nóng. Các mẫu chất kết dính tương ứng trong các mẫu bê tông tự đầm được thiết kế là sự kết hợp giữa xi măng Pooclang với chất độn mịn bột đá vôi. Phụ gia siêu dẻo sử dụng là loại gốc polycarboxylate. Khác với kết quả nghiên cứu đối với bê tông đầm rung thông thường được thí nghiệm trong cùng điều kiện, các mẫu bê tông tự đầm trong nghiên cứu này cho thấy cường độ nén tăng lên không chỉ ở 1 ngày tuổi mà còn duy trì hoặc tăng lên ở 7 và 28 ngày tuổi. Sự tiến triển cường độ nén của các mẫu bê tông tự đầm đã được liên hệ với các kết quả phân tích nhiệt trọng lượng của các mẫu chất kết dính.

Từ khóa: chất kết dính; bê tông tự đầm; thời tiết nóng; phân tích nhiệt trọng lượng.

© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông tự đầm ngày càng được sử dụng rộng rãi trên thế giới và tại Việt Nam. Loại bê tông này có khả năng tự chảy dưới tác dụng của trọng lượng mà không cần đầm rung như đối với bê tông truyền thống. Yêu cầu quan trọng nhất đối với loại bê tông tự đầm là nó phải có

khả năng chảy cao để có thể chảy qua những khu vực có cốt thép dày đặc, lấp đầy ván khuôn và chống phân tầng vật liệu [1,2]. Do đó, bê tông tự đầm thường sử dụng phụ gia siêu dẻo, lượng vừa nhiều hơn, đường kính và hàm lượng cốt liệu thô thấp hơn, hàm lượng hạt mịn lớn hơn so với bê tông truyền thống. Điều này có thể dẫn tới sự thay đổi các tính chất của bê tông tự đầm so với bê tông truyền thống, nhất là khi được thi công trong những điều kiện thời tiết, khí hậu không thuận lợi. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, trong điều kiện thời tiết thuận lợi, bê tông tự đầm ở trạng thái rắn thể hiện tính năng cơ học và độ bền tương tự với bê tông đầm rung truyền thống [3,4]. Đối với công tác bê tông thường trong điều kiện thời tiết nóng, các tác giả cho rằng điều kiện bảo dưỡng mẫu ở nhiệt độ cao sẽ tạo thuận lợi cho sự phát triển đặc tính cơ học của bê tông tuổi sớm nhưng có thể ảnh hưởng xấu đến cường độ ở tuổi muộn [5-10]. Theo ACI 305 [8] và dữ liệu thu được từ kết quả nghiên cứu [6] đối với bê tông sử dụng xi măng Pooclăng, lượng nước yêu cầu tăng đáng kể khi nhiệt độ trộn hỗn hợp là 30°C và cường độ bê tông ở 28 ngày tuổi có thể giảm 10-15% nếu nhiệt độ bảo dưỡng trong 24 giờ đầu tăng lên 38°C so với bảo dưỡng ở nhiệt độ tiêu chuẩn.

Mặc dù có khá nhiều tài liệu nghiên cứu về bê tông đầm rung thông thường trong điều kiện thời tiết nóng, tuy nhiên có rất ít nghiên cứu tập trung vào bê tông tự đầm. Một số kết quả nghiên cứu cho thấy ở trạng thái tươi, phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate có vai trò lớn trong việc tăng khả năng tự đầm cho cả bê tông sử dụng chất kết dính (OPC + chất độn mịn bột đá vôi) [11] và bê tông sử dụng chất kết dính (OPC + chất độn mịn bột đá vôi + tro bay) [12]. Có nhiều khó khăn trong việc xác định xu hướng ứng xử chung của bê tông tự đầm trong điều kiện thời tiết nóng, đặc biệt là sự phát triển cường độ liên quan đến nhiệt độ hỗn hợp khi trộn và nhiệt độ bảo dưỡng [13]. El-Chabib và cộng sự [14] cho rằng, có sự gia tăng cường độ nén với tất cả các mẫu bê tông nghiên cứu sử dụng phụ gia siêu dẻo dùng chất kết dính (OPC + xi lò cao hoặc tro bay) cho đến khi thử nghiệm sau 7 ngày tuổi. Một vài nghiên cứu về cường độ nén cho thấy, ứng xử của bê tông tự đầm trong điều kiện thời tiết nóng có thể khác so với bê tông đầm rung thông thường. Dường như, nhiệt độ cao ít gây ảnh hưởng bất lợi tới các đặc tính cơ bản của bê tông tự đầm hơn so với bê tông thường. Bên cạnh đó, Verbeck và cộng sự [15] chỉ ra rằng, điều kiện bảo dưỡng ở nhiệt độ cao làm tăng nhanh các phản ứng hóa học, dẫn đến sự phân bố không đồng đều các sản phẩm thủy hóa và điều này có ảnh hưởng bất lợi đến cường độ của bê tông.

Nghiên cứu này được thực hiện với mục đích thông qua phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng để đánh giá quá trình thủy hóa của chất kết dính trong bê tông tự đầm được chế tạo và bảo dưỡng trong điều kiện mô phỏng thời tiết nóng và liên hệ với sự tiến triển cường độ nén trong khoảng 1 đến 28 ngày tuổi.

2. VẬT LIỆU VÀ CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

2.1.1. Xi măng (C)

Nghiên cứu được tiến hành trên hai hỗn hợp bê tông tự đầm, ký hiệu lần lượt là SCC1, SCC2. Xi măng Pooclăng 52,5N được sử dụng để chế tạo bê tông. Xi măng sử dụng tuân thủ theo tiêu chuẩn Châu Âu EN 197-1 [16]. Các tính chất vật lý và thành phần hóa học của các loại xi măng trên được trình bày chi tiết trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Tính chất vật lý của xi măng.

Ký hiệu	Loại xi măng	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Tỷ diện Blaine (cm ² /g)	Clinker (% khối lượng)	Phụ gia (% khối lượng)
C	CEM I 52.5 N	3,11	3750	98,5	1 (bột đá vôi)

Bảng 2. Thành phần hóa học của xi măng.

Oxit (% khối lượng)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	K ₂ O	LOI
	20,43	4,90	1,83	65,40	3,60	1,06	0,27	1,44

2.1.2. Bột đá vôi (F)

Nghiên cứu sử dụng loại bột đá vôi với kích thước hạt 0/90 μm. Các tính chất của bột đá được tuân theo theo tiêu chuẩn của Pháp NF P 18-508 [17]. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của bột đá được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của bột đá vôi.

Thành phần hóa học							
Oxit % khối lượng	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
	0,7	0,2	0,4	97,6	0,04	0,02	
Tính chất vật lý							
Lượng qua sàng 10μm (% khối lượng) = 66				Khối lượng riêng (g/cm ³) = 2,716			
Lượng qua sàng 2μm (% khối lượng) = 24				Blaine/BET (cm ² /g) = 6500/26400			
D ₅₀ = 4,0 (μm)				Chỉ số hoạt tính cường độ = 0,76			

2.1.3. Phụ gia siêu dẻo (SP)

Phụ gia hóa học được sử dụng là phụ gia siêu dẻo nhãn hiệu Optima 220 có gốc Polycarboxylate, khối lượng riêng 1,05, hàm lượng chất rắn chiếm 21,6% theo khối lượng.

2.1.4. Cốt liệu (G, S)

Cốt liệu thô (G) được sử dụng là loại đá cuội sỏi có cấp phối 4/10mm, khối lượng riêng 2670 kg/m³, độ hút nước theo khối lượng là 1.1%. Cát sử dụng là loại cát tự nhiên (S) có cấp phối 0/4mm, khối lượng riêng 2670 kg/m³, độ hút nước theo khối lượng là 1,5%.

2.1.5. Thành phần hỗn hợp bê tông tự đầm và hỗn hợp chất dính kết

Thành phần của các hỗn hợp bê tông được thể hiện trong Bảng 4. Hỗn hợp SCC1 được thiết kế với hàm lượng xi măng thấp, tỷ lệ chất độn mịn bột đá vôi trên xi măng (F/C) đạt 0,5 được so sánh với hỗn hợp SCC2 với hàm lượng xi măng cao hơn, tỷ lệ F/C đạt 0,25. Cường độ mục tiêu đối với SCC1 là C35/45 MPa, đối với SCC2 là C45/55 MPa. Đối với các hỗn hợp thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ ban đầu là 50°C, phụ gia siêu dẻo hoặc nước sẽ được bổ sung thêm vào nhằm đảm bảo giữ được độ chảy so với hỗn hợp đối chứng được tiến hành ở nhiệt độ ban đầu 20°C.

Bảng 4. Thành phần hỗn hợp (kg/m³).

Thành phần	C	F	S	G	SP	Nước
SCC1-20	292,0	147,0	814,0	895,0	4,385 + 1,29 ^a	182,6 + 12,4 ^b
SCC2-20	350,0	87,5	808,0	889,0	4,375 + 1,47 ^a	190,3 + 12,1 ^b

^a: Thêm phụ gia siêu dẻo để giữ ổn định độ chảy khi nhiệt độ trộn được đưa lên 50°C (SCCi-50SP)

^b: Thêm nước để giữ ổn định độ chảy khi nhiệt độ trộn được đưa lên 50°C (SCCi-50W)

Thành phần hỗn hợp chất dính kết (xi măng, chất độn mịn bột đá vôi, phụ gia siêu dẻo và nước) được thể hiện trong Bảng 5, được chế tạo tương ứng với thành phần hỗn hợp các mẫu bê tông tự đầm nghiên cứu. Đối với các mẫu chất kết dính, các biện pháp duy trì độ chảy khi tăng nhiệt độ hỗn hợp không được áp dụng.

Bảng 5. Thành phần hỗn hợp chất kết dính (g).

Thành phần	C	F	F/C	SP	Nước
P-SCC1_20-20	75,0	37,5	0,5	1,12	26,67
P-SCC2_20-20	75,0	18,75	0,25	0,94	23,76

2.2. Phương pháp tạo nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu

2.2.1. Phương pháp tạo nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp bê tông

Nhiệt độ ban đầu của các hỗn hợp bê tông được lựa chọn là 20°C và 50°C. Nhiệt độ 20°C được coi như giá trị nhiệt độ tiêu chuẩn với công tác bê tông trong điều kiện thông thường, nhiệt độ này được lựa chọn cho các mẫu đối chứng. Nhiệt độ 50°C được xác định như là giới hạn nhiệt độ tối đa của hỗn hợp bê tông tươi khi bê tông được chế tạo từ cốt liệu phơi dưới bức xạ mặt trời, chi tiết thể hiện trên Bảng 6.

Bảng 6. Nhiệt độ của các thành phần hỗn hợp và nhiệt độ ban đầu tương ứng của hỗn hợp.

Nhiệt độ của các thành phần hỗn hợp (°C)				Nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp (°C)	Ký hiệu
Cốt liệu	Xi măng	Bộ đá vôi	Nước		
20	20	20	20	20	20
80	80	80	20	50	50
80	80	80	20 (thêm phụ gia siêu dẻo)	50	50SP
80	80	80	20 (thêm nước)	50	50W

2.2.2. Phương pháp bảo dưỡng mẫu bê tông và mẫu chất kết dính

Mẫu bê tông tự đầm dạng hình trụ, có kích thước (DxH) là 11x22cm. Mẫu chất kết dính tương ứng được chứa trong các túi nilông kín nước và được đặt vào trong lòng mẫu bê tông hình trụ để đảm bảo cùng điều kiện bảo dưỡng với các mẫu bê tông tự đầm. Các mẫu được bảo dưỡng theo hai chế độ: 1) theo điều kiện tiêu chuẩn của Pháp (NF P 18-404) [18] ở nhiệt độ 20°C và độ ẩm 100% cho đến khi thí nghiệm; 2) mẫu được bảo dưỡng trong buồng khí hậu ở nhiệt độ 35°C trong 5 giờ đầu sau khi trộn, sau đó nhiệt độ được giảm xuống 25°C cho đến 24 giờ và sau đó được bảo dưỡng ở 20°C, độ ẩm 100% cho đến khi thí nghiệm.

2.3. Các phương pháp thí nghiệm

2.3.1. Phương pháp đo cường độ nén

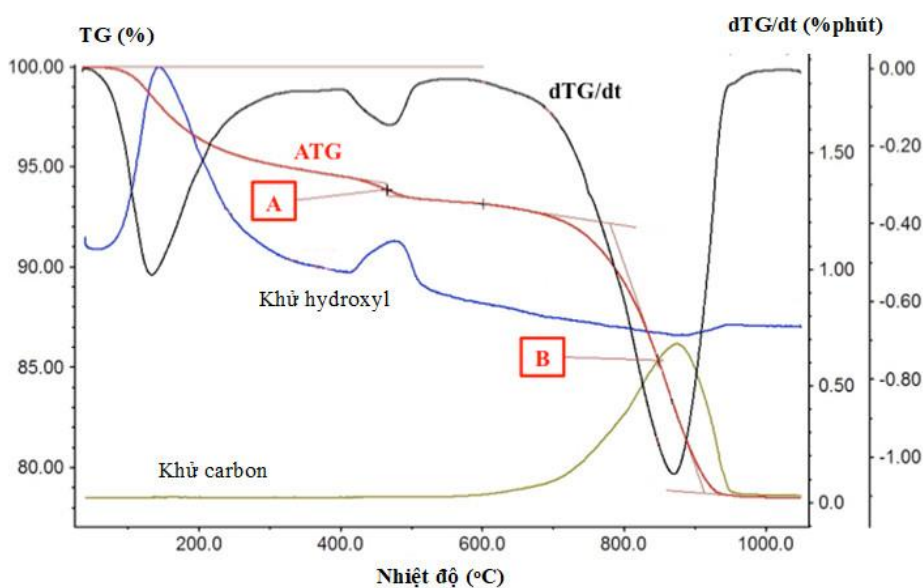
Cường độ chịu nén của các mẫu bê tông tự đầm được xác định theo tiêu chuẩn NF EN 12390-3 [19]. Thiết bị thí nghiệm là loại máy ép thủy lực 3000 kN, tốc độ gia tải 0,5 MPa/s. Mỗi tổ hợp mẫu gồm 3 mẫu, được đo ở 1, 7, 28 ngày tuổi để đảm bảo theo dõi được quá trình phát triển cường độ.

2.3.2. Phương pháp ngừng quá trình thủy hóa

Nhiều phương pháp ngừng thủy hóa được tham khảo như: sấy khô mẫu chất kết dính bằng lò vi sóng [20], sấy trong tủ sấy truyền thống ở 105°C trong 24 giờ [21]. Tuy nhiên, các phương pháp này có thể làm hỏng quá trình thủy hóa, ngừng thủy hóa không hoàn toàn hoặc quá chậm. Vì vậy, đối với các mẫu chất kết dính, để có thể phân tích các sản phẩm của quá trình thủy hóa tại thời điểm 1 ngày và 28 ngày tuổi, phương pháp đông-khô được tác giả sử dụng. Đây được coi là một phương pháp nhanh chóng để làm ngừng quá trình thủy hóa đồng thời tránh được quá trình cacbonat hóa mẫu thí nghiệm. Đầu tiên, tiến hành nghiền mẫu chất kết dính sơ bộ và ngâm trong dung dịch nitơ lỏng (ở nhiệt độ -196°C) trong 5 phút sao cho lượng nước cho quá trình thủy hóa chuyển thành dạng nước đá vô định hình. Tiếp theo, mẫu được đưa vào tủ đông lạnh trong 24 giờ và được giữ ở nhiệt độ -40°C, áp suất chân không 13.3 Pa. Quá trình này cho phép băng chứa trong các lỗ rỗng của mẫu chất kết dính sẽ chuyển từ trạng thái rắn sang trạng thái khí. Hơi nước này sẽ rời khỏi mẫu chất kết dính hoàn toàn và được đóng băng bằng thiết bị ngưng tụ. Mẫu chất kết dính sau đó sẽ được giữ trong bình hút ẩm với sự có mặt của silicagel và soda để tránh nhiễm ẩm và cacbonat hóa.

2.3.3. Phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA, DTG)

Sau khi ngừng thủy hóa, các mẫu chất kết dính trên được nghiền thành bột để tiến hành phân tích nhiệt trọng lượng. Bột được nghiền thủ công bằng cối đá mã nã nhằm đạt được kích thước hạt yêu cầu (nhỏ hơn 63 μ m). Nguyên tắc phân tích nhiệt trọng lượng là đo sự mất khối lượng gây ra bởi sự phân hủy hydrat và cacbonat trong quá trình tăng nhiệt (từ nhiệt độ phòng tăng lên 1000°C, với tốc độ 10°C/phút). Mẫu bột (kích thước 63 μ m) có khối lượng khoảng 200mg được đặt trong chén thanh anh. Thiết bị đo là thiết bị Netzsch STA 499 F3 và sử dụng phần mềm Netzsch Proteus để phân tích. Kết quả thu được từ quá trình phân tích nhiệt được xử lý theo 2 bước theo Hình 1. Đường cong TGA (màu đỏ) thể hiện mất khối lượng dưới dạng hàm của nhiệt độ. Đường cong DTG là đạo hàm của khối lượng còn lại của mẫu theo nhiệt độ (màu đen). Trong trường hợp thông thường, khi nhìn vào đường cong đạo hàm, sẽ thấy được những vị trí mà ở đó xảy ra các quá trình bay hơi, phân hủy,... đã diễn ra trong quá trình phân tích.



Hình 1. Đường cong phân tích nhiệt.

Cùng với đó, việc quan sát các đường cong cho phép phân tách sự mất khối lượng liên quan đến quá trình thủy hóa hoặc quá trình cacbonat hóa của một số pha. Các phản ứng lý hóa chính trong quá trình gia nhiệt như sau:

- Từ 30°C đến 105°C: Nước tự do và một phần nước hấp phụ bị bay hơi. Trong nghiên cứu này, loại bỏ nước bay hơi nhờ quá trình đông khô.
- Từ 110°C đến 170°C: Hai phản ứng thu nhiệt xảy ra gây phân tách khoáng gypse.
- Từ 180°C đến 350°C: Giai đoạn đầu của sự mất nước các khoáng bê tông, các keo C-S-H bị đứt gãy, nước liên kết hóa học bắt đầu bay hơi.
- Từ 450°C đến 570°C: Phân tách khoáng portlandit thành vôi tự do.
- Từ 600°C đến 700°C: Phân tách khoáng C-S-H chuyển thành β -C₂S, đây là giai đoạn tiếp theo của quá trình tách nước khỏi keo C-S-H.
- Từ 700°C đến 900°C: Đá vôi phân tách $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$, phản ứng thu nhiệt tạo ra khí cacbonic.

Hai đường cong TGA=f(T°C) và dTG/dt=f(T°C) cho phép theo dõi các sản phẩm thủy hóa. Đường cong TGA=f(T°C) cho phép tính được lượng mol của Portlandit Ca(OH)₂ và canxi cacbonat CaCO₃ theo phương pháp tiếp tuyến [22] trên các vùng có độ dốc của đường cong thay đổi lớn (A và B), phương pháp tính theo công thức (1), chi tiết được thể hiện trên Hình 2.

$$Q_{\text{Nước liên kết hóa học}} = 100\% - Q_{550^\circ\text{C}} - Q_{\text{Ca(OH)}_2} - Q_{105^\circ\text{C}} \quad (1)$$

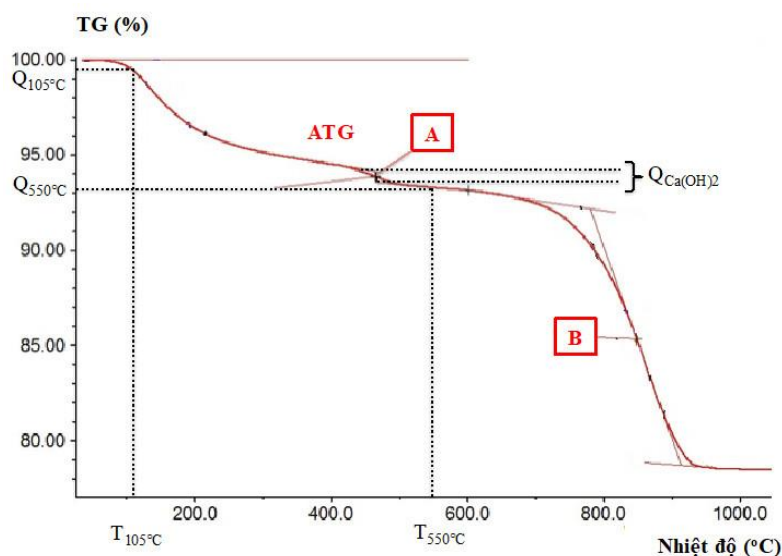
Trong đó :

$Q_{\text{Nước liên kết hóa học}}$: Lượng nước liên kết hóa học (%),

$Q_{550^\circ\text{C}}$: Lượng nước mất ở 550°C sau quá trình thủy hóa (%),

$Q_{\text{Ca(OH)}_2}$: Lượng nước thu được từ quá trình phân tách khoáng portlandit được xác định bằng phương pháp tiếp tuyến,

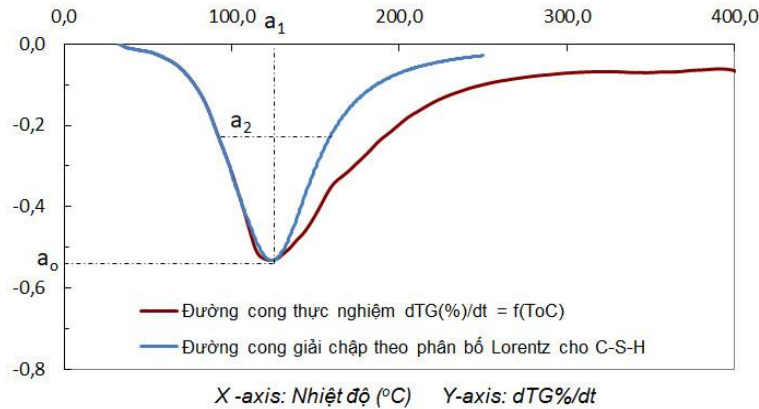
$Q_{105^\circ\text{C}}$: Lượng nước bay hơi ở 105°C.



Hình 2. Xác định lượng nước liên kết hóa học bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng.

Từ đường cong $dTG/dt=f(T^{\circ}C)$, cho phép xác định lượng C-S-H bằng phương pháp giải chấp theo phân bố Lorentz từ các biên độ (a_0), tâm (a_1) và độ rộng (a_2) theo công thức (2) [22], chi tiết thể hiện trên Hình 3.

$$\frac{dTG(\%)}{dt} = \frac{a_0}{1 + \left(\frac{T - a_1}{a_2}\right)^2} \quad (2)$$

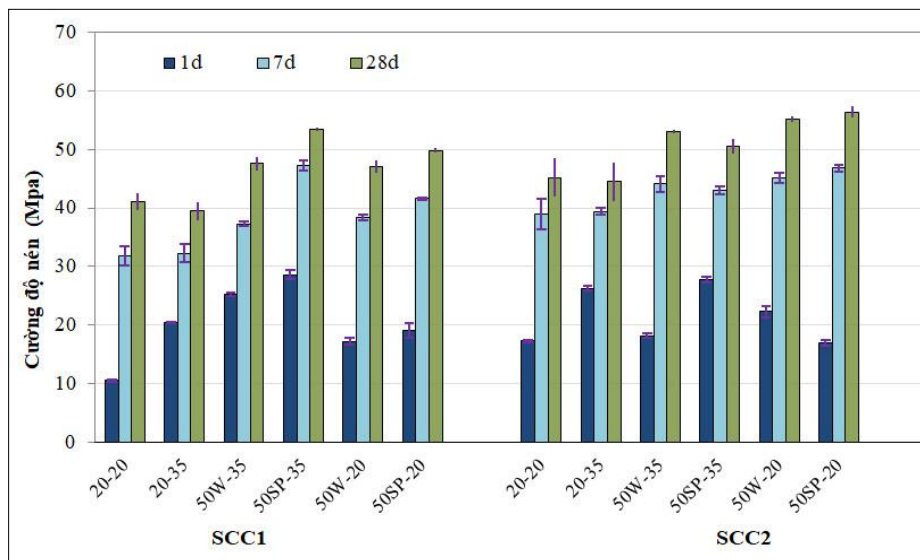


Hình 3. Phương pháp định lượng C-S-H bằng phương pháp giải chấp [22].

3. KẾT QUẢ

3.1. Kết quả đo cường độ nén

Kết quả thực nghiệm nhằm đánh giá sự phát triển cường độ nén của các mẫu bê tông tự đầm được chế tạo và bảo dưỡng trong điều kiện mô phỏng thời tiết nóng được thể hiện trên Hình 4. Đối với cả hai mẫu bê tông tự đầm SCC1 và SCC2, việc tăng nhiệt độ hỗn hợp khi chế tạo từ 20°C lên 50°C có xu hướng tăng cường độ ở cả 1, 7 và 28 ngày tuổi mà không phân biệt biện pháp duy trì độ chảy thêm nước hay thêm phụ gia siêu dẻo.



Hình 4. Cường độ nén ở 1, 7 và 28 ngày tuổi của các mẫu bê tông tự đầm.

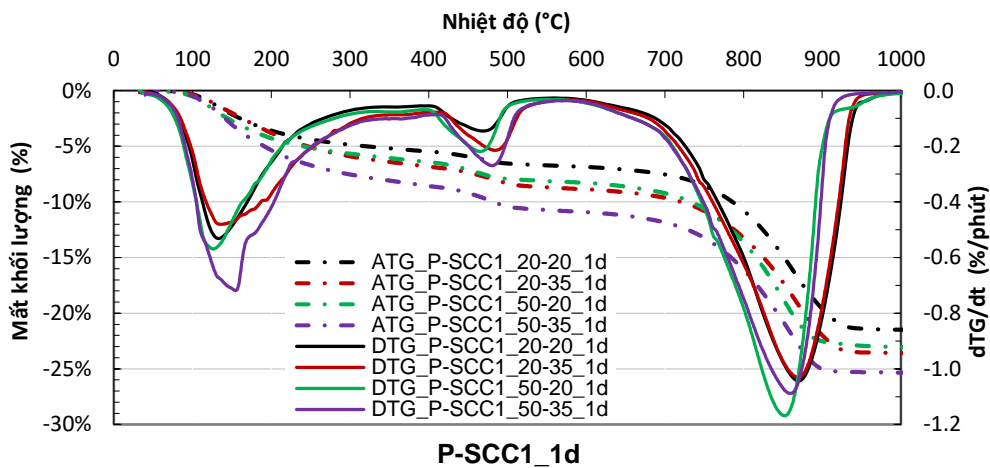
Với bê tông đầm rung trong điều kiện mô phỏng thời tiết nóng, cường độ nén giảm sau 7 ngày tuổi khi độ sụt được duy trì bằng phương pháp thêm nước [23]. Bê tông đầm rung thông thường trong nghiên cứu của tác giả Mouret được chế tạo cùng loại xi măng nhưng không bao gồm chất độn mịn bột đá vôi và phụ gia siêu dẻo. Như vậy, kết quả thu được đối với bê tông tự đầm trái ngược lại với kết quả nghiên cứu với bê tông thường [24,25].

Để hiểu rõ hơn về quá trình hình thành và phát triển cường độ của các mẫu bê tông tự đầm nghiên cứu, phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng được tiến hành với các mẫu chất kết dính được chế tạo tương ứng với các mẫu bê tông tự đầm nhằm góp phần lý giải xu hướng trên.

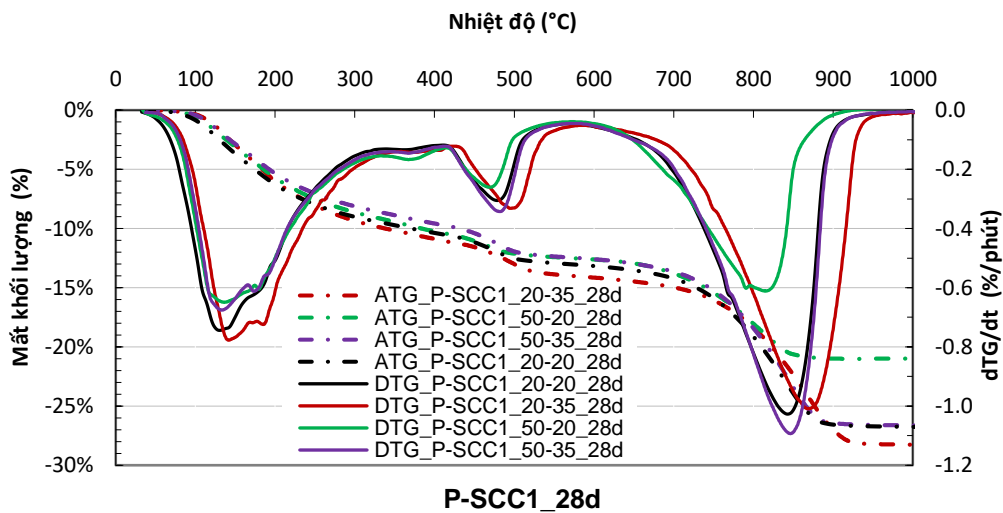
3.2. Kết quả phân tích nhiệt

3.2.1. Kết quả phân tích nhiệt của các mẫu chất kết dính của SCC1

Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng trên các mẫu chất kết dính của SCC1 ở 1 và 28 ngày tuổi được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6. Kết quả định lượng của quá trình phân tích nhiệt được thể hiện trên Bảng 7.



Hình 5. Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng của chất kết dính của SCC1 ở 1 ngày tuổi.



Hình 6. Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng của chất kết dính của SCC1 ở 28 ngày tuổi.

Từ kết quả định lượng quá trình phân tích nhiệt trên Bảng 7 cho thấy, trong thời gian tuổi sớm (1 ngày) và so sánh với mẫu tham chiếu (20-20), lượng nước liên kết hóa học và portlandite đều cao hơn khi nhiệt độ hỗn hợp và nhiệt độ bảo dưỡng tăng. Điều này dường như cũng đúng đối với C-S-H và C-A-H, ngoại trừ đối với mẫu SCC1 20-35 có xu hướng giảm cường độ nén. Sự gia tăng này có thể giải thích ở một mức độ nhất định sự phát triển của cường độ nén khi ở thời gian tuổi sớm. Trong thời gian tuổi muộn hơn (28 ngày), có thể thấy rằng lượng nước liên kết, lượng C-S-H và C-A-H vẫn tương đương với lượng đo được trên mẫu tham chiếu. Do đó, có thể kết luận rằng tác hại của nhiệt độ cao đối với quá trình hydrat hóa trong thời gian dài hơn và được quan sát thấy trên bề tông rung theo lý thuyết của Verbeck và Helmuth [25] dường như nhỏ hơn, thậm chí dường như không xảy ra đối với bê tông tự đầm SCC1.

Bảng 7. Kết quả định lượng của các mẫu chất kết dính của SCC1 ở 1 và 28 ngày tuổi.

Bê tông	Chất kết dính	nCa(OH) ₂ ¹	nCaCO ₃ ¹	% nước liên kết hóa học ²	qCSH+CAH ³
	<u>1 ngày</u>				
SCC1 20-20	P-SCC1 20-20	2,51	29,36	4,65	35,5
SCC1 50W-20 SCC1 50SP-20	P-SCC1 50-20	3,86	30,18	6,49	44,9
SCC1 50W-35 SCC1 50SP-35	P-SCC1 50-35	4,93	29,25	8,90	64,5
SCC1 20-35	P-SCC1 20-35	3,99	29,27	7,29	40,4
	<u>28 ngày</u>				
SCC1 20-20	P-SCC1 20-20	5,18	26,86	10,61	64,1
SCC1 50W-20 SCC1 50SP-20	P-SCC1 50-20	3,74	26,07	10,77	68,1
SCC1 50W-35 SCC1 50SP-35	P-SCC1 50-35	5,76	27,64	10,38	67,5
SCC1 20-35	P-SCC1 20-35	5,51	27,66	12,04	71,4

3.2.2. Kết quả phân tích nhiệt của các mẫu chất kết dính của SCC2

Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng trên các mẫu chất kết dính của SCC2 ở 1 và 28 ngày tuổi được thể hiện trên Hình 7 và Hình 8. Kết quả định lượng của quá trình phân tích nhiệt được thể hiện trên Bảng 8.

Đối với các mẫu chất kết dính của SCC2, là hỗn hợp được thiết kế với hàm lượng xi măng lớn hơn, tỷ lệ chất độn mịn trên xi măng thấp hơn, các phân tích cho thấy sự tương đồng trong giai đoạn tuổi sớm (1 ngày). So với mẫu đối chứng (20-20), dường như việc tăng nhiệt độ hỗn hợp (50°C) ít ảnh hưởng đến sản phẩm thủy hóa và lượng nước liên kết hóa học. Tuy nhiên, có thể quan sát thấy sự gia tăng các đặc tính thủy hóa khi nhiệt độ bảo dưỡng ở 35°C và không phụ thuộc vào nhiệt độ hỗn hợp lúc chế tạo (20°C hoặc 50°C). Điều đó cho thấy, ở giai đoạn tuổi sớm, SCC2 dường như nhạy cảm hơn với nhiệt độ trong quá trình ninh kết, tương ứng với sự tăng cường độ bê tông theo nhiệt độ.

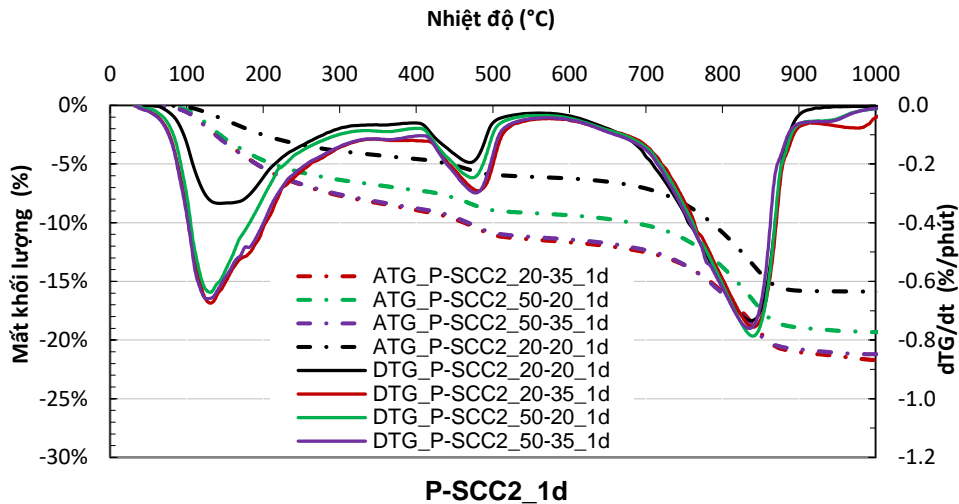
Trong thời gian tuổi muộn (28 ngày), có thể nhận thấy sự tương đồng với thời gian tuổi sớm. Đối với bê tông được chế tạo ở nhiệt độ cao (50°C), không phân biệt nhiệt độ bảo dưỡng, cho thấy sự thúc đẩy quá trình thủy hóa so với mẫu đối chứng. Bên cạnh đó, mẫu chế

¹ Lượng mol Ca(OH)₂ và CaCO₃ trong 100g chất kết dính

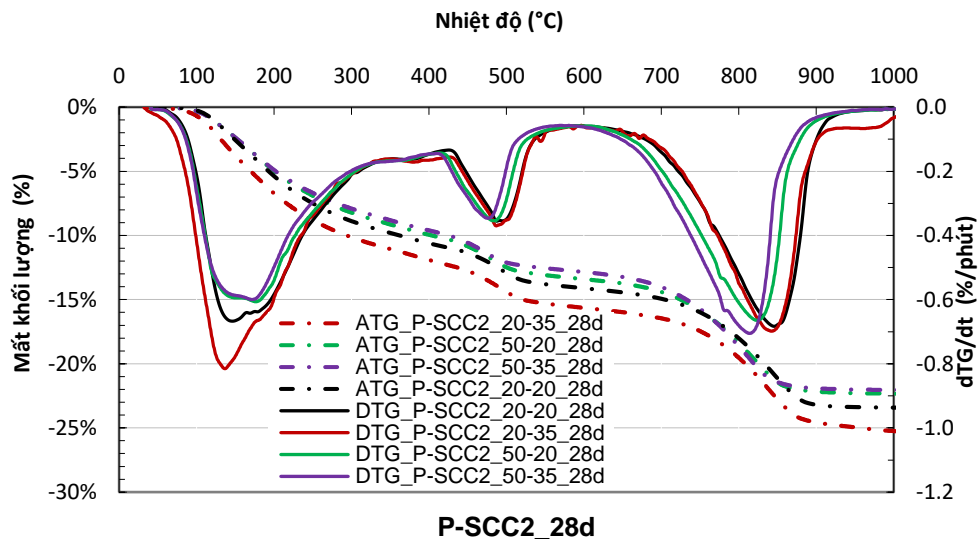
² Mất mát khối lượng do mất nước liên kết hóa học trong khoảng từ 105°C đến 450°C

³ Lượng C-S-H và C-A-H trong khoảng từ 105°C đến 350°C

tạo ở nhiệt độ 20°C, bảo dưỡng ở nhiệt độ 35°C trong 5 giờ đầu cho thấy ảnh hưởng bất lợi của nhiệt độ bảo dưỡng lên quá trình hydrat hóa với việc giảm toàn bộ các đặc tính hydrat hóa được nghiên cứu. Sự suy giảm đặc tính này đã được nhắc đến trong các nghiên cứu đối với bê tông thường [23]. Tuy nhiên, trái ngược với bê tông thường cho thấy sự suy giảm chỉ diễn ra trong thời gian tuổi sớm, bê tông tự đầm thể hiện sự suy giảm này trong cả thời gian tuổi muộn.



Hình 7. Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng của chất kết dính của SCC2 ở 1 ngày tuổi



Hình 8. Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng của chất kết dính của SCC2 ở 28 ngày tuổi.

4. KẾT LUẬN

Khi được chế tạo và bảo dưỡng ở nhiệt độ cao, các phản ứng làm mất nước, chuyển hoá các pha rắn và làm thay đổi cơ bản các thành phần khoáng mang tính cơ học như C-S-H, portlandite, từ đó làm suy giảm hoặc tăng cường độ của bê tông. Dựa vào các kết quả phân

tích nhiệt trọng lượng, sự gia tăng cường độ nén của các mẫu bê tông tự đầm có thể được giải thích bởi quá trình thủy hóa dẫn tới hình thành các sản phẩm thủy hóa có đặc tính liên kết tốt hơn. Kết quả nghiên cứu làm rõ hơn việc cải thiện tính đồng nhất của sự phân bố các sản phẩm thủy hóa khi kết hợp giữa xi măng, chất độn mịn bột đá vôi và phụ gia siêu dẻo. Thành phần hỗn hợp đặc thù của bê tông tự đầm đường như chống lại ảnh hưởng bất lợi của điều kiện thời tiết nóng.

Bảng 8. Kết quả định lượng của các mẫu chất kết dính của SCC2 ở 1 và 28 ngày tuổi.

Bê tông	Chất kết dính	nCa(OH) ₂	nCaCO ₃	% nước liên kết hóa học	qCSH+CAH
	<u>1 ngày</u>				
SCC2 20-20	P-SCC2 20-20	3,58	19,41	5,02	47,1
SCC2 50W-20 SCC2 50SP-20	P-SCC2 50-20	4,23	18,77	7,60	47,3
SCC2 50W-35 SCC2 50SP-35	P-SCC2 50-35	5,39	18,20	9,14	51,9
SCC2 20-35	P-SCC2 20-35	4,97	17,30	9,50	55,1
	<u>28 ngày</u>				
SCC2 20-20	P-SCC2 20-20	5,14	17,27	11,88	63,9
SCC2 50W-20 SCC2 50SP-20	P-SCC2 50-20	6,29	15,84	12,14	70,2
SCC2 50W-35 SCC2 50SP-35	P-SCC2 50-35	5,92	15,57	12,99	70,3
SCC2 20-35	P-SCC2 20-35	5,71	17,11	10,72	55,7

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. Aggarwal, A. Yogesh, S. Rafat, Self compacting concrete - Procedure for Mix Design, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 12 (2008) 15-24.
- [2]. K. H. Khayat, Workability, testing and performance of self consolidating concrete, ACI Marterials journal, 96 (1999) 346-353.
- [3]. B. Persson, A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete, Cement and Concrete Research, 31 (2001) 193-198. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00497-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00497-X)
- [4]. S. Assié, G. Escadeillas, V. Waller, Estimates of self-compacting concrete 'potential' durability, Construction and Building Materials, 21 (2007) 1909-1917. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.06.034>
- [5]. S. Pihlajavaara, Effect of temperature on strength of concrete, American Concrete Institute Special Publication, 34 (1972) 347-434.
- [6]. P. Klieger, Effect of mixing and curing temperature on concrete strength, Journal American Concrete Institute, 54 (1954) 1063-1081.
- [7]. I. Soroka, Concrete in Hot Environments, CRC Press, 2003.
- [8]. ACI Committee 305. Hot weather concreting. Journal of the American Concrete Institute, 88 (1991), No. 4, pp. 417-436.
- [9]. FIP Guide to Good Practice. Concrete Construction in Hot Weather, Thomas Telford, London, 1986.
- [10]. M. Mouret, A. Bascoul, G. Escadeillas, Strength impairment of concrete mixed in hot weather: relation to porosity of bulk fresh concrete paste and maturity, Magazine of Concrete Research, 55

(2003) 215-223. <https://doi.org/10.1680/mac.2003.55.3.215>

[11]. W. Brameshuber, S. Uebachs, The influence of the temperature on the rheological properties of self-compacting concrete, in: O. Wallevik, I. Nielsson (Eds.), International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publications SARL, Reykjavik, Iceland, pp. 174–183, 2003.

[12]. J. Y. Petit, Effect of temperature, superplasticizers and mineral admixtures on rheological variations of micromortars and self-compacting concretes, Sherbrooke University, Québec, Canada, 2005.

[13]. Vinh An LE,..F. Cassagnabere, M. Mouret, Influence of mixing and curing temperatures on the properties of fresh and hardened self-consolidated concrete in hot weather conditions, Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Self-Compacting Concrete and of the 1st RILEM International Conference on Rheology, Paris, France, 2013.

[14]. H. El-Chabib, A. Ibrahim, The performance of high-strength flowable concrete made with binary, ternary, or quaternary binder in hot climate, Constr. Build. Mater., 47 (2013) 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.062>

[15]. G. J. Verbeck, R. H. Helmuth, Structures and physical properties of cement pastes, Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo Japan, pp. 1-32, 1968.

[16]. EN 197-1: Ciment - Partie 1, Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, 2001.

[17]. NF P 18-508, AFNOR, Additions pour bétons hydrauliques - Additions calcaires - Spécifications et critères de conformité, Indice de classement, P18-508, 1995.

[18]. NF P 18-404, AFNOR, Bétons - Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes, Indice de classement, P18-404, 1981.

[19]. NF EN 12390-3, AFNOR, Essai pour béton durci - Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes, Indice de classement, pp. 18-455, 2003.

[20]. J. Cabrera, M. F. Rojas, Mechanism of hydration of metakaolin-lime-water system, Cement and Concrete Research, 31 (2000) 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00456-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00456-7)

[21]. A. Ramezani pour, J. Cabrera, The effect of curing condition on the mortars containing cement, fly ash and silica fume, 2nd Inter Sem on Cement and Building Materials, 4 (1988) 181-188.

[22]. F. Cassagnabere, M. Mouret, G. Escadeillas, Early hydration of clinker-slag-metakaolin combination in steam curing conditions, relation with mechanical properties, CCR, 39 (2009) 1164-1173. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.07.023>

[23]. M. Mouret, Contribution à l'étude des phénomènes d'altération des résistances des bétons confectionnés par temps chaud, Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, 1997.

[24]. J. Taplin, The temperature dependence of the hydration rate of Portland cement paste, Australian Journal of Applied Science, 13 (1962) 164-171.

[25]. G. J. Verbeck, R. H. Helmuth, Structure and physical properties of cement paste, in Cement Association of Japan, Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo (Japan), pp. 1-32, 1968.