ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ DƯỠNG HỘ ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO

Lê Trung Thành[1]*

Tóm tắt: *Bê tông chất lượng siêu cao (Ultra High Performance Concrete - UHPC) thường có cường độ chịu nén lớn hơn 150 MPa và cường độ chịu uốn trong khoảng 15 - 40 MPa là một loại bê tông thế hệ mới có tính năng vượt trội so với các loại bê tông cường độ cao. Sự phát triển cường độ của UHPC phụ thuộc vào chế độ dưỡng hộ ở nhiệt độ cao. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông chất lượng siêu cao (UHPC). Các kết quả cho thấy ở chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm (90 ± 2°C, RH ≥ 95%) cường độ nén của bê tông cao hơn so với mẫu dưỡng hộ ở chế độ tiêu chuẩn (20 ± 2°C, RH ≥ 95%). Đồng thời, sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm mẫu bê tông được làm nguội và dưỡng hộ trong điều kiện không khí sẽ cho cường độ lớn hơn so với mẫu được dưỡng hộ trong nước. Điều này có ý nghĩa rất lớn trong thực tế bởi vì khi đó các cấu kiện bê tông được dưỡng hộ trong không khí sẽ dễ dàng và tiết kiệm được rất nhiều chi phí so với dưỡng hộ trong nước ở 20°C.*

Từ khóa: *Bê tông chất lượng siêu cao (UHPC); chế độ dưỡng hộ; cường độ nén.*

Influence of curing regimes on compressive strength of UHPC

Abstract: *Ultra High Performance Concrete (UHPC) having over 150 MPa compressive strength and 15-40 MPa flexural strength is considered as the latest generation of concrete technology and highly advanced performance compared with high strength concrete. The development of UHPC strength is significantly dependent on curing regime with high temperature. This research is to investigate the influence of curing regimes on the compressive strength of UHPC. The experimental results show that the curing regimes influence significantly on the development of compressive strength of UHPC, in which the post-heat treatment curing (90 ± 2°C, RH ≥ 95%) improves the compressive strength higher compared with the standard curing (20 ± 2°C, RH ≥ 95%). Moreover, after post-heat treatment, the UHPC samples cured under air curing gain higher compressive strength than those cured in water. These results are very helpful in practice because the air curing for UHPC is more convenient and economical than water curing at 20°C.*

Keywords: *Ultra-High Performance Concrete (UHPC); curing regimes; compressive strength.*

Nhận ngày 14/6/2017; sửa xong 17/8/2017; chấp nhận đăng 26/9/2017
Received: June 14th, 2017; revised: August 17th, 2017; accepted: September 26th, 2017

1. Giới thiệu

Bê tông chất lượng siêu cao (UHPC) được coi là một sản phẩm mang tính bước ngoặt của sự phát triển mới đối với công nghệ xây dựng nói chung và công nghệ bê tông nói riêng [1-3]. UHPC đã được nghiên cứu từ đầu những năm 90 của thế kỷ XX ở Pháp và Canada [4,5], với các đặc tính vượt trội so với bê tông thường như cường độ nén rất cao (thường lớn hơn 150 MPa), cường độ uốn lớn (khi sử dụng cốt sợi) 15-40 MPa, môđun đàn hồi cao từ 50-60 GPa, độ thấm thấp và độ bền rất cao [4]. Với cường độ cao, sử dụng UHPC cho phép thiết kế các kết cấu mỏng hơn, kết quả là cùng một khả năng chịu lực nhưng lượng vật liệu sử dụng ít hơn.

Hiện nay, để đạt được cường độ nén cao các nhà khoa học đã áp dụng rất nhiều giải pháp như giảm tỷ lệ N/CKD, sử dụng phụ gia khoáng (PGK) mịn, tối ưu hóa thành phần hạt của bê tông… Một trong những biện pháp hiệu quả có thể áp dụng trong thực tế đó là chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm, tuy nhiên việc áp dụng chế độ dưỡng hộ như thế nào để đạt được hiệu quả cao nhất cả về kinh tế, kỹ thuật đến nay chưa có nhiều

[1] TS, Vụ Khoa học Công nghệ & Môi trường, Bộ Xây dựng.
** Tác giả chính. E-mail: letrungthanh.moc@gmail.com.*

kết quả nghiên cứu được công bố. Do vậy, việc nghiên cứu về ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ nhiệt đến cường độ nén của bê tông, từ đó đưa ra những giải pháp về dưỡng hộ để nâng cao chất lượng bê tông là rất cần thiết.

Thông thường, khi áp dụng chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm, một số ưu điểm có thể thấy như sau [5, 6]: Cải thiện vi cấu trúc và phát triển cường độ nén của bê tông ở tuổi sớm, bê tông có thể đạt trên 80% cường độ cuối cùng sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm; Cường độ nén và cường độ kéo sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm cao hơn khoảng 20% so với bê tông dưỡng hộ thường sau 28 ngày; Giảm co ngót và giảm từ biến sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm, tổng độ co sau khi dưỡng hộ nhiệt bằng "0"; Ở nhiệt độ cao quá trình thủy hóa của xi măng xảy ra nhanh hơn đồng thời thúc đẩy quá trình phản ứng puzơlanic giữa PGK và $Ca(OH)_2$ sinh ra trong quá trình thủy hóa của xi măng, làm tăng độ đặc chắc, tăng cường độ và độ bền lâu cho bê tông.

Đối với UHPC với đặc điểm đặc trưng là tỷ lệ Nước/Chất kết dính rất thấp (thường nhỏ hơn 0.25 theo khối lượng) và sử dụng hàm lượng xi măng, PGK rất lớn, thì dưỡng hộ nhiệt ẩm được coi là một trong những nguyên tắc quan trọng trong chế tạo bê tông. Các điều kiện dưỡng hộ khác nhau sẽ cải thiện các tính chất của bê tông UHPC khác nhau. Tác giả Zanni [7] chỉ ra rằng, khi dưỡng hộ nhiệt ẩm sẽ thúc đẩy quá trình thủy hóa của xi măng, tăng độ đặc cấu trúc và cường độ UHPC. Ở điều kiện dưỡng hộ nhiệt ẩm, mức độ thủy hóa tăng tương ứng theo thời gian dưỡng hộ từ 8 đến 48 giờ. Theo tác giả Acker [8] việc dưỡng hộ ở nhiệt độ 90°C không những giảm co ngót và từ biến trong UHPC mà còn thúc đẩy quá trình phản ứng puzơlanic và quá trình này đặc biệt phù hợp với hỗn hợp có sử dụng GBFS với hàm lượng lớn [9, 10]. Theo Cheyrezy [11] ảnh hưởng của điều kiện dưỡng hộ đến mức độ phản ứng puzơlanic trong UHPC khác nhau. Ở điều kiện nhiệt độ 90°C và 250°C, mức độ phản ứng puzơlanic là tương đương đạt khoảng 90%, trong khi ở điều kiện dưỡng hộ thường (ở 20°C) tỷ lệ này là 72%. Thêm nữa, ở nhiệt độ 200°C đã bắt đầu có sự hình thành của các tinh thể xonotlite.

Bên cạnh đó chế độ dưỡng hộ đối với UHPC cũng ảnh hưởng đến tính chất của bê tông, một số các tác giả đã đề xuất các chế độ khác nhau (Bảng 1).

Từ các khảo sát này rõ ràng cho thấy điều kiện dưỡng hộ có ảnh hưởng rất lớn đến các tính chất của bê tông với các chế độ dưỡng hộ khác nhau. Tuy vậy, chế độ tối ưu đối với dưỡng hộ bê tông UHPC cần được nghiên cứu để giảm thiểu năng lượng sử dụng và cải thiện lớn nhất các tính chất của bê tông. Xuất phát từ lý do này, bài báo sẽ trình bày nghiên cứu về sự ảnh hưởng của các chế độ dưỡng hộ khác nhau và đưa ra đề xuất về chế độ dưỡng hộ đối với bê tông UHPC.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp thí nghiệm

2.1 Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: xi măng poocläng loại 42.5N. Silicafume dạng hạt rời với khối lượng thể tích từ 250 đến 300 kg/m^3. Cát sử dụng trong nghiên cứu có đường kính cỡ hạt trung bình là 270 µm, độ rỗng của cát ở trạng thái tự nhiên là 37%, lượng nước bão hòa khô bề mặt là 1.1%; phụ

Bảng 1. *Một số đề xuất về chế độ dưỡng hộ UHPC*

TT	Thời điểm bắt đầu dưỡng hộ nhiệt	Chế độ dưỡng hộ	Thời gian dưỡng hộ nhiệt	TLTK
1	Kết thúc đông kết	90°C ± 10°C, 95% RH	48 giờ	[12, 13]
2	14 giờ (sau khi tháo khuôn)	Nước nóng 90°C	-	[14]
3	7 ngày (sau khi đúc)	Nước nóng 90°C	2 ngày	[15]
4	7 ngày (sau khi đúc)	Nước nóng 90°C	4 ngày	[15]
5	70 giờ (sau khi đúc)	90°C, 100% RH	48 giờ	[16]
6	5 ngày (sau khi đúc)	90°C	2 ngày	[17]
7.	24 - 48 giờ (sau khi đúc)	Từ 90°C đến 450°C	24 giờ - 1 tuần	[18]
9.	24, 48, 168 giờ (sau khi đúc)	90°C	24, 48, 96 giờ	[19]
10	-	90°C	3 ngày	[20]
11	24 giờ (sau khi đúc)	90°C, 95% RH	48 giờ	[21]
12	24 giờ (sau khi đúc)	Nước nóng 90 ± 2°C	3 ngày	[22]
13	7 ngày (sau khi đúc)	Nước nóng 90°C	3 ngày	[23]

gia siêu dẻo gốc polycarboxylate với hàm lượng chất khô đạt 25%. Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu là loại thép các bon cường độ cao với đường kính trung bình khoảng 0.2 mm, chiều dài 13 mm và cường độ kéo trên 2000 MPa. Thành phần hóa của một số vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2.

***Bảng 2.** Thành phần hóa của vật liệu*

Oxit	Hàm lượng các oxit, %		
	XM	SF	Cát
CaO	64.1		
SiO_2	20.64	90	97.02
Al_2O_3	4.92		1.19
Fe_2O_3	2.24		0.24
MgO	1.25		
N_2O	0.19		
K_2O	0.76		0.7
SO_3	3.66		
Vôi tự do	1.5		
MKN		< 3	0.24

2.2 Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này cường độ nén của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn BS EN 12390-3:2009 với mẫu có kích thước 50×50×50 mm. Mẫu sau khi dưỡng hộ sẽ được nén trên máy thủy lực với tốc độ tăng tải 2.5kN/s cho đến khi mẫu bị phá hủy.

2.3 Quá trình trộn và đúc mẫu

Vật liệu được định lượng và cho vào máy trộn trục đúng theo thứ tự: xi măng, silicafume và cát. Đầu tiên hỗn hợp vật liệu được trộn khô trong thời gian 1 phút, sau đó cho hỗn hợp nước và phụ gia vào thùng trộn. Vật liệu được trộn đến khi hỗn hợp bê tông chuyển từ trạng thái khô sang trạng thái chảy. Tổng thời gian trộn khoảng 10 đến 15 phút và đảm bảo hỗn hợp bê tông được đồng nhất. Sau đó sợi được đưa vào và tiếp tục trộn trong khoảng thời gian trên 5 phút để đảm bảo sợi được phân tán đều trong hỗn hợp bê tông.

3. Thành phần cấp phối và các chế độ dưỡng hộ

3.1 Thành phần cấp phối

Trong nghiên cứu này đề tài lựa chọn và thí nghiệm 2 cấp phối với hàm lượng sợi khác nhau là 0% và 2.5% (tính theo thể tích bê tông), tương ứng với tỷ lệ N/CKD = 0.15 và 0.17 (tính theo khối lượng). Lượng vật liệu được lựa chọn với hàm lượng SF sử dụng chiếm 20% theo khối lượng CKD (Bảng 3).

***Bảng 3.** Thành phần cấp phối sử dụng trong nghiên cứu*

Vật liệu sử dụng	UHPFRC0	UHPFRC2.5
Xi măng, (kg/m^3)	955	932
Silica fume, (kg/m^3)	239	233
CKD, (kg/m^3)	1194	1165
Cát, (kg/m^3)	1051	1025
Lượng nước hấp phụ trong cát, (kg/m^3)	11.6	11.3
Phụ gia siêu dẻo, (kg/m^3)	50.0	48.8
Lượng nước sử dụng, (kg/m^3)	179.9	196.5
Tỷ lệ N/CKD, theo khối lượng	0.15	0.17
Hàm lượng sợi thép, % theo thể tích bê tông	0	2.5

3.2 Các chế độ dưỡng hộ

Với mẫu UHPFRC0 sử dụng 0% sợi thép, mẫu sau khi đúc trong khuôn 50×50×50 mm sẽ được dưỡng hộ trong 14 điều kiện khác nhau để tìm ra chế độ dưỡng hộ tốt nhất cho mẫu UHPFRC0. Mẫu UHPFRC0 sẽ được chia làm 3 nhóm chính với các chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm khác nhau: 6.25 ngày (chế độ 3-6), 6 ngày (chế độ 7-10) và 4 ngày (chế độ 11-14). Sau đó mẫu được so sánh với chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn (20±2°C, RH ≥ 95%) và mẫu dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt ẩm (90±5°C, RH ≥ 95%) đến tuổi thí nghiệm.

Các chế độ dưỡng hộ mẫu UHPFRC0 khác nhau được thể hiện trên Hình 1.

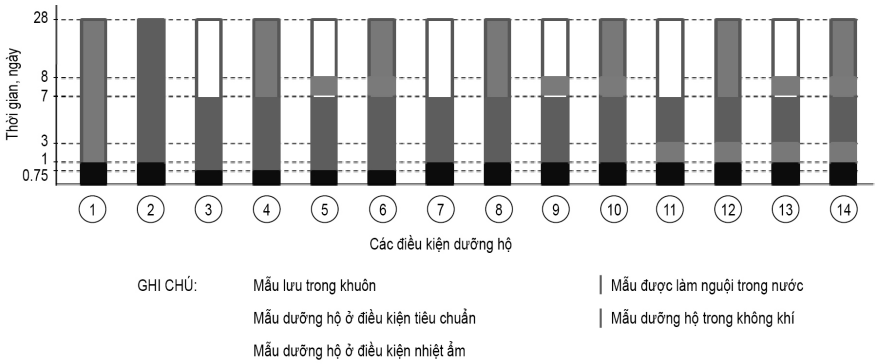
Với mẫu UHPFRC2.5 sử dụng 2.5% sợi thép, mẫu sau khi đúc trong khuôn 50×50×50 mm sẽ được dưỡng hộ theo 6 chế độ khác nhau, cụ thể:

S là dưỡng hộ tiêu chuẩn: Mẫu được dưỡng hộ trong nước ở nhiệt độ 20±2°C đến khi tuổi thí nghiệm;

H là dưỡng hộ nhiệt ẩm: Mẫu được dưỡng hộ trong nước ở nhiệt độ 90±5°C đến khi tuổi thí nghiệm;

S3d.H là mẫu được đặt ở trong buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm 3 ngày kể từ khi đúc mẫu;

S7d.H là mẫu được đặt ở trong buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm 7 ngày kể từ khi đúc mẫu;



Hình 1. *Các chế độ dưỡng hộ mẫu UHPFRC0 khác nhau sử dụng trong nghiên cứu*

S14d.H là mẫu được đặt ở trong buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm 14 ngày kể từ khi đúc mẫu;

S28d.H là mẫu được đặt ở trong buồng dưỡng hộ nhiệt ẩm 28 ngày kể từ khi đúc mẫu.

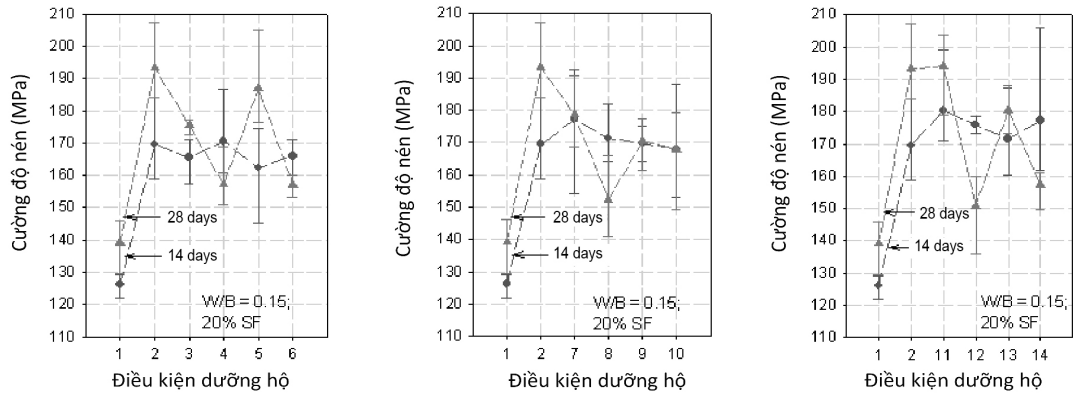
4. Kết quả và bàn luận

4.1 Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPC đối chứng (sử dụng 0% sợi thép)

Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC0 (mẫu UHPC đối chứng không sử dụng sợi thép) được thể hiện ở Bảng 4 và Hình 2.

Bảng 4. *Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC0 đối chứng (sử dụng 0% sợi thép)*

Cường độ nén	Chế độ dưỡng hộ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ở tuổi 14 ngày, MPa	122.0	158.8	157.2	186.8	167.2	160.0	154.0	164.0	170.0	153.2	170.8	178.4	167.2	163.6
	129.2	165.6	168.0	160.8	145.2	166.8	192.4	182.0	175.2	188.0	170.8	176.0	187.2	206.0
	127.2	184.0	171.2	164.0	174.4	171.2	185.2	168.0	164.0	162.4	199.2	173.2	160.4	162.0
TB, MPa	126.1	169.5	165.5	170.5	162.3	166.0	177.2	171.3	169.7	167.9	180.3	175.9	171.6	177.2
Ở tuổi 28 ngày, MPa	142.0	207.2	172.4	168.8	180.0	160.0	190.8	140.8	177.2	179.2	200.0	156.8	188.0	149.6
	146.0	184.0	176.8	152.0	204.8	153.2	176.4	150.0	172.4	149.2	178.8	136.0	173.2	161.2
	129.6	188.8	177.2	150.8	176.4	158.0	168.8	166.0	161.6	175.6	203.6	160.0	180.0	160.8
Trung bình, MPa	139.2	193.3	175.5	157.2	187.1	157.1	178.7	152.3	170.4	168.0	194.1	150.9	180.4	157.2



Hình 2. *Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC0 đối chứng (sử dụng 0% sợi thép)*

Các kết quả thí nghiệm cho thấy, mẫu UHPFRC0 dưỡng hộ ở điều kiện nhiệt ẩm có cường độ nén cao hơn so với các mẫu dưỡng hộ ở chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn (20 ± 2°C, RH ≥ 95%). Các mẫu UHPFRC0 được dưỡng hộ ở chế độ số 2 và số 11 cho cường độ nén cao nhất, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt khoảng 194 MPa. Với mẫu UHPFRC0 sau khi được dưỡng hộ nhiệt ẩm, sau đó được làm nguội và tiếp tục dưỡng hộ trong nước ở 20°C (chế độ dưỡng hộ số 4, 6, 8, 10, 12, 14) có cường độ nén giảm, trong khi đó với các mẫu sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm được làm nguội và dưỡng hộ trong không khí (chế độ dưỡng hộ số 3, 5, 7, 9, 11, 13) có cường độ nén tăng. Với các mẫu UHPFRC0 sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm sẽ tiếp tục được dưỡng hộ trong nước có cường độ nén giảm điều này có thể do mẫu UHPFRC0 bị hút một lượng nước nhất định vào hệ thống lỗ rỗng. UHPFRC0 sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm đã đạt được cường độ nén lớn nhất, do đó khi hàm lượng ẩm trong mẫu càng tăng thì cường độ nén của mẫu càng giảm. Mẫu UHPFRC0 dưỡng hộ ở chế độ số 11 cho hiệu quả lớn nhất bởi vì mẫu chỉ được dưỡng hộ nhiệt ẩm trong 4 ngày, sau đó mẫu tiếp tục được dưỡng hộ trong không khí đến tuổi thí nghiệm.

4.2 Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC2.5 sử dụng 2.5% sợi thép

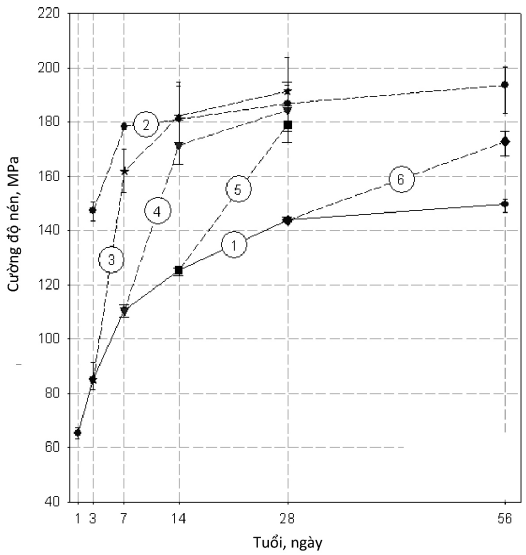
Các mẫu UHPFRC2.5 sau khi đúc mẫu sẽ được dưỡng hộ trong 6 chế độ khác nhau. Với chế độ số 1 và số 2, tương ứng các mẫu UHPFRC2.5 được dưỡng hộ hoàn toàn trong điều kiện tiêu chuẩn (ngâm trong nước ở 20±2°C) và sau khi đúc mẫu 01 ngày, mẫu được dưỡng hộ hoàn trong nước ở 90±5°C. Với chế độ số 3, 4, 5 và 6, mẫu sẽ được dưỡng hộ nhiệt ẩm sau 3, 7, 14 và 28 ngày đến khi mẫu thí nghiệm.

Bảng 5. *Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC2.5 (sử dụng 2.5% sợi thép)*

Chế độ dưỡng hộ		No. 1 S	No. 2 H	No. 3 S3d.H	No. 4 S7d.H	No. 5 S14d.H	No. 6 S28d.H
Cường độ nén (MPa)	1 ngày, MPa	63.3					
		67.5					
		65.0					
	Trung bình, MPa	65.3					
	3 ngày, MPa	91.6	150.4				
		82.6	143.6				
		81.2	148.4				
	Trung bình, MPa	85.1	147.5				
	7 ngày, MPa	108.2	178.8	162.0			
		111.2	177.2	154.0			
		112.5	178.8	170.0			
	Trung bình, MPa	110.6	178.3	162.0			
	14 ngày, MPa	126.4	177.6	193.2	180.8		
		123.6	194.8	183.2	169.6		
		126.4	170.8	170.4	164.4		
	Trung bình, MPa	125.5	181.1	182.3	171.6		
	28 ngày, MPa	143.2	186.8	185.6	194.8	172.4	
		143.6	180.4	203.6	181.6	186	
		144.8	193.6	185.2	176.8	178.8	
	Trung bình, MPa	143.9	186.9	191.5	184.4	179.1	
	56 ngày	146.8	183.2				167.5
		151.6	197.6				174.7
		150.8	200.4				176.5
	Trung bình, MPa	149.7	193.7				172.9

Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của UHPFRC2.5 (khi hàm lượng sợi sử dụng 2.5%) được thể hiện ở Bảng 5 và Hình 3. Các kết quả cho thấy, ở chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm cường độ nén của bê tông tăng. Ở chế độ dưỡng hộ số 1 và số 3, quá trình dưỡng hộ nhiệt ẩm được thực hiện sau 1 và 3 ngày sau khi đúc mẫu sẽ cho cường độ nén cao hơn khi so sánh với các chế độ dưỡng hộ khác (Hình 3).

Cường độ nén của bê tông cao nhất đạt được ở chế độ mẫu được dưỡng hộ nhiệt ẩm trong thời gian 4 ngày. Sau 7 ngày từ khi đúc mẫu, hiệu quả dưỡng hộ nhiệt của bê tông sẽ giảm. Hiệu quả lớn nhất đạt được chỉ khi quá trình dưỡng hộ nhiệt được thực hiện trong vòng 7 ngày kể từ khi đúc mẫu.



Hình 3. *Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ nén của mẫu UHPFRC (sử dụng 2.5% sợi thép)*

5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu đã trình bày, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Các mẫu bê tông UHPC dưỡng hộ theo chế độ nhiệt ẩm (90 ± 5°C, RH ≥ 95%) có cường độ nén cao hơn so với mẫu bê tông dưỡng hộ theo chế độ tiêu chuẩn (20 ± 2°C, RH ≥ 95%). Cường độ nén đạt lớn nhất ở chế độ dưỡng hộ số 3 và số 11, tương ứng là 193.3 MPa và 194.1 MPa, tăng gần 40% so với chế độ dưỡng hộ có cường độ thấp nhất (chế độ dưỡng hộ số 1 với cường độ nén 139.2 MPa).

- Quá trình dưỡng hộ nhiệt nên được thực hiện sớm, ngay sau khi bê tông đã đông kết. Quá trình dưỡng hộ nhiệt ẩm đạt hiệu quả nhất là áp dụng thời gian dưỡng hộ 4 ngày sau khi đúc mẫu 3 ngày (mẫu UHPFRC0 với chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm S3d.H). Với chế độ này cường độ nén của mẫu tăng 33% so với chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn (chế độ dưỡng hộ S).

- Cường độ nén của các mẫu UHPC không bị ảnh hưởng đáng kể khi sử dụng thêm sợi thép ứng với cùng một chế độ dưỡng hộ.

Tài liệu tham khảo

1. Yagishita F., Sano M., Yamada M. (1994), "Behavior of reinforced concrete beams containing recycled coarse aggregate", *Demolition and reuse of concrete & masonry RILEM proceeding*, Ed. Erik K.Lauritzen, E&FN Spon, Frederiksberg, Denmark, 331-342.

2. Buitelaar P. (2004), "Ultra High Performance Concrete: Developments and Applications during 25 years", *International Symposium on UHPC*, Kassel, Germany.

3. Schmidt M., Fehling E. (2005), "Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe", *Seventh International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete*, Washington, D.C., USA, SP-228-4.

4. Richard P., Cheyrezy M.H.(1995), "Composition of reactive power concretes", *Cement and Concrete Research*, 25(7):1501-1511.

5. AFGC-SETRA (2002), *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*, Paris, France: Interim Recmmendations, AFGC publication.

6. Kamen A., et al. (2008), "Thermo-mechanical response of UHPFRC at early age - Experimental study and numerical simulation", *Cement and Concrete Research*, 38:822-831.

7. Zanni H., et al. (1996), "Investigation of Hydration and Pozzolanic Reaction in Reactive Powder Concrete (RPC) Using 29si NMR", *Cement and Concrete Research*, 26(1):93-100.

8. P.A. (2002), "Why does Ultra High-Performance Concrete (UHPC) exhibit such a Low Shrinkage and such a Low Creep", *Proceedings of: Autogenous Deformations of Concrete*, ACI Fall Convention, Phoenix, USA.

9. Thanh L.T. (2008), *Ultra Performance Fibre Reinforced Concrete paving Flags*, University of Liverpool.

10. Yazıcı H. (2007), "The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures", *Building and Environment*, 42(5):2083-2089.

11. Cheyrezy M., Maret V., Frouin L. (1995), "Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete)", *Cement and Concrete Research*, 25(7):1491-1500.

12. Resplendino J., Petitjean J. (2002), *Interim Recommendations for Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*, Association Française de Génie Civil (AFGC-SETRA), 2002, Bagneux, France (152 p., both in French and English) (http://www.afgc.asso.fr/v3/home.html).

13. Graybeal B.A. (2007), "Compressive Behavior of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete", *ACI Materials Journal*, 104 (2):146-152.

14. Bonneau O., Poulin C. (1996), "Reactive Powder Concretes: From Theory to Practice", *ACI Materials Journal*, 18(4):47-49.

15. Talebinejad I., Bassam S.A., Iranmansesh A.(2004), "Optimizing mix proportions of Normal Weight Reactive Powder Concrete with Strengths of 200-350 Mpa", *in Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete,* Kassel, Germany.

16. Ahlborn T.M., Misson D.L., Peuse E.J. (2008), "Durability and Strength Characterization of Ultra-High performance concrete under variable curing regimes", *in Proceedings of the second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany.

17. Schachinger I., Hilbig H., Stengel T. (2008), "Effect of curing temperature at an early age on the long-term strength development of UHPC", *in Proceedings of the second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany.

18. Cwirzen A., Habemehl-Cwirzen K., Penttala V. (2008), "The effect of heat treatment on the salt freeze-thaw durability of UHSC", *in Proceedings of the second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany.

19. Cwirzen A. (2007), "The effect of the heat-treatment regime on the properties of reactive powder concrete", *Advances in cement reseach*, 19(1):25-33.

20. Scheydt J.C., Herold G., Muller H.S. (2008), "Long term behaviour of UHPC under the attack of Chlorides and Aggressive waters", *in Proceedings of the second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany.

21. Graybeal B.A. (2006), *Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete*, FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

22. Park J.J., Kang S.T., Koh K.T. (2008), "Influence of the Ingredients on the Compressive Strength of UHPC as a Fundamental Study to Optimize the Mixing Proportion", *in Proceedings of the second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany.

23. Bonneau O., Lachemi M., Aitcin P.C. (1997), "Mechanical Properties and Durability of Two Industrial Reactive Powder Concretes", *ACI Materials Journal,* 94(4):286-290.