

## Effect of some types of superplasticizers on workability and compressive strength of cement concrete

Duy Tung Đò\*

Department of Structure and Construction Material, Faculty of Civil Engineering, University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Thanh Xuan, Ha Noi, Viet Nam

### Article info

#### Type of article:

Original research paper

#### \*Corresponding author:

E-mail address:

tungdd@utt.edu.vn

**Received:** 27/5/2022

**Accepted:** 01/7/2022

**Published:** 23/7/2022

**Abstract:** This paper presents effect of changing superplasticizers (different chemical compound such as Sulfonate naphthalene formaldehyde-SNF, Lignosulphunates-LSF and Polyacrylate) on compressive strength and workability of cement concrete using Hoang Thach cement commonly used in the North of Vietnam. Experimental results show that the workability and compressive strength at different ages of cement concrete using different superplasticizers such as Sikament NN (based on SNF), Sikament R4 (based on LSF), Rheobuild 561 (based on Polyacrylate) with the same dose (0.8 l/100kg of cement PCB30) showed a difference. The slump of concrete using Silikament NN was the highest, while Rheobuild 561 was the lowest. The compressive strength at 28-day age of concrete using Rheobuild 561 was the highest, while using Silikament NN was the lowest. Therefore, it is necessary to check the compatibility of cement and superplasticizer admixtures before concrete production for choosing the type of admixture used in accordance with specific purposes and requirements.

**Keywords:** Superplasticizer; work ability, compressive strength, cement concrete.

## Nghiên cứu ảnh hưởng của một số loại phụ gia siêu hóa dẻo đến tính công tác và cường độ của bê tông xi măng

Đỗ Duy Tùng\*

Bộ môn Kết cấu Vật liệu/Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

### Thông tin bài viết

#### \*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ E-mail:

tungdd@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 27/5/2022

Ngày chấp nhận: 01/7/2022

Ngày đăng bài: 23/7/2022

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu về tính công tác và cường độ chịu nén của bê tông xi măng khi thay đổi các loại phụ gia siêu dẻo (các gốc khác nhau như Sulfonat naphthalen formaldehyde - SNF, Lignosulphunates - LSF và Polyacrylate) với xi măng Hoàng Thạch đang sử dụng phổ biến ở Miền Bắc Việt Nam. Kết quả thực nghiệm cho thấy tính công tác và cường độ chịu nén của bê tông xi măng sử dụng các loại phụ gia siêu dẻo khác nhau như Sikament NN (gốc SNF), Sikament R4 (gốc LSF), Rheobuild 561 (gốc Polyacrylate) với cùng liều lượng 0.8 l/100kg xi măng PCB30 ở các ngày tuổi khác nhau cho thấy có sự khác biệt. Độ sụt của bê tông sử dụng Silikament NN là cao nhất, trong khi Rheobuild 561 là thấp nhất. Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của bê tông sử dụng Rheobuild 561 là cao nhất, trong khi sử dụng Silikament NN là thấp nhất. Từ đó, cho thấy cần kiểm tra tính tương thích của xi măng và phụ gia trước khi sản xuất bê tông để lựa chọn loại phụ gia sử dụng phù hợp với mục đích, yêu cầu cụ thể.

**Từ khóa:** Phụ gia siêu dẻo, tính công tác, cường độ chịu nén, bê tông xi măng.

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, bê tông được sử dụng với nhiều mục đích khác nhau ở các điều kiện khác nhau, tuy nhiên trong nhiều tình huống thực tế các loại bê tông thông thường lại không đáp ứng đầy đủ các yêu cầu đặc biệt về công nghệ hay về chất lượng và độ bền [1]. Trong những trường hợp này phụ gia được sử dụng nhằm mục đích thay đổi các đặc trưng của hỗn hợp bê tông và của bê tông ứng với các điều kiện thực tế đã đặt ra. Việc sử dụng đúng đắn các chất phụ gia vào bê tông là rất quan trọng, nếu sử dụng không đúng về liều lượng và quy trình sẽ dẫn tới những kết quả không mong muốn. Vì

vậy, khi sử dụng phụ gia cần phải cẩn trọng trong việc lựa chọn các loại phụ gia, kiểm tra tính tương thích giữa phụ gia với loại xi măng sử dụng và dự đoán được tác động của phụ gia lên bê tông. Điều này có thể dựa trên kiến thức, kinh nghiệm và đặc biệt là dựa trên các thí nghiệm trong điều kiện cụ thể tại công trường [2].

Một trong những yếu tố không thể thiếu để hình thành nên cấp phối bê tông có độ đặc chắc và độ bền cao là sử dụng phụ gia giảm nước. Phụ gia giảm nước là các hợp chất hữu cơ tan trong nước, làm giảm lượng nước trộn của hỗn hợp bê tông, mà vẫn giữ nguyên độ sụt hỗn hợp; như vậy hỗn

hợp bê tông vẫn có khả năng thi công tốt mà lượng lỗ rỗng mao quản do nước tự do thừa bay hơi để lại ít, nên bê tông sẽ đặc chắc hơn, đảm bảo đạt cường độ cao và tuổi thọ lâu bền hơn [3].

Phụ gia siêu dẻo là một phân lớp đặc biệt của các tác nhân giảm nước, chúng được tạo thành từ những nguyên liệu thô có tác dụng làm giảm lượng nước đáng kể, hoặc tạo ra khả năng hoạt động cao nhất của bê tông khi chúng được kết hợp với nhau. Có rất nhiều loại phụ gia siêu dẻo dùng trong xây dựng nhằm mục đích điều chỉnh tính chất của bê tông và vữa hoàn thiện theo mong muốn. Mỗi loại phụ gia đều có một công dụng và tính chất khác nhau nên người thiết kế thành phần bê tông cần phải hiểu kĩ trước khi sử dụng chúng.

Tiêu chuẩn ASTM C494 [4] quy định 7 loại phụ gia hoá học cho bê tông như: Loại A: Giảm nước; Loại B: Chậm ninh kết; Loại C: Nhanh ninh kết; Loại D: Hoá dẻo chậm ninh kết; Loại E: Hoá dẻo nhanh ninh kết; Loại F: Siêu dẻo nhanh ninh kết; Loại G: Siêu dẻo chậm đông kết.

Các loại phụ gia siêu dẻo có thể được chia theo các gốc hóa học chính tạo ra chúng. Có một số gốc phụ gia siêu dẻo thường được sử dụng trong bê tông và vữa như sau:

Sulfonat naphthalen formaldehyde (SNF): Nguồn gốc: Thu được khi chưng cất than đá khô hoặc có thể tổng hợp từ các chất hữu cơ [1].

Phụ gia gốc Lignosulphunates (LSF) Sản phẩm của quá trình sản xuất bột giấy từ gỗ. Polymer của phenyl propane với nhóm hydroxyl, methoxyl, vòng phenyl, và axit sulfonic. Các phân tử hấp thụ trên bề mặt xi măng tạo lớp màng mỏng chống sự keo tụ của xi măng nhằm làm tăng độ dẻo của hỗn hợp, giảm độ phân tầng của vữa và giảm lượng nước trộn. Có tác dụng làm chậm đông kết khi sử dụng hàm lượng cao [1].

Polyacrylate: Nhiều loại polyme polyacrylate được sản xuất từ những chất đơn phân thích hợp theo cơ chế gốc tự do nhờ sử dụng peroxit làm chất xúc tác quá trình ninh kết [1].

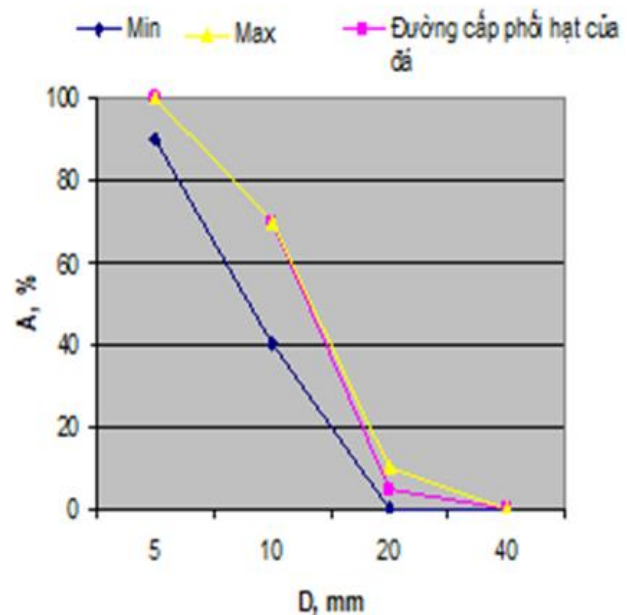
Trên cơ sở đó, bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sự tương thích

giữa một số loại phụ gia siêu dẻo như Sikament NN (gốc SNF), Sikament R4 (gốc LSF), Rheobuild 561 (gốc Polyacrylate) và xi măng Hoàng Thạch là những loại vật liệu sử dụng phổ biến ở Miền Bắc Việt Nam thông qua tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông xi măng. Các kết quả được phân tích và đánh giá Tukey (thực hiện trên phần mềm Minitab V17). Từ đó đưa ra những khuyến cáo và kiến nghị đối với việc sử dụng phụ gia hóa học và loại xi măng trong việc lựa chọn và thiết kế và thi công công trình sử dụng vật liệu bê tông xi măng.

## 2. Vật liệu chế tạo

### 2.1. Đá dăm

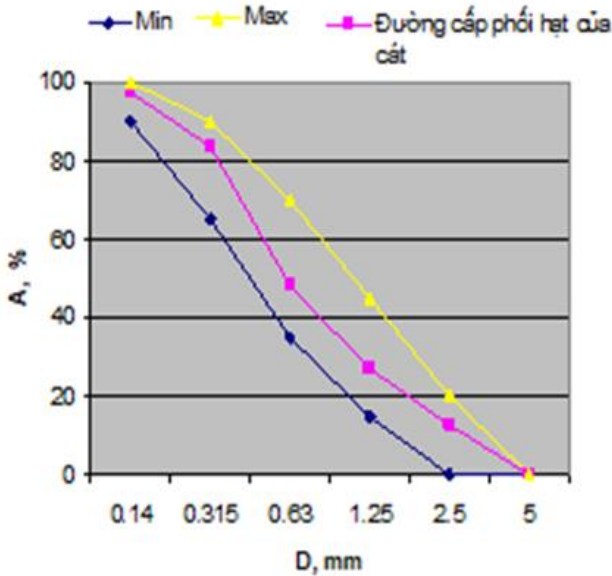
Cốt liệu lớn là đá dăm được sử dụng trong thí nghiệm có nguồn gốc từ mỏ Hòa Thạch – Sơn Tây. Đá dăm có các yêu cầu kỹ thuật thỏa mãn TCVN 7572-2006 [5] và TCVN 7570-2006 [9]. Hỗn hợp đá dăm có đường kính 5 – 20 mm, thành phần cấp phối hạt của đá dăm được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Biểu đồ thành phần cấp phối hạt đá dăm

### 2.2. Cát vàng

Cốt liệu nhỏ là cát được sử dụng trong thí nghiệm có nguồn gốc từ Sông Hồng có đường kính cỡ hạt 0.14 - 5mm. Cát vàng hạt thô có thỏa mãn TCVN 7572-2006 [6] và TCVN 7570-2006 [9], thành phần cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu nhỏ được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Biểu đồ thành phần cấp phối hạt cát vàng

### 2.3. Xi măng

Hiện nay, ở Việt Nam các loại xi măng đang được sản xuất và sử dụng rất phổ biến. Tùy vào từng loại xi măng mà có những đặc tính riêng để sử dụng vào từng công trình cụ thể. Trong phạm vi nghiên cứu này chỉ khảo sát ảnh hưởng của các loại phụ gia siêu dẻo đến tính công tác và cường độ của bê tông xi măng nên trong nghiên cứu sử dụng xi măng Hoàng Thạch. Xi măng Hoàng Thạch PCB30 được sản xuất đảm bảo theo tiêu chuẩn TCVN 6260-1997 [7]. Xi măng trong nghiên cứu có lô sản xuất: CP080, màu sắc: xanh, xám đen.

Bảng 1. Các chỉ tiêu kỹ thuật của Xi măng Hoàng Thạch PCB30

Chỉ tiêu	Giá trị
1. Cường độ chịu nén tối thiểu, N/mm <sup>2</sup>	
72 giờ ± 45 phút	14
28 ngày ± 2 giờ	39
2. Thời gian đông kết	
Bắt đầu, phút (tối thiểu)	45
Kết thúc, giờ (tối đa)	10
3. Độ nghiền mịn	
Phần còn lại trên sàng 0,08mm, %	12
Bề mặt riêng (Blaine), cm <sup>2</sup> /g (tối đa)	2700
4. Độ ổn định thể thích (Le Chatelier), mm (tối đa)	10
5. Hàm lượng SO <sub>3</sub> tối đa, %	3.5

Các chỉ tiêu chất lượng xi măng Hoàng Thạch PCB30 được thể hiện ở Bảng 1. Kết quả cho thấy với xi măng sử dụng trong nghiên cứu có độ mịn cao, thời gian ninh kết: Bắt đầu khoảng 110 ÷ 140 phút, Kết thúc sau 3 ÷ 4 giờ. Tốc độ phát triển cường độ ban đầu nhanh, rất phù hợp cho các công trình cần tháo dỡ cốt pha nhanh. Xi măng Hoàng Thạch có hàm lượng khoáng C3S cao, hàm lượng C3A thấp, hàm lượng vôi tự do nhỏ, độ ổn định thể tích tốt.

### 2.4. Nước

Nước để chế tạo bê tông (rửa cốt liệu, nhào trộn và bảo dưỡng bê tông) phải có đủ phẩm chất để không ảnh hưởng xấu đến thời gian ninh kết và rắn chắc của xi măng và không gây ăn mòn cốt thép. Nước nhào trộn bê tông trong nghiên cứu này là nước máy không chứa dầu mỡ, nước có độ PH > 4, có chứa muối sunfat nhỏ hơn 0.27% (tính theo lượng ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

### 2.5. Phụ gia siêu hóa dẻo



Hình 3. Các loại phụ gia siêu hóa dẻo

Thành phần phụ gia (PG) thường được quy định theo hàm lượng xi măng. Các loại phụ gia siêu hóa dẻo được sử dụng trong nghiên cứu (Hình 3) này bao gồm:

Sikament NN (viết tắt NN) là phụ gia siêu dẻo tăng nhanh ninh kết, đạt cường độ cao sớm thỏa mãn ASTM C494 Loại F.

Sikament R4 (viết tắt R4) là phụ gia siêu dẻo làm chậm ninh kết, giảm nước nhiều, đạt cường độ cao thỏa mãn ASTM C494 loại D & G.

Rheobuild 561 (viết tắt R561) phụ gia siêu dẻo làm chậm ninh kết, thỏa mãn ASTM C494 [8] loại B, D, và G.

Liều lượng sử dụng quy định theo nhà sản xuất: 0.7-1.2 l/100kg xi măng. Trong nghiên cứu



này, sử dụng liều lượng thực tế đang phổ biến hiện nay 0.8 l/100kg xi măng.

### 3. Tỷ lệ thành phần

Tỷ lệ thành phần cấp phối bê tông M300 được tính toán theo phương pháp Bolomey-Skramtaev. Chi tiết được thể hiện ở Bảng 2.

**Bảng 2.** Tỷ lệ thành phần cấp phối bê tông có M300

Loại PG	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (kg)	Hàm lượng PG (l)
NN	420	622	1172	170	3.36
R4	420	622	1172	170	3.36
Rh561	420	622	1172	170	3.36

### 4. Chế bị mẫu và thí nghiệm

Bê tông thí nghiệm được trộn bằng máy trộn cưỡng bức. Quá trình trộn được tiến hành trộn khô khoảng 1-2 phút rồi sau đó cho xi măng vào và cho máy trộn tiếp khoảng 1-2 phút. Nước được chia làm 2 phần (70% nước không có phụ gia và 30% nước có hòa thêm phụ gia vào). Sau khi trộn khô đều rồi thì cho 70% nước không chứa phụ gia vào trước, tiếp tục trộn từ 1-2 phút sau đó cho 30% nước có phụ gia vào trộn khi ta thấy đều thì dừng máy và cho hỗn hợp bê tông ra [10].

Độ sụt dùng để đánh giá khả năng dễ chảy của hỗn hợp bê tông dưới tác dụng của trọng lượng bản thân hoặc rung động. Thí nghiệm thử độ sụt của hỗn hợp bê tông theo TCVN 3106-93 [8]. Dụng cụ đo độ sụt là hình nón cụt tiêu chuẩn có kích thước 203 x 102 x 305 mm, đáy và miệng hở. Que đầm bằng thép hình tròn có đường kính bằng 16 mm dài 600 mm. Đổ bê tông đầy khuôn nón cụt thành ba lớp, đầm mỗi lớp 25 lần, sau đó rút khuôn lên và đo độ sụt trung bình sau 1 phút. Độ sụt bằng chiều cao của côn trừ đi chiều cao của bê tông tươi sau khi đã rút khuôn ra khỏi hỗn hợp bê tông. Mỗi thí nghiệm độ sụt được thực hiện trên 6 mẫu/tổ. Tổng cộng thí nghiệm độ sụt cho 3 hỗn hợp bê tông là 18 mẫu.

Các mẫu dùng để thí nghiệm kiểm tra xác định cường độ nén của bê tông ở các ngày tuổi là mẫu lập phương kích thước 150 x 150 x 150mm

(Hình 4). Sau khi đúc mẫu được phủ ẩm ở nhiệt độ trong phòng cho tới khi tháo khuôn rồi được bảo dưỡng tiếp trong phòng có nhiệt độ  $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , độ ẩm 95-100% cho đến ngày thử mẫu. Ở đây, mẫu được bảo dưỡng bằng cách ngâm mẫu trong nước. Quá trình lấy mẫu tuân theo TCVN 3105-93 [9].



**Hình 4.** Mẫu bê tông xi măng

Thời gian giữ mẫu trong khuôn là 2 hoặc 3 ngày đêm đối với bê tông có phụ gia chậm đông rắn. Mẫu phải được vớt ra trước một giờ trước khi nén mẫu. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông theo TCVN 3118-93 [10]. Thí nghiệm nén được thực hiện với 3 mẫu/tổ, đánh giá ở 4 tuổi ngày (3, 7, 14 và 28 ngày).

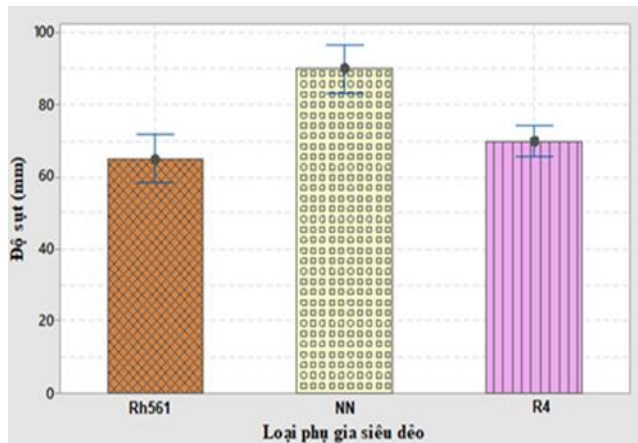
### 5. Kết quả thí nghiệm và thảo luận

#### 5.1. Kết quả tính công tác

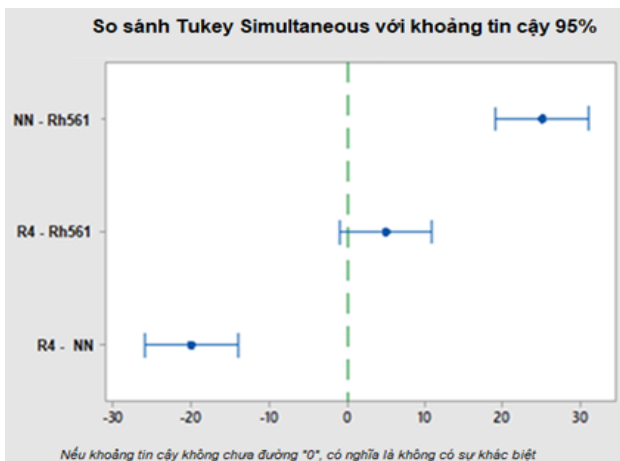
Kết quả độ sụt của các hỗn hợp bê tông sử dụng phụ gia siêu dẻo khác nhau được thể hiện trên Hình 5. Kết quả cho thấy bê tông sử dụng phụ gia Sikament NN có độ sụt (90 mm) cao hơn hẳn so với hai loại phụ gia còn lại (Rh561 và R4 có độ sụt xấp xỉ nhau là 66 và 70 mm).

Kết quả phân tích so sánh Tukey với khoảng tin cậy 95% còn được thể hiện trên Hình 6. Kết quả cho thấy có sự khác biệt đáng kể về kết quả thí nghiệm độ sụt giữa các phụ gia NN – Rh561 và R4 – NN (trừ trường hợp nhóm phụ gia R4 – Rh561 thì không có sự khác biệt đáng kể). Các cặp giá trị trong từng yếu tố nếu có sự khác biệt đáng kể sẽ được thể hiện bởi khoảng tin cậy không cắt qua đường “0”.

Với độ sụt trung bình là 66 mm và 70 mm, bê tông sử dụng phụ gia Rh561 và R4 trong nghiên cứu sẽ phù hợp với các cấu kiện cần lực đầm rung lớn: bê tông đúc sẵn, bê tông mặt đường, và phù hợp với phương pháp bê tông đổ xả (không bơm). Tuy nhiên, với độ sụt trung bình là 90 mm, bê tông sử dụng phụ gia NN trong nghiên cứu sẽ phù hợp với các cấu kiện cần đầm rung tốt (đầm dài...) như cột, dầm, sàn... và phù hợp với phương pháp bê tông đổ xả hoặc bơm (cho nhà dân dụng, hoặc công trình có chiều cao bơm vừa thấp) [11,12].



**Hình 5.** Độ sụt của hỗn hợp bê tông với các loại phụ gia siêu dẻo khác nhau



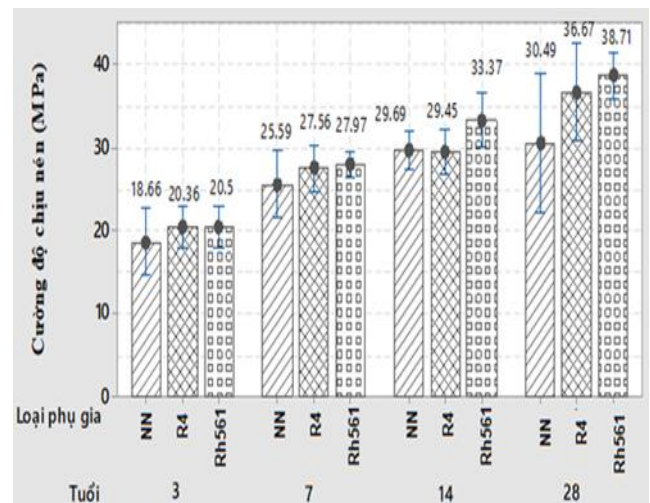
**Hình 6.** Trung bình hiệu và khoảng tin cậy 95% về độ sụt giữa các nhóm phụ gia khác nhau

**5.2. Kết quả cường độ nén**

Cường độ chịu nén của bê tông thường được đánh giá tiêu chuẩn ở mức 28 ngày tuổi. Tuy nhiên, việc xác định cường độ nén ở các ngày tuổi khác nhau (3, 7, 14 ngày tuổi) để đánh giá sự phát triển cường độ nén của bê tông là điều cần thiết. Đặc biệt, đối với một số kết cấu công trình có thể

có các yêu cầu đặc biệt về cường độ nén của bê tông ở tuổi sớm.

Hình 7 thể hiện kết quả cường độ nén của bê tông ở các ngày tuổi với các loại phụ gia siêu hóa dẻo khác nhau. Qua biểu đồ kết quả cường độ chịu nén có thể sơ bộ đánh giá là mẫu bê tông sử dụng phụ gia Rh561 có cường độ lớn nhất ở các ngày tuổi trong số các mẫu được so sánh. Tuy nhiên, sự phát triển cường độ bê tông cũng có sự khác biệt rất rõ rệt. Ở 3 ngày, các mẫu bê tông không có sự chênh lệch nhiều về cường độ (18.66-20.5 MPa). Ở 28 ngày các mẫu bê tông có sự chênh lệch nhiều (30.49-38.71 MPa). Bê tông sử dụng phụ gia NN cường độ nén ở 28 ngày tuổi tăng 63.39% so với cường độ ở 3 ngày tuổi; giá trị này là 80,10% đối với phụ gia R4, và 88.82% đối với phụ gia Rh561. Có thể thấy, bê tông sử dụng phụ gia NN có sự phát triển cường độ tăng đều đặn qua các tuổi ngày 3, 7, 14, 28 ngày tuổi. Trong khi đó, bê tông sử dụng phụ gia R4 tăng nhanh cường độ ở những ngày sau từ ngày 14 đến ngày 28, sử dụng phụ gia Rh561 tăng nhanh cường độ sau 7 ngày tuổi đến 28 ngày tuổi.



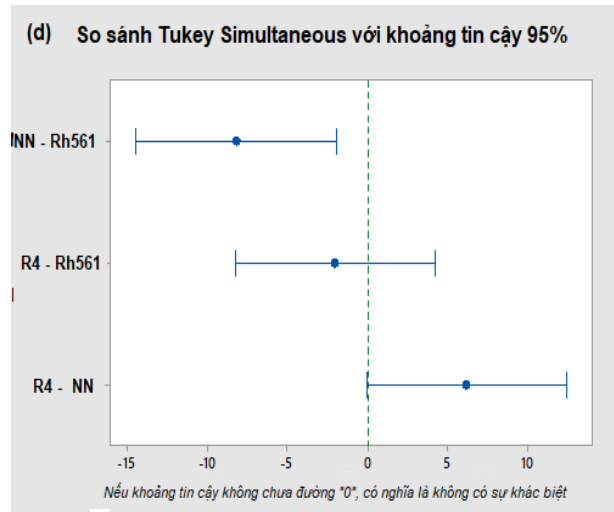
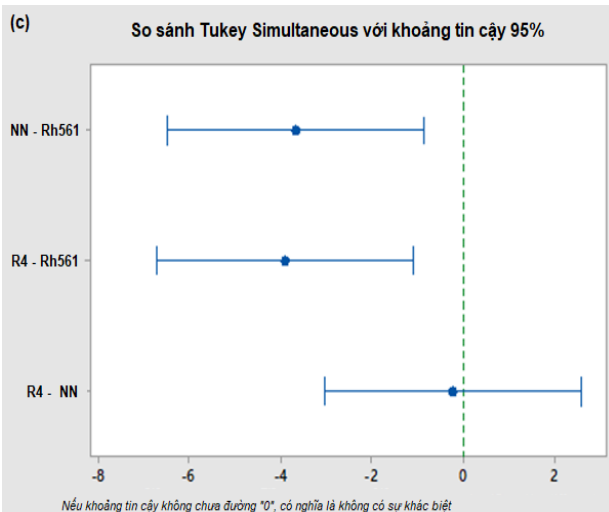
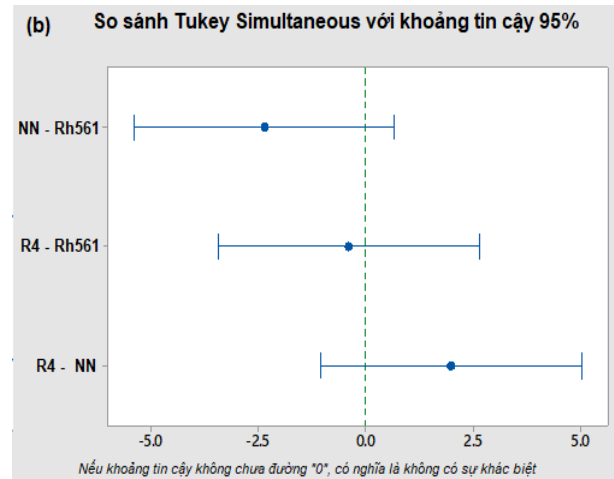
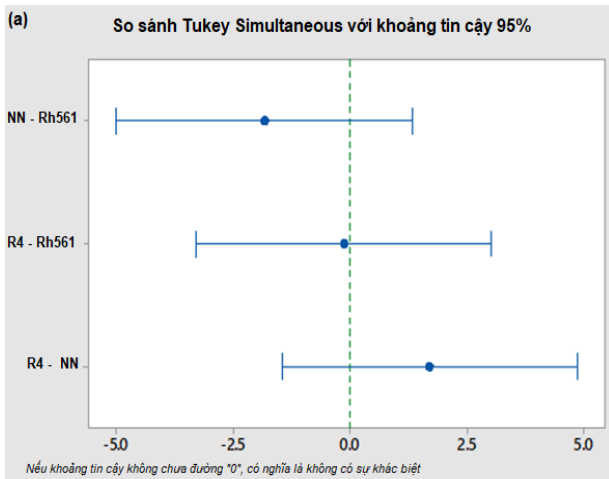
**Hình 7.** Cường độ nén của bê tông ở các ngày tuổi với các loại phụ gia siêu hóa dẻo khác nhau

Kết quả phân tích so sánh Tukey với khoảng tin cậy 95% đối với cường độ chịu nén ở các tuổi ngày khác nhau còn được thể hiện bằng biểu đồ ở Hình 8. Kết quả cho thấy ở những ngày tuổi sớm, (3 ngày và 7 ngày) không có sự khác biệt đáng kể về cường độ nén giữa các nhóm phụ gia. Tuy nhiên, ở 14 và 28 ngày tuổi có sự khác biệt đáng

kể giữa các nhóm phụ gia. Cụ thể, ở 14 ngày tuổi, có sự khác biệt đáng kể giữa các nhóm phụ gia NN – Rh561 và R4 – Rh561. Ở 28 ngày tuổi, có sự khác biệt đáng kể giữa nhóm phụ gia NN – Rh561.

Có thể thấy, cả 3 loại bê tông sử dụng 3 loại phụ gia NN, R4 và Rh561 đều đạt được cường độ lớn hơn 30 MPa ở 28 ngày. Tuy nhiên, độ sụt của các hỗn hợp bê tông này là khác nhau (66-90 mm) và quá trình phát triển cường độ theo ngày tuổi

cũng có khác biệt nhiều. Việc sử dụng 3 phụ gia siêu dẻo có gốc khác nhau (SNF, LSF, Polyacrylate) ở cùng một liều lượng sẽ có ảnh hưởng đáng kể đến độ sụt và cường độ nén của bê tông ở các tuổi ngày khác nhau. Điều này cũng tương đồng với các kết quả nghiên cứu trước đó đã được công bố [13-15]. Vì vậy, tùy theo mục đích sử dụng bê tông vào kết cấu và các yêu cầu cụ thể, cần lựa chọn phụ gia cho phù hợp.



**Hình 8.** Trung bình hiệu và khoảng tin cậy 95% về cường độ chịu nén giữa các nhóm phụ gia khác nhau ở các tuổi ngày khác nhau: 3 ngày (a), 7 ngày (b), 14 ngày (c), 28 ngày (d)

**6. Kết luận và kiến nghị**

Từ các kết quả thực nghiệm nghiên cứu đánh giá cường độ chịu nén và độ sụt của bê tông M300 sử dụng xi măng PC30 Hoàng Thạch và 3 loại phụ gia khác nhau R trong nghiên cứu này, các kết luận và kiến nghị sau có thể được rút ra:

Độ sụt của bê tông sử dụng NN là cao nhất, trong khi Rh561 là thấp nhất

Cường độ chịu nén của bê tông sử dụng Rh561 là cao nhất, trong khi sử dụng NN là thấp nhất.

Sự phát triển cường độ giữa các loại bê tông khác nhau không đồng đều qua các tuổi ngày. bê tông sử dụng phụ gia NN có sự phát triển cường độ tăng đều đặn qua các tuổi ngày 3, 7, 14, 28 ngày tuổi. Trong khi đó, bê tông sử dụng phụ gia R4 tăng

nhanh cường độ ở những ngày sau từ ngày 14 đến ngày 28, sử dụng phụ gia Rh561 tăng nhanh cường độ sau 7 ngày tuổi đến 28 ngày tuổi.

Vì vậy, các đơn vị sản xuất bê tông cần thí nghiệm kiểm tra tính tương thích của xi măng và phụ gia trước khi sản xuất bê tông để lựa chọn loại phụ gia sử dụng phù hợp với mục đích, yêu cầu cụ thể của việc sử dụng bê tông xi măng.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Mollah, M. Y. A., Adams, W. J., Schennach, R., & Cocke, D. L. (2000). A review of cement – superplasticizer interactions and their models. *Advances in Cement Research*, 12(4), 153-161.
- [2]. D. H. Phạm, V. Đ. Đào (2009). *Vật liệu xây dựng mới*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [3]. D. H. Phạm, X. Q. Ngô, Đ. L. Mai (2011). *Vật liệu xây dựng*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [4]. ASTM C494 (2008). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- [5]. TCVN 7572 (2006). *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*.
- [6]. TCVN 7570 (2006). *Cốt liệu cho bê tông và vữa yêu cầu kỹ thuật*.
- [7]. TCVN 6260 (1997). *Xi măng poóc lăng hỗn hợp - yêu cầu kỹ thuật*.
- [8]. TCVN 3106 (1993). *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*.
- [9]. TCVN 3105 (1993). *Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*.
- [10]. TCVN 3118 (1993). *Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén*.
- [11]. Cooke, T. H. (1990). *Concrete pumping and spraying: A practical guide*. Thomas Telford.
- [12]. Austin, S. A., Goodier, C. I., & Robins, P. J. (2005). Low-volume wet-process sprayed concrete: pumping and spraying. *Materials and Structures*, 38(2), 229-237.
- [13]. Dvorkin, L., Lushnikova, N., & Sonebi, M. (2018). Application areas of phosphogypsum in production of mineral binders and composites based on them: a review of research results. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 149, p. 01012). EDP Sciences.
- [14]. Hussein, H. Z. (2012). Evaluation Using New Products Types of Superplasticizers (Type Glenium) and Its Effect on Workability and The Compressive Strength of Concrete in Medium Hot Weathers. *Anbar Journal of Engineering Sciences*, (العدد الخاص-الجزء الأول).
- [15]. Siviero, E. (1994). Evaluation of early concrete strength. *Materials and Structures*, 27(5), 273-284.