

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO DÙNG CHO CÔNG TRÌNH THỦY CÔNG CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA DÒNG CHẢY CÓ LƯU TỐC LỚN

**PGS.TS Hoàng Văn Tấn**  
**PGS.TS Phạm Hữu Hanh**  
**ThS. Nguyễn Ngọc Lâm**  
Trường Đại học Xây dựng

**Tóm tắt:** Trong các công trình thủy công, vật liệu bị phá hoại rất nhanh, đặc biệt là dưới tác dụng của dòng chảy có lưu tốc lớn. Vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo vật liệu phù hợp với những công trình quan trọng này rất cần thiết. Trong bài báo này, các tác giả trình bày phương pháp thiết kế thành phần bê tông cường độ cao dùng cho các công trình thủy công chịu tác động của dòng chảy có lưu tốc lớn. Từ đó các tác giả đã kiến nghị chế tạo bê tông cường độ cao dùng cho các công trình thủy công bằng vật liệu trong nước với tỷ lệ cốt liệu tối ưu. Bê tông này có khả năng chịu mài mòn và xói mòn, chịu uốn, chống thấm tốt, cao gấp 3 lần so với bê tông mác 30 đang sử dụng.

**Summary:** Concrete used for hydraulic structures, particularly under effected by high velocity flows, is disintegrated quickly. Therefore, a research on making concrete with enough susceptible to abrasion is very important in construction of hydraulic structures. In this paper, we present the research results on using the mix design of high strength concrete for hydraulic structures affected by high velocity flows. Then, the authors recommended to make high strength concrete for hydraulic structures from local materials with the optimal proportion of aggregate. This kind of concrete has a high resistance to abrasion and erosion, bending, good waterproof, with 3 times higher compared with concretes at grade 30 used commonly.

## 1. Mở đầu

Bê tông được sử dụng rộng rãi để xây dựng các công trình thủy công, trong đó có loại công trình rất quan trọng, ảnh hưởng lớn đến không những kinh tế mà cả an ninh, quốc phòng của đất nước, đó là các đập thủy điện.

Đối với các đập trọng lực, bê tông làm lớp lõi đập có yêu cầu cường độ không cao và quan trọng nhất phải giải quyết vấn đề ứng suất nhiệt do xi măng thủy hóa, do đó giải pháp tốt nhất là áp dụng công nghệ bê tông đầm lăn. Lớp vỏ ngoài của đập chịu tác động xói mòn (mài mòn, khí thực và ăn mòn) [3] trực tiếp của nước nên bị phá hoại rất nhanh. Theo kinh nghiệm của các nước trên thế giới, việc sử dụng bê tông cường độ cao (có tỷ lệ N/X thấp) là biện pháp tốt nhất để làm tăng tuổi thọ của các công trình này [6].

Việc nghiên cứu thiết kế thành phần bê tông cường độ cao ở Việt Nam chưa có nhiều kinh nghiệm và cơ bản vẫn dựa trên cơ sở của thiết kế thành phần bê tông thông thường. Bài

báo này trình bày phương pháp mới thiết kế thành phần bê tông cường độ cao dùng cho công trình thủy công nhằm kết hợp kinh nghiệm của Viện Bê tông Mỹ [1] và việc tối ưu hóa bằng qui hoạch thực nghiệm để tìm cấp phối tốt nhất thông qua các kết quả thí nghiệm thực tế.

## 2. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng xi măng Bút Sơn PC40 có chất lượng đạt các tiêu chuẩn TCVN 4030-2003 và TCVN 6017-1995; Phụ gia khoáng là Silica fume do hãng Elkem cung cấp đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn ASTM C1240; Cốt liệu sử dụng là cát vàng Sông Lô và đá dăm Bình Định thuộc loại Granit có  $D_{max} = 20\text{mm}$ , với cường độ nén của đá gốc 140 Mpa. Cốt liệu có tính chất đạt yêu cầu để sản xuất bê tông theo TCVN 7570:2006. Thành phần hạt của cốt liệu ghi ở bảng 1.

**Bảng 1.** Thành phần hạt của cốt liệu

Kích thước sàng (mm)		20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Phần trăm lọt sàng	Đá (10 ÷ 20)	100	0						
	Đá (5 ÷ 10)	100	100	3	0				
	Cát	100	100	100	90,0	67,2	40,6	13,7	2,9

— Phụ gia hóa học của hãng BASF: Glenium®ACE 388 SureTec. Đây là loại phụ gia siêu dẻo thể hệ mới thuộc loại F theo phân loại của ASTM C 494.

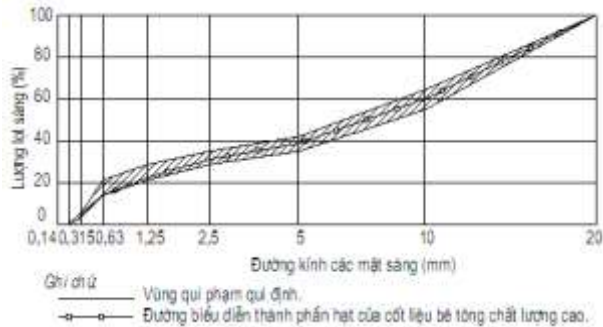
## 3. Kết quả và bàn luận

### 3.1. Thiết kế thành phần hạt cốt liệu

Thành phần hạt là yếu tố rất quan trọng, ảnh hưởng đến tính công tác, độ chịu lực, module đàn hồi, từ biến, biến dạng, độ bền, tính kinh tế, cũng như tính đồng nhất và lượng dùng phụ gia. Thực tế có 2 loại mô hình chính về thiết kế thành phần hạt: liên tục, gián đoạn. Trong nghiên cứu này, các tác giả dùng phương pháp cấp hạt liên tục với cấp phối yêu cầu để thiết kế chọn thành phần cốt liệu ghi ở bảng 2. Từ tính chất của cốt liệu ở bảng 1, dùng phương pháp thiết kế thành phần hạt bằng đồ thị [7], tìm được cấp hạt (10 ÷ 20)mm có thành phần là 40%, cấp hạt (5 ÷ 10)mm có thành phần là 25% và cát có hàm lượng là 35%. Kết quả tính toán ghi ở bảng 2 và được biểu diễn trên hình 1.

**Bảng 2.** Thành phần hạt yêu cầu của hỗn hợp cốt liệu

Kích thước sàng (mm)	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
40% (10-20)mm	40	0						
25% (5-10)mm	25	25	0,8	0				
35% cát	35	35	35	31,5	23,5	14,2	4,8	1
Thiết kế	100	60	35,8	31,5	23,5	14,2	4,8	1
Yêu cầu	100	55-65	35-42	28-35	21-28	14-21	3-5	0-1



**Hình 1. Thành phần cấp phối hạt của bê tông**

Thành phần hạt cốt liệu thiết kế đều đạt ở tất cả 8 nhóm cỡ hạt theo cấp phối liên tục. Như vậy, theo lý thuyết cấp phối, cốt liệu này sẽ cho hỗn hợp bê tông đạt các tính chất yêu cầu cả về kỹ thuật và kinh tế. Tuy nhiên, để sát thực hơn với thực tế, cấp phối thiết kế sẽ được dùng làm cấp phối sơ bộ trong thiết kế thành phần bê tông.

### 3.2. Thiết kế thành phần bê tông

Dựa vào ACI 211.4R – 08 [1] và thành phần cốt liệu đã được xác định ở bảng 2, nghiên cứu đã xác định được cấp phối sơ bộ của bê tông như sau: xi măng: 516 (kg); silicafume: 52(kg); Glenium@ACE 388 SureTec: 5,2(lít); nước: 149 (l); cát: 612 (kg); cốt liệu lớn: 1137 (kg) trong đó đá kích cỡ hạt (5-10)mm: 379 (kg) và đá (10-20): 758 (kg).

Từ kết quả thí nghiệm sơ bộ, các tác giả đã dùng phương pháp qui hoạch thực nghiệm để tìm miền tối ưu [7] với kế hoạch bậc nhất như sau: Biến số được chọn là: tỷ lệ cốt liệu và chất kết dính mã hoá là  $X_1$ , có giá trị: 2,6-3,4; tỷ lệ cát và cốt liệu mã hoá là  $X_2$ , có giá trị: 0,34-0,36; tỷ lệ nước và chất kết dính mã hoá là  $X_3$ , có giá trị: 0,25-0,27. Kết quả thí nghiệm thu được ghi ở bảng 3.

**Bảng 3. Kết quả cường độ của mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày**

STT	Biến số thực			Cường độ nén (kG/cm <sup>2</sup> )*				S <sup>2</sup> <sub>LL</sub>
	$\frac{CL}{CKD}$	$\frac{C}{CL}$	$\frac{N}{CKD}$	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	$\bar{y}_i$	
1	3,4	0,36	0,27	917,3	930,9	919,1	922,4	54,9
2	2,6	0,36	0,27	966,4	958,2	971,0	965,2	41,7
3	3,4	0,34	0,27	1001,9	988,3	996,5	995,5	47,2
4	2,6	0,34	0,27	1011,9	995,5	1001,9	1003,1	68,2
5	3,4	0,36	0,25	1020,1	1004,6	1009,2	1011,3	63,2
6	2,6	0,36	0,25	1021,9	1034,7	1018,3	1025,0	74,0
7	3,4	0,34	0,25	1057,4	1063,8	1046,5	1055,9	76,5
8	2,6	0,34	0,25	1101,1	1092,9	1085,6	1093,2	59,9

\* Để đạt độ chính xác trong xử lý số liệu, lấy đơn vị cường độ là kG/cm<sup>2</sup>

Sử dụng phần mềm Maple 9.0, các tác giả tìm được phương trình hồi quy của kế hoạch thực nghiệm bậc nhất có dạng:

$$Y = 1008,95 - 12,675X_1 - 27,975X_2 - 37,4X_3 - 1,45X_1X_2 + 0,225X_2X_3 + 0,075X_1X_3 - 7,35X_1X_2X_3$$

Sau khi xử lý số liệu phương trình rút gọn có dạng:

$$Y = 1008,95 - 27,975X_2 - 37,4X_3$$

Từ đó, ta thấy rằng cường độ nén ở tuổi 28 ngày của mẫu thí nghiệm tỷ lệ nghịch với các tỷ lệ  $\frac{C}{CL}$  và  $\frac{N}{CKD}$ , tức là nếu ta giảm các tỷ lệ  $\frac{C}{CL}$  và  $\frac{N}{CKD}$  thì cường độ nén của bê tông sẽ tăng. Sau khi tìm được miền dừng, ta tiến hành thí nghiệm bậc 2 với biến  $X_2 = 0,292-0,348$  và  $X_3 = 0,202-0,258$ . Kết quả thí nghiệm được nêu ở bảng 4 và thể hiện trên hình 2.

**Bảng 4. Cấp phối thí nghiệm và cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày**

TT	Tỷ lệ		Cấp phối thực nghiệm						Cường độ nén, $R_{28}$ (kG/cm <sup>2</sup> )
	$\frac{C}{CL}$	$\frac{N}{CKD}$	X (kg)	SF (kg)	SD (lít)	C (kg)	D (kg)	N (lít)	
1	0,34	0,25	525	52	5,2	594	1153	146	1008,3
2	0,3	0,25	525	53	5,3	525	1224	146	1029,5
3	0,34	0,21	537	54	5,4	609	1181	125	1032,5
4	0,3	0,21	538	54	5,4	537	1254	125	1072,9
5	0,348	0,23	531	53	5,3	615	1153	136	1040,1
6	0,292	0,23	532	53	5,3	517	1253	136	1067,7
7	0,32	0,258	523	52	5,2	557	1183	150	1011,9
8	0,32	0,202	540	54	5,4	576	1223	121	1094,1
9	0,32	0,23	531	53	5,3	566	1203	136	1100,2
10	0,32	0,23	531	53	5,3	566	1203	136	1094,1
11	0,32	0,23	531	53	5,3	566	1203	136	1123,5
12	0,32	0,23	531	53	5,3	566	1203	136	1115,4
13	0,32	0,23	531	53	5,3	566	1203	136	1116,9

Sử dụng phần mềm Maple 9.0, ta tìm được phương trình hồi quy có dạng như sau:

$$Y = 1110,02 - 12,579X_2 - 22,98X_3 - 32,47X_2^2 - 32,92X_3^2 + 4,8X_2X_3$$

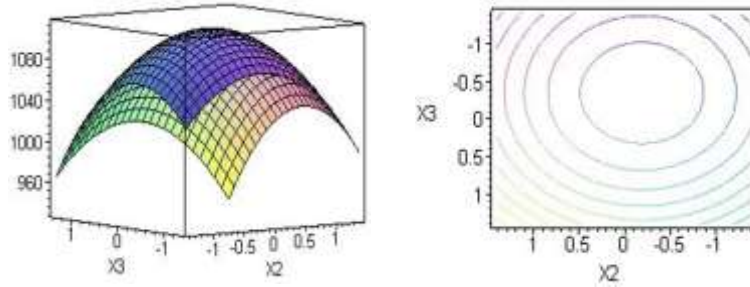
Sau khi xử lý số liệu, phương trình này có dạng:

$$Y = 1110,02 - 12,579X_2 - 22,98X_3 - 32,47X_2^2 - 32,92X_3^2$$

Giá trị cực đại  $Y_{max} = 1115,25$  tại  $X_2 = -0,1937$  và  $X_3 = -0,349$ . tức tại  $\frac{C}{CL} = 0,316$  và

$$\frac{N}{CKD} = 0,223$$

$R_{28}$  (kG/cm<sup>2</sup>)



**Hình 2.** Mô hình biểu diễn mối quan hệ giữa hàm mục tiêu và các biến số

Từ đó tìm được cấp phối tối ưu: xi măng 534 (kg); silicafume: 54 (kg); Glenium@ACE 388 SureTec: 5,4 (lít); nước: 132 (lít); cát: 562 (kg); đá: 1215 (kg) trong đó đá: (5-10)mm: 405 (kg); đá: (10-20)mm: 810 (kg).

Cấp phối tối ưu cho cường độ của bê tông cao hơn so với cấp phối hợp lý (khoảng trên 10%) là do sự phù hợp tốt hơn giữa cấp cốt liệu và hàm lượng hồ chất kết dính (xi măng và silicafume). Tỷ lệ cát và cốt liệu theo cấp phối tối ưu giảm so với tính toán riêng cốt liệu (31,6% so với 35%). Điều này cũng phù hợp với lý thuyết vì trong bê tông cường độ cao lượng hồ là lớn hơn nhiều so với bê tông thông thường. Như vậy, để đạt được thể tích vữa tối ưu lượng cát cần phải giảm so với tỷ lệ này theo lý thuyết. Về cấp phối hạt ở 8 cỡ sàng theo tiêu chuẩn ở bảng 2 cơ bản vẫn đáp ứng, có 2 nhóm hạt hàm lượng ít hơn một chút là nhóm hạt nhỏ hơn 5 mm và nhóm hạt nhỏ hơn 0,63mm. Điều này cũng phù hợp với bê tông cường độ cao với xu hướng yêu cầu nhóm hạt cát có cỡ hạt thô hơn.

### 3.3. Tính chất của bê tông cường độ cao

Từ cấp phối tối ưu, ta tiến hành thí nghiệm để xác định các tính chất của bê tông. Ngoài ra để thấy hiệu quả của nó, ta cũng thực hiện so sánh các tính chất của mẫu đối chứng mác 30 (loại bê tông đang được dùng phổ biến cho công trình thủy công ở Việt Nam) với kết quả thí nghiệm. Bảng 5 thể hiện kết quả cấp phối bê tông thí nghiệm để xác định các chỉ tiêu đánh giá chất lượng bê tông như: cường độ nén theo TCVN 3118:93; cường độ uốn theo TCVN 3119:93 và độ mài mòn theo TCVN 3114:93. Riêng thí nghiệm xói mòn cần có thiết bị đặc biệt, ở nước ta chưa có tiêu chuẩn này nên các tác giả phải tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM C1138 [5]. Kết quả thí nghiệm mài mòn của bê tông cường độ cao được nêu ở bảng 6.

**Bảng 5.** Thành phần bê tông thí nghiệm

TT	Kí hiệu mẫu	Thành phần bê tông					
		XM (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	SF (kg)	SD (lít)
1	M1-1	534	562	1215	132	54	5.4
2	M1-2	380	690	1200	185	-	-

Formatted: Space Before: 4 pt, After: 4 pt

**Bảng 6. Tính chất của bê tông cường độ cao chịu mài mòn và bê tông đối chứng**

STT	Tính chất	Cấp phối thí nghiệm	
		M1-1	M1-2
1	Độ sụt (cm)	20	8
2	Cường độ nén (N/mm <sup>2</sup> )		
	<i>Tuổi 3 ngày</i>	70.5	17,5
	<i>Tuổi 7 ngày</i>	87.4	25,2
	<i>Tuổi 28 ngày</i>	110.6	32,1
3	Cường độ uốn (N/mm <sup>2</sup> )	13.5	4.6
4	Độ mài mòn ở trạng thái khô (g/cm <sup>2</sup> )	0.125	0.467
5	Độ xói mòn (% theo khối lượng)	1.8	5.51
6	Độ chống thấm nước (at)	>16	6

Từ kết quả thí nghiệm, ta thấy rằng bê tông có cường độ nén tăng từ mức 30 lên đến 100 với cường độ uốn tăng hơn gần 3 lần. Thực tế, quan hệ giữa cường độ nén và cường độ uốn của các loại bê tông cũng không phải là đường bậc nhất, tuy nhiên ở bê tông cường độ cao có lẽ sự tăng cường độ nén nhanh hơn so với sự tăng của cường độ uốn.

Khi cường độ nén tăng lên trên 3 lần, các kết quả thí nghiệm mài mòn theo ASTM C779: 1995 và xói mòn theo ASTM C 1138: 1997 cũng tăng lên từ 3-4 lần. Như vậy các đặc tính bền cơ học của bê tông: mài mòn, xói mòn có liên hệ mật thiết với cường độ nén. Trong bê tông có cường độ cao, cấu trúc đồng nhất tốt, ít khuyết tật, mối liên kết giữa các thành phần tốt hơn, do đó, khả năng tăng mức độ bền mài mòn, xói mòn còn tăng cao hơn so với tăng cường độ nén.

Đặc biệt bê tông mác 100 có độ đặc chắc cao, do đó tính chống thấm rất tốt, khi thí nghiệm theo TCVN 3116 mặc dù áp lực đến 16 at nhưng hiện tượng thấm vẫn chưa xuất hiện.

Bê tông được thiết kế có tốc độ rắn chắc nhanh hơn bê tông thông thường cường độ 3 ngày đạt trên 64,7% so với bê tông thường là khoảng 55%, 7 ngày trên 89% so với bê tông thường là 79%.

#### 4. Kết luận

1. Để chế tạo bê tông có cường độ đạt mác 100 dùng cho các công trình chịu tác động của dòng chảy có lưu tốc lớn, có thể sử dụng vật liệu sẵn có ở Việt Nam với tỷ lệ N/CKD là 0,223 và tỷ lệ cát, cốt liệu là 0,316, xi măng PC40, phụ gia siêu dẻo và siêu mịn với hàm lượng hợp lý.

2. Bê tông cường độ cao có khả năng chịu mài mòn và xói mòn cao (tăng hơn 3 lần so với bê tông mác 30 đang sử dụng), chịu uốn, chống thấm tốt, rất phù hợp với các công trình thủy công chịu tác động của dòng chảy có lưu tốc lớn.

#### Tài liệu tham khảo

1. ACI Committee 211.4R-08 (2008), *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials*. American Concrete Institute Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.
2. ACI Committee 363.2R, *Guide to Quality Control and Testing of High-Strength Concrete*. American Concrete Institute Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.
3. ACI Committee 210, (2003), *Erosion of Concrete in Hydraulic Structures*. American Concrete Institute Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.
4. The American Society for Testing and Materials (2000), *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces*. ASTM Designation: C 779, Philadelphia U.S.A.
5. The American Society for Testing and Materials (1997), *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)* ASTM Designation: C 1138, Philadelphia U.S.A.
6. Yu-Wen Liu, Tsong Yen , Tsao-Hua Hsu (2006), *Abrasion erosion of concrete by water-borne sand*. Cement and Concrete Research 36.
7. Phạm Hữu Hạnh (2007), *Vật liệu hiệu quả sử dụng trong các công trình giao thông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.