

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO TRONG THỦY CÔNG KHI DÒNG CHẢY CÓ LƯU TỐC LỚN

*PGS.TS. Phạm Hữu Hanh*

*TS. Nguyễn Văn Tuấn*

*ThS. Nguyễn Công Thắng*

*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. Việc nghiên cứu chế tạo vật liệu phù hợp với những công trình quan trọng này là cần thiết, trong đó hướng nâng cao chất lượng bê tông đang sử dụng cho các công trình này là rất thiết thực. Bài báo này 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 sẵn có ở Việt Nam với tỷ lệ cốt liệu tối ưu. Bê tông được thiết kế có khả năng chịu mài mòn và xói mòn, chịu uốn, chống thấm tốt, cao gấp từ 2 đến 3 lần so với bê tông mác 30 đang sử dụng. Việc sử dụng loại bê tông này sẽ cải thiện khả năng thi công, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và tăng tuổi thọ của các công trình.

## 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 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) [1] 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 [2].

Trong đề tài này chúng tôi nghiên cứu chế tạo 2 loại bê tông có cường độ 60MPa và 100MPa. Loại bê tông có cường độ 60MPa có thể chế tạo bê tông làm lớp bảo vệ của đập và có độ lưu động lớn dùng cho các công trình thi công phức tạp, cải thiện điều kiện thi công và cũng có thể dùng sửa chữa các công trình; loại bê tông có mác 100 có thể dùng làm lớp ngoài của công trình với dòng chảy có lưu tốc lớn. Hiện nay, 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 đề xuất phương pháp mới thiết kế thành phần bê tông cường độ cao dùng cho công trình thủy công nhằm kết hợp kinh nghiệm của nước ngoài như Viện Bê tông Mỹ [3] hay các phương pháp của hiệp hội các sản phẩm đặc biệt châu Âu [4] sau đó được tối ưu hóa bằng qui hoạch thực nghiệm thông qua các kết quả thí nghiệm thực tế từ vật liệu thực tế của Việt Nam.

## 2. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, sử dụng xi măng Bút Sơn PC 40 có chất lượng đạt các tiêu chuẩn TCVN 4030-2003 và TCVN 6017-1995; Phụ gia khoáng là Silica fume , dạng rời không nén, do hãng Elkem cung cấp đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn ASTM C 1240; Tro tuyển Phả Lại (tro bay loại F theo ASTM 618); Cốt liệu sử dụng là cát vàng Sông Lô và đá dăm Bình Định thuộc loại Granit, với cường độ nén của đá gốc 140MPa. Cốt liệu có tính chất đạt yêu cầu để sản xuất bê tông theo TCVN 7570:2006. Thành phần hạt của đá ghi ở bảng 1.

*Bảng 1 Thành phần hạt của cốt liệu lớn*

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: loại PG51 dùng cho loại bê tông cường độ 60 và Glenium®ACE 388 SureTec dùng cho bê tông độ 100MPa. Đây là loại phụ gia siêu dẻo thế 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

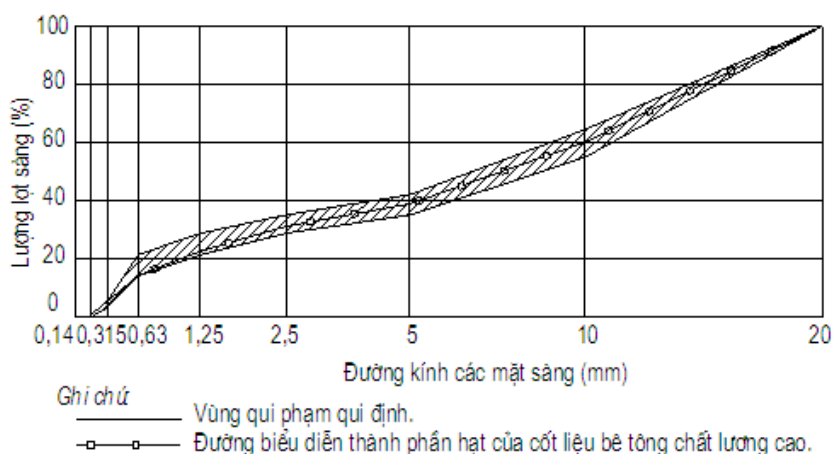
Thành phần hạt là yếu tố rất quan trọng, ảnh hưởng đến tính công tác, độ chịu lực, mô đun đàn hồi, từ biến, biến dạng, độ bền, tính kinh tế, cũng như tính đồng nhất và lượng dùng phụ gia.

Đối với loại bê tông có cường độ 60MPa chỉ dùng nhóm hạt của cốt liệu thô nên không cần thiết kế.

Đối với bê tông sử dụng đá dăm có  $D_{max}$  là 20, trong nghiên cứu này 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 [5], tìm được cấp hạt (10-20)mm có thành phần là 40%, cấp hạt (5-10)mm là 22% và cát có hàm lượng là 38%. Kết quả tính toán ghi ở bảng 2 và hình 1.

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

Kích thước sàng (mm)	20	10	5	2,25	1,25	0,635	0,31	0,15
40% (10-20)mm	40	0						
22% (5-10)mm	22	22	0					
38% Của cát	38	38	38	31	23,5	14,2	4,8	1
Tổng hợp	100	60	38	31	23,5	16,0	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 dùng cho hỗn hợp gồm cả đá và cát đều đạt ở tất cả các 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

#### 3.2.1 Thiết kế bê tông mác 600

Trình tự thiết kế thành phần bê tông có độ chảy cao trong nghiên cứu này được xác định theo phương pháp của Hiệp hội kỹ sư Nhật Bản và châu Âu [4] như sau: Khi làm các thí nghiệm thăm dò với các giá trị N/CKD (tỷ lệ nước và chất kết dính) là 0,26-0,30; cát và cốt liệu (C/CL) là 0,48-0,52 và tiến hành các thí nghiệm bậc nhất và tìm được vùng thí nghiệm tốt nhất sau đó thí nghiệm thì cấp phối tốt ở miền dừng. Từ đó tiến hành thí nghiệm bậc 2 theo phương pháp tâm xoay để tìm cấp phối tốt nhất. Kế hoạch thí nghiệm với biến N/CKD được mã hóa là  $X_1$  và C/CL mã hóa là  $X_2$  như bảng 3 và kết quả thí nghiệm ở bảng 4.

**Bảng 3. Kế hoạch thí nghiệm**

Biến mã	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$	Độ biến thiên
X <sub>1</sub>	0,2717	0,28	0,30	0,32	0,3283	0,02
X <sub>2</sub>	0,4517	0,46	0,48	0,50	0,5083	0,02

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm**

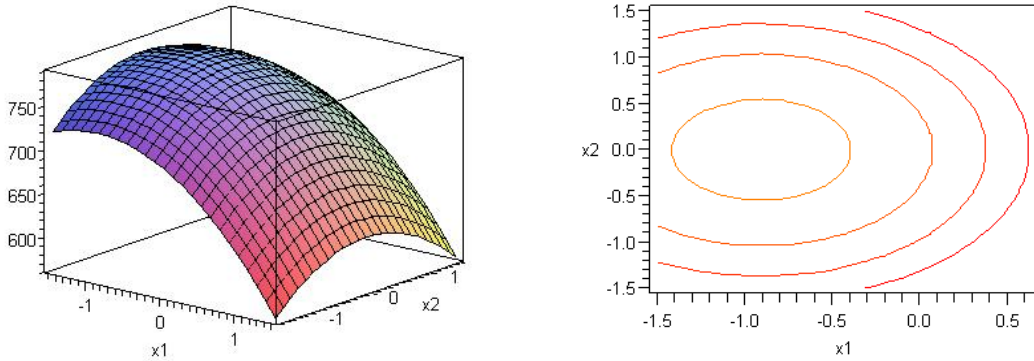
STT	Biến số		Độ chảy (mm)	Cường độ (kG/cm <sup>2</sup> )*		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		R3	R7	R28
1	0,32	0,50	650	450	550	650
2	0,32	0,46	632	462	560	689
3	0,28	0,46	615	530	629	758
4	0,28	0,50	625	513	603	729
5	0,3283	0,48	648	414	495	614
6	0,2717	0,48	590	599	684	805
7	0,30	0,5083	640	535	628	733
8	0,30	0,4517	612	498	599	699
9	0,30	0,48	645	549	662	771
10	0,30	0,48	647	532	645	790
11	0,30	0,48	638	522	640	762
12	0,30	0,48	641	525	632	754
13	0,30	0,48	642	518	620	743

\*. Để xử lý số liệu dùng thứ nguyên của cường độ kG/cm<sup>2</sup>  $\approx$  0,1 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Từ kết quả thí nghiệm ở bảng 4 tìm được phương trình rút gọn biểu diễn quan hệ giữa hàm mục tiêu và các biến số như sau:

$Y = 764,0007 - 52,2671X_1 - 28,8177X_1^2 - 25,5667X_2^2$  (được biểu diễn như hình 3.21).  
 Tìm được cấp phối tốt nhất  $Y_{\max} = 787,7$  kG/cm<sup>2</sup>, với  $X_2 = 0,0$ ,  $X_1 = -0,9068$  có nghĩa N/CKD = 0,2833 và C/CL = 0,48.

Tương ứng cấp phối tốt nhất X= 487 kg, C= 718 kg, D=778 kg, N=172 l, SF=49 kg, T=73 kg, PG=6,1 l.



**Hình 2.** Bề mặt biểu diễn của mô hình thí nghiệm

### 3.2.2 Thiết kế bê tông mác 100

Dựa vào ACI 211.4R - 08 [3] 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 (l); 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 , dùng phương pháp qui hoạch thực nghiệm để tìm miền tối ưu [5] 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 5.

**Bảng 5** Kết quả thí nghiệm định hướng

STT	Biến số thực			Cường độ nén ( $\text{kG/cm}^2$ )				$S_{LL}^2$
	$\frac{CL}{CKD}$	$\frac{C}{CL}$	$\frac{N}{CKD}$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$\overline{y_i}$	
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

Sử dụng phần mềm Maple 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 được phương trình rút gọn:

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

Từ đó, ta thấy rằng trong khoảng thí nghiệm 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 6 và thể hiện trên hình 2.

**Bảng 6** Cấp phối thí nghiệm và cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày

TT	Tỷ lệ		Cấp phối thực nghiệm						Cường độ nén, $R_{28}$ ( $kG/cm^2$ )
	$\frac{C}{CL}$	$\frac{N}{CKD}$	X (kg)	SF (kg)	SD (l)	C (kg)	D (kg)	N (l)	
1	0,34	0,25	525	52	5,2	594	1153	146	1008,3
2	0,30	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	0,30	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

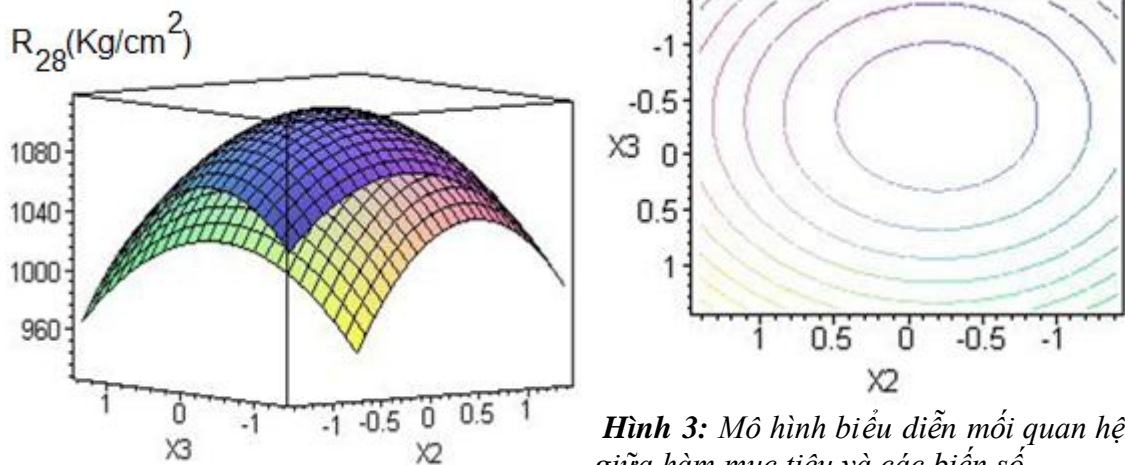
Sử dụng phần mềm Maple, tìm được phương trình hồi quy có dạng như sau:

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

Và phương trình đơn giản có dạng:

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

Tìm được giá trị cực đại của cường độ  $Y_{\max} = 1115,25$  tại  $X_2 = -0,1937$  và  $X_3 = -0,349$ , tức là  $\frac{C}{CL} = 0,316$  và  $\frac{N}{CKD} = 0,223$  (mô hình kết quả thí nghiệm như hình 3).



**Hình 3:** 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 (l); nước 132 (l); cát 562 (kg); đá 1215 (kg) trong đó đá (5-10)mm 405 (kg); đá (10-20)mm 810 (kg).

### 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. Loại bê tông mác 100 có ký hiệu  $M_1$ ; loại mác 60 có ký hiệu  $M_2$ . 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) ký hiệu  $M_3$ . Bảng 5 ghi 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; cường độ uốn theo TCVN 3119 và độ mài mòn theo TCVN 3114. 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 AS TM C1138 [6]. Kết quả thí nghiệm ở bảng 6.

**Bảng 5** Cấp phối bê tông thí nghiệm

TT	Kí hiệu mẫu	Thành phần bê tông					
		XM (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (l)	SF/TB (kg)	SD (l)
1	$M_1$	534	562	1215	132	54	5,4
2	$M_2$	478	718	778	172	49/73	6,1
2	$M_3$	380	690	1200	185	-	-

**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		
		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
1	Tính công tác	SN 200 mm	Độ chảy 560 mm	SN 80 mm
2	Cường độ nén (N/mm <sup>2</sup> )			
	<i>Tuổi 3 ngày</i>	70,5	35,8	17,5
	<i>Tuổi 7 ngày</i>	87,4	42,9	25,2
	<i>Tuổi 28 ngày</i>	110,6	57,1	32,1
3	Cường độ uốn (N/mm <sup>2</sup> )	13,5	9,6	4,6
4	Độ mài mòn ở trạng thái khô (g/cm <sup>2</sup> ) [7]	0,125	0,310	0,467
5	Độ xói mòn (% theo khối lượng) [6]	1,80	4,50	5,51
6	Độ chống thấm nước (at)	>16	16	6

Từ kết quả thí nghiệm, ta thấy rằng bê tông có cường độ nén tăng từ mức 30 lên đến 60 và 100 với cường độ uốn tăng tương ứng từ khoảng 2-3 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 và xói mòn theo ASTM C 1138 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

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, đề tài rút ra một số kết luận như sau:

a) Đối với bê tông mác 60 có độ chảy cao:



- Từ nguyên vật liệu thông dụng dùng cho bê tông thường ở Việt Nam, có thể chế tạo bê tông cường độ cao có độ lưu động lớn dùng cho công trình cầu hầm (mác  $\geq 60$  MPa, độ chảy loang lớn hơn 550mm) với miền sử dụng vật liệu:

$$N/CKD = 0,272 - 0,328; C/CL = 0,452 - 0,508.$$

- Khi thiết kế thành phần bê tông cường độ cao có độ lưu động lớn, cần tuân thủ các nguyên tắc sau:

- + Tỷ lệ nước - chất kết dính thấp;
- + Phải sử dụng hàm lượng phụ gia mịn;
- + Phải sử dụng phụ gia siêu dẻo cao;
- + Hàm lượng cốt liệu lớn nên nhỏ hơn 1000kg.

- Nên sử dụng phối hợp hai loại phụ gia khoáng mịn là tro bay Phả Lại và silicafume kết hợp với sử dụng phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate (Glenium®ACE 388 SureTec) cho hỗn hợp bê tông có tính lưu động cao, khả năng duy trì tính công tác, cường độ cao.

#### b) Với bê tông mác 100

- 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.

- 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 210, (2003), *Erosion of Concrete in Hydraulic Structures*. American Concrete Institute Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.
2. Yu-Wen Liu, Tsong Yen, Tsao-Hua Hsu (2006), *Abrasion erosion of concrete by water-borne sand*. Cement and Concrete Research 36.
3. 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.
4. EFNARC (European Federation of national trade associations representing producers and applicators of specialist building products), *Specification and Guidelines for self-compacting concrete*, February 2002, Hampshire, U.K.
5. Phạm Hữu Hanh (2007), *Vật liệu hiệu quả sử dụng trong các công trình giao thông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
6. 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.
7. 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.

## **Abstract**

### **MIX DESIGN OF HIGH STRENGTH CONCRETE APPLYING FOR HYDRAULIC WORKS UNDER HIGH VELOCITY FLOWS**

In hydraulic works, the quality of materials is reduced very fast, especially under high velocity flows. Therefore, searching for the suitable materials used for these works is necessary, in which the enhancement of the quality of concrete is very realistic. This paper presents a proposed mix design method of high strength concrete applying for hydraulic works under high velocity flows. From this, the authors recommended that high strength concrete with a high abrasion, a high erosion, a high flexural strength, and a very high impermeability can be produced by using the available materials in Vietnam. The workability of this concrete is improved, and the value of water permeability of this concrete is reduced 2 to 3 times lower than that of the grade 30 concrete. The utilization of this concrete will save the natural resources, and extend the service life of hydraulic works.