

# Nghiên cứu chế tạo bê tông tự lèn (SCC) mác 200

*Tap chí KHCN Xây dựng, số 4/2007*

## 1. Giới thiệu:

Bê tông tự lèn là bê tông có khả năng tự chảy dưới trọng lượng bản thân và có thể tự điền đầy vào mọi góc cạnh của ván khuôn và những nơi dày cốt thép không cần bất cứ tác động cơ học nào mà vẫn đảm bảo tính đồng nhất.

### 1.1. Phân loại bê tông tự lèn.

Bê tông tự lèn kiểu bột có tỷ lệ nước trên bột giới hạn trong một phạm vi rất hẹp (gồm xi măng và bột), tính tự chảy của bê tông tự chảy do bột tạo ra nhờ lượng bột nhiều trong thành phần nguyên liệu và thành phần phụ gia siêu dẻo hợp lý. Thể tích tuyệt đối của chất bột không nhỏ hơn  $0,16\text{m}^3/\text{m}^3$  có thể tạo ra bê tông có chất lượng cao.

Bê tông tự lèn kiểu dẻo có hàm lượng bột thấp và sử dụng phụ gia siêu dẻo. Loại bê tông tự chảy này chỉ sử dụng xi măng làm chất bột trong nguyên liệu, tính tự chảy được tạo ra nhờ sử dụng một lượng lớn phụ gia siêu dẻo thế hệ mới.

Bê tông tự lèn kiểu hỗn hợp chứa cả lượng bê tông cad siêu dẻo. Các tỷ lệ nước/bột có thể được lựa chọn trong một phạm vi rất hẹp, thể tích tuyệt đối của bột không nhỏ hơn  $0,13\text{m}^3/\text{m}^3$  bê tông.

Nguyên tắc đó có được khả năng tự lèn bao gồm khả năng tự biến dạng cao của hồ và vữa, khả năng chống phân tầng giữa cốt liệu lớn và vữa khi bê tông chảy qua các khe hẹp của các thanh thép trong kết cấu công trình. Theo Okamura và Ozawa đã đưa ra một nguyên tắc để bê tông có thể đạt độ tự lèn: giới hạn lượng cốt liệu, tỷ lệ N/B thấp, sử dụng phụ gia siêu dẻo.

Công nghệ SCC trên thế giới: từ khi được chế tạo thành công tại Đại học Tokyo và những năm 1980, cho tới những năm 1990 là thời kỳ bắt đầu bùng nổ số lượng các công trình xây dựng sử dụng bê tông tự lèn tại Nhật Bản. Theo thống kê tới năm 2000 tổng sản lượng bê tông tự lèn được sử dụng trong cho cả sản phẩm bê tông đúc sẵn và bê tông tươi là  $400.000\text{m}^3$ .

### 1.2. Tình hình nghiên cứu SCC ở Việt Nam

Nghiên cứu SCC của N.V. Chánh có cấp phối sau XM PC 40; Phụ gia siêu dẻo; Silicafume; Bột đá vôi; Cát (0-5mm,  $2,67\text{ T}/\text{m}^3$ ,  $M_{dl} = 2,61$ ); Đá dăm 5 – 20mm,  $2,75\text{T}/\text{m}^3$ .

Kết quả cho thấy với lượng xi măng  $> 400\text{kg}/\text{m}^3$  bê tông, ta có các cấp phối bê tông đạt khả năng tự lèn với mác 600. Các cấp phối sử dụng các phụ gia hoạt tính silicafume và bột đá vôi. Nghiên cứu của Viện KHCN Xây dựng: Xi măng Chinfon PCB 40, Tro bay nhiệt điện Phả Lại; Phụ gia siêu dẻo Glenium SP 51; Cát vàng sông Lô,  $M_{dl} = 2,7$ ; đá dăm  $D_{max} < 20 - 25\text{mm}$ .

Theo nghiên cứu trên thì ta có thể tạo được các cấp phối bê tông tự lèn với lượng xi măng 390kg, cùng với tro bay là phụ gia siêu dẻo với mức 500.

Nguyên vật liệu trong nghiên cứu N.N. Nho: Xi măng PCB 40 Nghi Sơn; Cốt liệu lớn đá núi Dinh Bà Rịa – Vũng Tàu, khối lượng thể tích là  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ; Cát sử dụng là cát sỏi Bà Rịa – Vũng Tàu, modul độ lớn của cát là  $M_{dl} = 2.78$ ; Phụ gia siêu dẻo Glenium SP8S-MBT; Tro bay Fomosa loại F theo ASTM. Vậy qua ba nghiên cứu về bê tông tự lèn nêu trên, thấy các nghiên cứu đã dần dần cho phép hạ thấp mức của bê tông tự lèn đạt được từ 600 xuống 350. Các nghiên cứu về bê tông tự lèn trên thế giới ta nhận thấy rằng đa số là bê tông mức cao từ 600-700 oặc cao hơn nữa và sử dụng lượng xi măng cao từ 390 – 500kg/m<sup>3</sup>. Việc nghiên cứu và chế tạo bê tông tự lèn mức thấp là một hướng đi riêng và mới không chỉ ở nước ta mà còn có ý nghĩa trên thế giới, để hạ giá thành bê tông tự lèn hiện đang được sử dụng ngày càng nhiều trong thực tế.

### 1.3. So sánh thành phần chế tạo SCC và các loại bê tông RCC, bê tông CVC.

Ghi chú: RCD – bê tông đầm lặn cho đập; Normal – bê tông thông thường; CVC; SCC- bê tông tự lèn.

### 1.4. Yêu cầu về nguyên liệu

Chế tạo bê tông tự lèn mức 200 từ nguồn nguyên liệu vật liệu ở miền Nam Việt Nam, gồm xi măng PCB 30, tro bay, bột đá vôi, cát, đá và phụ gia siêu dẻo SP8S. Yêu cầu cấp phối tối ưu phải đạt được hai chỉ tiêu cơ bản nhất của bê tông tự lèn là: khả năng tự chảy và điền đầy cốt pha “Độ chảy xoè” ĐCX = 600 – 800mm, khả năng chảy xuyên qua cốt thép “L-box”  $H_2/H_1 = 0.8 - 1$ . Đối với cấp phối tối ưu trong vùng khảo sát kiểm tra, độ co mềm, co cứng, thử nghiệm  $U_{box}$ , thử nghiệm V, tổn thất tính công tác theo thời gian.

1.5. Yêu cầu về tính công tác (khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông theo các phương pháp khác nhau).

**Bảng 1. Tiêu chuẩn cho bê tông tự lèn.**

TT	Phương pháp	Đơn vị	Các giá trị giới hạn	
			Nhỏ nhất	Lớn nhất
1	Độ chảy xoè	Mm	600	800
2	Độ chảy xoè tại $T_{50\text{cm}}$	Giây	2	5
3	Phễu V	Giây	6	12
4	Phễu V tại thời điểm $T_{5\text{phút}}$	Giây	0	+3
5	Hộp L	$h_2/h_1$	0,8	1,0
6	J- Ring	$2h_r.h_m(\text{mm})$	0	15
7	Hộp U	$(h_2-h_1)\text{mm}$	0	30

## 2. Phương pháp nghiên cứu và lựa chọn vật liệu

### 2.1. Lựa chọn nguyên liệu

- Xi măng Hoàng Thạch PCB 30
- Đá sử dụng là đá có nguồn gốc Granite Vũng Tàu, nhà cung cấp Sun Way Đại Dương.
- Cát vàng Đồng Nai, modul 2,76.
- Tro bay được sử dụng là tro bay nhà máy nhiệt điện Formosa – Nhơn Trạch - Đồng Nai. Theo ASTM C618, tro bay thuộc loại F. Hoạt tính cường độ của tro bay 95%.
- Bột đá vôi.
- Phụ gia siêu dẻo Glenium SP 8S Degussa.

### 2.2. Phương pháp thiết kế thành phần SCC theo – JSCE - Nhật và EFNERC- Anh.

Thiết kế Bê tông tự lèn này dựa trên kinh nghiệm nghiên cứu cũng thực tế tại Nhật và Châu Âu do Hiệp hội Bê tông Nhật Bản (JSCE) và EFNARC (Anh) lập như sau:

Lượng cốt liệu lớn ( $D_{\max} \text{ CLL} \leq 25\text{mm}$ ) cho $1\text{m}^3$ bê tông
Thể tích tuyệt đối của CLL: $0,28 - 0,35\text{m}^3$
Đường kính hạt lớn nhất của CLL: 20 – 25mm
Hàm lượng nước: 155 – 175 lít
Tỷ lệ N/B: 28 – 37% theo khối lượng 0,85 – 1,15 theo thể tích
Hàm lượng bột: $0,16 - 0,19 \text{ m}^3/\text{m}^3$ bê tông ( $400-600\text{kg}/\text{m}^3$ )
Hàm lượng khí: 4,5%
Hàm lượng CLN
Hàm lượng phụ gia siêu dẻo

GS. Okamura là một trong những người đầu tiên nghiên cứu về bê tông tự lèn tại Nhật Bản. Phương pháp thiết kế thành phần như sau:

Hàm lượng khí: 4 – 7%
Lượng CLL cho $1\text{m}^3$ bê tông
Quan hệ tỷ lệ thể tích cốt liệu lớn: 0,50
Hàm lượng CLN
Tỷ lệ thể tích cốt liệu nhỏ trong thể tích vữa: 0,4
Tỷ lệ nước/ bột
Kiểm tra độ xòe của vữa bằng 245mm
Hàm lượng phụ gia
Đạt độ xòe của vữa bằng 245mm
Thời gian chảy của vữa qua phễu V là 10 giây

### 2.3. Trình tự thiết kế thành phần bê tông tự lèn (1)

- Hàm lượng cốt liệu lớn: thể tích tuyệt đối của đá dùng cho bê tông tự lèn:  $V_d = 0,28 \div 0,35\text{m}^3/\text{m}^3$ .
- Hàm lượng nước:  $15 - 175 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

- Tỷ lệ N/B : 28% - 35% theo khối lượng;

- Hàm lượng bột (xi măng + phụ gia mịn) :  $B = \frac{N}{N/B}$

Trong đó: B- Khối lượng bột trong 1m<sup>3</sup> bê tông (kg). B = 400 ÷ 600

- Tỷ lệ N/X: xác định như bê tông thường.

- Hàm lượng xi măng:  $X = \frac{N}{N/X}$

- Hàm lượng phụ gia mịn: M = B – X.

Trong đó: M - khối lượng phụ gia trong 1m<sup>3</sup> bê tông, kg; B - khối lượng bột trong 1m<sup>3</sup> bê tông, kg; X - khối lượng xi măng trong 1m<sup>3</sup> bê tông, kg.

- Hàm lượng phụ gia siêu dẻo: SD =m % (X+M)

Trong đó:

SD - khối lượng phụ gia siêu dẻo trong 1m<sup>3</sup> bê tông, kg;

(X +M) – hàm lượng xi măng và phụ gia mịn trong 1m<sup>3</sup> bê tông, kg.

- Hàm lượng cát:

$$C = [1000 - (\frac{X}{\rho_x} + \frac{M}{\rho_M} + \frac{D}{\gamma_d} + \frac{PG}{\rho_{PG}} + N + A)]. \gamma_c^{bh}$$

Điều chỉnh thành phần bê tông theo yêu cầu dựa trên các nguyên tắc sau: Điều chỉnh lượng nước; Điều chỉnh hàm lượng của phụ gia siêu dẻo; Điều chỉnh hàm lượng phụ gia mịn; Điều chỉnh tỷ lệ cát hoặc cốt liệu lớn; Lựa chọn loại phụ gia siêu dẻo khác tương hợp với vật liệu.

Qua 3 phương pháp thiết kế bê tông tự lèn trên phương pháp thiết kế bê tông tự lèn của JSCE - Nhật Bản, EFNARC – Anh và phương pháp thiết kế bê tông tự lèn của GS. Okamura đều áp dụng cho bê tông tự lèn mác cao với lượng xi măng dùng cao. Vì thế thiết kế cấp phối bê tông tự lèn mác 200 theo hướng dẫn của Bộ Xây dựng là phù hợp.

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Qua hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai.

Để xác định thành phần SCC 200 dùng phương pháp quy hoạch thực nghiệm hàm mục tiêu của bài toán là khả năng tự lèn của bê tông. Biến số là các nhân tố ảnh hưởng đến khả năng tự lèn của bê tông như: PGB/B; N/B; C/C+Đ.

**Bảng 2. Khoảng biến thiên của các biến số.**

STT	Tên biến	Giá trị	Biến mã (biến thực)		
			X1(N/B)	X2(C/C+Đ)	X3 (PGB/B)
1	Giá trị nhỏ nhất	-1	0.36	0.56	0.64
2	Giá trị cao nhất	+1	0.32	0.52	0.60
3	Giá trị trung bình	0	0.34	0.54	0.62
4	Giá trị cánh tay đòn nhỏ nhất	-1.215	0.37	0.51	0.65
5	Giá trị cánh tay đòn lớn nhất	+1.215	0.31	0.57	0.59

Phương án thực nghiệm trực giao cấp 2, ba yếu tố ta có số thí nghiệm là:  $N = 2^k + 2k + n_0$

Trong đó: N - số thí nghiệm, k - số nhân tố bằng 3,  $n_0$  - số thí nghiệm ở tâm bằng 1. Vậy số thí nghiệm I:  $N = 2^3 + 2 \times 3 + 1 = 15$  thí nghiệm.

**Bảng 3. Cấp phối quy hoạch thực nghiệm**

STT	N/B	C/C+Đ	PGB/B	XM	PGB	Cát	Đá	Nước	PGSD
1	0.36	0.56	0.64	160	285	962	756	160	8.89
2	0.32	0.56	0.64	169	300	962	756	150	9.37
3	0.36	0.52	0.64	185	328	819	756	185	10.25
4	0.32	0.52	0.64	194	346	819	756	173	10.80
5	0.36	0.56	0.60	179	269	962	756	161	8.95
6	0.32	0.56	0.60	189	283	962	756	151	9.43
7	0.36	0.52	0.60	206	310	819	756	186	10.32
8	0.32	0.52	0.60	218	326	819	756	174	10.88
9	0.37	0.54	0.62	181	295	887	756	176	9.51
10	0.31	0.54	0.62	195	319	887	756	159	10.29
11	0.34	0.57	0.62	167	272	1002	756	149	8.77
12	0.34	0.51	0.62	207	337	787	756	185	10.87
13	0.34	0.54	0.65	172	320	887	756	167	9.84
14	0.34	0.54	0.59	204	293	887	756	169	9.94
15	0.34	0.54	0.62	188	306	887	756	168	9.89

Dựa trên các kết quả tính toán cấp phối được trình bày ở trên, công tác thực hiện các thí nghiệm được thực hiện. Đối với mỗi cấp phối tiến hành trộn bê tông rồi đo độ xòe, Lbox và đúc mẫu.

**Bảng 4. Kết quả quy hoạch thực nghiệm**

STT	Cấp phối	N/CKD	C/C+Đ	PGB/CKD	D (mm)	L(%)	Cường độ nén (MPa)
1	CP1	0.36	0.56	0.64	62	73	22.4
2	CP2	0.32	0.56	0.64	52	34	27.1
3	CP3	0.36	0.52	0.64	72	85	31.2
4	CP4	0.32	0.52	0.64	72.5	88	29.5
5	CP5	0.36	0.56	0.6	50	0	21.1
6	CP6	0.32	0.56	0.6	41	0	25.1
7	CP7	0.36	0.52	0.6	72	88	28.6
8	CP8	0.32	0.52	0.6	70	84	34.4
9	CP9	0.37	0.54	0.62	75	91	25.3
10	CP10	0.31	0.54	0.62	74	96	35.6
11	CP11	0.34	0.57	0.62	48	46	23.5
12	CP12	0.34	0.51	0.62	78	94	32.1
13	CP13	0.34	0.54	0.65	71	92	27.9
14	CP14	0.34	0.54	0.69	72	89	29.9
15	CP15	0.34	0.54	0.62	73	94	26.4

Hàm mục tiêu:  $D = 74.74 + 2.54 x_1 - 11.32x_2 + 1.67x_3 + 2.94 x_{12} - 9.48x_2^2 - 3.72x_3^2$

$$L = 96.77 + 10.33x_1 - 26 x_2 + 15.00 x_{12} - 25.63 x_2^2 - 10.40x_3^2$$

$$R_{28} = 27.1 - 2.29 x_1 - 3.51x_2.$$

Hàm mục tiêu của bài toán được đặt ra là độ tự lèn đạt cực đại  $L = 100$ , đồng thời thoả mãn độ chảy xòe cao và đạt mác 200.

### 3.2. Xét các yếu tố ảnh hưởng tại các điểm biên đến khả năng tự lèn, độ chảy xòe và cường độ.

**Bảng 5. Kết quả các cấp phối**

X1	X2	X3	D	L	R <sub>28</sub>
			mm	%	MPa
0.346	0	0	76	100	26.3
0.382	0	0	76	100	26.2
0	0.538	0	66	75	25.2
0	0.528	0	66	76	25.3
0	0	0.620	74	93	27.1
0	0	0.624	74	93	27.1
0	0	0	75	97	27.1

Dựa vào bảng trên ta chọn cấp phối theo hàm mục tiêu của bài toán là :  $x_1 = 0.382$ ;  $x_2 = 0$ ;  $x_3 = 0$  ta có:  $D = 76\text{mm}$ ,  $L = 100\%$ ,  $R_{28} = 26.2 \text{ MPa}$ .

### 3.3. Mức độ lặp của cấp phối tối ưu.

**Bảng 6. Độ tái lập**

Cấp phối	N/CKD	C/(C+Đ)	PGB/B	D	L	R <sub>28</sub>
				mm	%	MPa
CP1	0.348	0.54	0.62	74	96	25.8
CP2	0.348	0.54	0.62	75	95	27.2
CP3	0.348	0.54	0.62	76	95	26.5
CP4	0.348	0.54	0.62	76	95	26.8
CP5	0.348	0.54	0.62	75	94	25.6
CP6	0.348	0.54	0.62	73	92	25.9

Từ kết quả cấp phối tối ưu cho thấy cấp phối thoả mãn mục tiêu đặt ra. Theo quy hoạch thực nghiệm kết quả lý thuyết như sau:  $D = 76$ ,  $L=100$  nhưng thực tế bê tông tự lèn là hệ có độ nhớt cao và thanh chắn có mặt độ dày  $d = 50\text{mm}$ , nên có sai lệch.

### 3.4. Xác định tổn thất độ chảy theo thời gian.

Bê tông tự lèn duy trì độ sụt trong thời gian 180 phút. Do đó bê tông sẽ đảm bảo tính công tác trong thi công.

### 3.5. Kiểm tra khả năng chảy xuyên cốt thép theo phương pháp J – RING.

$d_1 = 85 \Rightarrow h_1 = 110 - 85 = 25$ ;  $\Rightarrow h_{mtb} = 6 \text{ (mm)}$ ;  $\Rightarrow h_{rtb} = 4.5 \text{ (mm)}$ .

Vậy  $H = 2 \times h_{rtb} - h_{mtn} = 3 < 5 \text{ (mm)}$ .

Thử nghiệm J – ring nhằm đánh giá khả năng xuyên qua cốt thép của bê tông tự lèn. Vì bê tông có độ tự lèn và độ chảy xòe cao nên thử nghiệm vòng J-ring đạt kết quả tốt.

Kết quả tự chảy theo phương pháp Ubox:

Số liệu thử nghiệm đo được:

Ta có:  $\frac{H_1}{H_2} = \frac{295}{390} = 76\% > 70\%$ ; Bê tông đạt theo yêu cầu của bê tông tự lèn.

Kiểm tra tự chảy theo phương pháp Vbox:

Thời gian chảy qua phễu V là: 32 giây; Thời gian chảy qua phễu V tại  $T = 5$  phút là: 37 giây.

Biến dạng mềm khi bảo dưỡng trong phòng thử nghiệm ở điều kiện nhiệt độ  $27^\circ\text{C}$ , độ ẩm 65% là: 0.8125mm/m. Biến dạng mềm khi bảo dưỡng ngoài trời mưa khô miền Nam ở điều kiện nhiệt độ  $30^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C}$ , độ ẩm 54% - 59% là: 1.025mm/m.

### 3.6. Kiểm tra co cứng của bê tông theo thời gian trong điều kiện khí hậu miền Nam.

Sau khi thử nghiệm co mềm trong 24 h trong điều kiện bảo dưỡng ở PTN và ngoài trời, ta tiếp tục đo co cứng theo thời gian trong 28 ngày.

Kết quả như sau: co cứng trong PTN là: 0.150mm/m; co cứng ngoài trời là : 0.225mm/m.

## 4. Kết luận.

a. Các kết quả nghiên cứu đã sử dụng nguồn nguyên liệu phía Nam chế tạo bê tông tự lèn mác 200 với nguyên liệu xi măng Hoàng Thạch PCB 30, cát Bà Rịa – Vũng Tàu, đá Sunway Đại Dương  $D_{\max} = 19\text{m}$ ; tro bay Formosa, đá vôi Hải Phòng và phụ gia SP8S – Degussa.

- b. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, đã chỉ ra các điều kiện biên giới hạn có thể chế tạo bê tông tự lèn mác 200 với nguồn nguyên liệu như sau:  $PGB/B = 0.595 \div 0.645$ ;  $N/B = 0.308 \div 0.382$ ;  $C/(C+Đ) = 0.511 \div 0.559$ ; SP8S : 2% so với lượng bột; Bê tông tự lèn chế tạo theo điều kiện trên có độ sụt L-box trong khoảng 0,8 – 1, cường độ đạt 200;
- c. Giải bài toán quy hoạch thực nghiệm đã tìm được cấp phối tối ưu với mục tiêu DCX = 76cm, KNTL = 1;  $R_{28} = 26.2\text{MPa}$  cho  $1\text{m}^3$  bê tông như sau: Xi măng: 186kg, Tro bay: 121kg, Đá vôi: 182kg, Nước: 170 lít, SP8S: 9,78kg, Đá: 756kg, Cát: 887kg.
- d. Đã nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ nén, co ngót, tính công tác của bê tông tự lèn: co mềm của bê tông tự lèn khi bảo dưỡng ngoài trời chênh lệch so với bảo dưỡng điều kiện chuẩn là: 0.212mm/m; co cứng khi bảo dưỡng ngoài trời cao hơn bảo dưỡng điều kiện chuẩn là: 0.075mm/m.