

# ẢNH HƯỞNG CỦA SỢI THÉP PHÂN TÁN ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG MÁC CAO TRONG ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU NÓNG ẨM VIỆT NAM

ThS. NGUYỄN THANH BÌNH

TS. TRẦN BÁ VIỆT

Viện KHCN Xây dựng

## 1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu sử dụng bê tông cốt sợi (BTCS) thép trong các công trình xây dựng đã được nhiều nước trên thế giới quan tâm nghiên cứu và ứng dụng. Việc đưa thêm sợi thép vào bê tông đã cải thiện một số tính chất như: tăng cường độ chịu kéo khi uốn, tăng độ bền dẻo dai, tăng khả năng chịu va chạm, tăng khả năng chịu biến dạng, tăng khả năng kháng nứt khi chịu tải trọng, kháng nứt do co ngót [4, 5, 6, 8, 9] v.v.. BTCS thép được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực xây dựng, trong đó các ứng dụng thi công mới làm lớp mặt kết cấu chịu tải trọng như: mặt cầu, mặt đường, mặt đường cao tốc, mặt đường băng sân bay, mặt sàn nhà công nghiệp v.v...; trong công tác sửa chữa lớp mặt kết cấu như: sửa chữa mặt cầu, mặt đường, mặt đường băng sân bay, mặt sàn công nghiệp, mặt sàn xưởng sửa chữa máy móc thiết bị v.v... ở Việt Nam trong thời gian gần đây, việc nghiên cứu về BTCS thép phân tán đã được quan tâm nhưng chưa thành hệ thống.

Để làm rõ ảnh hưởng của sợi thép đến tính chất của bê tông mác cao trong điều kiện khí hậu nóng ẩm

đề tài đã tiến hành nghiên cứu biến dạng mềm, khả năng kháng nứt do biến dạng mềm, sự phát triển cường độ theo thời gian, biến dạng cứng, kháng nứt và hệ số bền nứt của BTCS thép so sánh với bê tông đối chứng không sợi trong cùng điều kiện khí hậu Việt Nam.

## 2. Biến dạng mềm và kháng nứt của BTCS thép trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam

Các mẫu thí nghiệm đo độ mất nước và biến dạng mềm được xác định vào mùa hè (tháng 6) ở Hà Nội, với modul hồ  $M_h = 30m^{-1}$  [1], xác định biến dạng mềm trên nền trơn nhẵn. Kết quả đo độ mất nước và biến dạng mềm của bê tông sau 1 ngày đóng rắn cho trong bảng 2. Tác động của điều kiện khí hậu đến biến dạng mềm được biểu diễn trên hình 1. Trong bảng 1 ký hiệu các cấp phối: CP50 và CP70 là bê tông gốc không sợi đối chứng mác 500 và 700; CP52A, CP52C, CP52D, CP72A, CP72C và CP72D và BTCS thép mác 500 và 700 với các loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi là 29; 50 và 60 [7].

### 2.1. Ảnh hưởng của sợi thép đến biến dạng mềm của BTCS thép

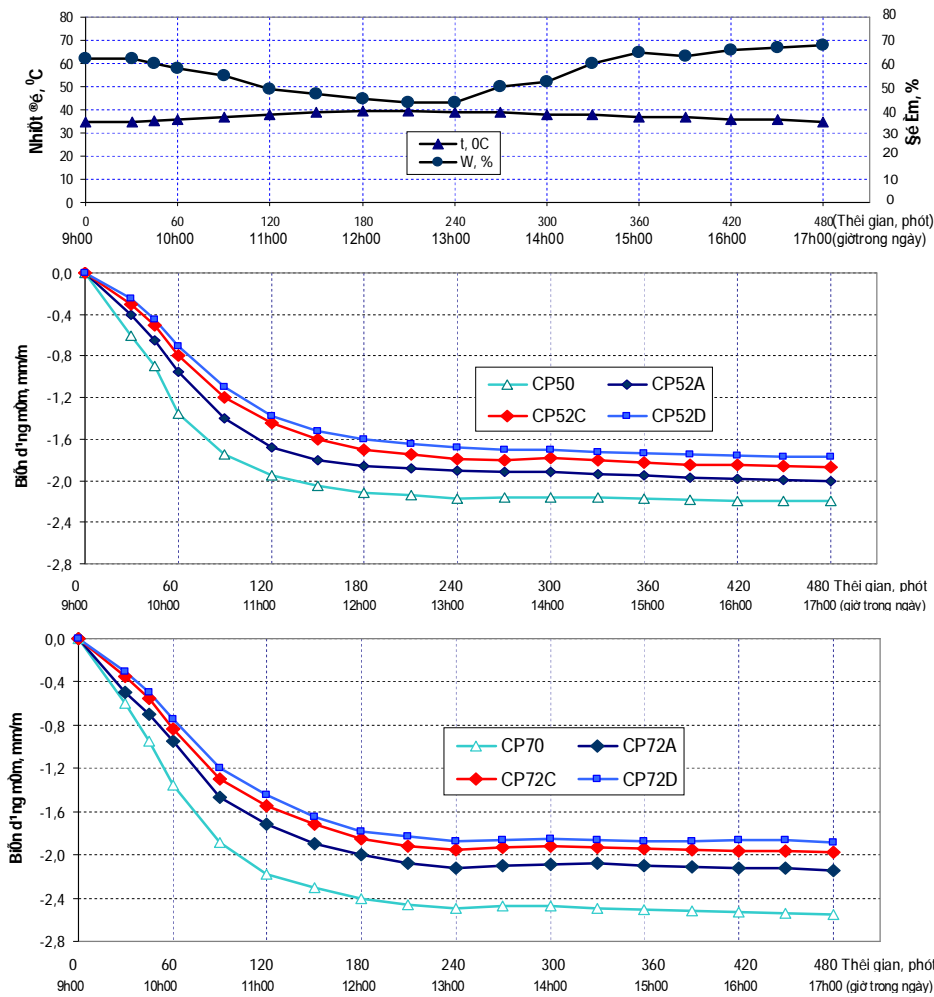
**Bảng 1.** Thành phần cấp phối BTCS thép và bê tông đối chứng mác 500 và 700

Số tt	Loại sợi	Ký hiệu	XM (kg)	T.trắ u (kg)	T.bay (kg)	SD (lít)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	Sợi thép (kg)	Độ sụt (cm)
1	BT không sợi	CP50	380	38,0	95	2,20	717	920	172,0	0	20,0
2		CP70	480	48,0	48	3,00	699	897	171,5	0	20,0
3	Sợi det - tỷ lệ hướng sợi 29	CP52A	380	38,0	95	3,23	716	911	172,0	50	18,0
4		CP72A	480	48,0	48	4,20	698	869	171,5	75	18,0
5	Sợi tròn SF-35/0,7 - tỷ lệ hướng sợi 50	CP52C	380	38,0	95	3,23	716	901	172,0	50	17,0
6		CP72C	480	48,0	48	4,32	698	869	171,5	75	18,0
7	Sợi tròn SF-30/0,5 - tỷ lệ hướng sợi 60	CP52D	380	38,0	95	3,23	716	961	172,0	50	17,0
8		CP72D	480	48,0	48	4,32	698	869	171,5	75	17,0

**Bảng 2.** Xác định độ mất nước và biến dạng mềm sau 1 ngày đóng rắn ( $M_h = 30m^{-1}$ )

Chỉ tiêu	Bê tông mác 500				Bê tông mác 700				
	CP50	CP52A	CP52C	CP52D	CP70	CP72A	CP72C	CP72D	
Độ mất nước, %	48,25	47,09	45,39	44,47	45,18	43,73	41,69	40,81	
Biến dạng mềm	$\epsilon$ , mm/m	2,20	2,05	1,90	1,81	2,45	2,15	2,00	1,88
	$\Delta\epsilon/\epsilon_0$ , %	-	6,82	13,63	17,73	-	12,24	18,36	23,26

Ký hiệu công thức:  $\varepsilon_0$  là giá trị biến dạng mềm của bê tông không sợi;  $\varepsilon$  là giá trị biến dạng mềm của BTCS thép;  
 $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$  là giá trị chênh lệch biến dạng mềm của BTCS thép so với bê tông không sợi.



Hình 1. Ảnh hưởng của sợi thép đến mất nước và biến dạng mềm của bê tông mác 500, 700 (vào mùa hè)

Từ kết quả xác định độ mất nước, biến dạng mềm của bê tông và BTCS thép, có thể nhận xét:

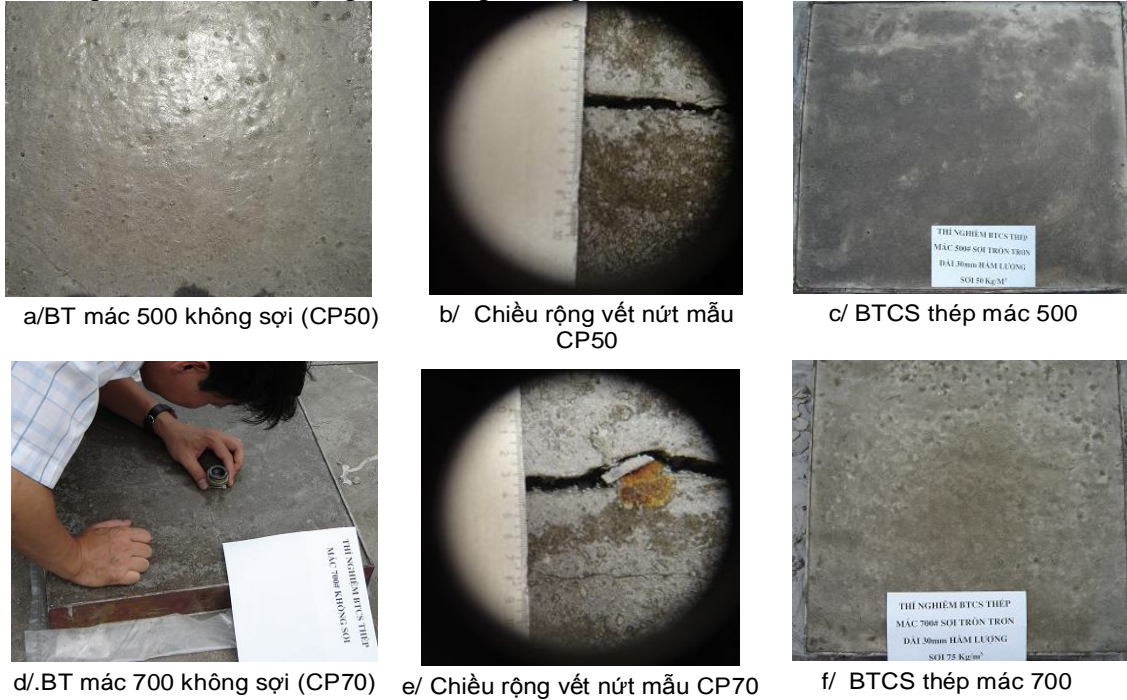
- Sợi thép làm giảm đáng kể độ mất nước của bê tông, độ mất nước của BTCS thép và bê tông đối chứng xấp xỉ nhau ở cùng cấp mác;
- Sợi thép đã làm giảm biến dạng mềm của BTCS thép. Với sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao làm giảm co mềm của BTCS thép nhiều hơn sợi thép có tỷ lệ hướng sợi thấp.

## 2.2. Ảnh hưởng của sợi thép tới khả năng kháng nứt do biến dạng mềm của bê tông

Nghiên cứu khả năng kháng nứt của BTCS thép mác 500 và 700, tiến hành đồng thời với các mẫu thí nghiệm xác định độ mất nước và biến dạng mềm. Mẫu modul hờ, với  $M_n = 16,16m^{-1}$ . Cấp phối bê tông không sợi và BTCS thép xác định khả năng kháng nứt cho trong bảng 1 với các cấp phối: CP50; CP52D; CP70 và CP72D. Các mẫu sau khi đúc, không bảo dưỡng và phơi ra ngoài nắng.

Kết quả thí nghiệm cho thấy: sau khi đúc mẫu khoảng 4-5 giờ thì mẫu BT không sợi đối chứng bắt đầu xuất hiện vết nứt, sau 1 ngày phơi nắng thì chiều rộng vết nứt lớn nhất đo được với mẫu BT không sợi mác 500 (CP50) là 0,6mm với mẫu BT không sợi mác 700 (CP70) là 0,8mm. Với các mẫu BTCS thép chưa thấy xuất hiện vết nứt. Sau khoảng 7 ngày phơi nắng các vết nứt cũ của CP50 và CP70 tiếp tục phát triển và xuất hiện thêm nhiều vết nứt nhỏ.

Như vậy sợi thép có tác dụng tăng đáng kể khả năng kháng nứt của BTCS thép. Điều này là do sợi thép đã làm giảm co mềm của BTCS thép ngay từ những giờ đầu đông rắn, đồng thời khi bê tông bắt đầu có cường độ sợi thép đã làm tăng cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông, dẫn đến việc tăng khả năng kháng nứt.

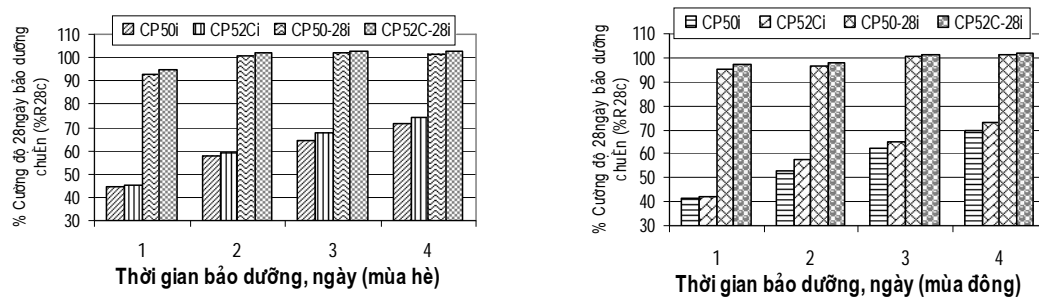


Hình 2. Khả năng kháng nứt do biến dạng mềm của BTCS thép

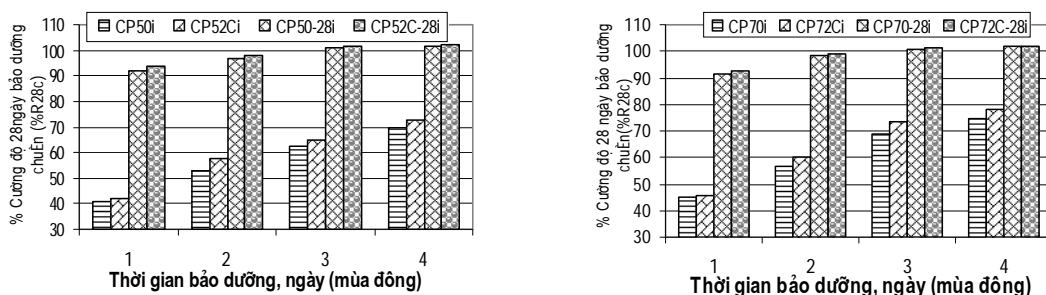
### 2.3. Bảo dưỡng BTCS thép trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam

Nghiên cứu bảo dưỡng BTCS thép thực hiện vào 2 mùa trong năm (mùa hè và mùa đông) tại Hà Nội, với bê tông BTCS thép và bê tông gốc không sợi mác 500 và 700. Sợi thép sử dụng là sợi tròn 2 đầu neo SF-35/0,7 mm (tỷ lệ hướng sợi 50), hàm lượng sợi thép với bê tông mác 500 là 50 kg/m<sup>3</sup> và bê tông mác 700 là 75 kg/m<sup>3</sup>. Kết quả nghiên cứu về bảo dưỡng bê tông đối với cường độ chịu nén cho trong bảng 3.

Biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian bảo dưỡng và cường độ chịu nén ở các ngày tuổi ứng với thời gian bảo dưỡng, trên biểu đồ hình 3 và hình 4.



Hình 3. Quan hệ giữa  $T_{BD}^{ct}$  và  $R_{BD}^{th}$  khi nén của bê tông mác 500 (mùa hè và mùa đông)



**Hình 4.** Quan hệ giữa  $T_{BD}^{ct}$  và  $R_{BD}^{th}$  khi nén của bê tông mác 700 (mùa hè và mùa đông)

Trong biểu đồ hình 3 và hình 4, ký hiệu nhận diện các khối biểu diễn như sau:

- CP50i và CP70i : cường độ chịu nén của bê tông không sợi mác 500 và 700 tại tuổi i ngày (sau i ngày bảo dưỡng,  $i = 1; 2; 3; 4$  ngày đêm);
- CP52Ci và CP72Ci: cường độ chịu nén của BTCS thép mác 500 và 700 tại tuổi i ngày (sau i ngày bảo dưỡng,  $i = 1; 2; 3; 4$  ngày đêm);
- CP50i-28 và CP70i-28: cường độ chịu nén của bê tông không sợi đối chứng mác 500 và 700 ở tuổi 28 ngày được bảo dưỡng ẩm i ngày ( $i = 1; 2; 3; 4$  ngày đêm);
- CP52Ci-28 và CP72Ci-28: cường độ chịu nén của BTCS thép mác 500 và 700 ở tuổi 28 ngày được bảo dưỡng ẩm i ngày ( $i = 1; 2; 3; 4$  ngày đêm).

Như vậy BTCS thép cần được bảo dưỡng tới  $R_{BD}^{th} = 59 R_{28}$  (với mác 500), tới  $63\%R_{28}$  (với mác 700) trong 2 ngày đêm khi thi công vào mùa hè và  $R_{BD}^{th} = 65 R_{28}$  (với mác 500), tới  $71\%R_{28}$  (với mác 700) trong 3 ngày đêm khi thi công vào mùa đông, trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam.

### 3. Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nóng ẩm đến sự phát triển cường độ và độ bền khí hậu của BTCS thép theo thời gian

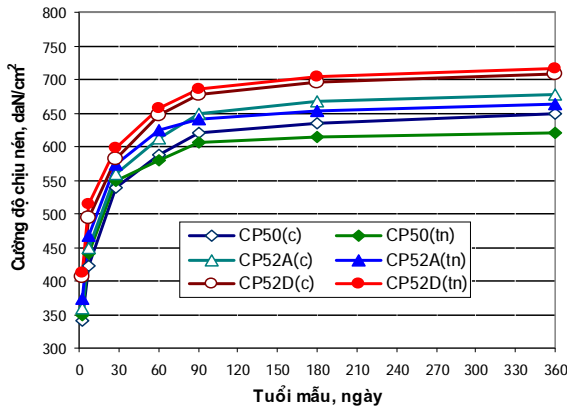
Điều kiện khí hậu Việt Nam có những đặc thù riêng do vậy việc nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nóng ẩm đến sự phát triển cường độ của bê tông nói chung và BTCS thép nói riêng là vấn đề quan trọng, để xác định khả năng sử dụng, tuổi thọ và khả năng làm việc trong điều kiện thực tế. Ở Việt Nam đã có những nghiên cứu về ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến một số tính chất của bê tông thông thường [1, 2].

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nóng ẩm tới sự phát triển cường độ của BTCS thép theo thời gian và độ bền bền khí hậu, đã thí nghiệm nghiên cứu với bê tông không sợi và BTCS thép mác

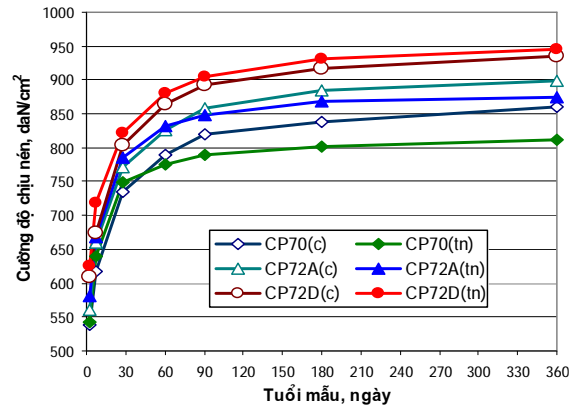
500 (hàm lượng sợi  $50\text{kg/m}^3$ ) và 700 (hàm lượng sợi  $75\text{kg/m}^3$ ). Để thấy rõ ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ của BTCS thép, thí nghiệm với loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi thấp nhất (sợi dẹt lượn sóng có tỷ lệ hướng sợi là 29; số lượng sợi 2.280 sợi/kg) và loại sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao nhất (sợi tròn 2 đầu neo SF-30/0,5mm; có tỷ lệ hướng sợi 60; số lượng sợi 19.040 sợi/kg) trong 4 loại sợi. Khả năng bền khí hậu của bê tông dưới tác động của điều kiện khí hậu Việt nam, đánh giá theo công thức:  $K_{KH} = R_{tn}/R_c$  [1]. Trong đó:  $R_{tn}$  là cường độ bê tông ngoài tự nhiên chịu tác động của điều kiện khí hậu ( $\text{daN/cm}^2$ );  $R_c$  là cường độ bê tông trong điều kiện bảo dưỡng tiêu chuẩn ( $\text{daN/cm}^2$ ).

#### 3.1. Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nóng ẩm đến sự phát triển cường độ chịu nén của BTCS thép theo thời gian

Biểu diễn ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông được bảo dưỡng trong hai điều kiện, tiêu chuẩn và để ngoài tự nhiên, theo thời gian được thể hiện trên hình 5.



Bê tông và BTCS thép mác 500



Bê tông và BTCS thép mác 700

**Hình 5.** Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông và BTCS thép mác 500 và 700 theo thời gian

Kết quả nghiên cứu về sự phát triển cường độ chịu nén và độ bền bền khí hậu của BT không sợi và BTCS thép trong bảng 4, các đồ thị trong hình 5, có nhận xét sau:

- Sợi thép đã làm tăng khả năng chịu môi dẫn đến tăng hệ số bền khí hậu của bê tông dưới tác động của điều kiện khí hậu.
- Ảnh hưởng của sợi thép đến hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 180 và 360 ngày cho trong bảng 3.

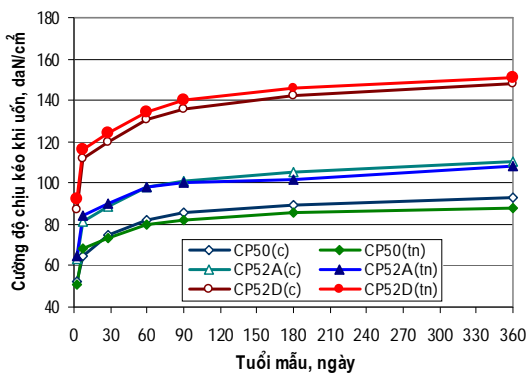
**Bảng 3.** Ảnh hưởng của sợi thép đến hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu nén của BTCS thép

Loại sợi thép	Hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu nén $K_{KH}$			
	Bê tông mác 500		Bê tông mác 700	
	Tuổi 180 ngày	Tuổi 360 ngày	Tuổi 180 ngày	Tuổi 360 ngày
Không sợi	0,972	0,954	0,954	0,945
Tỷ lệ hướng sợi 29	0,980	0,978	0,985	0,972
Tỷ lệ hướng sợi 60	1,017	1,008	1,011	1,007

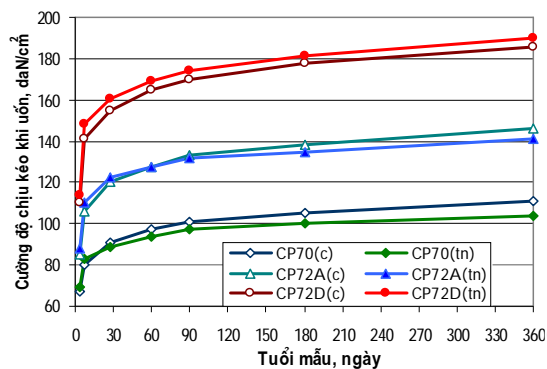
### 3.2. Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nóng ẩm đến sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của BTCS thép theo thời gian

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở các ngày tuổi được bảo dưỡng trong

2 điều kiện là bảo dưỡng tiêu chuẩn và để ngoài tự nhiên được trình bày trong bảng 4. Biểu diễn ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo thời gian trên hình 6.



Bê tông và BTCS thép mác 500



Bê tông và BTCS thép mác 700

**Hình 6.** Ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đến sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông và BTCS thép mác 500 và 700 theo thời gian

**Bảng 4. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của BTCS theo thời gian**

Ký hiệu mẫu	Loại sợi	Điều kiện bảo dưỡng	Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông (daN/cm <sup>2</sup> ) theo tuổi mẫu						
			R <sub>n3</sub>	R <sub>n7</sub>	R <sub>n28</sub>	R <sub>n60</sub>	R <sub>n90</sub>	R <sub>n180</sub>	R <sub>n360</sub>
			% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>	% R <sub>28C</sub>
CP50	Không sợi	Chuẩn	52,0	64,5	75,0	80,4	84,3	88,0	91,0
			69,6	86,3	100	107,2	114,7	117,3	121,3
		tự nhiên	51,0	68,0	73,5	78,4	80,6	84,0	85,6
			68,4	91	98,0	104,5	107,5	112,0	114,1
		K <sub>KH</sub>	0,98	1,0543	0,980	0,976	0,956	0,954	0,940
CP52A	Sợi dệt, tỷ lệ hướng sợi 29	Chuẩn	63,5	81,5	88,5	98,0	101,0	105,0	108,5
			71,8	92,1	100	110,7	114,1	118,6	122,6
		tự nhiên	65,0	84,0	90,0	98,2	100,0	102,0	105,0
			73,4	94,9	101,7	111,0	113,0	115,3	119,2
		K <sub>KH</sub>	1,024	1,031	1,017	1,002	0,990	0,971	0,967
CP52 D	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 60	Chuẩn	87,5	111,6	120,0	131,0	136,0	142,0	148,0
			72,9	93	100	109,2	113,3	118,3	123,3
		tự nhiên	92,3	116,0	124,5	134,2	140,0	146,0	151,0
			76,9	96,7	103,8	111,8	116,7	121,7	125,8
		K <sub>KH</sub>	1,055	1,039	1,038	1,024	1,029	1,028	1,020
CP70	Không sợi	Chuẩn	67	80,4	91	97	101	105	110
			73,6	88,4	100	106,6	111,0	115,4	120,9
		tự nhiên	69	83	89	94	97	100,3	103,0
			75,8	91,2	97,8	103,3	106,6	110,2	113,2
		K <sub>KH</sub>	1,03	1,032	0,978	0,969	0,960	0,955	0,936
CP72A	Sợi dệt, tỷ lệ hướng sợi 29	Chuẩn	85,4	106	120	127,5	133,5	138,5	146
			71,2	88,3	100	106,3	111,3	115,4	121,7
		tự nhiên	88	110	122,5	127,8	131,6	135	140,0
			73,3	91,7	102,1	106,5	109,7	112,5	116,7
		K <sub>KH</sub>	1,03	1,038	1,021	1,002	0,986	0,975	0,959
CP72 D	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 60	Chuẩn	110	141	155	164,5	170	178	189
			71	91	100	106,1	109,7	114,8	121,9
		tự nhiên	114	148	160,6	169	174	181,5	191
			73,5	95,5	103,6	109,0	112,3	117,1	123,2
		K <sub>KH</sub>	1,036	1,05	1,036	1,027	1,024	1,020	1,011

Kết quả nghiên cứu về sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn và độ bền bền khí hậu của BT không sợi và BTCS thép chúng ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Sợi thép đã làm tăng khả năng chịu môi dẫn đến tăng hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông dưới tác động của điều kiện khí hậu.
- Ảnh hưởng của sợi thép đến hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 180 và 360 ngày cho trong bảng 5.
- Tỷ lệ hướng sợi cao thì hệ số bền khí hậu của BTCS thép cao hơn loại sợi có tỷ lệ hướng sợi thấp với cùng cấp mác bê tông. Hệ số bền khí hậu của BTCS thép mác 500 và 700 sử dụng sợi có tỷ lệ hướng sợi 60 với hàm lượng sợi hợp lý là  $K_{KH} \cong 1$ .

**Bảng 5. Ảnh hưởng của sợi thép đến hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu kéo khi uốn của BTCS thép**

Loại sợi thép	Hệ số bền khí hậu đối với cường độ chịu kéo khi uốn K <sub>KH</sub>			
	Bê tông mác 500		Bê tông mác 700	
	tuổi 180 ngày	tuổi 360 ngày	tuổi 180 ngày	tuổi 360 ngày
Không sợi	0,954	0,940	0,955	0,936
Tỷ lệ hướng sợi 29	0,971	0,967	0,975	0,959
Tỷ lệ hướng sợi 60	1,028	1,020	1,023	1,011

#### 4. Khả năng kháng nứt của BTCS thép dưới tác động của điều kiện khí hậu

##### 4.1. Biến dạng cứng

Để xem xét mức độ biến dạng cứng của BTCS thép, đã kiểm tra co cứng với các cấp phối BTCS thép và bê tông không sợi đối chứng mác 500 và 700. Sợi thép sử dụng là sợi dệt có tỷ lệ hướng sợi là 29 (thấp nhất), sợi tròn 2 đầu neo có tỷ lệ hướng sợi là 50 và 60 (cao nhất). Với BTCS thép mác 500 hàm lượng sợi thép sử dụng là  $50\text{kg/m}^3$  và BTCS thép có mác 700 hàm lượng sợi thép là  $75\text{kg/m}^3$ . Các cấp phối ký hiệu là: CP50; CP52A; CP52C; CP52D; CP70; CP72A; CP72C và CP72D. Mẫu được đúc vào mùa hè (tháng 6), mẫu sau khi đúc xong được bảo dưỡng ẩm ngoài môi trường tự nhiên tới thời gian bảo dưỡng cần thiết. Sau đó mẫu để ngoài môi trường tự nhiên, không che đậy cách mặt đất 2m, với modun hồ  $M_h = 30\text{m}^{-1}$ . Ký hiệu chữ cái trong các cấp phối là: A (sợi tỷ lệ hướng sợi 29); C (tỷ lệ hướng sợi 50) và D (tỷ lệ hướng sợi 60).

**Bảng 6.** Kết quả xác định biến dạng cứng của bê tông ( $M_h = 30\text{m}^{-1}$ )

Chỉ tiêu	Tuổi mẫu	Bê tông mác 500				Bê tông mác 700			
		CP50	CP52A	CP52C	CP52D	CP70	CP72A	CP72C	CP72D
Biến dạng cứng, $\varepsilon \cdot 10^{-2}$ mm/m $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$ , %	28	13,60	13,00	12,70	12,50	15,60	14,90	14,50	14,20
		-	-4,41	-6,61	-8,09	-	-4,49	-7,05	-8,97
	360	22,80	21,60	21,20	20,90	25,70	24,40	23,70	23,40
		-	-4,82	-7,01	-8,33	-	-5,05	-7,78	-8,95

Ký hiệu công thức trong bảng 6:

- $\varepsilon_0$  là giá trị biến dạng cứng của bê tông không sợi;  $\varepsilon$  là giá trị biến dạng cứng của BTCS thép;
- $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$  là giá trị chênh lệch biến dạng cứng của BTCS thép so với bê tông không sợi.

Từ kết quả trong bảng 6, có thể thấy rằng:

- Sợi thép cải thiện không nhiều biến dạng cứng của BTCS thép. Với bê tông mác 500 sợi thép làm giảm biến dạng cứng khoảng 8% và bê tông mác 700 giảm khoảng 9%.
- Khi tỷ lệ hướng sợi thép tăng (với hàm lượng sợi thép tối ưu) thì biến dạng cứng của BTCS thép giảm.

##### 4.2. Hệ số bền nứt

Theo các tài liệu nghiên cứu về độ bền nứt của bê tông trong điều kiện khí hậu Việt Nam [1] thì độ bền nứt của bê tông giảm dần theo thời gian, nếu gọi  $\varepsilon_{th}$  là giới hạn biến dạng kéo của bê tông và  $\varepsilon_{BT}$  là biến dạng của bê tông tại thời điểm xem xét, khi  $\varepsilon_{BT} < \varepsilon_{th}$ , bê tông chưa bị nứt và bê tông chuẩn bị nứt khi  $\varepsilon_{BT} > \varepsilon_{th}$ . Vì vậy, điều kiện bền nứt của bê tông được xác lập theo công thức:

$$K_{bn} = K_{bn} = \frac{\varepsilon_{th}}{\varepsilon_{BT}} \geq 1 \quad [1, 3] \quad (1)$$

với:  $K_{bn}$  - hệ số bền nứt của bê tông;

-  $\varepsilon_{th}$  (mm/m) - giới hạn biến dạng kéo của bê tông xác định theo công thức:  $\varepsilon_{th} = \frac{R_k}{E_{BT} V_b}$  (2)

- $\varepsilon_{BT}$  (mm/m) - biến dạng của bê tông tại thời điểm xem xét;
- $E_{BT}$  (daN/cm<sup>2</sup>) - modun đàn hồi của bê tông;
- $V_b$  - hệ số biến dạng đàn hồi khi chịu kéo  $V_b = 0,5$  [3];
- $R_k$  (daN/cm<sup>2</sup>) - cường độ chịu kéo của bê tông:  
 $R_k = 0,58 R_{ku}$  (3)
- $R_{ku}$  (daN/cm<sup>2</sup>) - cường độ kéo uốn của bê tông.

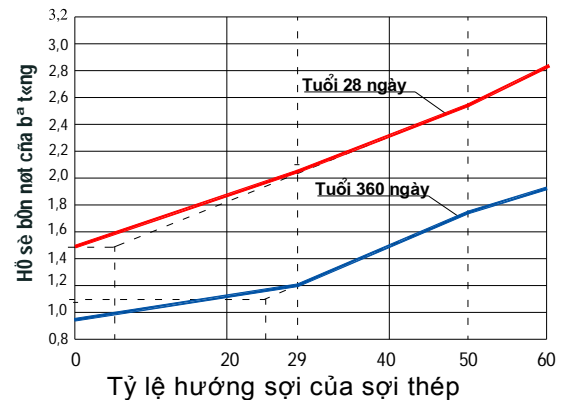
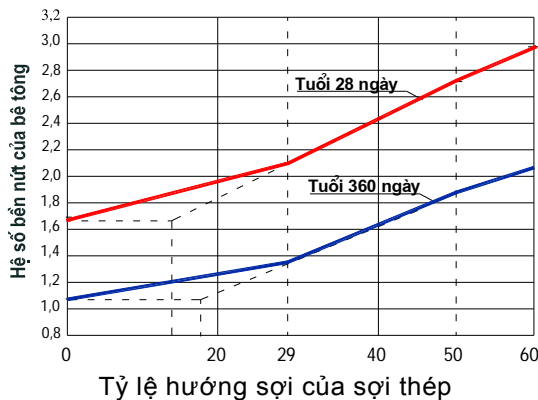
Kết quả xác định hệ số bền nứt của bê tông đối chứng và BTCS thép cho trong bảng 7.

Ảnh hưởng của tỷ lệ hướng sợi của sợi thép đến hệ số bền nứt của bê tông mác 500 và 700 được thể hiện trên hình 7.

**Bảng 7.** Hệ số bền nứt của BTCS thép trong điều kiện khí hậu nóng ẩm

Ký hiệu	Loại sợi	Tuổi mẫu, ngày	Modun đàn hồi, $E \cdot 10^5$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Biến dạng cứng, $\varepsilon_{BT} \cdot 10^{-2}$ (mm/m)	$R_{ku}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$R_k$ (daN/cm <sup>2</sup> )	Giới hạn biến dạng kéo của BT, $\varepsilon_{th}$ (mm/m)	Hệ số bền nứt, $K_{bn}$
CP50	không sợi	28	3,782	13,60	73,5	42,63	22,54	1,66

		360	4,021	22,80	85,5	49,59	24,48	1,07
CP52A	Sợi dệt dài 38mm, tỷ lệ hướng sợi 29	28	3,831	13,00	90,0	52,20	27,25	2,10
		360	4,140	21,60	105,0	60,90	29,42	1,36
CP52C	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 50	28	3,902	12,70	116,0	67,28	34,48	2,72
		360	4,098	21,20	140,0	81,20	39,63	1,87
CP52D	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 60	28	3,876	12,50	124,5	72,21	37,26	2,98
		360	4,162	20,90	151,0	87,58	42,09	2,01
CP70	không sợi	28	4,57	15,60	89,0	51,62	22,84	1,46
		360	4,820	25,70	103,0	59,74	24,79	0,96
CP72A	Sợi dệt dài 38mm, tỷ lệ hướng sợi 29	28	4,600	14,90	122,5	71,05	30,89	2,07
		360	4,892	24,40	140,0	81,20	33,20	1,36
CP72C	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 50	28	4,621	14,50	148,0	85,84	37,15	2,56
		360	4,980	23,70	178,6	103,59	41,60	1,76
CP72D	Sợi tròn 2 đầu neo, tỷ lệ hướng sợi 60	28	4,66	14,20	160,6	93,15	39,98	2,82
		360	4,976	23,40	191,0	110,78	44,53	1,90



**Hình 7.** Ảnh hưởng của sợi thép đến hệ số bền nứt của bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam

Từ kết quả xác định hệ số bền nứt trong bảng 7 và hình 7 cho thấy:

- BTCS thép có khả năng chịu tác động của điều kiện khí rất cao so với bê tông không sợi.
- BTCS thép sử dụng sợi thép có tỷ lệ hướng sợi 50 và 60 sẽ đem lại hiệu quả cao trong quá trình làm việc của lớp mặt kết cấu thường xuyên chịu tác động trực tiếp của điều kiện khí hậu. Đảm bảo điều kiện chống nứt cho bê tông lớp mặt, đồng thời cho phép tính toán tăng khoảng cách giữa các khe co dãn với lớp mặt kết cấu.
- Trên đồ thị hình 7, hệ số bền nứt ở tuổi 1 năm với cấp phối nghiên cứu BTCS thép mác 500 và 700, cốt liệu có  $d_{max} = 20mm$ , có thể dự đoán được loại sợi thép đảm bảo hệ số bền nứt đối với BTCS thép nghiên cứu  $\geq 1,1$  phải có tỷ lệ hướng sợi tối thiểu khoảng 18 và 25 tương ứng với mác 500 và 700. Như vậy với sợi dệt có đường kính tương đương là 1,31mm thì chiều dài tối thiểu của loại sợi này là 24 mm và 33 mm tương ứng với mác 500 và 700.

## 5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu tính chất của BTCS thép trong điều kiện khí hậu Việt Nam, có cơ sở để luận cứ về những nhận thức mới và rút ra các kết luận sau:

1. Sợi thép không ảnh hưởng tới quá trình mất nước và độ mất nước, nhưng sợi thép lại làm giảm co mềm và làm tăng khả năng kháng nứt do co mềm của BTCS thép. Sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao, tiết diện sợi nhỏ làm giảm co mềm và tăng khả năng kháng nứt do co mềm của BTCS thép nhiều hơn sợi thép có tỷ lệ hướng sợi thấp, tiết diện sợi lớn;
2. Tốc độ phát triển cường độ của BTCS thép đến tuổi 28 ngày, chủ yếu phụ thuộc vào bản chất của hồ vữa xi măng. Ví dụ thời gian bảo dưỡng cần thiết  $T_{BD}^{ct}$  của BTCS thép thi công vào mùa hè là 2 ngày đêm và thi công vào mùa đông là 3 ngày đêm cho cả 2 mác 500 và 700.
3. Sợi thép đã làm tăng hệ số bền khí hậu của BTCS thép dưới tác động của điều kiện khí hậu nóng ẩm:
  - Sợi thép đã làm tăng cường độ chịu kéo khi uốn và độ bền dẻo dai của BTCS thép dẫn đến tăng khả năng chịu mỏi của BTCS thép từ đó tăng hệ số bền khí hậu của bê tông dưới tác động của điều kiện khí hậu;
  - Hệ số bền khí hậu của BTCS thép với sợi có tỷ lệ hướng sợi cao lớn hơn loại sợi có tỷ lệ hướng sợi thấp với cùng cấp mác bê tông.
4. Hệ số bền nứt của BTCS thép cao hơn rất nhiều hệ số bền nứt của bê tông gốc không sợi:
  - Bê tông không sợi ở tuổi 1 năm, hệ số bền nứt của bê tông mác 500 là 1,07 và của mác 700 là 0,97. BTCS thép ở tuổi 1 năm, hệ số bền nứt của BTCS thép mác 500 và 700 đều giữ ở mức cao ( $K_{bn} = 1,4 - 2$ ).
  - Sợi thép có tỷ lệ hướng sợi cao thì hệ số bền nứt của BTCS thép cao. Với BTCS thép mác 500, hàm lượng sợi thép  $50\text{kg/m}^3$ , hệ số bền nứt ở tuổi 1 năm đạt 1,87 và 2,01 (tỷ lệ hướng sợi tương ứng 50 và 60) và mác 700, hàm lượng sợi thép  $75\text{kg/m}^3$ , hệ số bền nứt ở tuổi 1 năm đạt 1,76 - 1,9 (tỷ lệ hướng sợi tương ứng là 50 và 60).
  - Chiều dài tối thiểu với sợi dẹt (đường kính tương đương 1,31mm) phải là 24 mm và 33 mm tương ứng với mác 500 và 700.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. NGUYỄN TIẾN ĐÍCH. Bảo dưỡng bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 1989, 188 trang.
2. NGUYỄN TIẾN ĐÍCH. Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam. NXB Xây dựng, Hà Nội, 1006, 231 trang.
3. NGUYỄN MANH KIỂM và các ctv. Sự làm việc đồng thời hỗn hợp vữa và cốt liệu lớn trong bê tông. Báo cáo tổng kết đề tài RD-94-02, Hà Nội 12/1997, 90 trang.
4. ACI 544.1R-1996, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, 66 p.
5. ACI 544.3R-1993 (Reapproved 1998). Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete. 10 p.
6. ACI C27. Steel Fiber Reinforced Concrete. 76 p.
7. ASTM A820-01, Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.
8. BALAGURU, P.N., and SHAH, S.P., Fiber-Reinforced Cement Composites. Mc Graw-Hill, new York, 1992, 550 p.
9. NAAMAN, A.E., and REINHATDT.H.W., Fouth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC4), RILLEM, June.2003, 291 p.