

# Sử dụng sợi xơ dừa trong chế tạo bê tông nâng cao chất lượng nhà ở xã hội khu vực Tây Nam Bộ thích ứng với biến đổi khí hậu

Using coconut fiber in concrete manufacturing improves the quality of social housing in the Southwest region to adapt to climate change

> LÊ NGUYỄN THIỆN HUY<sup>1</sup>, VÕ NHẬT LUÂN<sup>2</sup>, TĂNG VĂN LÂM<sup>3</sup>, HỒ ANH CƯƠNG<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Công ty TNHH Xây dựng và thương mại Bình Trang, Email: huylelongan@gmail.com

<sup>2</sup>Trường Đại học Văn Hiến, Email: luanvn@vhu.edu.vn

<sup>3</sup>Trường Đại học Mở-Địa chất, Email: lamvantang@gmail.com

<sup>4</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải, Email: hoanhuong@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu (BĐKH) có tác động sâu sắc và cụ thể đến chất lượng xây dựng nhà cao tầng tại miền Tây Nam Bộ. Những năm gần đây, nhiệt độ và lượng mưa của hầu hết khu vực Tây Nam Bộ đã tăng cao, ảnh hưởng đến độ bền và tuổi thọ của kết cấu, đặc biệt nhiều kết cấu trong công trình cao tầng đã bị nứt vỡ và phá hủy hoàn toàn vì ảnh hưởng của BĐKH. Do đó, việc nghiên cứu sử dụng sợi xơ dừa trong chế tạo bê tông nhằm nâng cao chất lượng xây dựng nhà ở xã hội (NXH), giảm hiện tượng nứt vỡ kết cấu trong khu vực Tây Nam Bộ trong điều kiện BĐKH là rất cần thiết. Bê tông cốt sợi xơ dừa là vật liệu có nhiều ưu điểm sử dụng trong các kết cấu tường chịu lực, khu vực sân vườn và nhiều kết cấu thích hợp khác... trong công trình NXH ở khu vực tỉnh Long An. Trong bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu về khả năng sử dụng sợi xơ dừa trong chế tạo bê tông nhằm giảm BĐKH. Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: Sợi xơ dừa tại tỉnh Bến Tre, Long An; bay của nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân (Trà Vinh) và silica fume SF90 kết hợp với phụ gia siêu dẻo giảm nước. Từ kết quả thực nghiệm thu được đã cho thấy tiềm năng chế tạo bê tông cốt sợi xơ dừa từ nguồn vật liệu sẵn có tại địa phương với tính công tác tốt, độ sụt từ 14,5 cm ÷ 20,5 cm và cường độ chịu nén dao động từ 40,8 MPa ÷ 59,5 MPa. Bên cạnh đó, với việc giảm lượng dùng xi măng trong bê tông đã mang lại nhiều hiệu quả tích cực trong việc chống BĐKH. Với việc thay thế một phần 30% hàm lượng xi măng bằng tro bay nhiệt điện đã giúp giảm mức tiêu hao năng lượng, giảm ô nhiễm môi trường do ngành công nghiệp sản xuất xi măng gây nên, đặc biệt khối lượng CO<sub>2</sub> ước tính đã giảm từ 454 kg/m<sup>3</sup> xuống còn 324 kg/m<sup>3</sup> và đã tái sử dụng khoảng 118kg tro bay trong mỗi khối bê tông. Điều này đã góp phần không nhỏ vào bảo vệ môi trường, giảm BĐKH và thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn bền vững và tăng trưởng "xanh" của Chính phủ Việt Nam.

**Từ khóa:** Sợi xơ dừa; bê tông; tro bay; silica fume; biến đổi khí hậu.

## ABSTRACT

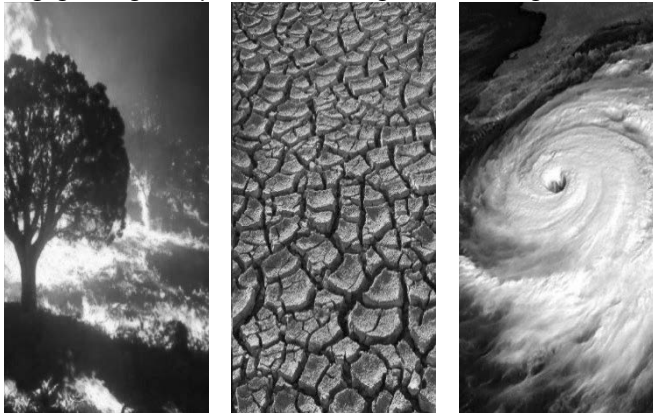
Climate change has a profound and specific impact on the quality of high-rise building construction in the Southwest region. In recent years, the temperature and rainfall in most of the Southwest region have increased, affecting the durability and lifespan of structures, especially many structures in high-rise buildings have cracked and completely destroyed due to the impact of climate change. Therefore, it is very necessary to study the use of coconut fiber in concrete manufacturing to improve the quality of social housing construction and reduce the phenomenon of structural cracking in the Southwest region under climate change conditions. On the other hand, concrete using randomly dispersed coconut fiber has created concrete products with high tensile strength and good crack resistance. Therefore, coconut fiber reinforced concrete is the preferred material for use in load-bearing wall structures, garden areas and many other suitable structures... in social housing projects in areas affected by climate change in Long An province. This paper presents some research results on the possibility of using coconut fiber in concrete production to reduce climate change. Materials used in the study include: Coconut fiber in Ben Tre and Long An provinces; fly ash from Vinh Tan thermal power plant (Tra Vinh) and silica fume SF90 combined with water-reducing superplasticizer. The experimental results have shown the potential for producing coconut fiber reinforced concrete from locally available materials with good workability, slump from 14.5 cm to 20.5 cm and compressive strength ranging from 40.8 MPa to 59.5 MPa. In addition, reducing the amount of cement used in concrete has brought many positive effects in combating climate change. Replacing 30% of the cement content with thermal power fly ash has helped reduce energy consumption and environmental pollution caused by the cement industry, especially the estimated CO<sub>2</sub> volume has decreased from 454 kg/m<sup>3</sup> to 324 kg/m<sup>3</sup> and reused about 118 kg of fly ash in each cubic meter of concrete. This contributes significantly to environmental protection, reducing climate change impacts, and promoting a sustainable circular economy and "green" growth in line with the Vietnamese government's objectives.

**Keywords:** Coconut-Fiber; concrete; fly ash; silica fume; climate change.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khu vực Tây Nam Bộ gồm 13 tỉnh thành đang chịu ảnh hưởng rất nặng nề do BĐKH, đặc biệt là trong xây dựng nhà cao tầng [1]. Hiện nay, các địa phương Tây Nam Bộ nói chung, tỉnh Long An nói riêng là vùng châu thổ được hình thành chủ yếu từ Sông Tiền, Sông Hậu và một vài nhánh sông nhỏ khác như Sông Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây v.v... là vựa trái cây, thủy hải sản cung cấp cho Việt Nam nói riêng, xuất khẩu nói chung. Đặc biệt Cần Thơ là thành phố trực thuộc Trung ương duy nhất của vùng và đang có nhu cầu nhà cao tầng cao nhất, với nhiều dự án chung cư, văn phòng và trung tâm thương mại.

BĐKH là sự biến đổi trạng thái của khí hậu so với trung bình hoặc dao động của khí hậu duy trì trong một khoảng thời gian dài. BĐKH là sự thay đổi của hệ thống khí hậu gồm khí quyển, thủy quyển, sinh quyển, thạch quyển trong hiện tại và được phỏng đoán là có thể biến động nhanh hơn trong tương lai [2, 3]. BĐKH tạo nên các hiện tượng bất lợi như: Sự nóng lên của khí quyển và trái đất nói chung; sự dâng cao mực nước biển do băng tan, dẫn tới sự ngập úng ở các vùng đất thấp, các đảo nhỏ trên biển; sự thay đổi cường độ hoạt động của quá trình hoàn lưu khí quyển, chu trình tuần hoàn nước trong tự nhiên và các chu trình sinh địa hoá khác [4]. BĐKH và nước biển dâng (NBD) đã, đang diễn ra trên phạm vi toàn cầu (Hình 1). Tần suất, cường độ xuất hiện thiên tai ngày một gia tăng, biến đổi tăng yếu tố nhiệt độ cực trị, tạo nên các mối đe dọa đến chất lượng quản lý vận hành khai thác và bảo trì, gây suy giảm tuổi thọ, đẩy nhanh tốc độ hư hỏng, gia tăng kinh phí sửa chữa công trình cao tầng [5, 6].



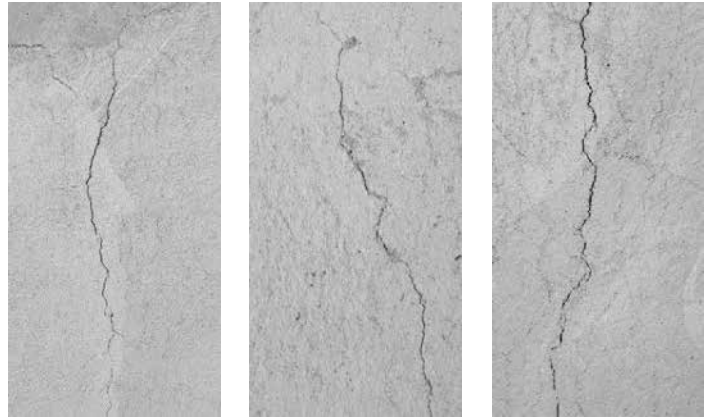
a). Cháy rừng

b). Hạn hán kéo dài

c). Sự gia tăng cường độ gió và lượng mưa từ các cơn bão nhiệt đới

**Hình 1.** BĐKH đang ảnh hưởng nghiêm trọng trên phạm vi toàn cầu [6]

Khu vực tỉnh Long An một mặt giáp với TP.HCM và một mặt giáp với tỉnh Trà Vinh, Long An có tốc độ phát triển công nghiệp hóa rất nhanh, lượng phế thải rắn công nghiệp và ô nhiễm môi trường ngày càng nặng nề, nhiệt độ không khí cao nhất trong thời kỳ cơ sở từ năm 1986 đến năm 2005 là 340C, thấp nhất 21,50C, nhiệt độ không khí cao nhất theo số liệu đo đạc có thể đạt mức 38,70C [6]. Với sự tăng nhiệt độ hiện nay đã ảnh hưởng lớn đến độ bền, đặc biệt gây ra hiện tượng nứt vỡ kết cấu nhà cao tầng trong khu vực Tây Nam Bộ (Hình 2). Trước đây, để giảm bớt hiện tượng nứt vỡ và phá hủy kết cấu, nhiều công trình đã sử dụng vật liệu rạ, rơm... để tăng khả năng chống nứt trong kết cấu nhà dân dụng. Tuy nhiên, trong vùng Tây Nam Bộ, đặc biệt là Bến Tre, Long An... có một lượng lớn vỏ dừa, xơ dừa sau khi sử dụng. Nhiều nghiên cứu ở Việt Nam và trên thế giới cho thấy [7, 8], xơ dừa chính là vật liệu chống nứt hiệu quả cho vật liệu bê tông sử dụng trong công trình nhà cao tầng hiện nay.



**Hình 2.** Sự nứt vỡ kết cấu bê tông trong nhà cao tầng do nhiệt độ tại khu vực Tây Nam Bộ [9, 10, 11]

Vật liệu xây dựng là phần vật chất tạo nên các công trình xây dựng. Vì vậy, phát triển các loại vật liệu đa dạng đúng hướng sẽ giải quyết được hai vấn đề quan trọng nhất trong ứng phó với BĐKH: vừa giảm thiểu tác hại của BĐKH vừa thích ứng với BĐKH trong điều kiện mới [12]. Trong công nghệ vật liệu mới có một số hướng phát triển vật liệu thích ứng BĐKH: *Hướng thứ nhất* là phát triển vật liệu để giảm thiểu sự phát thải các chất ảnh hưởng đến BĐKH. *Hướng thứ hai* là phát triển vật liệu sử dụng tiết kiệm năng lượng và tài nguyên thiên nhiên, sử dụng các phế thải, vật liệu tái chế, sử dụng vật liệu tại chỗ, vật liệu sẵn có. Với quá trình xây dựng nhà ở cao tầng, NOXH đang phát triển rất nhanh để đáp ứng nhu cầu của xã hội tại khu vực Tây Nam Bộ, việc nghiên cứu phát triển các loại bê tông sử dụng sợi xơ dừa chống nứt là có tính thời sự và cần thiết.

Bài báo đặt vấn đề nhằm tận dụng các nguồn chất thải rắn như xơ dừa, xỉ than của các nhà máy nhiệt điện, cát ở các sông Tiền, sông Hậu và xỉ măng hàm lượng thấp để chế tạo bê tông và các loại vữa trát tường nhằm giảm chi phí cho xây dựng NOXH nhưng vẫn đảm bảo chất lượng công trình. Trong nghiên cứu này, sợi xơ dừa phân tán được sử dụng để chống nứt và tăng cường độ chịu kéo của kết cấu. Từ kết quả thực nghiệm thu được đã cho thấy tiềm năng chế tạo bê tông từ nguồn vật liệu sẵn có tại địa phương nhằm nâng cao chất lượng xây dựng nhà ở xã hội khu vực Tây Nam Bộ trong điều kiện BĐKH.

## 2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CẤP PHỐI

### 2.1. Vật liệu sử dụng để chế tạo bê tông

a) Chất kết dính gồm có:

+) Xi măng Vicem Hà Tiên PCB40 (XM) thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 [13]. Thành phần hóa học và tính chất cơ lý của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40 được giới thiệu trong bảng 1 và bảng 2.

+) Tro bay (FA) nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân (Bình Thuận) thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014 [14] với tỷ diện bề mặt riêng là 5610 cm<sup>2</sup>/g và khối lượng riêng là 2,31 g/cm<sup>3</sup>. Đây là loại tro bay có hàm lượng oxit SiO<sub>2</sub> hoạt tính là 55,2%, tổng hàm lượng SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 85,0% và thỏa mãn yêu cầu tro bay loại F. Thành phần hóa học của tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân được giới thiệu trong bảng 1.

+) Silica fume SF90 (SF) của Vina Pacific với kích thước hạt nano, có chứa 90,3% SiO<sub>2</sub> hoạt tính với tỷ diện bề mặt riêng là 10150 cm<sup>2</sup>/g và khối lượng riêng là 2,19 g/cm<sup>3</sup>. Thành phần hóa học của silica fume SF90 được giới thiệu trong Bảng 1.

Trong nghiên cứu này, chất kết dính (CKD) được xác định bằng tổng hàm lượng của xi măng, tro bay và silicafume SF90 (CKD=XM+FA+SF).

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40, tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân và silica fume SF90

| Loại vật liệu sử dụng       | Thành phần hóa học (% theo khối lượng) |                                |                                |                 |                  |                   |     |      |                               |                    | Tỷ diện bề mặt (cm <sup>2</sup> /g) |
|-----------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----|------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
|                             | SiO <sub>2</sub>                       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MgO | CaO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Lượng mất khi nung |                                     |
| Xi măng Vicem Hà Tiên PCB40 | 33,1                                   | 4,6                            | 4,9                            | 2,1             | 1,4              | 1,2               | -   | 50,5 | -                             | 2,2                | 3680                                |
| Tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân | 55,2                                   | 20,3                           | 9,5                            | 4,2             | 1,7              | 0,9               | 1,2 | 1,4  | 1,5                           | 4,1                | 5610                                |
| Silica fume SF90            | 90,3                                   | 2,5                            | 4,5                            | -               | -                | 0,5               | -   | 0,7  | 0                             | 1,5                | 10150                               |

**Bảng 2.** Tính chất cơ lý của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40

| Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> ) | Lượng sót trên sàng N0,09 | Thời gian đông kết (phút) |                   | Cường độ nén trung bình (MPa) |        |         | Độ dẻo tiêu chuẩn (%) |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|--------|---------|-----------------------|
|                                       |                           | Bắt đầu đông kết          | Kết thúc đông kết | 3 ngày                        | 7 ngày | 28 ngày |                       |
| 3,15                                  | 0,25                      | 195                       | 245               | 22,5                          | 36,9   | 43,5    | 30,5                  |

b) Sợi xơ dừa: Sợi xơ dừa (XD) được gia công đập nghiền và cắt thái từ vỏ quả dừa khu vực Long An. Sợi xơ dừa sau khi gia công cơ học được sấy khô, cắt thành đoạn có chiều dài từ 1,0÷3,0 cm. Trong

nghiên cứu này, xơ dừa được sử dụng làm cốt sợi phân tán trong hỗn hợp bê tông để chống nứt và tăng tính chất cơ học của sản phẩm. Quy trình sản xuất sợi xơ dừa được minh họa trong hình 3.



**Hình 3.** Sơ đồ công nghệ chế tạo sợi xơ dừa từ vỏ dừa

Các tính chất vật lý của sợi xơ dừa sử dụng trong nghiên cứu được đưa ra trong bảng 3.

**Bảng 3.** Tính chất vật lý của sợi xơ dừa

| Chiều dài (mm) | Đường kính (mm) | Khối lượng riêng của sợi xơ dừa (g/cm <sup>3</sup> ) | Cường độ kéo (MPa) | Độ trương nở trong nước (% đường kính) |
|----------------|-----------------|--|--------------------|--|
| 10 ÷ 30        | 0,1 ÷ 0,5       | 1,45   | 300 ÷ 350          | 4,0 ÷ 5,5                              |

c). Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu này gồm:

Cốt liệu lớn là đá dăm (ĐD) từ đá vôi Các-bon-nát có D<sub>max</sub> = 20m của mỏ đá Hòa An (Đồng Nai) có độ nén đập trong xi lanh ở điều kiện bão hòa nước là 7,2%. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong bê tông là cát

vàng tự nhiên (CV) nguồn gốc sông Tiền (Đồng Tháp). Đây là loại hạt nhỏ chất lượng tốt và mô đun độ lớn M<sub>k</sub> = 2,95.

Các loại cốt liệu sử dụng thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [15] với các tính chất vật lý được thể hiện trong bảng 4.

**Bảng 4.** Tính chất vật lý của cốt liệu sử dụng

| Loại cốt liệu              | Các tính chất vật lý của cốt liệu sử dụng |  |                                       |   |                 |
|----------------------------|---|--|---------------------------------------|---|-----------------|
|                            | Kích thước (mm)                           | Khối lượng thể tích xốp (kg/m <sup>3</sup> ) | Khối lượng riêng (kg/m <sup>3</sup> ) | Khối lượng thể tích đầm chặt (kg/m <sup>3</sup> ) | Độ hút nước (%) |
| Đá dăm từ mỏ đá vôi Hòa An | 5,0 ÷ 10,0 và 10,0 ÷ 20,0                 | 1550   | 2750                                  | 1650  | 0,45            |
| Cát vàng sông Tiền         | 0,15 ÷ 5,0                                | 1650   | 2650                                  | 1700  | 0,80            |

e). Phụ gia siêu dẻo Sikament® NN «SilkRoad» (PG) có giá trị khối lượng riêng trung bình 1,12 g/cm<sup>3</sup> ở nhiệt độ 25 ± 5°C. Đây là loại phụ gia giảm nước thế hệ mới có khả năng giảm nước của phụ gia đạt khoảng 25%.

Để tính toán so sánh giá thành của các hỗn hợp bê tông, trong nghiên cứu này đã sử dụng các đơn giá vật liệu theo thị trường tại địa phương. Đơn giá các loại nguyên vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được trình bày trong bảng 5.

f). Nước sạch (NS) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn yêu cầu TCVN 4506:2012 [16].

**Bảng 5.** Đơn giá các loại vật liệu sử dụng trong chế tạo sản phẩm bê tông

| STT | Các loại vật liệu sử dụng  | Ký hiệu | Đơn giá (kể cả công vận chuyển và tiền thuế) |
|-----|--|---------|--|
| 1   | Xi măng Vicem Hà Tiên PCB40  | XM      | 1.200 đồng/kg                                |
| 2   | Tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân  | FA      | 500 đồng/kg                                  |
| 3   | Silica fume SF90 Công ty Vina Pacific  | SF      | 3.000 đồng/kg                                |
| 4   | Cát vàng sông Tiền   | CV      | 500.000 đồng/m <sup>3</sup>                  |
| 5   | Đá dăm (5÷20)mm từ mỏ đá Hòa An  | ĐD      | 500.000 đồng/m <sup>3</sup>                  |
| 6   | Xơ sợi dừa phân tán  | XD      | 500 đồng/kg                                  |
| 7   | Phụ gia siêu dẻo Sikament® NN «Sika»   | PG      | 45.000 đồng/lít                              |
| 8   | Bê tông tươi mác M350, đá 1x2 cm, độ sụt 10±2cm Công ty TNHH bê tông tươi toàn Miền Nam <sup>1</sup> | M350    | 1.750.000 đồng/m <sup>3</sup>                |
| 9   | Bê tông tươi mác M400, đá 1x2 cm, độ sụt 10±2cm Công ty TNHH bê tông tươi toàn Miền Nam <sup>2</sup> | M400    | 1.850.000 đồng/m <sup>3</sup>                |

<sup>1</sup> <https://betongmiennam.com.vn/bao-gia-be-tong-tuoi-tai-kcn-duc-hoa-long-an-1>

<sup>2</sup> <https://betongmiennam.com.vn/bao-gia-be-tong-tuoi-tai-kcn-duc-hoa-long-an-1>

## 2.2. Thiết kế cấp phối bê tông

Thành phần cấp phối hỗn hợp bê tông sử dụng tro bay và xơ dừa được thực hiện theo trình tự trong yêu cầu của Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998 với các tính chất yêu cầu của hỗn hợp bê tông như sau:

✓ Tính công tác tốt với độ sụt của hỗn hợp bê tông trong côn tiêu chuẩn dao động  $10 \div 20$  cm;  
 ✓ Cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày từ  $40 \div 50$  MPa đối với mẫu thí nghiệm chứa 100% xi măng Vicem Hà Tiên PCB40.

Hàm lượng các loại vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu này như sau:

+ Hàm lượng xơ dừa được sử dụng dao động từ 0%; 1%; 1,5%; 2%; 2,5%; 3% theo khối lượng của tổng hàm lượng chất kết dính.

+ Hàm lượng tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân được khảo sát dao động từ 0%, 15%, 20%, 25% và 30% theo khối lượng của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40.

+ Hàm lượng silica fume SF90 Công ty Vina Pacific được sử dụng là 10% theo khối lượng của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40.

+ Tỷ lệ nước nhào trộn trên tổng hàm lượng chất kết dính (N/CKD) được khảo sát trong nghiên cứu này là:  $N/CKD = 0,25$ ;

+ Hàm lượng phụ gia siêu dẻo Sikament® NN được sử dụng là 1,5% tổng hàm lượng của chất kết dính.

Thành phần cấp phối bê tông được xác định theo Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998 dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu sử dụng kết hợp với việc điều chỉnh từ thực nghiệm phù hợp với điều kiện thí nghiệm tại Việt Nam, nghiên cứu đã thu được 06 cấp phối bê tông thí nghiệm như trong bảng 6.

**Bảng 6.** Các cấp phối của bê tông sử dụng trong nghiên cứu

| Ký hiệu mẫu thí nghiệm | Tỷ lệ vật liệu (%) | Vật liệu sử dụng cho 1 m <sup>3</sup> bê tông (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |       |      |     |     |     |
|------------------------|--------------------|--|-----|----|-------|------|-----|-----|-----|
|                        |                    | XM   | FA  | SF | XD    | ĐD   | CV  | PG  | NS  |
| Concre-01 <sup>3</sup> | 0%TB+0%XD          | 550  | 0   | 0  | 0     | 1057 | 605 | 8,3 | 138 |
| Concre-02              | 10%TB+1,0%XD       | 458  | 46  | 46 | 5,50  | 1062 | 588 | 8,3 | 138 |
| Concre-03              | 15%TB+1,5%XD       | 440  | 66  | 44 | 8,25  | 1050 | 575 | 8,3 | 138 |
| Concre-04              | 20%TB+2,0%XD       | 423  | 85  | 42 | 11,00 | 1049 | 563 | 8,3 | 138 |
| Concre-05              | 25%TB+2,5%XD       | 407  | 102 | 41 | 13,75 | 1043 | 578 | 8,3 | 138 |
| Concre-06              | 30%TB+3,0%XD       | 393  | 118 | 39 | 16,50 | 1052 | 566 | 8,3 | 138 |

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông (HHBT) được xác định bằng độ sụt của côn tiêu chuẩn với kích thước 10x20x30 cm theo TCVN 3106:2022 [18] (Hình 4).



Hình 4. Xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông

- Giá trị cường độ kháng nén của bê tông được xác định trên mẫu hình lập phương kích thước 150x150x150 mm theo yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [19] (Hình 5).



Hình 5. Mẫu bê tông hình lập phương 150x150x150 mm

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Tính chất của bê tông ở trạng thái dẻo

Sau quá trình thí nghiệm, các kết quả thực nghiệm đã được xử lý số liệu theo yêu cầu của TCVN 6702:2020 [20]. Các giá trị thực nghiệm không hợp lý được lược bỏ, sau đó tính giá trị trung bình kết quả của từng mẫu thí nghiệm. Giá trị trung bình của khối lượng thể tích và tính công tác của các cấp phối bê tông trong nghiên cứu này được thể hiện trong bảng 6.

**Bảng 6.** Khối lượng thể tích, độ sụt và độ hút nước của bê tông thí nghiệm

| Ký hiệu mẫu thí nghiệm | Đối với bê tông ở trạng thái dẻo                             |                                  | Đối với bê tông ở trạng thái cứng rắn                   |                 |
|------------------------|--|----------------------------------|---|-----------------|
|                        | Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (kg/m <sup>3</sup> ) | Độ sụt trong côn tiêu chuẩn (cm) | Khối lượng thể tích ở tuổi 28 ngày (kg/m <sup>3</sup> ) | Độ hút nước (%) |
| Concre-01              | 2358   | 20,5                             | 2308  | 8,35            |
| Concre-02              | 2351   | 20,0                             | 2296  | 8,64            |
| Concre-03              | 2329   | 19,5                             | 2294  | 8,95            |
| Concre-04              | 2319   | 18,0                             | 2291  | 9,97            |
| Concre-05              | 2331   | 16,5                             | 2289  | 10,25           |
| Concre-06              | 2330   | 14,5                             | 2278  | 10,45           |

Từ giá trị thực nghiệm trong bảng 6 cho thấy các tính chất của hỗn hợp bê tông và các tính chất vật lý cơ bản của bê tông ở tuổi 28 ngày có chứa các hàm lượng xơ dừa và tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân khác nhau.

• Đối với hỗn hợp bê tông mới nhào trộn: Khối lượng thể tích ngay tại khi nhào trộn xong và giá trị độ sụt trong côn tiêu

chuẩn lần lượt nằm trong khoảng  $2319 \div 2358$  kg/m<sup>3</sup> và  $14,5 \div 20,5$  mm.

• Đối với bê tông ở độ tuổi 28 ngày: Giá trị khối lượng thể tích trung bình và độ hấp thụ nước lần lượt nằm trong khoảng  $2278 \div 2308$  kg/m<sup>3</sup> và  $8,35 \div 10,45$ %.

<sup>3</sup> Mẫu bê tông đối chứng không sử dụng tro bay và xơ dừa.

Bằng cách tăng hàm lượng tro bay và sợi xơ dừa, giá trị độ sụt và mật độ trung bình của hỗn hợp vữa tươi đều giảm mạnh. Những điều này chủ yếu là do khả năng chống co ngót của sợi xơ dừa và diện tích bề mặt của tro bay (5610 cm<sup>2</sup>/g) cao hơn so với xi măng Portland (3680 cm<sup>2</sup>/g). Đồng thời, khi hàm lượng sợi xơ dừa tăng lên đã cản trở dòng chảy của hỗn hợp bê tông do đó làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông. Những kết quả này tương tự như kết quả được trình bày trong các nghiên cứu đã công bố [7, 8, 21].

Hơn nữa, giá trị thu được từ thực nghiệm trong bảng 6 cho thấy với các mẫu thí nghiệm chứa tro bay nhiệt điện nhiệt điện Vĩnh Tân với hàm lượng tro bay biến đổi từ 0%÷30% và hàm lượng sợi xơ dừa tăng từ 0%÷3% đã gây ra ảnh hưởng đáng kể đến tính công tác của HHTB. Hàm lượng hạt mịn trong tro bay nhiệt điện đã làm tăng lượng cần nước của hỗn hợp vật liệu và thành phần sợi phân tán cản lại độ chảy của dòng hỗn hợp vật liệu. Kết quả là độ sụt của HHTB đã giảm từ 20,5 cm xuống chỉ còn

**Bảng 7.** Các tính chất cơ lý của mẫu bê tông và giá thành tính toán cho mỗi mét khối hỗn hợp bê tông

| Ký hiệu mẫu thí nghiệm | Giá trị cường độ nén (R <sub>cs</sub> ) của mẫu bê tông (MPa) |        |         |         | Giá trị kéo khi uốn (R <sub>fs</sub> ) của mẫu bê tông (MPa) | $\frac{R_{cs}}{R_{fs}}$ | Giá trị mô đun đàn hồi tính (MPa) | Giá thành tính toán cho 1m <sup>3</sup> bê tông (đồng/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|---|--------|---------|---------|--|-------------------------|-----------------------------------|--|
|                        | 3 ngày  | 7 ngày | 14 ngày | 28 ngày |  |                         |                                   |  |
| Concre-01              | 24,0  | 43,2   | 54,5    | 59,5    | 7,92   | 7,53                    | 33 626                            | 1.828.872  |
| Concre-02              | 22,9  | 40,0   | 51,1    | 55,8    | 8,00   | 6,98                    | 32 332                            | 1.759.953  |
| Concre-03              | 19,0  | 32,9   | 42,7    | 46,7    | 8,90   | 5,31                    | 31 384                            | 1.687.167  |
| Concre-04              | 18,2  | 32,7   | 41,4    | 45,2    | 8,97   | 5,08                    | 30 436                            | 1.617.503  |
| Concre-05              | 17,6  | 30,7   | 38,9    | 42,5    | 9,25   | 4,57                    | 29 959                            | 1.993.191  |
| Concre-06              | 16,5  | 29,5   | 37,3    | 40,8    | 9,40   | 4,34                    | 29 058                            | 1.920.931  |

*a). Giá trị cường độ nén, giá trị cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi tính của mẫu bê tông ở các tuổi khác nhau*

Kết quả thực nghiệm trong bảng 7 đã cho thấy, cường độ nén của các mẫu bê tông thí nghiệm ở tuổi 28 ngày dao động từ 40,8 MPa đến 59,5 MPa. Khi hàm lượng tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân thay thế lượng xi măng càng nhiều thì cường độ nén của bê tông có xu hướng giảm mạnh hơn. Điều này là đúng theo quy luật chung của sản phẩm bê tông sử dụng phụ gia khoáng thay thế xi măng. Sự suy giảm cường độ nén của mẫu bê tông trong nghiên cứu này được giải thích như sau: Thành phần tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân có thành phần hoạt tính thấp, hàm lượng SiO<sub>2</sub> chỉ đạt khoảng 55,2%. Do đó, vật liệu này vừa có vai trò là phụ gia khoáng vừa có vai trò là chất độn mịn. Thành phần silica fume SF90 có chứa 90,3% SiO<sub>2</sub> hoạt tính, có khả năng phản ứng với sản phẩm thủy hóa Ca(OH)<sub>2</sub> của xi măng để tạo ra các khoáng vật Hidro-Canxi-Silicat (C-S-H) thứ cấp, bổ sung thành phần gel có tính chất kết dính và làm giảm cấu trúc lỗ rỗng gel của các mẫu bê tông [6, 7]. Tuy nhiên, khi hàm lượng phụ gia khoáng thay thế từ 20%÷30% hàm lượng xi măng nên các gel thứ cấp C-S-H này không thể bù đắp được lượng khoáng C-S-H của xi măng tạo thành khi phản ứng thủy hóa với nước. Bên cạnh đó, hàm lượng sợi xơ dừa không ảnh hưởng nhiều đến cường độ nén của mẫu ở các tuổi khác nhau.

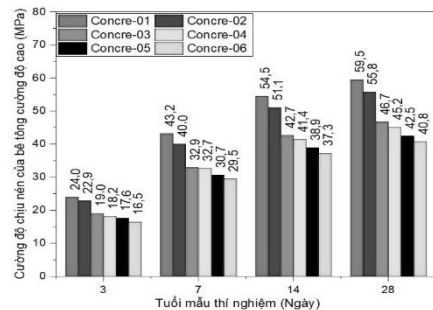
Tuy nhiên, sợi xơ dừa phân tán lại có ảnh hưởng lớn đến cường độ kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày. Sợi xơ dừa phân tán chính là thành phần khâu vết nứt, giúp cho mẫu bê tông mềm dẻo và có khả năng chịu kéo tốt hơn. Điều này phản ánh rõ trong kết quả thí nghiệm thu được. Cụ thể là, với các mẫu Concre-01 không chứa sợi xơ dừa và Concre-02 chứa 1,0% sợi xơ dừa nên cường độ kéo khi uốn khoảng 7,92-8,00 MPa ở tuổi 28 ngày. Khi hàm lượng sợi xơ dừa tăng từ 1,5% lên 3,0% thì cường độ kéo khi uốn của mẫu thí nghiệm ở tuổi 28 ngày đã tăng từ 8,90 MPa lên đến 9,40 MPa. Với hiệu ứng tăng cường độ chịu kéo khi uốn nhưng giảm cường độ nén tương ứng, do đó tỉ số cường độ nén trên cường độ chịu kéo khi uốn ( $R_{cs}/R_{fs}$ ) đã giảm mạnh từ 7,53 xuống còn 4,34.

Biểu đồ tốc độ phát triển cường độ chịu nén của các mẫu bê tông từ tuổi 3 ngày đến tuổi 28 ngày được trình bày trong hình 6.

14,5 cm. Ảnh hưởng tương hỗ giữa lượng cần nước của hạt siêu mịn trong thành phần tro bay, sợi xơ dừa và silica fume SF90 kết hợp với phụ gia siêu dẻo Sikament® NN được thể hiện rõ nét trong các cấp phối thí nghiệm Concre-04, Concre-05 và Concre-06. Quan sát HHTB sau khi nhào trộn đã thấy được độ đồng nhất của HHTB tươi rất tốt, không có hiện tượng phân tầng, không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của hỗn hợp sau khi trộn và trong quá trình làm thí nghiệm kiểm tra độ sụt. Bên cạnh đó, kết quả thực nghiệm thu được giá trị khối lượng thể tích của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày đã giảm từ 2308 kg/m<sup>3</sup> xuống chỉ còn 2278 kg/m<sup>3</sup>.

**4.2. Tính chất cơ học của bê tông ở trạng thái cứng rắn**

Các kết quả thí nghiệm xác định giá trị cường độ chịu nén, cường độ kéo khi uốn, giá trị mô đun đàn hồi tính của các mẫu thí nghiệm và giá thành tính toán cho mỗi mét khối bê tông được trình bày chi tiết trong bảng 7.



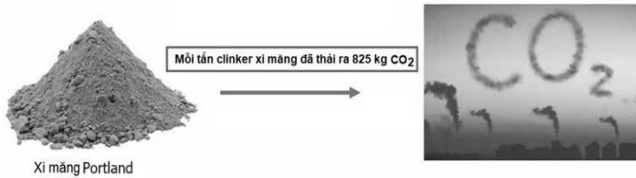
**Hình 6.** Biểu đồ tốc độ phát triển cường độ chịu nén của mẫu bê tông theo thời gian bảo dưỡng

Từ biểu đồ trên hình 6 cho thấy, mẫu bê tông, chứa đến (0÷30)% hàm lượng tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân, (0÷3)% sợi xơ dừa và 10% silica fume SF90 kết hợp với 1,5% phụ gia siêu dẻo Sikament® NN có tốc độ phát triển cường độ nhanh, cường độ nén ở các tuổi 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày đã đạt được lần lượt bằng 40%, 70% và 90% cường độ nén ở tuổi 28 ngày. Đây cũng là lợi thế cho quá trình thi công các công trình xây dựng nhà cao tầng trong điều kiện ĐKKH đang diễn ra ngày càng phức tạp ở khu vực miền Tây Nam Bộ vì hỗn hợp bê tông có độ dẻo cao, tốc độ đông kết và rắn chắc tương đối nhanh, khả năng chống nứt tốt và quá trình thi công hỗn hợp bê tông được thực hiện dễ dàng. Giá trị mô đun đàn hồi tính khoảng (29÷34) GPa tương tự như bê tông xi măng truyền thống.

*b). Tính kinh tế và khả năng chống ĐKKH của bê tông sử dụng sợi xơ dừa và tro bay nhiệt điện*

Thông thường, bê tông truyền thống và vữa xây dựng được chế tạo từ bốn thành phần chính là xi măng Portland, cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, nước và phụ gia. Trong đó, thành phần xi măng Portland là tác nhân hàng đầu phát thải khí CO<sub>2</sub>. Đây là nguyên nhân chính gây ra hiện tượng ĐKKH hiện nay trên toàn cầu. Theo thống kê từ các nhà máy xi măng, để sản xuất ra mỗi tấn xi măng Portland có quá trình này đã thải ra môi trường khoảng 0,825 tấn khí CO<sub>2</sub> [22] (Hình 7).

• Quá trình phát thải khí CO<sub>2</sub> từ quá trình sản xuất xi măng Portland các loại:



**Hình 7.** Sự phát thải khí CO<sub>2</sub> trong mỗi tấn xi măng Portland [22]

Trong nghiên cứu này, hàm lượng khí thải CO<sub>2</sub> được tính ước lượng bằng 0,825 lần hàm lượng xi măng Portland sử dụng và được xác định chi tiết trong bảng 8. Mặt khác, từ báo giá của nguyên vật liệu tại khu vực tỉnh Long An vào tháng 12/2024 đã tính được đơn giá của 1m<sup>3</sup> bê tông và cũng được trình bày trong bảng 8.

**Bảng 8.** Tính kinh tế và khả năng chống BDKH của bê tông sử dụng sợi xơ dừa và tro bay nhiệt điện

| Ký hiệu mẫu thí nghiệm | Hàm lượng xi măng (kg) | Khối lượng tro bay đã tái sử dụng (kg) | Lượng khí thải CO <sub>2</sub> trong 1m <sup>3</sup> bê tông |               | Giá thành tính toán cho 1m <sup>3</sup> bê tông (đồng/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|------------------------|--|--|---------------|--|
|                        |                        |  | Theo đơn vị kg   | Theo đơn vị % |  |
| Concre-01              | 550                    | 0                                      | 454  | 100           | 1.555.551  |
| Concre-02              | 458                    | 46                                     | 378  | 83            | 1.605.179  |
| Concre-03              | 440                    | 66                                     | 363  | 80            | 1.581.327  |
| Concre-04              | 423                    | 85                                     | 349  | 77            | 1.562.021  |
| Concre-05              | 407                    | 102                                    | 336  | 74            | 1.551.765  |
| Concre-06              | 393                    | 118                                    | 324  | 71            | 1.538.584  |

Từ đơn giá của các nguyên vật liệu thực tế tại tháng 12/2024 tại địa phương có thể thấy rằng, mỗi khối bê tông có đơn giá khoảng 1,50 triệu đồng/m<sup>3</sup> đến 1,60 triệu đồng/m<sup>3</sup>. Khi so sánh với đơn giá thực tế cho thấy, bê tông sử dụng các thành phần nguyên vật liệu trong nghiên cứu này có giá thành thấp hơn so với các loại Bê tông tươi mác M350 và M400, đá 1x2 cm và độ sụt 10±2 cm của Công ty TNHH bê tông tươi toàn Miền Nam. Mặt khác, lượng tro bay nhiệt điện được tái sử dụng trong nghiên cứu này đạt đến 30% hàm lượng của xi măng Vicem Hà Tiên PCB40. Nhờ việc giảm lượng dùng xi măng trong bê tông đã mang lại nhiều hiệu quả tích cực trong việc chống BDKH ở khu vực Tây Nam Bộ. Với việc thay thế một phần 30% hàm lượng xi măng bằng tro bay nhiệt điện đã giúp giảm mức tiêu hao năng lượng, giảm ô nhiễm môi trường do ngành công nghiệp sản xuất xi măng gây nên, đặc biệt khối lượng CO<sub>2</sub> ước tính đã giảm từ 454 kg/m<sup>3</sup> xuống còn 324 kg/m<sup>3</sup>. Ngoài việc giảm khí thải CO<sub>2</sub>, sản phẩm bê tông đã tái sử dụng khoảng 118kg tro bay trong mỗi khối bê tông. Điều này đã góp phần không nhỏ vào bảo vệ môi trường và thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn bền vững và tăng trưởng “xanh” của Chính phủ Việt Nam. Hơn nữa, việc có thể sử dụng sợi xơ dừa có sẵn tại địa phương kết hợp với phế thải tro bay nhiệt điện làm nguyên liệu sản xuất bê tông đã giảm được sử dụng tài nguyên thiên nhiên và cho phép giải quyết triệt để hơn phế thải công nghiệp gây ô nhiễm môi trường [23, 24].

## 5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Sử dụng các loại vật liệu thông thường sẵn có ở địa phương, có thể chế tạo được hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt và cường độ kháng nén ở tuổi 28 ngày dao động từ 40,8 MPa÷59,5 MPa phù hợp để thi công kết cấu tường chịu lực, khu vực sân bãi và nhiều kết cấu thích hợp khác, nhằm nâng cao chất lượng xây dựng NƠXH khu vực Tây Nam Bộ trong điều kiện BDKH.

- Hỗn hợp bê tông có tính công tác rất tốt, độ sụt từ 14,5 cm÷20,5 cm. Điều này cho phép sử dụng nhiều phương pháp thi công hỗn hợp bê tông khác nhau khi sử dụng trong xây dựng nhà cao tầng. Các mẫu bê tông chứa từ 0%÷30% hàm lượng tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân,

0%÷3,0% hàm lượng sợi xơ dừa và 10% silica fume kết hợp với 1,5% phụ gia siêu dẻo Sikament® NN có tốc độ rắn chắc nhanh hơn. Giá trị cường độ nén ở các tuổi 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày đã đạt được lần lượt bằng 40%, 70% và 90% cường độ nén ở tuổi 28 ngày.

- Sợi xơ dừa phân tán có ảnh hưởng lớn đến cường độ kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày. Sợi xơ dừa phân tán chính là thành phần khâu vết nứt, giúp cho mẫu bê tông có khả năng chịu kéo tốt hơn. Điều này phản ánh rõ trong kết quả thí nghiệm thu được. Cường độ kéo khi uốn ở tuổi 28 ngày dao động khoảng 7,92÷9,40 MPa. Tỷ số cường độ nén/cường độ kéo khi uốn đã giảm mạnh từ 7,53 xuống còn 4,34.

- Nhờ việc giảm lượng dùng xi măng trong bê tông đã mang lại nhiều hiệu quả tích cực trong việc chống BDKH ở khu vực Tây Nam Bộ. Với việc thay thế một phần 30% hàm lượng xi măng bằng tro bay nhiệt điện đã giúp giảm mức tiêu hao năng lượng, giảm ô nhiễm môi trường do ngành công nghiệp sản xuất xi măng gây nên, đặc biệt khối lượng CO<sub>2</sub> ước tính đã giảm từ 454 kg/m<sup>3</sup> xuống còn 324 kg/m<sup>3</sup>. Ngoài việc giảm khí thải CO<sub>2</sub>, bê tông đã tái sử dụng khoảng 118kg tro bay trong mỗi khối bê tông. Điều này đã góp phần không nhỏ vào bảo vệ môi trường và thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn bền vững và tăng trưởng “xanh” của Chính phủ Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quyết định số 287/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Quy hoạch vùng Đồng bằng sông Cửu Long thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Thủ tướng Chính phủ ngày 28/02/2022. 40 trang.
- [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016). Kịch bản biến đổi khí hậu nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2008). Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu. Hà Nội.
- [4] Trần N.N. (2009). Ứng phó với biến đổi khí hậu và biển dâng.
- [5] Goodier, C. I., Pham, H. H., Le, T. T., Soutsos, M. N. (2010). Developing knowledge regarding sustainable contraction in the National University of Civil Engineering of Vietnam (NUCE). Third International World of Construction Project Management Conference.
- [6]. <http://vpdf.org.vn/tin-tuc-su-kien/moi-truong-sinh-thai/tac-dong-cua-bien-doi-khi-hau-doi-voi-san-xuat-nong-nghiep-viet-nam.html>
- [7]. Tăng Văn Lâm, Kim Dien Vu, Đặng Văn Phi, Tài Nang Luong Nguyen, Dinh Trinh Nguyen. Mechanical Properties of Building Mortar Containing Pumice and Coconut-Fiber. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol.982. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_61)
- [8]. Noridah, M., Muhammad, A.I., et al, 2017. Mechanical properties and flexure behaviour of lightweight foamed concrete incorporating coir fiber. In: IOP Conference on Series: Earth and Environmental Science, vol. 140, p. 012140 (2013). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012140>
- [9]. Nguyễn Thanh Bằng, 2011. “Nguyên nhân gây xâm thực bê tông và bê tông cốt thép công trình thủy lợi - Giải pháp khắc phục phòng ngừa”. Tạp chí KH&CN Thủy lợi, Viện KHTLVN, số 3, tr. 56-60.
- [10]. Phạm Văn Khoan và Nguyễn Nam Thăng, 2010. “Tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép ở vùng biển Việt Nam và một số kinh nghiệm sử dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitrit”. Tạp chí KHCN Xây dựng, số 2, 2010, tr. 15-22.
- [11]. Lâm Thanh Quang Khải, 2015. “Nghiên cứu giải pháp chống ăn mòn cốt thép trong bê tông bằng vật liệu polymer”. Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ, số 6, tr. 32-48.
- [12]. Phạm Hữu Hanh, 2021, Phát triển vật liệu xây dựng phù hợp với biến đổi khí hậu. Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 2021, 15 (6V): 187-192
- [13]. Tiêu chuẩn Việt Nam, 2009. TCVN 2682 : 2009 “Xi măng poóc lăng - yêu cầu kỹ thuật”. 6tr.
- [14]. Tiêu chuẩn Việt Nam, 2014. TCVN 10302:2014 “Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng”. 14tr.
- [15]. Tiêu chuẩn Việt Nam, 2006. TCVN 7570:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật”. 6tr.
- [16]. Tiêu chuẩn Việt Nam, 2012. TCVN 4506:2012 “Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật”. 7tr.
- [17]. Bộ xây dựng (1998). “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” theo Quyết định 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998, 60 tr.
- [18]. TCVN 3106:2022 “Hỗn hợp bê tông nặng - phương pháp thử độ sụt”. 3tr.
- [19]. TCVN 3118:2022. “Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ chịu nén”. 13tr.
- [20]. TCVN 6702:2020 “Xử lý kết quả thử nghiệm để xác định sự phù hợp với yêu cầu kỹ thuật”. 24tr.
- [21]. Majid, A.: Coconut fibre: a versatile material and its applications in engineering. J. Civ. Eng. Constr. Technol. 2(9), 189-197 (2011)
- [22]. Andrew R.M. (2018). Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. Earth System Science Data, 10(1), 195-217. Doi: 10.5194/essd-10-195-2018, 2018.
- [23]. Nguyễn Thế Anh, 2021. Nghiên cứu tính chất cơ lý của bê tông sợi tự nhiên khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Vật liệu và xây dựng-Bộ Xây dựng, (2), 35- Trang.
- [24]. Lê Thu Trang, Nguyễn Thanh Sang, Hoàng Tiên Niên, Phạm Đình Huy Hoàng, Thái Minh Quân, 2023. Nghiên cứu chế tạo bê tông cốt liệu tái chế sử dụng cốt sợi xơ dừa làm mặt đường. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải. Tập 74, số 3 (2023): 255-267.