

Cải thiện chất lượng bề mặt bê tông khi sử dụng ván khuôn có lớp lót kiểm soát thẩm

Chu Bảo Ngọc^{1*}

¹Khoa Cơ khí và xây dựng - Trường Đại học công nghiệp Việt - Hưng

TỪ KHÓA

Chất lượng bề mặt
Bê tông
Lớp lót ván khuôn thấm có kiểm soát

TÓM TẮT

Lớp bê tông bảo vệ bề các cấu kiện đóng vai trò quan trọng việc đảm bảo độ bền của cấu kiện bê tông. Tuy nhiên, đặc trưng việc đổ bê tông hiện nay, lớp bê tông bảo vệ thường có bền kém hơn lớp bê tông bên trong lõi của cấu kiện. Các nguyên nhân gây ra hiện tượng lớp bê tông bảo vệ kém chất lượng là do tỷ lệ nước/xi măng ở bề mặt ván khuôn lớn, đồng thời các bọt khí bị ép ra bề mặt ván khuôn cũng bị giữ lại, nên gây ra lỗ nhỏ ở bề mặt lớp bê tông bảo vệ, đồng thời dễ bị co ngót, nứt và có hiệu quả làm việc không đạt 100%. Cho nên, việc áp dụng lớp phủ ván khuôn bằng vật liệu thấm có kiểm soát (CPF) sẽ cải thiện được chất lượng bề mặt các cấu kiện và bảo vệ tốt các lớp cốt thép bên trong. Nghiên cứu đã phân tích về việc sử dụng CPF cho các cấu kiện bê tông, đã cho thấy việc này tăng cường chất lượng bề mặt của các cấu kiện, giảm được chi phí cho bảo dưỡng bề mặt và có hiệu quả cao về mặt kinh tế.

KEYWORDS

Surface quality
Concrete
Controlled permeable formwork liner

ABSTRACT

The concrete layer that protects the surface of the structures plays an important role in ensuring the durability of the concrete structures. However, typical of current concrete pouring, the protective concrete layer is often less durable than the concrete layer inside the core of the structure. The causes of poor quality protective concrete layer are due to the high water/cement ratio on the formwork surface, and at the same time air bubbles forced out onto the formwork surface are also trapped, causing Small holes in the surface of the protective concrete layer, at the same time susceptible to shrinkage, cracking and not 100% working efficiency. Therefore, applying formwork coating with controlled permeable material (CPF) will improve the concrete quality of the surface of the components and well protect the inner reinforcement layers. Research has analyzed the use of CPF for concrete structures, showing that this enhances the concrete quality of structures, reduces costs for concrete maintenance and is highly economically effective.

1. Giới thiệu chung

Các loại bê tông đúc trên gỗ hoặc thép trong vùng phủ bê tông đều có hàm lượng xi măng giảm và tỷ lệ nước/xi măng tăng (tức là ít đậm đặc hơn và xốp hơn) so với bê tông nằm ngoài vùng cốt pha. Trong lõi của bất kỳ phần tử kết cấu nào, bê tông được nén chặt hơn và có chất lượng tốt hơn so với bề mặt. Bê tông khi nén sẽ đẩy không khí và nước hỗn hợp dư thừa trong vùng che phủ về phía các bề mặt ván khuôn, chúng sẽ tạo các lỗ rỗng và các khiếm khuyết trên bề mặt kết cấu [4].

Ván khuôn trong các công trình xây dựng tại Việt Nam thường sử dụng các loại ván gỗ ép phủ phim, thép, gỗ hoặc nhựa ... Khi thực hiện công tác đổ bê tông, dưới tác dụng lực đổ bê tông, lực đầm sẽ làm cho không khí và nước dồn mạnh về phía bề mặt ván khuôn, lúc này ở lớp bảo vệ của cấu kiện bê tông sẽ tăng tỷ lệ nước và các bọt khí được đọng lại (do không có lối thoát). Điều này dẫn đến bề mặt lớp bảo vệ bê tông giảm sự co ngót bê tông, tách nước và dễ gây nứt, làm giảm chất lượng bê tông. Lớp bê tông bảo vệ sẽ bị xốp, xuất hiện các lỗ kim phun và giảm hiệu quả lớp bê tông bảo vệ [6].

Khi chất lượng lớp bảo vệ của cấu kiện bê tông bị giảm chất lượng, các quá trình ăn mòn và mục nát sẽ tăng lên. Lúc này cấu kiện bê tông không còn làm việc ở mức tối đa (100% hiệu quả làm việc), các hư hỏng ở lớp cốt thép sẽ xuất hiện và làm ảnh hưởng đến toàn bộ hiệu quả chịu lực của công trình [9].

Như vậy, vấn đề đặt ra là đảm bảo sự ổn định và vững chắc ở lớp bê tông bảo vệ, đồng thời ổn định các cấu kiện và sự làm việc tối đa của nó. Từ các vấn đề ảnh hưởng đến chất lượng lớp bê tông bảo vệ, việc đảm bảo cân bằng tỷ lệ nước/xi măng (N/X) ở lớp bê tông bảo vệ và thoát khí ra khỏi khối bê tông là thực sự cần thiết [11]. Phương pháp để cân bằng tỷ lệ nguyên liệu bê tông và thoát khí đã được kiểm soát bằng lớp vải lót trên bề mặt ván khuôn. Nghiên cứu đã phân tích hiệu quả vải không dệt Controlled Permeability Formwork (CPF) trong hỗ trợ ván khuôn, tạo ra một lớp vật liệu mà nước và không khí sẽ đi qua, nhưng không cho phép các hạt xi măng mịn thoát ra và có đường thoát cho nước di chuyển ra khỏi ván khuôn. Kết quả nghiên cứu chỉ ra hiệu quả về mặt chất lượng bề mặt và lợi ích kinh tế khi sử dụng phương pháp kiểm soát thẩm ở bề mặt ván khuôn.

*Liên hệ tác giả: chubaongoc1987@gmail.com

Nhận ngày 07/10/2024, sửa xong ngày 16/10/2024, chấp nhận đăng ngày 03/12/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2024.785>

2. Phương pháp nghiên cứu

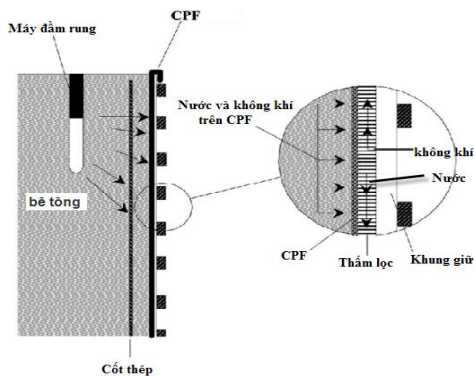
Tác giả đã sử dụng phương pháp tham khảo các tài liệu trong và ngoài nước, phương pháp tiếp cận và thu thập thông tin, phương pháp tổng hợp và phân tích thông tin.

3. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm

3.1. Cấu tạo hệ ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm

Một hệ ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm (CPF) điển hình được cấu tạo từ ba thành phần cơ bản là (hình 1):

- Một màng lọc cho phép không khí và nước di chuyển từ bê tông tươi nhưng vẫn giữ được xi măng, các hạt mịn khác.
- Một lớp thấm cho phép vận chuyển nước và không khí tới bên ngoài ván khuôn.
- Một kết cấu đỡ để cố định màng lọc và lớp thấm chống lại áp lực bê tông.



Hình 1. Cấu tạo hệ ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm.

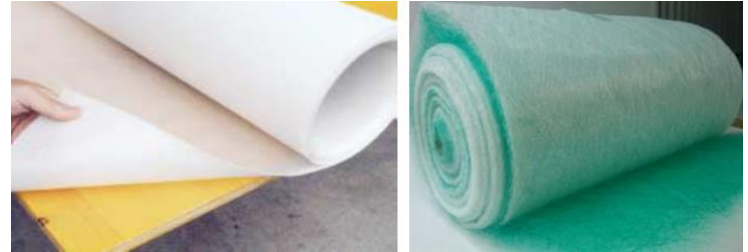
Màng lọc điển hình là một lớp vải không dệt được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, thường bao gồm polypropylen hoặc polyetylen liên kết nhiệt. Mặt trước của lớp vải là các lỗ rỗng có đường kính từ 0,2 – 20 (μm) và mặt sau gồm các lỗ khoảng từ 10 – 250 (μm). Quy trình sản xuất cho phép tạo kích thước lỗ rỗng bằng cách phun bột etylen vinyl clorua hoặc etylen vinyl axetat trên vải, bột này vỡ vụn ra khi dung môi bay hơi, tạo thành các lỗ đồng kích thước. Đôi khi người ta phủ thêm các loại dầu để bay hơi làm giảm thiểu sự kết dính vào bê tông.

Lớp thấm là một lưới polyetylen được sản xuất với các lỗ rỗng đường kính 0,35 mm. Vai trò của lưới là làm tăng độ cứng cho lớp vải lọc, giúp lớp vải không bị nhăn, đồng thời cho phép nước trong bê tông đi qua lưới và chảy xuống phía dưới của ván khuôn. Lưới giúp thoát nước nhanh từ ván khuôn mà không cần tạo các lỗ khoan trên thành kết cấu đỡ sau lớp vải.

Kết cấu đỡ có tác dụng để cố định màng lọc lưới thấm, chế tạo các loại ván khuôn truyền thống không thấm nước, thường sử dụng bằng gỗ hoặc thép.

Các lưới thấm lọc được dán hoặc đập ghim sát vào ván khuôn. Trong cả hai phương pháp, cần lưu ý đảm bảo độ căng của lớp lót để

ngăn không cho vải bị nếp gấp hoặc nhăn. Thông thường vải được kéo giãn từ 3 - 5 mm trên 1m dài. Việc dán lớp lót thường yêu cầu có kỹ thuật định vị nhanh. Tuy nhiên, một số nghiên cứu khuyến cáo rằng, việc sử dụng keo dán ảnh hưởng đến độ đồng nhất của cấu trúc lỗ, do đó ảnh hưởng đến mức độ thoát không khí và nước. Những nguyên liệu sử dụng làm lớp lót thường là những vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ và bị vận xoắn khi nhiệt độ thay đổi. Do đó cần hết sức lưu ý để đảm bảo không có sự thay đổi nhiệt độ lớn hơn ($>10^\circ$) trong thời gian đặt lớp lót và đổ bê tông.



Hình 2. Vải không dệt Controlled Permeability Formwork (CPF).

Bảng 1. Các tính chất của vải hỗ trợ ván khuôn Zemdrain MD.

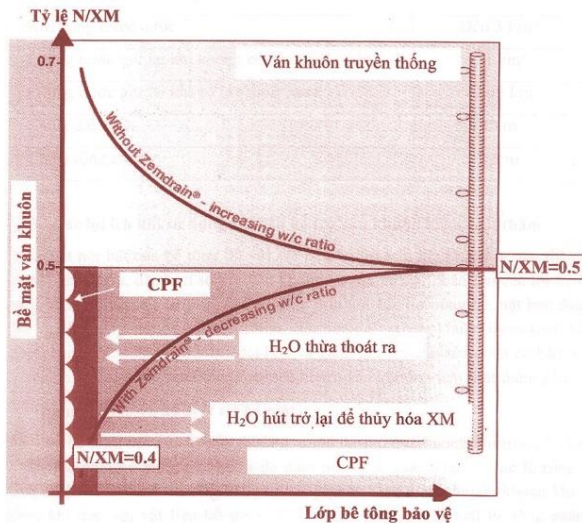
Tính chất	Yêu cầu
Kích thước lỗ rỗng lớp lọc	$< 35 \mu\text{m}$
Chiều dày dưới áp lực 200kPa	$2 \text{ mm} \pm 10 \%$
Biến dạng nén khi tăng áp lực từ 0 đến 200kPa	$< 10 \%$
Cường độ kéo tối đa	$> 19 \text{ kN/m}^2$
Cường độ kéo ứng với độ giãn dài 5%	$> 8 \text{ kN/m}^2$
Kích thước lỗ rỗng của lớp thoát nước	$< 4 \text{ mm}$
Độ thấm khí	$3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$
Khả năng thoát nước	Đến 3 l/s
Lượng nước giữ lại khi không có lớp thoát nước	$1,3 \text{ l/m}^2$
Lượng nước giữ lại khi có lớp thoát nước	$< 0,05 \text{ l/m}^2$
Chiều dài cuộn	35m
Chiều rộng cuộn	2,5m

Các tính chất của một loại vải hỗ trợ ván khuôn sử dụng phổ biến trong xây dựng – Zemdrain MD được trình bày trong Bảng 1.

3.2. Nguyên lý hoạt động của hệ ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm

Như đã trình bày ở trên, ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm bao gồm lớp vật liệu hỗ trợ ván khuôn được gắn sát vào kết cấu đỡ, chính là các loại ván khuôn không thấm nước truyền thống. Nguyên tắc hoạt động của lớp vật liệu hỗ trợ là cung cấp một đường dẫn cho không khí và nước dư thừa thoát khỏi bê tông. Hai mặt của lớp vật liệu hỗ trợ ván khuôn khác nhau và có vai trò riêng biệt.

- Mặt tiếp xúc ván khuôn có vai trò là lớp thoát nước (thấm). Nó đảm bảo cho không khí và nước nhận được từ lớp lọc chảy tới mặt tiếp xúc với ván khuôn và thực hiện nhờ một lớp lưới hoặc một lớp sợi thô.
- Mặt tiếp xúc với bê tông có vai trò là lớp lọc với cấu trúc lỗ rỗng được kiểm soát, giữ lại các hạt xi măng mịn. Lớp này chỉ cho phép dịch chuyển lượng nước dư thừa và không khí. Nước dư thừa dịch chuyển tạo nên một tỉ lệ nước/xi măng tối ưu trong vùng khoảng 20 mm bề mặt. Điều này thúc đẩy quá trình thủy hóa nhanh hơn và thủy hóa hoàn toàn nhờ giảm lỗ rỗng. Kết quả là có sự tập trung cao hơn của các hạt mịn, giảm lỗ rỗng và khuyết tật bề mặt.



Hình 3. Nguyên lý hoạt động của hệ ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm.

4. Kết quả nghiên cứu

Các nghiên đã được phân tích cho thấy, việc kiểm soát thấm ở ván khuôn đã làm tăng độ bền bê tông [4-16]. Gần đây Kothandaraman và các cộng sự [17] đã cho thấy các mẫu bê tông có sử dụng CPF sẽ mang lại cường độ nén cao hơn (2 % đến 5 %) so với bê tông đúc thông thường.

S. Kothandaraman và S. Kandasamy [18] cũng đã có kết quả nghiên cứu:

Chất lượng bề mặt của bê tông rất quan trọng đối với độ bền của kết cấu bê tông cốt thép, bởi vì lớp phủ đứng đầu trong việc bảo vệ cả những hư hỏng cơ học và hư hỏng hóa học. Kết quả cuộc điều tra thử nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của lớp lót CPF đến độ cứng bề mặt và độ mài mòn của bê tông. Các mẫu có kích thước phù hợp được đúc trên lớp lót CPF và ván khuôn thép (không thấm nước) và được thử nghiệm ở nhiều độ tuổi khác nhau. Kết quả cho thấy chất lượng/độ cứng bề mặt của bê tông có sử dụng CPF được tăng cường từ 14 % đến 58 %. Hơn nữa, nghiên cứu đã xác định chắc chắn rằng nhờ lớp lót CPF, lớp bê tông bề mặt dày 20 mm được cho là cứng hơn bê tông lõi. Trong bê tông đúc thông thường, lớp bê tông bề mặt dày 15 mm được cho là

mềm hơn bê tông lõi. Sự thay đổi về chất lượng của lớp bê tông bề mặt này được nhận thấy là nhất quán theo tỷ lệ w/c là 0,31–0,48.

Độ cứng bề mặt của bê tông được cải thiện bằng cách sử dụng lớp lót CPF. Sự cải thiện độ cứng bề mặt được đo bằng độ bật nảy, độ cứng động và độ cứng bề mặt Rockwell lần lượt nằm trong khoảng 21 % đến 47 %, 20 % đến 58 % và 14 % đến 30 %.

Do độ cứng bề mặt được tăng cường, khả năng chống mài mòn của bê tông CPF được cải thiện từ 38 % đến 61 %. Hơn nữa, khả năng chống mài mòn của bê tông CPF tăng lên trong khoảng 14 % đến 22 %.

Các kết quả nghiên cứu khác cũng cho thấy khi đổ bê tông bằng ván khuôn có lớp lót kiểm soát thấm đã mang lại những lợi ích [1] [2]:

- * Giảm lỗ rỗng và khuyết tật bề mặt.

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc sử dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn làm giảm lỗ rỗng trên bề mặt từ 0,59 % đến 1,5 % đối với phương pháp truyền thống xuống còn ít hơn 0,1 % (Hình 4).

- * Tăng độ cứng bề mặt

Sử dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn tạo ra được một tỷ lệ N/X tối ưu trong vùng bề mặt. Sự thủy hóa hoàn toàn xi măng dẫn đến bề mặt có độ cứng và cường độ tăng. Marosszeky và cộng sự (1993) tổng kết rằng cường độ bề mặt tăng khoảng 20 % trong bê tông đúc bằng ván khuôn thấm [3].



Hình 4. Bề mặt bê tông đúc và không đúc với vải hỗ trợ ván khuôn.

- * Giảm mức độ cacbonát hóa

Nhờ lớp lọc giữ lại các hạt mịn trên bề mặt, dẫn đến khối lượng thể tích bê tông tăng và hàm lượng xi măng tăng tới 100 kg/m³ trên khoảng 20 mm bề mặt.

Việc tăng khối lượng thể tích bề mặt bê tông, khi đổ bằng ván khuôn thấm, có thể tạo ra bê tông chịu cacbonát hóa tốt hơn. Có ba hiệu ứng chính làm giảm cacbonát hóa. Bề mặt mịn hơn nhờ ván khuôn thấm làm giảm vùng tiếp xúc với không khí, độ tăng khối lượng thể tích có thể giảm tỷ lệ khuếch tán cacbonát điôxit trong bê tông và hàm lượng xi măng tăng lên trên lớp bề mặt có thể tạo thêm canxi hydroxit để giữ độ kiềm của bề mặt.

- * Giảm mức độ thấm nhập ion clo

Khả năng chống thấm ion clo đặc biệt quan trọng đối với tuổi thọ khai thác của bê tông cốt thép trên toàn thế giới. Ứng suất gây ra do thể tích bê tông tăng làm nứt vỡ bề mặt bê tông. Ăn mòn cốt thép do cacbonát hóa chậm hơn so với ăn mòn do ion clo. Sự phá hoại cốt thép nhanh nhất

xảy ra khi độ pH của bê tông giảm xuống thấp hơn hoặc bằng 9 và nồng độ ion clo trong bê tông cạnh cốt thép là 0,77 kg ion clo/m³.

Tỷ lệ N/X giảm và hàm lượng xi măng tăng trên bề mặt cộng quá trình bảo dưỡng tốt hơn so với lớp bê tông bề mặt có độ rỗng và độ thấm nhỏ. Do đó, khả năng chịu lực các tác nhân có hại từ nước như ion clo cũng tăng lên. Mức độ thấm ion clo trong mẫu bê tông đúc bằng ván khuôn thấm nhỏ hơn 67 % (thường nhỏ hơn 60 %) so với bê tông đổ bằng ván khuôn thường có thể làm việc trong môi trường giàu ion clo.

* Giảm sự phát triển của các vi sinh vật

Bề mặt không khuyết tật, không bị nhiễm bẩn với độ cứng và khả năng chống cacbonat hóa tăng tạo ra một môi trường đặc biệt chống sự phát triển của các vi sinh vật. Tương tự, tạo được chứng minh là phát triển chậm và dễ dàng loại bỏ hơn khi sử dụng bê tông đúc bằng ván khuôn kiểm soát thấm.

* Giảm sự tấn công của axit và các chất hóa học

Việc sử dụng lớp lót hỗ trợ ván khuôn làm tăng hàm lượng xi măng trên bề mặt lên tới 100 kg/m³ và giảm cường độ rỗng trên bề mặt vào khoảng 30 %. Kết quả là tạo ra bề mặt có khả năng chịu axit và các chất hóa học cao hơn nhiều so với các loại bê tông đúc với ván khuôn truyền thống.

* Giảm mức độ bảo dưỡng

Lớp vật liệu hỗ trợ ván khuôn giữ lại một phần nước trong kết cấu và ứng xử như một lớp dưỡng hộ cho đến khi tháo bỏ ván khuôn. Sau khi ván khuôn thấm được gỡ bỏ, các yêu cầu về bảo dưỡng tương tự như bê tông đổ với ván khuôn thường. Tuy nhiên độ rỗng thấp của lớp bê tông bề mặt làm giảm quá trình mất nước và bê tông đổ với lớp thấm nước bị ảnh hưởng ít hơn khi các quá trình bảo dưỡng không tốt.

* Lợi về kinh tế

Việc sử dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn có thể làm tăng chi phí đầu tư xây dựng ban đầu. Tuy nhiên, việc sử dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn cũng thu được nhiều lợi ích.

Thứ nhất, những lợi ích trong giai đoạn đầu tư xây dựng ban đầu, bao gồm:

- Không cần tăng 10 MPa mác bê tông khi yêu cầu về độ bền được tính đến, hoặc tương tự tiết kiệm được 100 kg xi măng/m³ bê tông;
- Loại bỏ được chi phí sử dụng các hợp chất tháo ván khuôn;
- Giảm thiểu được chi phí dưỡng hộ bê tông;
- Cắt giảm được chi phí hoàn thiện bề mặt sau khi tháo ván khuôn;
- Có thể tăng số lần luân chuyển ván khuôn chuyển thống do có thể sử dụng ván khuôn có

yêu cầu về chất lượng thấp hơn.

Thứ hai, về lâu dài trong quá trình khai thác công trình, những lợi ích sau cần được tính đến:

- Tăng được độ bền cho công trình hay đồng nghĩa với việc tăng việc tuổi thọ cho công trình;
- Giảm thiểu được chi phí sửa chữa, duy tu bảo dưỡng công trình.

Vì vậy, nếu tính toán một cách chi tiết các loại chi phí thì việc sử dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn có lợi ích kinh tế hơn là chi phí đầu tư ban đầu.

5. Kết luận

Sự hấp thụ nước của bê tông có thể được hạn chế bằng cách sử dụng CPF. Nó có thể được giải thích bằng một số khía cạnh, bao gồm các khuyết tật có thể nhìn thấy đã biến mất, tỷ lệ w/c của lớp phủ giảm, lỗ trung bình trên bề mặt bê tông giảm và cấu trúc lỗ rỗng được cải thiện.

Bề mặt bê tông được tạo ra từ CPF không có lỗ thủng, không có khuyết điểm và các lỗ rỗng lớn trên bề mặt bê tông biến mất. Ván khuôn thấm nước và hút nước đã được nghiên cứu, thử nghiệm, sử dụng từ đầu thế kỷ trước, tuy nhiên ván khuôn hút nước có tác dụng hơn, được tiếp tục nghiên cứu phát triển.

Loại vải không dệt hỗ trợ ván khuôn kiểm soát thấm đáp ứng được yêu cầu cần thiết của một vật liệu hỗ trợ ván khuôn không thấm nước nâng cao chất lượng bê tông cho các công trình bê tông, bê tông cốt thép nói chung và công trình nhà cao tầng nói riêng.

Một số nghiên cứu trên thế giới về việc áp dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn đã chứng minh được lợi ích của việc sử dụng ván khuôn này trong xây dựng. Tuy nhiên vật liệu này vẫn chưa được áp dụng nhiều ở Việt Nam.

6. Tài liệu tham khảo

- [1]. Đặng Thùy Chi (2010), Nghiên cứu ứng dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn nhằm nâng cao chất lượng lớp bê tông bảo vệ kết cấu bê tông cốt thép, Đề tài Khoa học công nghệ cấp Bộ.
- [2]. Đào Văn Đông (2010). Nghiên cứu ứng dụng vật liệu hỗ trợ ván khuôn để nâng cao độ bền của bê tông trong điều kiện Việt Nam, Tạp chí Cầu Đường Việt Nam, trang 19-24, Số 04.
- [3]. Marosszeki, M., Chew, M., Arioka, M. and Peck, P (1993), Textile method to improve concrete durability, concrete International, November, pp. 37-42.
- [4]. E. Nolan et al (1995). Effects of three durability enhancing products on some physical properties of near surface concrete. Constr. Build. Mater.
- [5]. R. Brueckner et al (2012). Rate of the thaumasite form of sulphate attack under laboratory conditions. Cement& Concr. Compos.
- [6]. Jiaping Liu et al (2013). Effect and mechanism of controlled permeable formwork on concrete water adsorption. Constr. Build. Mater.
- [7]. Cuicui Chen et al (2012). Effect of controlled permeability formwork on the improvement of concrete performance. Procedia Eng.
- [8]. H. Figueiras et al (2009). Combined effect of two sustainable technologies: self compacting concrete and controlled permeability formwork. Constr. Build. Mater.
- [9]. P.J. Schubel et al (2008). An Investigation into the critical factors affecting the performance of composite controlled permeability formwork liners. Constr. Build. Mater.
- [10]. M.J. McCarthy et al (2002). In-situ performance of CPF concrete in a coastal environment Cem. Concr. Res.
- [11]. A.K. Suryavanshi et al (1997). An evaluation of controlled permeability formwork for long- term durability of structural concrete elements. Cem. Concr. Res.
- [12]. Metin Arslan (2001). The effects of permeable formworks with sucker liners on the physical properties of concrete surfaces. Constr. Build. Mater.
- [13]. P.J. Schubel et al (2008). Evaluation of concrete mixes and mineral additions when used with controlled permeability formwork. Constr. Build. Mater.

- [14]. A. Meyer (1987). The importance of the surface layer for the durability of concrete structures. *ACI*.
- [15]. Ajdukiewicz Andrzej (2006). On durability aspects of concrete members formed against permeable formwork. *Found. Civ. Environ. Eng.*
- [16]. P. McKenna et al (2008). The Role of Controlled Permeability Formwork in Life Cycle Design, *Tailor Made Concrete Structure*.
- [17]. S. Kothandaraman et al (2016). Studies on the effect of controlled permeable formwork liner on the properties of self compacting concrete. *Constr. Build. Mater.*
- [18]. S. Kothandaraman and S. Kandasamy (2017). The effect of controlled permeable formwork (CPF) liner on the surface quality of concretes. *Cement and Concrete Composites*