

QUY TRÌNH THI CÔNG CẤU KIỆN BÊ TÔNG NHẹ CHỐNG CHÁY ĐÚC SẴN BẢO VỆ CHO CỘT, DẦM SÀN BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐỔ TOÀN KHỐI

Chu Thị Hải Ninh^{a,*}, Nguyễn Đình Thám^b

^aKhoa Doanh trại, Học viện Hậu cần, phường Ngọc Thụy, quận Long Biên, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14/10/2020, Sửa xong 28/10/2020, Chấp nhận đăng 29/10/2020

Tóm tắt

Trong bài báo này, quy trình thi công cấu kiện bê tông nhẹ chống cháy (BNCC) đúc sẵn bảo vệ cho cột, dầm, sàn bê tông cốt thép đổ toàn khối đã được đề xuất. Trong đó, cấu kiện BNCC gồm các tấm và khối viên xây được sử dụng để bọc chống cháy (CC) cho các cấu kiện chịu lực của công trình. BNCC là loại bê tông khí không chưng áp được chế tạo từ nguồn nguyên vật liệu chính sẵn có ở Việt Nam gồm xi măng pooc lăng hỗn hợp và phế thải tro bay nhiệt điện có các ưu điểm sau: khối lượng thể tích (KLTT) nhỏ ($\leq 800 \text{ kg/m}^3$), cường độ nén $R_n > 2,4 \text{ MPa}$, độ dẫn nhiệt thấp, khả năng làm việc ở nhiệt độ cao đến 1000°C , thời gian chống cháy cao (chỉ với 5 cm BNCC, đạt EI 140 phút; 7 cm BNCC đạt trên EI 190 phút; 10 cm BNCC đạt EI 220 phút); độ hút nước $\leq (20 \div 25)\%$; độ bền nhiệt ≥ 5 lần. Việc sử dụng vật liệu BNCC có thể đem lại hiệu quả kinh tế và khả năng CC cho công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp.

Từ khoá: bê tông nhẹ chống cháy; đúc sẵn; quy trình thi công; bê tông cốt thép; tro bay nhiệt điện; xi măng pooc lăng hỗn hợp.

THE PROCESS OF CONSTRUCTION FOR PREFABRICATED INSULATED-FIREPROOF LIGHTWEIGHT CONCRETE COMPONENTS TO PROTECT REINFORCED CONCRETE COLUMN, BEAM AND FLOOR IN PLACE

Abstract

In this paper, a process of construction for prefabricated insulated-fireproof lightweight concrete (IFLC) components for column, beam and floor in reinforced concrete structures (concrete poured in place) was proposed, in which IFLC components include sheets and blocks used as fireproof covers for structural members of buildings. IFLC belongs to non-autoclaved aerated concrete which is produced from the main materials available in Vietnam including the mixed portland cement and waste additive of fly ash with the following advantages: small volume density ($\leq 800 \text{ kg/m}^3$), compressive strength $R_n > 2.4 \text{ MPa}$, low thermal conductivity and working capability at high temperatures up to 1000°C , high fire resistance ($EI = 140 \text{ min}$, 190 min and 220 min , respectively for 5 cm, 7 cm and 10 cm IFLC), water absorption $\leq (20 \div 25)\%$ and high thermal shock resistance ≥ 5 of quench cycles. The use of IFLC as a fireproof material can provide an economic and effective fire-resistant solution for civil and industrial buildings.

Keywords: insulated-fireproof lightweight concrete; prefabricated; process of construction; reinforced concrete; fly ash; mixed Portland cement.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(5V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(5V)-11) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: chuthihaininh@gmail.com (Ninh, C. T. H.)

1. Giới thiệu

Bê tông cốt thép (BTCT) được sử dụng rất phổ biến trong các công trình xây dựng (CTXD) dân dụng cả ở Việt Nam và trên thế giới. Tuy nhiên vấn đề sử dụng vật liệu chống cháy (VLCC) để bảo vệ CC cho chúng ít được quan tâm nên nhiều vụ cháy xảy ra để lại hậu quả nghiêm trọng về người, tài sản, điển hình như: cháy chợ Đồng Xuân ngày 14/7/1994 và cháy chợ phố Hiến - Hưng Yên ngày 19/3/2014, sau đám cháy phải phá bỏ hoàn toàn và xây mới lại công trình. Khi gặp nhiệt độ cao trong thời gian đủ dài, vật liệu bê tông (BT) và thép xây dựng thường bị biến đổi các tính chất cơ lý dẫn đến có thể bị phá hoại hoàn toàn CTXD. Nguyên nhân phá hủy của BT là do sự phân hủy thành phần đá xi măng cũng như sự phân hủy thành phần hỗn hợp chất kết dính và cốt liệu thường dùng trong BT. Khi đốt nóng BT thường đến 200 °C lâu dài thì cường độ nén giảm 10÷15%, môđun đàn hồi giảm 25%; đến 500 °C thì cường độ nén giảm 60÷70%, môđun đàn hồi giảm 90% [1]. Còn thép là vật liệu (VL) không cháy nhưng không có khả năng chịu nhiệt độ cao. Ở 150 °C, cường độ và môđun đàn hồi của thép giảm, rất khó xác định khả năng chịu lực. Tới 500÷600 °C, thép chuyển sang trạng thái dẻo, mất khả năng chịu lực, kết cấu bị sụp đổ dễ dàng [2, 3]. Một số nghiên cứu về ứng xử của cột, dầm làm bằng kết cấu thép (KCT), BTCT hay kết cấu liên hợp thép - BT khi thử cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 hay ASTM E119 hay chế độ cháy tự nhiên hay phân tích cháy bằng phần mềm mô phỏng cùng cho kết quả: trong phạm vi trên dưới 1 giờ, các cấu kiện dầm, cột đều suy giảm cường độ, môđun đàn hồi và để lại biến dạng lớn dẫn đến bị phá hủy hoàn toàn hoặc không thể sử dụng bình thường được nữa [4–9].

Hỏa hoạn đã gây tổn thất đáng kể cho các tòa nhà và gây thiệt hại không nhỏ ở các nước phát triển. An toàn cháy của hệ kết cấu chịu lực trong CTXD được đánh giá dựa trên khả năng CC của các cấu kiện chịu lực riêng lẻ: cột, dầm, tường và tấm. Do đó, việc nghiên cứu chế tạo và sử dụng VL mới BNCC nhằm làm lớp VL bao che, bảo vệ CC cho các cấu kiện chịu lực hoặc dùng xây tường ngăn phòng (trở thành vách ngăn cháy) cho CTXD giúp công trình tăng khả năng chịu nhiệt - an toàn CC, tăng khả năng cách nhiệt, cách âm, tiết kiệm năng lượng là rất cần thiết. Đồng thời, BNCC là VL không nung, nhẹ, chế tạo từ nguồn phế thải tro bay nhiệt điện khi được chế tạo thành VL xây dựng là phù hợp với xu hướng xây dựng xanh và phát triển bền vững, thân thiện với môi trường.

Mặt khác, VL xây dựng ảnh hưởng trực tiếp đến công nghệ thi công, một VL mới ra đời đòi hỏi một công nghệ thi công mới và ngược lại. Công nghệ thi công là một tập hợp các kỹ thuật thi công được liên kết lại theo một trình tự nhất định để tạo ra một sản phẩm xây dựng hoàn chỉnh. Công nghệ thi công là một phần không thể thiếu của quá trình xây dựng, góp phần quan trọng biến công trình trong dự án trở thành công trình thật.

2. Cơ sở lý luận và thực tiễn

2.1. Tình hình nghiên cứu, chế tạo, sử dụng VLCC trên thế giới

a. Tình hình nghiên cứu

Lịch sử ghi nhận các vụ cháy lớn có từ rất sớm. Thành phố Roma, Italya bị cháy vào năm 64 trước công nguyên, sau đó Hoàng đế Nero đã quy định sử dụng VLCC xây các bức tường trong việc xây dựng lại thành phố. Năm 1666, cháy lớn ở thành phố London – Anh, phá hủy hơn 80% thành phố. Sau đó, London đã thông qua quy định xây dựng đầu tiên đòi hỏi nhà được xây bằng đá, gạch nhằm CC. Thế kỷ 18 ở Anh và đầu thế kỷ 19 ở Mỹ, các loại vật liệu xây dựng dễ cháy đã được thay thế bằng BT và BTCT [10]. Ở một số nước như Nga, Mỹ, Nhật và Châu Âu vấn đề nghiên cứu, sử dụng VLCC để đảm bảo an toàn cho người, cho CTXD khi có cháy đã được đặt ra từ lâu và thường xuyên được

nghiên cứu điều chỉnh theo sự phát triển của xã hội và được đưa vào tiêu chuẩn. Cấu kiện CC, ở một số quốc gia, cần đạt các tiêu chuẩn CC như: quốc tế [11]; Anh [12, 13]; Mỹ [14]; Australia: [15];...

b. Tình hình chế tạo, sử dụng VLCC

VLCC được sử dụng chủ yếu trong các CTXD của ngành dầu khí như giàn khoan, nhà máy lọc dầu, ... và các tòa nhà KCT. Đặc biệt sau sự kiện tấn công khủng bố 11/9/2001 ở Mỹ (làm cháy và sụp đổ Tòa tháp đôi của Trung tâm thương mại thế giới) thì yêu cầu sử dụng hệ CC thụ động cho CTXD càng được đặc biệt quan tâm. VLCC hiện nay chủ yếu gồm: (1) Bông chống cháy (bông gốm hoặc bông thủy tinh) được chế tạo thành tấm ép, cuộn hoặc dạng rời, khả năng CC tốt nhưng bông thủy tinh dễ gây kích ứng da và khi hết tuổi thọ, phân hủy ảnh hưởng đến sức khỏe của con người, còn bông gốm có cường độ cơ học rất nhỏ, bền xỉ kém nên không thể dùng khi phải làm việc dưới tải trọng cao, tiếp xúc với pha nóng chảy, tác nhân ăn mòn; (2) Tấm CC chuyên dụng (tấm đặc thạch cao, tấm silicat, tấm ép sợi khoáng với nhựa hoặc thạch cao, ...), đẹp và giá không cao nhưng nếu không có cách cấu tạo đúng thì không tạo thành một hệ thống có khả năng CC theo yêu cầu, đặc biệt tấm thạch cao chịu nước và tác động của va đập kém; (3) Vữa CC, khả năng CC tốt nhưng bề mặt sau khi hoàn thành xù xì, nhám nên xấu; (4) Các loại sơn CC (thường là sơn trương phồng, intumescent paint, sơn phồng lên tăng chiều dày gấp 15÷30 lần ban đầu khi nhiệt độ bắt đầu đạt khoảng 200 °C đến 300 °C và trở thành lớp cách nhiệt), đẹp, khả năng bảo vệ các chi tiết tốt nhưng giá thành cao và thi công phức tạp [10, 16–18].

2.2. Tình hình nghiên cứu, chế tạo, sử dụng VLCC ở Việt Nam

a. Tình hình nghiên cứu

Những năm gần đây đã có một số nghiên cứu về VLCC tuy còn ít, chủ yếu gồm: (1) Nghiên cứu chế tạo các tấm CC kích thước 400 × 400 × (4÷9) mm, là VL chưng áp, làm việc đến 900 °C, có KLTT = 1450 kg/m³, độ hút nước 23%, thời gian CC từ E60, $R_n = 16,3$ MPa [19]; (2) Xây dựng quy trình công nghệ chế tạo vữa cách nhiệt CC, với 3 sản phẩm vữa, nhiệt độ làm việc 1000 °C gồm vữa Cemgun 250, vữa Vermicrete 750, vữa Peclit 750 [10]; (3) Nghiên cứu sản xuất VL cách nhiệt hệ CaO-SiO₂ trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao, sản phẩm dạng tấm 600 × 300 × (60;100) mm, 1200 × 300 × 60 mm, làm việc ở nhiệt độ tới 1000 °C, được chưng áp ở nhiệt độ 200 °C, áp suất 13 at. Sản phẩm có KLTT = 0,3 tấn/m³, $R_n = 1,6$ MPa, độ dẫn nhiệt 0,058W/(m.°C) [20]; (4) Các tiêu chuẩn, quy chuẩn của Việt Nam liên quan đến an toàn cháy gồm: QCVN 06:2010 [21]; QCVN 03:2012 [22]; TCVN 2622:1995 [23]; Các tiêu chuẩn từ TCXDVN 342:2005 (tương đương với ISO 1182-2002) [11, 24] đến TCXDVN 348:2005 (tương đương với ISO 834-8:2002) [25, 26] hiện nay được thay thế bằng TCVN 9311:2012 [27].

Khi thiết kế CTXD đảm bảo điều kiện an toàn cháy theo TCVN thực hiện như sau: Bước 1, xác định “bậc chịu lửa yêu cầu” của công trình. Bậc chịu lửa là đặc trưng chịu lửa của nhà và công trình theo tiêu chuẩn được xác định bằng giới hạn chịu lửa (GHCL) của các cấu kiện xây dựng chính. Bước 2, dựa vào “bậc chịu lửa yêu cầu” tra được “GHCL yêu cầu” của các cấu kiện xây dựng, theo [21–23]. Như vậy, CTXD đạt yêu cầu CC khi mọi cấu kiện xây dựng có GHCL thí nghiệm theo [27] ≥ “GHCL yêu cầu”.

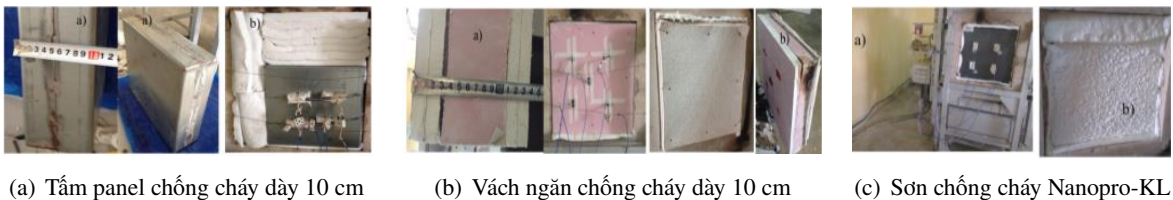
Dựa vào niên hạn sử dụng công trình, dạng nhà, chức năng, diện tích và chiều cao chia công trình thành 5 bậc chịu lửa là I, II, III, IV và V. Bậc chịu lửa càng nhỏ thì GHCL yêu cầu của cấu kiện xây dựng càng cao, bậc I là cao nhất, với GHCL yêu cầu của cấu kiện chịu lực là R150, của tường ngăn cháy là REI150; trong đó kí hiệu R là khả năng chịu lực, E là tính toàn vẹn và I là khả năng cách nhiệt. Ví dụ REI150 có nghĩa là cấu kiện cần duy trì được đồng thời cả 3 yêu cầu về khả năng chịu lực, tính

toàn vẹn và cách nhiệt trong khoảng thời gian chịu tác động của lửa tối đa là 150 phút theo chế độ nhiệt tiêu chuẩn [21].

Với công trình BTCT, để đảm bảo yêu cầu CC cho các cấu kiện chịu lực phải đảm bảo các quy định cấu tạo về chiều dày nhỏ nhất của lớp BT bảo vệ cốt thép tương ứng với loại BT sử dụng lấy theo bảng Phụ lục F trong QCVN 06:2010 [21]. Ví dụ: dầm BTCT có chiều rộng tiết diện 280 mm, được làm bằng BT cốt liệu gốc silic, yêu cầu chiều dày lớp BT bảo vệ cốt thép chịu lực là 65 mm thì dầm sẽ đạt GHCL là R240. Như vậy, nếu tuân thủ đúng yêu cầu cấu tạo và VL sử dụng đúng thì cấu kiện BTCT sẽ đảm bảo an toàn cháy trong thời gian quy định của quy chuẩn nhưng không đảm bảo sau cháy các cấu kiện bảo toàn khả năng chịu lực. Chính vì thế nên nhiều CTXD bằng BTCT mặc dù thiết kế đảm bảo các yêu cầu cấu tạo nhưng khi hỏa hoạn xảy ra đã để lại nhiều hậu quả đáng tiếc về tài sản vì công trình bị suy giảm khả năng chịu lực đến mức phải phá bỏ hoàn toàn và xây mới lại. Với CTXD quy mô lớn, việc phá đi và xây lại gây ảnh hưởng nhiều đến môi trường xung quanh, gây thiệt hại lớn về kinh tế. Nếu CTXD đó được bọc thêm 1 lớp VLCC để sau cháy bảo toàn khả năng chịu lực cho hệ kết cấu công trình thì sẽ giảm tổn thất kinh tế rất đáng kể, thân thiện với môi trường đồng thời kéo dài thời gian thoát hiểm cho người, tăng thời gian chữa cháy. Với công trình KCT, Phụ lục F của QCVN 06:2010 [21] yêu cầu các cấu kiện chịu lực phải được bọc bảo vệ CC bằng VLCC.

b. Tình hình chế tạo, sử dụng VLCC

Ở nước ta, các công trình công nghiệp dầu khí như nhà máy lọc dầu, khu chế xuất, các giàn khoan dầu khí được đầu tư mạnh, được thiết kế sử dụng hệ VL và giải pháp CC của các hãng nước ngoài như Mandoval, Carbolite, Cafco International, ... Sau một chu kỳ sử dụng cần phải được duy tu, sửa chữa thay thế. Công trình nhà máy lọc dầu Dung Quất đã sử dụng một khối lượng khá lớn vừa cách nhiệt CC. Một số CTXD dân dụng đã sử dụng các sản phẩm VLCC tuy nhiên phần lớn VL và công nghệ được nhập khẩu từ nước ngoài. Hình 1 là một số mẫu thử CC, thử theo TCVN 9311-1:2012 [28], trường hợp mẫu thử không chịu tải, của một số loại VLCC trên thị trường Việt Nam. Trong đó, Hình 1(a) là mẫu thử năm 2016, gồm khung panel làm bằng thép U100×30×2t, mạ kẽm. Mặt ngoài Panel làm bằng thép dày 0,75 mm. Bên trong lõi là lớp ezon và bông khoáng dạng tấm, cuộn dày 50 mm, tỷ trọng 120 kg/m³. Tấm panel có kích thước: 2400 × 700 mm; 800 × 350 mm; 600 × 350 mm; 1200 × 400 mm. Mẫu đạt GHCL là EI150. Công trình sử dụng là nhà ở cao tầng N02-T1, khu Đoàn Ngoại Giao, Xuân Tảo, Bắc Từ Liêm, Hà Nội. Hình 1(b) là mẫu thử năm 2016. Mẫu bọc thạch cao chống cháy Boral FireBloc 2 × 15 mm, giữa nhồi bông thủy tinh tỷ trọng 32 kg/m³ dày 50 mm, đạt GHCL là EI120. Công trình sử dụng là nhà ở chung cư cao tầng khối A1 lô CT2, đô thị Linh Đàm, Hoàng Mai, Hà Nội. Hình 1(c) là mẫu thử của sơn CC Nanopro-KL (sơn KOVA), năm 2016. Mẫu gồm thép tấm CT3 kích thước 480 × 480 × 5 mm được sơn lớp lót KG-01 dày 30-35 μm (hay 45-50 μm) và sơn CC 1 lớp dày 910-940 μm (hay 1070-1090 μm). Tổng độ dày là 940-975 μm (hay 1070-1090 μm). Mẫu đạt GHCL là EI90 (hay EI150).



Hình 1. Một số mẫu thử chống cháy của VLCC trên thị trường

2.3. Các phương pháp thi công VLCC hiện nay

a. Phương pháp sơn, phun phủ

Áp dụng cho vật liệu dạng lỏng như sơn CC, vữa CC, thường dùng cho công trình KCT. Phương pháp thi công: (1) Sơn CC, có 3 phương pháp chính là quét, lăn, phun. Ưu điểm là đẹp, trọng lượng nhẹ. Nhược điểm là chi phí cao, thi công rất phức tạp, dễ gây hư hỏng nếu sai quy trình, do hệ sơn này đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cao trong thi công, mặt khác, thực hiện rất nhiều lớp sơn nên dễ xảy ra sự cố, thời gian CC càng cao thì lớp sơn càng dày, phải sơn rất nhiều lớp. (2) Vữa CC, thi công chủ yếu theo phương pháp phun. Chiều dày tối thiểu là 50 mm, có thể thi công một hay nhiều lớp. Thời gian đóng rắn từ 5÷15 phút ở 20 °C và độ ẩm 70%. Ưu điểm là tạo nên một lớp phủ rắn như đá, có khả năng chịu được sự tác động nhiệt của các đám cháy nhiên liệu có cường độ cao (Hydrocarbon Fire), đặc biệt là dạng lửa phun. Nhược điểm là bề mặt kết cấu xù xì, không thẩm mỹ. Vật liệu không bị thoái hoá sinh học, không gây tích tụ sinh học, không độc đối với sinh vật dưới nước, tuy nhiên không được thả vào đường xả hoặc các nguồn nước.

b. Phương pháp xây

Áp dụng cho vật liệu ở dạng viên, khối. Công trình sử dụng dạng tường ngăn, tường cách nhiệt, tường CC trong các CTXD dân dụng, trong lò cao, kho tàng. Phương pháp thi công: dùng vữa chịu nhiệt hoặc vữa chịu lửa xây theo chỉ dẫn kỹ thuật của nhà sản xuất tương ứng với từng loại vật liệu.

c. Phương pháp ốp, lát

Áp dụng cho vật liệu ở dạng tấm, mảng (tương tự gạch ốp lát) bảo vệ cho kết cấu chịu lực tự đứng được (tường, cột, ...). Phương pháp thi công: ốp bằng vữa chịu lửa - chịu nhiệt - chống cháy tự liên kết hoặc ốp bằng liên kết phụ gồm vít, chốt, đinh chịu nhiệt.

d. Phương pháp thi công lắp ghép

Áp dụng cho các tấm kích thước lớn. Phương pháp thi công: các tấm chế tạo sẵn theo kích thước phù hợp với bề mặt hình thù cấu kiện cần bảo vệ và đảm bảo độ bền khi vận chuyển, cẩu lắp, có các liên kết thiết kế sẵn (bulông, chốt, vít chịu nhiệt) đi kèm. Ưu điểm: tính thẩm mỹ cao, bề mặt bao che sạch sẽ, vuông vắn, quá trình thi công các hoạt động khác vẫn diễn ra bình thường. Đặc biệt, giải pháp này có thể áp dụng trên cấu kiện không sơn.

e. Phương pháp quấn bọc

Áp dụng cho vật liệu ở dạng sợi, bông, bảo vệ cho cấu kiện dạng ống (ví dụ ống dẫn nhiệt, ống khói), trụ tròn, các khe nhiệt, ... Phương pháp thi công: vật liệu chế tạo dưới dạng cuộn sợi hay cuộn tấm, khi thi công sẽ được quấn bọc kín bề mặt cấu kiện, bên ngoài cùng có lớp vải chịu nhiệt, CC.

f. Phương pháp đổ tại chỗ

Áp dụng cho vật liệu dạng vữa bê tông, để bảo vệ CC cho cấu kiện dạng phẳng như nền, mái công trình. Phương pháp thi công: vật liệu được chế tạo (đảm bảo các yêu cầu tính chất đã xác định) tại hiện trường hay cơ sở chuyên dùng sẽ được đưa đến hiện trường, đổ, láng phủ kín lên bề mặt cấu kiện cần bảo vệ. Bề mặt cấu kiện đã được chuẩn bị sẵn đảm bảo yêu cầu bám dính. Sau khi thi công xong đạt các thông số thiết kế sẽ hoàn thiện bề mặt và tiến hành bảo dưỡng theo yêu cầu của loại vật liệu sử dụng.

2.4. Giới thiệu về vật liệu và cấu kiện bê tông nhẹ chống cháy BNCC

BNCC là loại BT khí không chưng áp, chế tạo từ nguồn phế thải tro bay nhiệt điện, có khả năng làm việc ở nhiệt độ cao đến 1000 °C và khả năng CC cao. BNCC có thể thi công đổ tại chỗ hoặc lắp ghép. Khi lắp ghép, cấu kiện BNCC được chế tạo trước trong nhà máy theo công nghệ sản xuất BT khí không chưng áp. KLTT của cấu kiện BNCC nhỏ ($\leq 800\text{kg/m}^3$) [29–31]. Phương pháp thử GHCL cho cấu kiện BNCC thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 9311-1:2012 [28] với kích thước mẫu thử là 480 × 480 mm: mẫu được cố định vào miệng lò thử nghiệm CC, một mặt mẫu được đốt nóng theo chế độ nhiệt tiêu chuẩn và mặt còn lại không đốt nóng được đặt các đầu đo nhiệt. Mẫu thử bị coi là mất khả năng chịu lửa khi xuất hiện các dấu hiệu sau: (1) Mất khả năng chịu lực (R): với mẫu thử không chịu tải, không cần xét trạng thái này, mẫu chỉ chịu tải trọng bản thân và áp lực gây bởi nguồn nhiệt, không chịu tải trọng khác. Trường hợp này, khi 2 tiêu chí E và I thỏa mãn cũng đồng nghĩa với tiêu chí R thỏa mãn; (2) Mất tính toàn vẹn (E). (3) Mất khả năng cách nhiệt (I).

Cơ sở đề xuất kích thước cấu kiện BNCC đúc sẵn dựa trên: (1) Tiêu chuẩn [32, 33], tức là: (chiều dài × chiều rộng × chiều cao) của khối viên xây và cấu kiện dạng tấm lợp không vượt quá (600×300×200) mm và (1500×600×200) mm; (2) Giá trị độ co dãn của mẫu BNCC khi thử CC. Nên sử dụng các cấu kiện BNCC có chiều dài và chiều rộng ≤ 500 mm để độ co dãn khi gặp cháy < 10 mm, đã được chứng minh là hiệu quả qua thí nghiệm thử cháy [31]. Nếu sử dụng các kích thước lớn hơn cần có biện pháp cấu tạo để khắc phục hiện tượng co ngót này; (3) Kết quả thử CC theo tiêu chuẩn [28], trường hợp mẫu thử không chịu tải: Tấm BNCC dày 5 cm là EI140 (tại phút thứ 140, nhiệt độ mặt không đốt nóng của tấm trung bình đạt 143,3 °C). Tấm dày 7 cm là trên EI190 (tại phút thứ 190, nhiệt độ mặt không đốt nóng của tấm trung bình đạt 77,25 °C). Tường xây từ khối BNCC dày 10 cm là EI220 (tại phút thứ 220, nhiệt độ mặt không đốt nóng của tường trung bình đạt 153,1 °C). Như vậy, tùy thuộc vào vị trí cấu kiện chịu lực cần bảo vệ CC, bậc chịu lửa của công trình cần bảo vệ CC quy định trong QCVN 06:2010 [21], mong muốn mức độ thời gian bảo vệ CC của chủ đầu tư, ... để quyết định chọn chiều dày lớp BNCC.

Cơ sở đề xuất công nghệ thi công BNCC dựa vào: Đặc tính của vật liệu BNCC; Cấu kiện BNCC đúc sẵn và các phụ kiện làm từ thép chịu nhiệt (gồm: bulông, thép đỡ, thép móc, râu thép, thép góc). Việc chọn thép chịu nhiệt phụ thuộc vào vị trí chịu nhiệt của phụ kiện và vào tải trọng phải chịu; Máy móc, thiết bị, dụng cụ tận dụng tối đa máy móc có sẵn, chế tạo những máy móc thiết bị đặc thù; Phương pháp vận chuyển, cấu lắp được tận dụng các phương pháp hiện có trong thi công; Chỉ dẫn kỹ thuật thi công dựa trên đặc tính kỹ thuật của quá trình chế tạo BNCC, điều kiện làm việc của BNCC để đề xuất; Quy trình kiểm tra và nghiệm thu sản phẩm thi công được đề xuất vì BNCC là vật liệu mới. Như vậy, nhóm tác giả sẽ sử dụng kết quả nghiên cứu chế tạo vật liệu BNCC đã có để đề xuất công nghệ thi công cấu kiện BNCC cho CTXD với phương châm: “kế thừa và làm mới”. “Kế thừa” các công nghệ thi công hiện có trên từng mặt mà tương đồng với công nghệ thi công BNCC (ví dụ: kế thừa máy móc, thiết bị, một số tiêu chuẩn nghiệm thu đánh giá, ...). “Làm mới” những phần không thể “kế thừa” do đặc điểm khác biệt của vật liệu BNCC mang lại mà hiện chưa có nghiên cứu nào công bố và chưa có công trình nào thực hiện. Với các nội dung mang tính “kế thừa”, tác giả chỉ liệt kê để đề xuất sử dụng, không trình bày lại. Với các nội dung “làm mới” sẽ được trình bày chi tiết.

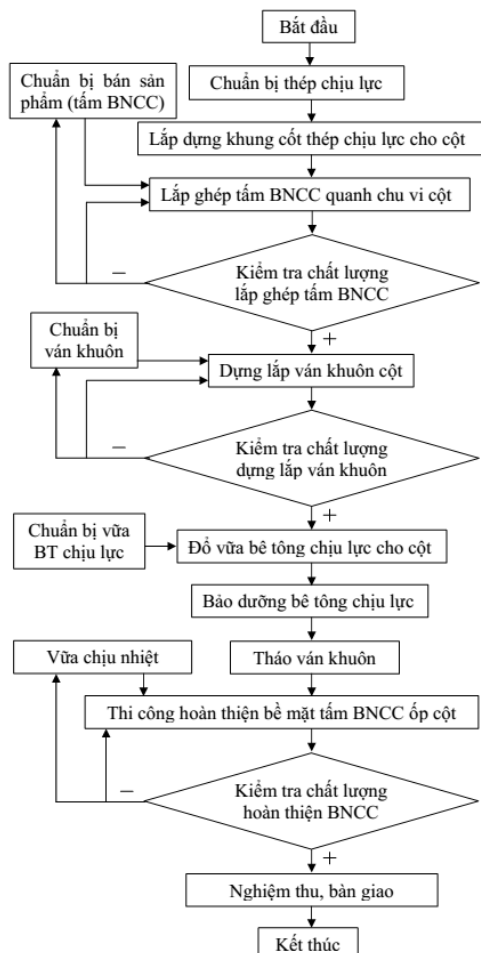
Quy trình thi công lắp ghép cấu kiện BNCC bảo vệ CC cho cột thép chữ H và dầm thép chữ I đã được đề xuất [34]. Trong bài này, tiếp tục đề xuất bổ sung quy trình thi công cấu kiện BNCC đúc sẵn bảo vệ cho cột, dầm, sàn BTCT đổ toàn khối. Các cấu kiện BNCC được chế tạo trước trong nhà máy hoặc tại công trường gồm các tấm và khối viên xây. Mục tiêu hướng tới là dùng cho các CTXD quan trọng và đặc biệt quan trọng, quy mô lớn, tập trung đông người, vốn đầu tư xây dựng cơ bản lớn, để: nếu không may xảy ra cháy thì sau cháy, hệ kết cấu chịu lực của CTXD vẫn được bảo toàn về khả

năng chịu lực và hư hỏng nếu có chỉ xảy ra ở lớp BNCC bọc CC, sẽ đơn giản và ít tốn kém khi chỉ thi công sửa chữa hoặc thay thế lớp BNCC.

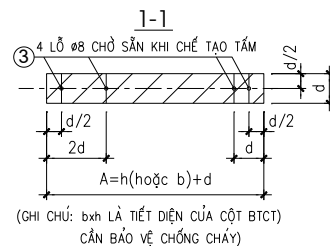
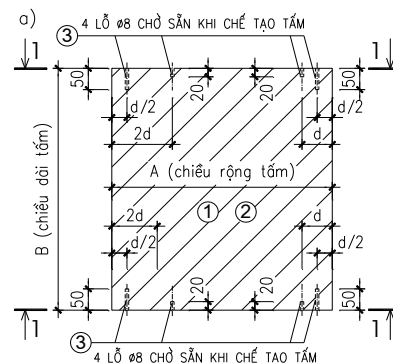
3. Thi công cấu kiện BNCC ốp chống cháy cho cột BTCT đổ toàn khối

3.1. Sơ đồ quy trình thi công (xem Hình 2)

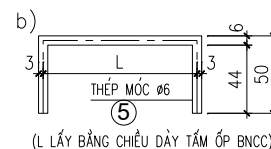
Phương pháp thi công theo kiểu bán lắp ghép, gồm 2 giai đoạn. Giai đoạn 1, thi công tấm ốp BNCC đúc sẵn theo phương pháp lắp ghép. Giai đoạn 2, thi công cột BTCT theo phương pháp đổ tại chỗ.



Hình 2. Sơ đồ quy trình thi công



(a) Tấm BNCC



(b) Thép móc chịu nhiệt $\phi 6$

Ghi chú: kích thước cạnh của tấm BNCC chế tạo $< 1\text{ m}$ để hạn chế độ co dài khi cột làm việc ở nhiệt độ cao.

Hình 3. Tấm BNCC và thép móc chịu nhiệt

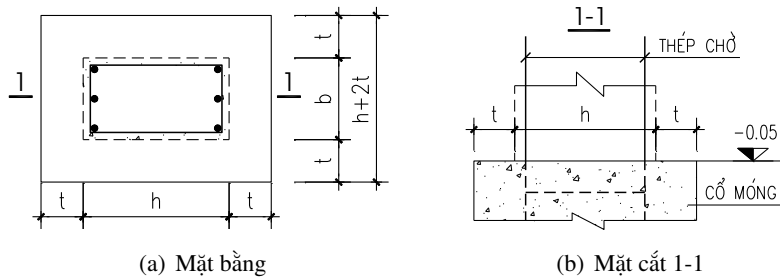
3.2. Chỉ dẫn kỹ thuật quy trình thi công

a. Chuẩn bị nguyên vật liệu, thiết bị, dụng cụ

Ngoài các nguyên vật liệu và thiết bị, dụng cụ để thi công toàn khối cho cột BTCT như thông thường, chuẩn bị thêm các tấm BNCC kích thước phù hợp, thép móc chịu nhiệt $\phi 6$ như Hình 3 và thép chịu nhiệt $\phi 6$.

Chú ý, trường hợp dùng lớp BNCC có chiều dày ≥ 100 mm bọc bảo vệ CC cho cột thì thi công BNCC theo phương pháp xây bao quanh chu vi cột để làm ván khuôn, sau đó tiến hành đổ BT cho cột như bình thường. Quá trình xây block BNCC thực hiện như xây bảo vệ CC cho thân cột thép chữ H [34]. Trường hợp dùng lớp BNCC có chiều dày < 100 mm thì sẽ dùng các tấm BNCC, nên dùng chiều dày 7 cm, bài báo trình bày cho trường hợp này.

b. Trình tự thi công bán lắp ghép ốp tấm BNCC cho chân cột BTCT



Hình 4. Chi tiết cấu tạo cổ móng chờ cột

Nghiên cứu trình tự thi công với cột BTCT có tiết diện điển hình là hình chữ nhật, Hình 4 là chi tiết cấu tạo cổ móng chờ cột. Trình tự thi công tiến hành theo các bước dưới đây.

- Bước 1: lắp dựng khung cốt thép chịu lực cho cột: thực hiện thi công như với cột BTCT thông thường.

- Bước 2: lắp ghép tấm BNCC quanh chu vi cột, thực hiện theo các đợt ghép sau (xem Hình 5):

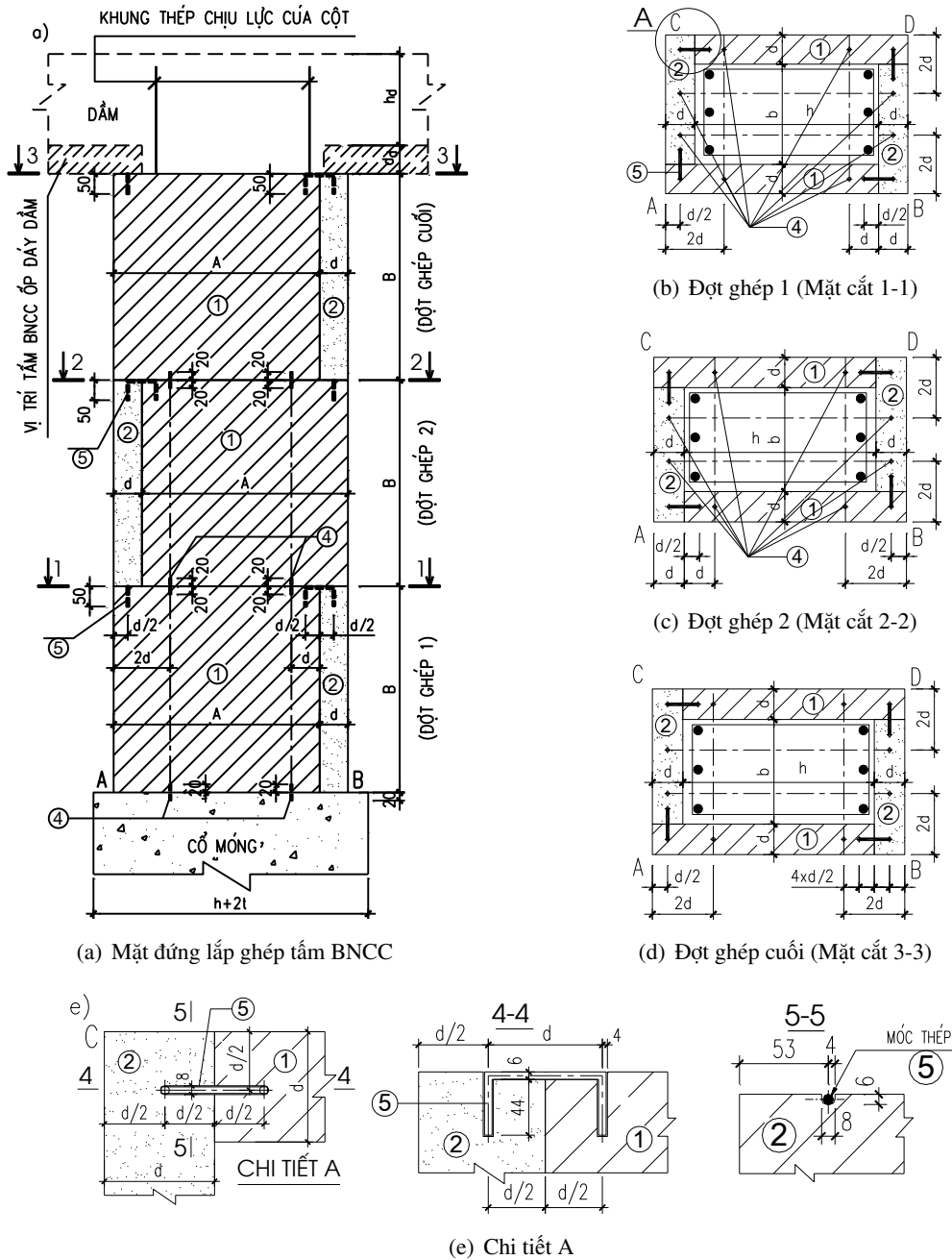
+ Đợt ghép 1, Hình 5(a, b, e): Tiến hành xác định vị trí của các tấm BNCC, đánh dấu vị trí tìm của các lỗ chờ số 3 ở cạnh dưới của tấm, xem Hình 3(a) lên trên nền. Tiếp theo, khoan tạo lỗ trên nền ở các vị trí vừa đánh dấu, làm sạch lỗ khoan, mỗi tấm BNCC khoan ≥ 2 lỗ tương ứng với các lỗ chờ sẵn trên tấm BNCC. Đóng các đoạn thép chịu nhiệt $\phi 6$ vào lỗ vừa khoan. Lắp các tấm BNCC vào vị trí sao cho các đoạn thép vừa đóng trên nền nằm trọn vào các lỗ chờ sẵn trên tấm. Dựng lắp xong các tấm BNCC quanh chu vi cột tạo thành 1 khung hộp BNCC, dùng dụng cụ khoét rãnh thủ công tạo rãnh để cài các móc thép chịu nhiệt số 5 như Hình 5(e) nhằm giằng mặt trên tăng cường liên kết theo 2 phương của các tấm BNCC, xong đợt ghép 1.

+ Đợt ghép 2, xem Hình 5(a, c): dùng các đoạn thép chịu nhiệt $\phi 6$ đóng vào vị trí các lỗ chờ sẵn còn lại trên bề mặt khung hộp BNCC của đợt ghép 1, tiếp theo dựng lắp các tấm BNCC của đợt 2 sao cho các đoạn thép vừa đóng nằm trọn trong các lỗ chờ sẵn của tấm BNCC cần ghép. Chú ý vị trí tương đối của các tấm BNCC đặt so le so với đợt ghép 1. Tiếp theo giằng mặt đợt 2 bằng các móc thép chịu nhiệt số 5, cách làm giống ở đợt 1. Như vậy, các tấm BNCC trong đợt 2 được cố định với các tấm BNCC trong đợt 1 nhờ các đoạn thép chịu nhiệt $\phi 6$ (số 4), mỗi tấm được cố định bởi 2 đoạn số 4, xong đợt ghép 2.

+ Các đợt ghép tiếp theo và đợt ghép cuối, Hình 5(a, d): phương pháp thi công tương tự như đợt ghép 2, xong đợt ghép cuối. Hoàn thành Bước 2.

- Bước 3: Dựng lắp ván khuôn cột, xem Hình 6. Quá trình dựng lắp tương tự như khi thi công cột BTCT đổ toàn khối thông thường, chỉ khác là khoảng cách giữa các tấm ván khuôn không cần kín khít do đã có lớp BNCC lót bên trong.

Chú ý, việc tính toán thiết kế ván khuôn, gông và giằng như với cột thông thường. Để xác định khoảng hở a giữa 2 tấm ván khuôn thực hiện như sau: coi dải BNCC ở vị trí hở ván khuôn làm việc



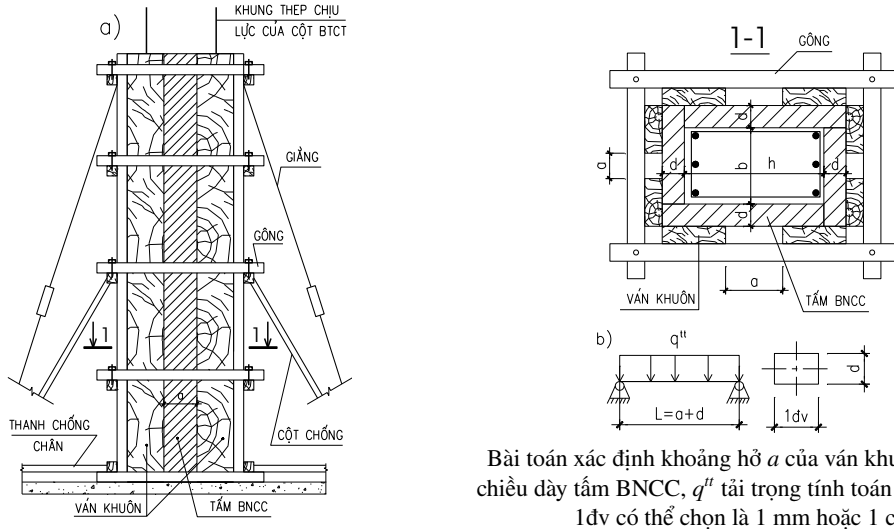
1, 2- Tấm BNCC; 4- Thép $\phi 6$ chịu nhiệt dài 40 mm; 5- Móc thép chịu nhiệt $\phi 6$

Hình 5. Lắp ghép các tấm BNCC quanh chu vi cột

như 1 dầm đơn giản, gối tựa là ván khuôn. Tưởng tượng cắt ra 1 dải BNCC rộng 1 đơn vị (1 mm hoặc 1 cm) theo phương cạnh ngắn, được dầm đơn giản 2 đầu khớp có tiết diện (chiều rộng $\times$ chiều cao) là $(1 \text{ đơn vị} \times d)$, trong đó d là chiều dày tấm BNCC. Ta có sơ đồ tính như trên Hình 6(b). Từ đó tính

được:

$$M_{\max} = \frac{q'' L^2}{8} \rightarrow \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma], \text{ trong đó, } W = \frac{1d^2}{6} \quad (1)$$



Hình 6. Dựng lắp ván khuôn cột

Ứng suất giới hạn $[\sigma]$ lấy bằng cường độ kéo của vật liệu BNCC xác định thông qua thí nghiệm; q'' xác định tương tự như khi tính ván khuôn cột thông thường.

$$\text{Suy ra } L^2 \leq \frac{4d^2[\sigma]}{3q''} \rightarrow L \leq 2d \sqrt{\frac{[\sigma]}{3q''}} \rightarrow a \leq 2d \sqrt{\frac{[\sigma]}{3q''}} - d \quad (2)$$

- Bước 4: Thi công đổ BT tại chỗ cho cột, làm như thông thường.

c. Yêu cầu kỹ thuật

Các tấm BNCC đúc sẵn được chờ lỗ ở 2 cạnh đối diện phải chính xác; Việc xác định vị trí và thi công dựng lắp của các tấm, các thép liên kết tấm theo phương đứng và ngang đòi hỏi độ chính xác cao; Đường kính lỗ chờ các loại thép liên kết lấy > đường kính thép liên kết 2 ÷ 3 mm; Khe liên kết giữa các tấm BNCC trên mặt đứng phải so le nhau; Quá trình tháo dỡ ván khuôn cột tiến hành như với cột thông thường.

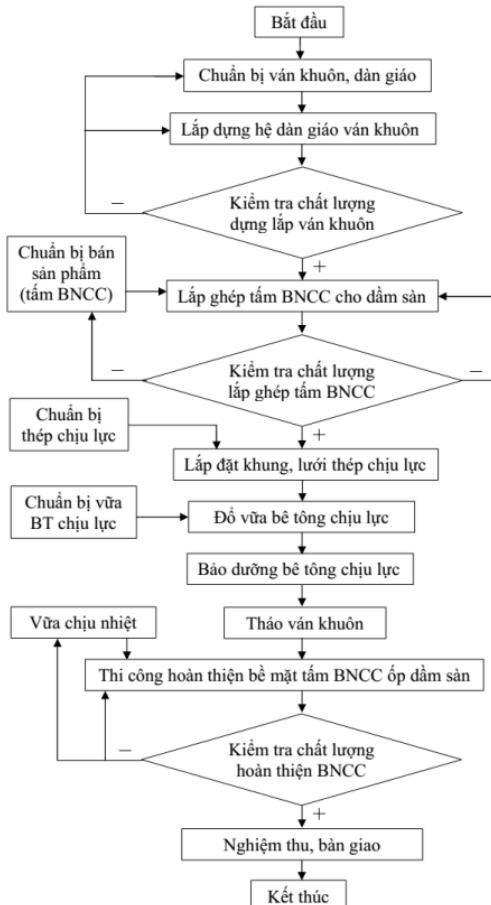
3.3. Kiểm tra và nghiệm thu

Việc kiểm tra chất lượng thi công BTCT toàn khối cho cột gồm các khâu: công tác cốt thép, chế tạo hỗn hợp BT và dung sai của các kết cấu trong công trình, tuân thủ theo TCVN 4453:1995 [35]; Công tác kiểm tra chất lượng ốp tấm BNCC tiến hành theo trình tự thi công. Nếu kiểm tra phần công việc nào không đạt chất lượng (liên quan đến cấu kiện BNCC) như làm nứt, vỡ tấm; ghép không kín khít, ... sẽ ảnh hưởng đến khả năng cách nhiệt, chống cháy sau này yêu cầu phải làm lại.

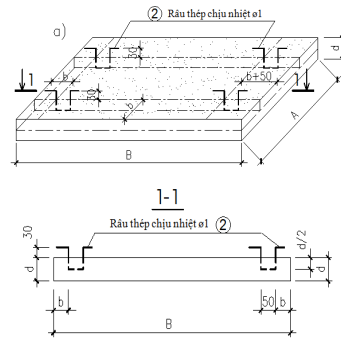
Công tác nghiệm thu liên quan đến phần thi công BTCT toàn khối thực hiện theo TCVN 4453:1995 [35]. Công tác nghiệm thu liên quan đến thi công BNCC được tiến hành tại hiện trường, hồ sơ nghiệm thu đề xuất theo tiêu chuẩn TCVN 9377-3:2012 [36].

4. Thi công cấu kiện BNCC ốp chống cháy cho dầm và bản sàn BTCT đổ toàn khối

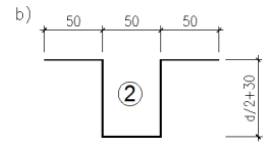
4.1. Sơ đồ quy trình thi công (xem Hình 7)



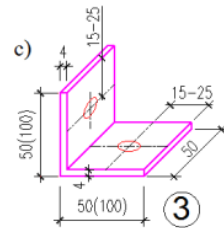
Hình 7. Sơ đồ quy trình thi công bán lắp ghép tấm BNCC ốp CC cho dầm và bản sàn BTCT toàn khối



(a) Tấm ốp BNCC



(b) Râu thép chịu nhiệt φ1



(c) Thép góc chịu nhiệt

Hình 8. Tấm ốp BNCC, râu thép chịu nhiệt φ1 và thép góc chịu nhiệt

4.2. Chỉ dẫn kỹ thuật thi công

a. Chuẩn bị nguyên vật liệu, thiết bị, dụng cụ

Ngoài các nguyên vật liệu và thiết bị, dụng cụ để thi công toàn khối hệ dầm sàn BTCT như thông thường, chuẩn bị thêm các tấm ốp BNCC có cài sẵn các râu thép chịu nhiệt φ1 khi chế tạo và thép góc chịu nhiệt (xem Hình 8), bulông chịu nhiệt M6. Tấm ốp BNCC chế tạo như sau:

+ Kích thước: chiều dài và chiều rộng không vượt quá 1 m, chiều dày d từ 5÷7 cm là thỏa mãn yêu cầu CC cho mọi công trình, theo QCVN 06:2010/BXD [21]. Vậy khối lượng 1 tấm BNCC < 52,5 kg.

+ Râu thép chịu nhiệt φ1: tấm BNCC sẽ liên kết với kết cấu dầm sàn BTCT nhờ râu thép và lực bám dính giữa lớp BT chịu lực và tấm BNCC. Râu thép được cài sẵn vào tấm trong quá trình chế tạo tấm. Để đơn giản trong tính toán và thiên về an toàn, chỉ tính toán liên kết giữa tấm BNCC và kết cấu dầm sàn BTCT nhờ râu thép, cụ thể như sau: Thép chịu nhiệt cường độ kéo tính toán $f \geq$ giới hạn

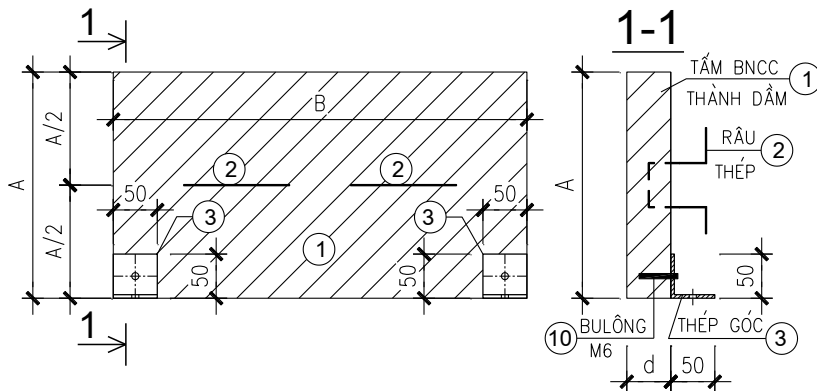
chảy f_y /hệ số an toàn vật liệu γ_M , tức là $f \geq 3100/1,05 = 2952,38 \text{ daN/cm}^2$, cho nên thép sợi chịu nhiệt $\phi 1$ (diện tích tiết diện ngang của sợi thép = $0,00785 \text{ cm}^2$) có khả năng chịu kéo được vật nặng tối đa là $2952,38 \times 0,00785 = 23,17 \text{ kg}$ [2].

Như vậy, 1 râu thép chịu nhiệt có dạng như Hình 8(b) có khả năng treo được vật nặng tối đa là $23,17 \times 2 = 46,34 \text{ kg}$. Vậy một tấm BNCC chỉ cần 1 đến 2 râu thép. Tuy nhiên, để liên kết ổn định nên dùng 4 râu thép cho một tấm BNCC có kích thước A và B $\geq 0,5 \text{ m}$; còn nếu chiều rộng tấm dưới $0,5 \text{ m}$ chỉ nên bố trí 2 râu thép cho 1 tấm (thường là tấm ốp dầm). Với tấm có 4 râu, khoảng cách b từ râu thép đến biên ngoài của tấm nên chọn $\geq d$ và không nên vượt quá $1/4$ kích thước cạnh tấm (chiều dài hoặc rộng) song song với b; với tấm có 2 râu, thì đặt râu vào trục giữa song song với cạnh dài của tấm.

b. Trình tự thi công

Quá trình thi công gồm đầy đủ các công việc khi thi công công trình BTCT đổ toàn khối, ngoài ra có thêm các công việc liên quan đến việc ốp tấm BNCC như sau:

- Lắp dựng hệ dàn giáo ván khuôn. Chú ý, ván khuôn không cần ghép kín khít như khi thi công hệ dầm sàn BTCT thông thường, có thể bố trí cách nhau một khoảng hở a để tiết kiệm ván khuôn, xác định a tương tự như khi xác định khoảng hở ghép ván khuôn cột, xem công thức (2).
- Tấm BNCC được sản xuất trong nhà máy, mang đến công trường.
- Vận chuyển các tấm BNCC lên hệ dàn giáo ván khuôn đã dựng.
- Bắt bulông M6 gắn các tấm thép góc vào 2 tấm BNCC thành dầm, mỗi tấm BNCC thành dầm sẽ gắn 2 thép góc như Hình 9.

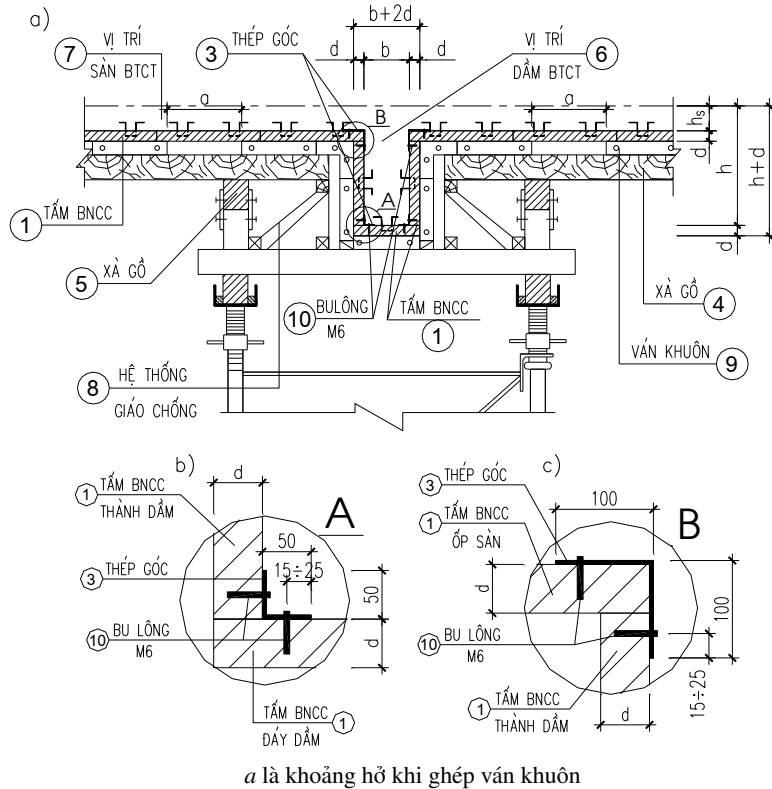


Hình 9. Gắn thép góc vào tấm BNCC thành dầm

- Lắp rải các tấm BNCC lên trên ván khuôn theo trình tự sau: tấm đáy dầm → tấm thành dầm → tấm sàn biên cạnh dầm → các tấm sàn còn lại, Hình 10(a). Khi lắp tấm thành dầm chú ý quay cạnh tấm có gắn thép góc xuống phía dưới, sau đó bắt bulông M6 cố định tấm thành với tấm đáy, Hình 10(b). Khi rải tấm sàn biên cạnh dầm xong, dùng thép góc bắt bulông cố định tấm thành dầm với tấm sàn biên, Hình 10(c).

- Lắp đặt cốt thép cho dầm sàn như bình thường. Nên uốn các râu thép của tấm BNCC móc vào thép chịu lực chính trong dầm sàn để tăng cường liên kết giữa cấu kiện dầm sàn BTCT với tấm BNCC.

- Tiếp theo tiến hành đổ BT chịu lực cho dầm sàn, bảo dưỡng BT, tháo ván khuôn, cột chống như với hệ dầm sàn BTCT toàn khối thông thường.



Hình 10. Lắp tấm BNCC cho dầm sàn BTCT

c. Yêu cầu kỹ thuật

Khi thiết kế kết cấu và hệ dàn giáo, ván khuôn phải kể đến tải trọng gây bởi các tấm BNCC và phần chiếm chỗ của các tấm BNCC; Trước khi thi công cần tính toán vị trí của các tấm ốp BNCC sao cho số lượng tấm bị cắt là nhỏ nhất; Quá trình thi công tránh làm sút vỡ các tấm BNCC; Không cần chống dìm bề mặt cốt pha vì nó không tiếp xúc với vữa BT khi đổ; Việc lắp dựng các tấm ván khuôn không cần kín khít, ván khuôn có thể ghép hở một khoảng a được tính toán theo công thức (2), khoảng hở này sẽ được che kín bằng các tấm BNCC rải lên trên ván khuôn.

4.3. Kiểm tra và nghiệm thu

Việc kiểm tra chất lượng thi công BTCT toàn khối bao gồm các khâu: lắp dựng cốt pha và đà giáo, công tác cốt thép, chế tạo hỗn hợp BT và dung sai của các kết cấu trong công trình tuân thủ theo TCVN 4453:1995 [35]; Công tác kiểm tra chất lượng ốp tấm BNCC tiến hành theo trình tự thi công. Nếu kiểm tra phần công việc nào không đạt chất lượng (liên quan đến cấu kiện BNCC) như làm nứt, vỡ tấm; ghép không kín khít, ...) sẽ ảnh hưởng đến khả năng cách nhiệt, chống cháy sau này yêu cầu phải làm lại.

Công tác nghiệm thu liên quan đến phần thi công BTCT toàn khối thực hiện theo TCVN 4453:1995 [35]. Công tác nghiệm thu liên quan đến thi công BNCC được tiến hành tại hiện trường, hồ sơ nghiệm thu đề xuất theo tiêu chuẩn TCVN 9377-3:2012 [36].

5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra quy trình thi công cấu kiện bê tông nhẹ chống cháy đúc sẵn bảo vệ CC cho cột, dầm sàn BTCT đổ tại chỗ (gọi là kiểu thi công bán lắp ghép) trong CTXD. Trong đó, cấu kiện BNCC đã được chế tạo sẵn, ghép vào cùng hệ ván khuôn để thi công đổ tại chỗ cấu kiện chịu lực cột, dầm, sàn trong CTXD. Cột, dầm, sàn BTCT được bọc bởi lớp BNCC sẽ thỏa mãn các tiêu chuẩn, quy chuẩn yêu cầu về an toàn cháy hiện hành thậm chí có thể đạt đến mức không suy giảm khả năng chịu lực sau đám cháy khi không may xảy ra hỏa hoạn. Với việc sử dụng các máy móc, thiết bị, dụng cụ thi công có sẵn trên thị trường và quy trình thi công đơn giản hứa hẹn khả năng ứng dụng BNCC vào CTXD là khả thi. Tuy nhiên, do chưa được thi công thử nghiệm trên các cấu kiện xây dựng thật nên cần tiếp tục có các nghiên cứu mở rộng, bổ sung, hoàn thiện quy trình trước khi áp dụng vào thực tế xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Quý, N. T., Đức, V. M. (2000). *Nghiên cứu chế tạo bê tông chịu nhiệt - cách nhiệt dùng xi măng pooc lăng*. Đề tài cấp Bộ giáo dục và Đào tạo, Mã số B98-34-22TĐ.
- [2] Hội, P. V., Viên, N. Q., Tư, P. V., Tường, L. V. (2006). *Kết cấu thép 1: Cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Darshan, S. J., Ranjith, A., Chethan, G. (2016). A critical review on fire resistance structures. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research*, 3(3).
- [4] Liu, F., Yang, H., Gardner, L. (2016). [Post-fire behaviour of eccentrically loaded reinforced concrete columns confined by circular steel tubes](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 122:495–510.
- [5] Yao, Y., Hu, X. X. (2015). [Cooling behavior and residual strength of post-fire concrete filled steel tubular columns](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 112:282–292.
- [6] Landesmann, A. (2012). [Refined plastic-hinge model for analysis of steel-concrete structures exposed to fire](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 71:202–209.
- [7] Jiang, J., Li, G.-Q. (2017). [Disproportionate collapse of 3D steel-framed structures exposed to various compartment fires](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 138:594–607.
- [8] Pires, T. A. C., Rodrigues, J. P. C., Silva, J. J. R. (2012). [Fire resistance of concrete filled circular hollow columns with restrained thermal elongation](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 77:82–94.
- [9] Tao, Z., Ghannam, M., Song, T.-Y., Han, L.-H. (2016). [Experimental and numerical investigation of concrete-filled stainless steel columns exposed to fire](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 118: 120–134.
- [10] Tuấn, T. D., cs. *Nghiên cứu công nghệ chế tạo vữa cách nhiệt chống cháy dùng cho các công trình xây dựng*. Đề tài cấp Bộ Xây dựng, Mã số RD 45-12, Viện Vật liệu Xây dựng, Hà Nội.
- [11] ISO 834-1:1999. *Fire - resistance tests - Elements of building construction - Part 1. General requirements*.
- [12] BS 476 part 21:1987. *Fire tests on building materials and structures. Methods for determination of the fire resistance of loadbearing elements of construction*.
- [13] BS 476-20:1987. *Fire tests on building materials and structures. Method for determination of the fire resistance of elements of construction (general principles)*.
- [14] ASTM E-119. *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*.
- [15] AS 1530.4:2014. *Methods for fire tests on building materials, components and structures - Part 4: Fire-resistance tests for elements of construction*.
- [16] Khoa, H. N., cs. *Bảo trì nhà siêu cao tầng ở Việt Nam*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [17] Gong, J., Duan, Z., Sun, K., Xiao, M. (2016). [Waterproof properties of thermal insulation mortar containing vitrified microsphere](#). *Construction and Building Materials*, 123:274–280.
- [18] Ariyanayagam, A. D., Mahendran, M. (2017). [Fire tests of non-load bearing light gauge steel frame walls lined with calcium silicate boards and gypsum plasterboards](#). *Thin-Walled Structures*, 115:86–99.
- [19] Anh, N. T. (2011). *Nghiên cứu chế tạo tấm vật liệu nhẹ chống cháy*. Đề tài cấp Bộ Công thương, theo Hợp đồng số 03.11.RD/HĐ-KHCN, Viện nghiên cứu sành sứ thủy tinh công nghiệp.

- [20] Quỳ, N. X., cs. (2012). *Nghiên cứu sản xuất vật liệu nhẹ cách nhiệt siêu nhẹ hệ CaO-SiO₂ trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao*. Đề tài cấp Bộ Xây dựng, Mã số RD-30-11, Tổng Công ty Viglacera.
- [21] QCVN 06:2010/BXD. *An toàn cháy cho nhà và công trình*.
- [22] QCVN 03:2012/BXD. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị*.
- [23] TCVN 2622:1995. *Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình - Yêu cầu thiết kế*.
- [24] TCXDVN 342:2005. *Thử nghiệm chịu lửa - Các bộ phận kết cấu của toà nhà - Phần 1: Yêu cầu chung*.
- [25] TCXDVN 348:2005. *Thử nghiệm chịu lửa - Các bộ phận kết cấu của toà nhà - Phần 8- Yêu cầu riêng đối với bộ phận ngăn cách đứng không chịu tải*.
- [26] ISO 834-8:2002. *Fire- resistance tests- Elements of building construction - Part 8- Specific requirements for non- loadbearing vertical separating elements*.
- [27] TCVN 9311:2012. *Thử nghiệm chịu lửa – Các bộ phận công trình xây dựng*.
- [28] TCVN 9311-1:2012 (ISO 834-1). *Thử nghiệm chịu lửa – Các bộ phận công trình xây dựng*.
- [29] Ninh, C. T. H., Duc, V. M. (2016). Manufacture of lightweight fireproof-insulating concrete using Hoang Thach PCB 30 portland cement and Pha Lai fly ash. *Proceedings of the international conference on SDCE (Sustainable Development in Civil Engineering 2016)*, Construction Publishing House, 97–105.
- [30] Ninh, C. T. H., Đức, V. M. (2017). Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cách nhiệt - chống cháy dùng xỉ mangan pooc lăng hỗn hợp PCB30 Hoàng Thạch với phụ gia phế thải tro bay nhiệt điện Cẩm Phả. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 3:51–55.
- [31] Ninh, C. T. H. (2017). Nghiên cứu khả năng chống cháy của bê tông nhẹ cách nhiệt chống cháy. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 5:23–26.
- [32] TCVN 7959:2017. *Bê tông nhẹ - Sản phẩm bê tông khí chưng áp - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [33] TCVN 9029:2017. *Bê tông nhẹ - sản phẩm bê tông bọt, khí không chưng áp – yêu cầu kỹ thuật*.
- [34] Ninh, C. T. H., Tham, N. Đ., Duc, V. M. (2018). [Quy trình thi công lắp ghép cấu kiện bê tông nhẹ chống cháy cho cột thép chữ H và dầm thép chữ I](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 12(2):36–42.
- [35] TCVN 4453:1995. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - quy phạm thi công và nghiệm thu*.
- [36] TCVN 9377-3:2012. *Công tác hoàn thiện trong xây dựng - Thi công và nghiệm thu - Phần 3: Công tác ốp trong xây dựng*.