



nội sinh cho bê tông cũng có tác dụng gia tăng bám dính và giảm thấm nước cho khối bê tông in 3D [9, 10].

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về đánh giá khả năng thấm nước của khối tường bê tông in 3D theo ASTM E514 [11]. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa nhận xét khả năng chống thấm nước, vị trí thấm nước của tường bê tông in 3D so với tường xây bằng gạch đất sét nung.

## 2. IN 3D TẠO HÌNH KHỐI TƯỜNG BÊ TÔNG

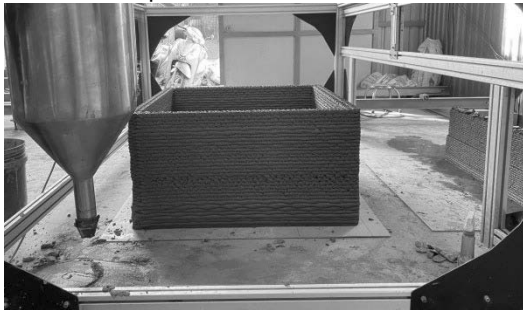
Khối tường bê tông được tạo hình bằng máy in 3D, tường có chiều dày 50 mm, rộng 1100 mm và cao 1500 mm. Bê tông in 3D thiết kế đạt M500 ở 28 ngày, cấp phối bê tông dùng trong nghiên cứu thể hiện ở bảng 1.

**Bảng 1:** Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Xi măng PC50 (kg/m <sup>3</sup> )	Cát sông (kg/m <sup>3</sup> )	Phụ gia khoáng (kg/m <sup>3</sup> )	Nước (Lit/m <sup>3</sup> )	Phụ gia siêu hóa dẻo (Lit/m <sup>3</sup> )	Phụ gia điều chỉnh độ nhớt (Lit/m <sup>3</sup> )
595	1190	240	179	8,9	1,8

Máy in bê tông 3D hoạt động theo nguyên lý căn trục được sử dụng để in tường bê tông dùng để thí nghiệm thấm nước của tường bê tông (hình 1). Trước khi in 3D, hỗn hợp bê tông sẽ được kiểm tra tính liên tục của dải bê tông trong quá trình đùn ra khỏi vòi in, nếu dải bê tông đùn ra liên tục thì sẽ chuyển sang bước in 3D liên tục của máy in. Thí nghiệm đánh giá khả năng đùn tạo thành dải in bê tông liên tục được thực hiện khi máy in 3D đứng im một chỗ trong khi vít đùn vật liệu bê tông ra khỏi vòi in tương ứng (vòi in vuông, cạnh 20 mm) với lưu lượng là 25 ml/s. Các thông số của quá trình in 3D bê tông tạo hình mô hình tường nhà ở được lựa chọn thử nghiệm như sau:

- Tốc độ in (tốc độ di chuyển của vòi in): 60 mm/s.
- Kích thước vòi in: vòi in hình vuông có kích thước cạnh là 20 mm.
- Chiều cao của lớp in: 10 mm.



**Hình 1.** In 3D tạo hình các khối tường bê tông để thí nghiệm thấm nước



**Hình 2.** Kiểm tra khả năng đùn bê tông qua vòi in trước khi thực hiện in 3D

## 3. THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG THẤM NƯỚC CỦA TƯỜNG

Thí nghiệm đánh giá khả năng thấm nước của bê tông in 3D được đánh giá theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ASTM E514. Mô hình thí nghiệm này được thực hiện trên tường bê tông sau khi in 3D ở 7 ngày tuổi, khối tường bê tông in 3D có kích thước 1100x1600x50 mm (rộng x cao x dày), mô hình thí nghiệm này thể hiện ở hình 3, 4 và 5. Ngoài ra, thí nghiệm này cũng được thực hiện với khối xây bằng gạch đất sét nung to một mặt để so sánh với tường bê tông in 3D. Gạch đất sét nung Mác 75, có kích thước 80x80x180 mm, tường gạch đất sét nung được xây và tô bằng vữa xi măng Poóc-lăng M100.

Các thiết bị và dụng cụ cần có để thực hiện thí nghiệm này bao gồm: Máy bơm nước, hệ thống ống phun tia nước lên mặt tường, hệ thống tuần hoàn nước, máy nén khí tạo áp suất và thiết bị đo áp suất.

Trình tự thí nghiệm đánh giá khả năng thấm nước qua tường bê tông in 3D thực hiện theo ASTM E514 như sau:

- In bê tông 3D tạo hình tường, hoặc xây khối xây bằng gạch đất sét nung (gạch 8x8x18 cm), một mặt để hở, mặt còn lại tô bằng vữa xi măng hỗn hợp PCB40 nếu là tường gạch đất sét nung. Khối xây được lưu trong phòng thí nghiệm 14 ngày, thời gian này là tối thiểu 7 ngày đối với tường bê tông in 3D.

- Lắp đặt các thiết bị: hộp mica, ống tuần hoàn phun nước và thu hồi nước, vòi phun khí vào hộp mica.

- Tiến hành thí nghiệm liên tục 72 giờ: khí bơm vào trong hộp mica với áp lực 0,7 kgf/cm<sup>2</sup>, nước bơm vào ống và phun liên tục lên bề mặt khối xây với lưu lượng 150 lít/giờ.

- Quan sát, ghi nhận các hiện tượng ở mặt khối xây có tô vữa xi măng hỗn hợp PCB40 hoặc mặt sau của tường bê tông in 3D, và thu hồi lượng nước thấm qua khối xây/tường bê tông.

- Dựa vào lượng nước thấm qua khối xây/tường bê tông, tính toán hệ số thấm nước của khối xây/tường bê tông in 3D theo công thức sau:

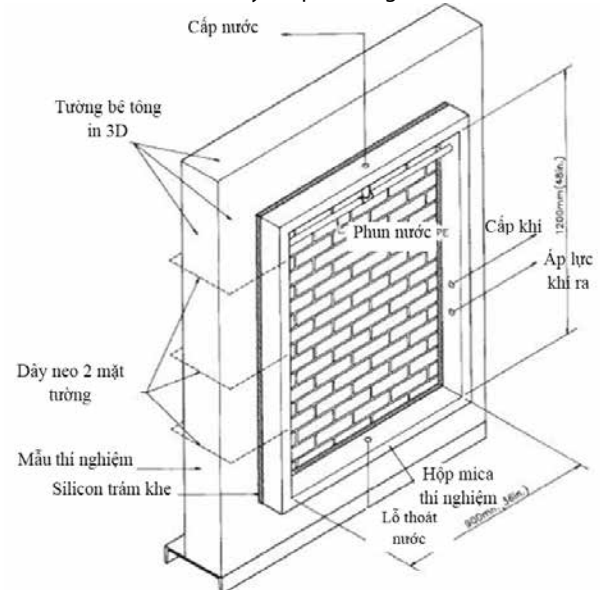
$$K = \frac{V}{t.S}$$

K: hệ số thấm nước (ml/cm<sup>2</sup>.s)

t: thời gian thí nghiệm (s)

S: diện tích khối xây nằm trong hộp mica có phun nước (cm<sup>2</sup>)

V: thể tích nước thấm xuyên qua tường (ml)



**Hình 3.** Mô hình thí nghiệm thấm tường bê tông in 3D thực hiện theo ASTM E514

**Bảng 2:** Kết quả thí nghiệm thấm tường gạch đất sét nung thực hiện theo ASTM E514

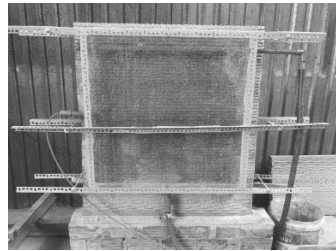
Mẫu thí nghiệm	Hiện tượng	Thời gian	Lượng nước thấm qua thu được (ml)	Hệ số thấm (ml/cm <sup>2</sup> .s)
Khối xây gạch đất sét nung	- Xuất hiện vết nước thấm ở mặt sau khối xây.	5 phút	0	0
	- Toàn bộ mặt sau khối xây bị thấm ướt, 2 cạnh tường xuất hiện vết thấm nước.	4 giờ	0	0
	- Xuất hiện giọt nước bám trên tường ở mặt sau khối xây.	24 giờ	0	0
	- Xuất hiện nhiều giọt nước bám trên tường ở mặt sau khối xây. Các giọt nước chảy thành dòng từ trên xuống dưới chân khối xây.	48 giờ	0	0
	- Xuất hiện nhiều giọt nước bám trên tường ở mặt sau khối xây. Các giọt nước chảy thành dòng từ trên xuống dưới chân khối xây và chảy ra máng thu nước.	72 giờ	22	78,6*10 <sup>-10</sup>

**Bảng 3:** Kết quả thí nghiệm thấm tường bê tông in 3D thực hiện theo ASTM E514

Mẫu thí nghiệm	Hiện tượng	Thời gian	Lượng nước thấm qua thu được (ml)	Hệ số thấm (ml/cm <sup>2</sup> .s)
Tường bê tông in 3D	- Xuất hiện vết nước thấm ở mặt tường bê tông.	4 giờ	0	0
	- Toàn bộ mặt sau tường bị thấm ướt, 2 cạnh tường xuất hiện vết thấm nước.	10 giờ	0	0
	- Xuất hiện giọt nước bám trên mặt sau và 2 cạnh của tường.	24 giờ	0	0
	- Xuất hiện nhiều giọt nước bám trên mặt sau và 2 cạnh của tường. Các giọt nước chảy thành dòng tại vị trí tiếp giáp giữa 2 lớp bê tông in 3D.	48 giờ	0	0
	- Xuất hiện nhiều giọt nước bám trên mặt sau và 2 cạnh của tường. Các giọt nước chảy thành dòng tại vị trí tiếp giáp giữa 2 lớp bê tông in 3D và chảy ra máng thu nước.	72 giờ	15	53,6*10 <sup>-10</sup>



**Hình 4.** Thí nghiệm thấm tường của khối xây bằng gạch đất sét nung thực hiện theo ASTM E514



**Hình 5.** Thí nghiệm thấm tường bê tông in 3D thực hiện theo ASTM E514

xuất hiện thấm nước ở mặt sau của tường và thể tích nước thấm xuyên qua tường sau khi kết thúc quá trình thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm thấm tường xây bằng gạch đất sét nung và tô một mặt bằng vữa xi măng, và tường bê tông in 3D được thể hiện lần lượt ở bảng 2 và 3. Hiện tượng thấm nước trong quá trình thí nghiệm tường bê tông in 3D và tường xây bằng gạch đất sét nung được thể hiện lần lượt ở hình 6 và 7.



**Hình 6.** Nước thấm qua tường bê tông in 3D trong quá trình thí nghiệm thực hiện theo ASTM E514



**Hình 7.** Nước thấm sang mặt sau của khối xây bằng gạch đất sét nung trong thí nghiệm thấm thực hiện theo ASTM E514

#### 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Thí nghiệm thấm tường được thực hiện theo quy trình của mục 3 ở trên đối với tường bê tông in 3D và tường xây sử dụng gạch đất sét nung được tô một mặt bằng vữa xi măng, thời gian thí nghiệm tiến hành liên tục 72 tiếng. Trong quá trình thí nghiệm, tiến hành quan sát hiện tượng thấm, vị trí thấm, thời điểm bắt đầu

Kết quả thí nghiệm thể hiện ở bảng 1 và 2 cho thấy rằng, khả năng kháng thấm nước của tường bê tông in 3D tốt hơn so với tường gạch đất sét nung tô vữa xi măng một mặt. Hệ số thấm nước của tường bê tông in 3D thấp hơn đáng kể so với tường gạch đất sét nung. Thí nghiệm thấm tường thực hiện theo ASTM E514 là thí nghiệm mô phỏng điều kiện thấm của tường biên (tường ngoài) của công trình, trong đó khả năng nước thấm xuyên tường được thúc đẩy bằng hệ thống phun tia nước liên tục trong điều kiện áp suất 0,7 kgf/cm<sup>2</sup> được duy trì tác dụng lên tường suốt trong quá trình thí nghiệm. Trong điều kiện thí nghiệm như vậy, tường gạch đất sét nung tô một mặt (ở mặt sau) bị thấm xuyên nước rất nhanh, ngay sau 5 phút thí nghiệm thì vết thấm nước đã xuất hiện ở mặt sau của tường, đến 4 giờ sau khi thí nghiệm thì toàn bộ mặt sau tường đã thấm đẫm nước, nước thấm xuyên qua khối xây và tạo thành dòng chảy nhỏ có xu hướng chảy từ trên phần đỉnh cao của tường và xuống chân rồi đi vào máng thu nước, hiện tượng này xuất hiện rõ bắt đầu từ thời điểm 48 giờ sau khi thí nghiệm. Qua quan sát trong quá trình thí nghiệm, nước thấm xuyên tường gạch đất sét nung chủ yếu qua vị trí mạch vữa liên kết giữa các lớp gạch xây, mạch vữa liên kết này có độ kín khí không đồng đều và nước dễ thấm xuyên qua tường tại vị trí mạch vữa có nhiều khuyết tật; lỗ rỗng.

Đối với tường bê tông in 3D, hiện tượng thấm xuyên nước vẫn xuất hiện, tuy nhiên, mức độ thấm và hệ số thấm nước của tường bê tông in 3D thấp hơn so với tường gạch đất sét nung. Trong quá trình thí nghiệm, các hiện tượng thấm của tường bê tông in 3D cũng gần giống với tường gạch đất sét nung. Tường bê tông in 3D bị thấm nước và bắt đầu xuất hiện vết thấm nước tại mặt sau ngay sau 4 giờ thí nghiệm, toàn bộ mặt sau tường bị thấm ướt và 2 cạnh tường bắt đầu xuất hiện vết thấm nước tại thời điểm 10 giờ sau khi thí nghiệm, sau 48 giờ thí nghiệm, nước thấm xuyên qua tường bê tông, tích tụ và tạo thành dòng chảy nhỏ có xu hướng chảy men theo mạch tiếp giáp giữa 2 lớp bê tông in 3D và chảy xuống chân tường rồi đi vào máng thu nước. Tương tự như tường xây bằng gạch đất sét nung, nước thấm xuyên qua tường bê tông in 3D chủ yếu tại vị trí tiếp xúc giữa 2 lớp bê tông in 3D, điều này có nghĩa là, tại vị trí tiếp xúc giữa 2 lớp bê tông in 3D không đủ đặc chắc, có tồn tại khuyết tật và lỗ rỗng đủ lớn để nước thấm xuyên qua. Vì vậy, để gia tăng khả năng chống thấm cho tường bê tông in 3D trong công trình xây dựng, cần phải có biện pháp để cải thiện, gia tăng độ đồng nhất tại vị trí tiếp xúc giữa 2 lớp bê tông in 3D.

## 5. KẾT LUẬN

Từ kết quả thực nghiệm đánh giá khả năng thấm nước của tường bê tông in 3D được tạo hình bằng thiết bị và quy trình in 3D của nghiên cứu này và so sánh với tường xây bằng gạch đất sét nung, tác giả rút ra những kết luận như sau:

- Thí nghiệm thấm tường thực hiện theo ASTM E514 là thí nghiệm phù hợp để mô phỏng điều kiện thấm của tường biên (tường ngoài) của công trình, trong đó khả năng nước thấm xuyên tường được thúc đẩy bằng hệ thống phun tia nước liên tục trong điều kiện áp suất được duy trì tác dụng lên tường suốt trong quá trình thí nghiệm;
- Mức độ thấm và hệ số thấm nước của tường bê tông in 3D thấp hơn so với tường gạch đất sét nung. Các hiện tượng thấm của tường bê tông in 3D cũng gần giống với tường gạch đất sét nung;
- Nước thấm xuyên qua tường bê tông in 3D chủ yếu tại vị trí tiếp xúc giữa 2 lớp bê tông in 3D. Cần phải có biện pháp để cải thiện, gia tăng độ đồng nhất tại vị trí tiếp xúc giữa 2 lớp bê tông in 3D nhằm giảm độ thấm nước cho tường.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ TP.HCM – Sở khoa học và công nghệ TP.HCM trong khuôn khổ hợp đồng số 07/2021/HĐ-QKHCHN. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG – HCM đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G.D.Schutter, K.Lesage, V.Mechtcherine, V.N.Nerella, G.Habert, I.Agusti-Juan, "Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials," *Cement and Concrete Research Journal*, pp. 25–36, 2018. Doi: 10.1016/j.cemconres.2018.06.001.
- [2] T.Wangler, E.Lloret, L.Reiter, N.Hack, F.Gramazio, M.Kohler, M. Bernhard, B.Dillenburger, J. Buchli, N.Roussel and R.Flatt, "Digital Concrete: Opportunities and Challenges," *RILEM Technical Letters*, pp. 1: 67 – 75, 2016, Doi: 10.21809/rilemtechlett.2016.16.
- [3] Trần Văn Miên, Huỳnh Công Tâm, Lê Hoàng Giang, Nguyễn Quốc Cường, "Cải thiện bám dính giữa các lớp in 3D bê tông bằng hồ xi măng biến tính" *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, Tập 11. Số 6: Trang 8 – 14, 2021.
- [4] Y. Zhang, Y. Zhang, W. She, L. Yang, G. Liu, Y. Yang, "Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing Concrete," *Construction and Building Materials*, 201 (2019), pp.278-285.
- [5] A. Perrot, D. Rangeard, A. Pierre, "Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques," *Materials and Structures*, 49 (2016), pp.1213-1220.
- [6] J.G.Sanjayan, B.Nematollahi, M.Xia and T.Marchment, "Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 172. pp. 468–475, 2018, Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232.
- [7] T.T.Le, S.A.Austin, S.Lim, R.A.Buswell, A.G.F.Gibb and T.Thorpe, "Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete," *Materials and Structures*, pp. 45:1221–1232, 2012, Doi: 10.1617/s11527-012-9828-z.
- [8] E.Keitaa, H.Bessaies-Beyb, W.Zuoa, P.Belina and N.Roussel, "Weak bond strength between successive layers in extrusion-based additive manufacturing: measurement and physical origin," *Cement and Concrete Research*, 2019, Doi: 0.1016/j.cemconres.2019.105787.
- [9] Y.W.D.Tay, G.H.A.Ting, Y.Qian, B.Panda, L.He and M.J.Tan, "Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete," *Virtual and Physical Prototyping*, pp. 1-10, 2018, Doi:10.1080/17452759.2018.1500420.
- [10] G.Li, "A new way to increase the long-term bond strength of new-to-old concrete by the use of fly ash," *Cement and Concrete Research*, vol. 33, no. 6. pp. 799-806, 2003, Doi: 10.1016/S0008-8846(02)01064-5.
- [11] ASTM E514 - 08: Standard test method for water penetration and leakage through masonry.