Công nghệ in bê tông 3D trong xây dựng và những thách thức

Three dimension concrete printing technology in constructuction and challenges

Ngày nhận bài: 03/6/2019
Ngày sửa bài: 11/7/2019
Ngày chấp nhận đăng: 15/8/2019

Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Tiến Hồng, Doãn Thị Thùy Hương

TÓM TẮT

Các quy trình sản xuất phụ gia quy mô lớn để xây dựng sử dụng vị trí ép đùn điều khiển bằng máy tính vữa gốc xi măng để tạo các vật thể từng lớp. Các áp dụng đã được chứng minh bao gồm sản xuất các cấu kiện, các bức tường tại chỗ cho các tòa nhà. Một vài ứng dụng thì có yêu cầu về các thông số thiết kế và thể hiện các vấn đề khác nhau về kỹ thuật công nghệ cho quá trình sản xuất. Từ những báo cáo nghiên cứu trên thế giới, báo cáo này tổng hợp các vấn đề về mối quan hệ giữa vữa ở trạng thái tươi và trạng thái đông cứng của vật liệu bê tông và sự ảnh hưởng của các tính chất của vữa đến hình học của đối tượng được tạo ra bằng phương pháp in 3D bằng vật liệu bê tông. Kết quả thu được góp phần làm phong phú thêm tài liệu cho các nghiên cứu liên quan về lĩnh vực này tại Việt Nam, hạn chế được các rủi ro trong quá trình thực hiện các dự án tương tự trong tương lai.

Từ khóa: Công nghệ in 3D, vữa bê tông, tính lưu biến, vữa trạng thái ướt, khả năng tạo hình, ép đùn.

ABSTRACT

Large-scale additive manufacturing processes for construction utilise computer-controlled placement of extruded cement-based mortar to create physical objects layer-by-layer. Demonstrated applications include component manufacture and placement of in-situ walls for buildings. These applications vary the constraints on design parameters and present different technical issues for the production process. From the research reports in the world, this article summarizes the problems between the relationship between mortar in the fresh state and the hardening state of concrete materials and the influence of the properties of mortar on the shape of elements which were created by 3D printing method with concrete materials. The results have contributed to enriching documents for related research in this field in Vietnam, limiting risks in the process of implementing similar projects in the future.

1. **Key words:** 3D printing **technology**, concrete mortar, rheology, wet state mortar, forming and extruding capabilities.

Nguyễn Tuấn Anh; Nguyễn Tiến Hồng; Doãn Thị Thùy Hương, *Khoa Xây dựng, ĐH Vinh*

1. Giới thiệu

In 3D – in 3 chiều là quá trình mà các đối tượng vật lý được tạo ra bằng cách gửi vật liệu theo từng lớp dựa trên kỹ thuật số mô hình. Tất cả các quy trình in 3D yêu cầu phần mềm, phần cứng và vật liệu để làm cùng nhau. Máy in 3D đầu tiên được phát minh vào năm 1983 bởi Charles.W. và trong những thập kỷ qua, in 3D đã trở thành một trong những ngành phát triển nhanh nhất công nghệ hiện nay. Trong những ngày đầu, nó là công nghệ rất phức tạp và đắt tiền. Trong những năm qua in 3D đã xuất hiện càng nhiều trong cuộc sống hàng ngày và trở nên dần phổ biến. Nói một cách khác, in 3D cũng có thể được gọi là sản xuất phụ gia, đặc biệt là khi đề cập đến việc sử dụng nó trong sản xuất và nhiều người sẽ sử dụng cả hai cụm từ thay thế cho nhau. Khi công nghệ tiếp tục phát triển, in 3D có thể được sử dụng để tạo ra mọi thứ, từ các nguyên mẫu và các bộ phận đơn giản đến kỹ thuật cuối cùng các sản phẩm như phụ tùng máy bay, các sản phẩm trong y học, các chi tiết của ô tô, thậm chí các bộ phận nhân tạo của con người. Trong lĩnh vực xây dựng cũng không phải là ngoại lệ, hiện nay trên thế giới con người đang cố gắng nghiên cứu và áp dụng công nghệ in 3D vào trong lĩnh vực xây dựng, bước đầu đã có nhiều thành tựu đáng kể.

2. Công nghệ in 3D trong xây dựng

Gần đây, công nghệ in 3D đang thu hút sự quan tâm ngày càng lớn trong lĩnh vực xây dựng, đặc biệt là công nghệ bê tông. Công nghệ in 3D với nhiều ưu điểm: Công nghệ sản xuất này tạo điều kiện cho sự phát triển của các công trình tại chỗ trong giai đoạn duy nhất, giảm được các khâu vận chuyển thiết bị xây dựng, giảm các công tác lắp dựng, giảm chi phí lao động và nguy cơ chấn thương trong quá trình xây dựng.

Cho đến nay, hầu hết các phát triển trong chế tạo kỹ thuật số của các sản phẩm bê tông hóa đã được tập trung vào công nghệ ép đùn các lớp: chế tạo đường viên, in bê tông. Tuy nhiên, khi thực hiện trong quá trình xây dựng đòi hỏi lớn hơn nhiều máy in so với các loại máy in được sử dụng đối với các vật bằng kim loại hoặc nhựa, bởi kích thước cuối cùng của đối tượng được in ra có thể là một tòa nhà, một cây cầu. Hệ thống thiết bị của máy móc tự động được sử dụng cho lớp đùn của bê tông bao gồm một điều khiển kỹ thuật số đầu in di chuyển hoặc vòi phun được đặt chính xác xuống lớp vật liệu bê tông hoặc lớp vữa, cho phép tạo ra cấu trúc tùy chỉnh và các khoảng trống chức năng thành các yếu tố in.

Những thách thức kỹ thuật liên quan đến công nghệ ép đùn nhiều lớp rất đa dạng. Thật vậy, để khai thác hiệu quả các chức năng tính chất cơ học của sản phẩm bê tông in 3D, lớp đùn các yếu tố bê tông đòi hỏi vật liệu in tươi để có một số tính chất lưu biến cụ thể:

- Khả năng bơm: công suất được gia công và chuyển đến đầu in thông qua hệ thống bơm trọng một thời gian nhất định
- Khả năng đùn: Khả năng được ép đùn đúng cách thông qua đầu in với dòng chảy vật liệu liên tục
- Khả năng xây dựng: Khả năng cả hai vẫn được xếp chồng lên nhau trong các lớp đùn sau và duy trì trọng lượng của các lớp tiếp theo được tạo ra bởi quá trình in.

Hình 1a. Nhà được in 3 chiều bằng vật liệu bê tông

Hình 1b. Cầu được in 3 chiều

Do đó, tính lưu biến của vữa hay của bê tông phải được tối ưu hóa để đạt được sự cân bằng giữa nhu cầu về khả năng làm việc và khả năng vượt trội. Tốc độ in cũng là một thông số quan trọng, nó có thể tác động đến các tính chất cơ học của các đối tượng được in thành. Tốc độ in phải được đặt dựa vào tính lưu biến của vữa in, kích thước của các đối tượng và kích thước của đầu phun. Trong thực tế thời gian trôi qua giữa sự lắng đọng của hai lớp phải đủ dài để cho lớp đầu tiên cứng lại đầy đủ và có khả năng duy trì trọng lượng của lớp kế tiếp, nhưng cũng đủ ngắn để đảm bảo rằng lớp đầu tiên vẫn còn đủ tươi để phát triển một liên kết tốt với lớp thứ hai.

3. Một số nghiên cứu sử dụng in 3D bằng vật liệu bê tông trên thế giới

3.1. Canal House in Amsterdam

Hình 2. Tòa nhà Canal House

Năm 2014, công ty thiết kế Hà Lan Dus Architects đã quyết định xây dựng một ngôi nhà bằng cách in các bộ phận của nó bằng một máy in khổng lồ. Tại châu Âu, đây là dự án đầu tiên sẽ được hiện thực hóa hoàn toàn bằng công nghệ in 3D. Dự án có tên gọi là Canal House diễn ra ở Amsterdam và sẽ mất ít nhất ba năm. Kiến trúc sư từ Dus Architects muốn chứng minh rằng, bằng cách in các thành phần của ngôi nhà trực tiếp trên công trường, họ có thể hoàn toàn loại bỏ chất thải xây dựng và giảm thiểu chi phí vận chuyển. Tính cơ động của máy in được coi chính là lợi thế vì nó có thể được vận chuyển đi khắp thế giới nhờ vào những gì, một chi phí vận chuyển vật liệu và lưu trữ nó trên công trường xây dựng có thể sẽ biến mất. Thời gian của dự án đã được ước tính, để cho phép họ nghiên cứu công nghệ in ấn và phát triển loại vật liệu phù hợp.

3.2. Tòa nhà Công ty WinSun

Công ty thiết kế WinSun là một doanh nghiệp Trung Quốc, làm việc trên vật liệu tương tự như bê tông sẽ phù hợp để sử dụng trong công nghệ in 3D. Năm 2014 họ đã hoàn thành để xây dựng những ngôi nhà được in bằng công nghệ 3D. Công nghệ này dựa trên các thành phần xây dựng được in dưới dạng các cấu kiện đúc sẵn và được lắp ráp tại công trường. Các thành phần đang được in bằng máy in có chiều cao 6 mét, chiều rộng 10 mét và chiều dài 40m. Máy ép đùn vật liệu vữa thông qua một vòi phun thành từng lớp. Tường có hoa văn gia cố theo đường chéo với cấu trúc rỗng sẽ đóng vai trò là lớp cách nhiệt. Các chi tiết cửa sổ được lắp vào tường của công trình. Sau khi mái nhà được lắp đặt, công việc hoàn thành với chi phí ước tính cho mỗi tòa nhà là 4.800 USD.

(a) (b)

Hình 2a. Ngôi nhà đầu tiên được in bởi công ty WinSun vào năm 2014

Hình 2b. Ngôi nhà 5 tầng sử dụng công nghệ in 3D

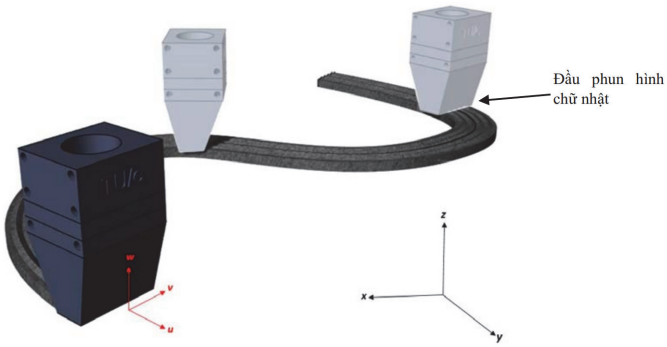
4. Vật liệu sử dụng

Vật liệu được sử dụng trong xây dựng này chính là vữa bê tông và công nghệ in 3D được sử dụng trong nghiên cứu là công nghệ ép đùn, do đó chúng ta tập trung cho các vấn đề sau của vữa:

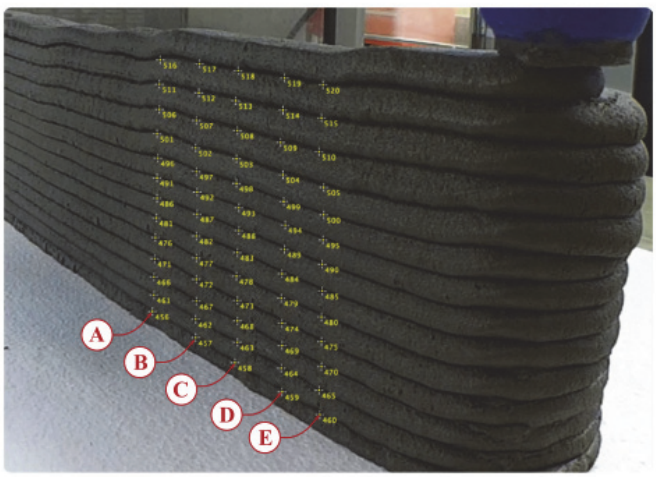
- Thời gian mở: thời gian trong đó vật liệu có thể được sử dụng trong in 3D và ảnh hưởng của nó đối với bơm và khả năng đùn;
- Khả năng biến dạng của vật liệu như các lớp liên tiếp được thêm vào;

4.1. Thời gian mở, khả năng bơm và đùn

Khả năng bơm mô tả sự dễ dàng mà hỗn hợp vữa tươi được vận chuyển từ máy bơm đến vòi phun ra. Một vấn đề là sự phân tách hạt trong vòi có thể dẫn đến tắc nghẽn gây ra bởi thiết kế hỗn hợp hoặc trộn không đủ trước khi bơm. In bê tông bằng công nghệ 3D đặc biệt nhạy cảm với các tạm dừng trong quá trình xây dựng vì các thành phần được tạo ra thông qua việc phân lớp liên tục các vật liệu phải liên kết để tạo thành một thành phần đồng nhất, do đó có tiềm năng lớn hơn hình thành các khớp lạnh giữa các lớp hơn so với đúc thông thường. Bơm chuyển tích cực thường được sử dụng cho in bê tông bằng công nghệ 3D và vữa phù hợp bao gồm đủ hàm lượng kết dính để tạo thành một chất bôi trơn lớp bên trong của ống bơm. Một số nghiên cứu đã chỉ ra giá trị phù hợp của áp lực ngăn chặn tắc nghẽn trong quá trình bơm và sau đó ép đùn mà sợi in không bị đứt, trong phạm vi 0,3 kPa đến 0,9 kPa. Một cuộc điều tra độc lập bằng Máy đo lưu lượng kế mini-4C. Thrane et al. [15] tại Viện Công nghệ Đan Mạch đã đồng ý với những phát hiện này, chứng minh rằng hỗn hợp với nhựa Độ nhớt và ứng suất sản xuất bằng (38,7 ± 4,5) Pa.s và (0,59 ± 0,08) kPa tương ứng (đối với hỗn hợp với CEM I và Fly Ash) và (21,1



Hình 3. Chi tiết đầu phun ra dải có tiết diện hình chữ nhật



Hình 4. Đo biến dạng của từng lớp in xếp chồng bằng dải in tiết diện hình chữ nhật

± 2,4) Pa.s và (0,27 ± 0,03) kPa tương ứng (đối với hỗn hợp với CEM I và chất làm đầy đá vôi) phù hợp cho việc bơm và đùn.

Trong bê tông thông thường, thuật ngữ thời gian mở được liên kết với tổn thất sụt bê tông, có liên quan đến sự khởi đầu của gia tốc giai đoạn trong quá trình hydrat hóa. Tương tự như trong in bê tông bằng công nghệ 3D, thời gian mở được liên kết với việc duy trì độ nhớt và tạo ra ứng suất của hỗn hợp là rất quan trọng cho quá trình. Thời gian mở có liên quan đến hoạt động cửa sổ, nơi khối lượng vật liệu quy định phải được ép đùn. Điều này trở nên phức tạp bởi khối lượng của thành phần in và diện tích bề mặt làm việc của tòa nhà, xác định tổng số chiều dài của vật liệu lắng đọng trên mỗi lớp. Cho một tỷ lệ lắng đọng, khối lượng vữa này đến một thời gian hữu hạn để gửi từng lớp, được gọi là 'chu kỳ in'. Điều này xác định thời gian trễ giữa vữa tươi được đặt ở cùng một vị trí trên đỉnh lớp trước.

Có một số tranh luận về việc liệu có thể phát triển trộn ngay lập tức ở đầu lắng đọng để giảm bớt những vấn đề này kích thước của lô phụ thuộc vào quá trình tốc độ lắng đọng khối lượng và hình dạng thành phần, ảnh hưởng đến kích thước và loại máy trộn được sử dụng. Việc tách các yếu tố này không phải là chuyện nhỏ, mặc dù việc phát triển và ứng dụng các phụ gia để giúp ổn định sự pha trộn và kéo dài thời gian mở là một lĩnh vực nghiên cứu cần được chú ý trong vấn đề này. Khả năng mô phỏng và mô hình hóa toàn bộ quy trình in bê tông 3D từ xử lý theo lô đến sản xuất đến bảo dưỡng cũng sẽ trở thành một thành phần quan trọng của sản xuất thành công Những số liệu này cung cấp các giá trị hướng dẫn cho thiết kế hỗn hợp và phát triển quy trình.

Trong bê tông thông thường, thuật ngữ thời gian mở liên quan tới tổn thất độ sụt bê tông, có liên quan đến sự khởi đầu của gia tốc giai đoạn trong quá trình hydrat hóa. Trong in bê tông 3D thời gian mở được liên quan tới việc duy trì độ nhớt và tạo ra ứng suất của hỗn hợp là rất quan trọng cho quá trình. Thời gian mở có liên quan đến hoạt động cửa mở ở đầu phun, nơi khối lượng vật liệu quy định phải được ép đùn. Điều này phức tạp bởi khối lượng của thành phần in và diện tích bề mặt làm việc của tòa nhà, xác định tổng số chiều dài của vật liệu lắng đọng trên mỗi lớp. Điều này xác định thời gian trễ giữa vữa tươi được đặt ở cùng một vị trí trên đỉnh lớp trước. Có một số tranh luận về việc liệu các đợt thông thường là nhiều nhất phương pháp phù hợp, liệu vi xử lý có phù hợp hơn hay không và liệu có thể phát triển trộn ngay lập tức ở đầu lắng đọng để giảm bớt những vấn đề này kích thước của lô phụ thuộc vào quá trình tốc độ lắng đọng khối lượng và hình dạng thành phần, ảnh hưởng đến kích thước và loại máy trộn được sử dụng. Việc tách các yếu tố này không phải là chuyện dễ dàng thực hiện, mặc dù việc phát triển và ứng dụng các phụ gia để giúp ổn định sự pha trộn và kéo dài thời gian mở là một lĩnh vực nghiên cứu cần được chú ý trong vấn đề này. Khả năng mô phỏng và mô hình hóa toàn bộ quy trình in bê tông 3D từ xử lý theo lô đến sản xuất đến bảo dưỡng cũng sẽ trở thành một thành phần quan trọng của sản xuất thành công, nó liên quan nhiều đến việc xây dựng mô hình 3D bằng máy tính và các phần mềm mô phỏng.

Hình dạng của vòi phun khác nhau, nhưng phần lớn là tròn, hoặc hình chữ nhật. Khả năng mở rộng được định nghĩa ở đây là khả năng đùn hỗn hợp qua vòi phun mà không đáng kể biến dạng cắt ngang và với mức độ phân tách chấp nhận được xé sợi được in ra. Không có thử nghiệm tham khảo chính thức để đánh giá tính đùn và hiện tại điều này được đánh giá bằng kiểm tra trực quan. Định nghĩa này hơi khác với điều đó đề xuất trong và được tác động bởi hình dạng và kích thước của khối đùn vòi phun và chuyển động và vị trí vòi phun liên quan đến trước đó lớp.

4.2. Biến dạng dưới trọng lượng bản thân

Hình 5. Phá hoại kết cấu bởi khoảng cách các lớp in quá gần

Quá trình lắng đọng thường áp dụng một số biến dạng có kiểm soát của sợi vữa in, giúp bám dính vào lớp trước. Hình 4 mô tả ảnh hưởng của những thay đổi về chiều cao lớp do sự thay đổi nhỏ trong ứng suất sản xuất của hỗn hợp khi nó được ép đùn. Khi chiều cao của công trình tăng lên, áp suất thủy tĩnh cũng tăng và các lớp nén dưới trọng lượng bản thân. Đó là thực tế phổ biến để duy trì chiều cao lớp không đổi trong quá trình in và khoảng cách giữa vòi phun và bề mặt làm việc tăng lên, gây ra hình dạng của dây tóc để thay đổi, có khả năng ảnh hưởng đến độ bám dính của lớp. Hiệu ứng bị làm trầm trọng thêm với mỗi lớp bổ sung là khoảng cách giữa vòi phun và bề mặt làm việc cuối cùng tăng lên gây ra sợi vữa đông cứng, vì nó bị lắng đọng, dẫn đến xô lệch cấu trúc và cuối cùng sụp đổ như Hình 5. Trong ví dụ này, 9 mm ép đùn tròn được sử dụng ở độ cao lớp 6 mm và số lượng các sợi liền kề trên mỗi lớp được thay đổi

và phần được xây dựng theo chiều dọc để kiểm tra độ ổn định, hoặc độ cứng hiệu quả.

Cấu trúc cao phải được sản xuất theo hướng dọc bị ảnh hưởng đặc biệt và hành vi cơ học ở độ tuổi sớm và mô hình hóa được quan tâm. Hai cách tiếp cận để giảm bớt các vấn đề về tốc độ tích tụ đã được đề xuất: điều chỉnh động của chiều cao đầu phun trong khi in và kiểm soát cẩn thận tốc độ tích tụ, có thể bao gồm việc bổ sung các máy gia tốc được tiêm trước khi ép đùn để tăng tốc độ cứng hóa thấp hơn các lớp sao cho chúng có khả năng duy trì tải tăng dần.

5. Những thách thức và tương lai của công nghệ in 3D trong lĩnh vực xây dựng

Một trong những nhược điểm chính của cấu trúc in là hỗn hợp các đặc tính đẳng hướng và dị hướng theo các hướng khác nhau không giống như các mẫu vật được đúc để có đẳng hướng tính chất trong tất cả các hướng. Ngoài ra, chất lượng in như hành vi (ứng xử) dòng chảy của vật liệu, tốc độ in, khoảng cách thời gian in giữa các lớp tiếp theo có ảnh hưởng đáng kể trên các đối tượng in 3D cuối cùng. Trong in 3D, kể từ khi sản phẩm cuối cùng được xây dựng lớp trên lớp, dự kiến rằng khả năng tương thích vật liệu cao hơn theo hướng ngang so với hướng dọc. Độ bền kéo theo hướng thẳng đứng (hướng Z) có liên quan đến cường độ liên kết giữa các lớp liên tiếp. Cường độ của các mối liên kết có phụ thuộc nhiều vào các yếu tố như độ nhớt của vật liệu, khoảng cách thời gian in giữa các lớp, diện tích tiếp xúc giữa các lớp liên tiếp (vòi hình chữ nhật cho diện tích tiếp xúc nhiều hơn vòi có tiết diện tròn)

Hình 6. Kết cấu tường được in bê tông 3D

Chúng ta cần tạo ra một máy in 3D đảm bảo các chức năng với chi phí thấp, có thể hoạt động trong các điều kiện hoạt động phức tạp. Đồng thời cần đưa mức độ tự động hóa của máy in 3D lên mức tối đa, để giảm yêu cầu kỹ năng của nhân viên vận hành. Công nghệ này yêu cầu cao về phần mềm và tính cơ học đây chính là thách thức tiếp theo.

Hình 7. Thí nghiệm in bê tông với độ xòe và độ sụt khác nhau

Những thách thức trong việc in 3D của bê tông ướt không chỉ được quy cho kiểm soát các tính chất mới của bê tông để có đủ khả năng làm việc và thời gian mở cho ép đùn mà cả các thuộc tính cấu trúc, ví dụ: cường độ, độ bám dính giữa các lớp, khả năng biến dạng và khả năng xây dựng. Độ bền của cấu trúc in 3D cũng cần được nghiên cứu: cấu trúc in 3D có thể tăng tốc bay hơi nước vì thiếu ván khuôn để bảo vệ chống lại không khí so với bê tông thông thường. Điều này có thể làm làm cho vữa dễ co ngót và nguy cơ nứt vỡ.

6. Kết luận

Thông qua những nghiên cứu chi tiết từ các ứng dụng đang diễn ra ở Anh, Pháp, Đan Mạch và Hoa Kỳ, bài viết này cố gắng tập hợp các vấn đề công nghệ có hiệu lực 3DCP dựa trên ép đùn và giải quyết các phụ thuộc quan trọng giữa các vật liệu, quá trình sản xuất và thiết kế. Các giải pháp một số vấn đề đã được trình bày và các lĩnh vực nghiên cứu đã đã được xác định để thiết lập các nhà nước hiện đại. Thành công thương mại của công nghệ in bê tông 3D nằm ở sự mạnh mẽ của thiết kế và quy trình sản xuất, khả năng cho các kiến trúc sư và kỹ sư thiết kế, các yếu tố xây dựng và trong giá trị của các thành phần sản xuất. Những tư tiệu trong bài báo là cơ sở tham khảo cho việc triển khai áp dụng công nghệ in bê tông 3D tại Việt Nam trong một tương lai không xa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Duballet, Romain, Olivier Baverel, and Justin Dirrenberger. "Classification of building systems for concrete 3D printing." Automation in Construction 83 (2017): 247-258.

[2]. Panda, Biranchi, et al. "Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymer mortar." Measurement 113 (2018): 108-116.

[3]. Buswell, Richard A., et al. "3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research." Cement and Concrete Research 112 (2018): 37-49.

[4]. Lim, Sungwoo, et al. "Developments in construction-scale additive manufacturing processes." Automation in construction21 (2012): 262-268.

[5]. Ngo, Tuan D., et al. "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges." Composites Part B: Engineering 143 (2018): 172-196.