

NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IN 3D – HƯỚNG CHUYỂN ĐỔI SỐ TRONG NGÀNH XÂY DỰNG

Phạm Thị Loan, Nguyễn Hoài Thu,
Nguyễn Phan Anh, Trịnh Duy Thành
Khoa Xây dựng
loanpt@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 16/3/2022

Ngày PB đánh giá: 17/4/2022

Ngày duyệt đăng: 20/5/2022

TÓM TẮT:

Chuyển đổi số là một trong những mục tiêu được quan tâm hàng đầu của các doanh nghiệp công nghệ tại Việt Nam kể từ năm 2019. Chuyển đổi số ngành Xây dựng sẽ tạo cú hích tăng trưởng nhanh, bền vững cho Ngành và có đóng góp lớn cho tăng trưởng kinh tế quốc gia bởi đầu tư vào lĩnh vực xây dựng chiếm tỷ trọng lớn trong tổng vốn đầu tư toàn xã hội. Trong số nhiều các công nghệ mới được đã và đang được ứng dụng vào tương lai xây dựng, công nghệ in bê tông 3D là một điểm đáng chú ý và ghi dấu ấn mạnh mẽ trong vài thập kỉ gần đây. Nghiên cứu tập trung giải quyết ba nội dung cốt lõi, đó là (1) tổng quan về hướng chuyển đổi số trong ngành xây dựng; (2) giới thiệu về công nghệ xây dựng bằng máy in 3D; (3) các kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả từ đó đưa ra các đề xuất phát triển các sản phẩm bằng máy in 3D tại Việt Nam.

Từ khóa: Chuyển đổi số; ngành xây dựng; công nghệ; in bê tông 3D; sản phẩm in 3D.

RESEARCH AND APPLICATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGY – DIRECTION OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

ABSTRACT:

Digital transformation has been one of the top concerns of technology enterprises in Vietnam since 2019. Digital transformation of the Construction industry will create a fast and sustainable growth spur for this sector and make a great contribution to the national economic growth because the investment for the construction sector accounts for a large proportion of the total investment capital of the whole society. Among the many new technologies that have been and are being applied to the future of construction, 3D printing technology is a unique point and has made a strong impression in the last few decades. The research focuses on solving three core contents, which are (1) presenting an overview of the direction of digital transforming in the construction industry; (2) introducing about the construction technology using 3D printers; (3) showing the findings of the author's team, since making recommendations for the development of products using 3D printers in Vietnam..

Keyword: digital transformation, 3D concrete printing technology, construction technology; Vietnam; 3D printing products

1. GIỚI THIỆU

Xây dựng đã được gọi là khoa học của thực tế. Tuy nhiên, xây dựng là một trong những ngành bắt nhịp với cuộc cách mạng chuyển đổi kỹ thuật số tương đối muộn bởi những tính chất phức tạp trong quy trình thiết

kế, thi công, vận hành và bảo trì một công trình. Trong triển vọng dành cho ngành công nghệ xây dựng năm 2018, 53% chuyên gia xây dựng cho biết họ đã có kế hoạch áp dụng công nghệ trong doanh nghiệp trước cuối năm. Điều có thể cuối cùng đã trở thành thực tế [1].

Hơn vậy, đầu tư vào lĩnh vực xây dựng chiếm 30 – 40% tổng vốn đầu tư toàn xã hội. Do đó chuyển đổi số ngành Xây dựng sẽ tạo cú hích tăng trưởng nhanh, bền vững cho ngành và có đóng góp lớn cho tăng trưởng kinh tế quốc gia, đặc biệt là duy trì chuỗi cung ứng trong hoạt động đầu tư xây dựng, cung cấp dịch vụ cho người dân, doanh nghiệp trong đại dịch Covid-19 [2]. Tháng 9/2019, Bộ Chính trị Trung ương Đảng ban hành Nghị quyết số 52/NQ-TW “Về một số chủ trương chính sách, chủ động tham gia cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư”. Để thực hiện chủ trương đó, các nghiên cứu theo hướng phát triển đô thị thông minh bền vững đã được đồng đạo các bên liên quan và các nhà khoa học triển khai. Trong đó, các hoạt động liên quan đến công tác tư vấn thiết kế, tư vấn thẩm tra, thẩm định, thi công xây lắp, nghiệm thu công trình là một trong sáu nhóm lĩnh vực được ưu tiên tập trung nguồn lực cho nhiệm vụ chuyển đổi số.

Có thể nói, công tác tư vấn thiết kế và thi công, xây lắp công trình là các công việc chiếm phần lớn về thời gian và chi phí một công trình. Các công việc này sẽ trở nên hiệu quả và chất lượng hơn rất nhiều nếu ứng dụng công nghệ in 3D để thiết kế, thi công, xây lắp một công trình so với phương pháp xây dựng truyền thống hiện nay.

Để làm rõ được đóng góp của nghiên cứu và ứng dụng công nghệ in 3D tới hướng chuyển đổi số trong ngành xây dựng, bài viết trước hết làm rõ về (1) tổng quan các hướng chuyển đổi số trong ngành; (2) giới thiệu về công nghệ xây dựng bằng máy in 3D; (3) các kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả từ đó đưa ra các đề xuất phát triển các sản phẩm bằng máy in 3D tại Việt Nam.

2. TỔNG QUAN CÁC HƯỚNG CHUYỂN ĐỔI SỐ TRONG NGÀNH

Trong thời gian gần đây, chúng ta thường nghe đến khái niệm “chuyển đổi số” được nhắc đến rất nhiều trên các phương tiện truyền thông đại chúng. Chuyển đổi số đóng một vai trò quan trọng trong cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0. Khó có được một định nghĩa rõ ràng và cụ thể về chuyển đổi số, bởi vì quá trình áp dụng chuyển đổi số sẽ có sự khác biệt ở từng lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên, để có thể định nghĩa một cách ngắn gọn và dễ hiểu thì chuyển đổi số (Digital Transformation trong tiếng Anh) là sự tích hợp các công nghệ kỹ thuật số vào tất cả các lĩnh vực của một doanh nghiệp, tận dụng các công nghệ để thay đổi căn bản cách thức vận hành, mô hình kinh doanh và cung cấp các giá trị mới cho khách hàng của doanh nghiệp đó cũng như tăng tốc các hoạt động kinh doanh. Chuyển đổi số cũng là một sự thay đổi về văn hóa của các doanh nghiệp, đòi hỏi các doanh nghiệp phải liên tục thay đổi, thử nghiệm cái mới và thoải mái chấp nhận các thất bại.

“Chuyển đổi số” (Digital Transformation) có thể dễ bị nhầm lẫn với khái niệm “Số hóa” (Digitizing). Để phân biệt hai khái niệm này, có thể hiểu rằng “Số hóa” là quá trình hiện đại hóa, chuyển đổi các hệ thống thường sang hệ thống kỹ thuật số (chẳng hạn như chuyển từ tài liệu dạng giấy sang các file mềm trên máy tính, số hóa truyền hình chuyển từ phát sóng analog sang phát sóng kỹ thuật số...); trong khi đó, “Chuyển đổi số” là khai thác các dữ liệu có được từ quá trình số hóa, rồi áp dụng các công nghệ để phân tích, biến đổi các dữ liệu đó và tạo ra các giá trị mới hơn. Có thể xem “Số hóa” như một phần của quá trình “Chuyển đổi số”.

Công cuộc số hóa trong lĩnh vực xây dựng có thể được triển khai theo các nhóm công việc cụ thể như sau:

1. Thiết bị khảo sát và định vị: các thiết bị chụp ảnh độ phân giải cao và quét bằng laser 3D, máy bay không người lái và các phương tiện bay không người lái khác đã cải thiện đáng kể phạm vi và chất lượng hình ảnh phục vụ công tác khảo sát, định vị. Hình ảnh 3D có thể được đưa trực tiếp vào các công cụ lập kế hoạch dự án và phần mềm mô hình hóa thông tin xây dựng (BIM).

2. Lập kế hoạch dự án 5D: Dựa trên nền tảng cơ sở dữ liệu BIM, các nền tảng mới bổ sung thêm hai chiều khác về chi phí và lập kế hoạch tiến độ, được gọi là phương pháp 5D. Phương pháp 5D này đơn giản hóa phạm vi dự án và các thông số thiết kế dựa trên hình học, thông số kỹ thuật của dự án, mục tiêu thẩm mỹ, yêu cầu về nhiệt và các đặc tính âm thanh. Các công ty, người quản lý dự án và nhà thầu có thể ngay lập tức trên cùng một trang về những thay đổi sẽ ảnh hưởng như thế nào đến chi phí dự án và lên lịch.

3. Hợp tác kỹ thuật số và tính di động: Chuyển đổi kỹ thuật số sang một quy trình làm việc không cần giấy tờ và các thiết bị di động đã thúc đẩy việc ra quyết định và hợp tác hợp lý. Các kết quả ngay lập tức nhất là kỳ vọng cho các báo cáo tiến độ thời gian thực, đánh giá rủi ro chính xác hơn, đánh giá kiểm soát chất lượng chi tiết và kết quả tốt hơn. và các nhiệm vụ ký kết hợp đồng được hưởng lợi từ việc phân tích hiệu suất lịch sử không thể sử dụng biểu mẫu và báo cáo bằng giấy. Theo dõi thời gian di động, mã hóa chi phí, định vị địa lý của các nhà thầu và ghi nhật ký vấn đề được sắp xếp hợp lý chỉ là một vài trong số những tiến bộ phổ biến nhất.

4. Thiết kế tương lai: Một số tiềm năng thú vị và kỳ lạ nhất đã phát sinh từ việc phát triển vật liệu xây dựng mới đã được

thử nghiệm khả thi trong nhiều năm, ví dụ như bê tông tự phục hồi, aerogel và vật liệu nano. Ngoài ra còn có nhiều phương pháp tiếp cận mới cho quy trình xây dựng, chẳng hạn như công nghệ in 3D. Công nghệ xây dựng bằng những chiếc máy in 3D đã làm giảm đáng kể chi phí xây dựng và rút ngắn tiến độ dự án. Công nghệ xây dựng không ván khuôn cho phép có thể tạo ra các sản phẩm với bất kỳ hình dạng nào.

Có thể nói, bước qua năm 2021 và 5 năm giai đoạn 2021 - 2025 với nhiều sự kiện trọng đại của đất nước, ngành Xây dựng đã và đang tạo dựng được những tiền đề vững chắc, qua đó bắt nhịp, đồng thời đẩy mạnh thực hiện chuyển đổi số, hướng đến xây dựng và phát triển ngành Xây dựng hiện đại, bền vững, cùng với các Bộ ngành Trung ương, phấn đấu thực hiện thắng lợi “Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030”, hiện thực hóa mục tiêu đưa Việt Nam trở thành quốc gia số, ổn định và thịnh vượng, tiên phong thử nghiệm các công nghệ và mô hình mới. Giải pháp chuyển đổi số ngành xây dựng được một số chuyên gia đưa ra như minh họa trong Hình 1.



Hình 1. Giải pháp chuyển đổi số ngành xây dựng của [3].

3. CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG BẰNG MÁY IN 3D

In 3D là một dạng công nghệ được gọi là sản xuất đắp dần/đắp lớp (Additive

Manufacturing). Các quá trình đắp dần tạo ra các đối tượng theo từng lớp. Hiệp hội vật liệu và thử nghiệm Hoa Kỳ đã đưa ra một khái niệm rõ ràng về công nghệ sản xuất đắp dần: “Công nghệ sản xuất đắp dần là một quá trình sử dụng các nguyên liệu để chế tạo nên mô hình 3D, thường là chồng từng lớp nguyên liệu lên nhau, và quá trình này trái ngược với quá trình cắt gọt vẫn thường dùng để chế tạo xưa nay”.

Để bắt đầu in 3D, người ta cần một bản thiết kế vật thể 3D trên phần mềm CAD, một phần mềm quen thuộc hỗ trợ thiết kế trên máy tính. Mô hình của vật thể

hoặc được thiết kế trực tiếp trên phần mềm này hoặc được đưa vào phần mềm thông qua việc sử dụng thiết bị quét laser. Sau khi bản thiết kế được hoàn thành, ta cần tạo ra tài liệu STL (Standard Tessellation Language) một dạng tài liệu quen thuộc với công nghệ sản xuất đắp dần. Làm tessellate theo ngôn ngữ Tessellation chuẩn là chia một vật thể thành những đa giác nhỏ hơn, để mô phỏng cho cấu trúc bên ngoài và cả bên trong của vật thể. Đây là phần rất quan trọng trong sản xuất đắp dần. Quy trình của quá trình sản xuất đắp dần để hoàn thành một mẫu in được đưa ra như Hình 2.



Hình 2. Quy trình thực hiện in công trình bằng máy in 3D

Có thể nói, với chỉ hơn một thập niên phát triển thịnh vượng, công nghệ xây dựng bằng máy in 3D đã chinh phục các nhà đầu tư và các nhà nghiên cứu trên khắp thế giới bởi những thành tựu vượt xa kĩ thuật xây dựng truyền thống có được.

Các công trình nổi tiếng được xây dựng bằng công nghệ in 3D đã được ghi dấu trên khắp các châu lục với các sản phẩm đa dạng từ công trình dân dụng, công trình giao thông đến các công trình nghệ thuật như minh họa trong Hình 3.



Hình 3. Các công trình được xây dựng bằng công nghệ in 3D trên thế giới.

Công nghệ in 3D đã và đang tạo ra một cuộc cách mạng cho ngành xây dựng. So với phương pháp xây dựng truyền thống, xây dựng bằng công nghệ in 3D sử dụng

vật liệu in hoàn toàn khác biệt. Do vậy, nghiên cứu về vật liệu in cho công nghệ này là bài toán khởi đầu đóng vai trò quan trọng và quyết định đối với thành công

của công nghệ in 3D. Tuy nhiên, hiện nay các tiêu chuẩn quốc gia cho lĩnh vực này còn rất hạn chế mà chủ yếu dựa trên các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã thành công được công bố.

Hiện nay có nhiều phương pháp xây dựng một công trình bằng máy in 3D khác đã và đang được phát triển. Tiềm năng và

lợi thế của công nghệ xây dựng bằng máy in 3D ngày càng trở nên khả thi và thuyết phục. Ba loại công nghệ in 3D được ứng dụng chủ yếu trong lĩnh vực xây dựng là in đường biên, in đầy và in hình khối. Đi kèm với các công nghệ in này là các thiết bị in thường được thiết kế dạng rô bốt hoặc dạng khung, dàn như Hình 4.



Hình 4. Các công nghệ in: in biên, in đầy, in hình khối (từ trái qua phải)

Việc lựa chọn thiết bị in phù hợp với qui mô các sản phẩm in cần được xem xét do giá thành các thiết bị in dao động từ 600

triệu đồng đến 3,5 tỉ đồng tương ứng với kích cỡ sản phẩm in (dài x rộng x cao) từ 0,7x0,6x0,6m đến 9,0x1,8x1,5m như Hình 5.



Hình 5. Một số máy in bê tông 3D thương mại [4].

4. MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Tiêu chí đánh giá khả năng in được của vật liệu in

Với đặc tính nổi bật là xây dựng từng lớp nhưng không sử dụng ván khuôn, khả năng in của vật liệu in in 3D được xem xét thông qua khả năng đùn và khả năng xây

dựng, chúng có liên quan chặt chẽ đến các đặc tính lưu biến và đặc tính cơ học. Đây là những yếu tố quan trọng để quá trình in diễn ra thành công.

Sau khi trộn tạo thành cấp phối vật liệu in hoàn chỉnh, vật liệu in sẽ được đưa vào phễu của máy in, sau đó được đẩy đến bộ phận khuôn và được đùn ép ra ngoài bằng

vòi phun. Khả năng đùn được định nghĩa là khả năng vận chuyển vật liệu in in đến một vòi phun trong phễu của máy đùn dưới dạng một sợi liên tục. Có hai phương pháp đùn được sử dụng phổ biến nhất hiện nay là đùn trục vít và đùn pittong. Trong quá trình đùn, bê tông in phải đồng nhất và được đùn liên tục mà không có bất kỳ sự nứt vỡ, tắc nghẽn và phân đoạn nào.

Khả năng xây dựng của bê tông in đánh giá về việc khả năng chịu tải trọng bản thân của lớp bê tông sau in và tải trọng các lớp phía trên nó mà không bị sụp đổ trong quá trình in. Mặt khác, khả năng duy trì biến dạng hình học của nó phải nằm trong phạm vi được kiểm soát sau khi đùn. Chiều dày lớp bê tông in thường nhỏ (thay đổi từ 1 mm đến 10 cm) để giới hạn trọng lực ban đầu. Ứng suất cắt do trọng lực gây ra phải thấp hơn ứng suất chảy của vật liệu kết dính để duy trì hình dạng.

Trong nghiên cứu này, khả năng in được coi là khả năng của bê tông tươi (1) được ép đùn liên tục, không bị đứt gãy bề mặt; (2) không gây kẹt hoặc tắc vòi phun và (3) được chế tạo với độ biến dạng chấp nhận được trước khi đông kết, điều này cũng được các tác giả khác giải thích theo cách khác [3].

4.2. Phương pháp thiết kế cấp phối

Các phương pháp thiết kế cấp phối vật liệu in cần đáp ứng các yêu cầu về khả năng in có liên quan chặt chẽ đến máy in và quy trình in tương ứng; do vậy vừa in 3D khác với vừa in thông thường. Trong quá trình thiết kế cấp phối đó, khả năng đùn và khả năng xây dựng phải được xem xét đầu tiên để đảm bảo quá trình in thành công. Đầu tiên phải xác định nguyên liệu thô gồm xi măng và cát để đảm bảo yêu cầu về khả năng đùn phù hợp với kích thước vòi phun của máy in 3D. Phụ gia, tro bay, silica fume

và các sợi có thể được cho thêm vào để đáp ứng các yêu cầu về khả năng xây dựng, thời gian đông kết, cường độ, độ co ngót.

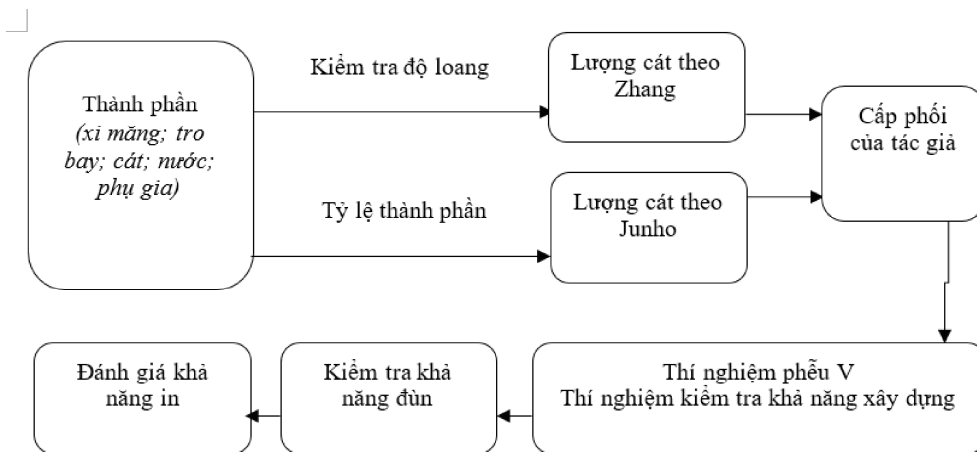
Một số phương pháp thiết kế cấp phối cho bê tông tự lèn có thể được sử dụng cho vừa in 3D vì hai loại cấp phối bê tông này có yêu cầu cao về đặc tính lưu biến. Khi sự phát triển của vừa in 3D đang ở giai đoạn đầu, các nghiên cứu về cách tiếp cận thiết kế hỗn hợp cho máy in 3D vẫn còn nhiều hạn chế. Do đó việc thiết kế cấp phối vừa in cần được chú trọng nhiều hơn để đạt hiệu quả cao trong tương lai gần. Dựa trên các kết quả nghiên cứu đã công bố, nhóm tác giả đề xuất ba hướng tiếp cận để thiết kế cấp phối cho vật liệu in: tiếp cận theo quan điểm ứng suất; tiếp cận theo độ loãng chất kết dính và tiếp cận theo hệ số tỉ lệ.

Theo cách tiếp cận quan điểm ứng suất, chỉ ra vật liệu in được với ứng suất chảy trong khoảng $1,5 \div 2,5$ kPa cụ thể là ứng suất chảy tĩnh cao hơn 4880 Pa và ứng suất chảy động thấp hơn 220 Pa [5], [6]dynamic yield stress. Cách thiết kế tiếp cận theo hướng này cho kết quả tương thích cao với khả năng in được của vật liệu. Tuy nhiên, đây là phương pháp thiết kế mang tính học thuật phức tạp, ứng dụng trong thực hành có đôi chút cồng kềnh và đòi hỏi tính chính xác.

Theo cách tiếp cận độ loãng của chất kết dính, các công thức đơn giản xác định tỉ lệ cốt liệu và chất kết dính được đưa một cách đơn giản [7], [8] Còn theo phương pháp tiếp cận hệ số, cấp phối được thiết kế thông qua hệ số liên quan giữa các thành phần vật liệu của cấp phối. Hệ số này được đưa ra dựa trên kinh nghiệm và quan điểm chủ quan của người thiết kế để tìm được các hệ số tối ưu giữa bài toán vật liệu và thiết bị in. Qua nhiều thí nghiệm in lặp đi, lặp lại, các hệ số này được điều chỉnh và

sao cho đảm bảo việc sử dụng cấp phối này để in được mẫu đảm bảo các điều kiện yêu cầu [9], [10] Trên cơ sở kế thừa đó, nhóm tác giả đã đưa ra được qui trình thiết kế cấp phối với cận trên và cận dưới tỉ lệ cát/chất kết dính như lần lượt là 2,4 và 0,4. Qui trình

được minh họa trong Hình 6. Theo qui trình đề xuất của nhóm tác giả, một số kết quả về thiết kế cấp phối vừa được thể hiện minh họa trong Bảng 1. Tất cả các cấp phối đều có tỷ lệ giữa tro bay với xi măng là 4: 6. Tỷ lệ nước trên tổng lượng chất kết dính là 0,3.



Hình 6. Quy trình thiết kế cấp phối bê tông in.

Bảng 1. Tỷ lệ cấp phối vữa

Cấp phối vữa	Cát	Phụ gia hóa dẻo
Z_2.4	2.4	1.2
J_0.4	0.4	0.2
M1_1.1	1.1	0.6
M2_0.8	0.8	0.4
M3_0.5	0.5	0.2

Ghi chú: tỷ lệ khối lượng trên tổng chất kết dính.

4.3. Các thể hệ thiết bị in và sản phẩm mẫu.

Trong suốt quá trình nghiên cứu, đến nay nhóm đã thực hiện nghiên cứu trên ba thể hệ thiết bị in bao gồm, đầu in, máy in cỡ nhỏ và máy in 3D như thể hiện trong Hình 7. Tất cả các thiết bị in này đều sử dụng đầu đùn theo nguyên lý trực vít.



(a) Đầu in trực vít



(b) Máy in bê tông cỡ nhỏ



(c) Máy in bê tông 3D

Hình 7. Các thể hệ thiết bị in tại Trường Đại học Hải Phòng [11].

Với mỗi thiết bị in, các cấp phối vật liệu in có những điều chỉnh để phù hợp. Cụ thể là, với đầu in đường kính cốt liệu lớn nhất có thể in lọt sàng 2,5mm; với máy in CNC cỡ nhỏ đường kính cốt liệu lớn nhất có thể in

lọt sàng 1,25mm; còn với máy in tầm trung thì đường kính cốt liệu lớn nhất có thể in lọt sàng 5,0mm. Các cấp phối được thiết kế phù hợp với thiết bị và kích cỡ mẫu in để cho ra các sản phẩm mẫu như hình ảnh trong Hình 8



(a) Mẫu in từ đầu in



(b) Mẫu in từ máy in bê tông cỡ nhỏ



(c) Mẫu in từ máy in bê tông 3D

Hình 8. Các mẫu sản phẩm đã in tại trường Đại học Hải Phòng.

4.4. Đề xuất phát triển các sản phẩm bằng máy in 3D tại Việt Nam

Công nghệ in 3D đã và đang tạo ra một cuộc cách mạng cho ngành xây dựng. So với phương pháp xây dựng truyền thống, xây dựng bằng công nghệ in 3D sử dụng vật liệu in hoàn toàn khác biệt. Do vậy, nghiên cứu về vật liệu in, thiết bị in và dòng sản phẩm cho công nghệ này là bài toán khởi đầu đóng vai trò quan trọng và quyết định đối với thành công của công nghệ in 3D. Tuy nhiên, hiện nay các tiêu chuẩn quốc gia cho lĩnh vực này còn rất hạn chế mà chủ yếu dựa trên các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã thành công được công bố. Vậy nên, nhóm nghiên cứu đề xuất một số lựa chọn về dòng sản phẩm định hướng được

xây dựng bằng máy in 3D trong thời gian tới tại Việt Nam là tập trung vào nhóm các sản phẩm phục vụ công trình công cộng (Hình 9) như bàn ghế, biểu tượng nghệ thuật, tường hoa, trạm xe buýt, nhà vệ sinh công cộng, nhà gom rác... sẽ đáp ứng được yêu cầu về nghiên cứu khoa học và ứng dụng của sản phẩm. Bởi lẽ, sản phẩm sau khi hoàn thiện có thể đưa vào thực tiễn sản xuất đại trà và sử dụng tại các trạm xe buýt, các bất cảnh sát trong thành phố. Nhà vệ sinh công cộng, các biểu tượng nghệ thuật với ý tưởng kiến trúc phức tạp và độc đáo có thể được sản xuất và bố trí trong các công viên. Tất cả sẽ tạo ra một nét đặc sắc về diện mạo đô thị cho các công trình công cộng trong tương lai.



Hình 9. Các sản phẩm công trình công cộng được in trên thế giới [12].

5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các nội dung nghiên cứu được trình bày trong bài viết, một số kết luận được đưa ra như sau:

(1) Công nghệ in 3D trong lĩnh vực xây dựng là một hướng chuyển đổi số có tính khả thi cao trong tương lai cho ngành

công nghiệp xây dựng.

(2) Xây dựng công trình bằng những chiếc máy in 3D sẽ tạo ra một cuộc cách mạng đối với công tác thiết kế, thi công và đào tạo nhân lực cho ngành.

(3) Các tiêu chí đánh giá khả năng in được của vật liệu in được bài báo đưa ra có

tính thực hành và phù hợp với gia đoạn phát triển hiện nay.

(4) Quy trình thiết kế cấp phối được đề xuất dựa trên nghiên cứu thực nghiệm là một đóng góp có ý nghĩa để giải quyết bài toán đầu vào của vật liệu in.

(5) Các thể hệ thiết bị in được phát triển từng bước tạo nền tảng vững chắc cho việc tiếp cận công nghệ in 3D.

(6) Đề xuất các sản phẩm sản xuất bằng máy in 3D có ý nghĩa định hướng và đẩy nhanh tính ứng dụng thực tiễn của hướng chuyển đổi số trong lĩnh vực xây dựng tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. “Chuyển đổi số trong ngành công nghiệp Xây dựng” <https://dbim.vn/chuyen-doi-so-trong-nganh-cong-nghiep-xay-dung/>.
2. V. N. Anh, “Chuyển đổi số ngành Xây dựng: Cơ hội và thách thức,” Online. Available: <https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/chuyen-doi-so-nganh-xay-dung-co-hoi-va-thach-thuc.html>.
3. “Kế hoạch chuyển đổi số ngành xây dựng.” <https://fsivietnam.com.vn/ke-hoach-chuyen-doi-so-nganh-xay-dung/>.
4. Tianjin, “3D PRINTING EQUIPMENT,” *Huachuang Intelligent Manufacturing*, 2021. <http://www.ciicchina.com/>.
5. Z. Liu, M. Li, Y. Weng, T. N. Wong, and M. J. Tan, “Mixture Design Approach to optimize the rheological properties of the material used in 3D cementitious material printing,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 198, pp. 245–255, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.252.
6. Y. Weng, M. Li, M. J. Tan, and S. Qian, “Design 3D printing cementitious materials via Fuller Thompson theory and Marson-Percy model,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 163, pp. 600–610, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.112.
7. C. Zhang, Z. Hou, C. Chen, Y. Zhang, V. Mechtcherine, and Z. Sun, “Design of 3D printable concrete based on the relationship between flowability of cement paste and optimum aggregate content,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 104, no. August, p. 103406, 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2019.103406.
8. Y. Wei, D. Tay, Y. Qian, and M. J. Tan, “Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test,” *Compos. Part B*, vol. 174, no. May, p. 106968, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.106968.
9. J. H. Jo, B. W. Jo, W. Cho, and J. H. Kim, “Development of a 3D Printer for Concrete Structures: Laboratory Testing of Cementitious Materials,” *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 14, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s40069-019-0388-2.
10. A. V. Rahul, M. Santhanam, H. Meena, and Z. Ghani, “3D printable concrete: Mixture design and test methods,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 97, no. March 2018, pp. 13–23, 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.12.014.
11. N. D. Viet, “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thiết bị phục vụ thí nghiệm vật liệu in 3D trong xây dựng,” Haiphong University, 2021.
12. Winsun, “Products,” 2021. <http://www.winsun3d.com/En/Product/>.