

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

Ngành xây dựng không ngừng tìm kiếm những cách thức mới để nâng cao hiệu quả, nhiều công nghệ mới đã và đang được ứng dụng. Tuy nhiên, phương pháp xây dựng truyền thống vẫn không thay đổi trong nhiều thập kỷ qua, làm cho quá trình xây dựng kéo dài, không tối ưu nguồn lực dẫn đến giảm hiệu quả đầu tư xây dựng. Công nghệ in 3D là một công nghệ mới đầy hứa hẹn góp phần nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng và hạn chế tác động tiêu cực đến môi trường. Công nghệ in 3D sử dụng vật liệu bê tông là công nghệ có thể cho phép sản xuất cấu kiện kiến trúc, xây dựng mà không cần sử dụng ván khuôn, giúp mang lại nhiều lợi ích hơn so với phương pháp truyền thống. Trong khi công nghệ in 3D đã được áp dụng thành công trong một loạt các lĩnh vực như y tế, giáo dục, hàng không vũ trụ, ô tô v.v., thì ứng dụng của công nghệ này trong ngành xây dựng vẫn còn ở giai đoạn đầu. Trong vài năm qua, nhiều loại công nghệ in bê tông 3D khác nhau đã được phát triển và ứng dụng.

1. Nội dung chính

1.1 GIỚI THIỆU

Những thách thức trong ngành xây dựng hiện nay như tốc độ xây dựng chậm, quá trình thi công xây dựng gồm nhiều bước, mỗi bước đều tốn nhiều thời gian và công sức, công nghệ thi công hiện nay đang sử dụng nhiều nhân công lao động và tình trạng mất an toàn lao động là rất đáng quan ngại, ngoài ra các phương pháp thi công xây dựng và vật liệu xây dựng hiện tại không thân thiện với môi trường. Toàn bộ quá trình xây dựng, bao gồm sản xuất chế tạo sẵn, vận chuyển vật liệu, thi công xây dựng trên công trường đã thải ra một lượng lớn khí nhà kính và tiêu thụ một lượng lớn năng lượng, gây ô nhiễm môi trường. Do đó vấn đề đặt ra là phải áp dụng những công nghệ tiên tiến trong ngành xây dựng, trong đó công nghệ in bê tông 3D đang cho thấy những ưu điểm rõ rệt.

Kể từ khi phát hiện ra bê tông hiện đại vào thế kỷ 19, nhiều nhà nghiên cứu đã tìm cách tự động hóa việc xây dựng sử dụng vật liệu bê tông. Nhiều công nghệ xây dựng sử dụng vật liệu bê tông đã được phát triển, như công nghệ bơm bê tông và công nghệ phụ gia. Một nỗ lực lớn gần đây đối với ngành xây dựng dựa trên ý tưởng mới là các kỹ thuật sản xuất bồi đắp. Sản xuất bồi đắp được định nghĩa là quy trình ghép các lớp vật liệu để tạo các vật thể từ dữ liệu mô hình số 3D, trái ngược với các phương pháp sản xuất trừ (như điêu khắc). Trong đó nổi bật là công nghệ in 3D sử dụng vật liệu bê tông.

Công nghệ in bê tông 3D đề cập đến một quy trình sản xuất bồi đắp tự động, trong đó các đối tượng in được tạo ra bằng cách liên kết các lớp vật liệu kế tiếp chồng lên nhau. Quá trình bắt đầu với việc tạo ra một mô hình 3D bằng phần mềm CAD (Computer Aided Design). Mô hình sau đó được nhập vào máy in bê tông 3D bằng định dạng tệp .STL

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

(Stereolithography Language) là định dạng tệp phổ biến hiện nay, từ đây mô hình được chia thành các lớp có thể liên kết với nhau để tạo thành đối tượng in 3D. Trong những năm gần đây, công nghệ in bê tông 3D đã nhận được rất nhiều sự chú ý từ ngành xây dựng như một phương pháp thi công xây dựng đầy triển vọng. Công nghệ in bê tông 3D giúp tiết kiệm thời gian, vật liệu, nhân công bằng cách giảm hao hụt vật liệu, hạn chế hoặc không sử dụng ván khuôn từ đó giúp giảm chi phí. Ngoài ra, công nghệ này cũng hạn chế việc sao chép, giúp các nhà thiết kế có thể làm cho công trình trở có tính chất riêng so với các công trình khác.

Hiện nay việc áp dụng công nghệ in bê tông 3D trong ngành xây dựng vẫn gặp nhiều rào cản nhất định như còn nhiều hạn chế về mặt công nghệ, chi phí đầu tư cũng như chất lượng của các sản phẩm được chế tạo bằng công nghệ này.

Tuy nhiên, với sự phát triển của khoa học công nghệ, việc áp dụng các tiến bộ khoa học công nghệ trong ngành xây dựng là tất yếu. Trong đó, việc áp dụng công nghệ in bê tông 3D trong xây dựng có thể giải quyết những vấn đề nan giải hiện nay của ngành xây dựng. Bài báo giới thiệu các công nghệ in bê tông 3D và so sánh tính khả thi của các công nghệ này ứng dụng trong ngành xây dựng Việt Nam.

1.2 TỔNG QUAN

Ứng dụng của công nghệ in bê tông 3D trong ngành xây dựng là để chế tạo các cấu kiện kiến trúc, xây dựng. Mặc dù việc ứng dụng công nghệ in bê tông 3D vẫn còn ở giai đoạn đầu, tuy nhiên những nỗ lực nhằm đưa công nghệ này ứng dụng có hiệu quả hơn trong ngành xây dựng đã và đang được thực hiện trên toàn thế giới. Công nghệ in bê tông 3D là một công nghệ mới, nhằm mục đích giảm thiểu thời gian của quá trình xây dựng bằng cách loại bỏ một số quy trình tốn thời gian của phương pháp truyền thống, giảm các chi phí thông qua việc giảm thiểu khối lượng phát sinh, giảm nhân công lao động, đồng thời dễ dàng tạo ra những cấu kiện có hình dạng phức tạp với độ chính xác cao mà khó có thể thực hiện được bằng phương pháp truyền thống, cải thiện tác động tiêu cực của ngành xây dựng lên môi trường. Công nghệ in bê tông 3D có khả năng chế tạo cấu kiện kiến trúc, xây dựng được thiết kế trước bằng cách liên kết các lớp vật liệu chồng lên nhau theo một quy tắc nhất định.

Hiện nay, việc ứng dụng công nghệ in bê tông 3D trong ngành xây dựng còn nhiều vấn đề nan giải. Các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra một số rào cản về vấn đề này như khả năng làm việc của cấu kiện được sản xuất bằng công nghệ in bê tông 3D hiện nay còn nhiều hạn chế về khả năng chịu lực so với các phương pháp sản xuất cấu kiện bê tông

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

truyền thống tính đến thời điểm hiện tại. Những thách thức hiện tại trong thương mại hóa công nghệ in bê tông 3D như thiếu tiêu chuẩn, chi phí đầu tư lớn, các cấu kiện được chế tạo chưa đảm bảo chất lượng. Tuy nhiên lợi ích của công nghệ này đối với ngành xây dựng là rất to lớn như hạn chế hao hụt vật liệu, giảm đáng kể nhân công, đồng thời giảm thời gian thi công xây dựng. Nhiều nghiên cứu cũng đề cập đến khả năng áp dụng của các công nghệ in bê tông 3D trong xây dựng như việc áp dụng công nghệ Contour Crafting trong thi công xây dựng và khẳng định công nghệ Contour Crafting là một trong số rất ít các công nghệ khả thi có thể áp dụng trong ngành xây dựng [1]. S. Lim và cộng sự đã sử dụng công nghệ in bê tông 3D trong việc sản xuất các cấu kiện xây dựng quy mô lớn và đánh giá lợi ích của công nghệ này so với công nghệ xây dựng truyền thống [2].

Các nghiên cứu về việc chế tạo, kiểm định vật liệu in và cấu kiện in đã được thực hiện trong nhiều năm qua, như đánh giá và sửa đổi chất lượng in, độ ổn định hình dạng của hỗn hợp vật liệu in [3], sử dụng các vật liệu in khác nhau để chế tạo và kiểm tra khả năng tạo ra các cấu kiện có cấu trúc phức tạp cũng như cường độ của sản phẩm được chế tạo bằng công nghệ in bê tông 3D [4], nghiên cứu tối ưu hóa vật liệu và máy in chế tạo các cấu kiện phù hợp để ứng dụng trong quy mô nhỏ, qua đó chứng minh công nghệ in bê tông 3D này không chỉ là một công cụ đầy hứa hẹn cho thiết kế kết cấu, mà còn là một công cụ tiềm năng cho thiết kế kiến trúc [5]. Phát triển phương pháp để tạo ra các cấu kiện dựa trên geopolyme được sử dụng trong các máy in 3D sử dụng kỹ thuật lắng đọng bột có bán trên thị trường cho các ứng dụng xây dựng [6].

Nhìn chung, các nghiên cứu trên đã chỉ ra một số phạm vi áp dụng, lợi ích, khả năng áp dụng cũng như rào cản của công nghệ in bê tông 3D trong ngành xây dựng trên thế giới.

1.3 CÁC CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D

Trong những năm qua, nhiều công nghệ in bê tông 3D khác nhau đã được phát triển để ứng dụng trong ngành xây dựng. Những công nghệ in bê tông 3D này chủ yếu dựa trên hai kỹ thuật chính, đó là kỹ thuật ép đùn (Extrusion-Based Technique) và kỹ thuật lắng đọng bột (Powder-Based Technique).

1.3.1 Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật ép đùn

Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật ép đùn tương tự như phương pháp nóng chảy lắng đọng FDM (Fused Deposition Modelling). Theo đó, vật liệu in sẽ đi qua từ một đầu in được gắn trên cần trục hoặc cánh tay robot để in một đối tượng theo từng lớp vật liệu. Các công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật này tiêu biểu như:

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

1.3.1.1. * Công nghệ Contour Crafting

Contour Crafting là một phương pháp của quy trình sản xuất nhiều lớp sử dụng polymer, bùn gốm, bê tông, và một loạt các vật liệu và hỗn hợp khác để xây dựng các vật thể quy mô lớn với bề mặt mịn. Những ưu điểm chính của công nghệ này là tốc độ chế tạo nhanh hơn và khả năng tích hợp với các phương pháp khác để lắp đặt các bộ phận như đường ống, dây điện và cốt thép. Công nghệ Contour Crafting cho ra sản phẩm có bề mặt hoàn thiện vượt trội và tốc độ sản xuất được tăng cường đáng kể.

1.3.1.2. * Công nghệ Concrete Printing

Công nghệ Concrete Printing đã được nghiên cứu và phát triển tại Đại học Loughborough ở Vương quốc Anh. Công nghệ này cũng sử dụng kỹ thuật dựa trên ép đùn và ở một mức độ nào đó tương tự như công nghệ Contour Crafting. Tuy nhiên, công nghệ Concrete Printing đã được phát triển cho phép kiểm soát tốt hơn cấu trúc của sản phẩm in. Ngoài ra, vật liệu được sử dụng trong in bê tông là bê tông cốt liệu sợi tổng hợp cường độ cao nên tính chất của vật liệu vượt trội so với các vật liệu được sử dụng trong công nghệ Contour Crafting [2].

1.3.1.3. * Công nghệ Concrete On-Site 3D Printing

Công nghệ Contour Crafting và Concrete Printing ngoài những ưu điểm so với các công nghệ truyền thống thì vẫn tồn tại một số hạn chế như sự cần thiết phải sử dụng máy móc mới và tiên tiến, kích thước cốt liệu nhỏ (thường sử dụng vữa tổng hợp thay vì bê tông thông thường) và kích thước hạn chế của sản phẩm in (tức là kích thước của máy in 3D phải lớn hơn kích thước của phần tử được in). Để khắc phục những hạn chế này, một công nghệ mới là công nghệ Concrete On-Site 3D Printing, được phát triển tại TU Dresden, Đức. Ưu điểm chính của công nghệ này là tính linh hoạt hình học cao và ít phụ thuộc vào nhân công lành nghề [7].

Một trong những ưu điểm của công nghệ in bê tông 3D tại chỗ không chỉ là phát triển quy trình xây dựng tiên tiến hiệu quả về thời gian, lao động và tài nguyên mà còn làm cho quy trình mới có hiệu quả kinh tế trong khi đạt được sự chấp nhận rộng rãi hơn trong ngành xây dựng. Điều này đạt được bằng cách sử dụng các kỹ thuật sản xuất và xây dựng hiện có càng nhiều càng tốt và bằng cách điều chỉnh quy trình mới với các hạn chế của công trường xây dựng [7].

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

1.3.1.4. * Công nghệ in bê tông 3D quy mô lớn sử dụng bê tông cường độ cao (Large-Scale 3DCP using Ultra-High Performance Concrete)

Qua việc nghiên cứu những hạn chế của các công nghệ Contour Crafting và công nghệ Concrete Printing đã đề cập ở trên, một công nghệ mới đã được một nhóm nghiên cứu ở Pháp giới thiệu với quy mô áp dụng lớn, sử dụng bê tông cường độ cao (UHPC). Công nghệ này được phát triển dựa trên kỹ thuật ép đùn để in bê tông cường độ cao theo từng lớp thông qua một đầu in đùn được gắn trên cánh tay robot. Ưu điểm chính của công nghệ này là cho phép sản xuất cấu kiện với hình dạng phức tạp với quy mô lớn mà không cần ván khuôn [8].

1.3.2 Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột (Powder-based Technique)

Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột là một quy trình chế tạo cộng điển hình khác tạo ra các cấu kiện với hình học phức tạp bằng cách lắng đọng chất lỏng kết dính một cách chọn lọc. Kỹ thuật này là một quy trình ngoài công trường được thiết kế để sản xuất các cấu kiện đúc sẵn. Một số công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột được liệt kê dưới đây.

1.3.2.5. * Công nghệ in ba chiều (D-Shape)

Công nghệ D-Shape được phát triển bởi Enrico Dini sử dụng kỹ thuật dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột để làm cứng một lớp vật liệu quy mô lớn. Xi măng cát và magiê oxychloride (còn được gọi là xi măng Sorel) được sử dụng làm vật liệu xây dựng và chất kết dính tương ứng [9].

1.3.2.6. * Công nghệ đối tượng mới (Emerging Objects)

Công nghệ đối tượng mới (Emerging Objects) được phát triển ở Hoa Kỳ sử dụng kỹ thuật lắng đọng bột để làm cứng có chọn lọc một công thức hỗn hợp xi măng bằng cách lắng đọng một tác nhân liên kết.

1.3.2.7. * Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột sử dụng Geopolymer (Powder-based 3DCP using Geopolymer)

Công nghệ in bê tông 3D dựa trên kỹ thuật lắng đọng bột sử dụng Geopolymer có khả năng sản xuất các cấu kiện xây dựng với chi tiết và hình dạng phức tạp. Công nghệ dựa trên lắng đọng bột có tiềm năng để sản xuất các cấu kiện xây dựng với độ bền cao và tốc độ hợp lý để đáp ứng nhu cầu sản xuất quy mô công nghiệp [10].

1.4 KẾT LUẬN

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

Ưu điểm chính của công nghệ in ba chiều là sản phẩm tạo ra có kết cấu chắc chắn nhưng có nhược điểm là công nghệ này tốn nhiều công sức và rắc rối. Công nghệ Contour Crafting và Concrete Printing đều dựa trên kỹ thuật ép đùn, điều này làm cho chúng rất giống nhau, lợi thế của công nghệ Contour Crafting so với công nghệ Concrete Printing là độ mịn của bề mặt sản phẩm, tuy nhiên sản phẩm được sản xuất bằng công nghệ Concrete Printing có kết cấu chắc chắn hơn so với công nghệ Contour Crafting, nhưng sản phẩm sản xuất bằng công nghệ Concrete Printing lại có kích thước hạn chế hơn.

Dựa trên các phân tích ở trên, mặc dù công nghệ in bê tông 3D vẫn là một công nghệ mới nổi, khả năng ứng dụng trong xây dựng còn hạn chế, đặc biệt là đối với quy mô sản xuất tại chỗ trên công trường, nhưng với phát triển nhanh chóng của công nghệ này, việc in các cấu kiện bê tông ở quy mô lớn sẽ thành hiện thực trong tương lai gần.

2. TÀI LIỆU TRÍCH DẪN

- [1]. P. Sharma, "Automated Construction by Contour Crafting," Journal of advance research in mechanical & civil engineering, 2015.
- [2]. S. Lim, R. A. Buswell, T. T. Le, S. A. Austin, A. G. .. F. Gibb and T. Thorpe, "Developments in construction-scale additive manufacturing processes," Automation in construction, vol. 21, pp. 262-268, 2012.
- [3]. A. Kazemian, X. Yuan, R. Meier and B. Khoshnevis, "Performance-based testing of Portland cement concrete for construction-scale 3D printing," 3D Concrete Printing Technology, pp. 13-35.
- [4]. B. P, J. Scott Z, B. Isaiah R and P. Max A, "Towards the formulation of robust and sustainable cementitious binders for 3D additive construction by extrusion," 3D Concrete Printing Technology, pp. 307-331, 2019.
- [5]. Z. Malaeb, F. AlSakka and F. Hamzeh, "3D concrete printing: machine design, mix proportioning, and mix comparison between different machine setups," 3D concrete printing technology, pp. 115-136, 2019.
- [6]. B. Nematollahi, M. Xia, P. Vijay and J. G. Sanjayan, "Properties of extrusion-based 3D printable geopolymers for digital construction applications," 3D Concrete Printing Technology, pp. 371-388, 2019.

	VIETTEL AI RACE	TD004
	TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ IN BÊ TÔNG 3D	Lần ban hành: 1

[7]. N. V.N, K. M, N. M and M. V, CONPrint3D - 3D printing technology for onsite construction, Concrete in Australia, 2016.

[8]. Y. JunNam, Y. Kwang, H. Woon and P. MookLim, "Fiber-reinforced cementitious composite design with controlled distribution and orientation of fibers using three-dimensional printing technology," 3D Concrete Printing Technology, pp. 59-72, 2019.

[9]. G. Cesaretti, E. Dini, X. Kestelier, V. Colla and L. Pambaguian, "Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology," Acta Astronautica, vol. 93, pp. 430-450, 2014.

[10]. M. Xia and J. Sanjayan, "Method of formulating geopolymer for 3D printing for construction applications," Materials & Design, vol. 110, pp. 382-390, 2016

2025-09-23 22.47.37_AI Race

2025-09-23 22.47.37_AI Race

2025-09-23 22.47.37