©Faculty of Fine and Applied Arts, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (FA_RMUTT)
FARAA Journal of fine arts research and applied arts
https://so05.tci-thaijo.org/index.php/arts/index
e-ISSN 2822-0048
JOURNAL OF FINE ARTS RESEARCH AND APPLIED ARTS
Vol.12 No.1 (January-April 2025)

Academic Articles

https://doi.org/10.60101/faraa.2025.271410

Analysis on the Current Situation of 3D Concrete Printing in Contemporary Chinese Architecture

Zhizhi Liu*
Isarachai Buranaut
Faculty of Decorative Arts Silpakorn University
***Corresponding author e-mail: 411916483@qq.com**

Abstract

From the economic development of the People's Republic of China during the near term. 3D concrete printing is a new working technique. It's starting to become popular in Chinese architecture with its smart manufacturing industry and its use in creating green buildings. It has become an important development trend in Chinese architecture. The benefits of this automated 3D concrete printing system will be a new approach in the emerging construction industry.

The author has compiled the modern architectural development trends of Chinese architecture with research results at home and abroad. Consider the equipment for 3D concrete printing and the main admixture materials used in concrete printing. Including parts that help improve printing efficiency. To create some new design guidelines derived from the author's research on the Lotus Bionic parametric design of contemporary Chinese architecture. We have studied and analyzed some of the content along with some useful design guidelines. To jointly support the development of China's digital construction industry, which is changing for the better. It has created a new and smooth approach to intelligent construction in China's construction industry this time.

Keyword: 3D Printing, Printing Concrete Materials, Augmentation technology, Smart Construction Upgrade

การวิเคราะห์สถานการณ์การพิมพ์คอนกรีตสามมิติ ในสถาปัตยกรรมร่วมสมัยของจีน

ซูชิ หลุย*
อิสรชัย บูรณะอรรจน์
คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
***อีเมลผู้ประสาน : 411916483@qq.com**

บทคัดย่อ

จากการพัฒนาทางเศรษฐกิจของสาธารณรัฐประชาชนจีนในช่วงระยะเวลาอันใกล้นี้ การพิมพ์คอนกรีตสามมิติถือเป็นเทคนิคการทำงานรูปแบบใหม่ ที่กำลังเริ่มได้รับความนิยมในงานสถาปัตยกรรมของจีนที่มีความเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่ชาญฉลาดกับการนำมาใช้สร้างอาคารสีเขียวอยู่ในขณะนี้ ได้กลายเป็นแนวโน้มการพัฒนาที่สำคัญของวงการสถาปัตยกรรมจีน ข้อดีของระบบการพิมพ์คอนกรีตสามมิติอัตโนมัตินี้จะเป็นแนวทางใหม่ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่กำลังเกิดขึ้น

ผู้เขียนได้นำแนวโน้มการพัฒนาสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ของสถาปัตยกรรมจีนมาผนวกเข้ากับผลการวิจัยของทั้งภายในและต่างประเทศ มาประกอบการพิจารณาเรื่องอุปกรณ์ในการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ และวัสดุส่วนผสมที่ใช้ในการพิมพ์คอนกรีตเป็นหลัก รวมทั้งส่วนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการพิมพ์ เพื่อนำมาใช้สร้างแนวทางการออกแบบขึ้นใหม่ที่ได้ผลส่วนหนึ่งมาจากงานวิจัยเรื่อง การออกแบบพาราเมตริกโลตัสไบโอนิคของสถาปัตยกรรมจีนร่วมสมัยของผู้เขียน ที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลส่วนหนึ่งของเนื้อหากับแนวทางการนำโปแกรมการออกแบบมาใช้ที่เป็นประโยชน์ เพื่อร่วมสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมดิจิทัลในการก่อสร้างของจีนที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ทำให้เกิดความราบรื่นของการก่อสร้างอัจฉริยะแนวทางใหม่ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของจีนครั้งนี้

คำสำคัญ: การพิมพ์สามมิติ, วัสดุพิมพ์ภาพคอนกรีต, การก่อสร้างอัจฉริยะ, การเปลี่ยนแปลงพัฒนา

© วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์

1. บทนำ (Introduction)

สำหรับบทความนี้เป็นบทความเชิงวิชาการ ที่ได้เนื้อหาจากการศึกษามาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหลัก โดยจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของภาคเศรษฐกิจจีนและวิถีชีวิตของประชาชนภายในประเทศ การพัฒนาด้านอสังหาริมทรัพย์จะมีการเติบโตขึ้นไปทุก ๆ ปี โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่เจริญขึ้นไปพร้อม ๆ กับการใช้เทคโนโลยี ปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิตินับเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น (Sun et al., 2020) มีจุดเด่นในด้านต่าง ๆ อาทิ การขึ้นรูปแบบไร้แม่พิมพ์ที่เป็นจุดอันโดดเด่นของการพิมพ์สามมิติสมัยใหม่ สามารถช่วยลดวัสดุในหลาย ๆ อย่างลง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพอันยอดเยี่ยมในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้ โดยเฉพาะกับการนำมาใช้ในการก่อสร้างที่สามารถช่วยลดโครงสร้าง ใช้วัสดุให้มีความเหมาะสมมีความปลอดภัยขึ้นได้ ทำให้วงการของอุตสาหกรรมการก่อสร้างเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น การพิมพ์จากวัสดุคอนกรีตสามมิตินี้มีศักยภาพพิเศษอันเป็นเอกลักษณ์สามารถสร้างโครงสร้างทางเรขาคณิตที่มีความซับซ้อนรวมถึงสร้างลวดลายไปพร้อม ๆ กันได้ เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติเป็นแนวโน้มการพัฒนาของการก่อสร้างอัจฉริยะของวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่เป็นจุดเด่นของการสร้างอาคารสีเขียวที่ช่วยร่วมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของจีนในปัจจุบัน ด้วยเหตุผลนี้ในบทความจะกล่าวถึงภาพรวมของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติที่พบเห็นได้บ่อย โดยวิเคราะห์ผลจากระบบการพิมพ์สามมิติทั่วไปที่ใช้อยู่มาผนวกใช้ต่อการพิมพ์สามมิติในการก่อสร้างและทำการสรุปถึงสถานการณ์การใช้เทคโนโลยีภาพพิมพ์ในการแปรรูปการผลิตในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ณ ปัจจุบัน

รูปแบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปของจีนโดยพื้นฐานแล้วยังคงใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบดั้งเดิม เพียงแต่เปลี่ยนจากการปล่อยคอนกรีตที่ไซต์งานไปเป็นการขึ้นรูปและผลิตที่โรงงาน โดยไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในแง่ของเชิงคุณภาพ (Meng et al., 2021) จากการพัฒนาของเทคโนโลยีที่ก้าวกระโดด รูปแบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปในการพิมพ์สามมิติจะใช้ข้อมูลดิจิทัลแปลงเป็นแบบจำลอง ทำให้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติได้รับความสนใจและการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง โดยเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติได้นำการเปลี่ยนแปลงเชิงนวัตกรรมมาสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างของจีน ด้วยความโดดเด่นในเรื่องของประสิทธิภาพระดับสูง ส่วนนี้จะนำไปสู่ความยั่งยืนและความเป็นเอกลักษณ์ของจีน

กรณีตัวอย่างที่มีการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในสถาปัตยกรรมของจีนนั้น มีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายในสวนนวัตกรรมแห่งหนึ่งในเขตการค้าเสรีนำร่องเซี่ยงไฮ้ ได้มีการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในการพิมพ์ตึกสำนักงานที่มีรูปทรงโค้ง ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการรวมกันระหว่างเทคโนโลยีและศิลปะ ส่วนนวัตกรรมเทคโนโลยีนี้ นับวันก็ยิ่งมีการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติเพื่อสร้างอาคารที่มีเอกลักษณ์เพิ่มมากขึ้นอยู่ในมณฑลหูหนาน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนมีเขตชุมชนนามว่า “บ้านแสงอาทิตย์” ที่สร้างด้วยทุนต่ำ ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในการสร้างบ้านเล็ก ๆ จำนวนหลายสิบหลัง ลดต้นทุนการก่อสร้างอาคารได้มาก เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติได้มอบสภาพแวดล้อมในการใช้ชีวิตที่มีคุณภาพสูงให้แก่ผู้อยู่อาศัย เป็นนวัตกรรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับโครงการบ้านจัดสรรราคาประหยัดในจีน ในแง่ของสถาปัตยกรรมทางวัฒนธรรมในจุดชมวิวของสวนแบบดั้งเดิมในมณฑลเจ้อเจียง มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการพิมพ์อาคารในสวนที่สวยงาม อันมีความประณีตงดงาม มีความสำคัญทางวัฒนธรรมและมีคุณค่าทางศิลปะที่ชัดเจนขึ้น แนวคิดความคิดในการออกแบบที่ผนวกรวมความดั้งเดิมและความเป็นยุคสมัยใหม่ไว้ด้วยกัน แสดงให้เห็น

© วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์

ถึงเสน่ห์ของวัฒนธรรมดั้งเดิมของจีน รวมทั้งในด้านอื่น ๆ ของการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในเมือง สะพาน อุโมงค์และโครงสร้างอื่นๆ ในเมืองใหญ่ในจีน สามารถใช้เทคโนโลยีนี้เพื่อการก่อสร้างที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะช่วยประหยัดได้ทั้งเวลาและต้นทุน

Figure 1 แสดงตัวอย่างสถาปัตยกรรมจากงานพิมพ์สามมิติที่ร่วมกับสิ่งแวดล้อม
Source: Han (2021)

2. เนื้อหาของเรื่อง (Content of the story)

หลักการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางการออกแบบ

การศึกษาในส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวกับสถานการณ์การพิมพ์คอนกรีตสามมิติในสถาปัตยกรรมร่วมสมัยของจีนที่ใช้กันอยู่ มีปัจจัยที่จะต้องศึกษาในเรื่องโครงสร้างของระบบการพิมพ์ขนาดใหญ่ที่ใช้กันใน 4 รูปแบบ เป้าหมายเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมในรูปแบบใหม่ รวมทั้งการศึกษาในเรื่องส่วนผสมของวัสดุคอนกรีตที่นำมาใช้ในการพิมพ์เพื่อสร้างแนวทางการออกแบบผลส่วนหนึ่งของการวิจัยขึ้น เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในมิติของการก่อสร้างจีนร่วมสมัยได้นำความท้าทายใหม่มาสู่อุตสาหกรรมการก่อสร้าง การวิเคราะห์และประเมินสถานการณ์ภาพรวมในปัจจุบันผ่านเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติย่อมมีอิทธิพลต่อการใช้งานจริงในตลาดการก่อสร้างของจีนในช่วงอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ขณะเดียวกันจีนก็เผชิญกับความท้าทายทางเทคโนโลยีเช่นกัน เทคโนโลยีนี้มีผลกระทบต่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในด้านการใช้ทรัพยากร ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การบรรลุเป้าหมายผ่านการวิจัยจะเป็นแหล่งอ้างอิงและการสนับสนุนที่แข็งแกร่งสำหรับการพัฒนาสถาปัตยกรรมจีนในอนาคตได้ ผู้เขียนขอยกตัวอย่าง การออกแบบโดยการใช้โปรแกรมเขียนควบคู่ไปกับการสร้างแนวทางการออกแบบอาคารพาราเมตริกดอกบัวไบโอนิคพิมพ์คอนกรีต 3 มิติ ซึ่งมีความยาว 10 เมตร กว้าง 10 เมตร และสูง 8 เมตร เพื่อใช้ประกอบให้เห็นคุณค่าในงานสร้างพิมพ์คอนกรีตสามมิติในสถาปัตยกรรมร่วมสมัยของจีนดังนี้

© วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลส่วนนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน โดยข้อมูลส่วนแรกเป็นเรื่องของการศึกษาการพัฒนาการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในการก่อสร้าง ส่วนที่สองเป็นเรื่องของการศึกษาวัสดุในส่วนผสมของคอนกรีตที่นำมาใช้กับเครื่องพิมพ์ และส่วนที่สามจะเป็นส่วนเสริมที่ช่วยให้ระบบการพิมพ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยข้อมูลในสองส่วนแรกตอนท้ายจะมีการวิเคราะห์หาข้อสรุปที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการพัฒนาออกแบบอาคารพาราเมตริกดอกบัวไบโอนิคพิมพ์คอนกรีต 3 มิติในส่วนที่สี ซึ่งมีขนาดความกว้างและความยาวที่ 10 เมตร สูง 8 เมตร โดยใช้โปรแกรมที่สนับสนุนในการออกแบบจากการศึกษาด้านขนาดโครงสร้างในรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลส่วนที่ 1

2.1.1 การพัฒนาการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ

การพิมพ์คอนกรีตสามมิติเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อแทนที่วิธีการก่อสร้างสถาปัตยกรรมรูปแบบเดิม มีโอกาสที่จะได้ใช้ประโยชน์ในด้านที่สำคัญมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในอนาคต นับตั้งแต่ศตวรรษที่ 20 ยุค 1990 เป็นต้นมา ก็ได้เกิดแนวคิดการพิมพ์คอนกรีตสามมิติขึ้น จนมาถึงยุคศตวรรษที่ 21 เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติจึงค่อยเริ่มได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมาก ทั้งหน่วยงานการวิจัยและมหาวิทยาลัยต่างๆ เริ่มทำการศึกษาวิจัยที่มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งเสนอเทคโนโลยีการพิมพ์ชนิดต่าง ๆ และเครื่องต้นแบบ ในปี ค.ศ. 2004 ศาสตราจารย์ Behrokh Khoshnevis จากมหาวิทยาลัยเซาเทิร์นแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้คิดค้นเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติที่เรียกว่า Contour Crafting ขณะที่ทีมวิจัยจากมหาวิทยาลัยไอนด์โฮเฟน ประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้สร้างบ้านที่สามารถเข้าอยู่ได้จริงจากเครื่องพิมพ์ภาพคอนกรีตสามมิติเป็นครั้งแรกของโลกได้สำเร็จในปี ค.ศ. 2014 นี่เป็นเครื่องหมายของการประยุกต์เทคโนโลยีคอนกรีตการพิมพ์สามมิติในด้านการใช้งานจริง

2.1.2 อุปกรณ์การพิมพ์คอนกรีตสามมิติสำหรับสถาปัตยกรรม

ระบบการพิมพ์ที่ใช้ในการก่อสร้างของเครื่องพิมพ์คอนกรีตสามมิติที่ใช้อยู่ที่เป็นที่นิยมใช้กันในจีนจากที่ได้ศึกษามามีใน 4 รูปแบบดังนี้

1) เครื่องพิมพ์รูปแบบตัวดี (D-Shape)

เครื่องพิมพ์รูปทรงตัวดี (D-Shape) ถูกออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นในครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2008 โดยสถาปนิกชาวอิตาลีชื่อ Enrico Dini โดยเครื่องพิมพ์ D-Shape นี้เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่เหมาะสำหรับการก่อสร้างขนาดใหญ่ โดยมีพื้นที่การพิมพ์ขนาดค่อนข้างใหญ่และมีความแม่นยำสามารถพิมพ์ชิ้นงานคอนกรีตขนาดยักษ์ได้ เครื่องพิมพ์ D-Shape สามารถสร้างการพิมพ์ที่มีความแม่นยำและมีรายละเอียดที่เด่นชัด สามารถพิมพ์รูปทรงเรขาคณิตที่ซับซ้อนและพื้นผิวที่ละเอียดยิ่งขึ้น นำมาซึ่งแรงบันดาลใจในการสร้างสรรค์งานมากยิ่งขึ้น และความเป็นไปได้ในการออกแบบส่วนบุคคลให้กับชิ้นงานสถาปัตยกรรม ผ่านการใช้ระบบควบคุมที่มีความแม่นยำสูงและหัวสเปรย์ที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ เครื่องพิมพ์ D-Shape ได้ใช้หลักการการพิมพ์แบบคานยื่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ต่างจากโครงสร้างการสนับสนุนแบบเดิม สามารถพิมพ์ภาพสิ่งก่อสร้างได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้โครงสร้างสนับสนุนเพิ่มเติม เป็นการประยุกต์ให้ขั้นตอนการพิมพ์เรียบง่ายขึ้น ลดขั้นตอนในการจัดเก็บหลังการก่อสร้างได้

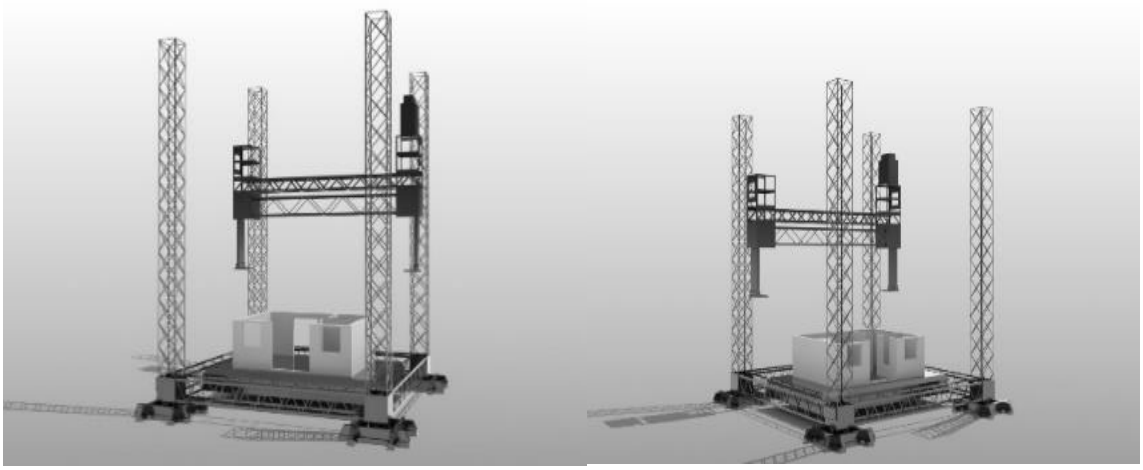

Figure 2 เครื่องพิมพ์รูปแบบตัวดี (D-Shape)
Source: Liu (2024)

2) เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสร้าง (Tool format)

เครื่องพิมพ์คอนกรีตสามมิติรูปแบบโครงสร้าง เป็นอุปกรณ์การพิมพ์คอนกรีตสามมิติรูปแบบหนึ่งที่ใช้กันในวงกว้าง ใช้โครงสร้างจากโลหะหรือเหล็กเพื่อรับประกันเสถียรภาพและความแข็งแรงทนทานของอุปกรณ์ โครงสร้างชนิดนี้สามารถระบุตำแหน่งที่ถูกต้อง รับรองความแม่นยำและความถูกต้องระหว่างการพิมพ์งาน เพื่อพิมพ์โครงสร้างที่มั่นคงและสิ่งก่อสร้างทีมีความเสถียรภาพได้ โดยปกติแล้วเครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสร้างจะใช้ระบบการเคลื่อนที่แบบหลายแกน สามารถเคลื่อนไหวได้แม่นยำตั้งแต่สามทิศทางขึ้นไป การออกแบบประเภทนี้ช่วยให้หัวพิมพ์สามารถวางตำแหน่งบนแกน x แกน y และแกน z ได้อย่างแม่นยำ เพื่อช่วยให้สามารถพิมพ์งานสถาปัตยกรรมที่มีรูปทรงและโครงสร้างที่ซับซ้อนได้ ในขณะเดียวกัน เมื่อใช้เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสร้างคู่กับระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์และการฉีดพ่นของคอนกรีต ทำให้ขั้นตอนการพิมพ์มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิตได้มากขึ้น

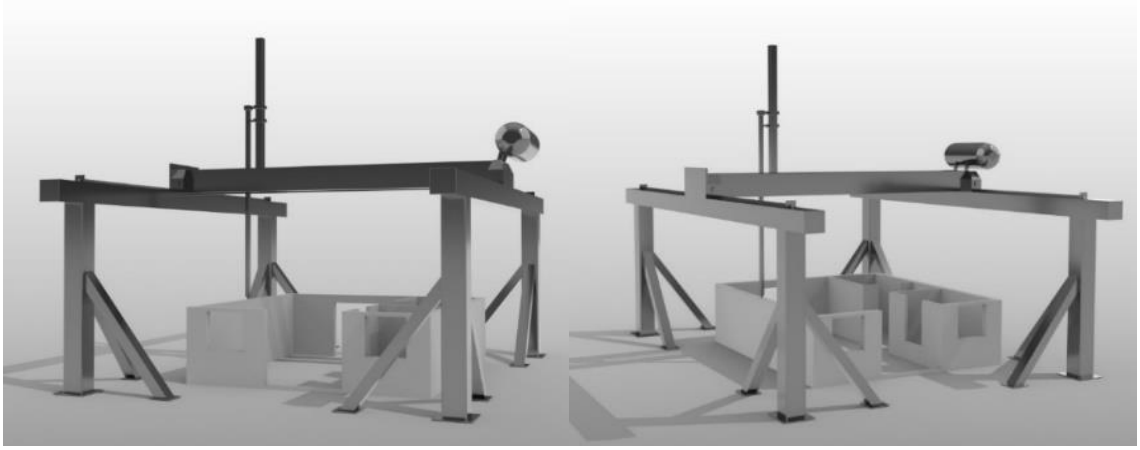

Figure 3 เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสร้าง (Tool format)
Source: Liu (2024)

3) เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงตั้งสิ่งของ (Gantry)

เครื่องพิมพ์คอนกรีตสามมิติรูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของ เป็นอุปกรณ์การพิมพ์คอนกรีตสามมิติที่มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพสูง สามารถปรับระดับความสูงในการพิมพ์ได้ โดยสามารถปรับระดับตามความสูงของวัตถุที่พิมพ์ได้อย่างยืดหยุ่นตามต้องการ โดยปกติแล้วเครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของจะมีพื้นที่ในการพิมพ์ขนาดใหญ่ สามารถพิมพ์องค์ประกอบจากคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ได้ มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง สามารถพิมพ์อาคารก่อสร้างขนาดใหญ่ตามปริมาตร เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของยังมีรูปแบบโครงสร้างที่มั่นคง ใช้โครงสร้างที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นเหล็กหรืออลูมิเนียมที่แข็งแรง มีความโดดเด่นเรื่องความทนทานและความเสถียรภาพ เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของมักจะรองรับเครื่องมือการพิมพ์หลายชิ้น อาทิ หัวฉีดหรือเครื่องมือการเคลื่อนที่ได้หลากหลาย ในด้านของระบบเปิดเครื่องพิมพ์รูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของที่นำมาฉีดในงานสถาปัตยกรรมนี้ มีระบบซอฟต์แวร์ที่สามารถรวมเข้าร่วมกับอุปกรณ์และซอฟต์แวร์อื่น ๆ ได้ ระบบการเปิดนี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่งและควบคุมกระบวนการพิมพ์ได้อย่างเป็นอิสระมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของโครงการและข้อกำหนดส่วนบุคคลที่แตกต่างกัน

Figure 4 เครื่องพิมพ์รูปแบบโครงตั้งสิ่งของ (Gantry)
Source: Liu (2024)

4) เครื่องพิมพ์รูปแบบแขนหุ่นยนต์ (mechanical arm)

ระบบการพิมพ์คอนกรีตสามมิติแบบแขนหุ่นยนต์ เป็นอุปกรณ์การพิมพ์ขั้นสูงที่มีความยืดหยุ่นและมีความแม่นยำสูงรูปแบบหนึ่ง ระบบการพิมพ์ด้วยแขนหุ่นยนต์มักจะมีพื้นที่ในการพิมพ์ขนาดใหญ่ โดยมีรัศมีการทำงานและช่วงการพิมพ์ที่ค่อนข้างกว้าง โดยระบบจะสามารถวางแผนเส้นทางการพิมพ์และพารามิเตอร์ได้อัตโนมัติจากเงื่อนไขการออกแบบ และมีการปรับกระบวนการพิมพ์แบบเรียลไทม์ ผ่านการใช้ซอฟต์แวร์ขั้นสูงและการควบคุมอัลกอริทึม ในด้านการเลือกวัสดุ ระบบการพิมพ์แบบแขนหุ่นยนต์มักจะเหมาะกับวัสดุคอนกรีตประเภทต่าง ๆ สามารถใช้คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตเสริมเหล็กหรือแม้แต่วัสดุคอนกรีตสูตรพิเศษในการพิมพ์ได้ โดยความยืดหยุ่นนี้ทำให้ระบบการพิมพ์แบบแขนหุ่นยนต์ สามารถตอบสนองเงื่อนไขโครงการและเงื่อนไขการออกแบบที่แตกต่างกันออกไปได้

นอกจากนี้ ระบบการพิมพ์คอนกรีตสามมิติแบบแขนหุ่นยนต์ยังมีศักยภาพในการสร้างสรรค์นวัตกรรมด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม สามารถพิมพ์รูปทรงเรขาคณิตที่ซับซ้อนและโครงสร้างที่มีเส้นโค้งอิสระได้ เพื่อเป็นการส่งเสริมนวัตกรรมในการออกแบบสถาปัตยกรรมและการก่อสร้าง เทคโนโลยีการพิมพ์รูปแบบใหม่นี้มีความทนทาน ความสามารถในการปรับแต่งและวิธีการแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิภาพมาสู่การใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้

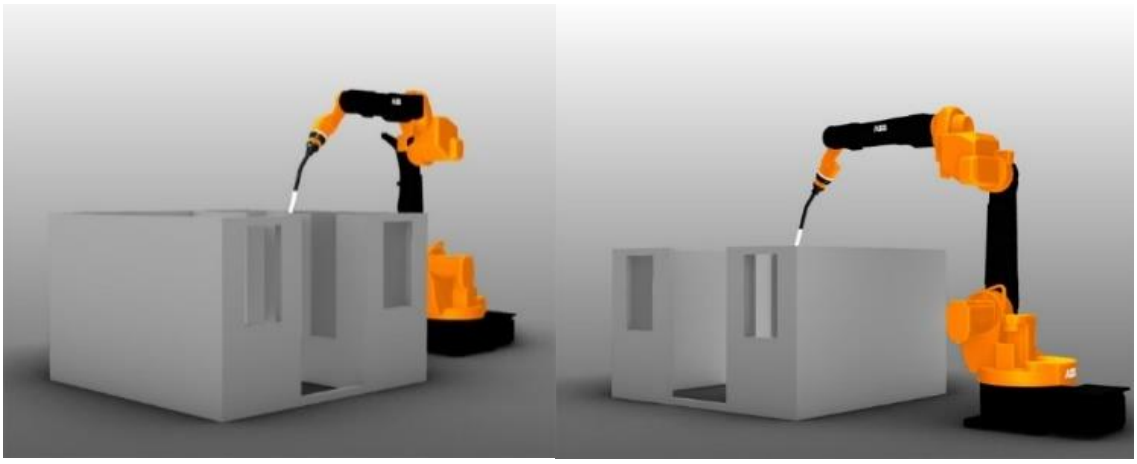

Figure 5 เครื่องพิมพ์รูปแบบแขนหุ่นยนต์ (mechanical arm)
Source: Liu (2024)

Table 1 การเปรียบเทียบข้อมูลของอุปกรณ์การพิมพ์คอนกรีตทั้ง 4 ประเภท

คุณสมบัติ / ประเภท	**รูปแบบตัวดี (D-Shape)**	**รูปแบบโครงสร้าง (Tool format)**	**โครงตั้งสิ่งของ (Gantry)**	**แขนกล (mechanical arm)**
ภาพลักษณ์	โครงสร้างกรอบแบบพหุมิติ เพื่อรองรับงานพิมพ์ขนาดใหญ่	เพิ่มกรอบโครงสร้าง ทำให้อุปกรณ์เกิดความเสถียรภาพ	ติดตั้งโครงขาหยั่งเพื่อให้เกิดสถียร-ภาพและการรองรับอุปกรณ์	โครงสร้างแขนหุ่นยนต์ทำให้ยืดหยุ่นและเคลื่อนไหวได้หลายทิศทาง
ระยะการพิมพ์	ช่วงการพิมพ์ขนาดใหญ่ 12m*12m*10m	ช่วงการพิมพ์ขนาดกลาง 2m*1m*1m	ช่วงการพิมพ์ขนาดใหญ่ 12m*12m*10m	ช่วงการพิมพ์ขนาดกลาง 5m*2.5m*4.5m

Table 1 การเปรียบเทียบข้อมูลของอุปกรณ์การพิมพ์คอนกรีตทั้ง 4 ประเภท (ต่อ)

คุณสมบัติ / ประเภท	รูปแบบตัวดี (D-Shape)	รูปแบบโครงสร้าง (Tool format)	โครงตั้งสิ่งของ (Gantry)	แขนกล (mechanical arm)
ความแม่นยำ	ความแม่นยำสูง สามารถวางคอนกรีตซ้อนได้อย่างแม่นยำ. 10mm	ความแม่นยำปานกลาง สามารถตอบสนองความต้องการของการใช้งานในอาคารได้หลายประเภท	ความแม่นยำสูง สามารถพิมพ์โครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ 10mm.	ความแม่นยำสูง มีเส้นทางการพิมพ์และการซ้อนเลเยอร์ที่แม่นยำ8mm.
ความเร็ว	ความเร็วปานกลางถึงช้า 0-150 mm/s	เร็วกว่า 0-160 mm/s	ความเร็วปานกลาง 0-150 mm/s	เร็วกว่า 0-160 mm/s
การใช้ที่เหมาะสม	ส่วนใหญ่ใช้สำหรับโครงสร้างอาคารประติมากรรมและอื่น ๆ	ส่วนใหญ่ใช้สำหรับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง ผนัง ฐานรากและอื่น ๆ	ส่วนใหญ่ใช้สำหรับโครงการขนาดใหญ่เช่น โครงสร้างอาคารและสะพาน	ส่วนใหญ่ใช้สำหรับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง, องค์ประกอบตกแต่ง งานศิลปะและอื่น ๆ
ต้นทุนการผลิต	สูง	กลาง	สูง	กลาง
ข้อดี	ช่วงการพิมพ์ขนาดใหญ่ ความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ซับซ้อน	โครงสร้างที่มั่นคงใช้งานได้หลากหลาย และความเร็วในการพิมพ์ค่อนข้างสูง	มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับโครงการขนาดใหญ่ โครงสร้างที่มั่นคง	มีความยืดหยุ่นสูง เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ซับซ้อมีความเร็วในการพิมพ์ค่อนข้างสูง
ข้อเสีย	ค่าใช้จ่ายที่สูง, ปริมาณมากค่อนข้างช้า	ต้นทุนการผลิตที่สูงและการบังคับใช้ที่จำกัด	ต้นทุนการผลิตสูง อุปกรณ์ขนาดใหญ่ และความเร็วที่ช้า	ต้นทุนการผลิตสูงและความแม่นยำถูกจำกัดโดยโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์

Source: Liu (2024)

จากตารางที่ 1 พบว่า จากการศึกษาพบว่า ด้านภาพลักษณ์และระยะการพิมพ์ รูปแบบตัวดีจะมีภาพลักษณ์ที่มีโครงสร้างโดยรอบงานตั้งเสาทั้ง 4 เสาจากมุมเหมาะกับงานขนาดใหญ่ ต่างจากเครื่องรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับงานที่มีขนาดกลาง ส่วนโครงตั้งสิ่งของจะคล้ายกับโครงสร้างตัวดีที่ใช้ฐานคุมโดยรอบแต่มีแขน 2 เสาในการเคลื่อนย้ายในการสร้าง ส่วนโครงสร้างแขนกลจะเป็นแกนแขนเดียวที่เคลื่อน ย้ายได้รอบตัวเหมาะกับงานโครงสร้างขนาดกลาง ส่วนเรื่องความแม่นยำ

รูปแบบตัวดีกับโครงตั้งสิ่งของรวมทั้ง แขนกลจะมีความแม่ยำสูงพอกันซึ่งรูปแบบเครื่องมือจะมีน้อยกว่า แต่ในส่วนของความเร็วในการผลิตจะสูงกว่ารวมทั้งระบบแขนกลที่เท่ากัน ส่วนการใช้ที่เหมาะสม รูปแบบตั้งสิ่งของจะเหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่มากที่สุด นอกนั้นอยู่ในระดับกลาง โดยแขนกลจะมีข้อดีในการสร้างงานทางศิลปะ ในเรื่องต้นทุนการผลิตโครงสร้างรูปแบบตัวดีและโครงตั้งสิ่งของจะข้อเสียที่มีต้นทุนที่สูงกว่า อาจเป็นเพราะการใช้โครงสร้างที่มากกว่าและเหมาะกับงานโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่

ดังนั้นในภาพรวมกับโครงสร้างงานที่ออกแบบอาคารพาราเมตริกดอกบัวไบโอนิคพิมพ์คอนกรีต 3 มิติ ซึ่งมีความยาว 10 เมตร กว้าง 10 เมตร และสูง 8 เมตร จากการวิเคราะห์เบื้องต้น โครงสร้างในส่วนแขนกลจะมีความเหมาะสมที่เพียงพอต่อการนำมาทำการพัฒนาและประยุกต์ใช้มากสุด เพราะมีข้อได้เปรียบในการเคลื่อนย้าย โดยใช้เวลาในการติดตั้งที่น้อยกว่าทำให้มีต้นทุนในการทำงานที่ต่ำกว่า ซึ่งเพียงพอต่องานในโครงการนี้

ข้อมูลส่วนที่ 2

2.2 การศึกษาส่วนผสมในวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ

การวิจัยเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์คอนกรีตแบบสามมิติเพื่อส่งเสริมนวัตกรรมทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ปรับปรุงประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างสมเหตุสมผล การสำรวจและการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านนี้ จะทำให้อุตสาหกรรมการก่อสร้างเกิดความเป็นไปได้มากขึ้น ผลักดันด้านการก่อสร้างให้ก้าวสู่อนาคตที่เน้นความเป็นอัจฉริยะ ทนทานและมีความยืดหยุ่นได้ การเลือกวัสดุที่จำเป็นและการออกแบบอัตราส่วนผสมต่อวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ

Let et al., (2012) ได้ศึกษาวิจัยคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ปูนซีเมนต์ CEM25 เถ้าลอย ซิลิกาฟูมและวัตถุดิบอื่น ๆ เป็นส่วนประกอบ มีการทดสอบความหนาแน่น ความแข็งแรง อัตราความพรุนและการหดตัวแบบแห้งในการพิมพ์อย่างเป็นระบบ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความหนาแน่นที่ 2.350 Kg/M3 ความแข็งแรงในการรับแรงอัด 91 - 102 MPa ความแข็งแรงในการรับแรงดึง 13 - 16 MPa อัตราความพรุน 1.0% การหดตัวแบบแห้งเป็น 3 - 4 เท่าของการหดตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

Ogura et al., (2018) ได้ออกแบบวัสดุ ECC ของเส้นใย PE ที่มีความแข็งแรงสูง ปริมาณเส้นใย PE คือ 0.3% - 1.5% จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า EEC ของการพิมพ์สูงกว่า ECC ของคอนกรีตแบบหล่อในสถานที่

Fan et al., (2015) ได้ผสมผสานคุณสมบัติเด่นเรื่องการแข็งตัวเร็วและการยึดเกาะสูงของซีเมนต์ฟอสเฟต จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาที่วัสดุมีการควบแน่นอยู่ระหว่าง 1 - 10 นาที และ 1 ชั่วโมง ความแข็งแรงในการรับแรงอัดอยู่ที่ 40 MPa เป็นไปตามเงื่อนไขของภาระทางโครงสร้าง

ส่วนผสมของวัสดุการพิมพ์คอนกรีตสามมิติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยซีเมนต์ มวลรวมก่อสร้าง สารตัวเติม สารผสมเพิ่ม วัสดุเส้นใยและสารผสมเพิ่ม ปูนซีเมนต์คือวัสดุหลักในการจับตัวกันของคอนกรีต อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ซีเมนต์ซัลโฟอลูมิเนต อาศัยการก่อตัวเป็นสารคล้ายเจลผ่านปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะและทำให้แข็งตัว ประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการใช้บ่อยนั้นรวมถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) และปูนซีเมนต์ประเภทพิเศษอื่น ๆ มวลรวมก่อสร้างคือตัวเติมเม็ดละเอียดของคอนกรีต รวมถึงมวลรวมก่อสร้างแบบละเอียดและมวลรวมก่อสร้างแบบหยาบ มวลรวมก่อสร้างแบบละเอียดจะถูกเรียกว่าทรายหรือมอร์ทาร์ เป็นสารตัวเติมชนิดหนึ่งในคอนกรีต ใช้สำหรับใช้สำหรับอุดช่องว่างระหว่างเนื้อซีเมนต์ มวลรวมก่อสร้างแบบละเอียดที่ใช้บ่อยนั้นรวมถึง

ทรายควอตซ์ แคลเซียมคาร์บอเนตและผงแร่ตะกรันเตาหลอม มวลรวมก่อสร้างแบบหยาบใช้สำหรับเพิ่มความแข็งแรงและความมั่นคงของคอนกรีต มวลรวมก่อสร้างแบบหยาบที่พบเห็นได้บ่อยนั้นรวมถึงกรวด หินกรวดและเศษอิฐเศษหิน เป็นต้น สารผสมเพิ่มคือการเติมสารเคมีลงในคอนกรีตเพื่อปรับความลื่นไหล การชะลอหรือเร่งเวลาการเซตตัว รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของคอนกรีต สารผสมเพิ่มที่พบได้บ่อยนั้นรวมถึงสารลดน้ำ สารหน่วงการก่อตัว สารเร่งการก่อตัว สารสร้างฟองก๊าซและสารเพิ่มความข้น เป็นต้น การกำหนดสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นกระบวนการแบบไดนามิกที่ต้องมีการทดลองและเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง พัฒนาอัตราส่วนของส่วนผสมให้เหมาะสมกับความต้องการของโครงการมากที่สุด จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้ลงลึกในการศึกษาของส่วนผสม โดยมีสูตร Mix ซิลิกาฟูม, สูตรของ Mix เถ้าซิลิเกตและสูตร Mix ตัวปรับส่วนผสมที่เป็นปัจจัยในคอนกรีตที่จะนำมาใช้กับระบบฉีดกับเครื่องแบบแขนกลดังกล่าว ที่จะทำให้ส่วนผสมมีความเหมาะสมมากสุด เพื่อลดความสูญเสียลงกับการผลิตในการก่อสร้างอาคารพาราเมตริกดอกบัวไบโอนิคพิมพ์คอนกรีต 3 มิติให้มากสุดโดยจะมีปัจจัยในส่วนผสม ดังตารางที่ 2 ดังนี้

Table 2 แสดงปริมาณส่วนผสมคอนกรีตในวัสดุทั้งสามประเภท

วัสดุ	ปริมาณ (kg/m³) ในสูตรส่วนผสม 3 สูตร		
	Mix ซิลิกาฟูม	Mix นาโนเคลย์	Mix ตัวปรับความหนืด
1. ซีเมนต์	573.6	663.0	663.0
2. เถ้าลอย	164.0	165.7	165.7
3. ผงควอตซ์	491.7	497.2	497.2
4. ทรายควอตซ์	368.7	372.9	372.9
5. น้ำ	262.2	265.2	265.2
6. เส้นใยโพรพิลีน	1.8	1.8	1.8
7. สารลดน้ำพิเศษ	1.39 (0.17%)	1.08 (0.13%)	1.49 (0.18%)

Source: Liu (2024)

จากตารางที่ 2 พบว่า ในสูตรส่วนผสมของสูตร Mix ซิลิกาฟูม, สูตรของ Mix นาโนเคลย์และสูตร Mix ตัวปรับความหนืด ที่มีส่วนผสมของ ซีเมนต์, เถ้าลอย, ผงควอตซ์, ทรายควอตซ์, น้ำ, เส้นใยโพรพิลีนในอัตราส่วนที่ไม่แตกต่างกันมากนั้น แต่ส่วนผสมในสารลดน้ำพิเศษจะต่างกันที่ สูตร Mix ซิลิกาฟูมที่ใช้ 1.39 kg/m³, สูตรของ Mix นาโนเคลย์ใช้ที่ 1.08 kg/m³และสูตร Mix ตัวปรับความหนืด 1.49 kg/m³ มีสามารถที่ได้เท่ากัน แต่ใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนที่ต่างกัน

สำหรับปัจจัยในการผลิตการพิมพ์สถาปัตยกรรมแบบพาราเมตริกโลตัสไบโอนิค แรงยึดเกาะของโครงสร้างคอนกรีต $Fa=\mu \times A$, μ คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างคอนกรีตและพื้นผิวรองรับ และ A คือพื้นที่สัมผัส กำลังการหุ้ม กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต $FC=fc \times Ac$ แสดงโดยพื้นที่ของชั้นการหุ้มคอนกรีต Ac คือพื้นที่ของชั้นการหุ้มคอนกรีต สูตรการคำนวณใช้เพื่อให้ได้วัสดุการผลิตการพิมพ์สถาปัตยกรรมพาราเมตริกโลตัสไบโอนิคคอนกรีต 3 มิติ ในเวลาเดียวกัน วัสดุเส้นใยโพลีเมอร์จะถูกเพิ่ม

เพื่อเพิ่มความต้านทานการแตกร้าวและความเหนียวของคอนกรีต การเติมตัวปรับความหนืด 1.49 (0.18%) ในคอนกรีตสามารถเพิ่มความเสถียรได้เหาะกว่าสำหรับการพิมพ์ 3 มิติครั้งนี้

ข้อมูลส่วนที่ 3

2.3 ปัจจัยเสริมที่ทำให้ประสิทธิภาพใของการพิมพ์ดีขึ้น

ข้อมูลส่วนนี้จะเป็นปัจจัยในการเสริม เช่นทิศทางการไหลของวัสดุปลอกรูฉีด เส้นทางการพิมพ์การตั้งค่าเวลาที่เหมาะสมกับส่วนผสมในวัสดุ เป็นต้น โดยมีในรายละเอียดปลีกย่อยซึ่งมีส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 การศึกษาด้านคุณสมบัติทางเทคโนโลยีของคอนกรีตสำหรับพิมพ์สามมิติ

การพิมพ์คอนกรีตสามมิติจะสำเร็จหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเทคโนโลยีของคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ ข้อกำหนดคุณสมบัติทางเทคโนโลยีของคอนกรีตสำหรับการพิมพ์สามมิติจะมีความแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา โดยจะต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนประกอบคอนกรีตที่ใช้ในการพิมพ์ตามที่กำหนด คุณสมบัติทางเทคโนโลยี คือลักษณะการไหลและประสิทธิภาพของคอนกรีตในระหว่างกระบวนการพิมพ์ วัสดุคอนกรีตที่พิมพ์สามมิติจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถพิมพ์ได้บางประการ และจะส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของผลการพิมพ์และความเสถียรของโครงสร้าง คุณสมบัติทางเทคโนโลยีที่ดีจะช่วยรับประกันว่าคอนกรีตในอุปกรณ์การพิมพ์จะมีการไหลปกติ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาครวมในสารละลายคอนกรีตผสมใหม่ ต้องไม่เกินหนึ่งในสิบของหัวฉีด เพื่อป้องกันการอุดตันระหว่างการปั๊มและการอัดขึ้นรูปคอนกรีต (Chang et al., 2019) ความเสถียรคือความสามารถของคอนกรีตในการรักษารูปร่างหลังการพิมพ์ ยิ่งเวลาสะสมระหว่างชั้นสั้นลง ประสิทธิภาพการยึดเกาะของส่วนที่มีการเชื่อมต่อกันก็จะยิ่งดีมากขึ้น โดยต้องหลีกเลี่ยงการยุบตัวหรือการสูญเสียความเสถียรของโครงสร้าง เมื่อมีการสร้างโครงสร้างที่มีความท้าทายของเส้นตั้งฉากและคานยื่น การยึดติดระหว่างชั้นมากที่เพียงพอนั้นเกิดได้จากความเสถียรภาพที่ดีเป็นสำคัญ (Tay et al., 2016). เวลาการเซตตัวของคอนกรีตด้วยสำหรับคุณสมบัติทางเทคโนโลยีก็เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาเช่นกัน โดยทั่วไปแล้ว เวลาการเซตตัวเริ่มต้นของวัสดุคอนกรีตในการพิมพ์สามมิติจะถูกควบคุมที่ 10-45 นาที และเวลาการเซตตัวสุดท้ายจะถูกควบคุมที่ 20*60 นาที จึงจะเหมาะสำหรับงานพิมพ์ส่วนใหญ่การควบคุมระยะเวลาการเซตตัวที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์ได้ แต่การเซตตัวที่เร็วจนเกินไปอาจทำให้เกิดการอุดตันหรือทำให้โครงสร้างสูญเสียสมดุลได้ ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างขั้นตอนการจัดส่วนผสมและการเลือกอุปกรณ์ จึงต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างเวลาในการแข็งตัวและความลื่นไหลในการพิมพ์ด้วย ทำให้ต้องคำนึงถึงปัจจัยในหัวปล่อยของการฉีดตามด้วย ดังรูปที่ 5

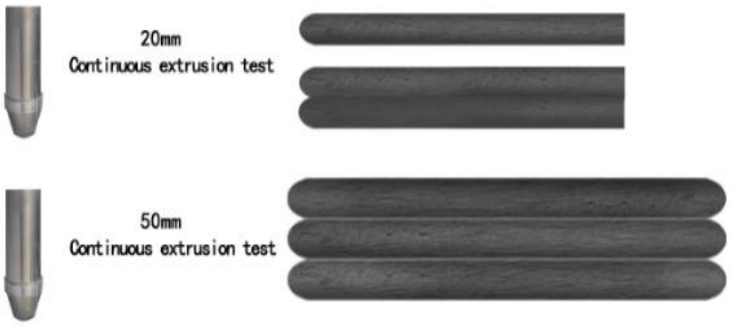

Figure 5 หัวฉีดที่ปล่อยส่วนผสมของซีเมนต์การพิมพ์สามมิติ
Source: Zhizhi (2024)

© วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์

คุณสมบัติทางเทคโนโลยีของการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ เป็นองค์ประกอบสำคัญในการรับประกันคุณภาพการพิมพ์และประสิทธิภาพเชิงโครงสร้าง การปรับปรุงประสิทธิภาพจำเป็นต้องพิจารณาตัวชี้วัดโดยรวม เช่น ความลื่นไหล ความสามารถในการปั๊ม ความสามารถในการอัดขึ้นรูป ความสามารถในการสร้าง เชื่อมต่อของวัสดุ ความเสถียรและเวลาในการเซตตัว เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขในการพิมพ์ การพิมพ์ที่แม่นยำและความมีเสถียรภาพในการพิมพ์โดยเฉพาะ

2.3.2 การกำหนดแผนที่เส้นทางการพิมพ์สามมิติ

แผนที่เส้นทางการพิมพ์สามมิติ หมายถึง ในขณะที่ทำการตีพิมพ์สามมิติ มีการกำหนดเส้นทางที่หัวพิมพ์จะเคลื่อนที่เพื่อสร้างวัตถุได้อย่างแม่นยำ เป็นขั้นตอนสำคัญที่ขาดไม่ได้ในการเตรียมแบบจำลองดิจิทัลตั้งแต่เนิ่น ๆ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการพิมพ์ ในระหว่างการพิมพ์สามมิติ จำเป็นต้องทำการสร้างแบบจำลองส่วนประกอบของที่พิมพ์แบบสามมิติ แล้วแปลงเป็นภาษาที่การพิมพ์สามมิติสามารถจดจำได้เป็นอันดับแรก โดยหัวพิมพ์จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ออกแบบแผนเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการไหลของวัสดุที่คุณภาพไม่ดีหรือเกิดการแห้งทำการซ้อนหรือพ่นวัสดุทีละชั้นซ้อนทับกันจนกระทั่งมีการสร้างออกมาเป็นวัตถุได้สำเร็จในท้ายที่สุด

2.3.3 การศึกษาเทคโนโลยีการเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตในการพิมพ์สามมิติ

กุญแจสำคัญของเทคโนโลยีการเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตในการพิมพ์สามมิติ คือการรวมการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเข้ากับวัสดุคอนกรีตและเทคโนโลยีการฉีด เพื่อเปลี่ยนการออกแบบสถาปัตยกรรมให้กลายเป็นโครงสร้างคอนกรีตคอนกรีต ผ่านชุดกระบวนการอัตโนมัติของเครื่องจักร โดยเทคโนโลยีการเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตในการพิมพ์สามมิติ คือการปรับปรุงประสิทธิภาพการพิมพ์และคุณภาพการพิมพ์ ตลอดจนความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีการเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตในการพิมพ์สามมิติ

Figure 6 เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ
Source: Liu (2024)

การเพิ่มประสิทธิภาพสูตรในการทำวัสดุของคอนกรีตที่ใช้ในการพิมพ์สามมิติถือเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการพิมพ์ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพสูตรในการทำวัสดุนั้นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพและความแข็งแกร่งในการพิมพ์ได้ ด้วยการปรับองค์ประกอบ ขนาดอนุภาคและความลื่นไหลของคอนกรีต จึงสามารถทำให้การยึดเกาะของชั้น ความเสถียรและความลื่นไหล สามารถทำได้ดีขึ้น

ส่งผลให้คุณภาพการพิมพ์ดีขึ้น โดยการเพิ่มประสิทธิภาพพารามิเตอร์การพิมพ์เป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงการพิมพ์ภาพคอนกรีตสามมิติได้ คุณภาพการพิมพ์และความแข็งแรงของโครงสร้างสามารถควบคุมได้โดยการปรับพารามิเตอร์ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ความเร็วในการพิมพ์ ความหนาของชั้นและอุณหภูมิ เป็นต้น การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถลดการรั่วไหลของวัสดุ ลดการเสียรูป และเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ได้ การพัฒนาการพิมพ์คอนกรีตสามมิติยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงการออกแบบโครงสร้าง รูปแบบโครงสร้างที่มีการออกแบบอย่างเหมาะสม โครงสร้างการสนับสนุนภายในและการจัดวางพื้นที่ สามารถเพิ่มความเสถียรภาพของวัตถุก่อสร้างและการใช้งานพื้นที่ภายในได้ สามารถลดภาระการพิมพ์และประหยัดวัสดุได้ด้วยการลดระยะยื่นที่ไม่จำเป็นและเพิ่มโครงสร้างกลวงภายใน ซึ่งการวางแผนเส้นทางมีบทบาทสำคัญในการพิมพ์คอนกรีตสามมิติ การจัดวางเส้นทางการพิมพ์ที่มีความเหมาะสมและลดระยะการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรได้

ข้อมูลส่วนที่ 4

2.4 แนวทางการใช้โปรแกรมในการควบคุมและการออกแบบอาคารพาราเมตริกดอกบัวไบโอนิคพิมพ์คอนกรีต 3 มิติ ซึ่งมีความยาว 10 เมตร กว้าง 10 เมตร และสูง 8 เมตร

ข้อมูลส่วนนี้ยังคงเป็นเพียงแนวทางอยู่ โดยใช้โปรแกรมในการสร้างรูปแบบเพื่อนำข้อมูลมาประกอบวิเคราะห์ร่วมกับเครื่องพิมพ์แผนที่เส้นทางการพิมพ์สามมิติจำเป็นต้องใช้สไลเซอร์ซอฟต์แวร์ (Slicer Software) การสร้างให้แบบจำลองสามมิติแปรเปลี่ยนเป็นโค้ดภาษาที่อุปกรณ์การพิมพ์สามมิติสามารถอ่านได้ ซอฟต์แวร์ที่เข้าคู่กับเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบด้วยหลายโปรแกรามที่มามารถนำเข้ามาใช้งานควบคุมได้ อาทิ 3Dsmax, Maya, Rhino, ZBrush, Fusion 360, Solidworks, UG, Blender, ProE, AutoCAD, Creo, SketchUp เป็นต้น ซอฟต์แวร์การสร้างแบบจำลองแต่ละตัวมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างอุตสาหกรรมในด้านที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดการประมวลผลแบบจำลองและการเลือกฟังก์ชันที่แตกต่างกันออกไป ผู้ใช้สามารถเลือกซอฟต์แวร์การสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมตามลักษณะการทำงานของตนเองได้ เมื่อมีการแปลงรูปแบบไฟล์สำเร็จแล้ว จำเป็นต้องใช้โปรแกรมสไลเซอร์ มีการจัดการพิมพ์สามมิติ gcode ป้อนภาษาการพิมพ์ที่สามารถอ่านได้ให้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ โปรแกรมสไลเซอร์แบบโอเพ่นซอร์สที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ Cura, PrusaSlicer, Slic3r, Repetier-Host, MatterControl เป็นต้น ซึ่งซอฟต์แวร์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะได้รับการออกแบบโดยใช้เครื่องพิมพ์ FDM 3D (Xu, 2018)

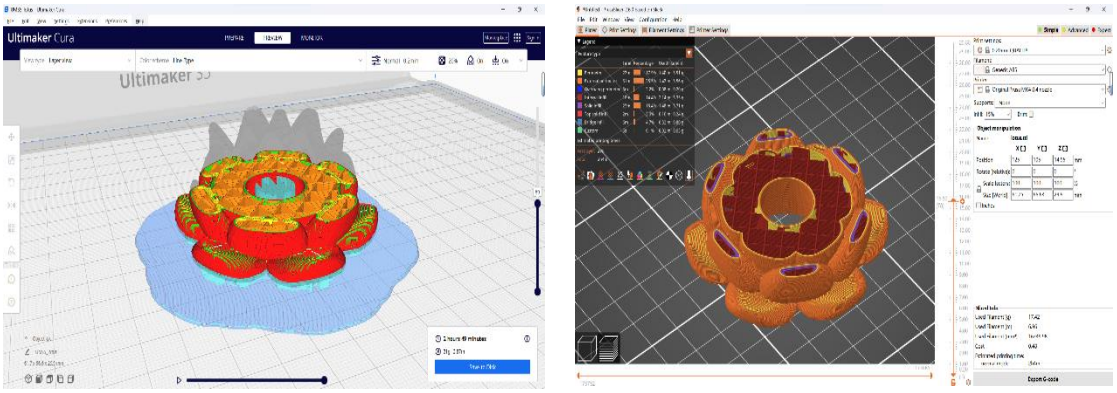

Figure 7 แสดงตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ Cura (ซ้าย) และตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ PrusaSlicer (ขวา)
Source: Liu (2024)

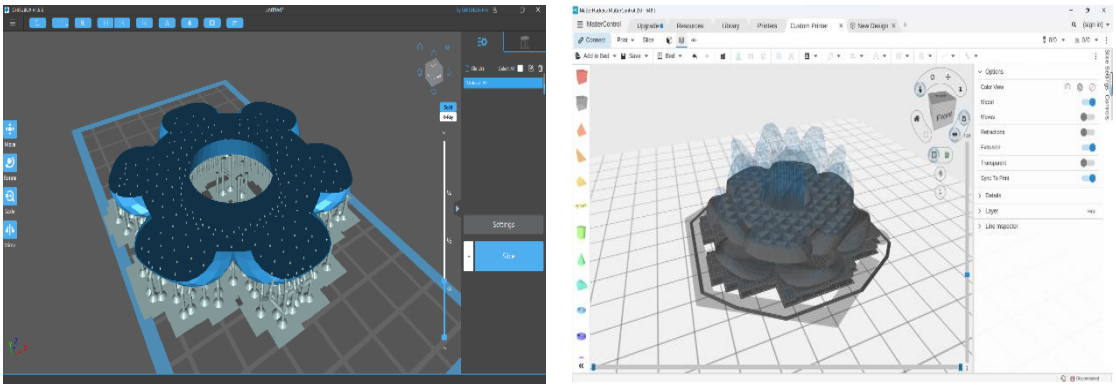

Figure 8 แสดงตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ ChituBox (ซ้าย) และตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ atterHackers (ขวา)
Source: Liu (2024)

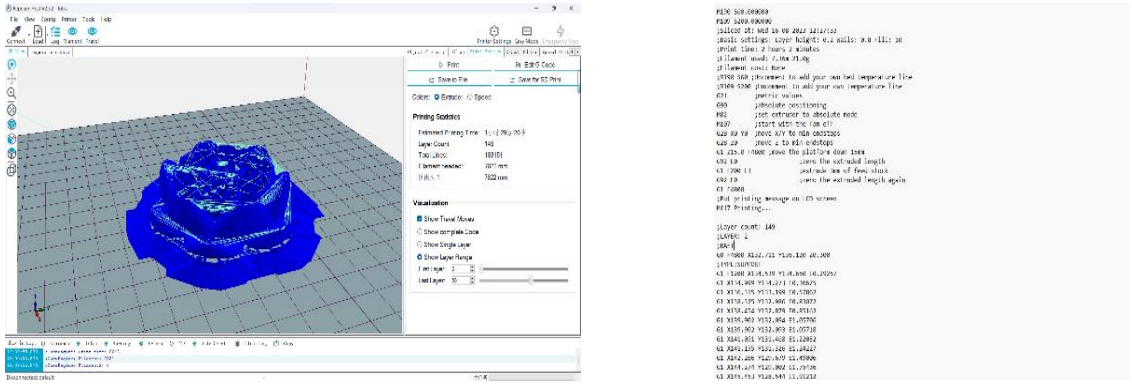

Figure 9 ตัวอย่างโปรแกรมสไลเซอร์ Repitier-Host (ซ้าย) และตัวอย่างโค้ดสไลเซอร์ (ขวา)
Source: Liu (2024)

ในปัจจุบันยังไม่มีซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สสำหรับการพิมพ์คอนกรีตสามมิติโดยเฉพาะ โดยซอฟต์แวร์สไลเซอร์แบบทั่วไปจะประมวลผลโมเดลที่มีขนาดค่อนข้างเล็กและมีความแม่นยำสูง ขณะที่ในอนาคต การจะทำให้วิธีการแปลงโมเดลโครงสร้างที่ซับซ้อนของส่วนประกอบอาคารให้กลายเป็นรหัสภาษาที่เครื่องพิมพ์สามารถรับรู้ได้แม่นยำขึ้น โดยซอฟต์แวร์สไลเซอร์สำหรับการพิมพ์คอนกรีตสามมิตินั้นยังเป็นโจทย์ที่ต้องมีการพัฒนากันต่อไป

3. บทสรุป (Conclusion)

ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน มีความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติจนเป็นที่น่าสนใจ แต่ก็ยังคงเผชิญกับความท้าทายและปัญหาต่างๆ ที่ต้องมีการทยอยแก้ไข ผ่านการวิจัยและการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ถือเป็นจุดสำคัญที่สำคัญในด้านของการเลือกอุปกรณ์และการออกแบบระบบอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ในปัจจุบันนั้นยังสามารถพิมพ์ได้ค่อนข้างช้า เป็นข้อจำกัดในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่การขยายขนาดของอุปกรณ์ก็ยังคงต้องเผชิญ

กับความท้าทาย จำเป็นต้องค้นหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้ดีขึ้น ความแม่นยำและความเสถียรของอุปกรณ์จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของการพิมพ์

จากการวิจัยโดยภาพรวมข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการพิมพ์สามมิติช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ระยะเวลาการดำเนินการของอัลกอริทึมแบบแบ่งเลเยอร์ โดยใช้รูปแบบหลายหน้าต่าง การแบ่งเลเยอร์ และเส้นทางสามารถแสดงผลภาพเอฟเฟกต์ ซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสในการพิมพ์โมเดลสามมิติได้สำเร็จ ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนการพิมพ์สามมิติ

โดยสรุป การใช้เครื่องจักรแขนหุ่นยนต์ในการพิมพ์อาคารพาราเมตริกบัวไบโอนิค โดยใช้เถ้าลอย 25% ชนิด F-ASTMC618 วัสดุเส้นใยโพลีโพรพีลีน 30% โดยใช้การพิมพ์ 3 มิติในรูปแบบหลายหน้าต่าง โดยใช้อัลกอริธึมปัจจุบัน ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ ได้รับงานสถาปัตยกรรมพาราเมตริกโลตัสไบโอนิคที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ปรับให้เหมาะสม ในฐานะที่การพิมพ์คอนกรีตสามมิติเป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่ทำให้วงการสถาปัตยกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงและได้กลายเป็นแนวทางการพัฒนาที่สำคัญของการก่อสร้างสถาปัตยกรรม การส่งเสริมอาคารสีเขียวและเทคโนโลยีการก่อสร้างสีเขียวอย่างจริงจัง การร่วมมือกันพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้าง การก่อสร้างอัจฉริยะ และการก่อสร้างสีเขียว ถือเป็นแนวโน้มการพัฒนาของอุตสาหกรรมการก่อสร้างในช่วงเวลานี้ ข้อดีของเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติต่าง ๆ อาทิ การสร้างโดยไร้แม่พิมพ์ ความเป็นอิสระในการสร้างที่ค่อนข้างสูง ประสิทธิภาพในการสร้างที่สูง ระดับมีการบูรณาการโดยอัตโนมัติแบบอัจฉริยะระดับสูง มีพื้นที่รองรับความผิดพลาดได้มาก คาร์บอนต่ำเป็นมิตรสิ่งแวดล้อมและการพึ่งพาแรงงานต่ำ เมื่อรวมกับเทคโนโลยีการสร้างอาคารแบบสำเร็จรูปแล้ว เรียกได้ว่าเทคโนโลยีนี้ได้นำโอกาสใหม่ ๆ มาสู่รูปแบบการก่อสร้างแบบดั้งเดิมโดยไร้ข้อกังขา ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง เรามีเหตุผลมากพอที่จะคาดหวังได้ว่าเทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติจะมีเข้ามาบทบาทอย่างกว้างขวางและสำคัญมากขึ้นในอนาคต

ตัวอย่างในกรณีเหล่านี้ ได้แสดงให้เห็นถึงส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์คอนกรีตสามมิติในสถาปัตยกรรมจีน ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและการใช้งานที่มากขึ้นในวงกว้าง เชื่อว่าในอนาคตจะมีนวัตกรรมตัวอย่างเหล่านี้มากขึ้นเรื่อย ๆ นำโอกาสมาสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการก่อสร้างของจีนได้มากยิ่งขึ้น

4. เอกสารการอ้างอิง (References)

Chang, X., LiWang, Q. (2019). Research progress on 3D printed concrete materials and performance testing [J]. Bulletin of Silicates, 38(8) : 2435-2441.

Fan, S. J.,Du, X.,Chen, B. (2015). Practical research on application of magnesium phosphate cement in 3D printing [J]. New building materials,42(1) : 1-4.

Han, W., (2021). The first 3D-printed library in China completed in Shanghai, shaped like a 'comma', with skylights, underfloor heating, accommodating 15 people"]. Retrieved from https://3w.huanqiu.com/a/667415/42PCtQdacA6

Let, T., Austin, S. A., Lim, S et al., (2012). Hardened properties of high-performance printing concrete [J]. Cement and concrete research,42(3) : 558-566.

Liu, Z., (2024). Analysis on the Current Situation of 3D Concrete Printing in Contemporary Chinese Architecture [J]. Silpakorn University, Faculty of Decorative Arts. 24 : 8-22

Meng, L. J., Xu, H. R., Li, M. Y et al., (2021). Research and demonstration of integrated construction technology of green residential area with separated main body and interior decoration based on prefabricated high openness [J]. Building Structures, 51(S2) : 1112-1116.

Ogura, H., Nerella, V. N., Mechtchtcherine, V.(2018). Developing and testing of strain-hardening cement-based composites (SHCC) in the context of 3D printing Materials, 11(8) : 1375.

Sun, X., Wang, Q., Wang, H et al., (2020). Influence of multi-walled nanotubes on the fresh and hardened properties of a 3D printing PVA mortar ink [J]. Construction and building materials, 247(4) : 118590.

Tay, W., Panda, B., Pauls, C et al., (2016). Processing and propertiesof construction materials for 3D printing [J].Mate rials scienceforum, 861 : 177-181.

© วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์