การออกแบบบ้านระบบชิ้นส่วนประกอบ เพื่อสร้างโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ

Design of Prefabrication House for constructing by a 3D House Printer

ภัคจิรา ศิริโชติ[1], และ วรรณวิทย์ แต้มทอง[2]

[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: s6401082856105@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการออกแบบบ้านและงานระบบที่เกี่ยวข้อง ในรูปแบบระบบชิ้นส่วนประกอบ (Prefabrication) เพื่อผลิตโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ขนาด 2 x 3 x 3 เมตร รูปแบบการก่อสร้างเป็นระบบชิ้นส่วนประกอบและนำมาต่อประกอบในสถานที่ก่อสร้าง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านขนาดของเครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาดใหญ่มีราคาแพง จึงมีแนวคิดที่พิมพ์ผนังบ้านและนำผนังมาต่อประกอบเป็นบ้านหนึ่งหลัง โดยบ้านที่ออกแบบในครั้งนี้มีพื้นที่ใช้สอย 80 ตารางเมตร จากการศึกษาในการออกแบบบ้าน 3 มิติ พบว่า จะมีจำนวนเสาคอนกรีตหล่อในที่ซ่อนอยู่ในผนังมากกว่าบ้านที่ก่อสร้างแบบดั้งเดิมเพื่อความแข็งแรงทางโครงสร้าง และต้องออกแบบรอยต่อโดยมีการเสริมเหล็กระหว่างชิ้นงานเพื่อยึดกับเสาบ้าน สำหรับส่วนของหลังคาและงานระบบยังคงอาศัยวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม โดยต้นทุนในการสร้างบ้านที่ออกแบบสำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ มีต้นทุนที่สูงกว่าการสร้างบ้านแบบดั้งเดิม เนื่องจากราคาวัสดุและเครื่องจักรสำหรับการพิมพ์บ้านมีต้นทุนที่สูง

คำสำคัญ: การออกแบบบ้าน, เครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ,
ระบบชิ้นส่วนประกอบ

Abstract

This research aimed to design a house and relevant systems which is prefabricated from wall panels produced by a 2x3x3 meters 3D house printer. A full-size 3D house printer size is extremely expensive. The construction concept of this house is, therefore, a prefabrication system and assemble on-site into a house. The usable area of this 3D house design is 80 m^2. From studies in 3D house design. It was found that there were more columns than the house constructed with the conventional construction method. The steel joints were added to connect wall panels to a cast in place column for strengthening of house structure. Roof and system works are designed with the conventional method. The cost of house construction by the 3D house printer is expected to be higher than by the conventional method due to a higher cost of printing material and printing machine.

Keywords: 3D house printer, Housing design, Prefabrication

1. บทนำ

ในช่วงที่ผ่านมา หลายประเทศ รวมถึงประเทศไทยเริ่มประสบปัญหาความซบเซาในอุตสาหกรรมการก่อสร้างบ้าน และอาคาร ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร สิ่งนี้มีส่วนทำให้เกิดวิกฤตกับตลาดอสังหาริมทรัพย์ โครงการหมู่บ้าน หรือคอนโดมิเนียมขยายตัวติดลบทุกกลุ่ม อีกทั้งการใช้วิธีการสร้างบ้านแบบดั้งเดิม ซึ่งมีต้นทุนที่สูง หลายประเทศจึงหาทางแก้ไขปัญหาเพื่อลดต้นทุนการก่อสร้าง เป็นการจูงใจให้ผู้อุปโภคลงทุนกับอสังหาริมทรัพย์มากขึ้น โดยทดลองใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติสร้างที่พักอาศัย หรือออฟฟิศ ในลักษณะ Home 3D Printer ซึ่งเทคโนโลยีการพิมพ์บ้าน 3 มิติ ช่วยในเรื่องการลดต้นทุนและวัสดุที่ทำให้เข้าถึงความสามารถในการซื้ออสังหาริมทรัพย์ ซึ่งตอบโจทย์ความต้องการของกลุ่มลูกค้าที่ต้องการซื้อบ้าน อีกทั้งเทคโนโลยีการพิมพ์บ้านเพิ่มโอกาสในการปรับแต่งโครงสร้าง โดยสามารถสร้างรูปทรงได้หลากหลายที่บางครั้งวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมไม่สามารถทำได้ การสร้างบ้านด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์บ้าน 3มิติ จึงช่วยลดปัญหาแรงงานที่หายาก ลดปัญหาค่าแรงที่เพิ่มขึ้น ลดของเสียในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างบ้านในอนาคต ด้วยปัญหาที่กล่าวมานี้จึงทำให้อุตสาหกรรมการก่อสร้างควรใช้เทคโนโลยี 3D Housing Printing

ในส่วนของงานวิจัยนี้ จึงหยิบยกในด้านของการออกแบบบ้านในรูปแบบ Pre Fabrication ที่สมมุติให้ผลิตโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ขนาด 2 x 3 x 3 ซึ่งเคลื่อนที่ไปตามทิศทางแกน X, Y และ Z โดยเป็นการออกแบบเพื่อให้เครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ พิมพ์ผนังบ้านและนำผนังมาต่อประกอบเป็นบ้านหนึ่งหลังเพื่อการก่อสร้างที่ง่ายขึ้น โดยการวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาข้อมูลในการออกแบบบ้านเพื่อใช้กับเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ซึ่งมีพื้นที่

ใช้สอย 80 ตารางเมตร โดยสมมุติให้เป็นการออกแบบเพื่อพิมพ์บ้านแบบด้วยเครื่องพิมพ์คอนกรีต 3 มิติ ขนาด 2 x 3 x 3 มีการเว้นระยะเพื่อทำเสากลวงสำหรับเทคอนกรีตแบบหล่อในที่และนำมาต่อประกอบกันเป็นบ้านหนึ่งหลัง

2. แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดเรื่องการพิมพ์บ้าน 3 มิติ กับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

Jipa และคณะ [1] กล่าวว่าแนวคิดในการพิมพ์บ้าน 3 มิติเป็นความหวังในการสร้างบ้านให้ได้จำนวนมากขึ้น, เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นักประดิษฐ์จำนวนนับไม่ถ้วนค้นพบแนวคิดที่จะสามารถพิมพ์โครงสร้างได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาหลายปีในการพยายามเพิ่มความสามารถของเทคโนโลยี ในเยอรมนีการสร้างบ้านที่พิมพ์ ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติสำเร็จเป็นครั้งแรกและได้รับการรับรองอย่างสมบูรณ์ภายใต้กฎเกณฑ์การก่อสร้างของรัฐบาล ซึ่งสร้างผลกระทบในวงการก่อสร้างเป็นอย่างมาก ด้วยแนวคิดที่จะลดของเสีย, ลดเวลาในสถานที่ทำงานและจัดการกับปัญหาการขาดแคลน แต่เดิมการสร้างบ้านด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ใช้สำหรับโมเดลขนาดเล็ก ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติได้นำไปสู่การสร้างโครงสร้างเต็มรูปแบบ เช่น สะพาน และบ้าน ในบางที่ เช่น ตั้งแต่แคนาดาและเนเธอร์แลนด์ไปจนถึงดูไบ เทคโนโลยีนี้กลับยังไม่ได้ใช้เป็นเทคนิคการสร้างที่แพร่หลาย แต่การสร้างบ้านด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติในเมือง Beckum ประเทศเยอรมนีทำให้ทุกอย่างเปลี่ยนไป โดยบริษัท PERI ผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาแบบหล่อและนั่งร้านชั้นนำ, Disruptive Products and Technologies เป็นบริษัทแรกในเยอรมนีที่สามารถสร้างบ้านจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทีมงานของ PERI สร้างบ้านให้หลายครอบครัวโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใหญ่ที่สุดในยุโรป มีพื้นที่ใช้สอย 380 ตร.ม. แบ่งออกเป็น อพาร์ทเมนท์ 3 ชั้น 5 อาคาร บ้านทั้งหลังถูกสร้างขึ้นด้วยระบบการพิมพ์แบบ COBOD's modular BOD 2 แพลตฟอร์มที่ยืดหยุ่นซึ่งสามารถปรับขนาดให้เหมาะกับโครงการที่มีขนาดแตกต่างกัน

2.2 วิธีการพิมพ์ 3 มิติด้วยคอนกรีต

การพิมพ์คอนกรีต 3 มิติใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาดใหญ่มาก ซึ่งมีความสูงและความยาวหลายเมตรเพื่อขับคอนกรีตออกจากหัวฉีด เครื่องจักรนี้มาในรูปแบบโครงสำหรับตั้งสิ่งของหรือแขนหุ่นยนต์ ไม่ว่าการกำหนดค่าของเครื่องพิมพ์จะเป็นแบบไหน เครื่องพิมพ์ทั้งหมดจะรีดวัสดุคอนกรีตคล้ายแป้งที่วางเรียงเป็นชั้นๆออกจากหัวพิมพ์ เพื่อสร้างองค์ประกอบอาคารอย่างต่อเนื่อง

ศักยภาพของการพิมพ์ 3 มิติที่เป็นรูปธรรมแสดงให้เห็นในผลงานของบริษัทการพิมพ์เช่นกัน COBOD ซึ่งเป็นบริษัทการพิมพ์คอนกรีต 3 มิติของเดนมาร์กรายงานว่าผลกำไรเติบโต 100% ในปี 2563 และในช่วง 3 เดือนแรกของปี 2564 มีคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้น 200% เมื่อเทียบกับปีที่แล้ว ตลาดการก่อสร้างการพิมพ์ 3 มิติน่าจะมีมูลค่า 1.5 พันล้านดอลลาร์ภายในปี 2570 เป็นเรื่องง่ายที่จะเห็นว่าทำไมบริษัทก่อสร้างถึงต้องการเปลี่ยนไปใช้การพิมพ์ 3 มิติ เพราะให้ประโยชน์ที่แก่บริษัทต่างๆ รวมไปถึง

1.) ลดการใช้วัสดุเนื่องจากโครงสร้างผนังสามารถปรับให้เหมาะสมได้

2.) ของเสียน้อยลง ไม่จำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์คอนกรีตขนาดใหญ่หรือแบบหล่อ

3.) เวลาก่อสร้างเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับการก่ออิฐหรือการขึ้นรูปคอนกรีต

4.) มีอิสระในการออกแบบที่มากขึ้น สามารถผลิตรูปทรง (ส่วนโค้ง ความกลวง ฯลฯ) การขึ้นรูปซึ่งคอนกรีตแบบดั้งเดิมไม่สามารถทำได้

5.) ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น (สามารถพิมพ์ได้ทุกวันตลอด 24 ชั่วโมง)

6.) ลดการใช้แรงงานคน

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีนี้จะทำให้การใช้วัสดุให้น้อยลง เนื่องจากวัสดุและเครื่องพิมพ์ที่ดีขึ้นจะสามารถสร้างรูปทรงที่ซับซ้อนและมีโครงสร้างที่มั่นคงมากขึ้น ซึ่งไม่สามารถทำได้ในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมการพิมพ์คอนกรีต 3 มิติต้องเผชิญกับความท้าทายที่ต้องเอาชนะก่อนที่จะนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งรวมถึง

1.) ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นสูง (เครื่องพิมพ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง)

2.) ข้อจำกัดของขนาดการพิมพ์ (ส่วนใหญ่ในแนวตั้ง)

3.) มีข้อจำกัดในการใช้วัสดุ

4.) ต้องใช้ความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคสูงในการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์

5.) พื้นผิวของชิ้นส่วนที่พิมพ์ออกมานั้นยังดูไม่น่ามอง (คล้ายการบีบยาสีฟัน)

แม้ว่าการพิมพ์ 3 มิติจะลดความจำเป็นในการใช้แรงงานที่มีทักษะ แต่คนงานที่มีความจำเป็นจะต้องมีการฝึกอบรมและการศึกษาที่สูงมาก นอกจากนี้ งานต่างๆ เช่น การติดตั้งระบบประปาและไฟฟ้า ยังคงต้องใช้คนงานที่เป็นมนุษย์ และพวกเขาจะต้องปรับกระบวนการให้เข้ากับเทคโนโลยีการก่อสร้างแบบใหม่

ถึงแม้ว่าการออกแบบทางสถาปัตยกรรมด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติจะมีความหลากหลายและตัวอาคารมีความโค้งมนได้มากขึ้น แต่ก็มีความท้าทายในการเสริมความแข็งแรงของวัสดุดังที่ได้กล่าวมาแล้ว Asprone และคณะ [2] ได้ลองออกแบบอิฐบล๊อค (concrete segment) ขนาด 60 x 45 ซม จำนวน 2 แบบด้วยกัน แล้วพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ระบบเดลต้า โดยพิมพ์อิฐบล๊อคหนา 10 ชั้น ๆ ละ 20 ซม และนำมาต่อกันเป็นโครงสร้างคานยาว 3 เมตร และเสริมแรงด้วยเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ม.ม. (reinforced concrete members) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการรับแรงสามารถทำได้ดีเทียบเท่ากับคานแข็งเกร็งเสริมแรงปกติ (full solid reinforce concrete) แต่คานอิฐบล๊อคเสริมแรงที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก็ยังมีรอยร้าวให้เห็นบ้างในการรับแรงแบบคานดัดเฉือน (shear damage) ซึ่งแสดงให้เห็นว่างานที่ได้จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ยังไม่สามารถรับแรงได้ดีเหมือนกับคานทั่ว ๆ ไป และยังต้องมีการออกแบบและวิจัยเรื่องการรับแรงแบบดัดเฉือนต่อไป

รูปที่ 1 เครื่องพิมพ์คอนกรีต เคลื่อนที่ตามแกน X,Y,Z

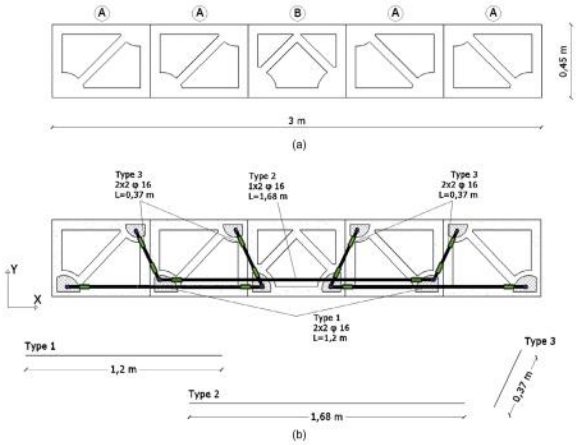


Fig. 6. (a) Target straight beam and geometry of the segments and (b) steel reinforcement scheme.

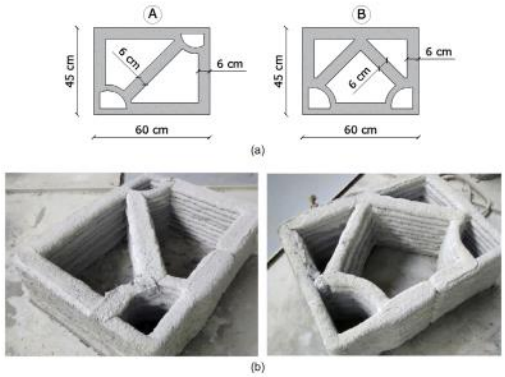


Fig. 7. (a) Schematic representation and dimensions of the beam segments A and B and (b) the correspondent printed segments.

รูปที่ 2 โครงสร้างคานเสริมแรงทำมาจากอิฐบล็อคพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ระบบเดลต้า โดยพิมพ์อิฐบล็อคหนา 10 ชั้น ๆ ละ 20 ซม

เครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ มีความคิดต้นแบบมาจาก เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือ 3D Printing ซึ่งอาศัยการสร้างโมเดล 3 มิติ จากคอมพิวเตอร์ แล้วสั่งพิมพ์ไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เหมือนกับการสั่งพิมพ์ด้วยกระดาษทั่วไป แต่เมื่อพิมพ์เสร็จ แล้วจะได้งานที่สั่งพิมพ์เป็นโมเดล หรือวัตถุ 3 มิติ ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นใช้วัสดุพิมพ์เป็นเรซิ่น ซึ่งจะมีความแข็งแรง ทนความร้อนได้ดี ทำให้เกิดแนวความคิดว่าเครื่องพิมพ์แบบนี้จะสร้างบ้านได้ ซึ่งเป็นโมเดลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ด้วยการสั่งพิมพ์เช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนจากเรซิ่นเป็นคอนกรีตไฟเบอร์ หรือวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยไม่ต้องเสริมเหล็ก จึงมีการออกแบบเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ที่มีหัวฉีดพ่นคอนกรีตไฟเบอร์ ฉีดพ่นขึ้นรูปโมเดลบ้านได้ ตามแบบที่ต้องการ และในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้ผลิตส่วนประกอบของอาคารสูง หลายแห่งแล้ว

หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่สำหรับการสร้างอาคารจะทำงานเหมือนเครื่องพิมพ์ 3 มิติ นั่นคือ การสั่งพิมพ์จากคอมพิวเตอร์ให้เครื่องฉีดคอนกรีตออกมาเป็นชั้นๆ เรียงซ้อนตัวกันขึ้นมาเป็นชิ้นงานรูปทรง 3 มิติ ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงเหลี่ยม โค้ง วงรี ได้อย่างอิสระ ช่วยให้ลดระยะเวลาการ ก่อสร้าง ค่าไม้แบบ ค่าแรงงาน ค่าขนส่ง และค่าวัสดุเสียเศษ ลงได้อย่างมหาศาล ทั้งนี้เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่สำหรับการก่อสร้างที่ใช้อยู่ใน ปัจจุบัน ถูกนำมาใช้สร้างส่วนประกอบของอาคารเป็นหลัก เนื่องจากสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็ว ได้มาตรฐานของขนาดและความแข็งแรง ช่วยการบริหาร จัดการโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 3 วิธีการพิมพ์บ้าน 3 มิติ ด้วยเครื่องพิมพ์คอนกรีต เคลื่อนที่ตามแกน X,Y,Z

2.3 วัสดุที่ใช้ในการพิมพ์บ้าน 3 มิติ

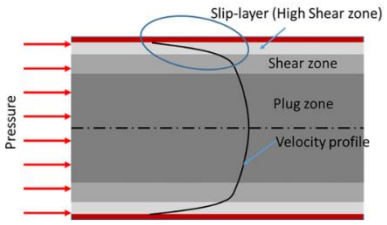
วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ คอนกรีต (Concrete) และมอร์ตาร์ (Mortar) คอนกรีตทำมาจากการผสมซีเมนต์ (Cement) น้ำ ทราย และบางครั้งอาจจะใส่กรวด (Gravel) ในสัดส่วนที่พอเหมาะ ส่วนมอร์ตาร์ทำมาจากการผสมซีเมนต์ น้ำ และปูนขาว (Lime aggregate) โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตจะมีความแข็งแรงและทนทานกว่ามอร์ตาร์ และใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างบ้านและที่พักอาศัย อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการผสมทั้งคอนกรีตและมอร์ตาร์จะใช้ซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งซีเมนต์เองทำมาจากหินปูน (Limestone) ผสมกับดินเหนียว (Clay) และทรายซิลิกา (Silica sand) มาบดให้ละเอียดเข้ากัน และบางครั้งมีการผสมแร่เหล็ก (Iron ore) เข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงด้วย แต่เนื่องจากความแข็งแรงของซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุหลักมีสมบัติไตรโซโทรปี (trixotropy) [3] ที่มีความหนืดแบบความเค้นลดลงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (time-dependent shear thinning) ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการเซตตัวตามอัตราการละเหยของน้ำ (Hydration) ทำให้ไม่สามารถใช้ได้กับการพิมพ์บ้านและสถาปัตยกรรม 3 มิติได้โดยตรง เนื่องจากปัญหาการเสียรูปเนื่องจากน้ำหนักของตัววัสดุเอง (deformation under the self-weight) ในขณะที่วัสดุยังไม่แห้ง ดังนั้นในการก่อสร้างบ้านด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์บ้านและที่พักอาศัย 3 มิติ วัสดุจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนที่วัสดุชั้นถัดไปจะถูกฉีดทับ (open time) และจะไม่ทำให้วัสดุเสียรูปและล้มลงเนื่องจากการยุบตัว (slump or buckling) [4]

ของวัสดุซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเค้นคราก(ของวัสดุ ทำให้ต้องมีการเติมวัสดุบางชนิดที่ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงของวัสดุอย่างรวดเร็วหลังจากวัสดุออกมาจากหัวจ่ายวัสดุ โดยมีคอนกรีตและมอร์ตาร์เป็นวัสดุหลัก (Matrix) เช่นเดิม ดังแสดงส่วนผสมวัสดุสำหรับการพิมพ์บ้านและสถาปัตยกรรม 3 มิติ ที่เคยมีนักวิจัยรายงานในวารสารวิจัย [5] นอกจากนี้ยังต้องควบคุมการยึดเกาะกันระหว่างชั้นของการพิมพ์งานด้วย เนื่องจากถ้าวัสดุชั้นถัดไปจะถูกฉีดทับเร็วเกินไป ผนังอาคารอาจจะล้มลงเนื่องจากการยุบตัวดังที่กล่าวไปแล้ว แต่ถ้าวัสดุชั้นถัดไปจะถูกฉีดทับช้าเกินไปการยึดเกาะระหว่างชั้นก็จะไม่ค่อยดี [6] เทคนิคที่ใช้ในการทำให้วัสดุจับตัว คงรูปหรือแข็งตัว (Consolidation mechanism) อย่างรวดเร็วเพื่อแก้ปัญหาการเสียรูปเนื่องจากน้ำหนักของตัววัสดุเองมีหลากหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือเทคนิคการเปลี่ยนเฟส (Phase transition or phase change) เทคนิคการยึดเกาะทางเคมี (Chemical Polymerization) เทคนิคการผสมตัวประสาน (Adhesive bonding) และเทคนิคการเร่งการระเหยของน้ำ (Fast Hydration) แสดงในรูปที่ 4 เทคนิคการเปลี่ยนเฟสเป็นเทคนิคที่นิยมมากที่สุด วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปจำเป็นจะต้องผสมกับจีโอพอลิเมอร์ (geopolymer) หรือขี้ผึ้ง (wax) ลงไปด้วย [7] วัสดุพวกนี้เมื่อโดนความร้อนจนถึงจุดหลอมละลายจะกลายเป็นของเหลว และจะกลายเป็นของแข็งเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลาย เทคนิคการยึดเกาะทางเคมี เช่น การฉีดโฟม (Foam) ผสมเข้าไปกับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่จะใช้ขึ้นรูปทำให้เกิดพันธะทางเคมีภายในเนื้อวัสดุและคงรูปได้อย่างรวดเร็ว เทคนิคการผสมตัวประสานที่มีความหนืดสูงเพื่อให้ยึดเกาะกับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ไว้ก่อนที่วัสดุหลักเหล่านี้จะเซตตัว [8] ส่วนเทคนิคการเร่งการระเหยของน้ำก็สามารถทำได้โดยอาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ช่วยให้น้ำระบายออกจากคอนกรีตได้เร็วยิ่งขึ้น เช่น การเป่าลมหรือให้ความร้อน เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงหลังการขึ้นรูป สารที่ผสมเข้าไปเพื่อให้วัสดุคงรูปได้เร็วขึ้นเหล่านี้ อาจจะต้องมีกระบวนการกำจัดออกตามมาด้วย (post-processing) เช่น กระบวนการเผาผนึก (sintering) หรือการล้างออก (water-soluble) เป็นต้น เพื่อให้ความหนาแน่นของวัสดุมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านแบบเดิม (ปกติแล้วคอนกรีตที่เซตตัวแล้วจะมีความหนาแน่น ~2,400 kg/m^3)

รูปที่ 4 สรุปกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุและกระบวนการผลิตที่ใช้ในเทคโนโลยีการพิมพ์บ้านและสถาปัตยกรรม 3 มิติ ที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน

ด้วยข้อจำกัดทางด้านวัสดุที่กล่าวมา ทำให้หัวขึ้นรูปในการพิมพ์บ้านและสถาปัตยกรรม 3 มิติ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ๆ คือ (1) กระบวนการอัดรีดวัสดุ (material extrusion) (2) กระบวนการฉีดพ่นวัสดุ (material jetting) และ (3) กระบวนการฉีดพ่นตัวประสาน (binder jetting) ดังแสดงในรูปที่ 4 [1] ซึ่งการออกแบบหัวขึ้นรูปและการตั้งค่าการฉีดวัสดุขึ้นอยู่กับความสามารถในการสูบส่ง (pumpability) ความสามารถในการก่อสร้าง (buildability) ความสามารถในการอัดรีดขึ้นรูป (extrudability) ของวัสดุ ในการสูบส่งคอนกรีตเปียก (concrete paste) ผ่านท่อส่ง [9] ความเร็วของวัสดุภายในท่อจะมีรูปทรงของความเร็ว (velocity profile) ของคอนกรีตเปียกภายในท่อส่งดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าใกล้ผนังท่อวัสดุจะมีความเค้นเฉือนสูง (high shear zone) แต่มีความเร็วในการเคลื่อนตัวต่ำและความเค้นเฉือนจะลดลงจนเป็นศูนย์และมีความเร็วของวัสดุสูงที่สุดที่ตรงกลางท่อ [10]

Process	*Material extrusion*			*Material Jetting*		*Binder-jetting*
Material	*Concrete*	*Clay*	*Polymers*	*Wax*	*Foam*	*Sand + Binder*
Consolidation mechanism	Chemical hydration	Shear-thinning rheology	Phase transition (liquid–solid)		Chemical polymerization	Adhesive bonding



รูปที่ 5 รูปทรงของความเร็ว (velocity profile) ของคอนกรีตภายในท่อส่ง

นายสยามรัฐ สุทธานุกูล[11] Chief Marketing Officer-Cement and Construction Solution Business กล่าวว่า ธุรกิจซีเมนต์และผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง ได้นำนวัตกรรม 3D Cement Extrusion Printing ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 3D Printing ที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุหลัก เรียกว่า 3D Cement Extrusion Printing Mortar เป็นการขึ้นรูปด้วยปูนซีเมนต์สูตรพิเศษ (Mortar Ink) ที่กลุ่มงานวิจัย Mortar Technology หน่วยงาน Research and Innovation Center ในธุรกิจซีเมนต์และผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง SCG เป็นผู้พัฒนาสูตร โดยมีด้วยด้วยกัน 4 สูตร มีกำลังอัดตั้งแต่ 550 350 250 ksc และสูตร Lightweight โดยสูตรนี้จะมีน้ำหนักเบากว่าประเภทอื่นถึง 30% ขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถสร้างสรรค์ชิ้นงาน เพื่อเป็นส่วนประกอบโครงสร้าง ผนัง วัสดุตกแต่งอาคารบ้านเรือน ชิ้นงานเฟอร์นิเจอร์ ได้อย่างอิสระ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีการควบคุมคุณภาพ ระหว่างการผลิตเที่ยงตรงแม่นยำ ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีฝีมือ และได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพควบคู่กับระยะเวลาการผลิต เพียงไม่กี่ชั่วโมงต่อชิ้น อีกทั้งสามารถต่อยอดสร้างสรรค์เป็นสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ได้มากมาย ตั้งแต่ขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ ไปจนถึงการสร้างบ้านพักอาศัยที่สามารถใช้ชีวิตอยู่ได้จริง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

(1.) ศึกษาแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

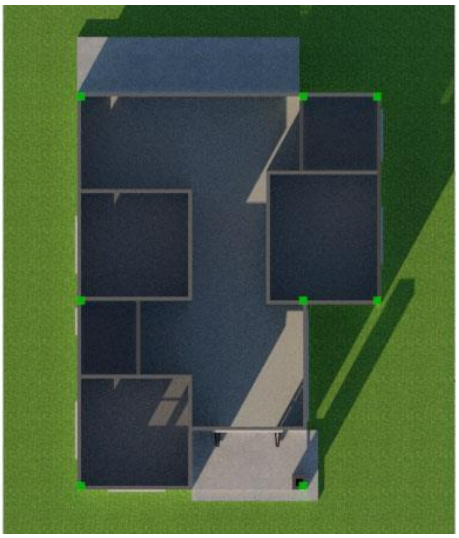
(2.) วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบบ้านเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ โดยผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลและศึกษาลงรายละเอียดไปทางด้านการออกแบบบ้าน การพิมพ์ผนังคอนกรีต และการเชื่อมต่อทางด้านโครงสร้างเพื่อประกอบกันเป็นบ้านหนึ่งหลัง

(3.) ทำการออกแบบบ้าน โดยสมมติให้เครื่องพิมพ์คอนกรีตขนาด 2x3x3 พิมพ์ผนังเป็นส่วนๆเพื่อให้เกิดเป็นห้องแล้วนำมาต่อกันแบบ precast อ้างอิงจากแบบบ้านที่สร้างโดยการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ดังรูปที่ 6 โดยสมมติให้เป็นการพิมพ์คอนกรีตแบบ Off-site แล้วนำมาต่อประกอบ

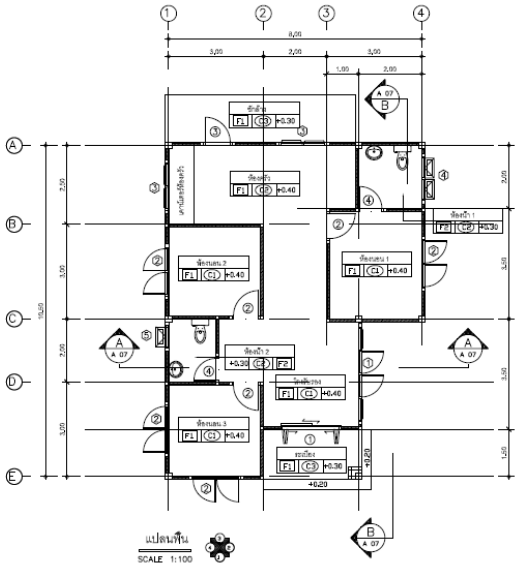
แบบ On-site เพื่อประกอบกันเป็นบ้านหนึ่งหลัง และมีการเว้นช่องว่างเพื่อทำเสาแบบหล่อในที่

(4.) สำหรับการออกแบบบ้านทางผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Sketch Up Pro 2021 สำหรับใช้ในการออกแบบบ้านเพื่อใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 6,7,8 และ อ้างอิงจากแปลนบ้านเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยจะมีรูปผนังบ้านแต่ละชิ้นที่ออกแบบสำหรับประกอบกันเป็นบ้านหนึ่งหลัง

รูปที่ 6 รูป 3 มิติ ของบ้านแบบ Conventional ที่ต้องการศึกษา โดยใช้โปรแกรม Sketch Up Pro 2021 ในการสร้างแบบ



รูปที่ 7 รูป Top View ของบ้านแบบ Conventional ที่ต้องการศึกษา โดยใช้โปรแกรม Sketch Up Pro 2021 ในการสร้างแบบ

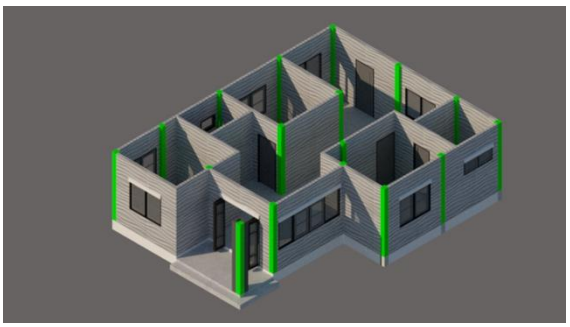


รูปที่ 8 แปลนบ้านเดี่ยว 1 ชั้น ขนาด 80 ตารางเมตร

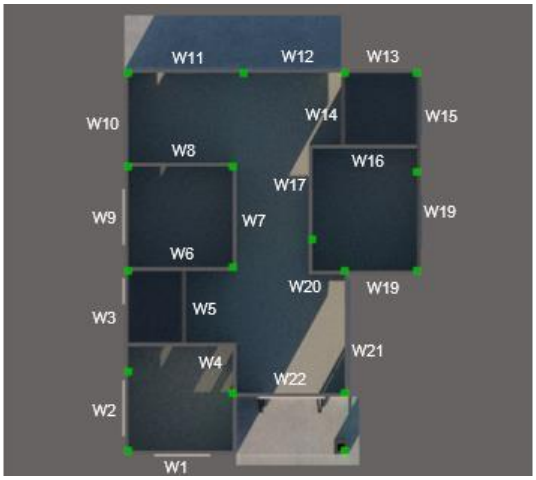
4. ผลการวิจัย

4.1 แบบบ้านที่ออกแบบเพื่อสร้างโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ

บ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมจะมีจำนวนเสา 8 ต้น ซึ่งบ้านที่ออกแบบเพื่อสร้างโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ จะมีเสา 17 ต้น ซึ่งมีเสาเพิ่มมาจากบ้านที่ออกแบบสำหรับการก่อสร้างแบบดั้งเดิมจำนวน 9 ต้น



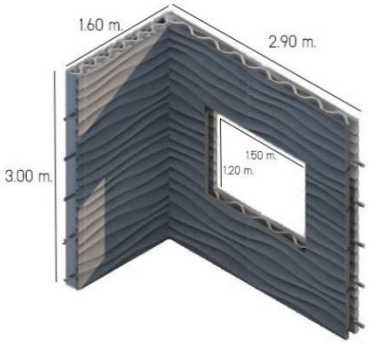
รูปที่ 9 แบบบ้าน 3 มิติ ที่ออกแบบเพื่อสร้างโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ อ้างอิงจากแปลนพื้นของบ้านในรูปที่ 7



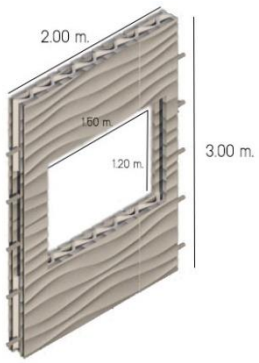
รูปที่ 10 แปลนบ้าน 3 มิติ โดยแสดงรหัสผนังแต่ละชิ้นที่พิมพ์โดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ

4.2 ชิ้นส่วนประกอบของแบบบ้าน 3 มิติ

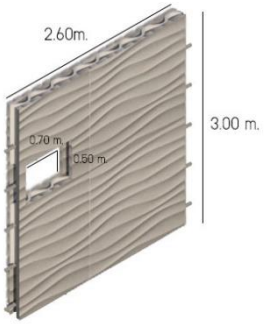
จากการออกแบบพบว่าด้วยข้อจำกัดของเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ทำให้ต้องพิมพ์ผนังบ้านหลายๆชิ้น โดยการออกแบบพบว่าต้องพิมพ์ผนังบ้านด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทั้งหมด 22 ชิ้น เพื่อนำมาต่อประกอบเป็นบ้าน 1 หลัง โดยผนังแต่ละชิ้นจะมีเหล็ก 12 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เสียบไว้อยู่ระหว่างชิ้นงาน ยื่นออกมาจากข้างผนังด้านละ 15 เซนติเมตร โดยในทุกๆ ระยะ 50 เซนติเมตร จะมีเหล็ก 1 จุด ซึ่งสามารถเขียนผนังทั้ง 22 ชิ้นได้ดังรูปที่ 11 ถึง รูปที่ 32



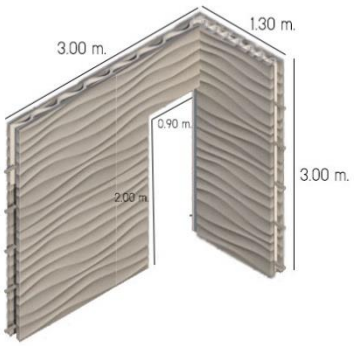
รูปที่ 11 ผนังชิ้นที่ W1 ขนาด 1.60 x 2.90 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



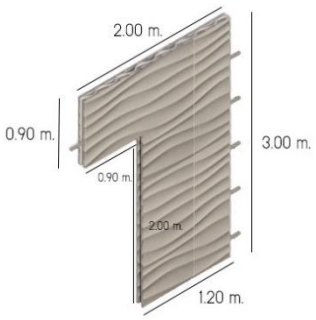
รูปที่ 12 ผนังชิ้นที่ W2 ขนาด 2.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



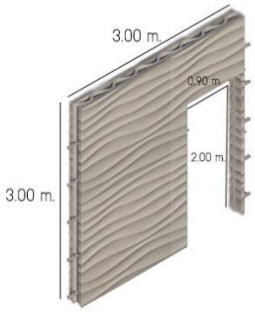
รูปที่ 13 ผนังชิ้นที่ W3 ขนาด 2.60 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.70 x 0.50 เมตร



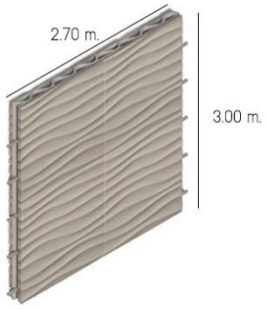
รูปที่ 14 ผนังชิ้นที่ W4 ขนาด 3.00 x 1.30 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



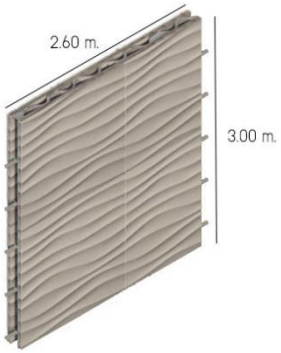
รูปที่ 15 ผนังชิ้นที่ W5 ขนาด 0.90 x 2.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



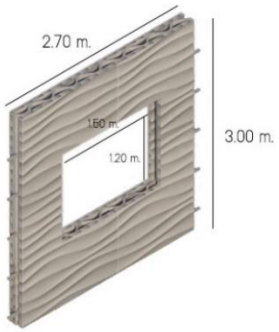
รูปที่ 16 ผนังชิ้นที่ W6 ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



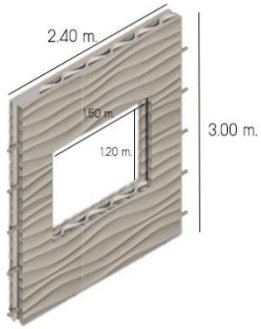
รูปที่ 17 ผนังชิ้นที่ W7 ขนาด 2.70 x 3.00 เมตร



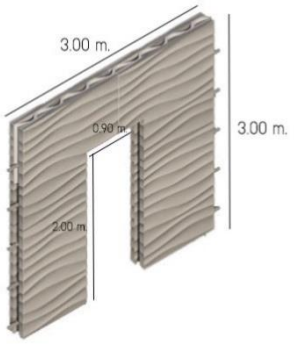
รูปที่ 18 ผนังชิ้นที่ W8 ขนาด 2.60 x 3.00 เมตร



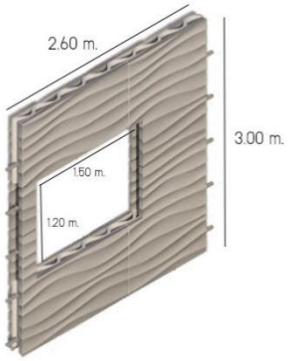
รูปที่ 19 ผนังชิ้นที่ W9 ขนาด 2.70 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



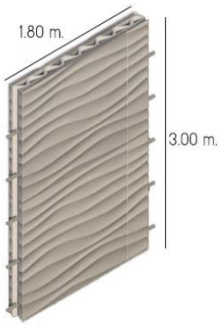
รูปที่ 20 ผนังชิ้นที่ W10 ขนาด 2.40 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



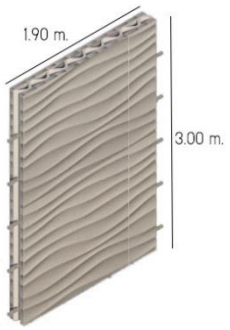
รูปที่ 21 ผนังชิ้นที่ W11 ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



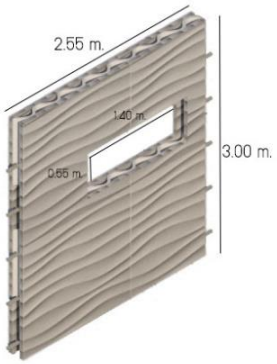
รูปที่ 22 ผนังชิ้นที่ W12 ขนาด 2.60 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



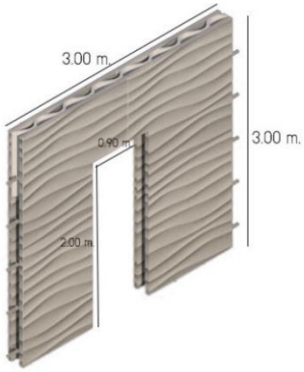
รูปที่ 23 ผนังชิ้นที่ W13 ขนาด 1.80 x 3.00 เมตร



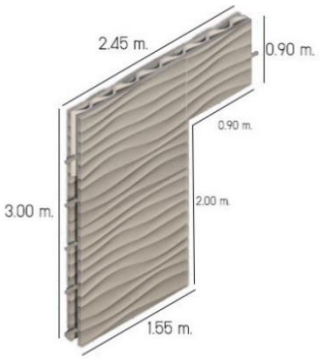
รูปที่ 24 ผนังชิ้นที่ W14 ขนาด 1.90 x 3.00 เมตร



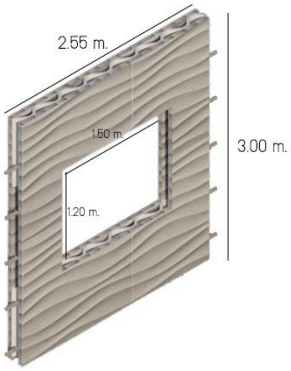
รูปที่ 25 ผนังชิ้นที่ W15 ขนาด 2.55 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.55 x 1.40 เมตร



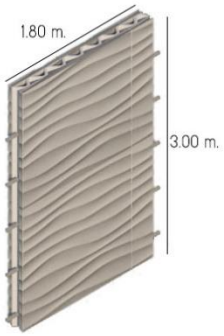
รูปที่ 26 ผนังชิ้นที่ W16 ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



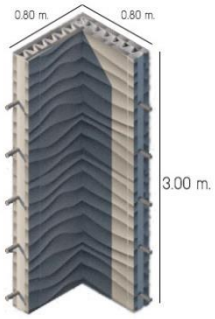
รูปที่ 27 ผนังชิ้นที่ W17 ขนาด 2.45 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 0.90 x 2.00 เมตร



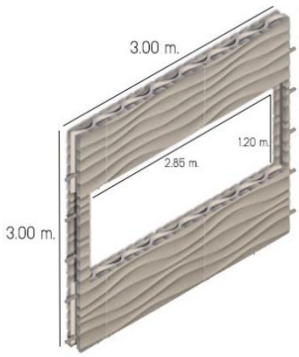
รูปที่ 28 ผนังชิ้นที่ W18 ขนาด 2.55 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.50 x 1.20 เมตร



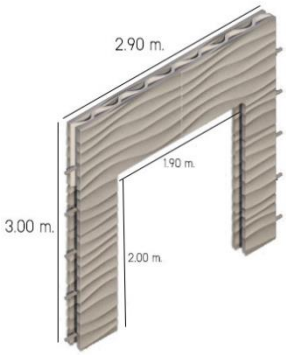
รูปที่ 29 ผนังชิ้นที่ W19 ขนาด 1.80 x 3.00 เมตร



รูปที่ 30 ผนังชิ้นที่ W20 ขนาด 0.80 x 0.80 x 3.00 เมตร



รูปที่ 31 ผนังชิ้นที่ W21 ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 2.85 x 1.20 เมตร



รูปที่ 32 ผนังชิ้นที่ W22 ขนาด 2.90 x 3.00 เมตร
มีพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.90 x 2.00 เมตร

4.3 ต้นทุนในการผลิตบ้านแบบดั้งเดิม

บ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมยังคงใช้วิธีการก่ออิฐ ทำเสาเอ็น และเททับหลัง โดยใบแสดงรายการวัสดุและค่าแรงในที่นี้จะยกในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมาแสดง ประกอบไปด้วยงานฐานราก งาน

คานคอนกรีต งานเสาคอนกรีต งานพื้นคอนกรีต และงานผนัง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่1 ถึงตารางที่5

ตารางที่ 1 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานฐานราก

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	ขุดดิน	55	ลบ.ม.	-	3,300	3,300
2	ถมดิน	53	ลบ.ม.	-	3,180	3,180
3	ขนดินออกนอกพื้นที่	2	ลบ.ม.	-	120	120
4	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	2	ลบ.ม.	4,914	782	5,696
5	แบบหล่อคอนกรีต	9	ตร.ม.	2,250	1,350	3,600
6	เหล็กเสริมคอนกรีต DB12	115	กก.	2,760	1,150	3,910
7	ทรายหยาบ	2	ลบ.ม.	1,000	200	1,200
8	คอนกรีตหยาบ	1	ลบ.ม.	1,610	400	2,010
9	ตะปู	3	กก.	108	-	108
10	ลวดผูกเหล็ก	3	กก.	99	-	99
	รวมราคางานฐานราก			12,741	10,482	23,223

ตารางที่ 2 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานคานคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	8	ลบ.ม.	19,656	3,128	22,784
2	แบบหล่อคอนกรีต	76	ตร.ม.	19,000	11,400	30,400
3	เหล็กเสริมคอนกรีต DB 12	436	กก.	10,464	4,360	14,824
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	129	กก.	1,161	1,161	2,322
5	ตะปู	23	กก.	828	-	828
6	ลวดผูกเหล็ก	17	กก.	561	-	561
7	ทรายหยาบ	5	ลบ.ม.	2,500	500	3,000
8	คอนกรีตหยาบ	2	ลบ.ม.	3,220	800	4,020
	รวมราคางานคานคอนกรีต			57,390	21,349	78,739

ตารางที่ 3 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานเสาคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	2	ลบ.ม.	4,914	782	5,696
2	แบบหล่อคอนกรีต	34	ตร.ม.	8,500	5,100	13,600
3	เหล็กเสริมคอนกรีต DB 12	172	กก.	4,128	1,720	5,848
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	28	กก.	252	252	504
5	ตะปู	10	กก.	360	-	360
6	ลวดผูกเหล็ก	6	กก.	198	-	198
	รวมราคางานเสาคอนกรีต			18,352	7,854	26,206

ตารางที่ 4 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานพื้นคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	3	ลบ.ม.	7,371	1,173	8,544
2	แบบหล่อคอนกรีต	27	ตร.ม.	6,750	4,050	10,800
3	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 9	38	กก.	532	342	874
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	27	กก.	243	243	486
5	ตะปู	8	กก.	288	-	288
6	ลวดผูกเหล็ก	2	กก.	66	-	66
7	พลาสติกปูรองพื้น คสล. ชั้นล่าง	90	ตร.ม.	3,600	2,700	6,300
8	ทรายรองพื้น 10 ซม	90	ตร.ม.	4,500	2,700	7,200
9	แผ่นพื้น คสล. รับน้ำหนักไม่น้อยกว่า 200 กก./ตร.ม.	65	ตร.ม.	14,755	1,625	16,380
10	Wire Mesh 4 mm	65	ตร.ม.	2,275	325	2,600
	รวมราคางานพื้นคอนกรีต			40,380	13,158	53,538

ตารางที่ 5 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานผนัง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	ผนังก่ออิฐมอญชั้นเดียว หนา 10 ซม.	195	ตร.ม.	55,380	17,355	72,735
2	เสาเอ็น และทับหลัง	136	ม.	10,744	5,984	16,728
3	งานฉาบเรียบ	390	ตร.ม.	37,050	31,980	69,030
4	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบทาสี	280	ตร.ม.	12,320	9,520	21,840
5	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น บุกระเบื้อง 8"x8"	30	ตร.ม.	-	4,980	4,980
6	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น บุหินเทียม	3	ตร.ม.	-	498	498
7	เชี้ยม PVC	275	ม.	4,125	2,750	6,875
8	งานฉาบบาง (สกิมโค้ท)	280	ตร.ม.	8,400	5,600	14,000
	รวมราคางานผนัง			128,019	78,667	206,686

จากตารางที่ 1 ถึงตารางที่5 พบว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม ในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมีต้นทุนรวมอยู่ที่ 388,392 บาท ซึ่งงานผนังยังใช้วิธีการก่ออิฐ ทำเสาเอ็นและทับหลัง มีการจับเซี๊ยม การฉาบเรียบและการฉาบบาง ซึ่งเป็นขั้นตอนของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

4.4 ต้นทุนในการผลิตบ้าน 3 มิติ

จากการออกแบบพบว่าในการพิมพ์บ้าน 3 มิติ จะช่วยลดวิธีการสร้างผนังลง จากการก่ออิฐ ทำเสาเอ็น และเททับหลัง จะเหลือแค่การพิมพ์ผนังบ้านและการทำเสาแบบคอนกรีตหล่อในที่ ซึ่งลดขั้นตอนการออกแบบบ้านจากการก่อสร้างแบบดั้งเดิม โดยใบแสดงรายการวัสดุและค่าแรงในที่นี้จะยกในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมาแสดง ประกอบไปด้วยงานฐานราก งานคานคอนกรีต งานเสาคอนกรีต งานพื้นคอนกรีต และงานผนัง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่6 ถึงตารางที่10

ตารางที่ 6 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานฐานราก

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	ขุดดิน	55	ลบ.ม.	-	3,300	3,300
2	ถมดิน	53	ลบ.ม.	-	3,180	3,180
3	ขนดินออกนอกพื้นที่	2	ลบ.ม.	-	120	120
4	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	2	ลบ.ม.	4,914	782	5,696
5	แบบหล่อคอนกรีต	9	ตร.ม.	2,250	1,350	3,600
6	เหล็กเสริมคอนกรีต DB12	115	กก.	2,760	1,150	3,910
7	ทรายหยาบ	2	ลบ.ม.	1,000	200	1,200
8	คอนกรีตหยาบ	1	ลบ.ม.	1,610	400	2,010
9	ตะปู	3	กก.	108	-	108
10	ลวดผูกเหล็ก	3	กก.	99	-	99
	รวมราคางานฐานราก			12,741	10,482	23,223

ตารางที่ 7 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานคานคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	8	ลบ.ม.	19,656	3,128	22,784
2	แบบหล่อคอนกรีต	76	ตร.ม.	19,000	11,400	30,400
3	เหล็กเสริมคอนกรีต DB 12	436	กก.	10,464	4,360	14,824
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	129	กก.	1,161	1,161	2,322
5	ตะปู	23	กก.	828	-	828
6	ลวดผูกเหล็ก	17	กก.	561	-	561
7	ทรายหยาบ	5	ลบ.ม.	2,500	500	3,000
8	คอนกรีตหยาบ	2	ลบ.ม.	3,220	800	4,020
	รวมราคางานคานคอนกรีต			57,390	21,349	78,739

ตารางที่ 8 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานเสาคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	2	ลบ.ม.	4,914	782	5,696
2	แบบหล่อคอนกรีต	34	ตร.ม.	8,500	5,100	13,600
3	เหล็กเสริมคอนกรีต DB 12	172	กก.	4,128	1,720	5,848
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	28	กก.	252	252	504
5	ตะปู	10	กก.	360	-	360
6	ลวดผูกเหล็ก	6	กก.	198	-	198
	รวมราคางานเสาคอนกรีต			18,352	7,854	26,206

ตารางที่ 9 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานพื้นคอนกรีต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราครวม
1	คอนกรีต (fc'= 240 ksc. Cyl.)	3	ลบ.ม.	7,371	1,173	8,544
2	แบบหล่อคอนกรีต	27	ตร.ม.	6,750	4,050	10,800
3	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 9	38	กก.	532	342	874
4	เหล็กเสริมคอนกรีต RB 6	27	กก.	243	243	486
5	ตะปู	8	กก.	288	-	288
6	ลวดผูกเหล็ก	2	กก.	66	-	66
7	พลาสติกปูรองพื้น คสล. ชั้นล่าง	90	ตร.ม.	3,600	2,700	6,300
8	ทรายรองพื้น 10 ซม	90	ตร.ม.	4,500	2,700	7,200
9	แผ่นพื้น คสล. รับน้ำหนักไม่น้อยกว่า 200 กก./ตร.ม.	65	ตร.ม.	14,755	1,625	16,380

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราคารวม
10	Wire Mesh 4 mm	65	ตร.ม.	2,275	325	2,600
	รวมราคางานพื้นคอนกรีต			40,380	13,158	53,538

ตารางที่ 10 ใบแสดงราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานผนัง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง	ราคารวม
1	ผนังคอนกรีตพิมพ์โดยเครื่องพิมพ์คอนกรีต 3 มิติ	320	ลบ.ม.	1,440,000	25,600	1,465,600
2	เหล็กเสริมคอนกรีต DB 12	150	กก.	3,600	1,500	5,100
	รวมราคางานผนัง			1,443,600	27,100	1,470,700

จากตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 5 พบว่าบ้านที่สร้างด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมีต้นทุนรวมอยู่ที่ 1,652,406 บาท เนื่องจากราคาปูนสำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์คอนกรีตในประเทศไทยยังมีราคาสูง ซึ่งมีราคา 4,500 บาท/ลบ.ม. จึงทำให้ในด้านต้นทุนบ้านที่ออกแบบสำหรับสร้างด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ มีราคาสูงกว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

5. บทสรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

1.) ในส่วนของการออกแบบเสา พบว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมจะมีจำนวนเสา 8 ต้น ซึ่งบ้านที่ออกแบบเพื่อสร้างโดยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ จะมีเสา 17 ต้น ซึ่งมีเสาเพิ่มมาจากบ้านที่ออกแบบสำหรับการก่อสร้างแบบดั้งเดิมจำนวน 9 ต้น

2.) ในส่วนของการออกแบบผนัง พบว่าด้วยด้วยข้อจำกัดด้านขนาดของเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ซึ่งมีขนาด 2 x 2 x 3 เมตร ทำให้ต้องพิมพ์ผนังบ้านด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทั้งหมด 22 ชิ้น เพื่อนำมาต่อประกอบเป็นบ้าน 1 หลัง โดยผนังแต่ละชิ้นจะมีเหล็ก 12 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เสียบไว้อยู่ระหว่างชิ้นงาน ยื่นออกมาจากข้างผนังด้านละ 15 เซนติเมตร โดยในทุกๆระยะ 50 เซนติเมตร จะมีเหล็ก 1 จุด

3.) จากการศึกษา พบว่าในการพิมพ์บ้าน 3 มิติ จะช่วยลดวิธีการสร้างผนังลง จากการก่ออิฐ ทำเสาเอ็น และเททับหลัง จะเหลือแค่การพิมพ์ผนังบ้านและการทำเสาแบบคอนกรีตหล่อในที่ ทำให้ช่วยลดของเสียจากการก่อสร้าง

4.) ในด้านต้นทุนพบว่า บ้านที่ออกแบบสำหรับสร้างด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ยังมีราคาสูงกว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม โดยบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมีต้นทุนรวมอยู่ที่ 388,392 บาท แต่บ้านที่สร้างด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ในส่วนของงานโครงสร้างและงานผนังมีต้นทุนรวมอยู่ที่ 1,652,406 บาท เนื่องจากราคาปูนสำหรับใช้กับเครื่องพิมพ์คอนกรีตในประเทศไทยยังมีราคาสูง ซึ่งมีราคา 4,500 บาท/ลบ.ม. จึงทำให้ในด้านต้นทุนบ้านที่ออกแบบสำหรับสร้างด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ มีราคาสูงกว่าบ้านที่ใช้วิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ ผู้ศึกษามีความคิดเห็นว่าในประเทศไทย การใช้เทคโนโลยีการพิมพ์บ้าน 3 มิติ ยังมีราคาที่สูง จากการศึกษาพบว่า ในด้านต้นทุนที่ได้กล่าวมาข้างต้น ยังไม่รวมราคาเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ซึ่งปัจจุบันมีราคาอยู่ที่ 21,000,000 บาท ซึ่งนับว่าเป็นต้นทุนที่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม แต่หากในอนาคตราคาของเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ ถูกลงก็อาจสามารถสร้างบ้านด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าการก่อสร้างแบบดั้งเดิม เนื่องจากการสร้างบ้านด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์บ้าน 3 มิติ สามารถช่วยลดปัญหาแรงงานที่หายาก ลดปัญหาค่าแรงที่เพิ่มขึ้น โดยใช้แรงงานคนในการพิมพ์ผนังบ้านน้อยกว่าแรงงานที่ก่อสร้างด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และยังช่วยลดของเสียในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เนื่องจากการพิมพ์ผนังด้วยคอนกรีตสามารถลดวิธีการสร้างผนังลง จากการก่ออิฐ ทำเสาเอ็น และเททับหลัง จะเหลือแค่การพิมพ์ผนังบ้านและการทำเสาแบบคอนกรีตหล่อในที่ ทำให้ช่วยลดของเสียจากการก่อสร้าง ข้อได้เปรียบของการสร้างบ้านด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติกับวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิม คือการพิมพ์บ้านด้วยเครื่องพิมพ์บ้าน 3 มิติ สามารถสร้างได้แบบ free forms ทำ texture ทำรูปทรงได้ตามต้องการ จึงไม่นิยมสร้างแบบรูปทรงธรรมดา จะเน้นที่การ Design เป็นหลัก จึงทำให้บ้าน 3 มิติ มีลวดลาย และรูปทรงที่ไม่เหมือนบ้านทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Jipa, A. and Dillenburger, B., (2022) 3D Printed Framwork for Concrete: State-of-the-Art, Opportunities, Challenges, and Applications, 3D printing and additive manufacturing, 9(2), DOI:10.1089/3dp.2021.0024

[2] Asprone, D. et. al (2018) 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach, Construction and Building Materials, 165, 218-231

[3] Roussel, N. et. al (2011) The origins of thixotropy of fresh cement pastes, Cement and Concrete Research, 42, 148-157. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.09.004

[4] Wolfs, R.J.M. et. al (2018) Early age mechanical behavior of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing, Cement and Concrete Research, 106, 103-116

[5] Khan, M.A., (2020) Mix suitable for concrete 3D printing: A review, Material Today: Proceedings, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.825

[6] Perrot, A. et. al., (2016) Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques, Materials and structures 49:1213-1220, DOI: 10.1617/s11527-015-0571-0

[7] Paul, S. C. et. al (2018) Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction, Archives of civil and mechanical engineering, 18, 311-319. DOI: 10.1016/j.acme.2017.02.008

[8] Le, T.T. et. al (2012) Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete, Materials and Structures, 45, 1221-1232. DOI: 10.1617/s11527-012-9828-z

[9] Biranchi, P. and Ming Jen, T. (2018) Experimental study on mix proportion and fresh properties of fly ash based geopolymer for 3D concrete printing, Ceramics International, 44(9), 10258-10265. DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.03.031

[10] Choi, M. S. et. al (2014) Prediction of concrete pumping using various rheological models, International Journal of Concrete Structures and Materials, 8(4) 269-278. DOI: 10.1007/s40069-014-0084-1

[11] นายสยามรัฐ สุทธานุกูล (2562). "นวัตกรรม 3D Cement Printing Extrusion" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttps://www.bangkokbiznews.com/pr-news/biz2u/255587 (17 ตุลาคม 2565).