บทความวิจัย

การประมาณน้ำหนักเหล็กโครงสร้างอาคารโครงเฟรมเหล็กเตี้ยด้วยการออกแบบเชิงกำเนิด

วิเศษ ฝากาทอง โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ และ ศิรเดช สุริต*
ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2942 8960 อีเมล: archsds@ku.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.02.005
รับเมื่อ 29 ธันวาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 13 มิถุนายน 2565 ตอบรับเมื่อ 30 สิงหาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 17 กุมภาพันธ์ 2566
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการออกแบบเชิงกำเนิดในการออกแบบเบื้องต้นของอาคารเหล็กโครงข้อแข็งในระบบพิกัด 3 มิติ โดยมีขั้นตอนเริ่มต้นจากการกำหนดตัวแปรออกแบบ คือ ความกว้าง ความยาว ความสูง ระยะช่วงกริดของโครงสร้าง ต่อมาเป็นกระบวนการกำเนิดเซตของพารามิเตอร์ออกแบบ (Design Parameter) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยอัลกอรึทึมของกระบวนการสับหมู่แล้วจึงทำการประมาณน้ำหนักโครงสร้างอาคารจากทุกทางเลือกการออกแบบที่ถูกสร้างขึ้น การประมาณน้ำหนักโครงสร้างทำโดยการออกแบบโครงสร้างโดยใช้หน่วยแรงดัดโดยประมาณ ตาม AISC เพื่อนำไปหาขนาดหน้าตัดของเหล็กโดยใช้มาตรฐานการออกแบบ ASD 1989 โดยผลการออกแบบที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ETABS เพื่อเปรียบเทียบการประมาณปริมาณเหล็กที่ใช้ โดยข้อมูลการออกแบบที่ได้ถูกนำไปใช้การวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างอาคารด้วยวิธีการทางวิศวกรรมในรายละเอียดในลำดับต่อไป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้ทีมผู้บริหาร และออกแบบโครงมีข้อมูลเปรียบเทียบต้นทุนก่อสร้างในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น กรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นโครงสร้างอาคารเหล็กที่มีระยะ ความกว้าง ความยาว และความสูง อย่างสม่ำเสมอในขอบเขตการใช้งานอาคารทั่วไปที่ความสูงไม่เกิน 5 ชั้น จากผลการศึกษากระบวนการออกแบบเชิงกำเนิดให้ผลการประมาณน้ำหนักใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมด้วยโปรแกรม ETABS โดยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ –8.58 ถึง 3.55

คำสำคัญ: การออกแบบเชิงกำเนิด ขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น แบบจำลองเชิงพารามิเตอร์

การอ้างอิงบทความ: วิเศษ ฝากาทอง, โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ และ ศิรเดช สุริต, "การประมาณน้ำหนักเหล็กโครงสร้างอาคารโครงเฟรมเหล็กเตี้ยด้วยการออกแบบเชิงกำเนิด," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, หน้า 1–10, เลขที่บทความ 243-205717, ก.ค.–ก.ย. 2567.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2567
The Journal of KMUTNB., Vol. 34, No. 3, Jul.–Sep. 2024

Research Article

Structure Weight Estimation of Low Rise Steel Frame Buildings by Generative Design

Wisate Fhagatong, Sopa Visitsak and Siradech Surit*
Department of Building Innovation, Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2942 8960, E–mail: archsds@ku.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.02.005
Received 29 December 2021; Revised 27 June 2022; Accepted 30 August 2022; Published online: 17 February 2023
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research introduces the Generative Design (GD) into the preliminary design processes of a Rigid steel building in a 3D Rectangular coordinate system. The study process started by determining the design variables: width, length, height, and grid span of the structure. The sets of all possible design parameters are then generated by the combinatorial cross-product algorithm then the estimations of the building weight from all design options are made. Structural weight estimation was made by designing the structure using approximate bending moment according to AISC to obtain the cross-sectional dimensions of steel using the ASD 1989 design standard. The results of the designs were analyzed and compared with ETABS Structural Analysis Program to Compare Estimates of Steel Used. Finally, the design data has been used to analyze and design the building structure by engineering methods in detailed design processes. The results provide the information to management and design teams to compare construction costs during the conceptual design phase. The case study used in this research is a steel building structure with consistent spans, widths, lengths and heights in the scope of general building use at a height of no more than 5 stories. The results of the study suggest that the material estimations from the Generative Design process produces weight are comparable to the design results from the ETAB. The deviation of estimation is between –8.58% to 3.55%.

Keywords: Generative Design, Early-Stage Design, Parametric Model

Please cite this article as: W. Fhagatong, S. Visitsak, and S. Surit, "Structure weight estimation of low rise steel frame buildings by generative design," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 3, pp. 1–10, ID. 243-205717, Jul.–Sep. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

การออกแบบเชิงกำเนิด (Generative Design) เป็นกระบวนการซึ่งสามารถให้ผู้ออกแบบอาคารสามารถสำรวจผลลัพธ์ของทางเลือกการออกแบบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้าได้ [1] จากการศึกษาที่ผ่านมามีกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้งานการออกแบบเชิงกำเนิดกับการออกแบบทางสถาปัตยกรรม [2], [3] และวิศวกรรมโครงสร้าง [4] ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานในการศึกษาการออกแบบเชิงแนวคิดได้เป็นอย่างดี

โดยทั่วไปกระบวนการประมาณราคาการก่อสร้างอาจค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยพิจารณาจากรูปแบบของการใช้งานอาคาร เช่น อาคารที่อยู่อาศัย อาคารสาธารณะ คุณภาพการก่อสร้าง ลักษณะของเจ้าของงาน [5] ซึ่งการประมาณราคาการก่อสร้างสามารถแบ่งย่อยเป็นโครงสร้างต้นทุนก่อสร้างของงานสถาปัตยกรรมกับงานวิศวกรรมได้โดยราคาต่อหน่วยตามค่าเฉลี่ยทางสถิติ [6] ในส่วนของปริมาณน้ำหนักโครงสร้างเหล็กมีค่าเฉลี่ย 35 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร [7] ซึ่งที่ผ่านมานั้นการประมาณราคาทุกแนวทางเป็นกระบวนการใช้ค่าเฉลี่ยทางสถิติซึ่งช่วยสร้างกรอบงบประมาณ อย่างไรก็ตามการประมาณราคาโดยวิธีการดังกล่าวอาจมีความคลาดเคลื่อนไปในขั้นตอนการออกแบบเชิงรายละเอียด

สำหรับต้นทุนงานโครงสร้างจะได้จากผลลัพธ์ของขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดโดยใช้การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารด้วยวิธีทางวิศวกรรมโดยในปัจจุบันสามารถใช้คอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองอาคารขึ้นมาเพื่อแสดงผลการคำนวณได้ในมุมมองสามมิติ

อย่างไรก็ตามกระบวนการประมาณราคาโครงสร้างจากการออกแบบเชิงแนวคิด สามารถดำเนินการโดยวิศวกรโครงสร้าง ซึ่งกระบวนการอาจประกอบด้วยขั้นตอนการปรับแก้ขนาดโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ และการวิเคราะห์คำนวณผลจากทางเลือกการออกแบบที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ รวมถึงกระบวนการวิเคราะห์ซ้ำจากทางเลือกการออกแบบที่เป็นไปได้ ขั้นตอนทั้งหมดอาจใช้เวลาในการดำเนินการที่มากและอาจมีความผิดพลาดจากขั้นตอนการคำนวนจากปัจจัยมนุษย์ (Human Factor) การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการประมาณราคาโครงสร้างในขั้นตอนการออกแบบเชิงแนวคิดที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและมีความเป็นอัตโนมัติจึงมีความจำเป็นทั้งในมิติทางเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม

บทความนี้นำเสนอกระบวนการออกแบบโครงสร้างอาคารเหล็กโดยการออกแบบเชิงกำเนิดเพื่อใช้ในการประมาณขนาดหน้าตัดและน้ำหนักเหล็กที่มีความแม่นยำเทียบเท่ากับโครงสร้างอาคารด้วยวิธีทางวิศวกรรม โดยการใช้แบบจำลองอาคารในระบบพิกัดฉากมาพัฒนาเป็นแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์ (Parametric Model) จากนั้นจึงนำไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบด้วยการออกแบบเชิงกำเนิดภายใต้เงื่อนไขสภาพบังคับและวัตถุประสงค์การออกแบบที่ต้องการ เมื่อคอมพิวเตอร์คำนวณผลลัพธ์แล้วจึงแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำหนักเหล็กที่กำหนดตามเงื่อนไขต่างๆ ไว้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้บทความนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงกำเนิดกับงานวิศวกรรมโครงสร้างได้ในอนาคต

1.1 การออกแบบเชิงกำเนิด

จากเอกสารของ Harvard Business Review Analytic Services (Briefing Paper) [8] เรื่อง “The Next Wave of Intelligent Design Automation” ได้อธิบายถึงความแตกต่างระหว่างกระบวนการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันกับการใช้การออกแบบเชิงกำเนิด (Generative Design) ว่า เมื่อคอมพิวเตอร์ออกแบบผลลัพธ์ใดๆ ออกมาตามเงื่อนไขและข้อจำกัดการออกแบบ (Design Constrains) ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ตามข้อกำหนดการออกแบบ (Design Requirement) ที่ต้องการด้วยตัวเอง ในขณะที่การออกแบบด้วยวิธีเชิงกำเนิด ข้อกำหนดการออกแบบ ที่ต้องการตรวจสอบจะถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์แล้วคอมพิวเตอร์จะทำการประเมินการออกแบบ (Design Evaluation) ที่เกิดขึ้นจากตัวเลือกค่าพารามิเตอร์ออกแบบ (Design Parameter) ทั้งหมดที่เป็นไปได้ ซึ่งผู้ใช้งานทำหน้าที่ตัดสินใจบนข้อมูลที่ได้ และทำการเลือกค่าพารามิเตอร์การออกแบบเหมาะที่สุด (Optimal

Design Parameter) จากผลการประเมินการออกแบบ

1.2 โปรแกรมที่ใช้ออกแบบอาคารด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิด

โปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์เพื่อการออกแบบอาคารด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิด มีหลายโปรแกรมด้วยกัน เช่น โปรแกรม Grasshopper [9] พัฒนาโดย Robert McNeel & Associates โปรแกรม Dynamo Studio [10] จาก Autodesk Inc. โดยโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Dynamo Studio ซึ่งเป็นการพัฒนา โปรแกรมเชิงภาพ (Visual Programming) ทำงานร่วมกับสภาพแวดล้อมของโปรแกรม Autodesk Revit

1.3 ขั้นตอนการออกแบบเริ่มต้น

ขั้นตอนการออกแบบอาคารโดยทั่วไปมีอยู่ 4 ขั้นตอน [11] คือ

1) การกำหนดแนวทางการออกแบบ (Programing)

2) การออกแบบร่าง (Schematic Design)

3) การออกแบบขั้นพัฒนา (Design Development)

4) การจัดทำเอกสารก่อสร้าง (Construction Documents)

สำหรับขั้นตอนการออกแบบเริ่มต้น (Early-Stage Design) จะอยู่ในช่วงเวลาของ 3 ขั้นตอนแรกก่อนการจัดทำเอกสารก่อสร้าง การออกแบบเบื้องต้นเป็นการออกแบบเชิงแนวคิดของโครงการซึ่งมีความต่อเนื่องแบบลูกโซ่ไปยังการออกแบบเชิงรายละเอียด หากการออกแบบเชิงแนวคิดมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้การออกแบบเชิงรายละเอียดมีประสิทธิภาพเช่นกัน [12], [13]

การออกแบบเชิงแนวคิดของงานวิศวกรรมโครงสร้างเหล็กเริ่มต้นจากการใช้ประสบการณ์ของผู้ใช้งานที่ผ่านมาเป็นตัวกำหนดค่ามิติโครงสร้างแบบประมาณโดยใช้สัดส่วนช่วงพาดและความลึกของหน้าตัดคาน (Span/Depth Ratio) [14]

1.4 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษากระบวนการประมาณโครงสร้างเหล็กจากการออกแบบเชิงกำเนิด

2) ประเมินผลการตรวจสอบผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กเบื้องต้นด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างจากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง

1.5 ขอบเขตการศึกษา

1) โครงสร้างอาคารเหล็กเป็นระบบการก่อสร้างแบบระบบพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate)

2) โครงสร้างอาคารเหล็กจาก หน้าตัด H-Section เป็นระบบ เสา-คาน ความสูงไม่เกิน 5 ชั้นและไม่มีโครงสร้างลิฟต์ในอาคาร

3) การวิเคราะห์ดำเนินการภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตในแนวดิ่ง และพิจารณาเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การออกแบบเนื่องจากแรงลมกระทำด้านข้างอาคาร

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 โปรแกรม ดังต่อไปนี้

1) Dynamo Revit รุ่น 2.5.0.

2) ETABS รุ่น 2019 Ultimate

2.1 กรอบแนวคิดแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์

การวิจัยนี้ใช้รูปทรงพื้นฐานของอาคารโครงสร้างเหล็กที่เป็นระบบโครงข้อแข็งในพิกัดฉาก โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ออกแบบจากมิติอาคาร

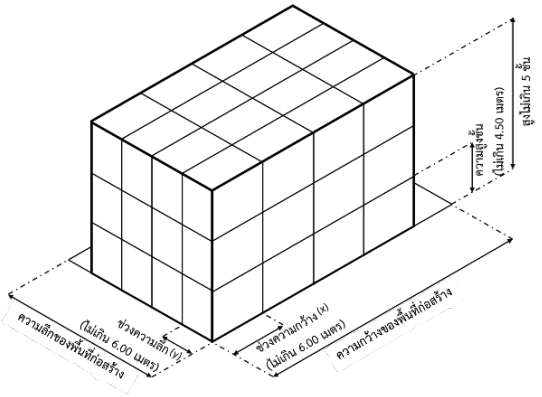
1) ความกว้างรวม (ไม่จำกัดระยะ) ซึ่งมีระยะแต่ละช่วงความกว้าง (X) (ไม่เกิน 6 เมตร)

2) ความลึกรวม (ไม่จำกัดระยะ) ซึ่งมีระยะแต่ละช่วงความลึก (Y) (ไม่เกิน 6 เมตร)

3) จำนวนชั้น (ไม่เกิน 5 ชั้น) ซึ่งความสูงของแต่ละชั้น (ไม่เกิน 4.5 เมตร)

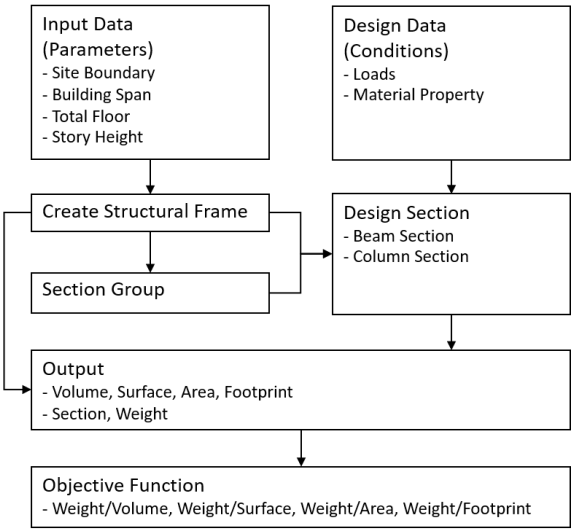
พารามิเตอร์ของมิติอาคารที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดแสดงดังรูปที่ 1

เงื่อนไขการออกแบบประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อพื้น ทิศทางการถ่ายน้ำหนัก น้ำหนักผนังกระทำต่อคาน กำลังวัสดุในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก กำหนดผลลัพธ์



รูปที่ 1 พารามิเตอร์ของมิติอาคาร

ที่ต้องการ คือ หน้าตัดคาน หน้าตัดเสา น้ำหนักรวม กำหนดเกณฑ์พิจารณาของการออกแบบเชิงกำเนิด (Objective Function) ซึ่งเป็นค่าของผลลัพธ์ในมุมมองความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวมกับคุณสมบัติของมิติอาคารซึ่ง ประกอบด้วย สัดส่วนน้ำหนักรวมต่อปริมาตรอาคาร (Weight/Volume) สัดส่วนน้ำหนักรวมต่อพื้นผิวห่อหุ้มอาคาร (Weight/Surface) สัดส่วนน้ำหนักรวมต่อพื้นที่อาคาร (Weight/Area) และ สัดส่วนน้ำหนักรวมต่อพื้นที่ตั้งอาคาร (Weight/Footprint) โดยผังระเบียบวิธีดำเนินการประมาณน้ำหนักโครงสร้างอาคารเหล็กด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังระเบียบวิธีดำเนินการประมาณน้ำหนักโครงสร้างอาคารเหล็กด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิด

2.2 กำหนดวิธีการประมาณหน้าตัดโครงสร้างเหล็ก

การออกแบบเชิงกำเนิดมีเป้าหมายในการหาผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์จำนวนมาก ซึ่งอาจต้องใช้ความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก หากระเบียบวิธีดำเนินการมีความซับซ้อนอาจทำให้ประมวลผลใช้เวลานานหรือเกิดการหยุดทำงานได้ ดังนั้นในระเบียบวิธีการวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ตามวิธี AISC ASD 1989 [15]

การวิจัยนี้กำหนดน้ำหนักบรรทุกบนคานทั้งหมดจะเป็นชนิดน้ำหนักบรรทุกแผ่แบบสม่ำเสมอ (Uniform Load) กำหนดให้จุดต่อทั้งหมดของโครงสร้างเป็นแบบโครงข้อแข็ง (Rigid Frame) คานเป็นแบบมีค้ำยันข้างตลอดความยาว (Fully Braced) การประมาณหน้าตัดไม่ได้คำนวณผลการแอ่นตัวที่ยอมให้ (Deflection Limit)

การออกแบบโครงสร้างรับแรงดัด (คาน) จะใช้ค่าโมเมนต์ดัด (M) ตามสมการที่ (1) [16] จากน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ (w) และความยาวคาน (l)

$$M = \frac{wl^2}{10} \tag{1}$$

ใช้ค่าหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b) จากความสัมพันธ์ของหน่วยแรงครากของเหล็ก (F_y) ตามสมการที่ (2)

$$F_b = 0.6F_y \tag{2}$$

คำนวณค่าจากโมดูลัสหน้าตัด (Sx) จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดกับหน่วยแรงดัดที่ยอมให้ ตามสมการที่ (3)

$$Sx = \frac{M}{F_b} \tag{3}$$

การออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด (เสา) เป็นไปตามสมการที่ (4) คำนวณค่าจากพื้นที่หน้าตัดรับแรงอัด (A) จาก

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (U) โดยเพิ่มค่าการออกแบบอีก 1.5 เท่า ซึ่งเป็นการเผื่อน้ำหนักให้ครอบคลุมผลจากแรงลมที่มีส่วนเพิ่มแรงกดในเสาจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีวิศวกรรม กำหนดหน่วยแรงรับแรงอัดของเสาที่ยอมให้ไว้ไม่เกิน 0.5 เท่าของหน่วยแรงดึง ณ จุดคราก ของเหล็ก (F_y) เป็นค่าตัวแทนการการประมาณหน้าตัดเสาในเบื้องต้นทั้งหมด

$$A = \frac{1.5U}{0.5F_y} \tag{4}$$

การรับน้ำหนักในการออกแบบคาน กำหนดให้คานตามแนวความกว้างอาคาร เป็นด้านรับน้ำหนักของพื้นทางเดียว กำหนดให้คานทุกชั้นรับน้ำหนักผนังยกเว้นคานชั้นหลังคา

กลุ่มหน้าตัดคาน ประกอบด้วย กลุ่มคานด้านในตามแนวความกว้างอาคาร กลุ่มคานริมตามแนวความกว้างอาคาร กลุ่มคานตามแนวความลึกอาคาร และกลุ่มคานหลังคา กลุ่มหน้าตัดเสากำหนดขนาดหน้าตัดเสาเดียวกันในแต่ละชั้น

2.3 สร้างแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Dynamo ในการสร้างแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์โดยมีอัลกอริทึมที่ทำงานสอดคล้องจากพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่ต้องการทั้งหมดไว้อย่างสมบูรณ์ โดยแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลของรูปทรงทางกายภาพและผลลัพธ์การคำนวณทันทีเมื่อผู้ใช้งานเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

2.4 ตรวจสอบผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กเบื้องต้นด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิด

เงื่อนไขการออกแบบด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดโดยกำหนดให้ น้ำหนักพื้น 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักจรบนพื้น 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักจรบนหลังคา 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกเพิ่มบนพื้น 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักบรรทุกเพิ่มบนหลังคา 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร น้ำหนักผนังอิฐมวลเบา 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ใช้เหล็กชั้นคุณภาพ SS400 มอก. 1227–2558 [17]

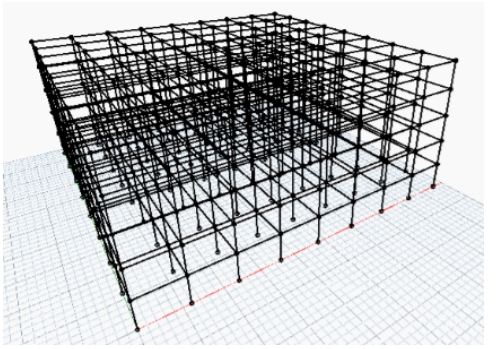
ใช้การตรวจสอบผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กเบื้องต้นด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างจากโปรแกรม ETABS [18] โดยการตรวจสอบ จะใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ของกลุ่มตัวอย่าง 6 กลุ่มแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนชั้นตั้งแต่ 1–5 ชั้น โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์ของมิติอาคารที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1 โดย

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณเหล็ก (ตัน) ระหว่างการออกแบบเชิงกำเนิดกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีวิศวกรรม

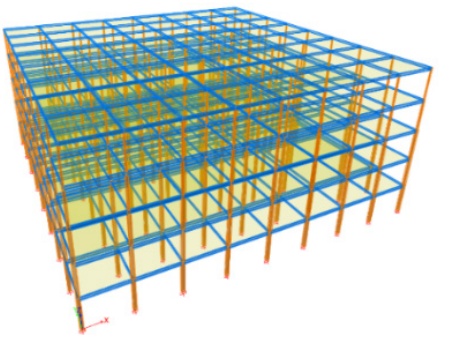
กลุ่ม	จำนวนและระยะช่วง		ความสูงชั้น
	X (m)	Y (m)	(m)
1	4@3.50	6@5.00	3.50
2	8@4.00	3@5.00	3.50
3	6@5.00	4@4.00	3.50
4	4@4.00	6@5.00	4.00
5	8@5.00	8@5.00	4.00
6	8@6.00	8@6.00	4.50

การสร้างแบบจำลองโครงสร้างในโปรแกรม ETABS ใช้พารามิเตอร์และเงื่อนไขที่เหมือนกันกับการออกแบบเชิงกำเนิด กำหนดการเลือกหน้าตัดเสาและคานให้โปรแกรมคำนวณให้แบบอัตโนมัติ และพิจารณาผลลัพธ์การออกแบบหน้าตัดเสาและคานจากผลของ Demand/Capacity Raio Limit (D/C) ไม่เกิน 1 ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าชิ้นส่วนทั้งหมดในโครงสร้างผ่านการออกแบบ

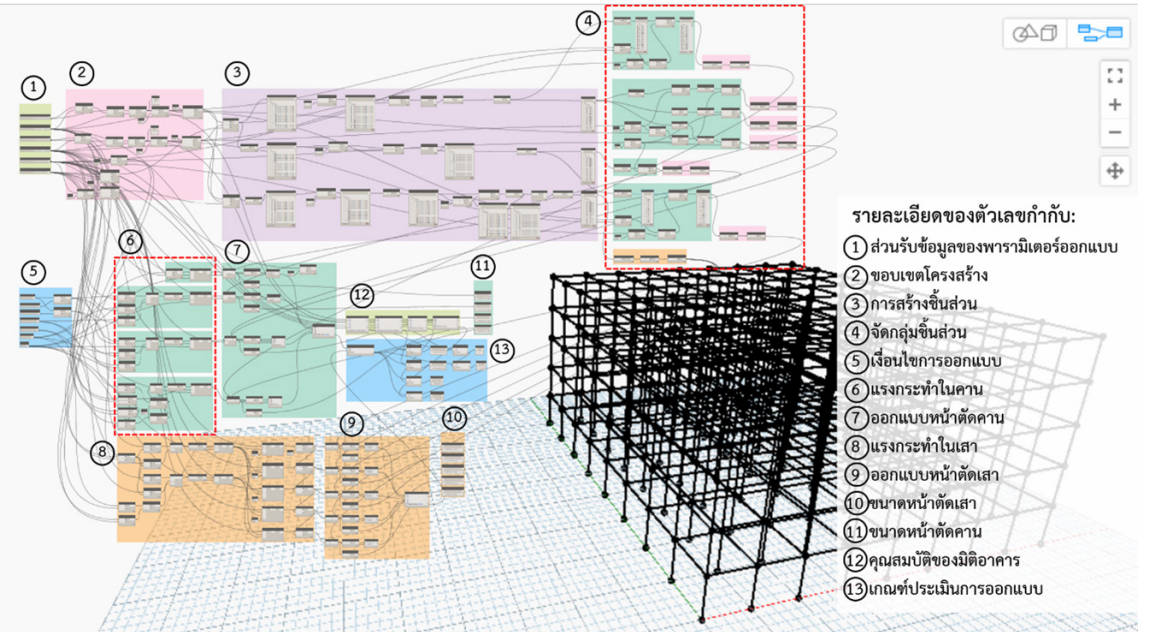
สำหรับการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารด้วยคอมพิวเตอร์ใช้แรงลมตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 [19] โดยแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ที่สร้างจากโปรแกรม Dynamo แสดงดังรูปที่ 3 และแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ที่สร้างจากโปรแกรม ETABS เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติจากโปรแกรม Dynamo



รูปที่ 4 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติจากโปรแกรม ETABS



รูปที่ 5 แบบจำลองเชิงพารามิเตอร์โดยโปรแกรม Dynamo

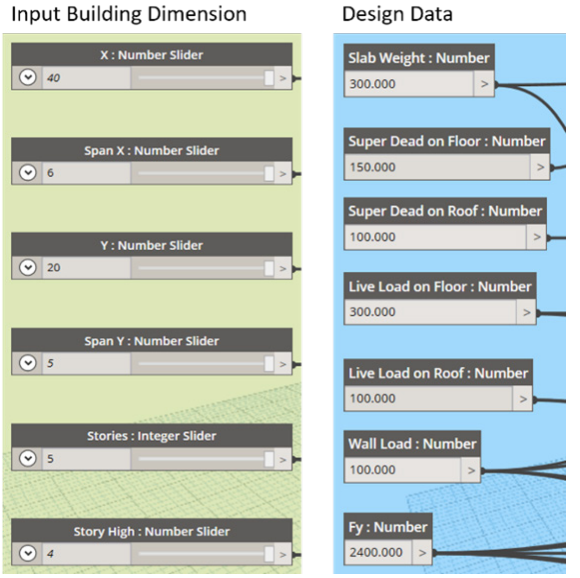
การพัฒนาแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม Dynamo Studio ซึ่งภาษาโปรแกรมเชิงภาพ โดยทำการสร้างกระบวนการทำงานทั้งหมดด้วยโหนดคำสั่ง (Node) ต่างๆ ที่เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกันด้วยเส้นเชื่อมข้อมูล (Wire) สำหรับกระบวนการทำงานของแบบจำลองเชิงพารามิเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 5

2.5 การประเมินการออกแบบ

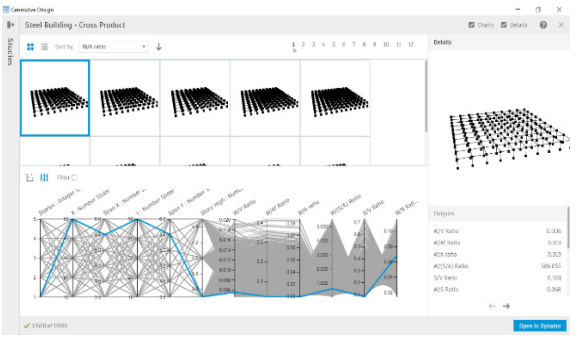
การประเมินผลการออกแบบเชิงกำเนิดจะคำนวณผลรวมของน้ำหนักคานและผลรวมน้ำหนักเสาแล้วนำมารวมเป็นผลน้ำหนักรวมทั้งโครงสร้างอีกครั้ง

2.6 สรุปและวิเคราะห์ผล

สรุปและวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กเบื้องต้นด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างโดยตรงด้วยโปรแกรม ETABS



รูปที่ 6 พารามิเตอร์และเงื่อนไขที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน



รูปที่ 7 ผลลัพธ์จากการออกแบบเชิงกำเนิดตามเงื่อนไข

3. ผลการทดลอง

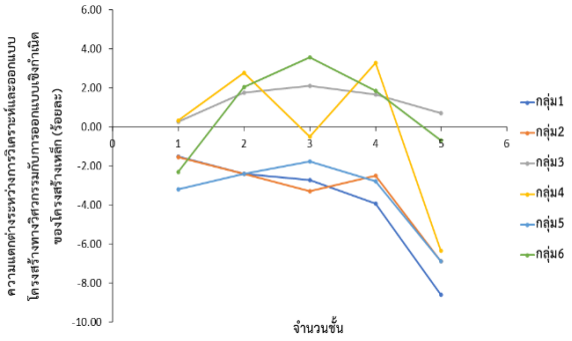
แบบจำลองเชิงพารามิเตอร์จากโปรแกรม Dynamo มีส่วนของพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด (Input Building Dimension) และเงื่อนไขที่ต้องกำหนด (Design Data) แสดงดังรูปที่ 6 โดยเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลเพื่อสร้างขอบเขตในการคำนวณด้วยการออกแบบเชิงกำเนิด จากเซตของการออกแบบตามที่ระบุในขอบเขตการวิจัยนี้สามารถสร้างกรณีศึกษาการออกแบบได้เป็นจำนวน 13,500 กรณีศึกษา ซึ่งเมื่อคำนวณผลลัพธ์จากขอบเขตของเงื่อนที่กำหนดโดยผู้ใช้งานแล้วโปรแกรม Dynamo สามารถแสดงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังรูปที่ 7

ผลลัพธ์จากการออกแบบเชิงกำเนิดตามเงื่อนไขตามรูปที่ 7 โดยโปรแกรม Dynamo แสดงผลเชิงเส้นเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดทุกกรณีศึกษาพร้อมทั้งแสดงผลแบบจำลองและสรุปผลลัพธ์ของรายการที่ผู้ใช้งานได้เลือกไว้ในมุมมองความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวมกับคุณสมบัติของมิติอาคารซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ผลการตรวจสอบผลการออกแบบโครงสร้างเหล็กเบื้องต้นด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดเทียบกับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมจากโปรแกรม ETABS แสดงไว้ดังตารางที่ 2 โดยแสดงผลการคำนวณน้ำหนัก (ตัน) ของโครงสร้างทั้งหมดทั้งน้ำหนักคานและน้ำหนักเสาของทั้ง 2 วิธี

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณเหล็ก (ตัน) ระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมกับวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดของโครงสร้างเหล็ก

กลุ่ม	จำนวนชั้น	Structural Design	Generative Design	ความแตกต่างร้อยละ
1	1	11.20	11.03	–1.53
	2	22.90	22.36	–2.42
	3	36.85	35.87	–2.73
	4	52.36	50.38	–3.93
	5	71.72	66.05	–8.58
2	1	11.57	11.75	–1.56
	2	24.46	25.05	–2.41
	3	40.00	41.32	–3.30
	4	57.15	58.57	–2.48
	5	76.12	81.35	–6.87
3	1	11.64	11.62	0.26
	2	25.61	25.16	1.76
	3	42.50	41.60	2.12
	4	59.97	58.98	1.65
	5	82.32	81.74	0.70
4	1	12.21	12.17	0.33
	2	26.86	26.12	2.76
	3	43.14	43.36	–0.51
	4	63.79	61.69	3.29
	5	81.04	86.17	–6.33



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นอาคารกับความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมกับการออกแบบเชิงกำเนิดของโครงสร้างเหล็ก

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปรียบเทียบปริมาณเหล็ก (ตัน) ระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมกับวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดของโครงสร้างเหล็ก

กลุ่ม	จำนวนชั้น	Structural Design	Generative Design	ความแตกต่างร้อยละ
5	1	35.50	36.63	–3.18
	2	78.38	80.27	–2.41
	3	125.84	128.07	–1.77
	4	180.95	186.00	–2.79
	5	241.25	257.87	–6.89
6	1	53.11	54.33	–2.30
	2	126.39	123.81	2.04
	3	216.32	208.63	3.55
	4	291.38	285.98	1.85
	5	389.03	391.75	–0.70

การออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดให้ผลน้ำหนักรวมมากกว่าการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างไม่เกินร้อยละ 8.58 และให้ผลน้ำหนักรวมน้อยกว่าการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างไม่เกิน ร้อยละ 3.55

เมื่อนำจำนวนชั้นกับร้อยละความแตกต่างของปริมาณเหล็กจากการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมกับการออกแบบเชิงกำเนิดมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 8

4. อภิปรายผลและสรุป

การประมาณน้ำหนักโครงสร้างเหล็กของอาคารสูงไม่เกิน 5 ชั้น ด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดให้ผลใกล้เคียงกับผลจากการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมโดยโปรแกรม ETABS ซึ่งให้ผลที่มากกว่าไม่เกินร้อยละ 8.58 และให้ผลที่น้อยกว่าไม่เกินร้อยละ 3.55 ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานควรเผื่อปริมาณเหล็กที่ออกแบบด้วยวิธีการออกแบบเชิงกำเนิดไว้อีกไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.55 เพื่อให้ค่าที่ได้ครอบคลุมผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม ผลรวมการประมาณน้ำโครงสร้างเหล็กเมื่อรวมกับค่าเผื่ออีกร้อยละ 3.55 จะทำให้มีขอบเขตความเป็นไปได้ของน้ำหนักที่เกินจากการออกแบบในขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดในช่วงร้อยละ 0.00 (ผลรวมความแตกต่างน้อยสุดกับค่าเผื่อร้อยละ 3.55) ถึงร้อยละ 12.13 (ผลรวมความแตกต่างมากสุดกับค่าเผื่อร้อยละ 3.55)

การใช้วิธีการออกแบบเชิงกำเนิดในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นสามารถช่วยให้ทีมผู้บริหารและออกแบบโครงการทราบข้อมูลน้ำหนักและขนาดเหล็กโครงสร้าง ซึ่งเป็นต้นทุนก่อสร้างอาคารเหล็ก ทำให้ผู้เกี่ยวข้องทั้งหมดสามารถดำเนินงานของแต่ละคนได้โดยไม่ต้องย้อนกลับมาแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อมูลของมิติโครงสร้างและราคาที่ส่งผลกระทบตามมาภายหลังมากนัก

ในส่วนผู้ใช้งานโครงสร้างอาคารสามารถลดภาระงานในขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดได้มากเพราะขนาดหน้าตัดของโครงสร้างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งานอยู่แล้ว ผู้ใช้งานเพียงแก้ไขปรับปรุงขนาดชิ้นส่วนโครงสร้างบางตำแหน่งซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การออกแบบ ทำให้การทำงานในภาพรวมมีความรวดเร็วมากขึ้น นอกจากนี้การออกแบบอาคารด้วยการออกแบบเชิงกำเนิดยังมีขีดความสามารถอื่นอีกมากที่จะเป็นประโยชน์กับงานวิศวกรรมโครงสร้างได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Krish, “A practical generative design method,” *Computer-Aided Design*, vol. 43, no. 1, pp. 88–100, 2011.

[2] L. Caldas, "Generation of energy-efficient architecture solutions applying GENE_ARCH: An evolution-based generative design system," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 22, no. 1, pp. 59–70, 2008.

[3] L. Caldas, "An evolution-based generative design system: using adaptation to shape architectural form," Massachusetts Institute of Technology, 2001.

[4] A. K. Noor, "AI and the future of the machine design," *Mechanical Engineering*, vol. 139, no. 10, pp. 38–43, 2017.

[5] A. O. Elfaki, S. Alatawi, and E. Abushandi, "Using intelligent techniques in construction project cost estimation: 10-year survey," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2014, 2014.

[6] G.-H. Kim, J.-M. Shin, S. Kim, and Y. Shin, "Comparison of school building construction costs estimation methods using regression analysis, neural network, and support vector machine," *Journal of Building Construction and Planning Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2013.

[7] *Best practice in Steel Construction-COMMERCIAL BUILDINGS Guidance for Architects, Designners & Constructors*., SCI., Ascot, LDN, 2008, pp. 2–6.

[8] Autodesk, *The next wave of intelligent design automation*. Boston, MA: Harvard Business Review Analytic Services, 2018, pp. 2–8.

[9] M. Ericson, "Review: Grasshopper algorithmic modeling for rhinoceros 5," *The Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 76, no. 4, pp. 580–583, 2017.

[10] Autodesk. (2022, May 4). *Dynamo Studio Computational BIM Design*. [Online]. Available: https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio

[11] S. Punthumontree, *Mckeller notes-unveiling investment strategies and construction management of real estate development projects*, Bangkok: Mckeller, 2019 (in Thai).

[12] L. Bragança, S. M. Vieira, and J. B. Andrade, "Early stage design decisions: the way to achieve sustainable buildings at lower costs," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.

[13] W. L. Neeley Jr, K. Lim, A. Zhu, and M. C. Yang, "Building fast to think faster: exploiting rapid prototyping to accelerate ideation during early stage design," in *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2013, vol. 55928.

[14] J. L. Ruddy, and S. A. Ioannides. (2000, February). *Rules of thumb for steel design. North american steel construction conference*. [Online]. Available: https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2000/02/2000v02_rules_of_thumb.pdf.

[15] *Specification for Structural Steel Buildings Allowable Stress Design and Plastic Design*, American Institute of Steel Construction: Chicago, IL, 1989.

[16] *Steel construction manual*, 15 ed. Amer Inst of Steel Construction, 2017.

[17] *Hot rolled structural steel sections*, TIS 1227-2558, 2015.

[18] CSI. (2021, December). *ETABS*. [Online]. Available: https://wiki.csiamerica.com/display/etabs

[19] *Building Control Act No.6 , B.E. 2522* (1979), M. Regulation, 1984.