

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับการวางแผนงานเหล็กเส้น

Development of Building Information Modeling for Steel Bar Planning

ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว¹ ณัฐพล กันโต^{2*} ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี³
และ วิทยา ศรีสมบุญ⁴

Narongrit Wongwai^{1*}, Nuttapon Gunto²
Suphawut Malaikrisanachalee³ and Wittaya Srisomboon⁴

Received: 17 December 2022

Revised: 25 June 2023

Accepted: 26 June 2023

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดซื้อเหล็กเส้นในงานก่อสร้างคือการเผื่อปริมาณของเหล็กเส้นเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อการใช้งาน แต่การเผื่อปริมาณในการสั่งซื้อจะแตกต่างกันไปตามรายละเอียดโครงสร้างของโครงการ หากต้องการสั่งซื้อเหล็กเส้นให้มีปริมาณพอดีกับการใช้งานจำเป็นที่จะต้องวางแผนการตัดเหล็ก โดยการจัดทำรายการตัดเหล็กปัจจุบันวิธีการที่ใช้ในการจัดทำรายการตัดเหล็กคือ การถอดปริมาณจากแบบสองมิติและใช้วิธีการตามประสบการณ์ของผู้ควบคุมงานในการจัดทำรายการตัดเหล็ก งานวิจัยนี้จึงพัฒนาขั้นตอนการทำงานโดยใช้แบบจำลองเฉพาะชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตแล้วจึงจัดทำรายการตัดเหล็ก โดยส่งออกข้อมูลแต่ละชิ้นส่วน

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี ประเทศไทย 20230

¹ Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, Thailand 20230

² สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

² Infrastructure Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

³ Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

⁴ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร สกลนคร ประเทศไทย 47000

⁴ Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalemphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon, Thailand 47000

*ผู้พิมพ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: nuttapongunta@gmail.com

ของโครงสร้างคอนกรีตแบบอัดโน้มิตีเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กเส้นที่ต้องการ โดยอ้างอิงข้อมูลการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงการมาตรฐาน การเสริมเหล็กและระยะหุ้มผิวเหล็กเสริมคอนกรีต แล้วจึงทำการสร้างแบบจำลองในส่วนงานเหล็กเสริมคอนกรีตซึ่งจะทำให้ไม่ต้องแก้ไขแบบจำลอง ตามการจัดทำรายการตัดเหล็กที่มีรายละเอียดการต่อทาบ ซึ่งในกรณีศึกษาจะต้องแก้ไขแบบจำลองในส่วนของเสาโครงสร้างที่ต้องมีการต่อทาบถึงร้อยละ 41.6 ของเสาโครงสร้างทั้งหมด นอกจากนี้งานวิจัยได้เสนอแนวทางการจัดทำรายการตัดเหล็ก ซึ่งเป็นแนวทางแบบฮิวริสติกที่มีการวิเคราะห์การตัดแบบทีละชิ้น ทำให้สามารถวิเคราะห์การต่อทาบในทุกการตัดได้ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการเลือกรูปแบบการตัดที่นิยมในปัจจุบันที่ไม่คำนึงถึงการต่อทาบเหล็กเสริม ส่งผลให้การจัดทำรายการตัดเหล็กในกรณีศึกษาโดยวิธีการที่นำเสนอมีปริมาณเศษเหล็กลดลงจากวิธีการเลือกรูปแบบการตัดอยู่ร้อยละ 30

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร รายการตัดเหล็ก ฮิวริสติก

ABSTRACT

The problem of procuring steel bars in construction projects lies in accurately estimating the quantity of steel bars needed for the project. The quantity estimation varies based on the structural details of the project. To ensure that the ordered steel bars are sufficient for the project requirements, it is necessary to plan the steel cutting process by preparing a cutting list. Currently, the method used to create the rebar-cutting list involves extracting quantities from two-dimensional drawings and relying on the experience of the job controller to prepare the list. This research aims to develop a workflow by using a specific model of the concrete structure components to generate the cutting list automatically. The data of each component of the reinforced concrete structure will be exported to analyze the required quantity of steel bars, referencing the design data of the reinforced concrete structure, steel reinforcement standards, and cover thickness. A model will then be created specifically for the reinforced concrete work, eliminating the need to modify the model based on the detailed jointing information from the cutting list. In the case study is needed to be edited the structural column model which is overlapping steel 41.60 percent of all structural column steel. Additionally, the research proposes a heuristic approach for the cutting list, which is a humanistic method that analyzes each cutting individually, enabling the analysis of jointing in every cut. This approach the bar cut list report in this study case differs from the current popular method that disregards the jointing of steel bars, resulting in a 30% reduction in steel scrap compared to the pattern-based cutting method commonly used.

Keywords: Building Information Modeling; Rebar-cutting; Heuristic

บทนำ

ปัญหาที่พบในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กคือปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียเป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากการออกแบบการถอดปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตที่คลาดเคลื่อน การคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหลือเศษเหล็กมากเกินไป การนำเหล็กเส้นที่ตัดและตัดตามรูปทรงแล้วไปติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง [1-2] ส่งผลต่อระยะเวลาของโครงการและทำให้เกิดค่าใช้จ่ายของโครงการสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น โดยข้อมูลจากสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยพบว่า เหล็กเส้นและเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีปริมาณส่งออกมากที่สุดเมื่อเทียบกับเหล็กชนิดอื่นๆ และถึงแม้การบริโภคเหล็กเส้นของไทยในปี 2565 ช่วงไตรมาสที่ 3 ลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนแต่ก็มีปริมาณการบริโภคเหล็กเส้นสูงถึง 7.78 แสนตัน [3] จากผลการศึกษาดังกล่าวปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดโดยทั่วไปคิดเป็นร้อยละ 8.9 [4] แม้โครงการก่อสร้างที่มีระบบควบคุมการตัดเหล็กเส้นที่ดีแต่ก็สามารถลดปริมาณเศษเหล็กเส้นได้เพียงร้อยละ 6 [4] ทั้งนี้หากคิดปริมาณเศษเหล็กเส้นเพียงร้อยละ 5 ในปี 2565 ช่วงไตรมาสที่ 3 จะมีปริมาณเศษเหล็กเหลือสูงถึง 38,900 ตัน นอกจากนี้จากข้อมูลราคาต่อหน่วยของเหล็กเส้นเฉลี่ย 24,000 บาทต่อตัน [5] จะส่งผลให้มีมูลค่าความสูญเสียจากปริมาณเศษเหล็กสูงถึง 778 ล้านบาท ดังนั้นหากมีการควบคุมการตัดเหล็กที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดค่าใช้จ่ายจากปริมาณเศษเหล็กได้ถึง 451 ล้านบาทจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานงานเหล็กเส้นคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 50 [2] ของค่าใช้จ่ายในงานโครงสร้างและคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 17.89 [2] ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ดังนั้นการวางแผนเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของโครงการได้

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีสารสนเทศอาคารมาใช้ในงานวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง [6-11] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโครงการตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาออกแบบ การประมาณราคา การวางแผนงาน การวิเคราะห์และจำลองสถานการณ์ การติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้าง การควบคุมการใช้งานและการบำรุงรักษาสังปลูกสร้างที่สร้างขึ้น รวมถึงการถอดปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตของโครงการเพื่อช่วยลดต้นทุนและข้อผิดพลาดในการก่อสร้าง ลดระยะเวลาการดำเนินโครงการ ลดข้อขัดแย้งระหว่างการก่อสร้างและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารภายในโครงการอีกด้วย จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาการใช้แบบจำลองในการถอดปริมาณและจัดทำรายการตัดเหล็กโดยวิธีการเลือกรูปแบบการตัดอยู่ [10-11] โดยขั้นตอนการนำเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาจัดทำบัญชีรายการตัดเหล็กแสดงในรูปที่ 1 โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในส่วนงานคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนแล้วจึงถอดปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตจากแบบจำลองเพื่อนำมาจัดทำรายการตัดเหล็ก และในการจัดทำรายการตัดเหล็กทำให้ทราบถึงขั้นตอนการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีตและแผนการตัดเหล็กเส้นความยาวมาตรฐานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด (ความยาว 10 เมตรและ 12 เมตร) ให้เหลือเศษจากการตัดน้อยที่สุด โดยจะมีรายละเอียดการต่อทาบเหล็กเสริมคอนกรีตเพิ่มเข้ามาด้วย ทำให้ต้องมีการแก้ไขแบบจำลองเหล็กเสริมคอนกรีตที่สร้างขึ้นให้สอดคล้องกับรายการตัดเหล็กที่จัดทำขึ้น ในบางครั้งหากจำนวนการแก้ไขมีหลายตำแหน่งอาจจะต้องดำเนินการสร้างแบบจำลองในส่วนงานเหล็กเสริมคอนกรีตขึ้นมาใหม่ทั้งหมด ทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก และหากไม่ได้แก้ไขแบบจำลองเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการก่อสร้างจนทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการแก้ไขให้ถูกต้องในภายหลัง

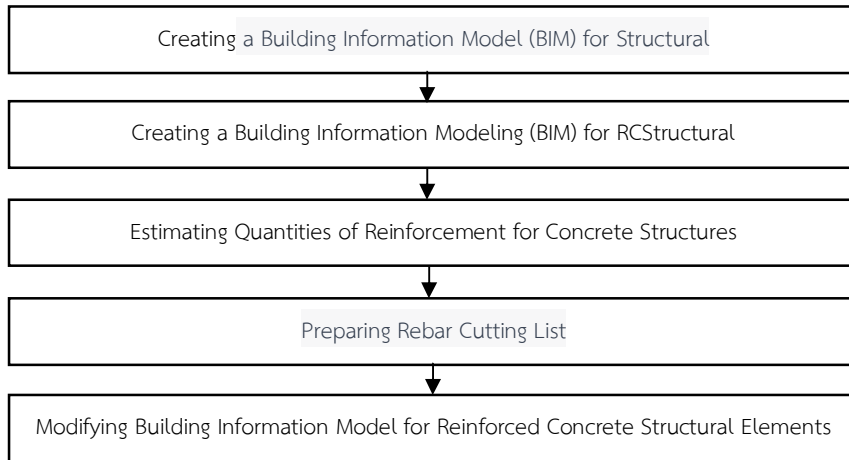


Figure 1 Steps for Generating a Steel Cutting List Using a Building Information Model According to Literature Review

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเริ่มจากการสร้างเฉพาะชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเพื่อส่งออกข้อมูลขนาดของแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างมาวิเคราะห์ปริมาณเหล็กเส้นที่ต้องการ โดยอ้างอิงข้อมูล 3 ส่วนได้แก่ รายการคำนวณการเสริมเหล็กเส้นในโครงสร้างคอนกรีต ข้อมูลมาตรฐานการเสริมเหล็ก มยผ.1103-64 และระยะหุ้มผิวเสริมคอนกรีต แล้วจึงจัดทำรายการตัดเหล็กและสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารตามรายการตัดเหล็กที่จัดทำขึ้น

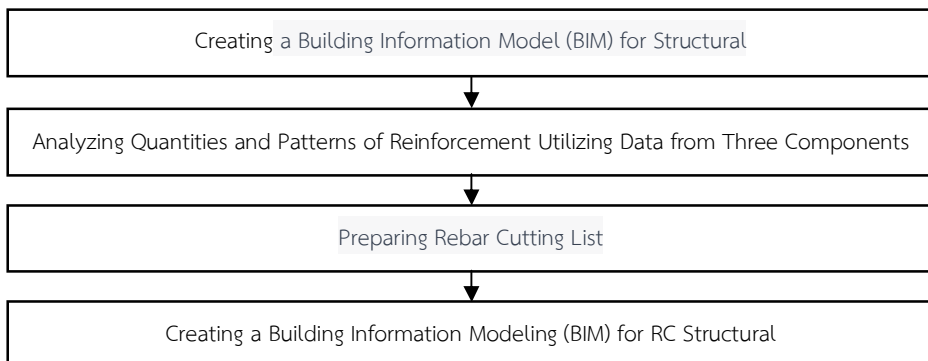


Figure 2 Steps for a Steel Cutting List Using the Developed Building Information Model

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาวิธีการจัดทำรายการตัดเหล็กโดยใช้แนวทางการตัดที่ละชิ้น (Item-Oriented Approach) ด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic) [12-13] ซึ่งเป็นวิธีการที่พิจารณาการต่อทาบเหล็กด้วย

แตกต่างจากวิธีการแบบหารูปแบบการตัด (Pattern-Oriented Approach) [15-20] ที่พิจารณาเพียงรูปแบบที่ให้เศษน้อยที่สุดและทำซ้ำรูปแบบดังกล่าว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1. มยผ. 1103-64

มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมืองที่เกี่ยวกับการเสริมเหล็กเส้นในโครงสร้างคอนกรีตประกอบด้วย การงอขอลายเหล็กเสริมคอนกรีตตามยาวแบบของอเป็นมุมฉากหรือ 90 องศา หากเหล็กเส้นเสริมแรงเป็นเหล็กเส้นกลมขนาดตั้งแต่ 15 มิลลิเมตรขึ้นไปหรือเหล็กข้ออ้อยทุกขนาด การงอขอให้ปลายยื่นจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้นๆ และของอเป็นครึ่งวงกลมหรือ 180 องศาหากเป็นเหล็กเส้นกลมขนาดเล็กกว่า 15 มิลลิเมตรขึ้นไป การงอขอต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้นและต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร นอกจากนี้การงอของเหล็กลูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกเดี่ยว (Tie) ประกอบด้วยเหล็กเส้นเสริมแรงที่มีขนาด 25 มิลลิเมตรลงมาให้งอ 135 องศาหรืออแบบวงเปิด ส่วนปลายยื่นต้องยาวต่อออกไปไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น เหล็กเส้นเสริมแรงที่มีขนาด 16 มิลลิเมตรลงมาหากไม่ใช่งอ 135 องศาให้งอ 90 องศาหรืออแบบมุมฉาก ส่วนปลายยื่นต้องยาวต่อออกไปไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น เหล็กเส้นเสริมแรงที่มีขนาด 19 ถึง 25 มิลลิเมตร ลงมาหากไม่ใช่งอ 135 องศาให้งอ 90 องศาหรืออแบบมุมฉาก ส่วนปลายยื่นต้องยาวต่อออกไปไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้นและเส้นผ่าศูนย์กลางการโค้งดัดงอ (D) ตามตารางที่ 1 และมีมาตรฐานระยะของการต่อทาบเหล็กได้ดังนี้

- เหล็กเส้นกลมต้องทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น
- เหล็กข้ออ้อยSD30 ต้องทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น
- เหล็กข้ออ้อยSD40 ต้องทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 36 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น
- เหล็กข้ออ้อยSD50 ต้องทับซ้อนกันไม่น้อยกว่า 45 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กนั้น

Table 1 Centerline of Bending Radius (D)

Reinforcement Size	Minimum Inside Bending Diameter Dimension (D)
6 mm. to 25 mm.	6 Times the Diameter of Reinforcement's Centerline
28 mm. to 36 mm.	8 Times the Diameter of Reinforcement's Centerline
40 mm.	10 Times the Diameter of Reinforcement's Centerline

2. การจัดทำรายการตัดเหล็ก

วิธีการใช้ในการจัดทำรายการตัดเหล็กในปัจจุบันยังใช้วิธีการถอดปริมาณจากแบบ 2 มิติแล้วจึงจัดทำรายการตัดเหล็กตามประสบการณ์ของผู้จัดทำรายการตัดเหล็ก [11,23] และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาแบบจำลองสารสนเทศอาคารถูกนำมาใช้ในการถอดปริมาณเหล็กเส้นเพื่อนำมาจัดทำรายการตัดเหล็ก โดยการถอดปริมาณเหล็กจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารทำให้ทราบปริมาณที่แตกต่างจากปริมาณที่ถูกต้องเพียงร้อยละ 1.11 [14] ของปริมาณเหล็กทั้งหมดซึ่งแตกต่างจากวิธีถอดแบบทั่วไปอยู่ร้อยละ 17.76

[14] ปริมาณที่ถูกต้องนี้เองทำให้รายการตัดเหล็กมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จากการศึกษาวิธีการจัดทำรายการตัดเหล็กที่มีการใช้ในงานวิจัยคือการหารูปแบบการตัด (Pattern-Oriented Approach) [15-20] เป็นการหารูปแบบที่มีประสิทธิภาพนั้นคือปริมาณเศษจากการตัดน้อยและทำซ้ำรูปแบบดังกล่าว ซึ่งวิธีการนี้เองสามารถนำมาจัดทำรายการตัดเหล็กพร้อมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้ [11]

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาขั้นตอนการทำงานที่ลดขั้นตอนการแก้ไขแบบจำลองหลังจากการจัดทำรายการตัดเหล็กโดยมีลำดับขั้นตอนตามรูปที่ 2 ซึ่งดำเนินการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2021 เวอร์ชันเพื่อการศึกษา [8] และใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการจัดทำรายการตัดเหล็กโดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดกรณีศึกษาและสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารในส่วนงานโครงสร้าง

กรณีศึกษาของงานวิจัยได้ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารสำนักงาน 3 ชั้นตามรูปที่ 3 ในการพัฒนาขั้นตอนการจัดทำรายการตัดเหล็กโดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนตามรูปที่ 4 และรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

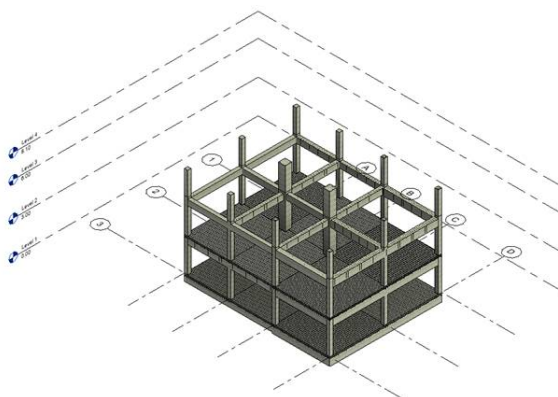


Figure 3 Building Information Model for a Case Study Office Building: A Three-Story Office Building Project

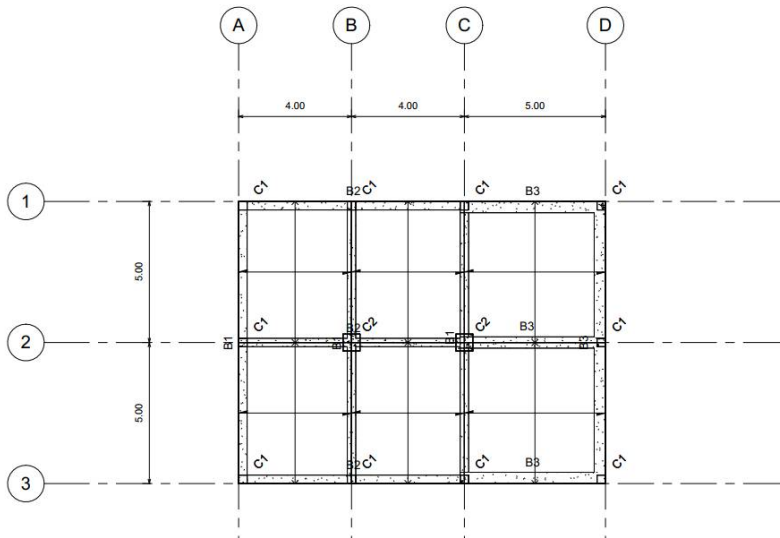


Figure 4 Floor Plans of the Case Study Project

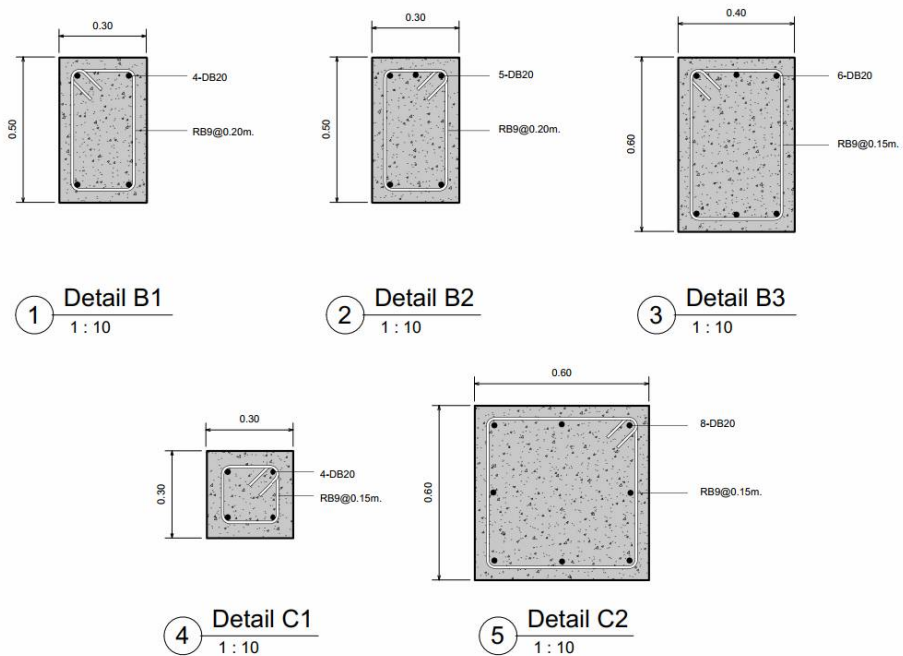


Figure 5 Structural Details of Beams and Columns in the Case Study

โครงสร้างอาคารในส่วนคานอาคารประกอบไปด้วยคาน 3 รูปแบบ จำนวนทั้งสิ้น 30 ช่วงได้แก่

- คาน B1 ขนาด 0.30 ม. X 0.50 ม. จำนวน 9 ช่วง
- คาน B2 ขนาด 0.30 ม. X 0.50 ม. จำนวน 9 ช่วง
- คาน B3 ขนาด 0.40 ม. X 0.60 ม. จำนวน 12 ช่วง

โครงสร้างอาคารในส่วนเสาอาคารประกอบไปด้วยเสา 2 รูปแบบจำนวนทั้งสิ้น 24 ต้น ได้แก่

- เสา C1 ขนาด 0.30 ม. X 0.30 ม. จำนวน 18 ต้น
- เสา C2 ขนาด 0.60 ม. X 0.60 ม. จำนวน 6 ต้น

2. ส่งออกข้อมูลแบบจำลองและวิเคราะห์ปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีต

หลังจากสร้างแบบจำลองทำการส่งออกข้อมูลแบบอัตโนมัติโดยใช้ส่วนขยายของโปรแกรม Autodesk Revit ที่มีชื่อว่า Dynamo [22] ในการเชื่อมโยงข้อมูลพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตกับโปรแกรม Microsoft Excel แบบอัตโนมัติโดยเขียนคำสั่งการทำงาน (Algorithm) ภายในส่วนขยายด้วยส่วนคำสั่งที่เรียกว่า Node และเชื่อมต่อแต่ละ Node ด้วย Wire โดยคำสั่งการทำงานมี 3 ส่วนประกอบด้วย 1) ส่วนระบุคำสั่ง (Input) เป็นส่วนสำหรับการระบุตำแหน่งและหมวดหมู่ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการค่าพารามิเตอร์ ซึ่งการดำเนินการเป็นการคัดเลือกข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปจัดทำบัญชีแสดงรายการตัดเหล็ก 2) ส่วนดำเนินการ (Process) หลังจากได้ข้อมูลชิ้นส่วนและตำแหน่งตามที่ต้องการมาแล้วให้ทำการระบุชื่อพารามิเตอร์ที่ต้องการนำออกข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีแสดงรายการตัดเหล็ก 3) ส่วนนำออกข้อมูล (Output) สามารถนำออกข้อมูลโดยการระบุชื่อและจัดเก็บไฟล์สำหรับดำเนินการจัดทำบัญชีแสดงรายการตัดเหล็กที่ได้จัดเตรียมไว้ และต้องทำการระบุตำแหน่งของข้อมูลภายในไฟล์ด้วยเพื่อให้สามารถดำเนินการในขั้นตอนถัดไปได้้อย่างถูกต้อง เมื่อทำการเชื่อมต่อทุกส่วนการทำงานของ Dynamo ตามรูปที่ 6 จะสามารถนำออกข้อมูลพารามิเตอร์ได้ในรูปแบบอัตโนมัติซึ่งจะทำการลดความผิดพลาดในการนำออกข้อมูลโครงสร้างไม่ครบถ้วนได้

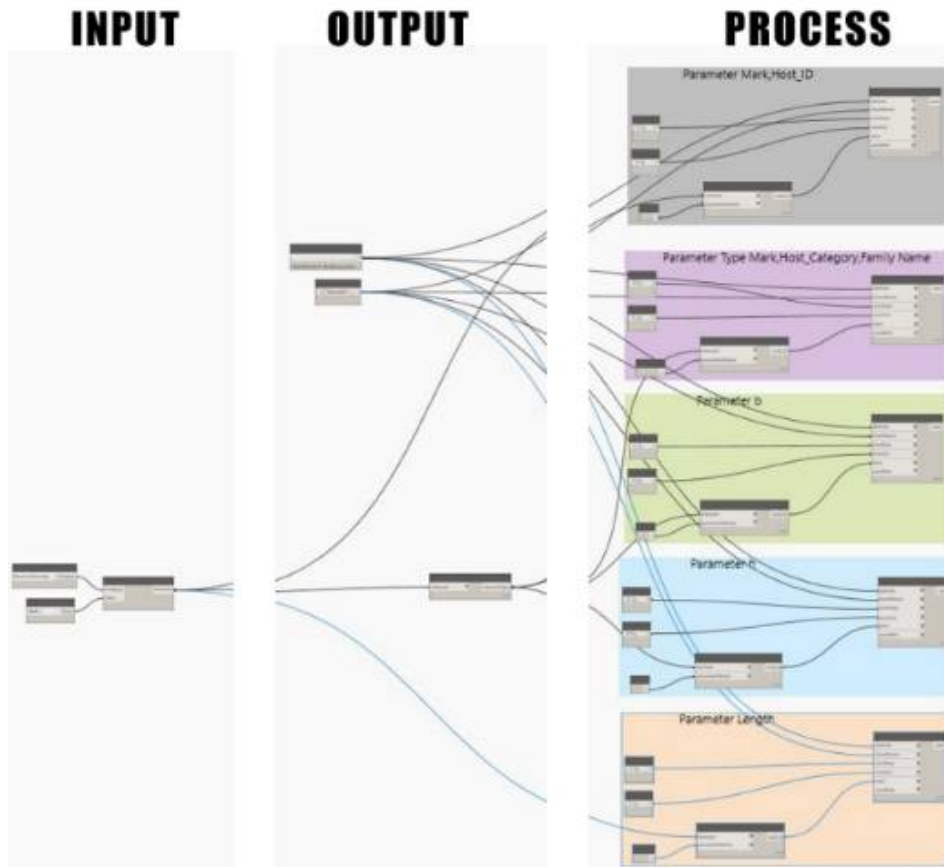


Figure 6 Linking Workflow Instructions Using Dynamo Software

โดยพารามิเตอร์ที่ส่งออกจากแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณหลักที่ใช้งานได้แก่

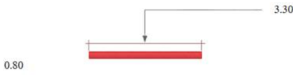
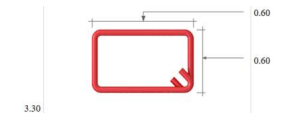
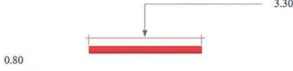
- 2.1 รหัสประจำชิ้นส่วนโครงสร้าง (Host ID) เพื่อระบุตำแหน่งและลำดับงานของชิ้นส่วนโครงสร้างได้
 - 2.2 ประเภทและชื่อของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต (Family Name) เช่น B1, C1, F1 เป็นต้น
 - 2.3 ขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง (Host Dimension) ซึ่งเป็นข้อมูลส่วนหลักที่ทำให้สามารถระบุปริมาณหลักเสริมคอนกรีตในชิ้นส่วนและจัดทำบัญชีแสดงรายการตัดเหล็กได้
 - 2.4 จุดเชื่อมต่อชิ้นส่วน (Joint) เพื่อทำให้ทราบระยะของเหล็กเสริมคอนกรีตที่ใช้ปฏิบัติงานจริงได้
- โดยแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ส่งออกมาจากแบบจำลองตามตารางที่ 2

Table 2 Example of Level 1 Column Data Exported from the Case Study Model

No.	Host ID	Family Name	Host Dimension			Joint
			b	h	L	
1	F1-1	C2	0.60	0.60	3.30	- / C2
2	F1-10	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
3	F1-11	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
4	F1-2	C2	0.60	0.60	3.30	- / C2
5	F1-12	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
6	F1-8	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
7	F1-6	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
8	F1-4	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
9	F1-3	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
10	F1-9	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
11	F1-5	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1
12	F1-7	C1	0.30	0.30	3.30	- / C1

จัดเตรียมรูปแบบของ Microsoft Excel โดยการเชื่อมโยงการวิเคราะห์หาความยาวและจำนวนเหล็กเสริมคอนกรีตที่ต้องการตัดจากข้อมูลที่ถูกส่งออกมา วิเคราะห์กับข้อมูลระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมคอนกรีต (Covering) โดยนำขนาดของโครงสร้างแต่ละชิ้นส่วนมาลดระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเพื่อให้ทราบความยาวของเหล็กเสริมคอนกรีตและเหล็กดัดรอบ ข้อมูล มยผ. 1103-64 มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต เพื่อให้ทราบระยะของท่อนเหล็กเสริมคอนกรีตแต่ละท่อนในแนวตรงทำให้สามารถจัดทำบัญชีรายการตัดเหล็กได้ และสุดท้ายข้อมูลแบบก่อสร้างของโครงการเพื่อให้ทราบรูปแบบการติดตั้งและขนาดของเหล็กต้องใช้ในโครงการซึ่งแสดงตัวอย่างการส่งออกข้อมูลมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปที่ 7 แล้วจึงทำการรวบรวมข้อมูลเหล็กที่ต้องการใช้ทั้งหมด

Table 3 Example of Analysis for the Required Quantity of Reinforcing Steel in the Case Study Project

Host ID	Host Dimension	Type	L (m.)	Amount	Family Name	Joint	Other
F1-1		DB20	4.10	8.00	C2	- / C2	
F1-1		RB9	2.47	22.00	C2	- / C2	
F1-11		DB20	4.10	4.00	C1	- / C1	

3. จัดทำรายการตัดเหล็ก

จัดทำรายการตัดเหล็กจากปริมาณเหล็กเส้นที่ต้องการโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไป [23] นั่นคือการตัดโดยการเลือกรูปแบบที่ดีที่สุด [15-20] และวิธีการที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบฮิวริสติกที่มีลักษณะการดำเนินงานโดยการตัดทีละเส้นซึ่งพัฒนาโดยประยุกต์มาจากปัญหาการตัดวัสดุแบบมิติเดียว (One Direction Cutting Stock Problem) [12-13] โดยการทดลองใส่เงื่อนไขในการตัดเหล็กและดำเนินการตัดตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วจึงพัฒนาเพิ่มเงื่อนไขให้สามารถวิเคราะห์การต่อทาบเหล็กเสริมคอนกรีตได้โดยแสดงแผนผังขั้นตอนตามรูปที่ 7 และมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

A. รวบรวมข้อมูลทั้งหมดดำเนินการรวบรวมและจัดเรียงข้อมูลเหล็กเสริมคอนกรีตทั้งหมดที่ต้องการ

B. ตัดสินใจตัดเหล็กพิจารณาเหล็กทุกท่อนที่ต้องการโดยการหาอัตราส่วนระหว่างความยาวเหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 10 เมตรและ 12 เมตรกับความยาวท่อนเหล็กที่ต้องการในการตัดสินใจเลือกซึ่งแทนด้วย (c) และ (h) ตามตารางที่ 4 พิจารณาค่าอัตราส่วนดังกล่าวโดยเป็นเลขนัยยะสำคัญ 3 ตำแหน่งเนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวแสดงถึงเศษของการตัดเหล็กหากอัตราส่วนเป็นจำนวนเต็มไม่มีทศนิยมหมายถึงการตัดที่ไม่มีเศษจะเลือกตัดกับเหล็กเส้นที่มีอัตราส่วนเป็นจำนวนเต็มก่อนตัวอย่างเช่นตามตารางที่ 4 เลือกตัดกับเหล็กความยาว 2 เมตรก่อนเนื่องจากไม่มีเศษเหลือจากการตัดและหากมีจำนวนเต็มหลายข้อมูลให้เลือกตัดกับอัตราส่วนที่ใกล้เคียงจำนวนที่ต้องการมากที่สุดและเช่นเดียวกันหากอัตราส่วนของการตัดเหล็กยาว 10 เมตรหรือ (c) และ 12 เมตรหรือ (h) ส่วนใดเป็นจำนวนเต็มให้เลือกตัดกับความยาวมาตรฐานนั้นตัวอย่างตามตารางที่ 4 ลำดับที่ 2 เลือกตัดกับความยาว 12 เมตรเนื่องจากอัตราส่วนเป็นจำนวนเต็มทำให้การตัดไม่เหลือเศษและหากข้อมูลเป็นจำนวนเต็มทั้งคู่ให้ตัดสินใจเลือกตัดกับความยาวมาตรฐานที่มีอัตราส่วนใกล้เคียงกับจำนวนที่ต้องการมากที่สุดโดยต้องไม่มากกว่าแต่หากอัตราส่วนของความยาวมาตรฐานไม่ใช่จำนวนเต็มทั้งคู่จะเลือกตัดความยาวมาตรฐานที่มีทศนิยมของอัตราส่วนน้อยที่สุดก่อนเนื่องจากค่าทศนิยมแสดงถึงปริมาณเศษที่เหลือจากการตัดซึ่งแสดงในรูปแบบร้อยละตัวอย่างตามตารางที่ 4 ลำดับที่ 4 เหล็กที่ต้องการยาว 8.6 เมตรอัตราส่วนของการตัดกับเหล็กมาตรฐานยาว 10 เมตรคือ 1.16 อัตราส่วนของการตัดกับเหล็กมาตรฐานยาว 12 เมตรคือ 1.40 จึงเลือกตัดกับเหล็กความยาว 10 เมตร

C. เก็บข้อมูลความยาวเศษที่เหลือจากการตัด หลังจากตัดสินใจตัดเหล็กความยาวที่ต้องการท่อนแรกแล้วให้ทำการเก็บข้อมูลของเศษเหล็กดังกล่าวไว้ ซึ่งในขั้นตอนถัดไปจะมีการนำข้อมูลเศษเหล็กที่เก็บไว้ไปดำเนินการตัดหรือต่อทาบเพื่อใช้เป็นเหล็กเสริมคอนกรีตของโครงการ

D. เก็บข้อมูลความยาวเศษที่เหลือจากการตัดหลังจากตัดสินใจตัดเหล็กความยาวที่ต้องการท่อนแรกแล้วให้ทำการเก็บข้อมูลของเศษเหล็กดังกล่าวไว้ ซึ่งในขั้นตอนถัดไปจะมีการนำข้อมูลเศษเหล็กที่เก็บไว้ไปดำเนินการตัดหรือต่อทาบเพื่อใช้เป็นเหล็กเสริมคอนกรีตของโครงการ

E.

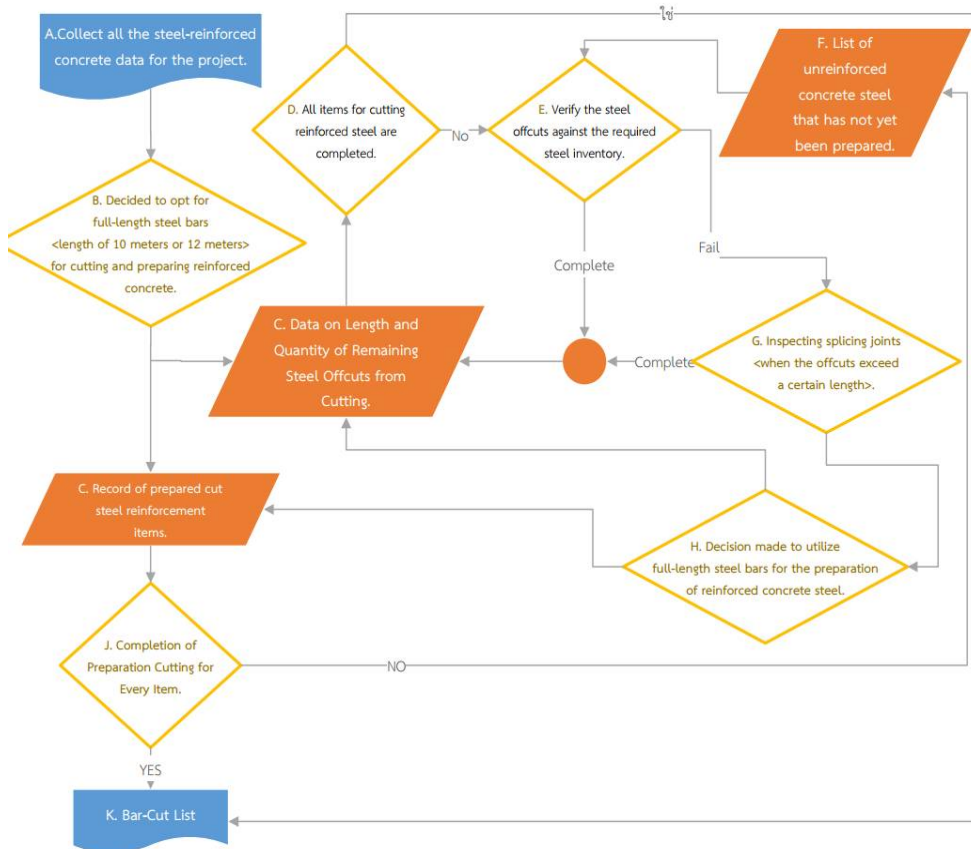


Figure 7 Flow chart of the Process for Compiling Reinforcement Cutting List

Table 4 Creating a Reinforcement Cutting List Using the Developed

Cutting Sequence	Required Rebar		Using Rebar Scrap			Using 12 m. Standard Length of Rebar					Using 10 m. Standard Length of Rebar					Total	Rebar Scrap		
	Length	Amount	Length	Remaining Amount	Using Amount	Ratio of Length	Amount of Cutting per Piece	Amount of Piece used for Cutting	Total Cutting Piece	Length of Rebar Scrap per Piece	Ratio of Length	Amount of Cutting per Piece	Amount of Piece used for Cutting	Total Cutting Piece	Length of Rebar Scrap per Piece	Cutting Piece	Length per Piece	Amount of Piece	
(m)	(pieces)	(meter)	(pieces)	(pieces)		(pieces)	(pieces)	(pieces)	(meter)		(pieces)	(pieces)	(pieces)	(meter)	(pieces)	(meter)	(pieces)		
	(a)	(b)				(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	
1	2.00	12	-	-	-	6.00	6	2	12	0.00	5.00	5	3	15	0.00	12	0.00	0	
2	3.00	12	-	-	-	4.00	4	3	12	0.00	3.33	3	4	12	1.00	12	0.00	0	
3	10.40	45	-	-	-	1.15	1	45	45	1.60	0.96	0	0	0	10.00	45	1.60	45	
4	8.60	36	-	-	-	1.40	1	36	36	3.40	1.16	1	36	36	1.40	36	1.40	36	
5	2.10	35	1.60	45	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	1.60	10	
	-	-	1.40	36	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	1	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	35	
6	1.80	1	1.60	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.60	9	
	-	-	1.40	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	1	
7	4.10	112	-	-	-	2.93	2	56	112	3.80	2.44	2	56	112	1.80	112	1.80	56	
8	1.80	14	1.8	56	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.80	42	
9	5.50	24	-	-	-	2.18	2	12	24	1.00	1.82	1	24	24	4.50	24	1.00	12	
10	5.40	12	-	-	-	2.22	2	6	12	1.20	1.85	1	12	12	4.60	12	1.20	6	
Remark:			(c) = 12/(a)			(d) = Round down (c)			(e) = Max((b)/(d), 0)			(f) = Round up[(d)x(e)]			(g) = 12 - [(d) x (a)]			(h) = 10/(a)	
(i) = Round down (h)			(j) = Max((b)/(i), 0)			(k) = (i)x(j)			(l) = 10 - [(i) x (a)]			(m) = Max((f), (k))			(n) = Min(g), (l)			(o)= Max((e)x(g)/(n), (j)x(i)/(n), 0)	

F. ตรวจสอบเศษเหล็กกับรายการเหล็กที่ต้องการ นำข้อมูลเศษเหล็กตรวจสอบกับรายการเหล็กที่ต้องการที่ยังไม่ได้ดำเนินการตัดเตรียม โดยให้พิจารณาการเลือกใช้เศษตามอัตราส่วนการตัดเหล็กโดยใช้ความยาวของเศษเหล็กแทนความยาวเหล็กเส้นเต็มและพิจารณาเลือกตัดตามเงื่อนไขข้อ B หากสามารถใช้เศษเหล็กได้และเหลือเศษเหล็กจากการดำเนินการข้อมูลเศษเหล็กจะถูกจัดเก็บในข้อ C และหากไม่สำเร็จจะนำไปตรวจสอบการตัดหาบ

G. รายการเหล็กเสริมคอนกรีตที่ยังไม่ตัดเตรียม รายการเหล็กที่ตัดเตรียมแล้วจะถูกตัดออกจากรายการเหล็กที่ต้องดำเนินการเสมอและจะมาตรวจสอบกับเศษเหล็กเพื่อตัดและหาบเสมอ

H. ตรวจสอบการต่อหาบเศษ หากเศษเหล็กมีจำนวนมากกว่าหนึ่งความยาวให้ทำการนำเหล็กมาต่อหาบกันโดยหักลบระยะหาบและตรวจสอบการนำไปใช้งานกับรายการเหล็กเสริมคอนกรีตที่ยังไม่ได้ดำเนินการตัดเตรียม ตัวอย่างตาม ตารางที่ 4 ลำดับที่ 5 และลำดับที่ 6 ซึ่งหากไม่มีเศษเหล็กที่นำไปใช้ได้แล้วให้ทำการเก็บข้อมูลเศษเหล็กไว้

I. ตัดสินใจเลือกใช้เหล็กเส้นเต็ม หากรายการตัดเหล็กไม่สามารถดำเนินการกับเศษได้ให้ตัดสินใจตัดกับเหล็กเส้นเต็มและพิจารณาเหมือนกับขั้นตอน B และนำเศษเหล็กไปบันทึกในขั้นตอน C แล้วดำเนินการต่อไป

J. บันทึกรายการเหล็กเสริมที่ตัดเตรียมแล้ว เมื่อดำเนินการตามขั้นตอนการตัดเหล็กแล้วจะบันทึกข้อมูลเหล็กความยาวที่ต้องการตอนที่ดำเนินการตัดตามขั้นตอนเรียบร้อยแล้วเพื่อไม่ให้เกิดการดำเนินการซ้ำ

K. ดำเนินการตัดเตรียมเหล็กเสริมคอนกรีตทุกรายการหากดำเนินการตามขั้นตอนครบทุกรายการแล้วข้อมูลและรูปแบบการตัดจะถูกนำไปจัดทำรายการตัดเหล็กเพื่อปฏิบัติงาน แต่หากยังดำเนินการไม่ครบทุกรายการข้อมูลรายการที่ยังไม่ดำเนินการจะถูกนำไปตรวจสอบเพื่อตัดกับเศษเหล็ก เพื่อนำเศษเหล็กต่อหาบหรือใช้เหล็กเส้นเต็มในการตัดเตรียมตามลำดับ

L. รายการตัดเหล็ก จัดทำตามรูปแบบการตัดเหล็กที่ได้ดำเนินการไปโดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้ ขั้นตอน A-J จะยุติการดำเนินการและข้อมูลครบทุกส่วนจะถูกเรียบเรียงและแสดงรายการตัดเหล็กที่มีข้อมูลปริมาณเหล็กที่ต้องสั่งซื้อ รูปแบบการตัดเหล็ก จำนวนและขนาดของเศษเหล็กทั้งหมด ข้อมูลจากบัญชีแสดงรายการตัดเหล็กสามารถนำมารวบรวมเพื่อหาปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตที่ต้องจัดหาของทั้งโครงการ และรูปแบบการตัดเพื่อการติดตั้งเหล็กได้

การพัฒนาขั้นตอนที่กล่าวมาได้พิจารณาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของวิธีการเลือกรูปแบบการตัดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [23] ซึ่งได้ทดลองเลือกรูปแบบการตัดเหล็กทั้งหมด 15 ครั้งโดยเป็นการเลือกรูปแบบทั้งการสุ่มและการกำหนดเงื่อนไขเช่นเลือกลำดับการตัดจากรูปแบบเศษมากไปน้อยเลือกลำดับการตัดจากรูปแบบที่ตัดเหล็กที่ต้องการได้มากที่สุดเป็นต้นได้ผลลัพธ์การตัดครั้งที่ปริมาณเศษเหล็กมากที่สุดคือ 507.90 เมตรและครั้งที่น้อยที่สุดคือ 163.90 เมตรตามตารางที่ 5 ซึ่งการพัฒนาวิธีการตามงานวิจัยได้ใช้การเลือกรูปแบบการตัดที่เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุดมาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการตามงานวิจัย

Research Article

Journal of Advanced Development in Engineering and Science

Vol. 13 • No. 37 • May - August 2023

Table 5 Generating a Reinforcement Cutting List through the Implemented Steel Cutting Pattern Selection Method

Time				12	15	2	24	45	11	24	1	23	157
No.	Type	Length (m.)	Quantity (pieces.)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Pattern time.
1	DB20	10.40	45					1					X5 = 45
2	DB20	8.60	36	1						1			X1+X7 = 36
3	DB20	5.50	24				1						X4 = 24
4	DB20	5.40	12						1		1		X6+X8=12
5	DB20	4.10	112		2		1		1		1	2	2X2+X4+X6+X8+2X9=122
6	DB20	2.10	35				1		1				X4+X5=35
7	DB20	1.80	15		1								X2=15
8	DB20	2.00	12			6							6X3=12
9	DB20	3.00	12	1									X1=12
Total				11.60	10.00	12.00	11.70	10.40	11.60	8.60	9.50	8.20	
Waste				0.40	0.00	0.00	0.30	1.60	0.40	1.40	0.50	1.80	
Standard Length				12	10	12	12	12	12	10	10	10	

นำข้อมูลรายการตัดเหล็กที่ได้มาสร้างแบบจำลองเหล็กเสริมคอนกรีตโดยมีข้อมูลของการต่อทาบเหล็กเส้นตามรายการตัดเหล็กในส่วนงานเสาชั้น 3 โดยจากรายการตัดเหล็กมีการต่อทาบเสา C1 จำนวน 10 ต้นแสดงรายละเอียดตำแหน่งเสาตามรูปที่ 8

1. ขั้นตอนการจัดทำรายการตัดหลักโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น

2. ปริมาณเศษเหลือจากการจัดทำรายการตัดเหลือด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น

Table 6 Reinforcement Quantity Data Extracted from Building Information Model (BIM)

Type	Length (.)	Quantity(pieces)	Total length (m)	Weigth (kg)
Beam				
DB20	10.40	45	468.00	1,155.96
DB20	8.60	36	309.60	764.71
DB20	5.50	24	132.00	326.04
DB20	5.40	12	64.80	160.06
DB20	2.00	12	24.00	59.28
Total beam			998.40	2,466.05
Column				
DB20	4.10	112	459.20	1,134.22
DB20	2.10	35	73.50	181.55
DB20	3.00	12	36.00	88.92
Total colum			568.70	1,404.69
Total			1,567.10	3,870.74

2.1 วิธีการตามงานวิจัย

การดำเนินการจัดทำรายการตัดเหล็กตามวิธีการงานวิจัยมีปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดรวมทั้ง 279.35 กิโลกรัมและมีจำนวนเศษเหล็กทั้งหมด 105 ท่อนโดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 7

Table 7 Remaining Quantity Residue from Reinforcement Cutting List Generation Using Developed Method.

Length (m)	Quantity(pieces)	Developed Method	
		Total length (m)	Weigth (kg.)
0.10	35	3.5	8.65
0.40	1	0.4	0.99
1.00	12	12	29.64
1.20	6	7.2	17.78
1.60	9	14.4	35.57
1.80	42	75.6	186.73
Total		113.1	279.35

2.2 วิธีการทั่วไปโดยการเลือกรูปแบบการตัดเหล็ก

การดำเนินการจัดทำรายการตัดเหล็กตามวิธีการทั่วไปมีปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดรวมทั้ง 404.83 กิโลกรัมและมีจำนวนเศษเหล็กจากการตัดทั้งหมด 140 ท่อนโดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 8

Table 8 Residual Quantity from Reinforcement Cutting List Generation Using Steel Cutting Pattern Selection Method.

Steel Cutting Pattern Selection Method			
Length(m)	Quantity(pieces)	Total length (m)	Total weight(kg)
0.3	24	7.2	17.78
0.4	23	9.2	22.72
0.5	1	0.5	1.24
1.4	24	33.6	82.99
1.6	45	72	177.84
1.8	23	41.4	102.26
Total		163.9	404.83

2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

ปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดด้วยวิธีการทั่วไปโดยการเลือกรูปแบบการตัดคิดเป็นร้อยละ 23 ของปริมาณเหล็กที่ใช้งาน และปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16 ของปริมาณเหล็กที่ใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของเศษ วิธีการที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณเศษน้อยกว่าวิธีการทั่วไปอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อทาบและการต่อทาบเหล็กเสริมคอนกรีตยังส่งผลให้ปริมาณเหล็กที่ใช้ในอาคารมีปริมาณมากขึ้นตามระยะของการทาบเหล็ก ในกรณีศึกษานี้ปริมาณเหล็กที่ใช้งานโดยมีการต่อทาบมากกว่าปริมาณเหล็กที่ใช้งานโดยไม่มีการต่อทาบอยู่ 20 กิโลกรัม กล่าวคือปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นในอาคารอันเนื่องมาจากการต่อทาบส่งผลให้ปริมาณเศษเหล็กลดลงเนื่องจากการการต่อทาบเป็นการใช้งานเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดแทนการใช้งานเหล็กเส้นความมาตรฐานนั่นเอง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การจัดทำรายการตัดเหล็กโดยใช้ขั้นตอนตามงานวิจัยในกรณีศึกษาสามารถลดขั้นตอนการแก้ไขแบบจำลองสารสนเทศอาคารในส่วนของงานเสาโครงสร้างได้ถึงร้อยละ 41.6 ซึ่งเป็นการต่อทาบเหล็กหลักของเสาโครงสร้างที่ทำให้ปริมาณเสาเหล็กลดลง เนื่องจากการจัดทำรายการตัดเหล็กที่มีผลต่อการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีตของโครงการลงได้ ทำให้ขั้นตอนในการจัดทำแบบจำลองสารสนเทศอาคารในส่วนงานโครงสร้างลดลง โดยการจัดทำรายการตัดเหล็กก่อนการจัดทำแบบจำลองในส่วนงานเหล็กเสริมคอนกรีตซึ่งในการก่อนการปฏิบัติงานเหล็กเสริมคอนกรีตผู้ควบคุมงานต้องจัดทำรายการตัดเหล็กเพื่อเป็นการวางแผนตัดเหล็กในโครงการอยู่แล้ว การจัดทำรายการตัดเหล็กก่อนการจัดทำแบบจำลองจึงเป็นประโยชน์ทั้งการวางแผนปฏิบัติงานล่วงหน้าและทำให้การจัดทำแบบจำลองที่มีรายละเอียดของการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีตในส่วนการต่อทาบเหล็กเสริมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังทำให้สามารถกำหนดจุดต่อทาบที่เหมาะสมในแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

การจัดทำรายการตัดเหล็กโดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ส่งผลให้ปริมาณเศษเหล็กที่เหลือจากการดำเนินงานเหล็กเส้นลดลงจากวิธีการเลือกรูปแบบการตัดได้ถึงร้อยละ 30 ในกรณีศึกษาซึ่งเป็นผลมาจากการวิเคราะห์การต่อทาบเหล็กเสริมคอนกรีตโดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นเป็นรูปแบบที่เลือกตัดเหล็กที่ละความยาว ทำให้มีจุดตัดสินใจในการเลือกตัดและต่อทาบได้แตกต่างจากวิธีการเลือกรูปแบบการตัดและทำซ้ำรูปแบบนั้นๆ ทำให้ข้ามจุดตัดสินใจที่ตึกกว่าในการเลือกตัดและต่อทาบเหล็ก นอกจากนี้จากการทดลองวิธีการเลือกรูปแบบ

การตัดโดยการเลือกดำเนินการกับรูปแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดก่อน นั่นคือรูปแบบที่ดำเนินการแล้วมีปริมาณเศษเหลือจากการตัดน้อยหรือไม่มีเศษเหลือจากการตัดเลย ไม่ได้ทำให้ปริมาณเศษรวมน้อยที่สุด เนื่องจากการเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดและทำซ้ำรูปแบบดังกล่าวทำให้รูปแบบที่สามารถเลือกได้ในตอนท้ายของการดำเนินการไม่มีประสิทธิภาพส่งผลให้มีปริมาณเศษจากการตัดมาก

ขั้นตอนและวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดขั้นตอนการแก้ไขแบบจำลองลงได้และยังสามารถจัดทำรายการตัดเหล็กที่มีการวิเคราะห์การต่อทาบเหล็กทำให้ปริมาณเศษเหล็กลดลงได้ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนต้องมีการกำหนดข้อมูลโดยละเอียดการจัดเรียงข้อมูลอย่างถูกต้อง และการวิเคราะห์การตัดหลายข้อมูลข้อจำกัดของวิธีการงานวิจัยในด้านของการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถลดลงได้โดยการพัฒนาขั้นตอนการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้การตัดสินใจในรูปแบบเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานของการจัดทำกรวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

References

- [1] Pruksunthorn, T. & Taemthong, W. (2020). Material Contingency Waste in Office Construction Projects. In *The 25th National Convention on Civil Engineering* (p. CEM19-1-CEM19-4). 15 – 17 July, 2020, Chonburi, Thailand. (in Thai)
- [2] Niranwattanadacha, V. (2010). *Development of Steel Bar Cutting Pattern to Reduce Loss at Construction Site*, (Master thesis, Suranaree University of Technology). (in Thai)
- [3] IRON AND STEEL INSTITUTE OF THAILAND. (2022). *THAILAND STEEL OUTLOOK*. Available from <https://iiu.isit.or.th/th/reports/Monthly%20Thailand%20Iron%20Summary/download.aspx?Content=5930>. Accessed date: 23 August 2023.
- [4] Chinanuwatwong, S. (2000). Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects. *Agriculture and Natural Resources*, 34(4), 526-535.
- [5] Department of Internl Trade Thailand. (2022). *Recommended Price for Rebar*. Available from https://www.dit.go.th/FILE/CONTENT_FILE/256103231142137151758.pdf. Accessed date: 23 August 2023. (in Thai)
- [6] Intarapanich, T. (2023). BIM Adoption in Pre-construction of Residential Condominium in Thailand. *Sarasatr*, 1, 13-27. (in Thai)
- [7] Jatupatwarangkul, S. (2018). The Case Study of Using Building Information Modeling (BIM) for Forecasting Construction Cost in Architectural Segments. *Arch Journal*, 27(2), 179-192. (in Thai)
- [8] Nusen, S., et al. (2022). THE APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING IN STRUCTURAL ANALYSIS OF BUILDINGS IN EACH REGION OF THAILAND In *The 27th National Convention on Civil Engineering* (p. BIM04-1-BIM04-6). 24 – 26 August, 2022, Chiang Rai, Thailand. (in Thai)
- [9] Laofor, C. & Seemawute, P. (2022). Simulation of building construction planning by using Building Information Modeling In *The 27th National Convention on Civil Engineering* (p. BIM02-1-BIM02-10). 24 – 26 August, 2022, Chiang Rai, Thailand. (in Thai)

Research Article

Journal of Advanced Development in Engineering and Science

Vol. 13 • No. 37 • May - August 2023

- [10] Gonthong, R., et al. (2020). Application of building information modeling to rebar management for developed housing project. In *The 25th National Convention on Civil Engineering* (p. CEM02-1-CEM02-8). 15 July – 17 July, 2020, Chonburi, Thailand. (in Thai)
- [11] Pawan, P., & Sanyano, P. (2021). APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING PROCESS TO DEVELOP REBAR CUTTING LIST. In *The 26th National Convention on Civil Engineering* (p. CEM-20-1-CEM-20-10). 23 – 25 June, 2021, Online Conference. (in Thai)
- [12] Dyckhoff, H. (1990). A Typology of Cutting and Packing Problems. *European Journal of Operation Research*, 44(12), 145-159.
- [13] Gradisar, M., et al (1999). A Sequential Heuristic Procedure for One Dimensional Cutting. *European Journal of Operation Research*, 114(13), 557-568.
- [14] Pratoom, W. & Tangwiboonpanich, S. (2016). A Comparison Of Rebar Quantities Obtained By Traditional VS BIM-Based Methods. *Suranaree Journal of Science and Technol.*, 23(1), 5-10.
- [15] Coffman, J., et al (1984). Approximation Algorithms for Bin-Packing: An Updated Survey. *Algorithm Design for Computer System Design*, 284, 49-106.
- [16] Cui, Y. & Yang, Y. (2010). A heuristic for the one dimensional cutting stock problem with usable leftover. *European Journal of Operational Research*, 204(12), 245-250.
- [17] Goncalo, C. R., et al (2021). Modified Greedy Heuristic for the one-dimensional cutting stock problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 41(12), 657–674.
- [18] Vahrenkamp, R. (1996). Random Search in the One-Dimensional Cutting Stock Problem. *European Journal of Operation Research*, 95(11), 191-200.
- [19] Benjaoran, V. (2013). Trim Loss Minimization for Construction Reinforcement Steel with Oversupply Constrints. *Journal of Advanced Management Science*, 1(13), 313–316.
- [20] Benjaoran, V. & Bhokha, V. (2014). Three-Step Solution for Cutting Stock Problem of Construction Steel Bar. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(115), 1239–1247.
- [21] The Association of Siamese Architects under Royal Patronage. (2013). *Thailand BIM Guideline*. Bangkok: Plus press Company Limited.
- [22] The Dynamo Primer for Dynamo v2. (2023). *User Manual*. Available from [https:// primer.dynamobim.org/](https://primer.dynamobim.org/). Accessed date: 23 August 2023.
- [23] Somboon, S. & Benjaoran, V. (2015). Survey of the Rebar Cutting-Pattern Algorithm of Engineers and Steel Workers. *UBU Engineering Journal*, 8(1), 51–59. (in Thai)