

การลดปริมาณการใช้วัสดุหลังคาทรงจั่วให้เหลือน้อยที่สุดในขั้นตอนการออกแบบ โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมประเมินระยะห่างระหว่างแป

Minimizing Gable Roofing Materials in Proactive Design Phase by Using a Genetic Algorithm to Estimate the Purlin Spacings

ไพจิตร ผาวาน¹, และ วริศรา เลิศไพฑูรย์พันธ์^{2*}

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: warisara.le@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมวิเคราะห์หา ระยะห่างแปโครงหลังคาทรงจั่วให้ใช้วัสดุน้อยที่สุด งานวิจัยเริ่มจากการ นำแบบ 2 มิติ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้นหลังคาทรงจั่ว มาสร้าง เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยระดับความละเอียดของโมเดล LOD350 โดย อาศัยซอฟต์แวร์ BIM (BIM Software) จากนั้นกำหนดรูปแบบจำลอง ระยะห่างแปตามหลักวิศวกรรมและข้อกำหนดต่างๆ ของผู้ผลิตวัสดุ (กระเบื้องลอนคู่) โดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณกระเบื้อง ลอนคู่ คือ ระยะห่างแป ความสูงตั้ง ความกว้างและความยาวของหลังคา ด้วยการปรับเปลี่ยนตัวแปรความสูงตั้งตั้งแต่ความสูง 3.00-5.00 เมตร จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบจินตออลกอริทึมแบบจุดประสงค์เดียว และกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ด้วยวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม คำนวณหาค่าความเหมาะสมในการใช้ปริมาณกระเบื้องลอนคู่ พบว่า ปริมาณกระเบื้องลอนคู่ที่ได้จากการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเท่ากับการทำแบบ รายละเอียดก่อสร้าง (Shop Drawing) คือ 3,310 แผ่น แสดงให้เห็นว่าการ ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถนำมาใช้ในการ ทหาระยะห่างแปได้เป็นอย่างดี และการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นอีก ทางเลือกหนึ่งที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีใกล้เคียงตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ก่อสร้างโดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้าง หรือลดปริมาณวัสดุเหลือใช้เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ระยะห่างแป, แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, วัสดุวัสดุก่อสร้างใน ขั้นตอนออกแบบ, วิธีเชิงพันธุกรรม

Abstract

The purpose of this research was to apply a genetic algorithm to determine the spacing of gable roof purlins to minimize the roof tiles. In this research, drawings and detail specification of a 4-storey reinforced concrete building with a gable roof was used to develop a 3D model with the level of

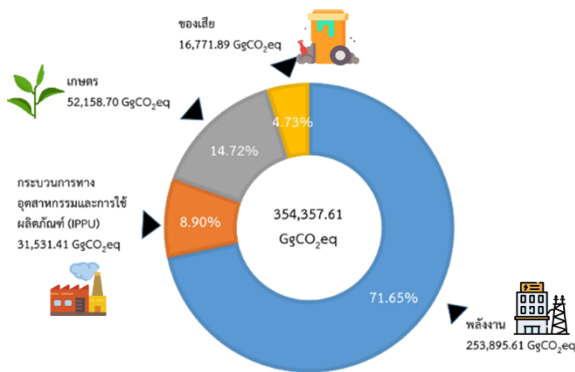
development (LOD) 350 using BIM Software. Then, determine the options of purlin spacing according to the engineering principles and requirements of material manufacturers. The parameters used to calculate the quantity of roof tiles are purlin spacing, king post height, width, and length of the roof. The heights of king post varied from 3.00-5.00 meters. Then a single-objective genetic algorithm was designed and used to optimize the quantity of corrugated tiles. It revealed that the quantity of roof tiles obtained from the genetic algorithm method was equal to the shop drawing, which was 3,310 tiles. It showed that the genetic algorithm method together with building information modeling (BIM) can be used to optimize purlin spacing well. Therefore, genetic algorithm is another alternative providing good results in construction process, which can be applied to minimize the construction materials or reduce the amount of wasting materials in response to the sustainable development.

Keywords: spacing purlins, building information modeling, reduce construction material in proactive design, genetic algorithm

1. คำนำ

ด้วยประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่รุนแรงขึ้น ทำให้ทั้งภาครัฐ และเอกชนต่างหันมาตระหนักถึงสาเหตุของปัญหา และช่วยกันหาทางแก้ไข ซึ่งปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้คือภาวะโลกรวน ที่สาเหตุหลักมาจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นจำนวนมาก ส่งผลทำให้โลกร้อนและก่อให้เกิดผลกระทบอย่างต่อเนื่องทุกด้าน ทั้ง เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตต่างๆ [1] หนึ่งในสาเหตุของการเกิดก๊าซเรือนกระจกมาจากการใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มากเกินไปจนจำเป็น และเหลือเป็นเศษเหลือทิ้งจำนวนมาก ดังจะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกของประเทศไทยในปี 2559 ภาคอุตสาหกรรมและการใช้

ผลิตภัณฑ์ และภาคของเสีย คิดเป็นร้อยละ 13.63 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (รูปที่ 1) [2]



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 (ไม่รวมภาคป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน)

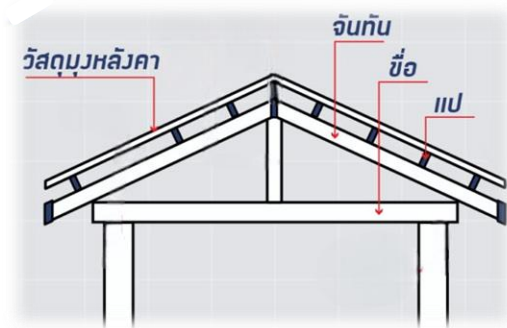
ที่มา: <https://www.pier.or.th/abridged/2021/15/>

ธุรกิจก่อสร้างซึ่งเป็นภาคส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นจำนวนมากก็หันมาสนใจวิธีและกระบวนการต่างๆที่จะทำให้การใช้ทรัพยากรน้อยลงและมีของเสียเกิดขึ้นน้อยลง ซึ่งหากสามารถคำนวณปริมาณวัสดุที่จะนำมาใช้ได้อย่างแม่นยำ มีปริมาณน้อยที่สุด และไม่เหลือเศษทิ้ง ซึ่งเป็นการให้ความสำคัญกับการจัดการที่ต้นทางตามวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการเกิดขยะตั้งแต่การออกแบบ นั่นก็คือการเน้นให้ความสำคัญกับ R ตัวแรกในหลักการจัดการของเสีย 3Rs (Reduce Reuse Recycle) [3] งานวิจัยหลายชิ้นแสดงผลสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันว่าของเสียจากการก่อสร้างจำนวนมากเกิดจากการออกแบบที่ไม่ดี [4] ดังนั้นสถาปนิกและวิศวกรจึงมีบทบาทสำคัญในการออกแบบโดยใช้มาตรการลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด เช่น การประสานเชิงมิติ (Dimensional coordination) [5] ที่เป็นหลักการในการออกแบบชิ้นส่วนอาคารในระบบสำเร็จรูป (Prefabrication system) ที่ต้องออกแบบให้องค์ประกอบของอาคารมีขนาดสัมพันธ์กันจนช่วยให้การก่อสร้างและการติดตั้งทำได้รวดเร็วไม่ต้องตัดแต่งวัสดุ [6] ทั้งนี้ในการออกแบบจะต้องกระทำภายใต้เงื่อนไข (Constraint) ที่ไม่เกิดผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ฟังก์ชันการใช้งาน และความสวยงาม เป็นต้น หากผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้ความสำคัญกับมาตรการลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุดก็จะไม่เพียงส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ผู้ประกอบการยังประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย ในปัจจุบันจึงมีผู้ให้ความสนใจต่อการพัฒนาวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) มาใช้ในการออกแบบต่างๆ เช่น วิธีการฮิวริสติก (Heuristic algorithm) อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm) ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (Hill climbing algorithm) ฮาร์โมนีเซิร์ชอัลกอริทึม (Harmony search algorithm) อัลกอริทึมหิ่งห้อย (Firefly algorithm) การค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit fly optimization) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) และอื่นๆ [7-9]

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ให้กับระบบ มีลักษณะการทำงานเลียนแบบกระบวนการ

วิวัฒนาการทางธรรมชาติ ที่จะถ่ายทอดพันธุกรรมที่ดีจากบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกหลาน โดยการใช้โครโมโซมเป็นตัวแทนของแต่ละตัวแปร ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่สอดคล้องกับปัญหาในการพิจารณาหาค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของโครโมโซม และการใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมในการคำนวณเพื่อกำหนดโครโมโซมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆ โดยการซ้ำกระบวนการนี้จนกว่าจะได้โครโมโซมที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆ วัฏจักรของวิธีเชิงพันธุกรรม (Cycle of genetic algorithms) ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ กระบวนการการคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) เป็นการเลือกประชากรที่ดีไปเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ กระบวนการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation) เป็นการสร้างลูกหลานสายพันธุ์ใหม่จากยีนพ่อแม่ และกระบวนการการแทนที่ (Replacement) คือนำเอาลูกหลานไปแทนที่ประชากรรุ่นเก่า [10]

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามีงานวิจัยนำการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบที่หลากหลาย [11-15] แต่ยังไม่พบการออกแบบเพื่อลดปริมาณเศษเหลือของวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเพื่อลดปริมาณเศษเหลือของวัสดุเหลือทิ้งคือความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตึก และความยาวของข้อ (1/2 ของความยาวข้อ) ที่เป็นด้านประกอบมุมฉากของหลังคา (รูปที่ 2) ซึ่งจะส่งผลต่อความยาวของจันทัน (ด้านตรงข้ามมุมฉากของหลังคา) หากจันทันมีความยาวที่ลงตัวกับระยะห่างของแปก็จะทำให้ประหยัดวัสดุหลังคาที่สุด ค่าแนะนำในการติดตั้งหลังคาทรงจั่วที่มุงด้วยกระเบื้องลอนคู่กำหนดว่า หลังคาที่มีความชัน 20 องศาเหมาะสำหรับจันทันที่ยาวไม่เกิน 10 เมตร (รูปที่ 3) ในกรณีที่จันทันยาวกว่า 10 เมตร ควรเพิ่มความชันให้มากกว่า 20 องศา และให้แปแต่ละตัวห่างกัน 100 เซนติเมตร สำหรับกระเบื้องยาว 120 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามระยะห่างของแปจะถูกปรับได้ตามความเหมาะสมแต่ไม่ควรน้อยกว่า 97 เซนติเมตร และไม่ควรมากกว่า 103 เซนติเมตร (รูปที่ 4) มิฉะนั้นจะเกิดปัญหารั่วซึมได้

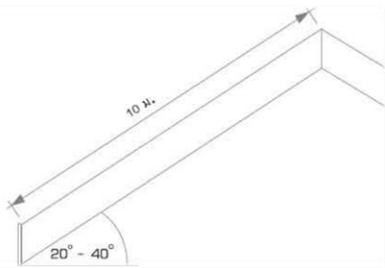


รูปที่ 2 องค์ประกอบของหลังคา

ที่มา: ปรับปรุงจาก <https://www.seacon.co.th/article/โครงสร้างของหลังคา/>

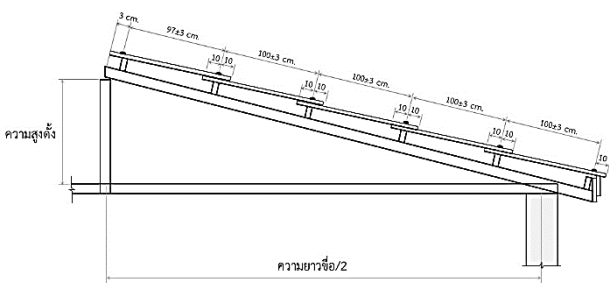
ปัญหาการสั่งวัสดุหลังคาเกินหรือขาดจากจำนวนที่ต้องการใช้จริงไปมากนั้นนอกจากจะมีสาเหตุมาจากขั้นตอนการออกแบบความยาวจันทันแล้วยังมีสาเหตุมาจากการถอดปริมาณ (Quantity take off) จากแบบที่ยังไม่ละเอียด ดังจะเห็นได้จากผู้รับจ้างนำแบบประมาณสองมิติ (2 Dimensions)

มาลดปริมาณงาน และเมื่อประมวลได้งานแล้วจะส่งวัสดุหลังจากตามปริมาณที่คิดไว้ในขั้นตอนก่อนประมวล ซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนไปจากปริมาณที่ใช้จริงสูง สำหรับปัจจุบันได้มีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building information modeling: BIM) มาช่วยในลดปริมาณ โดยอาศัยซอฟต์แวร์ BIM สร้างแบบสามมิติ (3 Dimensions) ด้วยระดับความละเอียด 350 (Level of development: LOD350) จึงทำให้ข้อมูลมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ดังนั้นหากจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าตอบที่เหมาะสมในการออกแบบจึงควรใช้ร่วมกับแบบที่ละเอียดดังเช่นที่ได้จากซอฟต์แวร์ BIM



รูปที่ 3 ความชันของหลังคาที่เหมาะสมสำหรับวัสดุผนังคานกระเบื้องลอนคู่

ที่มา: <https://www.scgbuildingmaterials.com/media/default/2020/download/installantion/roman-tile-hybrid.pdf>



รูปที่ 4 ระยะห่างของแปที่เหมาะสมสำหรับวัสดุผนังคานกระเบื้องลอนคู่สำหรับหลังคาจั่ว และลักษณะการติดตั้งวัสดุผนัง

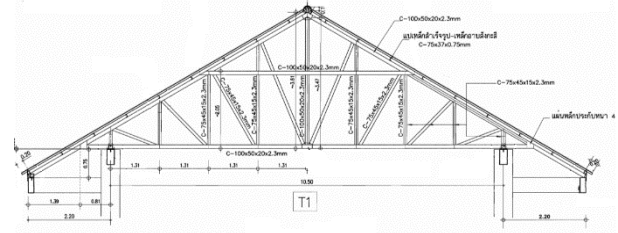
งานวิจัยนี้จึงนำวิธีเชิงพันธุกรรม ประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในการหาปริมาณวัสดุผนังคานโดยพิจารณาจากความสูงของตึกกับความยาวของช้อยเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างแปที่ลงตัวไม่มีเศษเหลือ และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์จากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือในการใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 ศึกษาแบบของโครงการ

โครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้คือ อาคารเรียนของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ซึ่งเป็นอาคารต้นแผ่นดินไหวที่มีลักษณะโครงสร้างหลังคาดังรูปที่ 5 เป็นโครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณมีคุณสมบัติตามรายการประกอบแบบขยายโครงสร้าง หลังคามุงด้วยกระเบื้องลอนคู่ โดยการศึกษาจะยกตัวอย่างเป็นการคำนวณหาระยะห่างระหว่างเสาที่เปลี่ยนไปกับความสูงของตึก เพื่อหาค่าความเหมาะสมสำหรับ

การวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างหลังคาและวัสดุผนังของอาคารสูง 4 ชั้น ชั้นละ 4 เมตร ชั้นล่างโล่ง มีพื้นที่แต่ละชั้นโดยประมาณ 1,275 ตารางเมตรต่อชั้น



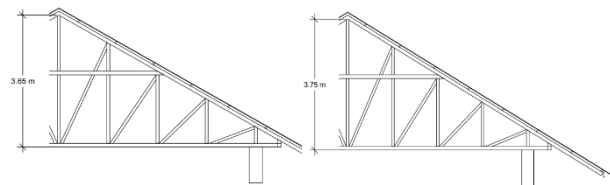
รูปที่ 5 รูปตัดแสดงโครงสร้างหลังคาของอาคารเรียน

2.2 คำนวณปริมาณวัสดุผนังคานด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) และไมโครซอฟต์แวร์

2.2.1 การกำหนดสัดส่วนโครงสร้างหลังคาที่มีผลต่อปริมาณวัสดุผนัง

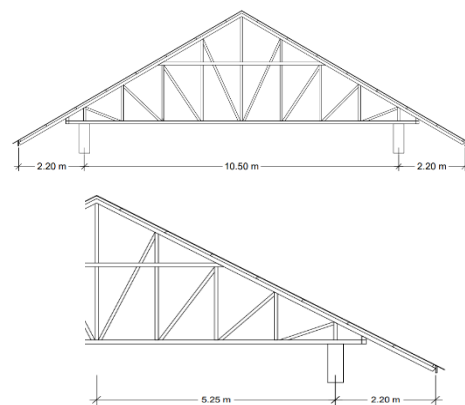
การกำหนดสัดส่วนโครงสร้างหลังคาที่มีผลต่อปริมาณวัสดุผนังจะกำหนดให้มีทั้งหมด 3 ตัวแปรรคือ ตั้ว (King post) ระยะช้อย (Tie beam) และความยาวจันทัน (Rafter) เพื่อหาปริมาณวัสดุผนังคานที่เหมาะสม โดยวัสดุผนังคานคือ กระเบื้องลอนคู่ และมีข้อกำหนดดังนี้

1) กำหนดความสูงของตึกตั้งแต่ความสูง 3.00 เมตร ถึง 5.00 เมตร โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 เซนติเมตร และให้ความยาวช้อยค้ำ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนความสูงของตึก

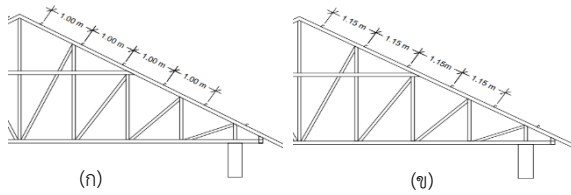
2) กำหนดระยะช้อย ให้มีความยาว 6.00, 8.00, 10.00 และ 12.00 เมตร และจะใช้ความยาวครึ่งหนึ่งของช้อยในการคำนวณ (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 การกำหนดระยะความยาวของช้อย

3) กำหนดความยาวจันทัน โดยความยาวของจันทันที่เหมาะสมจะต้องสอดคล้องกับระยะของแป ดังรูปที่ 8 ซึ่งถ้าหากความยาวจันทันไม่พอดีกับระยะของแปดังกรณีรูป 8 (ข) ก็จะไม่ใช้ค่านั้น เพราะการที่ระยะแปไม่มีความ

ทางมากจะทำให้การมุงกระเบื้องผิดมาตรฐานที่กำหนดใน มอก. 79-2529 ในกรณีความยาวจันทันสอดคล้องกับระยะของแปก็จะนำมาพิจารณาต่อด้วยกระบวนการวิวิเชิงพันธุกรรม

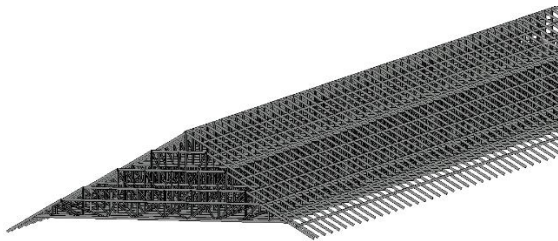


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของความยาวจันทันกับระยะของแป

(ก) จันทันที่เหมาะสมกับระยะของแป (ข) จันทันไม่เหมาะสมกับระยะของแป

2.2.2 สร้างแบบจำลอง 3 มิติ และการถอดปริมาณวัสดุคานหลังคา

สร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของโครงหลังคาด้วยโปรแกรม Autodesk Revit (รูปที่ 9) แล้วถอดปริมาณวัสดุคานหลังคาด้วยฟังก์ชันถอดปริมาณงาน จากนั้นใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลประมวลผลข้อมูลปริมาณงานเพื่อที่จะนำไปใช้ต่อในวิวิเชิงพันธุกรรม จะสร้าง Fitness value เพื่อให้ได้สมการด้วยฟังก์ชัน Data Analysis ในการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)



รูปที่ 9 แบบจำลอง 3 มิติ โครงสร้างหลังคาทรงจั่วของอาคารเรียน

2.3 วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

การนำข้อมูลจากวิธีวิธีสถิติมาใช้ในการสร้างโมเดลเพื่อนำไปใช้ต่อในวิวิเชิงพันธุกรรมจะทำการสร้าง fitness value เพื่อให้ได้สมการที่ต้องการและถูกต้องและสร้างสมการด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ดังสมการที่ 1

$$Y = C + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 - \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (1)$$

เมื่อ X_1 คือกึ่งกลางข้อ, X_2 คือความสูงตั้ง, X_3 คือความยาวอาคาร, และ X_4 คือระยะแป

2.4 ออกแบบด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมและโปรแกรมเชิงเส้น

สร้างประชากรเริ่มต้น ให้มีจำนวน 4 ประชากร โดยการแปลงข้อมูลจากตัวแปร X_1, X_2, X_3 และ X_4 จากนั้นสร้างตัวแปรต่อไปเพื่อจะได้ข้อมูลชุดต่อไปให้ได้ 4 ชุดด้วยกัน แล้วเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 Selection แล้วถอดปริมาณที่ได้จากการทำ Shop Drawing จากโปรแกรม Autodesk Revit และคิดค่า Fitness Quantity ที่ได้จากการนำตัวแปรเข้าสู่ Function จะจากนั้นสุ่มสร้างพ่อแม่จากประชากรเริ่มต้นที่ทำการ Selection ไว้แล้วมาเป็นพ่อและแม่ โดยสุ่มจากโอกาสที่จะถูกเลือก Roulette จากตัวอย่างสุ่ม

ได้พ่อแม่คู่ที่ 1 คือ ชุดข้อมูลที่ 4 เป็นพ่อและชุดข้อมูลที่ 1 เป็นแม่ ฉะนั้นพ่อแม่คู่ที่ 2 จะได้ชุดข้อมูลที่ 3 เป็นพ่อและชุดข้อมูลที่ 2 เป็นแม่ ขั้นตอนที่ 3 ทำการครอสโอเวอร์ ระหว่างพ่อแม่ 1 โดยครอสโอเวอร์ผ่านการสลับชุดข้อมูลตัวแปรหน้าหลังเพื่อสร้างประชากรรุ่นที่ 2 เมื่อครอสโอเวอร์และเลือกประชากรที่ดีที่สุดของ และครอสโอเวอร์ซ้ำไปเรื่อยๆ จนค่าไม่เปลี่ยนแปลงจึงต้องการ Mutation เพื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้ได้ข้อมูลที่มีค่า % Error ที่ลดลง โดยทำการสุ่มเปลี่ยนข้อมูลตัวแปร X_2 และ X_4 ที่ไม่เกินข้อกำหนดของทุกชุดข้อมูล

ใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ในการคำนวณผลลัพธ์ด้วยฟังก์ชัน Solver ใน Microsoft excel คำนวณด้วยการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex) ที่มีข้อกำหนดเดียวกันกับการใช้วิวิเชิงพันธุกรรม

3. ผลการวิจัย

3.1 การหาค่าความเหมาะสมโดยการใช้วิวิเชิงพันธุกรรม

กระบวนการเชิงพันธุกรรมให้ค่าสูงสุดคือ $X_1 = 7.45$ เมตร, $X_2 = 4.47$ เมตร, $X_3 = 80$ เมตร, $X_4 = 1.01$ เมตร และให้ค่าเป้าหมายคือ $f(7.45, 4.47, 80, 1.01) = 3297.29$ และ Error % = 0 % จากตัวอย่างนี้ทำการออกแบบด้วยวิวิเชิงพันธุกรรมทั้งหมด 15 ยุคจึงจะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งแต่ละยุคให้ค่าเป้าหมายดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้มีค่า Fitness ที่ลดลงตามลำดับรุ่นของประชากร และค่า % Error ที่ลดลงตามลำดับรุ่นของประชากร (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเป้าหมายในแต่ละยุค

| ประชากรรุ่นที่ | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | Quantity | Fitness (Quantity) | % Error |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------|--------------------|---------|
| 1 | 7.45 | 4.40 | 80.00 | 0.99 | 3,314 | 3,308 | 0.17 |
| 2 | 7.45 | 4.40 | 80.00 | 1.00 | 3,314 | 3,307 | 0.20 |
| 3 | 7.45 | 4.45 | 80.00 | 0.95 | 3,324 | 3,321 | 0.06 |
| 4 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 5 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 6 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 7 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 8 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 9 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 10 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 11 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 12 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 13 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 14 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |
| 15 | 7.45 | 4.38 | 80.00 | 0.95 | 3,310 | 3,310 | 0.00 |

3.2 ค่าความเหมาะสมโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น

ใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมที่มีข้อกำหนดเดียวกันกับการใช้วิวิเชิงพันธุกรรมในการคำนวณและใช้ฟังก์ชัน Solver ใน Microsoft excel ได้ผลดังตารางที่ 2 ที่แสดงผลลัพธ์ปริมาณกระเบื้องมุงหลังคาจำนวน 3,284 แผ่น

$$\text{Minimize } f(X_1, X_2, X_3, X_4) = -24.28 + 363.03 X_1 + 170.44 X_2 + 0X_3 - 123.44 X_4 \quad (2)$$

โดย X_1 (กึ่งกลางข้อ) = 7.45 เมตร
 $3.00 \text{ m} \leq X_2$ (ความสูงตั้ง) ≤ 5.00 เมตร
 X_3 (ความยาวอาคาร) = 80.00 เมตร
 $0.95 \text{ เมตร} \leq X_4$ (ระยะแป) ≤ 1.05 เมตร

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

| กึ่งกลางข้อ (เมตร) | ความสูงตั้ง (เมตร) | ความยาวอาคาร (เมตร) | ระยะแป (เมตร) | Quantity (แผ่น) | Fitness Quantity (แผ่น) | % Error |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------|
| X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | | | |
| 7.45 | 4.30 | 80.00 | 1.05 | 3,294 | 3,284 | 0.31 |

3.3 เปรียบเทียบการหาค่าความเหมาะสม

เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นกับแบบไม่เชิงเส้นด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) พบว่า ด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นจะได้ระยะห่างของแปเท่ากับ 1.05 เมตร ซึ่งต้องใช้กระเบื้องหลังคาจำนวน 3,284 แผ่น ส่วนวิธีเชิงพันธุกรรมจะได้ระยะห่างของแปเท่ากับ 1.01 เมตร และปริมาณกระเบื้องหลังคาจำนวน 3,310 แผ่น จำนวนกระเบื้องมีความแตกต่างกัน 0.79 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นและวิธีเชิงพันธุกรรม

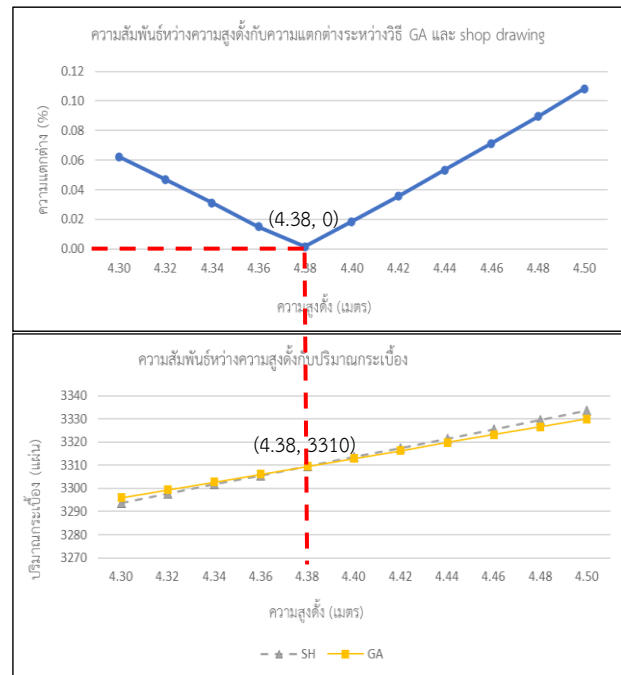
| ตัวแปร | วิธีวิเคราะห์ | | ความแตกต่าง (%) |
|---------------|---------------|------------------|-----------------|
| | เชิงเส้น | ไม่เชิงเส้น (GA) | |
| X_1 (เมตร) | 7.45 | 7.45 | 0.00 |
| X_2 (เมตร) | 4.30 | 4.47 | 3.88 |
| X_3 (เมตร) | 80.00 | 80.00 | 0.00 |
| X_4 (เมตร) | 1.05 | 1.01 | 3.88 |
| ปริมาณ (แผ่น) | 3,284 | 3,310 | 0.79 |

3.4 แบบจำลองเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

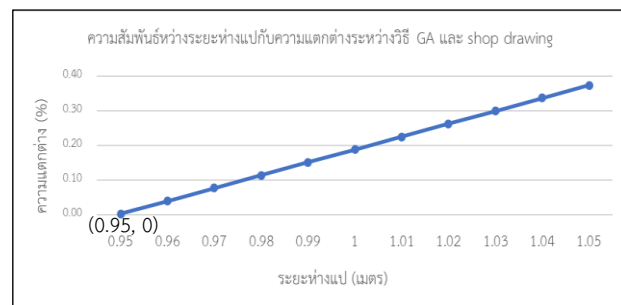
เมื่อนำความสูงตั้งที่ระยะต่างๆไปคำนวณหาปริมาณกระเบื้องหลังคาด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม และจากการทำ shop drawing ที่เขียนโดยวิศวกรผู้มีประสบการณ์ จากนั้นหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณกระเบื้องที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ผลที่ได้นำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและความสูงของตั้ง พบว่า ถ้าความสูงตั้งเท่ากับ 4.38 เมตร จะไม่มีความแตกต่างของปริมาณกระเบื้องระหว่างการทำ shop drawing กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0 %) และที่ความสูงตั้งอื่นๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากขึ้นตามลำดับ (รูปที่ 10) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระเบื้องกับความสูงของตั้งในรูปที่ 10 เช่นกัน

เมื่อเลือกความสูงตั้งได้แล้วจะเลือกระยะห่างของแป ซึ่งพบว่าถ้าระยะห่างของแปเท่ากับ 0.95 เมตร จะไม่มีความแตกต่างของปริมาณ

กระเบื้องระหว่างการทำ shop drawing กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0 %) (รูปที่ 11)



รูปที่ 10 แบบจำลองความแตกต่างของปริมาณกระเบื้องหลังคาที่แปรตามความสูงตั้ง จากการหาค่าตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม เปรียบเทียบกับ shop drawing



รูปที่ 11 แบบจำลองความแตกต่างของปริมาณกระเบื้องหลังคาที่แปรตามระยะแป จากการหาค่าตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม เปรียบเทียบกับ shop drawing

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยข้อกำหนดและแบบแปลนที่เหมือนกันของกรณีศึกษาอาคารเรียนของโรงเรียนสังกัด สพฐ. (ด้านแผ่นดินไหว) โดยการใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) กับการใช้โปรแกรมเชิงเส้น (LP) และวิธีอวิริสติก เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณวัสดุหลังคา ผลที่ได้ออกมาดังนี้ การคำนวณด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ได้ปริมาณวัสดุหลังคาเท่ากับ 3,310 แผ่น ซึ่งไม่แตกต่างกับการคำนวณจากการทำ shop drawing ส่วนการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น ได้ปริมาณวัสดุหลังคาเท่ากับ 3,284 แผ่น ซึ่งแตกต่างกับการคำนวณจาก shop drawing คิดเป็น 0.79 % และการถอดปริมาณก่อนการประมูล ได้ปริมาณวัสดุหลังคาเท่ากับ 3,336 แผ่น ซึ่ง

มากกว่าการคำนวณจาก shop drawing คิดเป็น 0.79 % ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงกระบวนการถอดปริมาณก่อนการประมูลนั้น ได้รวมเปอร์เซ็นต์เพื่อความเสียหายไปแล้ว 15 % ดังนั้นการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับนำไปใช้ปรับระยะขององค์ประกอบหลังคาในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อให้เหลือเศษวัสดุของหลังคาน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทั้ง 4 วิธี

| ผลลัพธ์ | วิธีวิเคราะห์ | | | |
|------------------------------|---------------|-------|-------|------------------|
| | Shop drawing | GA | LP | ² BOQ |
| จำนวนกระเบื้อง (แผ่น) | 3,310 | 3,310 | 3,284 | 3,336 |
| ¹ ความแตกต่าง (%) | - | 0 | 0.79 | 0.79 |

¹ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลลัพธ์จากการคำนวณแต่ละวิธีเทียบกับ shop drawing

² BOQ ได้จากการถอดปริมาณจากแบบ 2 มิติ ที่ใช้ในการประมูล

ข้อเสนอแนะ งานวิจัยนี้ใช้วัสดุของหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่และหลังคาแบบทรงจั่วเท่านั้น ยังไม่ได้ทดสอบกับกระเบื้องชนิดอื่น และหลังคาทรงอื่น จึงยังไม่สามารถสรุปได้ถึงถึงความเหมาะสมและข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงอาจนำวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ไปใช้กับกระเบื้องชนิดอื่นและหลังคารูปทรงอื่นให้ครอบคลุมทุกชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป จึงจะได้ข้อสรุปที่มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (21 พฤษภาคม 2564). ภาวะโลกรวน ส่งผลทำให้โลกร้อนและก่อให้เกิดผลกระทบอย่างต่อเนื่อง. <https://greendigitalibrary.deqp.go.th/news/detail/631>
- [2] สถาบันวิจัยเศรษฐกิจป๋วย อึ๊งภากรณ์ (30 กันยายน 2564). การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของไทย. <https://www.pier.or.th/abridged/2021/15/>
- [3] กรมควบคุมมลพิษ. (16 กุมภาพันธ์ 2566). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565 - 2570). <https://www.pcd.go.th/publication/28745>
- [4] Osmani, M., Glass, J., and Price, A.D.F. (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. Waste Management, 28, pp. 1147-1158.
- [5] Li, J., Tam, V.W.Y., Zuo, J., and Zhu, J. (2015). Designers' attitude and behaviour towards construction waste minimization by design: A study in Shenzhen, China. Resources, Conservation and Recycling, 105, pp. 29-35.
- [6] นคร ศรีวิจารณ์ (2539). อุตสาหกรรมก่อสร้างกับเทคนิควิศวกรรม. วิศวกรรมสาร มก. เล่มที่ 28, หน้า 21-29.
- [7] Erbatur, F., Hasançebi, O., Tütüncü, İ. and Kılıç, H. (2000). Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. Computers and Structures, 75, pp. 209-224.
- [8] สุนิสสา ทองศรี และ ทักษิณ เทพชาติศรี (2554). การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบโดยวิธีฮิวริสติก. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 22, ฉบับที่ 3, หน้า 25-30.
- [9] กิตติศักดิ์ บรรณสาร และ อลงกรณ์ ละม่อม (2566). การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึม. วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 40, ฉบับที่ 1, หน้า 139-152.
- [10] อาทิตย์ ศรีแก้ว (2545). จินเนติกอัลกอริทึม ตอนที่ 1. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี, ปีที่ 9, หน้า 69-83. <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/1903/1/bib904.pdf>
- [11] Govindaraj, V., and Ramasamy, J.V. (2005). Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using genetic algorithms. Computers and Structures, 84(1-2), pp. 34-48.
- [12] Cheng, J. (2010). Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm. Journal of Constructional Steel Research, 66(8-9), pp. 1011-1017.
- [13] อภิรักษ์ ชัดวิลาศ (2554). การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร., ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 154-163.
- [14] อัศนัย ทาภา และ เรืองรุชดี ชีระโรจน์ (2562). การออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีค้นหาแบบหึ่งห้อย. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, หน้า 133-145.
- [15] Azizi, M., Talatahari, S., Basiri, M., and Shishehgarkhaneh, M.B. (2022). Optimal design of low- and high-rise building structures by Tribe-Harmony Search algorithm. Decision Analytics Journal, 3, 100067.