

การประมาณราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

Estimated Price Estimation for Building Renovation Projects in Chiang Mai University

Using Artificial Neural Network Technique

อาทิตยสยา บุระดา^{1,*} ดำรงค์ศักดิ์ รินชุมภู² และ ธวัชชัย ดันชัยสวัสดิ์³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: atitsaya_b@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งอยู่ในตัวอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2507 โดยจัดตั้งมาแล้วกว่า 60 ปี ตัวอาคารภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีอายุการใช้งานมาอย่างยาวนาน มีการชำรุดและเสื่อมสภาพจากการใช้งาน ประสิทธิภาพของตัวอาคารจึงเสื่อมถอยลง ส่งผลให้มีการปรับปรุงอาคารเกิดขึ้น โดยเฉพาะภายในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา สำหรับงานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างจะต้องมีการวางแผนจัดตั้งงบประมาณล่วงหน้าก่อนการดำเนินการในแต่ละปีงบประมาณ โดยนิยมใช้การประมาณราคาก่อสร้างแบบหายาบ โดยเฉพาะการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งพบว่าวิธีดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากงบประมาณที่ได้วางแผนไว้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้เข้ามามีบทบาทและเป็นตัวช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับมนุษย์ในการวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างแบบจำลองเพื่อการประมาณการ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ราคางานปรับปรุงอาคาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ชุดข้อมูลของงานปรับปรุงอาคาร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 - 2567 ช่วงราคาตั้งแต่ 500,000.00 บาท ขึ้นไป จำนวนทั้งหมด 45 โครงการ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองการประมาณการราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยมุ่งศึกษาในหมวดงานสถาปัตยกรรม มีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 43.11 และการประมาณราคาแบบหายาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 23.82

ดังนั้น การประมาณราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง ในหมวดงานสถาปัตยกรรมด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม จึงเป็นเทคนิคการประมาณค่าเบื้องต้นที่มีความแม่นยำมากกว่าการประมาณราคาแบบหายาบ ด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ นอกจากนี้ แบบจำลองที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถช่วยในการวางแผนและคาดการณ์งบประมาณเบื้องต้น อีกทั้งแบบจำลองยังง่ายต่อการใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณการข้อมูลด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย

คำสำคัญ: แบบจำลองการพยากรณ์, งานปรับปรุงอาคาร, การประมาณราคา, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

Chiang Mai University is located in Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai Province. It was established in 1964 and has been in operation for over 60 years. Buildings within Chiang Mai University have been in use for a long time and have deteriorated due to extensive usage. The efficiency of these buildings has declined, resulting in the need for renovations, especially during the past 10 years.

For renovation projects, budget planning must be done in advance before implementation in each fiscal year. Rough cost estimation methods are commonly used, particularly the cost-per-unit-area estimation method. However, this method has been found to deviate from the planned budget. Currently, artificial intelligence technology has played an important role and serves as a tool to facilitate human data analysis and create predictive models.

This study aims to develop a cost estimation model for architectural renovation projects at Chiang Mai University using artificial neural network (ANN) techniques. A total of 45 project records, conducted between 2018 and 2024 with a minimum value of 500,000 baht, were collected and analyzed using RapidMiner software. The model's performance was evaluated using Root Mean Square Error (RMSE) and R-squared (R^2) metrics. The results indicate that the ANN-based model achieved an R^2 value of 0.4311 (43.11% accuracy), outperforming the conventional cost-per-unit-area estimation method, which yielded an R^2 value of 0.2382 (23.82% accuracy). The ANN model provides more accurate preliminary cost predictions and is easy to implement. Furthermore, it can support budget planning and be adapted for use in other estimation tasks.

Keywords: Forecasting Model, Building Renovation Projects, Cost Estimation, Artificial Neural Network

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้เข้ามามีบทบาทและเป็นตัวช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับมนุษย์ในการวิเคราะห์ข้อมูล และมีบทบาทในการร่วมขับเคลื่อนในแต่ละภาคส่วนภายในประเทศ อีกทั้งเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อการประมาณการต้นทุนนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการเชิงพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจะช่วยให้การบริหารจัดการมีความถูกต้อง รวดเร็ว มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การวางแผนปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง, การบริหารการก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจได้ สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (พ.ศ. 2565 – 2570) ที่ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ของประเทศไทยให้บรรลุผลและเป็นไปตามนโยบายของรัฐบาลที่จะช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจ ยกกระดับขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศ รวมถึงการพัฒนาทักษะของบุคลากรภายในประเทศ ตลอดจนมุ่งสร้างระบบนิเวศเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้เกิดขึ้นในประเทศไทย [1]

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการจัดสรรงบประมาณในแต่ละปีสำหรับการปรับปรุงอาคารภายในมหาวิทยาลัย ให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์กายภาพและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัย คือพัฒนาระบบกายภาพและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อก่อให้เกิดบรรยากาศที่สนับสนุนการเรียนการสอน อย่างไรก็ตามการวางแผนจัดสรรงบประมาณการปรับปรุงอาคารนั้น โดยส่วนมากจะเป็นการประมาณการต้นทุนงานปรับปรุงอาคาร ด้วยวิธีการประมาณราคาเบื้องต้นอย่างหยาบ เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์งบประมาณสำหรับตัดสินใจในการจัดทำโครงการ พบว่าการกำหนดราคางานก่อสร้างสำหรับการจัดจ้างก่อสร้าง ตามแนวทางประกาศคณะกรรมการราคากลางและขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการกำหนดราคากลางงานก่อสร้าง ไม่สอดคล้องกับงบประมาณที่ได้จัดสรรไว้ ดังนั้น ควรมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อช่วยในการวางแผนจัดตั้งงบประมาณในแต่ละปีงบประมาณมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการประมาณการราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยมุ่งศึกษาในหมวดงานสถาปัตยกรรม เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการประมาณราคาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม และการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้ประมาณการราคากลาง หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยในการประมาณราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง ในหมวดงานสถาปัตยกรรม สำหรับวางแผนการจัดตั้งงบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ราคางานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้ เป็นการจัดทำแบบจำลองสำหรับการประมาณการราคากลางงานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีขอบเขตทางด้านข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1.3.1 ข้อมูลโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 – 2567 ช่วงราคาตั้งแต่ 500,000.00 บาท ขึ้นไป

1.3.2 เทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้ศึกษา คือ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RapidMiner ในการสร้างแบบจำลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองการประมาณราคางานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับใช้ในการประมาณราคากลางเบื้องต้น

1.4.2 เพื่อทราบผลการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการประมาณราคาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม และการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่

1.4.3 เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดตั้งงบประมาณราคางานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างเบื้องต้น

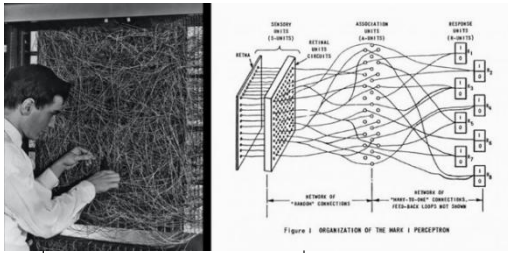
2. ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณราคา

โครงข่ายประสาทเทียม มีต้นแบบมาจากสมองมนุษย์ กล่าวคือ เซลล์สมองมนุษย์ที่เรียกว่านิวรอนก่อตัวเป็นเครือข่ายที่ซับซ้อนและเชื่อมต่อถึงกัน พร้อมส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กันและกันเพื่อช่วยให้มนุษย์สามารถประมวลผลข้อมูลได้ เช่นเดียวกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ [2-3] กล่าวว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเทคนิคที่จำลองแบบความคิดจากมนุษย์ ซึ่งเลียนแบบความสามารถของจิตใจมนุษย์ในการใช้เหตุผลและการจดจำรูปแบบอย่างมีประสิทธิภาพ ในทำนองเดียวกัน โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยนิวรอนเทียมที่ทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา นิวรอนเทียมคือโมดูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า โหนด และโครงข่ายประสาทเทียมคือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรืออัลกอริทึมที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นหลัก ในการแก้ปัญหาการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมมีแนวคิดริเริ่มมาจากแบบจำลองชื่อว่า Perceptron ที่ Warren McCulloch และ Walter Pitts ได้เสนอขึ้นมาในปี 1943 และได้มีการสร้างเครื่อง Perceptron ขึ้นมาทดลองใช้จริงในปี ค.ศ. 1958 โดยแบบจำลองนี้ ใช้สมการการตัดสินใจ (decision function) ดังสมการที่ (1)

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } w \cdot x + b > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ w เป็นเวกเตอร์น้ำหนัก และ b เป็นค่าความเอนเอียงที่แบบจำลองจะเรียนรู้ขึ้นมาระหว่างการฝึกฝน

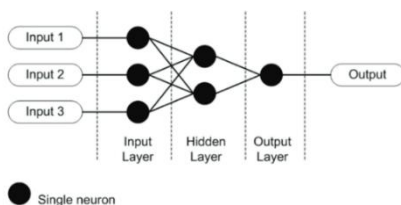


รูปที่ 1 Frank Rosenblatt และเครื่อง Mark I Perceptron
โดย [4]

ในการพัฒนาขั้นต่อนั้น เป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่นมากขึ้น โดยการเพิ่ม layer ของ Perceptron เข้าไป โดยมีฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นคั่นระหว่าง layers ดังนั้น ฟังก์ชันของแต่ละ layer คือ

$$f(x) = \sigma(w \cdot x + b) \quad (2)$$

โดยที่ w และ b เป็นค่าน้ำหนักและค่าความเอนเอียงตามแบบจำลอง Perceptron เดิม แต่เพิ่ม σ เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น ฟังก์ชัน sigmoid, tanh หรือ ReLU โดยแบบจำลองใหม่นี้มีชื่อว่า Multi-layer Perceptron โครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลอง Multi-layer Perceptron ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ input layer hidden layer และ output layer โดยสามารถมี hidden layer ได้หลาย layer ตามความต้องการของผู้ออกแบบ แบบจำลอง มีหลักการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละส่วน ดังที่ [5] กล่าวว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการเชื่อมต่อบนต่าง ๆ ภายใน โดยระบบนั้นจะประกอบไปด้วย layer จำนวน 3 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของ input layer ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม ทำการประมวลผล วิเคราะห์ หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล เพื่อส่งต่อไปยัง layer ถัดไป และส่งต่อไปยังส่วนถัดไป คือ hidden layer เป็นส่วนคำนวณผลลัพธ์ตามค่าน้ำหนักที่กำหนดโดยในแต่ละ นิวรอน ใน hidden layer จะมีสิ่งที่เรียกว่า activation functions เพื่อแปลงค่าทุกค่าให้ออกมาเป็นค่าผลลัพธ์ [6] นอกจากนี้ [7] ยังกล่าวอีกด้วยว่าถ้าเราไม่มี activation functions แบบจำลองของเราจะเรียนรู้ได้แค่ความสัมพันธ์เชิงเส้น เท่านั้น และส่วนสุดท้าย output layer จะแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง และส่งไปยังนิวรอนต่อไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม โดย [3]

ในด้านวิศวกรรมโยธา และการบริหารการก่อสร้าง มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการประมาณการต้นทุน การวางแผนงานก่อสร้าง การตัดสินใจ การระบุข้อผิดพลาดและการดำเนินคดี การประเมิน

ความเสี่ยง และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงวิวัฒนาการในการก่อสร้างและการจัดการ [8]

งานวิจัยของ [9] ได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ต้นทุนการก่อสร้างในอนาคต สำหรับโครงการก่อสร้างถนนในกรมโยธาธิการและทางหลวงเขต 11 ของประเทศฟิลิปปินส์ ระหว่างปี ค.ศ. 2017 ถึง ปี ค.ศ. 2020 โดยนำข้อมูลจำนวน 50 โครงการ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) พบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในแง่ของความแม่นยำในการทำนาย

[10] ได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้โปรแกรม RapidMiner เปรียบเทียบกับแบบจำลองเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ในการประมาณราคาก่อสร้างสำหรับอาคารงานราชการ ซึ่งใช้ข้อมูลทั้งหมด 50 โครงการ โดยมีตัวแปรต้นที่เกี่ยวข้องจำนวน 11 ตัวแปร ได้แก่ พื้นที่ใช้สอย, เส้นรอบรูปของอาคาร, ความสูงระหว่างชั้น, ความสูงของอาคาร, จำนวนชั้น, พื้นที่หลังคา, พื้นที่ห้องน้ำ, พื้นที่ชั้นพื้นดิน, พื้นที่ช่องเปิด, ประเภทหลังคา และประเภทของโครงสร้าง ของงานก่อสร้างราชการ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 91.4 ขณะที่แบบจำลองเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 73.2

[11] ได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการประมาณราคาเบื้องต้น เปรียบเทียบกับวิธีประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่สำหรับงานก่อสร้างอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ RapidMiner ในการวิเคราะห์ชุดข้อมูลของอาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งใช้ข้อมูลทั้งหมด 50 อาคาร โดยผลการศึกษาพบว่า วิธีเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำถึงร้อยละ 90.46 ซึ่งสูงกว่าวิธีประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ที่มีความแม่นยำร้อยละ 74.67

ตัวชี้วัดที่ใช้ในการวัดผลของแบบจำลอง โดยทั่วไปจะคำนึงถึง 3 ด้าน ได้แก่ การตีความ (Interpretability) การนำไปใช้ (Applicability) และการคำนึงถึงทฤษฎีที่รองรับ (Optimizability) [12]

สำหรับตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับแบบจำลองพยากรณ์นั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Root Mean Square Error (RMSE) เป็นตัวชี้วัดที่ทำการทำนายนิยมใช้ในการวัดผล สามารถวัดได้โดยการนำค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนมาเฉลี่ยกัน แล้วถอดรากที่ 2 ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2} \quad (3)$$

2. Mean Absolute Error (MAE) เป็นอีกตัวชี้วัดที่ได้รับความนิยมสูง สามารถคำนวณได้ จากการนำค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (Absolute Error) มาเฉลี่ยกันเพื่อพิจารณาควบคู่กับขนาด (scale) ของสิ่งที่ทำนายด้วย ดังสมการ

$$MAE = \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (4)$$

3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ใช้การรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ทำให้สามารถทำความเข้าใจถึงระดับความแม่นยำได้ ไม่ต้องคำนึงถึงขนาดของสิ่งที่กำลังทำนายอยู่ทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าใจได้ง่าย และสามารถตัดสินใจได้เร็ว จากค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมาเฉลี่ยกัน ดังสมการ

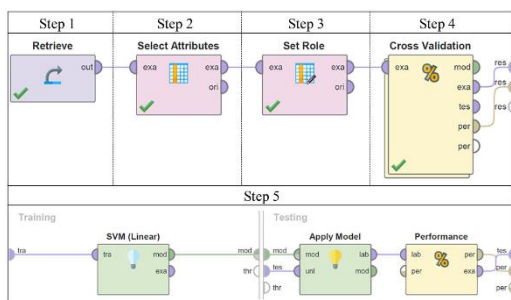
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{|A_i|} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_i - A_i|}{|A_i|} \quad (5)$$

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยวัดผลความแม่นยำของแบบจำลอง โดยพิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า R-squared (R²)

2.2 โปรแกรมในการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมต้องอาศัยอัลกอริทึมที่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยวิเคราะห์ข้อมูล จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายในการช่วยสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ Code Development เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยภาษาทางโปรแกรมมิ่ง และ Low code Development เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะพิจารณาการสร้างตัวแบบจำลอง ประเภท Low Code Development จากโปรแกรม RapidMiner

โดยโปรแกรม RapidMiner ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อการประมวลผลทางวิเคราะห์การประมาณราคาที่มีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย สะดวก ไม่ซับซ้อน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การดึงข้อมูล การเลือกคุณสมบัติ การกำหนดบทบาท การตรวจสอบ และการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองในการทำนายที่ได้จากการฝึกสอนพร้อมด้วยการทดสอบแบบจำลอง เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายราคาได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งเป็นจุดเด่นที่ทำให้ผู้ใช้ทุกคนสามารถนำไปใช้ในงานด้านการวิเคราะห์และประมาณราคาได้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์โดยใช้ RapidMiner โดย [13]

3. วิธีการดำเนินการ

ในการดำเนินการวิจัยเพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ราคางานปรับปรุงอาคาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม นั้น มีขั้นตอนการดำเนินการทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน โดยทำการรวบรวม

ข้อมูลราคางานปรับปรุงอาคารภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่รวมทั้งสิ้นจำนวน 45 โครงการ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 – 2567 เนื่องจากข้อมูลที่น่าสนใจในช่วงเวลาที่ต่างกันจึงต้องทำการปรับแต่งราคาข้อมูล เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ RapidMiner และสรุปผลการวิจัยต่อไป ตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวแปรในการศึกษาวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยสามารถสรุปตัวแปรในการศึกษาตัวแบบจำลองการประมาณการราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในหมวดงานสถาปัตยกรรม ได้ทั้งหมด 5 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปตัวแปรในการพยากรณ์การปรับปรุงอาคารจากการทบทวนวรรณกรรม

ลำดับ	สัญลักษณ์ที่กำหนด	ตัวแปรในการพยากรณ์	หน่วยวัด
1	X1	พื้นที่ใช้สอยของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร	ตารางเมตร
2	X2	เส้นรอบรูปของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร	เมตร
3	X3	จำนวนชั้นของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร	ชั้น
4	X4	ความสูงของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร	เมตร
5	X5	ประเภทอาคารของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร	-

โดยรายละเอียดของแต่ละตัวแปร สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 พื้นที่ใช้สอยของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร (X1)

การกำหนดพื้นที่ใช้สอยภายในโครงการปรับปรุงอาคารทั้งหมดที่สามารถใช้งานได้นั้น สามารถหาพื้นที่นั้นได้โดยความกว้างคูณกับความ

ยาวของพื้นที่ที่จะดำเนินการปรับปรุง มีหน่วยเป็นตารางเมตร ซึ่งกำหนดได้ในช่วงวางแผนจัดสรรงบประมาณ และในการสร้างแบบจำลองนั้นสามารถนำข้อมูลพื้นที่ใช้สอยของงานปรับปรุงอาคารที่มีมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการสอนแบบจำลอง

3.1.2 เส้นรอบรูปของงานก่อสร้างของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร (X2)

การวัดเส้นรอบรูปของขอบเขตงานปรับปรุงนั้นสามารถกำหนดได้ในช่วงวางแผนจัดสรรงบประมาณมีหน่วยเป็นเมตร โดยเส้นรอบรูปนั้นจะต้องสอดคล้องกับพื้นที่ใช้สอยของอาคาร และสามารถใช้เส้นรอบรูปของอาคารที่เคยปรับปรุงแล้วมาสอนแบบจำลองนั่นเอง

3.1.3 จำนวนชั้นของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร (X3)

จำนวนชั้นของโครงการปรับปรุงอาคาร มีหน่วยการวัดโดยนับเป็นจำนวน ตัวแปรนี้ ใช้เป็นตัวแปรสำหรับสร้างแบบจำลองพยากรณ์ [14] จะเห็นว่าเมื่อจำนวนชั้นเพิ่ม ใช้วัสดุในการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นก็สามารถอธิบายได้ว่าราคาก่อสร้างก็ควรเพิ่มขึ้นตามความสูงนั้น

3.1.4 ความสูงของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร (X4)

เป็นตัวแปรในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ที่สามารถกำหนดได้ในช่วงวางแผนจัดสรรงบประมาณ มีหน่วยการวัดเป็นเมตร และสามารถนำข้อมูลพื้นที่ใช้สอยของงานปรับปรุงอาคารที่มีมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการสอนแบบจำลอง

3.1.5 ประเภทอาคารของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร (X5)

การกำหนดประเภทของอาคารเป็นตัวแปรที่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์โดยในการพยากรณ์ราคาแบบหยาบด้วยวิธีประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ตามประเภทของอาคาร เช่น อาคารสาธารณะ อาคารเรียนหรือสำนักงาน และสามารถนำข้อมูลพื้นที่ใช้สอยของงานปรับปรุงอาคารที่มีมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการสอนแบบจำลอง

3.2 ปรับข้อมูลราคาให้เป็นปัจจุบันโดยใช้ดัชนีวัสดุก่อสร้าง

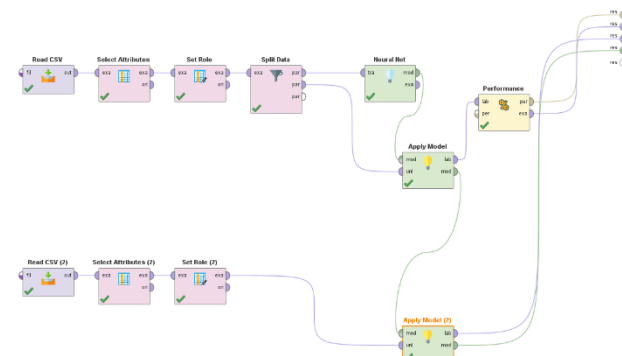
ข้อมูลโครงการงานปรับปรุงสิ่งก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จำนวน 45 โครงการที่ได้นำมาศึกษานั้น เป็นโครงการที่อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2561 – 2567 จึงมีความแตกต่างกันด้านราคาอันเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจของประเทศ รวมไปถึงภาวะเศรษฐกิจของโลก ส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องความไม่ถูกต้องในการนำข้อมูลที่มีช่วงเวลาที่แตกต่างกันมาใช้ร่วมกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องทำการปรับข้อมูลราคาให้ตรงกันก่อนโดยใช้ดัชนีราคา จากกองดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์ เพื่อทำให้มีราคาต้นทุนค่าก่อสร้างทุกโครงการเป็นปีเดียวกัน โดยค่าตัวคูณเพื่อปรับค่า (Factor) ของแต่ละปีที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางตัวคูณเพื่อปรับค่า (Factor) ของแต่ละปี

ลำดับ	ปี	ดัชนี	Factor
1	2561	101.7	1.11
2	2562	100.4	1.12
3	2563	98.7	1.14
4	2564	106.6	1.06
5	2565	112.8	1.00
6	2566	112.9	1.00
7	2567	112.7	1.00

3.3 การสร้างแบบจำลองพยากรณ์

ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองประมาณการต้นทุนงานปรับปรุงอาคาร โดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองพยากรณ์ จากปัจจัยทั้ง 5 ตัว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 Read CSV

โดยทำการเลือกข้อมูลงานปรับปรุงอาคารที่ต้องการให้ตัวโปรแกรมอ่านข้อมูลจากรูปแบบของประเภทของไฟล์ข้อมูลที่น่าเข้ามาวิเคราะห์

3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 Select Attributes

เป็นการกำหนดลักษณะของข้อมูลงานปรับปรุงอาคารที่นำมาวิเคราะห์

3.3.3 ขั้นตอนที่ 3 Set Role

เป็นเครื่องมือสำหรับการกำหนดตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลตามที่กำหนดไว้

3.3.4 ขั้นตอนที่ 4 Split Data

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการแยกชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการฝึกสอนแบบจำลองในอัตราร้อยละ 90 ของชุดข้อมูล (41 ข้อมูล) และชุดข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบแบบจำลองในอัตราร้อยละ 10 ของชุดข้อมูล (4 ข้อมูล)

3.3.5 ขั้นตอนที่ 5 Neural Net

เป็นส่วนของการดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.6 ขั้นตอนที่ 6 Apply Model

จะทำการพยากรณ์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.7 ขั้นตอนที่ 7 Performance

จะคำนวณค่าอัตราความผิดพลาดของแบบจำลอง

สำหรับการตัดสินใจเลือกแบบจำลองพยากรณ์ สามารถตัดสินใจได้จากกระบวนการทดสอบ Hidden layer ซึ่งอาจต้องมีการทดสอบ Hidden layer จำนวนหลายครั้ง โดยผู้วิจัยจะทำการเลือกแบบจำลองที่ได้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุดเพื่อเป็นการกำหนดจำนวน Node ของ Hidden Layer ที่สามารถเป็นตัวชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองพยากรณ์ได้

3.4 การวิเคราะห์และสรุปผล

วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำที่ได้จากการประมาณราคาระหว่างแบบจำลอง และวิธีประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งเป็นวิธีการประมาณราคาค่าก่อสร้างแบบหยาบ ว่าวิธีประมาณราคาด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำกว่าวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่หรือไม่ และมีค่าความแม่นยำอยู่ที่เท่าไร

4. ผลการศึกษา

จากการทดลองโดยใช้แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม RapidMiner เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมจากการหาค่า RMSE ที่น้อยที่สุด โดยได้ทำการกำหนด Hidden Layers จำนวน 1, 2 และ 3 ชั้น พร้อมกำหนดค่า Nodes ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 1 ชั้น

Hidden Layers 1	
Nodes	ค่า RMSE
1	1.986
2	1.591
3	2.033
4	1.989
5	2.415
6	2.202
7	2.257
8	2.039
9	2.467
10	1.996

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 1 ชั้น ที่จำนวน 2 Nodes ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดอยู่ที่ 1.591

ตารางที่ 4 ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 2 ชั้น

Layers		Hidden 2				
Hidden 1	Nodes	1	2	3	4	5
	1	2.331	2.262	2.081	2.122	2.469
	2	2.072	2.428	2.162	2.216	2.237
	3	2.157	2.719	2.126	2.492	2.159
	4	2.256	2.719	2.235	2.307	2.058
	5	2.278	2.722	2.495	2.192	1.840
	6	2.495	2.148	2.353	2.242	2.088
	7	2.421	2.472	2.514	1.925	2.351
	8	2.287	2.576	2.489	2.246	2.476
	9	2.572	1.966	2.256	2.436	1.890
	10	2.221	2.461	2.571	1.903	2.400

ตารางที่ 4(ต่อ) ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 2 ชั้น

Layers		Hidden 2				
Hidden 1	Nodes	6	7	8	9	10
	1	2.668	2.187	2.800	2.394	3.162
	2	2.261	2.178	2.057	2.736	2.228
	3	2.235	2.411	2.559	2.176	2.359
	4	2.081	1.824	2.597	2.101	1.912
	5	2.033	1.698	2.353	2.254	1.847
	6	2.080	2.250	2.418	1.986	2.722
	7	1.653	2.458	2.065	2.471	1.865
	8	2.502	2.223	2.294	1.986	2.956
	9	2.458	2.138	2.169	2.602	2.154
	10	2.008	2.312	2.381	2.510	2.332

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 2 ชั้น โดย Hidden Layer ที่ 1 ที่จำนวน 7 Nodes และ Hidden Layer ที่ 2 ที่จำนวน 6 Nodes ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดอยู่ที่ 1.653

ตารางที่ 5 ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 3 ชั้น กรณี Layer ของ Hidden 1 มีค่าเท่ากับ 1

Layers		Hidden 3			
Hidden 2	Nodes	1	2	3	4
	1	2.238	2.077	2.038	2.165
	2	2.093	2.229	2.380	2.208
	3	2.071	2.364	2.201	2.188
	4	2.199	2.235	2.197	2.383

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 3 ชั้น โดย Hidden Layer ที่ 2 ที่จำนวน 1 Nodes และ Hidden Layer ที่ 3 ที่จำนวน 3 Nodes ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดอยู่ที่ 2.038

ตารางที่ 6 ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 3 ชั้น กรณี Layer ของ Hidden 1 มีค่าเท่ากับ 2

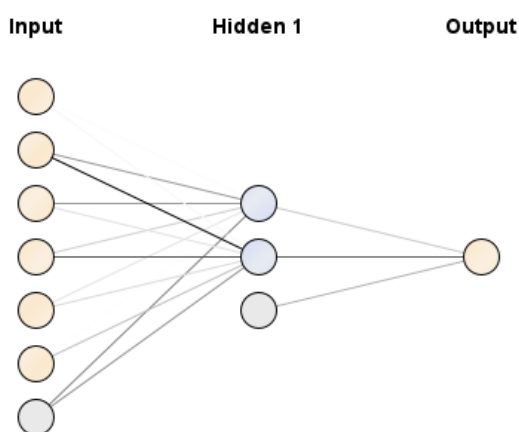
Layers	Hidden 3				
Hidden 2	Nodes	1	2	3	4
	1	2.092	2.371	2.080	2.071
	2	2.32	2.209	2.307	2.107
	3	2.221	2.206	2.162	2.345
	4	2.318	2.172	2.159	2.465

ตารางที่ 7 ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 3 ชั้น กรณี Layer ของ Hidden 1 มีค่าเท่ากับ 3

Layers	Hidden 3				
Hidden 2	Nodes	1	2	3	4
	1	2.22	2.58	2.222	2.673
	2	2.216	2.583	2.509	2.555
	3	2.179	2.321	2.435	2.376
	4	2.31	2.585	2.546	2.528

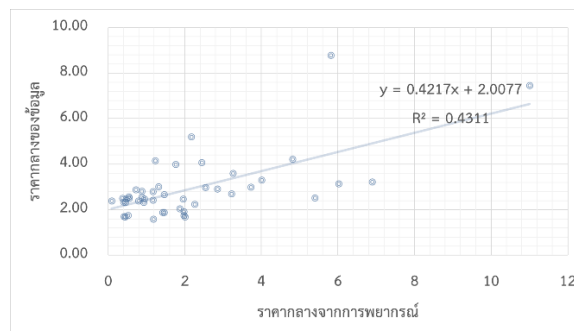
จากตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 7 พบว่า ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 3 ชั้น โดย Hidden Layer ที่ 1 จำนวน 1 Nodes Hidden Layer ที่ 2 จำนวน 1 Nodes และ Hidden Layer ที่ 3 จำนวน 3 Nodes ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดอยู่ที่ 2.038

โดยสรุปจากการทดลองกำหนด Hidden Layers จำนวน 1, 2 และ 3 ชั้น พบว่า ค่า RMSE กรณี Hidden Layers 1 ชั้น ที่จำนวน 2 Nodes ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดอยู่ที่ 1.591 ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 6

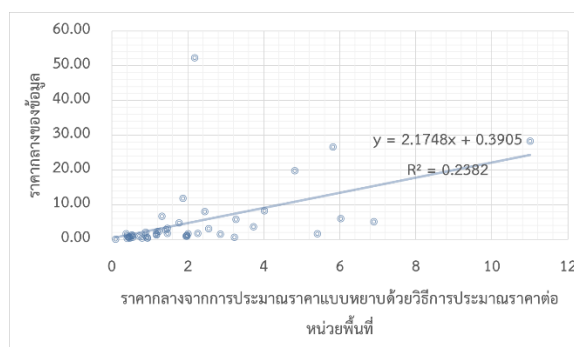


รูปที่ 6 แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรม RapidMiner

และเมื่อนำชุดข้อมูลทั้ง 45 โครงข่ายเข้ามาทดสอบกับแบบจำลองอีกครั้ง พบว่า ได้ค่า R^2 จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 0.4311 ดังรูปที่ 7 และค่า R^2 จากการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 0.2382 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ค่า R^2 จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 8 ค่า R^2 จากการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าแบบจำลองการประมาณการราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม มีความแม่นยำถึงร้อยละ 43.11 ซึ่งสูงกว่าวิธีการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ที่มีความแม่นยำเพียงร้อยละ 23.82

ดังนั้น การประมาณราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง ในหมวดงานสถาปัตยกรรมด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม จึงเป็นเทคนิคการประมาณค่าเบื้องต้นที่มีความแม่นยำมากกว่าการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ โดยแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถช่วยในการวางแผนและคาดการณ์งบประมาณเบื้องต้นได้ง่ายต่อการใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณการข้อมูลด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าการที่แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการประมาณราคาส่งก่อสร้าง โดยวิธีการประมาณราคาแบบหยาบมักจะพิจารณาเพียงขนาดพื้นที่เป็นปัจจัยหลัก แต่แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมวลผลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายมิติได้ดีกว่า เช่น

เส้นรอบรูปของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร จำนวนชั้นของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร ความสูงของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร และประเภทอาคารของพื้นที่งานปรับปรุงอาคาร เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ [10] ที่ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูงกว่าแบบจำลองเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ [11] ที่ว่าวิธีเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้น แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมยังคงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาต่อไป

6.1 ข้อดีของแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมีความยืดหยุ่นสามารถปรับตัวและเรียนรู้จากข้อมูลใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างปัจจัยต่าง ๆ สามารถรองรับตัวแปรจำนวนมากในการวิเคราะห์ และสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

6.2 ข้อจำกัดของแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

จากผลการศึกษา แม้ว่าแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการประมาณราคาแบบหยาบด้วยวิธีการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่ แต่ความแม่นยำที่ได้อาจมีค่าไม่สูงมากนัก ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านข้อมูล ซึ่งอาจถูกจำกัดด้วยขนาดและคุณภาพของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกฝน ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลต้นทาง ตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์อาจยังไม่ครอบคลุมปัจจัยสำคัญทั้งหมด และความซับซ้อนของงานปรับปรุง

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ข้อเสนอแนะการนำแบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

แบบจำลองด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้น มีประโยชน์อย่างมากในบริบทของการบริหารโครงการ ได้แก่ ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถคาดการณ์งบประมาณได้แม่นยำขึ้น ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับความสำคัญของโครงการต่าง ๆ ช่วยลดความเสี่ยงหรือโอกาสการเกิดปัญหาทางงบประมาณที่บ้านปลายหรือไม่เพียงพอ และช่วยลดเวลาในการคำนวณราคาเบื้องต้น

6.3.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองในอนาคต

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาสามารถทำนายและให้ความแม่นยำได้ร้อยละ 43.11 แสดงว่ายังมีตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษาครั้งนี้สามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของการประมาณราคากลางโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปอาจศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น สภาพปัจจุบันของอาคาร อายุการใช้งานของอาคาร ระดับความซับซ้อนของงานปรับปรุง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้มีอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ รินชุมภู เป็นผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำจนทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณงานออกแบบและก่อสร้าง ศูนย์บริหารจัดการเมืองเพื่อความยั่งยืน สำนักงานมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาเอื้อเพื่อข้อมูลเกี่ยวกับโครงการปรับปรุงสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อีกทั้งขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทุกท่านที่สนับสนุนจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). *แผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศไทย* (พ.ศ. 2565 – 2570). สำนักงานคณะกรรมการการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ <https://www.onde.go.th/view/1/เอกสารเผยแพร่/TH-TH>
- [2] Kulkarni, P. S., Londhe, S. N., & Deo, M. C. (2017). Artificial Neural Networks for Construction Management: A Review. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 1 - 2, pp.70 - 88.
- [3] Suzuki, K. (2011). *Introduction to the Artificial Neural Networks*. Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications., InTech, pp.3-18.
- [4] Kolambage, N. C. (2020). Design, Development and Implementation of a Machine Learning-based Predictive Modelling Tool to Accurately Predict Thalassemia Carrier state using Full Blood Count Indices and Haemoglobin Variants. Post Graduate Institute of Medicine, University of Colombo, Sri Lanka.
- [5] Geetha, A., & Nasira, G. (2014). Artificial Neural Networks' application in weather forecasting—using RapidMiner. *International Journal of Computational Intelligence and Informatics*, 4(3), pp.177-182.
- [6] Galkin, I. (2002). *Crash introduction to artificial neural networks*. UMass Lowell Space Science Lab. <https://ulcar.uml.edu/~iag/CS/Intro-to-ANN.html>
- [7] Sharma, S., Sharma, S., & Athaiya, A. (2020). ACTIVATION FUNCTIONS IN NEURAL NETWORKS. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(12), pp.310 - 316.
- [8] Waziri, B. S., Bala, K., & Bustani, S. A. (2017). Artificial Neural Networks in Construction Engineering and Management. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 6 (1), pp.50-60.

- [9] Gante, D. V., Silva, D. L., & Leopoldo, M. P. (2022). Forecasting Construction Cost Using Artificial Neural Network for Road Projects in the Department of Public Works and Highways Region XI. *Modern Management based on Big Data III*, pp. 64-71.
- [10] สิทธิกร สิทธิการกุล. (2564). การประมาณราคาก่อสร้างอาคารประเภทงานราชการโดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า CEM-13-1-CEM-13-6.
- [11] สันติภูมิ สิทธิราษฎร์. (2565). การประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับงานก่อสร้างอาคาร ด้วยวิธีเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ไทย.
- [12] Vandeput, N. (2021). *Statistical Forecasting*. Data Science for Supply Chain Forecasting., pp.10-20.
- [13] Dang -Trinh, N., Duc-Thang, P., Nguyen - Ngoc Cuong, T., & Duc - Hoc, T. (2022). Machine learning models for estimating preliminary factory construction cost: case study in Southern Vietnam. *International Journal of Construction Management*, 23(16), pp.2879-2887.
- [14] Plebankiewicz, E., & Gracki, J. (2022). Analysis and Prediction of Universities' Buildings' Renovation Costs Using a Regression Model. *Applied Sciences*, 13(1). pp.1-14.