

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุก่อสร้างสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระหว่างวิธี
แบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

An analysis on material quantity relationship of reinforced concrete buildings
between Multiple Linear Regression and Artificial Neural Network

วรรณะ ประภาภรณ์

Wantana Prapaporn

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
Civil Engineering Program Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology ISAN Khonkaen Campus

*Corresponding author E-mail: wantana.pa@rmuti.ac.th

(Received: August 21 , 2018, Revised: October 12, 2018, Accepted: May 1, 2019)

บทคัดย่อ

การจัดทำราคาเป็นกลไกที่สำคัญในการควบคุมต้นทุนโครงการในช่วงก่อนเริ่มดำเนินโครงการ ความสามารถในการตรวจสอบความถูกต้องของการถอดปริมาณจึงเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดทำบัญชีปริมาณงานก่อสร้าง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาภายใต้วัตถุประสงค์ 1). ศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณวัสดุก่อสร้าง 2). เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างการถดถอยเชิงซ้อน และ โครงข่ายประสาทเทียม 3). อธิบายความสัมพันธ์ของเนื้องานวัสดุก่อสร้าง โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการกำหนดกลุ่มทดสอบเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการจำลองสมการการถดถอยเชิงซ้อนและ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 30, 32 และ 30 หน่วย และ กำหนดตัวแทนกลุ่มตัวอย่างใดๆ ด้วยวิธีการสุ่ม จำนวน 14, 15 และ 15 หน่วย สำหรับกลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และ อาคารพักอาศัยรวม จำนวน 136 หน่วย ตามลำดับ จากการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณวัสดุได้แก่ 1). พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น และ 2). จำนวนชั้น แสดงถึงการอธิบายความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม อันได้แก่ 1). งานคอนกรีต 2). งานเหล็กเสริมคอนกรีตโครงสร้าง 3). งานแบบหล่อ และ 4). งานพื้นสำเร็จรูป และ ส่วนของงานสถาปัตยกรรมประกอบด้วย 1). งานวัสดุผิวพื้น 2). งานวัสดุผนังก่อ 3). งานวัสดุผิวเพดาน 4). งานประตูหน้าต่าง อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้ง วิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุก่อสร้างแม่นยำกว่าวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน นอกจากนั้นงานวิจัยนี้พบว่าความสัมพันธ์ของเนื้องานจากกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ 1. ปริมาณคอนกรีต (m^3) ต่อ พื้นที่ก่อสร้าง (m^2) มีความสัมพันธ์ต่อกันเท่ากับ 0.27, 0.195 และ 0.168 2. ความสัมพันธ์ปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีต (กก) ต่อ คอนกรีต (m^3) มีความสัมพันธ์ต่อกันเท่ากับ 85.44, 118.235 และ 113.49 3. ความสัมพันธ์ปริมาณแบบหล่อ (m^2) ต่อ คอนกรีต (m^3) มีความสัมพันธ์ต่อกันเท่ากับ 9.46, 9.20 และ 9.24 4. ความสัมพันธ์ปริมาณงานก่อ (m^2) ต่อ พื้นที่ก่อสร้าง (m^2) มีความสัมพันธ์ต่อกันเท่ากับ 1.32, 1.62 และ 1.33 และ 5. ความสัมพันธ์ของ พื้นที่ประตูหน้าต่าง (m^2) ต่อ ปริมาณงานก่อ (m^2) มีความสัมพันธ์ต่อกันเท่ากับ 0.12, 0.13 และ 0.15 สำหรับกรณีศึกษา บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และ อาคารพักอาศัยรวม ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปริมาณวัสดุก่อสร้าง แบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน โครงข่ายประสาทเทียม อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

Abstract

Pricing management is a key mechanism for the cost control before starting any project while the ability to validate the quantity take-off can be a method to increase the effectiveness for the construction workload accounting. The researcher conducted this study with the aims to: 1) investigate the effective factors toward the construction workload prediction; 2) compare the effectiveness between a multiple regression model and an artificial neural networks model; 3) describe the relationship amongst the construction materials. On this matter, the researcher assigned the experimental group as the representative to simulate the multiple regression equation model and the artificial neural network model comprising 30, 32, and 30 units respectively. Meanwhile, the representatives of any sample groups were selected by randomization comprising 14, 15, and 15 units respectively. Particularly, the sample group consisted of 136 units of residences, commercial buildings, and common housing buildings. Based on the study, it could be described that the independent variables as 1) the average area per floor and 2) Number of floors represents the significantly description of the dependent variable were: 1) Concrete Work; 2) Reinforced Steel Work; 3) Formwork; and 4) Precast Concrete Slabs; meanwhile, the architectural work consisted of: 1) Floor Material ; 2) Manasory work ; 3) Ceiling Material; and 4) Door and Window Material. Besides, the artificial neural network model could describe changes of the construction material quantity with more accurate result than did the multiple regression model. This study also noted that the works of each sample group were significantly different from one another; Namely, 1) A mutual relationship between Concrete quantity (m^3) per Construction area (m^2) was confirmed as 0.27, 0.195, and 0.168; 2) A mutual relationship between Reinforced steel (kg) per Concrete (m^3) was confirmed as 85.44, 118.235, and 113.49; 3) A mutual relationship between Formwork (m^2) per Concrete (m^3) was confirmed as 9.46, 9.20, and 9.24 4; 4) A mutual relationship between Manasory work (m^2) per Construction area (m^2) was confirmed as 0.32, 1.62, and 1.33; and 5) A mutual relationship between Door and Window (m^2) per Manasory work (m^2) was confirmed as 0.12, 0.13, and 0.15. These data were the results found from the case studies on the residences, commercial buildings, and common housing buildings respectively.

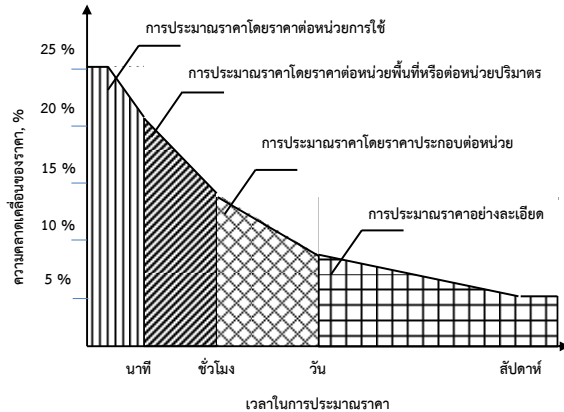
Keywords: Construction material quantities, Multiple Linear Regression Model, Artificial Neural Network, Reinforce Concrete Building

1. บทนำ

การศึกษาการประมาณการต้นทุนเป็นขั้นตอนหนึ่งในแนวทางการบริหารจัดการด้านการควบคุมต้นทุน (cost management) [1] ของโครงการในส่วนของการกำหนดงบประมาณ และการจัดทำรายละเอียดค่าก่อสร้างในส่วนของการกำหนดราคาต่อหน่วยปริมาณ เป็นขั้นตอนของโครงการที่อยู่ในช่วงการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility stage) ความสามารถในการจัดทำงบประมาณในการก่อสร้างและต้นทุนการก่อสร้างจะทำให้ทราบถึงต้นทุนโครงการก่อสร้างประกอบด้วยปัจจัยแปรผันที่ควบคุม ได้แก่ 1) ค่างานต้นทุน

(Direct cost) ได้แก่ ต้นทุนค่าแรงงาน และ ค่าวัสดุก่อสร้าง 2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง (Indirect cost) ได้แก่ ค่าอำนาจการ ค่าดอกเบี้ย ค่ากำไร และ ภาษี สำหรับค่างานต้นทุนในส่วน of วัสดุนั้นคิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 60 [2] การทราบถึงต้นทุนที่แม่นยำและรวดเร็วของการประมาณการวัสดุก่อสร้างจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการกำหนดแนวทางการดำเนินงานและวิธีปฏิบัติ ซึ่งวิธีการประมาณทางวิศวกรรมที่ใช้ในประเทศไทยนั้น ได้มีแนวทางปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การคิดปริมาณและหลักเกณฑ์การเพื่อปริมาณตามข้อกำหนดของกรมบัญชีกลาง [3] นอกจากนั้น วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ไทยได้กำหนดแนวทางการการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร ส่วนงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม [4] จากการศึกษาพบว่าในทางปฏิบัติมีความสัมพันธ์ของประเภทการถอดปริมาณตามความละเอียด และ ระยะเวลาที่ใช้ในการประมาณราคา แสดงความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 1



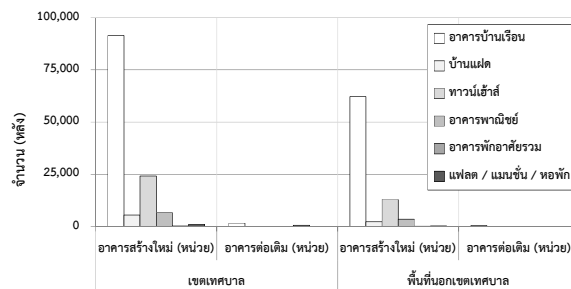
รูปที่ 1 ความคลาดเคลื่อนของราคา และระยะเวลาที่ใช้ในการประมาณราคาแบบต่างๆ [5]

จากการทบทวนวรรณกรรมการศึกษาความสามารถในการพยากรณ์และตรวจสอบบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) พบว่ามีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการพยากรณ์ปริมาณวัสดุก่อสร้าง โดยศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพที่มีอิทธิพลต่อราคาค่าก่อสร้าง ได้แก่ 1. ความสูงของอาคาร 2. ความสูงระหว่างชั้นเฉลี่ย 3. จำนวนชั้น 4. เส้นรอบรูปเฉลี่ย และ 5. พื้นที่ห้องน้ำ ในกลุ่มตัวอย่างอาคารพักอาศัย [6] ในส่วนการศึกษาด้านการใช้งานแบบจำลอง พบการศึกษาถึงการใช้ได้ของวิธีการจากแบบจำลองชนิดต่างๆร่วมกับงานด้านการประมาณราคา ได้แก่การประยุกต์ใช้ การถดถอยเชิงเส้น (Multiple Linear Regression : MLR), โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN), การวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Analysis : TSA), การให้เหตุผลด้วยฐานกรณี (Case Based Reasoning : CBR) และ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms : GA) ในงานด้านประมาณราคา [7] ในส่วนของต้นทุนมีการศึกษาความสัมพันธ์ของต้นทุนโดยใช้ SPSS ในการทำนายต้นทุนและระยะเวลาโครงการ จากตัวอย่างจำนวน 51 ตัวอย่าง [8, 11] สำหรับทำนายความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุก่อสร้าง จึงเป็นแนวทางการตรวจสอบความถูกต้องของการถอดปริมาณ และ

พบว่าวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อนจากการศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุก่อสร้างสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ตามระบบโครงสร้าง ได้แก่ ระบบพื้นคาน พื้นไร้คาน พื้นหล่อในที่ พื้นสำเร็จรูป ในกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจำนวน 22 ตัวอย่าง กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้พื้นหล่อในที่จำนวน 15 ตัวอย่าง และกลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่โครงสร้างเป็นระบบพื้นไร้คานจำนวน 7 ตัวอย่าง [12] สำหรับการศึกษาโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากประเทศต่างๆ พบว่าในประเทศตุรกีมีศึกษาถึงความสัมพันธ์ของ 1. พื้นที่ก่อสร้าง 2. สัดส่วนประเภทพื้นที่ต่อพื้นที่ทั้งหมด 3. สัดส่วนพื้นที่ชั้น 1 ต่อพื้นที่ทั้งหมด 4. จำนวนชั้น 5. ทิศทางของอาคาร 6. ระบบฐานราก 7. ชนิดงานพื้น และ 8. ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร สำหรับการศึกษาการพยากรณ์ต้นทุนงานโครงสร้างต่อตารางเมตรด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม [13] ในประเทศมาเลเซียพบการศึกษาการพยากรณ์ด้านราคาโดยกำหนดตัวแปรอิสระ ได้แก่ 1. ขนาดพื้นที่ 2. อายุ 3. ขนาดห้องนอน และ 4. เตาผิง โดยพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน [14] และนอกจากนั้นในประเทศอินเดียพบการศึกษาสำหรับการศึกษาในมิติของวัสดุก่อสร้างโดยละเอียดแบ่งตัวแปรอิสระในการทดสอบ ได้แก่ ส่วนผสมของคอนกรีต และ องค์ประกอบของแรงงานเพื่อพยากรณ์ค่าใช้จ่ายผู้รับเหมา [15] จากการทบทวนวรรณกรรมผู้วิจัยได้พบว่าแนวทางการศึกษาที่ปรากฏยังมีส่วนของกลุ่มตัวอย่างอาคารไม่ครอบคลุมถึงตัวอย่างในประเทศไทยซึ่งครอบคลุมการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน และการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง อีกทั้งระเบียบปฏิบัติ ข้อบังคับ และ วัฒนธรรมการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมที่มีความเฉพาะของแต่ละพื้นที่ ซึ่งตัวแปรควบคุมและตัวแปรอิสระในการทบทวนวรรณกรรมยังไม่สอดคล้องกับแนวทางการวัดปริมาณงาน ตามแนวทางของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยทั้งหมด

สำหรับการแบ่งลักษณะอาคารตามกฎหมายกระทรวง และ เทศบัญญัตินครกรุงเทพได้ให้แนวทางการแบ่งลักษณะอาคารออกเป็น 16 ประเภท [16] จากข้อมูลปี พ.ศ. 2559 พบว่าข้อมูลทางสถิติด้านที่อยู่อาศัยส่วนบุคคลพบว่าการขออนุญาต

อาคารสร้างใหม่ ในเขตเทศบาล มีสัดส่วนเป็นประเภทบ้านเดี่ยวมากที่สุด คือ ร้อยละ 72.76 รองลงมาคือ ตึกแถว ห้องแถว เรือนแถว ร้อยละ 3.76 ทาวน์เฮาส์ บ้านแฝด ทาวน์โฮม ร้อยละ 17.60 คอนโดมิเนียม แมนชั่น แพลต อพาร์ทเมนต์ หอพักทั่วไป ร้อยละ 5.88 ตามลำดับ [17] แสดงในรูปที่ 2 งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึง 1). ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณวัสดุก่อสร้าง 2). เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง การถดถอยเชิงซ้อน และโครงข่ายประสาทเทียม 3). อธิบายความสัมพันธ์ของเนื้องานวัสดุก่อสร้างตามความสัมพันธ์ที่กำหนด สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นที่นิยมและแพร่หลาย โดยศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาบ้านพักอาศัย 1 - 2 ชั้น, อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น และ อาคารพักอาศัยรวม 2 - 4 ชั้น จากกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 136 ตัวอย่าง



รูปที่ 2 จำนวนผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้าง : สำนักงานสถิติแห่งชาติ ข้อมูลปี พ.ศ. 2559

2. สมการวัตถุประสงค์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์

2.1 การวัดปริมาณงานก่อสร้าง

จากการศึกษาพบว่า การแบ่งกลุ่มงานในงานด้านวิศวกรรมโยชานั้นสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) การแบ่งตามชนิดวัสดุ (Master format) และ 2) การแบ่งตามระบบอาคาร (Uniformat) [18 - 19] แสดงในความสัมพันธ์การแบ่งหมวดวัสดุตามชนิดวัสดุและระบบอาคาร (Relationship of UNIFORMAT to Master Format™) สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ได้กำหนดขอบเขตงานวิจัยและตัวชี้วัดปริมาณวัสดุเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) หมวดงานโครงสร้าง และ 2) หมวดงานสถาปัตยกรรม โดยดำเนินการถอดปริมาณวัสดุตามแนวทางวัดปริมาณงานก่อสร้างส่วน งานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม [20] ตามหลักเกณฑ์การถอดปริมาณของกรมบัญชีกลาง และ

แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้าง ส่วนงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม (วสท.) ซึ่งครอบคลุมสำหรับกลุ่มตัวอย่างระบบคานพื้น และ พื้นหล่อในที่และ พื้นสำเร็จรูป

2.2 แบบจำลองโดยการวิเคราะห์ความถดถอย (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์ความถดถอยนั้นดำเนินการตามหลักการของการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุคูณของตัวแปรตาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่สามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้ร้อยละเท่าใด (R^2) [21] เพื่อใช้วัดความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพยากรณ์ $\hat{Y}$ และ Y_1 ถึงความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นหรือไม่ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มีค่าระหว่าง 0 - 1 แสดงในสมการที่ 1 โดยสหสัมพันธ์ส่วนย่อย เป็นสหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวแปรกับตัวแปรตามเป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตาม แสดงในรูปแบบสมการที่ 1 ได้ดังนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ MS Excel

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (1)$$

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ส่วนย่อยกระทำเสมือนการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการถดถอยอย่างง่าย โดยการสมมุติให้ตัวแปรอิสระอื่นๆเป็นค่าคงที่ เช่น การหาสหสัมพันธ์ส่วนย่อยระหว่าง Y กับ X_1 โดยให้ X_2 มีค่าคงที่ ดังปรากฏในสมการที่ 2

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 \dots B_nX_n \quad (2)$$

2.3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error : MAPE)

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ คือ การวัดความผิดพลาดในการคาดการณ์และผลการทดสอบจริง โดยพิจารณาจากค่าสมมุติของความต่างระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากแบบทดสอบจริงและเทียบกับสัดส่วนความคลาดเคลื่อนจากค่าจากแบบทดสอบจริง ดังปรากฏในสมการที่ 3 ค่า

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์นั้นจะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อไม่มีข้อมูลที่คลาดเคลื่อนกับข้อมูลที่เป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์นั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากแบบทดสอบจริง

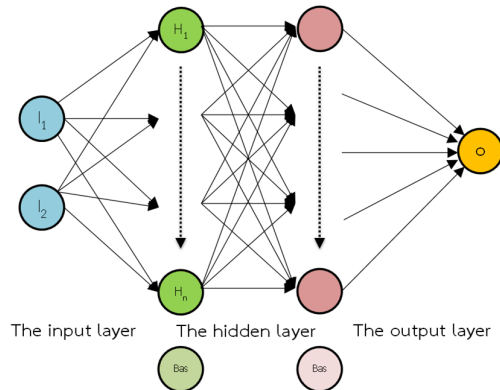
$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|F_k - A_k|}{A_k} \quad (3)$$

โดยที่ F_k คือ ค่าจากการทดสอบแบบจำลอง

A_k คือ ค่าจากการถอดปริมาณจริง

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม นั้นดำเนินการตามหลักของระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่อย่างซับซ้อน โดยคำนวณแบบถ่วงน้ำหนักระหว่างข้อมูลนำเข้าและนำออก [22] นอกจากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมยังปรากฏในการศึกษาในรูปแบบอื่นๆเช่น Machine Learning Algorithms, Natural Intelligent System ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward Multi-layer Networks เนื่องจากเป็นรูปแบบสากลซึ่งนิยมใช้ โครงสร้างจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ Input layer, Hidden layers และ Output layer ทั้ง 3 layer จะเชื่อมกันด้วยเส้นประสาทเทียมและมีทิศทางการส่งผ่านข้อมูลจาก Input layer ไปยัง Output layer แสดงในรูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมวิธีโครงข่ายประสาทเทียม [13] โดยจำนวน Node ที่เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่าง จากการทดสอบแบบจำลองทั้ง 9 ตัวแปรควบคุมอยู่ภายใต้ 4 Layer ได้แก่ Input node 2 nodes , 1st Hidden layer มี Hidden node 10 node และ Output layer มี Output node 1 nodes ด้วยโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ โปรแกรม SPSS และโปรแกรม ANN



รูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมวิธีโครงข่ายประสาทเทียม [13]

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรม และ รวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายปริมาณวัสดุก่อสร้างจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามากกว่า 10 ปัจจัย งานวิจัยนี้ได้พิจารณาถึงตัวแปรที่มีความเหมาะสมและเกี่ยวข้องกับลักษณะอาคารในประเทศไทยจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ 1). พื้นที่ก่อสร้าง 2). พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น 3). ความสูงอาคาร และ 4). จำนวนชั้น และทำการทดสอบความใช้ได้ของตัวแปรอิสระ (Independent variable : X) ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณวัสดุได้แก่ 1). พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น และ 2). จำนวนชั้น แสดงผลการวิเคราะห์ ในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่า Sig F น้อยกว่า 0.05 แสดงถึงการยอมรับค่าตัวแปรอิสระทั้งสองมีผลต่อการทำนายอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น 2 ตัวแปร พบว่ามีระดับความเชื่อมั่นมีค่า Sig F น้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกัน งานวิจัยนี้จึงพิจารณาตัวแปรทั้งสองเป็นหลักเกณฑ์ในการทำนายปริมาณวัสดุก่อสร้างสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ 1 ตารางการทดสอบความใช้ได้ของตัวแปร ได้แก่ พื้นที่ก่อสร้าง 2). พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น 3). ความสูงอาคาร และ 4). จำนวนชั้น สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยกลุ่มตัวอย่าง 136 ตัวอย่าง ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับ	หมวดงาน	ตัวแปร	พื้นที่ทั้งหมด		พื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น		ความสูงเฉลี่ยต่อชั้น		จำนวนชั้น	
			R ²	Sig F	R ²	Sig F	R ²	Sig F	R ²	Sig F
1	หมวดงานโครงสร้าง	งานคอนกรีต	0.96	1.24E ⁻³⁹	0.93	1.62E ⁻³³	0.23	0.00	0.13	0.01
2		งานแบบหล่อ	0.89	2.13E ⁻²⁸	0.87	6.84E ⁻²⁷	0.30	0.00	0.11	0.01
3		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	0.92	1.17E ⁻³²	0.92	1.79E ⁻³²	0.27	0.00	0.07	0.05
4		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	0.22	0.00	0.22	0.00	0.05	0.14	0.00	0.89
5	หมวดงานสถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	0.62	5.08E ⁻¹⁰	0.62	5.08E ⁻¹⁰	0.24	0.00	0.01	0.46
6		งานผนังก่อ	0.85	1.30E ⁻²⁴	0.76	5.20E ⁻¹⁹	0.29	0.00	0.23	0.00
7		งานฝ้าเพดาน	0.87	1.88E ⁻¹⁹	0.87	1.88E ⁻¹⁹	0.24	0.00	0.01	0.50
8		งานประตูหน้าต่าง	0.94	1.55E ⁻³⁵	0.90	2.16E ⁻²⁹	0.28	0.00	0.14	0.00

งานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดตัวแปรควบคุมได้แก่ 1. พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ยต่อชั้นของอาคาร (X_1) และ 2. จำนวนชั้น (X_2) และดำเนินการสร้างแบบจำลองสมการถดถอยแยกตามกลุ่มงานโครงสร้าง ประกอบด้วยตัวแปรอิสระจำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ 1. ปริมาณการใช้งานคอนกรีตโครงสร้าง (Y_1) 2. ปริมาณการใช้งานเหล็กเสริมเหล็กเสริมคอนกรีตโครงสร้าง (Y_2) 3. ปริมาณการใช้งานแบบหล่อ (Y_3) และ 4. ปริมาณการใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูป (Y_4) และ ส่วนของงานสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย 1. งานวัสดุตกแต่งผิวพื้น (Y_5) 2. งานวัสดุก่อผนัง (Y_6) 3. งานวัสดุผิวเพดาน (Y_7) 4. งานช่องเปิด และ งานประตูหน้าต่าง (Y_8)

ในส่วนของเนื้อหาวัสดุก่อสร้างงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ของวัสดุก่อสร้าง จำนวน 5 ความสัมพันธ์ ได้แก่ 1) ปริมาณคอนกรีต (m^3) ต่อพื้นที่ก่อสร้าง (m^2), 2. ปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีต (กก) ต่อ ปริมาณคอนกรีต (m^3), 3. ปริมาณแบบหล่อ (m^2) ต่อ คอนกรีต (m^3), 4. ปริมาณงานผนังก่อ (m^2) ต่อพื้นที่ก่อสร้าง (m^2) และ 5. ปริมาณงานประตูหน้าต่าง (m^2) ต่อ ปริมาณงานผนังก่อ (m^2)

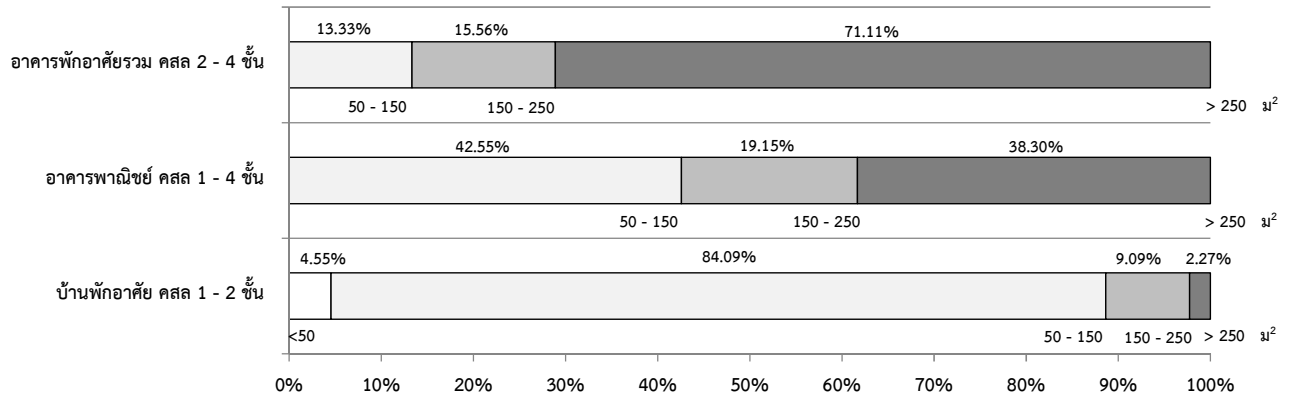
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ปริมาณงานฐานรากด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน พบว่า ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณงานฐานรากได้ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลพื้นฐานพบว่าเงื่อนไขของการออกแบบฐานรากนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงพื้นที่ของชั้นดินซึ่งไม่สามารถพยากรณ์จากตัวแปรอิสระในการทดลองนี้ได้ และ ส่วนงานบันได เมื่อ

พิจารณาถึงข้อมูลพื้นฐานพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการเลือกใช้โครงสร้างบันไดที่หลากหลาย ได้แก่บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก, บันไดไม้ และ บันไดเหล็ก จึงไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของแบบจำลองในการพยากรณ์จากตัวแปรอิสระในการทดลองนี้ได้ งานวิจัยนี้จึงดำเนินงานโดยไม่ได้รวมถึงปริมาณงานฐานราก และ งานบันได

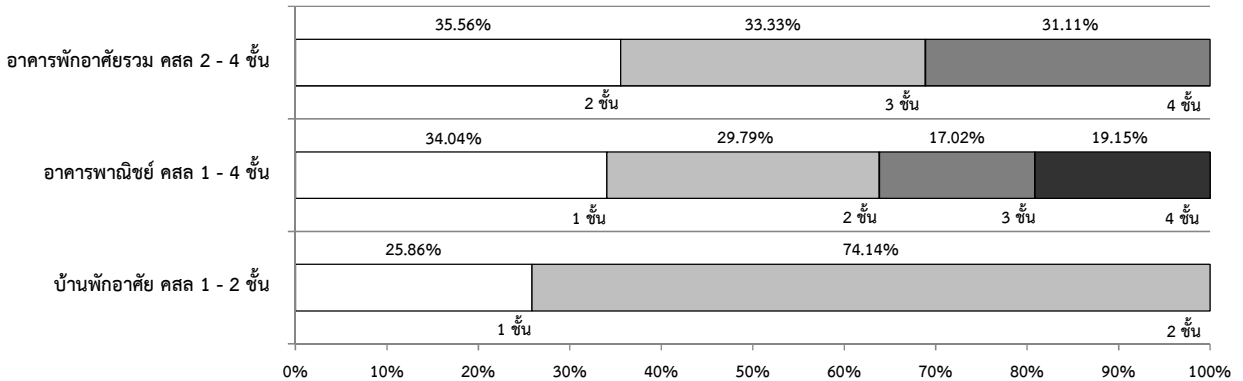
สำหรับการทดสอบความเชื่อมั่นของสมการงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การทดสอบด้วยค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 136 หลัง ประกอบด้วย บ้านพักอาศัย 1 - 2 ชั้น จำนวน 44 หลัง , อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น จำนวน 47 หลัง , อาคารพักอาศัยรวม (แมนชั่น แพลต อพาร์ทเมนต์ หอพักทั่วไป) จำนวน 45 หลัง โดยกลุ่มตัวอย่างครอบคลุมงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอันได้แก่ ชั้นส่วนโครงสร้างหลัก คือ ฐานราก เสา คาน พื้นคอนกรีตหล่อในที่ (Cast-in-Place Concrete Slabs) และ บันได นอกจากนั้นในบริเวณอาคารที่เป็นส่วนแห้งโดยมากจะนิยมใช้ แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete Slabs) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณงานพื้นที่ทั้งสองชนิดแยกออกจากกัน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการกำหนดกลุ่มทดสอบเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการจำลองสมการการถดถอยเชิงซ้อนและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Train set) จำนวน 30, 32 และ 30 หน่วย และ กำหนดตัวแทนกลุ่มตัวอย่างใดๆ ด้วยวิธีการสุ่ม (Test set) จำนวน 14, 15 และ 15 หน่วย, แสดงเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูลพื้นฐานกลุ่มตัวอย่างโดยแบ่งตามพื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น (100 - 250 ตารางเมตร) แบ่งตามจำนวนชั้นของ

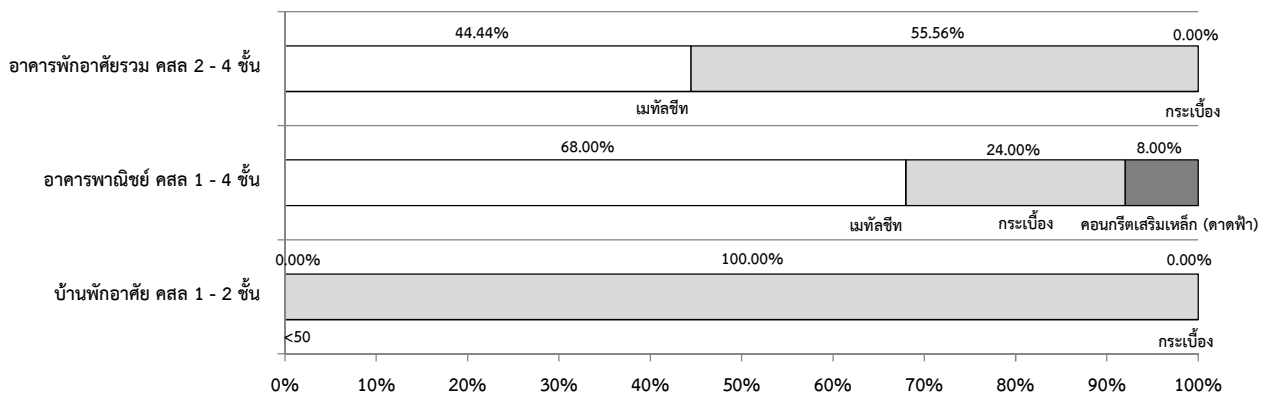
กลุ่มตัวอย่าง (1 – 4 ชั้น) และ แบ่งตามประเภทวัสดุผนัง ดังรูปที่ 4 - 6
(เมทัลชีท, กระเบื้อง และ คอนกรีตเสริมเหล็ก (ดาดฟ้า)) ได้



รูปที่ 4 ขอบเขตของข้อมูลโดยแบ่งตามพื้นที่เฉลี่ยต่อชั้น (100 - 250 ตารางเมตร)



รูปที่ 5 ขอบเขตของข้อมูลโดยแบ่งตามจำนวนชั้นของกลุ่มตัวอย่าง (1 – 4 ชั้น)



รูปที่ 6 ขอบเขตของข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทวัสดุผนัง (เมทัลชีท, กระเบื้อง และ คอนกรีตเสริมเหล็ก (ดาดฟ้า))

4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบความใช้ได้ของตัวแปรควบคุม พบว่าความเชื่อมั่นของตัวแปรต้นที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มากที่สุด ได้แก่ ความสัมพันธ์ของ 1. พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ยต่อชั้นของอาคาร (X_1) และ 2. จำนวนชั้น (X_2) และ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ส่วนงานโครงสร้าง ประกอบด้วย 1. งานคอนกรีตโครงสร้าง (Y_1) 2. งานเหล็กเสริมคอนกรีตโครงสร้าง (Y_2) 3. งานแบบหล่อ (Y_3) 4. งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป (Y_4) และ ส่วนของงานสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย 1. วัสดุผิวพื้น (Y_5) 2. งานผนังก่อ (Y_6) 3. งานวัสดุผิวเพดาน (Y_7) และ 4. งานประตุนหน้าต่าง (Y_8) และเมื่อวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อนพบว่าแบบจำลองปริมาณของกลุ่มตัวอย่างบ้านพักอาศัย, อาคารพาณิชย์ และ อาคารพักอาศัยรวม มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.69 – 0.96, 0.41 – 0.90 และ 0.44 – 0.88 ตามลำดับ แสดงถึงความสามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของปริมาณงานก่อสร้างจากแบบจำลองได้กว่าร้อยละ 60 – 90 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองปริมาณแต่ละประเภทมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.91 – 0.99, 0.55 – 0.99 และ 0.78 – 0.96 ตามลำดับ แสดงถึงความสามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของปริมาณงานก่อสร้างจากแบบจำลองได้กว่าร้อยละ 70 – 95 แสดงในตารางที่ 2, 3 และ 4 แสดงถึงตัวแปรอิสระในที่นี้คือพื้นที่ใช้สอยเฉลี่ยต่อชั้นของอาคาร และจำนวนชั้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ในการพยากรณ์

ปริมาณวัสดุก่อสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ แสดงในรูปที่ 7 ถึง 22 ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยทดสอบค่าการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ กำหนดการแบ่งข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง จากการเปรียบเทียบการถดถอยปริมาณวัสดุจริงและวิธีแบบจำลองถดถอยเชิงซ้อน สำหรับกลุ่ม Train set พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์อยู่ในช่วงร้อยละ 17.16 – 33.37, 9.7 – 48.95, 14.49 – 37.36 เมื่อพิจารณาในกลุ่มตัวอย่าง Test set พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10.55 – 69.03, 27.23 – 76.98, 12.64 – 23.26 สำหรับกลุ่มตัวอย่างบ้านพักอาศัย, อาคารพาณิชย์, อาคารพักอาศัยรวมตามลำดับ แสดงถึงการยอมรับตัวอย่างใดๆอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 40 และ สำหรับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม กลุ่ม Train set พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10.44 – 26.72, 4.67 – 31.15, 12.34 – 25.04 เมื่อพิจารณาในกลุ่มตัวอย่าง Test set พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ อยู่ในช่วงร้อยละ 9.12 – 31.49, 8.55 – 23.01, 17.19 – 43.69 สำหรับกลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย, อาคารพาณิชย์, อาคารพักอาศัยรวม ตามลำดับ แสดงถึงการยอมรับตัวอย่างใดๆอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 30 โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบรายตัวแปรตาม จำนวน 9 ตัวแปรแสดงในรูปที่ 23 ถึง 46 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 : ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน กลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย 1 -2 ชั้น

ลำดับ	หมวด	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	สมการแบบจำลอง
1	หมวดงานโครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y_1)	ม ³	$\hat{Y} = -26.32 + 0.39 X_1 + 15.18 X_2$
		งานแบบหล่อ	(Y_2)	ม ²	$\hat{Y} = -119.55 + 3.09 X_1 + 103.03 X_2$
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y_3)	กก	$\hat{Y} = -6,107.96 + 75.24 X_1 + 1,206.02 X_2$
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y_4)	ม ²	$\hat{Y} = -14.17 + 0.70 X_1 + 24.60 X_2$
2	หมวดงานสถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y_5)	ม ²	$\hat{Y} = -123.35 + 1.27 X_1 + 91.02 X_2$
		งานผนังก่อ	(Y_6)	ม ²	$\hat{Y} = -197.98 + 2.09 X_1 + 176.54 X_2$
		งานฝ้าเพดาน	(Y_7)	ม ²	$\hat{Y} = -73.26 + 1.78 X_1 + 51.95 X_2$
		งานประตุนหน้าต่าง	(Y_8)	ม ²	$\hat{Y} = -35.49 + 0.52 X_1 + 22.55 X_2$

ตารางที่ 3 : ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน กลุ่มตัวอย่าง อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น

ลำดับ	หมวด	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	สมการแบบจำลอง
1	หมวดงาน โครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y ₁)	ม ³	$\hat{Y} = -73.11 + 0.39 X_1 + 46.19 X_2$
		งานแบบหล่อ	(Y ₂)	ม ²	$\hat{Y} = -783.21 + 4.39 X_1 + 263.29 X_2$
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y ₃)	กก	$\hat{Y} = -13,388.80 + 58.64 X_1 + 6,212.50 X_2$
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y ₄)	ม ²	$\hat{Y} = -163.26 + 0.50 X_1 + 73.06 X_2$
2	หมวดงาน สถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y ₅)	ม ²	$\hat{Y} = -452.03 + 2.506 X_1 + 178.08 X_2$
		งานผนังก่อ	(Y ₆)	ม ²	$\hat{Y} = -1,045.47 + 5.23 X_1 + 445.16 X_2$
		งานฝ้าเพดาน	(Y ₇)	ม ²	$\hat{Y} = -324.38 + 1.71 X_1 + 216.138 X_2$
		งานประตูหน้าต่าง	(Y ₈)	ม ²	$\hat{Y} = -108.00 + 0.71 X_1 + 35.69 X_2$

ตารางที่ 4 : ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน กลุ่มตัวอย่าง พักอาศัยรวม 2 - 4 ชั้น

ลำดับ	หมวด	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	สมการแบบจำลอง
1	หมวดงาน โครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y ₁)	ม ³	$\hat{Y} = -250.85 + 0.74 X_1 + 79.17 X_2$
		งานแบบหล่อ	(Y ₂)	ม ²	$\hat{Y} = -2,004.12 + 5.80 X_1 + 706.34 X_2$
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y ₃)	กก	$\hat{Y} = -36,635.59 + 106.62 X_1 + 9,931.39 X_2$
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y ₄)	ม ²	$\hat{Y} = -1,035.16 + 1.94 X_1 + 373.09 X_2$
2	หมวดงาน สถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y ₅)	ม ²	$\hat{Y} = -811.75 + 3.26 X_1 + 217.98 X_2$
		งานผนังก่อ	(Y ₆)	ม ²	$\hat{Y} = -1,455.09 + 3.68 X_1 + 671.91 X_2$
		งานฝ้าเพดาน	(Y ₇)	ม ²	$\hat{Y} = -288.33 + 1.33 X_1 + 81.91 X_2$
		งานประตูหน้าต่าง	(Y ₈)	ม ²	$\hat{Y} = -272.29 + 0.74 X_1 + 100.62 X_2$

ตารางที่ 5 : การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม กลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย 1 -2 ชั้น

ลำดับ	หมวดงาน	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	Multiple linear regression (MLR)				Artificial neural network (ANN)			
					Train set		Test set		Train set		Test set	
					R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)
1	หมวดงาน โครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y ₁)	ม ³	0.96	17.16	0.63	25.68	0.97	14.44	0.94	9.12
		งานแบบหล่อ	(Y ₂)	ม ²	0.89	19.63	0.74	11.05	0.96	13.29	0.56	24.32
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y ₃)	กก	0.93	33.37	0.54	34.51	0.99	14.42	0.79	14.93
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y ₄)	ม ²	0.70	33.16	0.59	30.05	0.79	26.72	0.45	29.78
2	หมวดงาน สถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y ₅)	ม ²	0.69	21.19	0.54	12.12	0.99	10.44	0.77	17.86
		งานผนังก่อ	(Y ₆)	ม ²	0.86	23.44	0.92	10.55	0.91	18.45	0.45	21.56
		งานฝ้าเพดาน	(Y ₇)	ม ²	0.86	24.45	0.97	14.38	0.91	19.09	0.51	31.49
		งานประตูหน้าต่าง	(Y ₈)	ม ²	0.94	21.29	0.68	69.03	0.96	14.03	0.58	26.15

ตารางที่ 6 : การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม กลุ่มตัวอย่าง อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น

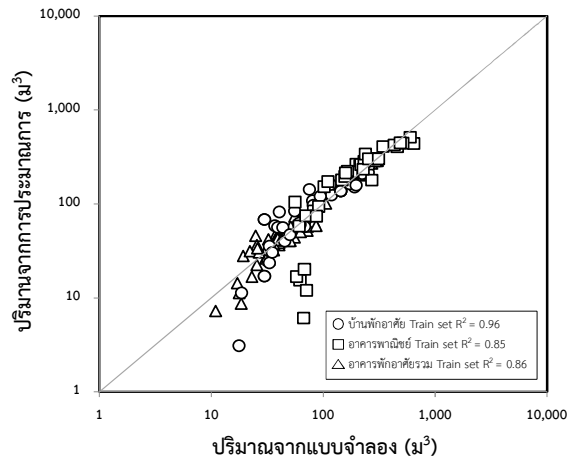
ลำดับ	หมวดงาน	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	Multiple linear regression (MLR)				Artificial neural network (ANN)			
					Train set		Test set		Train set		Test set	
					R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)
1	หมวดงาน โครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y ₁)	ม ³	0.85	9.70	0.40	27.23	0.95	14.55	0.96	16.44
		งานแบบหล่อ	(Y ₂)	ม ²	0.64	20.93	0.44	39.87	0.99	11.38	0.96	21.47
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y ₃)	กก	0.78	29.76	0.60	28.45	0.99	10.26	0.94	23.01
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y ₄)	ม ²	0.41	39.20	0.09	76.98	0.55	31.15	0.94	12.28
2	หมวดงาน สถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y ₅)	ม ²	0.90	13.86	0.50	37.49	0.99	4.67	0.90	8.55
		งานผนังก่อ	(Y ₆)	ม ²	0.62	48.95	0.67	29.17	0.99	11.32	0.98	12.42
		งานฝ้าเพดาน	(Y ₇)	ม ²	0.83	18.83	0.27	28.85	0.99	7.58	0.61	19.50
		งานประตูหน้าต่าง	(Y ₈)	ม ²	0.64	35.43	0.06	27.41	0.99	6.82	0.76	19.68

ตารางที่ 7 : การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน และ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม กลุ่มตัวอย่าง อาคารพักอาศัยรวม 2 – 4 ชั้น

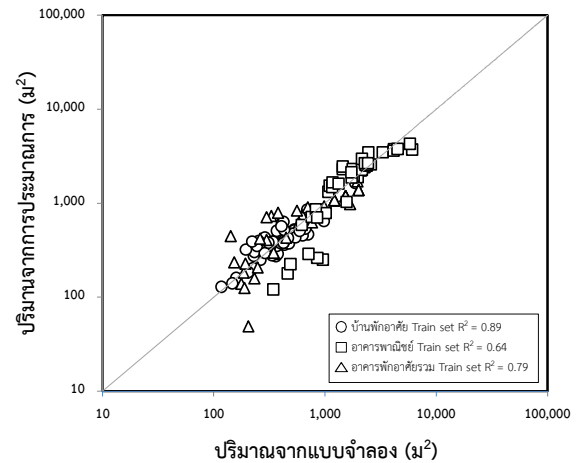
ลำดับ	หมวดงาน	ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	Multiple linear regression (MLR)				Artificial neural network (ANN)			
					Train set		Test set		Train set		Test set	
					R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)	R ²	MAPE (%)
1	หมวดงาน โครงสร้าง	งานคอนกรีต	(Y ₁)	ม ³	0.86	14.49	0.84	12.64	0.94	14.85	0.90	25.63
		งานแบบหล่อ	(Y ₂)	ม ²	0.79	17.38	0.76	21.92	0.93	18.44	0.76	17.19
		งานเหล็กเสริมคอนกรีต	(Y ₃)	กก	0.82	23.64	0.75	19.87	0.89	16.96	0.74	38.41
		งานแผ่นพื้นสำเร็จรูป	(Y ₄)	ม ²	0.85	22.47	0.89	14.89	0.90	17.56	0.75	43.69
2	หมวดงาน สถาปัตยกรรม	งานวัสดุผิวพื้น	(Y ₅)	ม ²	0.88	16.22	0.75	17.92	0.96	12.34	0.77	25.41
		งานผนังก่อ	(Y ₆)	ม ²	0.80	15.91	0.83	22.43	0.79	17.45	0.51	20.99
		งานฝ้าเพดาน	(Y ₇)	ม ²	0.44	37.36	0.82	23.26	0.80	16.16	0.67	18.92
		งานประตูปanelต่าง	(Y ₈)	ม ²	0.56	19.63	0.86	20.78	0.78	25.04	0.59	31.32

ตารางที่ 8 : การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุก่อสร้าง กลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย 1 -2 ชั้น อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น และ อาคารพาณิชย์ 2 – 4 ชั้น

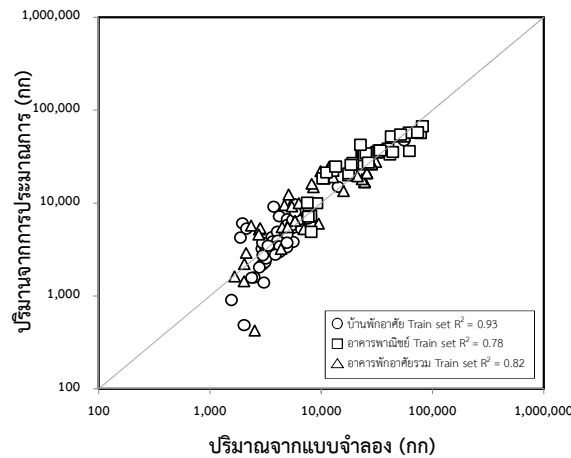
	ความสัมพันธ์	ตัวแปร	ตัวแปร	หน่วย	อาคารพักอาศัย 1 -2 ชั้น		อาคารพาณิชย์ 1 - 4 ชั้น		อาคารพักอาศัยรวม 2 – 4 ชั้น	
					R ²	สมการ	R ²	สมการ	R ²	สมการ
หมวดโครงสร้าง	คอนกรีต / พื้นที่	คอนกรีต	Y	ม ³	0.86	Y= -0.66 + 0.27 X	0.85	Y= 14.94 + 0.19 X	0.92	Y= 37.39 + 0.17 X
		พื้นที่	X	ม ²						
	เหล็กเสริมคอนกรีต / คอนกรีต	เหล็กเสริมคอนกรีต	Y	กก	0.75	Y= 327.40 + 85.44 X	0.76	Y= 4,746.42 + 118.24 X	0.89	Y= 2,863.27 + 113.50 X
		คอนกรีต	X	ม ³						
หมวดสถาปัตยกรรม	แบบหล่อ / คอนกรีต	แบบหล่อ	Y	ม ²	0.91	Y= 20.83 + 9.46 X	0.76	Y= 205.64 + 9.20 X	0.90	Y= 226.88 + 9.25 X
		คอนกรีต	X	ม ³						
	งานผนังก่อ / พื้นที่	งานก่อ	Y	ม ²	0.53	Y= 62.27 + 1.32 X	0.89	Y= -144.00 + 1.62 X	0.79	Y=308.09 + 1.33 X
		พื้นที่	X	ม ²						
	ประตู-หน้าต่าง/ งานผนังก่อ	ประตู-หน้าต่าง	Y	ม ²	0.71	Y= 17.33+ 0.12 X	0.71	Y= 71.94+ 0.13 X	0.80	Y= -18.51+ 0.19 X ₁
		งานผนังก่อ	X	ม ²						



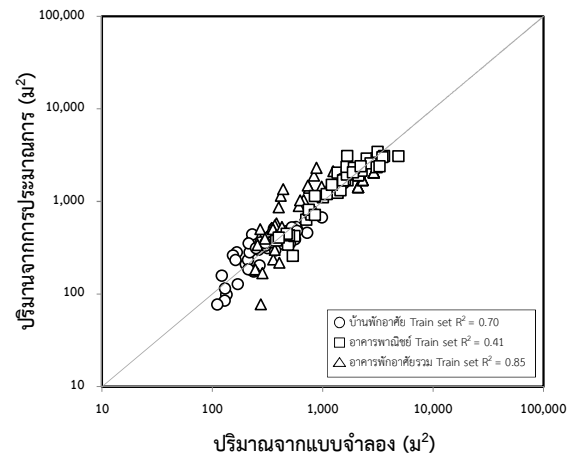
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ปริมาณงานคอนกรีต (ม³) ด้วยวิธีการ แบบจำลองการ
ถดถอยเชิงซ้อน



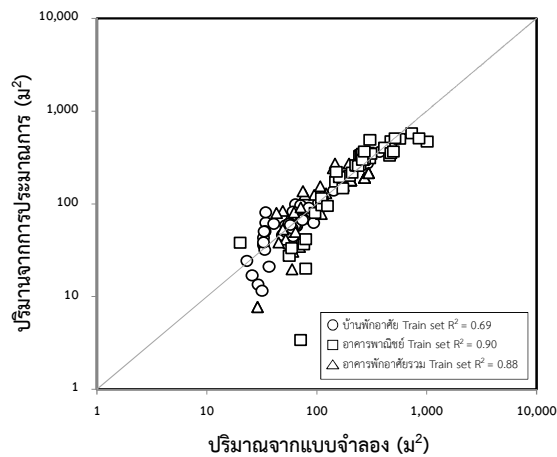
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ปริมาณงานแบบหล่อ (ม²) แบบจำลองการถดถอย
เชิงซ้อน



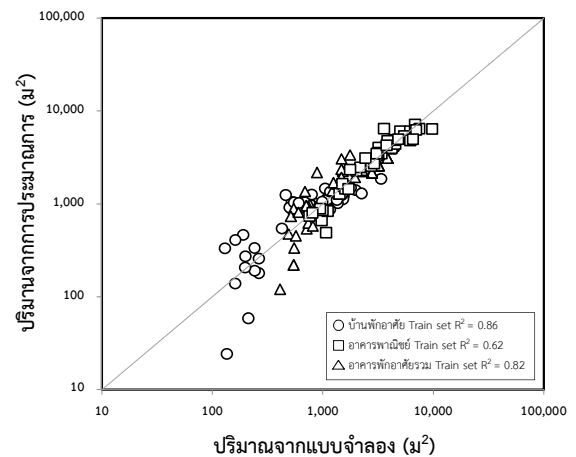
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ปริมาณงานเหล็กเสริมคอนกรีต (กก) ด้วยวิธีการ
แบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน



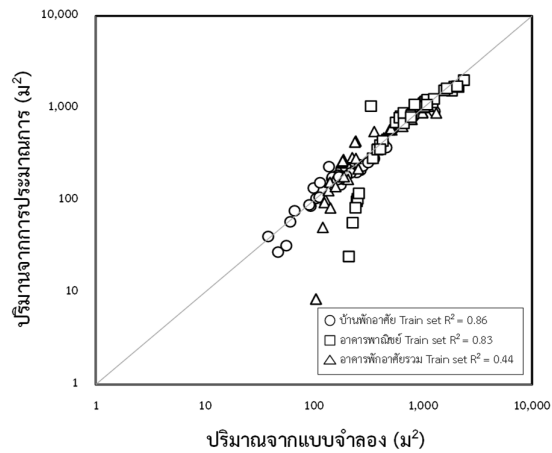
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ปริมาณงานพื้นสำเร็จรูป (ม²) ด้วยวิธีการ
แบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน



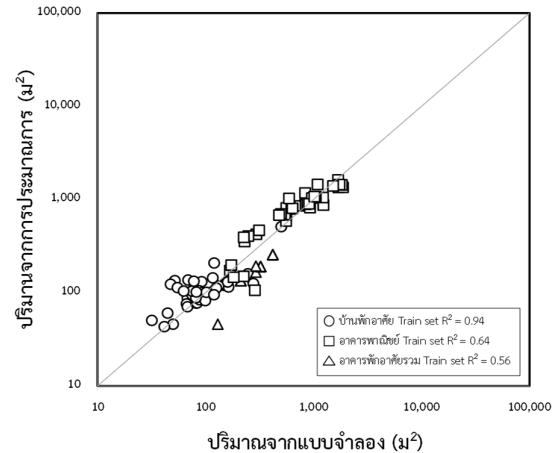
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุผิวพื้น (ม²) ด้วยวิธีการ แบบจำลองการ
ถดถอยเชิงซ้อน



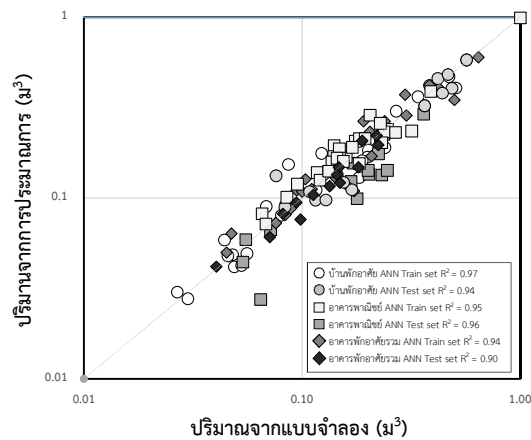
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ปริมาณงานผนังก่อ (ม²) ด้วยวิธีการ แบบจำลองการ
ถดถอยเชิงซ้อน



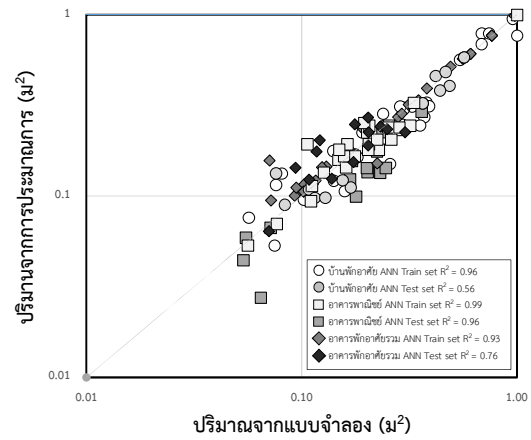
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ปริมาณงานฝ้าเพดาน (ม²) ด้วยวิธีการ แบบจำลอง การถดถอยเชิงซ้อน



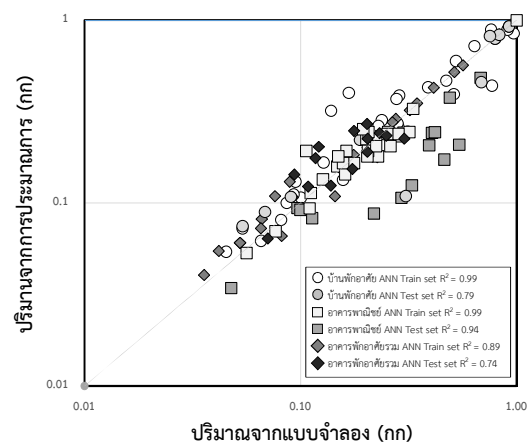
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ปริมาณช่องเปิด ประตูหน้าต่าง (ม²) แบบจำลองการ ถดถอยเชิงซ้อน



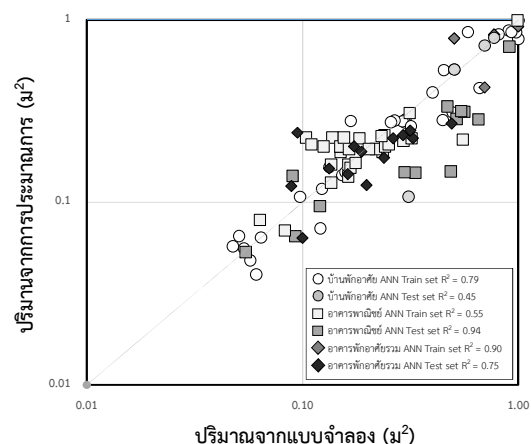
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ปริมาณงานคอนกรีต (ม³) ด้วยวิธีการ โครงข่าย ประสาทเทียม



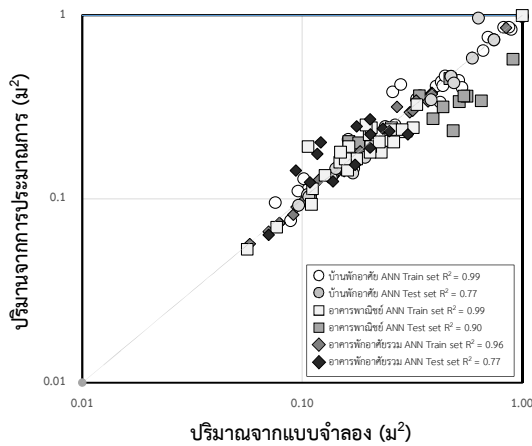
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ปริมาณงานแบบหล่อ (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่าย ประสาทเทียม



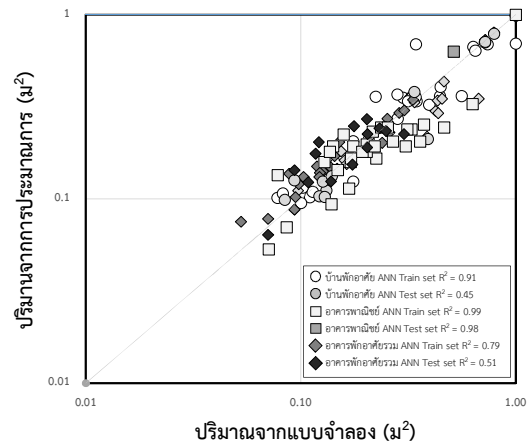
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ปริมาณงานเหล็กเสริมคอนกรีต (กก) ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม



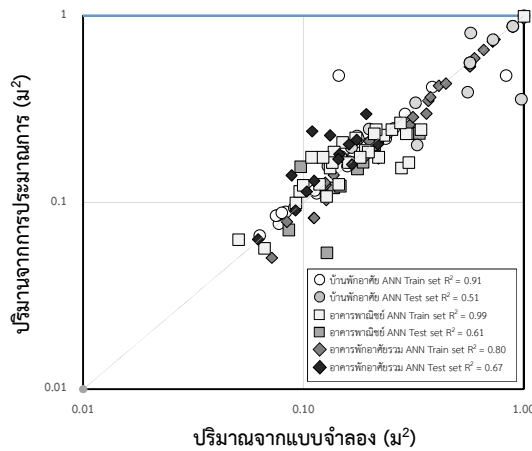
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ปริมาณงานพื้นสำเร็จรูป (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่าย ประสาทเทียม



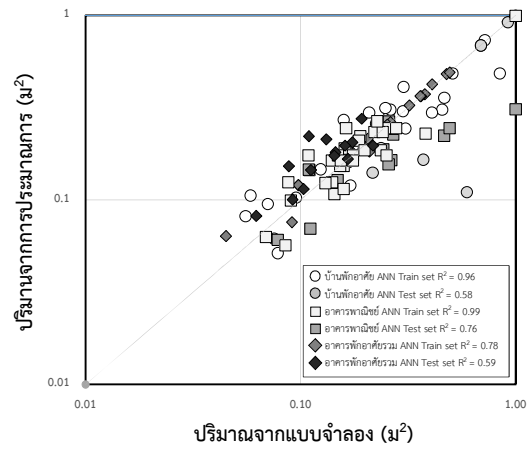
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุผิวพื้น (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ปริมาณงานผนังก่อ (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม

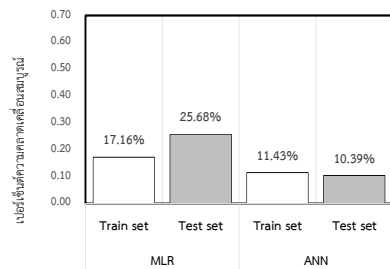


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ปริมาณงานฝ้าเพดาน (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม

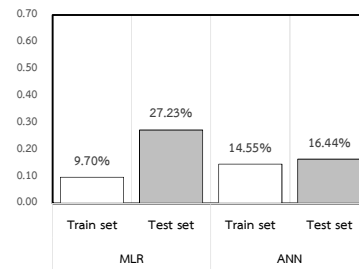


รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ปริมาณช่องเปิด ประตูหน้าต่าง (ม²) ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม

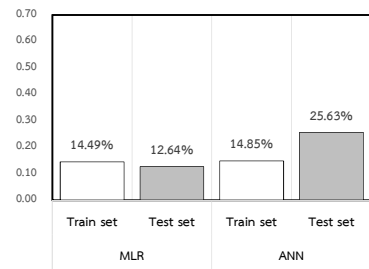
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานคอนกรีต



รูปที่ 23 กลุ่มตัวอย่าง บ้านพักอาศัย

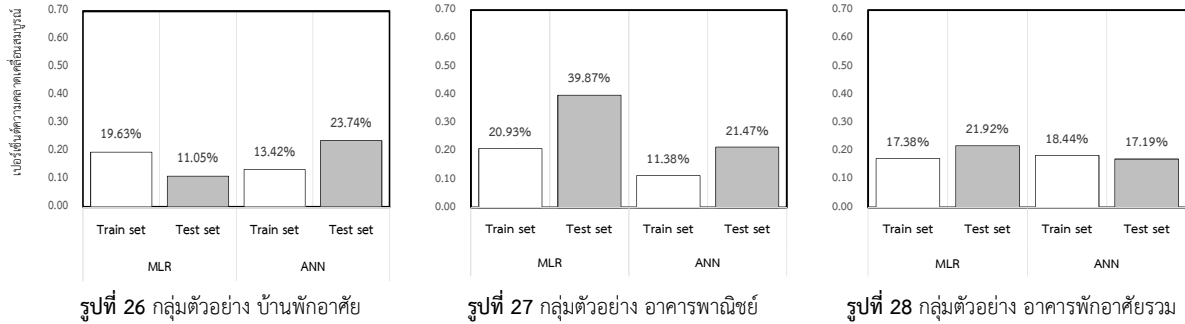


รูปที่ 24 กลุ่มตัวอย่าง อาคารพาณิชย์

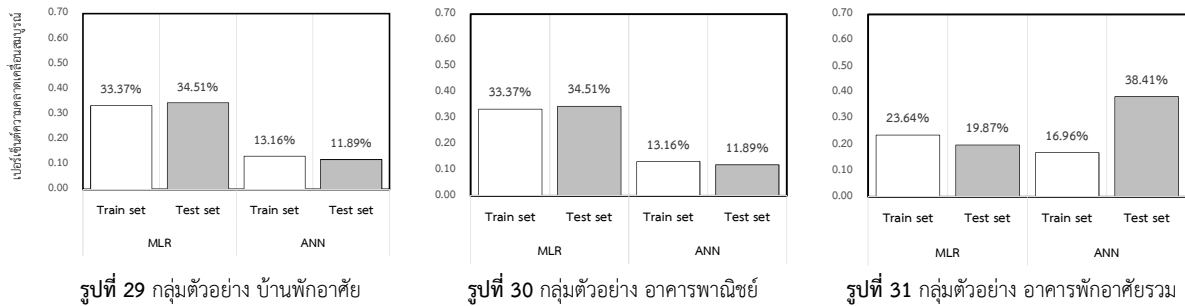


รูปที่ 25 กลุ่มตัวอย่าง อาคารพักอาศัยรวม

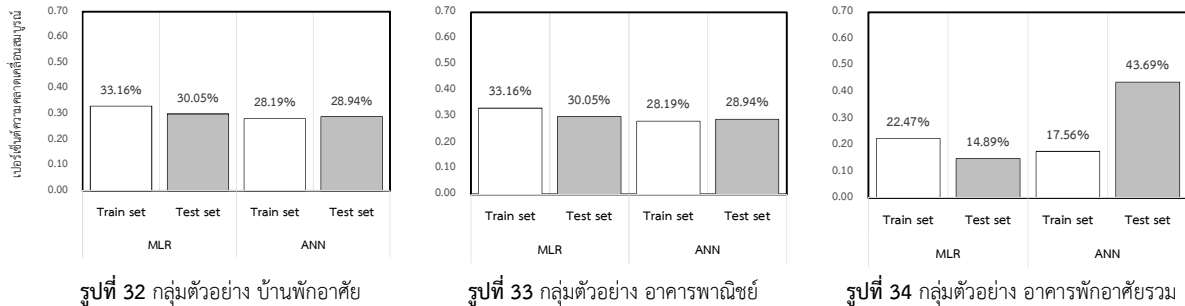
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานแบบหล่อ



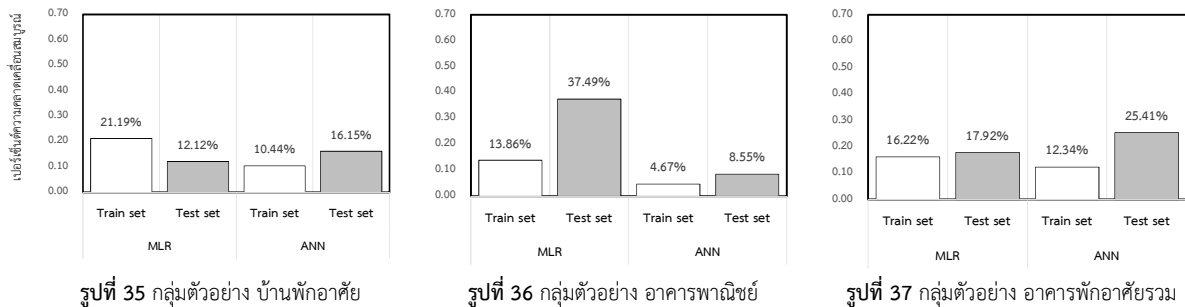
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานเหล็กเสริมคอนกรีต



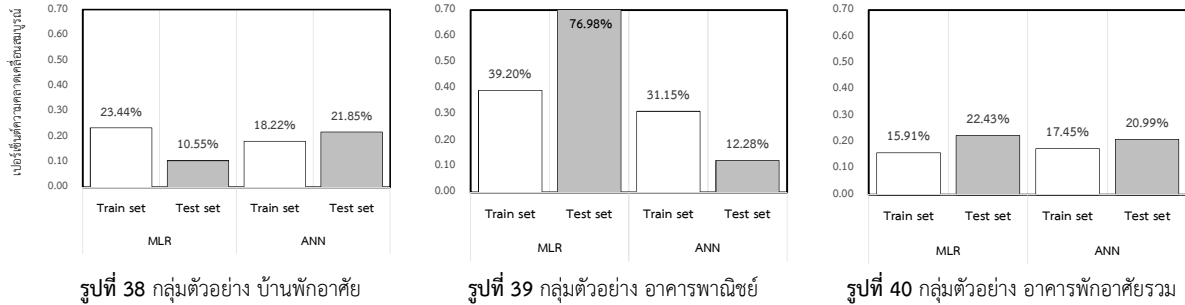
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานพื้นสำเร็จ



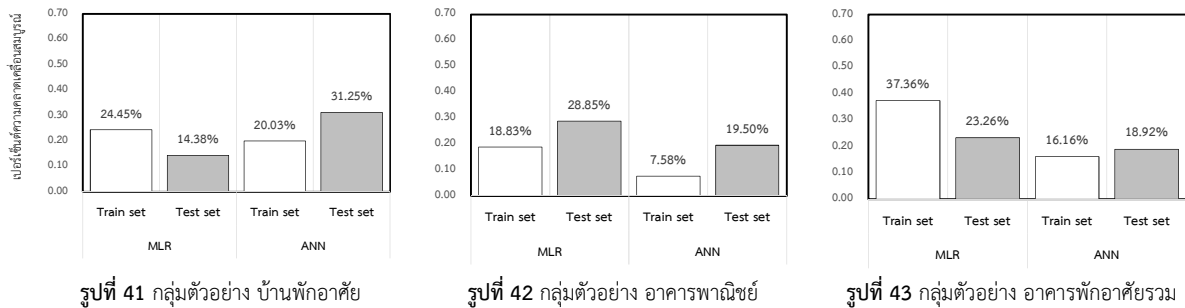
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) วัสดุผิวพื้น



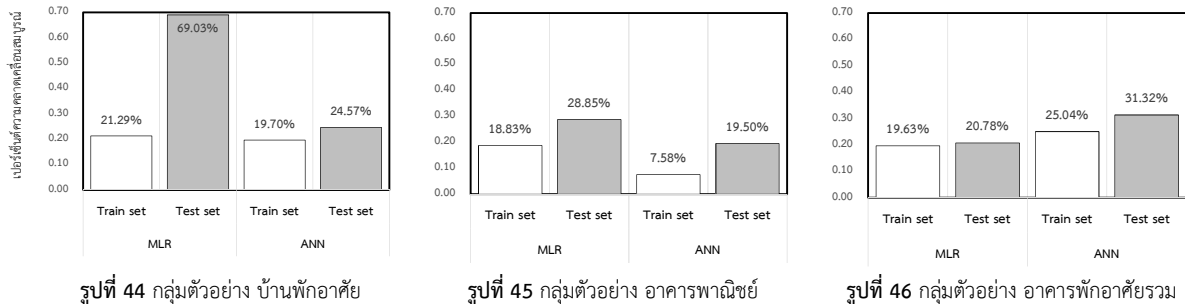
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานก่อ



ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) งานฝ้า



ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ประตูหน้าต่าง



5. สรุป

ความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกลุ่มบ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์และอาคารพักอาศัยรวม ที่กำหนดตัวแปรอิสระ (Independent variable : X) จำนวน 2 ตัวแปร และ ตัวแปรตาม (Dependent variable : Y) จำนวน 9 ตัวแปร เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ด้วยแบบจำลองความถดถอยเชิงซ้อนและโครงข่ายประสาทเทียม แสดงถึงการมีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งอธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระ อันได้แก่ 1. พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ยต่อชั้นของอาคาร และ 2. จำนวนชั้น สามารถอธิบายผลการทดสอบสำหรับวิธีแบบจำลองความถดถอยเชิงซ้อนแสดงสัดส่วน

ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear) โดยอธิบายความเปลี่ยนแปลงของปริมาณงานก่อสร้างได้ร้อยละ 40 – 90 และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม สามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของปริมาณงานก่อสร้างจากแบบจำลองได้กว่าร้อยละ 55 – 99 จากการพิจารณาทดสอบแบบจำลองจำนวน 136 ตัวอย่าง คิดเป็นกลุ่มตัวอย่างในการสร้างแบบจำลองคิดเป็นร้อยละ 67.65 และกลุ่มตัวอย่างสำหรับเป็นตัวแทนตัวอย่างใดๆ คิดเป็นร้อยละ 32.35 พบว่า แบบจำลองในงานวิจัยนี้แสดงถึงการยอมรับตัวอย่างใดๆอยู่ในระดับความแม่นยำร้อยละ 20 – 40 สำหรับวิธีแบบจำลองความถดถอยเชิงซ้อน และ 10 – 30 สำหรับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณารายปัจจัยในการทดสอบ

พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สำหรับกลุ่มตัวอย่าง (Test set) สูง 3 ลำดับแรกได้แก่ 1. การวิเคราะห์หัตถ์แปรงานวัสดุก่อผนังสำหรับกลุ่มตัวอย่างอาคารพาณิชย์ 2. การวิเคราะห์หัตถ์แปรงานประตูหน้าต่างสำหรับกลุ่มตัวอย่างบ้านพักอาศัย และ 3. การวิเคราะห์หัตถ์แปรงานพื้นสำเร็จรูปสำหรับกลุ่มตัวอย่างงานอาคารพักอาศัยรวม มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับร้อยละ 76.98, 69.03 และ 43.69 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลพื้นฐานพบข้อสังเกตว่า ข้อมูลการถอดปริมาณต่อหน่วยของตัวแปรงานวัสดุก่อผนังสำหรับกลุ่มตัวอย่างอาคารพาณิชย์มีลักษณะเฉพาะคือเป็นลักษณะผนังร่วมซึ่งแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างอื่นๆ ในส่วนของงานประตูหน้าต่างพบข้อสังเกตว่าการออกแบบการใช้งานมีลักษณะไม่เฉพาะเจาะจงแปรผันตามการเลือกใช้งานของเจ้าของอาคาร และ ตัวแปรงานพื้นสำเร็จรูปพบข้อสังเกตว่าขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งานตามประสบการณ์ผู้ออกแบบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลพื้นฐานตามมิติรายละเอียดการออกแบบพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบประกอบด้วย 1. ข้อกำหนดและข้อบังคับทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ 2. เงื่อนไขทางสถาปัตยกรรม และ 3. ประสบการณ์ของผู้ออกแบบทั้งหมดนี้จึงส่งผลต่อการกำหนดรายละเอียดออกแบบที่แตกต่างกันออกไป สะท้อนถึงผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยแตกต่างกันและทำให้สัดส่วนปริมาณเนื้องานวัสดุก่อสร้างสำหรับกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยนี้ได้รับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานวัสดุก่อสร้างจึงพบว่าการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานวัสดุก่อสร้างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามการแบ่งประเภทอาคารทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ยังพบความสัมพันธ์จำนวน 5 ความสัมพันธ์ได้แก่ 1. ปริมาณคอนกรีต (m^3) / พื้นที่ก่อสร้าง (m^2) มีความสัมพันธ์กันเท่ากับ 0.27, 0.195 และ 0.168 2. ความสัมพันธ์ปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีต (กก) / คอนกรีต (m^3) มีความสัมพันธ์กันเท่ากับ 85.44, 118.235 และ 113.49 3. ความสัมพันธ์ปริมาณแบบหล่อ (m^2) / คอนกรีต (m^3) มีความสัมพันธ์กันเท่ากับ 9.46, 9.20 และ 9.24 4. ความสัมพันธ์ปริมาณงานก่อ (m^2) / พื้นที่ก่อสร้าง (m^2) มี

ความสัมพันธ์กันเท่ากับ 1.32, 1.62 และ 1.33 และ 5. ความสัมพันธ์ปริมาณ พื้นที่ประตูหน้าต่าง (m^2) / ปริมาณงานก่อ (m^2) มีความสัมพันธ์กันเท่ากับ 0.12, 0.13 และ 0.15 สำหรับกรณีศึกษา บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และ อาคารพักอาศัยรวม ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นข้อค้นพบความสัมพันธ์ปริมาณวัสดุก่อสร้างแบ่งตามชนิดอาคารทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างโดยอาศัยความสัมพันธ์ทั้ง 5 เป็นหลักเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง นำมาซึ่งแนวทางในการตรวจสอบบัญชีปริมาณงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริม ในส่วนของการพัฒนาด้านมาตรฐานและข้อกำหนดข้อค้นพบด้านความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุอาคารดังกล่าวเป็นแนวทางการกำหนดขอบเขตของการใช้งานวัสดุก่อสร้างซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน อีกทั้งเป็นการสร้างแนวทางที่มีความโปร่งใสอันจะลดข้อพิพาททางด้านข้อตกลงหรือสัญญาตามที่วิศวกรรมสถานได้มีแนวทางปฏิบัติตามเงื่อนไขทั่วไปสัญญาจ้างก่อสร้าง (General conditions) [23] นอกจากนั้นสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านนโยบาย ข้อค้นพบจากงานวิจัยนี้สนับสนุนให้การศึกษาด้านการคาดการณ์ปริมาณการใช้งานวัสดุก่อสร้างสำหรับที่อยู่อาศัยเกิดข้อมูลการศึกษาเชิงลึกมากยิ่งขึ้น ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการส่งเสริมให้ผู้กำหนดนโยบายทราบถึงแนวโน้มซึ่งส่งผลต่อการกำหนดนโยบายในมิติต่างๆ ทั้งภาคสังคม และ ภาคเศรษฐกิจ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปณัสนัย ชัยเชษฐโชติศักดิ์ และ อาจารย์ สง่า สิบสอาด ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนและเป็นที่ปรึกษามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wisoot Jiradamkerng. (2010). Construction cost Estimation. (4 edition). ISBN 978-6167-770147 Bangkok, Wankawee.

- [2] Zhiting Wu, Xuedong Chen. (2015). The Material Consumption Estimation Model of Frame Shear Wall Structure, Journal of System and Management Sciences. Vol. 5 No. 1, pp. 38-51.
- [3] The Comptroller General's Department. (2012). Criteria for calculating the central price of building construction.
- [4] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage. (1999). Construction Management Information for Construction Price Evaluation and Control. EIT Standard, ISBN 974-7197-31-6, Bangkok, Thailand.
- [5] AACE International Recommended Practice No. 18R-97. (2005). Cost Estimate Classification System – AS Applied in Engineering, Procurement, and Construction For The Process Industries, the association for the advancement of cost engineering.
- [6] Thammasak Rujiranyong. (2012). Estimate Cost for Apartment Building Using Regression Analysis. Rangsit University Journal of Engineering and Technology, Vol. 15, No. 2.
- [7] Nikhil K Gilson, Alester Joseph Vanreyk. (2014). Review of Cost Estimation Models, International Journal of Scientific Engineering and Research (USER), ISSN (Online) : 2347-3878
- [8] Nivea Thomas, and Dr. Anu V. Thomas. (2016). Regression Modelling for Prediction of Construction Cost and Duration, Applied Mechanics and Materials, Vol. 857, pp 195-199.
- [9] Worasak Thawekitjakarn. (1990). An application of regression analysis in building cost estimating, Graduate Studies, Chulalongkorn University.
- [10] Somchart Manprasert. (1998). A Study on Building Construction Cost Estimate Using Work Quantity Model Approach, Master. Engineering (Civil Engineering), Graduate Studies, Chulalongkorn University.
- [11] Gwang-Hee Kim, Jae-Min Shin, Sangyong Kim, Yoonseok Shin. (2013). Comparison of School Building Construction Costs Estimation Methods Using Regression Analysis, Neural Network, and Support Vector Machine , Journal of Building Construction and Planning Research, 2013, pp 1-7.
- [12] Jessada Sarasinpithak, Tanit Thongthong. (2000). A study on quantity estimation of building construction using neural network models, Master of Engineering (Civil Engineering), Graduate Studies, Chulalongkorn University.
- [13] H. Murat Günaydin S Zeynep Doğan. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings, international Journal of Project Management Volume 22, Issue 7, Pages 595-602.
- [14] Azme Bin Khamis, Nur Khalidah Khalilah Binti Kamarudin. (2014). Comparative Study On Estimate House Price Using Statistical And Neural Network Model, International journal of science & technology research volume 3, issue 12, ISSN 2277-8616.
- [15] Smita K. Magdum and Amol C. Adamuthe. (2017). Construction cost prediction using neural networks. ICTACT Journal on soft computing, Volume 08, Issue 01, pp 1549 - 1556.
- [16] Office of the council of state. (2522). BUILDING CONTROL ACT. Retrieved from <http://www.krisdika.go.th/wps/portal/general>,
- [17] National Statistical Office. (2011) . Population Statics, Bureau of Social Statistics. Retrieved from <http://popcensus.nso.go.th/upload/popcensus-08-08-55-E.pdf>
- [18] Construction Specifications Institute (CSI) and Construction Specifications Canada (CSC). MasterFormat ® (2016). MasterFormat ® Numbers & Titles. Retrieved from <https://www.edmca.com/media/35207/masterformat-2016.pdf>
- [19] U.S. Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standard and Technology. (1999). UNIFORMAT II Elemental classification for building specifications, Cost Estimating, and Cost analysis. Retrieved from <https://arc-solutions.org/wp-content/uploads/2012/03/Charette-Marshall-1999-UNIFORMAT-II-Elemental-Classification....pdf>
- [20] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage. (2011). Building Survey Structural and Architectural Works, Engineering of Thailand, 2nd revised edition.

- [21] Associate Professor Dr. Kanlaya Vanichbuncha. (2009). Statistical analysis with Excel, Bangkok : Faculty of Commerce and Accountancy Chulalongkorn University.
- [22] D.A. Clevert, T. Unterthiner and S. Hochreiter. (2016). Fast and accurate deep learning. Proceeding of international conference on learning representations, pp 1- 14
- [23] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage. (2013). General conditions. EIT Standard, ISBN 978-974-7197-80-8, Bangkok, Thailand.