การศึกษาแนวทางการประมาณเนื้องานก่อสร้างอาคารด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

นายเจษฎา สารสินพิทักษ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543
ISBN 974–13-0265-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาลัย

A STUDY ON QUANTITY ESTIMATION OF BUILDING CONSTRUCTION USING NEURAL NETWORK MODELS

Mr. Jessada Sarasinpithak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-0265-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแนวทางการประมาณเนื้องานก่อสร้างอาคารด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
โดย	นายเจษฎา สารสินพิทักษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบูรณ์ ลุวีระ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศณุ ทรัพย์สมพล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เจษฎา สารสินพิทักษ์ : การศึกษาแนวทางการประมาณเนื้องานก่อสร้างอาคารด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (A STUDY ON QUANTITY ESTIMATION OF BUILDING CONSTRUCTION USING NEURAL NETWORK MODELS)

อาจารที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง,151 หน้า. ISBN 974-13-0265-7

การประมาณราคางานก่อสร้างอาคารเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการบริหารงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานที่เป็นองค์ประกอบในการก่อสร้างอาคาร เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการประมาณราคางานก่อสร้างเบื้องต้นให้มีความแม่นยำสูงขึ้น โดยขอบเขตการวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะอาคารประเภทพักอาศัยเท่านั้น ขั้นตอนการวิจัยที่สำคัญ ประกอบด้วย การศึกษาวิธีการแบ่งประเภทอาคารพักอาศัย ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานก่อสร้าง และความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณเนื้องานก่อสร้าง โดยใช้ข้อมูลอาคารพักอาศัยในการวิเคราะห์จำนวน 54 โครงการ ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องาน แสดงให้เห็นว่าเมื่อแยกประเภทข้อมูลอาคารออกเป็นกลุ่มโดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ของอาคารที่มีความคล้ายคลึงกัน ได้แก่ ระบบโครงสร้างหรืองานตกแต่งฝ้าเพดาน สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานส่วนใหญ่จะมีความแปรปรวนต่ำลง เช่น สัดส่วนไม้แบบต่อคอนกรีต สัดส่วน คอนกรีตต่อพื้นที่หรือสัดส่วนงานทาสีต่องานผนัง เป็นต้น โดยสัดส่วนเหล่านี้มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 20% และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอาคารแต่ละกลุ่มจะมีค่าสัดส่วนอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน ยกเว้นสัดส่วนเนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะยังมีความแปรปรวนสูงอยู่

ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Backpropagation Neural Networks เป็นรูปแบบโครงข่ายที่ถูกนำมาศึกษาการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานก่อสร้างที่เป็นปัจจัยหลักกับพารามิเตอร์ของอาคาร ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง และความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง ระหว่างวิธีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจำลองความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดีกว่าและแบบจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างได้แม่นยำสูงกว่า โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20%

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4170268621: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: QUANTITY ESTIMATION / ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

JESSADA SARASINPITHAK : A STUDY ON QUANTITY ESTIMATION OF BUILDING CONSTRUCTION USING NEURAL NETWORKS MODELS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. TANIT TONGTHONG, Ph.D., 151 pp.

ISBN 974-13-0265-7

Cost estimation is one of the most important tasks in the quality management of construction projects. The objective of this thesis is to develop a method of cost estimation that can provide quick and more accurate preliminary estimate by studying the relationships of the quantities of materials used in building construction. The study focuses only on residential buildings. The research method consists of three parts: a) identify how to suitably classify residential buildings, b) identify the relationships of the quantities of major materials in terms of component-ratio, and c) apply the technology of artificial neural networks to represent the cost estimation models . Data of 54 building construction projects are collected and divided in two groups, 44 for training sets and 10 for testing the models. The analysis in this research shows that when buildings are classified into appropriate groups based on some characteristics such as structural systems or types of interior-finishing, the results are numbers of ratios of quantities of work with low variation. However, this is not included ratios found for mechanical and electrical works.

The development of artificial neural network models is based on the backpropagation network model. The efficiency and accuracy of the predicted results from artificial neural network models are compared with the results from multiple linear regression method. The artificial neural network models present better results of quantity estimation of building construction. The average absolute percent error of the output from neural network models is lower than 20 %.

Department Civil Engineering Student's signature .....

Field of study Civil Engineering

Academic year 2000 Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ลงได้ หากผู้ทำวิจัยไม่ได้รับข้อมูล คำแนะนำ ความร่วมมือและกำลังใจจากผู้เกี่ยวข้องทั้งหลาย ในโอกาสนี้ผู้ทำวิจัยจึงอยากจะขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะบุคคลดังรายนามต่อไปนี้ ได้แก่ บิดา มารดาและญาติพี่น้องของผู้ทำวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก กุลประภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง และอาจารย์ท่านอื่นๆในสาขาบริหารงานก่อสร้าง คุณวารินทร์ แซ่จึง เพื่อนๆทุกคน และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

เจษฎา สารสินพิทักษ์
ผู้ทำวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2. ทบทวนผลงานที่ผ่านมา..... 5

2.1 ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคางานก่อสร้าง..... 5

2.2 ทบทวนความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 9

2.3 ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 15

2.4 บทสรุป..... 19

3. วิธีการดำเนินการวิจัย..... 21

3.1 การแบ่งประเภทอาคาร..... 21

3.2 การวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าเนื้องานเพื่อหาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก..... 26

3.3 การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดโครงสร้าง..... 27

3.4 การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดสถาปัตยกรรม..... 28

3.5 การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรม..... 29

3.6 ความจำเป็นในการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้
ในการประมาณเนื้องานก่อสร้าง..... 32

3.7 รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัย..... 34

3.8 การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.9 ค่าสถิติอื่นๆที่ใช้ในงานวิจัย..... 40
3.10 ข้อจำกัดในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 41
4. ผลงานวิจัย..... 42
4.1 ค่าสถิติของข้อมูลในงานวิจัย..... 42
4.2 ผลการวิเคราะห์กาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในการก่อสร้าง..... 43
4.3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดโครงสร้าง..... 45
4.4 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดสถาปัตยกรรม..... 46
4.5 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรม..... 48
4.6 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องาน..... 50
4.7 ผลการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 51
4.8 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 61
5. สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 65
5.1 สรุปงานวิจัยทั้งหมด..... 65
5.2 ข้อจำกัดในการทำวิจัย..... 68
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคต..... 69
รายการเอกสารอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการวิจัย..... 73
ภาคผนวก ข. ตาราง Order of magnitude, Sensitivity Analysis, APE vs. Iterations..... 141
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองแบ่งประเภทอาคารวิธีต่างๆ..... 146
ประวัติผู้เขียน..... 151

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป 73

1.2 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่ 74

1.3 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน 74

2.1 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่มีฝ้าเพดาน 75

2.2 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่ไม่มีฝ้าเพดาน 76

3.1 สัดส่วนมูลค่างานระบบวิศวกรรมต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว..... 77

3.2 สัดส่วนมูลค่างานระบบวิศวกรรมต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด..... 78

4.1 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป..... 79

4.2 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่..... 80

4.3 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน..... 80

5.1 สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่มีฝ้าเพดาน..... 81

5.2 สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่ไม่มีฝ้าเพดาน..... 82

6.1 สัดส่วนพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักประเภทห้องเดี่ยว 83

6.2 สัดส่วนพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ใช้สอยรวมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักประเภทห้องชุด 84

7.1 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบสุขาภิบาลของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว 85

7.2 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบสุขาภิบาลของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด 86

7.3 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบไฟฟ้าของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว 87

7.4 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบไฟฟ้าของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด 88

8.1 สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว..... 89

8.2 สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด..... 90

9.1 สรุปสัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ 91

9.2 สรุปสัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ 91

9.3 สรุปสัดส่วนความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ 92

9.4 สรุปสัดส่วนความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ..... 93

9.5 สรุปสัดส่วนพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารพักอาศัยประเภทต่างๆ..... 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

9.6 สรุปสัดส่วนความสัมพันธ์ของมูลค่างานระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ 94
9.7 สรุปสัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัยประเภทต่างๆ 94
10.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 95
10.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัยใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่ (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 96
10.3 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัยโครงสร้างระบบพื้นไร้คาน (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 97
11.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ประเภทที่มีฝ้าเพดาน (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 98
11.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ประเภทที่ไม่มีฝ้าเพดาน (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 99
12.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว(ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 100
12.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 101
13.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 102
13.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 103
14.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 104
14.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 105
14.3 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 106
14.4 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

15.1 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานโครงสร้างด้วยค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องาน.... 108
15.2 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานสถาปัตยกรรมด้วยค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องาน 108
15.3 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยด้วยค่าเฉลี่ยสัดส่วนพื้นที่..... 109
15.4 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานระบบวิศวกรรมด้วยค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องาน 109
16.1 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณเสาเข็ม..... 110
16.2 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณคอนกรีต..... 110
16.3 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณแบบหล่อ..... 110
16.4 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณเหล็กเสริม..... 111
16.5 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณงานผนัง..... 111
16.6 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ปริมาณงานทาสี..... 111
17.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคาร ชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 112
17.2 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคาร ชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 114
18.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคาร ชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)..... 116
19.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคาร ชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 117
19.2 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคาร ชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)..... 119
20.1 สรุปความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองจากสองวิธีการในการประมาณ เนื้องานก่อสร้างของอาคารชุดพักอาศัย..... 120

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

21.1 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเสาเข็ม 123
21.2 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณคอนกรีต 126
21.3 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณแบบหล่อ 130
21.4 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเหล็กเสริม 134
21.5 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณงานผนัง 137
21.6 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณงานทาสี 140

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม..... 10
2.2 โครงสร้างภายในของหน่วยประมวลผลในชั้น Hidden และ Output Layer..... 12
2.3 ฟังก์ชั่นแปลงค่ารูปแบบต่างๆ..... 13
3.1 กราฟระหว่าง RMS Error History กับ iteraltion..... 39
4.1 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเหล็กเสริม..... 53
4.2 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณงานผนัง..... 54
4.3 รูปแสดงความคลาดเคลื่อนที่ลดลงเมื่อจำนวนรอบการวนข้อมูลเพิ่มขึ้น..... 56
4.4 รูปแสดงการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะ Nonlinear..... 56
4.5 รูปแสดงความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ประมาณได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง 57
4.6 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเหล็กเสริม..... 60
4.7 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเสาเข็ม..... 121
4.8 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานคอนกรีต..... 124
4.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานแบบหล่อ..... 128
4.10 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเหล็กเสริม..... 132
4.11 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานผนัง..... 135
4.12 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานทาสี..... 138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การประมาณราคางานก่อสร้างโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน ประเภทแรกคือ การประมาณราคางานอย่างคร่าวๆที่ใช้ในช่วงศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ วิธีที่นิยมใช้คือวิธีคิดราคางานต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งเป็นวิธีประมาณราคางานที่ค่อนข้างหยาบ การประมาณราคาประเภทที่สองคือการประมาณราคางานก่อสร้างอย่างละเอียด ซึ่งโดยทั่วไปจะนิยมใช้วิธีการถอดแบบก่อสร้างเพื่อหาปริมาณเนื้องาน ซึ่งจะต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์ในงานถอดแบบเพื่อที่จะทำให้ได้ปริมาณงานที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ในการประมาณราคางานช่วงเริ่มต้นดำเนินโครงการ ซึ่งต้องการความรวดเร็ว ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องการให้มีความถูกต้องของราคางานมากที่สุด นอกจากใช้วิธีคิดราคางานต่อหน่วยพื้นที่แล้ว ได้มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ประมาณราคางานอย่างคร่าวๆ ทั้งในต่างประเทศ (Hegazy, 1998; Bhokha, 1999) และในประเทศไทย (วรศักดิ์, 2533) แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการประมาณราคางานในเบื้องต้นได้ แต่จะมีข้อเสียเนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ประมาณราคาโดยตรงจะมีความสัมพันธ์กับราคาต่อหน่วยเนื้องานของฐานข้อมูลที่ใช้ ทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริง ความคลาดเคลื่อนของที่ประมาณได้อาจจะสูงมาก ต่อมา สมชาติ (2542) ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจสอบราคางานก่อสร้าง และพบว่ามีแนวทางที่สามารถนำเอาแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานไปใช้ในการประมาณราคางานเบื้องต้นได้ โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบจากราคาต่อหน่วยของเนื้องาน ข้อดีของแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานก็คือสามารถใช้ประมาณราคางานโดยคร่าวๆได้พร้อมกับทราบปริมาณเนื้องานด้วย และยังสามารถใช้ประโยชน์เป็นแนวทางในการตรวจสอบปริมาณงานจากการถอดแบบได้อีกด้วย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การจัดแบ่งประเภทอาคารให้ดีมีความสำคัญมากต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากการจัดแบ่งประเภทอาคารจะช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูลและเมื่อจัดข้อมูลที่คล้ายคลึงกันให้อยู่ในหมวดหมู่เดียวกันแล้ว การนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประโยชน์ก็จะมีความแม่นยำและความสะดวกมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของสมชาติ (2542) ได้จัดแบ่งข้อมูลอาคารรวม 76 โครงการ ออกเป็น 6 ประเภทตามลักษณะการใช้สอยอาคารที่แตกต่างกัน ได้แก่ อาคารพักอาศัย และอาคารสำนักงาน เป็นต้น ผลงานวิจัยพบว่า

เมื่อสามารถแบ่งประเภทอาคารให้เหมาะสมแล้ว ตัวเลขค่าเฉลี่ยและค่าสัดส่วนของเนื้องานส่วนใหญ่จะมีความแปรปรวนต่ำลง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประมาณราคาได้ อย่างไรก็ตาม การแบ่งประเภทอาคารด้วยปัจจัยด้านลักษณะการใช้สอยเป็นเพียงการศึกษาในเบื้องต้นเท่านั้น หากมีการศึกษาเพื่อจัดแบ่งประเภทอาคารต่อไปด้วยปัจจัยอื่นที่ทำให้อาคารที่มีลักษณะเดียวกันอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ ก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำได้มากขึ้น เช่น สัดส่วนของเนื้องานในหมวดงานสถาปัตยกรรม เป็นต้น ซึ่งจะทำให้สามารถประมาณปริมาณเนื้องานและมูลค่างานได้แม่นยำขึ้น

นอกจากนั้น การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในหมวดสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรมในงานวิจัยของสมชาติ (2542) มีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนและความสมบูรณ์ของข้อมูลปริมาณเนื้องาน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานได้ ดังนั้น หากสามารถเก็บข้อมูลให้มีจำนวนและความสมบูรณ์ของปริมาณเนื้องานมากขึ้น ก็จะวิเคราะห์หาสัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรมที่มีประโยชน์

ในการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้องานกับปัจจัยต่างๆ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ วิธีวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง ซึ่งในงานวิจัยของสมชาติ (2542)ก็ได้เลือกใช้วิธีนี้และให้ผลการประมาณที่แม่นยำพอสมควร แต่อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริง ปริมาณเนื้องานก่อสร้างไม่ได้มีความสัมพันธ์ที่เป็นลักษณะเส้นตรงอย่างเห็นชัดเจนกับปัจจัย เช่น พื้นที่ หรือจำนวนชั้น ดังนั้น วิธีวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจึงไม่สามารถจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างปริมาณเนื้องานกับปัจจัยต่างๆได้ ซึ่ง Yeh (1998) ได้เสนอผลงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาณเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณในการก่อสร้างอาคาร โดยได้สร้างแบบจำลองดังกล่าวขึ้นด้วยวิธีการสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Method) ซึ่งมีชื่อว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks หรือ ANN) และเมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง พบว่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณเหล็กจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมต่ำกว่าแบบจำลองวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงค่อนข้างมาก ซึ่งหมายความว่า การจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานกับปัจจัยต่างๆของอาคารด้วยรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรงมีความเหมาะสมมากว่ารูปแบบเส้นตรง

งานวิจัยของสมชาติ (2542) ได้แสดงให้เห็นถึงแนวทางที่เหมาะสมในการนำเอาวิธีการประมาณปริมาณเนื้องานมาประยุกต์ใช้ในการประมาณราคางานก่อสร้าง แต่การแบ่งประเภทอาคารและการศึกษาความสัมพันธ์ของเนื้องานในงานวิจัยของสมชาติ (2542) เป็นเพียงแค่เบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาการจัดแบ่งประเภทอาคารโดยพิจารณาปัจจัยด้านอื่นที่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา และจะศึกษาถึงความเหมาะสมของการพัฒนาแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างด้วยวิธีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของสัดส่วนของเนื้องานที่เป็นองค์ประกอบของการก่อสร้าง

1.2.2 ศึกษาแนวทางการประมาณเนื้องานหมวดสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรม

1.2.3 ศึกษาการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณเนื้องานก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การศึกษาเลือกครอบคลุมเฉพาะอาคารประเภทอาคารชุดพักอาศัย

1.3.2 การสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จะพิจารณาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้างเท่านั้น

1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.4.1 รวบรวมและศึกษาเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย

ศึกษาเอกสารต่างๆประกอบด้วย ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องของประเทศไทยและของต่างประเทศ เอกสารเกี่ยวกับการตรวจวัดปริมาณเนื้องานของหน่วยงานต่างๆ และโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเช่นโปรแกรม SPSS และโปรแกรม ANN

1.4.2 ศึกษาแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ศึกษาแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และศึกษาวิธีการประมาณราคางานสถาปัตยกรรมและงานระบบอย่างคร่าวๆจากหนังสือต่างๆและจากผู้มีประสบการณ์ในงานประมาณราคา

1.4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของอาคารเพื่อเตรียมการเก็บข้อมูล

จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ของอาคารที่มีความเป็นไปได้ว่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้องานในเบื้องต้นได้แก่

ก. พื้นที่ใช้สอยของอาคาร

ข. จำนวนชั้น

ค. ความสูงรวมของอาคาร

1.4.4 เก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในงานวิจัยส่วนหนึ่งจะเป็นข้อมูลจากงานวิจัยของสมชาติ (2542) อีกส่วนหนึ่งจะเป็นข้อมูลใหม่ซึ่งได้จากการติดต่อขอข้อมูลจากหน่วยงานราชการและบริษัทเอกชน ประกอบด้วย บัญชีแสดงรายการปริมาณเนื้องานและแบบก่อสร้างของโครงการ

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูล

ก. วิเคราะห์หาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของงานก่อสร้างในแต่ละหมวดงาน

ข. วิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักการในก่อสร้าง

ค. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรม

1.4.6 พัฒนาแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องาน

ก. นำเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักมาสร้างแบบจำลองด้วยวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง และด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ข. ทดสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการกับข้อมูลชุดใหม่เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

1.4.7 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลงานวิจัย การประยุกต์ใช้ ปัญหาที่พบ และแนวทางการพัฒนา

1.5 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.5.1 แบบจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ประมาณปริมาณเนื้องานโดยตรง และช่วยในการประเมินราคางานเบื้องต้นในช่วงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ และในช่วงจัดทำงบประมาณของโครงการได้

1.5.2 แบบจำลองที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบความถูกต้องของการถอดแบบได้ในเบื้องต้น โดยผู้ถอดแบบสามารถพิจารณาจากค่าเฉลี่ย สัดส่วน และปริมาณงานที่ได้จากแบบจำลอง เป็นการช่วยป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากความบกพร่องของผู้ทำการถอดแบบและมาตรฐานการถอดแบบที่แตกต่างกันได้อีกแนวทางหนึ่ง

บทที่ 2

ทบทวนผลงานที่ผ่านมา

จากการศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคาหรือเนื้องานก่อสร้าง และเอกสารวิธีตรวจวัดเนื้องานของหลายๆหน่วยงาน ในบทที่ 2 นี้จะเป็นการสรุปเนื้อหา วิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของวิธีการแต่ละวิธีการจากที่ได้ศึกษามา เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

2.1 ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคางานก่อสร้าง

สมชาติ (2542) ได้ศึกษาแนวทางในการตรวจสอบราคางานก่อสร้างอาคารโดยใช้การประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง โดยใช้ข้อมูลในการศึกษาจากบริษัทผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงานก่อสร้างและบริษัทผู้รับเหมางานก่อสร้าง ซึ่งเป็นข้อมูลโครงการที่ทำการก่อสร้างในกรุงเทพและปริมณฑล และก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2525 ถึง 2541 จำนวน 76 โครงการ และแบ่งอาคารเป็น 6 ประเภทดังนี้

อาคารพักอาศัย	13	โครงการ
อาคารที่จอดรถ	10	โครงการ
อาคารบ้านพักอาศัย	15	โครงการ
อาคารสำนักงานทั่วไป	10	โครงการ
อาคารสูงสำหรับสำนักงาน	18	โครงการ
อาคารสูงสำหรับพักอาศัย	10	โครงการ

วิธีการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วย 3 วิธีคือ

- แบบจำลองโดยวิธีการประมาณค่าเฉลี่ย (Average per Construction Area)
- แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression)
- แบบจำลองโดยวิธีการความสัมพันธ์ของส่วนประกอบ (Component Ratio)

โดยเนื้องานงานที่นำมาสร้างแบบจำลองโดยวิธีการทั้ง 3 ประกอบด้วยเนื้องานและราคางานก่อสร้างในหมวดโครงสร้าง หมวดสถาปัตยกรรมและหมวดงานระบบวิศวกรรม โดยพิจารณาเฉพาะเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อราคางานก่อสร้างในหมวดต่างๆ ซึ่งสังเกตุได้จากค่าเฉลี่ยและสัดส่วนของราคางานเทียบกับราคางานก่อสร้างทั้งหมดในแต่ละหมวด

แบบจำลองโดยวิธีค่าเฉลี่ยและสัดส่วนของส่วนประกอบนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบปริมาณเนื้องานและราคาก่อสร้างได้ทันทีเมื่อทราบพื้นที่ของอาคาร ในขณะที่แบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนมีตัวแปรอิสระ 4 ตัวแปรในการคำนวณหาปริมาณเนื้องานและสัดส่วนของมูลค่างาน โดยตัวแปรอิสระประกอบด้วยพื้นที่อาคาร จำนวนชั้น จำนวนชั้นใต้ดิน และปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงหรือพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

ตัวอย่างสำหรับการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างโดยแบบจำลองทั้ง 3 วิธีในการประมาณปริมาณงานคอนกรีตและปริมาณแบบหล่อของอาคารอพาร์ทเม้นท์ มีดังนี้

ก. แบบจำลองโดยวิธีประมาณค่าเฉลี่ย

ปริมาณงานคอนกรีต = (0.376) * (พื้นที่อาคาร)

ปริมาณงานแบบหล่อ = (2.876) * (พื้นที่อาคาร)

ข. แบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ปริมาณงานคอนกรีต $= 0.266258 * X_1 + 72.051302 * X_2 - 120.227542$

ปริมาณงานแบบหล่อ $= 2.985639 * X_1 - 684.601745 * X_2 + 2943.6972$

โดยที่ X_1 = พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) และ X_2 = จำนวนชั้น (ชั้น)

ค. แบบจำลองโดยวิธีสัดส่วนของส่วนประกอบ

ในการหาปริมาณแบบหล่อ จะสามารถหาได้จากสัดส่วนของงานแบบหล่อต่องานคอนกรีต ซึ่งปริมาณงานคอนกรีตสามารถทราบได้จากวิธีการถอดแบบจริงหรือได้จากแบบจำลอง

ปริมาณงานแบบหล่อจากวิธีที่ 1 = (7.682) * (ปริมาณงานคอนกรีตจากแบบจำลอง)

ปริมาณงานแบบหล่อจากวิธีที่ 2 = (7.682) * (ปริมาณงานคอนกรีตจริง)

ปริมาณงานแบบหล่อจากวิธีที่ 3 = $(9.29589E\text{-}04 * X_1 - 1.291760 * X_2 + 11.90897)$ * (ปริมาณงานคอนกรีตจากแบบจำลอง)

ปริมาณงานแบบหล่อจากวิธีที่ 4 = $(9.29589E\text{-}04 * X_1 - 1.291760 * X_2 + 11.90897)$ * (ปริมาณงานคอนกรีตจริง)

โดยที่ X_1 = พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) และ X_2 = จำนวนชั้น (ชั้น)

ในการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างด้วยแบบจำลองในงานวิจัยของสมชาติ (2542) พบว่าในบางรายการเนื้องาน แบบจำลองที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ตัวอย่างเช่นงานเสาเข็มมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 120 เปอร์เซ็นต์ และในหมวดงานสถาปัตยกรรม งานตกแต่งพื้นและฝ้าเพดานก็มีความคลาดเคลื่อนสูงมาก เป็นต้น ซึ่งการแบ่งประเภทอาคารให้มีความละเอียดสูงขึ้น จะสามารถช่วยให้ความคลาดเคลื่อนลดลงได้และจะทำให้ได้สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นอีก

ผลงานวิจัยของสมชาติ (2542) ทำให้สามารถประมาณปริมาณเนื้องานหมวดโครงสร้างและสถาปัตยกรรมในเบื้องต้นได้ แต่ในการนำเนื้องานที่ประมาณได้ในหมวดงานสถาปัตยกรรมไปใช้พบว่ายังมีปัญหาในเรื่องของราคาต่อหน่วยที่จะนำมาคูณกับเนื้องานที่ประมาณได้เพื่อให้ได้มูลค่าของงาน เช่น งานพื้นที่ประมาณได้เป็นผลรวมตารางเมตรของงานพื้นทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยงานพื้นหลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นพื้นกระเบื้องยาง กระเบื้องเคลือบ พื้นหินขัด หรือเป็นพื้นคอนกรีตขัดมันเรียบ ฯลฯ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุตกแต่งเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น การออกแบบหรือประเภทของพื้นที่ใช้สอย เป็นต้น

ในหมวดของงานระบบวิศวกรรม ซึ่งใช้วิธีสัดส่วนมูลค่างานระบบต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม เป็นวิธีที่มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของราคางานที่ประมาณได้สูงมากเนื่องจากราคาต่อหน่วยเนื้องานที่แตกต่าง และเนื่องจากค่าสัดส่วนที่นำมาใช้ในการคำนวณเกิดจากค่าเฉลี่ยของมูลค่างานระบบวิศวกรรมหลายๆโครงการซึ่งมีความแตกต่างกันในรายละเอียดของเนื้องาน เช่น ในมูลค่างานระบบไฟฟ้าของอาคารบางประเภทได้รวมมูลค่าของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย ระบบสัญญาณโทรทัศน์ แต่ในบางอาคารอาจไม่มีทั้งระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยและระบบสัญญาณโทรทัศน์ เป็นต้น

วิธีการประมาณราคางานระบบวิศวกรรมอย่างคร่าวๆวิธีอื่นๆที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยมูลค่างานต่อพื้นที่หรือต่อปริมาตร และวิธี System Estimating (Peterson, 1987) สำหรับวิธีค่าเฉลี่ยมูลค่าต่อพื้นที่เป็นวิธีที่สามารถคำนวณหามูลค่างานระบบวิศวกรรมได้อย่างรวดเร็ว นิยมใช้ในช่วงแรกสุดของการประเมินมูลค่างานระบบวิศวกรรมของโครงการ แต่อาจคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากผลของราคาต่อหน่วยเนื้องาน และการนำค่าเฉลี่ยไปใช้ต้องอ้างอิงกับที่มาของค่าเฉลี่ยว่าประกอบด้วยงานระบบย่อยใดบ้าง

วิธี System Estimating ในการประมาณราคางานระบบสุขาภิบาล จะเริ่มจากการหาจำนวนสุขภัณฑ์แต่ละชนิดที่จำเป็นตามข้อกำหนด ซึ่งจำนวนสุขภัณฑ์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารและจำนวนผู้ใช้อาคาร รายการสุขภัณฑ์เหล่านี้จะถูกนำมาใส่ในตารางคำนวณราคา ซึ่งราคาต่อหน่วยที่จะนำมาคูณกับสุขภัณฑ์แต่ละชิ้นจะคำนวณมาจากผลรวมของราคาสุขภัณฑ์ ราคาของท่อชนิดและขนาดต่างๆที่ใช้ในการติดตั้งระบบน้ำให้กับสุขภัณฑ์นั้น และราคาของข้อต่อและอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องทั้งหมดรวมกัน ซึ่งผลรวมราคาต่อหน่วยของสุขภัณฑ์แต่ละชนิดนี้สามารถดูได้จาก Means Mechanical Cost Data (Peterson, 1987) เมื่อรวมมูลค่าของสุขภัณฑ์พร้อมอุปกรณ์ทั้งหมด ก็จะได้มูลค่าระบบสุขาภิบาลภายในเพียงส่วนหนึ่ง นอกจากมูลค่าส่วนหลักนี้ ต้องพิจารณาถึงมูลค่าของเครื่องทำน้ำร้อน (ถ้ามี) และท่อระบายน้ำล้นจากหลังคาด้วย โดยเมื่อทราบพื้นที่หลังคาจะสามารถเลือกขนาดของท่อระบายน้ำล้นได้จากตารางใน Means Mechanical Cost Data (Peterson, 1987) เมื่อรวมมูลค่าของงานระบบสุขภัณฑ์ เครื่องทำน้ำร้อน และท่อระบายน้ำล้นแล้ว Peterson (1987) ได้เสนอวิธีการประมาณมูลค่าของอุปกรณ์ควบคุมระบบน้ำ มูลค่าระบบท่อ

น้ำและอุปกรณ์ติดตั้งทั้งหมด ค่าแรงในการติดตั้งระบบทั้งหมด และตัวคูณความซับซ้อนของงาน (Complexity Multiplier) ไว้ดังนี้

มูลค่าของอุปกรณ์ควบคุมระบบน้ำ คิดเป็น 10 ถึง 15% ของมูลค่าสุขภัณฑ์ทั้งหมด

มูลค่าน้ำการติดตั้งระบบท่อ คิดเป็น 30 ถึง 60% ของมูลค่าสุขภัณฑ์ทั้งหมด

ค่าแรงในการติดตั้งระบบทั้งหมด คิดเป็น 80% ของมูลค่าวัสดุ

ตัวคูณความซับซ้อนของงาน คิดเป็น 5 ถึง 25% แล้วแต่ความซับซ้อนของงาน

Diamant and Tumblin (1990) ได้เสนอวิธีการประมาณราคางานสุขาภิบาลอย่างคร่าวๆที่คล้ายกับวิธี System Estimating นั่นคือการใช้จำนวนสุขภัณฑ์เป็นตัวแปรหลัก แล้วนำราคาต่อหน่วยซึ่งเป็นผลรวมของราคาวัสดุและค่าแรงในการติดตั้งสุขภัณฑ์และการติดตั้งระบบท่อสำหรับสุขภัณฑ์นั้นคูณกับจำนวนสุขภัณฑ์ ผลรวมที่ได้จะเป็นมูลค่างานในเบื้องต้น จากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบรายการที่นอกเหนือไปจากสุขภัณฑ์ได้แก่ มูลค่าของงานระบบระบายน้ำล้น เครื่องทำน้ำร้อน ระบบท่อในงานดับเพลิง มูลค่าอุปกรณ์ควบคุมระบบน้ำ ถังเก็บน้ำ และที่เก็บน้ำชั่วคราวขณะทำการก่อสร้าง ซึ่งตัวเลขราคาต่อหน่วยของสุขภัณฑ์ในส่วนของการติดตั้งท่อระบบน้ำอาจได้จากการคำนวณโดยคร่าวๆหรือโดยประสบการณ์

แนวความคิดที่คล้ายกันนี้ได้นำไปใช้กับการประมาณมูลค่างานระบบดับเพลิง โดยใช้จำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิง (Sprinkler) เป็นตัวแปรหลัก และราคาต่อหน่วยของหัวฉีดจะคำนวณจากผลรวมของราคาหัวฉีด วัสดุและค่าแรงในการติดตั้งระบบท่อน้ำ

สำหรับงานระบบไฟฟ้า Diamant and Tumblin (1990) ได้ให้คำแนะนำในการประมาณราคางานระบบนี้ โดยใช้วิธีประมาณจากค่าเฉลี่ยราคาต่อพื้นที่ซึ่งต้องอ้างอิงกับที่มาของค่าเฉลี่ยและจะต้องตรวจสอบรายการเนื้องานอื่นๆที่เพิ่มหรือไม่มีจากข้อมูลอ้างอิงด้วย เช่น มูลค่าระบบเตือนอัคคีภัย มูลค่าระบบตรวจจับควัน มูลค่าระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ และมูลค่าระบบไฟฟ้าอื่นๆที่เกี่ยวข้อง อีกวิธีหนึ่งที่ Diamant and Tumblin (1990) แนะนำคือการประมาณมูลค่างานระบบไฟฟ้าในเบื้องต้นสำหรับการสร้างอาคารหลังใหม่โดย วิธีนับจำนวนหลอดไฟ เต้าเสียบ และ สวิทซ์ แล้วใส่ราคาต่อหน่วยเพื่อคำนวณมูลค่ารวม แต่วิธีนี้จะได้มูลค่างานระบบไฟฟ้าเฉพาะบางงานที่เป็นองค์ประกอบเท่านั้น

วรศักดิ์ (2533) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองของมูลค่างานโดยเป็นฟังก์ชั่นของพารามิเตอร์ของอาคาร โดยแยกต้นทุนเป็น 4 หมวดคือ โครงสร้าง สถาปัตยกรรม ไฟฟ้าและสุขาภิบาล และได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองการประมาณราคางานก่อสร้างอาคาร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน โดยแบ่งประเภทอาคารออกเป็น 4 ประเภทคือ โรงพยาบาล อาคารเรียน อาคารสำนักงาน คอนโดมิเนียมและแฟลต รวมทั้งสิ้นจำนวน 50 โครงการ ผลจากการสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีส

เตปไวส์ รีเกรชชั่น พบว่าแบบจำลองการประมาณต้นทุนอาคารเป็นฟังก์ชั่นตัวแปรยกกำลัง ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 4 ตัวดังนี้คือ

- ความสูงระหว่างชั้นเฉลี่ย
- จำนวนชั้น
- เส้นรอบรูปเฉลี่ย
- พื้นที่ใช้งานรวม

จากการอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ในการวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าการสร้างแบบจำลองการประมาณต้นทุนอาคารแยกความสูงของอาคารตั้งแต่ 1 ถึง 3 ชั้น 4 ถึง 12 ชั้น และมากกว่า 12 ชั้นจะเป็นช่วงความสูงที่เหมาะสมที่สุด ผลงานวิจัยพบว่า การประมาณต้นทุนรวมโดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่และปริมาตร

2.2 ทบทวนความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2.2.1 คำจำกัดความของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks หรือ ANN) คือ การใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ในการจำลองกระบวนการคิดแก้ไขปัญหาตามแบบอย่างของสมองมนุษย์ โดยการสร้างระบบของหน่วยประมวลผล (Artificial Neurons) จำลองระบบของเซลประสาทของสมองมนุษย์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความซับซ้อน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ การวิเคราะห์ การพยากรณ์ หรือการแยกประเภทข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Garson, 1998)

2.2.2 ข้อดีของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ

ข้อดีของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อเทียบกับวิธีการสร้างแบบจำลองที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ แบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน มีดังนี้

- ในการสร้างแบบจำลองเพื่อแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมากๆ มีตัวแปรจำนวนมาก เกินกว่ารูปแบบสมการคณิตศาสตร์ใดๆจะกำหนดความสัมพันธ์

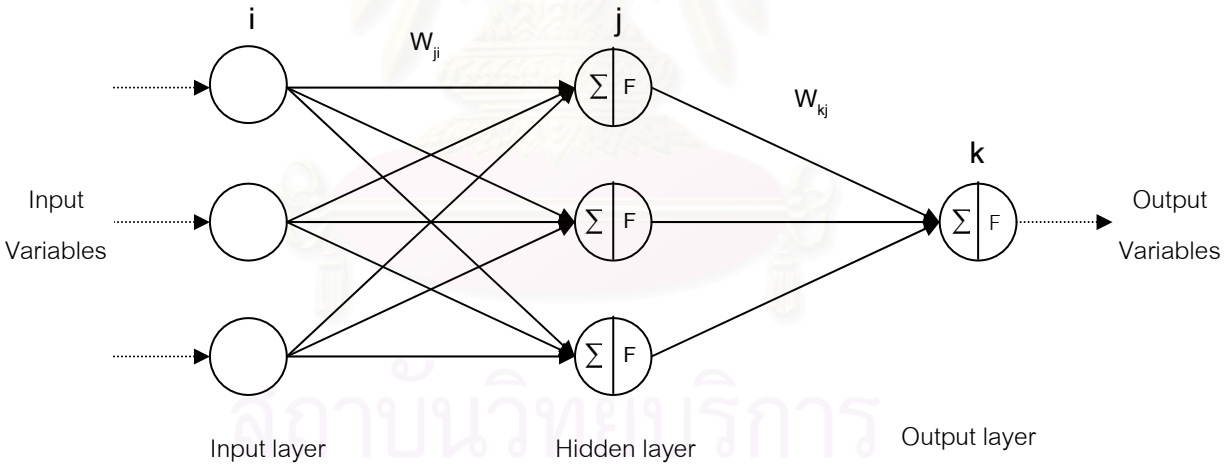
เช่นนี้ได้ แต่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้เนื่องจากมีความสามารถในการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ซึ่งไม่ถูกจำกัดโดยสมการคณิตศาสตร์

- สามารถใช้กับปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลมักไม่ได้เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งอย่างชัดเจน แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Relationship) ได้ดี เพียงแค่มีข้อมูลตัวอย่างจำนวนมากพอเท่านั้น

ด้วยข้อได้เปรียบเหล่านี้ที่ทำให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมมประสิทธิภาพที่เหนือกว่าในปัจจุบันจึงมีผู้ที่นำเอาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ประโยชน์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในด้านวิศวกรรมสาขาต่างๆ การแพทย์ เศรษฐศาสตร์ การกีฬา และด้านอื่นๆอีกมากมาย

2.2.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของ ANN คือระบบโครงสร้างของหน่วยประมวลผล (Artificial Neurons) จำนวนมากที่มีความสัมพันธ์กัน มีรูปแบบการจัดเรียงตัวของหน่วยประมวลผลเป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเรียกว่า Multi-layer Perceptrons Networks (MLPs)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของ ANN ในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย

1. Artificial Neurons คือ หน่วยประมวลผลที่มีฟังก์ชันในการคำนวณอยู่ภายใน เป็นการจำลองเซลประสาท หน่วยประมวลผลจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากหน่วยประมวลผลอื่น นำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณแล้วส่งของข้อมูลต่อไปยังหน่วยประมวลผลในชั้นถัดไป

หน่วยประมวลผลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะของการรับส่งข้อมูล ดังนี้คือ

- Input neurons คือ หน่วยประมวลผลที่ไม่มีการรับข้อมูลจากหน่วยประมวลผลอื่นๆ แต่มีการส่งข้อมูลออกไป หน่วยประมวลผลประเภทนี้จะจัดเรียงตัวอยู่ใน ANN เป็นชั้นแรกที่เรียกว่าชั้น Input layer
- Output neurons คือ หน่วยประมวลผลที่ไม่การส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลอื่นอีก แต่มีการรับข้อมูลเข้ามา จัดเรียงตัวอยู่ใน ANN ชั้นหลังสุดที่เรียกว่า Output layer
- Hidden neurons คือ หน่วยประมวลผลที่มีทั้งการส่งและรับข้อมูลกับหน่วยประมวลผลอื่นๆ หน่วยประมวลผลประเภทนี้จัดเรียงตัวอยู่ระหว่าง Input layer และ Output layer เรียกว่า Hidden layer

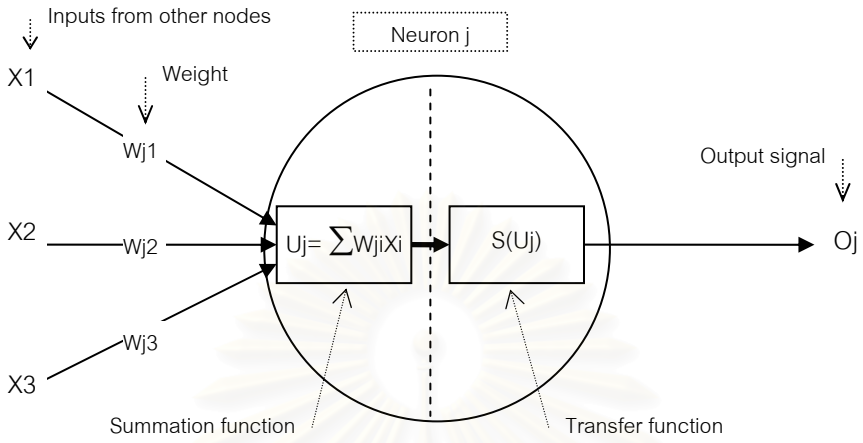
2. Synapses connection หรือเรียกว่า เส้นประสาทเทียม คือ เส้นที่เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยประมวลผลสองหน่วย จำลองลักษณะของเส้นประสาทนั่นเอง มีหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผล มี 2 ประเภทคือ Forward connection จะทำการส่งข้อมูลจากหน่วยประมวลผลใน layer ใดๆไปยัง layer ถัดไป และ Feedback connection จะส่งข้อมูลจากหน่วยประมวลผลใน layer ข้างหน้าย้อนกลับมาหน่วยประมวลผลใน layer ก่อนหน้านั้น

3. Weights คือ ค่าน้ำหนักที่ถูกกำหนดให้กับประสาทเทียม จะจำลองขนาดของเส้นประสาทของมนุษย์ที่แต่ละเส้นมีขนาดใหญ่เล็กไม่เท่ากัน ค่าน้ำหนักนี้จะแสดงถึงขนาดหรือระดับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยประมวลผลแต่ละคู่ ในขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลองค่าน้ำหนักนี้จะเป็นตัวแปรที่จะถูกสุ่มค่าขึ้นเป็นค่าน้อยๆก่อน และระหว่างการสร้าง ANN ค่าน้ำหนักนี้จะถูกปรับค่าไปเรื่อยๆให้มีความเหมาะสมในทิศทางที่แบบจำลอง ANN จะให้ผลลัพธ์มีค่าถูกต้องมากที่สุด ค่าน้ำหนักนี้สามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ

2.2.4 โครงสร้างภายในของหน่วยประมวลผล

โครงสร้างของหน่วยประมวลผลในชั้น Hidden layer และ Output layer จะมีความแตกต่างกับหน่วยประมวลผลในชั้น Input layer ตรงที่หน่วยประมวลผลในชั้น Hidden layer และ Output

layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณอยู่ภายใน ในขณะที่ หน่วยประมวลผลในชั้น Input layer จะเป็นเสมือนเพียงจุดรับข้อมูลจุดแรก และทำหน้าที่ส่งข้อมูลผ่านไปยัง layer ถัดไปเท่านั้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของหน่วยประมวลผลในชั้น Hidden และ Output layer

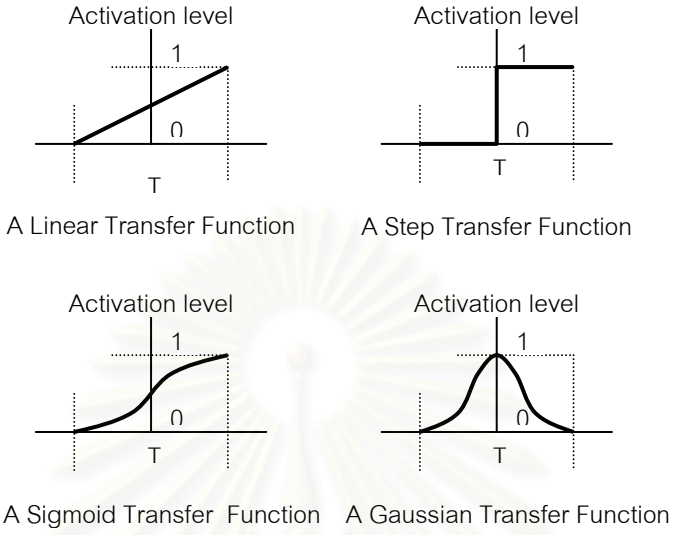
โครงสร้างภายในและการส่งผ่านข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผล เส้นประสาทเทียม และค่าน้ำหนัก เป็นดังรูปที่ 2.2 และสามารถอธิบายการคำนวณภายในได้ดังนี้

กำหนดให้หน่วยประมวลผลในรูปที่ 2.2 เป็นหน่วยประมวลที่ j ซึ่งได้รับข้อมูลจากหน่วยประมวลผลอื่นๆในชั้นก่อนหน้ามันเป็นค่า X1, X2 และ X3 ตามลำดับ ค่า Inputs เหล่านี้จะถูกคูณกับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นประสาทเทียมระหว่างหน่วยประมวลผลเหล่านั้นกับหน่วยประมวลผลที่ j ดังรูป ผลคูณเหล่านี้จะถูกรวมเข้าด้วยกันโดยฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) กลายเป็นค่าผลรวมของ Inputs (Summation Input หรือ Activation value , U) ที่เตรียมจะเข้าสู่การคำนวณในขั้นตอนต่อไป การคำนวณในขั้นตอนแรกนี้ เป็นไปตามสมการ

$$U_j = \sum X_i W_{ij} + B_j \qquad ; \ B_j = \text{bias term} \tag{1}$$

- ในขั้นตอนถัดไป หน่วยประมวลผลจะนำ ค่าผลรวม Input หรือค่า U ไปคำนวณต่อโดยฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function หรือ Activation Function) ซึ่งลักษณะของฟังก์ชั่นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.3 ฟังก์ชันแปลงค่านี้จะทำหน้าที่คำนวณว่าจะส่งค่า(Firing) Output ออกมาเมื่อใดและมีค่าเท่าไร การส่งข้อมูล Output ออกมาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่า U มีค่ามากกว่าค่า Threshold ที่ถูกกำหนดโดยรูปแบบของฟังก์ชั่น ในบางครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้ค่า U ต่ำเกินไปจนไม่เกิดการส่งข้อมูลต่อ ค่า U อาจจะถูกเพิ่มด้วย Input

Bias (ค่าคงที่จำนวนน้อยๆที่ได้จากการสุ่มกำหนดขึ้นมักจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง) เพื่อช่วยให้ค่า U ถึงค่า Threshold ได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.3 ฟังก์ชั่นแปลงค่ารูปแบบต่างๆ (Tongthong 1995)

2.2.5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ในปัจจุบันแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีอยู่หลากหลายรูปแบบ และมีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ต่อเนื่องอยู่เสมอเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีนิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ รูปแบบ Backpropagation Neural Networks (BNN) เนื่องจากเป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดที่ สามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาได้หลากหลายประเภท

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BNN คือ Multi-Layer Feed-Forward with Supervised Learning กล่าวคือ เป็นโครงข่ายที่มีการเรียงตัวเป็นชั้นๆหลายชั้น (Multi-Layer) มีการส่งข้อมูลในทิศทางไปข้างหน้าทางเดียว (Feed-Forward) และใช้วิธีการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบคำตอบจากแบบจำลองกับคำตอบจริง (Supervised Learning) สาเหตุที่แบบจำลองนี้มีชื่อต้นว่า Backpropagation ก็เป็นเพราะวิธีการที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูล จะทำโดยการส่งข้อมูลความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบ Output ย้อนกลับมายังชั้นก่อนหน้านั้นเพื่อปรับค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมอย่างต่อเนื่อง

เมื่อเริ่มขั้นตอนพัฒนาแบบจำลอง ค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมทั้งหมดจะถูกสุ่มกำหนดขึ้นให้มีค่าน้อยๆ โดยค่าน้ำหนักในช่วงเริ่มต้นควรกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง –2/n ถึง 2/n สำหรับแบบจำลอง ที่มี Input จำนวน n หน่วย (Garson, 1998) ค่าน้ำหนักที่ถูกสุ่มกำหนดในตอนแรกนี้ไม่ควรมีค่าเท่ากันเพราะหากเท่ากันจะเกิดผลกระทบทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักเกิดขึ้น

ด้วยอัตราที่ค่อนข้างช้า และผลรวมของค่า Weights บนเส้นประสาทเทียมทุกเส้นรวมกันทั้งหมดควรจะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ (Garson, 1998)

เมื่อแบบจำลองได้รับข้อมูลเข้าสู่หน่วยประมวลผล Input ซึ่งไม่มีการคำนวณภายในสัญญาณข้อมูลก็จะถูกส่งต่อไปยัง หน่วยประมวลผลในชั้น Hidden layer ซึ่งหน่วยประมวลผลในชั้นนี้จะรวมค่า Input ทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวมัน แล้วส่งค่าผลรวมหรือค่า U ที่ได้ไปยังส่วนถัดไปของหน่วยประมวลผลซึ่งจะมี Transfer Function ทำหน้าที่แปลงค่าผลรวมดังกล่าวให้เป็น Output อยู่ การคำนวณในหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะเป็นไปตามลำดับข้างต้น แต่ถ้ามองในภาพรวมของ layer ทุกหน่วยประมวลผลในชั้นเดียวกันจะทำการคำนวณไปพร้อมกันเรียกว่า Parallel Execution จากสมการที่ 1 ค่าผลรวม Weight Inputs ที่เข้าสู่ Neurons ที่ j คือ

$$Uj = \sum XiWij + Bj \qquad (1)$$

จากนั้น Transfer Function จะใช้ค่า U คำนวณค่า Output , O

$$O = f(Uj) \qquad (4)$$

ตัวอย่างเช่นหาก Transfer Function เป็น Sigmoid Transfer Function

$$O = 1/(1+e^{-u}) \qquad (2)$$

ค่า Output จากชั้น Hidden layer จะถูกส่งต่อเป็นค่า Input สำหรับ Output layer ต่อไปและใน Output layer ก็จะมีขั้นตอนการคำนวณภายในหน่วยประมวลผลเช่นเดียวกัน เมื่อข้อมูลแต่ละชุดได้ถูกส่งผ่านเข้าไปในโครงข่าย ค่า Output สุดท้ายที่เป็นคำตอบของแบบจำลองหรือ Predicted Output จะถูกคำนวณออกมาและถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Actual Output ซึ่งเป็นคำตอบจริงๆ ผลต่างของสองค่านี้เรียกว่า raw error ซึ่งจะถูกเปลี่ยนโดย error function ให้กลายเป็น Backpropagated error ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการปรับค่านำหนักของเส้นประสาทเทียมทั้งหมดในโครงข่ายในทิศทางที่ทำให้ผลต่างระหว่าง Predicted Output กับ Actual Output ลดลงต่อไป

2.2.6 วิธีการปรับค่าน้ำหนักในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนในการปรับค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองค่อยๆลดลง มีขั้นตอนเป็นดังนี้

สมมุติว่าข้อมูลมีอยู่ 4 ตัวอย่าง

1. ข้อมูลตัวอย่างแรกถูกนำเข้าสู่โครงข่ายทาง Input layer
2. ค่า Output ที่ Hidden node และ Output node ทุกตัวถูกคำนวณออกมา
3. คำนวณความคลาดเคลื่อนระหว่าง Predicted Output กับ Actual Output
4. ใช้สูตรปรับแก้ค่าน้ำหนัก ปรับแก้ค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมทุกเส้นที่อยู่ระหว่าง Output layer กับ Hidden layer (อีกนัยหนึ่งคือเส้นประสาทเทียมทุกเส้นที่เชื่อมกับ Output node นั่นเอง)
5. คำนวณความคลาดเคลื่อนที่ Hidden node โดยใช้สูตรการคำนวณ
6. ใช้สูตรปรับแก้ค่าน้ำหนักอีกสูตรหนึ่ง ปรับแก้ค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมทุกเส้นที่อยู่ระหว่าง Hidden layer กับ Input layer
7. ทำซ้ำขั้นตอน 1 ถึง 6 สำหรับตัวอย่างชุดที่ 2 3 และ 4

เมื่อทำซ้ำจนครบจำนวนตัวอย่างทั้ง 4 จะพบว่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจะเริ่มลดลงเล็กน้อย หนึ่งรอบในการวนข้อมูล 1 ชุดเรียกว่า 1 iteration หรือ 1 epoch ดังนั้น เพื่อที่จะทำให้แบบจำลองสามารถคำนวณ Predicted Output ได้ใกล้เคียงกับ Actual Output ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ จะต้องวนข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายเป็นจำนวนหลายร้อยรอบหรืออาจถึงล้านรอบถ้าความสัมพันธ์ของข้อมูลซับซ้อนมาก

2.3 ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Yeh (1998) นำ ANN มาประยุกต์ใช้ในการประมาณปริมาณเหล็กเสริมในโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและปริมาณเหล็กรูปพรรณในอาคารที่เป็นโครงสร้างเหล็ก รูปแบบของ ANN ที่ใช้คือ Backpropagation Networks แต่จะมีการเพิ่มหน่วยประมวลผลแบบ Logarithm neurons เข้าไปใน Input และ Output layer เพื่อทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำให้ ANN ประเภทนี้เรียกว่า Logarithm-Neuron Networks (LNN)

นอกจากสร้างแบบจำลองด้วย LNN แล้ว Yeh (1998) ได้สร้างแบบจำลองด้วยวิธีอื่นๆเพื่อทำการเปรียบเทียบ ได้แก่ การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนหลายตัวแปรแบบเส้นตรง และ การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนหลายตัวแปรแบบที่ไม่ใช่เส้นตรง

แบบจำลองในงานวิจัยของ Yeh (1998) มี 2 แบบจำลอง แบบจำลองแรกคือแบบจำลองประมาณปริมาณเหล็กรูปพรรณ (ตัน) ข้อมูลจำนวน 450 ตัวอย่างแบ่งเป็น training set 300 ตัวอย่าง, test set 150 ตัวอย่างปริมาณเหล็กรูปพรรณในอาคารโครงสร้างเหล็กเป็น Output ของแบบจำลอง ตัวแปรอิสระ 8 ตัวถูกใช้เป็น Input ประกอบด้วย

- จำนวนชั้น
- จำนวน bays ในด้านยาวของอาคาร
- จำนวน bays ในด้านกว้างของอาคาร
- ความยาวของ bays ในด้านกว้าง
- ความยาวของ bays ในด้านยาว
- Seismic zone factor
- Live load
- Dead load

แบบจำลองที่สองคือ แบบจำลองประมาณปริมาณเหล็กเสริมในอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (ตัน) ข้อมูลจำนวน 400 ตัวอย่างแบ่งเป็น training set 300 ตัวอย่าง, test set 100 ตัวอย่าง ถูกเก็บรวบรวม ปริมาณเหล็กเสริมในอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก Output ของแบบจำลอง ตัวแปรอิสระ10 ตัวถูกใช้เป็น Input ประกอบด้วยตัวแปรอิสระทั้ง 8 ตัวข้างต้น และ

- ความสูงรวมของอาคาร
- กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงข่ายที่ดีที่สุดของ ANN ในแบบจำลองประมาณเหล็กเสริมในคอนกรีตพบว่ามีจำนวน Hidden nodes เท่ากับ 10 nodes แบบจำลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อน Root of Mean Square of error (RMSE) และค่า Absolute percent error (APE) ค่อนข้างต่ำ เช่น โครงการขนาดกลาง(ปริมาณเหล็กเสริมในโครงการ 50-100 ตัน) ค่า RMSE และ APE ของข้อมูลชุดที่ใช้สร้างแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 3.8% และ 6.4% และข้อมูลชุดที่ใช้ทดสอบ 4.2% และ 7.7% เป็นต้น และพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนค่อนข้างมาก

Bhokha (1999) ได้ศึกษาการนำ ANN มาประยุกต์ใช้ในการประมาณราคาค่าก่อสร้างและเวลาในการก่อสร้างอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าก่อสร้างและแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการก่อสร้างกับปัจจัยต่างๆ

ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณราคาค่าก่อสร้าง ปัจจัยที่ใช้เป็น Input ของแบบจำลอง ประกอบด้วยปัจจัย 8 ชนิด (ข้อ 1 – 8) ในขณะที่ การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณ

เวลาในการก่อสร้าง ปัจจัยที่ใช้เป็น Input ประกอบด้วยปัจจัย 8 ชนิด (ข้อ 1 – 7 และ 9) ซึ่งรายละเอียดของปัจจัยและวิธีกำหนดค่าของปัจจัยในการพัฒนาแบบจำลอง ได้แก่

1. ประเภทของอาคาร แบ่งตามการลักษณะใช้สอย เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มคอนโดมิเนียม แฟลต อพาร์ทเมนท์ และโรงแรม กลุ่มอาคารสำนักงาน และมหาวิทยาลัย กลุ่มอาคารเอนกประสงค์ และกลุ่มโรงพยาบาลและอื่นๆ
2. ระบบโครงสร้าง แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กลุ่มโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ใช้พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง และกลุ่มโครงสร้างประเภทอื่นๆนอกจากสองแบบแรก
3. ความสูงของอาคาร แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ สูงกว่าค่าเฉลี่ย และต่ำกว่าค่าเฉลี่ย
4. ความยากของงานฐานราก แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปกติ และยาก
5. ลักษณะงานตกแต่งภายนอก แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้ผนังอิฐหรือซีเมนต์บล็อก กลุ่มที่ใช้ผนังกระจกหรือ Curtain wall กลุ่มที่ใช้กึ่งประเภททีหนึ่งและสอง และกลุ่มผนังประเภทอื่นๆ
6. ลักษณะงานตกแต่งภายใน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปกติ และ หรูหรา
7. การเข้าถึงสถานที่ก่อสร้าง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ง่าย และยาก
8. ดรรชนีราคา (Price indices)
9. พื้นที่ใช้สอยของอาคาร

จำนวนข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองถูกแบ่งเป็นข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองจำนวน 68 ตัวอย่างและข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลองจำนวน 68 ตัวอย่าง การพัฒนาโครงข่ายใช้รูปแบบของโครงข่าย Backpropagation Networks โดยใช้ Hidden layer เพียง 1 ชั้น และทดลองหาจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมด้วยวิธี Trail and error

ข้อกำหนดในการพัฒนาแบบจำลองคือ ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) มีค่าตามที่กำหนดคือในช่วงระหว่าง 0.1 ถึง 0.001 หรือจำนวนรอบถึง 25,000 รอบ อย่างไรก็ตามโครงข่ายที่พัฒนาแล้วจะถูกนำมาทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบ และหากความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบสูงมาก ก็จะกลับไปทดลองพัฒนาแบบจำลองที่จำนวนรอบค่าอื่นๆ เพื่อหาแบบจำลองที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดทดสอบต่ำที่สุด

ผลการพัฒนาแบบจำลองพบว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยต่ำถึง 0.02% และเมื่อนำมาทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง พบว่าแม้จะมีค่าเฉลี่ยต่ำ แต่บางข้อมูลคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงมาก เช่นแบบจำลองประมาณราคาค่าก่อสร้าง ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ประมาณได้ต่ำเกินไป มีค่า 5.1 % มีค่าต่ำสุด 0.6% และสูงสุด 39.5 % ในขณะที่ คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ประมาณได้สูงเกินไป มีค่า 18.2 % มีค่าต่ำสุด 0.4% และสูงสุด 118.7 %

เป็นต้น ซึ่งผู้ทำวิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุต่างๆที่อาจทำให้ความคลาดเคลื่อนสูงมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเพราะข้อมูลที่คลาดเคลื่อนมากๆมีความแปรปรวนสูง เช่นมีพื้นที่มากกว่าข้อมูลทั่วๆไป หรือจำนวนชั้นต่ำกว่าข้อมูลทั่วๆไป เป็นต้น

Hegazy (1998) นำเอา ANN มาประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองประมาณราคางานก่อสร้างงานทางหลวง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินราคางานเบื้องต้นได้ในช่วงเริ่มต้นโครงการซึ่งข้อมูลของโครงการค่อนข้างน้อยได้ ข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองคือโครงการก่อสร้างทางหลวง 18 โครงการ โดยมีราคาค่าก่อสร้างโครงการเป็น Output และมีตัวแปรอิสระ 10 ตัวแปร เป็น Input ประกอบด้วย

- ชนิดของโครงการ คือ สะพาน ทางหลวงหรือ อื่นๆ
- รูปแบบของโครงการ คือ ก่อสร้างใหม่ ซ่อมแซมหรืออื่นๆ
- ปีที่ก่อสร้าง
- ฤดูกาล
- สถานที่ก่อสร้าง
- ระยะเวลาก่อสร้าง
- ขนาดหรือความยาวของโครงการ
- ความจุของถนน
- Water body
- ลักษณะของดิน

เมื่อนำข้อมูลมาจำลองลักษณะของโครงข่ายลงบนโปรแกรม Excel แล้ว วิธีการหาค่าน้ำหนักสำหรับการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 วิธีการ ได้แก่ การใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ซึ่งใช้วิธี Simplex optimization ในการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Neuroshell ซึ่งใช้ Backpropagation learning ในการหาค่าน้ำหนัก และการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Gene Hunter ซึ่งใช้วิธี Genetic Algorithms Optimization หาค่าน้ำหนัก

ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ANN ที่มีค่าน้ำหนักจากทั้ง 3 วิธี ปรากฏว่า วิธีการที่ทำให้ได้ค่าน้ำหนักซึ่งทำให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองต่ำที่สุดคือการใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver รองลงมาคือการใช้วิธี Backpropagation Training และวิธี Genetic Algorithms Optimization ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนในการประมาณราคาก่อสร้างงานทางหลวงที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel Solver ของข้อมูล Training set เท่ากับ 0.7% และ Testing set เท่ากับ 1.3 % และจากวิธี Backpropagation Training ของข้อมูล Training set เท่ากับ 1.4% และ Testing set เท่ากับ 19.3 % สำหรับวิธี Genetic Algorithms Optimization นั้นให้ความ

คลาดเคลื่อนสูงกว่า 20 % จึงสรุปว่าวิธีการหาค่าน้ำหนักสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในงานวิจัยครั้งนี้ได้จากวิธี Simplex optimization และ วิธี Backpropagation Training

Sonmez และ Rowing (1999) ได้สร้างแบบจำลอง ANN เพื่อประมาณอัตราการทำงานของงานเทคอนกรีต งานติดตั้งไม้แบบและงานตกแต่งผิวคอนกรีต พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนเพื่อเปรียบเทียบ สำหรับตัวแปรอิสระที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่

- ปริมาณงานที่ทำแล้วเสร็จ (Quantities complete)
- ชนิดของงาน (Job type)
- จำนวนคนงาน (Crew size)
- เปอร์เซ็นต์ของเวลางานเกินเวลาเทียบกับเวลาทำงานทั้งหมด (Percent overtime)
- เปอร์เซ็นต์ของเวลาการจ้างงานเทียบกับเวลาทำงานทั้งหมด (Percent laborer)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความชื้น (Humidity)
- การเร่งงาน (Precipitation)
- คอนกรีตปัมพ์ (Concrete pump) เฉพาะสำหรับงานเทคอนกรีต

ผลการวิจัยพบว่า ANN สามารถสร้างแบบจำลองการประมาณอัตราการทำงานเทคอนกรีต งานติดตั้งไม้แบบและงานตกแต่งผิวคอนกรีตที่มีความแม่นยำ และเหมาะสมกับการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่มีปัจจัยหลายๆตัว โดยเฉพาะเมื่อมีความสัมพันธ์ภายในระหว่างตัวแปรเหล่านั้นเป็นแบบไม่ใช่เส้นตรง

2.4 บทสรุป

จากการทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียจากงานวิจัยและได้แนวทางที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ ซึ่งในงานวิจัยของสมชาติ (2542) ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีของวิธีการประมาณราคางานก่อสร้างโดยการประยุต์ใช้การประมาณปริมาณเนื้องานซึ่งดีกว่าวิธีประมาณราคาโดยตรง แต่การจะนำสัดส่วนเนื้องานมาใช้ประโยชน์ได้จะต้องแบ่งประเภทอาคารให้ดีเสียก่อน แนวทางการแบ่งประเภทอาคารที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่การแบ่งตามลักษณะของโครงสร้างอาคาร การแบ่งตามลักษณะของพื้นคอนกรีต การแบ่งตามลักษณะความหรูหราของงานสถาปัตยกรรมภายนอกหรือภายใน หรือการแบ่งแบ่งตามลักษณะรูปร่างของอาคาร เป็นต้น

ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องาน เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณเนื้องานหมวดสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรมยังเป็นเพียงเบื้องต้นเท่านั้น และยังมีปัญหาในการนำเนื้องานมาใช้โดยเฉพาะเนื้องานสถาปัตยกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะใช้แนวทางในการวิเคราะห์จากงานวิจัยของสมชาติ (2542) ส่วนหนึ่งและจะพัฒนาวิธีใหม่ๆขึ้นมาเพื่อให้สามารถนำสัดส่วนเนื้องานไปใช้งานได้ดีกว่าเดิม และนอกจากนั้น จะทำการพัฒนาแบบจำลองด้วยการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากพบว่าในความเป็นจริงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานกับปัจจัยที่มีผลกระทบไม่ได้เป็นเส้นตรงนั่นเอง

แนวทางในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และการกำหนดพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองที่จะนำมาประยุกต์ใช้ ส่วนหนึ่งมาจากงานวิจัยของ Yeh (1998) นั่นคือ การทดลองหาจำนวนของ Hidden nodes โดยเปลี่ยนจำนวน Hidden nodes ประมาณ 3 – 4 ค่า ให้มีค่าน้อยกว่า เท่ากับ และมากกว่าจำนวน Input nodes ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการทดลองจะทำให้ได้จำนวน Hidden nodes ที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองต่ำสุด

การเลือกปัจจัยที่เหมาะสมในการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง จะต้องพิจารณาจากข้อมูลที่สามารถหาได้ในการนำแบบจำลองไปใช้งานจริง ซึ่งเนื่องจากแบบจำลองที่จะพัฒนามีจุดประสงค์เพื่อนำไปใช้ในช่วงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ซึ่งข้อมูลของโครงการมีเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ปัจจัยที่เหมาะสมจะต้องเป็นข้อมูลอาคารที่ทราบในช่วงต้น เช่น พื้นที่ จำนวนชั้น ลักษณะของโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยของสมชาติ (2542) , Bhokha (1999) และ Yeh (1998) ได้เลือกใช้ปัจจัยเบื้องต้นเหล่านี้แตกต่างกันออกไป ขึ้นกับว่าจะนำไปใช้ประมาณราคาในขั้นตอนใดของการก่อสร้าง เช่น ถ้าต้องการนำไปใช้ในขั้นตอนที่มีข้อมูลรายละเอียดของอาคารน้อยก็ควรเลือกเฉพาะปัจจัยเบื้องต้นของอาคาร ดังเช่นในงานวิจัยของสมชาติ (2542) และBhokha (1999) แต่ถ้าต้องการนำไปใช้ประมาณราคาในขั้นตอนที่มีรายละเอียดของอาคารแล้ว ก็ควรใช้ปัจจัยด้านรูปร่างของอาคารเพิ่มขึ้น ดังเช่นในงานวิจัยของ Yeh (1998) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการประมาณปริมาณเนื้องาน และเป็นข้อมูลในการประมาณราคาค่าก่อสร้างในช่วงเริ่มต้นดำเนินโครงการ ดังนั้นจะพิจารณาเลือกใช้ปัจจัยบางปัจจัยจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาเหล่านี้เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3 เป็นรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีประเด็นหลักได้แก่ การศึกษาการแบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัย การศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานก่อสร้าง และการศึกษาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง

3.1 การแบ่งประเภทอาคาร

3.1.1 ที่มาของข้อมูลและจำนวนข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลที่จำเป็นประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณงานและข้อมูลกายภาพของอาคาร ดังนั้นเอกสารที่จำเป็นจึงประกอบด้วย บัญชีแสดงปริมาณเนื้องานและแบบก่อสร้าง แต่เนื่องจากเอกสารเหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและบางหน่วยงานไม่ต้องการเปิดเผย ดังนั้นการรวบรวมเอกสารข้อมูลเหล่านี้จากหน่วยงานต่างๆจึงมีข้อจำกัดหลายประการ

ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลของอาคารชุดพักอาศัยที่ได้ทำการก่อสร้างเสร็จสิ้นไปแล้ว และอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร เนื่องจากมีเวลาในการวิจัยที่จำกัดและแหล่งข้อมูลมีจำนวนจำกัด จึงสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนรวมได้ทั้งสิ้น 41 โครงการ และเมื่อนำมารวมกับข้อมูลเก่าจากวิทยานิพนธ์เรื่องการสร้างแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานเพื่อใช้ตรวจสอบราคางานก่อสร้างจำนวน 13 โครงการ ทำให้มีข้อมูลโครงการอาคารชุดพักอาศัยรวมทั้งสิ้น 54 โครงการ

3.1.2 สมมุติฐานในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีที่มาจากหลายหน่วยงาน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีสมมติฐานเกี่ยวกับข้อมูลในงานวิจัยดังนี้

ก. วิเคราะห์ข้อมูลโดยการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากหน่วยงานต่างๆ โดยไม่คำนึงว่าแต่ละหน่วยงานจะมีข้อแตกต่างในเรื่องระเบียบและกฎเกณฑ์ในการถอดแบบหรือการประมาณราคาเพื่อประมูลงานก่อสร้าง

ข. วิเคราะห์ข้อมูลโดยไม่คำนึงว่าข้อมูลจะมีแนวโน้มเอียงหรือเบี่ยงเบนเนื่องจากการประมูลที่มีการตัดราคา หรือการฮั้วงานกัน

3.1.3 ความจำเป็นในการแบ่งประเภทอาคาร

จากวิทยานิพนธ์เรื่องการสร้างแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานเพื่อใช้ตรวจสอบราคางานก่อสร้างได้แสดงให้เห็นแล้วว่าการแบ่งประเภทอาคารให้ละเอียดเป็นสิ่งสำคัญซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ได้แบ่งประเภทอาคารตามลักษณะการใช้สอยอาคารออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ อาคารจอดรถ บ้านพักอาศัย อาคารสำนักงานทั่วไป อาคารพักอาศัย อาคารสูงสำหรับสำนักงาน และอาคารสูงสำหรับพักอาศัย และพบว่าสัดส่วนเนื้องานบางชนิดของอาคารต่างๆมีความแตกต่างกัน เช่น สัดส่วนแบบหล่อต่อคอนกรีตระหว่างอาคารพักอาศัยและอาคารจอดรถ มีความแตกต่างกัน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกอาคารพักอาศัยมาเป็นกรณีศึกษา เพื่อพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมในการจัดแบ่งประเภทอาคาร เหตุผลในการเลือกศึกษาอาคารประเภทนี้ ก็เนื่องมาจากอาคารพักอาศัยเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้พื้นที่ภายในอาคารคล้ายคลึงกันมากกว่าอาคารประเภทอื่นๆ ตัวอย่างเช่น รูปแบบของอาคารซึ่งแบ่งเป็นห้องพักที่มีขนาดเท่าๆกัน เป็นต้น ดังนั้น ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานจึงมีโอกาสที่จะสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ออกมาได้ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยอื่นๆ เช่น รูปร่างของอาคาร ระบบโครงสร้าง หรือระดับของผู้ใช้อาคารก็อาจจะมีผลกระทบต่อสัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องาน ตัวอย่างเช่น การเลือกใช้พื้นสำเร็จรูปหรือการหล่อพื้นคอนกรีตในที่อาจจะส่งผลกระทบต่อปริมาณคอนกรีตและไม้แบบที่ใช้ในโครงการ ดังนั้นสัดส่วนเนื้องานของการก่อสร้างอาคารด้วยสองวิธีการนี้จึงควรจะแตกต่างกัน เป็นต้น

จากเหตุผลดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการแบ่งประเภทอาคารของข้อมูลที่ได้รวบรวมมา เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาสัดส่วนเนื้องานของอาคารพักอาศัยแต่ละประเภทที่มีมีความแปรปรวนต่ำลง และจะทำให้ประมาณมูลค่างานได้แม่นยำมากขึ้น

3.1.4 แนวคิดและวิธีการในการแบ่งประเภทอาคารพักอาศัย

จากข้อมูลที่ได้รวบรวมในเบื้องต้น พบว่าอาคารพักอาศัยที่รวบรวมมามีความแตกต่างกันในหลายประเด็นด้วยกัน ได้แก่ ระบบโครงสร้างของอาคาร การเลือกใช้พื้นสำเร็จรูปหรือหล่อในที่ ระดับความสวยงามของอาคาร ลักษณะของผู้ใช้อาคาร รูปทรงของอาคาร รูปแบบห้องพัก และลักษณะกรรมสิทธิ์ในการครอบครองห้องพัก เป็นต้น

เนื่องจากในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานจะแบ่งเป็นเนื้องานในหมวดโครงสร้างและสถาปัตยกรรม ดังนั้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องแยกพิจารณาแบ่งประเภทอาคารตามหมวดงาน

ในหมวดโครงสร้าง เมื่อได้เก็บรวบรวมข้อมูลในเบื้องต้นได้จำนวนหนึ่งแล้ว จึงได้ทำการทดสอบความเหมาะสมในการแบ่งประเภทอาคาร โดยวิธีการต่าง ได้แก่

1. แบ่งเป็นอาคารโครงสร้างระบบคานพื้น และอาคารโครงสร้างระบบพื้นไร้คาน
2. แบ่งเป็นอาคารที่ก่อสร้างใช้พื้นหล่อในที่ อาคารที่ก่อสร้างโดยใช้พื้นสำเร็จรูป
3. แบ่งประเภทอาคารตามความสูง
4. แบ่งประเภทอาคารตามรูปร่าง

หลังจากได้ทดลองแบ่งประเภทอาคารในเบื้องต้นดูแล้ว พบว่าปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อเนื้องานโครงสร้าง ควรจะเป็นปัจจัยทางด้านการออกแบบโครงสร้างพื้น หรือการเลือกใช้พื้นสำเร็จรูป เนื่องจากระบบโครงสร้างพื้นที่แตกต่างกันซึ่งได้แก่ ระบบโครงสร้างแบบคานและพื้น และระบบโครงสร้างแบบพื้นไร้คาน ทำให้วิธีการออกแบบโครงสร้าง และวิธีการทำงานแตกต่างกัน และส่งผลต่อปริมาณวัสดุในงานโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย ในทำนองเดียวกัน การเลือกใช้พื้นสำเร็จรูปหรือหล่อพื้นในที่ ก็มีความแตกต่างในด้านการออกแบบและวิธีการทำงานเช่นเดียวกับการออกแบบทางโครงสร้างพื้น

สำหรับการแบ่งประเภทอาคารวิธีอื่นๆได้แก่ การพยายามจัดช่วงชั้นความสูงของอาคารออกเป็น 2 ถึง 3 กลุ่ม พบว่า ตัวเลขสัดส่วนจากการวิเคราะห์ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอาคารที่มีความสูงต่างกัน สาเหตุอาจเนื่องมาจากอาคารที่รวบรวมมาทั้งหมดเป็นอาคารในแนวราบและเป็นอาคารพักอาศัยเหมือนกัน ดังนั้นวิธีการออกแบบ การคิดน้ำหนักบรรทุกและแรงต่างๆที่เกี่ยวข้องในการออกแบบจึงคล้ายคลึงกัน ทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัดส่วนให้เห็นชัดเจนได้

สำหรับการแบ่งประเภทอาคารด้วยลักษณะของรูปร่างอาคาร โดยพยายามแบ่งออกเป็น 2 ถึง 3 กลุ่ม เช่น กลุ่มอาคารที่มีรูปร่างตามปกติ หมายถึง เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และกลุ่มอาคารที่มีรูปทรงผิดจากปกติ ได้แก่ อาคารรูปทรงกลม อาคารรูปทรงหลายเหลี่ยม โดยมีสมมุติฐานว่าอาคารที่มีรูปทรงต่างจากสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาจจะมีการออกแบบลักษณะและความยาวช่วงเสาที่แตกต่างกัน รวมทั้งวิธีการทำงานที่ยากขึ้น ทั้งหมดนี้อาจส่งผลต่อปริมาณเนื้องานหมวดโครงสร้างได้ แต่ผลที่ได้พบว่าตัวเลขสัดส่วนที่วิเคราะห์ได้ในเบื้องต้นไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการแบ่งประเภทอาคารเพื่อวิเคราะห์เนื้องานในหมวดโครงสร้าง จึงพิจารณาจากปัจจัยด้านระบบโครงสร้างของอาคาร

ในหมวดงานสถาปัตยกรรม พบว่าการแบ่งประเภทอาคารในการวิเคราะห์สัดส่วนของเนื้องานทำได้ยาก เนื่องจากการออกแบบงานสถาปัตยกรรมไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอน อย่างไรก็ตาม ถ้าสามารถแบ่งประเภทอาคารที่มีลักษณะของงานสถาปัตยกรรมที่ใกล้เคียงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ ก็น่าจะมีโอกาสที่สัดส่วนของเนื้องานของอาคารแต่ละกลุ่มจะมีความแตกต่างกันและนำมาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างเช่น การแบ่งประเภทด้วยระดับความหรูหราของอาคารซึ่งมีความสัมพันธ์กับการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุในงานสถาปัตยกรรม อย่างไรก็ตามการจะแบ่งอาคารตามระดับความหรูหรา สามารถพิจารณาจากปัจจัยหลายด้านเช่น ระดับของผู้ใช้อาคาร ระดับคุณภาพของวัสดุตกแต่งที่เลือกใช้ ลักษณะของงานตกแต่งพื้นหรืองานฝ้าเพดาน หรือมูลค่าของต้นทุนค่าก่อสร้างเมื่อหักมูลค่าที่ดิน เป็นต้น ดังนั้น หลังจากการเก็บข้อมูลในเบื้องต้นได้จำนวนพอสมควร จึงได้ทดลองแบ่งประเภทอาคารเพื่อวิเคราะห์เนื้องานสถาปัตยกรรมหลายวิธีด้วยกันได้แก่

1. แบ่งเป็น แฟลต อพาร์ทเมนท์ และคอนโดมิเนียม
2. แบ่งเป็น อาคารชุดพักอาศัยให้เช่าห้องพัก และแบบให้ซื้อห้องพัก
3. แบ่งเป็น อาคารชุดพักอาศัยที่มีวัสดุตกแต่งฝ้าเพดาน และไม่มีวัสดุตกแต่งฝ้าเพดาน
4. แบ่งเป็น อาคารชุดพักอาศัยแบบห้องพักเดี่ยว และแบบห้องพักชุด

จากการทดลองในเบื้องต้น พบว่า วิธีแบ่งอาคารชุดพักอาศัยเป็นแฟลต อพาร์ทเมนท์ และคอนโดมิเนียม ไม่ทำให้สัดส่วนเนื้องานจากการวิเคราะห์มีความแตกต่างที่ชัดเจนได้ ทั้งนี้เนื่องมากจากลักษณะของงานสถาปัตยกรรมที่ใกล้เคียงกัน เช่น อพาร์ทเมนท์บางโครงการมีลักษณะใกล้เคียงกับแฟลต หรือคอนโดมิเนียมบางโครงการมีลักษณะใกล้เคียงกับอพาร์ทเมนท์ เป็นต้น และการที่จะกำหนดให้ชัดเจนว่าอาคารประเภทใดคือแฟลต อพาร์ทเมนท์หรือคอนโดมิเนียมก็ทำได้ยากเนื่องจากจะจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายๆด้าน

สำหรับวิธีที่สองคือการแบ่งตามกรรมสิทธิ์ครอบครอง ซึ่งแบ่งอาคารออกเป็นสองกลุ่มคือแบบให้เช่าและแบบให้ซื้อ พบว่าไม่ทำให้สัดส่วนเนื้องานจากการวิเคราะห์มีความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะงานสถาปัตยกรรมที่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับวิธีแรก

วิธีที่สาม ซึ่งเป็นวิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือการแบ่งประเภทของอาคารจากลักษณะของงานตกแต่งฝ้าเพดานของพื้นที่ส่วนพักอาศัยซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนหลักของอาคารออกเป็น 2 ประเภท คือ อาคารชุดพักอาศัยที่ตกแต่งส่วนพักอาศัยด้วยวัสดุตกแต่ง ได้แก่ ฝ้าเพดานชนิดต่างๆ และอาคารชุดพักอาศัยที่ไม่มีการตกแต่งส่วนพักอาศัยด้วยวัสดุตกแต่ง แต่ใช้วิธีฉาบผิวโครงสร้างและทาสีในการตกแต่งฝ้า สาเหตุที่เลือกวิธีนี้ก็เนื่องจากลักษณะของงานสถาปัตยกรรมที่สามารถแยกให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจน กล่าวคือ อาคารชุดพักอาศัยที่ไม่มีการตกแต่งส่วนพักอาศัยด้วยวัสดุตกแต่ง มักจะเป็นอาคารที่มีงานสถาปัตยกรรมที่คุณภาพปานกลางถึงต่ำ ราคาไม่สูง เช่น กระเบื้องพื้นห้องน้ำส่วนใหญ่จะใช้กระเบื้องขนาดเล็ก กระเบื้องพื้นห้องพักมักเป็นกระเบื้องยาง

เป็นต้น ในขณะที่อาคารชุดพักอาศัยที่ตกแต่งส่วนพักอาศัยด้วยวัสดุตกแต่ง มักจะเป็นอาคารที่งานสถาปัตยกรรมมีคุณภาพสูง ใช้วัสดุที่ราคาสูงกว่าประเภทแรก เช่นกระเบื้องพื้นห้องน้ำส่วนใหญ่จะใช้กระเบื้องขนาดใหญ่หรือหินอ่อน ผนังอาจใช้แกรนิต และกระเบื้องพื้นห้องพักอาจเป็นหินอ่อนหรือปาร์เกต์เป็นต้น ผลการทดลองแบ่งเบื้องต้นพบว่ามีผลกระทบต่อปริมาณและสัดส่วนมูลค่างานสถาปัตยกรรมบางชนิด เช่น งานทาสี งานฝ้าเพดาน เป็นต้น

วิธีที่สี่ จะแบ่งอาคารชุดพักอาศัย เป็นสองประเภทคือ แบบห้องพักแบบห้องเดี่ยวและแบบห้องพักแบบห้องชุด เนื่องจากการศึกษาแบบของพื้นที่พักอาศัยของอาคารที่แบ่งห้องพักเป็นห้องเดี่ยวขนาดประมาณ 4 × 6 เมตร มีห้องน้ำและระเบียงในตัว กับอาคารที่แบ่งห้องพักเป็นห้องชุดขนาดพื้นที่ต่อหนึ่งยูนิตไม่ต่ำกว่า 40 ตารางเมตร มีห้องน้ำ ห้องครัว ห้องนั่งเล่นและระเบียง พบว่าขนาดของห้องพักที่แตกต่างกัน และการเพิ่มขึ้นของห้องครัวหรือห้องนั่งในห้องชุด น่าจะส่งผลให้ปริมาณเนื้องานและทำให้การเลือกใช้วัสดุในงานสถาปัตยกรรมของอาคารพักอาศัยประเภทห้องเดี่ยวและห้องชุดแตกต่างกัน ดังนั้นในการแบ่งประเภทอาคารเพื่อวิเคราะห์เนื้องานหมวดสถาปัตยกรรม จึงพิจารณาจากปัจจัยด้านรูปแบบของห้องพักด้วย

ในหมวดงานระบบวิศวกรรม จะใช้แนวทางการแบ่งประเภทอาคารด้วยรูปแบบของห้องพักเช่นเดียวกับงานสถาปัตยกรรม เนื่องจากห้องพักแบบห้องชุดโดยทั่วไปจะมีฟังก์ชั่นการใช้งานที่มากกว่าห้องเดี่ยว เช่น มีห้องครัว มีห้องทำงาน ในขณะที่ห้องเดี่ยวจะมีเพียงห้องน้ำเท่านั้น ดังนั้นปริมาณงานระบบวิศวกรรมจึงควรที่จะแตกต่างกัน นอกจากนั้น เนื่องจากรูปแบบของพื้นที่ภายในอาคารที่แตกต่างกัน เช่นอาคารพักอาศัยแบบห้องชุดมีพื้นที่ส่วนพักอาศัยมากกว่าและมีพื้นที่ทางเดินในอาคารน้อยกว่าอาคารพักอาศัยแบบห้องเดี่ยว การแบ่งด้วยรูปแบบของห้องพักนี้คาดว่าอาจจะส่งผลให้สัดส่วนปริมาณงานระบบวิศวกรรมมีความแตกต่างกันได้

3.1.5 สรุปประเภทอาคารพักอาศัยในการวิจัย

สรุปประเภทอาคารพักอาศัยที่จะดำเนินการศึกษา

การวิเคราะห์เนื้องานในหมวดโครงสร้าง แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้โครงสร้างระบบคานพื้น และใช้พื้นหล่อในที่
2. อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้โครงสร้างระบบคานพื้น และใช้พื้นสำเร็จรูป
3. อาคารชุดพักอาศัยที่ใช้โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน

การวิเคราะห์เนื้องานในหมวดสถาปัตยกรรม แบ่ง 2 วิธี

วิธีแรก - วิเคราะห์สัดส่วนเนื้องาน

1. อาคารชุดพักอาศัยที่มีฝ้าเพดานในพื้นที่ส่วนพักอาศัย

2. อาคารชุดพักอาศัยที่ไม่มีฝ้าเพดานในพื้นที่ส่วนพักอาศัย

วิธีที่สอง - วิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอย

1. อาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นห้องเดี่ยว
2. อาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นห้องชุด

การวิเคราะห์เนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. อาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นห้องเดี่ยว
2. อาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นห้องชุด

3.2 การวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าเนื้องานเพื่อหาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก

3.2.1 จุดประสงค์ในการหาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก

การวิเคราะห์หาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้าง มีจุดประสงค์เพื่อเลือกรายการเนื้องานที่มีสัดส่วนของมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานทั้งโครงการค่อนข้างสูง หรืออีกนัยหนึ่งคือ เลือกเนื้องานที่มีผลกระทบต่อมูลค่าโครงการค่อนข้างมากเป็นตัวแทนเนื้องานทั้งหมดในการวิจัย เนื่องจากไม่สามารถนำเนื้องานทั้งหมดมาวิเคราะห์ได้ เพราะในแต่ละโครงการมีรายละเอียดปลีกย่อยมากมายและแตกต่างกัน อีกทั้งการนำปริมาณเนื้องานทั้งหมดมาวิเคราะห์ก็จะเป็นการเสียเวลาและไม่เหมาะสม เนื่องจากปริมาณงานทั้งหมดสามารถทราบโดยละเอียดได้โดยการถอดแบบอย่างละเอียดเท่านั้น

เมื่อทราบเนื้องานที่เป็นหลักแล้ว จะต้องทราบถึงสัดส่วนมูลค่าของปัจจัยหลักนั้นต่อราคางานทั้งหมดด้วย เนื่องจากในการประยุกต์ใช้สัดส่วนเนื้องานในการประมาณมูลค่าโครงการจะต้องทราบสัดส่วนของปัจจัยหลักต่อมูลค่าโครงการเพื่อให้สามารถคำนวณเทียบเป็นมูลค่าโครงการทั้งหมดได้นั่นเอง

3.2.2 หลักการในการเลือกเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก

ในการเลือกเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก สามารถทำได้โดยการเรียงลำดับสัดส่วนมูลค่าของเนื้องานจากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด จากนั้นจึงพิจารณาเลือกเนื้องานที่มีสัดส่วนมูลค่าสูงในลำดับต้นๆเป็นปัจจัยหลัก จำนวนปัจจัยหลักที่เหมาะควรจะทำให้สัดส่วนมูลค่ารวมของเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักต่อมูลค่าโครงการสูงกว่า 60% ขึ้นไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 ผลกระทบจากข้อจำกัดในการรวบรวมข้อมูลในงานวิจัย

เนื่องจากต้องรวบรวมแบบก่อสร้างของอาคารพักอาศัยจำนวนมาก และบางหน่วยงานก็ไม่ประสงค์ที่จะให้นำแบบก่อสร้างมาใช้ในงานวิจัย เนื่องจากเป็นลิขสิทธิ์ของเจ้าของโครงการและถือว่าเป็นข้อมูลความลับ ทำให้ในบางโครงการไม่สามารถรวบรวมแบบสถาปัตยกรรมได้ครบถ้วน เนื้องานที่ต้องถอดปริมาณจากแบบได้แก่ พื้นที่ของประตูและหน้าต่างจึงไม่สามารถรวบรวมได้ครบถ้วน และไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในการวิจัยได้ อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยคือเลือกเนื้องานที่มีสัดส่วนมูลค่าสูงลำดับถัดไปมาทดแทน

3.3 การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานในหมวดโครงสร้าง

การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานในหมวดโครงสร้างประกอบด้วย การหาสัดส่วนของเนื้องานต่อพื้นที่ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถคำนวณหาปริมาณเนื้องานได้เมื่อทราบพื้นที่ใช้สอย และการหาสัดส่วนระหว่างเนื้องาน มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการตรวจสอบและสามารถใช้ในการหาปริมาณเนื้องานชนิดหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนกับปริมาณงานอีกชนิดหนึ่งได้

3.3.1 แนวทางการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานโครงสร้าง

เนื้องานที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ เนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้างในหมวดโครงสร้าง และวิธีการวิเคราะห์จะต้องคาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานสองชนิดซึ่งมีโอกาสมีความสัมพันธ์กัน ตัวอย่างเช่น ปริมาณไม้แบบและปริมาณคอนกรีต ควรจะมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้ประกอบในการทำงานคอนกรีต ดังนั้นสัดส่วนปริมาณแบบหล่อต่อปริมาณคอนกรีต (ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ของอาคารประเภทเดียวกันจึงควรมีความสัมพันธ์กันหรือมีความแปรปรวนต่ำนั่นเอง

และจากการแบ่งประเภทอาคารด้วยลักษณะทางโครงสร้าง การใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปและการหล่อพื้นคอนกรีตในที่ มีการใช้ไม้แบบแตกต่างกัน เนื่องจากการใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปทำให้ไม่ต้องมีไม้แบบสำหรับงานพื้น ดังนั้นสัดส่วนแบบหล่อต่อพื้นที่หรือแบบหล่อต่อคอนกรีตของอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปและอาคารที่หล่อพื้นคอนกรีตในที่จึงควรจะแตกต่างกัน สำหรับสัดส่วนเนื้องานอื่นๆก็สามารถวิเคราะห์ได้ในทำนองเดียวกัน ตัวอย่างเช่น สัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต สัดส่วนเสาเข็มต่อคอนกรีต เป็นต้น

3.3.2 ประโยชน์และการนำสัดส่วนเนื้องานที่ได้จากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้

สัดส่วนที่วิเคราะห์ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายแนวทางด้วยกัน แนวทางแรกคือการนำมาใช้ในการประมาณเนื้องานเพื่อเป็นข้อมูลในการเตรียมวัสดุก่อสร้างหลักๆ ได้แก่ คอนกรีต ไม้แบบ เหล็กเสริม เป็นต้น แนวทางที่สองคือการนำมาใช้ในการประมาณมูลค่างานโครงสร้างหรือมูลค่างานโครงการอย่างคร่าวๆได้ โดยการใส่ราคาต่อหน่วยของเนื้องานที่ประมาณได้แล้วคำนวณเทียบกลับเป็นมูลค่ารวมของงานโครงสร้างหรือมูลค่ารวมของโครงการ และแนวทางที่สามคือการนำสัดส่วนมาใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบปริมาณงานจากการถอดแบบ แต่ความถูกต้องและความเชื่อมั่นในการนำไปใช้ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนที่สามารถวิเคราะห์ได้

3.4 การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานในหมวดงานสถาปัตยกรรม

การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานในหมวดงานสถาปัตยกรรมจะใช้วิธีรวมตารางเมตรของงาน เช่น งานพื้นเป็นผลรวมตารางเมตรของงานพื้นทั้งหมด งานผนังเป็นผลรวมของงานก่อผนังเพียงด้านเดียว เป็นต้น (สมชาติ, 1999) พบว่าการนำสัดส่วนเนื้องานในหมวดสถาปัตยกรรมบางชนิดไปใช้งาน จะมีปัญหาในเรื่องการใส่ราคาต่อหน่วย เนื่องจากเนื้องานสถาปัตยกรรม เช่น งานพื้นหรืองานฝ้าเพดาน เป็นผลรวมตารางเมตรของงานพื้นหลากหลายประเภท การนำไปใช้งานจึงไม่ทราบว่าจะใส่ราคาต่อหน่วยเท่าไร สำหรับงานผนังและงานทาสี ก็พบปัญหาเช่นเดียวกันแต่ก็พอจะสามารถใส่ราคาต่อหน่วยได้ง่ายกว่างานพื้นและงานฝ้า เนื่องจากงานผนัง ได้มาจากงานก่อผนังด้วยอิฐหรือคอนกรีตบล็อกเท่านั้น เช่นเดียวกับงานทาสีซึ่งประกอบด้วยงานทาสีพลาสติกและงานทาสีน้ำมัน เป็นต้น ดังนั้นการประมาณเนื้องานหมวดสถาปัตยกรรม ด้วยสัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่ และเนื้องานต่อเนื้องาน จึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ

จากที่ได้ศึกษาผลงานที่ผ่านมา รวมทั้งวิธีการประมาณราคางานของหน่วยงานต่างๆ พบว่าสามารถพัฒนาการประมาณเนื้องานสถาปัตยกรรมแล้วนำผลการวิเคราะห์ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ จากที่ได้ศึกษา พบว่า การเลือกใช้วัสดุตกแต่งในอาคารพักอาศัยมีความสัมพันธ์กับลักษณะการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใช้สอย ตัวอย่างเช่น พื้นที่ห้องน้ำซึ่งพื้นจะต้องเปียกมากกว่าพื้นที่ส่วนอื่นๆในอาคารมักจะเลือกใช้วัสดุตกแต่งที่ป้องกันการซึมน้ำและทนต่อความชื้นได้ดี เช่นกระเบื้องเคลือบหรือหินแกรนิต เป็นต้น ในทำนองเดียวกันพื้นที่ส่วนระเบียงซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ใดๆ งานพื้นอาจเพียงแค่การขัดมันเท่านั้น แต่ในส่วนห้องพักซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนหลักของอาคารและเป็นพื้นที่ปริมาณมากอาจจะใช้วัสดุที่คงทนและราคาไม่แพง เช่น กระเบื้องยางหรือกระเบื้องหินขัด เป็นต้น การที่ชนิดของวัสดุตกแต่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะพื้นที่ใช้สอยเช่นนี้ ทำให้ถ้าสามารถวิเคราะห์หาสัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยลักษณะต่างๆในอาคารได้ และทราบ

พื้นที่ของโครงการที่กำลังจะสร้างใหม่ ก็จะสามารถคำนวณหาพื้นที่ใช้สอยชนิดต่างๆของอาคารได้ และเมื่อคูณราคาต่อหน่วยของวัสดุตกแต่งที่เลือกใช้สำหรับพื้นที่ใช้สอยชนิดต่างๆ ก็จะสามารถประมาณมูลค่างานสถาปัตยกรรมเช่นงานพื้นหรืองานฝ้าเพดานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแบ่งพื้นที่ใช้สอยในอาคารจะต้องพิจารณาเลือกพื้นที่ซึ่งมีความแตกต่างในการเลือกใช้วัสดุตกแต่ง จากการตรวจสอบแบบสถาปัตยกรรมบางส่วนของข้อมูลที่รวบรวมได้ พบว่าพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่มีความแตกต่างของการเลือกใช้วัสดุตกแต่ง ได้แก่ พื้นที่พักอาศัย พื้นที่ทางเดิน พื้นที่ห้องน้ำ และพื้นที่ระเบียง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์สัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทพื้นทั้ง 4 ชนิดข้างต้นนี้

3.4.1 แนวทางการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรม

แนวทางในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่ เช่น งานพื้นต่อพื้นที่ งานผนังต่อพื้นที่ งานทาสีต่อพื้นที่ เป็นต้น การวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างเนื้องาน เช่น งานผนังต่องานพื้น งานทาสีต่องานผนังเป็นต้น และการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เช่น พื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ห้องน้ำต่อพื้นที่ทั้งหมด เป็นต้น โดยเนื้องานที่นำมาวิเคราะห์คือเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของงานหมวดสถาปัตยกรรม

3.4.2 ประโยชน์และการนำสัดส่วนเนื้องานที่ได้จากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้

การนำสัดส่วนเนื้องานหมวดสถาปัตยกรรมไปประยุกต์ใช้แบ่งเป็นสองวิธี สำหรับงานผนังและงานฝ้าเพดาน สามารถประมาณเนื้องานและใส่ราคาต่อหน่วยได้โดยตรง แต่สำหรับเนื้องานประเภทงานพื้นและงานฝ้าเพดาน เนื่องจากถ้าใช้ปริมาณเนื้องานเหมือนกับงานผนัง จะใส่ราคาต่อหน่วยไม่ได้ ดังนั้นจะใช้วิธีคำนวณพื้นที่ใช้สอยแต่ละชนิดของอาคารจากสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยแล้วจึงใส่ราคาต่อหน่วยตามวัสดุที่เลือกใช้เพื่อคำนวณหามูลค่างานต่อไป

3.5 การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรม

การประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมในช่วงศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีค่าเฉลี่ยมูลค่าต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้สอย หรือใช้สัดส่วนมูลค่าของงานระบบวิศวกรรมเทียบกับมูลค่าของโครงการ ซึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวนี้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะถ้าจัดแบ่งประเภทอาคารไม่ละเอียดเพียงพอ เนื่องจากงานระบบวิศวกรรมมีขอบเขต

ของงานหรือรายละเอียดของเนื้องานที่หลากหลายและซับซ้อน การนำค่าเฉลี่ยไปใช้งานจะต้องนำไปใช้กับอาคารประเภทเดียวกันและมีขอบเขตหรือรายละเอียดของงานคล้ายคลึงกัน

วิธีค่าเฉลี่ยมูลค่าซึ่งนิยมใช้โดยทั่วไป (Means Mechanical Cost Data, 1987) เป็นวิธีซึ่งสามารถประมาณมูลค่างานโดยคร่าวๆได้เท่านั้น โดยนำไปใช้งานต้องพิจารณาประเภทอาคารซึ่งได้แบ่งไว้ตามลักษณะการใช้สอยอาคาร เช่น อาคารพักอาศัยหรืออาคารสำนักงาน เป็นต้น ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือความแปรปรวนจากราคาต่อหน่วยเนื้องานของวัสดุก่อสร้างที่เลือกใช้ และความแปรปรวนของราคาวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปทุกปี ดังนั้นหากสามารถหาวิธีประมาณเนื้องานระบบวิศวกรรมที่สามารถใส่ราคาต่อหน่วยเพื่อคำนวณมูลค่าได้ ก็จะเป็นวิธีการประมาณมูลค่างานระบบที่สามารถลดความแปรปรวนจากผลของราคาต่อหน่วยได้

3.5.1 ข้อจำกัดในการศึกษาการประมาณเนื้องานระบบวิศวกรรม

การวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมจะต้องกำหนดขอบเขตของงานระบบวิศวกรรมที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน เนื่องจากเมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ต้องทราบข้อกำหนดเหล่านี้ ในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดขอบเขตของงานระบบโดยพิจารณาเฉพาะงานระบบที่มีความจำเป็น อาคารพักอาศัยทุกหลังต้องมี และเลือกศึกษาเฉพาะงานระบบภายในอาคาร เนื่องจากคาดว่าจะช่วยให้การวิเคราะห์มีความแปรปรวนต่ำลงได้ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงความสมบูรณ์ของข้อมูลด้วยเนื่องจากข้อมูลที่ต้องรวบรวมในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนมาก ทั้งรายละเอียดของงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรมและงานระบบวิศวกรรม ในบางโครงการงานระบบวิศวกรรมถูกรับช่วงต่อโดยผู้รับเหมาช่วง ทำให้ข้อมูลกระจัดกระจาย ต้องรวบรวมจากหลายหน่วยงาน บางโครงการก็ไม่ได้คิดมูลค่างานอย่างละเอียด แต่ใช้วิธีเหมารวมทำให้ไม่มีรายละเอียดของข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ได้ครบถ้วนทุกโครงการ

3.5.2 แนวทางการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรม

จากการทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมาและหนังสือการประมาณราคาในหัวข้อที่เกี่ยวกับการศึกษาวิธีการประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมโดยการประมาณเนื้องาน พบว่า มีการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในการประมาณองค์ประกอบของงานระบบบางรายการได้ เช่นการประมาณมูลค่างานระบบดับเพลิง โดยนับจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงหรือคำนวณหาจำนวนจากสัดส่วนจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงต่อตารางเมตรของพื้นที่ซึ่งเป็นข้อกำหนดของการก่อสร้างอาคาร จากนั้นใส่ราคาต่อหน่วยให้กับจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงโดยราคาต่อหน่วยนี้ก็จะประกอบด้วยราคาวัสดุและค่าแรงในการติดตั้งหัวฉีด และมูลค่าการเดินระบบท่องานดับเพลิงเฉลี่ยต่อหัวฉีดน้ำ

ดับเพลิงหนึ่งจุด ซึ่งมูลค่าการเดินท่อเฉลี่ยนี้ได้จากประสบการณ์ของผู้ที่ชำนาญในงานติดตั้งระบบดับเพลิง หรือจากฐานข้อมูลของโครงการที่มีขนาดและรูปแบบใกล้เคียงกัน (Diamant and Tumblin, 1990)

ดังนั้น แนวทางในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องาน จะต้องเริ่มจากการเลือกเนื้องานเป็นตัวแทนขององค์ประกอบในงานระบบ เช่น ในงานระบบให้แสงสว่าง อาจเลือกจำนวนดวงโคมเป็นตัวแทนเป็นต้น แต่การเลือกเนื้องานต้องพิจารณาเลือกให้ได้เนื้องานที่มีความสัมพันธ์บางอย่างกับพารามิเตอร์ของอาคาร ตัวอย่างเช่น จำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงมีความสัมพันธ์กับตารางเมตรของพื้นที่ หรือในงานระบบดวงโคม นอกจากจำนวนดวงโคมอาจทดลองใช้กำลังไฟรวมของดวงโคมเป็นตัวแปร เนื่องจากในการออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารทั่วไป จะกำหนดความเข้มของการส่องสว่างต่อพื้นที่เอาไว้ และเนื่องจากความเข้มดังกล่าวกับกำลังวัตต์ของดวงโคมก็มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น สัดส่วนของกำลังไฟรวมของดวงโคมน่าจะมีความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนต่อพื้นที่ เป็นต้น การเลือกเนื้องานเป็นตัวแปรมีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้าเลือกเนื้องานที่เหมาะสม จะทำให้มีโอกาสได้สัดส่วนที่มีความแปรปรวนต่ำ และใส่ราคาต่อหน่วยเนื้องานได้ง่าย

ในงานวิจัยนี้ จะแบ่งงานระบบวิศวกรรมที่ทำการศึกษาออกเป็นสองหมวดคือ งานระบบสุขาภิบาลและงานระบบไฟฟ้า ในแต่ละหมวดจะมีองค์ประกอบย่อยๆอยู่หลายหมวดซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.5.3 การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานงานระบบสุขาภิบาล

ในงานวิจัยนี้จะเลือกทำการศึกษาเฉพาะงานระบบสุขาภิบาลภายใน แต่ไม่รวมงานระบบดับเพลิงเนื่องจากมีข้อมูลบางโครงการที่ไม่มีการติดตั้งระบบนี้ ถ้านำมาวิเคราะห์รวมกันจะทำให้ค่าที่ได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง

ดังนั้นองค์ประกอบของงานระบบสุขาภิบาลภายในอาคารได้แก่ งานระบบน้ำดี งานระบบน้ำทิ้ง และระบบควบคุม และเนื้องานที่นำมาเป็นตัวแปรในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ความยาวท่อของแต่ละระบบ ได้แก่ ความยาวท่องานระบบน้ำดี และความยาวท่องานระบบน้ำ สาเหตุที่ใช้ความยาวท่อเป็นตัวแปรก็เนื่องจากความยาวท่อเป็นเนื้องานที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับมูลค่างานสุขาภิบาล นอกจากนั้น ความยาวท่อเป็นหน่วยวัดที่ใช้ในการถอดแบบโดยทั่วไปอยู่แล้ว การวิเคราะห์สัดส่วนความยาวจึงมีความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการถอดแบบ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วน จะประกอบด้วย 4 หัวข้อคือ สัดส่วนของเนื้องานต่อพื้นที่ สัดส่วนระหว่างเนื้องาน สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อเนื้องาน และสัดส่วนมูลค่าของงานองค์ประกอบต่อมูลค่างานระบบสุขาภิบาล

3.5.4 การวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานระบบไฟฟ้า

งานระบบไฟฟ้าในอาคารมีหลายองค์ประกอบด้วยกันได้แก่ งานระบบควบคุมโหลด งานดวงโคม งานสวิทซ์และเต้าเสียบ งานสายไฟและท่อ งานระบบป้องกันฟ้าผ่า งานระบบโทรทัศน์ งานระบบโทรศัพท์ และงานระบบไฟฉุกเฉิน แต่เนื่องจากมูลค่างานระบบบางงานมีสัดส่วนเมื่อเทียบกับมูลค่ารวมค่อนข้างต่ำ เช่น งานระบบป้องกันฟ้าผ่า งานระบบโทรทัศน์ งานระบบโทรศัพท์ และงานระบบไฟฉุกเฉิน ประกอบกับการออกแบบงานระบบไฟฟ้าในอาคารจะเน้นไปที่การออกแบบงานระบบแสงสว่างเป็นหลัก ดังนั้นงานปลีกย่อยอื่นๆจึงไม่รวมศึกษาในงานวิจัยนี้

ดังนั้นองค์ประกอบหลักในงานไฟฟ้าได้แก่ แก่ งานระบบควบคุมโหลด งานดวงโคม งานสวิทซ์และเต้าเสียบ งานสายไฟและท่อ โดยเนื้องานที่เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ได้แก่ กำลังไฟของดวงโคม(แทนจำนวนชุดดวงโคม) จำนวนสวิทซ์ จำนวนเต้าเสียบ และความยาวสายไฟ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วน จะประกอบด้วย 4 หัวข้อคือ สัดส่วนของเนื้องานต่อพื้นที่ สัดส่วนระหว่างเนื้องาน สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อเนื้องาน และสัดส่วนมูลค่าของงานองค์ประกอบต่อมูลค่างานระบบไฟฟ้า

3.5.5 ประโยชน์และการนำสัดส่วนเนื้องานที่ได้จากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้

สัดส่วนเนื้องานระบบที่วิเคราะห์ได้จะมีประโยชน์ในการตรวจสอบเนื้องานอย่างคร่าวๆ และนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณมูลค่างานระบบได้ แม้ว่าการนำเนื้องานที่ประมาณได้ไปใช้อาจจะใส่ราคาต่อหน่วยได้ลำบากในบางเนื้องาน แต่การประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมโดยใช้สัดส่วนเนื้องานก็เป็นแนวทางที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาได้ต่อไปในอนาคตข้างหน้า

3.6 ความจำเป็นในการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณเนื้องานก่อสร้าง

นอกจากการใช้ค่าเฉลี่ยในการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างแล้ว วิธีการสร้างแบบจำลองแทนความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและตัวแปรตามจึงมีความจำเป็น เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว เนื้องานก่อสร้างอาจมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์นอกเหนือจาก

พื้นที่ใช้สอยอีกหลายตัว เช่น จำนวนชั้น ระบบโครงสร้างพื้น ปริมาณพื้นสำเร็จรูป เป็นต้น วิธีการสร้างแบบจำลองแทนความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวที่นิยมใช้กันทั่วไปคือวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง (Multiple Linear Regression) ซึ่งสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Relationship) วิธีการนี้โดยทั่วไปจะให้ความแม่นยำกว่าวิธีค่าเฉลี่ย

อย่างไรก็ตามในการนำวิธีการนี้มาจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น หรือรูปแบบที่ไม่ทราบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้น (Nonlinear Relationship) และไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์แบบวิธีการทั่วไปได้ จึงยากที่จะใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจำลองรูปแบบความสัมพันธ์เหล่านี้ได้ ตัวอย่างเช่น แม้ว่าจำนวนชั้นจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประมาณน้ำหนักเหล็กเสริมในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ในความเป็นจริงแล้ว น้ำหนักของเหล็กเสริมไม่ได้เป็นสัดส่วนเชิงเส้นตรงกับจำนวนชั้นของอาคาร ดังนั้น วิธีการสร้างความสัมพันธ์สัมพันธ์ที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้น (Nonlinear Relationship) จึงมีความจำเป็นในการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง (Yeh, 1999) วิธีการหนึ่งคือวิธีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เป็นวิธีแบบ Nonlinear ที่มีความสามารถในการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนได้ จึงถูกนำมาศึกษาเพื่อทดสอบความเหมาะสมในการประมาณเนื้องานก่อสร้างในงานวิจัยครั้งนี้

3.6.1 จุดประสงค์และขอบเขตในการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีจุดประสงค์เพื่อจะนำเสนอวิธีการใหม่ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประยุกต์ใช้กับการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง และทดสอบความถูกต้องของผลการประมาณจากวิธีนี้เปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไปคือวิธีแบบจำลองวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง

ในงานวิจัยนี้ จะเน้นไปที่การทดลองสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยการหาโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับเนื้องานแต่ละชนิด ขณะเดียวกันก็ต้องคอยกำหนดและควบคุมพารามิเตอร์ระหว่างการพัฒนาเพื่อให้ได้แบบจำลองตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

3.6.2 แนวทางในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้ จะเลือกพัฒนาแบบจำลองสำหรับเนื้องานก่อสร้างที่เป็นปัจจัยหลักของงานก่อสร้างในหมวดโครงสร้างและหมวดสถาปัตยกรรม

3.6.3 ข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง

ข้อมูลในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูล 2 ชุด คือข้อมูลชุดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง ข้อมูลชุดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง (Training set) เป็นข้อมูลที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Efficiency) จะใช้ข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานโดยมีจำนวนทั้งสิ้น 44 โครงการ และสำหรับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง (Testing set) เป็นข้อมูลใหม่เพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องของการนำไปใช้งานจริง (generalization) จะใช้ข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสัดส่วนเนื้องานมีจำนวนทั้งสิ้น 10 โครงการ

3.6.4 โปรแกรมสำเร็จรูปที่เลือกใช้

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จากการพิจารณาข้อมูลโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีในปัจจุบันและขอบเขตของงานวิจัยในส่วนการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัยนี้จึงเลือกได้ใช้โปรแกรม Qnet 2000 ซึ่งมีคุณสมบัติตรงกับความต้องการและตรงกับขอบเขตของงาน สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมเนื่องจากมีปริมาณมากจึงเรียบเรียงไว้ในส่วนภาคผนวก

3.7 รูปแบบโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward Multi-layer Networks เนื่องจากเป็นรูปแบบสากลซึ่งนิยมใช้กันมากที่สุด โครงสร้างจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ Input layer, Hidden layers และ Output layer ทั้ง 3 layer จะเชื่อมกันด้วยเส้นประสาทเทียมและมีทิศทางการส่งผ่านข้อมูลจาก Input layer ไปยัง Output layer

3.7.1 การกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

โครงสร้างส่วนหลักของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวแปรอิสระ (Input) ตัวแปรตาม (Output) และส่วนโครงสร้างที่เป็นหัวใจของแบบจำลองคือ Hidden

layers และ Hidden nodes ซึ่งทำหน้าที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเป็นไปในรูปแบบ Nonlinear

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ พารามิเตอร์ของอาคารซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือปริมาณเนื้องานซึ่งมีที่มาจากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา (สมชาติ, 2542 ; Bhokha,1998) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแปรอิสระดังนี้ คือ

1. พื้นที่ใช้สอยรวมของอาคาร ได้แก่ พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ไม่รวมชั้นดาดฟ้าหลังคา และช่องเปิดขนาดใหญ่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร
2. จำนวนชั้น ได้แก่ จำนวนชั้นของอาคาร ไม่รวมชั้นดาดฟ้าหรือหลังคา มีหน่วยเป็นชั้น
3. ปริมาณพื้นสำเร็จรูป (สำหรับแบบจำลองเนื้องานโครงสร้าง) ได้แก่ตารางเมตรของพื้นสำเร็จรูปที่ใช้ในโครงการ มีหน่วยเป็นตารางเมตร
4. ปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (สำหรับแบบจำลองเนื้องานโครงสร้าง) ได้แก่ ตารางเมตรของพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลังที่ใช้ในโครงการ มีหน่วยเป็นตารางเมตร
5. ระบบโครงสร้าง (สำหรับแบบจำลองเนื้องานโครงสร้าง) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มโครงสร้างระบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก และกลุ่มโครงสร้างระบบพื้นไร้คาน
6. พื้นที่สาธารณะ (สำหรับแบบจำลองเนื้องานสถาปัตยกรรม) ได้แก่ ตารางเมตรของพื้นที่สาธารณะ ซึ่งหมายถึง พื้นที่จอดรถ พื้นที่เอนกประสงค์และพื้นที่ใต้ถุนอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร

การเลือกใช้ตัวแปรอิสระที่กำหนดนี้สำหรับเนื้องานแต่ละชนิดยังมีความแตกต่างกัน เนื่องจากบางปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้องานอย่างมีนัยสำคัญ เช่นในการประมาณเนื้องานเสาเข็ม ปัจจัยด้านปริมาณพื้นสำเร็จรูป พื้นคอนกรีตอัดแรงหรือพื้นที่สาธารณะ ดังนั้นจึงไม่นำไปใช้เป็นปัจจัยในการพัฒนาแบบจำลองของเสาเข็ม (สมชาติ, 2542) รายละเอียดในการเลือกปัจจัยจะสรุปรายละเอียดในบทที่ 4

ตัวแปรอิสระบางตัว อาจพิจารณาได้ว่ามีระดับความสำคัญที่เป็นรองตัวแปรอื่นๆ ตัวแปรดังกล่าวคือตัวแปรอิสระลำดับที่ 3 และ 4 ได้แก่ ปริมาณพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปและปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง อย่างไรก็ตาม ในการส่งข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใดๆกับตัวแปรตามนั้น ไม่สามารถแบ่งแยกการส่งตัวแปรอิสระตามระดับได้ ดังนั้นระดับของตัวแปรจึงไม่มีผลต่อการกำหนดตัวแปรอิสระในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณเนื้องานก่อสร้างและมูลค่างานก่อสร้างแยกตามหมวดหมู่ โดยในงานวิจัยนี้ พัฒนาแบบจำลอง 1 ชุดสำหรับตัวแปรตาม 1 ตัวแปร เท่านั้น ตัวแปรตามได้แก่

1. ปริมาณเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในงานโครงสร้าง 4 ชนิด
2. ปริมาณเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในงานสถาปัตยกรรม 2 ชนิด

สำหรับโครงสร้างส่วน Hidden layers เป็นโครงสร้างส่วนที่ต้องทำการทดลองหาจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยที่เหมาะสม ซึ่งในการวิจัยนี้จะทดลองจำนวน layer สูงสุดเพียง 2 layers เท่านั้น เนื่องจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาและหนังสืออ้างอิงได้แนะนำว่า สำหรับปัญหาทั่วๆไป จำนวน Hidden layers น่าจะเพียงพอสำหรับการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมจะได้จากการทดลอง

3.8 การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.8.1 การแปลงเสกลของข้อมูล

โดยทั่วไป ก่อนที่จะส่งข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายจะต้องทำการแปลงเสกลของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมก่อน (โดยทั่วไปจะแปลงอยู่ในช่วง –1 ถึง 1 เมื่อเลือกใช้ฟังก์ชั่นแปลงค่ารูปแบบ Sigmoid Function) แต่งานวิจัยนี้ สามารถกำหนดให้โปรแกรม Qnet 2000 ทำหน้าที่แปลงเสกลของข้อมูลให้ได้ ดังนั้นข้อมูลที่จะป้อนเข้าสู่โครงข่ายจึงไม่จำเป็นต้องแปลงเสกลก่อน

3.8.2 การทดลองเพื่อหาจำนวนหน่วยประมวลผลที่เหมาะสมในชั้น Hidden layer

จากการศึกษาผลงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการทดลองหาจำนวน Hidden layer และจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสม ไม่มีกฎเกณฑ์ในการทดลองที่แน่นอน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยที่ผ่านมา มีวิธีการกำหนดจำนวน Hidden node ในการทดลองโดยพิจารณาจำนวนของ Input nodes แล้วกำหนด จำนวน Hidden node ให้มีจำนวนน้อยกว่าหนึ่งเท่า เท่ากัน และมากกว่าหนึ่งเท่าของจำนวน Input nodes ตัวอย่างเช่น ถ้ามีจำนวน Input 8 nodes การทดลองจะกำหนด Hidden nods 4, 8, 16 และ 8,8 (สำหรับ 2 layers) (Yeh, 1999) ซึ่งเป็นวิธีการทดลองที่สามารถเปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของจำนวน Hidden nodes ได้ชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีเดียวกัน โดยในเนื้องานหรือมูลค่าหมวดโครงสร้างที่มีจำนวน Input 4 nodes จะทำการทดลองจำนวน Hidden node ที่ 2, 4, 8 และ 4,4 ตามลำดับ และสำหรับเนื้องานหรือมูลค่าหมวดสถาปัตยกรรมและงานระบบที่มีจำนวน Input 3 nodes จะทำการทดลองจำนวน Hidden node ที่ 1, 3, 6 และ 3,3 ตามลำดับ

3.8.3 รูปแบบวิธีการพัฒนาแบบจำลองที่เลือกใช้

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้รูปแบบการพัฒนา (Learning Algorithm) แบบ Back-propagation Training ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาหลากหลายรูปแบบที่สุด รูปแบบการพัฒนาชนิดนี้ใช้วิธีการลดความคลาดเคลื่อนของฟังก์ชั่นของความคลาดเคลื่อนที่เรียกว่า gradient-descent rule (Garlant, 1998) โครงข่ายที่ที่เลือกใช้รูปแบบการพัฒนาชนิดนี้เรียกว่า back-propagation network

3.8.4 การกำหนดพารามิเตอร์ควบคุมในการพัฒนาแบบจำลอง

1. ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer function)

ฟังก์ชั่นแปลงค่าในทีนี้คือ ฟังก์ชั่นภายใน Hidden nodes และ Output node ที่ทำหน้าที่แปลงค่าผลรวม Input จากหน่วยประมวลผลอื่นให้เป็นค่า Output ไปยังหน่วยประมวลผลในชั้นถัดไป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ Sigmoid Transfer Function มีรูปแบบ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-u})$$

โดยที่ e คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.718281828

u คือ ค่าผลรวม Input ที่เข้ามาสู่หน่วยประมวลผล

2. ค่าน้ำหนัก (Weights)

ค่าน้ำหนักที่กำกับอยู่บนเส้นประสาทเทียม (Synapses weight) โดยทั่วไปจะใช้วิธีสุ่มกำหนดให้มีค่าน้อยๆอยู่ระหว่างค่าศูนย์ เช่น -0.5 ถึง 0.5 เป็นต้น เพื่อที่จะทำให้ค่าผลรวม Input ที่จะเข้ามาสู่หน่วยประมวลผลใดๆมีค่าต่ำ แต่เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ค่าน้ำหนักนี้จึงไม่จำเป็นต้องสุ่มกำหนดเอง โปรแกรมจะทำหน้าที่สุ่มกำหนดค่าเริ่มต้นให้

3. ค่าอัตราเร็วการพัฒนา (Learning rate)

พารามิเตอร์ตัวนี้โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงความเร็วในการพัฒนาแบบจำลอง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับค่าปรับแก้น้ำหนัก ซึ่งหากพารามิเตอร์นี้มีค่าต่ำไป โครงข่ายก็จะพัฒนาได้ช้ามากหรืออาจหยุดนิ่งไปเลย แต่หากตั้งสูงจนเกินไปก็อาจทำให้การพัฒนาโครงข่ายประสบความล้มเหลวได้ ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้มีค่าเริ่มต้นที่ 0.1 และมีช่วงที่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0

4. ข้อกำหนดในการหยุดพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม (Criteria to stop training)

เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ Training set และ Testing set แบบจำลองที่ดีควรจะมีความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อทดสอบกับข้อมูลทั้ง 2 ความคลาดเคลื่อนที่นิยมในการใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 ชนิด คือ

- Root of mean square of error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (T_i - Y_i)^2}{N}}$$

โดยที่

T_I = ค่าจริงของ Output ที่ต้องการ ของข้อมูลที่ i

Y_I = ค่า Output ที่ได้จากแบบจำลอง ของข้อมูลที่ i

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

- Absolute percent error (APE)

$$APE = \frac{\sum \left| \frac{T_i - Y_i}{T_i} \right|}{N}$$

โดยทั่วไป การประมาณราคางานก่อสร้างในช่วงเริ่มต้นการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Order of magnitude and Feasibility study) จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ประมาณ 20 ถึง 50% ของราคาค่าก่อสร้างจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ยอมรับได้ในการพัฒนาแบบจำลองไว้ที่ 20% เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่ยอมรับกันทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมอาจมีความเป็นไปได้ที่จะไม่สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 20% ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากจำนวนข้อมูลหรือตัวแปรอิสระที่เลือกใช้ ดังนั้น เกณฑ์ในการหยุดพัฒนาแบบจำลองอีกเกณฑ์หนึ่งที่จะนำมาใช้คือ จำนวนรอบในการวนข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 10,000 รอบ

อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนข้างต้นได้เกิดจากข้อมูลชุดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งไม่ได้หมายความว่าในการนำไปใช้งานจริงกับข้อมูลชุดใหม่ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถประมาณได้แม่นยำเช่นนั้น ดังนั้นจึงต้องนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาแล้วไปทดสอบกับข้อมูลชุดใหม่ด้วยเพื่อวัดค่าความถูกต้องในการนำไปใช้งานจริง ซึ่งถ้าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือ 20% ค่อนข้างมาก แบบจำลองนั้นก็ถือว่าไม่สามารถยอมรับได้เช่นกัน จะต้องกลับไปพัฒนาด้วยข้อมูลชุดเดิมใหม่แล้วจึงนำมาทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบอีกครั้ง

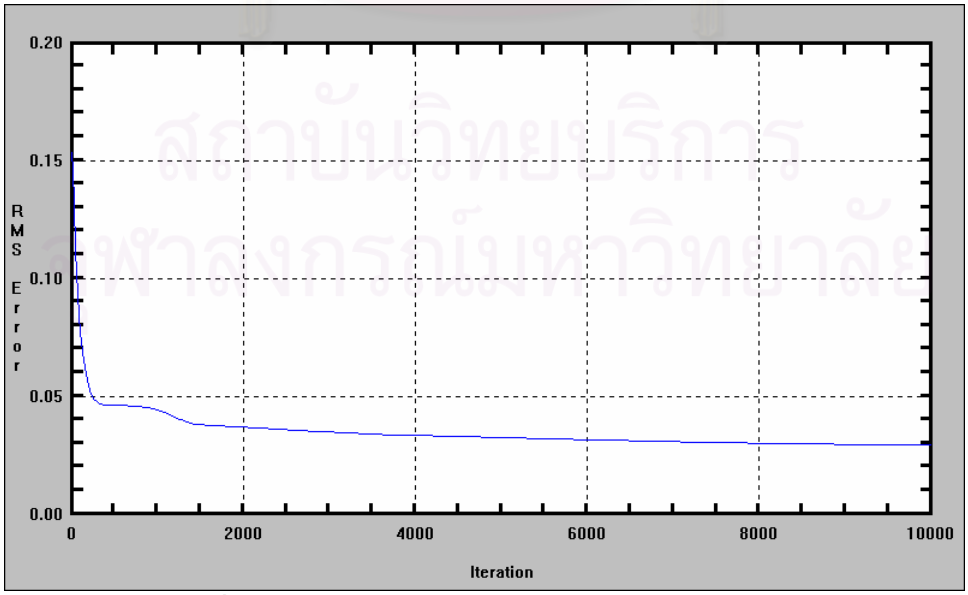
สรุปข้อกำหนดการหยุดพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้ คือ จำนวนรอบในการส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายถึงกำหนด 10,000 รอบ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองจะต้องต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบจะต้องมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ 20 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน

3.8.5 กราฟในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในระหว่างการพัฒนาแบบจำลอง ผู้ทำการวิจัยจะสามารถที่จะตรวจติดตามดูความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองได้จากเครื่องมือหลายชนิดด้วยกัน เช่น ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคือ ค่า RMSE และ ค่า Correlation ของแบบจำลอง นอกจากตัวเลขสถิติเหล่านี้ เครื่องมืออื่นๆที่ใช้ในการตรวจสอบ ได้แก่กราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆดังนี้

1. กราฟระหว่าง RMS Error History กับ Iteration
2. กราฟระหว่าง Test RMS error History กับ Iteration
3. กราฟระหว่าง Targets กับ Net Output
4. กราฟระหว่าง Target/Output กับ Pattern Sequence
5. กราฟระหว่าง Output Error กับ Pattern Sequence

ดังที่ในกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.8.4 ข้อย่อย 4 ถึงข้อกำหนดในการหยุดพัฒนาแบบจำลอง การสังเกตุค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลงระหว่างการพัฒนาแบบจำลองจะเป็นสิ่งที่ช่วยให้ผู้ทำการวิจัยสามาถตัดสินใจได้ว่าจะดำเนินการอย่างไรต่อไป ตัวอย่างกราฟระหว่างความคลาดเคลื่อนที่ลดลงกับจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟระหว่าง RMS Error History กับ Iteration

3.9 ค่าสถิติอื่นๆที่ใช้ในงานวิจัย

3.9.1 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean , μ)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (X) คือ ค่าสถิติที่เป็นค่ากลางของข้อมูล แทนด้วย X ถ้า X_1 , X_2 ,..., X_n เป็นข้อมูล N จำนวน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตมีค่าเท่ากับ

$$\mu = \frac{X_1 + X_2 + ... + X_n}{N}$$

3.9.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าสถิติที่บอกถึงการกระจายของข้อมูลแต่ละค่าในข้อมูลชุดเดียวกันว่ามีความแตกต่างกันมาน้อยเพียงใด ถ้าข้อมูลมีการกระจายมาก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลก็จะมากตาม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}}$$

โดยที่

S.D. = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X_I = ข้อมูลที่ i

μ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

N = จำนวนข้อมูล

3.9.3 สัมประสิทธ์การแปรผัน (Coefficient of variation, V)

สัมประสิทธ์การแปรผันเป็นค่าสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลหลายๆชุด ค่าสถิตินี้ไม่มีหน่วยเนื่องจากเป็นผลหารระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันนิยมเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ

$$V = \frac{S.D.}{\mu}$$

3.10 ข้อจำกัดในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการนำแบบจำลองไปใช้อยู่ในชั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ตัวแปรอิสระที่อยู่ในขอบเขตการศึกษาจึงต้องสัมพันธ์กับข้อมูลที่สามารถเก็บรวบรวมได้ในการนำไปใช้ประมาณงานจริง ดังนั้นตัวแปรอิสระในแบบจำลองบางชุดอาจมีจำนวนน้อย เช่น แบบจำลองปริมาณเสาเข็มซึ่งมีตัวแปรอิสระเพียงสองตัวคือจำนวนชั้นกับพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งในอนาคต หากมีการศึกษาตัวแปรใหม่ๆที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้องานได้เพิ่มเติมมากขึ้น หรือได้เก็บข้อมูลให้มีจำนวนมากขึ้น ก็มีความเป็นไปได้จะทำให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นใหม่ประมาณสามารถเนื้องานได้แม่นยำสูงขึ้นกว่าเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ค่าสถิติของข้อมูลในงานวิจัย

4.1.1 สัดส่วนของจำนวนข้อมูลในงานวิจัย

ข้อมูลในงานวิจัยมีจำนวนทั้งหมด 54 โครงการ แบ่งเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลอง 44 โครงการ และเป็นข้อมูลที่นำมาทดสอบผลการวิเคราะห์และทดสอบแบบจำลอง 10 โครงการ และในข้อมูลชุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ 44 โครงการนั้น เป็นข้อมูลจากวิทยานิพนธ์เรื่องการสร้างแบบจำลองการประมาณปริมาณเนื้องานเพื่อใช้ตรวจสอบราคางานก่อสร้างจำนวน 13 โครงการ

ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานหมวดโครงสร้าง ข้อมูลทั้ง 44 โครงการถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจำนวน 22 โครงการ (50%) กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่ใช้พื้นหล่อในที่จำนวน 15 โครงการ (34%) และกลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่โครงสร้างเป็นระบบพื้นไร้คานจำนวน 7 โครงการ (16%)

ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรม จำนวนข้อมูลที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์จะเหลือเพียง 31 โครงการ เนื่องจากข้อมูลเก่าจำนวน 13 โครงการไม่มีรายละเอียดเพียงพอที่จะใช้การวิเคราะห์ได้ สำหรับข้อมูลที่เหลือ เมื่อแบ่งด้วยลักษณะของฝ้าเพดานออกเป็น 2 กลุ่ม จะประกอบด้วย กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่มีฝ้าเพดานจำนวน 15 โครงการ (48%) และกลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่ไม่มีฝ้าเพดานจำนวน 16 โครงการ (52%)

ในการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในอาคารจะแบ่งอาคารตามลักษณะของห้องพักออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่มีห้องพักแบบห้องเดี่ยวจำนวน 14 โครงการ (45%) และกลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่มีห้องพักแบบห้องชุดจำนวน 17 โครงการ (55%)

และในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรม จำนวนข้อมูลที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์จะมีเพียง 24 โครงการ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลงานระบบวิศวกรรมของบางโครงการไม่มีรายละเอียดเพียงพอ สำหรับข้อมูลทั้ง 24 โครงการ เมื่อแบ่งด้วยลักษณะของห้องพักออกเป็น 2 กลุ่ม จะประกอบด้วย กลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่มีห้องพักแบบห้องเดี่ยวจำนวน 8 โครงการ (33%) และกลุ่มอาคารชุดพักอาศัยที่มีห้องพักแบบห้องชุดจำนวน 16 โครงการ (67%)

4.1.2 ค่าสถิติของข้อมูลในงานวิจัยที่น่าสนใจ

ข้อมูลอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 54 โครงการ ในงานวิจัยนี้ เป็นโครงการที่ก่อสร้างในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2525 ถึง พ.ศ. 2542 พื้นที่ใช้สอยของอาคารมีขนาดเล็กที่สุดคือ 761 ตารางเมตร และมีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 7,500 ตารางเมตร ความสูงของอาคารอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 ถึง 9 ชั้น

ที่มาของข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากบริษัทผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงานจำนวน 40 โครงการ (74%) และจากบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างจำนวน 14 โครงการ (26%)

4.2 ผลการวิเคราะห์หาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในการก่อสร้าง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์หาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในหมวดโครงสร้าง

จากการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าของเนื้องานโครงสร้างในตารางที่ 1.1 ถึง 1.3 และผลสรุปในตารางที่ 9.1 พบว่าจากข้อมูลอาคารทั้งหมด 44 โครงการ สามารถเรียงลำดับเนื้องานที่มีสัดส่วนของมูลค่างานจากสูงสุดไปยังต่ำสุดได้ดังนี้

1. เหล็กเสริม คิดเป็นสัดส่วน 27.20 %
2. ไม้แบบ คิดเป็นสัดส่วน 23.43 %
3. คอนกรีต คิดเป็นสัดส่วน 20.33 %
4. เสาเข็ม คิดเป็นสัดส่วน 16.79 %
5. พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป คิดเป็นสัดส่วน 4.44 %
6. หลังคา คิดเป็นสัดส่วน 2.81 %
7. งานดิน คิดเป็นสัดส่วน 1.81 %
8. อื่นๆ คิดเป็นสัดส่วน 3.62 %

เมื่อพิจารณาผลรวมของสัดส่วนมูลค่าของเนื้องาน 4 ลำดับแรก คือ เหล็กเสริม ไม้แบบ คอนกรีต และเสาเข็ม พบว่าคิดเป็น 87.74% ของมูลค่างานโครงสร้างทั้งหมด ดังนั้นเนื้องานทั้ง 4 ชนิดนี้สามารถเป็นปัจจัยหลักของงานก่อสร้างในหมวดโครงสร้างได้

ผลจากการแบ่งประเภทอาคาร พบว่า สัดส่วนมูลค่าของเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลัก มีความแตกต่างค่อนข้างชัดเจน เช่นสัดส่วนมูลค่าของแบบหล่อในอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คานมีค่าต่ำกว่าประเภทอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเนื่องจากลักษณะของโครงสร้างที่ไม่มีคานทำให้ปริมาณไม้แบบลดลง และในขณะเดียวกันสัดส่วนมูลค่าของคอนกรีตและเหล็กเสริมของอาคารประเภทนี้สูงกว่าอาคารประเภทอื่น ซึ่งก็เนื่องมาจากเหตุผลด้านการออกแบบที่ต่างกันนั่นเอง

และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนมูลค่าของเนื้องานของอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปกับอาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่ พบว่าสัดส่วนมูลค่าของคอนกรีต ไม้แบบ และเหล็กเสริมของอาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่จะสูงกว่าอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปเล็กน้อย การที่ความแตกต่างของอาคารสองประเภทนี้ไม่ชัดเจนอาจเนื่องมาจากผลของราคาต่อหน่วยเนื้องาน หรืออาจเกิดจากผลกระทบจากสัดส่วนของเนื้องานอื่นๆ เช่น สัดส่วนมูลค่าของงานดินที่มีความแปรปรวนสูง เป็นต้น

4.2.2 ผลการวิเคราะห์หาเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในหมวดสถาปัตยกรรม

จากการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าของเนื้องานสถาปัตยกรรมในตารางที่ 2.1 ถึง 2.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.2 พบว่าจากข้อมูลอาคารทั้งหมด 31 โครงการ สามารถเรียงลำดับเนื้องานที่มีสัดส่วนของมูลค่างานจากสูงสุดไปยังต่ำสุดได้ดังนี้

1. งานผนัง คิดเป็นสัดส่วน 33.27 %
2. งานช่องเปิด คิดเป็นสัดส่วน 21.95 %
3. งานพื้น คิดเป็นสัดส่วน 17.55 %
4. งานทาสี คิดเป็นสัดส่วน 9.96 %
5. งานสุขภัณฑ์ คิดเป็นสัดส่วน 7.33 %
6. งานฝ้าเพดาน คิดเป็นสัดส่วน 5.44 %
7. งานอื่นๆ คิดเป็นสัดส่วน 4.50 %

เนื่องจากข้อจำกัดในการรวบรวมข้อมูล ในหมวดสถาปัตยกรรม จะใช้เนื้องาน 4 ชนิดคือ งานผนัง งานพื้น งานทาสี และงานฝ้าเพดาน ซึ่งมีผลรวมสัดส่วนมูลค่าเนื้องานคิดเป็น 66.23% เป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้างในหมวดสถาปัตยกรรม

ผลจากการแบ่งประเภทอาคารเป็นอาคารกลุ่มที่มีฝ้าเพดาน และกลุ่มที่ไม่มีฝ้าเพดาน พบว่าสัดส่วนมูลค่าของงานบางชนิดมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น สัดส่วนมูลค่าของงานฝ้าเพดานของกลุ่มอาคารที่มีฝ้าเพดานต่ำกว่ากลุ่มอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดาน สัดส่วนมูลค่าของงานทาสีของกลุ่มอาคารที่มีฝ้าเพดานต่ำกว่ากลุ่มอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดาน หรือสัดส่วนงานพื้นของกลุ่มอาคารที่มีฝ้าเพดานสูงกว่ากลุ่มอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดาน เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงความสอดคล้องกับสมมุติฐานการแบ่งประเภทอาคารที่ได้ตั้งเอาไว้

4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานหมวดโครงสร้าง

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานโครงสร้างต่อพื้นที่ใช้สอย

จากการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานโครงสร้างในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 และผลสรุปในตารางที่ 9.3 พบว่าการแบ่งประเภทอาคารด้วยลักษณะทางโครงสร้างทำให้สัดส่วนของเนื้องานหลายชนิดมีความแปรปรวนต่ำลง และมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน

สัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำ หรือสัมประสิทธิ์การแปรผันต่ำกว่า 20% ได้แก่ สัดส่วนคอนกรีตต่อพื้นที่ และสัดส่วนแบบหล่อต่อพื้นที่ ในขณะที่สัดส่วนเหล็กเสริมต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงกว่าเล็กน้อย โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันอยู่ในช่วง 20% ถึง 30% และสัดส่วนเสาเข็มต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงสุด โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันสูงกว่า 30%

ผลจากการแบ่งประเภทอาคาร ทำให้สัดส่วนเนื้องานหลายชนิดมีความแตกต่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สัดส่วนเนื้องานคอนกรีตต่อพื้นที่มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ในกลุ่มอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป สัดส่วนอยู่ในช่วง 0.13 ถึง 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่กลุ่มอาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่ สัดส่วนอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.46 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร และในกลุ่มอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 0.51 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

นอกจากนั้น สัดส่วนแบบหล่อต่อพื้นที่ก็มีค่าแตกต่างกัน ในกลุ่มอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 1.57 ถึง 2.70 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่กลุ่มอาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่ สัดส่วนอยู่ในช่วง 2.44 ถึง 3.32 ตารางเมตรต่อตารางเมตรและในกลุ่มอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 1.53 ถึง 2.70 ตารางเมตรต่อตารางเมตร

สำหรับสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อพื้นที่ ของอาคารกลุ่มที่ใช้พื้นสำเร็จรูปจะมีค่าต่ำที่สุด โดยอยู่ในช่วง 21.40 ถึง 49.19 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่ อาคารกลุ่มที่ใช้พื้นหล่อในที่ มีสัดส่วนอยู่ในช่วง 28.07 ถึง 68.42 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และในกลุ่มอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 32.81 ถึง 85.80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับในกลุ่มอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สัดส่วนมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงเนื่องจากในบางโครงการใช้พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง ทำให้ปริมาณเหล็กเสริมลดลง

4.3.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานโครงสร้าง

จากการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานโครงสร้างในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 และผลสรุปในตารางที่ 9.3 พบว่าสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำได้แก่

สัดส่วนแบบหล่อต่อคอนกรีต และสัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันต่ำกว่า 20% ในขณะที่สัดส่วนระหว่างคอนกรีตต่อเสาเข็มและสัดส่วนระหว่างงานดินต่อเสาเข็มมีความแปรปรวนสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันสูงกว่า 30%

ผลจากการแบ่งประเภทอาคาร ทำให้สัดส่วนแบบหล่อต่อคอนกรีตมีความแตกต่างกัน โดยในกลุ่มอาคารที่ใช้พื้นสำเร็จรูป สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 7.20 ถึง 11.66 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่กลุ่มอาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่ สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 6.62 ถึง 9.81 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร และในกลุ่มอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สัดส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 3.85 ถึง 7.50 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งในกลุ่มหลังนี้เป็นเพราะไม่มีไม้แบบส่วนคานจึงทำให้สัดส่วนมีค่าต่ำกว่าอาคารประเภทอื่น ในขณะที่ระหว่างสองกลุ่มแรก กลุ่มอาคารที่ใช้พื้นสำเร็จรูป มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนที่สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจาก เมื่อไม่คิดไม้แบบต่อคอนกรีตในส่วนพื้น จะทำให้สัดส่วนไม้แบบต่อคอนกรีตรวมของอาคารกลุ่มนี้คำนวณมาจากส่วนคานและเสาซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าสัดส่วนสูงกว่าในส่วนพื้น มีค่าสูงกว่าอาคารกลุ่มที่ใช้พื้นหล่อในที่เล็กน้อย

4.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานสถาปัตยกรรม

สำหรับหมวดสถาปัตยกรรม พบว่า การใช้วิธีสัดส่วนเนื้องานสำหรับงานพื้นและฝ้าเพดาน ไม่สามารถนำค่าสัดส่วนที่วิเคราะห์ได้มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก งานพื้นและฝ้าเพดานเป็นผลรวมตารางเมตรของพื้นหลายประเภท ทำให้ไม่สามารถใส่ราคาต่อหน่วยได้ และอีกเหตุผลหนึ่งคือ เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของงานพื้นหรือฝ้าเพดานต่อพื้นที่ใช้สอย ผลที่ได้จะต้องมีค่าใกล้เคียงค่า 1 เสมอ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ประโยชน์จากสัดส่วนในการคำนวณ

การประมาณเนื้องานพื้นและฝ้าเพดานจึงใช้วิธีวิเคราะห์หาสัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภทในอาคารชุดพักอาศัย ซึ่งจะนำมาใช้ประโยชน์ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพกว่า

4.4.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานสถาปัตยกรรมต่อพื้นที่ใช้สอย

จากการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานสถาปัตยกรรมในตารางที่ 5.1 ถึง 5.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.4 พบว่าการแบ่งประเภทอาคารด้วยลักษณะฝ้าเพดานทำให้สัดส่วนของเนื้องานหลายชนิดมีความแปรปรวนต่ำลง และมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน

สัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำ หรือสัมประสิทธิ์การแปรผันต่ำกว่า 20% ได้แก่ สัดส่วนงานพื้นต่อพื้นที่ สัดส่วนงานก่อผนังต่อพื้นที่ และสัดส่วนงานฝ้าเพดานต่อพื้นที่ ในขณะที่

สัดส่วนงานทาสีต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงกว่าเพียงเล็กน้อยในอาคารที่มีฝ้าเพดาน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 21%

ผลจากการแบ่งประเภทอาคาร ทำให้สัดส่วนของงานทาสีต่อพื้นที่ของอาคารกลุ่มที่มีฝ้าเพดานมีค่าเฉลี่ย 3.82 ตารางเมตรต่อตารางเมตร โดยมีช่วงต่ำสุดถึงสุดตั้งแต่ 2.22 ถึง 5.44 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่ในกลุ่มอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดาน สัดส่วนมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่า เท่ากับ 4.67 ตารางเมตรต่อตารางเมตร และมีช่วงต่ำสุดถึงสุดตั้งแต่ 3.82 ถึง 5.21 ตารางเมตรต่อตารางเมตร การที่อาคารกลุ่มที่ไม่มีฝ้าเพดานมีสัดส่วนที่สูงกว่า ก็เนื่องจากพื้นที่ทาสีส่วนผนังบางส่วนและพื้นที่ทาสีส่วนคานไม่ถูกปิดด้วยฝ้าเพดานนั่นเอง และในอาคารที่มีฝ้าเพดานพื้นที่ทาสีส่วนฝ้าก็จะน้อยกว่าอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานซึ่งตกแต่งด้วยการทาสีเป็นหลัก และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้สามารถใช้อธิบายความแตกต่างของสัดส่วนระหว่างเนื้องานทาสีต่องานผนังในหัวข้อถัดไปได้

4.4.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานสถาปัตยกรรม

จากการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานโครงสร้างในตารางที่ 5.1 ถึง 5.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.4 พบว่าสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำได้แก่ สัดส่วนงานก่อผนังต่องานพื้น และสัดส่วนงานทาสีต่องานผนัง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันต่ำกว่า 20% ในขณะที่สัดส่วนงานฝ้าเพดานต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงกว่าเพียงเล็กน้อยในอาคารที่มีฝ้าเพดาน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 22%

เมื่อแบ่งประเภทอาคาร ทำให้สัดส่วนระหว่างเนื้องานทาสีต่องานผนังของอาคารที่มีฝ้าเพดานมีค่าเฉลี่ย 3.12 ตารางเมตรต่อตารางเมตร โดยมีช่วงต่ำสุดถึงสูงสุดตั้งแต่ 2.27 ถึง 4.52 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่กลุ่มของอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานมีค่าเฉลี่ย 3.77 ตารางเมตรต่อตารางเมตร โดยมีช่วงต่ำสุดถึงสูงสุดตั้งแต่ 3.06 ถึง 5.08 ตารางเมตรต่อตารางเมตร

4.4.3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

จากการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในตารางที่ 6.1 ถึง 6.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.5 พบว่าการแบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัยด้วยลักษณะของห้องพักทำให้สัดส่วนของพื้นที่ใช้สอยมีความแปรปรวนต่ำลง และมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน

สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยที่มีความแปรปรวนต่ำ หรือสัมประสิทธิ์การแปรผันต่ำกว่า 20% ได้แก่ สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก และสัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก ในขณะที่สัดส่วนพื้นที่ห้องน้ำและสัดส่วนพื้นที่ระเบียงต่อพื้นที่ใช้สอยหลักมีความแปรปรวนสูงกว่า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันสูงกว่า 30%

ผลจากการแบ่งประเภทอาคาร พบว่าสัดส่วนพื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่ใช้สอยหลักซึ่งไม่รวมพื้นที่สาธารณะ ของอาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นแบบห้องเดี่ยว มีค่าอยู่ในช่วง 0.54 ถึง 0.66 ตารางเมตรต่อตารางเมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก อยู่ในช่วง 0.17 ถึง 0.30 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่ สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่ใช้สอยหลักของอาคารชุดพักอาศัยที่ห้องพักเป็นแบบห้องชุด มีค่าอยู่ในช่วง 0.62 ถึง 0.75 ตารางเมตรต่อตารางเมตร และมีสัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก อยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.22 ตารางเมตรต่อตารางเมตร

สาเหตุที่สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยในอาคารแบบห้องเดี่ยวต่ำกว่าแบบห้องชุด ในขณะที่สัดส่วนพื้นที่ทางเดินสูงกว่าแบบห้องชุด อาจเนื่องมาจากรูปแบบของห้องพักมีความสัมพันธ์กับการออกแบบและรูปทรงของอาคารชุดพักอาศัย กล่าวคือ ในอาคารที่ห้องพักเป็นแบบห้องเดี่ยว มักมีทางเดินเป็นแนวยาวตามอาคาร และพื้นที่ห้องพักมีขนาดเล็ก เช่น ลักษณะของแฟลต เป็นต้น ในขณะที่อาคารพักอาศัยแบบห้องชุด จะต้องมีขนาดของห้องพักขนาดใหญ่เนื่องจากมีฟังก์ชั่นการใช้งานที่เพิ่มขึ้น เช่นห้องครัวหรือห้องทำงาน ดังนั้น ลักษณะภายในอาคารจึงต้องออกแบบให้มีพื้นที่ทางเดินขนาดเล็ก และห้องพักมีขนาดใหญ่ เช่น ลักษณะของคอนโดมิเนียม ซึ่งมักออกแบบให้มีพื้นที่ทางเดินตรงส่วนหน้าลิฟท์และหน้าห้องพักเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานระบบวิศวกรรม

4.5.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่างานระบบวิศวกรรมต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าของงานระบบวิศวกรรมในตารางที่ 3.1 ถึง 3.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.5 พบว่า สัดส่วนมูลค่าของงานระบบวิศวกรรมทั้ง 3 หมวดคือ งานระบบสุขาภิบาล งานระบบไฟฟ้า และงานระบบขนส่งแนวดิ่ง มีความแปรปรวนสูง โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผัน อยู่ในช่วง 30% ถึง 40%

การที่สัดส่วนมีความแปรปรวนสูงอาจเนื่องมาจาก องค์ประกอบภายในที่นำมาคิดมูลค่างานของฐานข้อมูลมีความแตกต่างกัน และเนื่องจากสัดส่วนที่ใช้เป็นสัดส่วนที่เทียบกับผลรวมมูลค่าของงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมซึ่งถ้าประมาณมูลค่างานทั้งสองคลาดเคลื่อนมาก่อนแล้วก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีการประมาณที่ค่อนข้างหยาบ

4.5.2 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานระบบสุขาภิบาลภายใน

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าขององค์ประกอบของงานสุขาภิบาลภายใน ในตารางที่ 7.1 ถึง 7.2 และผลการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบสุขาภิบาลภายใน ในตารางที่ 8.1 ถึง 8.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.6 และ 9.7 พบว่า

สัดส่วนองค์ประกอบของงานสุขาภิบาลภายในที่เป็นปัจจัยหลัก ได้แก่ สัดส่วนมูลค่าระบบน้ำดี และสัดส่วนมูลค่าระบบน้ำทิ้ง มีสัมประสิทธ์การแปรผัน 20% ถึง 30% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลรวมของสัดส่วนมูลค่างานที่เป็นปัจจัยหลักทั้งสองงาน พบว่า มีสัมประสิทธ์การแปรผันต่ำกว่า 20 %

ในขณะที่สัดส่วนความยาวท่อน้ำดี และสัดส่วนความยาวท่อน้ำทิ้ง มีสัมประสิทธ์การแปรผันสูงกว่า 30 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความยาวท่ออาจเป็นตัวแทนของเนื้องานที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการเลือกใช้ท่อขนาดต่างกันมีผลต่อความยาวท่อซึ่งขึ้นกับผู้ออกแบบที่จะเลือกใช้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ความยาวท่อเป็นเนื้องานในการประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งอาจพัฒนาให้มีความแปรปรวนต่ำลงได้ในอนาคต ด้วยการแบ่งประเภทอาคารที่มีลักษณะของการวางระบบท่อใกล้เคียงกัน เป็นต้น

4.5.3 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานระบบไฟฟ้า

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนมูลค่าขององค์ประกอบของงานไฟฟ้า ในตารางที่ 7.3 ถึง 7.4 และผลการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบไฟฟ้า ในตารางที่ 8.1 ถึง 8.2 และผลสรุปในตารางที่ 9.6 และ 9.7 พบว่า

สัดส่วนองค์ประกอบของงานสุขาภิบาลภายในที่เป็นปัจจัยหลัก ได้แก่ สัดส่วนมูลค่างานดวงโคม สัดส่วนมูลค่าของงานสวิทซ์และปลั๊ก และสัดส่วนมูลค่าของงานสายไฟ ส่วนใหญ่มีสัมประสิทธ์การแปรผันสูงกว่า 30% แต่เมื่อพิจารณาผลรวมของสัดส่วนมูลค่างานที่เป็นปัจจัยหลักทั้งสี่ พบว่า มีสัมประสิทธ์การแปรผันต่ำกว่า 20 %

สำหรับสัดส่วนเนื้องานไฟฟ้า พบว่ามีความแปรปรวนต่ำกว่าเนื้องานสุขาภิบาลภายในโดยเฉพาะสัดส่วนเนื้องานกำลังไฟ สวิทซ์ และเต้ารับ มีความแปรปรวนต่ำกว่า 30% และสามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยใส่ราคาต่อหน่วยได้ นอกจากนั้น เมื่อใช้กับโครงการใหม่ หากทราบข้อมูลของโครงการเพิ่มขึ้น เช่นทราบจำนวนห้องพักอาศัย ก็จะช่วยให้สามารถประมาณกำลังไฟ จำนวนสวิทซ์ และเต้ารับ ได้แม่นยำสูงขึ้นได้ ในขณะที่สัดส่วนความยาวสายไฟ มีความแปรปรวนสูงกว่า 30% เล็กน้อย แต่การนำมาใช้ประโยชน์ ยังไม่สามารถใส่ราคาต่อหน่วยได้ทันที แนวทาง

แก้ปัญหานี้อาจต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของงานสายไฟกับความยาวสายไฟ โดยมีดรรชนี เช่น ขนาดเฉลี่ยของสายไฟหรือประเภทของสายไฟที่ใช้ เป็นปัจจัยที่ใช้พิจารณา เป็นต้น

4.6 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการนำค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานไปใช้ประโยชน์

4.6.1 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานที่ผ่านมา ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำหลายสัดส่วนด้วยกัน เมื่อนำมาทดสอบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง ในตารางที่ 10.1 ถึง 13.2 และผลสรุปในตารางที่ 15.1 ถึง 15.4 พบว่า

ในหมวดโครงสร้าง เมื่อนำค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่มาทดสอบ สัดส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20 % ได้แก่ สัดส่วนคอนกรีตและสัดส่วนแบบหล่อต่อพื้นที่ ในขณะที่สัดส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20% ถึง 30% ได้แก่ สัดส่วนเหล็กเสริมและสัดส่วนเสาเข็มต่อพื้นที่

ในหมวดสถาปัตยกรรม เมื่อนำค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่มาทดสอบ พบว่า สัดส่วนงานผนังและสัดส่วนงานทาสีต่อพื้นที่มี ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20 % และเมื่อนำค่าเฉลี่ยสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยมาทดสอบ พบว่า ทดสอบ สัดส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20 % ได้แก่ สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยและสัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก ในขณะที่สัดส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20% ถึง 30% ได้แก่ สัดส่วนพื้นที่ห้องน้ำและสัดส่วนพื้นที่ระเบียงต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก

4.6.2 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานมาทดสอบกับข้อมูลใหม่จำนวน 10 โครงการ พบว่า ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทดสอบส่วนใหญ่จะสูงขึ้น

ในหมวดโครงสร้าง ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการใช้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนเสาเข็มต่อพื้นที่เท่ากับ 26% สัดส่วนคอนกรีตต่อพื้นที่ 18.2% สัดส่วนแบบหล่อต่อพื้นที่ 23.8% และสัดส่วนเหล็กเสริมต่อพื้นที่ 21%

ในหมวดสถาปัตยกรรม ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการใช้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนงานผนังต่อพื้นที่เท่ากับ 15% สัดส่วนงานทาสีต่อพื้นที่ 12% สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก 10%

สัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก 20% สัดส่วนพื้นที่ห้องน้ำต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก 17% สัดส่วนพื้นที่ระเบียงต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก 24%

ในหมวดงานระบบวิศวกรรม ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการใช้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนท่อน้ำดีต่อพื้นที่ เท่ากับ 19% สัดส่วนท่อน้ำทิ้งต่อพื้นที่ 58% สัดส่วนกำลังไฟของดวงโคมต่อพื้นที่ 25% สัดส่วนจำนวนสวิทซ์ต่อพื้นที่ 23% สัดส่วนจำนวนปลั๊กต่อพื้นที่ 20% และสัดส่วนความยาวสายไฟต่อพื้นที่ 23%

จากผลการทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลทั้งสองชุด พบว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการนำสัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่ไปใช้จะต่ำกว่า 20% ยกเว้นบางเนื้องาน เช่น งานเสาเข็ม พื้นที่ห้องน้ำ พื้นที่ระเบียง ความยาวท่อและความยาวสายไฟ เป็นเนื้องานที่ยังมีความคลาดเคลื่อนสูง และเมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนสูงสุดของการใช้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานของเนื้องานบางชนิด พบว่ามีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง เช่น ความคลาดเคลื่อนของปริมาณเหล็กเสริมมีค่าสูงสุดถึง 88% งานทาสีมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 72% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปัจจัยตัวอื่นๆที่มีผลกระทบต่อปริมาณเหล็กนอกเหนือจากพื้นที่ และการแบ่งประเภทอาคาร ตัวอย่างเช่น ปริมาณพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหรือปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนลดลง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานและปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลกระทบกับปริมาณเนื้องาน ซึ่งจะทำให้สามารถประมาณปริมาณเนื้องานได้แม่นยำมากขึ้น

4.7 ผลการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

4.7.1 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเนื้องานก่อสร้าง

โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation Neural Networks จะประกอบด้วย 3 layers ได้แก่ Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer ซึ่งการนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณปริมาณเนื้องานในการศึกษาครั้งนี้ จะพัฒนาแบบจำลองสำหรับเนื้องาน 6 ชนิดที่เป็นปัจจัยหลักในหมวดโครงสร้างและหมวดสถาปัตยกรรม ได้แก่ ปริมาณเสาเข็ม ปริมาณคอนกรีต ปริมาณแบบหล่อ ปริมาณเหล็กเสริม ปริมาณงานผนัง และปริมาณงานทาสี โดยพัฒนา 1 แบบจำลองต่อประมาณเนื้องาน 1 ชนิด

โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเนื้องานก่อสร้างแต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

สำหรับปริมาณเสาเข็ม Input Layer ประกอบด้วย 2 nodes ได้แก่

- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณเสาเข็ม (ตัน)

สำหรับปริมาณคอนกรีต Input Layer ประกอบด้วย 5 nodes ได้แก่

- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)
- ปริมาณพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (ตารางเมตร)
- ปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (ตารางเมตร)
- ระบบโครงสร้าง (0 = โครงสร้างพื้นและคาน ค.ศ.ล. , 1 = โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตร)

สำหรับปริมาณแบบหล่อ Input Layer ประกอบด้วย 5 nodes ได้แก่

- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)
- ปริมาณพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (ตารางเมตร)
- ปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (ตารางเมตร)
- ระบบโครงสร้าง (0 = โครงสร้างพื้นและคาน ค.ศ.ล. , 1 = โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณแบบหล่อ (ตารางเมตร)

สำหรับปริมาณเหล็กเสริม Input Layer ประกอบด้วย 5 nodes ได้แก่

- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)

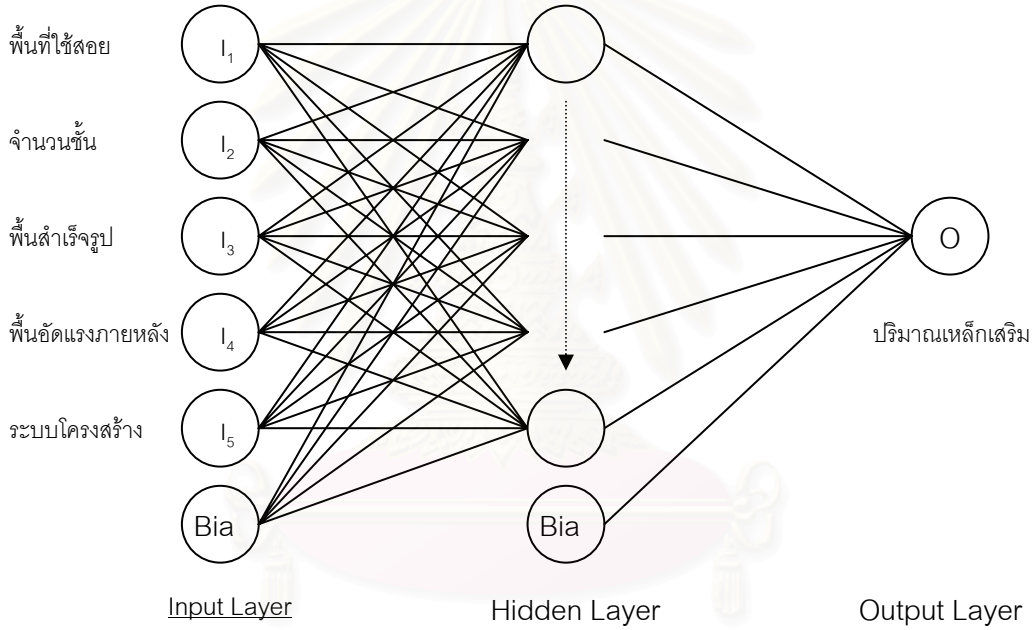
- ปริมาณพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (ตารางเมตร)
- ปริมาณพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (ตารางเมตร)
- ระบบโครงสร้าง (0 = โครงสร้างพื้นและคาน ค.ศ.ล. , 1 = โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณเหล็กเสริม (กิโลกรัม)

ตัวอย่างโครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในหมวดโครงสร้างเป็นดังรูปที่ 4.1



หมายเหตุ : I_1 ถึง I_5 แทนคำว่า Input node ที่ 1 ถึง 5 และ O แทนคำว่า Output node

รูปที่ 4.1 โครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเหล็กเสริม

สำหรับปริมาณงานผนัง Input Layer ประกอบด้วย 3 nodes ได้แก่

- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)
- พื้นที่สาธารณะ (ตารางเมตร)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณงานผนัง (ตารางเมตร)

สำหรับปริมาณงานทาสี Input Layer ประกอบด้วย 3 nodes ได้แก่

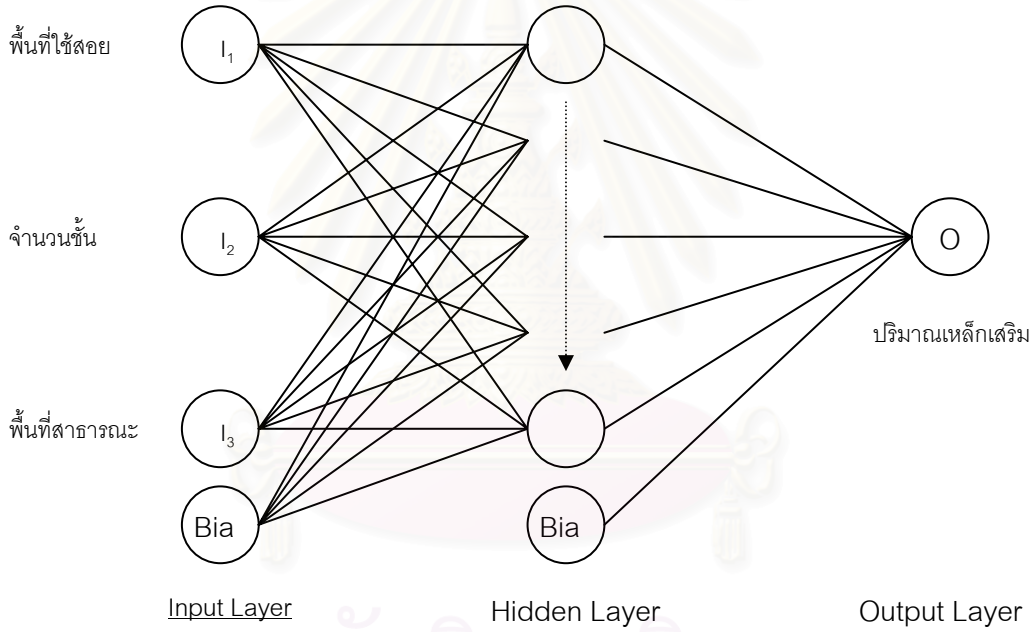
- พื้นที่ใช้สอยรวม (ตารางเมตร)
- จำนวนชั้น (ชั้น)
- พื้นที่สาธารณะ (ตารางเมตร)

Hidden Layer ยังไม่ทราบจำนวน nodes (ได้จากการทดลอง)

Output Layer มี Output 1 node ได้แก่

- ปริมาณงานทาสี (ตารางเมตร)

ตัวอย่างโครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักในหมวดสถาปัยกรรมเป็นดังรูปที่ 4.2



หมายเหตุ : I_1 ถึง I_3 แทนคำว่า Input node ที่ 1 ถึง 3 และ O แทนคำว่า Output node

รูปที่ 4.2 โครงสร้างภายในของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณงานผนัง

4.7.2 ผลการทดลองหาจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมของแบบจำลองปริมาณเนื้องาน

จากการทดลองหาจำนวน Hidden layers และ Hidden nodes ที่เหมาะสมของแบบจำลองปริมาณเนื้องานชนิดต่างๆ ในตารางที่ 16.1 ถึง 16.6 ซึ่งได้ทำการทดลอง 4 แบบต่อการพัฒนาแบบจำลองสำหรับแต่ละเนื้องาน ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง คือ ค่ารากที่สองของ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) และค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE) สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

สำหรับแบบจำลองปริมาณเสาเข็ม การทดลองครั้งที่สี่ ซึ่งมีจำนวน Hidden layers 2 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 8 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 1,199.8 ตัน และมีค่า APE เท่ากับ 19.2%

สำหรับแบบจำลองปริมาณคอนกรีต การทดลองครั้งที่สี่ ซึ่งมีจำนวน Hidden layers 2 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 10 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 101.0 ลูกบาศก์เมตร และมีค่า APE เท่ากับ 10.8%

สำหรับแบบจำลองปริมาณแบบหล่อ การทดลองครั้งที่สาม ซึ่งมีจำนวน Hidden layer 1 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 10 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 546.0 ตารางเมตร และมีค่า APE เท่ากับ 6.8%

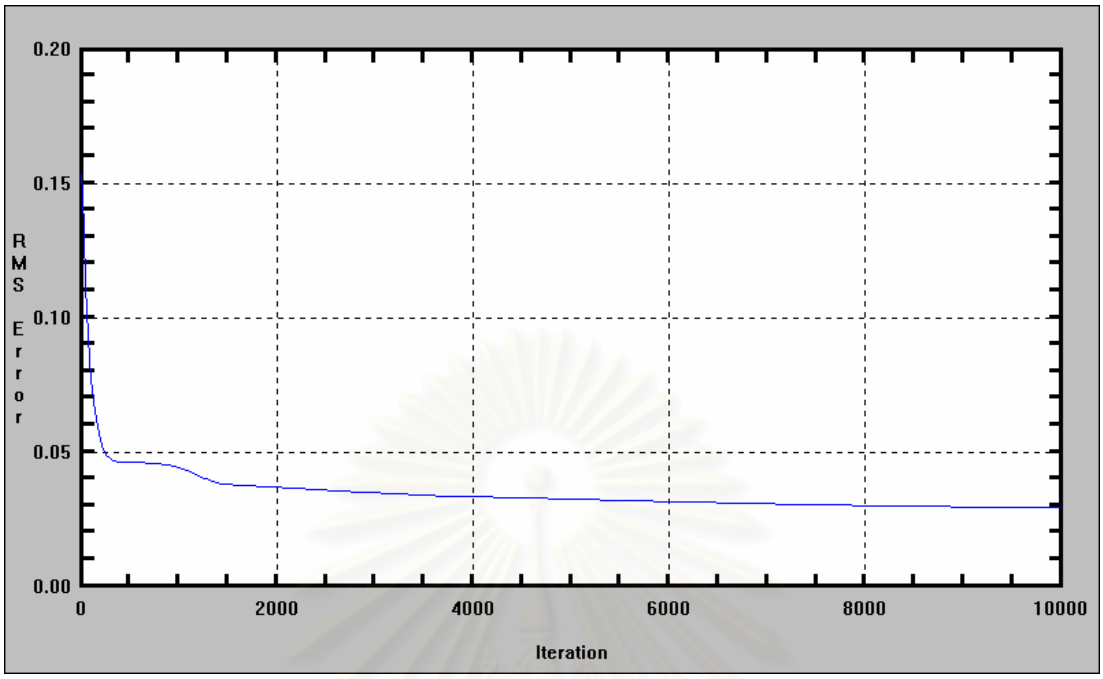
สำหรับแบบจำลองปริมาณเหล็กเสริม การทดลองครั้งที่สอง ซึ่งมีจำนวน Hidden layer 1 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 5 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 23,483.1 กิโลกรัม และมีค่า APE เท่ากับ 11.7%

สำหรับแบบจำลองปริมาณงานผนัง การทดลองครั้งที่สาม ซึ่งมีจำนวน Hidden layer 1 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 6 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 372.9 ตารางเมตร และมีค่า APE เท่ากับ 7.8 %

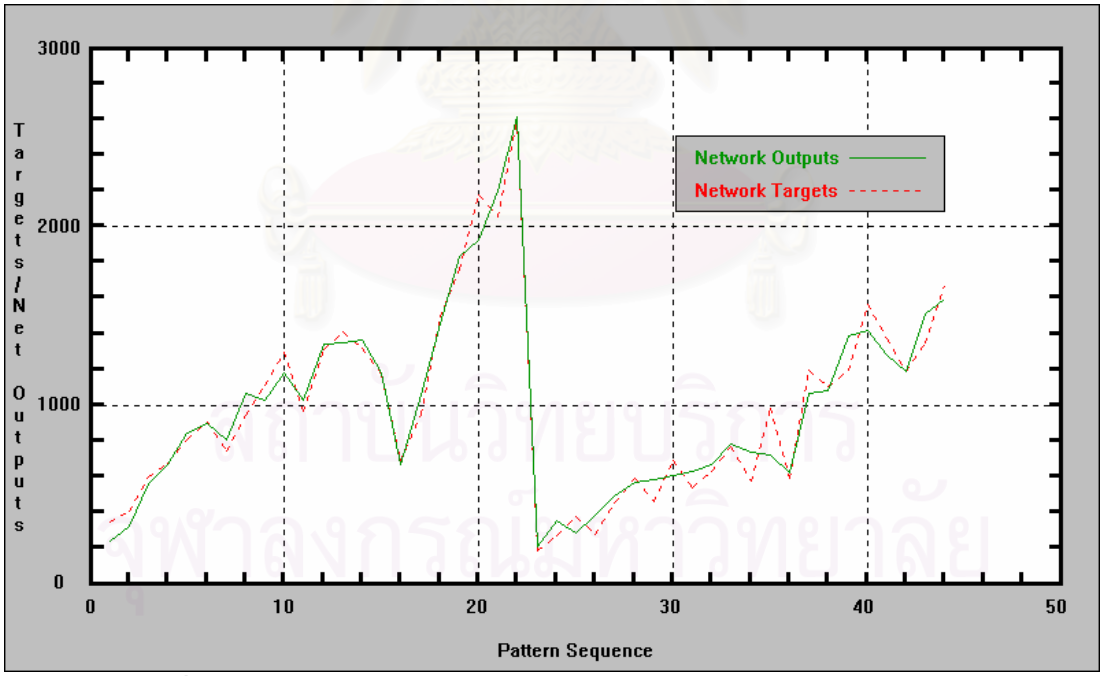
สำหรับแบบจำลองปริมาณงานทาสี การทดลองครั้งที่สาม ซึ่งมีจำนวน Hidden layer 1 ชั้น และมีจำนวน Hidden node ทั้งหมด 6 nodes มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 1,769.5 ตารางเมตร และมีค่า APE เท่ากับ 12.7%

ผลการทดลอง พบว่าที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ และอัตราเร็วการพัฒนาแบบจำลองเริ่มต้นที่ 0.1 สามารถพัฒนาแบบจำลองปริมาณเนื้องานให้มีเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 20% ได้ และนอกจากนั้นทุกแบบจำลองยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่า 0.9000 อีกด้วย

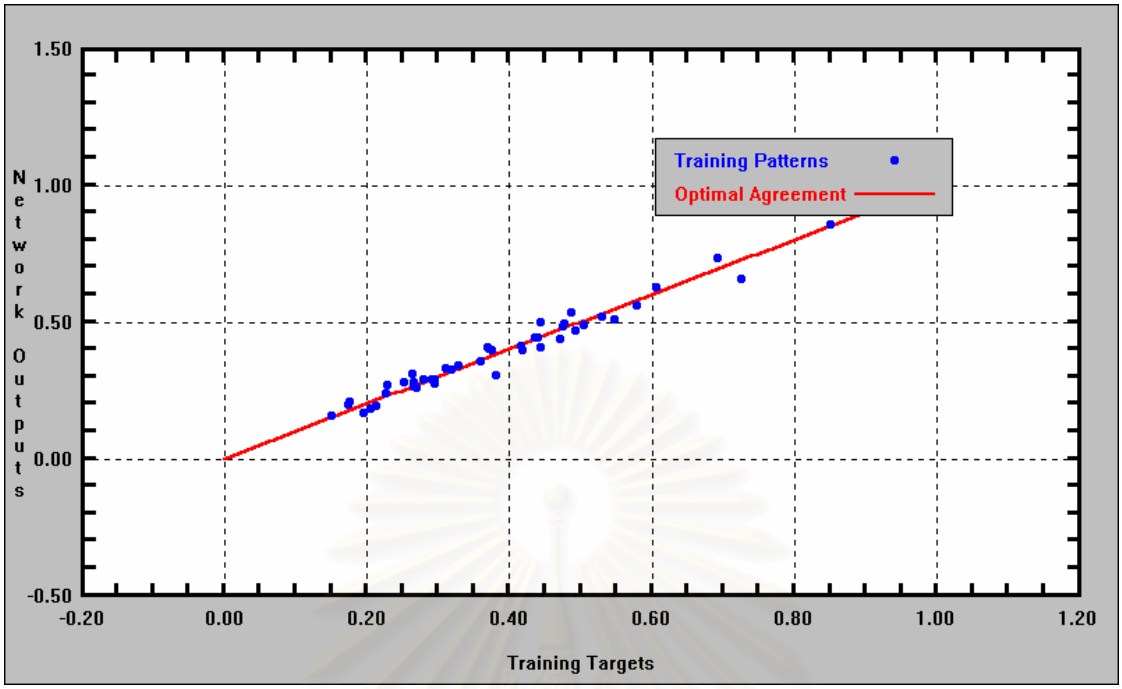
ในรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 จะแสดงกราฟที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองปริมาณคอนกรีต ซึ่งจะแสดงถึงการลดลงของความคลาดเคลื่อนในขณะที่กำลังพัฒนาแบบจำลองและลักษณะการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ของแบบจำลอง ซึ่งกราฟทั้งสามชนิด ค่าสถิติ RMSE และ APE จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดตามและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผลที่ได้จากการทดลอง นอกจากจำนวน Hidden layers และจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมแล้ว จะมีค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมทั้งหมดในโครงสร้างของแบบจำลองซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. เนื่องจากมีข้อมูลมีรายละเอียดจำนวนมาก



รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนที่ลดลงเมื่อจำนวนรอบในการวนข้อมูลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 การจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะ Nonlinear



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ประมาณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริง

4.7.3 ค่าน้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมของแบบจำลอง

เมื่อพัฒนาแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว จะได้ค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมทั้งหมดออกมาหนึ่งชุด ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมที่เชื่อมระหว่าง Input Layer กับ Hidden Layer และระหว่าง Hidden Layer กับ Output Layer ดังแสดงในตารางข้างล่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างค่าน้ำหนักที่เส้นประสาทเทียมของแบบจำลองปริมาณเหล็กเสริมในรูปที่ 4.6

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-2.9156
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	9.6773
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	5.9685
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.5801
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-5.4742
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-3.3179
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-1.7331
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-6.0530
จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง

หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.5216
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.9942
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	4.3407
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.4246
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	2.2966
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.8259
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-2.3577
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.8916
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.1909
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.0671
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	4.7955
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.2824
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.5439
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	1.1253
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	0.4708
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.2759
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.3393
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	3.0528
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.6053
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.0452
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-3.4104
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.2477
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Output layer	Output node	-4.1430
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Output layer	Output node	-5.2626
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Output layer	Output node	-3.9615
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Output layer	Output node	4.0643
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Output layer	Output node	-3.8713
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Output layer	Output node	1.8982

4.7.4 สรุปโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณเนื้องาน

โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อได้พัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้ว มีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณเสาเข็ม ประกอบด้วย 4 Layers

- Input layer มี Input node 2 nodes
- 1st Hidden layer มี Hidden node 4 nodes
- 2nd Hidden layer มี Hidden node 4 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณคอนกรีต ประกอบด้วย 4 Layers

- Input layer มี Input node 5 nodes
- 1st Hidden layer มี Hidden node 5 nodes
- 2nd Hidden layer มี Hidden node 5 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณแบบหล่อ ประกอบด้วย 3 Layers

- Input layer มี Input node 5 nodes
- Hidden layer มี Hidden node 10 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณเหล็กเสริม ประกอบด้วย 3 Layers

- Input layer มี Input node 5 nodes
- Hidden layer มี Hidden node 5 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

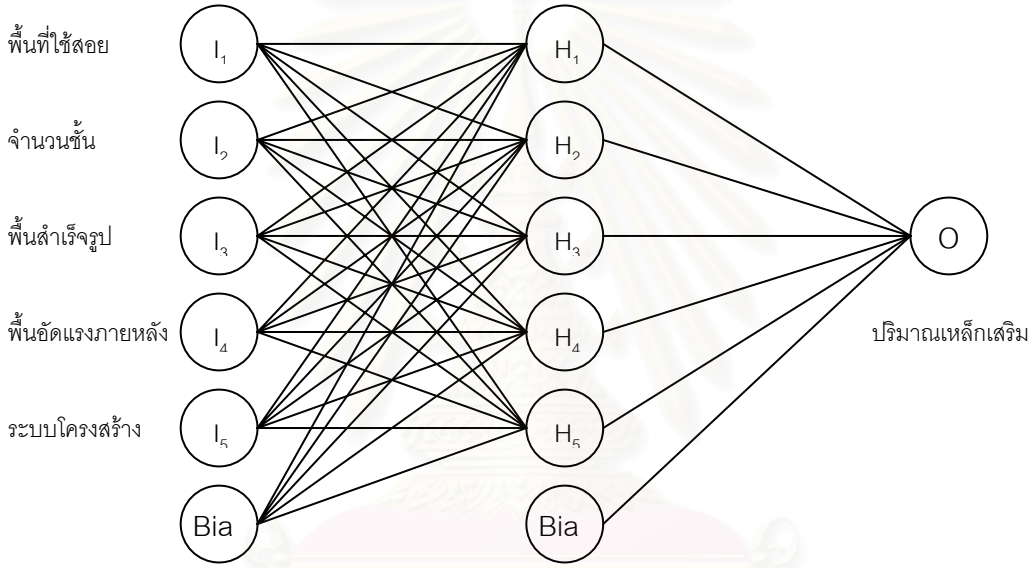
โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณงานผนัง ประกอบด้วย 3 Layers

- Input layer มี Input node 3 nodes
- Hidden layer มี Hidden node 6 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณงานทาสี ประกอบด้วย 3 Layers

- Input layer มี Input node 3 nodes
- Hidden layer มี Hidden node 6 nodes
- Output layer มี Output node 1 nodes

ตัวอย่างในภาพที่ 4.6 คือโครงสร้างของแบบจำลองปริมาณเหล็กเสริมที่พัฒนาเสร็จแล้ว เมื่อนำชุดค่าน้ำหนักจากตารางในหัวข้อ 4.7.3 มาประกอบกับโครงสร้างในภาพก็จะได้โครงสร้างที่สมบูรณ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับรูปโครงสร้างของแบบจำลองปริมาณเนื้องานชนิดอื่นพร้อมค่าน้ำหนักสามารถดูได้จากส่วนสุดท้ายของหมวดตาราง



<u>หมายเหตุ</u> : I_1 ถึง I_5 แทนคำว่า Input node ที่ 1 ถึง 5 และ H_1 ถึง H_5 แทนคำว่า Input node ที่ 1 ถึง 5 และ O แทนคำว่า Output node

รูปที่ 4.6 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณเหล็กเสริม

4.7.5 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง

เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือแบบจำลองจากวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง ดังนั้นแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงสำหรับปริมาณเนื้องานทั้ง 6 ชนิด จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยปัจจัยที่เป็นตัวแปรอิสระของแบบจำลองจะมีรูปแบบเดียวกันกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

กำหนดให้

X_1 = พื้นที่ใช้สอย (ตรม.), X_2 = จำนวนชั้น (ชั้น), X_3 = พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (ตรม.),

X_4 = พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (ตรม.), X_5 = ระบบโครงสร้าง (0 หรือ 1)

X_6 = พื้นที่สาธารณะ (ตรม.)

แบบจำลองปริมาณเนื้องานทั้ง 6 จึงมีรูปแบบดังนี้

ปริมาณเสาเข็ม = $1.4831 X_1 + 497.8306 X_2 - 2474.2726$

ปริมาณคอนกรีต = $0.3532 X_1 – 6.0650 X_2 – 0.1546 X_3 + 0.0701 X_4 + 305.6842 X_5 –21.4788$

ปริมาณแบบหล่อ = $2.6114 X_1 – 128.7247 X_2 – 1.0167 X_3 + 0.8417 X_4 – 2607.4675 X_5 + 1048.5768$

ปริมาณเหล็กเสริม = $51.6248 X_1 – 2461.8177 X_2 – 25.6792 X_3 - 13.0566 X_4 + 46249.3279 X_5$
$+ 12562.8733$

ปริมาณงานผนัง = $1.4186 X_1 - 73.5022 X_2 - 1.2554 X_6 + 83.2914$

ปริมาณงานทาสี = $4.8023 X_1 - 426.0173 X_2 - 2.7396 X_6 + 1195.7100$

4.8 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งาน

4.8.1 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง

ความคลาดเคลื่อนเมื่อนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาเสร็จแล้วไปทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองจำนวน 44 โครงการ ในตารางที่ 17.1 ถึง 18.1 และจากผลสรุปในตารางที่ 20.1 พบว่า

แบบจำลองปริมาณเนื้องานเสาเข็มมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 19.2% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.7% และสูงสุด 66.6% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 1,200 ตัน

แบบจำลองปริมาณเนื้องานคอนกรีตมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 10.8% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.7% และสูงสุด 46.9% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 101 ลูกบาศก์เมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานแบบหล่อมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.8% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.1% และสูงสุด 37.7% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 546 ตารางเมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานเหล็กเสริมมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 11.7% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.0% และสูงสุด 48.3% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 23,483 กิโลกรัม

แบบจำลองปริมาณเนื้องานผนังมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.8% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.2% และสูงสุด 24.5% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 123 ตารางเมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานทาสีมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 12.7% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.1% และสูงสุด 44.5% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 1,770 ตารางเมตร

4.8.2 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง

ความคลาดเคลื่อนเมื่อนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาเสร็จแล้วไปทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลองจำนวน 10 โครงการ ในตารางที่ 19.1 ถึง 19.2 และจากผลสรุปในตารางที่ 20.1 พบว่า

แบบจำลองปริมาณเนื้องานเสาเข็มมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 15.9% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.2% และสูงสุด 36.0% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 826 ตัน

แบบจำลองปริมาณเนื้องานคอนกรีตมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 16.2% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 3.1% และสูงสุด 35.7% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 232 ลูกบาศก์เมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานแบบหล่อมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 11.8% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 2.0% และสูงสุด 34.0% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 1,336 ตารางเมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานเหล็กเสริมมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 18.6% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.3% และสูงสุด 40.7% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 37,357 กิโลกรัม

แบบจำลองปริมาณเนื้องานผนังมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 13.5% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 3.8% และสูงสุด 27.4% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 815 ตารางเมตร

แบบจำลองปริมาณเนื้องานทาสีมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 15.5% โดยที่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 3.5% และสูงสุด 41.0% และมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 3,143 ตารางเมตร

4.8.3 ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง

จากผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงในตารางที่ 18.1 ถึง 19.2 และผลสรุปในตารางที่ 20.1 พบว่า ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาและข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองจากวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงทุกแบบจำลอง

ตัวอย่างเช่น แบบจำลองสำหรับประมาณปริมาณเสาเข็ม เมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองด้วยแบบจำลองวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 19.2%, 0.7% และ 66.6% ตามลำดับ ในขณะที่ แบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 27.2%, 0.3% และ 92.1% ตามลำดับ

และเมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบ ด้วยแบบจำลองวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 15.9%, 1.2% และ 36.0% ตามลำดับ ในขณะที่ แบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 25.8%, 0.0% และ 51.4% ตามลำดับ

ตัวอย่างอีกกรณีเช่น แบบจำลองสำหรับประมาณปริมาณงานทาสี เมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองด้วยแบบจำลองวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 12.7%, 0.1% และ 44.5% ตามลำดับ ในขณะที่ แบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 15.2%, 0.1% และ 83.8% ตามลำดับ

และเมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบ ด้วยแบบจำลองวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 15.5%, 3.5% และ 41.0% ตามลำดับ ในขณะที่ แบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 16.3%, 1.8% และ 74.4% ตามลำดับ

จากผลการทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลทั้งสองชุดและเปรียบเทียบกับแบบจำลองจากวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถ

ประมาณปริมาณเนื้องานทั้ง 6 ชนิดได้แม่นยำกว่าแบบจำลองจากวิธีการถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการจำลองรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Nonlinear ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งตรงกับความเป็นจริงที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานกับปัจจัยไม่ได้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นอย่างแท้จริง ดังนั้นวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความเหมาะสมและมีความจำเป็นในการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้างของอาคารเป็นอย่างยิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปงานวิจัยทั้งหมด

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณเนื้องานที่เป็นองค์ประกอบของการก่อสร้างอาคาร โดยสัดส่วนความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้องานที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบหรือใช้ในการประมาณราคาค่าก่อสร้างงานอาคารได้ วิธีการใช้สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานในการประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารจะมีข้อดีกว่าวิธีการประมาณราคาโดยตรง เนื่องจากไม่มีผลจากราคาต่อหน่วยเนื้องานและจากปีที่ทำการก่อสร้าง

แต่การที่จะวิเคราะห์ให้ได้สัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำซึ่งจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากในการก่อสร้างอาคารมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อเนื้องานซึ่งทำให้ปริมาณเนื้องานของการก่อสร้างอาคารแต่ละหลังแตกต่างกันออกไป ดังนั้นเพื่อให้สัดส่วนของเนื้องานมีความแปรปรวนต่ำลง จึงต้องมีแบ่งประเภทอาคารที่ดี โดยจัดอาคารที่มีลักษณะส่วนใหญ่คล้ายคลึงกันให้อยู่ในหมวดหมู่เดียวกัน ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของสมชาติ (2542) ซึ่งได้แบ่งอาคารออกเป็น 6 ประเภทตามลักษณะการใช้สอย ได้แก่ อาคารจอดรถ อาคารสำนักงาน อพาร์ทเมนท์ บ้านพักอาศัย อาคารพักอาศัยสูง และอาคารสำนักงานสูง และได้พบว่าสัดส่วนของเนื้องานส่วนใหญ่มีความแปรปรวนต่ำ และสัดส่วนเนื้องานบางชนิดมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การจัดแบ่งประเภทอาคารของสมชาติ (2542) เป็นเพียงการศึกษาในเบื้องต้นเท่านั้น จึงทำให้สัดส่วนเนื้องานบางชนิดยังมีความแปรปรวนสูงอยู่ หากสามารถจัดแบ่งประเภทอาคารต่อไปโดยพิจารณาปัจจัยด้านอื่นๆ ก็อาจจะสามารถทำให้สัดส่วนเนื้องานของอาคารมีความแปรปรวนต่ำลงหรือมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากผลจากปัจจัยในการแบ่งประเภทอาคารที่แตกต่างกันนั่นเอง

ประเภทอาคารที่ถูกเลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่อาคารชุดพักอาศัย เนื่องจากอาคารชุดพักอาศัยมีลักษณะของการใช้พื้นที่ภายในอาคารที่คล้ายคลึงกัน จึงมีโอกาสที่สัดส่วนจะมีความแปรปรวนต่ำกว่าอาคารประเภทอื่นๆ ข้อมูลอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 54 โครงการจึงถูกเก็บรวบรวมเพื่อทำการศึกษา โดยข้อมูลจำนวน 44 โครงการจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลอง และข้อมูลอีก 10 โครงการจะถูกเก็บไว้ใช้ในการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการนำผลการวิเคราะห์ไปใช้

ในการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานหมวดโครงสร้าง ได้แบ่งประเภทอาคารตามลักษณะของโครงสร้าง เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ อาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป อาคารที่ใช้พื้นหล่อในที่ และอาคารที่ใช้ระบบพื้นไร้คาน สาเหตุที่แบ่งเช่นนี้ก็เนื่องมาจากวิธีการออกแบบโครงสร้างที่แตกต่างกันจะทำให้ปริมาณเนื้องานมีความแตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้ พบว่า เมื่อแบ่งประเภทอาคารดังนี้แล้ว ความแปรปรวนของสัดส่วนเนื้องานส่วนใหญ่มีความแปรปรวนต่ำลง และสัดส่วนเนื้องานบางชนิดก็มีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน เช่น สัดส่วนระหว่างคอนกรีตต่อพื้นที่ สัดส่วนระหว่างแบบหล่อต่อพื้นที่ สัดส่วนระหว่างเหล็กเสริมต่อพื้นที่ และสัดส่วนระหว่างแบบหล่อต่อคอนกรีต และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของสัดส่วนที่มีความแปรปรวนต่ำมาทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง พบว่าปริมาณเนื้องานคอนกรีตและแบบหล่อมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20% ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนของปริมาณเหล็กเสริมและเสาเข็มมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20 ถึง 30% ในขณะที่การทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบพบว่าปริมาณเสาเข็มมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 26% ในขณะที่ปริมาณคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 18%

ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานหมวดสถาปัตยกรรม พบว่าการใช้วิธีสัดส่วนเนื้องานกับงานพื้นและฝ้าเพดานไม่ใช่วิธีที่ดี เนื่องจากใส่ราคาต่อหน่วยยากและไม่มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าสัดส่วนเนื่องจากปริมาณงานควรจะมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่อยู่แล้ว ดังนั้น สำหรับการประมาณปริมาณงานพื้นและฝ้าเพดาน จะเปลี่ยนมาใช้วิธีการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เนื่องจากประเภทของพื้นที่ใช้สอยในอาคารมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้วัสดุในงานพื้นและฝ้าเพดาน ซึ่งจะช่วยให้ทราบปริมาณเนื้องานของงานพื้นและฝ้าเพดานในพื้นที่แต่ละส่วนและใส่ราคาต่อหน่วยได้ง่ายกว่า

การแบ่งประเภทอาคารในหมวดสถาปัตยกรรม จะแบ่งเป็น 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือการแบ่งด้วยลักษณะของฝ้าเพดานออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มอาคารที่มีฝ้าเพดานในพื้นที่ส่วนพักอาศัยและกลุ่มอาคารที่ไม่มีฝ้าเพดานในพื้นที่ส่วนพักอาศัย วิธีนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสัดส่วนงานผนังและงานทาสี วิธีที่สองคือการแบ่งด้วยลักษณะของห้องพักออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มอาคารที่มีห้องพักแบบห้องเดี่ยวและกลุ่มอาคารที่มีห้องพักแบบแบบห้องชุด วิธีนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภทในอาคาร ผลที่ได้พบว่าสัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำ และมีค่าอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน ได้แก่ สัดส่วนงานทาสีต่อพื้นที่ สัดส่วนงานทาสีต่องานผนัง สัดส่วนพื้นที่พักอาศัยต่อพื้นที่พักอาศัยหลัก และสัดส่วนพื้นที่ทางเดินต่อพื้นที่ใช้สอยหลัก สำหรับผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานที่วิเคราะห์ได้กับข้อมูลทั้งสองชุดพบว่าปริมาณเนื้องานส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 20%

ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรม มีความจำเป็นที่จะต้องจำกัดขอบเขตการศึกษาเฉพาะงานสุขาภิบาลภายในและงานระบบไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากเหตุผลด้านความ

สมบูรณ์ของข้อมูลและประโยชน์ในการนำไปใช้ ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องาน เนื้องานที่เลือกเป็นปัจจัยหลัก ได้แก่ ความยาวท่อน้ำดี ความยาวท่อน้ำทิ้ง กำลังไฟของดวงโคม จำนวนสวิทซ์และปลั๊ก และความยาวสายไฟ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า สัดส่วนเนื้องานที่มีความแปรปรวนต่ำกว่า 30% ได้แก่ สัดส่วนกำลังไฟต่อพื้นที่ สัดส่วนจำนวน สวิทซ์ต่อพื้นที่ และสัดส่วนจำนวนปลั๊กต่อพื้นที่ ในขณะที่สัดส่วนความยาวท่อและความยาวสายไฟต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงกว่า 20% อย่างไรก็ตาม หากมีข้อมูลโครงการเพิ่มเติมมากขึ้น เช่นทราบจำนวนห้องพัก ก็จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของสัดส่วนเนื้องานบางชนิด เช่น กำลังไฟของดวงโคม จำนวนสวิทซ์และปลั๊ก ให้มีค่าต่ำลงได้ สำหรับผลการทดสอบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมกับข้อมูลทั้งสองชุด พบว่าปริมาณเนื้องานส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 30% ยกเว้นสัดส่วนความยาวท่อน้ำทิ้งต่อพื้นที่ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่า 30%

ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ได้เลือกศึกษาเฉพาะเนื้องานที่เป็นปัจจัยหลักของการก่อสร้างในหมวดโครงสร้างและสถาปัตย์จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปริมาณเสาเข็ม ปริมาณคอนกรีต ปริมาณแบบหล่อ ปริมาณเหล็กเสริม ปริมาณงานผนัง และปริมาณงานทาสี แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบที่นิยมทั่วไปคือ Backpropagation Networks ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนที่ของข้อมูลแบบ Feed Forward และมีวิธีการลดค่าความคลาดเคลื่อนแบบ gradient descent สำหรับในหน่วยประมวลผลที่มีการคำนวณจะเลือกใช้ Sigmoid Transfer function เป็นฟังก์ชั่นภายในซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้แบบจำลองมีลักษณะการจำลองความสัมพันธ์เป็นแบบ Nonlinear

ปัจจัยที่เลือกมาเป็นตัวแปร Input ของแบบจำลองได้จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ตัวแปรที่ใช้ในการประมาณปริมาณเนื้องานโครงสร้างประกอบด้วย 5 ตัวแปร คือ พื้นที่ใช้สอย จำนวนชั้น พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง และรูปแบบโครงสร้าง ในขณะที่ ตัวแปรที่ใช้ในการประมาณปริมาณเนื้องานสถาปัตยกรรมประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ พื้นที่ใช้สอย จำนวนชั้น และพื้นที่สาธารณะ

ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาแบบจำลองหนึ่งชุดต่อปริมาณเนื้องานหนึ่งชนิด ซึ่งงานหลักของการศึกษาส่วนนี้จะอยู่ที่การหาจำนวน Hidden layers และจำนวน Hidden nodes ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองปริมาณเนื้องานแต่ละชนิด วิธีการที่ใช้ในการหาโครงสร้างภายในที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้จะใช้การทดลองที่จำนวน Hidden nodes 4 แบบ มีทั้งแบบที่เป็น 1 Hidden layer และ 2 Hidden layers ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับงานวิจัยของ Yeh (1998) และจะกำหนดเงื่อนไขในการพัฒนาแบบจำลองด้วยจำนวนรอบในการวนข้อมูลเท่ากับ 10,000 รอบ รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจะต้องต่ำกว่า 20% ซึ่งผลที่ได้คือแบบจำลองปริมาณเนื้องานด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดจากการทดลองพัฒนาแบบจำลองทั้งหมด 24 แบบจำลองด้วยกัน

นอกจากพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนอีกด้วย ซึ่งผลจากการทดสอบกับข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลองพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณปริมาณเนื้องานได้แม่นยำกว่าแบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบเส้นตรง โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดเพียง 19.2% ในขณะที่แบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุด 27.2% และเมื่อทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมก็สามารถประมาณปริมาณเนื้องานได้แม่นยำกว่าแบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดเพียง 18.6% ในขณะที่แบบจำลองวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุด 25.8%

จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าว จึงสามารถสรุปได้ว่าการประมาณปริมาณเนื้องานด้วยวิธีการที่จำลองความสัมพันธ์แบบ Nonlinear เช่น วิธีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความจำเป็นและสามารถประมาณได้แม่นยำกว่าแบบจำลองที่จำลองความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เนื่องจากในความเป็นจริง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้องานกับปัจจัยด้านกายภาพของอาคารไม่ได้เป็นลักษณะเส้นตรงอย่างชัดเจนนั่นเอง

5.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องรวบรวมเอกสารที่เป็นข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งได้แก่ บัญชีปริมาณเนื้องาน และแบบแปลนก่อสร้างจำนวนมาก ซึ่งบางหน่วยงานที่ได้ไปของข้อมูล ไม่สามารถให้เอกสารที่สมบูรณ์ได้เนื่องจากเป็นความลับของทางองค์กร ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลปริมาณเนื้องานที่สำคัญบางชนิดได้

และเนื่องจากไม่ความสมบูรณ์ของข้อมูลงานระบบวิศวกรรม ซึ่งบางโครงการคิดแบบเหมารวม และบางโครงการก็ไม่มีรายละเอียดครบถ้วนเนื่องจากเป็นการจ้างผู้รับเหมาช่วง ดังนั้นจึงทำให้ในการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรม จะมีจำนวนข้อมูลในการวิเคราะห์น้อยกว่าในการวิเคราะห์เนื้องานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม และขอบเขตในการวิเคราะห์จะคลอบคลุมเฉพาะงานสุขาภิบาลภายในกับงานไฟฟ้าที่บางองค์ประกอบเท่านั้น

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาผลงานวิจัยในอนาคต

แนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคตมีอยู่หลายแนวทางด้วยกัน เช่น การแบ่งประเภทอาคารชุดพักอาศัยให้ละเอียดลงขึ้นอีกซึ่งจะช่วยให้สัดส่วนที่ยังแปรปรวนสูงอยู่เช่นสัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมอาจจะแปรปรวนต่ำลงได้ หรืออาจทดลองนำแนวคิดในการแบ่งอาคารชุดพักอาศัยไปใช้ในการแบ่งประเภทอาคารประเภทอื่นๆ เช่น อาคารสำนักงานหรืออาคารจอดรถ เป็นต้นได้

การพัฒนาวิธีการประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก โดยในงานวิจัยนี้ได้ค้นพบสัดส่วนของกำลังไฟของดวงโคมต่อพื้นที่ สัดส่วนจำนวนปลั๊กและสวิทซ์ต่อพื้นที่ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบและประมาณมูลค่างานไฟฟ้าได้ แม้จะยังใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่แต่ก็น่าจะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับแนวคิดในการประมาณมูลค่างานระบบวิศวกรรมด้วยสัดส่วนของเนื้องาน ซึ่งน่าจะมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์สัดส่วนของหน่วยวัดความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (B.T.U.) ต่อปริมาตรของอาคารเพื่อประมาณมูลค่างานระบบปรับอากาศ เป็นต้น

สาเหตุประการหนึ่งซึ่งทำให้สัดส่วนระหว่างปริมาณเนื้องานหมวดงานระบบในส่วนของการวิเคราะห์สัดส่วนเนื้องานต่อพื้นที่มีความแปรปรวนสูงอาจเนื่องมาจาก พื้นที่ใช้สอยที่นำมาคิดไม่ได้หักพื้นที่ส่วนกลางหรือพื้นที่สาธารณะออกซึ่ง หากคิดเฉพาะพื้นที่ส่วนใช้สอยจริงๆแล้วอาจทำให้สัดส่วนเนื้องานระบบต่อพื้นที่แปรปรวนต่ำลงได้

แนวทางในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณเนื้องานนอกเหนือจากสามารถประยุกต์ใช้เพิ่มเติมกับเนื้องานประเภทอื่นๆ เช่นเนื้องานในหมวดงานระบบวิศวกรรมหรือหมวดสถาปัตยกรรมแล้ว ควรจะทำการศึกษาความเหมาะสมของรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมลักษณะอื่นๆนอกเหนือจาก Backpropagation Neural Networks เนื่องจาก ศาสตร์ในด้านนี้ ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมใหม่ๆเกิดขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นจึงควรทดลองรูปแบบโครงข่ายลักษณะอื่นๆเปรียบเทียบกับรูปแบบ Backpropagation Neural Networks ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

วรศักดิ์ ทวีกิจการ. การประยุกต์ใช้การถดถอยในการประมาณราคางานอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.

สมชาติ มั่นประเสริฐ. การศึกษาแนวทางในการตรวจสอบราคางานก่อสร้างอาคารโดยการประมาณปริมาณเนื้องานก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Adeli H. and Wu M. Regularization Neural Networks for Construction Cost Estimation. Journal of Construction Engineering and Management. Vol.124 (1998) , No.1, 18-24

Bhokha, S. Application of ANN to cost and duration forecasting for building. A.I.T publications (1999)

Chester, M. Neural Networks, A Tutorial. Englewood Cliffs, New Jersy, PTR Prentice Hall,1993.

Diamant L. and Tumblin C.R. Construction Cost Estimation. 2nd edition. John Wiley and Sons Inc., 1990

Garson,G.D. Neural Networks, An Introductory Guide for Social Scientists. London, Thousand Oaks, New Delhi, SAGA Publications, 1998.

Hegazy, T. Neural Network Model for Parametric Cost Estimation of Highway Projects. Journal of Construction Engineering and Management. Vol.123, No.3 (1998), 210-218.

Tongthong, T. Intregrating knowledge-based systems and artificial neural networks for engineering. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 9(1995), 13-22.

Tveter D. R. Chapter 2 : The Backprop Algorithm. A Basic Introduction To Neural Networks.htm , 2000 (http://www.dontveter.com/bpr/public2.html)

Mcguinness, J.W. and Benjamin,S. and Reynolds S.J. Meachanical and Equipment for Building, 6th edition. Singapore: Wiley Trans-Edition, 1981.

Peterson E.N. Means Mechanical Estimating : standard and procedure. R.S. Means Company , 1987

Sommez, R. and Rowing, E.J. Construction labor productivity modeling with Neural Networks. Journal of Construction Engineering and Management. Vol.124, No.6 (1999) , 498-504

Yeh, I.C. Quantity Estimating of Building with Logarithm-Neuron Networks. Journal of Construction Engineering and Management. Vol.124, No.5 (1998) , 374-380.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

- ตารางแสดงผลการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	สัดส่วนมูลค่าเนื้องานโครงสร้างต่อมูลค่างานโครงสร้าง								
				งานดิน	เสาเข็ม	คอนกรีต	ไม้แบบ	เหล็กเสริม	พื้นสำเร็จ	หลังคา	อื่นๆ	ปัจจัยหลัก
		ชั้น	ตรม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 03	3	1,076	0.0021	0.0788	0.2122	0.2300	0.2581	0.1444	0.0502	0.0241	0.7791
2	Res. 04	3	1,472	0.0117	0.2160	0.1360	0.1984	0.1969	0.0773	0.0737	0.0878	0.7494
3	Res. 05	3	1,502	0.0061	0.0990	0.1678	0.2749	0.2854	0.0606	0.0562	0.0300	0.8472
4	Res. 07	5	1,651	0.0034	0.1047	0.2206	0.2661	0.2318	0.1002	0.0636	0.0076	0.8251
5	Res. 10	5	2,064	0.0047	0.1524	0.1906	0.2663	0.2481	0.0745	0.0367	0.0266	0.8574
6	Res. 12	8	2,420	0.0069	0.1789	0.2031	0.2406	0.3191	0.0822	0.0447	0.0656	0.9417
7	Res. 13	5	2,429	0.0009	0.1224	0.1819	0.2033	0.2050	0.0742	0.0363	0.0453	0.7126
8	Res. 14	7	2,493	0.0068	0.1788	0.1802	0.2123	0.2567	0.0705	0.0000	0.0947	0.8280
9	Res. 16	5	2,504	0.0030	0.0773	0.1331	0.1641	0.1957	0.0502	0.0260	0.0173	0.5703
10	Res. 17	7	2,531	0.0109	0.3192	0.2230	0.3300	0.4423	0.0865	0.0000	0.0954	1.3145
11	Res. 21	8	2,945	0.0048	0.1469	0.1930	0.2086	0.3027	0.0586	0.0345	0.0509	0.8512
12	Res. 23	5	3,030	0.0087	0.2119	0.1297	0.2133	0.2746	0.0835	0.0000	0.0784	0.8295
13	Res. 24	4	3,106	0.0038	0.1174	0.2760	0.2117	0.3031	0.0578	0.0000	0.0301	0.9083
14	Res. 25	5	3,244	0.0171	0.1516	0.1302	0.2060	0.2519	0.1427	0.0420	0.0584	0.7398
15	Res. 33	5	4,156	0.0089	0.1066	0.1742	0.3079	0.1938	0.0718	0.0962	0.0397	0.7824
16	Res. 34	4	4,228	0.0076	0.1867	0.1593	0.1797	0.2560	0.0814	0.0619	0.0674	0.7817
17	Res. 37	7	5,060	0.0179	0.2009	0.1660	0.2694	0.2364	0.0631	0.0000	0.0283	0.8927
18	Res. 38	9	5,132	0.0080	0.1330	0.2166	0.2793	0.2958	0.0451	0.0088	0.0133	0.9247
19	Res. 40	5	5,480	0.0036	0.1115	0.1958	0.2834	0.2397	0.0848	0.0465	0.0247	0.8304
20	Res. 42	5	5,600	0.0029	0.1923	0.1897	0.2243	0.2639	0.0619	0.0269	0.0381	0.8703
21	Res. 43	5	6,750	0.0058	0.0680	0.3057	0.2417	0.2073	0.1055	0.0379	0.0282	0.8226
22	Res. 44	5	7,500	0.0034	0.1424	0.2073	0.2386	0.2506	0.0941	0.0383	0.0252	0.8389
ค่าเฉลี่ย				0.0068	0.1499	0.1925	0.2387	0.2598	0.0809	0.0356	0.0443	0.8408
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0045	0.0583	0.0431	0.0419	0.0548	0.0257	0.0264	0.0267	0.1327
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				66	39	22	18	21	32	74	60	16
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0009	0.0680	0.1297	0.1641	0.1938	0.0451	0.0000	0.0076	0.5703
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.0179	0.3192	0.3057	0.3300	0.4423	0.1444	0.0962	0.0954	1.3145

ตารางที่ 1.2 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นลอนเรียบในปี

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	สัดส่วนมูลค่าเนื้องานโครงสร้างต่อมูลค่างานโครงสร้าง								
				งานดิน	เสาเข็ม	คอนกรีต	ไม้แบบ	เหล็กเสริม	พื้นสำเร็จ	หลังคา	อื่นๆ	ปัจจัยหลัก
		ชั้น	ตรม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 01	4	761	0.0467	0.1120	0.2015	0.2902	0.3417	0.0000	0.0000	0.0071	0.8463
2	Res. 02	4	989	0.0171	0.1499	0.2026	0.2794	0.3340	0.0000	0.0109	0.0062	0.9668
3	Res. 06	4	1,577	0.0292	0.1644	0.1617	0.2483	0.3308	0.0000	0.0189	0.0266	0.9253
4	Res. 08	4	1,828	0.0332	0.1445	0.2542	0.2667	0.2800	0.0000	0.0116	0.0087	0.9454
5	Res. 11	4	2,238	0.0258	0.1536	0.1942	0.2534	0.3364	0.0000	0.0260	0.0110	0.9375
6	Res. 15	6	2,500	0.0179	0.1643	0.2182	0.2847	0.2815	0.0000	0.0291	0.0133	0.9487
7	Res. 18	6	2,725	0.0093	0.2823	0.2480	0.1868	0.1975	0.0000	0.0287	0.0476	0.9144
8	Res. 19	3	2,835	0.0043	0.1034	0.2269	0.3446	0.2475	0.0000	0.0532	0.0201	0.9224
9	Res. 20	6	2,853	0.0324	0.2139	0.2004	0.2199	0.3103	0.0000	0.0000	0.0232	0.9444
10	Res. 26	6	3,353	0.0525	0.2177	0.1958	0.2302	0.2689	0.0000	0.0125	0.0225	0.9125
11	Res. 28	9	3,857	0.0066	0.1973	0.2011	0.2816	0.2231	0.0000	0.0430	0.0472	0.9033
12	Res. 29	6	3,998	0.0583	0.2265	0.1970	0.2281	0.2696	0.0000	0.0098	0.0109	0.9215
13	Res. 30	6	4,050	0.0751	0.1974	0.1892	0.2277	0.2843	0.0000	0.0062	0.0201	0.8996
14	Res. 32	6	4,123	0.0486	0.1744	0.1730	0.2469	0.2959	0.0000	0.0413	0.0200	0.9532
15	Res. 36	9	4,451	0.0102	0.2632	0.1573	0.2843	0.2196	0.0000	0.0345	0.0309	0.9244
ค่าเฉลี่ย				0.0311	0.1844	0.2027	0.2582	0.2814	na	0.0211	0.0211	0.9257
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0213	0.0506	0.0257	0.0382	0.0452	na	0.0162	0.0129	0.0211
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				68	28	13	15	16	na	77	61	2
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0043	0.1034	0.1573	0.1868	0.1975	na	0.0000	0.0062	0.8996
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.0751	0.2823	0.2542	0.3446	0.3417	na	0.0532	0.0476	0.9668

ตารางที่ 1.3 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	สัดส่วนมูลค่าเนื้องานโครงสร้างต่อมูลค่างานโครงสร้าง								
				งานดิน	เสาเข็ม	คอนกรีต	ไม้แบบ	เหล็กเสริม	พื้นสำเร็จ	หลังคา	อื่นๆ	ปัจจัยหลัก
		ชั้น	ตรม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 09	5	2,038	0.0612	0.1627	0.1678	0.1971	0.1705	0.0901	0.0644	0.0851	0.7162
2	Res. 22	7	2,985	0.0275	0.2328	0.2457	0.1446	0.3077	0.0000	0.0000	0.0417	0.9308
3	Res. 27	8	3,509	0.0370	0.1938	0.2466	0.1734	0.2724	0.0092	0.0731	0.0246	0.8852
4	Res. 31	8	4,096	0.0324	0.1819	0.1995	0.1167	0.4528	0.0000	0.0000	0.0468	0.9509
5	Res. 35	8	4,309	0.0131	0.1821	0.2751	0.1925	0.2695	0.0000	0.0000	0.0537	0.9332
6	Res. 39	8	5,150	0.0089	0.1525	0.2934	0.1835	0.3307	0.0000	0.0000	0.0310	0.9801
7	Res. 41	9	5,535	0.0604	0.2180	0.2200	0.1757	0.2130	0.0757	0.0000	0.0357	0.6282
ค่าเฉลี่ย				0.0258	0.1892	0.2384	0.1691	0.2901	0.0250	0.0196	0.0428	0.8868
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0252	0.0287	0.0385	0.0287	0.0904	0.0399	0.0336	0.0142	0.0870
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				98	15	16	17	31	160	171	33	10
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0024	0.1525	0.1678	0.1167	0.1705	0.0000	0.0000	0.0246	0.7162
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.0612	0.2328	0.2934	0.1971	0.4528	0.0901	0.0731	0.0851	0.9801

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่มีลิฟต์โดยสาร

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	สัดส่วนมูลค่าเนื้องานสถาปัตยกรรมต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรม							
				งานพื้น	งานผนัง	งานฝ้า	ช่องเปิด	สุขภัณฑ์	ทาสี	งานอื่นๆ	ปัจจัยหลัก
		ชั้น	ตร.ม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บวก
1	Res. 04	3	1,472	0.1859	0.2964	0.0514	0.1770	0.1044	0.0550	0.1199	0.5987
2	Res. 09	5	2,038	0.2243	0.2710	0.0475	0.1699	0.0837	0.1986	0.0150	0.7314
3	Res. 12	8	2,420	0.1980	0.2391	0.0779	0.2700	0.0862	0.0902	0.0386	0.6053
4	Res. 14	7	2,493	0.2038	0.3384	0.0436	0.2542	0.0648	0.0612	0.0279	0.6530
5	Res. 17	7	2,531	0.2450	0.2675	0.0941	0.2598	0.0321	0.0720	0.0294	0.6787
6	Res. 21	8	2,945	0.1772	0.2505	0.0719	0.2537	0.1004	0.0903	0.0461	0.5899
7	Res. 23	5	3,030	0.2748	0.2709	0.1096	0.2211	0.0266	0.0569	0.0401	0.7122
8	Res. 27	8	3,509	0.1658	0.2107	0.0750	0.3792	0.0645	0.0712	0.0336	0.5226
9	Res. 28	9	3,657	0.2242	0.2769	0.0855	0.1951	0.1191	0.0594	0.0366	0.6450
10	Res. 31	8	4,098	0.1447	0.3543	0.0721	0.2851	0.0502	0.0805	0.0121	0.6516
11	Res. 34	4	4,228	0.1675	0.4014	0.0391	0.1201	0.0648	0.0926	0.0946	0.7005
12	Res. 35	8	4,309	0.2000	0.2954	0.0593	0.2573	0.0891	0.0707	0.0283	0.6253
13	Res. 37	7	5,060	0.2310	0.2900	0.0447	0.2201	0.0787	0.0935	0.0420	0.6592
14	Res. 38	9	5,132	0.1252	0.4557	0.0490	0.1429	0.0922	0.1195	0.0154	0.7494
15	Res. 39	8	5,150	0.0970	0.4764	0.0906	0.1983	0.0284	0.0617	0.0478	0.7256
ค่าเฉลี่ย				0.1914	0.3131	0.0675	0.2277	0.0737	0.0849	0.0418	0.6568
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0470	0.0779	0.0216	0.0646	0.0286	0.0334	0.0291	0.0621
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				25	25	32	28	39	39	70	9
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0970	0.2107	0.0391	0.1201	0.0266	0.0569	0.0121	0.5226
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2748	0.4764	0.1096	0.3792	0.1191	0.1986	0.0946	0.7494

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่ไม่มีลิฟต์โดยสาร

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	สัดส่วนมูลค่าเนื้องานสถาปัตยกรรมต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรม							
				งานพื้น	งานผนัง	งานฝ้า	ช่องเปิด	สุขภัณฑ์	ทาสี	งานอื่นๆ	ปัจจัยหลัก
		ชั้น	ตร.ม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 03	3	1,076	0.2176	0.4254	0.0230	0.1339	0.0305	0.1478	0.0219	0.8137
2	Res. 05	3	1,502	0.0935	0.3401	0.0602	0.2273	0.0876	0.1313	0.0600	0.6251
3	Res. 07	5	1,651	0.1247	0.4938	0.0273	0.2249	0.0273	0.0964	0.0057	0.7422
4	Res. 10	5	2,064	0.1060	0.3374	0.0492	0.2361	0.0547	0.1380	0.0686	0.6306
5	Res. 13	5	2,429	0.1058	0.3849	0.0499	0.1822	0.0932	0.1287	0.0552	0.6693
6	Res. 16	5	2,504	0.0934	0.3430	0.0467	0.2313	0.0904	0.1358	0.0584	0.6189
7	Res. 18	8	2,725	0.3410	0.2137	0.0209	0.2122	0.0920	0.0799	0.0403	0.6555
8	Res. 19	3	2,836	0.2266	0.2508	0.0409	0.3012	0.0461	0.1046	0.0300	0.6227
9	Res. 24	4	3,106	0.1551	0.2931	0.0912	0.2104	0.0409	0.0931	0.1261	0.6225
10	Res. 25	5	3,244	0.1479	0.3662	0.0385	0.2113	0.0642	0.1224	0.0295	0.6751
11	Res. 33	5	4,156	0.1423	0.4209	0.0405	0.2252	0.0682	0.0518	0.0512	0.6554
12	Res. 36	9	4,451	0.2399	0.3104	0.0550	0.1740	0.0860	0.0741	0.0608	0.6793
13	Res. 40	5	5,489	0.1505	0.3934	0.0322	0.1577	0.1024	0.1037	0.0600	0.6798
14	Res. 42	5	5,600	0.1873	0.3059	0.0121	0.2108	0.0902	0.1403	0.0504	0.6487
15	Res. 43	5	6,750	0.1096	0.4018	0.0376	0.2551	0.0418	0.1329	0.0211	0.6819
16	Res. 44	5	7,500	0.1291	0.3344	0.0497	0.1956	0.1205	0.1440	0.0266	0.6572
ค่าเฉลี่ย				0.1606	0.3511	0.0422	0.2118	0.0729	0.1134	0.0478	0.6674
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0672	0.0697	0.0186	0.0392	0.0279	0.0292	0.0277	0.0502
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				42	20	44	18	38	26	58	8
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0934	0.2137	0.0121	0.1339	0.0273	0.0518	0.0057	0.5199
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.3410	0.4938	0.0912	0.3012	0.1205	0.1478	0.1261	0.8137

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนมูลค่างานระบบวิศวกรรมต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	มูลค่างานระบบสุขาภิบาล	มูลค่างานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร	มูลค่างานระบบขนส่งแนวดิ่ง
		ชั้น	ตรม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 13	5	2,429	0.1383	0.1700	na.
2	Res. 17	7	2,531	0.0836	0.0791	0.1071
3	Res. 25	5	3,244	0.1381	0.1881	na.
4	Res. 33	5	4,156	0.0629	0.0937	na.
5	Res. 37	7	5,060	0.1458	0.1726	0.1666
6	Res. 40	5	5,489	0.1454	0.1363	na.
7	Res. 42	5	5,600	0.1154	0.1103	na.
8	Res. 43	5	6,750	0.1384	0.1449	na.
9	Res. 44	5	7,500	0.2420	0.1328	na.
ค่าเฉลี่ย				**0.1344**	**0.1364**	**0.1368**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				**0.0499**	**0.0370**	**0.0420**
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				37	27	31
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0629	0.0791	0.1071
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2420	0.1881	0.1666

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนมูลค่างานระบบวิศวกรรมต่อผลรวมมูลค่างานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	มูลค่างานระบบสุขาภิบาล	มูลค่างานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร	มูลค่างานระบบขนส่งแนวดิ่ง
		ชั้น	ตรม.	บาท/บาท	บาท/บาท	บาท/บาท
1	Res. 04	3	1,472	0.1651	0.1783	na.
2	Res. 05	3	1,502	0.1427	0.1364	na.
3	Res. 07	5	1,651	0.0850	0.1292	na.
4	Res. 09	5	2,038	0.0704	0.1097	0.1110
5	Res. 10	5	2,064	0.1102	0.1272	na.
6	Res. 12	8	2,420	0.1676	0.3321	0.1768
7	Res. 14	7	2,493	0.0913	0.1225	0.1412
8	Res. 16	5	2,504	0.1267	0.1589	na.
9	Res. 18	8	2,725	0.1772	0.1930	na.
10	Res. 21	8	2,945	0.1906	0.2855	0.1419
11	Res. 24	4	3,106	0.1005	0.0749	na.
12	Res. 27	8	3,509	0.1656	0.2538	0.1009
13	Res. 28	9	3,857	0.1493	0.1786	na.
14	Res. 35	8	4,309	0.2187	0.1271	na.
15	Res. 36	9	4,451	0.1117	0.1556	na.
16	Res. 39	8	5,150	0.1477	0.1834	na.
ค่าเฉลี่ย				0.1388	0.1716	0.1344
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0416	0.0679	0.0299
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				30	40	22
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0704	0.0749	0.1009
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2187	0.3321	0.1768

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างพื้นและคาน ค.ส.ล ที่ใช้พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานดิน/พื้นที่	งานเสาเข็ม/พื้นที่	คอนกรีต/พื้นที่	แบบหล่อ/พื้นที่	เหล็กเสริม/พื้นที่	งานดิน/เสาเข็ม	คอนกรีต/เสาเข็ม	แบบหล่อ/คอนกรีต	เหล็กเสริม/คอนกรีต
			ตรม.	ลบม./ตรม.	ต้น/ตรม.	ลบม./ตรม.	ตรม./ตรม.	กก./ตรม.	ลบม./ต้น	ลบม./ต้น	ตรม./ลบม.	กก./ลบม.
1	Res. 03	3	1,076	0.06	0.86	0.17	1.64	21.40	0.07	0.20	9.39	122.43
2	Res. 04	3	1,472	0.20	1.96	0.18	2.15	30.49	0.10	0.09	11.66	165.49
3	Res. 05	3	1,502	0.24	1.15	0.25	2.70	37.21	0.21	0.22	10.65	146.73
4	Res. 07	5	1,651	0.09	0.98	0.17	1.78	23.30	0.10	0.17	10.49	137.43
5	Res. 10	5	2,064	0.14	1.09	0.22	2.28	28.61	0.13	0.20	10.41	130.33
6	Res. 12	8	2,420	0.19	1.77	0.24	2.06	39.95	0.11	0.14	8.48	163.89
7	Res. 13	5	2,429	0.03	1.35	0.19	1.88	28.88	0.02	0.14	9.83	151.19
8	Res. 14	7	2,493	0.14	1.25	0.26	2.14	36.49	0.12	0.22	7.69	131.20
9	Res. 16	5	2,504	0.14	1.08	0.22	1.94	30.67	0.13	0.20	8.96	141.66
10	Res. 17	7	2,531	0.35	1.57	0.25	1.80	44.62	0.21	0.15	7.20	178.36
11	Res. 21	6	2,945	0.15	1.70	0.26	2.09	44.54	0.09	0.15	7.98	170.37
12	Res. 23	5	3,030	0.19	1.98	0.19	1.57	36.69	0.10	0.10	8.22	191.68
13	Res. 24	4	3,106	0.14	1.63	0.19	2.58	46.67	0.09	0.32	8.11	146.65
14	Res. 25	5	3,244	0.27	1.34	0.16	1.79	28.36	0.20	0.14	9.62	155.41
15	Res. 33	5	4,156	0.17	1.31	0.29	2.65	41.75	0.13	0.22	9.17	144.58
16	Res. 34	4	4,228	0.16	2.06	0.13	2.48	49.19	0.08	0.26	9.46	187.89
17	Res. 37	7	5,060	0.53	1.49	0.24	1.92	32.38	0.36	0.16	8.11	136.52
18	Res. 38	9	5,132	0.19	1.94	0.30	2.51	43.37	0.10	0.16	8.24	142.50
19	Res. 40	5	5,489	0.10	2.13	0.25	2.03	44.38	0.05	0.12	8.15	177.81
20	Res. 42	5	5,600	0.16	0.80	0.21	1.71	26.15	0.19	0.27	8.05	122.86
21	Res. 43	5	6,750	0.10	0.77	0.20	1.73	22.62	0.13	0.26	8.66	113.16
22	Res. 44	5	7,500	0.09	1.22	0.22	1.85	30.06	0.09	0.18	8.29	135.02
ค่าเฉลี่ย				0.17	1.43	0.22	2.06	34.90	0.13	0.19	8.95	149.70
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.11	0.43	0.04	0.34	8.47	0.07	0.06	1.14	21.76
ค่าประสิทธิ์การแปรผัน (%)				61	30	20	17	24	57	31	13	15
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.03	0.77	0.13	1.57	21.40	0.02	0.09	7.20	113.16
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.53	2.13	0.30	2.70	49.19	0.36	0.32	11.66	191.68

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างพื้นและคาน ค.ส.ล ที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานดิน/พื้นที่	งานเสาเข็ม/พื้นที่	คอนกรีต/พื้นที่	แบบหล่อ/พื้นที่	เหล็กเสริม/พื้นที่	งานดิน/เสาเข็ม	คอนกรีต/เสาเข็ม	แบบหล่อ/คอนกรีต	เหล็กเสริม/คอนกรีต
			ตรม.	ลบม./ตรม.	ต้น/ตรม.	ลบม./ตรม.	ตรม./ตรม.	กก./ตรม.	ลบม./ต้น	ลบม./ต้น	ตรม./ลบม.	กก./ลบม.
1	Res. 01	4	761	na.	0.60	0.46	3.24	56.51	na.	0.76	7.07	123.21
2	Res. 02	4	969	na.	0.73	0.41	3.32	68.42	na.	0.57	8.01	165.05
3	Res. 06	4	1,577	na.	0.99	0.38	3.18	64.06	na.	0.38	8.35	168.34
4	Res. 08	4	1,828	na.	1.01	0.37	3.06	66.31	na.	0.37	8.24	178.25
5	Res. 11	4	2,238	na.	1.02	0.36	3.01	63.76	na.	0.35	8.36	177.11
6	Res. 15	6	2,500	na.	2.00	0.36	2.44	54.12	na.	0.18	6.72	148.68
7	Res. 18	6	2,725	0.18	1.49	0.27	2.54	32.87	0.12	0.18	9.39	120.54
8	Res. 19	3	2,636	0.13	1.57	0.33	3.15	35.32	0.08	0.33	9.47	106.09
9	Res. 20	6	2,853	na.	1.90	0.39	2.56	63.70	na.	0.21	6.62	163.33
10	Res. 26	6	3,353	na.	1.63	0.39	2.75	53.32	na.	0.24	7.10	137.74
11	Res. 28	9	3,857	0.14	1.08	0.25	2.46	28.07	0.13	0.23	9.81	111.97
12	Res. 29	6	3,995	na.	1.69	0.33	2.58	60.75	na.	0.19	7.87	185.12
13	Res. 30	6	4,050	na.	1.72	0.35	2.69	58.91	na.	0.20	7.72	169.21
14	Res. 32	6	4,123	na.	1.56	0.32	2.80	52.39	na.	0.21	8.75	163.72
15	Res. 36	9	4,451	0.33	1.49	0.26	2.58	33.72	0.22	0.18	9.76	127.40
ค่าเฉลี่ย				**0.20**	**1.37**	**0.35**	**2.83**	**52.61**	**0.14**	**0.31**	**8.21**	**149.72**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				na.	0.43	0.06	0.31	13.59	0.06	0.17	1.06	26.30
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				na.	31	16	11	26	42	54	13	18
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.13	0.60	0.25	2.44	28.07	0.08	0.18	6.62	106.09
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.33	2.00	0.46	3.32	68.42	0.22	0.76	9.81	185.12

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานดิน/พื้นที่	งานเสาเข็ม/พื้นที่	คอนกรีต/พื้นที่	แบบหล่อ/พื้นที่	เหล็กเสริม/พื้นที่	งานดิน/เสาเข็ม	คอนกรีต/เสาเข็ม	แบบหล่อ/คอนกรีต	เหล็กเสริม/คอนกรีต
			ตรม.	ลบม./ตรม.	ต้น/ตรม.	ลบม./ตรม.	ตรม./ตรม.	กก./ตรม.	ลบม./ต้น	ลบม./ต้น	ตรม./ลบม.	กก./ลบม.
1	Res. 09	5	2,038	0.68	1.31	0.34	2.54	32.81	0.46	0.26	7.50	96.88
2	Res. 22	7	2,985	0.37	2.17	0.32	1.53	53.50	0.17	0.15	4.82	168.09
3	Res. 27	9	3,509	0.33	1.90	0.43	2.18	59.22	0.17	0.23	5.10	138.63
4	Res. 31	8	4,098	0.08	1.95	0.43	2.00	66.15	0.04	0.22	4.65	153.69
5	Res. 35	6	4,309	0.30	1.62	0.51	1.95	85.80	0.18	0.31	3.85	169.69
6	Res. 39	8	5,150	0.26	3.53	0.40	1.88	49.66	0.07	0.11	4.71	124.38
7	Res. 41	9	5,535	1.30	2.59	0.47	2.70	51.66	0.50	0.18	5.76	109.93
ค่าเฉลี่ย				**0.46**	**2.15**	**0.41**	**2.11**	**56.97**	**0.23**	**0.21**	**5.20**	**137.36**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.40	0.73	0.07	0.40	16.32	0.18	0.07	1.16	28.37
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				87	34	16	19	29	76	32	22	21
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.08	1.31	0.32	1.53	32.81	0.04	0.11	3.85	96.88
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				1.30	3.53	0.51	2.70	85.80	0.50	0.31	7.50	169.69

ตารางที่ 5.1 สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่มีฝ้าเพดาน

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานพื้น/พื้นที่	งานผนัง/พื้นที่	งานฝ้า/พื้นที่	งานทาสี/พื้นที่	งานผนัง/งานพื้น	งานฝ้า/งานพื้น	งานทาสี/งานผนัง	งานทาสีพลาสติก/งานทาสี
			ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.
1	Res. 04	3	1,472	1.09	1.38	1.11	3.59	1.26	1.02	2.61	0.85
2	Res. 09	5	2,038	0.79	1.20	0.79	5.44	1.51	1.00	4.52	0.96
3	Res. 12	8	2,420	1.03	1.20	0.99	3.81	1.16	0.96	3.19	0.91
4	Res. 14	7	2,493	1.07	1.12	0.68	3.14	1.04	0.64	2.82	0.95
5	Res. 17	7	2,531	1.10	1.22	0.72	4.25	1.11	0.65	3.47	0.97
6	Res. 21	8	2,945	0.94	1.36	0.93	4.05	1.45	0.99	2.97	0.88
7	Res. 23	5	3,030	1.11	0.98	0.93	2.22	0.88	0.83	2.27	0.95
8	Res. 27	8	3,509	0.96	1.04	0.75	3.67	1.06	0.76	3.52	0.87
9	Res. 28	9	3,857	0.87	1.34	1.15	3.93	1.53	1.31	2.95	0.99
10	Res. 31	8	4,098	0.78	1.39	0.97	4.06	1.79	1.24	2.93	0.97
11	Res. 34	4	4,229	1.10	1.36	1.08	4.12	1.24	0.98	3.02	0.87
12	Res. 35	8	4,309	1.10	1.30	1.15	4.64	1.19	1.05	3.58	0.96
13	Res. 37	7	5,080	0.96	1.31	0.73	3.32	1.36	0.77	2.54	1.00
14	Res. 38	9	5,132	1.02	1.19	0.82	4.54	1.17	0.80	3.81	1.00
15	Res. 39	8	5,150	0.80	0.97	1.02	2.59	1.22	1.28	2.66	0.83
ค่าเฉลี่ย				**0.98**	**1.22**	**0.92**	**3.82**	**1.26**	**0.95**	**3.12**	**0.93**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.12	0.14	0.16	0.80	0.23	0.21	0.58	0.09
ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				12	12	18	21	18	22	18	6
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.78	0.97	0.68	2.22	0.88	0.64	2.27	0.83
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				1.11	1.39	1.15	5.44	1.79	1.31	4.52	1.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ที่ไม่มีผ้าพลาน

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานพื้น/พื้นที่	งานผนัง/พื้นที่	งานฝ้า/พื้นที่	งานสี/พื้นที่	งานผนัง/งานพื้น	งานฝ้า/งานพื้น	งานสี/งานผนัง	งานสีพลาสติก/งานสี
			ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.
1	Res. 03	3	1,076	1.14	1.42	0.89	4.43	1.25	0.78	3.13	0.88
2	Res. 05	3	1,502	1.02	1.36	0.94	4.68	1.34	0.93	3.43	0.89
3	Res. 07	5	1,651	0.99	1.37	0.81	5.21	1.38	0.82	3.80	0.91
4	Res. 10	5	2,054	0.97	1.22	1.08	4.86	1.26	1.11	3.97	0.90
5	Res. 13	5	2,429	1.07	1.30	0.91	4.24	1.21	0.85	3.27	0.88
6	Res. 16	5	2,504	0.95	1.34	0.91	4.74	1.41	0.96	3.55	0.90
7	Res. 18	6	2,725	1.03	1.01	0.97	4.66	0.98	0.95	4.61	0.98
8	Res. 19	3	2,836	1.00	0.82	0.73	4.17	0.82	0.73	5.08	1.00
9	Res. 24	4	3,106	1.08	1.13	1.00	4.23	1.05	0.93	3.72	0.95
10	Res. 25	5	3,244	0.84	1.25	1.00	3.82	1.49	1.19	3.06	0.87
11	Res. 33	5	4,156	1.03	1.06	1.03	4.98	1.03	1.00	4.68	0.93
12	Res. 36	9	4,451	0.96	1.26	1.12	4.68	1.32	1.17	3.87	0.96
13	Res. 40	5	5,489	1.13	1.53	0.98	5.15	1.36	0.86	3.36	0.91
14	Res. 42	5	5,600	0.61	1.23	1.12	5.11	1.53	1.39	4.14	0.90
15	Res. 43	5	6,750	1.07	1.41	0.68	4.67	1.32	0.82	3.31	0.98
16	Res. 44	5	7,500	1.07	1.42	1.01	4.82	1.33	0.94	3.39	0.94
ค่าเฉลี่ย				1.01	1.26	0.96	4.67	1.26	0.96	3.77	0.92
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.09	0.18	0.11	0.39	0.19	0.17	0.60	0.04
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				9	14	11	8	15	18	16	4
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.61	0.82	0.73	3.82	0.82	0.73	3.06	0.87
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				1.14	1.53	1.12	5.21	1.53	1.39	5.08	1.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 สัดส่วนพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ใช้สอยหลักของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่รวม	พื้นที่สาธารณะ	พื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว	สัดส่วนพื้นที่ประเภทต่างๆต่อพื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว			
						พื้นที่พักอาศัย	พื้นที่ทางเดิน	พื้นที่ห้องน้ำ	พื้นที่ระเบียง
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.
1	Res. 13	5	2,429	0	2,429	0.64	0.21	0.07	0.07
2	Res. 17	7	2,531	328	2,203	0.60	0.30	0.05	0.05
3	Res. 19	3	2,836	312	2,524	0.62	0.22	0.09	0.07
4	Res. 23	5	3,030	454	2,576	0.60	0.29	0.06	0.06
5	Res. 25	5	3,244	0	3,244	0.63	0.17	0.09	0.11
6	Res. 31	8	4,098	466	3,632	0.63	0.17	0.10	0.10
7	Res. 33	5	4,156	678	3,479	0.66	0.24	0.03	0.06
8	Res. 34	4	4,228	383	3,845	0.54	0.23	0.13	0.10
9	Res. 37	7	5,060	0	5,060	0.63	0.19	0.09	0.09
10	Res. 38	9	5,132	492	4,640	0.61	0.26	0.07	0.07
11	Res. 40	5	5,489	0	5,489	0.63	0.18	0.10	0.10
12	Res. 42	5	5,600	0	5,600	0.64	0.23	0.06	0.06
13	Res. 43	5	6,750	0	6,750	0.62	0.20	0.09	0.09
14	Res. 44	5	7,500	0	7,500	0.60	0.20	0.10	0.10
ค่าเฉลี่ย						0.62	0.22	0.08	0.08
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.03	0.04	0.03	0.02
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)						5	19	32	27
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง						0.54	0.17	0.03	0.05
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง						0.66	0.30	0.13	0.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 สัดส่วนพื้นที่แต่ละประเภทต่อพื้นที่ใช้สอยหลักของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่รวม	พื้นที่สาธารณะ	พื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว	สัดส่วนพื้นที่ประเภทต่างๆต่อพื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว			
						พื้นที่พักอาศัย	พื้นที่ทางเดิน	พื้นที่ห้องน้ำ	พื้นที่ระเบียง
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.	ตรม./ตรม.
1	Res. 03	3	1,076	136	940	0.69	0.22	0.04	0.05
2	Res. 04	3	1,472	0	1,472	0.62	0.17	0.10	0.11
3	Res. 05	3	1,502	0	1,502	0.72	0.21	0.06	0.00
4	Res. 07	5	1,651	233	1,418	0.72	0.18	0.04	0.06
5	Res. 09	5	2,038	420	1,617	0.72	0.15	0.05	0.07
6	Res. 10	5	2,064	0	2,064	0.69	0.19	0.05	0.07
7	Res. 12	8	2,420	0	2,420	0.75	0.13	0.06	0.06
8	Res. 14	7	2,493	309	2,184	0.70	0.17	0.06	0.08
9	Res. 16	5	2,504	0	2,504	0.72	0.21	0.06	0.00
10	Res. 18	8	2,725	0	2,725	0.73	0.15	0.08	0.05
11	Res. 21	8	2,945	0	2,945	0.68	0.20	0.06	0.06
12	Res. 24	4	3,106	590	2,516	0.69	0.21	0.05	0.05
13	Res. 27	8	3,509	0	3,509	0.66	0.18	0.08	0.08
14	Res. 28	9	3,857	0	3,857	0.66	0.15	0.12	0.07
15	Res. 35	8	4,309	475	3,834	0.67	0.13	0.09	0.10
16	Res. 36	9	4,451	0	4,451	0.65	0.16	0.12	0.07
17	Res. 39	8	5,150	515	4,635	0.70	0.12	0.08	0.10
ค่าเฉลี่ย						**0.69**	**0.17**	**0.07**	**0.06**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.04	0.03	0.02	0.03
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)						5	18	35	47
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง						0.62	0.12	0.04	0.00
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง						0.75	0.22	0.12	0.11

ตารางที่ 7.1 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบสุขาภิบาลของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาลภายใน			
				มูลค่าระบบท่อน้ำดี	มูลค่าระบบท่อน้ำทิ้ง	มูลค่าระบบควบคุม	องค์ประกอบ
		ชั้น	ตรม.	(a)	(b)	(c)	(a+b)
1	Res. 13	5	2,429	0.2269	0.2448	0.5283	0.4717
2	Res. 17	7	2,531	0.2215	0.2723	0.5062	0.4938
3	Res. 25	5	3,244	0.2752	0.3036	0.4212	0.5788
4	Res. 33	8	4,309	0.1833	0.3716	0.4451	0.5549
5	Res. 37	7	5,060	0.0883	0.6202	0.2915	0.7085
6	Res. 40	5	5,489	0.2481	0.3346	0.4173	0.5827
7	Res. 42	5	5,600	0.1901	0.3100	0.4999	0.5001
8	Res. 43	5	6,750	0.1632	0.3556	0.4812	0.5188
9	Res. 44	5	7,500	0.2670	0.4122	0.3208	0.6792
ค่าเฉลี่ย				0.2071	0.3583	0.4346	0.5654
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0585	0.1106	0.0824	0.0824
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				28	31	19	15
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0883	0.2448	0.2915	0.4717
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2752	0.6202	0.5283	0.7085

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบสุขาภิบาลของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาลภายใน			
				มูลค่าระบบท่อน้ำดี	มูลค่าระบบท่อน้ำทิ้ง	มูลค่าระบบควบคุม	องค์ประกอบ
		ชั้น	ตรม.	(a)	(b)	(c)	(a+b)
1	Res. 04	3	1,472	0.2564	0.3506	0.3930	0.6070
2	Res. 05	3	1,502	0.1593	0.1800	0.6607	0.3393
3	Res. 07	5	1,651	0.1646	0.2014	0.6340	0.3660
4	Res. 09	5	2,038	0.1809	0.3251	0.4940	0.5060
5	Res. 10	5	2,064	0.1520	0.1777	0.6704	0.3296
6	Res. 12	8	2,420	0.1892	0.3144	0.4964	0.5036
7	Res. 14	7	2,493	0.1607	0.3293	0.5096	0.4904
8	Res. 16	5	2,504	0.1528	0.2000	0.6472	0.3528
9	Res. 18	8	2,725	0.1688	0.3472	0.4840	0.5160
10	Res. 21	8	2,945	0.1563	0.4203	0.4234	0.5766
11	Res. 24	4	3,106	0.1378	0.2088	0.6534	0.3466
12	Res. 27	8	3,509	0.1067	0.3783	0.5150	0.4850
13	Res. 28	9	3,857	0.1742	0.3769	0.4489	0.5511
14	Res. 33	5	4,156	0.1850	0.3464	0.4686	0.5314
15	Res. 36	9	4,451	0.1786	0.3467	0.4748	0.5252
16	Res. 39	8	5,150	0.2016	0.3428	0.4556	0.5444
ค่าเฉลี่ย				0.1703	0.3029	0.5268	0.4732
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0320	0.0802	0.0933	0.0933
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				19	26	18	20
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.1067	0.1777	0.3930	0.3296
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2564	0.4203	0.6704	0.6070

ตารางที่ 7.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของงานระบบไฟฟ้าของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดียว

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบไฟฟ้า						
				มูลค่าระบบความโต้แย้ง	มูลค่าระบบสวิทช์	มูลค่าระบบเต้ารับ	มูลค่าระบบสายไฟ	มูลค่าระบบท่อ	มูลค่าระบบควบคุม	องค์ประกอบ
		ชั้น	ตรม.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(a+b+c+d)
1	Res. 13	6	2,429	0.1105	0.0154	0.0631	0.2821	0.0578	0.4811	0.4612
2	Res. 17	7	2,531	0.1316	0.0307	0.0318	0.2311	0.0542	0.5205	0.4252
3	Res. 25	6	3,244	0.1559	0.0212	0.0574	0.3354	0.0882	0.3409	0.5709
4	Res. 33	8	4,309	0.1354	0.0312	0.0548	0.2883	0.1344	0.3560	0.5097
5	Res. 37	7	5,060	0.1823	0.0228	0.0229	0.1737	0.0929	0.5052	0.4819
6	Res. 40	5	5,489	0.1340	0.0233	0.0349	0.3058	0.1798	0.3221	0.4981
7	Res. 42	5	5,800	0.0946	0.0249	0.0287	0.3263	0.1629	0.3625	0.4746
8	Res. 43	5	6,750	0.0818	0.0224	0.0479	0.3925	0.1141	0.3411	0.5448
9	Res. 44	5	7,500	0.0900	0.0344	0.0340	0.3067	0.1050	0.4308	0.4642
ค่าเฉลี่ย				0.1241	0.0252	0.0406	0.2935	0.1099	0.4067	0.4834
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0329	0.0059	0.0127	0.0627	0.0432	0.0783	0.0540
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				27	23	31	21	39	19	11
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0818	0.0154	0.0229	0.1737	0.0542	0.3221	0.4019
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.1823	0.0344	0.0574	0.3925	0.1798	0.5205	0.5709

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.4 สัดส่วนมูลค่าองค์ประกอบของงานระบบไฟฟ้าของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบโอเรนจ์

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบไฟฟ้า						
				มูลค่าระบบตวงโคม (a)	มูลค่าระบบสวิทช์ (b)	มูลค่าระบบต้าร์บ (c)	มูลค่าระบบสายไฟ (d)	มูลค่าระบบท่อ (e)	มูลค่าระบบควบคุม (f)	องค์ประกอบ (a+b+c+d)
1	Res. 04	3	1,472	0.1502	0.0288	0.0379	0.2123	0.0591	0.5118	0.4291
2	Res. 05	3	1,502	0.0758	0.0264	0.0359	0.2448	0.0848	0.5322	0.3830
3	Res. 07	5	1,651	0.1855	0.0224	0.0184	0.2688	0.0977	0.4072	0.4951
4	Res. 09	5	2,038	0.2091	0.0338	0.0439	0.2255	0.2936	0.1942	0.5122
5	Res. 10	5	2,054	0.0849	0.0302	0.0335	0.2144	0.0844	0.5526	0.3630
6	Res. 12	8	2,420	0.1077	0.0431	0.0251	0.2794	0.2434	0.3013	0.4554
7	Res. 14	7	2,493	0.2633	0.0418	0.0436	0.2076	0.0774	0.3662	0.5564
8	Res. 16	5	2,504	0.0720	0.0251	0.0342	0.2340	0.0779	0.5569	0.3652
9	Res. 18	8	2,725	0.0782	0.0207	0.0262	0.4752	0.1736	0.2261	0.6003
10	Res. 21	8	2,945	0.1032	0.0459	0.0336	0.2585	0.2285	0.3303	0.4412
11	Res. 24	4	3,105	0.1130	0.0359	0.0314	0.3471	0.0707	0.4019	0.5274
12	Res. 27	8	3,509	0.0779	0.0291	0.0255	0.2865	0.2102	0.3706	0.4191
13	Res. 28	9	3,857	0.0781	0.0208	0.0249	0.4272	0.1707	0.2783	0.5510
14	Res. 33	5	4,156	0.1997	0.0299	0.0427	0.2136	0.1424	0.3718	0.4859
15	Res. 36	9	4,451	0.0919	0.0237	0.0303	0.4272	0.1112	0.3158	0.5730
16	Res. 39	8	5,150	0.0968	0.0207	0.0421	0.2224	0.3147	0.2973	0.3880
ค่าเฉลี่ย				0.1242	0.0303	0.0331	0.2840	0.1525	0.3759	0.4716
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0591	0.0079	0.0077	0.0874	0.0837	0.1129	0.0773
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				48	26	23	31	55	30	16
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.0720	0.0207	0.0184	0.2076	0.0591	0.1942	0.3630
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.2633	0.0459	0.0439	0.4752	0.3147	0.5569	0.6003

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.1 อัตส่วนเนื้อที่ของระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดียว

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาล		งานระบบไฟฟ้า				
				ท่อน้ำดี/พื้นที่	ท่อน้ำเสีย/พื้นที่	ดวงโคม/พื้นที่	กำลังไฟ/พื้นที่	สวิทช์/พื้นที่	เต้ารับ/พื้นที่	สายไฟ/พื้นที่
		ชั้น	ตรม.	ม./ตรม.	ม./ตรม.	ชุด/ตรม.	วัตต์/ตรม.	ชุด/ตรม.	ชุด/ตรม.	ม./ตรม.
1	Res. 13	5	2,429	0.5368	0.3705	0.1157	2.3096	0.0568	0.0758	4.8114
2	Res. 25	5	3,244	1.0983	0.3483	0.1073	2.2860	0.0718	0.0971	4.7056
3	Res. 33	5	4,156	0.3513	0.3609	0.0861	2.4229	0.0842	0.0662	5.5340
4	Res. 37	7	5,060	0.4609	0.6241	0.1332	5.1107	0.0796	0.0757	2.0877
5	Res. 40	5	5,459	0.5957	0.4469	0.1306	3.3416	0.0678	0.0636	4.7377
6	Res. 42	5	5,600	0.4496	0.3982	0.1063	2.8350	0.0746	0.0727	5.3930
7	Res. 43	5	6,750	0.5271	0.4036	0.0947	3.3970	0.0711	0.1209	2.7721
8	Res. 44	5	7,500	0.6391	0.7877	0.1248	3.2784	0.1175	0.1160	5.7149
ค่าเฉลี่ย				0.5824	0.4678	0.1123	3.1227	0.0804	0.0923	4.4696
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.2269	0.1564	0.0169	0.9284	0.0177	0.0186	1.3275
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				39	33	15	30	22	20	30
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.3513	0.3483	0.0861	2.2860	0.0568	0.0727	2.0877
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				1.0983	0.7877	0.1332	5.1107	0.1175	0.1209	5.7149

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.2 อัตส่วนเนื้อที่ระบบวิศวกรรมของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องชุด

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาล		งานระบบไฟฟ้า				
				ท่อน้ำดี/พื้นที่	ท่อน้ำเสีย/พื้นที่	ดวงโคม/พื้นที่	กำลังไฟ/พื้นที่	สวิทช์/พื้นที่	เต้ารับ/พื้นที่	สายไฟ/พื้นที่
		ชั้น	ตรม.	ม./ตรม.	ม./ตรม	ชุด/ตรม.	วัตต์/ตรม.	ชุด/ตรม.	ชุด/ตรม.	ม./ตรม.
1	Res. 04	3	1,472	0.5672	0.6997	0.1427	5.1355	0.1005	0.0829	3.0025
2	Res. 05	3	1,502	0.5013	0.3328	0.1172	3.5414	0.1032	0.1411	4.6185
3	Res. 07	5	1,651	0.4845	0.3634	0.0939	3.9001	0.0606	0.0676	4.8448
4	Res. 09	5	2,038	0.5688	0.4916	0.1669	2.8406	0.0903	0.0746	7.1605
5	Res. 10	5	2,064	0.3615	0.3237	0.1197	3.8472	0.1051	0.1173	4.9185
6	Res. 12	8	2,420	0.4235	0.4016	0.1892	5.3264	0.1500	0.1198	5.0124
7	Res. 14	7	2,493	0.3610	0.4412	0.1765	5.2948	0.1203	0.0786	4.0112
8	Res. 16	5	2,504	0.4565	0.2956	0.1166	3.5308	0.1026	0.1406	4.3100
9	Res. 18	8	2,725	0.7895	0.7141	0.0987	2.8169	0.0947	0.0954	6.3270
10	Res. 21	8	2,945	0.5147	0.7035	0.1956	6.2257	0.1531	0.1392	5.7157
11	Res. 24	4	3,106	0.3445	0.3889	0.0660	3.7347	0.0750	0.0686	2.2930
12	Res. 27	8	3,509	0.4957	0.6070	0.1342	6.0700	0.1114	0.1331	8.8035
13	Res. 28	9	3,857	0.7439	0.8997	0.1151	3.3417	0.1135	0.1076	7.1699
14	Res. 35	8	4,309	0.4352	0.5213	0.1114	3.7135	0.0928	0.0952	3.4513
15	Res. 36	9	4,451	0.9672	1.3165	0.1139	3.3987	0.1184	0.1074	4.4370
16	Res. 39	8	5,150	0.4676	0.2680	0.1099	4.4683	0.0786	0.1002	7.5151
ค่าเฉลี่ย				0.5297	0.5480	0.1305	4.1992	0.1044	0.1042	5.2257
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.1699	0.2742	0.0341	1.0864	0.0244	0.0259	1.7772
สัมประสิทธิ์การแปรผัน (%)				32	50	26	26	23	25	34
ค่าต่ำสุดของตัวอย่าง				0.3445	0.2680	0.0660	2.8169	0.0606	0.0668	2.2930
ค่าสูงสุดของตัวอย่าง				0.9672	1.3165	0.1956	6.2257	0.1531	0.1411	8.8035

ตารางที่ 9.1 สรุปสัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานโครงสร้างทั้งหมดของอาคารพักอาศัยประเภทต่างๆ

ลำดับ	ประเภทอาคาร	งานโครงสร้าง								
		งานดิน	เสาเข็ม	คอนกรีต	ไม้แบบ	เหล็กเสริม	พื้นสำเร็จ	หลังคา	อื่นๆ	ปัจจัยหลัก
1	ค่าเฉลี่ยรวม ไม่แยกประเภท	0.0181	0.1679	0.2033	0.2343	0.2720	0.0444	0.0281	0.0362	0.8774
2	อาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบคาน-พื้น ใช้พื้นสำเร็จรูป คอร.	0.0068	0.1499	0.1925	0.2387	0.2598	0.0809	0.0356	0.0443	0.8408
3	อาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบคาน-พื้น ใช้พื้นหล่อในที่	0.0311	0.1844	0.2027	0.2582	0.2814	0.0000	0.0211	0.0211	0.9267
4	อาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน	0.0258	0.1892	0.2384	0.1691	0.2901	0.0250	0.0196	0.0428	0.8868

ตารางที่ 9.2 สรุปสัดส่วนมูลค่าเนื้องานต่อมูลค่างานสถาปัตยกรรมทั้งหมดของอาคารพักอาศัยประเภทต่างๆ

ลำดับ	ประเภทอาคาร	งานสถาปัตยกรรม							
		งานพื้น	งานผนัง	งานฝ้า	ช่องเปิด	สุขภัณฑ์	หลัง	อื่นๆ	ปัจจัยหลัก
1	ค่าเฉลี่ยรวม ไม่แยกประเภท	0.1755	0.3327	0.0544	0.2195	0.0733	0.0996	0.0450	0.6623
2	อาคารชุดพักอาศัย มีฝ้าเพดาน	0.1914	0.3131	0.0675	0.2277	0.0737	0.0849	0.0418	0.6558
3	อาคารชุดพักอาศัย ไม่มีฝ้าเพดาน	0.1606	0.3511	0.0422	0.2116	0.0729	0.1134	0.0479	0.6674

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9.3 สรุปสัดส่วนความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัยรูปแบบต่างๆ

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	อาคารชุดพักอาศัย											
			ไม่แบ่งประเภท (44)			ระบบคาน ค.ส.ล. พื้น ค.ส.ล. ใช้พื้นคอนกรีตสำรูป (22)			ระบบคาน ค.ส.ล. พื้น ค.ส.ล. พื้นหล่อในที่ (15)			ระบบพื้นไร้คาน (7)		
			ค่าเฉลี่ย	STDEV.	%แปรปรวน	ค่าเฉลี่ย	STDEV.	%แปรปรวน	ค่าเฉลี่ย	STDEV.	%แปรปรวน	ค่าเฉลี่ย	STDEV.	%แปรปรวน
	หมวดงานโครงสร้าง													
1	งานดิน / พื้นที่	ลบ.ม./ตร.ม.	0.31	0.34	109	0.17	0.11	61	0.20	n.a.	n.a.	0.46	0.40	87
2	งานเสาเข็ม / พื้นที่	ตัน/ตร.ม.	1.75	0.78	44	1.43	0.43	30	1.37	0.43	31	2.15	0.73	34
3	งานคอนกรีต / พื้นที่	ลบ.ม./ตร.ม.	0.29	0.11	39	0.22	0.04	20	0.35	0.06	16	0.41	0.07	16
4	งานแบบหล่อ / พื้นที่	ตร.ม./ตร.ม.	2.17	0.38	18	2.06	0.34	17	2.83	0.31	11	2.11	0.40	19
5	งานเหล็กเสริม / พื้นที่	กก./ตร.ม.	42.56	16.67	39	34.90	8.47	24	52.81	13.39	26	56.97	16.32	29
7	งานดิน / เสาเข็ม	ลบ.ม./ต้น	0.17	0.13	77	0.13	0.07	57	0.14	0.06	42	0.23	0.18	78
8	งานคอนกรีต / เสาเข็ม	ลบ.ม./ต้น	0.20	0.06	31	0.19	0.05	31	0.31	0.17	54	0.21	0.07	32
9	งานแบบหล่อ/ คอนกรีต	ตร.ม./ลบ.ม.	7.68	1.88	25	8.95	1.14	13	8.21	1.06	13	5.20	1.16	22
10	งานเหล็กเสริม / คอนกรีต	กก./ลบ.ม.	141.00	25.21	18	149.70	21.78	15	149.72	26.30	18	137.36	28.37	21

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บคือจำนวนข้อมูลอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้อัตราส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่ (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานเสาเข็ม			งานคอนกรีต			งานแบบหล่อ			งานเหล็กเสริม		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตร.ม.	ต้น	ต้น	%	ลบ.ม.	ลบ.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%	กก.	กก.	%
1	Res. 01	4	761	460	1,040	126.0	349	266	23.8	2,466	2,151	12.8	43,002	40,191	6.5
2	Res. 02	4	989	720	1,351	87.7	410	346	15.7	3,285	2,795	14.9	67,670	52,233	22.8
3	Res. 06	4	1,577	1,560	2,155	38.1	600	551	8.1	5,012	4,457	11.1	101,032	83,288	17.5
4	Res. 08	4	1,828	1,850	2,498	35.0	690	639	6.0	5,600	5,166	7.7	121,210	96,544	20.3
5	Res. 11	4	2,239	2,280	3,058	34.1	806	782	2.9	6,736	6,325	6.1	142,695	**118,198**	17.2
6	Res. 15	6	2,500	5,010	3,416	31.8	910	874	4.0	6,111	7,065	15.6	**135,300**	132,035	2.4
7	Res. 18	8	2,725	4,070	3,723	8.5	743	953	28.2	6,911	7,701	11.4	**89,559**	**143,918**	60.7
8	Res. 19	3	2,836	4,460	3,875	12.9	944	991	5.0	8,943	**8,014**	10.4	100,145	149,764	49.5
9	Res. 20	6	2,853	5,420	**3,698**	28.1	1,113	997	10.4	7,361	8,063	9.5	181,736	150,678	17.1
10	Res. 26	6	3,353	5,470	**4,581**	16.2	1,298	1,172	9.7	9,221	9,476	2.8	178,782	177,085	0.9
11	Res. 28	9	3,857	4,150	**5,270**	27.0	967	1,348	39.4	9,493	10,899	14.9	**108,277**	203,699	88.1
12	Res. 29	6	3,995	6,760	5,459	19.3	1,311	1,397	6.5	10,321	11,290	9.4	**242,695**	210,992	13.1
13	Res. 30	6	4,050	6,980	5,534	20.7	1,410	1,416	0.4	10,890	11,446	5.1	**238,592**	213,896	10.4
14	Res. 32	6	4,123	6,430	5,634	12.4	1,319	1,441	9.2	11,544	11,652	0.9	216,004	217,752	0.8
15	Res. 36	9	4,451	6,650	6,082	8.5	**1,178**	1,556	32.1	11,493	12,579	9.5	150,080	235,084	56.6
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						33.8			13.4			9.5			25.6
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						8.5			0.4			0.9			0.8
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						126.0			39.4			15.6			88.1

ตารางที่ 10.3 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานเสาเข็ม			งานคอนกรีต			งานแบบหล่อ			งานเหล็กเสริม		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ต้น	ต้น	%	ลบม.	ลบม.	%	ตรม.	ตรม.	%	กก.	กก.	%
1	Res. 09	5	2,038	2,660	4,386	64.9	690	841	21.9	5,178	4,304	16.9	66,846	116,084	73.7
2	Res. 22	7	2,985	6,480	6,425	0.9	950	1,232	29.7	4,575	6,305	37.8	159,657	170,058	6.5
3	Res. 27	8	3,509	6,650	7,552	13.6	1,499	1,448	3.4	7,644	7,412	3.0	207,810	199,913	3.8
4	Res. 31	8	4,098	7,980	8,820	10.5	1,764	1,691	4.1	8,203	8,656	5.5	271,102	233,473	13.9
5	Res. 35	8	4,309	7,000	9,273	32.5	2,176	1,778	18.3	8,387	9,100	8.5	369,688	245,462	33.6
6	Res. 39	8	5,150	18,180	11,084	39.0	2,056	2,125	3.4	9,682	10,878	12.3	255,726	293,400	14.7
7	Res. 41	9	5,535	14,350	11,913	17.0	2,601	2,284	12.2	14,970	11,691	21.9	285,940	315,334	10.3
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						**25.5**			**13.3**			**15.1**			22.3
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						0.9			3.4			3.0			3.8
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						64.9			29.7			37.8			73.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ประเภทที่มีที่จอดรถ (ข้อมูลชุดพัฒนางานแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานผนัง			งานทาสี		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%
1	Res. 04	3	1,472	2,026	1,801	11.1	5,288	5,630	6.5
2	Res. 09	5	2,038	2,449	2,493	1.8	11,080	7,793	29.7
3	Res. 12	6	2,420	2,893	2,961	2.4	9,225	9,257	0.4
4	Res. 14	7	2,493	2,783	3,050	9.6	7,839	9,535	21.6
5	Res. 17	7	2,631	3,100	3,097	0.1	10,745	9,680	9.9
6	Res. 21	6	2,945	4,018	3,604	10.3	11,917	11,265	5.5
7	Res. 23	5	3,030	2,970	3,707	24.8	6,730	11,589	72.2
8	Res. 27	8	3,509	3,655	4,294	17.5	12,870	13,421	4.3
9	Res. 28	9	3,857	5,150	4,719	8.4	15,170	14,751	2.8
10	Res. 31	8	4,098	5,680	5,014	11.7	16,635	15,674	5.8
11	Res. 34	4	4,228	5,759	5,173	10.2	17,414	16,171	7.1
12	Res. 35	8	4,309	5,596	5,272	5.8	20,013	16,470	17.7
13	Res. 37	7	5,060	6,613	6,191	6.4	16,800	19,353	15.2
14	Res. 38	9	5,132	6,117	6,279	2.7	23,300	19,628	15.8
15	Res. 39	8	5,150	5,004	6,301	25.9	13,328	19,697	47.8
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						9.9			17.5
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						0.1			0.4
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						25.9			72.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานฉลาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ประเภทที่ไม่มีผ้าเพดาน (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานผนัง			งานทาสี		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%
1	Res. 03	3	1,076	1,524	1,355	11.1	4,763	5,018	5.4
2	Res. 05	3	1,502	2,049	1,892	7.6	7,034	7,009	0.4
3	Res. 07	5	1,651	2,264	2,080	8.1	8,608	7,704	10.5
4	Res. 10	5	2,064	2,527	2,600	2.9	10,032	9,629	4.0
5	Res. 13	5	2,429	3,153	3,060	3.0	10,302	11,333	10.0
6	Res. 16	5	2,504	3,343	3,154	5.7	11,864	11,681	1.5
7	Res. 18	8	2,725	2,757	3,433	24.5	12,709	12,714	0.0
8	Res. 19	3	2,836	2,324	3,572	53.7	11,815	13,230	12.0
9	Res. 24	4	3,106	3,525	3,913	11.0	13,125	14,491	10.4
10	Res. 25	5	3,244	4,056	4,087	0.8	12,393	15,135	22.1
11	Res. 33	5	4,156	4,420	5,235	18.4	20,700	19,391	6.3
12	Res. 36	9	4,451	5,609	5,607	0.0	21,700	20,767	4.3
13	Res. 40	5	5,489	8,423	6,915	17.9	28,292	25,609	9.5
14	Res. 42	5	5,600	6,908	7,054	2.1	28,595	26,127	8.6
15	Res. 43	5	6,750	9,547	8,503	10.9	31,553	31,493	0.2
16	Res. 44	5	7,500	10,673	9,448	11.5	36,133	34,992	3.2
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						11.8			6.8
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						0.0			0.0
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						53.7			22.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดียว (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่รวม	พื้นที่สาธารณะ	พื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว	สัดส่วนพื้นที่ประเภทต่างๆต่อพื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว											
						พื้นที่พักอาศัย			พื้นที่ทางเดิน			พื้นที่ห้องน้ำ			พื้นที่ระเบียง		
						ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม	%	ตรม	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%
1	Res. 13	5	2,429	0	2,429	1,548	1,499	3.2	521	539	3.4	160	193	7.1	180	194	8.1
2	Res. 17	7	2,531	328	2,203	1,322	1,360	2.9	669	489	27.0	105	175	65.0	106	176	65.3
3	Res. 19	3	2,836	312	2,524	1,560	1,559	0.1	567	560	1.3	227	201	11.6	170	202	18.7
4	Res. 23	5	3,030	454	2,576	1,536	1,590	3.5	745	571	23.3	143	205	43.1	143	206	44.2
5	Res. 25	5	3,244	0	3,244	2,054	2,002	2.5	543	719	32.5	277	258	7.1	359	260	29.7
6	Res. 31	8	4,098	466	3,632	2,288	2,242	2.0	627	805	28.4	346	288	16.6	370	291	21.5
7	Res. 33	5	4,156	678	3,479	2,312	2,147	7.1	847	771	9.0	105	276	163.7	200	278	39.2
8	Res. 34	4	4,228	383	3,845	2,070	2,373	14.7	887	853	3.9	504	305	39.4	384	308	19.9
9	Res. 37	7	5,050	0	5,050	3,192	3,123	2.1	981	1,122	16.7	455	402	11.7	451	405	10.3
10	Res. 38	9	5,132	492	4,640	2,831	2,864	1.2	1,195	1,029	13.9	397	369	20.0	397	371	20.9
11	Res. 40	5	5,489	0	5,489	3,440	3,388	1.5	985	1,217	26.1	529	435	17.6	545	439	19.4
12	Res. 42	5	5,600	0	5,600	3,576	3,457	3.3	1,302	1,242	4.6	354	445	25.7	325	448	37.9
13	Res. 43	5	6,750	0	6,750	4,181	4,167	0.3	1,343	1,497	11.4	596	536	10.1	616	540	12.3
14	Res. 44	5	7,500	0	7,500	4,484	4,629	3.2	1,526	1,653	9.0	738	595	19.2	737	600	18.6
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย								3.4			15.0			32.7			26.2
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด								0.1			1.3			7.1			8.1
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด								14.7			32.5			163.7			66.3

ตารางที่ 12.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องรุด (ข้อมูลรูดทัณฑ์แบบบ้านของ)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	พื้นที่	พื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว	สัดส่วนพื้นที่ประเภทต่างๆ ต่อพื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว											
						พื้นที่พักอาศัย			พื้นที่ทางเดิน			พื้นที่ห้องน้ำ			พื้นที่ระเบียง		
						ปริมาณจริง	ขนาดเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	ขนาดเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	ขนาดเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	ขนาดเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.	ตร.ม.	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%
1	Res. 03	3	1,076	136	940	644	651	1.1	203	161	20.8	41	66	62.9	52	60	17.0
2	Res. 04	3	1,472	0	1,472	936	1020	12.6	253	252	0.1	153	104	32.1	160	96	41.0
3	Res. 05	3	1,502	0	1,502	1,084	1041	3.9	314	257	18.0	97	106	9.0	na	na	na.
4	Res. 07	5	1,651	233	1,418	1,028	983	1.4	249	243	2.5	56	100	77.6	85	97	8.0
5	Res. 09	5	2,038	420	1,617	1,172	1121	4.4	248	277	12.0	78	114	46.2	120	104	13.3
6	Res. 10	5	2,064	0	2,064	1,429	1430	0.1	386	354	8.3	97	146	49.8	144	133	7.8
7	Res. 12	8	2,420	0	2,420	1,824	1677	8.0	308	415	34.5	144	171	18.5	144	156	8.1
8	Res. 14	7	2,493	309	2,184	1,526	1513	0.8	361	374	3.8	126	154	22.3	172	140	18.2
9	Res. 16	5	2,504	0	2,504	1,806	1735	3.9	523	429	18.0	162	177	9.0	na	na.	na.
10	Res. 18	8	2,725	0	2,725	1,998	1888	5.5	397	467	17.7	208	192	8.9	124	175	41.5
11	Res. 21	8	2,945	0	2,945	2,003	2041	1.9	551	505	13.5	179	209	15.9	179	189	5.8
12	Res. 24	4	3,106	590	2,516	1,739	1743	0.2	528	431	18.3	124	177	42.8	124	162	30.2
13	Res. 27	8	3,509	0	3,509	2,308	2432	5.4	625	601	3.8	268	247	14.1	288	226	21.6
14	Res. 28	9	3,857	0	3,857	2,540	2672	5.2	568	661	16.4	468	272	41.9	281	248	11.7
15	Res. 35	8	4,309	475	3,834	2,588	2657	2.7	511	657	28.5	335	270	19.3	400	247	38.4
16	Res. 36	9	4,451	0	4,451	2,884	3084	6.6	734	763	4.0	515	314	39.0	309	286	7.3
17	Res. 39	8	5,150	515	4,635	3,228	3212	0.5	567	791	40.2	361	327	9.3	480	299	37.9
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย								4.0			15.3			30.4			20.5
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด								0.1			11.1			26.9			13.6
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด								12.6			74.3			68.8			66.2
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด								0.1			0.1			6.9			5.8
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด								12.6			40.2			77.6			41.5

ตารางที่ 13.1 **ความคลาดเคลื่อนของการใช้อัตราส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย ห้องพักแบบห้องเดี่ยว** (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาล						งานระบบไฟฟ้า											
				ท่อน้ำดี			ท่อน้ำเสีย			กำลังไฟ			สวิทช์			เต้ารับ			สายไฟ		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
			รวม	ม.	ม.	%	ม.	ม.	%	วัตต์	วัตต์	%	ชุด	ชุด	%	ชุด	ชุด	%	ม.	ม.	%
1	Res. 13	5	2,429	1,304	1,415	8.5	933	1,138	26.3	5,610	7,595	35.2	139	195	41.6	184	224	21.9	11,687	10,857	7.1
2	Res. 25	5	3,244	3,553	1,689	47.0	1,130	1,518	34.3	7,416	10,130	36.6	233	261	12.0	315	299	5.0	15,265	14,499	5.0
3	Res. 33	5	4,155	1,460	2,420	65.8	1,560	1,944	29.6	10,070	12,978	28.9	350	334	4.5	403	383	4.1	23,000	18,576	19.2
4	Res. 37	7	5,060	2,332	2,947	26.4	3,158	2,357	25.0	25,860	15,801	38.9	403	407	1.0	383	467	21.9	10,564	22,016	114.1
5	Res. 40	5	5,489	3,270	3,197	2.2	2,464	2,569	4.2	18,342	17,140	6.6	482	442	8.4	460	505	10.1	26,005	24,533	5.7
6	Res. 42	5	5,600	2,518	3,261	29.5	2,230	2,620	17.5	15,976	17,487	10.1	418	453	7.8	407	517	27.0	30,201	25,030	17.1
7	Res. 43	5	6,750	3,559	3,931	10.5	2,724	3,159	15.9	22,930	21,078	8.1	480	543	13.1	816	623	23.7	18,712	30,170	61.2
8	Res. 44	5	7,500	4,793	4,368	8.9	5,908	3,508	40.6	24,589	23,420	4.8	861	603	31.5	879	692	20.5	42,852	33,522	21.8
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						24.8			24.2			21.1			15.0			16.8			31.4
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						2.2			4.2			4.8			1.0			4.1			5.0
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						65.8			40.6			38.9			41.6			27.0			114.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13.2 ความคลาดเคลื่อนในการใช้อัตราส่วนเนื่องจากระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื่องจากราคาชุดที่ราคาถูก ที่ตัดออกจากข้างชุด (ข้อมูลชุดทดลองแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาล						งานระบบไฟฟ้า											
				ท่อน้ำดี			ท่อน้ำเสีย			กำลังไฟ			สวิทช์			เต้ารับ			สายไฟ		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
			รวม	ม.	ม.	%	ม.	ม.	%	วัตต์	วัตต์	%	ชุด	ชุด	%	ชุด	ชุด	%	ม.	ม.	%
1	Res. 04	3	1,472	835	780	6.6	1,030	807	21.7	7,560	6,182	18.2	148	154	3.8	122	153	25.7	4,420	7,693	74.0
2	Res. 05	3	1,502	753	796	5.7	500	823	64.7	5,320	6,309	18.6	155	157	1.2	212	167	26.2	6,935	7,850	13.1
3	Res. 07	5	1,651	800	875	9.3	600	905	50.8	6,440	6,934	7.7	100	172	72.4	112	172	53.8	8,000	8,629	7.9
4	Res. 09	5	2,038	1,159	1,079	6.9	1,002	1,117	11.4	5,788	8,556	47.8	184	213	15.6	152	212	39.7	14,631	10,648	27.2
5	Res. 10	5	2,064	746	1,093	46.5	668	1,131	69.3	7,940	8,668	9.1	217	215	0.7	242	215	11.1	10,151	10,785	6.2
6	Res. 12	8	2,420	1,025	1,282	25.1	972	1,326	36.5	12,892	10,164	21.2	363	253	30.4	290	252	13.0	12,132	12,648	4.3
7	Res. 14	7	2,493	900	1,321	46.7	1,100	1,366	24.2	13,200	10,468	20.7	300	260	13.2	196	260	32.6	10,000	13,029	30.3
8	Res. 16	5	2,504	1,148	1,326	15.5	740	1,372	85.4	8,840	10,513	18.9	257	261	1.7	352	261	25.9	10,791	13,084	21.2
9	Res. 18	8	2,725	2,152	1,443	32.9	1,946	1,493	23.3	7,675	11,443	49.1	256	284	10.3	260	284	9.2	17,241	14,240	17.4
10	Res. 21	8	2,945	1,516	1,560	2.9	2,072	1,614	22.1	16,336	12,367	32.6	451	307	31.8	410	307	25.1	16,834	15,391	8.6
11	Res. 24	4	3,106	1,070	1,645	53.8	1,208	1,702	40.9	11,600	13,043	12.4	233	324	39.2	207	324	56.4	7,122	16,231	127.9
12	Res. 27	8	3,509	1,708	1,859	8.8	2,130	1,923	9.7	21,300	14,735	30.8	391	366	6.3	467	366	21.7	30,892	18,337	40.6
13	Res. 28	9	3,857	2,869	2,043	28.8	3,470	2,114	39.1	12,888	16,195	25.7	438	403	8.1	415	402	3.2	27,651	20,154	27.1
14	Res. 35	8	4,309	1,875	2,282	21.7	2,246	2,361	5.1	16,000	18,092	13.1	400	450	12.5	410	448	9.5	14,870	22,515	51.4
15	Res. 36	9	4,451	4,305	2,358	45.2	5,860	2,439	58.4	15,128	18,691	23.6	527	465	11.8	478	464	3.0	19,750	23,260	17.8
16	Res. 39	8	5,160	2,408	2,728	13.3	1,380	2,822	104.5	23,012	21,626	6.0	405	538	32.8	516	537	4.0	38,703	26,912	30.5
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						**23.1**			**41.7**			**22.2**			**16.2**			**22.5**			**31.6**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						2.9			5.1			6.0			0.7			3.0			6.3
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						53.8			104.5			49.1			72.4			56.4			127.9

ตาราง 14.1 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้อหาในโครงสร้างในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานเสาเข็ม			งานคอนกรีต			งานแบบหล่อ			งานเหล็กเสริม		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ต้น	ต้น	%	ลบม.	ลบม.	%	ตรม.	ตรม.	%	กก.	กก.	%
1	Test. 01	3	1,149	1,470	1,648	12.1	354	253	28.4	3,221	3,247	0.8	38,345	40,103	4.6
2	Test. 02	4	1,222	980	1,670	70.4	457	427	6.5	3,854	2,515	34.7	69,510	64,539	7.2
3	Test. 03	6	2,365	5,500	3,392	38.3	817	522	36.2	6,178	6,684	8.2	109,619	82,538	24.7
4	Test. 04	8	2,248	3,740	3,225	13.8	614	496	19.2	5,174	6,354	22.8	122,229	78,466	35.8
5	Test. 05	5	2,710	3,050	3,888	27.5	579	598	3.2	6,118	7,660	25.2	81,818	94,592	15.6
6	Test. 06	8	2,760	3,700	3,771	1.9	733	965	31.6	7,286	5,680	22.0	87,240	145,766	67.1
7	Test. 07	6	3,112	5,130	4,252	17.1	1,210	1,088	10.1	8,018	6,405	20.1	149,995	164,357	9.6
8	Test. 08	8	3,801	6,840	5,193	24.1	1,773	1,329	25.1	12,154	7,822	35.6	224,680	200,736	10.7
9	Test. 09	8	7,312	11,490	15,738	37.0	2,610	3,017	15.6	14,558	15,444	6.1	311,149	416,571	33.9
10	Test. 10	5	7,696	9,600	11,039	15.0	1,594	1,697	6.5	13,363	21,750	62.8	268,870	268,588	0.1
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						25.7			18.2			23.8			20.9
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						1.9			3.2			0.8			0.1
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						70.4			36.2			62.8			67.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14.2 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนเนื้องานสถาปัตยกรรมในการประมาณเนื้องานของบาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานผนัง			งานทาสี		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%
1	Test. 01	3	1,149	1,277	1,447	13.3	5,194	5,361	3.2
2	Test. 02	4	1,222	1,173	1,539	31.2	5,157	5,701	10.6
3	Test. 03	6	2,365	2,730	2,979	9.1	10,370	11,034	6.4
4	Test. 04	8	2,248	3,768	2,751	27.0	8,431	8,599	2.0
5	Test. 05	5	2,710	3,543	3,414	3.6	12,920	12,646	2.1
6	Test. 06	8	2,760	3,424	3,377	1.4	13,498	10,556	21.8
7	Test. 07	6	3,112	3,019	3,808	26.1	11,732	11,903	1.5
8	Test. 08	8	3,801	4,880	4,788	1.9	15,480	17,733	14.6
9	Test. 09	8	7,312	7,642	8,947	17.1	18,863	27,966	48.3
10	Test. 10	5	7,696	11,439	9,695	15.2	32,216	35,906	11.5
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						14.6			12.2
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						1.4			1.5
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						31.2			48.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14.3 ความคลาดเคลื่อนของการใช้สัดส่วนพื้นที่ใช้สอยในการประมาณพื้นที่ของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่รวม	พื้นที่สาธารณะ	พื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว	สัดส่วนพื้นที่ประเภทต่างๆต่อพื้นที่ใช้สอยที่หักพื้นที่สาธารณะออกแล้ว											
						พื้นที่พักอาศัย			พื้นที่ทางเดิน			พื้นที่ห้องน้ำ			พื้นที่ระเบียง		
						ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
		ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%
1	Test. 01	3	1,149	298	852	560	526	6.1	194	189	2.7	80	68	15.4	105	68	35.1
2	Test. 02	4	1,222	260	962	571	667	16.7	242	165	31.9	74	68	8.7	74	62	16.7
3	Test. 03	6	2,365	302	2,063	1,482	1,273	14.1	325	457	40.8	128	164	28.0	128	165	29.0
4	Test. 04	8	2,248	0	2,248	1,318	1,558	18.2	520	385	25.9	162	159	2.1	248	145	41.7
5	Test. 05	5	2,710	0	2,710	1,710	1,673	2.1	512	601	17.4	244	215	11.7	244	217	11.1
6	Test. 06	8	2,760	0	2,760	1,699	1,913	12.6	474	473	0.1	287	195	32.1	301	178	41.0
7	Test. 07	6	3,112	0	3,112	1,984	1,921	3.2	667	690	3.4	231	247	7.1	231	249	7.8
8	Test. 08	8	3,801	470	3,331	2,085	2,056	1.4	582	739	26.9	321	265	17.5	343	267	22.3
9	Test. 09	8	7,312	0	7,312	4,385	5,067	15.5	868	1,253	44.4	569	516	9.3	679	470	30.7
10	Test. 10	5	7,696	0	7,696	5,003	5,333	6.6	1,269	1,319	4.0	890	543	39.0	534	495	7.3
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย								**9.7**			**19.8**			**17.1**			**24.3**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด								1.4			0.1			2.1			7.3
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด								18.2			44.4			39.0			41.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14.4 ความคลาดเคลื่อนในการใช้สัดส่วนเนื้องานระบบวิศวกรรมในการประมาณเนื้องานของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	จำนวนชั้น	พื้นที่	งานระบบสุขาภิบาล						งานระบบไฟฟ้า											
				ท่อน้ำดี			ท่อน้ำเสีย			ท่อร้อยสายไฟ			สวิทช์			เต้ารับ			สายไฟ		
				ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน	ปริมาณจริง	จากค่าเฉลี่ย	คลาดเคลื่อน
			รวม	ม.	ม.	%	ม.	ม.	%	วัตต์	วัตต์	%	ชุด	ชุด	%	ชุด	ชุด	%	ม.	ม.	%
1	Test. 03	6	2,365	978	1,253	28.1	700	1,298	85.2	8118	9,931	22.3	223	247	10.7	209	246	17.9	6511	12,359	81.5
2	Test. 04	8	2,248	1,219	1,191	2.3	1,584	1,232	22.2	13668	9,441	30.9	340	235	31.0	321	234	27.0	16230	11,749	22.9
3	Test. 05	5	2,710	1,163	1,436	23.5	740	1,485	100.7	9740	11,391	16.9	227	283	24.7	352	282	22.0	13418	14,164	5.6
4	Test. 06	6	2,760	2,523	1,462	42.1	3,509	1,513	56.9	9296	11,590	24.7	340	289	15.3	297	288	3.2	12422	14,423	16.1
5	Test. 09	8	7,312	3,550	3,873	8.8	3,040	4,007	31.8	23476	30,704	30.8	552	763	38.3	587	762	29.8	34296	38,210	11.4
6	Test. 10	5	7,696	4,218	4,482	6.3	2,334	3,800	51.0	31950	24,032	24.8	772	619	19.8	579	710	22.6	35540	34,398	3.2
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย						**18.5**			**58.0**			**25.0**			**23.3**			**20.4**			**23.4**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด						2.3			22.2			16.9			10.7			3.2			3.2
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด						42.1			100.7			30.9			38.3			29.8			81.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 15.1 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานโครงสร้างด้วยค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเนื้องาน

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (APE)					
			ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง			ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง		
			เฉลี่ย	Min.	Max.	เฉลี่ย	Min.	Max.
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			ตามลักษณะ พื้นที่ ค.ส.ล. พื้นสำเร็จรูป			ข้อมูลอาคารทั้ง 3 ประเภท		
1	งานเสาเข็ม	ต้น	28.8	4.0	85.5	25.7	1.9	70.4
2	งานคอนกรีต	ลบม.	15.1	0.5	30.6	18.2	3.2	36.2
3	งานแบบหล่อ	ตรม.	15.6	0.6	37.6	23.8	0.8	62.6
4	งานเหล็กเสริม	กก.	22.8	4.4	63.1	20.9	0.1	67.1
			ตามลักษณะ พื้นที่ ค.ส.ล. พื้นหล่อในที่					
1	งานเสาเข็ม	ต้น	33.8	8.5	126.0			
2	งานคอนกรีต	ลบม.	13.4	0.4	39.4			
3	งานแบบหล่อ	ตรม.	9.5	0.9	15.6			
4	งานเหล็กเสริม	กก.	25.6	0.6	68.1			
			โครงสร้างระบบพื้นไร้คาน					
1	งานเสาเข็ม	ต้น	25.5	0.9	64.9			
2	งานคอนกรีต	ลบม.	13.3	3.4	29.7			
3	งานแบบหล่อ	ตรม.	15.1	3.0	37.8			
4	งานเหล็กเสริม	กก.	22.3	3.8	73.7			

ตาราง 15.2 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานสถาปัตยกรรมด้วยค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเนื้องาน

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (APE)					
			ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง			ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง		
			เฉลี่ย	Min.	Max.	เฉลี่ย	Min.	Max.
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			อาคารชุดพักอาศัย มีฝ้าเพดาน			ข้อมูลอาคารทั้ง 2 ประเภท		
1	งานผนัง	ตรม.	9.9	0.1	25.9	14.6	1.4	31.2
2	งานทาสี	ตรม.	17.5	0.4	72.2	12.2	1.5	48.3
			อาคารชุดพักอาศัย ไม่มีฝ้าเพดาน					
1	งานผนัง	ตรม.	11.8	0.0	53.7			
2	งานทาสี	ตรม.	6.8	0.0	22.1			

ตาราง 15.3 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าส่วนพื้นที่ใช้สอยด้วยค่าเฉลี่ย

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (APE)					
			ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง			ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง		
			เฉลี่ย (%)	Min. (%)	Max. (%)	เฉลี่ย (%)	Min. (%)	Max. (%)
			หอพักแบบห้องเดี่ยว			ข้อมูลอาคารทั้ง 2 ประเภท		
1	พื้นที่พักอาศัย	ตรม.	3.4	0.1	14.7	9.7	1.4	18.2
2	พื้นที่ทางเดิน	ตรม.	15.0	1.3	32.5	19.8	0.1	44.4
3	พื้นที่ห้องน้ำ	ตรม.	32.7	7.1	153.7	17.1	2.1	39.0
4	พื้นที่ระเบียง	ตรม.	26.2	8.1	66.3	24.3	7.3	41.7
			หอพักแบบห้องรวม					
1	พื้นที่พักอาศัย	ตรม.	4.0	0.1	12.6			
2	พื้นที่ทางเดิน	ตรม.	15.3	0.1	40.2			
3	พื้นที่ห้องน้ำ	ตรม.	30.4	6.9	77.6			
4	พื้นที่ระเบียง	ตรม.	20.5	5.8	41.5			

ตาราง 15.4 สรุปความคลาดเคลื่อนในการประมาณเนื้องานระบบวิศวกรรมด้วยค่าเฉลี่ย

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (APE)					
			ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง			ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง		
			เฉลี่ย (%)	Min. (%)	Max. (%)	เฉลี่ย (%)	Min. (%)	Max. (%)
			หอพักแบบห้องเดี่ยว			ข้อมูลอาคารทั้ง 2 ประเภท		
1	ความยาวรวมของท่อน้ำดี	ม.	24.8	2.2	65.6	18.5	2.3	42.1
2	ความยาวรวมของท่อน้ำทิ้ง	ม.	24.2	4.2	40.6	58.0	22.2	103.7
3	กำลังไฟรวมของดวงโคม	วัตต์	21.1	4.8	38.9	25.0	16.9	30.9
4	จำนวนสวิทช์	ชุด	15.0	1.0	41.6	23.3	10.7	38.3
5	จำนวนเต้ารับ	ชุด	16.8	4.1	27.0	20.4	3.2	29.8
6	ความยาวรวมสายไฟ	ม.	31.4	5.0	114.1	23.4	3.2	81.5
			หอพักแบบห้องรวม					
1	ความยาวรวมของท่อน้ำดี	ม.	23.1	2.9	53.8			
2	ความยาวรวมของท่อน้ำทิ้ง	ม.	41.7	5.1	104.5			
3	กำลังไฟรวมของดวงโคม	วัตต์	22.2	6.0	49.1			
4	จำนวนสวิทช์	ชุด	18.2	0.7	72.4			
5	จำนวนเต้ารับ	ชุด	22.5	3.0	56.4			
6	ความยาวรวมสายไฟ	ม.	31.6	4.3	127.9			

ตารางที่ 16.1 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณแสงอาทิตย์

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	2	0	0.911473	0.069682	1434.9	23.0	10,000	0.1
2	4	0	0.908204	0.068259	1474.8	22.1	10,000	0.1
3	2	2	0.922266	0.063280	1348.7	18.4	10,000	0.1
4	**4**	**4**	**0.936961**	**0.047398**	**1199.8**	**19.2**	10,000	**0.1**

ตารางที่ 16.2 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณแสงอาทิตย์

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	3	0	0.980809	**0.030127**	103.9	9.5	10,000	0.1
2	5	0	0.981092	0.029900	103.1	11.0	10,000	0.1
3	10	0	0.980185	0.030619	105.5	11.0	10,000	0.1
4	**5**	**5**	0.981855	0.029299	**101.0**	**10.8**	10,000	**0.1**

ตารางที่ 16.3 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณแสงอาทิตย์

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	3	0	0.979053	0.034997	660.1	8.6	10,000	0.1
2	5	0	**0.982643**	**0.031891**	601.5	7.9	10,000	0.1
3	**10**	**0**	0.985719	0.028544	546.0	**6.8**	10,000	**0.1**
4	5	5	0.983328	0.031253	589.5	7.8	10,000	0.1

ตารางที่ 16.4 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณเหล็กเสริม

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	3	0	0.941207	0.052408	25954.9	15.5	10,000	0.1
2	**5**	**0**	**0.952150**	0.047417	**23483.1**	11.7	10,000	0.1
3	10	0	0.950214	0.048338	23939.9	13.0	10,000	0.1
4	5	5	0.949815	0.048529	24033.9	12.3	10,000	0.1

ตารางที่ 16.5 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณงานผนัง

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	2	0	0.979937	0.034064	445.2	8.7	10,000	0.1
2	3	0	0.982360	0.031959	417.7	8.6	10,000	0.1
3	**6**	**0**	0.985966	0.028534	372.9	**7.8**	10,000	**0.1**
4	3	3	0.979577	0.034365	**449.2**	8.5	10,000	0.1

ตารางที่ 16.6 โครงสร้างและพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณปริมาณงานทาสี

การทดลองครั้งที่	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 1	จำนวน hidden nodes ใน hidden layer ชั้นที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน	จำนวนรอบที่วนข้อมูลทั้งหมด	ค่าอัตราเร็วการพัฒนาเริ่มต้น
Test No.			(Correlation)	(RMSE- unscale)	(RMSE)	(APE)	(cycles)	(learn rate)
1	2	0	0.951764	0.052957	2373.2	14.5	10,000	0.1
2	3	0	0.961121	0.046753	2135.5	15.0	10,000	0.1
3	**6**	**0**	0.973471	0.039488	1769.5	12.7	10,000	**0.1**
4	3	3	0.955054	**0.051155**	**2292.5**	**14.5**	**10,000**	0.1

ตารางที่ 17.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างรองรับสายพานลำเลียง (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง	โครงสร้าง	งานเสาเข็ม					งานคอนกรีต				
							ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
								ค่าคงเหลือ	คลาดเคลื่อน	ค่าคงเหลือ	คลาดเคลื่อน		ค่าคงเหลือ	คลาดเคลื่อน	ค่าคงเหลือ	คลาดเคลื่อน
		ตร.ม.	ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.		ต้น	ต้น	%	ต้น	%	ลบ.ม.	ลบ.ม.	%	ลบ.ม.	%
1	Res. 01	751	4	0	0	0	460	646	40.4	170	63.1	349	265	29.9	242	30.7
2	Res. 02	999	4	0	0	0	728	994	36.6	353	51.0	410	326	20.7	330	19.6
3	Res. 03	1,076	3	602	0	0	920	614	33.2	1,051	14.2	188	269	42.9	190	1.3
4	Res. 04	1,472	3	639	0	0	2,880	1,202	58.2	2,128	26.1	271	418	54.2	359	32.3
5	Res. 05	1,502	3	843	0	0	1,728	1,247	27.8	2,219	28.4	381	382	0.3	293	23.0
6	Res. 06	1,577	4	0	0	0	1,560	1,856	19.0	1,236	20.7	600	533	11.2	568	5.4
7	Res. 07	1,651	5	896	0	0	1,810	2,464	53.0	2,217	37.7	280	111	48.0	411	46.9
8	Res. 08	1,828	4	0	0	0	1,850	2,228	20.4	1,807	2.3	680	621	8.6	669	1.6
9	Res. 09	2,038	5	300	1,456	1	2,660	3,037	14.2	2,553	4.0	690	1,051	52.3	678	1.8
10	Res. 10	2,064	5	1,194	0	0	2,250	3,076	36.7	2,584	14.9	453	514	13.5	516	13.9
11	Res. 11	2,239	4	0	0	0	2,280	2,836	24.4	2,930	28.5	806	766	4.9	829	2.9
12	Res. 12	2,420	8	1,792	0	0	4,290	5,096	18.8	4,259	0.7	590	529	10.3	544	7.8
13	Res. 13	2,429	5	1,444	0	0	3,290	3,617	9.9	3,148	4.3	464	604	30.2	613	32.1
14	Res. 14	2,493	7	1,833	0	0	3,120	4,708	50.9	4,793	53.8	693	555	20.0	589	15.0
15	Res. 15	2,500	6	0	0	0	5,010	4,220	15.8	4,505	10.0	910	847	7.0	889	2.3
16	Res. 16	2,504	5	1,403	0	0	2,700	3,728	38.1	3,289	21.8	642	637	17.5	653	20.5
17	Res. 17	2,531	7	1,464	0	0	4,230	4,764	12.6	4,838	14.4	633	625	1.3	664	4.9
18	Res. 18	2,725	8	0	0	0	4,070	5,550	36.4	4,441	9.1	743	914	23.0	814	9.5
19	Res. 19	2,836	3	0	0	0	4,460	3,225	27.5	5,842	31.3	944	983	4.2	1,026	8.6
20	Res. 20	2,853	6	0	0	0	5,430	4,744	12.5	4,879	10.0	1,113	971	12.7	1,007	9.5
21	Res. 21	2,945	8	1,815	0	0	5,905	5,870	17.4	4,619	7.7	770	711	7.7	759	1.5
22	Res. 22	2,985	7	0	0	1	6,480	5,438	16.1	5,447	15.9	950	1,318	38.7	1,021	7.4
23	Res. 23	3,030	5	1,920	0	0	6,000	4,509	24.9	4,404	26.6	580	743	28.1	757	30.6
24	Res. 24	3,106	4	1,788	0	0	5,075	4,124	18.7	5,350	4.5	987	796	19.3	769	22.1

ตารางที่ 17.1 (ต่อ) ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดหลังนำแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	พื้นคอนกรีตหล่อในที่	โครงสร้าง	งานเสาเข็ม					งานคอนกรีต				
							ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
								ค่าประมาณได้	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณได้	คลาดเคลื่อน		ค่าประมาณได้	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณได้	คลาดเคลื่อน
		ตร.ม.	ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.		ต้น	ต้น	%	ต้น	%	ลบ.ม.	ลบ.ม.	%	ลบ.ม.	%
25	Res. 25	3,244	5	2,953	0	0	4,340	4,826	11.2	4,873	12.3	592	659	11.3	606	2.4
26	Res. 26	3,353	6	0	0	0	5,470	5,486	0.3	5,524	1.0	1,298	1,148	11.6	1,157	10.9
27	Res. 27	3,509	8	296	0	1	6,650	6,713	0.9	5,390	18.9	1,499	1,451	3.2	1,470	2.0
28	Res. 28	3,857	9	0	0	0	4,150	7,726	86.2	4,708	13.4	967	1,308	35.2	1,045	8.1
29	Res. 29	3,996	6	0	0	0	6,760	6,439	4.8	6,376	5.7	1,311	1,375	4.9	1,320	0.7
30	Res. 30	4,050	6	0	0	0	6,990	6,519	6.6	6,442	7.7	1,410	1,394	1.1	1,332	6.5
31	Res. 31	4,098	8	0	0	1	7,980	7,596	4.9	7,329	8.2	1,764	1,705	3.4	1,847	4.7
32	Res. 32	4,123	6	0	0	0	6,430	6,628	3.1	6,526	1.5	1,319	1,420	7.6	1,348	2.2
33	Res. 33	4,156	5	2,400	0	0	5,430	6,179	13.8	6,469	19.1	1,200	1,867	11.1	1,094	8.8
34	Res. 34	4,228	4	2,035	0	0	6,800	5,788	34.2	6,957	20.9	1,107	1,159	4.7	1,139	2.9
35	Res. 35	4,309	8	0	0	1	7,000	7,898	12.8	8,620	23.1	2,176	1,779	18.2	1,933	11.1
36	Res. 36	4,451	9	0	0	0	6,650	8,608	29.4	6,762	13.4	1,178	1,518	28.8	1,202	2.0
37	Res. 37	5,060	7	3,000	0	0	7,560	8,515	12.6	8,959	18.5	1,200	1,281	6.7	1,383	15.3
38	Res. 38	5,132	9	2,281	0	0	9,960	9,617	3.4	9,865	1.0	1,662	1,486	10.1	1,434	8.2
39	Res. 39	5,150	8	0	0	1	18,180	9,146	49.7	16,588	8.8	2,056	2,076	1.0	2,189	6.5
40	Res. 40	5,489	5	3,952	0	0	11,700	8,156	30.3	7,431	36.5	1,370	1,297	5.3	1,285	6.2
41	Res. 41	5,535	9	0	4,300	1	14,350	10,215	28.8	15,116	5.3	2,601	2,508	3.6	2,624	0.9
42	Res. 42	5,600	5	5,100	0	0	4,480	8,320	85.7	7,465	66.6	1,192	1,159	2.8	1,114	6.5
43	Res. 43	6,750	5	4,735	0	0	5,220	10,026	92.1	7,650	46.6	1,349	1,622	20.2	1,545	14.6
44	Res. 44	7,500	5	5,982	0	0	9,170	11,139	21.5	7,684	16.2	1,670	1,694	1.4	1,605	3.9
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย									27.2		19.2			15.9		10.8
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด									0.3		0.7			0.3		0.7
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด									92.1		66.6			54.2		46.9
ระดับความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำหนดลอง									2,140		1,200			670		101

ตารางที่ 17.2 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดคล้ายคลึง (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง	โครงสร้างอื่น	งานแบบหล่อ					งานเหล็กเสริม				
							ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
								ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน		ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน
		ตร.ม.	ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.		ลบ.ม.	ลบ.ม.	%	ลบ.ม.	%	กก.	กก.	%	กก.	%
1	Res. 01	761	4	0	0	0	2,466	2,521	2.2	2,411	2.2	43,002	42,002	2.3	39,639	7.8
2	Res. 02	989	4	0	0	0	3,285	3,116	5.1	2,983	9.2	67,670	53,773	20.5	53,777	20.5
3	Res. 03	1,076	3	602	0	0	1,766	2,859	61.9	2,432	37.7	23,016	45,246	96.6	29,699	29.0
4	Res. 04	1,472	3	539	0	0	3,168	3,959	25.0	3,546	11.9	44,891	67,333	50.0	48,066	7.1
5	Res. 05	1,502	3	843	0	0	4,057	3,728	8.1	3,351	17.4	55,904	61,082	9.3	46,408	17.0
6	Res. 06	1,577	4	0	0	0	5,012	4,652	7.2	4,728	5.7	101,002	84,129	16.7	94,372	6.6
7	Res. 07	1,651	5	896	0	0	2,936	3,805	29.6	3,332	13.5	38,479	62,491	62.4	57,072	48.3
8	Res. 08	1,828	4	0	0	0	5,600	5,307	5.2	5,572	0.5	121,210	97,086	19.9	112,730	7.0
9	Res. 09	2,039	5	300	1,456	1	5,178	4,039	22.0	5,130	0.9	66,946	124,980	87.0	65,077	2.8
10	Res. 10	2,084	5	1,194	0	0	4,714	4,580	2.8	4,142	12.1	59,039	76,137	29.0	73,662	24.8
11	Res. 11	2,238	4	0	0	0	6,736	6,378	5.3	7,028	4.3	142,695	118,252	17.1	142,740	0.0
12	Res. 12	2,420	8	1,792	0	0	4,989	4,517	9.5	5,137	3.0	96,696	71,804	25.7	102,290	5.8
13	Res. 13	2,429	5	1,444	0	0	4,580	5,280	15.8	4,934	8.2	70,150	88,570	26.3	89,021	26.9
14	Res. 14	2,493	7	1,833	0	0	5,326	4,794	10.0	4,402	17.4	90,981	76,961	15.4	92,875	2.1
15	Res. 15	2,500	6	0	0	0	6,111	6,805	11.4	6,233	2.0	135,300	126,854	6.2	129,650	4.2
16	Res. 16	2,504	5	1,403	0	0	4,855	5,517	13.6	5,231	7.8	76,793	93,479	21.7	96,509	25.7
17	Res. 17	2,531	7	1,464	0	0	4,558	5,268	15.6	4,715	3.4	112,940	88,388	21.7	94,117	16.7
18	Res. 18	2,725	8	0	0	0	6,911	7,135	3.2	6,522	5.6	89,559	133,546	49.1	95,014	6.1
19	Res. 19	2,836	3	0	0	0	8,943	8,067	9.8	8,796	1.6	100,145	151,570	51.4	110,960	10.4
20	Res. 20	2,853	6	0	0	0	7,361	7,727	5.0	7,356	0.1	181,736	145,078	20.2	155,390	14.5
21	Res. 21	2,945	8	1,815	0	0	6,142	5,865	4.5	6,478	5.5	131,184	98,306	25.1	126,340	3.7
22	Res. 22	2,985	7	0	0	1	4,675	5,335	16.6	4,853	6.1	159,687	195,680	22.5	165,950	3.9
23	Res. 23	3,030	5	1,920	0	0	4,770	6,365	33.4	6,222	30.4	111,172	107,373	3.4	110,710	0.4
24	Res. 24	3,106	4	1,788	0	0	8,006	6,827	14.7	7,571	5.4	144,943	117,148	19.2	141,060	2.7

ตารางที่ 17.2 (ต่อ) ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	สิ่งอำนวยความสะดวก		โครงสร้าง	งานคอนกรีต					งานแบบหล่อ				
				ลำเรียงรูป	ขัดมันภายหลัง		เป็นจริง	Regression		Neural Networks		เป็นจริง	Regression		Neural Networks	
								ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน		ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน	ค่าประมาณ	คลาดเคลื่อน
		ตร.ม.	ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.		ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%
25	Res. 25	3,244	5	2,953	0	0	5,814	5,874	1.0	5,474	5.9	92,000	91,895	0.1	86,019	6.5
26	Res. 26	3,353	6	0	0	0	9,221	9,032	2.0	8,931	3.1	178,782	170,890	4.4	190,340	6.5
27	Res. 27	3,509	8	296	0	1	7,844	6,274	17.9	7,340	4.0	207,810	212,670	2.3	233,360	12.3
28	Res. 28	3,857	9	0	0	0	9,483	9,961	5.0	10,081	6.3	108,277	189,509	75.0	125,740	16.1
29	Res. 29	3,995	6	0	0	0	10,321	10,709	3.8	10,792	4.6	242,695	204,033	15.9	230,490	5.0
30	Res. 30	4,050	6	0	0	0	10,890	10,852	0.3	10,940	0.5	238,592	205,873	13.3	233,630	2.1
31	Res. 31	4,099	8	0	0	1	8,203	8,113	1.1	8,210	0.1	271,102	250,682	7.5	274,010	1.1
32	Res. 32	4,123	6	0	0	0	11,544	11,043	4.3	11,132	3.6	216,094	210,641	2.5	237,720	10.1
33	Res. 33	4,156	5	2,400	0	0	11,080	8,818	19.8	9,230	16.1	173,500	153,182	11.7	165,080	4.9
34	Res. 34	4,228	4	2,005	0	0	10,470	9,536	8.9	11,059	5.6	207,996	169,490	18.5	214,060	2.9
35	Res. 35	4,309	8	0	0	1	8,397	8,663	3.3	8,517	1.5	369,688	281,546	23.3	283,120	23.4
36	Res. 36	4,451	9	0	0	0	11,493	11,514	0.2	11,260	2.0	150,080	220,198	46.7	139,290	7.2
37	Res. 37	5,060	7	3,000	0	0	9,730	10,311	6.0	10,399	6.9	163,920	179,514	9.6	191,053	16.6
38	Res. 38	5,132	9	2,284	0	0	12,865	10,970	14.7	12,303	4.0	222,585	196,694	11.6	208,643	6.3
39	Res. 39	5,150	8	0	0	1	9,682	10,860	12.2	9,617	0.7	255,726	304,946	19.3	311,880	22.0
40	Res. 40	5,489	5	3,952	0	0	11,166	10,721	4.0	10,944	2.0	243,600	182,138	25.2	176,370	27.6
41	Res. 41	5,535	9	0	4,300	1	14,970	15,356	2.6	15,016	0.3	285,940	265,256	6.9	286,280	0.1
42	Res. 42	5,600	5	5,100	0	0	9,597	9,844	2.6	9,870	2.8	146,450	158,389	8.2	160,130	9.3
43	Res. 43	6,750	5	4,735	0	0	11,670	13,218	13.2	12,819	9.8	152,654	227,130	48.8	202,020	32.3
44	Res. 44	7,900	5	5,982	0	0	13,840	13,908	0.5	13,010	6.0	225,480	233,827	3.7	204,810	9.2
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย									10.5		6.8			24.5		11.7
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด									0.2		0.1			0.1		0.0
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด									61.9		37.7			96.6		48.3
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง									3,807		546			96,185		23,483

ตารางที่ 18.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการเนื่องงานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นที่สาธารณะ	งานงบ				งานทาสี				
					ประมาณจริง	Regression		Neural Networks		ประมาณจริง	Regression		Neural Networks	
						ค่าประมาณได้	ความคลาดเคลื่อน	ค่าประมาณได้	ความคลาดเคลื่อน		ค่าประมาณได้	ความคลาดเคลื่อน	ค่าประมาณได้	ความคลาดเคลื่อน
		ตร.ม.	ชั้น	ตร.ม.	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%	ตร.ม.	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%
1	Res. 03	1,076	3	136	1,524	1,218	20.1	1,347	11.6	4,763	4,711	1.1	4,559	4.3
2	Res. 04	1,472	3	0	2,026	1,951	3.7	2,154	6.3	5,288	8,587	32.1	7,844	44.5
3	Res. 05	1,502	3	0	2,049	1,994	2.7	2,176	6.2	7,034	7,132	1.4	7,759	10.3
4	Res. 07	1,661	5	233	2,264	1,766	22.0	1,710	24.5	8,608	6,357	26.1	6,443	28.6
5	Res. 09	2,038	5	420	2,449	2,079	15.1	2,112	13.8	11,080	7,699	30.5	7,858	29.1
6	Res. 10	2,064	5	0	2,527	2,643	4.6	2,716	7.5	10,032	8,977	10.5	8,571	14.6
7	Res. 12	2,420	8	0	2,893	2,929	1.2	2,942	1.7	9,225	9,411	2.0	9,789	6.1
8	Res. 13	2,429	5	0	3,153	3,161	0.3	3,055	3.1	10,302	10,730	4.2	9,753	5.3
9	Res. 14	2,493	7	309	2,783	2,717	2.4	3,083	10.8	7,839	9,339	19.1	11,259	43.6
10	Res. 16	2,504	5	0	3,343	3,267	2.3	3,129	6.4	11,864	11,069	6.5	10,006	15.7
11	Res. 17	2,531	7	328	3,100	2,748	11.4	3,171	2.3	10,745	9,471	11.9	11,546	7.5
12	Res. 18	2,725	8	0	2,757	3,361	21.9	3,229	17.1	12,709	10,874	14.4	11,181	12.0
13	Res. 19	2,836	3	312	2,324	3,494	50.3	2,696	16.0	11,815	12,681	7.3	11,450	3.1
14	Res. 21	2,945	8	0	4,016	3,673	8.6	3,459	13.9	11,917	11,931	0.1	12,187	2.3
15	Res. 23	3,030	5	454	2,970	3,444	16.0	3,461	16.5	6,730	12,373	83.8	8,882	32.0
16	Res. 24	3,106	4	590	3,525	3,455	2.0	3,533	0.2	13,125	12,791	2.5	14,402	9.7
17	Res. 25	3,244	5	0	4,056	4,318	6.5	3,972	2.1	12,393	14,645	18.2	12,809	3.4
18	Res. 27	3,509	8	0	3,655	4,473	22.4	4,142	13.3	12,670	14,639	13.7	14,640	13.6
19	Res. 28	3,857	9	0	5,150	4,893	5.0	4,777	7.2	15,170	15,883	4.7	16,563	9.2
20	Res. 31	4,098	8	466	5,680	4,723	16.8	5,302	6.7	16,635	16,190	2.7	17,621	5.9
21	Res. 33	4,156	5	678	4,420	4,761	7.7	4,379	0.9	20,700	17,168	17.1	19,557	5.5
22	Res. 34	4,228	4	383	5,759	5,305	7.9	5,357	7.0	17,414	18,747	7.7	17,201	1.2
23	Res. 35	4,309	8	475	5,595	5,011	10.4	5,418	3.2	20,013	17,178	14.2	17,491	12.6
24	Res. 36	4,451	9	0	5,609	5,736	2.3	5,680	1.3	21,700	18,735	13.7	19,051	12.2
25	Res. 37	5,060	7	0	6,613	6,747	2.0	6,643	0.4	16,800	22,513	34.0	18,804	11.9
26	Res. 38	5,132	9	492	6,117	6,084	0.5	5,922	3.2	23,300	20,658	11.3	21,169	9.1
27	Res. 39	5,150	8	515	5,004	6,154	23.0	5,669	13.3	13,328	21,109	58.4	16,313	22.4
28	Res. 40	5,489	5	0	8,423	7,502	10.9	7,619	9.5	28,292	25,425	10.1	26,581	6.0
29	Res. 42	5,600	5	0	6,906	7,660	10.9	7,815	13.1	28,595	25,959	9.2	27,323	4.4
30	Res. 43	6,750	5	0	9,547	9,291	2.7	9,616	0.7	31,553	31,481	0.2	33,601	6.5
31	Res. 44	7,500	5	0	10,673	10,355	3.0	10,465	2.0	36,133	35,083	2.9	36,171	0.1
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย							10.2		7.6			15.2		12.7
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด							0.3		0.2			0.1		0.1
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด							50.3		24.5			83.8		44.5
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง							599		123			2,650		1,770

ตารางที่ 19.1 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง	โครงสร้าง	งานเสาเข็ม					งานคอนกรีต				
							ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
								คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน		คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน
		ตรม.	ชั้น	ตรม.	ตรม.		ตัน	ตัน	%	ตัน	%	ลบม.	ลบม.	%	ลบม.	%
1	Test. 01	1149	3	333	0	0	1,470	723	50.8	1,231	16.3	354	336	5.0	283	20.1
2	Test. 02	1222	4	0	0	0	980	1,329	35.7	628	36.0	457	407	10.9	423	7.4
3	Test. 03	2365	6	1560	0	0	5,500	4,020	26.9	4,390	20.2	817	558	31.7	583	28.7
4	Test. 04	2248	8	1220	0	0	3,740	4,843	29.5	4,180	11.8	614	557	9.3	543	11.6
5	Test. 05	2710	5	1521	0	0	3,050	4,035	32.3	3,704	21.4	579	692	19.5	713	23.1
6	Test. 06	2760	8	0	0	0	3,700	5,602	51.4	4,466	20.7	733	926	26.4	825	12.6
7	Test. 07	3112	6	0	0	0	5,130	5,128	0.0	5,201	1.4	1,210	1,063	12.2	1,087	10.1
8	Test. 08	3801	8	0	0	0	6,840	7,145	4.5	6,122	10.5	1,773	1,294	27.0	1,140	35.7
9	Test. 09	7312	8	0	6437	1	11,490	12,353	7.5	11,633	1.2	2,610	3,291	26.1	2,690	3.1
10	Test. 10	7696	5	4653	0	0	9,600	11,429	19.0	7,688	19.9	1,594	1,968	23.5	1,751	9.9
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย									**25.8**		**15.9**			**19.2**		**16.2**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด									0.0		1.2			5.0		3.1
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด									51.4		36.0			31.7		35.7
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง									1,134		826			928		232

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19.1 (ต่อ) ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการประมาณเนื้องานโครงสร้างของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง	โครงสร้าง	งานแบบหล่อ					งานเหล็กเสริม				
							ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
								คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน		คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน
		ตรม.	ชั้น	ตรม.	ตรม.		ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	%	กก.	กก.	%	กก.	%
1	Test. 01	1149	3	333	0	0	3,221	3,324	3.2	2,831	12.1	38,345	55,943	45.9	35,122	8.4
2	Test. 02	1222	4	0	0	0	3,854	3,725	3.4	3,631	5.8	69,510	65,801	5.3	69,273	0.3
3	Test. 03	2365	6	1560	0	0	6,178	4,866	21.2	4,080	34.0	109,619	79,825	27.2	75,552	31.1
4	Test. 04	2248	8	1220	0	0	5,174	4,650	10.1	4,970	5.9	122,229	77,609	36.5	88,821	27.3
5	Test. 05	2710	5	1521	0	0	6,118	5,936	3.0	5,738	6.2	81,818	101,120	23.6	106,258	29.9
6	Test. 06	2760	8	0	0	0	7,286	7,226	0.8	6,614	9.2	87,240	135,353	55.2	96,419	10.5
7	Test. 07	3112	6	0	0	0	8,018	8,403	4.8	8,179	2.0	149,995	158,448	5.6	173,807	15.9
8	Test. 08	3801	8	0	0	0	12,154	9,944	18.2	9,272	23.7	224,680	189,085	15.8	133,276	40.7
9	Test. 09	7312	8	0	6437	1	14,558	21,923	50.6	16,388	12.6	311,149	332,553	6.9	291,700	6.3
10	Test. 10	7696	5	4653	0	0	13,363	15,771	18.0	14,294	7.0	268,870	278,073	3.4	227,799	15.3
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย									**13.3**		**11.8**			**22.5**		**18.6**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด									0.8		2.0			3.4		0.3
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด									50.6		34.0			55.2		40.7
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง									5,594		1,336			102,333		37,357

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19.2 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการเนื้องานสถาปัตยกรรมของอาคารชุดพักอาศัย (ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง)

ลำดับ	โครงการ	พื้นที่	จำนวนชั้น	พื้นที่สาธารณะ	งานผนัง					งานหลังคา				
					ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks		ปริมาณจริง	Regression		Neural Networks	
						คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน		คำนวณได้	คลาดเคลื่อน	คำนวณได้	คลาดเคลื่อน
		ตรม.	ชั้น	ตรม.	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	%	ตรม.	ตรม.	%	ตรม.	%
1	Test. 01	1149	3	298	1,277	1,119	12.4	1,023	19.9	5,194	4,620	11.0	4,325	16.7
2	Test. 02	1222	4	210	1,173	1,259	7.3	1,334	13.7	5,157	4,785	7.2	4,649	9.9
3	Test. 03	2365	6	302	2,730	2,618	4.1	2,602	4.7	10,370	9,170	11.6	8,871	14.5
4	Test. 04	2248	8	0	3,768	2,685	28.8	2,796	25.8	8,431	8,585	1.8	9,018	7.0
5	Test. 05	2710	5	0	3,543	3,561	0.5	3,344	5.6	12,920	12,082	6.5	10,722	17.0
6	Test. 06	2760	8	0	3,424	3,411	0.4	3,264	4.7	13,498	11,042	18.2	11,341	16.0
7	Test. 07	3112	6	0	3,019	4,057	34.4	3,704	22.7	11,732	13,584	15.8	12,138	3.5
8	Test. 08	3801	8	470	4,880	4,297	11.9	5,064	3.8	15,480	14,753	4.7	17,921	15.8
9	Test. 09	7312	8	0	7,642	9,868	29.1	9,736	27.4	18,863	32,902	74.4	26,589	41.0
10	Test. 10	7696	5	0	11,439	10,633	7.0	10,641	7.0	32,216	36,024	11.8	36,678	13.8
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย							**13.6**		**13.5**			**16.3**		**15.5**
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุด							0.4		3.8			1.8		3.5
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด							34.4		27.4			74.4		41.0
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง							908		815			4,735		3,143

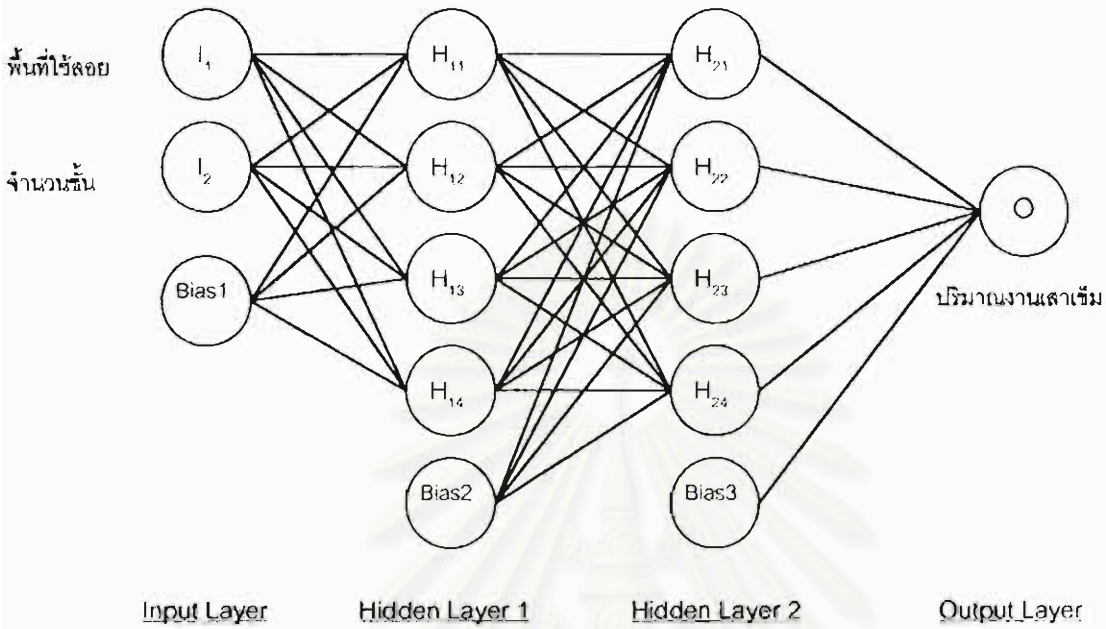
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20.1 สรุปความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองจากสองวิธีการในการประมาณเนื้องาน

ลำดับ	ประเภทเนื้องาน	หน่วย	รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE)		ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (APE)	
			ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง	ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง	ข้อมูลชุดพัฒนาแบบจำลอง	ข้อมูลชุดทดสอบแบบจำลอง
			(หน่วย)	(หน่วย)	(%)	(%)
วิธีแบบจำลองวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนซับซ้อน						
1	งานเสาเข็ม	ต้น	2,140	1,134	27.2	25.8
2	งานคอนกรีต	ลบ.ม.	670	928	15.9	19.2
3	งานแบบหล่อ	ตร.ม.	3,807	5,594	10.5	13.3
4	งานเหล็กเสริม	กก.	96,186	102,333	24.5	22.5
5	งานผนัง	ตร.ม.	509	908	10.2	13.6
6	งานทาสี	ตร.ม.	2,650	4,735	15.2	16.3
วิธีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม						
1	งานเสาเข็ม	ต้น	1,200	826	19.2	15.9
2	งานคอนกรีต	ลบ.ม.	101	232	10.8	16.2
3	งานแบบหล่อ	ตร.ม.	546	1,336	6.8	11.8
4	งานเหล็กเสริม	กก.	23,483	37,357	11.7	18.6
5	งานผนัง	ตร.ม.	373	815	7.8	13.5
6	งานทาสี	ตร.ม.	1,770	3,143	12.7	15.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเสาเข็ม



รูปที่ 4.7 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเสาเข็ม

โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

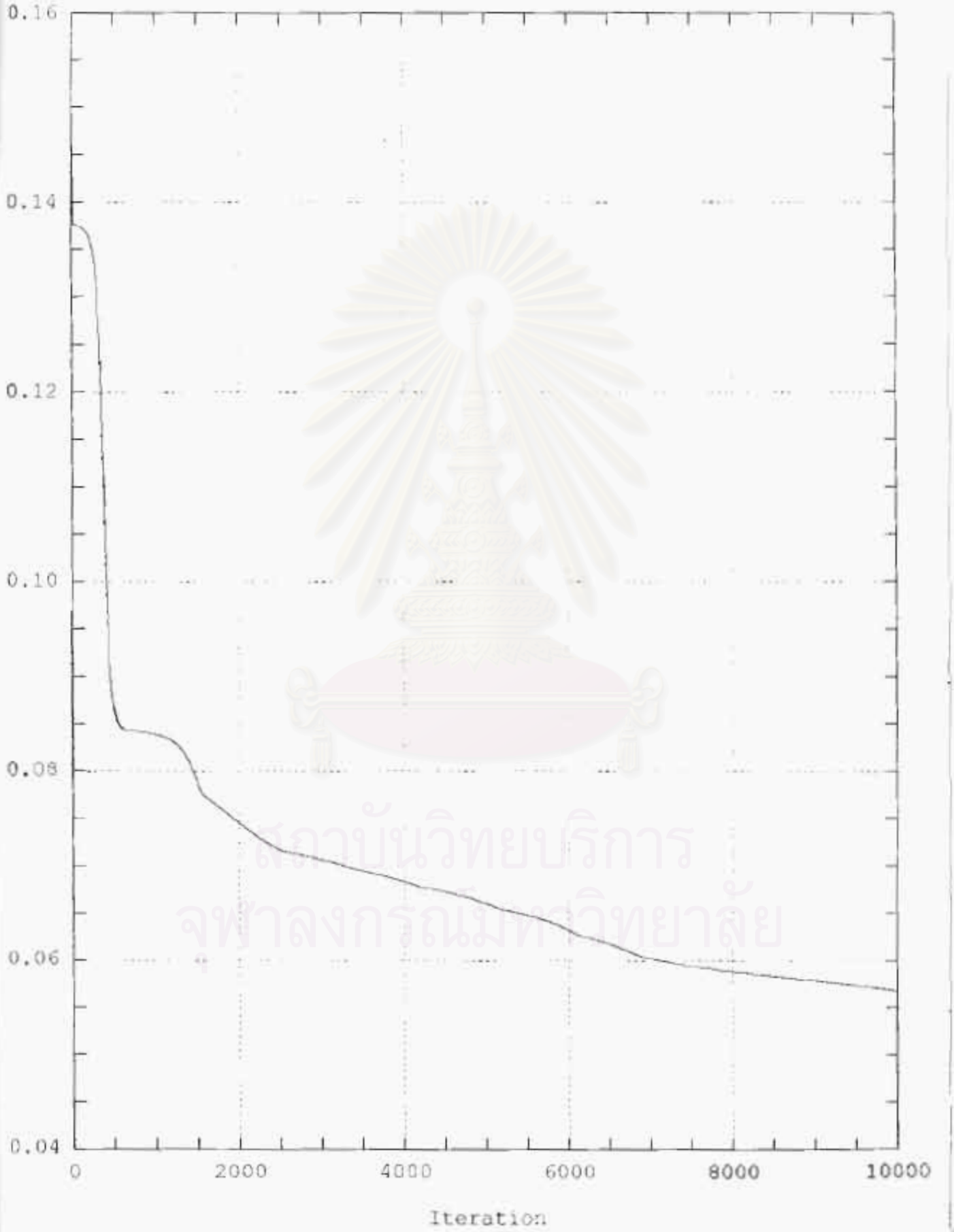
ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X_i W_{ij} + B_j \qquad ; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U})$$

Root Mean Square Error of Training Set

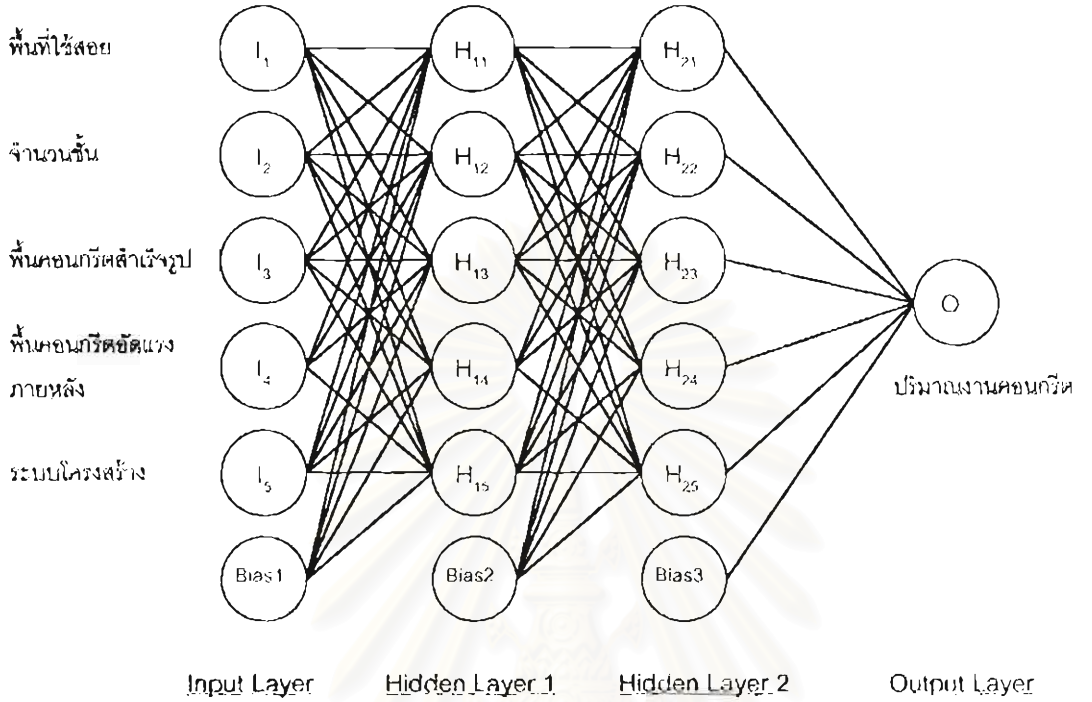


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21.1 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเสาเข็ม

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	8.8051
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-16.3101
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	4.5214
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.4213
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.5950
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.2231
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	10.7377
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-6.3029
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.2610
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.7416
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	4.3135
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-2.5909
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.4699
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.5314
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.5125
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	2.9991
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.9906
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	1.0112
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	-1.2402
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	-1.7177
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	-0.0057
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	-1.3842
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	3.3574
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	-0.6805
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	-3.4755
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	-1.6330
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	-0.5850
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	11.7533
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	0.6346
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	-8.4325
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	3.5499
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	2.9145
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	Output layer	Output node	-1.4656
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	Output layer	Output node	-0.4919
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	Output layer	Output node	-2.3388
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	Output layer	Output node	-6.6323
Hidden layer ที่ 2	Bias3	Output layer	Output node	7.2572

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานคอนกรีต



รูปที่ 4.8 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานคอนกรีต

โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

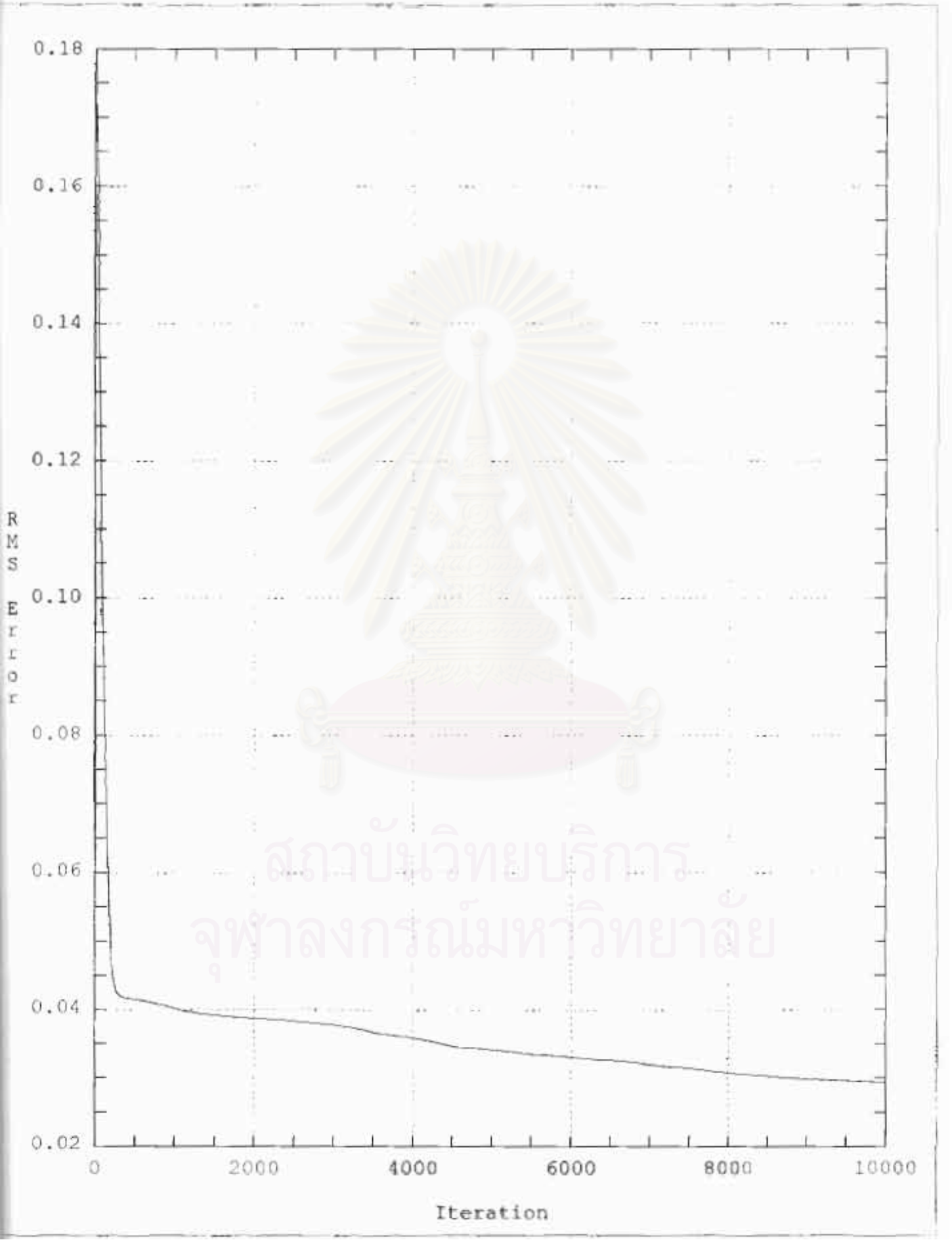
ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X W_{ij} + B_j \quad ; \; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U})$$

Root Mean Square Error of Training Set



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21.2 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองปริมาณคอนกรีต

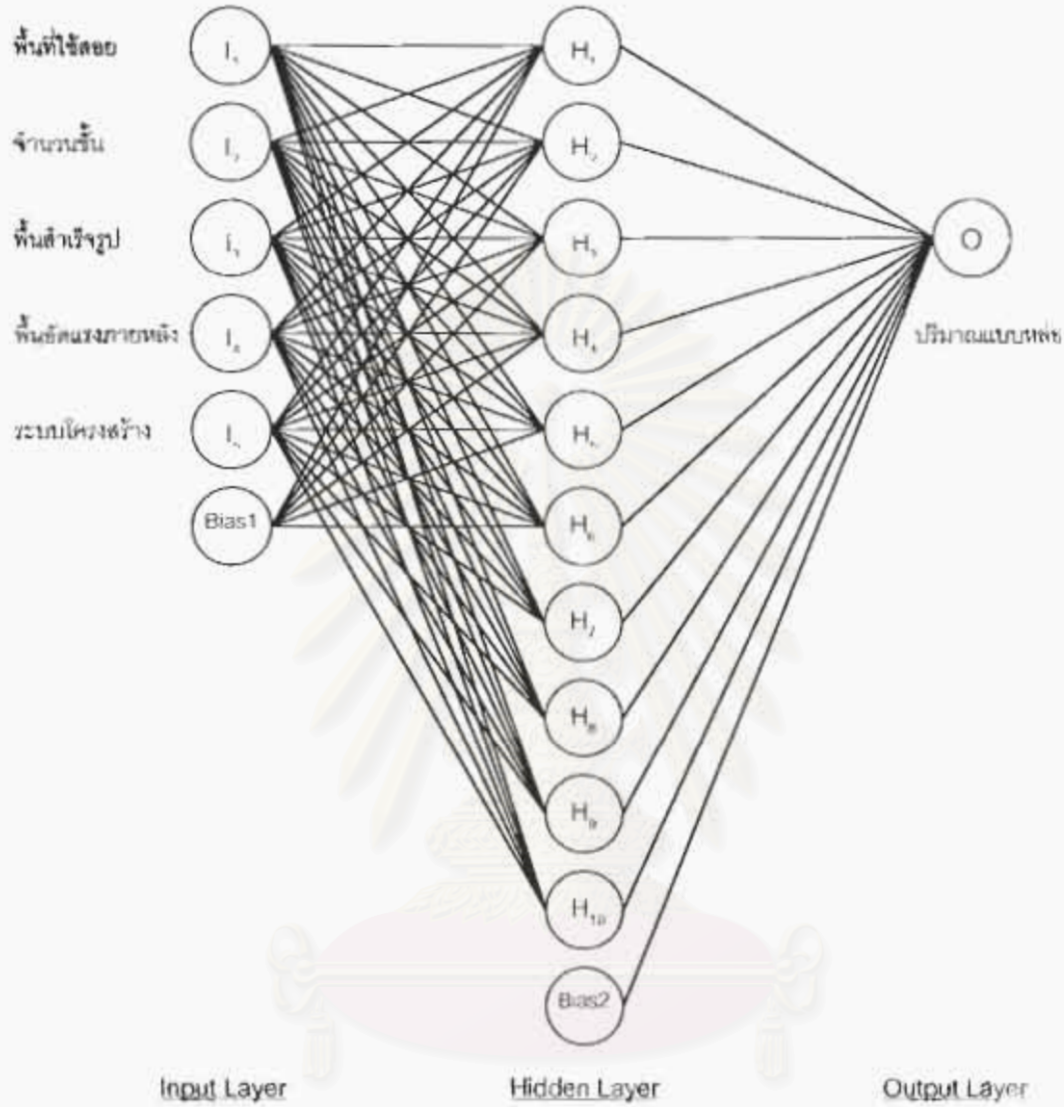
จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-2.0135
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	2.9985
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.3122
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-0.8980
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.4869
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-2.0952
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	3.6391
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.1332
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-2.6661
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.9268
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-2.3524
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.5914
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.3122
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	1.3201
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.4961
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.1048
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.4959
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.3860
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-4.0454
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.7324
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	2.4482
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.7012
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	2.7829
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.1886
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.9972
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	1.3571
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.9762
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.8969
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	2.9724
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-4.0251
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.8111
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.7497
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.1369
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.4559
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.3517
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.0195
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	2.5501
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-2.4826
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.0871

ตารางที่ 21.2 (ต่อ) ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณคอนกรีต

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	2.5962
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-2.6521
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.2685
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.1849
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.3046
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.5105
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.7882
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.6285
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.2000
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.7153
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.1420
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.4646
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.3448
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.4386
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.3387
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.0147
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.6616
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	0.4691
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	1.2560
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-1.4512
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	-0.1598
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 1	Output layer	Output node	-2.2053
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 2	Output layer	Output node	-4.2170
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 3	Output layer	Output node	-2.1379
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 4	Output layer	Output node	1.7796
Hidden layer ที่ 2	Hidden node 5	Output layer	Output node	-2.2227
Hidden layer ที่ 2	Bias3	Output layer	Output node	0.8722

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานแบบหล่อ



รูปที่ 4.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานแบบหล่อ

โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

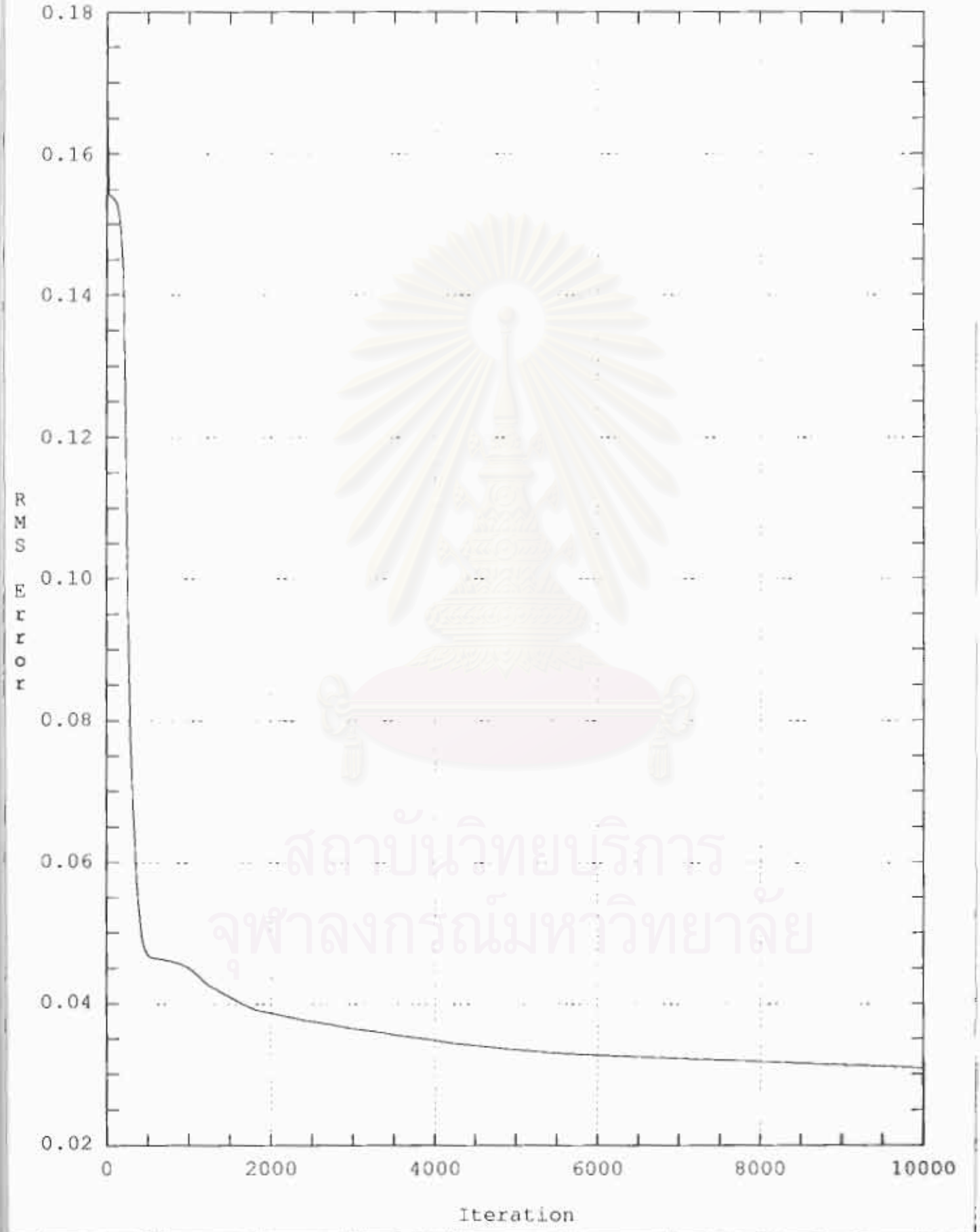
ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X_i W_{ij} + B_j \qquad ; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U})$$

Root Mean Square Error of Training Set



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

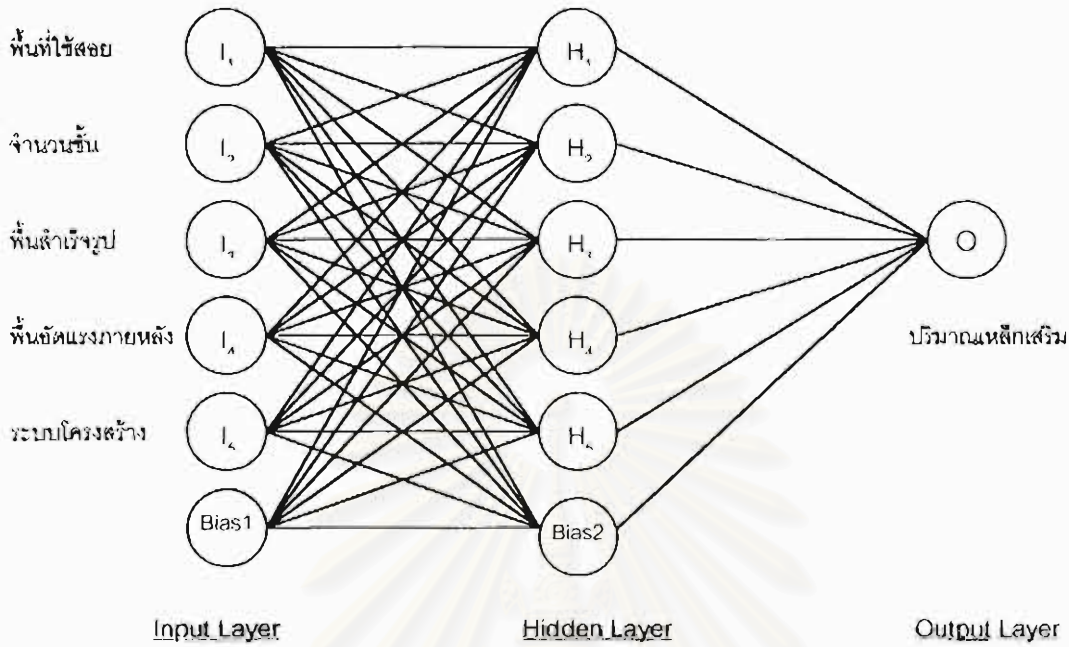
ตารางที่ 21.3 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณแบบหล่อ

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.6248
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.7383
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.8450
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.0124
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-0.1849
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-0.1671
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.0618
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.2721
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.6199
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.4247
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.3040
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.5896
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-2.0613
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.8639
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.6757
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.4591
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.1921
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.1050
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.3972
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.7271
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.6446
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.6453
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	0.5839
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	0.9218
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-1.5136
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-1.0130
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.0729
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.9283
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.4252
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.1312
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.3930
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.5430
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.2983
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.2987
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	0.1754

ตารางที่ 21.3 (ต่อ) ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณแบบหล่อ

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.0881
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	-0.2887
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	1.6587
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	0.6135
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	0.0519
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	-0.8676
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	-0.3719
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	0.7772
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	-6.2340
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	-2.4556
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	1.6160
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	-2.2366
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	2.7643
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	-3.3785
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	-0.1070
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	-0.1272
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	-1.4654
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	-1.5804
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	1.3442
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	-2.4316
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	-1.9126
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	1.2142
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	-1.0030
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	-0.3499
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	-0.0777
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Output layer	Output node	-2.2766
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Output layer	Output node	1.6025
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Output layer	Output node	-2.8001
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Output layer	Output node	-2.9433
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Output layer	Output node	-2.0351
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	Output layer	Output node	-0.8994
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 7	Output layer	Output node	1.9998
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 8	Output layer	Output node	4.6889
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 9	Output layer	Output node	-3.5776
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 10	Output layer	Output node	-2.8307
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Output layer	Output node	0.7489

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเหล็กเสริม



รูปที่ 4.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานเหล็กเสริม

โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

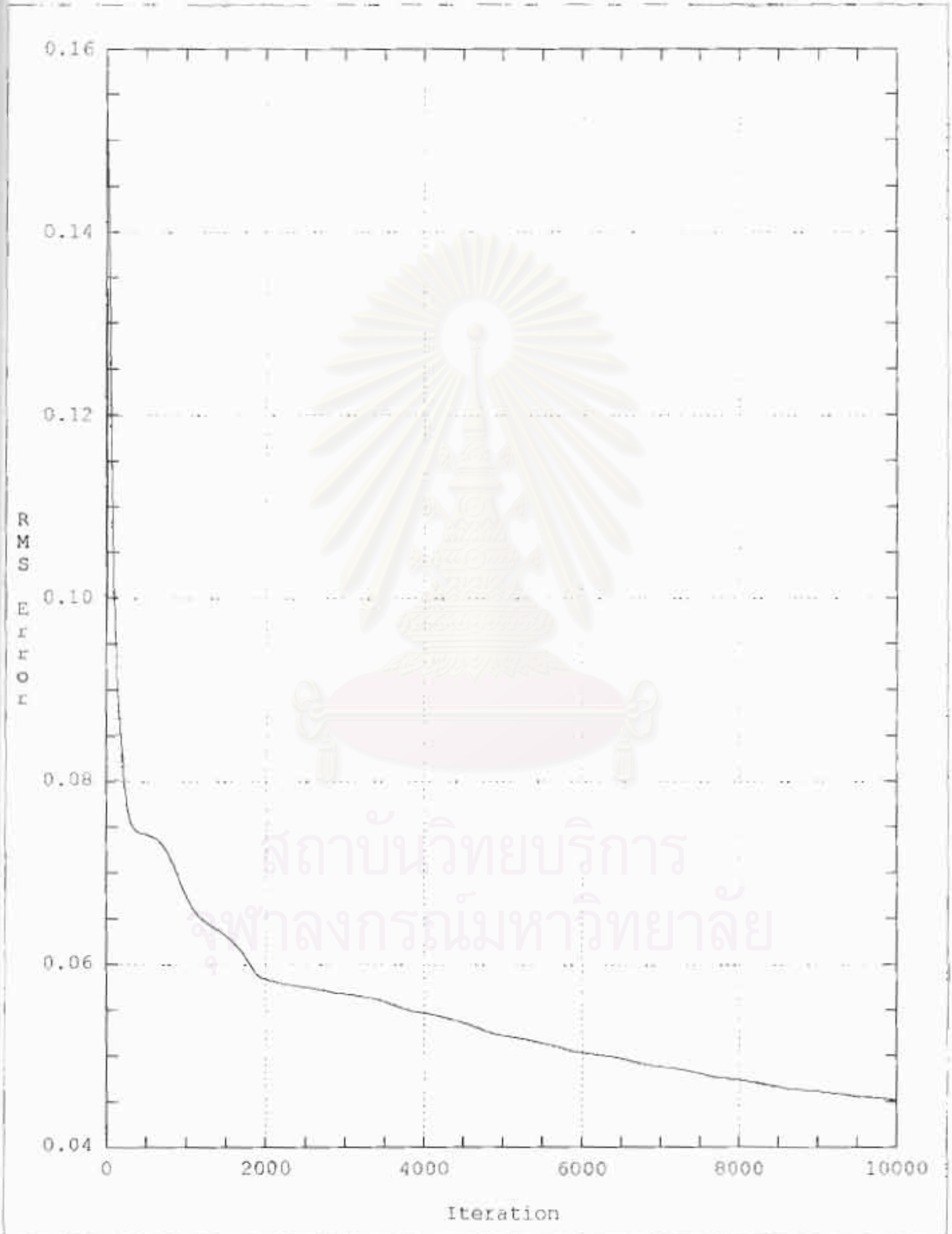
ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X_i W_{ij} + B_j \qquad ; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U})$$

Root Mean Square Error of Training Set

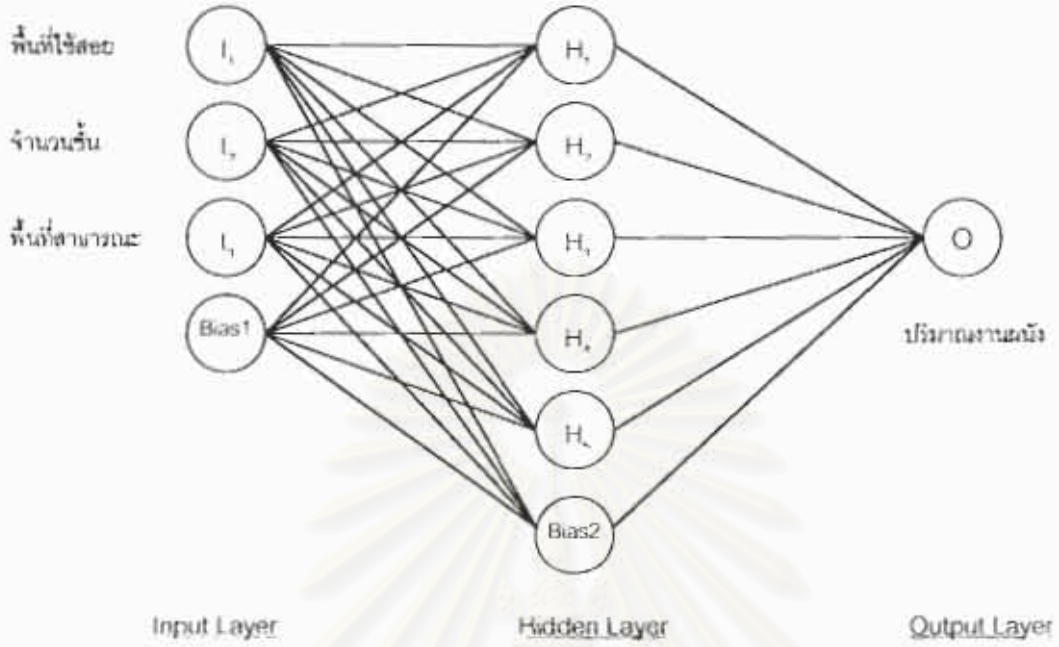


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21.4 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเหล็กเสริม

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-2.9156
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	9.6773
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	5.9685
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.5801
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-5.4742
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-3.3179
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-1.7331
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-5.0530
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.5216
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.9942
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	4.3407
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	1.4246
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	2.2966
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.8260
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-2.3577
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-0.8916
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.1939
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.0671
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	4.7955
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.2824
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.5439
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	1.1253
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	0.4708
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-0.2759
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.3393
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	3.0528
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.6053
Input layer	Input node 4	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.0452
Input layer	Input node 5	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-3.4104
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-2.2477
Hidden node 1	Hidden node 1	Output layer	Output node	-4.1430
Hidden node 1	Hidden node 2	Output layer	Output node	-5.2626
Hidden node 1	Hidden node 3	Output layer	Output node	-3.9615
Hidden node 1	Hidden node 4	Output layer	Output node	4.0643
Hidden node 1	Hidden node 5	Output layer	Output node	-3.8713
Hidden node 1	Bias2	Output layer	Output node	1.8682

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานผนัง



รูปที่ 4.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานผนัง

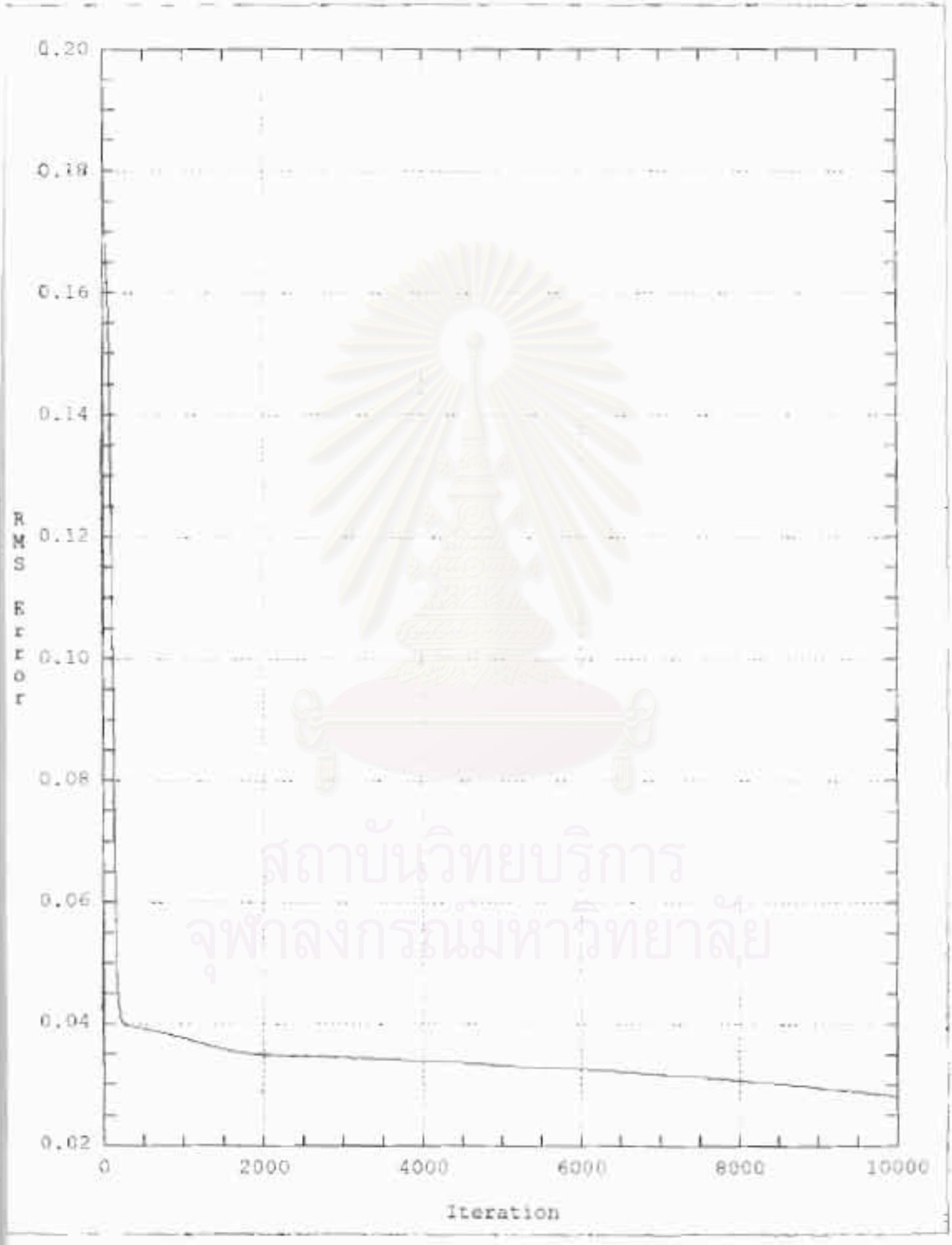
โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X_i W_j + B_j \qquad ; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U})$$

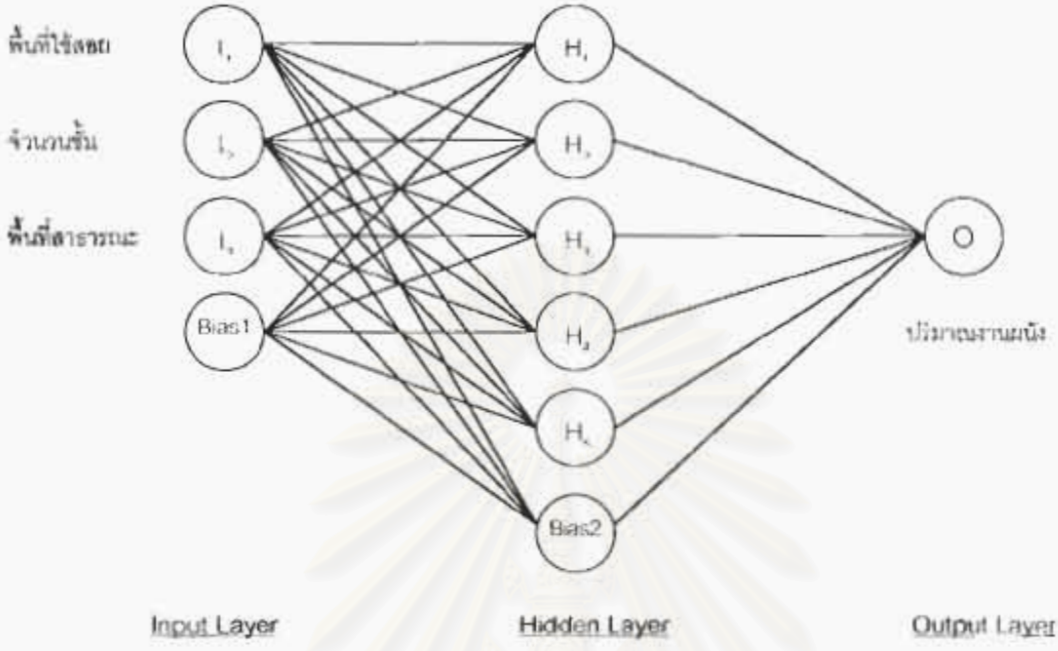


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21.5 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณงานผนัง

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	1.6679
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-3.1467
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-1.6264
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.6445
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.3336
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-1.4339
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	2.3576
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-0.5907
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-2.5012
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-3.8132
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-1.6008
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.7586
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.3816
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	1.0016
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-1.0581
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	0.3481
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.0127
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.1364
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.7855
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.2651
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-4.8071
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-1.8376
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-4.6561
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	4.8677
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Output layer	Output node	4.6340
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Output layer	Output node	-2.5230
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Output layer	Output node	-2.7718
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Output layer	Output node	2.0095
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Output layer	Output node	-0.6257
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	Output layer	Output node	-3.2768
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Output layer	Output node	0.4009

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานทาสี



รูปที่ 4.9 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณเนื้องานทาสี

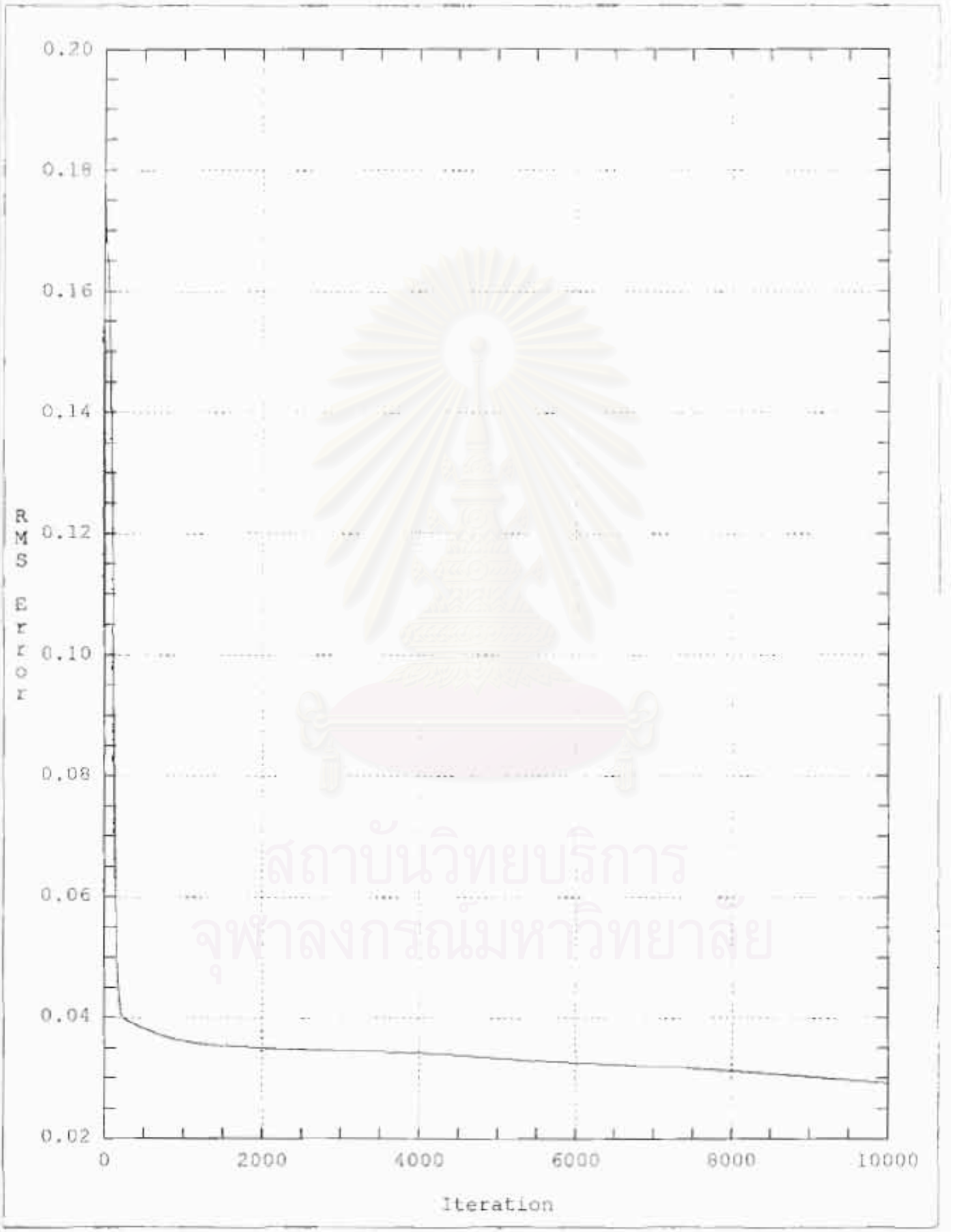
โดยที่ หน่วยประมวลผลเฉพาะในชั้น Hidden Layer และ Output Layer จะมีฟังก์ชั่นการคำนวณภายใน 2 ส่วน

ส่วนแรกคือ ฟังก์ชั่นผลรวม (Summation Function) มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$U_j = \sum X_i W_{ij} + B_j \qquad ; B_j = \text{bias (มีค่าเท่ากับ 1)}$$

ส่วนที่สองคือ ฟังก์ชั่นแปลงค่า (Transfer Function) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ Sigmoid Function ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$O = 1/(1+e^{-U_j})$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21.6 ค่าน้ำหนักบนเส้นประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของปริมาณงานทาสี

จาก		ไปยัง		ค่าน้ำหนักจากการทดลอง
หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	หน่วยประมวลผลในชั้น	หน่วยประมวลผลที่	
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-3.5116
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.7578
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	-0.4803
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	0.6594
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	-5.2721
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	5.0133
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	2.8884
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	0.1102
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.0613
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	0.7197
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	1.2047
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	-2.1068
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	1.6272
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-3.8069
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	4.8611
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	-3.7193
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-6.6340
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	5.4569
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	-0.7098
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	0.3860
Input layer	Input node 1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-3.2486
Input layer	Input node 2	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	0.7850
Input layer	Input node 3	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	-0.5602
Input layer	Bias1	Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	0.4712
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 1	Output layer	Output node	-3.4318
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 2	Output layer	Output node	-5.5843
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 3	Output layer	Output node	3.8301
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 4	Output layer	Output node	4.4620
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 5	Output layer	Output node	5.2504
Hidden layer ที่ 1	Hidden node 6	Output layer	Output node	-3.3938
Hidden layer ที่ 1	Bias2	Output layer	Output node	2.1130

ภาคผนวก ข.

- ตาราง ORDER OF MAGNITUDE
- ตารางแสดง SENSITIVITY ANALYSIS
- ตารางแสดงผลการพัฒนาแบบจำลองที่จำนวนรอบต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AACE (1958)	Order of magnitude	Study	Preliminary	Definitive	Detailed
Antill (1970)	Approximate or rough or pre-design 20 to 25%		Priliminary 15 to 20% or 10 to 15%		Detailed 8 to 12% upto 5 to 8%
AACE (1979)	Order of magnitude -30 to +50%		Budget -15 to +30%		Definitive -5 to +15%
Nelson et al. (1983)	Preliminary (Order of magnitude,conceptual,factored,feasibility)			Detailed (definitive, semi-definitive, budget, check, final, official and defined)	
	Order of magnitude -30 to +50%	Conceptual -15 to +30%	Semi-definitive -15 to +25%	Definitive -10 to +15%	Check -5 to +10%
Barnes (1986)	Feasibility study -40 to +20% upto -30 to +15%			Design -15 to +5%	
Bowen & Edwards (1989)	Conceptual or target 5 to 30%	Sketch design 5 to 40%	design investigation 4 to 15%	Drawing submission 1 to 10%	Bill rate 0 to 10%
Peurifoy & Oberlender (1989)	Conceptual or Preliminary or budget			Detail or definitive or final	
	Little or no design -10 to +40%		Preliminary design -5 to +25%		Final design -3 to +10%
Ashworth (1988)	Early design stage 15 to 20%		Prior to receiving tenders 13 to 18%		Contract sum (Bill of quantity) -13 to 13%
Hendrickson & Tung (1989)	Design		Bid		Control
	Screening or Order of magnitude	Conceptual or Preliminary		Detailed or definitives	Engineer's
Barries & Paulson (1992)	Conceptual or Preliminary		Fair-cost		Definitives
Schuette & Liska	Feasibility		Conceptual		Detailed

Reference : Bhokha, 1999

ตารางแสดงการทำ Sensitivity Analysis ในการหาพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับปริมาณคลอไรด์

Data No	Actual	RMSE = 0.1		RMSE = 0.09		RMSE = 0.08		RMSE = 0.07		RMSE = 0.06		RMSE = 0.05		RMSE = 0.04		RMSE = 0.03		RMSE = 0.02	
		Iteration = 89		Iteration = 112		Iteration = 127		Iteration = 156		Iteration = 209		Iteration = 339		Iteration = 1,106		Iteration = 4,306		Iteration = 204,350	
		Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error	Predicted	% error
1	349	663	90.11	573	64.15	461	32.04	390	8.85	349	0.10	331	5.17	268	23.17	242	30.66	344	1.40
2	410	680	65.96	594	44.84	487	18.70	411	0.18	384	6.26	374	8.90	324	21.03	332	19.00	367	10.58
3	600	725	20.82	649	8.23	557	7.23	496	17.29	485	19.08	497	17.13	488	18.63	576	3.97	523	12.85
4	683	744	9.44	674	0.93	563	13.66	535	21.28	533	21.66	556	18.19	568	16.53	680	0.01	635	6.61
5	856	776	3.72	714	11.38	640	20.55	602	25.28	615	23.72	661	18.01	709	12.09	842	4.53	840	4.23
6	910	877	3.67	840	7.70	793	13.20	754	17.17	753	17.27	772	15.17	779	14.36	897	1.48	946	3.97
7	743	976	31.40	966	29.95	943	26.86	910	22.48	894	20.26	880	18.40	834	12.18	814	9.51	737	0.66
8	944	783	17.07	725	23.15	664	29.67	653	30.78	704	25.45	810	14.22	956	1.25	1,032	9.33	1,030	9.11
9	1,113	935	18.67	877	21.22	840	24.53	820	26.34	835	24.84	877	21.22	907	18.47	1,015	8.79	1,109	0.34
10	1,299	945	27.19	929	28.39	912	29.74	916	29.42	958	26.23	1,034	20.33	1,099	15.36	1,165	10.23	1,290	0.69
11	967	1,105	14.27	1,135	17.35	1,169	20.85	1,193	23.44	1,227	26.91	1,268	31.18	1,216	25.71	1,048	8.39	939	2.88
12	1,311	996	24.02	997	23.94	1,006	23.29	1,043	20.45	1,120	14.54	1,246	4.96	1,353	3.24	1,327	1.19	1,342	2.35
13	1,410	1,000	29.04	1,003	28.87	1,014	28.11	1,054	25.26	1,135	19.54	1,264	10.33	1,375	2.45	1,339	5.05	1,338	5.10
14	1,319	1,006	23.71	1,011	23.38	1,024	22.34	1,068	19.00	1,153	12.56	1,289	2.29	1,405	6.49	1,355	2.71	1,331	0.04
15	1,178	1,150	2.36	1,195	1.46	1,253	6.36	1,310	11.21	1,379	17.06	1,466	24.46	1,431	21.45	1,208	2.55	1,206	2.39
16	690	1,307	89.44	1,365	97.79	1,389	101.25	1,288	86.61	1,151	66.78	1,064	52.79	781	13.13	675	2.12	690	0.03
17	950	1,400	47.41	1,489	56.76	1,559	64.07	1,510	58.90	1,407	48.15	1,322	39.13	1,199	26.12	1,078	13.49	952	0.26
18	1,499	1,462	2.44	1,569	4.67	1,665	11.04	1,648	9.93	1,568	4.58	1,484	1.01	1,373	8.42	1,399	6.64	1,475	1.60
19	1,764	1,495	15.21	1,613	8.59	1,726	2.18	1,743	1.19	1,714	2.83	1,702	3.54	1,754	0.57	1,856	5.21	1,921	8.92
20	2,176	1,507	30.74	1,627	25.21	1,746	19.75	1,774	18.46	1,760	19.13	1,765	18.89	1,859	14.56	1,941	10.78	2014	7.43
21	2,056	1,551	24.56	1,684	18.09	1,824	11.31	1,890	8.08	1,928	6.25	1,997	2.88	2,227	8.32	2,197	6.84	2,080	1.18
22	2,601	1,660	35.19	1,813	30.31	1,977	23.99	2,085	19.86	2,182	16.09	2,322	10.73	2,550	1.95	2,616	0.57	2601	0.01
23	188	649	245.28	557	196.52	449	138.85	379	101.33	353	88.03	340	80.66	302	60.57	176	6.29	197	4.96
24	271	678	150.35	594	119.03	494	82.22	433	59.85	419	54.58	421	55.27	411	51.70	345	27.29	364	34.18
25	381	681	78.65	596	56.51	497	30.49	436	14.31	416	9.09	407	6.70	394	3.46	274	28.09	309	18.87

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับจำนวนรอบการรวมข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
เสาเข็ม	2	137.91
	2,500	24.06
	5,000	21.71
	7,500	19.52
	10,000	20.11

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
แบบหล่อ	2	52.11
	2,500	9.61
	5,000	8.65
	7,500	7.72
	10,000	7.03

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
งานผนัง	2	78.98
	2,500	8.35
	5,000	8.331
	7,500	8.57
	10,000	7.39

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
คอนกรีต	2	66.69
	2,500	14.54
	5,000	12.49
	7,500	11.11
	10,000	10.54

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
เหล็กเส้น	2	82.35
	2,500	17.81
	5,000	16.54
	7,500	14.77
	10,000	13.43

เนื้องาน (Item)	จำนวนรอบในการรวมข้อมูล (Iteration)	ค่าเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (APE, %)
งานสี	2	56.92
	2,500	14.66
	5,000	14.55
	7,500	14.41
	10,000	14.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

- ผลการทดลองแบ่งประเภทอาคารวิธีต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองแบ่งประเภทอาคารในเบื้องต้นด้วยวิธีการอื่น ๆ

ในหัวข้อการศึกษาการแบ่งประเภทอาคาร ภายหลังจากที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลในเบื้องต้นได้จำนวนหนึ่งแล้ว ผู้ทำวิจัยได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วนความสัมพันธ์ของเนื้องานโดยแยกประเภทอาคารตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งในภาคผนวกนี้ได้นำผลสรุปบางส่วนของการทดลองแบ่งประเภทอาคาร มาแสดงไว้ให้ผู้สนใจได้นำไปศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อไป

หมวดงานโครงสร้าง

1. แบ่งเป็น แฟลต อพาร์ทเมนท์ คอนโดมิเนียม

   โดยกำหนดให้

   อาคารประเภทแฟลต ได้แก่ แฟลตพักอาศัยของข้าราชการหรือเอกชน

   อาคารประเภทอพาร์ทเมนท์ ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ให้เช่าพักอาศัย ลักษณะห้องพักเป็นห้องเดี่ยว

   อาคารประเภทคอนโดมิเนียม ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ขายห้องพักให้ผู้พักอาศัย ลักษณะห้องพักอาจเป็นได้ทั้งห้องเดี่ยวและห้องชุด แต่โดยมากจะเป็นห้องชุด

ลำดับ	สัดส่วน	แฟลต		อพาร์ทเมนท์		คอนโดมิเนียม	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
1	งานดิน / พื้นที่	0.14	*0.05*	0.28	*0.16*	0.23	*0.10*
2	งานเสาเข็ม / พื้นที่	1.16	*0.28*	1.59	*0.32*	1.46	*0.31*
3	งานคอนกรีต / พื้นที่	0.20	*0.05*	0.34	*0.07*	0.25	*0.04*
4	งานแบบหล่อ / พื้นที่	2.06	*0.38*	2.82	*0.30*	2.37	*0.36*
5	งานเหล็กเสริม / พื้นที่	29.56	*5.68*	53.93	*10.25*	36.03	*7.10*
6	งานดิน / เสาเข็ม	0.12	*0.05*	0.14	*0.06*	0.17	*0.10*
7	งานคอนกรีต / เสาเข็ม	0.18	*0.05*	0.29	*0.07*	0.18	*0.05*
8	แบบหล่อ / คอนกรีต	10.66	*1.19*	7.93	*0.90*	9.51	*0.94*
9	เหล็กเสริม / คอนกรีต	154.18	*26.02*	151.46	*26.36*	146.30	*34.34*

หมายเหตุ : Stdev. ย่อมาจาก Standard deviation

2. แบ่งตามช่วงชั้นความสูง

โดยนำเอาความสูงรวมเฉลี่ยของข้อมูลเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 อาคารกลุ่มที่มีความสูงไม่เกินเกิน 5 ชั้น

2.2 อาคารกลุ่มที่มีความสูงเกินกว่า 5 ชั้น

ลำดับ	สัดส่วน	สูงไม่เกิน 5 ชั้น		สูงเกิน 5 ชั้น	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
1	งานดิน / พื้นที่	0.17	*0.06*	0.36	*0.23*
2	งานเสาเข็ม / พื้นที่	1.39	*0.43*	2.45	*0.88*
3	งานคอนกรีต / พื้นที่	0.32	*0.08*	0.35	*0.11*
4	งานแบบหล่อ / พื้นที่	2.10	*0.52*	2.06	*0.37*
5	งานเหล็กเสริม / พื้นที่	41.69	*9.55*	56.56	*14.47*
6	งานดิน / เสาเข็ม	0.13	*0.10*	0.26	*0.23*
7	งานคอนกรีต / เสาเข็ม	0.20	*0.08*	0.19	*0.16*
8	แบบหล่อ / คอนกรีต	10.49	*1.33*	8.85	*1.66*
9	เหล็กเสริม / คอนกรีต	134.33	*25.98*	158.01	*32.50*

หมวดสถาปัตยกรรม

1. แบ่งเป็นแฟลต อพาร์ทเมนท์ คอนโดมิเนียม

โดยกำหนดให้

อาคารประเภทแฟลต ได้แก่ แฟลตพักอาศัยของข้าราชการหรือเอกชน

อาคารประเภทอพาร์ทเมนท์ ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ให้เช่าพักอาศัย ลักษณะห้องพักเป็นห้องเดี่ยว

อาคารประเภทคอนโดมิเนียม ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ขายห้องพักให้ผู้พักอาศัย ลักษณะห้องพักอาจเป็นได้ทั้งห้องเดี่ยวและห้องชุด แต่โดยมากจะเป็นห้องชุด

ลำดับ	สัดส่วน	แฟลต		อพาร์ทเมนท์		คอนโดมิเนียม	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
1	งานพื้น / พื้นที่	1.33	*0.31*	1.03	*0.20*	1.08	*0.18*
2	งานผนัง / พื้นที่	1.27	*0.18*	1.07	*0.25*	1.22	*0.23*
3	งานฝ้าเพดาน / พื้นที่	0.17	*0.04*	0.67	*0.20*	0.46	*0.28*

ลำดับ	สัดส่วน	แฟลต		อพาร์ทเมนท์		คอนโดมิเนียม	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
4	งานทาสี / พื้นที่	4.27	*0.87*	3.87	*0.86*	3.87	*0.98*
5	งานผนัง / งานพื้น	0.99	*0.20*	1.06	*0.26*	1.16	*0.31*
6	งานฝ้าเพดาน / งานพื้น	0.14	*0.04*	0.69	*0.25*	0.42	*0.26*
6	งานทาสี / งานผนัง	3.35	*0.53*	3.69	*0.61*	3.21	*0.86*

2. แบ่งเป็นอาคารตามต้นทุนการก่อสร้าง

โดยนำเอาราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยของข้อมูลเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3 อาคารกลุ่มที่มีราคาค่าก่อสร้างไม่เกินเกิน 3,000 บาท

2.4 อาคารกลุ่มที่มีราคาค่าก่อสร้างเกินกว่า 3,000 บาท

ลำดับ	สัดส่วน	< 3,000 บาท / ตรม.		> 3,000 บาท / ตรม.	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
1	งานพื้น / พื้นที่	0.97	*0.08*	1.27	*0.16*
2	งานผนัง / พื้นที่	1.25	*0.23*	1.25	*0.19*
3	งานฝ้าเพดาน / พื้นที่	0.39	*0.30*	0.56	*0.25*
4	งานทาสี / พื้นที่	3.81	*0.44*	4.03	*1.55*
5	งานผนัง / งานพื้น	1.30	*0.30*	1.00	*0.22*
6	งานฝ้าเพดาน / งานพื้น	0.40	*0.31*	0.43	*0.15*
6	งานทาสี / งานผนัง	3.30	*0.84*	3.02	*0.89*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมวดงานระบบวิศวกรรม

1. แบ่งเป็นแฟลต อพาร์ทเมนท์ คอนโดมิเนียม

   โดยกำหนดให้

   อาคารประเภทแฟลต ได้แก่ แฟลตพักอาศัยของข้าราชการหรือเอกชน

   อาคารประเภทอพาร์ทเมนท์ ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ให้เช่าพักอาศัย ลักษณะห้องพักเป็นห้องเดี่ยว

   อาคารประเภทคอนโดมิเนียม ได้แก่ อาคารพักอาศัยที่ขายห้องพักให้ผู้พักอาศัย ลักษณะห้องพักอาจเป็นได้ทั้งห้องเดี่ยวและห้องชุด แต่โดยมากจะเป็นห้องชุด

ลำดับ	สัดส่วน	แฟลต		คอนโดมิเนียม	
		ค่าเฉลี่ย	Stdev.	ค่าเฉลี่ย	Stdev.
1	ความยาวท่อน้ำดี / พื้นที่	0.57	*0.21*	0.60	*0.19*
2	ความยาวท่อน้ำเสีย / พื้นที่	0.42	*0.14*	0.66	*0.28*
3	ความยาวท่อน้ำล้น/ พื้นที่	0.08	*0.01*	0.12	*0..04*
4	กำลังไฟดวงโคม / พื้นที่	3.27	*0.72*	0.14	*0.04*
5	จำนวนสวิทซ์ / งานพื้น	0.09	*0.02*	4.36	*1.27*
6	จำนวนเต้าเสียบ / งานพื้น	0.11	*0.03*	0.11	*0.03*
6	ความยาวสายไฟ / งานผนัง	4.96	*0.66*	5.86	*1.83*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายเจษฎา สารสินพิทักษ์ เกิดวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย