แบบจำลองการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

นายเจษฎา ศรีสกุลชัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRELIMINARY COST ESTIMATING MODEL FOR ENGINEERING WORK OF DOUBLE TRACK RAILWAY CONSTRUCTION PROJECT

Mr. Jessada Sresakoolchai

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่
โดย	นายเจษฎา ศรีสกุลชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. วศพร เตชะพีรพานิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เจษฎา ศรีสกุลชัย : แบบจำลองการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ (PRELIMINARY COST ESTIMATING MODEL FOR ENGINEERING WORK OF DOUBLE TRACK RAILWAY CONSTRUCTION PROJECT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วัชระ เพียรสุภาพ, 237 หน้า.

ปัจจุบันการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ของประเทศไทยยังมีความไม่ชัดเจน อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศใดที่ศึกษาการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการระบบรางที่เป็นรางคู่โดยตรง ทำให้การประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับโครงการระบบรางคู่ของประเทศไทยยังไม่มีวิธีที่ชัดเจน โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การพิจารณาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ การพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ และการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลา ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่า หมวดงานที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ประกอบด้วย 5 หมวดงาน ได้แก่ งานดิน งานทางและงานโครงสร้าง งานอาคารและงานสาธารณูปโภค งานราง และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร โดยการพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนและพัฒนาแบบจำลอง ใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนจำนวน 30 คน ผลจากการวิเคราะห์พบปัจจัยที่สามารถนำไปใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม บางปัจจัยยังไม่มีการเก็บข้อมูลในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ซึ่งในอนาคตหากมีการเก็บข้อมูลจะทำให้การประมาณต้นทุนเบื้องต้นมีความถูกต้องมากขึ้น ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยวิธีที่ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้แก่ Multiple linear regression, Artificial neural network และ Simplex optimization ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองจะแตกต่างกันไปตามหมวดงาน ผลการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือมีค่าไม่เกิน 35% ส่วนที่สามเป็นการพัฒนาดัชนีปรับแก้ตามเวลาที่ใช้การวิเคราะห์สัดส่วนของรายการงานในแต่ละหมวดงาน และใช้แนวคิดในการพิจารณาค่า K ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามเวลา อย่างไรก็ตาม งานราง และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร ไม่สามารถใช้แนวคิดค่า K ในการพัฒนาได้ เนื่องจากไม่มีการประกาศค่าดัชนีต้นทุนจากกระทรวงพาณิชย์ การพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามเวลาจึงต้องพิจารณาจากต้นทุนต่อหน่วยเป็นค่าฐานในการปรับแก้แทนการใช้ค่าดัชนีต้นทุน โดยสรุป งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับการประมาณต้นทุน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2557		

5670147021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: PRELIMINARY COST ESTIMATE / COST ESTIMATING MODEL / RAILWAY SYSTEM / DOUBLE TRACK RAILWAY PROJECT / TIME ADJUSTMENT INDEX

JESSADA SRESAKOOLCHAI: PRELIMINARY COST ESTIMATING MODEL FOR ENGINEERING WORK OF DOUBLE TRACK RAILWAY CONSTRUCTION PROJECT. ADVISOR: ASST. PROF. VACHARA PEANSUPAP, Ph.D., 237 pp.

Nowadays, Thailand has on standard method for preliminary cost estimation. Moreover, there is no research studied about double track railway project directly so the development of preliminary cost estimating models is required. The objectives of this study consist of 3 parts i.e. exploring the significance of attributes that used to estimate preliminary cost for double track railway project, developing of the preliminary cost estimating models for double track railway project and developing of time adjustment indexes. The methodologies of each part can be explained as follow. The first part aims to explore the significance of attributes that used for calculating preliminary cost estimate, the preliminary analysis found five work components that were suitable as the representatives. The work components of railway project consist of Earthwork, Road and Structural work, Building and Utility work, Track work and Signaling and Telecommunication work. The questionnaire is used as a tool to collect data for identifying the significant attributes. The respondents were 30 experts from public and private organizations. The results found that many significant attributes were confirmed by respondents but some attributes may not be used due to the lack of data in preliminary phase. The accuracy of preliminary cost estimate can be developed if the mentioned attributes are provided in the future. The second part was the development of preliminary cost estimating models. The models were developed by Multiple linear regression, Artificial neural network and simplex optimization. The attributes were depended on the work components. The error of the cost from developed models were acceptable that provided error less than 35%. The third part, developing of the time adjustment index, the K value concept is used to develop the time adjustment indexes. However, Track work and Signaling and Telecommunication work cannot apply K concept to develop the indexes because there is no announced cost index from The Ministry of Commerce. Therefore, the development of time adjustment indexes for these works needed to apply price instead of cost index. In conclusion, this study develops the preliminary cost estimating models and the results of model present the acceptable error.

Department:	Civil Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Civil Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2014		

CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา (The Scholarship from the Graduate School, Chulalongkorn University to commemorate the 72nd anniversary of his Majesty King Bhumibala Aduladeja is gratefully acknowledged) และได้รับการสนับสนุนจาก ทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของผศ.ดร.วัชระ เพียรสุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณ คุณปัฐตพงษ์ บุญแก้ว จากหน่วยงานการรถไฟแห่งประเทศไทย สำหรับข้อแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการโยธา สาขาวิศวกรรมและการบริหารงานก่อสร้างทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...จ

กิตติกรรมประกาศ...ฉ

สารบัญ..ช

สารบัญรูป ....ฐ

สารบัญตาราง..ฒ

บทที่ 1 บทนำ..1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 ปัญหาของงานวิจัย 2

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..3

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...6

2.1 การประมาณต้นทุนในโครงการก่อสร้าง...6

2.1.1 ความหมายและคำจำกัดความ...6

2.1.2 ลักษณะและวัตถุประสงค์ในการประมาณต้นทุน 6

2.2 ลักษณะของโครงการระบบราง..8

2.3 คำจำกัดความของโครงการระบบรางคู่ 9

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณต้นทุน....................................9

2.4.1 ภาพรวมในการประมาณต้นทุนโครงการ 9

2.4.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุน.......................................10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4.1.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน....................................11
2.4.1.3 ปัจจัยและค่าน้ำหนักที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นของระบบรางจากงานวิจัยในอดีต 14
2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนของระบบราง 17
2.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัยและกระบวนการ..19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..22
3.1 ลักษณะงานวิจัย 22
3.2 การออกแบบงานวิจัย 22
3.3 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน 24
3.3.1 การทบทวนงานวิจัย 24
3.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล...24
3.3.3 การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลในอนาคต 24
3.3.4 การพิจารณาปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ 25
3.3.5 การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ 25
3.3.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) 26
3.3.5.2 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)......................28
3.3.5.3 วิธี Simplex optimization 30
3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบราง..30
3.3.7 การพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง 31
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น 32

หน้า

4.1 องค์ประกอบของต้นทุนงานวิศวกรรมของโครงการระบบรางคู่.....................................32

4.2 การประมาณต้นทุนสำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน..36

4.3 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการระบบรางคู่ 40

4.3.1 งานดิน (Earthwork)..40

4.3.2 งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) 43

4.3.3 งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) 52

4.3.4 งานราง (Track work) 57

4.3.5 งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 60

4.4 ข้อกำจัดในการใช้ข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) และแบบก่อสร้าง (Drawing) 63

บทที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ 65

5.1 งานดิน (Earthwork)..68

5.2 งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)..70

5.3 งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)................................72

5.4 งานราง (Track work)..74

5.5 งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 76

5.6 การนำข้อมูลปัจจัยที่มีความจำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางไปใช้ประโยชน์และข้อจำกัดของข้อมูลในปัจจุบัน..77

บทที่ 6 การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่..79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

6.1 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)..80

6.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)......80

6.1.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)...........81

6.1.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานดิน (Earthwork)..84

6.1.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)..85

6.1.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)...86

6.2 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)...86

6.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)...89

6.2.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)...93

6.2.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)................................... 104

6.2.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work).. 111

6.2.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) 117

6.3 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)... 117

6.3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)... 118

หน้า

6.3.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)........ 119

6.3.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)........ 128

6.3.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)........ 133

6.3.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)........ 135

6.4 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work)........ 135

6.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work) 136

6.4.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work)...... 136

6.4.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานราง (Track work)........ 147

6.4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานราง (Track work) 151

6.4.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง (Track work)........ 155

6.5 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)........ 156

6.5.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)........ 156

6.5.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)........ 158

6.5.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 161

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

6.5.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 163

6.5.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 164

6.6 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ 165

6.7 ดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการ........ 170

6.7.1 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานดิน (Earthwork)........ 171

6.7.2 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)........ 178

6.7.3 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)........ 180

6.7.4 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานราง (Track work) 182

6.7.5 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) 183

6.7.6 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการระบบรางคู่ 188

บทที่ 7 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ........ 189

7.1 สรุปงานวิจัย........ 189

7.2 ข้อกำกัดของงานวิจัย........ 193

7.3 ข้อเสนอเพื่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคต........ 194

รายการอ้างอิง........ 196

หน้า

ภาคผนวก....... 203

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 237

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย........21

รูปที่ 3.1 การออกแบบงานวิจัย........23

รูปที่ 3.2 วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนรายการงานต่างๆ........26

รูปที่ 3.3 แผนผังโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)........28

รูปที่ 4.1 สัดส่วนต้นทุนของโครงการก่อสร้างระบบราง........35

รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนต้นทุนงานก่อสร้างหมวดงานต่างๆ........35

รูปที่ 4.3 ผลรวมของสัดส่วนมูลค่าหมวดงานทั้ง 5 หมวด........36

รูปที่ 4.4 ขั้นตอนในการยื่นเสนอของบประมาณของการรถไฟแห่งประเทศไทย........37

รูปที่ 6.1 ประเภทของโครงสร้าง........88

รูปที่ 6.2 สะพาน (Bridge)........88

รูปที่ 6.3 ทางข้าม (Overpass)........88

รูปที่ 6.4 ทางลอด (Underpass) และทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)........89

รูปที่ 6.5 สะพานกลับรถ (U - Turn bridge)........89

รูปที่ 6.6 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)........101

รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว........113

รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่........113

รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเหล็ก........114

รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของทางลอด (Underpass)........114

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานกลับรถ (U - Turn bridge) 115

รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของทางข้าม (Overpass).................... 116

รูปที่ 6.13 ประเภทของอาคาร 119

รูปที่ 6.14 ประเภทของอาคารที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานอาคาร และงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work).. 125

รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และต้นทุนของสถานี... 134

รูปที่ 6.16 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานราง 136

รูปที่ 6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณราง.. 152

รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนประแจ 152

รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนหมอนรองราง............................... 153

รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนเครื่องยึดเหนี่ยวราง...................... 153

รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณหินโรยทาง 154

รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณการติดตั้งประแจ 154

รูปที่ 6.23 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร.. 157

รูปที่ 6.24 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ และการปรับแก้.. 167

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่โดยใช้แนวคิดในปัจจุบัน .38

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนต่อความยาวรางของหมวดงานต่างๆในแต่ละโครงการ 39

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนของรายการงานต่างๆในหมวดงานดิน (Earthwork)................................41

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนของรายการงานดิน (Earthwork) 42

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนของรายการงานดิน (Earthwork) ต่อความยาวรางของแต่ละโครงการ 43

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพและต้นทุนของโครงสร้างโดยภาพรวม................................45

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนปริมาณงานและต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท 46

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนต่อความยาวของโครงสร้างแต่ละประเภท 47

ตารางที่ 4.9 จำนวนของโครงสร้างแต่ละประเภท..48

ตารางที่ 4.10 จำนวนโครงสร้างต่อความยาวรางของโครงการต่างๆ 49

ตารางที่ 4.11 ความยาวรวมของโครงสร้างประเภทต่างๆ...50

ตารางที่ 4.12 ความยาวของโครงสร้างต่อความยาวรางของโครงสร้างประเภทต่างๆ 51

ตารางที่ 4.13 ขนาดพื้นที่ของสถานีแต่ละขนาด 53

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนต่อตารางเมตรของสถานีขนาดต่างๆ ในโครงการ 54

ตารางที่ 4.15 จำนวนสถานีแบ่งตามขนาดของสถานี..54

ตารางที่ 4.16 จำนวนสถานีขนาดต่างๆต่อความยาวราง..55

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)...56

ตารางที่ 4.18 สัดส่วนต้นทุนและปริมาณงานของงานโครงสร้างงานอาคาร 56

ตารางที่ 4.19 สัดส่วนต้นทุนของงานสถาปัตยกรรม 57

ตารางที่ 4.20 สัดส่วนปริมาณงานของงานราง (Track work) 58

ตารางที่ 4.21 สัดส่วนต้นทุนของงานราง (Track work)...59

ตารางที่ 4.22 ปริมาณงานต่างๆในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)....62

ตารางที่ 4.23 สัดส่วนปริมาณงานต่อความยาวรางของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร....63

ตารางที่ 5.1 ระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหมวดงานต่างๆในโครงการก่อสร้างระบบรางคู่....66

ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานดิน โดยใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง....83

ตารางที่ 6.2 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานดิน โดยใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองโดยจำกัดค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ....84

ตารางที่ 6.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองประมาณต้นทุนงานดินจากแนวคิดต่างๆ....85

ตารางที่ 6.4 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน....86

ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง โดยคำนวณรวมทั้งต้นทุนงาน....94

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง โดยคำนวณรวมทั้งต้นทุนงาน เมื่อค่าน้ำหนักปัจจัยไม่เป็นลบ....95

ตารางที่ 6.7 ค่าน้ำหนักของแต่ละความเชื่อมโยง (Link) ในโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนท่อลอดคอนกรีตเหลี่ยม....102

ตารางที่ 6.8 การปรับแก้ค่าและความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง ซึ่งพิจารณาผลรวมของต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท....103

ตารางที่ 6.9 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนโครงสร้างทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง....104

ตารางที่ 6.10 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนโครงสร้างทั้งหมดเป็นปัจจัยและค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ติดลบในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงร้าง 105

ตารางที่ 6.11 สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท 107

ตารางที่ 6.12 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนแยกตามประเภทของโครงสร้าง 110

ตารางที่ 6.13 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง 110

ตารางที่ 6.14 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง 112

ตารางที่ 6.15 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค โดยคำนวณต้นทุนรวม 121

ตารางที่ 6.16 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณงานอาคารและงานสาธารณูปโภคโดยคำนวณต้นทุนรวม เมื่อค่าน้ำหนักปัจจัยไม่เป็นลบ 122

ตารางที่ 6.17 การปรับแก้และผลลัพธ์จากการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค 124

ตารางที่ 6.18 ต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค 126

ตารางที่ 6.19 การประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค โดยการพิจารณาต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ 127

ตารางที่ 6.20 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนอาคารทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภค 128

ตารางที่ 6.21 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคโดยใช้ปัจจัยจำนวนอาคารในการพัฒนาแบบจำลองและค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ติดลบ 129

ตารางที่ 6.22 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคที่ใช้ปัจจัยต้นทุนต่อพื้นที่ของสถานีในการพัฒนาแบบจำลอง 130

ตารางที่ 6.23 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคโดยพิจารณาต้นทุนต่อพื้นที่สถานี 131

ตารางที่ 6.24 ความคลาดเคลื่อนและการปรับแก้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยการพิจารณาต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคตามประเภทของอาคาร 132

ตารางที่ 6.25 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค 132

ตารางที่ 6.26 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค 133

ตารางที่ 6.27 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทางกายภาพของโครงการที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง 138

ตารางที่ 6.28 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองประมาณต้นทุนที่ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง 138

ตารางที่ 6.29 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ความยาวรางเป็นปัจจัยในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง 139

ตารางที่ 6.30 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานรางโดยใช้ปัจจัยปริมาณงาน 140

ตารางที่ 6.31 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนราง.................................... 142

ตารางที่ 6.32 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนประแจ 142

ตารางที่ 6.33 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหมอนรองราง..................... 143

ตารางที่ 6.34 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเครื่องยึดเหนี่ยวราง............ 143

ตารางที่ 6.35 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหินโรยทาง 143

ตารางที่ 6.36 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนการติดตั้งประแจ 144

ตารางที่ 6.37 สรุปแบบจำลองที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนงานรางด้วยวิธีการพิจารณาปริมาณงาน 145

ตารางที่ 6.38 ผลลัพธ์และการปรับแก้ค่าที่ได้จากแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานรางด้วยการพิจารณาปริมาณงาน 147

ตารางที่ 6.39 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการก่อสร้างระบบราง 148

ตารางที่ 6.40 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ต้นทุนต่อความยาวของระบบราง 148

ตารางที่ 6.41 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านรายการงาน 149

ตารางที่ 6.42 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยการประมาณปริมาณงาน 150

ตารางที่ 6.43 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการต่างๆในการประมาณต้นทุนงานราง 150

ตารางที่ 6.44 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง 151

ตารางที่ 6.45 ตารางแสดงผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพของโครงการ 160

ตารางที่ 6.46 ตารางแสดงผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพของโครงการและที่ค่าน้ำหนักไม่ติดลบ 161

ตารางที่ 6.47 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร 162

ตารางที่ 6.48 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารและที่ค่าน้ำหนักไม่ติดลบ 163

ตารางที่ 6.49 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร 164

ตารางที่ 6.50 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดที่ได้พัฒนาขึ้น การปรับแก้ และความคลาดเคลื่อนรวมของการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ 166

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.51 ตัวแปรและค่าที่ใช้ในการปรับฐานข้อมูล (Normalization)............................ 168

ตารางที่ 6.52 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ 169

ตารางที่ 6.53 สัดส่วนต้นทุนงานถางป่าและขุดตอ 173

ตารางที่ 6.54 สัดส่วนต้นทุนงานขุดทั่วไป.. 174

ตารางที่ 6.55 สัดส่วนต้นทุนงานดินคันทาง.. 174

ตารางที่ 6.56 สัดส่วนต้นทุนงานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง 175

ตารางที่ 6.57 สัดส่วนขององค์ประกอยต้นทุนรายการงานดิน (Earthwork) 175

ตารางที่ 6.58 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานดิน (Earthwork) 177

ตารางที่ 6.59 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)... 179

ตารางที่ 6.60 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work).................................. 181

ตารางที่ 6.61 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานราง (Track work)... 182

ตารางที่ 6.62 ความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานราง (Track work) ตามช่วงเวลา... 183

ตารางที่ 6.63 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work).. 185

ตารางที่ 6.64 ความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ตามช่วงเวลา.. 187

ตารางที่ 6.65 สรุปดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการระบบรางคู่.......... 188

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ต้นทุนเป็นทรัพยากรหลักในการดำเนินโครงการก่อสร้างทั้งโครงการขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เนื่องจากต้นทุนเป็นทรัพยากรที่สามารถแปรสภาพเป็นทรัพยากรอื่นได้ เช่น วัสดุ แรงงาน เครื่องจักร ดังนั้นโครงการจำเป็นต้องมีการวางแผนเกี่ยวกับต้นทุน ทั้งในเรื่องการประมาณต้นทุนโครงการ การบริหารต้นทุน และการควบคุมต้นทุน (Halpin, 2010) หากการวางแผนทางด้านต้นทุนมีความผิดพลาดย่อมส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการ (Kim et al., 2005) ตัวอย่างเช่น การประมาณต้นทุนที่ผิดพลาด ทำให้โครงการขาดทุนหรือเกิดปัญหาในการบริหารต้นทุนในโครงการ นอกจากนี้การบริหารต้นทุนและการควบคุมต้นทุนก็มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากการบริหารดังกล่าวช่วยให้ผู้ควบคุมโครงการทราบถึงปริมาณและช่วงเวลาที่ต้นทุนจะถูกใช้ในการดำเนินโครงการ (Wilmot and Mei, 2005) และสามารถติดตามสถานะของโครงการได้ จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า ต้นทุนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและต้องการการวางแผนที่ดี เพื่อทำให้โครงการสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้

การประมาณต้นทุนเป็นกระบวนการเตรียมข้อมูลด้านต้นทุนการก่อสร้างซึ่งมีความสำคัญต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงการ เนื่องจากโครงการที่มีต้นทุนเพียงพอ จะมีสภาพคล่องในการบริหาร และสามารถดำเนินโครงการได้อย่างต่อเนื่อง (AbouRizk et al., 2002) โดยการประมาณต้นทุนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การประมาณต้นทุนเบื้องต้น (Preliminary cost estimate) และการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด (Detailed cost estimate) โดยวัตถุประสงค์ของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น คือการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเปรียบเทียบผลตอบแทนต่อการลงทุนและต้นทุนที่ใช้ในการลงทุน ส่วนวัตถุประสงค์ของการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด คือการคำนวณต้นทุนให้มีความครบถ้วนและสะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด เพื่อใช้ในการประมูลและการวางแผนโครงการ ซึ่งการประมาณต้นทุนทั้งสองประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ การประมาณต้นทุนเบื้องต้นมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ต้นทุนมากกว่า แต่ในขณะเดียวกันก็มีความถูกต้องน้อยกว่าการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด เนื่องจากการประมาณต้นทุนอย่างละเอียดเป็นการประมาณต้นทุนจากแบบก่อสร้าง จึงมีความถูกต้องในการประมาณต้นทุนมากกว่า ดังนั้น หากผู้ประมาณต้นทุนต้องการทราบงบประมาณคร่าวๆ ในการดำเนินโครงการเพื่อใช้ในการพิจารณาความ

คุ้มค่าของโครงการ หรือโครงการจำเป็นจะต้องมีต้นทุนมากเท่าใดในการดำเนินโครงการในระยะที่โครงการยังไม่มีแบบก่อสร้าง ผู้ประมาณต้นทุนจำเป็นต้องใช้วิธีการประมาณต้นทุนเบื้องต้นเพื่อพิจารณาในขั้นตอนดังกล่าว (Herbsman, 1986)

รูปแบบของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสามารถทำได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับมาตรฐานขององค์กร เช่น การใช้ประสบการณ์ของวิศวกรผู้ประมาณต้นทุนโครงการ หรือการใช้แบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นที่พัฒนาขึ้นขององค์กรนั้นๆ ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น (Phaobunjong and Popescu, 2003) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของการประมาณต้นทุนจากขนาดของพื้นที่ใช้สอย (Lowe et al., 2006) ลักษณะการใช้ประโยชน์ของโครงการ (Tas and Yaman, 2005) หรือโครงการที่มีลักษณะคล้ายกันในอดีต (Dogan et al., 2006) เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างการประมาณต้นทุนเบื้องต้นและการประมาณต้นทุนอย่างละเอียดจะพบว่า การประมาณต้นทุนอย่างละเอียดนั้นมีรูปแบบและมาตรฐานที่ค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือประมาณต้นทุนโดยการคิดปริมาณงานและคำนวณต้นทุนของแต่ละส่วนเพื่อนำมาคิดต้นทุนรวม แต่การประมาณต้นทุนเบื้องต้นไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ทำให้การพัฒนาวิธีการในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นมีความจำเป็นในการศึกษาและพัฒนาให้มีรูปแบบและวิธีการที่ได้มาตรฐาน

การประมาณต้นทุนทั้งสองประเภทที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน องค์กรที่ใช้ประโยชน์จากการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสามารถแบ่งออกเป็น องค์กรภาครัฐและภาคเอกชน โดยองค์กรทั้งสองประเภทมีการประยุกต์ใช้วิธีการประมาณต้นทุนเบื้องต้นด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือภาคเอกชนจะใช้การประมาณต้นทุนเบื้องต้นในการพิจารณาถึงความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ โดยพิจารณาจากต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการโดยประมาณ (Trost and Oberlender, 2003) ส่วนภาครัฐใช้ประโยชน์จากการประมาณต้นทุนเบื้องต้นในการพิจารณาและการกำหนดกรอบวงเงินงบประมาณในช่วงของการอนุมัติงบประมาณ และการควบคุมตรวจสอบการใช้งบประมาณในการบริหารโครงการ เพื่อให้เกิดความโปร่งใสในการบริหารงานโครงการ

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

ปัจจุบันการดำเนินโครงการด้านโครงสร้างพื้นฐานประเภทราง มีการดำเนินโครงการหลายโครงการรวมถึงการดำเนินการก่อสร้างในส่วนต่อขยายที่จะดำเนินการในอนาคต จำนวนโครงการ

รถไฟฟ้าที่กำลังดำเนินการอยู่มีทั้งสิ้น 10 เส้นทาง ซึ่งแต่ละเส้นทางจะถูกแบ่งออกเป็นโครงการย่อยๆ หลายโครงการ ทั้งโครงการที่เริ่มดำเนินการไปแล้ว 4 โครงการ โครงการที่อยู่ในช่วงการประมูล 7 โครงการ และโครงการที่อยู่ระหว่างการขออนุมัติ 6 โครงการ (กระทรวงคมนาคม, 2014) นอกจากระบบรางที่เป็นรถไฟฟ้าแล้ว ยังมีระบบรางที่ใช้การลากจูงด้วยหัวรถจักรดีเซล ซึ่งมีการดำเนินการอยู่เช่นกัน คือ โครงข่ายรถไฟฟ้าสายสีแดง ซึ่งมีทั้งที่อนุมัติโครงการแล้วและรอการประกวดราคา และโครงการรถไฟรางคู่ที่จะมีการดำเนินการต่อไป (รฟท., 2014) สาเหตุที่ต้องดำเนินโครงการเหล่านี้ก็เพื่อให้ระบบขนส่งสามารถรองรับปริมาณการขนส่งทั้งผู้โดยสารและสินค้าที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งการพิจารณาคัดเลือกโครงการนั้นจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนในการลงทุน เพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารโครงการ โดยโครงการในระยะเริ่มแรกนั้นจะมีรายละเอียดข้อมูลของโครงการไม่มาก ดังนั้นการประมาณต้นทุนของโครงการระบบรางคู่จึงต้องใช้การประมาณต้นทุนเบื้องต้น

การลงทุนในโครงการระบบรางนั้น จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้ลงทุนที่เป็นภาครัฐหรือเอกชนผู้ร่วมลงทุนจำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนในการลงทุนให้สอดคล้องกับความเป็นจริงให้มากที่สุด เนื่องจากมีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาว่าควรใช้งบประมาณในการลงทุนโครงสร้างระบบรางหรือไม่ อีกทั้งการประมาณต้นทุนยังสามารถเกิดความผิดพลาดได้มาก เนื่องจากต้นทุนมีมูลค่าสูง

เนื่องจากในปัจจุบัน รูปแบบในการพิจารณาต้นทุนโครงการระบบรางคู่ของประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบหรือวิธีการที่แน่นอน นอกจากนี้งานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ยังมีไม่มากและไม่สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ในประเทศไทยได้ เนื่องจากลักษณะเฉพาะของโครงการที่แตกต่างกัน ทำให้การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่มีความสำคัญ เพราะช่วยให้การพิจารณาต้นทุนโครงการระบบรางคู่มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น นอกจากนั้นการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ ยังมีประโยชน์ในการวางแผนโครงการอีก เช่น การวางแผนการทางการเงิน การวางแผนการใช้ทรัพยากร เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิเคราะห์ความเหมาะสมของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น

2. พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองดังกล่าว
3. เสนอแนวทางที่สามารถใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง เมื่อประมาณต้นทุนที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ ในรูปของดัชนีปรับแก้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับโครงการก่อสร้างรางในประเทศไทย โดยโครงการที่จะพิจารณานั้นจะเป็นโครงการระบบรางคู่ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานและมีการประมาณต้นทุนในช่วงปี 2555 เพื่อใช้ในการทำนายราคาโครงการรถไฟรางคู่ เพื่อให้การประมาณต้นทุนมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่ามาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับราคาจริงของโครงการ

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยในอดีต เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดมีความเหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่
2. สัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการปฏิบัติในปัจจุบันและทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็น
3. พิจารณาปัจจัยที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ เนื่องจากข้อมูลที่สามารถจัดหาได้อาจมีข้อจำกัดในด้านของความครบถ้วน
4. พัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการราง
5. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประมาณต้นทุนที่ได้พัฒนาขึ้นมาว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด จากการเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้จากการใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นมาและต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างจริง
6. เสนอแนวทางในรูปของดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองเพื่อให้สามารถประมาณต้นทุนที่ระยะเวลาต่างๆได้
7. สรุปผลการวิจัยเพื่อให้ทราบแนวทางการใช้งาน ปัญหาที่พบ ข้อจำกัดและแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากกงานวิจัย

1. ทราบถึงปัจจัยที่มีนัยสำคัญในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างราง
2. แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการระบบรางคู่โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าที่ยอมรับได้
3. แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนที่ระยะเวลาต่างๆ ได้ โดยใช้ดัชนีปรับแก้ที่พัฒนาขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมาณต้นทุนในโครงการก่อสร้าง

2.1.1 ความหมายและคำจำกัดความ

การประมาณต้นทุน คือ กระบวนการที่พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการดำเนินโครงการในอนาคต โดยพยายามทำนายมูลค่าของโครงการรวมถึงปริมาณความต้องการของทรัพยากร (Halpin, 2010) หรือขั้นตอนในการพิจารณาผลรวมของหน่วยราคาแต่ละหน่วย โดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นจากข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัดในปัจจุบันและมีความถูกต้อง เพื่อประมาณต้นทุนของโครงการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (Richey et al., 2009) หากจะมองในมุมมองของผลลัพธ์ การประมาณต้นทุนก็เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการกระบวนการประมาณหรือพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญโดยอ้างอิงจากการออกแบบ ซึ่งผลลัพธ์ของการประมาณต้นทุนอาจอยู่ในรูปต้นทุนหรือหน่วยอื่นทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Ostwald, 2001)

จากคำนิยามข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า การประมาณต้นทุน คือ กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตของโครงการ โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัดในปัจจุบัน ซึ่งวิธีในการประมาณต้นทุนจะมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน ข้อมูลที่มี หรือบุคคลากรที่ประมาณต้นทุน

การประมาณต้นทุนที่ผิดพลาดและไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เป็นสาเหตุหลักของความล้มเหลวในการบริหารโครงการรวมไปถึงการยื่นประมูล (Kim et al., 2005) ดังนั้นการประมาณต้นทุนจึงมีความสำคัญต่อการบริหารโครงการ เนื่องจากความหลากหลายของโครงการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการ ทำให้การประมาณต้นทุนมีการใช้ในหลายลักษณะด้วยกัน โดยที่แต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านความถูกต้อง และกระบวนการในการประมาณต้นทุน ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ประมาณต้นทุนและความต้องการในการใช้งาน ต่อไปจะกล่าวลักษณะของการประมาณต้นทุนในรูปแบบต่างๆ และวัตถุประสงค์ของการประมาณต้นทุนในแต่ละลักษณะ

2.1.2 ลักษณะและวัตถุประสงค์ในการประมาณต้นทุน

การประมาณต้นทุนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การประมาณต้นทุนเบื้องต้นและการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด ซึ่งการประมาณต้นทุนทั้งสองลักษณะนี้สามารถแยกแยะโดยใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบก่อสร้างเป็นเกณฑ์ กล่าวคือ ในช่วงที่ยังไม่มีแบบก่อสร้าง การประมาณต้นทุนที่ใช้จะจัดเป็นการประมาณต้นทุนเบื้องต้น หลังจากมีแบบก่อสร้างที่แน่นอนแล้ว การประมาณต้นทุนจะจัดเป็นการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด ซึ่งการประมาณต้นทุนทั้งสองลักษณะนั้น ยังสามารถแยกย่อยได้อีกดังต่อไปนี้

การประมาณต้นทุนแนวคิดเบื้องต้นและการประมาณต้นทุนเบื้องต้น (Conceptual & preliminary cost estimate) การประมาณต้นทุนแนวคิดเบื้องต้นถูกใช้ในกรณีที่โครงการมีเพียงข้อมูลเบื้องต้นในการประมาณต้นทุนเท่านั้น เช่น การประมาณต้นทุนโดยใช้ปริมาณพื้นที่ใช้สอยหรือปริมาตรอาคาร การประมาณต้นทุนโดยใช้วิธีการดังกล่าวทำโดยการอ้างอิงจากข้อมูลในอดีต การประมาณต้นทุนในลักษณะนี้มีประโยชน์ในด้านการวางแผนและในขั้นตอนของการตั้งงบประมาณเมื่อไม่มีรายละเอียดจากแบบก่อสร้าง เมื่อรายละเอียดของแบบก่อสร้างชัดเจนขึ้น ผู้ออกแบบสามารถประมาณต้นทุนโครงการคร่าวๆได้จากประสบการณ์โดยอ้างอิงจากโครงการที่ผ่านมาในอดีต ต่อมาเมื่อมีการวางผังโครงการและกำหนดข้อกำหนดต่างๆ จะมีการออกแบบเบื้องต้นและเสนอต่อเจ้าของโครงการเพื่อพิจารณาก่อนการออกแบบอย่างละเอียด ระยะเวลาของขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 40% ของระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบทั้งหมด หลังจากขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น วิศวกรและสถาปนิกจะเตรียมการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโดยอาศัยข้อมูลจากการออกแบบดังกล่าว

ในขณะที่การประมาณต้นทุนอย่างละเอียด การประมาณต้นทุนเพื่อตั้งงบประมาณและการประมาณต้นทุนเพื่อประกวดราคา (Detail, budget and bid cost estimate) เมื่อแบบก่อสร้างเบื้องต้นได้รับการอนุมัติจากเจ้าของโครงการแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการออกแบบอย่างละเอียด เมื่อการออกแบบอย่างละเอียดสมบูรณ์ ข้อมูลต่างๆจะครบถ้วน ผังโครงการ แบบก่อสร้าง และข้อกำหนดต่างๆจะถูกส่งไปยังผู้รับเหมาที่ต้องการจะประมูลงาน วิศวกรจะทำการประมาณต้นทุนโครงการโดยใช้วิธีการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด การประมาณต้นทุนในขั้นตอนนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการประมาณต้นทุนเบื้องต้น เนื่องจากข้อมูลที่จำเป็นมีความครบถ้วนมากกว่า ในขณะเดียวกันเจ้าของโครงการจะใช้การประมาณต้นทุนอย่างละเอียดในการตรวจสอบมูลค่าโครงการเพื่อเปรียบเทียบกับงบประมาณที่ได้ตั้งไว้ และใช้เป็นราคามาตรฐานในการประกวดราคาต่อไป การประมาณต้นทุนในลักษณะดังกล่าวคือการประมาณต้นทุนเพื่อตั้งงบประมาณ (Budget estimate) ผู้รับเหมาจะใช้การประมาณต้นทุนอย่างละเอียดเช่นกันเพื่อคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินโครงการ หลังจากนั้นจะรวมค่าดำเนินการและกำไรเข้าไป เพื่อตั้งราคาที่จะใช้ในการประกวดราคา การประมาณต้นทุนนี้คือการ

ประมาณต้นทุนเพื่อการประกวดราคา (Bid estimate) การประมาณต้นทุนทุกรูปแบบในย่อหน้านี้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและทรัพยากร มีการประมาณว่า ต้นทุนที่ใช้ในการประมาณต้นทุนนั้นเป็น 0.25% ของราคาที่ใช้ในการประกวดราคา ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็จะมีการบวกเพิ่มเข้าไปในค่าดำเนินการเช่นกัน จะเห็นได้ว่า การประมาณต้นทุนอย่างละเอียดนั้น มีความซับซ้อนและมีต้นทุนมากกว่าการประมาณต้นทุนเบื้องต้นอย่างชัดเจน อีกทั้งยังต้องอาศัยข้อมูลที่มีความชัดเจน ทำให้ในระยะแรกของโครงการนั้นไม่สามารถใช้การประมาณต้นทุนอย่างละเอียดได้

2.2 ลักษณะของโครงการระบบราง

เนื่องจากการขนส่งโดยระบบรางเป็นระบบการขนส่งที่ประหยัดพลังงานมากกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่น เมื่อเปรียบเทียบการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก จะประหยัดกว่าประมาณ 3.5 – 4.5 เท่า สำหรับการขนส่งผู้โดยสาร ระบบรางจะประหยัดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับรถโดยสารสาธารณะ 1.7 -2.0 เท่า และประหยัดมากกว่ารถโดยสารส่วนบุคคล 5.0 เท่า ด้วยเหตุนี้จึงเกิดความต้องการใช้งานระบบรางมากขึ้นในขณะที่พลังงานมีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นขบวนรถที่ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อน ยังสามารถใช้พลังงานได้จากหลายๆแหล่งเช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หรือพลังงานนิวเคลียร์ (จันทศร, 2554)

ระบบรางยังเป็นระบบการขนส่งปล่อยมลพิษในระหว่างการใช้งานน้อยกว่าระบบการขนส่งอื่นๆ เมื่อมีปริมาณการใช้งานที่เท่ากันและยังเป็นระบบขนส่งที่มีความปลอดภัยมากกว่าระบบอื่นๆ รถไฟสามารถขนส่งได้เป็นจำนวนมาก จึงใช้ที่ดินเพื่อก่อสร้างโครงการน้อยกว่าระบบขนส่งอื่น โดยระบบรางคู่จะมีขีดความสามารถในการขนส่งมากกว่าถนน 6 ช่องจราจร โดยใช้ทรัพยากรที่ดินในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบอื่น ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ในหลายประเทศจึงมีการสนับสนุนนโยบายให้ใช้ระบบรางเป็นแกนกลางของระบบขนส่งสำหรับประเทศ (จันทศร, 2554)

เนื่องจากระบบรางมีราคาแพง ต้องการเงินลงทุนจำนวนมาก การวิเคราะห์ความคุ้มค่าจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น หากการใช้งานมีการบริหารให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานแล้ว นอกจากจะเป็นการประหยัดต้นทุนแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการจ้างงาน และการกระจายความเจริญอีกด้วย (จันทศร, 2554)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานระบบรางและระบบขนส่งอื่นๆแล้ว ระบบรางเป็นระบบมีต้นทุนในก่อสร้างมากกว่าระบบการขนส่งอื่นๆ เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องมีการบริหารจัดการการเดินรถด้วย

เพราะระบบรางเป็นระบบที่เจ้าของยานพาหนะไม่สามารถนำรถเข้ามาในระบบได้ แตกต่างจากถนนที่เจ้าของพาหนะเป็นผู้นำยานพาหนะของตนเข้ามาใช้งานในระบบเอง ดังนั้นจึงมีต้นทุนในการก่อสร้างองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น สถานี ระบบการให้อาณัติสัญญาณ และชานชาลาสำหรับผู้โดยสาร จะเห็นว่าต้นทุนในการก่อสร้างของระบบรางมีองค์ประกอบของต้นทุนต่างจากระบบขนส่งอื่นๆ (จันทศร, 2554)

2.3 คำจำกัดความของโครงการระบบรางคู่

สำหรับงานวิจัยนี้ โครงการระบบรางคู่ คือ โครงการระบบรางที่เป็นระบบพื้นฐานที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเป็นโครงการที่สร้างรางเพิ่มอีกหนึ่งรางคู่ขนานไปกับแนวรางเดิม

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณต้นทุน

2.4.1 ภาพรวมในการประมาณต้นทุนโครงการ

การประมาณต้นทุนเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการบริหารต้นทุนโครงการ เนื่องจากการวางแผนการใช้ต้นทุนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงการ ดังนั้นงานวิจัยในอดีตจึงพยายามพัฒนาวิธีในการประมาณต้นทุนอย่างต่อเนื่อง โดยการพัฒนารูปแบบการประมาณต้นทุนถูกพัฒนาในหลายประเด็น ประการแรกคือการพัฒนาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุน เช่น การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ การใช้ดัชนีราคาเพื่อปรับแก้ราคา เป็นต้น ประการต่อมาคือ วิธีการที่นำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการประมาณต้นทุน เช่น วิธีทางสถิติศาสตร์ (Statistical method) วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression analysis) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เป็นต้น การพัฒนาวิธีที่ใช้ในการประมาณต้นทุนสามารถใช้ทั้งความรู้ทางด้านวิศวกรรมและความรู้ด้านอื่นๆ เช่น ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ ความรู้ทางด้านการบริหาร ความรู้ทางด้านการเงิน เป็นต้น ซึ่งความรู้ในด้านต่างๆ ถูกนำมาใช้พัฒนาวิธีการประมาณต้นทุน รวมทั้งการประยุกต์ใช้วิธีการในการประมาณต้นทุน ประการที่สามคือ การพัฒนาวิธีการประมาณต้นทุนในงานก่อสร้างประเภทต่างๆ โครงการก่อสร้างไม่ว่าโครงการใดก็ตาม ต้องใช้การประมาณต้นทุนในการวางแผนโครงการ ดังนั้นงานวิจัยในอดีตจึงมีความพยายามในการพัฒนาวิธีการประมาณต้นทุนโครงการ ทั้งโครงการก่อสร้างอาคาร งานทาง งานอุโมงค์ งานราง เป็นต้น ประการสุดท้ายคือ ปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุน ซึ่งองค์ประกอบและลักษณะของงานก่อสร้างจะแตกต่างกันไปตาม

ประเภทของโครงการ ต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่มีความหลากหลายในประเด็นต่างๆที่ได้กล่าวมา

2.4.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุน

การพัฒนาผลลัพธ์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุนมีหลายรูปแบบ โดยผลลัพธ์ในการประมาณต้นทุนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วิธีที่ใช้ในการประมาณต้นทุน ความต้องการ หรือลักษณะโครงการ ตัวอย่างรูปแบบการพัฒนาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุนมีดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นสมการเชิงเส้นหรือสมการในรูปแบบอื่น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินโครงการและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยปัจจัยดังกล่าวจะขึ้นกับประเภทของโครงการและข้อมูลที่สามารถจัดหาได้ โดยรูปแบบดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบย่อย ได้ดังนี้

ราคาหรือต้นทุนรวมของโครงการ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับต้นทุนที่ได้จากการถอดปริมาณงาน แต่การพัฒนาผลลัพธ์ในรูปแบบนี้สามารถประมาณต้นทุนโครงการได้โดยไม่จำเป็นต้องถอดปริมาณงาน งานวิจัยในอดีตมีการใช้รูปแบบดังกล่าวในการประมาณต้นทุนโครงการหลายประเภท เช่น งานวางผังโครงการ (Kim, 2011) โครงการก่อสร้างอาคาร (Karshenas, 1984) โครงการก่อสร้างถนน (Hegazy and Ayed, 1998) โครงการก่อสร้างสะพาน (Kim et al., 2009) โครงการซ่อมแซมผิวทาง (Chou, 2009b) โครงการสิ่งก่อสร้างริมน้ำ (Kim et al., 2012) การคำนวณต้นทุนโครงการตลอดอายุการใช้งาน (Jrade and Alkass, 2007) ซึ่งไม่พิจารณาเพียงต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างเท่านั้น แต่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ หรือการคิดต้นทุนรวมของโครงการก่อสร้างโดยแสดงรายละเอียดงานในส่วนต่างๆ (Al-Mashta and Alkass, 2010) ซึ่งงานวิจัยหลายชิ้นใช้รูปแบบดังกล่าว เนื่องจากโครงการมีความชัดเจนและไม่จำเป็นต้องมีการตีความหรือผ่านกระบวนการอื่นอีก การพัฒนาดังกล่าวเป็นรูปแบบแรกๆที่มีการใช้งานเนื่องจากมีความใกล้เคียงกับการถอดปริมาณงานที่สุด ผลลัพธ์ในการประมาณต้นทุนด้วยรูปแบบนี้มีความเหมาะสมกับงานอาคาร เนื่องจากสามารถคิดราคาเป็นราคารวมได้ง่าย อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ในรูปแบบดังกล่าว ไม่สามารถใช้กับโครงการทุกประเภทได้เนื่องจากข้อจำกัดบางอย่าง เช่น ปริมาณงานมีความไม่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถใช้รูปแบบนี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ราคาหรือต้นทุนต่อหน่วยงาน (Unit cost) ผลลัพธ์ในรูปแบบนี้ถูกใช้ในกรณีที่รูปแบบข้างต้นไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากข้อจำกัดบางประการที่ได้กล่าวไป ตัวอย่างโครงการที่จำเป็นต้องใช้รูปแบบนี้ ได้แก่ โครงการขุดลอกลำน้ำ (Lee et al., 2011) งานระบบราง ซึ่งไม่สามารถประมาณปริมาณงานที่แน่นอนได้ จึงจำเป็นต้องใช้รูปแบบต้นทุนต่อหน่วยงาน (Unit cost) ในการประมาณต้นทุนโดยคิดราคาโครงการเป็นต้นทุนต่อความยาว นอกจากนี้โครงการก่อสร้างระบบรางก็สามารถประยุกต์ใช้รูปแบบนี้ในการประมาณต้นทุนได้ เช่น การคิดต้นทุนโครงการจากปริมาณพื้นที่ใช้สอย (Dogan et al., 2006) หรือการคิดราคาโครงการจากปริมาตรของอาคาร (Akinsiku et al., 2011) หรือการคิดจากจำนวนเตียงหรือผู้อยู่อาศัย (Sae-Hyun et al., 2010) จะเห็นได้ว่าโครงการก่อสร้างระบบรางก็สามารถใช้รูปแบบดังกล่าวในการประมาณต้นทุนได้เช่นกัน

2. การประมาณต้นทุนด้วยดัชนี การพัฒนาผลลัพธ์ในลักษณะนี้ใช้ดัชนีในการคำนวณต้นทุนโครงการที่ต้องการประมาณต้นทุนเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการหรือข้อมูลที่ใช้เป็นฐานในการคิด เช่น การคำนวณดัชนีต้นทุนโครงการจากปริมาณงานต่างๆที่เกี่ยวข้องก่อนจะนำมาคิดต้นทุนโครงการรวมอีกครั้งหนึ่ง (Touran and Lopez, 2006) การประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนโครงการที่ได้ดำเนินการในอดีตเพื่อมาทำนายต้นทุนโครงการที่จะดำเนินการในปัจจุบัน (Hwang, 2011) หรือการทำนายค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของโครงการโดยใช้ดัชนีราคา (Liu et al., 2013) การใช้ดัชนีต้นทุน มีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ต้นทุนของงานก่อสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา พื้นที่ หรือความยาวของโครงการที่แตกต่างกัน เพราะนอกจากต้นทุนโครงการจะแปรผันตามเวลาและพื้นที่ ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆอีกด้วย การใช้ดัชนีต้นทุนในการคำนวณต้นทุนโครงการสามารถลดข้อจำกัดดังกล่าวได้

2.4.1.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน

วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนมีหลายวิธี ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การประมาณต้นทุนเป็นเครื่องมือทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นจึงมีความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมมาใช้ในการสร้างวิธีในการประมาณต้นทุน แต่ความรู้ในสาขาอื่นๆก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการประมาณต้นทุนได้เช่นกัน ตัวอย่างวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. วิธีทางสถิติศาสตร์ (Statistical method) เป็นวิธีแรกๆที่มีการนำมาใช้พัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยและไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการขั้นสูง แต่มีข้อจำกัดคือ ต้องอาศัยข้อมูลปริมาณมาก จึงจะสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนาย โดยจะใช้ประโยชน์จากข้อมูลโครงการที่มีความคล้ายคลึงกัน นำมาอ้างอิงและทำนายราคาโครงการที่ต้องการประมาณต้นทุน (Rostami et al., 2013) ซึ่งวิธีการนี้มีความใกล้เคียงกับการประมาณต้นทุนจากประสบการณ์ของผู้ประมาณต้นทุน เนื่องจากเป็นวิธีที่อ้างอิงจากข้อมูลในอดีตโดยที่ไม่ต้องอาศัยความรู้เฉพาะทางที่ซับซ้อน และเหมาะกับการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยข้อมูลยังมีข้อจำกัดในด้านความครบถ้วนอยู่มาก วิธีการดังกล่าวถูกใช้ในโครงการหลายประเภท เช่น โครงการก่อสร้างอาคาร (Sae-Hyun et al., 2010) งานวางผังโครงการ (Rostami et al., 2013) เป็นต้น สำหรับโครงการบางประเภทที่มีความไม่แน่นอนสูงและขึ้นอยู่กับปัจจัยจำนวนมาก เช่น โครงการก่อสร้างอุโมงค์ (Rostami et al., 2013) ที่มีความไม่แน่นอนสูง ก็สามารถใช้วิธีการนี้ได้ เนื่องจากอ้างอิงจากข้อมูลในอดีต ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของความไม่แน่นอนซึ่งปัจจัยบางอย่างไม่สามารถทำนายได้

2. วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression analysis) สามารถแยกย่อยได้อีกหลายลักษณะ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงกลศาสตร์ (Dynamic regression analysis) เป็นต้น วิธีการดังกล่าวเป็นการใช้ข้อมูลที่มีอยู่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขึ้นมา โดยความสัมพันธ์นั้นอาจมีปัจจัยอื่นส่งผลร่วมด้วยก็ได้ (Hwang, 2009) วิธีการนี้อาศัยความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์มาใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆและต้นทุนของโครงการ เช่นเดียวกับวิธีทางสถิติศาสตร์ วิธีการนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลมากเพียงพอเพื่อที่จะสร้างความสัมพันธ์ขึ้นมาได้ และข้อมูลต้องเกาะกลุ่มหรือมีความคล้ายคลึงกัน มิฉะนั้นความสัมพันธ์ที่ได้จะไม่มีความแม่นยำ เนื่องจากการใช้ข้อมูลที่มีอยู่สร้างความสัมพันธ์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพิจารณาให้ความคลาดเคลื่อนรวมมีค่าน้อยที่สุด หากข้อมูลมีการกระจายตัวมากความสัมพันธ์ที่ได้อาจไม่สามารถให้คำตอบที่มีความแม่นยำได้ มีการศึกษาว่าวิธีการดังกล่าว ให้ค่าที่มีความแม่นยำมากกว่าวิธีทางสถิติศาสตร์ (Sae-Hyun et al., 2010) เนื่องจากมีการคำนึงถึงผลของปัจจัยต่างๆร่วมด้วย แต่ข้อจำกัดที่ว่า โครงการบางประเภทมีความไม่แน่นอนสูงและยังขาดความเข้าใจในความไม่แน่นอนเหล่านั้น ก็ยังทำให้วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่ ประกอบกับโครงการก่อสร้างเป็นโครงการที่มีความซับซ้อน ความสัมพันธ์ในรูปแบบของวิธีการดังกล่าวยังไม่ครอบคลุม

โดยเฉพาะการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) ที่พิจารณาให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งไม่สอดคล้องกับโครงการก่อสร้าง การศึกษาบางชิ้นจึงกล่าวว่า วิธีการนี้ไม่เหมาะสำหรับการใช้ในโครงการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อดีคือ ง่ายต่อการศึกษาและพัฒนา อีกทั้งผลที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทำให้มีงานวิจัยการนำมาใช้ประมาณต้นทุนหลายชิ้นด้วยกัน เช่น การสร้างความสัมพันธ์ให้ความคลาดเคลื่อนรวมมีค่าน้อยที่สุด (Karshenas, 1984) โครงการก่อสร้างอาคาร (Phaobunjong and Popescu, 2003) โครงการก่อสร้างระบบขนส่ง (Chou, 2009) โครงการก่อสร้างระบบราง (Kim et al., 2010) เป็นต้น

3. วิธีที่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอน เป็นวิธีที่มีการพิจารณาผลของความไม่แน่นอนในโครงการด้วย เนื่องจากโครงการก่อสร้างมีความไม่แน่นอนหลายด้าน ทั้งเวลา วัสดุ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนของโครงการทั้งสิ้น ดังนั้นการพิจารณาผลของความไม่แน่นอน ย่อมให้ค่าที่มีความแม่นยำมากกว่า แนวคิดของวิธีการดังกล่าวจะไม่สามารถให้คำตอบที่แน่นอนได้ เพียงแต่บอกได้ว่าคำตอบใดมีความน่าจะเป็นที่จะถูกต้องมากกว่าเท่านั้น วิธีที่รวมผลของความไม่แน่นอนเพื่อมาใช้ในการประมาณต้นทุน ได้แก่ วิธี PERT (The Program Evaluation and Review Technique) (Asmar et al., 2011) และ Monte Carlo simulation (Touran and Lopez, 2006) ข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวคือ หากข้อมูลมีการกระจายตัวมาก คำตอบที่จำลองออกมาจะมีความไม่แน่นอนสูงเช่นกัน เนื่องจากคำตอบที่เป็นช่วงของวิธีการดังกล่าว ตัวอย่างโครงการที่ใช้วิธีการดังกล่าว เช่น โครงการก่อสร้างระบบราง (Patra et al., 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เป็นวิธีที่ได้แนวคิดมาจากระบบประสาทของสัตว์ซึ่งมีการเรียนรู้และจดจำอย่างเป็นระบบ (Wilmot and Mei, 2005) เหมาะสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนและยากต่อการจำลอง โดยการสร้างระบบการเรียนรู้จำลองขึ้นจากการแยกแยะและจำลองการแก้ปัญหา วิธีการดังกล่าวถูกนำมาใช้ในโครงการหลายประเภท เช่น โครงการก่อสร้างถนน (Hegazy and Ayed, 1998) โครงการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย (Kim et al., 2005) โครงการก่อสร้างอุโมงค์ (Petroutsatou et al., 2012) เป็นต้น การจำลองระบบการวิเคราะห์ปัญหาจะทำโดยการแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นชั้นๆเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและออกแบบระบบการวิเคราะห์

5. การให้เหตุผลเชิงกรณีศึกษา (Case based reasoning) เป็นวิธีการที่อาศัยข้อมูลในอดีตในการวิเคราะห์หารูปแบบของปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ โดยการพิจารณาข้อมูลที่มีความคล้ายคลึง (Similarity) กับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบมากที่สุด และใช้ผลของข้อมูลนั้นในการคำนวณคำตอบสำหรับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ (Ji et al., 2010) ข้อดีของวิธีการดังกล่าวคือ สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยที่ยังไม่สามารถเข้าใจธรรมชาติของปัญหานั้น การทำงานของวิธีการนี้คือพิจารณาความคล้ายคลึงของชุดข้อมูลแต่ละชุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาที่ต้องการคำตอบจากปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยที่แต่ละปัจจัยจะมีความสำคัญไม่เท่ากัน เมื่อได้ค่าความคล้ายคลึงแล้วจะเลือกชุดข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงมากที่สุด และคำนวณคำตอบสำหรับปัญหานั้นออกมา ตัวอย่างโครงการที่ใช้วิธีการดังกล่าวในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ได้แก่ โครงการก่อสร้างอาคาร (Dogan, et al., 2006) โครงการซ่อมแซมผิวทาง (Chou, 2009) โครงการสร้างทางรถไฟ (Kim, 2011) โครงการก่อสร้างสิ่งก่อสร้างทางน้ำ (Kim et al., 2012) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวคือ ต้องอาศัยปริมาณข้อมูลค่อนข้างมากเพื่อให้ฐานข้อมูลครอบคลุมปัญหาที่ต้องการหาคำตอบได้ และข้อมูลเหล่านั้นต้องมีการปรับให้เป็นปัจจุบันตลอดเวลา เช่น ต้องมีการปรับราคาให้เป็นปัจจุบันเพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวร่วมกับปัญหาในปัจจุบันได้ จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีความพยายามที่จะพัฒนาวิธีการเพื่อลดผลกระทบจากการที่มีข้อมูลมีปริมาณไม่เพียงพอ (Ji et al., 2010)

6. Simplex optimization เป็นกระบวนการที่ใช้หากลุ่มของค่าตัวแปรเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสอดคล้องกับผลลัพธ์เป้าหมายมากที่สุด สามารถใช้ประมาณค่าต่างๆได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพมาก จึงถูกนำมาใช้ในการหาค่าความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนโครงการเช่นกัน (Hegazy and Ayed, 1998) พบว่าสามารถประมาณค่าน้ำหนักของปัจจัยได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ทำให้งานวิจัยหลายชิ้นประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าว

2.4.1.3 ปัจจัยและค่าน้ำหนักที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นของระบบรางจากงานวิจัยในอดีต

ปัจจัยเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลต่อต้นทุนของโครงการ โดยโครงการแต่ละประเภทจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนของโครงการแตกต่างกันและแต่ละปัจจัยส่งผลต่อต้นทุนของโครงการในระดับที่

แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกปัจจัยและการพิจารณาความสำคัญของแต่ละปัจจัยจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน

เนื่องจากงานวิจัยในอดีตมีการศึกษาโครงการหลายประเภท ซึ่งโครงการแต่ละประเภทยังมีการเลือกพิจารณาปัจจัยที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการพิจารณาความสำคัญของแต่ละปัจจัยแตกต่างกัน ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยและการพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยในโครงการก่อสร้างระบบรางเท่านั้น เพื่อให้เนื้อหามีความกระชับและไม่กว้างจนเกินไป

สำหรับโครงการก่อสร้างระบบราง ตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณต้นทุน ได้แก่

- ระยะทางของราง (Kim et al., 2010)
- ระยะทางของสะพาน (Kim et al., 2010)
- ระยะทางของอุโมงค์ (Kim et al., 2010)
- จำนวนสถานี (Kim et al., 2010)
- ดัชนีราคาค่าก่อสร้าง (Kim et al., 2010)
- ลักษณะภูมิประเทศ (Brown, 2011)
- การใช้ที่ดิน (Brown, 2011)
- การก่อสร้าง (Brown, 2011)
- จำนวนผู้โดยสาร (Brown, 2011)
- ความเร็วขบวนรถ (Brown, 2011)
- แหล่งพลังงานที่ใช้ (Brown, 2011)
- จำนวนราง (Brown, 2011)

ปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเป็นปัจจัยที่งานวิจัยในอดีตพิจารณาถึงผลกระทบต่อต้นทุนในการดำเนินโครงการ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่สามารถคำนึงถึงผลของปัจจัยทั้งหมดนี้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความครบถ้วนข้อมูล อีกประการหนึ่งคือ ความซับซ้อนของการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน หากพิจารณาผลของทุกปัจจัยย่อมทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนมากเกินความจำเป็น อีกทั้งปัจจัยบางปัจจัยอาจไม่มีผลกระทบต่อต้นทุนของโครงการอย่างมีนัยสำคัญ การพิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะทำให้เกิดความสิ้นเปลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะพิจารณาความสำคัญของแต่ละปัจจัยและเลือกพิจารณาผลของปัจจัยบางปัจจัยเท่านั้น

วิธีที่ใช้ในการพิจารณาความค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนโครงการมีหลายวิธีด้วยกัน ตัวอย่างของวิธีที่ใช้ ได้แก่

1. วิธีทางสถิติศาสตร์ (Statistical method) มีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกับการประมาณต้นทุนที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้าคือ ใช้ความรู้ทางด้านสถิติศาสตร์ในการแบ่งระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยการเปรียบเทียบข้อมูลโครงการหลายๆ โครงการเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนโครงการและเมื่อปัจจัยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการประมาณต้นทุน วิธีการดังกล่าวมีการใช้งานมาตั้งแต่ช่วงปี 1970 ซึ่งถือว่าเป็นวิธีแรกๆที่ใช้ในการพิจารณาความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนโครงการ (An et al., 2007)

2. วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression analysis) เป็นวิธีที่เริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ช่วงปี 1980 (An et al., 2007) ซึ่งเป็นวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรไม่อิสระ ในที่นี้ตัวแปรอิสระคือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนของโครงการ ส่วนตัวแปรไม่อิสระคือ ต้นทุน ของโครงการ วิธีการดังกล่าวสามารถหาค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ โดยการวิเคราะห์ค่าปัจจัยทีละปัจจัยเพื่อทดลองหาความเปลี่ยนแปลงของต้นทุนโครงการที่เกิดขึ้น วิธีการดังกล่าวสามารถแบ่งเป็นประเภทย่อยๆได้และถูกนำมาใช้งานเช่นกัน เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) (An et al., 2007) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (*Multiple linear regression* analysis) (Sae-Hyun et al., 2010)

3. การตัดสินใจด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic hierarchy process) เป็นวิธีที่มีการพัฒนามาตั้งแต่ช่วงปี 1970 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ วิธีการนี้จะพิจารณาปัญหาโดยการแบ่งระดับความสำคัญเป็นขั้นๆ การแบ่งระดับความสำคัญจะทำโดยการเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่เพื่อให้ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดโดยอ้างอิงจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (An et al., 2007) ซึ่งงานวิจัยในลักษณะนี้จะเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยเป็นคู่ๆไป

4. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithms) มีแนวคิดมาจากการวิวัฒนาการในทางชีววิทยา วิธีการดังกล่าวแก้ปัญหาโดยกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้การตั้งสมมติฐานและการทำซ้ำ วิธีนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ (Ji et al.,

2011) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัยได้ในครั้งเดียวโดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าของปัจจัยทีละค่าเหมือนการวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และค่าน้ำหนักที่ได้จากมีความแม่นยำในระดับที่น่าพอใจ (Dogan et al., 2006)

5. การส่งค่าย้อนกลับ (Back propagation) เป็นวิธีพื้นฐานที่มีการใช้งานร่วมกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) (Kim et al., 2005) กล่าวคือจะมีกำหนดผลลัพธ์เป้าหมายและข้อมูลเข้าไว้ หลังจากนั้นจะมีการพัฒนาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้เข้าใกล้ผลลัพธ์เป้าหมาย การพัฒนาค่าน้ำหนักจะพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้และผลลัพธ์เป้าหมาย โดยวิธีการดังกล่าวจะนำความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์มาปรับค่าและคำนวณซ้ำจนกว่าค่าน้ำหนักจะให้ผลลัพธ์เท่ากับผลลัพธ์เป้าหมาย

6. Simplex optimization เป็นกระบวนการที่ใช้หากลุ่มของค่าตัวแปรเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสอดคล้องกับผลลัพธ์เป้าหมายมากที่สุด สามารถใช้ประมาณค่าต่างๆได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพมาก จึงถูกนำมาใช้ในการหาค่าความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนโครงการเช่นกัน (Hegazy and Ayed, 1998) พบว่าสามารถประมาณค่าน้ำหนักของปัจจัยได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนของระบบราง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาต้นทุนของระบบราง มีการศึกษาในส่วนประกอบต่างๆของต้นทุนแตกต่างกันไปตามแต่ละงานวิจัย รวมถึงปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาและวิธีการที่ใช้ ต่อไปนี้เป็นการรวบรวมงานวิจัยในอดีตที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องเกี่ยวกับการประมาณต้นทุนของระบบราง

Iovan et al. (2013) จะพิจารณาที่ต้นทุนในการดำเนินการ (Operating cost) เป็นสำคัญ โดยจะแบ่งรายละเอียดของต้นทุนในการดำเนินการ (Operating cost) ออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและเพื่อความครบถ้วนในการแจกแจงข้อมูลที่ส่งผลต่อต้นทุนในการดำเนินการ (Operating cost) การพิจารณาต้นทุนจะคิดให้อยู่ในรูปแบบของ ต้นทุนต่อปริมาณการเดินรถ (cost/train-km) เนื่องจากการพิจารณาต้นทุนในรูปแบบดังกล่าว เป็นรูปแบบที่สะท้อนถึงธรรมชาติของระบบรางมากที่สุด คือ พิจารณาจากปริมาณการเดินรถแทนที่จะพิจารณาจากความยาวราง ซึ่งไม่สามารถสะท้อนความเป็นจริงได้ เพราะความยาวรางที่เท่ากันก็อาจมีปริมาณการเดินรถที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำให้ต้นทุนมีค่าแตกต่างกัน ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระยะทางทั้งหมดของราง น้ำหนักรวมของขบวนรถ ชนิดของขบวนรถ เส้นทางการวิ่ง และชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้า

Kim et al. (2010) มีการกล่าวว่า เกาหลีมีความต้องการใช้โครงสร้างพื้นฐานประเภทราง มากขึ้น และส่วนใหญ่มักเป็นโครงการประเภท Build – Operate – Transfer (BOT) เนื่องจาก ต้องการเงินลงทุนที่สูง ภาครัฐจึงเปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามาลงทุนและบริหารภายใต้ระยะเวลาที่ สัมปทานกำหนด ภาคเอกชนจึงต้องมีวิธีการที่รวดเร็วและและแม่นยำในการประมาณต้นทุน เพื่อ พิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน การพิจารณาต้นทุนมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จของ โครงการ แต่การประมาณต้นทุนต้องใช้ประสบการณ์สูงแต่เกาหลียังขาดประสบการณ์ในด้านนี้ (light rail) เนื่องจากยังไม่มีข้อมูล จึงต้องใช้การประมาณต้นทุนหยาบๆไปก่อน โดยต้นทุนในการก่อสร้างจะ พิจารณาจากองค์ประกอบทางด้านกายภาพของโครงการ

Zhang et al. (2013) กล่าวว่า เนื่องจากต้นทุนในการก่อสร้างระบบมีมูลค่ามากภายใต้ ระยะเวลาดำเนินการที่สั้น ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณต้นทุนบ่อยครั้ง งานวิจัยดังกล่าว จึงเสนอทางเลือกเพื่อลดความรุนแรงของปัญหานี้ โดยการสร้างรายการแจกแจงรายการงาน (Work breakdown structure) ที่เป็นมาตรฐานขึ้นมา เพื่อใช้ประโยชน์ในการรวบรวมต้นทุนให้สะท้อนถึง ความเป็นจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นดังกล่าวยังอาศัยการประมาณปริมาณงานอยู่ ซึ่งใน ช่วงแรกของอายุโครงการยังมีข้อจำกัดอยู่มากในด้านความครบถ้วนของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถใช้ใน การประมาณต้นทุนเบื้องต้นที่ต้องการความรวดเร็วได้

Moret and Einstein, (2012) ปัญหาของงานวิจัยชิ้นดังกล่าวคือ โครงการก่อสร้างมักจะเกิด ปัญหาต้นทุนและระยะเวลาในการดำเนินโครงการมีค่ามากกว่าค่าที่ประมาณไว้ และยังพบอีกด้วยว่า ต้นทุนเละเวลาที่เกินนั้น มีความสัมพันธ์กับแบบแปรผันตรง งานวิจัยชิ้นดังกล่าวจึงต้องการสร้าง ความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นระหว่างต้นทุนและระยะเวลาโครงการที่เกินมานี้ โดยวิธีที่ใช้ในการ วิเคราะห์ คือ วิธีที่คำนึงถึงความไม่แน่นอน เช่น Monte Carlo simulation, PERT และการสมมติ การกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบต่างๆ

Hsu (2013) เสนอการประมาณต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินการ เปรียบเทียบระหว่าง ระบบ Light rail transit (LRT) และ Bus rapid transit (BRT) เพื่อพิจารณาว่าระบบใดมีความคุ้มค่า ในการดำเนินการมากกว่า และการประมาณต้นทุนการก่อสร้างและค่าดำเนินการยังนำมาใช้ในการ

เลือกระบบที่จะลงทุน วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เคยดำเนินการมาในอดีต และนำมาเปรียบเทียบกัน โดยอ้างอิงจากปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่างๆ

จากการทบทวนงานวิจัยในอดีต พบว่า งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่โดยตรงยังมีไม่มากนักและยังไม่มีความละเอียดมากพอ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านต่างๆ เช่น ข้อมูล เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาในด้านนี้อย่างจริงจังจึงถือว่ามีความสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองหรือวิธีการที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ รวมถึงยังสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับงานวิจัยในอนาคตหรือการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ต่อไป

2.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัยและกระบวนการ

กรอบความคิดในงานวิจัยนี้ จะเริ่มจากการหาข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนของโครงการระบบรางคู่ หลังจากนั้นจะเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและนำมาพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโดยจะเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมกับโครงการระบบรางคู่ หลังจากนั้นผู้วิจัยจะพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากการประมาณ เพื่อให้แบบจำลองสามารถใช้ได้ถึงแม้ว่าระยะเวลาของโครงการจะเปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษางานวิจับในอดีตพบว่า วิธีที่ใช้ในการพัฒนาพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความเหมาะสมจากลักษณะโครงการที่ศึกษาและลักษณะของข้อมูล พบว่าวิธีที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนในงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เป็นวิธีแรกๆที่มีการใช้ในการประมาณต้นทุน (Lowe et al.ม 2006) เนื่องจากไม่ซับซ้อนมากและเป็นการสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ให้ค่าความถูกต้องที่น่าพอใจ อีกทั้งยังแสดงนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆผ่านมาดัชนีที่อยู่หน้าค่าของปัจจัยต่างๆได้อีกด้วย

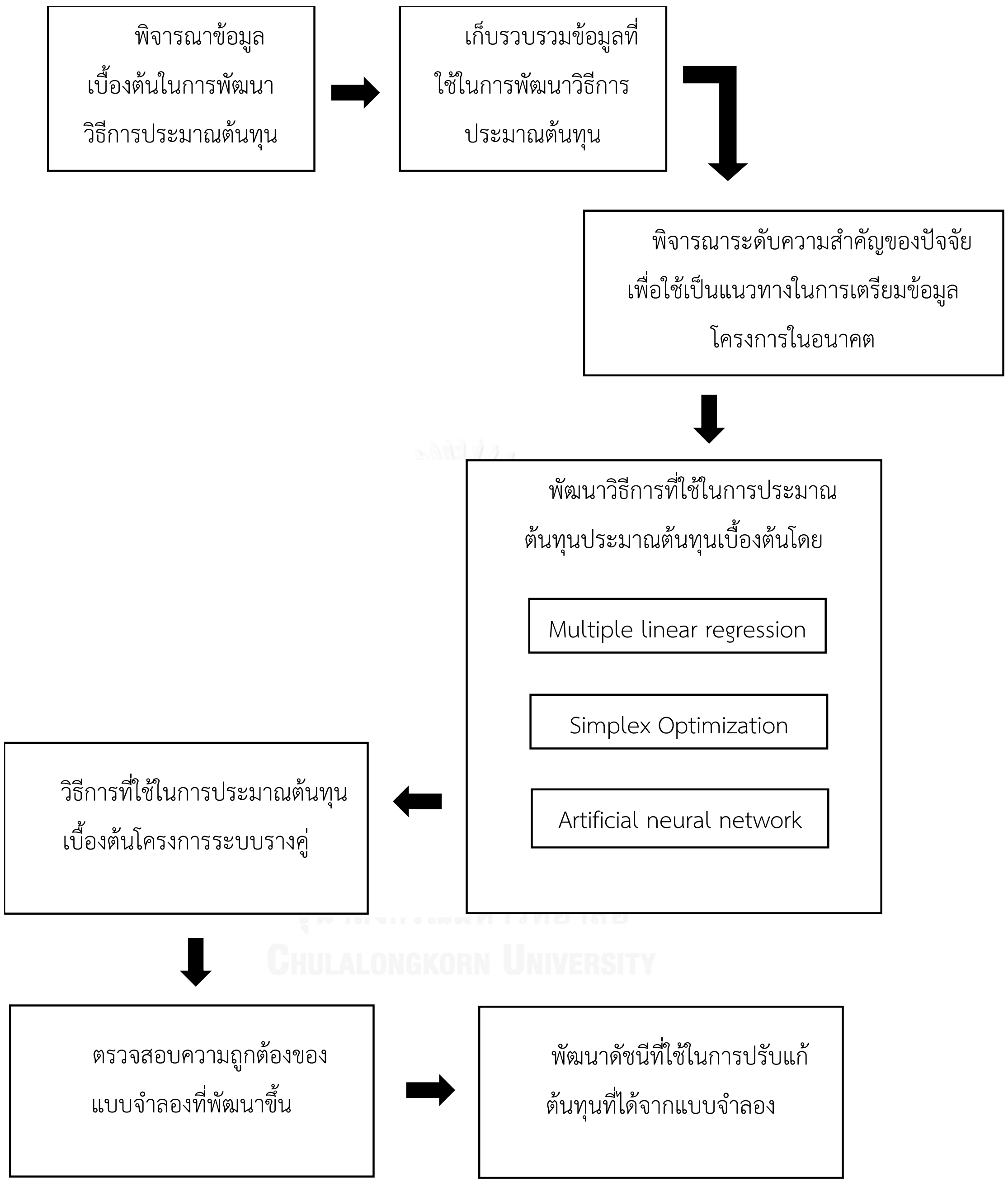
2. Simplex optimization เป็นกระบวนการที่ใช้หาค่าตัวแปรเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสอดคล้องกับผลลัพธ์เป้าหมายมากที่สุด สามารถใช้ประมาณค่าต่างๆได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพมาก จึงถูกนำมาใช้ในการหาค่าความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนโครงการเช่นกัน

(Hegazy and Ayed, 1998) พบว่าสามารถประมาณค่าน้ำหนักของปัจจัยได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ทำให้งานวิจัยหลายชิ้นประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าว

3. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) ร่วมกับวิธี Simplex optimization ซึ่งเป็นวิธีที่มักใช้ร่วมกันในโครงการหลายประเภทและให้ค่าความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ (Hegazy and Ayed, 1998) (Kim et al., 2005) เหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนเช่นงานก่อสร้างและระบบราง เนื่องจากโครงสร้างของแบบจำลองความสัมพันธ์ไม่อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้นจึงสามารถจำลองความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนได้

กรอบแนวคิดในการวิจัยสามารถแสดงโดยใช้แผนภูมิดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงกรอบแนวคิดในงานวิจัยซึ่งแสดงถึงขั้นตอนคร่าวๆไปแล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยว่ามีรายละเอียดอย่างไรบ้าง เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการทำวิจัย

3.1 ลักษณะงานวิจัย

ลักษณะของงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ เนื่องจากเหตุผลดังนี้

1. งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ต้องการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ ของโครงการก่อสร้างรางและอาศัยปัจจัยเหล่านั้นในการประมาณต้นทุนโครงการ
2. งานวิจัยนี้ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตัวเลข ทั้งแบบก่อสร้างและรายการปริมาณงาน อีกทั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลยังไม่ใช่การเก็บข้อมูลระยะยาว
3. การวิเคราะห์ข้อมูลใช้กระบวนการทางสถิติศาสตร์และคณิตศาสตร์
4. ใช้ข้อมูลตัวเลขในการสนับสนุนและสรุปผลงานวิจัย

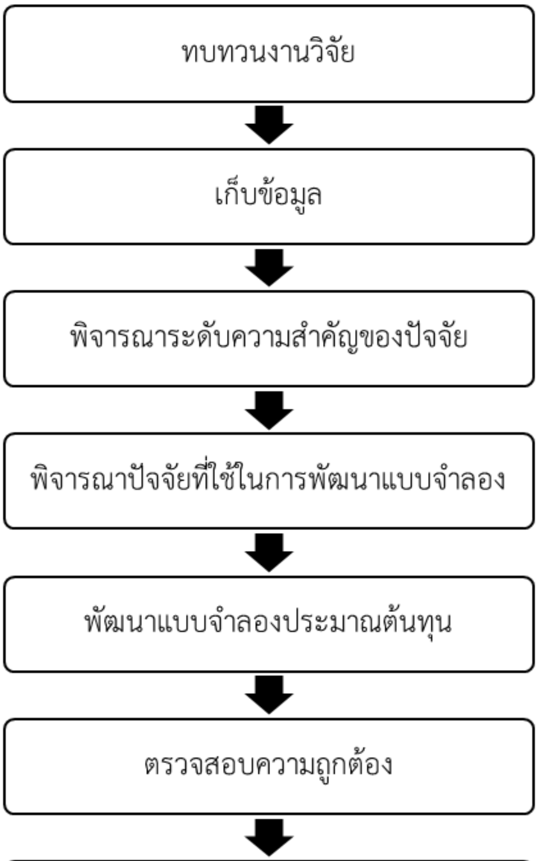
3.2 การออกแบบงานวิจัย

1. ทบทวนงานวิจัยในอดีตเพื่อให้ทราบถึงวิธีการพัฒนารูปแบบการประมาณต้นทุนว่ามีวิธีการพัฒนาอย่างไรและต้องใช้ข้อมูลอะไรบ้าง เพื่อใช้ประโยชน์ในการวางแผนการดำเนินการวิจัยต่อไป
2. เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสัมภาษณ์และการขอข้อมูลจากหน่วยงาน เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับโครงการระบบรางคู่
3. พิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุน เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลในอนาคต
4. เลือกปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนและพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัยเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นในกรณีที่วิธีนั้นๆจำเป็นต้องใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยในการคำนวณร่วมด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. พัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยใช้วิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนที่ผ่านมา ผลที่ได้อาจจะอยู่ในรูปของแบบจำลองหรือกระบวนการที่ใช้ประมาณต้นทุน
6. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับต้นทุนประมาณการของโครงการ
7. พัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเมื่อช่วงเวลาในการดำเนินโครงการเปลี่ยนแปลงไป

การออกแบบงานวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังแผนภูมิดังนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบงานวิจัย

3.3 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน

3.3.1 การทบทวนงานวิจัย

การทบทวนงานวิจัยในอดีตเพื่อให้ทราบลักษณะของโครงการ รวมถึงวิธีที่ใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ โดยจะทบทวนงานวิจัยจากงานวิจัยในอดีตที่ได้ตีพิมพ์และใช้วิธีสืบค้นจากฐานข้อมูลงานวิจัย งานวิจัยเหล่านั้นจะนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อให้เข้าใจภาพรวมของงานวิจัย เช่น ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง และแบบจำลองใดที่เหมาะสม เป็นต้น โดยจะรวบรวมสรุปข้อมูลที่ได้จากการทบทวนงานวิจัยเพื่อใช้เป็นแหล่งอ้างอิงต่อไป

3.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล จะทำโดยการสัมภาษณ์และการขอข้อมูล โดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่และหน่วยงานเอกชนที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างระบบราง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการประมาณต้นทุนของแต่ละหน่วยงานว่าเป็นอย่างไร ใช้ปัจจัยใดบ้างในการประมาณต้นทุน ลักษณะของบุคคลากรที่ใช้งาน และความคลาดเคลื่อนของการประมาณ รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการประมาณต้นทุน โดยการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทย (ร.ฟ.ท.) เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่มีความพร้อมของข้อมูลที่สามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน ส่วนการเก็บข้อมูล จะขอข้อมูลจากทางหน่วยงานที่กล่าวมาเนื่องจากมีความพร้อมของข้อมูลมากที่สุด อย่างไรก็ตาม จะมีการขอข้อมูลจากหน่วยงานอื่นด้วยเพื่อใช้สนับสนุนการวิจัยและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ข้อมูลที่จะใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ได้แก่ บัญชีแสดงปริมาณงานและแบบก่อสร้าง รวมไปถึงข้อมูลในส่วนอื่นที่ได้จากการสัมภาษณ์และพบว่ามีความสำคัญในการพิจารณา เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดแล้วจะมีการจัดกลุ่มข้อมูลตามประเภทองค์ประกอบของต้นทุนโครงการระบบรางคู่ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้และแบ่งกลุ่มองค์ประกอบของต้นทุนได้ถูกต้องมากขึ้น

3.3.3 การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลในอนาคต

การพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลโครงการในอนาคต โดยการระบุปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการระบบ

รางคู่ ซึ่งในปัจจุบันอาจยังไม่มีการเตรียมข้อมูลปัจจัยที่มีความสำคัญบางปัจจัย วิธีที่ใช้ในการพิจารณาระดับความสำคัญของปัจจัย คือการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้ในด้านการประมาณต้นทุนระบบราง โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล แบบสอบถามจะระบุปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางซึ่งได้จากงานวิจัยในอดีต และสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนั้นยังมีการสอบถามถึงปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญนอกเหนือจากที่งานวิจัยในอดีตระบุ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความครบถ้วน ระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบสอบถามมี 5 ระดับ โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์เพื่อระบุระดับความสำคัญของปัจจัย และปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญ พร้อมทั้งขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นอย่างไร

3.3.4 การพิจารณาปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่

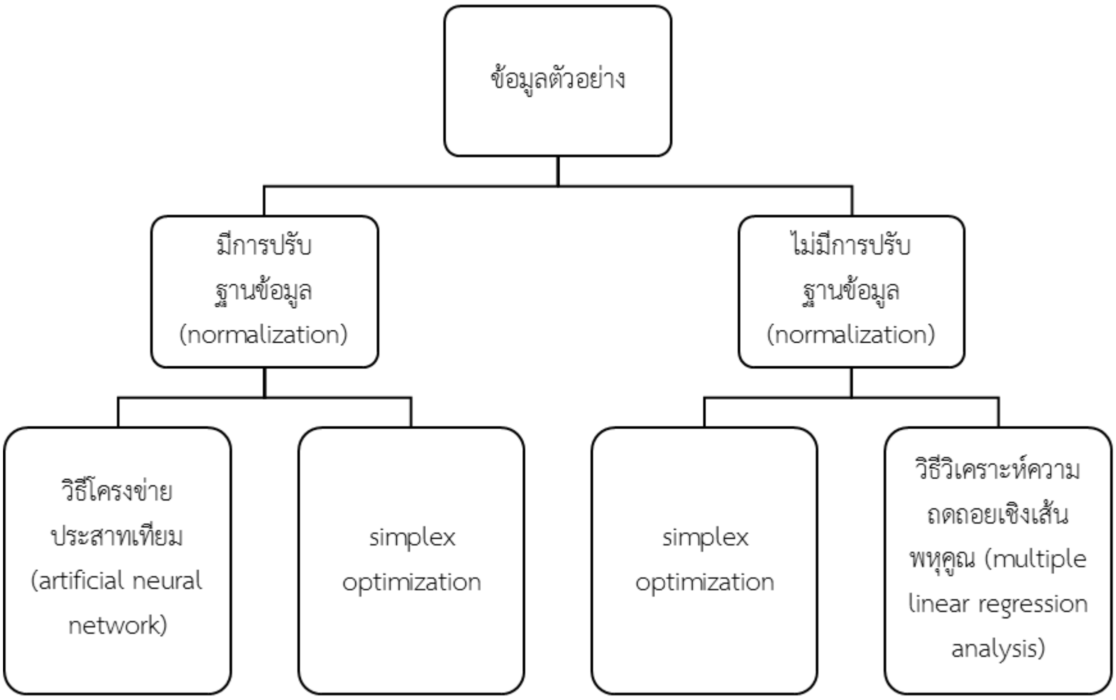
การพิจารณาปัจจัยและน้ำหนักของปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน การเลือกปัจจัยที่จะใช้นั้น จะรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ดังที่กล่าวมาแล้วและงานวิจัยในอดีต พร้อมทั้งพิจารณาถึงความสมบูรณ์ของข้อมูลในช่วงเวลาที่ประมาณต้นทุนด้วย ส่วนการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยจะมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปตามลักษณะข้อมูลและการนำไปใช้งาน ซึ่งวิธีการต่างๆที่จะใช้ในการพิจารณาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3.4 การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้น

3.3.5 การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รวบรวมและจัดกลุ่มแล้ว จะใช้วิธีที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.4 การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน โดยวิธีที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)
2. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)
3. วิธี Simplex optimization

โดยแต่ละวิธีจะมีขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนแตกต่างกัน วิธีที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนรายการงานต่างๆ

ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในแต่ละวิธีได้ดังนี้

3.3.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression *analysis*) เป็นวิธีที่ใช้ความรู้ทางด้านสถิติศาสตร์ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีการกำหนดค่าคงที่ไว้ล่วงหน้าและตัวแปรตาม (Dependent variable) 1 ตัว (Lowe, Emsley et al. 2006) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างอิสระ ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อราคาหรือต้นทุนรวมของโครงการก่อสร้าง ส่วนตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ราคาหรือต้นทุนรวมของโครงการก่อสร้าง ซึ่งสมการของการถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis*)* ในการศึกษาครั้งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.1)

$$C_i = w_0 + w_1 A_{i1} + w_2 A_{i2} + \ldots + w_n A_{in} + e_i \qquad (3.1)$$

เมื่อ C_i = ต้นทุนหรือราคาโครงการที่ i

$w_0, w_1, \ldots w_n$ = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

$A_{1i}, A_{2i}, \ldots A_{ni}$ = ค่าของปัจจัยแต่ละปัจจัยของโครงการ i

e_i = ความคลาดเคลื่อนในการประมาณต้นทุนโครงการ i

เนื่องจากความซับซ้อนของโครงการก่อสร้างทำให้ไม่สามารถหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่สอดคล้องสำหรับทุกโครงการได้ จึงได้มีการเพิ่มพจน์ e_i ซึ่งเป็นพจน์ของความคลาดเคลื่อนมาด้วย วิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) โดยพิจารณาจากพจน์ของความคลาดเคลื่อน สมการ (3.1) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของการคูณเมทริกซ์ได้ เพื่อประโยชน์ในการประมาณค่าน้ำหนักของปัจจัย โดยเป้าหมายในการประมาณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย คือ การทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{m=1}^{i} e_m^2}$ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{i1} & \cdots & A_{in} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} + w_0 \qquad (3.2)$$

เมื่อ e_i = ความคลาดเคลื่อนในการประมาณต้นทุนโครงการ i

C_i = ต้นทุนหรือราคาโครงการที่ i

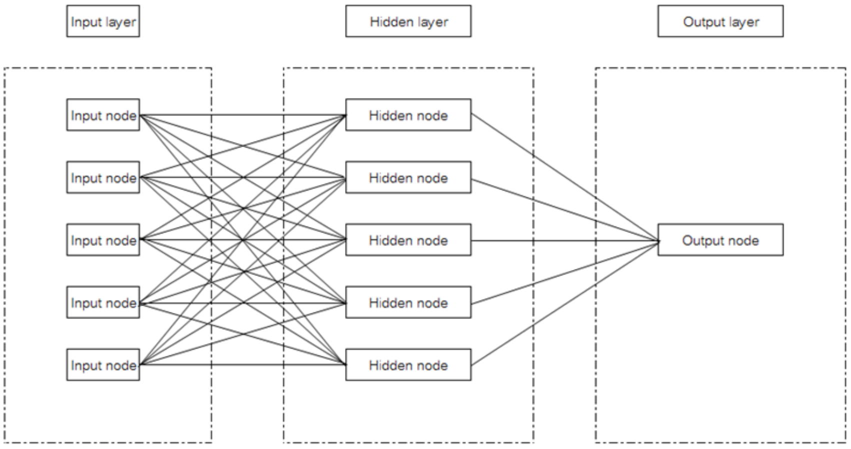
$A_{1i}, A_{2i}, \ldots A_{ni}$ = ค่าของปัจจัยแต่ละปัจจัยของโครงการ i

$w_0, w_1, \ldots w_n$ = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

หลังจากที่ประมาณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยได้แล้ว จะสามารถใช้ค่าน้ำหนักหรือสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการโดยใช้สมการที่ (3.1) ในการประมาณต้นทุน

3.3.5.2 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) มีแนวคิดมาจากการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยลักษณะที่สำคัญของการทำงานของสมองมนุษย์คือ การเรียนรู้และการจดจำ การทำงานลักษณะดังกล่าวจะอาศัยปัจจัยต่างๆนำมาเชื่องโยงกันเพื่อนำมาวิเคราะห์ ประมวลผล และหาผลลัพธ์ออกมา ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะถูกเรียกว่ากระบวนการเรียนรู้ การทำงานของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) สามารถจำลองได้โดยแผนผังดังรูปที่ 1 โดยโครงสร้างจะแบ่งเป็น 3 ชั้นหลักๆ คือ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นข้อมูลออก (Output layer) โดยอาจมีชั้นซ่อน (Hidden layer) มากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ซึ่งจุดเชื่อมต่อ (Node) ของทั้ง 3 ชั้นจะถูกเรียกว่า จุดเชื่อมต่อข้อมูลนำเข้า (Input node) จุดเชื่อมต่อข้อมูลซ่อน (Hidden node) และจุดเชื่อมต่อข้อมูลออก (Output node) ตามลำดับ (Hegazy and Ayed 1998)



รูปที่ 3.3 แผนผังโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)

ข้อมูลเข้า (Input) จะถูกนำเข้าทางชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) เพื่อนำมาประมวลผลในชั้นซ่อน (Hidden layer) และส่งค่าผลลัพธ์ออกมาทางชั้นข้อมูลออก (Output layer) ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละจุดเชื่อมต่อ (Node) จะใช้เส้นเชื่อมต่อ (Link) ที่แทนด้วยเส้นเป็นตัวแทน แต่ละเส้นเชื่อมต่อ (Link) จะถูกกำกับด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของจุดเชื่อมต่อ (Node) แต่ละคู่ เมื่อปัจจัยแต่ละปัจจัย ซึ่งจะใช้ค่าน้ำหนัก (Weight) เหล่านี้ในการจำลองผลลัพธ์ที่ต้องการประมาณค่า

การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) ในการพัฒนาวิธีการประมาณต้นทุนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. สร้างโครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) โดยแบ่งเป็นชั้นต่างๆดังรูปที่ 1 สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ จำนวนจุดเชื่อมต่อ (Node) ในชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) จะมีค่าเท่ากับจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาราคาโครงการ จำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) จะมีเพียง 1 ชั้นเท่านั้น โดยจำนวนจุดเชื่อมต่อซ่อน (Hidden node) จะมีกี่จุดนั้นจะศึกษาต่อไปว่า จำนวนเท่าไรเป็นจำนวนที่ทำให้วิธีการประมาณต้นทุนให้ค่าความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนจุดเชื่อมต่อข้อมูลออก (Output node) ในชั้นข้อมูลออก (Output layer) จะมีจำนวน 1 จุดเช่นกัน ซึ่งแสดงถึงราคาหรือต้นทุนรวมของโครงการ

2. เนื่องจากความสัมพันธ์หรือการแปลงค่าของโครงข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องมีการแปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันการแปลง (Transfer function) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบด้วยเช่นกัน เช่น ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) หรือฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent function) สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent function) ในการแปลงค่า จึงต้องมีการแปลงค่าข้อมูลปัจจัยให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมก่อน โดยจะแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วง [-1,1] จึงจะสามารถใช้การแปลงค่าในรูปแบบดังกล่าวได้

3. พัฒนาค่าน้ำหนักโดยใช้วิธี Simplex optimization ในการสร้างความสัมพันธ์ (Link) ของแต่ละจุดเชื่อมต่อ (Node) โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ในการประมาณค่าน้ำหนักของแต่ละเส้นเชื่อมต่อ (Link) กล่าวคือทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{i=1}^{n} d_i^2}$ มีค่าน้อยที่สุด

เมื่อ

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C_{01} \\ \vdots \\ C_{0n} \end{pmatrix} \qquad (3.3)$$

เมื่อ e_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของราคาโครงการจากวิธีที่พัฒนาขึ้น

C_i = ต้นทุนของโครงการที่ i ที่เกิดจากวิธีที่พัฒนาขึ้น

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของโครงการที่ i

4. ใช้ค่าน้ำหนักที่ประมาณได้จากข้อก่อนหน้านี้ในการประมาณต้นทุน โดยใช้โครงสร้างที่สร้างขึ้นในข้อที่ 1 ในการประมาณต้นทุน กล่าวคือ ค่าปัจจัยที่ถูกป้อนเข้าจะถูกแปลงค่าให้อยู่ในรูปที่สามารถแปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันแปลงค่า (Transfer function) ได้ หลังจากนั้นจะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักเมื่อเข้าสู่ชั้นซ่อน (Hidden layer) และทำการแปลงค่าเพื่อเข้าสู่ชั้นซ่อน (Hidden layer) หลังจากนั้น ข้อมูลในชั้นซ่อน (Hidden layer) จะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักเพื่อป้อนค่าเข้าสู่ชั้นข้อมูลออก (Output layer) ก่อนที่จะมีการแปลงค่าเพื่อเป็นคำตอบต่อไป

5. เนื่องจากค่าปัจจัยที่ถูกป้อนจากชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) ได้ผ่านการแปลงค่ามาแล้ว ดังนั้นตำตอบที่ได้จากชั้นข้อมูลออก (Output layer) จึงยังไม่ใช่ราคาโครงการจริงๆ จึงต้องมีการแปลงค่ากลับเพื่อให้ค่าที่ได้กลายเป็นราคาโครงการที่ต้องการประมาณค่า

3.3.5.3 วิธี Simplex optimization

เป็นการใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการจำลองผลลัพธ์เพื่อให้ได้ค่าที่ค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายเพื่อใช้ในการหาค่าที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เป็นเหมาย สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์หน้าค่าของปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับต้นทุนตามบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) มากที่สุด โดยเป้าหมายที่ใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์คือ ค่า Least mean square หรือคือ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างกำลังสอง ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์คือปัจจัยที่ได้จากการใช้วิธี การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความถูกต้องได้

3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบราง

การตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) ของวิธีการที่ใช้พัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ ใช้การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยจะทดสอบจากข้อมูลที่เลือกมาดังที่กล่าวข้างต้นและนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและ

ต้นทุนประมาณการที่ใช้ในการดำเนินการโครงการ พร้อมทั้งสรุปผลการดำเนินงานวิจัยที่ได้ทำมา จำนวนข้อมูลที่จะใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง คือ 10% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ ซึ่งจะแตกต่างจากการทดสอบความถูกต้อง (Validation) ซึ่งจำเป็นต้องมีการใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการประมาณต้นทุนโครงการใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในด้านจำนวนข้อมูล ดังนั้นจึงจะใช้การตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) ในการประเมินความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลอง

3.3.7 การพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้ข้อมูลของโครงการที่มีการประมาณต้นทุนในช่วงปี 2555 เมื่อช่วงเวลาของการดำเนินโครงการเปลี่ยนแปลงไป ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองย่อมไม่ถูกต้อง เนื่องจากมีผลของต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาจึงมีความจำเป็น

การพัฒนาดัชนีปรับแก้ จะพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนหมวดงานที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ โดยการพัฒนาดัชนีปรับแก้จะอาศัยหลักการในการพัฒนาค่า K โดยการพิจารณามูลค่าของรายการงานต่างๆที่มีนัยสำคัญต่อต้นทุน และหาสัดส่วนมูลค่าของรายการงานนั้นๆเพื่อใช้ในการปรับแก้ต้นทุนที่ช่วงเวลาต่างๆ โดยอาศัยต้นทุนของรายการงานที่มีนัยสำคัญในการปรับแก้จากต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาต่างๆ

Chulalongkorn University

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวมรวบมาได้ โดยแหล่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานั้น มาจาก 2 แหล่งด้วยกันคือ หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานภาคเอกชน สำหรับหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานที่เป็นหลักข้อมูลคือ การรถไฟแห่งประเทศไทย สำหรับหน่วยงานภาคเอกชน หน่วยงานที่เป็นแหล่งข้อมูลคือ บริษัทที่ปรึกษาและบริษัทที่เป็นผู้รับเหมางานระบบรางทั้งสิ้น 7 บริษัท โดยแหล่งข้อมูลที่เก็บมาจะอยู่ใน 3 รูปแบบคือ แบบก่อสร้างระบบรางคู่ บัญชีแสดงปริมาณงาน และแบบข้อสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปัจจัยที่จำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่

จากที่ได้กล่าวมา เนื้อหาในบทนี้จะมีการแยกข้อมูลเป็นส่วนๆตามประเภทและแหล่งข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกใช้ในการพิจารณาตามองค์ประกอบต่างๆดังนี้

4.1 องค์ประกอบของต้นทุนงานวิศวกรรมของโครงการระบบรางคู่

ข้อมูลในส่วนดังกล่าว เป็นการรวบรวมข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ซึ่งการรถไฟแห่งประเทศไทยใช้เป็นมาตรฐานในการถอดปริมาณงานรวมถึงการประมาณต้นทุน โดยการประมาณต้นทุนและการถอดปริมาณงานนั้น การรถไฟแห่งประเทศไทยจะว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาที่ทำงานในด้านระบบรางในการถอดปริมาณงานและประมาณต้นทุน ซึ่งทุกๆโครงการการก่อสร้างระบบรางของการรถไฟแห่งประเทศไทย จะใช้รูปแบบเอกสารที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่อาจแตกต่างกันในรายละเอียด อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากบัญชีแสดงปริมาณงานแล้ว พบว่าหมวดหมู่งานที่เป็นองค์ประกอบของงานวิศวกรรมสำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ประกอบด้วย 11 หมวดงานหลักดังนี้

- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (General requirement)
- งานดิน (Earthwork)
- งานทาง (Road work)
- งานโครงสร้าง (Structural work)
- งานอาคาร (Building work)

- งานท่อและงานระบายน้ำ (Pipe and Drainage work)
- งานสาธารณูปโภค (Utility work)
- งานอุโมงค์ (Tunnel work)
- งานราง (Track work)
- งานระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling work)
- งานระบบการสื่อสาร (Telecommunication work)

โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดจากบัญชีแสดงปริมาณงานพบว่า การวิเคราะห์ต้นทุนทั้ง 11 หมวดงานในการพิจารณาต้นทุนของโครงการระบบรางคู่ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆที่จะกล่าวถึงต่อไป ซึ่งผู้วิจัยจำเป็นต้องมีการรวมหมวดงานบางหมวดเข้าด้วยกัน และตัดหมวดหมู่งานบางหมวดออก เพื่อให้สามารถพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ได้ โดยการรวมหมวดงานและการตัดหมวดงานออก มีรายละเอียดดังนี้

1. หมวดงานอุโมงค์ จะไม่ใช้ในการพิจารณา เนื่องจากข้อมูลโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ที่มีนั้น จากทั้งหมด 5 โครงการ มีเพียงโครงการเดียวที่มีหมวดงานอุโมงค์ ทำให้ไม่สามารถพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนสำหรับงานอุโมงค์ได้ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างหรือจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอต่อการพัฒนาแบบจำลองและการทดสอบความถูกต้อง
2. งานทางและงานโครงสร้าง จะถูกรวมเข้าด้วยกันในการพิจารณา เนื่องจากงานทางมีสัดส่วนต้นทุนที่น้อยเมื่อเทียบกับต้นทุนของงานโครงสร้าง (ประมาณ 8%) และสัญญามักจะกำหนดให้ผู้รับเหมาที่รับงานโครงสร้างต้องรับผิดชอบงานทางด้วย โดยบัญชีแสดงปริมาณงานจากสัญญาบางสัญญา มีการรวมงานทั้งสองหมวดหมู่เข้าด้วยกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณางานทั้งสองหมวดเข้าด้วยกันในการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุน
3. งานอาคารและงานสาธารณูปโภค จะถูกรวมเข้าด้วยกัน เนื่องจากเป็นงานในหมวดหมู่เดียวกัน และในบางสัญญาได้มีการรวมงานทั้งสองหมวดหมู่เข้าด้วยกัน ทำให้การพิจารณาแยกไม่สามารถทำได้
4. งานระบบอาณัติสัญญาณและงานระบบการสื่อสาร จะถูกรวมเข้าด้วยกันในการพิจารณา เนื่องจากเป็นงานประเภทเดียวกัน ทำให้ใช้ผู้รับเหมารายเดียวกันในการรับผิดชอบ และ

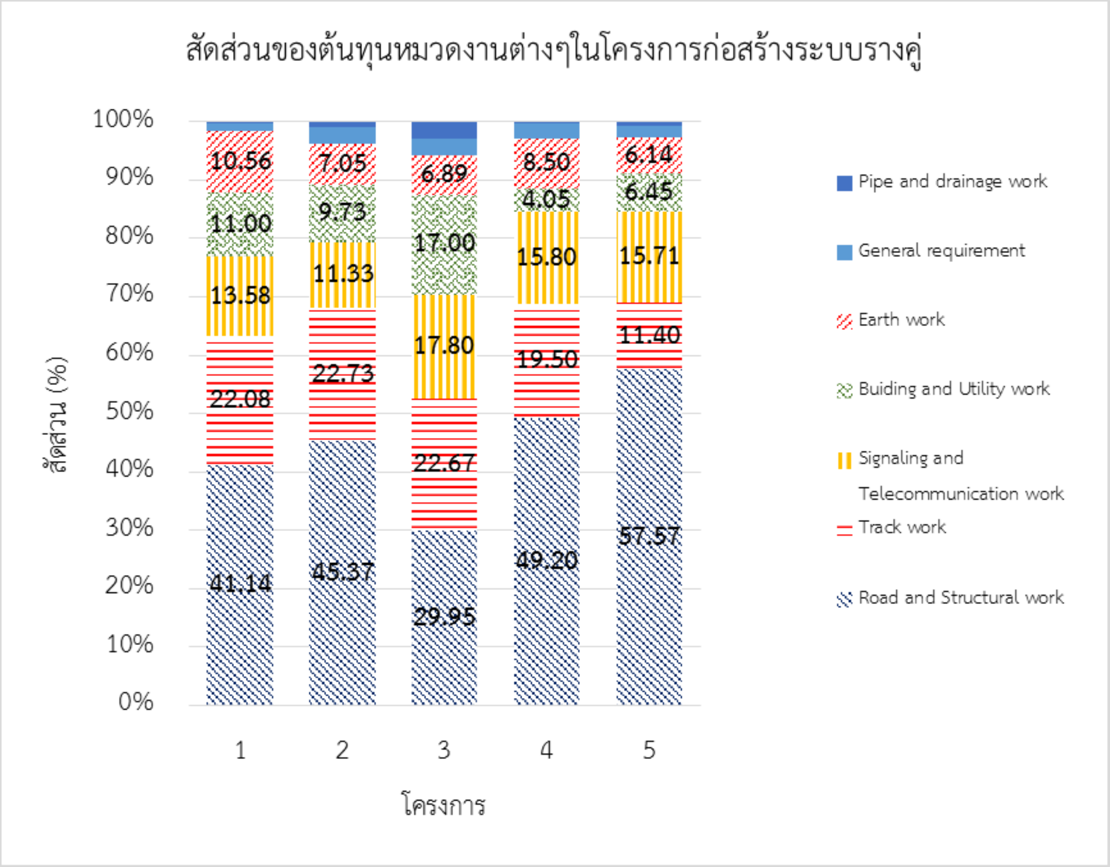
โครงการ หลายๆสัญญาจะรวมงานทั้งสองหมวดหมู่เข้าด้วยกัน การวิจัยในครั้งนี้จึงจะพิจารณาทั้งสองหมวดงานเข้าด้วยกัน

หลังจากที่มีการรวมงานบางหมวดหมู่เข้าด้วยกันแล้ว องค์ประกอบของต้นทุนโครงการระบบรางคู่จะประกอบด้วยหมวดหมู่งานดังต่อไปนี้

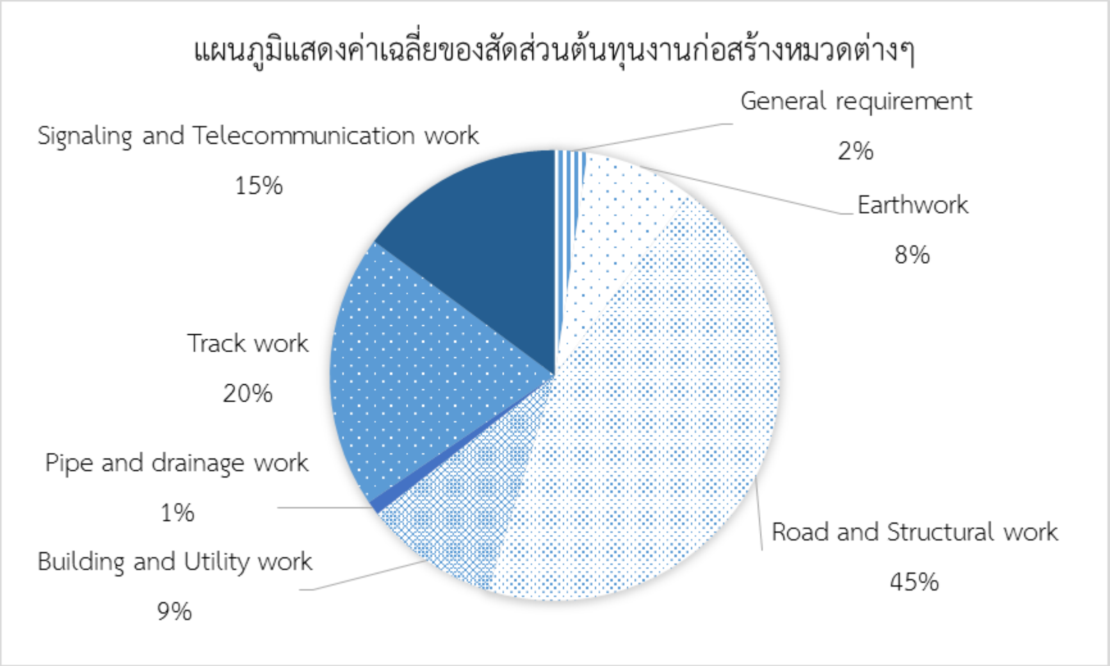
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (General requirement)
- งานดิน (Earthwork)
- งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)
- งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)
- งานท่อและงานระบายน้ำ (Pipe and Drainage work)
- งานราง (Track work)
- งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

ซึ่งหมวดงานดังที่กล่าวมาจะมีสัดส่วนของต้นทุนและค่าเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

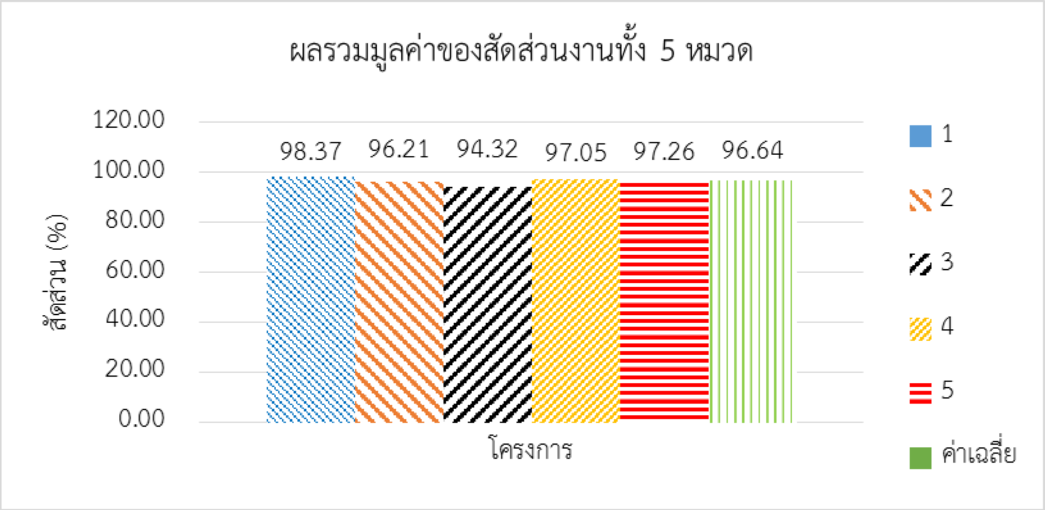


รูปที่ 4.1 สัดส่วนต้นทุนของโครงการก่อสร้างระบบราง



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนต้นทุนงานก่อสร้างหมวดงานต่างๆ

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนงานก่อสร้าง พบว่า มีงานอยู่ 5 หมวดหมู่ที่มีสัดส่วนที่มากได้แก่ งานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ซึ่งหมวดงานทั้ง 5 หมวดนี้นอกจากจะมีสัดส่วนรวมที่มากแล้ว สัดส่วนรวมยังมีค่าไม่แตกต่างกันมากในแต่ละโครงการ ซึ่งเมื่อรวมมูลค่าของทั้ง 5 หมวดงานดังที่กล่าวมาและหาค่าเฉลี่ย จะได้ข้อมูลแสดงดังในรูปที่ 4.3



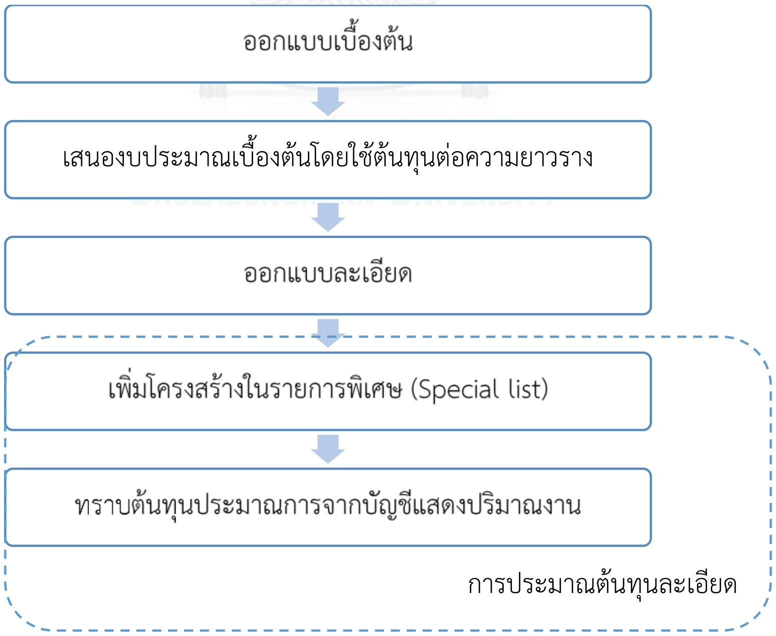
รูปที่ 4.3 ผลรวมของสัดส่วนมูลค่าหมวดงานทั้ง 5 หมวด

จากที่กล่าวมา สัดส่วนมูลค่าของงานทั้ง 5 หมวดต่อมูลค่าโครงการ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละโครงการ คือประมาณ 94 – 98% ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุน เนื่องจากสามารถใช้เป็นตัวแทนต้นทุนได้เหมาะสมกว่าต้นทุนที่มีความแปรผันมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หมวดงานทั้ง 5 หมวดดังที่ได้กล่าวมาในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

4.2 การประมาณต้นทุนสำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทยในปัจจุบัน

ปัจจุบันการรถไฟแห่งประเทศไทยประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลในอดีตในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น และใช้การว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาทางด้านโครงการระบบรางถอดปริมาณงานในการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด โดยการศึกษาครั้งนี้จะสนใจเฉพาะการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

การรถไฟแห่งประเทศไทยใช้การประมาณต้นทุนเบื้องต้นในการยื่นเสนองบประมาณในช่วงแรกของโครงการ โดยมีกระบวนในการเริ่มโครงการจากการออกแบบเบื้องต้น ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะทราบข้อมูลเกี่ยวกับการวางแนวโครงการ ความยาวราง จำนวนสถานี และจำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ ขั้นตอนต่อมาคือการประมาณต้นทุนเบื้องต้นเพื่อเสนอของบประมาณ โดยใช้วิธีการประมาณต้นทุนรวมจากความยาวราง โดยไม่รวมต้นทุนงานโครงสร้าง เนื่องจากต้นทุนงานโครงสร้างไม่สามารถประมาณจากความยาวรางได้ ต้นทุนที่เสนอในช่วงนี้จึงเป็นต้นทุนที่ยังไม่ครบถ้วน โดยต้นทุนงานโครงสร้างจะถูกเสนอในภายหลังเมื่อทราบต้นทุนงานโครงสร้างแล้ว โดยการเสนอต้นทุนงานโครงสร้างจะอยู่ในรูปของรายการพิเศษ (Special list) ซึ่งจะเป็นต้นทุนที่เพิ่มเติมเข้าไปภายหลัง หลังจากการเสนองบประมาณเบื้องต้น จะมีการว่าจ้างที่ปรึกษาเพื่อออกแบบละเอียด ในขั้นตอนนี้จะทราบแบบที่ค่อนข้างแน่นอนของงานต่างๆ รวมถึงทราบต้นทุนและปริมาณงานจากรายการแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ที่ผู้รับจ้างมีหน้าที่ถอดปริมาณงานและประมาณต้นทุนละเอียด ซึ่งทำให้ทราบต้นทุนงานโครงสร้างและสามารถเพิ่มต้นทุนงานโครงสร้างในรายการพิเศษ (Special list) ได้ในขั้นตอนดังกล่าว โดยขั้นตอนทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนในการยื่นเสนอของบประมาณของการรถไฟแห่งประเทศไทย

จากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลที่หน่วยงานการรถไฟแห่งประเทศไทยพบว่า ปัจจุบันการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการที่การรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นผู้รับผิดชอบ จะใช้วิธีการประมาณต้นทุนของโครงการจากความยาวของระบบราง ซึ่งใช้ข้อมูลเชิงสถิติจากโครงการในอดีต โดยการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนจากโครงการที่เคยดำเนินการมาในอดีต และพิจารณาแยกตามหมวดงานต่างๆก่อนที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละโครงการ โดยการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจะได้ค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อความยาวสำหรับหมวดงานต่างๆ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาต้นทุนต่อความยาวของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทย จะไม่พิจารณาหมวดงานอุโมงค์ และหมวดงานโครงสร้าง ซึ่งหากใช้หลักการดังกล่าวในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่โดยใช้แนวคิดในปัจจุบัน

ความยาวรางและต้นทุนงานหมวดต่างๆ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความยาวราง (กม.)	187	169	167	132	118
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (ล้านบาท)	368	559	459	491	460
งานดิน (ล้านบาท)	2,765	1,400	1,150	1,610	1,330
งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (ล้านบาท)	2,880	1,070	2,820	766	1,400
งานท่อและงานระบายน้ำ (ล้านบาท)	59	197	485	66	135
งานราง (ล้านบาท)	4,660	3,710	3,770	3,690	2,480
งานระบบอาณัติสัญญาณและสื่อสาร (ล้านบาท)	3,560	2,260	2,960	2,990	3,410
ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	14,292	9,196	11,644	9,613	9,215
ต้นทุนต่อความยาวราง (ล้านบาท/กม.)	76	54	70	73	78
ค่าเฉลี่ยต้นทุนต่อความยาวราง (บาท/กม.)	70,297,107				
ความคลาดเคลื่อน (%)	8.02	29.19	0.82	3.47	9.98
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	10.30				

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนต่อความยาวรางของหมวดงานต่างๆในแต่ละโครงการ

ต้นทุนต่อความยาวราง	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (ล้านบาท/กม.)	1.97	3.31	2.75	3.72	3.90
งานดิน (ล้านบาท/กม.)	14.79	8.28	6.89	12.20	11.27
งานอาคารและสาธารณูปโภค (ล้านบาท/กม.)	15.40	6.33	16.89	5.80	11.86
งานท่อและงานระบายน้ำ (ล้านบาท/กม.)	0.32	1.17	2.90	0.50	1.14
งานราง (ล้านบาท/กม.)	24.92	21.95	22.57	27.95	21.02
งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (ล้านบาท/กม.)	19.04	13.37	17.72	22.65	28.90

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาต้นทุนรวมต่อความยาวรางของแต่ละโครงการ ต้นทุนต่อความยาวจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนต่อความยาวรางของแต่ละหมวดงานแล้วจะพบว่า ต้นทุนต่อความยาวรางของของหมวดงานต่างๆมีค่าแตกต่างกันมาก นอกจากนั้นการพิจารณาต้นทุนโดยใช้วิธีการดังกล่าวยังไม่ครบถ้วนเนื่องจากไม่ได้พิจารณางานโครงสร้าง นอกจากนั้นยังไม่สามารถประมาณต้นทุนของแต่ละหมวดงานได้

ข้อจำกัดของวิธีประมาณต้นทุนจากความยาวราง คือวิธีคำนวณต้นทุนเป็นการตั้งสมมติฐานให้ความสัมพันธ์เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งทำให้การประมาณต้นทุนอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากต้นทุนของโครงการก่อสร้างระบบรางอาจไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความยาวราง หรือความสัมพันธ์ของรายการงานบางอย่างอาจแตกต่างกันไปตามประเภทของรายการงาน ถึงแม้ว่าต้นทุนรวมต่อความยาวรางจะมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนมาก แต่ต้นทุนต่อความยาวของบางโครงการมีค่าแตกต่างจากโครงการอื่นอย่างเห็นได้ชัด ข้อจำกัดของการประมาณต้นทุนในลักษณะดังกล่าวอีกประการหนึ่งคือ ไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนในหมวดงานโครงสร้างซึ่งจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาพบว่า เป็นต้นทุนที่มีมูลค่ามากที่สุดในโครงการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่ โดยการประมาณต้นทุนเบื้องต้นดังกล่าวไม่ได้รวมงานโครงสร้าง ทำให้ไม่สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการเบื้องต้นให้มีความ

ครบถ้วนได้ เนื่องจากต้นทุนงานโครงสร้างไม่สามารถประมาณใช้การประมาณต้นทุนจากความยาวรางได้ ทำให้การประมาณต้นทุนด้วยวิธีการดังกล่าวขาดความครบถ้วนในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น การพัฒนาแบบจำลองที่สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อการดำเนินโครงการในอนาคต

4.3 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นโครงการระบบรางคู่

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 หมวด ได้แก่ งานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) เพื่อให้เห็นภาพรวมและเข้าใจถึงลักษณะของข้อมูล โดยวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากรายการงานที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) และแบบก่อสร้าง

4.3.1 งานดิน (Earthwork)

งานดิน (Earthwork) ในงานวิจัยนี้ คืองานดินที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมการก่อสร้างอาคารและโครงสร้าง เช่น งานถางป่าและขุดตอ งานขุดทั่วไป และงานดินที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างราง เช่น งานดินคันทาง งานถมคันทาง เป็นต้น ซึ่งในการก่อสร้างอาคารและโครงสร้างจะประกอบด้วยส่วนของงานดินเช่นกัน แต่งานดินในส่วนดังกล่าวจะไม่รวมในส่วนนี้ เนื่องจากถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของงานอาคารและงานโครงสร้างนั้น เช่น งานขุดดินเพื่อทำฐานรากหรืองานบดอัด

องค์ประกอบของต้นทุนงานดิน (Earthwork) จะแตกต่างกันไปตามแต่ละโครงการ โดยองค์ประกอบที่สำคัญสามารถแจกแจงได้ดังนี้

- งานถางป่าและขุดตอ (Clearing and Grubbing)
- งานขุดทั่วไป (General excavation)
- งานถมคันทาง (Embankment fill)
- งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง (Subbase and Sub ballast for railway)

รายการงานที่ได้กล่าวมานี้ เป็นรายการงานหลักๆ ของงานดิน (Earthwork) สำหรับโครงการก่อสร้างระบบราง อย่างไรก็ตาม รายการงานอื่นๆ อาจมีรายละเอียดปลีกย่อยที่แตกต่างกันไปตามแต่ละโครงการอีก เช่น งานขุดวัสดุประเภทอื่นๆที่ขึ้นกับสภาพพื้นที่ของโครงการก่อสร้าง และงานปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการขุดดินเดิมออกและถมดินหรือวัสดุคัดเลือกแทนที่ ซึ่งอาจมีการบดอัดร่วมด้วย ซึ่งสัดส่วนของรายการงานต่างๆของงานดิน (Earthwork) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนของรายการงานต่างๆในหมวดงานดิน (Earthwork)

สัดส่วนองค์ประกอบต้นทุนงานดิน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
งานถางป่าและขุดตอ (%)	0.17	0.46	1.01	0.37	0.59
งานขุดทั่วไป (%)	10.44	1.11	6.23	0.02	0.02
งานดินคันทาง (%)	44.24	16.85	15.00	78.08	83.66
งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง (%)	18.23	61.75	33.25	9.40	11.05
สัดส่วนรวม (%)	73.09	80.17	55.49	87.87	95.32
ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนรวม (%)	78.39				

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สัดส่วนของรายการงานต่างๆ ในหมวดงานดิน (Earthwork) มีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกันมาก เนื่องจากงานดิน (Earthwork) เป็นงานที่มีความไม่แน่นอนสูง นอกจากนี้ปัจจัยทางด้านสภาพของพื้นที่เองและยังมีผลกระทบต่อการวางแนวเส้นทางของโครงการ ซึ่งทำให้ปริมาณงานเปลี่ยนแปลงไปตามการวางแนวเส้นทาง เช่น ปริมาณงานขุดและงานถม เป็นต้น ดังนั้นงานดิน (Earthwork) จึงเป็นหมวดงานที่คำนวณปริมาณงานและต้นทุนได้ยากในขั้นตอนการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยต้นทุนที่เกิดขึ้นของแต่ละรายการงานสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนของรายการงานดิน (Earthwork)

มูลค่าองค์ประกอบต้นทุนงานดิน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
งานถางป่าและขุดตอ (ล้านบาท)	6.22	6.45	11.57	5.95	7.86
งานขุดทั่วไป (ล้านบาท)	388.72	15.57	71.36	0.32	0.27
งานดินคันทาง (ล้านบาท)	1,647.38	236.36	171.82	1,254.85	1,115.04
งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง (ล้านบาท)	678.70	866.20	380.88	151.07	147.28

จากตารางข้างต้น จะเห็นได้ว่างานดินคันทางและงานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง เป็นงานที่มีมูลค่ามาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างรางโดยตรงและมีการดำเนินการตลอดความยาวราง เมื่อเปรียบเทียบกับงานถางป่าและขุดตอหรืองานขุดทั่วไปแล้ว จะเห็นได้ว่างานทั้งสองงานเป็นงานที่เกิดขึ้นเฉพาะจุด คือขึ้นกับพื้นที่ บางบริเวณอาจมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกัน แต่งานดินคันทางและงานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทางเป็นงานที่มีต้นทุนเกิดขึ้นตลอดความยาวราง ทำให้ต้นทุนของรายการงานทั้งสองมีมูลค่ามาก

เมื่อพิจารณาต้นทุนของแต่ละรายการงานในหมวดงานดิน (Earthwork) และคำนวณต้นทุนต่อความยาวราง จะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนของรายการงานดิน (Earthwork) ต่อความยาวรางของแต่ละโครงการ

ต้นทุนต่อความยาวราง องค์ประกอบต้นทุนงานดิน	โครงการ					ต้นทุนต่อความยาวเฉลี่ย (ล้านบาท)
	1	2	3	4	5	
งานถางป่าและขุดตอ (ล้านบาท/กม.)	0.03	0.04	0.07	0.05	0.07	0.05
งานขุดทั่วไป (ล้านบาท/กม.)	2.08	0.09	0.43	0.00	0.00	0.52
งานดินคันทาง (ล้านบาท/กม.)	8.81	1.40	1.03	9.51	9.45	6.04
งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง (ล้านบาท/กม.)	3.63	5.13	2.28	1.14	1.25	2.69

จากตารางข้างต้น จะเห็นได้ว่า ต้นทุนของรายการงานในหมวดงานดิน (Earthwork) มีค่าที่ค่อนข้างผันผวนตามแต่ละโครงการ โดยที่งานดินคันทางมีต้นทุนเฉลี่ยต่อความยาวรางมากกว่ารายการงานอื่นๆ หากพิจารณาลักษณะของการก่อสร้างแล้ว จะพบว่า งานดินคันทางเป็นงานที่เกิดตลอดความยาวราง ในลักษณะถมดินเพื่อยกระดับดินเดิมก่อนการก่อสร้างราง วัตถุประสงค์ในการยกระดับดินเดิมเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของราง โดยป้องกันน้ำท่วมหรือประโยชน์ในการบำรุงรักษาอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าต้นทุนรายการงานต่างๆจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละโครงการ แต่หากต้องการประมาณต้นทุนอย่างหยาบ ก็สามารถใช้ค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อความยาวที่แสดงดังตารางข้างต้นได้

4.3.2 งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ต้นทุนของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) เป็นต้นทุนที่เกิดจากการก่อสร้างโครงสร้างประเภทต่างๆ เช่น สะพานรถไฟ ทางข้าม ทางลอด เป็นต้น และต้นทุนที่เกิดจากรายการงานที่เป็นองค์ประกอบอื่นๆ เช่น กำแพงกันเสียง งานภูมิทัศน์ เป็นต้น นอกจากนั้นงานทางที่กล่าวถึงในส่วนนี้เป็นทางที่เป็นองค์ประกอบของงานโครงสร้าง เช่น ถนนที่อยู่บนทางข้าม เป็น

ต้น โดยต้นทุนในส่วนของการก่อสร้างโครงสร้างประเภทต่างๆยังคงเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีมูลค่าที่สูง โดยประเภทของโครงสร้างในงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ประกอบด้วย

- สะพาน (Railway bridge)
    - โครงสร้างคอนกรีต
        - ทางที่รองรับรางเดี่ยว
        - ทางที่รองรับรางคู่
    - โครงสร้างเหล็ก
- ทางข้าม (Overpass)
- ทางลอด (Underpass)
- ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)
- สะพานกลับรถ (U – Turn bridge)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ประเภทโครงสร้างซึ่งจะมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพและต้นทุนของโครงสร้างโดยภาพรวม

ประเภทโครงสร้าง			จำนวนข้อมูล	ความยาว (ม.)	ความกว้าง (ม.)	ต้นทุน (ล้านบาท)
สะพาน	โครงสร้าง คอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว	395	4 - 290	4.5 – 6.5	0.6 – 70
		ทางที่รองรับรางคู่	29	5 - 140	9.8 - 10	2.3 - 52
	โครงสร้างเหล็ก		11	40 - 70	5	28 - 51
ทางข้าม			89	150 – 2,250	10	0.24 – 370
ทางลอด			7	150 – 1,500	10	35 – 354
สะพานกลับรถ			93	100 - 3,300	10	23 – 467
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม			148	5 – 1,580	3 - 6	0.16 – 124

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่า โครงสร้างแต่ละประเภทมีลักษณะและขอบเขตของลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทแตกต่างกันด้วย เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของต้นทุนแล้วจะพบว่า วัสดุก่อสร้างที่เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างแต่ละประเภท ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริม และเหล็กรูปพรรณในกรณีของโครงสร้างเหล็ก โดยจะพิจารณาส่วนของงานโครงสร้าง เช่น คาน เสา ฐานราก แผ่นพื้น เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนของปริมาณงานและต้นทุนได้ดังตารางที่ 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนปริมาณงานและต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">ประเภทโครงสร้าง</th><th rowspan="2">จำนวนข้อมูล</th><th colspan="3">ปริมาณงาน</th><th colspan="3">สัดส่วนต้นทุน (%)</th></tr>
<tr><th>คอนกรีต (ลบ.ม./ม.)</th><th>เหล็กเสริม (ตัน/ม.)</th><th>เหล็กรูปพรรณ (ตัน/ม.)</th><th>คอนกรีต</th><th>เหล็กเสริม</th><th>เหล็กรูปพรรณ</th></tr>
<tr><td rowspan="3">สะพาน</td><td rowspan="2">โครงสร้างคอนกรีต</td><td>ทางที่รองรับรางเดี่ยว</td><td>395</td><td>17.54</td><td>2.21</td><td>N/A</td><td>24.41</td><td>24.67</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>ทางที่รองรับรางคู่</td><td>29</td><td>29.05</td><td>2.39</td><td>N/A</td><td>25.04</td><td>21.71</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td colspan="2">โครงสร้างเหล็ก</td><td>11</td><td>6.37</td><td>0.30</td><td>7.57</td><td>3.18</td><td>1.18</td><td>43.00</td></tr>
<tr><td colspan="3">ทางข้าม</td><td>89</td><td>9.99</td><td>3.08</td><td>N/A</td><td>12.03</td><td>28.83</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td colspan="3">ทางลอด</td><td>7</td><td>21.26</td><td>1.44</td><td>N/A</td><td>30.78</td><td>16.39</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td colspan="3">สะพานกลับรถ</td><td>93</td><td>11.85</td><td>1.71</td><td>N/A</td><td>24.92</td><td>28.58</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม</td><td colspan="2">1 ท่อ</td><td rowspan="2">148</td><td>20.38</td><td>3.86</td><td rowspan="2">N/A</td><td rowspan="2">9.96</td><td rowspan="2">15.82</td><td rowspan="2">N/A</td></tr>
<tr><td colspan="2">2 ท่อ</td><td>14.60</td><td>2.92</td></tr>
</table>

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า โครงสร้างแต่ละประเภทมีสัดส่วนของปริมาณงานและต้นทุนที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าสัดส่วนต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของปริมาณงานและต้นทุนของวัสดุก่อสร้างประเภทเดียวกัน นอกจากนี้หากพิจารณาโครงสร้างแยกตามประเภทและโครงการแล้ว ต้นทุนต่อความยาวโครงสร้างของโครงสร้างแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนต่อความยาวของโครงสร้างแต่ละประเภท

โครงสร้าง	ลักษณะของโครงสร้าง	โครงการ											ต้นทุนต่อความยาวเฉลี่ย (บาท/เมตร)
		1	2		3					4		5	
สะพานรางเดี่ยว	ความกว้าง	5	5		4.8	5.45	5.95	6	6.5	6		6	261,134
	ต้นทุนต่อความยาว	240,000	240,000		260,000	290,000	290,000	280,000	260,000	250,000		240,000	
สะพานรางคู่	ความกว้าง	N/A			9.8					10			406,957
	ต้นทุนต่อความยาว				440,000					400,000		380,000	
สะพานเหล็ก	ความกว้าง	N/A			5					N/A		N/A	767,071
	ต้นทุนต่อความยาว				770,000								
ทางข้าม	ความกว้าง	10											163,181
	ต้นทุนต่อความยาว	220,000	220,000		82,000					N/A		130,000	
ทางลอด	ความกว้าง		10		N/A							10	265,368
	ต้นทุนต่อความยาว		320,000									210,000	
สะพานกลับรถ	ความกว้าง	10											203,101
	ต้นทุนต่อความยาว	260,000	220,000		220,000					180,000		140,000	
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	ความกว้าง	3	3	6	3			6		3	6	6	265,296
	ต้นทุนต่อความยาว	45,000	50,000	70,000	65,000			100,000		73,000	140,000	1,600,000	

จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นถึงต้นทุนต่อความยาวของโครงสร้างแต่ละประเภท โดยโครงสร้างในแต่ละโครงการมีต้นทุนต่อความยาวที่แตกต่างกัน เนื่องจากราคาวัสดุก่อสร้าง ความยากในการก่อสร้างเป็นต้น อย่างไรก็ตาม ต้นทุนต่อความยาวของโครงสร้างแต่ละประเภทมีค่าไม่แตกต่างกันมากในแต่ละโครงการ ซึ่งโครงสร้างบางประเภทในโครงการใดโครงการหนึ่งอาจมีต้นทุนสูงกว่าโครงการอื่นๆ แต่ไม่มีโครงการใดที่ต้นทุนต่อความยาวโครงสร้างมีค่าสูงที่สุดในทุกๆ โครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ค่าต้นทุนต่อความยาวของโครงสร้างแต่ละประเภทสามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงสร้างแต่ละประเภทได้ จำนวนของโครงสร้างแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนของโครงสร้างแต่ละประเภท

ประเภทโครงสร้าง			โครงการ				
			1	2	3	4	5
สะพาน	โครงสร้างคอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว	87	44	151	59	54
		ทางที่รองรับรางคู่	N/A	N/A	10	14	5
	โครงสร้างเหล็ก		N/A	N/A	11	N/A	N/A
ทางข้าม			8	46	23	12	N/A
ทางลอด			N/A	3	N/A	4	N/A
สะพานกลับรถ			26	24	N/A	24	19
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม			76	19	41	6	6

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า จำนวนของโครงสร้างแต่ละประเภทมีจำนวนแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการ ซึ่งบางโครงการไม่มีข้อมูลโครงสร้างบางประเภท เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวมีวัตถุประสงค์หลักในการใช้แก้ปัญหาระหว่างถนนและราง ดังนั้นหากโครงการใดมีจุดตัดระหว่างถนนและรางมาก โครงการดังกล่าวต้องอาศัยโครงสร้างประเภทต่างๆ ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการเลือกใช้โครงสร้างประเภทต่างๆ ขึ้นกับความเหมาะสมตามพื้นที่หรือสถานการณ์ ซึ่งหากพิจารณาจำนวนของโครงสร้างต่อความยาวรางแล้ว จะได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.10 จำนวนโครงสร้างต่อความยาวรางของโครงการต่างๆ

ประเภทโครงสร้าง			โครงการ 1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สะพาน	โครงสร้างคอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว	0.47	0.26	0.90	0.45	0.46	0.51
		ทางที่รองรับรางคู่	N/A	N/A	0.06	0.11	0.04	0.07
	โครงสร้างเหล็ก		N/A	N/A	0.07	N/A	N/A	0.07
ทางข้าม			0.04	0.27	0.14	0.09	N/A	0.14
ทางลอด			N/A	0.02	N/A	0.03	N/A	0.02
สะพานกลับรถ			0.14	0.14	N/A	0.18	0.16	0.16
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม			0.41	0.11	0.25	0.05	0.05	0.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์พบว่าการพิจารณาจำนวนโครงสร้างต่อความยาวราง แสดงให้ถึงความความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครงสร้างและความยาวรางได้ดีกว่าการพิจารณาจำนวนโครงสร้างทั้งหมดโดยไม่พิจารณาความยาวราง โดยจำนวนโครงสร้างต่อความยาวรางมีค่าที่แปรผัน เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปคือ จำนวนโครงสร้างอาจไม่สัมพันธ์กับความยาวรางโดยตรง เนื่องจากประโยชน์ของโครงสร้างคือการแก้ไขปัญหาข้อขัดแย้งระหว่างถนนและราง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า สะพานเป็นโครงสร้างที่มีจำนวนต่อความยาวรางมากที่สุด ถึงแม้ว่าจะเปรียบเทียบกับโครงสร้างประเภทอื่นๆ

นอกจากนี้ หากพิจารณาในมุมมองของความยาวโครงสร้างต่อความยาวราง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 ความยาวรวมของโครงสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทโครงสร้าง			โครงการ 1	โครงการ 2	โครงการ 3	โครงการ 4	โครงการ 5	ค่าเฉลี่ย
สะพาน	โครงสร้างคอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว (เมตร)	2,565	12,760	3,887	1,366	525	4,221
		ทางที่รองรับรางคู่ (เมตร)	N/A	N/A	280	1,390	60	577
	โครงสร้างเหล็ก (เมตร)		N/A	N/A	550	N/A	N/A	550
ทางข้าม (เมตร)			7,547	13,340	26,716	1,680	N/A	12,321
ทางลอด (เมตร)			N/A	1,369	N/A	3,770	N/A	2,570
สะพานกลับรถ (เมตร)			15,600	6,960	N/A	16,690	9,234	12,121
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (เมตร)			11,060	2,732	6,834	2,280	590	4,699

ผลการศึกษาพบว่าความยาวโครงสร้างสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับรางได้ดีกว่าการพิจารณาเพียงจำนวนของโครงสร้าง ซึ่งโครงสร้างทางข้ามและสะพานกลับรถมีค่าความยาวโครงสร้างสูงกว่าโครงสร้างประเภทอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ข้อสังเกตหนึ่งคือ จำนวนโครงสร้างโครงสร้างที่มีจำนวนต่อความยาวรางมากที่สุดคือสะพาน แต่เมื่อพิจารณาความยาวโครงสร้าง พบว่าทางข้ามและสะพานกลับรถมีค่ามาก ในขณะที่สะพานมีค่าความยาวโครงสร้างน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการพิจารณาเพียงความยาวของโครงสร้างอาจไม่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและความยาวรางชัดเจนนัก ดังนั้นการพิจารณาความยาวโครงสร้างต่อความยาวรางจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่น่าสนใจในการใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและความยาวราง

ตารางที่ 4.12 ความยาวของโครงสร้างต่อความยาวรางของโครงสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทโครงสร้าง			โครงการ					ค่าเฉลี่ย
			1	2	3	4	5	
สะพาน (เมตร/กิโลเมตร)	โครงสร้างคอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว	13.72	75.50	23.28	10.35	4.45	25.46
		ทางที่รองรับรางคู่	N/A	N/A	1.68	10.53	0.51	4.24
	โครงสร้างเหล็ก (เมตร/กิโลเมตร)		N/A	N/A	3.29	N/A	N/A	3.29
ทางข้าม (เมตร/กิโลเมตร)			40.36	78.93	159.98	12.73	N/A	73.00
ทางลอด (เมตร/กิโลเมตร)			N/A	8.10	N/A	28.56	N/A	18.33
สะพานกลับรถ (เมตร/กิโลเมตร)			83.42	41.18	N/A	126.44	78.25	82.32
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (เมตร/กิโลเมตร)			59.14	16.17	40.92	17.27	5.00	27.70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการวิเคราะห์พบว่าความยาวโครงสร้างต่อความยาวรางสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับรางได้ดีกว่าการพิจารณาเพียงจำนวนของโครงสร้าง โดยทางข้ามและสะพานกลับรถมีค่าความยาวโครงสร้างต่อความยาวรางสูงกว่าโครงสร้างประเภทอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ข้อสังเกตหนึ่งคือ หากพิจารณาจำนวนโครงสร้างต่อความยาวราง โครงสร้างที่มีจำนวนต่อความยาวรางมากที่สุดคือสะพาน แต่เมื่อพิจารณาความยาวโครงสร้างต่อความยาวราง พบว่า ทางข้ามและสะพานกลับรถมีค่ามาก ในขณะที่สะพานมีค่าความยาวโครงสร้างต่อความยาวรางน้อยกว่า เนื่องจากสะพานเป็นโครงสร้างที่รองรับรางรถไฟ ในขณะที่ทางข้ามและสะพานกลับรถเป็นโครงสร้างที่รองรับการวิ่งของรถ ต้นทุนในการก่อสร้างโครงสร้างที่รองรับการวิ่งของรถมีค่าน้อยกว่า จึงถูกเลือกใช้ในการแก้ปัญหาบริเวณจุดตัดทางรถไฟมากกว่า อีกประการหนึ่งคือ โครงสร้างที่รองรับรางรถไฟมักเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะตรงมากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดในการเดินรถของรถไฟเอง ทำให้ความยาว

โครงสร้างที่รองรับรางรถไฟมีความยาวโครงสร้างต่อความยาวรางน้อยกว่าโครงสร้างที่รองรับการวิ่งของรถ

4.3.3 งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) คืองานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ เช่น สถานี ชานชาลา อาคารพักผู้โดยสาร อาคารพักพนักงาน เป็นต้น โดยองค์ประกอบของอาคารจะรวมตั้งแต่งานดินที่เกิดจากการก่อสร้างฐานรากไปจนถึงงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม และงานระบบต่างๆ ซึ่งมีงานสาธารณูปโภคเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งงานสาธารณูปโภคเป็นงานที่เป็นองค์ประกอบของงานอาคาร มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานอาคาร เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบประปา การติดตั้งสายโทรศัพท์ เป็นต้น

สำหรับงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) สามารถแบ่งกลุ่มของอาคารออกได้เป็นกลุ่มอาคารขนาดต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ย่านสถานี โดยที่การรถไฟแห่งประเทศไทย (State Railway of Thailand) มีการแบ่งเกณฑ์ของย่านสถานีแต่ละขนาดตามความสามารถในการรองรับผู้โดยสารไว้ดังนี้

- **สถานีขนาดเล็ก**

สถานีเล็กทั่วไปให้สามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานน้อยกว่า 2,000 คน/วัน (ตัวเลขโดยประมาณ)

- **สถานีขนาดกลาง**

สถานีขนาดกลางให้สามารถรองรับปริมาณผู้ใช้งานระหว่าง 2,000–5,000 คน/วัน (ตัวเลขโดยประมาณ)

- **สถานีขนาดใหญ่**

สถานีขนาดใหญ่มีปริมาณผู้โดยสารสูงกว่า 5,000 คน/วัน (ตัวเลขโดยประมาณ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- **สถานีขนาดใหญ่พิเศษ**

สถานีขนาดใหญ่เศษมีปริมาณผู้โดยสารสูงกว่า 5,000 คน/วัน (ตัวเลขโดยประมาณ) และมีการออกแบบเป็นรายกรณีไป

เมื่อพิจารณาจากจำนวนผู้โดยสารที่สถานีแต่ละขนาดสามารถรองรับได้แล้ว ลักษณะหรือขนาดพื้นที่สามารถแจกแจงได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ขนาดพื้นที่ของสถานีแต่ละขนาด

ประเภทอาคาร		จำนวนข้อมูล	พื้นที่ (ตร.ม.)
สถานี	ขนาดเล็ก	24	335 - 465
	ขนาดกลาง	31	502 - 869
	ขนาดใหญ่	9	924 – 1,000
	ขนาดใหญ่พิเศษ	4	1,000 – 6,300
สถานีที่ต้องปรับปรุง	ขนาดกลาง	20	860
	ขนาดใหญ่	16	1,000

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่า สถานีขนาดต่างๆจะมีขอบเขตของขนาดพื้นที่ใช้สอยอยู่ภายในค่าช่วงหนึ่ง และขนาดของสถานีที่มีการก่อสร้างมากที่สุดคือ สถานีขนาดกลาง สำหรับสถานีใหญ่พิเศษนั้นมีจำนวนน้อยที่สุด เนื่องจากการใช้งานมีความเฉพาะและมีต้นทุนในการก่อสร้างสูง ดังนั้นจึงมีการก่อสร้างไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาสถานีที่ต้องมีการซ่อมแซม จะเห็นได้ว่ามีเพียงสถานีขนาดกลางและใหญ่เท่านั้น เนื่องจากการซ่อมแซมสถานีขนาดเล็กอาจไม่คุ้มค่ากับต้นทุนในการซ่อมแซม หรือต้นทุนในการซ่อมแซมมีค่าใกล้เคียงกับการก่อสร้างใหม่ ดังนั้นสถานีขนาดเล็กจึงเลือกวิธีการก่อสร้างใหม่มากกว่า ดังนั้นการพิจารณาต้นทุนต่อตารางเมตรของสถานีแยกตามขนาดของสถานีจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนต่อตารางเมตรของสถานีขนาดต่างๆ ในโครงการ

ขนาดสถานี	โครงการ					ต้นทุนต่อตารางเมตรค่าเฉลี่ย (บาท/ตร.ม.)
	1	2	3	4	5	
เล็ก	223,040	145,242	179,658	125,124	147,236	164,060
กลาง	180,182	121,526	145,767	121,850	N/A	142,331
ใหญ่	N/A	285,952	154,817	188,624	222,931	213,081
ใหญ่พิเศษ	174,594	176,612	154,147	N/A	147,929	163,321

การพิจารณาต้นทุนต่อตารางเมตรของการก่อสร้างสถานี พบว่าต้นทุนต่อตารางเมตรในการก่อสร้างสถานี มีค่าอยู่ในช่วง 140,000 – 220,000 บาท/ตารางเมตร ซึ่งมีมูลค่าสูง เนื่องจากในย่านสถานีประกอบด้วยองค์ประกอบค่อนข้างมาก ดังนั้นการพิจารณาต้นทุนในการก่อสร้างสถานีโดยใช้พื้นที่ใช้สอยของสถานีในการพิจารณาต้นทุนต่อตารางเมตรจึงได้ค่าที่มีค่ามาก อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็สามารถใช้ในการประเมินต้นทุนเบื้องต้นของการก่อสร้างสถานีได้ เนื่องจากใช้เพียงขนาดพื้นที่ใช้สอยของสถานีในการประมาณต้นทุนในการก่อสร้างสถานีและอาคารประกอบทั้งหมด ทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย อีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจคือ ต้นทุนต่อตารางเมตรของสถานีและขนาดของสถานีไม่ได้มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือสถานีขนาดเล็กไม่ได้มีต้นทุนต่อตารางเมตรที่มีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด เช่นเดียวกับสถานีขนาดใหญ่พิเศษก็ไม่ได้มีต้นทุนต่อตารางเมตรที่มากที่สุดหรือน้อยที่สุดเช่นกัน เนื่องจากภายในย่านสถานีนั้น จะประกอบด้วยอาคารข้างเคียงหรืออาคารประกอบอื่นๆ ที่ทำให้ต้นทุนต่อตารางเมตรของสถานีแต่ละขนาดมีค่าแตกต่างกัน

สำหรับจำนวนสถานีขนาดต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.15 จำนวนสถานีแบ่งตามขนาดของสถานี

ขนาดสถานี	โครงการ					จำนวนรวม
	1	2	3	4	5	
เล็ก	1	9	3	5	6	24
กลาง	17	1	10	3	N/A	31
ใหญ่	N/A	1	6	1	1	9
ใหญ่พิเศษ	1	1	1	N/A	1	4

ผลการวิเคราะห์พบว่า โครงการแต่ละโครงการมีจำนวนสถานีที่สร้างแตกต่างกัน เนื่องจากการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่ในงานวิจัยนี้ เป็นการก่อสร้างรางคู่ขนานไปกับแนวรางเดิม ทำให้ในบางบริเวณจะใช้สถานีเดิม ในขณะที่บางบริเวณจำเป็นต้องมีการก่อสร้างสถานีเพื่อให้รองรับกับการใช้งานของผู้โดยสาร จำนวนสถานีที่มีการก่อสร้างจึงแตกต่างกันไปตามแต่ละโครงการ ขึ้นอยู่กับการวางแนวเส้นทางและจำนวนสถานีเดิมที่สามารถใช้งานได้ซึ่งการวิเคราะห์จำนวนสถานีตอความยาวรางสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.16 จำนวนสถานีขนาดต่างๆต่อความยาวราง

ขนาดสถานี	โครงการ					ค่าเฉลี่ย (สถานี/กิโลเมตร)
	1	2	3	4	5	
เล็ก	0.005	0.053	0.018	0.038	0.051	0.165
กลาง	0.091	0.006	0.060	0.023	N/A	0.179
ใหญ่	N/A	0.006	0.036	0.008	0.008	0.058
ใหญ่พิเศษ	0.005	0.006	0.006	N/A	0.008	0.026
ผลรวมจำนวนสถานีต่อความยาวราง (สถานี/กม.)	0.102	0.071	0.120	0.068	0.068	0.099

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวนสถานีขนาดต่างๆ ต่อความยาวราง อาจมีค่าแตกต่างกันในแต่ละโครงการ แต่เมื่อพิจารณาจำนวนสถานีรวมต่อความยาวราง พบว่ามีค่าไม่แตกตางกันมากนัก คือประมาณ 0.1 สถานีต่อความยาวราง 1 กิโลเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถใช้ในการประมาณจำนวนสถานีจากความยาวรางในระดับเบื้องต้นได้

สำหรับงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) สามารถแบ่งองค์ประกอบของต้นทุนได้เช่นเดียวกับโครงการก่อสร้างอาคารอื่นๆ องค์ประกอบของต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ได้แก่ งานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม งานระบบไฟฟ้า งานระบบเครื่องกล งานสุขาภิบาล และงานท่อ ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมด 68 ตัวอย่างสามารถแบ่งสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

องค์ประกอบต้นทุน	สัดส่วนต้นทุน (%)
งานโครงสร้าง	62.34
งานสถาปัตยกรรม	18.06
งานระบบไฟฟ้า	7.35
งานระบบเครื่องกล	3.23
งานสุขาภิบาล	0.94
งานท่อ	4.34

ผลการวิเคราะห์พบว่า ต้นทุนงานโครงสร้างในการก่อสร้างสถานีมีมูลค่าสูงที่สุด คือประมาณ 60% ของมูลค่าต้นทุนรวม งานที่มีมูลค่าสูงในลำดับถัดมาคือ งานสถาปัตยกรรม ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 20% ของมูลค่าต้นทุนรวม ส่วนงานอื่นๆ มีมูลค่ารวมกันประมาณ 20% ของมูลค่าต้นทุนรวม

สำหรับงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม ซึ่งมีสัดส่วนของมูลค่าที่ค่อนข้างมาก สามารถแบ่งองค์ประกอบของต้นทุนตามประเภทของวัสดุก่อสร้างได้อีกดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ โดยอาศัยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาคารสถานีในการพิจารณา เนื่องจากเป็นรายการงานหลักและมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.18 สัดส่วนต้นทุนและปริมาณงานของงานโครงสร้างงานอาคาร

	องค์ประกอบต้นทุนงานโครงสร้าง	สัดส่วน
สัดส่วนต้นทุน (%)	คอนกรีต	14.38
	เหล็กเสริม	24.56
	เข็มฐานราก	0.26
สัดส่วนปริมาณงานต่อพื้นที่	คอนกรีต (ลบ.ม./ตร.ม.)	0.08
	เหล็กเสริม (ตัน/ตร.ม.)	0.05
	เข็มฐานราก (ต้น/ตร.ม.)	0.01

ผลการวิเคราะห์พบว่า มูลค่าเหล็กเสริมจะมีมูลค่าประมาณ 25% คอนกรีต 15% ซึ่งค่าที่แสดงพิจารณาจากต้นทุนงานเหล็กเสริมและคอนกรีตโดยพิจารณาต้นทุนวัสดุและค่าแรงรวมกันตามที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) สำหรับสัดส่วนที่เหลือมาจากวัสดุก่อสร้างอื่นๆ

ตารางที่ 4.19 สัดส่วนต้นทุนของงานสถาปัตยกรรม

องค์ประกอบต้นทุนสถาปัตยกรรม	สัดส่วนต้นทุน (%)
งานก่อ	1.20
งานหลังคา	17.44
งานฉาบ	3.59
งานประตูและหน้าต่าง	2.91
งานตกแต่ง	21.37
งานเหล็ก	6.63
เครื่องตกแต่ง	2.39
ป้าย	3.92
งานทาสี	1.91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์พบว่า สัดส่วนองค์ประกอบของรายการงานหรือวัสดุก่อสร้างต่างๆจะแตกต่างกันตามรายการหรือวัสดุก่อสร้าง ซึ่งสามารถใช้ในการอ้างอิงถึงปริมาณงานที่มีการถอดปริมาณงานในอนาคต ซึ่งงานตกแต่ง (Finishing) เป็นงานที่มีมูลค่าสูงที่สุด เนื่องจากงานตกแต่งมีทั้งส่วนประกอบที่เป็นพื้น ผนัง และเพดาน ทำให้ปริมาณมีค่ามาก ต้นทุนจึงสูงตามไปด้วย ต้นทุนที่มีมูลค่าสูงในลำดับถัดมาคือ งานหลังคา สาเหตุที่งานหลังคามีมูลค่ามากเนื่องจากงานหลังคาเป็นงานที่รวมมูลค่าของโครงหลังคาเข้าไปด้วย ทำให้ในบางกรณีเมื่อพิจารณาอาคารที่มีโครงหลังคาเป็นโครงสร้างเหล็กและมีขนาดใหญ่ ต้นทุนในส่วนงานหลังคาจึงมีมูลค่ามาก

4.3.4 งานราง (Track work)

งานราง (Track work) คืองานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างรางโดยจะพิจารณางานในส่วนที่เหนือจากชั้นหินโรยทางขึ้นมา เช่น หินโรยทาง ราง ประแจ เครื่องยึดเหนี่ยวราง เป็นต้น ส่วนงานในระดับที่ต่ำกว่านั้นจะพิจารณาเป็นงานดิน เช่น งานถมดินคันทาง งานถมคันทาง เป็นต้น

งานราง (Track work) เป็นงานที่ถือเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับโครงการระบบรางคู่ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่โครงการก่อสร้างอื่นไม่มี ดังนั้นรายการงานต่างๆใน

งานราง (Track work) จะมีความแตกต่างจากรายงานอื่นๆโดยสิ้นเชิง โดยรายการงานที่เป็นองค์ประกอบหลักๆที่สำคัญของงานราง (Track work) ได้แก่

- ราง (Rail)
- ประแจ (Turnout)
- หมอนรองราง (Sleeper)
- เครื่องยึดเหนี่ยวราง (Fastener)
- หินโรยทาง (Ballast)

งานราง (Track work) ของแต่ละโครงการจะมีสัดส่วนของปริมาณงานและต้นทุนของรายการงานแต่ต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 สัดส่วนปริมาณงานของงานราง (Track work)

โครงการ	ราง (ตัน/กม.)	ประแจ (ชุด/กม.)	หมอนรองราง (ท่อน/กม.)	เครื่องยึดเหนี่ยวราง (ชุด/กม.)	หินโรยทาง (ลบ.ม./กม.)
1	142.36	0.86	2,167.05	2,167.05	1,995.94
2	166.86	0.89	2,490.40	2,490.40	2,408.25
3	152.56	0.79	2,381.25	2,381.25	3,370.57
4	175.73	1.16	2,468.17	4,936.33	3,153.59
5	153.80	1.19	2,963.53	5,927.06	2,151.18
ค่าเฉลี่ย	158.26	0.98	2,494.08	3,580.42	2,615.91

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณรางที่มีใช้ในการก่อสร้างมีค่าอยู่ในช่วง 140 – 170 ตันต่อกิโลเมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้รางที่ใช้คือ UIC 54 ซึ่งมีมาตรฐานน้ำหนักอยู่ที่ 54 กิโลกรัมต่อเมตร หรือ 54 ตันต่อกิโลเมตร โดยมากพิจารณาว่ารางมีลักษณะเป็นคู่ทอดไปตามแนวการเดินรถ ปริมาณรางตามทฤษฎีควรจะเป็น 108 ตันต่อกิโลเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้จริงพบว่า ปริมาณที่ใช้จริงมีปริมาณมากกว่า เนื่องจากบางตำแหน่งมีการก่อสร้างรางเป็นคู่ หรือบริเวณที่เป็นชุมทางรถไฟที่มี

ปริมาณรางหนาแน่น ทำให้ปริมาณรางที่ใช้จริงมีค่ามากกว่า เช่นเดียวกับหินโรยทางและประแจซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเบี่ยงแนวการเดินรถ ซึ่งปริมาณของอุปกรณ์ดังกล่าวจะขึ้นกับจำนวนบริเวณที่มีการเบี่ยงแนวการเดินรถ สำหรับหมอนรองรางจะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างหมอนรองรางอยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีระยะห่างระหว่างหมอนรองรางประมาณ 600 - 650 มิลลิเมตร หรือประมาณ 1,600 ท่อนต่อกิโลเมตร ซึ่งหากเปรียบเทียบกับปริมาณที่ใช้งานจริงจะพบว่ามีค่าน้อยกว่า ซึ่งมาจากสาเหตุเดียวกับปริมาณราง คือบางบริเวณมีการก่อสร้างรางมากกว่า 1 รางทำให้ปริมาณงานที่เกิดขึ้นไม่สัมพันธ์กับความยาวรางแบบเส้นตรง สำหรับเครื่องยึดเหนี่ยวรางนั้นจะเห็นได้ว่า โครงการที่ 1 – 3 ปริมาณเครื่องยึดเหนี่ยวรางมีค่าเท่ากับปริมาณหมอนรองราง แต่โครงการที่ 4 และ 5 จะมีปริมาณเป็นสองเท่า สาเหตุคือปริมาณการติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวรางจะขึ้นกับข้อกำหนดในการออกแบบ ทำให้ปริมาณต่อความยาวรางในแต่ละโครงการมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.21 สัดส่วนต้นทุนของงานราง (Track work)

โครงการ	ราง (%)	ประแจ (%)	หมอนรองราง (%)	เครื่องยึดเหนี่ยวราง (%)	หินโรยทาง (%)
1	34.98	14.00	11.82	9.72	5.66
2	26.57	9.64	8.42	10.42	6.24
3	30.95	9.20	13.82	11.62	9.48
4	35.00	11.98	14.17	13.48	5.31
5	35.32	10.31	14.30	18.47	3.05
ค่าเฉลี่ย	32.56	11.02	12.50	12.74	5.95

ผลการวิเคราะห์พบว่า สัดส่วนปริมาณงานและต้นทุนรายการงานจะแตกต่างกันไปตามประเภทของรายการงาน โดยที่มูลค่าของรางมีค่ามากที่สุด เนื่องจากปริมาณงานมีปริมาณมาก ต้นทุนจึงมีมูลค่ามาก ส่วนหินโรยทางมีมูลค่าน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าปริมาณงานจะมากแต่ต้นทุนต่อหน่วยมีค่าไม่มากนัก จึงทำให้ต้นทุนรวมของหินโรยทางมีมูลค่ารวมน้อยที่สุด ส่วนรายการงานอื่นๆมีมูลค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

4.3.5 งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) เป็นงานที่มีความซับซ้อนและแตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นงานที่มีความสัมพันธ์กับเทคโนโลยีจึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ถึงแม้ว่าจะเป็นโครงการระบบรางเช่นเดียวกัน แต่ก็ยังแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงการ ระบบราง ระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารที่เลือกใช้ ยิ่งไปกว่านั้น แม้ว่าจะเป็นโครงการประเภทเดียวกันก็ยังสามารถเลือกใช้ระบบอาณัติสัญญาณที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของพื้นที่และความซับซ้อนของระบบอาณัติสัญญาณ ทำให้การประมาณต้นทุนทำได้ยาก ในปัจจุบันการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะใช้การถอดปริมาณงานจากแบบก่อสร้าง สำหรับงานวิจัยนี้มีความพยายามที่จะพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ดังนั้นการศึกษาลักษณะของต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาแบบจำลอง

รายการงานที่สำคัญของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ได้แก่

1. ค่าใช้จ่ายในการออกแบบ (Design) ซึ่งจะมีการแบ่งสัญญาออกเป็นช่วงๆในการออกแบบ
2. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์แสดงอาณัติสัญญาณ (Signals) ซึ่งติดตั้งในช่วงสัญญาต่างๆเป็นชุด
3. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมประแจ (Point machine) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของประแจ และมีหน้าที่ในการบังคับการเคลื่อนที่ของราง
4. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับขบวนรถ (Train detection equipment) ซึ่งจะมีการติดตั้งเป็นชุดๆตามแนวราง
5. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ (Computer Based Interlocking - CBI)
6. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งสายเคเบิล (Cabling) ซึ่งมีการติดตั้งเป็นชุด

7. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์เครื่องทางสะดวก (Block Equipment) ซึ่งมีการติดตั้งเป็นชุดๆ
8. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบความปลอดภัยของรถบนรางหรือในห้องอาณัติสัญญาณ (Automatic Train Protection : ATP Track Side) ซึ่งเป็นระบบป้องกันความผิดพลาด ซึ่งหน้าที่ของระบบนี้จะดูแลความปลอดภัยของระบบการเดินรถ เช่น การป้องกันไม่ให้รถไฟชนท้ายกัน (Train Spacing) การใช้ความเร็วตามที่กำหนด (Speed Profile) การเปิดประตูให้ถูกฝั่งหรือตามตำแหน่งที่ถูกต้องปลอดภัย (Door Supervision) การป้องกันไม่ให้รถไหลลงเนิน (Rollback) เป็นต้น
9. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบความปลอดภัยของรถในขบวนรถ (Automatic Train Protection : ATP Train Borne) ซึ่งมีหน้าที่ในการป้องกันความผิดพลาดเช่นกันแต่อยู่ในขบวนรถ
10. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบควบคุมการเดินรถจากส่วนกลาง (Centralized Traffic Control : CTC) ซึ่งเป็นระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติที่ถูกใช้ในการควบคุมรถไฟฟ้าให้วิ่งตามตารางการเดินรถได้อย่างปลอดภัย ซึ่งประกอบด้วยระบบ Automatic Train Operation (ATO) เป็นระบบควบคุมการทำงานและการวิ่งของรถ ,ระบบ Automatic Train Protection (ATP) เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมความเร็วและระยะห่างจากระหว่างรถไฟและระบบ Interlocking ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางของรถไฟฟ้าไม่ให้วิ่งทับซ้อนเส้นทางกัน

รายการงานทั้งหมดที่กล่าวมานี้ สามารถแสดงปริมาณงานในแต่ละโครงการดังนี้

ตารางที่ 4.22 ปริมาณงานต่างๆในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

รายการงาน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
Design (ระบบ)	16	20	โครงการดังกล่าวมีการคิดต้นทุนเหมาเป็นสถานี จึงไม่สามารถแยกแจงรายละเอียดได้	13	16
Signals (ชุด)	373	225		306	366
Point machine (ชุด)	177	185		160	157
Train detection equipment (ชุด)	492	570		398	489
CBI (ระบบ)	16	20		13	16
Block equipment (ชุด)	55	38		46	52
Cabling (ชุด)	16	20		13	16
ATP Track Side (ชุด)	371	279		306	362
ATP Train Borne (ชุด)	11	20		10	10
CTC (ระบบ)	4	1		4	4

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณงานรายการงานในแต่ละรายการจะมีปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากรายการงานบางรายการเป็นรายการจ้างเหมาที่มีขนาดใหญ่จึงมีปริมาณงานไม่มาก ในขณะที่รายการงานบางรายการอยู่ในรูปวัสดุก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณรายการงานมาก อย่างไรก็ตาม ปริมาณงานที่แสดงดังกล่าว ไม่ได้สื่อถึงมูลค่าของรายการงานแต่ละรายการ เพียงแต่แสดงปริมาณงานโดยภาพรวมของแต่ละโครงการ

หากพิจารณาปริมาณดังที่กล่าวมาแล้วเป็นสัดส่วนปริมาณงานต่อความยาวราง จะแสดงผลลัพธ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.23 สัดส่วนปริมาณงานต่อความยาวรางของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

รายการงาน	โครงการ					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
Design	0.09	0.12	โครงการดังกล่าวมีการคิดต้นทุนเหมาเป็นสถานี จึงไม่สามารถแจกแจงรายละเอียดได้	0.10	0.14	0.11
Signals	1.99	1.33		2.32	3.10	2.19
Point machine	0.95	1.09		1.21	1.33	1.15
Train detection equipment	2.63	3.37		3.02	4.14	3.29
CBI	0.09	0.12		0.10	0.14	0.11
Block equipment	0.29	0.22		0.35	0.44	0.33
Cabling	0.09	0.12		0.10	0.14	0.11
ATP Track Side	1.98	1.65		2.32	3.07	2.26
ATP Train Borne	0.06	0.12		0.08	0.08	0.08
CTC	0.02	0.01		0.03	0.03	0.02

ผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อพิจารณาปริมาณงานของรายการงานต่างๆของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร พบว่า Train detection equipment มีปริมาณต่อความยาวมากที่สุด เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่ติดตั้งตลอดความยาวราง ในขณะที่รายการงานอื่นเป็นรายการงานที่เป็นลักษณะการจ้างเหมา ทำให้ปริมาณงานต่อความยาวรางมีค่าไม่สูงมาก

4.4 ข้อกำจัดในการใช้ข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) และแบบก่อสร้าง (Drawing)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) และแบบก่อสร้าง (Drawing) เป็นสำคัญ ดังนั้นงานวิจัยจำเป็นต้องกล่าวถึงข้อจำกัดจากการใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทั้งสองแหล่งดังที่ได้กล่าวมา

บัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity)

บัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) เป็นข้อมูลที่ได้จากการว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาในการก่อสร้างระบบราง ซึ่งแต่ละบริษัทมีวิธีการประมาณต้นทุนและถอดปริมาณงานที่แตกต่างกัน ทำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ให้ปริมาณที่ได้อาจผันผวนแตกต่างกันไปตามวิธีการของแต่ละบริษัท ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ ข้อมูลที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) เป็นข้อมูลที่ได้จากการถอดปริมาณงาน ไม่ใช่ปริมาณงานที่ก่อสร้างจริง ดังนั้นปริมาณงานอาจมีความไม่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บข้อมูลปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจริง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถือว่ามีความจำเป็นและเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการประมาณต้นทุนในอนาคต หากมีการเก็บข้อมูลจากการก่อสร้างจริง ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ บางรายการงานมีการประมาณต้นทุนจากความยาวโดยตรง ทำให้ปริมาณงานที่ใช้จริงอาจแตกต่างจากที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) อีกประการหนึ่งคือ ข้อมูลที่ได้จากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) อาจมีข้อผิดพลาด เช่น การคำนวณผิด ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องมีการตรวจสอบข้อมูลก่อนที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้

แบบก่อสร้าง (Drawing)

รายละเอียดบางอย่างของโครงการสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น รายละเอียดเกี่ยวกับแบบก่อสร้าง (Drawing) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ รวมถึงรายละเอียดบางอย่างในแบบก่อสร้าง (Drawing) อาจจะยังไม่ครบถ้วนอีกด้วย ทำให้การประมาณต้นทุนอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ แบบก่อสร้างของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทย มักใช้การออกแบบซ้ำ (Typical section) เพื่อให้ง่ายแก่การก่อสร้างและการดำเนินโครงการ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปัจจัยบางปัจจัยจะมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุน แต่เนื่องจากลักษณะของปัจจัยมีความเหมือนกันทุกๆรายการงาน ทำให้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แล้ว ทำให้ความสำคัญของปัจจัยลดน้อยลงกว่าความเป็นจริง ดังนั้นการใช้ข้อมูลจากแบบก่อสร้าง (Drawing) จึงยังมีข้อจำกัดบางประการอยู่

จากที่ได้กล่าวมา ถึงแม้ว่าแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีจำกัดบางประการอยู่ แต่ก็เป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่สามารถหาได้ในปัจจุบัน ดังนั้นการใช้ข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตามแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันก็เพียงพอที่จะสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน โดยคาดการณ์ว่าความถูกต้องของแบบจำลองประมาณต้นทุนน่าจะมีความถูกต้องอยู่ในระดับที่เพียงพอที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ในขั้นของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นคือ ความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 35% ด้วยข้อมูลที่มีอยู่น่าจะสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองให้ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวได้

บทที่ 5
การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่

เนื่องจากการศึกษาชิ้นนี้จำเป็นต้องมีการพิจารณาเลือกปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุน โดยข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นอาจจะสามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากการวิจัยในอนาคตมีข้อมูลปัจจัยที่สามารถทราบได้ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจะทำให้สามารถประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีการเก็บข้อมูลในด้านของปัจจัยที่หากทราบในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น จะสามารถพัฒนาความถูกต้องของการประมาณต้นทุนได้ และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการพัฒนาแบบจำลองในอนาคตต่อไป อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะมีปัจจัยที่สามารถช่วยในการพัฒนาความถูกต้องของแบบจำลองประมาณต้นทุนไม่ครบถ้วน ก็สามารถพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนภายใต้ข้อจำกัดดังที่กล่าวมาได้

การเก็บข้อมูลทำโดยการใช้แบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีความจำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ โดยจะพิจารณาปัจจัยที่มีความจำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของ 5 หมวดงาน ได้แก่ งานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) โดยกลุ่มตัวอย่างมีทั้งสิ้น 30 คน โดยผู้ให้สัมภาษณ์มาจากทั้งหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน สำหรับหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานที่ทำการเก็บข้อมูลคือ การรถไฟแห่งประเทศไทย สำหรับหน่วยงานภาคเอกชนนั้น หน่วยงานที่ทำการเก็บข้อมูลคือ บริษัทที่ปรึกษาและบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการระบบราง ซึ่งตำแหน่งของกลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการประมาณต้นทุนหรือวิศวกรโครงการโดยตรง เช่น วิศวกรระบบราง วิศวกรงานระบบอาณัติสัญญาณ วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรงานทาง วิศวกรงานจราจรและขนส่ง และวิศวกรประมาณต้นทุน

รูปแบบของการเก็บข้อมูลทำโดยการใช้แบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับปัจจัยที่จำเป็นต้องใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยแบ่งเป็น 5 หมวดงานดังที่ได้กล่าวไป ซึ่งระดับของความสำคัญจะแบ่งเป็น 5 ระดับคือ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด โดยแต่

ละระดับจะแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนเท่ากับ 1 – 5 ตามลำดับ รวมทั้งถามถึงข้อเสนอแนะเกี่ยวกับปัจจัยอื่นๆที่มีความจำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น และอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ว่าเหตุใดปัจจัยดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อกระบวนการในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น หลังจากนั้นจะนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยค่าที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหมวดงานต่างๆในโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

<table>
<tr><th>หมวดงาน</th><th>ปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุน</th><th>ระดับความสำคัญเฉลี่ย</th><th>P value</th></tr>
<tr><td rowspan="7">งานดิน</td><td>ความยาวราง</td><td>4.52</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>จำนวนสถานี</td><td>4.66</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>ขนาดของสถานี</td><td>4.45</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>จำนวนสถานีที่ต้องซ่อม</td><td>3.83</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>จำนวนโครงสร้างแต่ละประเภท</td><td>4.62</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td colspan="3">ปัจจัยอื่นๆ</td></tr>
<tr><td colspan="3">การวางแนวโครงการ สภาพดินในพื้นที่ก่อสร้าง ความสามารถในการเข้าถึงโครงการ ความสูงในการขุดและการถม</td></tr>
<tr><td rowspan="7">งานทางและงานโครงสร้าง</td><td>ความยาวของโครงสร้าง</td><td>4.41</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>ความกว้างของโครงสร้าง</td><td>4.03</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>จำนวนช่วงของโครงสร้าง</td><td>3.66</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>ระยะช่วงของโครงสร้าง</td><td>3.59</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>จำนวนช่องจราจร</td><td>3.55</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td colspan="3">ปัจจัยอื่นๆ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ชนิดของโครงสร้าง สภาพแวดล้อมของทาง ทางสับหลีก ความยาวของเสาเข็ม อุโมงค์</td></tr>
</table>

หมวดงาน	ปัจจัยปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุน	ระดับความสำคัญเฉลี่ย	P value
งานอาคารและงานสาธารณูปโภค	จำนวนสถานี	4.31	0.00
	ขนาดของสถานี	4.15	0.00
	จำนวนสถานีที่ต้องซ่อม	4.14	0.00
	ปัจจัยอื่นๆ		
	ระดับการตกแต่งหรืองานสถาปัตยกรรมของสถานี จำนวนผู้โดยสารแต่ละสถานี ความซับซ้อนของระบบสาธารณูปโภค อาคารประเภทอื่นๆ เช่น ที่พักเจ้าหน้าที่		
งานราง	ความยาวราง	4.59	0.00
	สภาพพื้นที่ก่อสร้าง	3.62	0.00
	ความหนาหินโรยทาง	3.55	0.00
	ความสูงคันทาง	3.86	0.00
	ความกว้างคันทาง	3.48	0.00
	ความกว้างราง	3.55	0.00
	จำนวนสถานี	3.17	0.00
	น้ำหนักเพลา	3.83	0.00
	ความกว้างเขตทาง	3.34	0.00
	ความเร็วขบวนรถ	3.59	0.00
	ปัจจัยอื่นๆ		
	พื้นที่การเวนคืน สภาพแวดล้อมของทาง ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ก่อสร้าง การโอนสิทธิ์ ค่านายหน้า กระบวนการก่อสร้าง		
งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร	จำนวนสถานี	3.83	0.00
	จำนวนจุดตัดทางรถไฟ	4.10	0.00
	ความยาวราง	3.48	0.00
	ขนาดของสถานี	3.50	0.00
	จำนวนป้ายหยุดรถ	3.03	0.00
	ปัจจัยอื่นๆ		
	ลักษณะและความซับซ้อนของทางสับหลีก ระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้		

เนื่องจากการเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล จึงต้องมีการประเมินความน่าเชื่อถือของผู้ตอบแบบสอบถามก่อน เพราะงานวิจัยนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญที่เก็บจากแบบสอบถาม หากคำตอบที่ได้มีลักษณะที่มีคะแนนสูงมากหรือน้อยมาก เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยจะได้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แต่ผลที่ได้มาจากข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือเพราะคำตอบไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของคำตอบก่อน โดยงานวิจัยนี้ใช้ค่า p value ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของคำตอบ ซึ่งค่าที่น้อยกว่าจะแสดงถึงความน่าเชื่อถือที่มากกว่า จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า ค่า p value ของทุกปัจจัยมีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งหมายความว่าคำตอบที่ได้มีความน่าเชื่อถือ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ผู้ตอบแบบสอบถามให้คำตอบในทิศทางเดียวกัน และคำตอบมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่แสดงในตารางข้างต้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5.1 จะพบว่า ระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนของงานในหมวดต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันไป รวมถึงความแตกต่างของจำนวนปัจจัยที่จำเป็นต้องใช้ในการประมาณต้นทุนในแต่ละหมวดหมู่งาน บางหมวดงานจำเป็นต้องใช้ปัจจัยหลายปัจจัยในการประมาณต้นทุน ในขณะที่บางหมวดงานสามารถใช้ปัจจัยเพียงไม่กี่ปัจจัยในการประมาณต้นทุน ในการศึกษาชิ้นนี้จะมีเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินปัจจัยที่มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของหมวดหมู่งานต่างๆ ที่เก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยจะตัดสินให้ปัจจัยใดๆมีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นเมื่อคะแนนของปัจจัยนั้นๆ มีค่ามากกว่า 3.5 หรือถือว่าปัจจัยนั้นมีระดับความสำคัญอยู่ในเกณฑ์ “ค่อนไปทางมาก” และมีการเพิ่มเติมปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญมีการแนะนำ และได้มีการอภิปรายและพิจารณาแล้วว่า มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบราง โดยแต่ละหมวดงานมีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1 งานดิน (Earthwork)

1. ความยาวราง

ความยาวรางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการก่อสร้างราง ซึ่งในงานวิจัยนี้รางจะวางอยู่บนคันดิน ดังนั้นยิ่งความยาวรางมีค่ามากขึ้น งานดิน (Earthwork) ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย เนื่องจากมีทั้งการขุด การถม และการบดอัดเข้ามาเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างคันดิน

2. จำนวนสถานี

จำนวนสถานีมีความเกี่ยวข้องกับงานดิน (Earthwork) เนื่องจากการก่อสร้างสถานีเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างฐานราก ดังนั้นจำนวนสถานีจึงส่งผลต่อปริมาณและต้นทุนของงานดิน (Earthwork) ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนงานดิน (Earthwork) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ขนาดของสถานี

ขนาดของสถานีส่งผลต่อต้นทุนงานดิน (Earthwork) เนื่องจากเมื่อสถานีมีขนาดใหญ่ขึ้น งานฐานรากจะมีปริมาณมากขึ้น เพราะฐานรากต้องรับน้ำหนักจากตัวสถานีเพิ่มขึ้น ต้นทุนงานดิน (Earthwork) จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

4. จำนวนสถานีที่ต้องซ่อม

การซ่อมแซมสถานี นอกจากจะมีการซ่อมแซมตัวสถานีแล้ว ในบางกรณีต้องมีการซ่อมแซมฐานรากด้วย ทำให้มีต้นทุนงานดิน (Earthwork) เกิดขึ้น ดังนั้นจำนวนสถานีที่ต้องซ่อมแซมจึงส่งผลต่อต้นทุนงานดิน (Earthwork)

5. จำนวนโครงสร้างแต่ละประเภท

ในการก่อสร้างโครงสร้างแต่ละประเภท จะมีงานดิน (Earthwork) เข้ามาเกี่ยวข้องในขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากโครงสร้างต้องมีการก่อสร้างฐานราก และสำหรับโครงสร้างบางชนิด เช่น ทางลอด จะมีการขุดดินเป็นงานหลักในขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนั้นจำนวนของโครงสร้างแต่ละประเภทจึงส่งผลต่อต้นทุนงานดิน (Earthwork) และจำเป็นต้องใช้ในการพิจารณา

6. สภาพดินในพื้นที่ก่อสร้าง

งานดิน (Earthwork) มีองค์ประกอบของงานปรับปรุงคุณภาพดิน โดยอาจทำในรูปของการขุดหน้าดินเดิมทิ้งและถมวัสดุคัดเลือกพร้อมทั้งบดอัดแทน ดังนั้นหากคุณภาพของดินบริเวณพื้นที่ที่มีการก่อสร้างมีคุณภาพไม่ดี งานดิน (Earthwork) ก็จะมีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7. ความสามารถในการเข้าถึงโครงการ

ความสามารถในการเข้าถึงโครงการส่งผลต่อต้นทุนในการนำเครื่องจักรเข้าไปทำงานภายในบริเวณโครงการ และอีกประการหนึ่งคือ โครงการจะมีต้นทุนในการถางป่าและขุดตอเพิ่มเข้ามา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนงานดิน (Earthwork)

8. ความสูงในการขุดและการถม

งานขุดและงานถมเป็นองค์ประกอบหนึ่งของงานดิน (Earthwork) ที่สามารถทำให้งานดิน (Earthwork) มีต้นทุนสูงได้หากการวางแนวรางไม่เหมาะสม เพราะทำให้มีงานขุดและงานถมมากเกินความจำเป็น จะเห็นได้ว่าความสูงในการขุดและถมมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานดิน (Earthwork)

5.2 งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ปัจจัยที่มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ได้แก่

1. ความยาวของโครงสร้าง

เนื่องจากความยาวของโครงสร้างส่งผลต่อปริมาณงานและต้นทุนของหมวดงานโดยตรง ยิ่งโครงสร้างมีความยาวมากขึ้น ต้นทุนและปริมาณงานย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2. ความกว้างของโครงสร้าง

ความกว้างของโครงสร้าง นอกจากจะส่งผลต่อต้นทุนและปริมาณงานแล้ว ความกว้างของโครงสร้างบางประเภทยังส่งผลให้โครงสร้างต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ทำให้การผลิตหรือการติดตั้งทำได้ยากยิ่งขึ้น ต้นทุนก็จะสูงตามไปด้วย

3. จำนวนช่วงของโครงสร้าง (Number of span)

ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่สืบเนื่องมาจากความยาวของโครงสร้าง จำนวนช่วงของโครงสร้างจะเพิ่มตามความยาวของโครงสร้าง ส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ระยะช่วงของโครงสร้าง (Span length)

ระยะช่วงของโครงสร้างส่งผลให้ต้นทุนของโครงสร้างสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่มีความยาวเท่ากัน โครงสร้างที่มีระยะช่วงยาวกว่าจะมีกระบวนการในการก่อสร้างที่ซับซ้อนกว่า และยังมีรายละเอียดข้อกำหนดในการออกแบบที่มีต้นทุนสูงกว่า เช่น มีการเสริมเหล็กมากกว่า ต้นทุนก็จะมีค่ามากกว่าตามไปด้วย

5. จำนวนช่องจราจร

ดังที่ได้กล่าวไปว่า ความกว้างของโครงสร้างส่งผลต้นทุนของโครงสร้างอย่างมาก อีกประการหนึ่งคือ เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการรวมหมวดงานทางเข้ากับงานโครงสร้าง ดังนั้นจำนวนช่องจราจรจึงมีผลต่อต้นทุนงานโครงสร้างเช่นกัน เนื่องจากต้องมีการก่อสร้างผิวทางเพิ่มเติม และยังมีค่าบำรุงรักษาผิวทางด้วย

6. ชนิดของโครงสร้าง

หากเปรียบเทียบสะพานทางรถไฟที่มีขนาดเท่ากันแล้ว จะเห็นว่าสะพานที่ก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะมีต้นทุนสูงกว่าสะพานที่ก่อสร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตมาก เนื่องจากราคาวัสดุมีค่าแตกต่างกันมาก จะเห็นว่า ถึงแม้โครงสร้างจะมีขนาดเท่ากันแต่ก็มีต้นทุนที่แตกต่างกันเนื่องจากชนิดของโครงสร้างที่ใช้ ดังนั้นชนิดของโครงสร้างจึงมีผลอย่างมากต่อต้นทุนของโครงสร้าง

7. สภาพแวดล้อมของสถานที่ก่อสร้าง

จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ พบว่าสถานที่ที่ก่อสร้างนั้น มีความสำคัญอย่างมากต่อต้นทุนในการก่อสร้าง เช่น แหล่งวัสดุก่อสร้างอยู่ห่างไกลจากสถานที่ก่อสร้าง ทำให้ต้นทุนในการขนส่งมีค่ามากขึ้น หรือสถานที่ก่อสร้างเป็นสถานที่ที่ยากต่อการเข้าถึง ทำให้มีต้นทุนในการขนส่งหรือการเตรียมพื้นที่ค่อนข้างมาก อีกประการหนึ่งคือ ลักษณะของพื้นที่ส่งผลต่อการเลือกประเภทของโครงสร้างที่จะมีการก่อสร้าง เนื่องจากในพื้นที่หนึ่งๆอาจมีความเหมาะสมในการก่อสร้างโครงสร้างประเภทต่างๆแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่

8. อุโมงค์

ผู้เชี่ยวชาญท่านหนึ่งแนะนำว่า อุโมงค์เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อหมวดงานทางและงานโครงสร้างมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นงานที่มีมูลค่าสูงมากในการก่อสร้าง อีกทั้งยังใช้ระยะเวลายาวนานในการก่อสร้าง จึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ แต่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า อุโมงค์ไม่สามารถนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ได้ เนื่องจากมีเพียงโครงการเดียวที่มีการก่อสร้างอุโมงค์ ทำให้จำนวนข้อมูลที่จะนำมาพัฒนาแบบจำลองและทดสอบความถูกต้องไม่เพียงพอ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวก็มีความสำคัญในการประมาณต้นทุน ดังนั้นจึงควรที่จะมีการเก็บข้อมูลเพื่อเป็นประโยชน์ในการประมาณต้นทุนในอนาคต

9. ความยาวเสาเข็ม

ความยาวเสาเข็มเป็นปัจจัยที่สืบเนื่องมาจากน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งนอกจากความยาวของเสาเข็มจะส่งผลต่อต้นทุนของเสาเข็มเองแล้ว อีกนัยหนึ่งยังแสดงถึงความแข็งแรงของพื้นที่ที่รองรับโครงสร้างและปริมาณงานของโครงสร้างด้วย ทำให้สามารถใช้ปัจจัยดังกล่าวในการประมาณต้นทุนงานโครงสร้างได้

5.3 งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

ปัจจัยที่มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ได้แก่

1. จำนวนสถานี

เนื่องจากจำนวนสถานีมีความสัมพันธ์กับต้นทุนของหมวดงานนี้โดยตรง เพราะต้นทุนหลักของหมวดงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) คือสถานี ถึงแม้ว่าจะมีอาคารประเภทอื่นๆ แต่อาคารที่มีจำนวนมากที่สุด คือ สถานี ทำให้ปัจจัยที่กล่าวมามีความสำคัญมากต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้น

2. ขนาดของสถานี

ขนาดของสถานีมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางเช่นกัน เนื่องจากงานก่อสร้างอาคารโดยทั่วไป ปัจจัยที่มีความสำคัญและมักถูกใช้บ่อยๆในการประมาณต้นทุนคือ พื้นที่ของอาคาร เช่นเดียวกับการก่อสร้างสถานี ปัจจัยทางด้านพื้นที่จึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันในการประมาณต้นทุน

3. จำนวนสถานีที่ต้องปรับปรุง

สำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่นั้น นอกจากจะมีการสร้างสถานีใหม่แล้ว การปรับปรุงซ่อมแซมสถานีเก่า ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำสถานีเก่ากลับมาใช้งาน ซึ่งการปรับปรุงสถานีนั้นจะมีการเลือกสถานีที่จะมีการปรับปรุง โดยพิจารณาความคุ้มค่าเปรียบเทียบกับการสร้างสถานีใหม่เป็นเกณฑ์ ซึ่งสถานีขนาดเล็กมักเลือกใช้การก่อสร้างใหม่มากกว่าการซ่อมแซมเนื่องจากต้นทุนในการก่อสร้างใหม่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก หากพิจารณาดูแล้ว จำนวนสถานีที่ต้องมีการปรับปรุงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการก่อสร้างสถานีใหม่ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบราง

4. ระดับการตกแต่งหรืองานสถาปัตยกรรมของสถานี

จากการสอบถามพบว่า ต้นทุนทางด้านงานสถาปัตยกรรมมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของต้นทุนรวมในการก่อสร้างสถานี ถึงแม้ว่าการรถไฟแห่งประเทศไทยจะมีการกำหนดแบบมาตรฐานของสถานีขนาดต่างๆไว้ แต่งานสถาปัตยกรรมก็มีส่วนอย่างมากในการทำให้ต้นทุนมีค่าแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นสถานีที่มีขนาดเท่ากัน ดังนั้นการคำนึงถึงลักษณะทางสถาปัตยกรรมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประมาณต้นทุนของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

5. จำนวนผู้โดยสารในแต่ละสถานี

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในงานวิจัยนี้มีการรวมงานสาธารณูปโภคเข้ากับงานอาคาร จำนวนผู้โดยสารในแต่ละสถานีจะส่งผลต่อขนาดของระบบสาธารณูปโภค เนื่องจากต้องมีการออกแบบระบบสาธารณูปโภคให้สามารถรองรับจำนวนของผู้โดยสารให้มีความพอเพียงในแต่ละสถานี ซึ่งจำนวนผู้โดยสารสามารถทราบได้จากการประมาณในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น โดยจำนวนผู้โดยสารคำนวณจากข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตหรือความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ที่มีการก่อสร้างและจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการระบบรางในพื้นที่ต่างๆ

6. ประเภทของอาคารอื่นๆ

นอกจากสถานีแล้ว ยังมีอาคารประเภทอื่นๆที่อยู่ในหมวดงานอาคาร ซึ่งหากนำมาพิจารณาก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากแก่การประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบราง เนื่องจากองค์ประกอบ

และลักษณะต่างๆของอาคารแต่ละประเภทก็มีความแตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนและวิธีในการประมาณต้นทุนแตกต่างกันไป ดังนั้นประเภทของอาคารจึงมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนของโครงการ

5.4 งานราง (Track work)

ปัจจัยที่มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ได้แก่

1. ความยาวราง

ผลการศึกษาพบว่า ความยาวส่งผลต่อต้นทุนและปริมาณวัสดุก่อสร้างโดยตรง ยิ่งความยาวรางมากขึ้น ปริมาณวัสดุต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้างก็จำเป็นต้องใช้มากตามไปด้วย ตัวอย่างของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างราง เช่น เหล็กราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง ประแจ และหินโรยทาง เป็นต้น ซึ่งเมื่อมีการก่อสร้างมากขึ้น ปริมาณวัสดุที่ใช้ก็มีค่ามากขึ้นเช่นกัน

2. สภาพพื้นที่ก่อสร้าง

สภาพพื้นที่ก่อสร้างมีผลอย่างมากต่อต้นทุนในการก่อสร้าง เนื่องจากสภาพพื้นที่ของโครงการส่งผลต่อกระบวนการในการก่อสร้าง เช่น หากพื้นที่ที่ก่อสร้างอยู่บนพื้นที่ที่ดินอ่อนนุ่ม ก่อนการก่อสร้างต้องมีการบดอัดดินก่อน หรือถ้าหากพื้นที่มีระดับต่ำก็ต้องมีการถมพื้นที่ให้ได้ระดับก่อน อีกประการหนึ่งคือ ความสามารถในการเข้าถึงแหล่งทรัพยากรหรือวัสดุก่อสร้าง หากต้องมีการขนส่งวัสดุเป็นระยะทางไกลๆ ต้นทุนที่เกิดขึ้นก็จะมีค่ามาก

3. ความหนาหินโรยทาง

โดยธรรมชาติของการก่อสร้างระบบรางที่ตั้งอยู่บนพื้นดินนั้น การเตรียมพื้นที่จะแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆในการก่อสร้าง ตัวอย่างในการแบ่งชั้น ได้แก่ subbase, base และ surface เป็นต้น กรณีของรางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย เป็นระบบรางที่วางอยู่บนพื้นดิน ซึ่งหมอนรองรางจะวางอยู่เป็นชั้นหินโรยทาง ซึ่งความหนาของหินโรยทางจะมีมาตรฐานในการออกแบบกำหนดไว้ อย่างไรก็ตามความหนาหินโรยทางที่มากขึ้น จะทำให้ต้นทุนเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากการก่อสร้างระบบรางเป็นการก่อสร้างระบบเป็นระยะทางไกล หากมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานความหนาหินโรยทาง จะส่งผลต่อต้นทุนในการก่อสร้างอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณการใช้ที่มาก

4. ความสูงคันทาง

เช่นเดียวกับความหนาหินโรยทาง ความสูงคันทางมีการกำหนดมาตรฐานในการออกแบบเช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงมาตรฐานจะส่งผลต่อต้นทุนในการก่อสร้างค่อนข้างมาก เนื่องจากการก่อสร้างระบบรางเป็นการก่อสร้างเป็นระยะทางไกล ในกรณีของความสูงคันทางนั้น ความสูงที่มากขึ้นหมายถึงปริมาณวัสดุถมที่มากขึ้น ปริมาณการบดอัดที่มากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อความสูงคันทางมีค่ามากขึ้น ระยะในแนวราบอันเนื่องจากการคำนวณความลาดเทเพื่อป้องกันการถล่มของดินก็มีค่ามากตามไปด้วย ทำให้ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากขึ้น และส่งผลทำให้ต้องมีการเวนคืนพื้นที่มากขึ้น

5. ความกว้างราง

ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน ความกว้างรางของโครงการที่รับผิดชอบโดยการรถไฟแห่งประเทศไทยจะมีข้อกำหนดในการออกแบบเพียงความกว้างเดียว เนื่องจากต้องการให้ขบวนรถสามารถวิ่งได้ตลอดทั้งโครงข่ายของระบบราง แต่ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความเห็นว่า ในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างรางในการออกแบบได้ ขึ้นกับขบวนรถที่จะมีการสั่งซื้อเข้ามา ซึ่งความกว้างรางจะส่งผลต่อปริมาณวัสดุก่อสร้างชั้นทางที่ใช้ในการก่อสร้าง

6. น้ำหนักเพลา

สาเหตุที่ทำให้น้ำหนักเพลามีความสำคัญในการประมาณต้นทุนคือ น้ำหนักเพลาของขบวนรถส่งผลต่อออกแบบระบบรางทั้งหมด เนื่องจากวิศวกรต้องมีการออกแบบชั้นทางเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของขบวนรถได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ทั้งทางด้านความปลอดภัยและความคงทนของชั้นทาง หากออกแบบต่ำกว่ามาตรฐานจะทำให้ต้องมีการบำรุงรักษาบ่อยครั้งเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นน้ำหนักเพลาจึงมีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนในการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่

7. ความเร็วขบวนรถ

เช่นเดียวกับน้ำหนักเพลา ความเร็วขบวนรถที่ใช้ในการออกแบบส่งผลต่อการออกแบบระบบรางทั้งหมด เนื่องจาก เมื่อขบวนรถมีความเร็วมากขึ้น แรงกระแทกเมื่อขบวนรถวิ่งและการเลี้ยวของขบวนรถ จะส่งผลให้แรงกระทำต่อชั้นทางมาก ชั้นทางจะเกิดการสึกหรอเร็ว อีกประการหนึ่งคือ ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากในบริเวณที่ขบวนรถมีการเข้าโค้ง โดยรัศมีความโค้งที่กำหนดจะมีค่ามาก

ขึ้นตามความเร็วขบวนรถ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจะใช้มาตรฐานที่มีการกำหนดไว้ในการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วขบวนรถ และต้นทุนที่ใช้ก็จะมีค่ามากขึ้นตามความเร็วขบวนรถด้วย

8. พื้นที่การเวนคืน

หากต้นทุนในการเวนคืนถูกรวมอยู่ในต้นทุนค่าก่อสร้างโครงการระบบรางคู่ ต้นทุนในการก่อสร้างจะมีมูลค่าสูง และส่งผลต่อต้นทุนของโครงการมาก เนื่องจากข้อกำหนดในการออกแบบระบบรางของการรถไฟแห่งประเทศไทยมีการกำหนดความกว้างเขตทางไว้ ซึ่งหากในบริเวณใด พื้นที่ที่การรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นเจ้าของมีพื้นที่ไม่เพียงพอ จะต้องมีการเวนคืนที่ที่เป็นทางผ่านในบริเวณดังกล่าว ซึ่งต้นทุนในการเวนคืนมีมูลค่าสูงมาก จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาร่วมด้วย

9. ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ก่อสร้าง

นอกจากความสะดวกในการหาแหล่งวัสดุก่อสร้างแล้ว ปัจจัยทางด้านพื้นที่ที่มีผลต่อต้นทุนในการก่อสร้างระบบรางคือ ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนในการเตรียมพื้นที่ เช่น หากโครงการไม่สามารถเข้าถึงได้โดยง่าย ทำให้ต้องมีการใช้เครื่องจักรเฉพาะในการขนส่ง หรือพื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแถบทุรกันดาร ต้องมีการสร้างทางหรือต้องมีการบุกเบิกพื้นที่เข้าไปก่อนที่จะสามารถก่อสร้างได้ ต้นทุนในการก่อสร้างก็จะมีค่ามากตามไปด้วย

5.5 งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

ปัจจัยที่มีความจำเป็นในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ได้แก่

1. จำนวนสถานี

เนื่องจากระบบอาณัติสัญญาณ มีหน้าที่หลักในการสื่อสารระหว่างขบวนรถและสถานี ในการสื่อสารให้ขบวนรถเข้าเทียบชานชาลาหรือสื่อสารให้ขบวนรถออกจากสถานี ดังนั้นจำนวนสถานีจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการใช้ประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

2. จำนวนจุดตัดทางรถไฟ

นอกจากระบบอาณัติสัญญาณจะมีบทบาทในการสื่อสารระหว่างขบวนรถแล้วสถานีแล้ว ระบบอาณัติสัญญาณยังมีบทบาทในการให้สัญญาณการจราจรอีกด้วย โดยระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารจะอยู่ในจุดที่เป็นจุดตัดทางรถไฟ ไม่ว่าจะเป็นจุดตัดระหว่างทางรถไฟกับถนน หรือจุดตัด

ระหว่างทางรถไฟกับทางคนเดิน ต่างก็จำเป็นที่จะต้องมีระบบอาณัติสัญญาณในการสื่อสารและอำนวยความสะดวกในด้านการจราจร เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณจุดตัดทางรถไฟ

3. ขนาดของสถานี

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า หน้าที่หลักของระบบอาณัติสัญญาณคือ การสื่อสารระหว่างขบวนรถและสถานีเพื่อเป็นการให้สัญญาณเทียบชานชาลาหรือออกจากสถานี หากสถานีใดมีปริมาณการเข้าออกของขบวนรถมาก ระบบอาณัติสัญญาณก็จะมีความซับซ้อนและมีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่า ปริมาณการเข้าออกของขบวนรถจะมีปริมาณสัมพันธ์กับขนาดของสถานี เนื่องจากในขั้นตอนของการวางแผน จะมีการพิจารณาจำนวนขบวนรถและปริมาณผู้โดยสารในแต่ละสถานี ซึ่งหากมีปริมาณขบวนรถและผู้โดยสารมาก สถานีดังกล่าวจะถือว่าเป็นสถานีที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณผู้โดยสารและขบวนรถ ดังนั้นขนาดของสถานีจึงมีความสัมพันธ์กับการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

4. ลักษณะและความซับซ้อนของทางสับหลีก

จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญพบว่า ความซับซ้อนของทางสับหลีกส่งผลอย่างมากต่อต้นทุนของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร ตัวอย่างความซับซ้อนของทางสับหลีก ได้แก่ จำนวนจุดบรรจบของรางและจำนวนทางแยกของราง ยิ่งบริเวณทางสับหลีกมีจำนวนจุดบรรจบของรางทั้งเข้าและออกมาก ต้นทุนของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารก็จะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากความซับซ้อนของระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งถึงแม้ว่าลักษณะของทางสับหลีกจะมีลักษณะเหมือนกันแต่ก็ยังรายละเอียดอื่นๆที่ทำให้งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารที่ใช้มีความแตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ต้นทุนของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารเป็นต้นทุนที่มีความซับซ้อน และมีความยากอย่างยิ่งในการประมาณต้นทุน

5.6 การนำข้อมูลปัจจัยที่มีความจำเป็นในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางไปใช้ประโยชน์และข้อจำกัดของข้อมูลในปัจจุบัน

จากที่ได้กล่าวมาถึงปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานต่างๆในการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่ ผู้เชี่ยวชาญหลายๆท่านต่างแนะนำถึงปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้น แต่ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ ปัจจัยบางปัจจัยไม่มีการเก็บข้อมูลหรือไม่สามารถทราบได้ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ทำให้ไม่สามารถใช้ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ

แนะนำในการประมาณต้นทุนได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลสามารถใช้เป็นแนวทางในการเตรียมข้อมูลปัจจัยเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นในอนาคต เพื่อให้สามารถพัฒนาความถูกต้องของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

กล่าวโดยสรุปคือ เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามบางปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำ อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของความครบถ้วนของข้อมูลในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ทำให้ไม่สามารถใช้ปัจจัยดังกล่าวได้ทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้น แต่สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางในการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้ สำหรับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานวิจัยนี้ อาจใช้ปัจจัยเหมือนหรือแตกต่างจากข้อมูลที่ได้กล่าวถึงในส่วนนี้ โดยงานวิจัยเลือกใช้ปัจจัยจากความครบถ้วนของข้อมูลและลักษณะความสัมพันธ์ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ทำให้ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองอาจมีความแตกต่างจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญที่ได้กล่าวถึงในส่วนนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

จากที่ได้กล่าวมาว่า ความถูกต้องและความแม่นยำของผลที่ได้จากแบบจำลองในการประมาณต้นทุนนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงการและลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง การศึกษาในครั้งนี้จึงได้มีความพยายามที่จะสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นในการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่โดยมีกรณีศึกษาเป็นโครงการก่อสร้างรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยวิธีการที่ได้มีการทดลองเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการประมาณต้นทุนนั้น ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย ส่วนปัจจัยที่ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองได้ถูกกล่าวถึงในบทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีต่างๆ ที่ถูกทดลองเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการระบบรางคู่ รวมถึงความถูกต้องที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ โดยการพัฒนาและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้น ใช้ข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) และแบบก่อสร้างจากโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ของการรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลจากโครงการก่อสร้างรางรถไฟรางคู่จำนวนทั้งสิ้น 5 โครงการ โดยใช้ข้อมูลจากทุกโครงการในการพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการต่างๆที่จะกล่าวถึง และใช้จำนวนข้อมูลประมาณ 10% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม หากจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในหมวดนั้นๆมีปริมาณน้อย จะใช้ตัวอย่างทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลอง และพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพัฒนาแบบจำลอง โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องจะถูกเลือกอย่างสุ่มมาจากทุกโครงการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

จากที่ได้กล่าวในบทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล หมวดงานที่ถูกเลือกใช้เพื่อนำมาเป็นหมวดงานตัวแทนในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ประกอบด้วย 5 หมวดงานด้วยกัน ได้แก่

- งานดิน (Earthwork)
- งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)
- งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

- งานราง (Track work)
- งานระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling and Telecommunication work)

โดยการพิจารณาผลรวมมูลค่าของงานหลักทั้ง 5 หมวดต่อมูลค่าโครงการนั้นมีสัดส่วนสูงที่สุดต้นทุนในการก่อสร้างโครงการระบบรางคู่ ยิ่งไปกว่านั้น สัดส่วนรวมของทั้ง 5 หมวดงานหลักที่ได้กล่าวมา ยังมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับหมวดงานอื่นๆ เนื่องจากสามารถปรับแก้ต้นทุนในการประมาณต้นทุนไม่แปรปรวนมากนัก โดยแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหมวดงานต่างๆ จะอธิบายในส่วนถัดไป

6.1 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

สำหรับงานดิน (Earthwork) จะเห็นได้ว่าจากตารางที่ 4.4 สัดส่วนของรายการงานต่างในหมวดงานดิน (Earthwork) มีความแตกต่างกันมากในแต่ละโครงการ เนื่องจากสภาพพื้นที่ก่อสร้างของแต่ละโครงการแตกต่างกัน ทำให้การเตรียมพื้นที่และการปรับปรุงสภาพก่อสร้างแตกต่างกัน งานดิน (Earthwork) จึงมีสัดส่วนรายการงานต่างๆที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการประมาณต้นทุนจากปริมาณงานรายการงานประเภทต่างๆ และนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) จึงทำได้ยาก อีกทั้งเมื่อพิจารณาต้นทุนงานดิน (Earthwork) ต่อความยาวรางแล้ว พบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันมาก ทั้งต้นทุนต่อความยาวรางของแต่ละรายการงาน และต้นทุนทั้งหมดต่อความยาวราง ดังนั้นการประมาณต้นทุนรวมของงานดิน (Earthwork) จึงเป็นแนวคิดที่มีความเหมาะสมมากกว่า

6.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

ดังที่ได้กล่าวมา ต้นทุนงานดิน (Earthwork) ไม่สามารถพัฒนาแบบจำลองในการประมาณโดยใช้ความยาวรางเพียงปัจจัยเดียวในการประมาณต้นทุนได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) โดยปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ได้แก่

- ความยาวราง
- จำนวนสถานีขนาดต่างๆ
- จำนวนสถานีที่ต้องซ่อมแซม

- จำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ

สำหรับขนาดของสถานีจะมี 4 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และขนาดใหญ่พิเศษ ส่วนประเภทของโครงสร้างนั้น แบ่งเป็นหลายประเภทด้วยกัน ดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.3.2

สาเหตุที่เลือกปัจจัยดังกล่าวในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพของโครงการที่มีความเกี่ยวข้องกับงานดิน (Earthwork) ดังที่ได้กล่าวมาว่า ต้นทุนงานดิน (Earthwork) ไม่สามารถประมาณต้นทุนแยกตามรายการงานได้ เนื่องจากสัดส่วนของรายการงานในแต่ละโครงการมีความแตกต่างกันมาก จึงต้องประมาณต้นทุนรวมของงานดิน (Earthwork) ซึ่งสอดคล้องกับความเหมาะสมของข้อมูลมากกว่า อีกทั้งงานดิน (Earthwork) ยังเป็นงานที่มีความเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคาร โครงสร้าง และราง จึงเลือกใช้ปัจจัยดังที่ได้กล่าวมานี้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

6.1.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

ดังที่ได้กล่าวมา งานวิจัยนี้จะใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองมีเพียง 5 ตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) ได้ เนื่องจากจำนวนข้อมูลมีจำกัด สำหรับแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองจะใช้ 2 แนวคิดด้วยกันในการพัฒนาแบบจำลองได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ
- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

1. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ

สำหรับแนวคิดดังกล่าว เป็นการใช้ปัจจัยทางกายภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับงานดิน (Earthwork) ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) โดยมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

A_1 = ความยาวราง

A_2 = จำนวนสถานีขนาดเล็ก

A_3 = จำนวนสถานีขนาดกลาง

A_4 = จำนวนสถานีขนาดใหญ่

A_5 = จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ

A_6 = จำนวนสถานีที่ต้องปรับปรุง

A_7 = จำนวนทางข้าม

A_8 = จำนวนทางลอด

A_9 = จำนวนสะพานกลับรถ

A_{10} = จำนวนทางลอดท่อเหลี่ยม

A_{11} = จำนวนสะพาน

Cost = ต้นทุนที่ได้จากการประมาณ

สำหรับวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจะใช้ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนงานดิน (Earthwork) และปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งสมการที่ได้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Cost} = -(5.2E+06)A_1 + (7.0E+07)A_5 - (3.5E+07)A_6 + (1.6E+07)A_7 + (7.7E+07)A_9 + (1.5E+07)A_{10} \quad (6.1)$$

หมายเหตุ : ใช้ได้ในกรณีที่ 1. ความกว้างไหล่ทางมีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตร

2. พื้นที่ที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน มีความสูงไม่เกิน 3 เมตร

ความคลาดเคลื่อนที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานดิน โดยใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนงานดินรวม (ล้านบาท)	2,765	1,403	1,145	1,607	1,333
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.65E-04	1.20E-04	3.34E-04	3.28E-04	1.65E-04
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.02E-04				

จากสมการที่ได้จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม มีค่าน้ำหนักของปัจจัยหลายปัจจัยที่ติดลบ ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่า เมื่อปริมาณงานเพิ่มต้นทุนจะเพิ่มตามไปด้วย ดังนั้นการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยจึงมีความสำคัญ

2. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

สำหรับแนวคิดนี้ จะมีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้ติดลบ เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนถึงความเป็นจริงมากขึ้น คือ เมื่อมีปริมาณงานมากขึ้น ต้นทุนจะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยปัจจัยที่ใช้และวิธีการจะใช้ปัจจัยและวิธีการเดียวกันกับแนวคิดที่ 1 โดยแบบจำลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Cost} = (2.1E{+}06)A_1 + (4.4E{+}08)A_2 + (4.4E{+}08)A_3 + (4.6E{+}06)A_7 + (2.6E{+}07)A_9 + (8.3E{+}06)A_{10} \quad (6.2)$$

หมายเหตุ : ใช้ได้ในกรณีที่ 1. ความกว้างไหล่ทางมีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตร

2. พื้นที่ที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน มีความสูงไม่เกิน 3 เมตร

ความคลาดเคลื่อนที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานดิน โดยใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองโดยจำกัดค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนงานดินรวม (ล้านบาท)	2,765	1,403	1,145	1,607	1,333
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.00	4.00	0.00	3.67	4.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.33				

จากความคลาดเคลื่อนที่ได้ จะเห็นว่า ถึงแม้ว่าจะมีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ให้ติดลบ ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ถึงแม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่ามากกว่าแนวคิดที่ 1 โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความยาวราง จำนวนสถานี และจำนวนโครงสร้างเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) และเมื่อใช้ปัจจัยเหล่านี้ในการพัฒนาแบบจำลองและประมาณต้นทุน ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ

6.1.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานดิน (Earthwork)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากหัวข้อที่ 5.1.2 เมื่อนำความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้แนวคิดที่ 1 และ 2 มาเปรียบเทียบกันจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองประมาณต้นทุนงานดินจากแนวคิดต่างๆ

โครงการ	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานดิน (%)	
	แนวคิดที่ 1	แนวคิดที่ 2
1	0.65E-04	0.00
2	1.20E-04	4.00
3	3.34E-04	0.00
4	3.28E-04	3.67
5	1.65E-04	4.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.02E-04	2.33

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองทั้ง 2 แนวคิด พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่จากการพัฒนาแบบจำลองแนวคิดที่ 1 มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนจากแนวคิดที่ 1 ไม่มีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนัก ทำให้ค่าน้ำหนักที่ได้บางค่ามีค่าติดลบ ซึ่งขัดกับความเป็นจริง เนื่องจากค่าน้ำหนักที่ติดลบแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณงานมากขึ้น ต้นทุนรวมจะลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับความจริง ดังนั้นการใช้แบบจำลองที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้แนวคิดที่ 2 จึงมีความเหมาะสมกว่า อีกทั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากซึ่งเพียงพอกับการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ดังนั้นการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากการกพัฒนาโดยใช้แนวคิดที่ 2 ที่มีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยเป็นตัวแทนแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

6.1.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ในงานวิจัยนี้ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุน ดังนั้นจำนวนข้อมูลจึงมีเพียง 5 โครงการเท่ากับจำนวนโครงการที่ใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งมีจำนวนไม่มาก จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลโครงการทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลอง ทำให้การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ต้องทดสอบกับข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งค่าความ

คลาดเคลื่อนจากแบบจำลองที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนงานดิน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง (%)	0.00	4.00	0.00	3.67	4.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.33				

จากผลลัพธ์ที่ได้ สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ได้ในระดับความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ จึงสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ได้

6.1.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork)

จากการพัฒนาแบบจำลองที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลายปัจจัยไม่ได้แสดงในสมการ เนื่องจากปัจจัยบางปัจจัยมีค่าคงที่ในทุกโครงการ ทำให้ปัจจัยไม่มีความผันผวน ทำให้ปัจจัยเหล่านั้นไม่สามารถเปรียบเทียบได้ในการพัฒนาแบบจำลองและไม่ปรากฏในสมการ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยดังกล่าวมีความสำคัญและเป็นขอบเขตรวมถึงข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ซึ่งข้อจำกัดต่างๆที่เกี่ยวข้องสามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. ความกว้างไหล่ทางมีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตร
2. พื้นที่ที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน มีความสูงไม่เกิน 3 เมตร

6.2 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

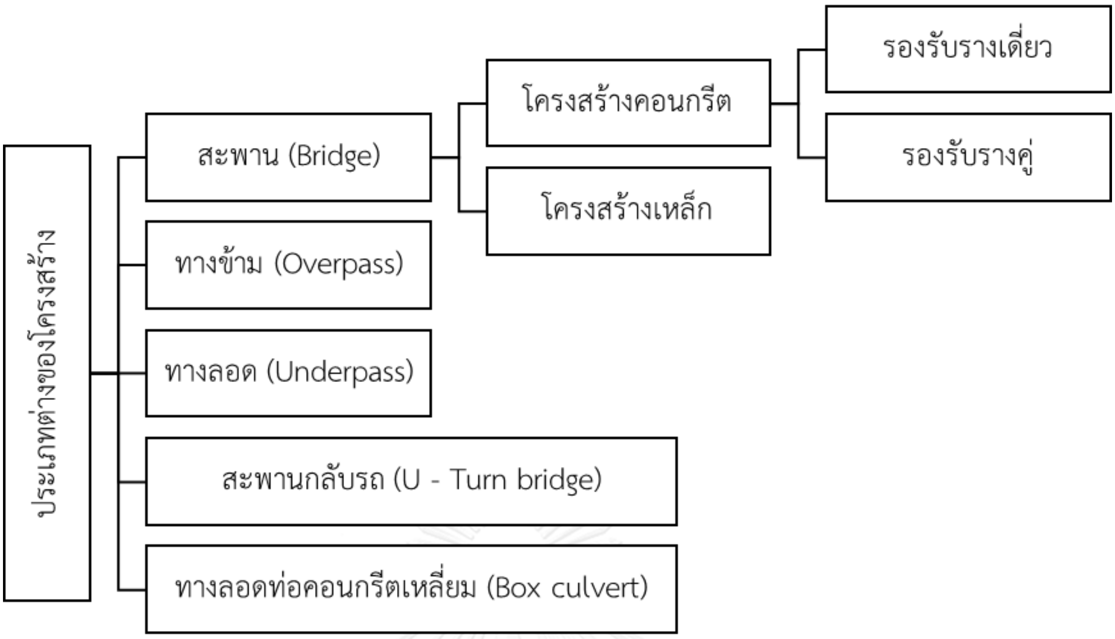
สำหรับงานทางและงานโครงสร้าง ได้มีการรวมงานทั้งสองหมวดเข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการพิจารณาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เนื่องจากงานทางเป็นงานที่เกิดควบคู่กับงานโครงสร้างเสมอ อีกทั้งผู้รับเหมาที่รับผิดชอบการก่อสร้างโครงสร้างจะถูกมอบหมายให้รับผิดชอบงานทางไปในตัว ทำให้การ

ประมาณต้นทุนมักจะมีการพิจารณารวมกัน อีกทั้งเมื่อพิจารณามูลค่าของหมวดงานทั้งสอง แล้วพบว่ามูลค่าของหมวดงานทางนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมูลค่าของหมวดงานโครงสร้าง (ประมาณ 8%) และสัญญาบางสัญญายังมีการรวมหมวดงานทั้งสองหมวดไว้ในบัญชีแสดงปริมาณงานเดียวกัน การศึกษาครั้งนี้จึงมีการรวมหมวดงานทั้งสองนี้ไว้ด้วยกัน โดยพิจารณาจากหมวดงานโครงสร้างเป็นหลัก สำหรับงานโครงสร้าง สามารถแบ่งประเภทโครงสร้างได้ดังนี้

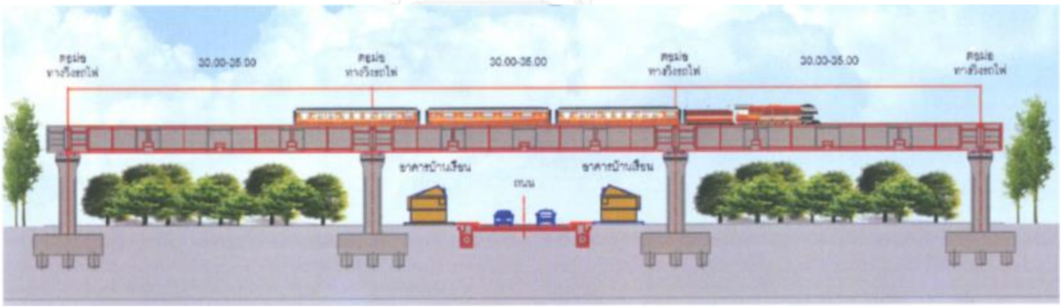
- สะพาน
    - โครงสร้างคอนกรีต
        - ทางที่รองรับรางเดี่ยว
        - ทางที่รองรับรางคู่
    - โครงสร้างเหล็ก
- ทางข้าม (Overpass)
- ทางลอด (Underpass)
- ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)
- สะพานกลับรถ (U – Turn bridge)

โดยองค์ประกอบของโครงสร้างสามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 6.1 และลักษณะของโครงสร้างประเภทต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2 – 6.5

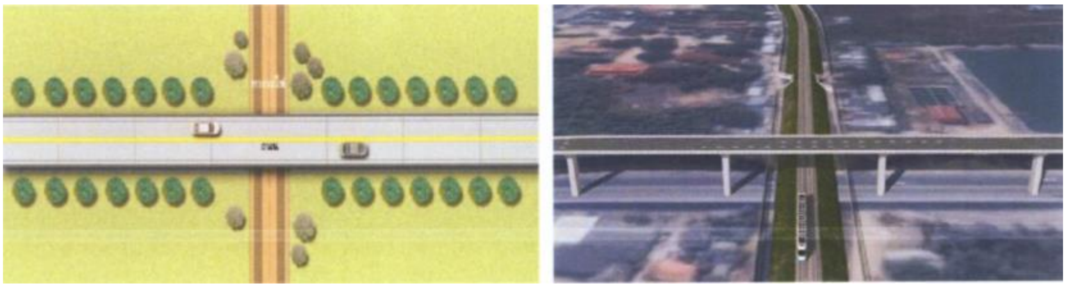
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6.1 ประเภทของโครงสร้าง

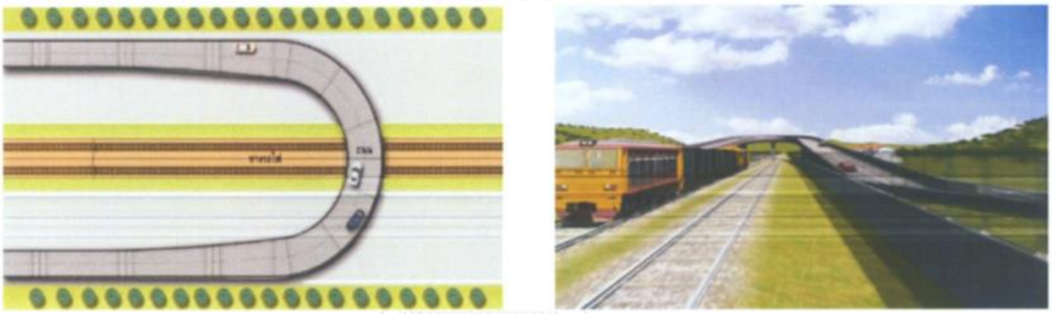


รูปที่ 6.2 สะพาน (Bridge)



รูปที่ 6.3 ทางข้าม (Overpass)

รูปที่ 6.4 ทางลอด (Underpass) และทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)



รูปที่ 6.5 สะพานกลับรถ (U - Turn bridge)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ดังที่กล่าวมา องค์ประกอบต้นทุนงานโครงสร้างมีลักษณะที่แตกต่างกันและการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง จะพิจารณาจากงานโครงสร้างเป็นสำคัญ ดังนั้นปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองของโครงสร้างประเภทต่างๆจะแตกต่างกันไป ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะได้จากการศึกษาทางคณิตศาสตร์และการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญที่มีหน้าที่ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาโครงสร้างประเภทต่างๆ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- สะพาน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะโครงสร้าง ได้แก่
  - โครงสร้างคอนกรีต
    - ทางที่รองรับรางเดี่ยว

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง ความกว้างของโครงสร้าง จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length)

จากการพิจารณาพบว่า จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length) เป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบอย่างละเอียด ดังนั้นในช่วงของขั้นตอนการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการพิจารณา ส่วนความกว้างของโครงสร้างนั้น เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่มีความกว้างแตกต่างกันไม่มากเพราะความกว้างของโครงสร้างถูกกำหนดด้วยขนาดของรางอยู่แล้ว อีกประการหนึ่งคือมีจำนวนตัวอย่างที่มีความกว้างเท่ากันอยู่มาก ทำให้เมื่อพิจารณาโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ได้จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จึงมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากที่สุดที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนคือ ความยาวของโครงสร้าง โดยค่าน้ำหนักที่ได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์เมื่อทำการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ให้อยู่ในช่วง (0,1) จะได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยความกว้างและความยาวของโครงสร้างเท่ากับ 0 และ 0.90 ตามลำดับ

- ทางที่รองรับรางคู่

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง ความกว้างของโครงสร้าง จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length)

จากการพิจารณาพบว่า จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length) เป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบอย่างละเอียด ดังนั้นในช่วงของขั้นตอนการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการพิจารณา ส่วนความกว้างของโครงสร้างนั้น เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่มีความกว้างแตกต่างกันไม่มากเพราะความกว้างของโครงสร้างถูกกำหนดด้วยขนาดของรางอยู่แล้ว อีกประการหนึ่งคือมีจำนวนตัวอย่างที่มีความกว้างเท่ากันอยู่มาก ทำให้เมื่อพิจารณาโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ได้จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จึงมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากที่สุดที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนคือ ความยาวของโครงสร้าง โดยค่าน้ำหนักที่ได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์เมื่อทำการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ให้อยู่ในช่วง (0,1) จะได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยความกว้างและความยาวของโครงสร้างเท่ากับ 0 และ 1.00 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

○ โครงสร้างเหล็ก

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง และความกว้างของโครงสร้าง เนื่องจากโครงการที่มีการใช้สะพานโครงสร้างเหล็กมีอู่เพียงโครงการเดียวเท่านั้น ทำให้กลุ่มตัวอย่างมีน้อย และลักษณะการออกแบบมีความคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นการพิจารณาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมจึงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากทุกโครงสร้างมีลักษณะของปัจจัยเหมือนกัน วิธีการทางคณิตศาสตร์จึงไม่สามารถแยกแยะได้ว่า ปัจจัยมีความสำคัญมากกว่ากัน

จากการพิจารณาพบว่า ความกว้างของสะพานโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในในการออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ มีความกว้างขนาดเดียวคือ 10 เมตร ทำให้วิธีการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถแยกแยะระดับความสำคัญได้ ดังนั้นปัจจัยเดียวที่สามารถนำมาพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนได้ จึงมีเพียงความยาวของสะพานโครงสร้างเหล็กเท่านั้น

- ทางข้าม (Overpass)

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง ความกว้างของโครงสร้าง จำนวนช่วงของโครงสร้าง (Number of span) และระยะช่วงของโครงสร้าง (Span length)

จากการพิจารณาพบว่า จำนวนช่วงของโครงสร้าง (Number of span) และระยะช่วงของโครงสร้าง (Span length) เป็นข้อมูลที่จะทราบก็ต่อเมื่อโครงการผ่านขั้นตอนของการออกแบบละเอียด (Detailed design) แล้ว ทำให้ไม่สามารถใช้ปัจจัยทั้งสองปัจจัยดังกล่าวในการพัฒนาแบบจำลองได้ ต่อมาเมื่อพิจารณาปัจจัยทางด้านความกว้างของโครงสร้างพบว่า ลักษณะของโครงสร้างค่อนข้างมีลักษณะของการออกแบบซ้ำๆกัน (Typical design) ทำให้เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของปัจจัยแล้ว ค่าน้ำหนักของปัจจัยจะมีค่าน้อย อีกทั้งปัจจัยทางด้านความยาวของโครงสร้างยังมีผลต่อต้นทุนของโครงสร้างมากกว่า ความกว้างของโครงสร้างจึงไม่มีนัยสำคัญเท่าที่ควร ดังนั้นปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนทางข้าม (Overpass) คือ ความกว้างของโครงสร้าง

- ทางลอด (Underpass)

เช่นเดียวกับทางข้าม (Overpass) ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองคือ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง สาเหตุที่ทางลอด (Underpass) ไม่พิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับช่วงของ

โครงสร้าง (Span) เนื่องจากทางลอด (Underpass) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการขุดดิน ทำให้โครงสร้างวางตัวอยู่เหนือพื้นดินโดยไม่มีโครงสร้างในการค้ำยัน ทำให้ไม่มีปัจจัยที่เกี่ยวกับช่วงของโครงสร้าง (Span) มาเกี่ยวข้อง

จากการพิจารณาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของทางลอด (Underpass) คือความยาวของโครงสร้าง เช่นเดียวกับโครงสร้างประเภทอื่นๆที่ความกว้างของโครงสร้างถูกออกแบบในลักษณะที่ซ้ำๆกัน (Typical design) ทำให้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แล้ว ค่าน้ำหนักของปัจจัยความกว้างของโครงสร้างจึงไม่มีนัยสำคัญมากนัก เพราะหลายๆตัวอย่างมีค่าเท่ากัน

- ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)

จากลักษณะของทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) เป็นท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) ขนาดใหญ่เป็นเสมือนโครงสร้างของทางลอด โดยขนาดของท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) จะเป็นขนาดมาตรฐานขนาดเดียวที่ใช้ในทุกๆโครงการ คือ ขนาด 2.5 x 3.0 เมตร ปัจจัยที่ใช้พิจารณาในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจึงเป็นความยาวของโครงสร้างและจำนวนท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Number of cells)

จากการพิจารณาพบว่า ปัจจัยทั้งสอง คือ ความยาวของโครงสร้างและจำนวนท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Number of cells) มีนัยสำคัญต่อต้นทุนในการก่อสร้างทั้งสิ้น โดยที่ความยาวของโครงสร้างจะมีนัยสำคัญหรือค่าน้ำหนักของปัจจัยมากกว่าจำนวนท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) อยู่เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนจะใช้ทั้งสองปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

- สะพานกลับรถ (U – Turn bridge)

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ ความยาวของโครงสร้าง ความกว้างของโครงสร้าง จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length)

จากการพิจารณาพบว่า จำนวนช่วง (Number of Span) และความยาวของช่วง (Span length) เป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบอย่างละเอียด ดังนั้นในช่วงของขั้นตอนการประมาณต้นทุนเบื้องต้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการพิจารณา ส่วนความกว้างของโครงสร้างนั้น เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่มีความกว้างแตกต่างกันไม่มากเพราะความกว้างของโครงสร้างถูกกำหนดด้วยขนาดของรางอยู่แล้ว

อีกประการหนึ่งคือจำนวนตัวอย่างที่มีความกว้างเท่ากันอยู่มาก ทำให้เมื่อพิจารณาโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ได้จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จึงมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากที่สุดที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนคือ ความยาวของโครงสร้าง

6.2.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

จากที่ได้กล่าวมา การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลและปัจจัยทางด้านโครงสร้างหลัก เนื่องด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ งานทางมีสัดส่วนต้นทุนที่น้อยเมื่อนำต้นทุนมาเปรียบเทียบกับมูลค่าของงานโครงสร้าง และอีกประการหนึ่งคือ โดยปกติแล้ว งานทางจะถูกผูกติดกับงานโครงสร้างอยู่แล้ว ผู้รับเหมาที่รับผิดชอบงานโครงสร้างจะต้องรับผิดชอบงานทางไปด้วยในตัว ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะอยู่ในรูปขององค์ประกอบต่างๆในงานโครงสร้าง โดยพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural) หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งงานวิจัยจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีต่างๆมาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้และเลือกใช้แบบจำลองนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณามีจำนวนไม่มากนัก วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จึงไม่เหมาะสมนัก จึงต้องใช้วิธีการอื่นในการพัฒนาแบบจำลอง โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural) ในการศึกษานี้ ได้แก่

- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้าง
- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ
- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท

1. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้าง

วิธีนี้จะใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลอง โดยจะเน้นไปที่จำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ โดยไม่พิจารณาลักษณะของโครงสร้างประเภทนั้นๆ ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) เสียก่อน เพื่อลดผลกระทบของสัดส่วนค่า

ปัจจัยต่างๆให้อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ (0,1) และตั้งค่าให้ผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักสามารถเป็นค่าติดลบได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนัก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) โดยกำหนดให้ตัวแปรต่างๆมีค่าดังนี้

A_1 = จำนวนจุดตัดทางรถไฟ

A_2 = จำนวนทางข้าม

A_3 = จำนวนทางลอด

A_4 = จำนวนสะพานกลับรถ

A_5 = จำนวนยกระดับทางรถไฟ

A_6 = จำนวนทางลอดท่อเหลี่ยม

A_7 = จำนวนสะพาน

Cost = ต้นทุนที่ได้จากการประมาณ

ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Cost = 0.37A_1 - 0.28A_2 + 0.09A_3 + 0.88A_4 - 0.16A_5 - 0.59A_6 + 0.26A_7 \quad (6.3)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง โดยคำนวณรวมทั้งต้นทุนงาน

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง	0.86	0.72	0.40	0.74	1.00
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	1.86E-02	0.01E-02	0.00E-02	0.00E-02	0.01E-02
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.38E-02				

จะเห็นได้ว่า ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าน้อย อย่างไรก็ตาม ค่าน้ำหนักของปัจจัยบางปัจจัยมีค่าติดลบ ซึ่งขัดกับหลักความเป็นจริงที่ว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณงาน ต้นทุนจะมีค่าลดลง แบบจำลองดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการประมาณต้นทุน

2. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

เนื่องจากวิธีการแรกที่ใช้นั้น ไม่มีข้อจำกัดในด้านค่าน้ำหนักของปัจจัย ทำให้ค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ สามารถมีค่าเป็นลบได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปัจจัยบางปัจจัยมีค่าน้ำหนักเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า หากปัจจัยดังกล่าวมีปริมาณมากขึ้น ค่าต้นทุนรวมของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะลดลง ซึ่งค่อนข้างขัดกับหลักความจริง ดังนั้นจึงต้องมีการจำกัดค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้มีค่าเป็นลบ เช่นเดียวกับข้อ 1 วิธีการที่ใช้คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และปัจจัยต่างๆ ก็มีค่าเช่นเดียวกับข้อ 1 สมการที่ได้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Cost} = 0.92A_4 \qquad (6.4)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง โดยคำนวณรวมทั้งต้นทุนงาน เมื่อค่าน้ำหนักปัจจัยไม่เป็นลบ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง	0.86	0.72	0.4	0.74	1.00
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	6.24	16.97	14.99	13.56	19.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	14.15				

จากผลที่ได้จะเห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของการพัฒนาแบบจำลองให้ค่าความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ คือมีระดับความคลาดเคลื่อนไม่สูงมากนัก โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในส่วนนี้

ใช้จำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ เป็นปัจจัยในการประมาณต้นทุน จึงเป็นการตั้งสมมติฐานว่าต้นทุนโครงสร้างแต่ละโครงสร้าง หากเป็นโครงสร้างประเภทเดียวกันจะมีต้นทุนเท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่ถูกต้อง เพราะต้นทุนของโครงสร้างมีค่าขึ้นกับขนาดของโครงสร้างด้วย ดังนั้นแนวคิดนี้จึงอาจไม่เหมาะสมถึงแม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จะมีค่าไม่มาก

3. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท

งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ดังที่ได้กล่าวมาจะประมาณต้นทุนจากงานโครงสร้างเป็นหลัก โดยในวิธีการนี้ จะพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับโครงสร้างแต่ละประเภท โดยปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทจะใช้ปัจจัยที่ได้กล่าวถึงใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง และวิธีการที่ใช้นั้นมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงสร้าง โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

- สะพาน แบ่งวิธีการประมาณต้นทุนตามลักษณะโครงสร้าง ได้ 2 ประเภท ได้แก่
    - โครงสร้างคอนกรีต
        - ทางที่รองรับรางเดี่ยว

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง โดยปัจจัยดังกล่าวสามารถนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 354 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 243048*L + 273791 \qquad (6.5)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.50% และ R^2=0.991

วิธี Simplex optimization

$$C = 244{,}732*L \quad (6.6)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 9.99% และ R^2=0.991

- ทางที่รองรับรางคู่

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 29 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 370{,}490*L + 854{,}251 \quad (6.7)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 13.90% และ R^2=0.997

วิธี Simplex optimization

$$C = 394{,}074*L \quad (6.8)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.65% และ R^2=0.996

- โครงสร้างเหล็ก

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์

การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 11 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 700{,}158*L + 245{,}621 \qquad (6.9)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.59% และ R^2=0.947

วิธี Simplex optimization

$$C = 699{,}086*L \qquad (6.10)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.28% และ R^2=0.945

- ทางข้าม (Overpass)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 89 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 132{,}399*L + 10{,}000{,}000 \qquad (6.11)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 46.80% และ R^2=0.567

วิธี Simplex optimization

$$C = 95{,}285*L \qquad (6.12)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 46.70% และ R^2=0.348

- ทางลอด (Underpass)

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 7 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 194{,}896*L + 30{,}000{,}000 \qquad (6.13)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 23.80% และ R^2=0.874

วิธี Simplex optimization

$$C = 236{,}016*L \qquad (6.14)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 19.18% และ R^2=0.835

- สะพานกลับรถ (U – Turn bridge)

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้าง เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 93 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 142,265*L + 30,000,000 \quad (6.15)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 28.04% และ R^2=0.799

วิธี Simplex optimization

$$C = 177,012*L \quad (6.16)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 23.04% และ R^2=0.727

- ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)

ดังที่ได้กล่าวมาใน 5.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง คือ ความยาวของโครงสร้างและจำนวนท่อของท่อคอนกรีต เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) โดยมีข้อมูลทั้งหมดประกอบด้วย 148 ตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

วิธี Simplex optimization

$$C=1,025,723N + 48,246L \quad (6.17)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

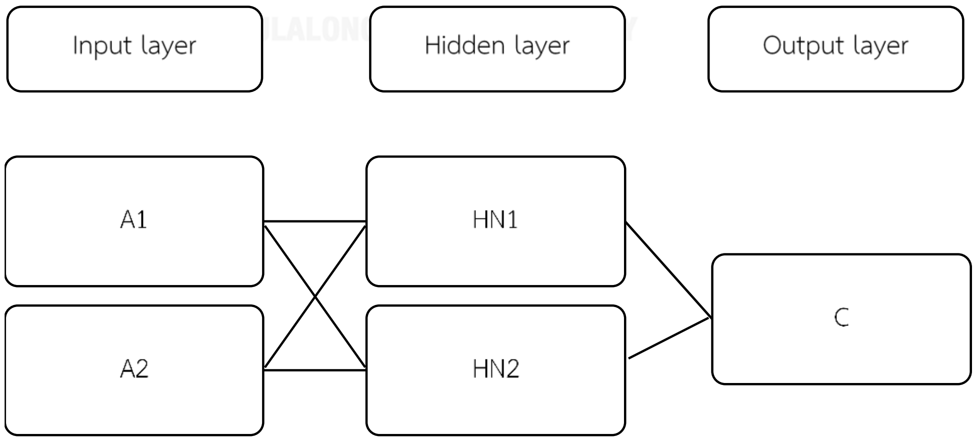
N = จำนวนท่อคอนกรีต (จำนวน)

L = ความยาวโครงสร้าง (เมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.0%

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)

การพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จะใช้ปัจจัย 2 ปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ จำนวนท่อคอนกรีตและความยาวของโครงสร้าง โดยการใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จะต้องมีฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงค่าเมื่อค่าต่างๆถูกคำนวณและส่งต่อไปยังชั้นถัดไป สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ในการแปลงค่า และมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ให้ข้อมูลอยู่ในช่วง (-1,1) โดยค่าปัจจัยที่มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ -1 และค่าปัจจัยที่มีค่ามากที่สุดท่ากับ 1 และใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จะมี hidden layer 1 ชั้น โดยที่ Hidden layer จะมี 2 node ดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)

จากผลของการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนการก่อสร้างทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) สามารถแสดงค่าน้ำหนักของแต่ละความเชื่อมโยง (Link) ของชั้นต่างๆได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ค่าน้ำหนักของแต่ละความเชื่อมโยง (Link) ในโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณต้นทุนท่อลอดคอนกรีตเหลี่ยม

	Node	Weight of each link	
		1	2
Input layer to Hidden layer	1	0.0428	0.6197
	2	0.0048	-0.0018
Hidden layer to Output layer	1	5.8451	91.8472

ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เท่ากับ 72.45%

เมื่อพิจารณาแบบจำลองสำหรับการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) โดยการพัฒนาแบบจำลองที่ 3 จะพบว่า วิธี Simplex optimization ให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่าสำหรับทุกประเภทของโครงสร้าง ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) ดังนั้นจะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธี Simplex optimization เป็นตัวแทนของแบบจำลองที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ต้นทุนรวมจากแบบจำลองคือผลรวมต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทรวมกัน ซึ่งไม่ครอบคลุมต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงต้องมีการปรับแก้ค่าที่ได้เพื่อให้สามารถใช้เป็นตัวแทนของต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ได้ ซึ่งการปรับแก้นั้นจะใช้ดัชนีหรือค่าหนึ่งเป็นตัวปรับแก้ โดยดัชนีปรับแก้มี

ค่าเท่ากับ 1.66 ซึ่งคำนวณจากแนวคิด Least mean square และพิจารณาจากค่า p ที่ทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{i=1}^{5}(C_{0i}-pC_i)^2}$ มีค่าน้อยที่สุดด้วยวิธี Simplex optimization เมื่อ

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของงานทางและงานโครงสร้างของโครงการ i

C_i = ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้างที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ i

p = ดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง

ตารางการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 การปรับแก้ค่าและความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง ซึ่งพิจารณาผลรวมของต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท

ต้นทุนโครงสร้างประเภทต่างๆ และรายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
สะพานคอนกรีตรางเดี่ยว (ล้านบาท)	622	3,120	977	334	5,800
สะพานเหล็ก (ล้านบาท)	N/A	N/A	384	N/A	N/A
สะพานคอนกรีตรางคู่ (ล้านบาท)	N/A	N/A	110	548	24
ทางข้าม (ล้านบาท)	747	1,270	1,380	1,330	N/A
ทางลอด (ล้านบาท)	N/A	323	N/A	890	N/A
สะพานกลับรถ (ล้านบาท)	2,760	1,230	N/A	2,950	1,780
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (ล้านบาท)	541	134	336	111	30
ผลรวมต้นทุนจากแบบจำลอง (ล้านบาท)	4,670	6,080	3,190	6,160	7,630
ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	10,775	9,030	4,980	9,300	12,500
ดัชนีปรับแก้	1.66				
ค่าจากการปรับแก้ (ล้านบาท)	7,743	10,081	5,289	10,214	12,651
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	28.14	11.64	6.21	9.82	1.21
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	11.40				

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภทให้ค่าความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ เนื่องจากเป็นการปรณต้นทุนโครงสร้างแต่ละโครงสร้างจาก

ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างนั้นๆ โดยตรง ทำให้ต้นทุนที่ได้มีค่าสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีอื่นๆ

นอกจากนั้น หลังจากการปรับแก้ค่าที่ได้จากแบบจำลองแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงในทุกโครงการ เนื่องจากทำให้ค่าที่ได้มีความครบถ้วนมากขึ้น เพราะในขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง มีการเลือกรายการงานหลักๆมาพิจารณาสร้างแบบจำลอง ทำให้ไม่ได้พิจารณาต้นทุนบางรายการ การปรับแก้จึงเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการพัฒนาความถูกต้องได้

6.2.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.2.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) การพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีในการพัฒนาแบบจำลองหลายวิธีด้วยกัน ทั้งแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองว่า แบบจำลองใดมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเลือกแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองจากหัวข้อ 5.2.2 ซึ่งวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) สามารถอภิปรายได้ดังนี้

1. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้าง

จากผลลัพธ์ที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนโครงสร้างทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	1.86E-02	0.01E-02	0.00E-02	0.00E-02	0.01E-02
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.38E-02				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลลัพธ์ที่ได้ จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำมาก เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เป็นการหาค่าน้ำหนักเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ สามารถเป็นค่าที่ติดลบได้ ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าต่ำมาก อย่างไรก็ตาม การที่ค่าน้ำหนักของปัจจัยสามารถเป็นค่าที่ติดลบได้มีมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ การที่ค่าน้ำหนักของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งติดลบนั้น แสดงว่าหากค่าของปัจจัยดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าผลรวมของสมการจะมีค่าลดลง ซึ่งในกรณีนี้ ปัจจัยทั้งหมด คือ ปัจจัยทางด้านจำนวนของโครงการประเภทต่างๆ ซึ่งหมายความว่า จากแบบจำลองนี้ หากเพิ่มปริมาณโครงสร้างบางประเภท ต้นทุนรวมของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะลดลง ซึ่งขัดกับหลักความเป็นจริง ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ถึงแม้ว่า แบบจำลองนี้จะให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างมากก็ตาม

2. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างเละตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

จากข้อจำกัดของวิธีการพัฒนาแบบจำลองที่ได้จากข้อ 1 จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้มีค่าติดลบ เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งแบบจำลองและค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ได้แสดงไว้แล้วดังหัวข้อที่ 5.2.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ข้อ 2 โดยที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.10 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนโครงสร้างทั้งหมดเป็นปัจจัยและค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ติดลบในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงร้าง

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	6.24	16.97	14.99	13.56	19.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	14.15				

จากตารางที่ 6.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ให้ติดลบ ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่า

ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองในข้อ 1 ที่ไม่มีการจำกัดค่าน้ำหนักของปัจจัย อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงในด้านการประมาณต้นทุนมากกว่าดังที่ได้กล่าวมา คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ซึ่งในกรณีนี้คือ จำนวนของโครงสร้างประเภทต่างๆ มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับต้นทุนของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองที่ได้จากข้อ 1 ที่ความสัมพันธ์เป็นแบบผกผัน

3. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท

วิธีการดังกล่าว เป็นวิธีการที่มีการแยกการคำนวณประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท แล้วจึงนำผลลัพธ์ต้นทุนของโครงสร้างแต่ประเภทมารวมกันเป็นต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) โดยที่โครงสร้างแต่ละประเภทก็มีแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนแตกต่างกันไปตามวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้จากแต่ละแบบจำลอง รวมถึงการเลือกใช้แบบจำลอง โดยตารางสรุปค่าที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.11 สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท

ประเภทโครงสร้าง	ผลลัพธ์	วิธีการที่ใช้		หมายเหตุ
		Multiple Regression	Simplex optimization	ช่วงความกว้างโครงสร้างที่ใช้ได้ (ม.)
สะพานคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว	สมการ	243048*L+273791	244,732*L	4.8 – 6.5
	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง	12.50%	9.99%	
	R^2	0.991	0.991	
สะพานคอนกรีตที่รองรับรางคู่	สมการ	370,490*L+854,251	394,074*L	9.8 - 10
	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง	13.90%	8.65%	
	R^2	0.997	0.996	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<table>
<tr><th rowspan="2">ประเภทโครงสร้าง</th><th rowspan="2">ผลลัพธ์</th><th colspan="2">วิธีการที่ใช้</th><th>หมายเหตุ</th></tr>
<tr><th>Multiple Regression</th><th>Simplex optimization</th><th>ช่วงความกว้างโครงสร้างที่ใช้ได้ (ม.)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">สะพานเหล็ก</td><td>สมการ</td><td>700,158*L+245,621</td><td>699,086*L</td><td rowspan="3">5</td></tr>
<tr><td>ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง</td><td>3.59%</td><td>3.28%</td></tr>
<tr><td>R^2</td><td>0.947</td><td>0.945</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ทางข้าม</td><td>สมการ</td><td>132,399*L+10,000,000</td><td>95,285*L</td><td rowspan="3">10</td></tr>
<tr><td>ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง</td><td>46.80%</td><td>46.70%</td></tr>
<tr><td>R^2</td><td>0.567</td><td>0.348</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ทางลอด</td><td>สมการ</td><td>194,896*L+30,000,000</td><td>236,016*L</td><td rowspan="3">10</td></tr>
<tr><td>ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง</td><td>23.80%</td><td>19.18%</td></tr>
<tr><td>R^2</td><td>0.874</td><td>0.835</td></tr>
<tr><td rowspan="3">สะพานกลับรถ</td><td>สมการ</td><td>142,265*L+30,000,000</td><td>177,012*L</td><td rowspan="3">10</td></tr>
<tr><td>ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง</td><td>28.04%</td><td>23.04%</td></tr>
<tr><td>R^2</td><td>0.799</td><td>0.727</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทโครงสร้าง	ผลลัพธ์	วิธีการที่ใช้		หมายเหตุ
		Multiple Regression	Artificial neural network	ช่วงความกว้างโครงสร้างที่ใช้ได้ (ม.)
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	สมการ	1,025,723N + 48,246L	ค่าน้ำหนักของแต่ละการเชื่อมโยงสามารถดูได้จากหัวข้อ 5.2.2	3 - 6
	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง	34.12%	72.45%	

จากตารางที่ 6.11 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่ได้จากวิธี Simplex optimization สำหรับทุกโครงสร้างแต่ละประเภท จะให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่า ในขณะที่ค่า R^2 จะมีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เล็กน้อย ซึ่งค่า R^2 นั้น เป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูล หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นค่าที่แสดงถึงระยะห่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งหมายความว่า ยิ่งค่า R^2 มากเท่าไร แบบจำลองก็มีความน่าเชื่อถือมากเท่านั้น โดยยิ่งค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าไรก็แสดงว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น สามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำมากเท่านั้น ในกรณีทั่วไป จะเลือกใช้แบบจำลองที่ค่า R^2 สูงกว่า แต่สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธี Simplex optimization เนื่องจากค่า R^2 มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่าอย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้เลือกแบบจำลองที่พัฒนาจากวิธี Simplex optimization มาเป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ในวิธีการข้อที่ 3 ดังที่ได้กล่าวไว้ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการประมาณต้นทุนงานโครงสร้างเป็นหลัก เนื่องจากงานทางมีสัดส่วนต้นทุนที่น้อยกว่างานโครงสร้างมากและงานทางมักจะถูกรวมอยู่ในงานโครงสร้างอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม การใช้หลักการคิดดังกล่าวทำให้ค่าต้นทุนที่ได้ยังไม่ครบถ้วน

เนื่องจากต้นทุนที่ได้ยังไม่พิจารณาต้นทุนงานทางและงานโครงสร้างบางส่วนที่ไม่ใช่รายการหลักบางส่วน เช่น รั้ว งานสถาปัตยกรรม งานตกแต่งภูมิทัศน์ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองนี้เสียก่อน เพื่อให้สามารถใช้ค่าต้นทุนที่ได้เป็นต้นทุนที่เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนได้ โดยค่าดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1.67 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาร่วมด้วยแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.12 และค่าความถูกต้องที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.12 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนแยกตามประเภทของโครงสร้าง

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	28.14	11.64	6.21	9.82	1.21
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	11.40				

ตารางที่ 6.13 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง

แนวคิด	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ (%)					ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
1	1.86E-02	0.01E-02	0.00E-02	0.00E-02	0.01E-02	0.38E-02
2	6.24	16.97	14.99	13.56	19.00	14.15
3	28.14	11.64	6.21	9.82	1.21	11.40

ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่ 1 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม วิธีที่ 1 ไม่มีข้อจำกัดของค่าปัจจัยที่ห้ามมีค่าติดลบ ทำให้ไม่สอดคล้องกับหลักความจริง ดังนั้นในกรณีนี้ วิธีที่ 3 น่าจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธีที่ 3 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากแนวคิดในการพิจารณาองค์ประกอบของงานโครงสร้าง โดยแบ่งพิจารณาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท และนำค่าต้นทุนที่ได้จาก

แบบจำลองมารวมกัน และปรับแก้ด้วยดัชนีปรับแก้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.63 ซึ่งค่าต้นทุนที่เป็นตัวแทนต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

6.2.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

จากหัวข้อ 5.2.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานทางเละงานโครงสร้าง (Road and Structural work) วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะใช้วิธีที่ 3 ซึ่งพิจารณาองค์ประกอบของต้นทุนในบัญชีแสดงปริมาณงานแยกส่วนกัน โดยการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท ก่อนที่จะนำมารวมกันและปรับแก้ค่าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้อง จะใช้ข้อมูลตัวอย่างจากทุกๆโครงการ โดยในที่นี้จะมีด้วยกัน 5 โครงการ โดยปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องประมาณ 10% จากทุกๆโครงการ ส่วนที่เหลือประมาณ 90% จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยผลลัพธ์จากการทดสอบความคลาดเคลื่อนสามารถสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.14

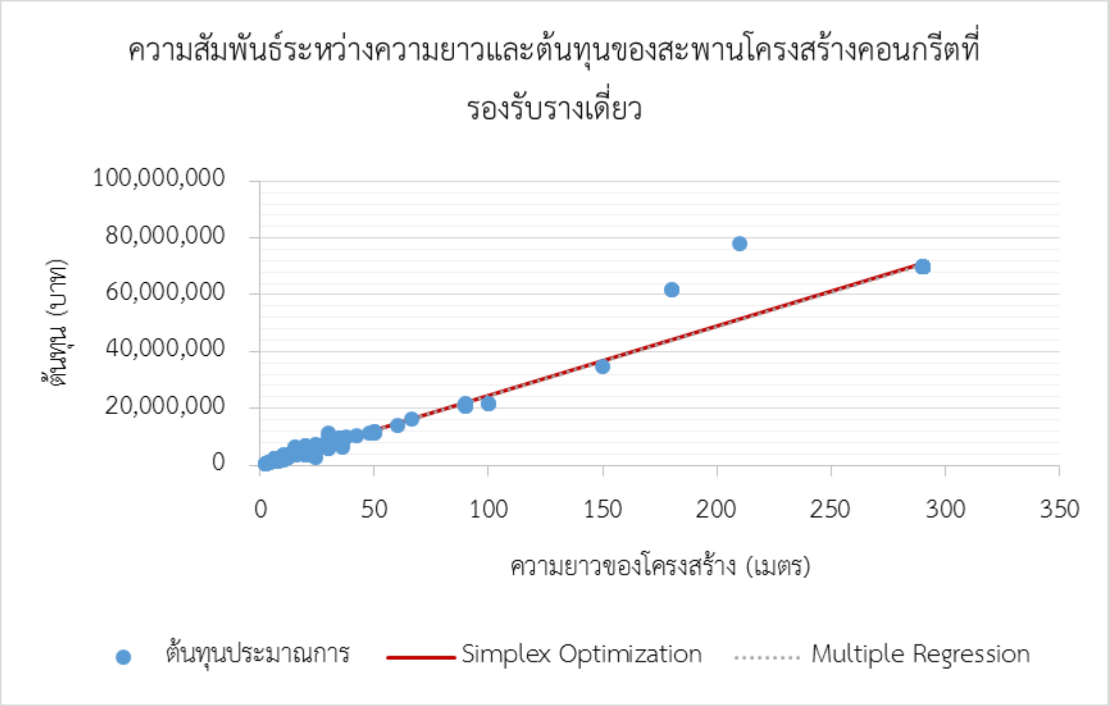
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.14 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง

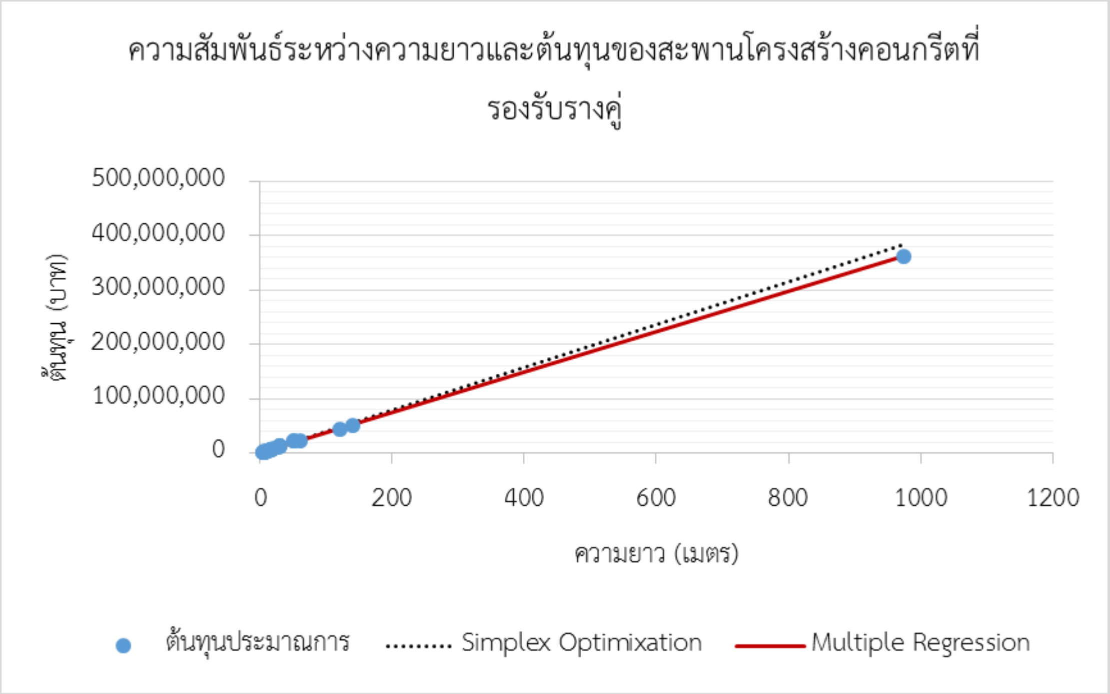
ประเภทของโครงสร้าง	ความคลาดเคลื่อนในแต่ละโครงการ (%)					ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
สะพานคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว	3.47	1.45	8.86	6.16	0.00	3.99
สะพานคอนกรีตที่รองรับรางคู่	N/A	N/A	5.02	N/A	N/A	5.02
สะพานเหล็ก	N/A	N/A	10.55	6.16	0.00	5.57
ทางข้าม	47.65	56.69	8.03	14.60	N/A	31.74
ทางลอด	N/A	26.25	N/A	0.00	N/A	13.12
สะพานกลับรถ	23.59	19.54	N/A	15.69	23.82	20.66
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	14.32	4.98	34.00	45.66	96.00	38.99

จากตารางที่ 6.14 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างบางประเภทสามารถประมาณต้นทุนได้อย่างค่อนข้างแม่นยำเมื่อใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ในขณะที่โครงสร้างบางประเภทไม่สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำมากนักเมื่อใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โครงสร้างที่สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ สะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว สะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่ สะพานโครงสร้างเหล็ก ทางลอด (Underpass) และสะพานกลับรถ (U – Turn bridge) ส่วนโครงสร้างที่ไม่สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำด้วยแบบจำลอง ได้แก่ ทางข้าม (Overpass) และทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert)

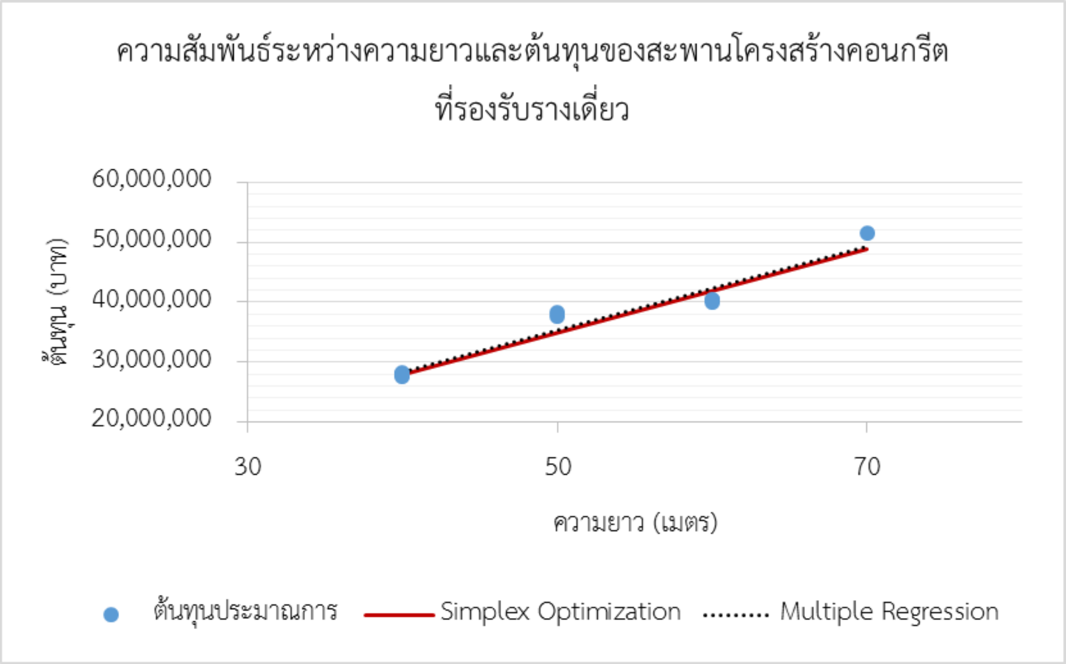
ประเภทของโครงสร้างที่ประมาณต้นทุนได้ค่อนข้างแม่นยำด้วยแบบจำลองนั้น สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำ แม้ว่าจะใช้ปัจจัยในการพิจารณาเพียงแค่ปัจจัยเดียวก็ตาม โดยปัจจัยดังกล่าว คือ ความยาวของโครงสร้าง ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนของโครงสร้าง โดยเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของโครงสร้างและความยาวของโครงการมาสร้างแผนผัง จะพบว่าความสัมพันธ์มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น ดังที่แสดงในรูปที่ 6.7 – 6.11



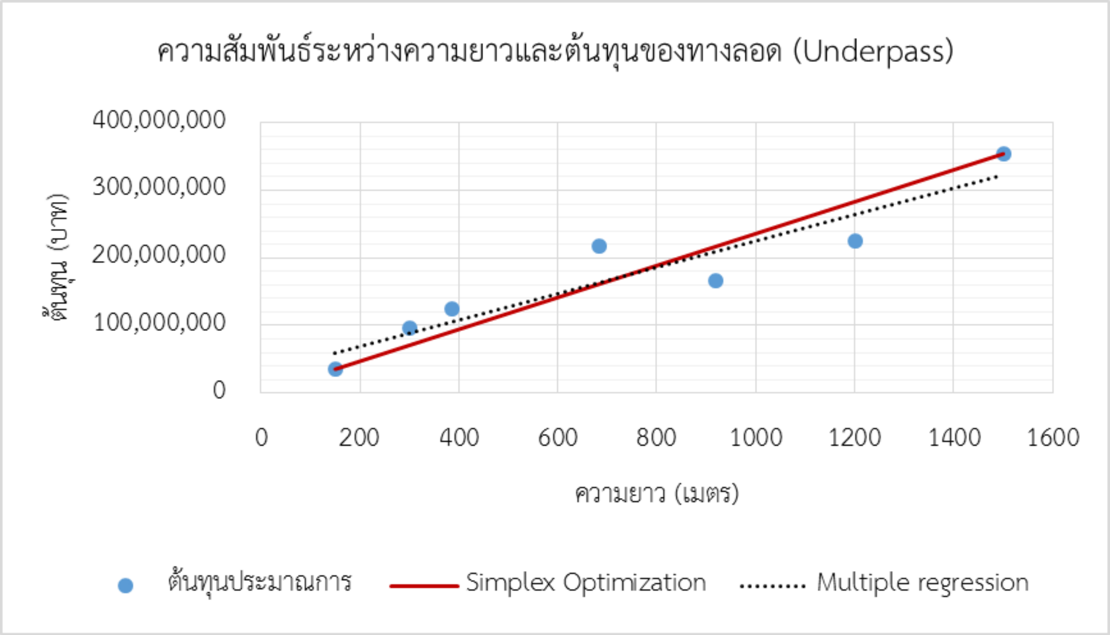
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว



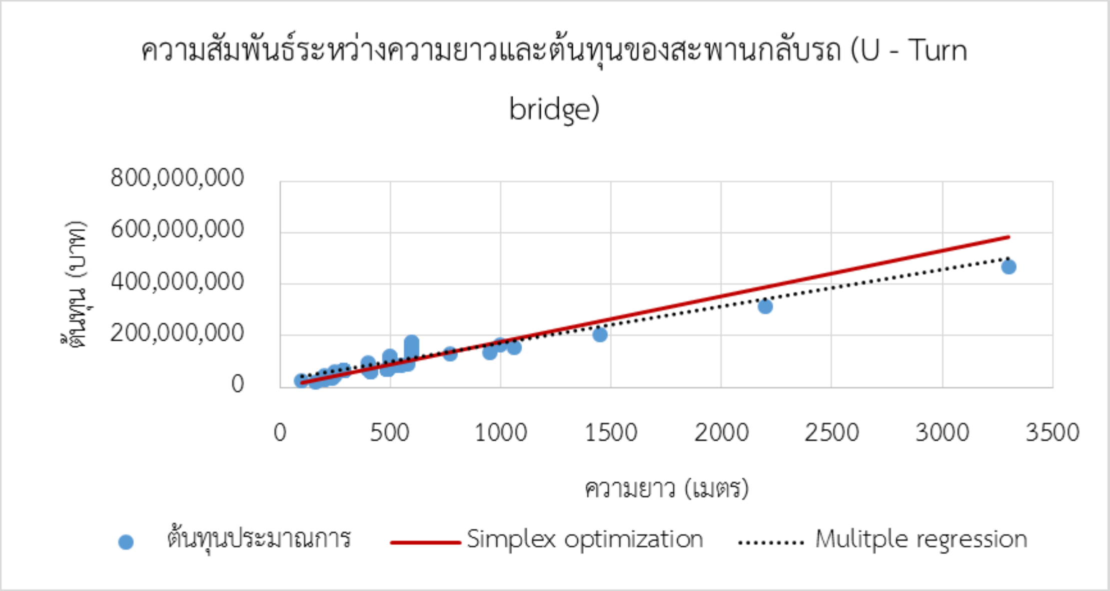
รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเหล็ก



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของทางลอด (Underpass)

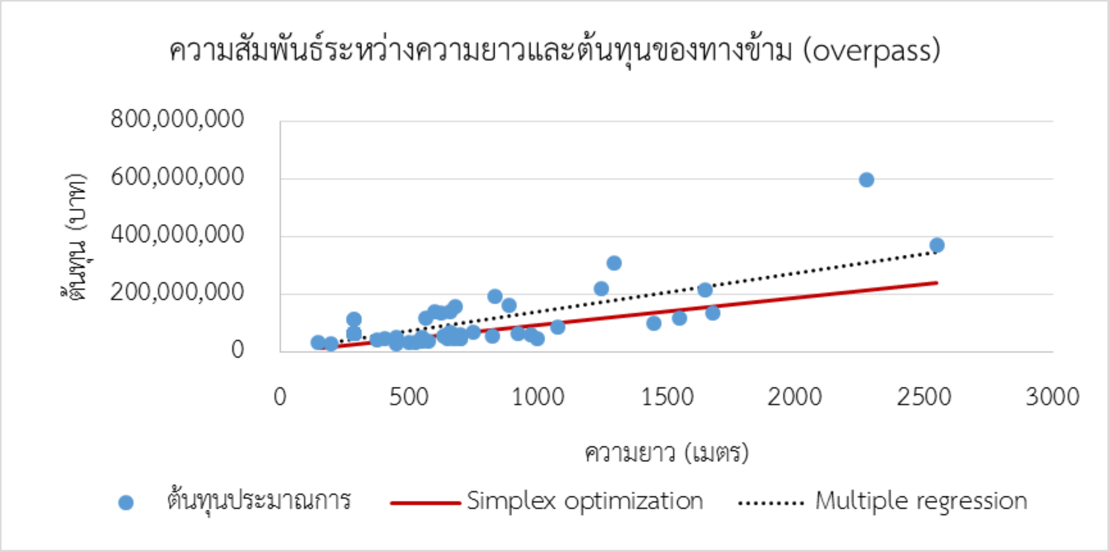


รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของสะพานกลับรถ (U - Turn bridge)

จากรูปจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของโครงสร้าง ค่อนข้างจะเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง จึงทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประมาณต้นทุนของโครงสร้างประเภทดังกล่าวได้ค่อนข้างแม่นยำ แม้ว่าจะใช้ปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวในการพิจารณาก็ตาม

ในขณะที่โครงสร้างที่แบบจำลองประมาณต้นทุนไม่สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำมากนัก ได้แก่ ทางข้าม (Overpass) และทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของโครงสร้างทางข้าม (Overpass) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและต้นทุนของทางข้าม (Overpass)

จากแผนผังแสดงความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์จะค่อนข้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น แต่การกระจายตัวของข้อมูลก็ยังมีค่าค่อนข้างมาก ทำให้แบบจำลองที่แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้อย่างแม่นยำนัก อีกสาเหตุหนึ่งมาจากความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างเอง ซึ่งทางข้าม (Overpass) และทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) ค่อนข้างมีความไม่แน่นอนสูง กล่าวคือทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) เป็นโครงสร้างที่ต้องมีการขุดดินในการก่อสร้างมาก และสภาพดินของแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันไป ทำให้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนมีสูง ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนให้มีความแม่นยำจึงทำได้ยาก

จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) สามารถประมาณต้นทุนโครงสร้างต่างๆได้อย่างแม่นยำสำหรับโครงสร้างส่วนใหญ่ ถึงแม้ว่าโครงสร้างบางประเภทจะไม่สามารถใช้แบบจำลองในการประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำนัก แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนรวมของงานทางและงานโครงสร้าง เมื่อนำมาปรับแก้ด้วยค่าดัชนีปรับแก้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก็สามารถประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ได้ค่อนข้างน่าพึงพอใจ คือมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่สามารถใช้การได้ในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

6.2.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) มีดังนี้

1. สะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยวมีความกว้างในช่วง 4.8 – 6.5 เมตร
2. สะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่มีความกว้างในช่วง 9.8 – 10 เมตร
3. สะพานโครงสร้างเหล็กมีความกว้าง 5 เมตร
4. ทางข้าม (Overpass) มีความกว้าง 10 เมตร
5. ทางลอด (Underpass) มีความกว้าง 10 เมตร
6. สะพานกลับรถ (U – turn bridge) มีความกว้าง 10 เมตร
7. ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม (Box culvert) มีความกว้างในช่วง 3 – 6 เมตร

6.3 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

สำหรับงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะมีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเช่นเดียวกับงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) โดยจะรวมต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภคเข้าด้วยกันในการพิจารณา เนื่องจากสัญญาก่อสร้างบางสัญญาระรวมงานสาธารณูปโภค (Utility work) เข้ากับงานอาคาร (Building work) เนื่องจากเป็นงานที่เกี่ยวเนื่องกันเช่นเดียวกับงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) อีกทั้งสัดส่วนมูลค่าของต้นทุนงานสาธารณูปโภค (Utility work) ยังมีสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าทั้งหมดของโครงการ (น้อยกว่า 1% ของมูลค่านวมโครงการ) ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองไปในทางเดียวกัน จึงรวมงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) เข้าด้วยกันในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน เช่นเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) การพัฒนาแบบจำลองจะพัฒนาโดยอาศัยแนวคิดหลายๆแนวคิดด้วยกัน ทั้งการพัฒนาแบบจำลองโดยพิจารณาต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility) เป็นต้นทุน

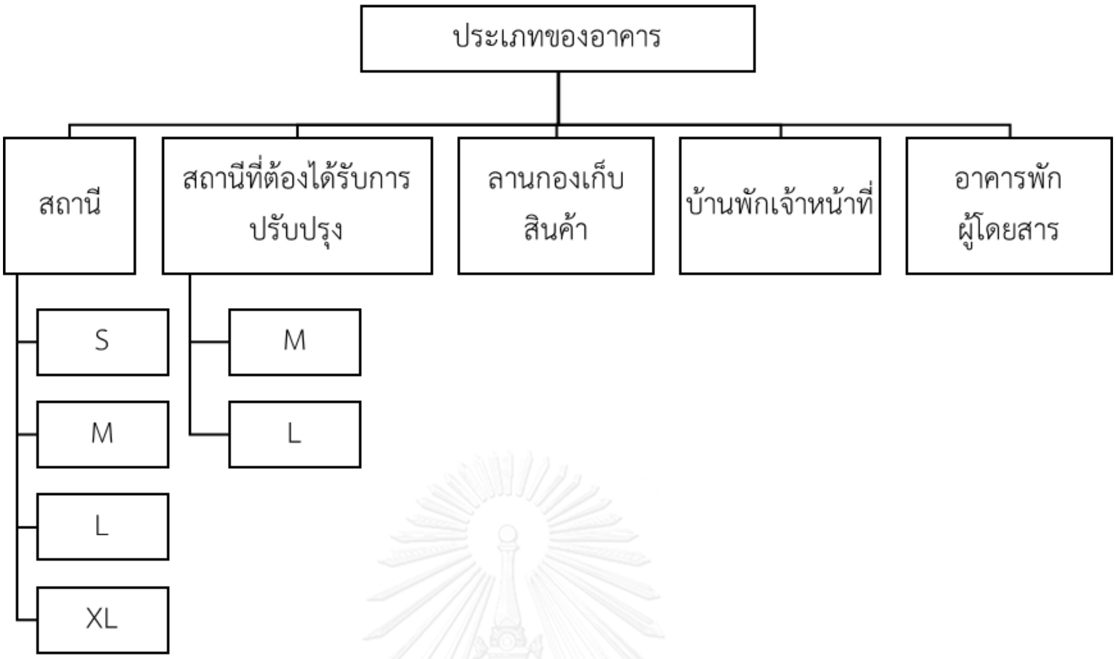
รวมทั้งหมด และแยกคิดองค์ประกอบของต้นทุนแยกตามประเภทของอาคาร ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนจะมีการกล่าวถึงในลำดับถัดไป

6.3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะใช้วีการในการพัฒนาหลายรูปแบบด้วยกัน ดังนั้นปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจะแตกต่างกันไปตามแต่ละวิธีการที่ใช้ อย่างไรก็ตาม จะสามารถแบ่งหมวดหมู่ของปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการปราณต้นทุนได้เป็น 2 หมวดหมู่หลักๆ คือ พื้นที่ของอาคารประเภทต่างๆ และจำนวนของอาคารประเภทต่างๆ โดยที่ประเภทของอาคารสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- สถานีขนาดต่างๆ ได้แก่ สถานีขนาดเล็ก (S), สถานีขนาดกลาง (M), สถานีขนาดใหญ่ (L) และสถานีขนาดใหญ่พิเศษ (XL)
- สถานีที่ต้องปรับปรุงขนาดต่างๆ ได้แก่ สถานีขนาดกลาง (M) และสถานีขนาดใหญ่ (L)
- ลานกองเก็บสินค้า (Storage yard)
- บ้านพักเจ้าหน้าที่
- อาคารพักผู้โดยสาร

ประเภทของอาคารประเภทต่างๆ สามารถแสดงได้โดยแผนผังดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 ประเภทของอาคาร

6.3.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

จากที่ได้กล่าวมา การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะใช้ปัจจัยที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 5.3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) โดยการพัฒนาแบบจำลองอาศัยข้อมูลจากงานอาคารเป็นหลัก และใช้แบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ งานสาธารณูปโภค (Utility work) มีสัดส่วนมูลค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าทั้งหมดของโครงการ และบางสัญญามีงานสาธารณูปโภค (Utility) รวมกับงานอาคาร (Building work) ทำให้การพิจารณางานอาคารและงานสาธารณูปโภคแยกกันไม่ได้ในบางสัญญา ดังนั้นจึงต้องพิจารณางานอาคารและงานสาธารณูปโภครวมกัน อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณามีจำนวนไม่มาก วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จึงไม่เหมาะสม จึงต้องใช้วิธีการอื่นในการพัฒนาแบบจำลอง โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนมีดังนี้

- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนอาคาร
- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ
- การพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากค่าต้นทุนต่อพื้นที่
- การพัฒนาแบบจำลองโดยการแยกประเภทอาคารเพื่อพิจารณาต้นทุนอาคารแต่ละประเภท

1. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนอาคาร

วิธีนี้ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนอาคารทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลอง โดยจะเน้นไปที่จำนวนอาคารประเภทต่างๆ โดยไม่พิจารณาลักษณะหรือขนาดพื้นที่ของอาคารประเภทนั้นๆ ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) เสียก่อน เพื่อลดผลกระทบของสัดส่วนค่าปัจจัยต่างๆให้อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ (0,1) และตั้งค่าให้ผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักสามารถเป็นค่าติดลบได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนัก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) โดยกำหนดให้ตัวแปรต่างๆมีค่าดังนี้

A_1 = จำนวนสถานีขนาด S

A_2 = จำนวนสถานีขนาด M

A_3 = จำนวนสถานีขนาด L

A_4 = จำนวนสถานีขนาด XL

A_5 = จำนวนสถานีที่ต้องปรับปรุง

A_6 = จำนวนลานกองเก็บสินค้า

Cost = ต้นทุนที่ได้จากการประมาณ

ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Cost = -0.34A_1 + 0.87A_2 - 0.83A_3 + 0.23A_4 + 0.18A_5 + 0.98A_6 \qquad (6.18)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6.15 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค โดยคำนวณต้นทุนรวม

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุน	1.00	0.67	0.98	0.26	0.49
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	3.14E-04	0.07E-04	1.55E-04	0.01E-04	0.21E-04
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.10E-04				

ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาแบบจำลองโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าติดลบ ทำให้ผลที่ได้มีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ติดลบสื่อถึงปริมาณอาคารและต้นทุนที่แปรผกผันกัน ซึ่งไม่สะท้อนถึงความเป็นจริง ดังนั้นวิธีการดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการประมาณต้นทุน

2. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ปัจจัยทางด้านโครงสร้างและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

เนื่องจากวิธีการแรกที่ใช้นั้น ไม่มีข้อจำกัดในด้านค่าน้ำหนักของปัจจัย ทำให้ค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ สามารถมีค่าเป็นลบได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปัจจัยบางปัจจัยมีค่าน้ำหนักเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า หากปัจจัยดังกล่าวมีปริมาณมากขึ้น ค่าต้นทุนรวมของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะลดลง ซึ่งค่อนข้างขัดกับหลักความจริง ดังนั้นจึงต้องมีการจำกัดค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้มีค่าเป็นลบ เช่นเดียวกับข้อ 1 วิธีการที่ใช้คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และปัจจัยต่างๆก็มีค่าเช่นเดียวกับข้อ 1 และไม่มีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) สมการที่ได้เป็นดังนี้

$$Cost = 1{,}073{,}702{,}427A_1 + 519{,}052{,}267A_2 + 143{,}931{,}995A_3 \qquad (6.19)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณงานอาคารและงานสาธารณูปโภค โดยคำนวณต้นทุนรวม เมื่อค่าน้ำหนักปัจจัยไม่เป็นลบ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุน (ล้านบาท)	2,880	1,940	2,820	766	1,400
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	11.68	2.64	0.08	24.21	24.01
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	12.52				

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้จำนวนอาคารแต่ละประเภทเป็นปัจจัยในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามการใช้จำนวนอาคารเป็นปัจจัยในการพิจารณาต้นทุน เป็นการตั้งสมมติฐานให้อาคารแต่ละประเภทมีต้นทุนคงที่ ซึ่งอาจไม่สะท้อนถึงความเป็นจริงมากนัก ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้แนวความคิดอื่นจึงความมีความเหมาะสมมากกว่า

3. การพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากค่าต้นทุนต่อพื้นที่

จากวิธีการที่ใช้ก่อนหน้านี้ จะเห็นได้ว่าวิธีข้างต้นทั้ง 2 วิธีอาจไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมมากนัก เนื่องจากวิธีตามข้อที่ 1 นั้น แม้ว่าจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยแต่ก็เป็นการพิจารณาให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยมีค่าเป็นลบได้ ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นคือจำนวนของอาคารประเภทต่างๆ การที่ค่าน้ำหนักของปัจจัยเป็นค่าลบ หมายความว่า หากพิจารณาว่าจำนวนของอาคารประเภทที่ค่าน้ำหนักเป็นลบ เมื่อในโครงการมีจำนวนอาคารเหล่านั้นมากขึ้น ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะมีค่าลดลง ซึ่งขัดกับหลักความเป็นจริง เพราะต้นทุนรวมและจำนวนอาคารน่าจะความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรงมากกว่า ส่วนแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยวิธีที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนยังมีค่าค่อนข้างมากอยู่และยังมีความต่างของความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ทำให้ในสภาพการใช้งานจริงอาจจะมีข้อกำจัดในเรื่องของการประมาณต้นทุนอยู่ ทำให้จำเป็นต้องหาแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีการอื่นๆ

สำหรับวิธีการพัฒนาแบบจำลองในข้อนี้ จะใช้วิธีที่ทำการพิจารณาต้นทุนรวมของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) และแบ่งต้นทุนรวมทั้งหมดตามสัดส่วนพื้นที่

ของสถานีที่ต้องทำการสร้างใหม่ และให้ต้นทุนรวมทั้งหมดเปรียบเสมือนต้นทุนที่เกิดจากการสร้างสถานีใหม่ โดยการแบ่งจะแบ่งตามสัดส่วนพื้นที่ของแต่ละสถานี สถานีใดมีพื้นที่มากก็จะพิจารณาให้มีต้นทุนสูงกว่าสถานีที่มีพื้นที่น้อย โดยกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดของการพิจารณาด้วยวิธีนี้มีทั้งสิ้น 68 ตัวอย่างด้วยกัน โดยพิจารณารวมทั้งหมด 5 โครงการ โดยวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง จะใช้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และ Simplex optimization

วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

$$C = 174{,}605*A - 9{,}000{,}000 \qquad (6.20)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

A = พื้นที่ของสถานี (ตารางเมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 16.05% และ R^2=0.974

วิธี Simplex optimization

$$C = 147{,}881*A \qquad (6.21)$$

เมื่อ C = ต้นทุน (บาท)

A = พื้นที่ของสถานี (ตารางเมตร)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 14.82% และ R^2=0.950

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองทั้ง 2 วิธีการ จะพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาจากวิธี Simplex optimization ให้ค่าที่มีความถูกต้องมากกว่า ดังนั้นในเบื้องต้นจะเลือกใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Simplex optimization เป็นตัวแทนของวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ต้นทุนที่พิจารณานั้น เป็นต้นทุนที่เกิดจากต้นทุนสำหรับการก่อสร้างและซ่อมแซมอาคารเท่านั้น แต่ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ยังมีต้นทุนในส่วนอื่นอีก เช่น รั้ว ต้นไม้ที่ใช้ในการตกแต่งทัศนียภาพ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้ดัชนีปรับแก้ เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประมาณต้นทุนได้ครอบคลุมงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) เมื่อพิจารณาต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) รวมของแต่ละโครงการและปรับแก้ต้นทุนที่ได้ด้วยดัชนีปรับค่าที่มีค่า

เท่ากับ 1.14 ซึ่งคำนวณจากแนวคิด Least mean square โดยพิจารณาจากค่า p ที่ทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{i=1}^{5}(C_{0i}-pC_i)^2}$ มีค่าน้อยที่สุดด้วยวิธี Simplex optimization เมื่อ

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของงานอาคารและสาธารณูปโภคของโครงการ i

C_i = ต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ i

p = ดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภค

พบว่าผลลัพธ์จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.17

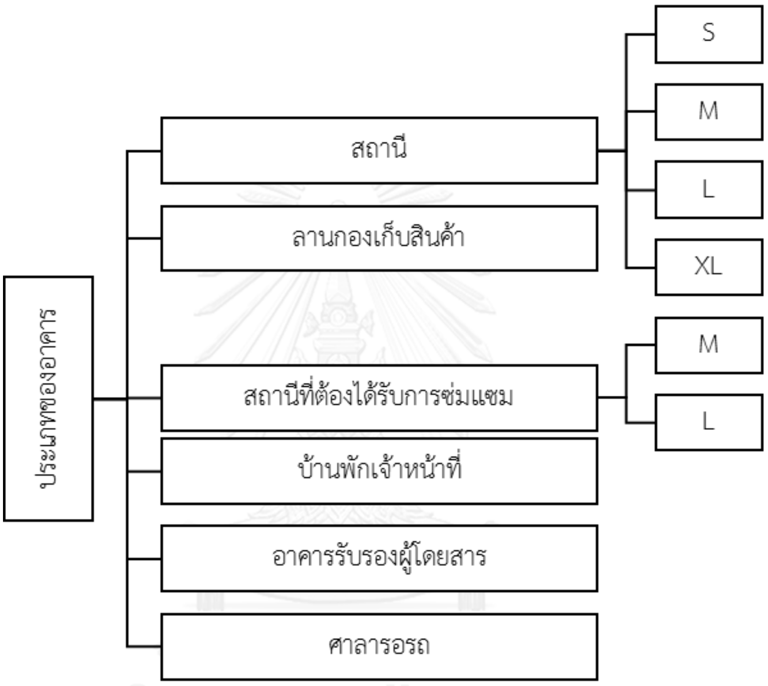
ตารางที่ 6.17 การปรับแก้และผลลัพธ์จากการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	2,880	1,940	2,820	766	1,400
ต้นทุนจากแบบจำลอง (ล้านบาท)	2,390	1,110	2,520	777	1,100
ดัชนีปรับแก้	1.14				
ต้นทุนที่ปรับแก้ (ล้านบาท)	2,740	1,270	2,890	890	1,260
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	4.91	18.87	2.4	16.23	9.97
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	10.48				

จากผลลัพธ์ดังตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การใช้พื้นที่สถานีเป็นปัจจัยในการประมาณต้นทุนงานอาคาร เป็นวิธีที่ให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ อีกทั้งยังสะท้อนถึงความเป็นจริง ถึงแม้ว่าจะมีการเฉลี่ยต้นทุนในส่วนอื่นมาเป็นต้นทุนในการก่อสร้างสถานี เนื่องจากในการก่อสร้างสถานี จะมีอาคารอื่นเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม ซึ่งการใช้แนวคิดดังกล่าวในการประมาณต้นทุนให้ค่าความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ

4. การพัฒนาแบบจำลองโดยการแยกประเภทอาคารเพื่อพิจารณาต้นทุนอาคารแต่ละประเภท

วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนในวิธีนี้ จะใช้การแยกประเภทของอาคารประเภทต่างๆเพื่อพิจารณาต้นทุน และนำต้นทุนที่เกิดจากอาคารประเภทต่างๆมารวมกันเพื่อเป็นต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) โดยประเภทของอาคารที่ใช้ในการพิจารณาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.14 ประเภทของอาคารที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

ในการพิจารณาต้นทุนของอาคารแต่ละประเภทนั้น จะพิจารณาให้อาคารแต่ละประเภทมีลักษณะเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาแบบจำลองและการประมาณต้นทุน และประมาณต้นทุนของอาคารแต่ละประเภท ก่อนจะนำมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนของต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) โดยต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 ต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค

ประเภทอาคาร	ประเภท	จำนวนตัวอย่าง	ต้นทุน	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
Station size	S	24	11,158,000	47.77
	M	31	28,139,353	16.87
	L	9	50,211,000	27.72
	XL	4	500,000,002	22.42
Storage yard		3	125,838,723	13.4
Renovated station	M	20	5,536,002	0.35
	L	16	15,732,300	7.57
Accommodation		8	4,417,731	5.64
Relay room		6	5,556,225	2.43
Waiting Pavilion	1	4	1,795,124	0.08
	2	1	2,177,980	0
	3	4	2,751,088	0.17
	4	3	2,751,088	0.08
	5	4	340,014	0.1

จากาตารางที่ 6.18 จะเห็นได้ว่าอาคารบางประเภทมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง ในขณะที่อาคารบางประเภทมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ สาเหตุมาจากความแตกต่างของอาคาร ที่ถึงแม้ว่าจะเป็นอาคารประเภทเดียวกัน แต่ก็ยังมีความแตกต่างในด้านต่างๆ ทำให้ค่าต้นทุนประมาณที่ได้มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การประมาณต้นทุนโดยการแบ่งประเภทอาคารในลักษณะนี้ ก็มีความง่ายในการใช้งาน เนื่องจากการแบ่งลักษณะของอาคารประเภทต่างๆเป็นการแบ่งลักษณะหยาบๆเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องมีการลงรายละเอียดในการประมาณต้นทุน ทำให้เหมาะสมกับการประมาณต้นทุนเบื้องต้น

ต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆที่แสดงในตารางที่ 6.18 สามารถนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ได้โดยการรวมต้นทุนงาน

อาคารประเภทต่างๆเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นทำการปรับแก้ค่าที่ได้ เนื่องจากยังมีต้นทุนในส่วนอื่นๆที่ไม่ได้พิจารณา ทำให้แบบจำลองไม่ได้ครอบคลุมรายการงานอื่นๆที่นอกเหนือจากงานอาคารประเภทต่างๆ เมื่อรวมต้นทุนที่ได้จากการประมาณต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ และทำการปรับแก้ด้วยดัชนีปรับแก้ที่มีค่าเท่ากับ 2.42 ซึ่งคำนวณจากแนวคิด Least mean square โดยพิจารณาจากค่า p ที่ทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{i=1}^{5}(C_{0i}-pC_i)^2}$ มีค่าน้อยที่สุดด้วยวิธี Simplex optimization เมื่อ

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของงานอาคารและสาธารณูปโภคของโครงการ i

C_i = ต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ i

p = ดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภค

ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะสามารถประมาณได้ดังตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6.19 การประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค โดยการพิจารณาต้นทุนของอาคารประเภทต่างๆ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนจากแบบจำลอง (ล้านบาท)	1,210	554	1,030	695	240
ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	2,880	1,070	2,820	1,400	766
ดัชนีปรับแก้	2.42				
ต้นทุนปรับแก้ (ล้านบาท)	2,930	1,340	2,490	1,680	581
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	1.67	25.3	11.61	20.14	24.18
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	16.58				

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การตั้งสมมติฐานให้อาคารแต่ละประเภทมีต้นทุนในการก่อสร้างคงที่ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแนวคิดที่ 1 และ 2 แต่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าเมื่อใช้แนวคิดในการประมาณต้นทุนงานอาคาร และการปรับแก้สามารถใช้ในการพัฒนาความถูกต้องของการประมาณต้นทุนได้ เนื่องจากเป็นการลดผลกระทบจากความไม่ครบถ้วนของข้อมูล โดยหลักจากการปรับแก้แล้ว ค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับต้นทุนประมาณการมากขึ้น

6.3.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.3.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) การพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีในการพัฒนาแบบจำลองหลายวิธีด้วยกัน ทั้งแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองว่า แบบจำลองใดมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเลือกแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) โดยผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองจากหัวข้อ 5.3.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

1. นำปัจจัยทางด้านจำนวนอาคารโดยภาพรวมทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมในครั้งเดียว

จากผลลัพธ์ที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.20

ตารางที่ 6.20 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยทางด้านจำนวนอาคารทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภค

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	3.14E-04	0.07E-04	1.55E-04	0.01E-04	0.21E-04
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.10E-04				

จากผลลัพธ์ที่ได้ จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำมาก เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เป็นการหาค่าน้ำหนักเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆสามารถเป็นค่าที่ติดลบได้ ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าต่ำมาก อย่างไรก็ตาม การที่ค่าน้ำหนักของปัจจัยสามารถเป็นค่าที่ติดลบได้มีมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ การที่ค่าน้ำหนักของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งติดลบนั้น แสดงว่าหากค่าของปัจจัย

ดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าผลรวมของสมการจะมีค่าลดลง ซึ่งในกรณีนี้ ปัจจัยทั้งหมด คือ ปัจจัยทางด้านจำนวนของอาคารประเภทต่างๆ ซึ่งหมายความว่า จากแบบจำลองนี้ หากเพิ่มปริมาณอาคารบางประเภท ต้นทุนรวมของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะลดลง ซึ่งขัดกับหลักความเป็นจริง ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ถึงแม้ว่า แบบจำลองนี้จะให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างมากก็ตาม

2. นำปัจจัยทางด้านอาคารโดยภาพรวมทั้งหมดในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนรวมในครั้งเดียวและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

จากข้อจำกัดของวิธีการพัฒนาแบบจำลองที่ได้จากข้อ 1 จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้มีค่าติดลบ เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งแบบจำลองและค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ได้แสดงไว้แล้วดังหัวข้อที่ 5.3.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ข้อ 2 โดยที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.21

ตารางที่ 6.21 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคโดยใช้ปัจจัยจำนวนอาคารในการพัฒนาแบบจำลองและค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ติดลบ

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	11.68	2.64	0.08	24.21	24.01
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	12.52				

จากตารางที่ 6.21 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ให้ติดลบ ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองในข้อ 1 ที่ไม่มีการจำกัดค่าน้ำหนักของปัจจัย อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงในด้านการประมาณต้นทุนมากกว่าดังที่ได้กล่าวมา คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ซึ่งในกรณีนี้คือ จำนวนของอาคารประเภทต่างๆ มีความสัมพันธ์แบบ

แปรผันตรงกับต้นทุนของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองที่ได้จากข้อ 1 ที่ความสัมพันธ์เป็นแบบผกผัน

3. พัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากค่าต้นทุนต่อพื้นที่

จากที่ได้กล่าวมา เนื่องจากแบบจำลองในการประมาณต้นทุนที่พัฒนาขึ้นในข้อที่ 2 อาจจะยังไม่ให้ค่าความถูกต้องที่สูงมากนัก จึงมีความพยายามที่จะหาวิธีการอื่นที่สามารถให้ค่าความถูกต้องที่มากขึ้นได้ การพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีนี้จึงมีการทดสอบเพื่อพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุน โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ตารางที่ 6.22

ตารางที่ 6.22 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคที่ใช้ปัจจัยต้นทุนต่อพื้นที่ของสถานีในการพัฒนาแบบจำลอง

ผลลัพธ์	วิธีการที่ใช้	
	Multiple Regression	Simplex optimization
สมการ	C = 174,605*A - 9000000	C = 147,881*A
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	16.05	14.82
R^2	0.974	0.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 6.22 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่ได้จากวิธี Simplex optimization ให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่า ในขณะที่ค่า R^2 จะมีค่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เล็กน้อย ซึ่งค่า R^2 นั้น เป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูล หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นค่าที่แสดงถึงระยะห่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งหมายความว่า ยิ่งค่า R^2 มากเท่าไร แบบจำลองก็มีความน่าเชื่อถือมากเท่านั้น โดยยิ่งค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าไรก็แสดงว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น สามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำมากเท่านั้น ในกรณีทั่วไป จะเลือกใช้แบบจำลองที่ค่า R^2 สูงกว่า แต่สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธี Simplex optimization เนื่องจากค่า R^2 มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่า

เมื่อสรุปได้แล้วว่า จะนำแบบจำลองที่พัฒนาจากวิธี Simplex optimization มาเป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ในวิธีการข้อที่ 3 ดังที่ได้กล่าวไว้ ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการประมาณต้นทุนจากการประมาณต้นทุนงานอาคารเป็นหลัก เนื่องจากงานสาธารณูปโภคมีสัดส่วนต้นทุนที่น้อยกว่างานอาคารมากและสัญญาบางสัญญาได้มีการรวมงานสาธารณูปโภคและงานอาคารเข้าด้วยกัน ทำให้การพิจารณาแยกกันไม่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตาม การใช้หลักการคิดดังกล่าวทำให้ค่าต้นทุนที่ได้ยังไม่ครบถ้วน เนื่องจากต้นทุนที่ได้ยังไม่พิจารณาต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภคบางส่วนที่ไม่ใช่รายการหลักบางส่วน เช่น รั้ว งานตกแต่งภูมิทัศน์ ต้นไม้ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองนี้เสียก่อน เพื่อให้สามารถใช้ค่าต้นทุนที่ได้เป็นต้นทุนที่เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนได้ โดยค่าดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1.15 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาร่วมด้วยแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.23

ตารางที่ 6.23 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคโดยพิจารณาต้นทุนต่อพื้นที่สถานี

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	4.91	18.87	2.40	16.23	9.97
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	10.48				

4. พัฒนาแบบจำลองโดยการแยกประเภทอาคารเพื่อพิจารณาต้นทุนอาคารแต่ละประเภท

วิธีการดังกล่าว ใช้วิธีการประมาณต้นทุนของอาคารแต่ละประเภทก่อนที่จะนำมารวมเป็นต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) อย่างไรก็ตามการพิจารณาโดยใช้วิธีการดังกล่าวเป็นพิจารณาต้นทุนรวมของทั้ง 2 งานโดยใช้องค์ประกอบของต้นทุนงานอาคารเท่านั้น ทำให้ค่าต้นทุนที่ได้ไม่ครบถ้วน จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าที่ได้โดยใช้ดัชนีปรับแก้ดังที่ได้

กล่าวมาแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณต้นทุนด้วยวีการดังกล่าวรวมถึงการปรับแก้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.24

ตารางที่ 6.24 ความคลาดเคลื่อนและการปรับแก้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยการพิจารณาต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคตามประเภทของอาคาร

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	2,880	1,070	2,820	1,400	766
ดัชนีปรับแก้	2.42				
ต้นทุนปรับแก้ (ล้านบาท)	2,920	1,340	2,490	1,680	581
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	1.67	25.3	11.61	20.14	24.18
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	16.58				

ค่าความถูกต้องที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.25

ตารางที่ 6.25 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค

แนวคิด	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ (%)					ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	3.14E-04	0.07E-04	1.55E-04	0.01E-04	0.21E-04	0.10E-04
2	11.68	2.64	0.08	24.21	24.01	12.52
3	4.91	18.87	2.40	16.23	9.97	10.48
4	1.67	25.30	11.61	20.14	24.18	16.58

จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องที่มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวไป วิธีที่ 1 ไม่มีข้อจำกัดของค่าปัจจัยที่ห้ามมีค่าติดลบ ทำให้ไม่สอดคล้องกับหลักความจริง ดังนั้นในกรณีนี้ วิธีที่ 3 น่าจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธีที่ 3 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากแนวคิดในการพิจารณาต้นทุนต่อพื้นที่ของสถานี และนำค่าต้นทุนที่ได้จาก

แบบจำลองมารวมกัน และปรับแก้ด้วยดัชนีปรับแก้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.15 ซึ่งจะเป็นค่าต้นทุนที่เป็นตัวแทนต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

6.3.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

จากหัวข้อ 5.3.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะใช้วิธีที่ 3 ซึ่งพิจารณาต้นทุนจากพื้นที่ของสถานี โดยพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนต่อพื้นที่ก่อนที่จะนำมารวมกันและปรับแก้ค่าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

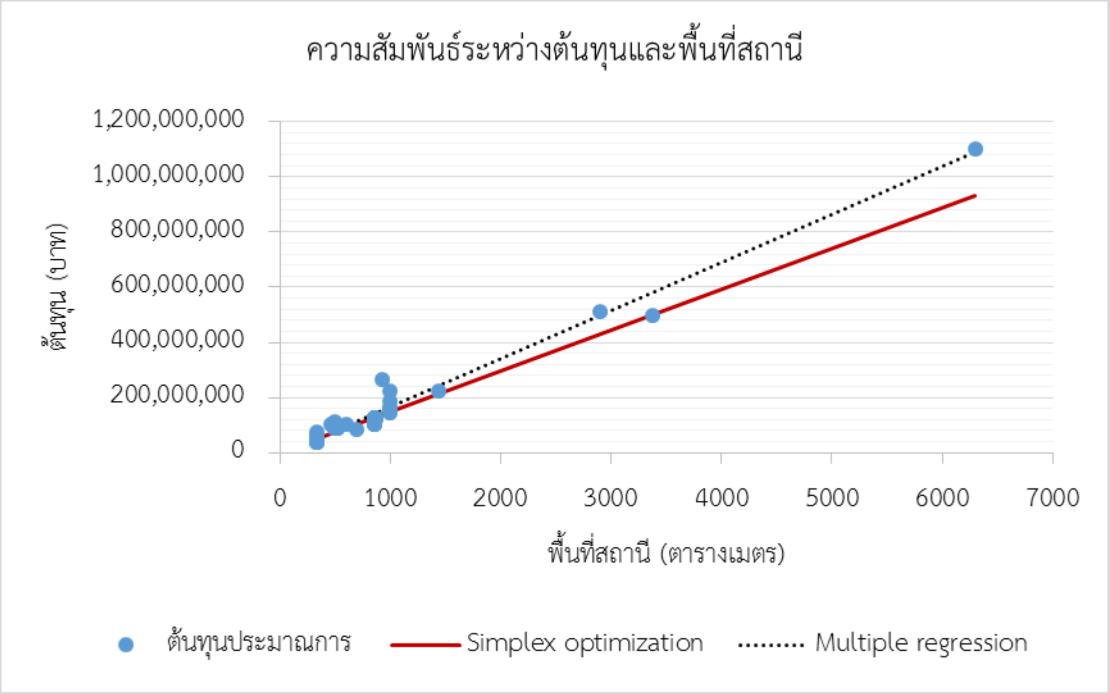
สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้อง จะใช้ข้อมูลตัวอย่างจากทุกๆโครงการ โดยในที่นี้จะมีด้วยกัน 5 โครงการ โดยจะมีปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องประมาณ 10% จากทุกๆโครงการ ส่วนที่เหลือประมาณ 90% จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องสามารถสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.26

ตารางที่ 6.26 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อน (%)	13.85	15.78	3.22	14.32	1.34
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	9.70				

จากตารางที่ 6.26 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถประมาณต้นทุนได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง คือ พื้นที่ของสถานี อาจจะกล่าวได้ว่าต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นสำหรับงานอาคารและงานสาธารณูปโภค คือ ต้นทุนในการก่อสร้างสถานี เนื่องจากมีจำนวนอาคารที่มากที่สุด จึงมีนัยสำคัญมากกว่าอาคารประเภทอื่น เมื่อนำจำนวนสถานีมาเปรียบเทียบกับอาคารประเภทอื่น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอาคารประเภทอื่นจะมีจำนวนที่น้อยกว่ามาก ทำให้สถานีค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในงานอาคาร วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเป็นการเฉลี่ยต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมด

ของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ให้กับต้นทุนสถานี โดยใช้วิธีเฉลี่ยน้ำหนักตามปริมาณพื้นที่ของสถานีแต่ละสถานีเพื่อเป็นต้นทุนตัวแทน หลังจากนั้นก็ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนสถานีเหล่านั้น ซึ่งต้นทุนสถานีเหล่านั้นจะเป็นตัวแทนต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ต่อไป เมื่อทำการปรับแก้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังที่ได้กล่าวไป ปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการประมาณต้นทุนคือ พื้นที่ของสถานี ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนของสถานี โดยเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของสถานีและพื้นที่ของสถานีมาสร้างแผนผัง จะพบว่าความสัมพันธ์ค่อนข้างจะความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังที่แสดงในรูปที่ 6.15



รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และต้นทุนของสถานี

จากรูปจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และต้นทุนของสถานี ค่อนข้างจะเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง จึงทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประมาณต้นทุนได้ค่อนข้างแม่นยำ แม้ว่าจะใช้ปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวในการพิจารณาก็ตาม

จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำ และเมื่อนำมาปรับแก้ด้วยค่าดัชนีปรับแก้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก็สามารถประมาณต้นทุนงานอาคารและงาน

สาธารณูปโภค (Building and Utility work) ได้ค่อนข้างน่าพึงพอใจ คือมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่สามารถใช้การได้ในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

6.3.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

แบบจำลองประมาณต้นทุนเบื้องต้นที่พัฒนาขึ้นโดยแนวคิดการพิจารณาต้นทุนต่อตารางเมตรของอาคารสถานี เป็นการเฉลี่ยต้นทุนที่เกิดขึ้นในย่านสถานีทั้งหมดต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารสถานี ซึ่งย่านสถานีหนึ่งๆนั้น จะมีอาคารประกอบหลายประเภทและมีจำนวนแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการใช้สมมิฐานประกอบคือ ให้ลักษณะของกลุ่มอาคารในย่านสถานีขนาดหนึ่งๆมีลักษณะเหมือนกัน เพื่อให้สามารถใช้แนวคิดในการประมาณต้นทุนย่านสถานีต่อตารางเมตรของอาคารสถานีได้

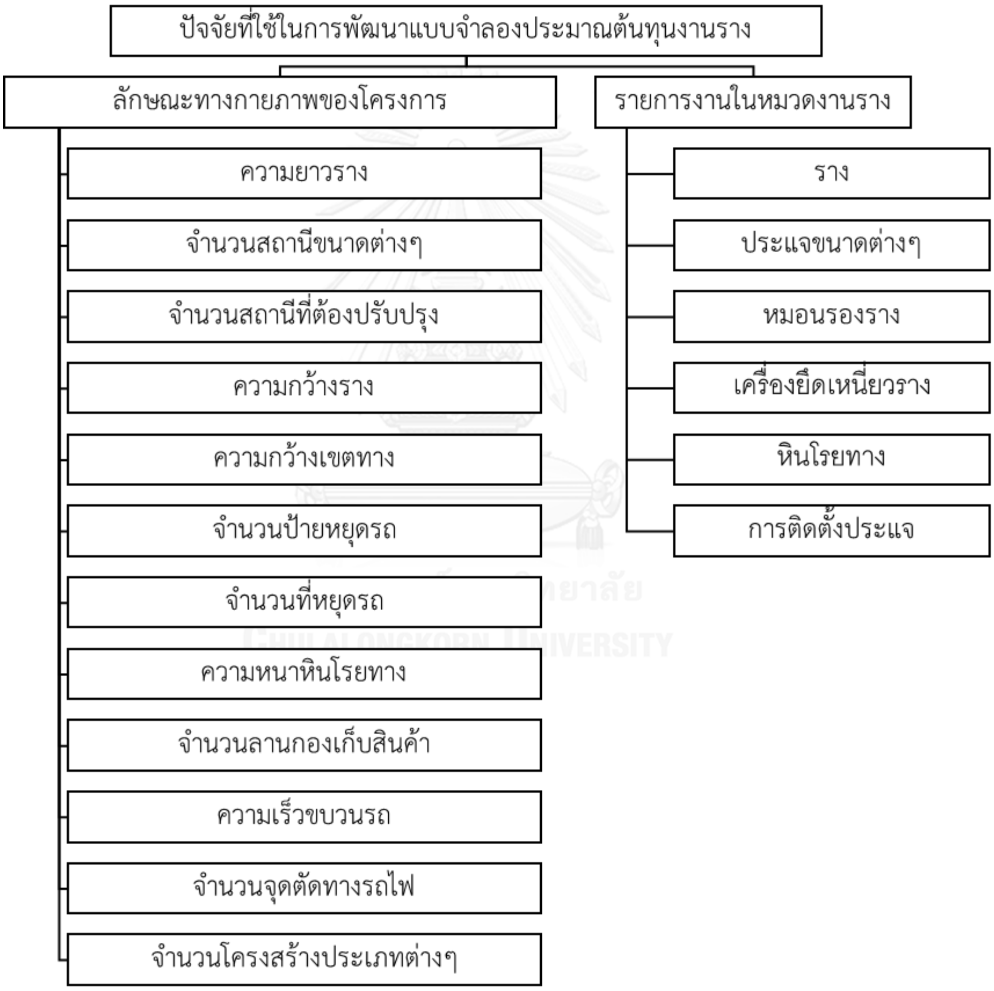
6.4 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

งานราง (Track work) ถือว่าเป็นหมวดงานหลักของระบบราง เนื่องจากเป็นหมวดงานที่โครงการประเภทอื่นๆไม่มี งานราง (Track work) จะแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงการ เช่น รางรถไฟฟ้า รางรถไฟความเร็วสูง รางรถไฟรางคู่ หรือรางรถไฟรางเดี่ยว อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการก่อสร้างรางรถไฟคู่ ซึ่งเป็นระบบรางพื้นฐานของประเทศไทยซึ่งใช้ดีเซลเป็นแหล่งพลังงาน การก่อสร้างรางรถไฟรางคู่เป็นการก่อสร้างรางเพิ่มเติมขึ้นอีก 1 รางขนานไปกับแนวรางเดิม ซึ่งเป็นผลดีต่อการคมนาคมและขนส่งของประเทศ โครงการรถไฟรางคู่จึงเป็นโครงการที่น่าสนใจในขณะนี้

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับแบบจำลองในการประมาณต้นทุนหมวดงานอื่นๆดังที่กล่าวมาแล้ว โดยที่รายการงานในหมวดงานราง (Track work) จะมีความเฉพาะและหลากหลายมากกว่า 2 หมวดงานที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากเป็นหมวดงานที่มีองค์ประกอบหลักและรายการงานที่มีมูลค่าสูงหลายรายการด้วยกัน ดังนั้นความครบถ้วนของแบบจำลองจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากรายการที่มีมูลค่าสูงหากประมาณต้นทุนไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้อง ย่อมส่งผลต่อต้นทุนของงานราง (Track work) มากต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

6.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า งานราง (Track work) เป็นหมวดงานที่มีองค์ประกอบและรายการงานสำคัญหลายรายการด้วยกัน ดังนั้นปัจจัยที่จะมาใช้ในการพิจารณาจะมีหลายปัจจัยและแตกต่างกันไปตามวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของโครงการ และรายการงานของหมวดงานราง ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานราง

6.4.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

จากที่ได้กล่าวมา การพัฒนาแบบจำลองเพื่อนประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จะพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลและปัจจัยที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 5.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนา

แบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work) โดยปัจจัยที่ใช้จะแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี และนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีต่างๆมาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้และเลือกใช้แบบจำลองนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณามีจำนวนไม่มากและจำนวนชุดข้อมูลมีน้อย วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จึงไม่เหมาะสม จึงต้องใช้วิธีการอื่นในการพัฒนาแบบจำลอง โดยแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work) มีดังนี้

- การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง ใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการ
- การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ต้นทุนต่อความยาวราง
- การใช้ปัจจัยทางด้านรายการงานในการสร้างแบบจำลอง
- การสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาณงานของแต่ละรายการและประมาณต้นทุนของแต่ละรายการ

1. การพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานรางใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการ

วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในข้อนี้ จะใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) ในการพัฒนาแบบจำลอง โดยจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ข้อมูลให้อยู่ในช่วง (0,1) ก่อน เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความสัมพันธ์ของแบบจำลองได้ โดยที่ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.27 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทางกายภาพของโครงการที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ	0.23	จำนวนสะพาน	0.03
จำนวนเครื่องกั้นอัตโนมัติ	0.17	จำนวนสะพานกลับรถ	0.02
จำนวนป้ายหยุดรถ	0.16	จำนวนสถานีขนาดเล็ก	0.02
จำนวนสถานีที่ต้องปรับปรุง	0.13	ระยะอุโมงค์ (กิโลเมตร)	0.02
จำนวนทางยกระดับ	0.09	ความเร็วขบวนรถสินค้า	0.02
จำนวนทางข้าม	0.07	จำนวนสถานีขนาดกลาง	0.01
ความหนาหินโรยทาง (มิลลิเมตร)	0.06	ความกว้างราง (เมตร)	0.01
จำนวนทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	0.06	ขนาดราง	0.01
จำนวนลานกองเก็บสินค้า	0.06	ความกว้างเขตทาง m	0.01
จำนวนสถานี	0.04	ความยาวราง (กิโลเมตร)	0.01
จำนวนจุดตัดทางรถไฟ	0.03	จำนวนที่หยุดรถ	0.00
ระยะห่างหมอนรองราง (มิลลิเมตร)	0.03	จำนวนสถานีขนาดใหญ่	0.00
ความเร็วขบวนรถ	0.03	จำนวนทางลอด	0.00

เมื่อใช้ค่าน้ำหนักที่ได้ดังตารางที่ 6.27 ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.28

ตารางที่ 6.28 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองประมาณต้นทุนที่ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.59E-05	3.25E-05	2.81E-05	0.72E-05	4.71E-05
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.42E-05				

จะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าว ให้ค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างมาก แต่ค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นค่อนข้างขัดกับหลักความเป็นจริง เนื่องจากปัจจัยบางปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญ

มากกลับมีค่าน้ำหนักที่น้อย เช่น ความยาวราง เป็นต้น จะสังเกตได้ว่าวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่พยายามสร้างความสัมพันธ์โดยที่พิจารณาข้อมูลที่มี ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ได

2. การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ต้นทุนต่อความยาวราง

จากวิธีการในข้อ 1 จะพบว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญมากยังขัดแย้กันอยู่ ดังนั้นจึงจะพิจารณาต้นทุนต่อความยาวราง ซึ่งเป็นวิธีที่มีการใช้มาอย่างยาวนานในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบราง โดยปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง คือ ความยาวราง โดยวิธีการดังกล่าวจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ให้อยู่ในช่วง (0,1) เช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.29

ตารางที่ 6.29 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ความยาวรางเป็นปัจจัยในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง

<table>
<tr><th>โครงการ</th><th>ความยาวราง</th><th>ต้นทุนต่อความยาว</th><th>ต้นทุน</th><th>ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>1.00</td><td rowspan="5">0.65</td><td>0.65</td><td>35.4</td></tr>
<tr><td>2</td><td>0.90</td><td>0.58</td><td>33.02</td></tr>
<tr><td>3</td><td>0.89</td><td>0.58</td><td>29.59</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0.74</td><td>0.48</td><td>10.15</td></tr>
<tr><td>5</td><td>0.63</td><td>0.41</td><td>39.28</td></tr>
<tr><td colspan="4">ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)</td><td>29.49</td></tr>
</table>

จากผลลัพธ์ที่ได้ดังตาราง 5.25 จะพบว่า ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณต้นทุนด้วยความยาวรางซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันนั้น มีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างมาก ดังนั้นการใช้ความยาวรางเป็นปัจจัยในการประมาณต้นทุนเพียงปัจจัยเดียวอาจจะไม่เหมาะสมมากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. การใช้ปัจจัยทางด้านรายการงานในการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากข้อจำกัดในในการใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ดังนั้นจึงทดสอบการใช้ปัจจัยทางด้านรายการงานในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน โดยปัจจัยที่ใช้ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 5.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work) ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองนั้นจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ก่อนเช่นเดียวข้ออื่นๆ ผลที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธีการดังกล่าว ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Cost = 0.43A_1 + 0.04A_2 + 1.21A_3 + 0.12A_4 + 0.07A_5 + 0.13A_7 + 0.28A_9 \quad (6.22)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.30

ตารางที่ 6.30 ผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานรางโดยใช้ปัจจัยปริมาณงาน

โครงการ	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
1/1	16.68
1/2	0.00
1/3	9.39
1/4	24.46
2	116.61
3/1	0.18
3/2	0.88
3/3	0.02
3/4	0.04
4	21.81
5/1	0.00
5/2	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	15.84

เมื่อปัจจัยต่างๆมีค่าดังนี้

A_1 = ความยาวราง (กิโลเมตร)

A_2 = จำนวนราง (ตัน)

A_3 = ประแจขนาด 16 (ชุด)

A_4 = ประแจขนาด 12 (ชุด)

A_5 = ประแจขนาด 10 (ชุด)

A_6 = ประแจขนาด 8 (ชุด)

A_7 = หมอนรองราง (ท่อน)

A_8 = เครื่องยึดเหนี่ยวราง (ชุด)

A_9 = หินโรยทาง (ลูกบาศก์เมตร)

A_{10} = การติดตั้งประแจ (ชุด)

จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนที่ได้อยู่ในช่วงที่น่าพอใจ แต่ความคลาดเคลื่อนของบางโครงการมีค่าค่อนข้างสูง วิธีการดังกล่าวจึงยังไม่เหมาะสมนัก และยังเป็นแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนจากปริมาณงานที่เกิดขึ้นแล้ว ซึ่งข้อมูลที่ต้องใช้ในการประมาณต้นทุนต้องมาจากการถอดปริมาณงาน ซึ่งไม่สามารถทราบได้ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ดังนั้นการประมาณต้นทุนด้วยวิธีดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมนัก

4. การสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาณงานของแต่ละรายการและประมาณต้นทุนของแต่ละรายการ

จากข้อจำกัดของวิธีที่ต่างๆที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ทำให้การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนในรูปแบบอื่นเป็นสิ่งที่จำเป็น หากต้องการแบบจำลองที่สามารถประมาณต้นทุนของงานราง (Track work) ได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงวิธีการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) โดยใช้แนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณปริมาณงานแต่ละรายการในหมวดงานราง และประมาณต้นทุนจากปริมาณงานที่ได้เพื่อใช้เป็นต้นทุนของงานราง การพัฒนาแบบจำลองนั้น จะใช้

วิธีการหลายวิธีด้วยกันทั้ง Simplex optimization, Multiple linear regression และการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยการสังเกตจากกระจายตัวของข้อมูล เช่น สร้างแผนผังเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานและความยาวราง หากความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นเส้นตรง จะใช้วิธี Simplex optimization ในการสร้างความสัมพันธ์ของปัจจัยและปริมาณงาน โดยแบบจำลองและผลลัพธ์จากการประมาณปริมาณงานและต้นทุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.31 – 6.36

ตารางที่ 6.31 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนราง

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ตัน)	151.85D	5.11
	174.58*D-1206.4	6.5
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ตัน)	43,001Q	12.39

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

Q = ปริมาณงาน (ตัน)

ตารางที่ 6.32 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนประแจ

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ชุด)	$0.38D^{1.16}+1.10$	15.50
	0.77D	17.77
	$0.12D^{2}$	40.96
	$0.47D^{1.14}$	15.56
	$D^{.93}$	19.02
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ชุด)	2,886,840Q	22.51

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

Q = ปริมาณงาน (ตัน)

ตารางที่ 6.33 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหมอนรองราง

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ชุด)	2,410.68D	8.20
	2410.56D+5.00	8.20
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ชุด)	1,188Q	13.43

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

Q = ปริมาณงาน (ตัน)

ตารางที่ 6.34 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเครื่องยึดเหนี่ยวราง

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ชุด)	2,410.68DN	8.20
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ชุด)	1,031Q	5.43

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

N = จำนวนตัวยึดต่อราง (ชุด)

Q = ปริมาณงาน (ตัน)

ตารางที่ 6.35 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนหินโรยทาง

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ลูกบาศก์เมตร)	2194.33D	20.74
	2492.3D + 7923.4	24.59
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	570Q	14.40

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

Q = ปริมาณงาน (ตัน)

ตารางที่ 6.36 แบบจำลองและผลลัพธ์ที่ใช้ในการประมาณต้นทุนการติดตั้งประแจ

	แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
ปริมาณงาน (ลูกบาศก์เมตร)	0.76D+1.63S	15.47
	0.90D	16.46
	0.88D + 8.09	22.27
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	213,840Q	24.60

เมื่อ D = ความยาวราง (กิโลเมตร)

S = จำนวนสถานี

จากตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นว่าบางรายการงานจะมีแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณปริมาณงานและต้นทุนหลายแบบจำลอง สำหรับการเลือกใช้แบบจำลองนั้น จะเลือกแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งสามารถแสดงตารางสรุปผลได้ดังตารางที่ 6.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.37 สรุปแบบจำลองที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนงานรางด้วยวิธีการพิจารณาปริมาณงาน

รายการงาน	สมการ		ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)		หมายเหตุ : ข้อกำหนด
	ปริมาณ	ต้นทุนต่อหน่วย	ปริมาณ	ต้นทุนต่อหน่วย	
ราง	151.85D	43,001	5.11	12.39	ความกว้างรางมีค่าเท่ากับ 1.07 เมตร น้ำหนักรางมีค่าเท่ากับ 54 กิโลกรัม/เมตร
ประแจ	$0.38D^{1.16}+1.10$	2,886,840	15.50	22.51	
หมอนรองราง	2,410.68D	1,188	8.20	13.43	ระยะห่างระหว่างหมอนรองรางมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 65 เซนติเมตร
เครื่องยึดเหนี่ยวราง	2,410.68DN	1,031	8.20	5.43	
หินโรยทาง	2194.33D	570	20.74	14.40	ความหนาหินโรยทางมีค่าอยู่ในช่วง 250 – 300 มิลลิเมตร ความลาดหินโรยทางมีค่าเท่ากับ 1 : 1.5
การติดตั้งประแจ	0.7D+1.63S	213,840	15.47	24.60	

จากสมการที่ได้จะเห็นว่า ปริมาณรางที่มีใช้ในการก่อสร้างมีค่าประมาณ 150 ตันต่อกิโลเมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้รางที่ใช้คือ UIC 54 ซึ่งมีมาตรฐานน้ำหนักอยู่ที่ 54 กิโลกรัมต่อเมตร หรือ 54 ตันต่อกิโลเมตร เมื่อพิจารณาว่ารางมีลักษณะเป็นคู่ทอดไปตามแนวการเดินรถ ปริมาณรางตามทฤษฎีควรจะเป็น 108 ตันต่อกิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้จริงพบว่า ปริมาณที่ใช้จริงมีปริมาณมากกว่า เนื่องจากในบางตำแหน่งมีการก่อสร้างรางเป็นรางคู่ หรือบริเวณที่เป็นชุมทางรถไฟที่มีปริมาณราง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หนาแน่น ทำให้ปริมาณรางที่ใช้จริงมีค่ามากกว่า สำหรับหมอนรองรางจะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างหมอนรองรางอยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีระยะห่างระหว่างหมอนรองรางประมาณ 600 - 650 มิลลิเมตร หรือประมาณ 1,600 ท่อนต่อกิโลเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ใช้งานจริงพบว่ามีค่าน้อยกว่า ซึ่งมาจากสาเหตุเดียวกับปริมาณราง คือบางบริเวณมีการก่อสร้างรางมากกว่า 1 รางทำให้ปริมาณงานที่เกิดขึ้นไม่สัมพันธ์กับความยาวรางแบบเส้นตรง

เมื่อใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการประมาณปริมาณงานและต้นทุนของแต่ละรายการงาน จะได้ต้นทุนของรายการงานหลักๆของงานราง (Track work) แต่ต้นทุนดังกล่าวยังไม่ใช้ต้นทุนทั้งหมดของงานราง (Track work) เนื่องจากยังมีรายการงานย่อยๆที่ไม่ได้พิจารณา เนื่องจากมีมูลค่าน้อยหรือกลุ่มตัวอย่างไม่มีรายการงานดังกล่าวทุกตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถพัฒนาแบบจำลองได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้โดยใช้ดัชนีปรับแก้ค่าที่ได้ เพื่อให้ต้นทุนดังกล่าวเป็นต้นทุนประมาณของงานราง (Track work) โดยผลรวมของต้นทุนรายการหลักของงานราง (Track work) และการปรับแก้ด้วยค่า 1.1 ซึ่งคำนวณจากแนวคิด Least mean square โดยพิจารณาจากค่า p ที่ทำให้พจน์ $\sqrt{\sum_{i=1}^{5}(C_{0i} - pC_i)^2}$ มีค่าน้อยที่สุดด้วยวิธี Simplex optimization เมื่อ

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของงานรางของโครงการ i

C_i = ต้นทุนงานรางที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ i

p = ดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานราง

รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.38

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.38 ผลลัพธ์และการปรับแก้ค่าที่ได้จากแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานรางด้วยการพิจารณาปริมาณงาน

โครงการ	ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง (ล้านบาท)	ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	ดัชนีปรับแก้	ต้นทุนหลังการปรับแก้ (ล้านบาท)	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)
1	4,080	4,660	1.1	4,488	12.36
2	3,670	3,710		4,037	1.09
3	3,630	3,770		3,993	3.79
4	3,180	3,690		3,498	13.86
5	2,830	2,480		3,113	14
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)					9.02

6.4.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานราง (Track work)

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.4.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work) การพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีในการพัฒนาแบบจำลองหลายวิธีด้วยกัน ทั้งแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองและวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองว่า แบบจำลองใดมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเลือกแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) โดยผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองจากหัวข้อ 5.4.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

1. ใช้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง

วิธีการดังกล่าวใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการก่อสร้างระบบรางในการพัฒนาแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.39

ตารางที่ 6.39 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการก่อสร้างระบบราง

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.59E-05	3.25E-05	2.81E-05	0.72E-05	4.71E-05
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	2.42E-05				

ดังที่ได้กล่าวไป ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าว ให้ผลลัพธ์ต้นทุนที่มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ยังขัดกับหลักความเป็นจริงอยู่ ทำให้หากนำไปใช้งานจริงอาจเกิดปัญหาในการประมาณต้นทุนได้

2. พัฒนาแบบจำลองโดยใช้ต้นทุนต่อความยาวราง

วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบราง โดยเมื่อใช้วิธีการดังกล่าวในการพัฒนาแบบจำลอง พบว่าผลลัพธ์เป็นดังตารางที่ 6.40

ตารางที่ 6.40 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ต้นทุนต่อความยาวของระบบราง

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	35.40	33.02	29.59	10.15	39.28
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	29.49				

จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนมีค่าค่อนข้างมาก ดังนั้นวิธีการประมาณต้นทุนด้วยวิธีประมาณต้นทุนจากความยาวรางจึงอาจไม่ใช่วิธีที่ดีนัก แต่หากพิจารณาความง่ายต่อการประมาณต้นทุน ก็นับว่าเป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการนำไปใช้ในการประมาณต้นทุน

3. ใช้ปัจจัยทางด้านรายการงานในการสร้างแบบจำลอง

วิธีการดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปแบบจากการใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของระบบรางมาเป็นรูปแบบที่ใช้ปัจจัยทางด้านรายการงานมาใช้ในการประมาณต้นทุน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.41

ตารางที่ 6.41 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านรายการงาน

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	11.36	116.61	0.16	21.81	0.57
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	30.10				

จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่า ความคลาดเคลื่อนของโครงการที่ 2 มีค่าสูงมาก ทำให้แบบจำลองดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนได้ ยิ่งไปกว่านั้นการประมาณต้นทุนจากปริมาณงานยังไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ข้อมูลทางด้านปริมาณงานไม่สามารถหาได้ และหากได้ปริมาณงานแล้วก็สามารถประมาณต้นทุนอย่างละเอียดได้ ทำให้ไม่มีเหตุผลที่ต้องใช้การประมาณต้นทุนเบื้องต้น ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

4. สร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาณงานของแต่ละรายการและประมาณต้นทุนของแต่ละรายการ

การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธีดังกล่าวเป็นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณปริมาณงานก่อนแล้วจึงทำการประมาณต้นทุนของงานราง (Track work) ตามมา ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการประมาณปริมาณงานได้อีกด้วย การประมาณปริมาณงานก่อนทำให้ผู้ประมาณต้นทุนและผู้ถอดแบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องของบัญชีแสดงปริมาณงานได้อีกด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.42

ตารางที่ 6.42 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยการประมาณปริมาณงาน

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	8.92	8.25	7.42	10.51	6.83
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	8.39				

จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากแบบจำลองดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องที่น่าพึงพอใจ อีกทั้งยังสามารถใช้แบบจำลองในการประมาณปริมาณงานได้อีกด้วย แบบจำลองดังกล่าวจึงค่อนข้างมีประโยชน์อย่างมากต่อผู้ประมาณต้นทุนและผู้ที่ทำหน้าที่ถอดปริมาณงาน

จากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีที่แตกต่างกันดังที่กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากวิธีการต่างๆได้ดังตารางที่ 6.43

ตารางที่ 6.43 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการต่างๆในการประมาณต้นทุนงานราง

แนวคิด	ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ (%)					ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	0.59E-05	3.25E-05	2.81E-05	0.72E-05	4.71E-05	2.42E-05
2	35.40	33.02	29.59	10.15	39.28	29.49
3	11.36	116.61	0.16	21.81	0.57	30.10
4	8.92	8.25	7.42	10.51	6.83	8.39

จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องที่มีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวไป วิธีที่ 1 มีข้อจำกัดทางด้านค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ไม่สอดคล้องกับหลักความเป็นจริง ดังนั้นวิธีที่ 4 น่าจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธีที่ 4 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณปริมาณงาน และนำปริมาณงานที่ได้มาคำนวณต้นทุนของแต่ละ

รายการ ก่อนจะรวมต้นทุนทั้งหมดเข้าด้วยกันและปรับแก้ด้วยดัชนีปรับแก้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.10 ซึ่งจะเป็นค่าต้นทุนที่เป็นตัวแทนต้นทุนงานราง (Track work)

6.4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

จากหัวข้อ 5.4.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานราง (Track work) วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จะใช้วิธีที่ 3 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณปริมารงานก่อนจึงพิจารณาต้นทุนรวมของงานราง (Track work) โดยพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณปริมาณงานก่อนที่จะนำมารวมต้นทุนและปรับแก้ค่าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

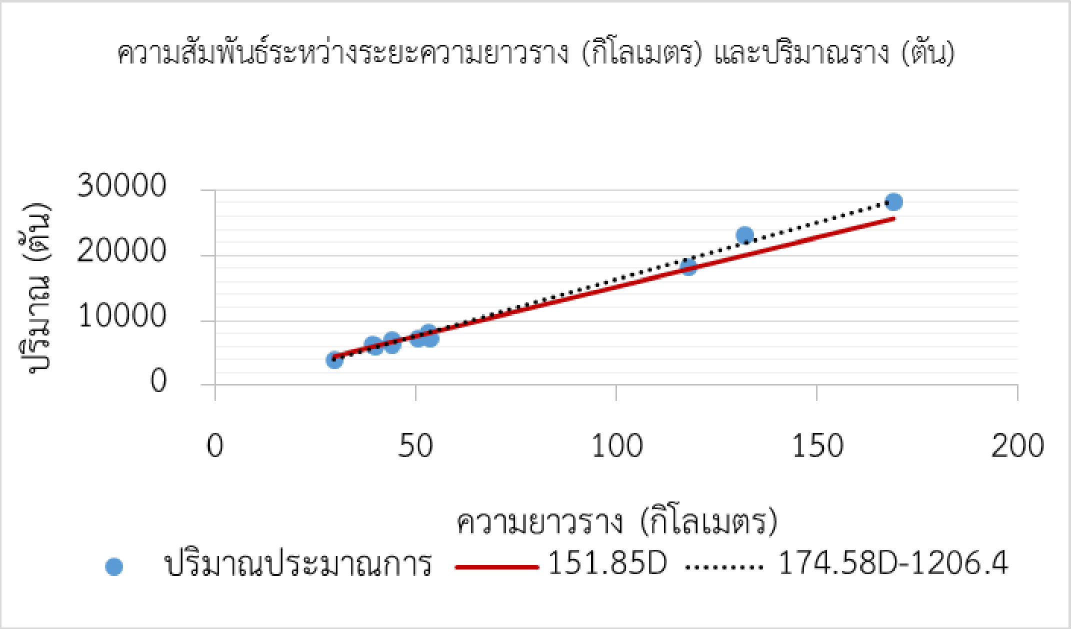
สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้อง จะใช้ข้อมูลตัวอย่างจากทุกๆโครงการ โดยในที่นี้จะมีด้วยกัน 5 โครงการ ซึ่งมีปริมาณน้อย ดังนั้นจะพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์ความถูกต้อง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องสามารถสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.44

ตารางที่ 6.44 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง

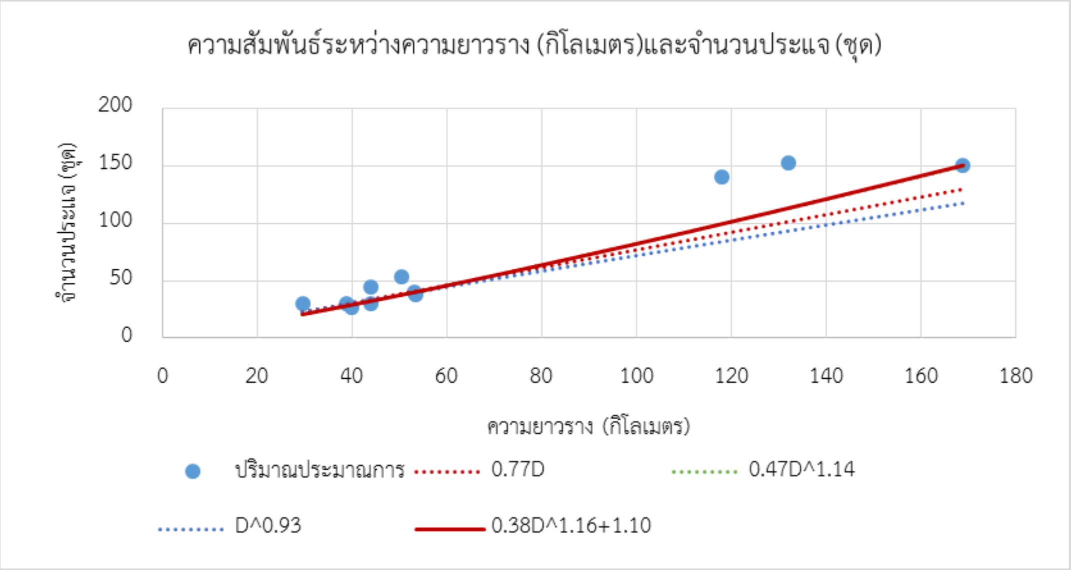
รายการงาน	ความคลาดเคลื่อนในแต่ละโครงการ (%)					ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
ราง	5.23	8.99	4.45	13.59	1.26	6.70
ประแจ	5.71	0.24	7.19	26.13	15.5	10.95
หมอนรองราง	16.85	3.20	0.52	2.32	18.65	8.31
เครื่องยึดเหนี่ยวราง	9.20	3.20	0.05	2.32	18.65	6.68
หินโรยทาง	6.10	8.89	34.37	30.42	2.00	16.36
การติดตั้งประแจ	12.65	1.69	1.86	25.11	26.89	13.64

จากตารางที่ 6.44 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถประมาณต้นทุนได้ค่อนข้างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการประมาณปริมาณงานได้อีกด้วย เนื่องความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่นำมาใช้กับปริมาณงานสามารถสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้โดยอาศัยการวาดแผนผัง และเมื่อสังเกต

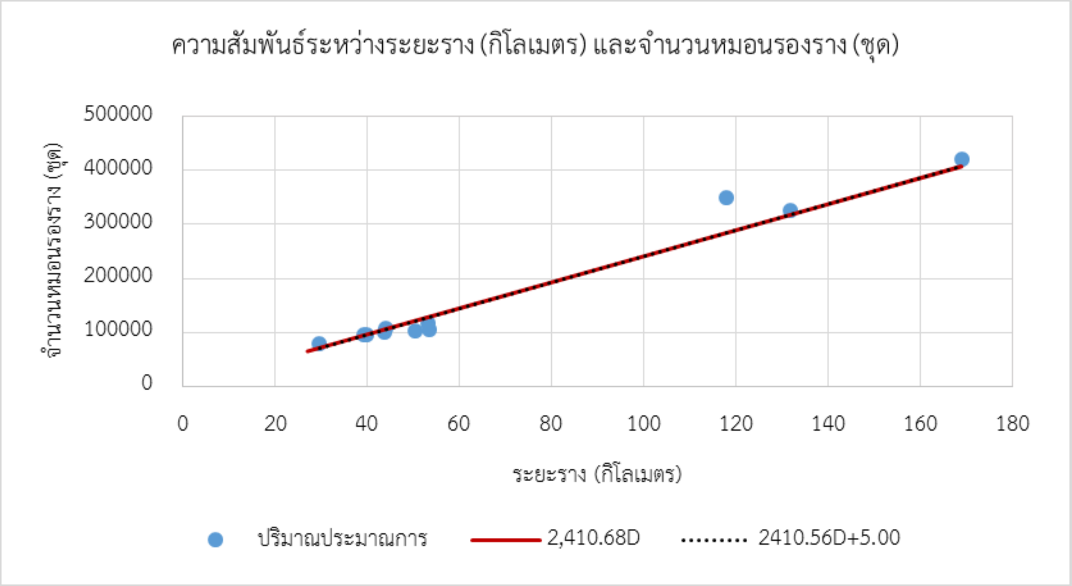
จากการกระจายตัวของข้อมูลแล้วจะพบว่า ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับการกระจายตัวของข้อมูล ทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณปริมาณงานได้อย่างแม่นยำ โดยความสัมพันธ์ของปริมาณงานและปัจจัยที่เลือกใช้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.17 – 6.22



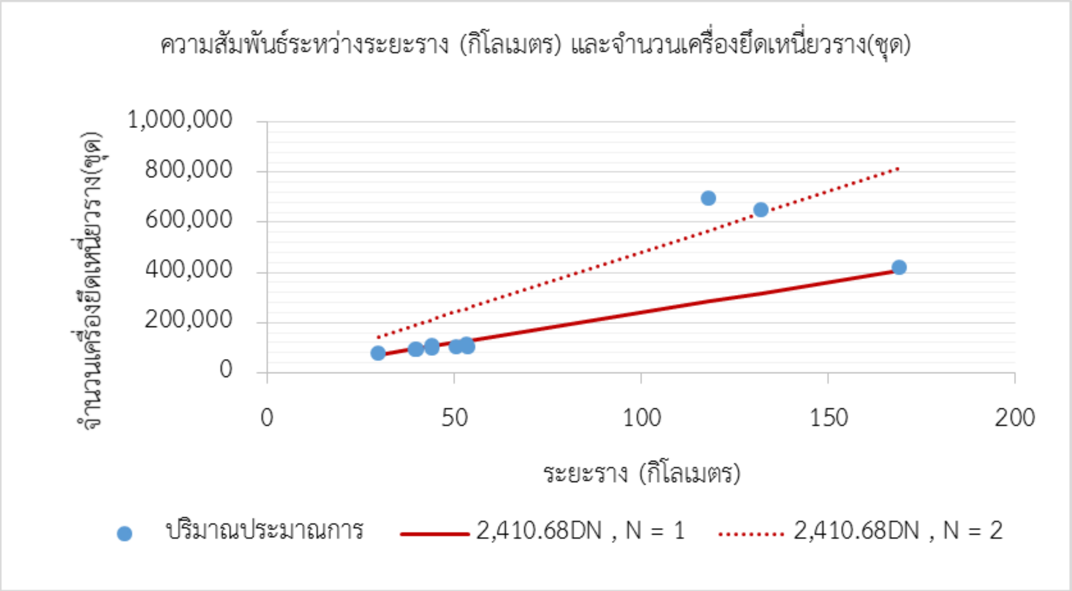
รูปที่ 6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณราง



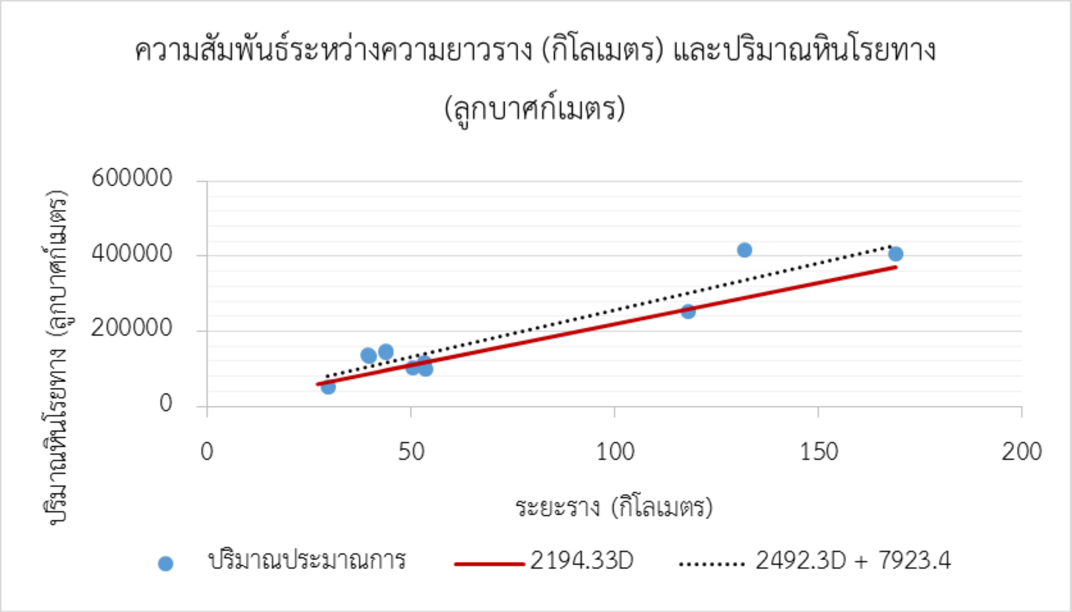
รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนประแจ



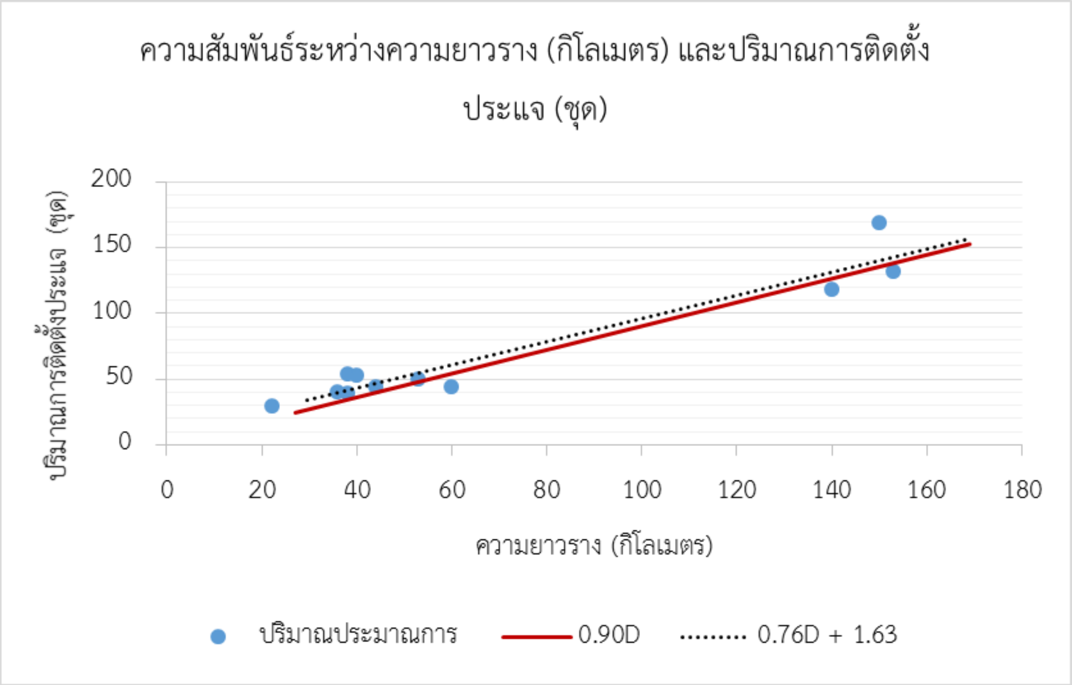
รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนหมอนรองราง



รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและจำนวนเครื่องยึดเหนี่ยวราง



รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณหินโรยทาง



รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณการติดตั้งประแจ

จากแผนผังแสดงความสัมพันธ์ จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรางและปริมาณงานต่างๆ สามารถสร้างสมการที่อธิบายความสัมพันธ์ได้ จึงทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประมาณปริมาณงานได้ค่อนข้างแม่นยำ แม้ว่าจะใช้ปัจจัยความยาวรางเป็นปัจจัยเดียวในการพิจารณาก็ตาม ข้อสังเกตคือ ปัจจัยที่ใช้ในการประมาณปริมาณงานมีปัจจัยทางด้านความยาวรางเป็นปัจจัยหลัก แต่การประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จากความยาวกลับให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าวิธีการประมาณต้นทุนจากปริมาณงาน เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานและความยาวรางไม่ใช่ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงซะทีเดียวดังจะเห็นได้จากวิธีการประมาณต้นทุนงานรางจากปริมาณงาน ทำให้การประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จากความยาวรางให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่น่าพอใจนัก

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับประมาณต้นทุนงานราง (Track work) สามารถประมาณปริมาณงานและต้นทุนได้อย่างแม่นยำ และเมื่อนำมาปรับแก้ด้วยค่าดัชนีปรับแก้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก็สามารถประมาณต้นทุนงานราง (Track work) ได้ค่อนข้างน่าพึงพอใจ คือมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่สามารถใช้การได้ในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

6.4.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานราง (Track work)

ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) มีดังนี้

1. ความกว้างรางมีค่าเท่ากับ 1.07 เมตร
2. ความกว้างเขตทางมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 80 เมตร
3. ความหนาหินโรยทางมีค่าอยู่ในช่วง 250 – 300 มิลลิเมตร
4. น้ำหนักรางมีค่าเท่ากับ 54 กิโลกรัม/เมตร
5. ความกว้างไหล่ทางมีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตร
6. ความลาดหินโรยทางมีค่าเท่ากับ 1 : 1.5
7. ความเร็วขบวนรถมีค่าอยู่ในช่วง 120 – 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง
8. ความเร็วขบวนรถขนสินค้ามีค่าอยู่ในช่วง 70 – 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
9. ระยะห่างระหว่างหมอนรองรางมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 65 เซนติเมตร

6.5 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

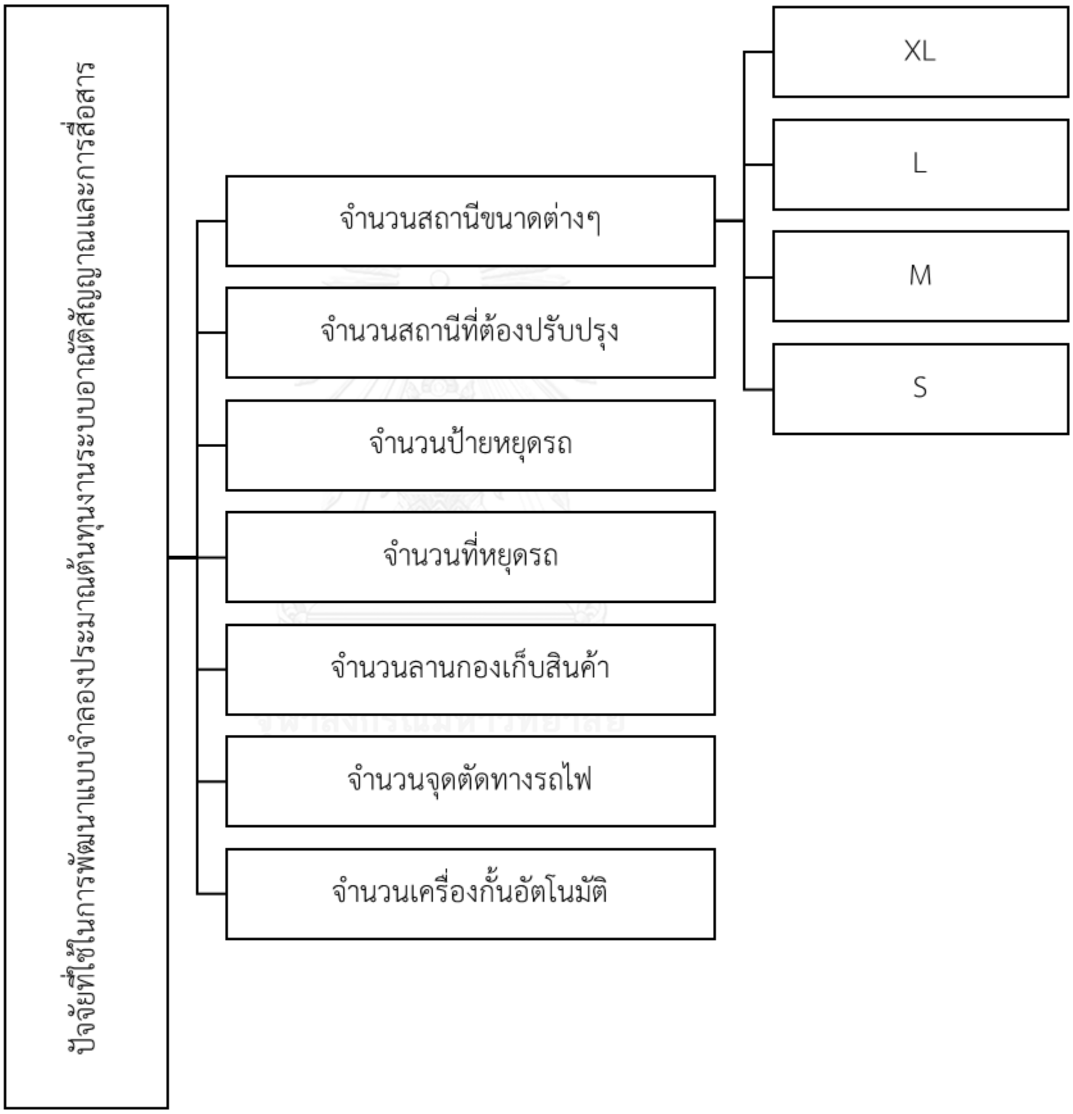
การประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) เป็นการประมาณต้นทุนที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน เนื่องจากระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละโครงการ มากไปกว่านั้นแม้แต่ในโครงการเดียวกัน ระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารยังแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่และความเหมาะสมในการใช้งาน ทำให้การประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) มีความซับซ้อนและไม่สามารถประมาณต้นทุนได้โดยง่าย ซึ่งการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะมีลักษณะคล้ายกับการประมาณต้นทุนงานระบบไฟฟ้า แต่เนื่องจากความหลากหลายและความซับซ้อนของของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ทำให้การประมาณต้นทุนมักจะประมาณแบบ ซึ่งเป็นการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด การประมาณต้นทุนเบื้องต้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความครบถ้วนของข้อมูล

จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่าการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ในปัจจุบันมักจะเป็นการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด การศึกษาชิ้นนี้จึงมีความพยายามพัฒนาแบบจำลองที่จะสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ให้มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้ โดยลักษณะของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะอ้างอิงจากข้อมูลของการรถไฟแห่งประเทศไทย (State Railway of Thailand) ซึ่งเป็นระบบที่รองรับโครงการระบบรางพื้นฐานของประเทศไทย

6.5.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

ปัจจัยที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะเป็นปัจจัยทางด้านกายภาพของ

โครงการ ได้แก่ จำนวนสถานีขนาดต่างๆ ระยะของราง จำนวนป้ายหยุดรถ จำนวนที่หยุดรถ จำนวนลานกองเก็บสินค้า จำนวนจุดตัดทางรถไฟ และจำนวนเครื่องกั้นอัตโนมัติ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

6.5.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

จากที่ได้กล่าวมา การพัฒนาแบบจำลองเพื่อนประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) เป็นการประมาณต้นทุนที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน อีกทั้งยังมีความแตกต่างกันมากในแต่ละโครงการ ความซับซ้อนของระบบเองก็มีส่วนที่ทำให้การประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ทำได้ยาก ในทางปฏิบัติมักใช้การถอดปริมาณงานหรือการประมาณต้นทุนอย่างละเอียดในการประมาณต้นทุน แต่การประมาณต้นทุนด้วยวิธีการดังกล่าวเป็นการประมาณต้นทุนอย่างละเอียด หากต้องการประมาณต้นทุนเบื้องต้นงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะไม่สามารถใช้วิธีการดังกล่าวในการประมาณต้นทุนได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีความพยายามที่จะพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนเพื่อตอบสนองความต้องการในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยการพัฒนาแบบจำลองจะพัฒนาจากข้อมูลและปัจจัยที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 5.5.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) และนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีต่างๆมาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้และเลือกใช้แบบจำลองนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเป็นข้อมูลเชิงโครงการ ซึ่งมีจำนวนข้อมูลน้อย วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) จึงไม่เหมาะสม จึงต้องใช้วิธีการอื่นในการพัฒนาแบบจำลอง แนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) มีดังนี้

- การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ
- *การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ*

1. การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ

การพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีการดังกล่าวเป็นการใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการสร้างความสัมพันธ์และทำนายต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) โดยใช้แบบจำลองหรือความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้น ในขั้นตอนของการ

เตรียมข้อมูลจะมีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) เสียก่อน เพื่อลดผลกระทบของสัดส่วนค่าปัจจัยต่างๆให้อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ (0,1) และตั้งค่าให้ผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักสามารถเป็นค่าติดลบได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนัก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และได้ค่าน้ำหนักที่ได้ดังที่แสดงในตารางที่ 6.45 โดยกำหนดให้ตัวแปรต่างๆมีค่าดังนี้

A_1 = ความยาวราง (กิโลเมตร)

A_2 = จำนวนสถานี

A_3 = จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ

A_4 = จำนวนสถานีขนาดใหญ่

A_5 = จำนวนสถานีขนาดกลาง

A_6 = จำนวนสถานีขนาดเล็ก

A_7 = จำนวนสถานีที่ต้องปรับปรุง

A_8 = จำนวนป้ายหยุดรถ

A_9 = จำนวนที่หยุดรถ

A_{10} = จำนวนจุดตัดทางรถไฟ

A_{11} = จำนวนเครื่องกั้นอัตโนมัติ

Cost = ต้นทุนที่ได้จากแบบจำลอง (บาท)

ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Cost = 0.16A_1 - 0.18A_2 + 0.14A_3 - 0.27A_4 + 0.07A_5 + 0.21A_6 - 0.04A_7 + 0.01A_8 + 0.03A_9 - 0.09A_{10} + 0.91 \quad (6.23)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.45 ตารางแสดงผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพของโครงการ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนประมาณการ	1.00	0.65	0.85	0.86	0.98
ต้นทุนจากแบบจำลอง	1.00	0.65	0.85	0.86	0.98
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.78E-04	1.09E-04	0.41E-04	0.57E-04	1.41E-04
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.85E-04				

จากสมการที่ได้ พบว่าค่าน้ำหนักปัจจัยบางค่ามีค่าเป็นลบ ซึ่งไม่สะท้อนถึงความเป็นจริง ดังนั้นการจำกัดขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยจึงเป็นจำเป็นในการพัฒนาแบบจำลอง

2. การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

เนื่องจากวิธีการแรกที่ใช้นั้น ไม่มีข้อจำกัดในด้านค่าน้ำหนักของปัจจัย ทำให้ค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ สามารถมีค่าเป็นลบได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปัจจัยบางปัจจัยมีค่าน้ำหนักเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า หากปัจจัยดังกล่าวมีปริมาณมากขึ้น ค่าต้นทุนรวมของงงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะลดลง ซึ่งค่อนข้างขัดกับหลักความจริง ดังนั้นจึงต้องมีการจำกัดค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้มีค่าเป็นลบ เช่นเดียวกับข้อ 1 วิธีการที่ใช้คือการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) และปัจจัยต่างๆก็มีค่าเช่นเดียวกับข้อ 1 และไม่มีการปรับฐานข้อมูล (Normalization) ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Cost = 0.24A_3 + 0.07A_5 + 0.01A_8 + 0.04A_9 + 0.74 \quad (6.24)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.46

ตารางที่ 6.46 ตารางแสดงผลลัพธ์และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพของโครงการและที่ค่าน้ำหนักไม่ติดลบ

รายละเอียดการคำนวณ	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนประมาณการ	1.00	0.65	0.85	0.86	0.98
ต้นทุนจากแบบจำลอง	1.00	0.75	0.85	0.75	0.98
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.00	16.25	0.00	12.26	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	5.7				

จากผลลัพธ์ที่ได้ดังตาราง 5.42 จะพบว่า ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณต้นทุนด้วยปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ โดนการตั้งค่าขอบเขตของค่าน้ำหนักปัจจัยไม่ให้ติดลบ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการที่ 1 แต่แบบจำลองที่ได้สามารถสะท้อนต้นทุนตามความเป็นจริงได้มากกว่า เนื่องจากค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่เป็นลบ อีกทั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ก็อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ สามารถนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ได้ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) คือ ขนาดของสถานีและจำนวนที่หยุดรถและป้ายหยุดรถ

6.5.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 5.4.2 วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) การพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีในการพัฒนาแบบจำลองหลายวิธี เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองว่า แบบจำลองใดมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเลือกแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) โดยผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองจากหัวข้อ 5.5.2 วิธีที่ใช้ในการ

พัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

1. ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง

วิธีการดังกล่าวใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการก่อสร้างระบบรางในการพัฒนาแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.47

ตารางที่ 6.47 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.78E-04	1.09E-04	0.41E-04	0.57E-04	1.41E-04
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	0.85E-04				

ดังที่ได้กล่าวไป ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าว ให้ผลลัพธ์ต้นทุนที่มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ยังขัดกับหลักความเป็นจริงอยู่ ทำให้หากนำไปใช้งานจริงอาจเกิดปัญหาในการประมาณต้นทุนได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองและตั้งค่าน้ำหนักไม่ให้ติดลบ

วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบราง โดยเมื่อใช้วิธีการดังกล่าวในการพัฒนาแบบจำลอง พบว่าผลลัพธ์เป็นดังตารางที่ 6.48

ตารางที่ 6.48 ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสารและที่ค่าน้ำหนักไม่ติดลบ

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อนในการพัฒนาแบบจำลอง (%)	0.00	16.25	0.00	12.26	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	5.70				

จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องที่มีค่ามากกว่า อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวไป วิธีที่ 1 มีข้อจำกัดทางด้านค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ไม่สอดคล้องกับหลักความเป็นจริง ดังนั้นวิธีที่ 2 น่าจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากวิธีที่ 2 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนจากปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ โดยการจำกัดขอบเขตค่าน้ำหนักของปัจจัยไม่ให้ติดลบ ซึ่งค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนในระดับที่น่าพึงพอใจและสามารถนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองดังกล่าวยังเป็นแบบจำลองที่ประมาณต้นทุนอย่างหยาบอยู่ เนื่องจากการพิจารณาลงรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ยังเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและไม่สามารถประมาณต้นทุนได้โดยง่าย แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเป็นเพียงต้นแบบและแสดงแนวความคิดเบื้องต้นที่สามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุน

6.5.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

จากหัวข้อ 5.5.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) วิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จะใช้วิธีที่ 2 ซึ่งพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการ โดยการจำกัดขอบเขตค่าของน้ำหนักปัจจัยไม่ให้มีค่าเป็นลบ เพื่อให้สะท้อนถึงความเป็นจริงในการประมาณต้นทุนมากที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์ความถูกต้อง เนื่องจากใช้ข้อมูลทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองและการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จึงใช้ข้อมูลชุดเดียวกัน เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของทั้งแบบจำลองและความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเอง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องสามารถสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.49

ตารางที่ 6.49 ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ความคลาดเคลื่อน	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ความคลาดเคลื่อน (%)	0.00	16.25	0.00	12.26	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	5.70				

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) สามารถประมาณปริมาณงานและต้นทุนได้อย่างแม่นยำในระดับที่ได้ค่อนข้างน่าพึงพอใจ คือมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่สามารถใช้การได้ในช่วงของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

6.5.5 ข้อกำหนด (Specification) ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) คือ ระบบอาณัติสัญญาณในงานวิจัยนี้ เป็นระบบที่รองรับโครงการระบบรางคู่ที่เป็นระบบรางพื้นฐานของประเทศไทย โดยมีการรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นผู้รับผิดชอบ และเป็นระบบที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

6.6 แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

เนื้อหาในบทที่ 5 การสร้างแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ เป็นการกล่าวถึงปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ผลลัพธ์ที่ได้ รวมถึงการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เนื้อหาส่วนที่ผ่านมาได้มีการกล่าวถึงแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ทั้ง 5 หมวดงานมาแล้ว ในส่วนสุดท้ายของบทที่ 5 นี้ จะกล่าวถึงการรวมผลของแบบจำลองทั้ง 5 หมวดงานเข้าด้วยกัน รวมถึงการปรับแก้เพื่อให้ต้นทุนที่ได้ สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานวิศวกรรมในโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ได้

จากผลของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนของทั้ง 5 หมวดงานที่ได้กล่าวมา ผลรวมของต้นทุนสำหรับหมวดงานทั้ง 5 หมวดงานที่ได้กล่าวมา จะยังไม่สามารถใช้เป็นต้นทุนของโครงการระบบรางคู่ได้ เนื่องจากโครงการก่อสร้างระบบรางคู่นั้น จะมีหมวดงานอยู่มากกว่า 5 หมวดที่ใช้ในการพิจารณาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ถึงแม้ว่าหมวดงานทั้ง 5 หมวดงานจะเป็นหมวดงานหลัก คือมีมูลค่าสูงสุดในการก่อสร้างระบบรางคู่ แต่แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก็ยังไม่คำนึงถึงต้นทุนของหมวดงานย่อยอื่นๆ ทำให้ต้นทุนรวมที่ได้จากแบบจำลองประมาณต้นทุนยังไม่ใช่ต้นทุนรวมของโครงการจริงๆ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่าที่ได้จากผลรวมของแบบจำลองทั้ง 5 หมวดงาน โดยที่ค่าที่ใช้ในการปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1.02 ซึ่งคำนวณจากแนวคิด Least mean square โดยพิจารณาจากค่า p ที่ทำให้พจน์

$\sqrt{\sum_{i=1}^{5}(C_{0i}-pC_i)^2}$ มีค่าน้อยที่สุดด้วยวิธี Simplex optimization เมื่อ

C_{0i} = ต้นทุนประมาณการของโครงการ i

C_i = ต้นทุนงานที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองของโครงการ i

p = ดัชนีปรับแก้ต้นทุน

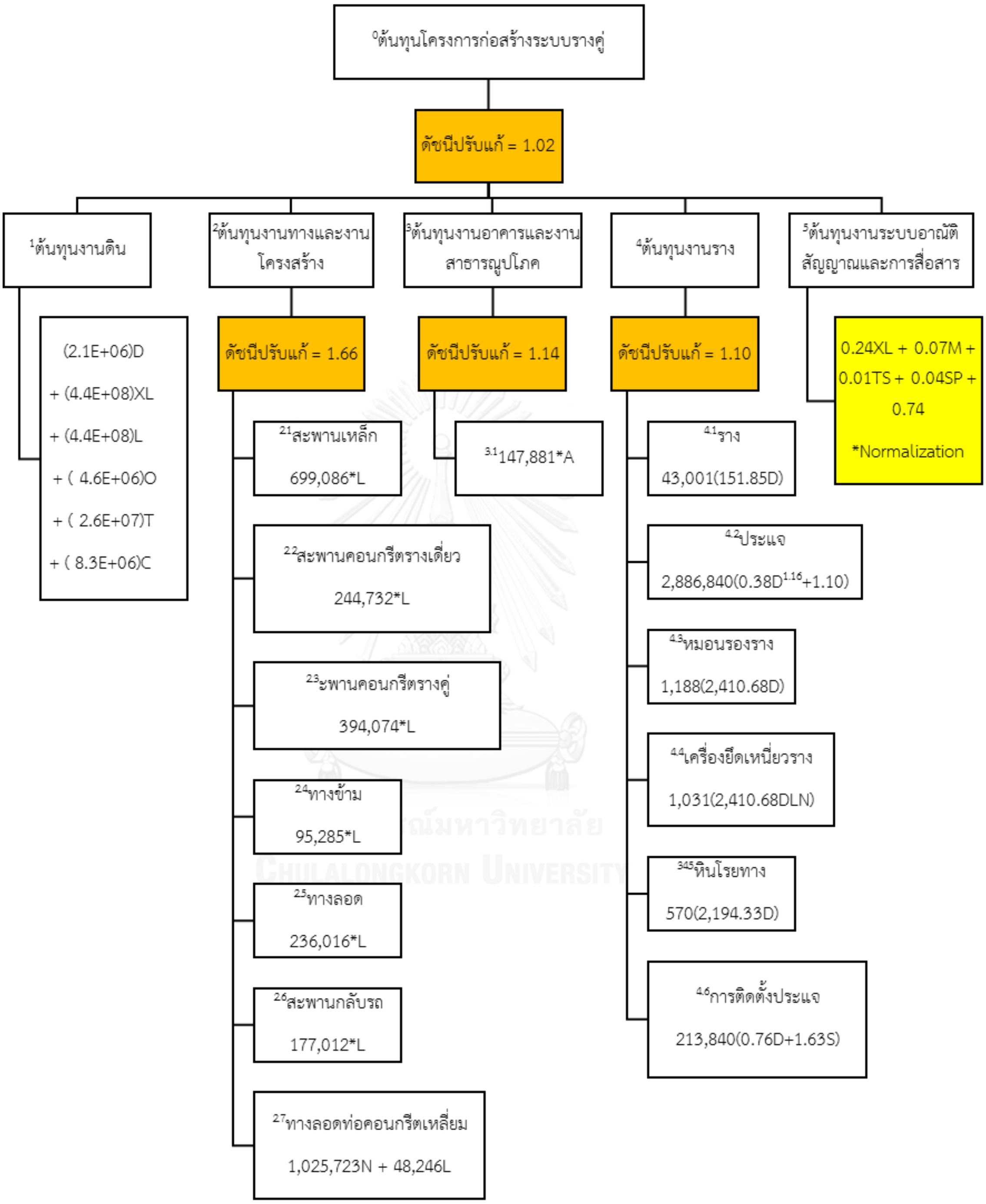
ซึ่งผลรวมของต้นทุนจากแบบจำลองทั้ง 5 หมวดงาน การปรับแก้ รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.50

ตารางที่ 6.50 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดที่ได้พัฒนาขึ้น การปรับแก้ และความคลาดเคลื่อนรวมของการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

ต้นทุนหมวดงานต่างๆและการปรับแก้	โครงการ				
	1	2	3	4	5
ต้นทุนงานดิน (ล้านบาท)	2,765	1,347	1,145	1,548	1,386
ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (ล้านบาท)	7,743	10,081	5,289	10,214	12,651
ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (ล้านบาท)	2,740	1,270	2,890	890	1,260
ต้นทุนงานราง (ล้านบาท)	4,080	3,670	3,630	3,180	2,830
ต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (ล้านบาท)	3,490	2,620	2,960	2,620	3,410
ผลรวมต้นทุนจากแบบจำลอง (ล้านบาท)	20,818	18,988	15,914	18,452	21,537
ดัชนีปรับแก้	1.02				
ต้นทุนที่ปรับแก้แล้ว (ล้านบาท)	21,323	19,449	16,301	18,900	22,060
ต้นทุนประมาณการ (ล้านบาท)	25,100	18,200	16,600	18,900	21,700
ความคลาดเคลื่อน (%)	15.05	6.86	1.80	0.00	1.66
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)	5.07				

จะเห็นได้ว่า หลังจากปรับแก้ค่าที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากผลรวมต้นทุนจากแบบจำลองของทั้ง 5 หมวดงาน ให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณต้นทุนที่ค่อนข้างน่าพึงพอใจ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการประมาณต้นทุนเบื้องต้น คือ มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 30% ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น

แบบจำลองทั้งหมดที่พัฒนาขึ้นและถูกเลือกใช้เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนของหมวดงานต่างๆ รวมถึงขั้นตอนในการปรับแก้ ตัวแปรและการปรับฐานข้อมูล (Normalization) และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น สามารถสรุปได้ดังแผนผังในรูปที่ 6.24 ตารางที่ 6.51 และตารางที่ 6.52 ตามลำดับ



รูปที่ 6.24 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ และการปรับแก้

ตารางที่ 6.51 ตัวแปรและค่าที่ใช้ในการปรับฐานข้อมูล (Normalization)

หมวดหมู่	ตัวแปร	ความหมาย	การปรับฐานข้อมูล (Normalization)
1	D	ความยาวราง (กม.)	
	XL	จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ	
	L	จำนวนสถานีขนาดใหญ่	
	O	จำนวนทางข้าม	
	T	จำนวนสะพานกลับรถ	
	C	จำนวนท่อลอดคอนกรีตเหลี่ยม	
2	L	ความยาวโครงสร้าง (ม.)	
	N	จำนวนทางลอดคอนกรีตเหลี่ยม	
3	A	พื้นที่ (ตร.ม.)	
4	D	ความยาวราง (กม.)	
	N	จำนวนเครื่องยึดเหนี่ยวราง	
	S	จำนวนสถานี	
5	XL	จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ	/1
	M	จำนวนสถานีขนาดกลาง	/17
	TS	จำนวนป้ายหยุดรถ	/7
	SP	จำนวนที่หยุดรถ	/6
	C	ต้นทุน (บาท)	*3,485,931,502

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.52 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองประมาณต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

ลำดับ	รายการงาน	Minimum (%)	Mean (%)	Maximum (%)	SD
0	ต้นทุนโครงการก่อสร้างระบบรางคู่	0.00	5.07	15.05	5.49
1	ต้นทุนงานดิน	0.00	2.33	4.00	1.91
2	ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง	1.21	11.40	28.14	9.09
2.1	สะพานเหล็ก	0.00	3.28	8.86	3.02
2.2	สะพานคอนกรีตรางเดี่ยว	0.00	9.99	48.61	12.55
2.3	สะพานคอนกรีตรางคู่	0.00	8.65	25.70	6.82
2.4	ทางข้าม	0.00	46.70	75.97	18.80
2.5	ทางลอด	0.00	19.18	29.94	13.18
2.6	สะพานกลับรถ	0.00	23.04	39.84	7.56
2.7	ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	0.00	34.12	114.81	30.71
3	ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค	2.40	10.48	18.87	6.32
3.1	สถานี	0.00	14.82	48.28	11.53
4	ต้นทุนงานราง	6.83	8.39	10.51	1.28
4.1	ราง	0.00	5.11	13.59	3.91
4.2	ประแจ	0.00	15.50	30.99	12.96
4.3	หมอนรองราง	0.00	8.20	18.65	7.70
4.4	เครื่องยึดเหนี่ยวราง	0.00	8.20	21.22	7.70
4.5	หินโรยทาง	0.00	20.74	36.80	14.31
4.6	การติดตั้งประแจ	0.00	15.47	33.44	13.77
5	ต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร	0.00	5.70	16.25	7.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.7 ดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการ

จากหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า ได้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของหมวดหมู่งานหลักทั้งหมด 5 หมวดงาน ได้แก่ งานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้ปัจจัยต่างๆของโครงการในการประมาณต้นทุน เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่โครงการดำเนินการได้ ต้องมีการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนจามช่วงเวลาที่โครงการดำเนินการขึ้น ซึ่งทำให้แบบจำลองสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนที่ช่วงเวลาต่างๆได้ และสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่า ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนในระยะยาวได้

แนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาในงานวิจัยนี้ จะใช้หลักการในการพิจารณาค่า K ซึ่งใช้ในการปรับแก้ต้นทุนในการดำเนินโครงการ เมื่อช่วงเวลาในการดำเนินโครงการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ต้นทุนที่ประมาณไว้และแสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) กับต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินโครงการจริงแตกต่างกันเนื่องจากต้นทุนในการดำเนินการต่างๆเปลี่ยนแปลงไป ทั้งต้นทุนวัสดุและแรงงาน โดยแนวคิดในการพัฒนาค่า K จะแยกประเภทของงานหรือโครงการเพื่อพัฒนาค่า K ที่จะใช้กับงานหรือโครงการนั้นๆ โดยจะพิจารณาองค์ประกอบของต้นทุนของงานหรือโครงการประเภทต่างๆ ว่าประกอบด้วยองค์ประกอบต้นทุนที่มีนัยสำคัญอะไรบ้าง และพิจารณาสัดส่วนขององค์ประกอบนั้นๆ เพื่อใช้ในการพัฒนาค่า K ให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบที่มีความสำคัญของงานหรือโครงการแต่ละประเภท

สมมติฐานที่ใช้ในการพัฒนาแนวคิดในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาในรูปของดัชนีดังที่กล่าวมา จะใช้หลักการในการพิจารณาค่า K โดยจะตั้งสมมติฐานให้ค่าคงที่ตำแหน่งที่ไม่ขึ้นกับดัชนีใดเป็นค่าคงที่ เนื่องจากเป็นส่วนของการพิจารณาต้นทุนในการดำเนินการและกำไร (Factor F) ส่วนต้นทุนในส่วนที่เหลือจะใช้การแบ่งตามสัดส่วนที่พิจารณาจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) เพื่อพัฒนาแนวคิดที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาในรูปของดัชนี สำหรับส่วนประกอบที่เป็นต้นทุนในการดำเนินการและกำไรจะอ้างอิงจากการพิจารณาค่า K เดิมสำหรับรายการงานที่มีการประกาศการพิจารณาค่า K และใช้สัดส่วนต้นทุนในการดำเนินงานประมาณของ

โครงการที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) สำหรับรายการงานที่ไม่มีการประกาศวิธีการพิจารณาค่า K

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาวิธีการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาโดยใช้แนวคิดในการปรับแก้ต้นทุนจากค่า K จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อใช้เป็นตัวแทนของโครงการประเภทต่างๆ แต่สำหรับงานวิจัยนี้มีจำนวนตัวอย่างจำกัดในบางหมวดงาน โดยงานดิน (Earthwork) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) มีจำนวนข้อมูล 5 โครงการ จึงไม่สามารถใช้ข้อมูลที่มีอยู่สรุปผลที่ได้ว่า ผลลัพธ์สมการที่ได้สามารถใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามเวลาได้หรือไม่ ในขณะที่งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) และงานอาคารและสาธารณูปโภค (Building and Utility work) มีการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนจากรายการงานที่เป็นโครงสร้างและอาคารสถานี ซึ่งมีจำนวนขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของรายการบางรายการงานจึงมีจำนวนตัวอย่างข้อมูลมากกว่า ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงตัวอย่างการใช้แนวคิดในการพัฒนาค่า K ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามเวลา แต่ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาดัชนี หากในอนาคตมีจำนวนข้อมูลมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ก็สามารถใช้แนวคิดดังกล่าวในการพัฒนาดัชนีในการปรับแก้ต้นทุนตามเวลาได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้ จะประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่จากหมวดงานหลัก 5 หมวด และใช้เป็นตัวแทนในการประมาณต้นทุนรวมของทั้งโครงการ ดังนั้นตัวอย่างการพัฒนาดัชนีเพื่อใช้ในการปรับแก้ต้นทุนของทั้ง 5 หมวดงานดังที่กล่าวมา โดยแต่ละหมวดงานมีรายละเอียดดังนี้

6.7.1 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานดิน (Earthwork)

จากการวิเคราะห์จากบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) พบว่างานดิน (Earthwork) ประกอบด้วยรายการงานหลักๆดังนี้ งานถางป่าและขุดตอ งานขุดทั่วไป งานดินคันทาง และงานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง ดังที่แสดงในองค์ประกอบของต้นทุนงานดิน (Earthwork) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า K งานดิน (Earthwork) ที่ประกาศตามมติคณะรัฐมนตรีปี 2532 ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$K_{\text{งานดิน}} = 0.30 + 0.10*It/Io + 0.40Et/Eo + 0.20Ft/Fo \qquad (6.25)$$

จะพบว่าค่า K ของงานดิน (Earthwork) จะพิจารณาจาก ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปของประเทศ (I) ซึ่งสื่อถึงค่าแรง ดัชนีราคาเครื่องจักรกลและบริภัณฑ์ (E) และดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (F) ซึ่งหากพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนโครงการระบบรางคู่ตามช่วงเวลาโดยใช้แนวคิดในการพิจารณาค่า K จะต้องพิจารณาดัชนีปรับแก้ต้นทุนจากทั้ง 3 องค์ประกอบนี้ ได้แก่ ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปของประเทศ (I) ซึ่งสื่อถึงค่าแรง ดัชนีราคาเครื่องจักรกลและบริภัณฑ์ (E) และดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (F) ซึ่งจะพิจารณาองค์ประกอบของต้นทุนรายการงานต่างๆเพื่อใช้ในการหาสัดส่วนเพื่อพัฒนาดัชนีในการปรับแก้ต้นทุน โดยจะอ้างอิงจากหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมทางหลวง ปี 2550 เพื่อใช้ในการพิจารณาองค์ประกอบต้นทุนของรายการงานต่างๆในหมวดงานดิน (Earthwork)

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าในบัญชีแสดงปริมาณงานของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองประมาณต้นทุน จะแสดงต้นทุนต่อหน่วยของรายการงานต่างๆ แต่ไม่ได้แจกแจงต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละรายการงานว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้าง ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนที่แท้จริง และการจะวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนจากหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมทางหลวง ปี 2550 โดยตรง ก็อาจจะไม่ได้ค่าที่มีความเหมาะสมเนื่องจากต้นทุนที่ได้จากการวิเคราะห์ในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่สะท้อนถึงต้นทุนต่างๆในปัจจุบัน ดังนั้นในการวิเคราะห์สัดส่วนในงานวิจัยนี้ จะใช้หลักการพิจารณาและข้อมูลผลิตภาพ (Productivity) ดังที่แสดงในหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมทางหลวง ปี 2550 แต่จะมีการปรับแก้ต้นทุนให้เป็นปัจจุบัน เพื่อให้สะท้อนกับความเป็นจริงให้มากที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์สัดส่วนเพื่อใช้ในการพัฒนาดัชนีในการปรับแก้ตามช่วงเวลาของแต่ละรายการงานมีรายละเอียดดังนี้

1. งานถางป่าและขุดตอ

ลักษณะงานที่ทำคือ ใช้รถเกลี่ยดินถางวัชพืชหน้าดินบริเวณเขตทางภายในขอบเขตถางป่าและถางลาดคันทางทั้งสองข้างด้วย ซึ่งชุดเครื่องจักรจะประกอบด้วยรถเกลี่ยดินขนาด 120 แรงม้า 1 ตัวและมีการขยายคันทางโดยรถแทรคเตอร์ 120 แรงม้า 1 ตัว

เนื่องจากงานถางป่าและขุดตอสามารถแบ่งระดับงานออกได้เป็น 3 ระดับ คือ เบา กลาง และหนัก สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากงานระดับกลาง เนื่องจากระดับของงานอาจยังไม่แน่นอน

ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ดังนั้นจะเลือกงานระดับกลางเป็นตัวแทนในการพิจารณาสัดส่วนต้นทุน โดยมีรายละเอียดของต้นทุนในการดำเนินการดังนี้

ค่าใช้จ่ายรถเกลี่ยดิน	1,250	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถเกลี่ยดิน	400	บาท/ชม.
คนงานเก็บรากไม้ 6 คน	225	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถแทรคเตอร์	1,062.5	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถแทรคเตอร์	312.5	บาท/ชม.

จะได้ค่าสัดส่วนต้นทุนดังนี้

ตารางที่ 6.53 สัดส่วนต้นทุนงานถางป่าและขุดตอ

ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
6.92	71.15	21.92

2. งานขุดทั่วไป

ลักษณะงานที่ทำคือ ทำการไถเปิดหน้าดินด้วยรถแทรคเตอร์ โดยเปิดหน้าดินลึก 1 ม. และขุดตักวัสดุด้วยรถขุดตัก โดยใช้รถตักๆขึ้นรถ กลุ่มที่ทำงานจะประกอบด้วยรถขุดตัก 80 แรงม้า 1 ตัว รถแทรคเตอร์ 120 แรงม้า 1 ตัว และคนงานกรรมกร 4 คน ซึ่งรายละเอียดต้นทุนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายรถขุดตัก	687.5	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถรถขุดตัก	312.5	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถแทรคเตอร์	1,062.5	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถแทรคเตอร์	312.5	บาท/ชม.
คนงานกรรมกร 4 คน	150	บาท/ชม.

ตารางที่ 6.54 สัดส่วนต้นทุนงานขุดทั่วไป

ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
5.94	69.31	24.75

3. งานดินคันทาง

งานดินคันทาง เป็นงานที่เป็นส่วนประกอบของการก่อสร้างคันทางเพื่อรองรับระบบรางที่จะก่อสร้าง ลักษณะงานที่ทำ เป็นการขุดเอาวัสดุดินคันทางจากบ่อดินมาใช้ทำคันทาง โดยใช้รถแทรคเตอร์ 120 แรงม้าเปิดหน้าดินออกเฉลี่ยหนา 0.30 ม. และขุดตัดขึ้นรถบรรทุกด้วยรถขุดตัก โดยชุดเครื่องจักรที่ใช้ทำงานประกอบด้วย รถแทรคเตอร์ 120 แรงม้า 1 ตัวและรถขุดตัก 80 – 90 แรงม้า 1 ตัว โดยมีรายละเอียดของต้นทุนในการดำเนินการดังนี้

ค่าใช้จ่ายรถแทรคเตอร์	1,062.5	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถแทรคเตอร์	312.5	บาท/ชม.
คนงานกรรมกร 4 คน	60	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถขุดตัก (คิด 40%)	275	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถรถขุดตัก (คิด 40%)	125	บาท/ชม.

ตารางที่ 6.55 สัดส่วนต้นทุนงานดินคันทาง

ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
3.27	72.89	23.84

4. งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง

ลักษณะงานที่ทำ เป็นการบดอัดดินทีละชั้นๆ ละไม่เกิน 15 ซม. ของความหนาเมื่อบดทับแน่นและต้องได้ความแน่นตามข้อกำหนด โดยชุดเครื่องจักรที่ใช้ประกอบด้วยรถเกลี่ยดินขนาด 120 แรงม้า 1 ตัว รถบดล้อยางขนาด 80 แรงม้า 1 ตัว รถบดสั่นสะเทือน 130 แรงม้า 1 ตัว และรถบรรทุกน้ำราดน้ำได้ 10,000 ลิตร 1 คัน โดยที่เครื่องจักรแต่ละตัวทำงานเต็มที่เพียง 70% ของชั่วโมงทำงาน ที่เหลือ 30% เป็นการรอตามขั้นตอนทำงาน โดยมีรายละเอียดของต้นทุนในการดำเนินการดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าใช้จ่ายรถรถเกลี่ยดิน	1,250	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถรถเกลี่ยดิน	400	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถบดล้อยาง	525	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถบดล้อยาง	287.5	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถบดสั่นสะเทือน	1,062.5	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถบดสั่นสะเทือน	312.5	บาท/ชม.
ค่าใช้จ่ายรถบรรทุกน้ำ	525	บาท/ชม.
ค่าน้ำมันรถบรรทุกน้ำ	225	บาท/ชม.
คนงานเก็บรากไม้อื่นๆ 6 คน (คิด 70%)	157.5	บาท/ชม.

ตารางที่ 6.56 สัดส่วนต้นทุนงานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง

ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
3.32	70.86	25.82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรายละเอียดแสดงองค์ประกอบของต้นทุนรายการงานดิน (Earthwork) ที่สำคัญทั้งหมด สามารถสรุปองค์ประกอบต้นทุนของรายการงานต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.57 สัดส่วนขององค์ประกอยต้นทุนรายการงานดิน (Earthwork)

รายการงาน	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
งานถางป่าและขุดตอ	6.92	71.15	21.92
งานขุดทั่วไป	5.94	69.31	24.75
งานดินคันทาง	3.27	72.89	23.84
งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง	3.32	70.86	25.82

จากผลที่ได้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับตารางที่ 4.4 สัดส่วนของรางการงานต่างๆในหมวดงานดิน (Earthwork) เพื่อหาสัดส่วนของดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปของประเทศ (I) ซึ่งสื่อถึงค่าแรง ดัชนีราคาเครื่องจักรกลและบริภัณฑ์ (E) และดัชนีราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (F) และใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานดิน (Earthwork) จะสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 6.58 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 2.67%, 56.01% และ 19.09% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่ตำแหน่งแรกจากการพิจารณาค่า K มีค่าเท่ากับ 0.30 ดังนั้นต้องมีการปรับสัดส่วนต้นทุนต่างๆให้สอดคล้องกับสัดส่วนที่เหลือ ซึ่งสัดส่วนของต้นทุนต่างๆเมื่อปรับค่าแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 5.64%, 46.54% และ 17.82% ตามลำดับ เพื่อความง่ายต่อการคำนวณจะทำการปัดเศษเป็น 5%, 45% และ 20% ตามลำดับ ดังนั้นดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาสำหรับงานดิน (Earthwork) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\text{งานดิน}} = 0.30 + 0.05*It/Io + 0.45Et/Eo + 0.20Ft/Fo \qquad (6.26)$$

สมการที่ได้สามารถนำมาใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานดิน (Earthwork) ตามช่วงเวลาได้ โดยการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น และนำค่าดัชนีปรับแก้ที่ได้มาคูณ โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากปีที่งานวิจัยนี้ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง (มิถุนายน 2555) และข้อมูลจากปีที่มีการประมาณต้นทุนครั้งใหม่

ตารางที่ 6.58 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานดิน (Earthwork)

สัดส่วนองค์ประกอบต้นทุนงานดิน	โครงการ														
	1			2			3			4			5		
	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)	ค่าแรง (%)	ค่าเครื่องจักร (%)	ค่าเชื้อเพลิง (%)
งานถางป่าและขุดตอ (%)	0.01	0.12	0.04	0.03	0.33	0.10	0.07	0.72	0.22	0.03	0.26	0.08	0.04	0.42	0.13
งานขุดทั่วไป (%)	0.62	7.24	2.58	0.07	0.77	0.27	0.37	4.32	1.54	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
งานดินคันทาง (%)	1.45	32.25	10.55	0.55	12.28	4.02	0.49	10.93	3.58	2.55	56.91	18.61	2.74	60.98	19.94
งานปรับปรุงคันทางและงานชั้นรองหินโรยทาง (%)	0.61	12.92	4.71	2.05	43.76	15.94	1.10	23.56	8.59	0.31	6.66	2.43	0.37	7.83	2.85
สัดส่วนรวมของหมวดงานดิน (%)	2.68	52.53	17.88	2.70	57.13	20.34	2.03	39.53	13.92	2.89	63.85	21.13	3.14	69.24	22.93
สัดส่วนเฉลี่ยรวมของหมวดงานดิน (%)	ค่าแรง (%)					ค่าเครื่องจักร (%)					ค่าเชื้อเพลิง (%)				
	2.67					56.01					19.09				

6.7.2 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

จากที่ได้กล่าวมา งานวิจัยนี้มีการรวมหมวดงานทางและหมวดงานโครงสร้างเข้าด้วยกัน ดังนั้นจะพิจารณาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของทั้งสองหมวดงานร่วมกัน โดยจะพิจารณาจากองค์ประกอบของต้นทุนจากต้นทุนของโครงสร้างประเภทต่างๆ และเนื่องจากในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) จะระบุต้นทุนต่อหน่วยรวมทั้งต้นทุนวัสดุและต้นทุนแรงงาน ดังนั้นจะมีการแยกองค์ประกอบของต้นทุนโดยอ้างอิงจากราคาที่ประกาศโดยกรมบัญชีกลาง กระทรวงพาณิชย์ ในช่วงเวลาที่มีการประมาณต้นทุนคือ เดือนมิถุนายน 2555 ซึ่งโครงสร้างทั้งหมดจะแบ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ เนื่องจากลักษณะของโครงสร้างและองค์ประกอบของต้นทุนแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นจะแบ่งประเภทของโครงสร้างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สะพานที่เป็นโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างประเภทอื่นๆ โดยปัจจุบันค่า K ที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนของงานโครงสร้างเหล็กและงานสะพาน มีสูตรดังนี้ตามลำดับ

$$K_{\text{งานโครงสร้างเหล็ก}} = 0.25 + 0.10*It/Io + 0.05Ct/Co + 0.20Mt/Mo + 0.40St/So \quad (6.27)$$

$$K_{\text{งานสะพาน เขื่อน ท่าเรือ}} = 0.30 + 0.10*It/Io + 0.15Ct/Co + 0.20Mt/Mo + 0.25St/So \quad (6.28)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ซึ่งจะเห็นได้ว่า สมการที่ใช้ในการพิจารณาค่า K ประกอบด้วยดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปของประเทศ (I) ซึ่งสื่อถึงค่าแรง ดัชนีราคาซีเมนต์ (C) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาโดยใช้สัดส่วนของคอนกรีต ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (M) และดัชนีราคาเหล็ก (S) เมื่อทำการเทียบราคาของวัสดุก่อสร้างต่างๆ และแยกองค์ประกอบของต้นทุนของโครงสร้างประเภทต่างๆ จากตารางที่ 4.7 สัดส่วนปริมาณงานและต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท โดยจะหาค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบต้นทุนโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักจากจำนวนโครงสร้างแต่ละประเภทที่นำใช้ในการพิจารณา จะได้องค์ประกอบของต้นทุนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 6.59

ตารางที่ 6.59 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work)

ประเภทโครงสร้าง			จำนวนข้อมูล	สัดส่วนต้นทุน (%)			
				คอนกรีต	เหล็กเสริม	เหล็กรูปพรรณ	ค่าแรง
สะพาน	โครงสร้างคอนกรีต	ทางที่รองรับรางเดี่ยว	308	17.44	21.15	N/A	10.50
		ทางที่รองรับรางคู่	29	17.89	18.61	N/A	10.26
	โครงสร้างเหล็ก		11	2.27	1.01	36.86	12.90
ทางข้าม			89	8.59	24.71	N/A	7.56
ทางลอด			7	21.99	14.05	N/A	11.14
สะพานกลับรถ			93	17.80	24.50	N/A	11.20
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	1 ท่อ		72	7.11	13.56	N/A	5.11
	2 ท่อ						

สัดส่วนเฉลี่ยรวมของหมวดงานทางและโครงสร้าง (%)	ค่าแรง	คอนกรีต	เหล็ก	วัสดุอื่น
สะพานโครงสร้างเหล็ก	12.90	2.27	37.87	46.96
โครงสร้างประเภทอื่นๆ	9.34	14.74	20.70	56.14

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อนำมาปัดเศษและตั้งสมมติฐานให้ค่าคงที่ตำแหน่งแรกมีค่าเท่ากับค่าที่ใช้ในการพิจารณาค่า K ค่าที่ได้จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า K สำหรับงานวิจัยนี้จะตั้งสมมติฐานให้สัมประสิทธิ์หน้าดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างอื่นๆที่ไม่ใช่ซีเมนต์และเหล็กมีค่าเท่ากับค่าในการคำนวณค่า K ดังนั้นดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะประกอบด้วย 2 สมการดังนี้

$$\text{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\text{สะพานโครงสร้างเหล็ก}} = 0.25 + 0.15{*}It/Io + 0.05Ct/Co + 0.15Mt/Mo + 0.40St/So \quad (6.29)$$

$$\textit{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\textit{โครงสร้างอื่นๆ}} = 0.30 + 0.10{*}It/Io + 0.15Ct/Co + 0.25Mt/Mo + 0.20St/So \quad (6.30)$$

สำหรับการใช้งานดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) จะปรับแก้หลังจากการใช้แบบจำลองประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภทที่พัฒนาขึ้นประมาณต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภท และปรับแก้ต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท โดยโครงสร้างสะพานเหล็กปรับแก้โดยใช้สมการที่ 5.29 ส่วนโครงสร้างประเภทอื่นๆปรับแก้โดยใช้สมการที่ 5.30 หลังจากนั้นนำต้นทุนที่ได้มารวมกันและปรับแก้ด้วยการคูณค่า 1.63 เพื่อให้เป็นต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่

6.7.3 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

สำหรับค่า K ที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานอาคารสามารถแสดงได้สมการต่อไปนี้

$$K_{\text{งานอาคาร}} = 0.25 + 0.15{*}It/Io + 0.10Ct/Co + 0.40Mt/Mo + 0.10St/So \quad (6.31)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากสมการจะเห็นได้ว่า ค่า K ที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานอาคารจะประกอบด้วย ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปของประเทศ (I) ซึ่งสื่อถึงค่าแรง ดัชนีราคาซีเมนต์ (C) ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง (M) และดัชนีราคาเหล็ก (S) จากตารางที่ 4.11 สัดส่วนต้นทุนและปริมาณงานของงานโครงสร้างงานอาคารเมื่อพิจารณาหาองค์ประกอบของต้นทุน โดยการพิจารณาต้นทุนค่าวัสดุและนำมาวิเคราะห์ต้นทุนค่าแรง เนื่องจากต้นทุนที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) แสดงต้นทุนวัสดุก่อสร้างและแรงงานรวมกัน ดังนั้นจึงต้องมีการแยกองค์ประกอบของต้นทุน ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.60

ตารางที่ 6.60 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work)

	องค์ประกอบต้นทุนงานโครงสร้าง	สัดส่วน
สัดส่วนต้นทุน (%)	คอนกรีต	10.27
	เหล็กเสริม	21.05
	ค่าแรง	12.27
	วัสดุอื่นๆ	56.41

จากผลที่ได้ เมื่อตั้งสมมติฐานให้ค่าคงที่จากต้นทุนในการดำเนินการและกำไรมีค่าเท่ากับค่าที่แสดงในสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า K งานอาคาร ซึ่งเท่ากับ 25% จะทำการปรับสัดส่วนของต้นทุนอื่นให้ผลรวมมีค่าเท่ากับ 75% ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 7.70%, 15.79%, 9.20% และ 42.31% ตามลำดับ เมื่อนำมาปัดเศษอีกครั้งจะได้สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนซึ่งประกอบด้วย คอนกรีต 10% เหล็กเสริม 15% ค่าแรง 10% และวัสดุอื่นๆ 40% ดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) จะสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\text{งานอาคาร}} = 0.25 + 0.10*It/Io + 0.10Ct/Co + 0.40Mt/Mo + 0.15St/So \quad (6.32)$$

สำหรับการปรับแก้ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) โดยใช้ดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) สามารถทำได้โดยการปรับแก้ต้นทุนที่ได้จากการประมาณด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาก่อหรือหลังจากการปรับแก้ต้นทุนงานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.14 ดังที่แสดงในหัวข้อแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.7.4 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานราง (Track work)

เนื่องจากงานราง (Track work) เป็นหมวดงานที่ไม่มีการพัฒนาวิธีการพิจารณาค่า K มาก่อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกำหนดองค์ประกอบของต้นทุนที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนงานราง (Track work) โดยการพิจารณาจากรายการงานของงานราง (Track work) ว่าประกอบด้วยวัสดุที่มีความสำคัญอะไรบ้าง ซึ่งรายการงานที่สำคัญได้แก่ ราง ประแจ หมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง และหินโรยทาง โดยแต่ละรายการงานสามารถแสดงสัดส่วนดังตารางที่ 6.61

ตารางที่ 6.61 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานราง (Track work)

โครงการ	ราง (%)	ประแจ (%)	หมอนรองราง (%)	เครื่องยึดเหนี่ยวราง (%)	หินโรยทาง (%)
1	34.98	14.00	11.82	9.72	5.66
2	26.57	9.64	8.42	10.42	6.24
3	30.95	9.20	13.82	11.62	9.48
4	35.00	11.98	14.17	13.48	5.31
5	35.32	10.31	14.30	18.47	3.05
ค่าเฉลี่ย	32.56	11.02	12.50	12.74	5.95

เมื่อตั้งสมมติฐานให้ต้นทุนในค่าคงที่จากต้นทุนในการดำเนินการมีค่าเท่ากับ 30% ตามการพิจารณาค่า K ของงานทางตามประกาศคณะรัฐมนตรี เมื่อนำสัดส่วนต้นทุนที่ได้กล่าวมาปรับแก้ จะได้ค่าสัดส่วนต้นทุนเท่ากับ 30.48%, 10.32%, 11.70%, 11.93% และ 5.57% ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้มาปัดเศษจะได้สัดส่วนต้นทุนของราง ประแจ หมอนรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง และหินโรยทาง เท่ากับ 30%, 10%, 10%, 15% และ 5% ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\text{งานราง}} = 0.30 + 0.30*Rt/Ro + 0.10Tt/To + 0.10SPt/SPo + 0.15FNt/FNo + 0.05Bt/Bo \qquad (6.33)$$

สำหรับการปรับแก้ต้นทุนงานราง (Track work) ทำโดยการใช้ดัชนีปรับแก้ต้นทุนที่คำนวณได้ ปรับแก้หลังจากมีการคำนวณต้นทุนรวมของรายการงานแต่ละประเภทแล้ว อย่างไรก็ตาม ดัชนีราคาต่างๆที่เกี่ยวข้องงานราง (Track work) ไม่มีการประกาศอย่างเป็นทางการจากหน่วยงานใด ดังนั้นการปรับแก้ต้นทุนจึงต้องอาศัยการเทียบต้นทุนฐานที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาในงานวิจัยนี้ โดยตัวแปรที่ลงท้ายด้วย t คือค่าต้นทุนในช่วงที่มีการประมาณต้นทุนใหม่ และตัวแปรที่ลงท้ายด้วย o คือค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการพัฒนาแบบจำลองและดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลา โดยความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.62

ตารางที่ 6.62 ความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานราง (Track work) ตามช่วงเวลา

ตัวแปร	ความหมาย	ค่าต้นทุนฐาน (บาท)
R	ราง	43,000
T	ประแจ	2,886,840
SP	หมอนรองราง	1,188
FN	เครื่องยึดเหนี่ยวราง	1,030
B	หินโรยทาง	570

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากค่าต้นทุนฐานที่แสดงในตารางข้างต้น สามารถใช้ในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานราง (Track work) ตามช่วงเวลาได้ ซึ่งในอนาคตการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) เมื่อต้นทุนของรายการงานต่างๆเปลี่ยนแปลงไป สามารถใช้ต้นทุนฐานที่แสดงในตารางในการคำนวณได้

6.7.5 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) เป็นงานที่มีความซับซ้อนและแตกต่างกันไปตามแต่ละโครงการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความพยายามที่จะจับกลุ่มรายการงานที่เป็นรายการหลักและแต่ละโครงการประกอบด้วยรายการงานดังกล่าว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการออกแบบ (Design) ซึ่งจะมีการแบ่งสัญญาออกเป็นช่วงๆในการออกแบบ
2. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์แสดงอาณัติสัญญาณ (Signals) ซึ่งติดตั้งในช่วงสัญญาต่างๆเป็นชุด
3. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมประแจ (Point machine) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของประแจ และมีหน้าที่ในการบังคับการเคลื่อนที่ของราง
4. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับขบวนรถ (Train detection equipment) ซึ่งจะมีการติดตั้งเป็นชุดๆตามแนวราง
5. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ (Computer Based Interlocking - CBI)
6. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งสายเคเบิล (Cabling) ซึ่งมีการติดตั้งเป็นชุด
7. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์เครื่องทางสะดวก (Block Equipment) ซึ่งมีการติดตั้งเป็นชุดๆ
8. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบความปลอดภัยของรถบนรางหรือในห้องอาณัติสัญญาณ (Automatic Train Protection : ATP Track Side) ซึ่งเป็นระบบป้องกันความผิดพลาด ซึ่งหน้าที่ของระบบนี้จะดูแลความปลอดภัยของระบบการเดินรถ เช่น การป้องกันไม่ให้รถไฟชนท้ายกัน (Train Spacing) การใช้ความเร็วตามที่กำหนด (Speed Profile) การเปิดประตูให้ถูกฝั่งหรือตามตำแหน่งที่ถูกต้องปลอดภัย (Door Supervision) การป้องกันไม่ให้รถไหลลงเนิน (Rollback) เป็นต้น
9. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบความปลอดภัยของรถในขบวนรถ (Automatic Train Protection : ATP Train Borne) ซึ่งมีหน้าที่ในการป้องกันความผิดพลาดเช่นกันแต่อยู่ในขบวนรถ
10. ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งระบบควบคุมการเดินรถจากส่วนกลาง (Centralized Traffic Control : CTC) ซึ่งเป็นระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติที่ถูกใช้ในการควบคุมรถไฟฟ้าให้วิ่งตามตารางการเดินรถได้อย่างปลอดภัย ซึ่งประกอบด้วยระบบ Automatic Train Operation (ATO) เป็นระบบควบคุมการทำงานและการวิ่งของรถ ,ระบบ Automatic Train Protection (ATP) เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมความเร็วและระยะห่างจากระหว่างรถไฟและระบบ Interlocking ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางของรถไฟฟ้าไม่ให้วิ่งทับซ้อนเส้นทางกัน

Chulalongkorn University

ซึ่งสัดส่วนของรายการงานต่างๆที่กล่าวมานี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.63

ตารางที่ 6.63 สัดส่วนขององค์ประกอบต้นทุนที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work)

	องค์ประกอบต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร	สัดส่วนเฉลี่ย	สัดส่วนหลังการปรับต้นทุน
สัดส่วนต้นทุน (%)	Design	3.86	3.59
	Signals	4.47	4.17
	Point machine	4.25	3.96
	Train detection equipment	29.48	27.47
	CBI	8.67	8.08
	Block equipment	6.53	6.09
	Cabling	4.05	3.77
	ATP Track Side	4.45	4.14
	ATP Train Borne	6.69	6.24
	CTC	2.68	2.49

เช่นเดียวกับหมวดงานอื่นๆ ค่าคงที่ที่พิจารณาจากต้นทุนในการดำเนินการและกำไร จะใช้ต้นทุนในการดำเนินการของโครงการ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 5% เมื่อนำมาปรับค่าต้นทุนอื่นๆ จะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 6.63 จากผลที่ได้สามารถแสดงสมการการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีปรับแก้ต้นทุน}_{\text{งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร}} = 0.30 + 0.05*Dt/DR + 0.05SNt/SNo + 0.05Pt/Po + 0.25TDt/TDo + 0.05CBIt/CBIo + 0.05BEt/BEo + 0.05CLt/CLo + 0.05ATPSt/ATPSo + 0.05ATPBt/ATPBo + 0.05CTCt/CTCo \quad (6.34)$$

สำหรับการปรับแก้ต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ทำโดยการใช้ดัชนีปรับแก้ต้นทุนที่คำนวณได้ ปรับแก้หลังจากที่คำนวณต้นทุนของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นแล้ว อย่างไรก็ตาม ดัชนีราคาต่างๆที่เกี่ยวข้องงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ไม่มีการประกาศอย่างเป็นทางการจากหน่วยงานใด ดังนั้นการปรับแก้ต้นทุนจึงต้องอาศัยการเทียบต้นทุนฐานที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาในงานวิจัยนี้ โดยตัวแปรที่ลงท้ายด้วย t คือค่าต้นทุนในช่วงที่มีการประมาณต้นทุนใหม่ และตัวแปรที่ลงท้ายด้วย o คือค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการพัฒนาแบบจำลองและดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลา โดยความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.64 ความหมายของตัวแปรและค่าต้นทุนที่ใช้เป็นฐานในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ตามช่วงเวลา

ตัวแปร	ความหมายของต้นทุน	ค่าต้นทุนฐาน (บาท)
D	การออกแบบ (Design)	8,528,000
SN	อุปกรณ์แสดงอาณัติสัญญาณ (Signals)	426,400
P	อุปกรณ์ควบคุมประแจ (Point machine)	852,800
TD	อุปกรณ์ตรวจจับขบวนรถ (Train detection equipment)	2,132,000
CBI	อุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์โดยคอมพิวเตอร์ (Computer Based Interlocking - CBI)	19,188,000
BE	อุปกรณ์เครื่องทางสะดวก (Block Equipment)	4,264,000
CL	สายเคเบิล (Cabling)	8,954,400
ATPS	ระบบความปลอดภัยของรถบนรางหรือในห้องอาณัติสัญญาณ (Automatic Train Protection : ATP Track Side)	426,400
ATPB	ระบบความปลอดภัยของรถในขบวนรถ (Automatic Train Protection : ATP Train Borne)	21,320,000
CTC	ระบบควบคุมการเดินรถจากส่วนกลาง (Centralized Traffic Control : CTC)	21,320,000

6.7.6 ตัวอย่างการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการระบบรางคู่

จากสมการที่ใช้ในการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามเวลาของหมวดงานที่ใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.65 สรุปดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของโครงการระบบรางคู่

หมวดงาน		สมการคำนวณดัชนีปรับแก้	การใช้งาน
งานดิน		0.30 + 0.05*It/Io + 0.45Et/Eo +0.20Ft/Fo	ปรับแก้จากต้นทุนรวม
งานทางและงานโครงสร้าง	สะพานเหล็ก	0.25 + 0.15*It/Io + 0.05Ct/Co + 0.15Mt/Mo + 0.40St/So	ปรับแก้ตามประเภทโครงสร้าง
	โครงสร้างอื่น	0.30 + 0.10*It/Io + 0.15Ct/Co + 0.25Mt/Mo + 0.20St/So	
งานอาคารและงานสาธารณูปโภค		*0.25 + 0.10*It/Io + 0.10Ct/Co + 0.40Mt/Mo + 0.15St/So*	ปรับแก้จากต้นทุนรวม
งานราง		0.30 + 0.30*Rt/Ro + 0.10Tt/To + 0.10SPt/SPo + 0.15FNt/FNo + 0.05Bt/Bo	ปรับแก้จากต้นทุนรวม
งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร		0.30 + 0.05*Dt/DR + 0.05SNt/SNo + 0.05Pt/Po + 0.25TDt/TDo + 0.05CBIt/CBIo + 0.05BEt/BEo + 0.05CLt/CLo + 0.05ATPSt/ATPSo + 0.05ATPBt/ATPBo +0.05CTCt/CTCo	*ปรับแก้จากต้นทุนรวม*

สมการคำนวณดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลา สามารถใช้ในการปรับแก้ต้นทุนเพื่อให้ต้นทุนมีความทันสมัย สอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการประมาณต้นทุน เนื่องจากต้นทุนของวัสดุก่อสร้างหรือแรงงานมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นซึ่งปัจจัยต่างๆมีค่าเท่ากันแต่ต่างช่วงเวลา ต้นทุนที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่าเท่าเดิมเสมอ ดังนั้นการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาจึงมีความจำเป็นและทำให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนได้ในระยาว

บทที่ 7
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานวิศวกรรมสำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ ซึ่งสาเหตุที่งานวิจัยนี้เลือกระบบรางคู่เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจมาก ทำให้การพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานทางด้านการคมนาคมเป็นสิ่งจำเป็น การคมนาคมที่สามารถขนส่งผู้โดยสารและสินค้าในปริมาณมากและราคาไม่แพง คือ ระบบราง ทำให้รัฐบาลมีนโยบายในการลงทุนในระบบราง อย่างไรก็ตาม การลงทุนในระบบรางจำเป็นต้องใช้ต้นทุนปริมาณมาก จึงต้องมีการศึกษาโครงการในขั้นตอนของการวางแผนก่อน โดยที่เครื่องมือที่ใช้ในการวางแผนโครงการอย่างหนึ่ง คือการประมาณต้นทุน ดังที่ได้กล่าวไป ระบบรางเป็นโครงการที่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนปริมาณมาก การจะสร้างระบบรางเพิ่มเติมขึ้นมาใหม่ จึงอาจจะไม่ใช่ทางเลือกที่ดีนัก เนื่องจากจะทำให้ประเทศรับภาระหนี้สินมหาศาล ดังนั้นระบบรางคู่จึงเป็นระบบที่มีความน่าสนใจในการลงทุน เนื่องจากเป็นระบบที่เป็นการสร้างรางเพิ่มเติมคู่ขนานไปกับรางเดิม ทำให้ไม่ต้องมีการลงทุนในด้านของการบุกเบิกพื้นที่ใหม่ และยังไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสำรวจแนวเส้นทางใหม่ๆ ทำให้ใช้ต้นทุนน้อยกว่าการลงทุนในโครงการก่อสร้างใหม่ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการขนส่งทั้งผู้โดยสารและสินค้า ทำให้เป็นการกระจายความเจริญไปยังพื้นที่ที่โครงการเข้าถึง ช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจและส่งเสริมให้คนในพื้นที่มีอาชีพอีกด้วย เมื่อรวมกับข้อดีของระบบรางที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าโครงการระบบรางคู่เป็นโครงการที่น่าสนใจ ทำให้รัฐบาลตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการดังกล่าว โดยในระยะแรกจะมีทั้งหมด 5 โครงการด้วยกัน และในระยะต่อมาจะมีการดำเนินโครงการเพิ่มอีก 6 โครงการในช่วงถัดไป

จากที่ได้กล่าวมา โครงการก่อสร้างรางคู่จะแบ่งหมวดงานออกเป็นหลายหมวดด้วยกัน แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาต้นทุนของโครงการระบบรางคู่จากการพัฒนาแบบจำลองที่พิจารณา 5 หมวดงานหลัก ได้แก่ งานดิน (Earthwork) งานทางและงานโครงสร้าง (Road and structural work) งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) งานราง (Track work) และงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ซึ่งสาเหตุที่เลือกพิจารณาหมวดงานทั้ง 5 หมวดงานที่ได้กล่าวมา คือ เป็นหมวดงานที่มีสัดส่วนมูลค่าสูงที่สุดในต้นทุนของโครงการระบบรางคู่ อีกทั้งยังมีสัดส่วนรวมกันทั้ง 5 หมวดงานที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้หาก

ประมาณต้นทุนของหมวดงานทั้ง 5 หมวดงานได้แม่นยำ ก็สามารถประมาณต้นทุนของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ได้แม่นยำเช่นกัน เนื่องจากสัดส่วนรวมของหมวดงานหลักทั้ง 5 หมวดงานมีสัดส่วนค่อนข้างคงที่ คือประมาณ 95% ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนของหมวดงานแต่ละหมวดนั้น จะมีรูปแบบแนวคิดและวิธีที่ใช้ที่แตกต่างกันไป โดยวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการประมาณต้นทุนมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) และวิธี Simplex optimization ซึ่งแต่ละวิธีก็ได้มีการทดสอบพัฒนาแบบจำลองให้เห็นไปแล้วในบทที่ 5 การสร้างแบบจำลองเพื่อการประมาณต้นทุนเบื้องต้นสำหรับงานวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ หมวดงานหลักทั้ง 5 หมวดงานสามารถสรุปเพื่อให้เห็นภาพรวมได้ดังนี้

งานดิน (Earthwork) ใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลอง ได้จำนวนของสถานีขนาดต่างๆ จำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ และความยาวราง ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานี้มีความเกี่ยวข้องกับงานดิน (Earthwork) โดยตรงคือ ปริมาณงานดิน (Earthwork) จะแปรผันตามจำนวนรายการเหล่านี้ เนื่องจากรายการงานที่กล่าวมามีงานดิน (Earthwork) เป็นองค์ประกอบ เช่น ความยาวรางสัมพันธ์กับปริมาณงานคันดินที่มีการก่อสร้าง หรือจำนวนสถานีและจำนวนโครงสร้างมีความสัมพันธ์กับงานฐานรากที่ต้องทำ เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) จึงมีความสัมพันธ์และใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ได้ค่อนข้างแม่ยำ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยอื่นๆที่มีความเกี่ยวข้องสามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองให้สะท้อนถึงความเป็นจริงมากขึ้นได้ เช่น สภาพของพื้นที่ก่อสร้างจริง การวางแนวโครงการ และการความสูงการขุดและการถม อย่างไรก็ตาม แบบจำลองประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนงานดิน (Earthwork) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้และสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

งานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) วิธีที่มีความเหมาะสมที่สุดในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของหมวดงานนี้ คือการแยกพิจารณาต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภท โดยงานทางจะถูกรวมในการพิจารณาต้นทุนด้วยเหตุผลที่ว่า งานทางมีสัดส่วนของต้นทุนที่น้อยกว่างานโครงสร้างมากและงานทางมักถูกรวมอยู่กับงานโครงสร้างอยู่แล้ว ปัจจัยที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างประเภทต่างๆ เช่น ความยาว ความกว้าง จำนวนช่องจราจร เป็นต้น ซึ่งบางโครงสร้างก็สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำ ในขณะที่โครงสร้าง

ประเภทมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะของโครงสร้างนั้นๆ ได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถควบคุมหรือประมาณได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม เมื่อมองในภาพรวมแล้วแบบจำลองสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นในภาพรวมได้ โดยเมื่อประมาณต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทแล้ว ต้นทุนของโครงสร้างแต่ละประเภทจะถูกนำมารวมกันและปรับแก้ด้วยดัชนีปรับแก้ ต้นทุนที่ได้จะเป็นตัวแทนของต้นทุนเบื้องต้นของงานทางและงานโครงสร้าง (Road and Structural work) ซึ่งความแม่นยำที่ได้ถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจและสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

งานอาคารและงานสาธารณูปโภค (Building and Utility work) วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณต้นทุนหมวดงานดังกล่าวคือ การประมาณต้นทุนจากพื้นที่ใช้สอยของสถานี ถึงแม้ว่าหมวดงานอาคารจะมีอาคารอยู่หลายประเภทด้วยกัน แต่ประเภทของอาคารที่มีจำนวนมากที่สุดและเป็นต้นทุนหลักของหมวดงานนี้คือ งานก่อสร้างสถานี ดังนั้นการประมาณต้นทุนจากพื้นที่ของสถานีจึงมีความแม่นยำที่น่าพึงพอใจ อย่างไรก็ตาม การพิจารณาต้นทุนในลักษณะดังกล่าวก็ยังขาดความครบถ้วนของงานย่อยอื่นๆ เช่น งานภูมิทัศน์ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยจึงต้องมีการปรับแก้ค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนจากพื้นที่ของสถานี ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีค่าความถูกต้องในเกณฑ์ที่น่าพึงพอใจและสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

งานราง (Track work) วิธีที่มีความเหมะสมมากที่สุดในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนงานราง (Track work) คือ การประมาณปริมาณงานซึ่งเป็นรายการงานหลักในหมวดงานราง (Track work) ซึ่งปริมาณงานที่ประมาณได้นั้นจะถูกนำมาคำนวณต้นทุนอีกครั้ง ปัจจัยที่ใช้ในการประมาณปริมาณงานคือลักษณะทางกายภาพของโครงการ ปัจจัยที่เป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการประมาณปริมาณงานคือ ความยาวราง ผลจากการศึกษาพบว่า หากประมาณต้นทุนงานราง (Track work) จากความยาวรางโดยตรง ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จะมีค่ามาก เนื่องจากความสัมพันธ์ของต้นทุนและความยาวรางนั้นไม่ใช่ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังนั้นการประมาณต้นทุนรวมโดยใช้ความยาวจึงให้ค่าที่ไม่แม่นยำนัก แต่หากประมาณปริมาณงานของแต่ละรายการงานแยกกันโดยใช้ความยาวราง จะทำให้สามารถประมาณปริมาณงานได้แม่นยำกว่า โดยการประมาณปริมาณงานที่แม่นยำจะช่วยให้การประมาณต้นทุนมีความแม่นยำตามไปด้วย ซึ่งงานวิจัยพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำทั้งในด้านการประมาณปริมาณงานและการประมาณต้นทุน อย่างไรก็ตามการพิจารณาปริมาณซึ่งเป็นรายการหลักจะยังไม่ครอบคลุมถึงรายการงานทั้งหมด ทำให้ต้นทุนที่ประมาณได้ยังไม่ครบถ้วน ทำให้

เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณต้นทุนจากต้นทุนที่ไม่ครบถ้วนนั้น ดังนั้นการประมาณต้นทุนจึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ต้นทุนด้วยดัชนีปรับแก้เพื่อให้ต้นทุนที่ได้สามารถใช้เป็นตัวแทนของต้นทุนงานราง (Track work) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองให้ค่าความเคลื่อนเป็นที่ยอมรับได้และสามารถนำมาใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) วิธีที่พบว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนคือ การใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) คือ จำนวนสถานีขนาดใหญ่พิเศษ จำนวนสถานีขนาดกลาง จำนวนป้ายหยุดรถ และจำนวนที่หยุดรถ เนื่องจากงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) มีความหลากหลายและซับซ้อนมาก อีกทั้งระบบดังกล่าวยังแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่แม้ว่าจะเป็นโครงการเดียวกัน ดังนั้นการประมาณต้นทุนจากความยาวราง หรือการประมาณปริมาณจากรายการงานต่างๆ จึงไม่สามารถใช้ในการประมาณต้นทุนได้ เนื่องจากในแต่ละโครงการมีรายการงานที่ค่อนข้างแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ใช้ลักษณะทางกายภาพโดยภาพรวมของโครงการในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน ซึ่งสามารถใช้ได้โดยง่ายและข้อมูลที่ใช้ยังสามารถทราบได้ในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการดังกล่าวสามารถประมาณต้นทุนได้ค่อนข้างแม่นยำ และสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) ได้อย่างน่าพึงพอใจ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานวิศวกรรมสำหรับโครงการก่อสร้างระบบรางคู่นั้น ใช้การประมาณต้นทุนจากหมวดงานหลักทั้ง 5 หมวดงานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อได้ค่าต้นทุนประมาณของทั้ง 5 หมวดงานแล้ว ต้นทุนทั้งหมดจะถูกนำมารวมเข้าด้วยกันและปรับแก้เป็นครั้งสุดท้ายด้วยดัชนีปรับแก้ สาเหตุที่ต้องปรับแก้เนื่องมาจากการประมาณต้นทุนจาก 5 หมวดงานหลักถึงแม้ว่าจะมีมูลค่ามากที่สุด แต่ก็ไม่ครอบคลุมต้นทุนของโครงการระบบรางคู่ทั้งหมดทำให้ต้องมีการปรับแก้ เมื่อปรับแก้แล้ว ค่าที่ได้คือค่าประมาณของต้นทุนเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างระบบรางคู่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแก้ต้นทุนมีความคลาดเคลื่อนที่น่าพึงพอใจและสามารถใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นได้

7.2 ข้อกำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้เก็บรวมรวบข้อมูลจากแหล่งข้อมูลหลักๆ 3 แหล่ง คือ แบบสอบถาม แบบก่อสร้าง (Drawing) และบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ซึ่งข้อมูลบางอย่างไม่ได้แสดงอยู่ในรายการทั้งสองที่ได้กล่าวมา ทำให้ข้อมูลบางอย่างไม่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตาม การประมาณต้นทุนเบื้องต้นในทางปฏิบัติก็มักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับความครบถ้วนของข้อมูลทำให้มีผลกระทบบ้าง นอกจากนี้ต้นทุนที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงานนั้น อาจจะไม่ใช้ต้นทุนที่มีความถูกต้องมากนัก เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมาจากการประมาณต้นทุนไม่ใช่ต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นการใช้ข้อมูลต้นทุนจากบัญชีแสดงปริมาณงานจึงอาจทำให้ได้ต้นทุนที่ไม่ถูกต้องมากนัก อย่างไรก็ตามต้นทุนจากบัญชีแสดงปริมาณงานก็เป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่สามารถหาได้ เนื่องจากข้อมูลต้นทุนจริงของโครงการยังไม่สามารถทราบได้

ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือต้นทุนบางรายการในบัญชีแสดงปริมาณงานมาจากการประมาณต้นทุนของผู้ประมาณ นอกจากนี้ข้อมูลบางรายการอาจไม่ใช้ต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง และต้นทุนที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงานก็มีที่มาจากความรู้และประสบการณ์ของตัวผู้ประมาณเอง ต้นทุนบางส่วนมาจากการประมาณอย่างหยาบๆ เช่น ประมาณจากความยาว หรือประมาณจากพื้นที่ เป็นต้น ทำให้เมื่อพัฒนาแบบจำลองโดยการเลือกปัจจัยต่างๆ มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ทำให้ปัจจัยที่ผู้ประมาณต้นทุนใช้ในการประมาณต้นทุนอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าปัจจัยอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากต้นทุนที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงานนั้นประมาณต้นทุนมาจากวิธีการเดียวกัน

ข้อจำกัดในด้านความสมบูรณ์ของข้อมูลมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุน เนื่องจากในขั้นตอนของการประมาณต้นทุนเบื้องต้นนั้น ความสมบูรณ์ของข้อมูลมีจำกัดอยู่แล้ว ทำให้หมวดงานที่ต้องการความครบถ้วนของข้อมูลสูงๆ ไม่สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างถูกต้องมากนัก ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประมาณต้นทุนเบื้องต้น การพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนเบื้องต้นของงานที่มีความซับซ้อนมาก เช่น งานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร (Signaling and Telecommunication work) จึงทำได้ปัจจัยทางกายภาพของโครงการอย่างหยาบในการประมาณต้นทุน

ประการสุดท้ายคือ การพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาโดยใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีข้อจำกัดดังที่ได้กล่ามาแล้วคือ ใช้ข้อมูลจากแบบก่อสร้าง (Drawing) บัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจากแหล่งข้อมูลจึงมีผลต่อการพัฒนาดัชนี

ปรับแก้ต้นทุน อีกประการหนึ่งคือ การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับผลิตภาพ (Productivity) ใช้การอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลเก่า ซึ่งเทคโนโลยีก่อสร้างมีความแตกต่างจากในปัจจุบัน ซึ่งทำให้ผลิตภาพ (Productivity) ที่ใช้ในการคำนวณแตกต่างไปจากการทำงานจริง

7.3 ข้อเสนอเพื่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ในความเป็นจริงแล้ว โครงการก่อสร้างระบบรางยังมีอีกหนึ่งหมวดงานที่มีความสำคัญและมีมูลค่าที่ค่อนข้างสูงมาก อีกทั้งยังมีปัจจัยที่มีความไม่แน่นอนสูงเขามาเกี่ยวข้องด้วย นั่นคือ งานอุโมงค์ ซึ่งมีความซับซ้อนและความน่าสนใจในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุน สาเหตุที่งานวิจัยนี้ไม่ได้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนงานอุโมงค์เนื่องจาก โครงการที่มีงานอุโมงค์นั้นมีเพียงโครงการเดียวทำให้ไม่สามารถแยกเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องได้

การพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณต้นทุนโครงการระบบรางคู่ยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกโดยการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถใช้ในการประมาณทั้งปริมาณงานและต้นทุนได้ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้แบบจำลองในการประมาณปริมาณงานได้บางหมวดงานเท่านั้น นอกจากนั้นงานวิจัยยังสามารถเพิ่มความละเอียดของแบบจำลองเพื่อให้สามารถประมาณต้นทุนได้อย่างแม่นยำมากขึ้นอีกด้วย หรือในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลบางประการในการประมาณต้นทุนเบื้องต้น ก็สามารถสร้างรายการแนะนำเพื่อให้การดำเนินโครงการในอนาคตมีการเตรียมปัจจัยที่มีความจำเป็นดังกล่าว ซึ่งจะสามารถพัฒนาความถูกต้องของแบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้นได้

Chulalongkorn University

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองนั้น มีด้วยกันมากมายหลายวิธี ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการบางส่วนที่สามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณต้นทุนได้ แต่ก็ยังมีอีกหลายวิธีการที่สามารถใช้ได้ โดยวิธีต่าง ๆ ก็อาจจะมีความเหมาะสมกับข้อมูลแตกต่างกันไป การพัฒนาแบบจำลองในการประมาณต้นทุนสามารถใช้วิธีการอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวถึงในงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อพัฒนาความถูกต้องของแบบจำลองให้ดีขึ้นได้อีกเช่นกัน

ส่วนสุดท้ายของงานวิจัยชิ้นนี้ คือการพัฒนาดัชนีที่ใช้ในการปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาสามารถปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากขึ้นได้ โดยการใช้ข้อมูลต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงจากการก่อสร้างรวมถึงการปรับปรุงข้อมูลต้นทุนของรายการงานต่างๆ ให้ทันสมัยอยู่เสมอ เนื่องจากทำให้สัดส่วนต้นทุนของรายการงานต่างๆสะท้อนถึงความเป็นจริงมากที่สุด อีกประการหนึ่งคือ การพัฒนาดัชนีปรับแก้ต้นทุนตามช่วงเวลาของงานวิจัยชิ้นนี้ ในส่วนของงานดิน (Earthwork) พัฒนาโดยอ้างอิงข้อมูล

ที่อาจไม่ทันสมัยมากนัก ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีในการก่อสร้างและผลิตภาพ (Productivity) ที่ได้อาจเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนา ดังนั้นการปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัยจะทำให้ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางผนวกที่ 1 จำนวนโครงสร้างประเภทต่างๆ ของแต่ละโครงการ

โครงการ/ชนิดของโครงสร้าง	สะพานรางเดี่ยว	สะพานรางคู่	สะพานเหล็ก	ทางข้าม	ทางลอด	สะพานกลับรถ	ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม
1	87	N/A	N/A	8	N/A	26	76
2	44	N/A	N/A	46	3	24	19
3	151	10	11	23	N/A	N/A	41
4	59	14	N/A	12	4	24	6
5	54	5	N/A	N/A	N/A	19	6
ผลรวม	395	29	11	89	7	93	148

ตารางข้างต้นแสดงให้เห็นถึงจำนวนของโครงสร้างประเภทต่างๆของแต่ละโครงการ เมื่อนำต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภทของแต่ละโครงการจะสามารถแจกแจงได้ดังนี้

ตารางผนวกที่ 2 ต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภทของโครงการ (ล้านบาท)

โครงการ/ชนิดของโครงสร้าง	สะพานรางเดี่ยว	สะพานรางคู่	สะพานเหล็ก	ทางข้าม	ทางลอด	สะพานกลับรถ	ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม
1	609	N/A	N/A	1,820	N/A	3,989	526
2	3,078	N/A	N/A	3,037	438	1,531	137
3	1,055	124	388	1,166	N/A	N/A	406
4	353	519	N/A	1,578	782	2,695	233
5	6,446	23	N/A	N/A	N/A	1,438	1,269

ตารางผนวกที่ 3 ต้นทุนโครงสร้างต่อความยาวแต่ละประเภทของโครงการ (ล้านบาท)

โครงการ/ชนิดของโครงสร้าง	สะพานรางเดี่ยว	สะพานรางคู่	สะพานเหล็ก	ทางข้าม	ทางลอด	สะพานกลับรถ	ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม
1	3.25	N/A	N/A	9.73	N/A	21.33	2.81
2	18.21	N/A	N/A	17.97	2.59	9.06	0.81
3	6.32	0.74	2.32	6.98	N/A	N/A	2.43
4	2.68	3.93	N/A	11.96	5.93	20.42	1.76
5	54.63	0.20	N/A	N/A	N/A	12.19	10.75
ค่าเฉลี่ย	17.02	0.97	0.46	9.33	1.70	12.60	3.71

ตารางผนวกที่ 4 สัดส่วนต้นทุนโครงสร้างประเภทต่างๆของแต่ละโครงการ

โครงการ/ชนิดของโครงสร้าง	สะพานรางเดี่ยว	สะพานรางคู่	สะพานเหล็ก	ทางข้าม	ทางลอด	สะพานกลับรถ	ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม
1	6.31	N/A	N/A	18.86	N/A	41.34	5.45
2	34.09	N/A	N/A	33.63	4.85	16.96	1.51
3	21.19	2.48	7.79	23.41	N/A	N/A	8.15
4	3.80	5.58	N/A	16.97	8.41	28.98	2.50
5	51.57	0.19	N/A	N/A	N/A	11.50	10.15
ค่าเฉลี่ย	23.39	1.65	1.56	18.58	2.65	19.75	5.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าสัดส่วนต้นทุนของโครงสร้างประเภทต่างๆมีค่าต่างกันมาก เนื่องจากแต่ละโครงการเลือกใช้โครงสร้างแตกต่างกันไป

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างแต่ละประเภทเปรียบเทียบกับต้นทุนต่อความยาวแล้ว จะสามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางผนวกที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างแต่ละประเภทและต้นทุนต่อความยาว

โครงสร้าง	โครงการ	1	2	3	4	5	ต้นทุนต่อความยาวเฉลี่ย
สะพานรางเดี่ยว	ความกว้าง	5	5	4.8 / 5.45 / 5.95 / 6 / 6.5	6	6	261,134
	ต้นทุนต่อความยาว	2.4E+05	2.4E+05	2.6E+05 / 2.9E+05 / 2.9E+05 / 2.8E+05 / 2.6E+05	2.5E+05	2.4E+05	
สะพานรางคู่	ความกว้าง	N/A	N/A	9.8	10	10	406,957
	ต้นทุนต่อความยาว			4.4E+05	4.0E+05	3.8E+05	
สะพานเหล็ก	ความกว้าง	N/A	N/A	5	N/A	N/A	767,071
	ต้นทุนต่อความยาว			7.7E+05			
ทางข้าม	ความกว้าง	10					163,181
	ต้นทุนต่อความยาว	2.2E+05	2.2E+05	8.2E+04	N/A	1.3E+05	
ทางลอด	ความกว้าง	10					265,368
	ต้นทุนต่อความยาว	N/A	3.2E+05	N/A	N/A	2.1E+05	
สะพานกลับรถ	ความกว้าง	10					203,101
	ต้นทุนต่อความยาว	2.6E+05	2.2E+05	2.2E+05	1.8E+05	1.4E+05	
ทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม	ความกว้าง	3	3 / 6	3 / 6	3 / 6	6	265,296
	ต้นทุนต่อความยาว	4.5E+04	5.0E+04 / 7.0E+04	6.5E+04 / 1.0E+05	7.3E+04 / 1.4E+05	1.6E+06	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวถึง เป็นข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์และสรุปมาแล้ว จึงแสดงเพียงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่แสดงต้นทุนโครงสร้างแต่ละประเภทแต่ละรายงาน ได้มาจากรายการที่แสดงในบัญชีแสดงปริมาณงาน (Bill of quantity) ซึ่งข้อมูลต้นทุนของแต่ละโครงสร้างสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยว

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	1	5.00	35.00	8,935,084
1	2	5.00	40.00	9,376,882
1	3	5.00	20.00	5,261,820
1	4	5.00	25.00	6,522,713
1	5	5.00	20.00	4,399,870
1	6	5.00	15.00	2,507,217
1	7	5.00	15.00	2,505,149
1	8	5.00	30.00	7,635,585
1	9	5.00	20.00	4,391,748
1	10	5.00	40.00	9,364,828
1	11	5.00	25.00	5,921,441
1	12	5.00	20.00	4,391,748
1	13	5.00	20.00	4,388,498
1	14	5.00	20.00	4,394,996
1	15	5.00	10.00	2,507,631
1	16	5.00	10.00	2,505,149
1	17	5.00	10.00	2,507,631
1	18	5.00	10.00	2,509,699
1	19	5.00	20.00	4,405,558
1	20	5.00	40.00	10,039,442
1	21	5.00	20.00	4,394,996
1	22	5.00	20.00	4,390,122
1	23	5.00	20.00	5,269,945
1	24	5.00	35.00	8,932,076
1	25	5.00	55.00	12,806,596
1	26	5.00	55.00	12,814,720

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	27	5.00	55.00	12,804,972
1	28	5.00	20.00	4,389,310
1	29	5.00	20.00	4,391,748
1	30	5.00	30.00	7,642,084
1	31	5.00	20.00	4,397,433
1	32	5.00	30.00	7,648,582
1	33	5.00	20.00	4,398,246
1	34	5.00	10.00	2,506,596
1	35	5.00	20.00	4,092,292
1	36	5.00	10.00	2,505,977
1	37	5.00	50.00	11,797,471
1	38	5.00	40.00	9,362,457
1	39	5.00	10.00	2,505,562
1	40	5.00	10.00	2,507,011
1	41	5.00	25.00	5,252,885
1	42	5.00	20.00	4,394,996
1	43	5.00	10.00	2,505,149
1	44	5.00	15.00	3,297,566
1	45	5.00	25.00	5,927,939
1	46	5.00	10.00	2,505,149
1	47	5.00	10.00	2,506,183
1	48	5.00	20.00	5,274,007
1	49	5.00	30.00	7,645,333
1	50	5.00	30.00	6,962,305
1	51	5.00	20.00	4,407,995
1	52	5.00	20.00	4,407,995
1	53	5.00	20.00	4,090,431
1	54	5.00	25.00	5,927,939
1	55	5.00	10.00	2,509,078
1	56	5.00	25.00	5,930,376
1	57	5.00	10.00	2,505,977
1	58	5.00	80.00	18,542,836
1	59	5.00	35.00	8,254,428

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	60	5.00	10.00	2,505,149
1	61	5.00	20.00	4,390,122
1	62	5.00	10.00	2,506,803
1	63	5.00	10.00	2,505,562
1	64	5.00	10.00	2,505,149
1	65	5.00	10.00	2,505,149
1	66	5.00	20.00	5,255,322
1	67	5.00	25.00	5,677,391
1	68	5.00	25.00	5,679,873
1	69	5.00	25.00	5,261,009
1	70	5.00	20.00	4,884,222
1	71	5.00	25.00	6,522,713
1	72	5.00	10.00	2,505,149
1	73	5.00	20.00	5,254,509
1	74	5.00	20.00	5,276,920
1	75	5.00	10.00	2,505,977
1	76	5.00	20.00	4,390,122
1	77	5.00	20.00	4,383,624
1	78	5.00	25.00	5,927,939
1	79	5.00	180.00	43,498,595
1	80	5.00	180.00	43,111,011
1	81	5.00	25.00	5,926,314
1	82	5.00	25.00	5,924,689
1	83	5.00	25.00	5,674,909
1	84	5.00	25.00	5,923,065
1	85	5.00	80.00	18,450,247
1	86	5.00	180.00	44,289,449
1	87	5.00	75.00	18,439,676
2	88	5.00	290.00	69,957,861
2	89	5.00	290.00	69,957,861
2	90	5.00	290.00	69,957,861
2	91	5.00	290.00	69,957,861
2	92	5.00	290.00	69,957,861

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
2	93	5.00	290.00	69,957,861
2	94	5.00	290.00	69,957,861
2	95	5.00	290.00	69,957,861
2	96	5.00	290.00	69,957,861
2	97	5.00	290.00	69,957,861
2	98	5.00	290.00	69,957,861
2	99	5.00	290.00	69,957,861
2	100	5.00	290.00	69,957,861
2	101	5.00	290.00	69,957,861
2	102	5.00	290.00	69,957,861
2	103	5.00	290.00	69,957,861
2	104	5.00	290.00	69,957,861
2	105	5.00	290.00	69,957,861
2	106	5.00	290.00	69,957,861
2	107	5.00	290.00	69,957,861
2	108	5.00	290.00	69,957,861
2	109	5.00	290.00	69,957,861
2	110	5.00	290.00	69,957,861
2	111	5.00	290.00	69,957,861
2	112	5.00	290.00	69,957,861
2	113	5.00	290.00	69,957,861
2	114	5.00	290.00	69,957,861
2	115	5.00	290.00	69,957,861
2	116	5.00	290.00	69,957,861
2	117	5.00	290.00	69,957,861
2	118	5.00	290.00	69,957,861
2	119	5.00	290.00	69,957,861
2	120	5.00	290.00	69,957,861
2	121	5.00	290.00	69,957,861
2	122	5.00	290.00	69,957,861
2	123	5.00	290.00	69,957,861
2	124	5.00	290.00	69,957,861
2	125	5.00	290.00	69,957,861

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
2	126	5.00	290.00	69,957,861
2	127	5.00	290.00	69,957,861
2	128	5.00	290.00	69,957,861
2	129	5.00	290.00	69,957,861
2	130	5.00	290.00	69,957,861
2	131	5.00	290.00	69,957,861
3	132	6.00	25.00	6,391,832
3	133	6.00	25.00	6,391,832
3	134	6.00	35.00	9,347,685
3	135	6.50	25.00	6,621,415
3	136	5.95	25.00	6,621,415
3	137	5.95	20.00	5,772,872
3	138	5.45	15.00	4,029,815
3	139	5.45	15.00	4,029,815
3	140	5.45	15.00	4,033,287
3	141	5.45	15.00	4,033,287
3	142	5.45	15.00	4,025,386
3	143	5.45	15.00	4,025,386
3	144	6.00	30.00	7,943,151
3	145	4.80	6.00	1,967,300
3	146	4.80	6.00	1,730,962
3	147	4.80	6.00	1,730,962
3	148	4.80	6.00	1,883,000
3	149	5.45	15.00	4,108,292
3	150	4.80	22.00	3,506,686
3	151	4.80	22.00	3,506,686
3	152	4.80	22.00	3,506,686
3	153	5.45	10.00	3,487,856
3	154	4.80	8.00	1,461,087
3	155	6.00	25.00	6,534,449
3	156	4.80	10.00	2,592,501
3	157	6.00	25.00	6,595,142
3	158	5.45	10.00	3,170,364

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	159	5.45	10.00	3,170,364
3	160	4.80	30.00	5,828,181
3	161	4.80	30.00	5,828,181
3	162	4.80	10.00	2,086,024
3	163	5.45	15.00	4,044,586
3	164	5.45	10.00	3,170,364
3	165	6.00	25.00	6,478,537
3	166	6.00	25.00	6,536,228
3	167	6.00	25.00	6,536,228
3	168	5.45	10.00	3,192,432
3	169	6.00	30.00	7,762,484
3	170	6.00	25.00	6,624,036
3	171	6.00	25.00	6,567,261
3	172	6.00	30.00	8,005,220
3	173	4.80	12.00	3,739,602
3	174	6.00	25.00	6,567,261
3	175	5.45	12.00	3,603,065
3	176	6.00	25.00	6,413,740
3	177	5.95	30.00	7,438,783
3	178	5.95	30.00	7,481,311
3	179	5.45	10.00	3,289,692
3	180	5.45	10.00	3,275,542
3	181	6.00	30.00	9,219,119
3	182	6.50	90.00	21,208,923
3	183	6.50	90.00	21,208,923
3	184	4.80	10.00	2,045,286
3	185	4.80	10.00	2,029,910
3	186	5.45	15.00	4,045,883
3	187	6.50	30.00	7,205,638
3	188	6.50	30.00	7,205,638
3	189	6.00	25.00	6,434,693
3	190	6.00	100.00	21,749,875
3	191	6.00	100.00	21,749,875

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	192	6.00	90.00	20,828,109
3	193	6.50	30.00	7,175,340
3	194	6.50	30.00	7,138,371
3	195	6.50	30.00	6,806,454
3	196	6.50	30.00	6,806,454
3	197	5.45	10.00	3,170,364
3	198	5.45	10.00	3,170,364
3	199	6.50	90.00	21,510,429
3	200	6.50	90.00	21,694,217
3	201	6.00	50.00	11,605,845
3	202	6.00	50.00	11,605,845
3	203	6.00	50.00	11,605,845
3	204	6.00	25.00	6,419,470
3	205	6.50	25.00	6,606,084
3	206	6.50	25.00	6,606,084
3	207	5.45	10.00	3,170,364
3	208	5.45	10.00	3,170,364
3	209	4.80	6.00	1,901,697
3	210	4.80	6.00	1,901,697
3	211	6.50	25.00	6,576,165
3	212	6.50	25.00	6,576,165
3	213	4.80	22.00	3,623,029
3	214	5.45	12.00	3,590,422
3	215	5.95	20.00	3,498,719
3	216	5.95	20.00	3,498,719
3	217	6.00	35.00	9,347,685
3	218	6.00	50.00	11,553,698
3	219	6.00	30.00	8,046,176
3	220	5.95	30.00	7,320,638
3	221	5.95	30.00	7,320,638
3	222	6.00	50.00	11,499,164
3	223	6.00	35.00	9,540,956
3	224	6.00	35.00	9,540,956

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	225	5.45	15.00	4,382,823
3	226	5.45	15.00	4,067,236
3	227	5.45	15.00	4,067,236
3	228	6.00	35.00	9,591,097
3	229	6.00	35.00	9,503,441
3	230	5.95	15.00	6,270,437
3	231	5.95	15.00	6,270,437
3	232	6.00	25.00	6,836,175
3	233	6.00	25.00	6,836,175
3	234	5.45	30.00	8,049,805
3	235	5.45	30.00	8,049,805
3	236	5.45	10.00	3,483,666
3	237	5.45	15.00	4,375,214
3	238	5.95	20.00	6,436,494
3	239	5.95	20.00	6,436,494
3	240	5.95	20.00	6,348,970
3	241	5.95	20.00	6,348,970
3	242	4.80	6.00	1,761,265
3	243	4.80	6.00	1,761,265
3	244	4.80	6.00	1,724,009
3	245	4.80	6.00	1,724,009
3	246	4.80	6.00	1,653,593
3	247	4.80	6.00	1,653,593
3	248	5.95	20.00	6,902,249
3	249	5.95	20.00	6,902,249
3	250	5.45	15.00	4,260,165
3	251	6.50	15.00	4,260,165
3	252	6.50	25.00	6,849,575
3	253	5.95	25.00	6,849,575
3	254	5.95	25.00	6,364,126
3	255	5.45	36.00	6,364,126
3	256	5.95	36.00	9,083,267
3	257	5.95	36.00	9,083,267

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	258	5.95	20.00	6,937,547
3	259	6.00	30.00	6,186,657
3	260	4.80	30.00	8,179,465
3	261	6.00	15.00	3,703,574
3	262	5.45	30.00	9,359,503
3	263	5.95	20.00	4,409,388
3	264	5.95	20.00	6,348,549
3	265	5.95	24.00	6,348,549
3	266	5.95	24.00	7,338,587
3	267	4.80	24.00	7,338,587
3	268	4.80	6.00	1,788,254
3	269	4.80	6.00	1,785,939
3	270	5.95	6.00	1,785,939
3	271	4.80	15.00	4,534,818
3	272	5.45	8.00	2,241,603
3	273	5.45	12.00	3,685,929
3	274	6.00	12.00	3,485,514
3	275	6.50	180.00	61,729,100
3	276	4.80	180.00	61,729,100
3	277	4.80	36.00	9,247,713
3	278	4.80	36.00	9,247,713
3	279	4.80	6.00	1,735,915
3	280	5.45	8.00	1,735,915
3	281	6.00	18.00	4,553,303
3	282	5.45	37.50	9,837,160
4	283	6.00	6.00	2,227,294
4	284	6.00	90.00	20,748,300
4	285	6.00	150.00	34,580,501
4	286	6.00	6.00	2,227,294
4	287	6.00	6.00	2,227,294
4	288	6.00	6.00	2,227,294
4	289	6.00	24.00	5,572,482
4	290	6.00	6.00	2,227,294

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
4	291	6.00	6.00	2,227,294
4	292	6.00	6.00	2,227,294
4	293	6.00	6.00	2,227,294
4	294	6.00	6.00	2,227,294
4	295	6.00	12.00	2,766,440
4	296	6.00	35.00	8,068,785
4	297	6.00	210.00	77,955,288
4	298	6.00	20.00	4,610,734
4	299	6.00	10.00	2,305,366
4	300	6.00	6.00	1,383,220
4	301	6.00	6.00	1,383,220
4	302	6.00	6.00	1,383,220
4	303	6.00	24.00	5,532,879
4	304	6.00	12.00	2,766,440
4	305	6.00	12.00	2,766,440
4	306	6.00	12.00	2,766,440
4	307	6.00	10.00	2,305,366
4	308	6.00	20.00	4,610,734
4	309	6.00	12.00	2,766,440
4	310	6.00	12.00	2,766,440
4	311	6.00	15.00	3,458,051
4	312	6.00	20.00	4,610,734
4	313	6.00	8.00	1,844,294
4	314	6.00	12.00	2,766,440
4	315	6.00	15.00	3,458,051
4	316	6.00	15.00	3,458,051
4	317	6.00	60.00	13,832,201
4	318	6.00	48.00	11,065,761
4	319	6.00	12.00	2,766,440
4	320	6.00	12.00	2,766,440
4	321	6.00	12.00	2,766,440
4	322	6.00	24.00	5,426,049
4	323	6.00	12.00	2,766,440

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
4	324	6.00	24.00	2,766,440
4	325	6.00	12.00	2,766,440
4	326	6.00	12.00	2,766,440
4	327	6.00	24.00	5,532,879
4	328	6.00	36.00	8,299,322
4	329	6.00	30.00	6,916,099
4	330	6.00	36.00	8,299,322
4	331	6.00	20.00	4,610,734
4	332	6.00	30.00	11,131,277
4	333	6.00	15.00	3,458,051
4	334	6.00	15.00	3,458,051
4	335	6.00	20.00	4,610,734
4	336	6.00	15.00	3,458,051
4	337	6.00	15.00	3,458,051
4	338	6.00	25.00	5,763,416
4	339	6.00	10.00	2,305,366
4	340	6.00	15.00	3,458,051
4	341	6.00	10.00	2,305,366
5	342	6.00	2.50	611,831
5	343	6.00	12.00	2,936,792
5	344	6.00	30.00	7,341,980
5	345	6.00	2.50	611,831
5	346	6.00	4.00	978,931
5	347	6.00	8.00	1,957,862
5	348	6.00	15.00	3,670,989
5	349	6.00	22.50	5,506,485
5	350	6.00	26.00	6,363,049
5	351	6.00	42.00	10,278,772
5	352	6.00	15.00	3,670,989
5	353	6.00	5.00	1,223,663
5	354	6.00	5.00	1,223,663
5	355	6.00	6.50	1,590,762
5	356	6.00	6.50	1,590,762

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
5	357	6.00	6.50	1,590,762
5	358	6.00	11.00	2,692,060
5	359	6.00	2.50	611,831
5	360	6.00	5.50	1,346,029
5	361	6.00	5.00	1,223,663
5	362	6.00	10.50	2,569,693
5	363	6.00	5.00	1,223,663
5	364	6.00	5.00	1,223,663
5	365	6.00	5.00	1,223,663
5	366	6.00	5.00	1,223,663
5	367	6.00	4.00	978,931
5	368	6.00	5.00	1,223,663
5	369	6.00	5.00	1,223,663
5	370	6.00	3.50	856,564
5	371	6.00	5.00	1,223,663
5	372	6.00	5.00	1,223,663
5	373	6.00	5.00	1,223,663
5	374	6.00	7.50	1,835,495
5	375	6.00	10.00	2,447,327
5	376	6.00	5.00	1,223,663
5	377	6.00	5.00	1,223,663
5	378	6.00	5.00	1,223,663
5	379	6.00	5.00	1,223,663
5	380	6.00	5.00	1,223,663
5	381	6.00	15.00	3,670,989
5	382	6.00	15.00	3,670,989
5	383	6.00	5.00	1,223,663
5	384	6.00	5.00	1,223,663
5	385	6.00	8.50	2,080,227
5	386	6.00	2.50	611,831
5	387	6.00	3.50	856,564
5	388	6.00	5.00	1,223,663
5	389	6.00	5.00	1,223,663

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
5	390	6.00	10.00	2,447,327
5	391	6.00	5.00	1,223,663
5	392	6.00	12.50	3,059,158
5	393	6.00	5.50	1,346,029
5	394	6.00	22.50	5,506,485
5	395	6.00	66.50	16,274,723

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางเดี่ยวและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของบัญชีแสดงปริมาณงานและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	1	9.80	30.00	12,540,447
3	2	9.80	30.00	12,540,447
3	3	9.80	30.00	12,540,447
3	4	9.80	30.00	12,540,447
3	5	9.80	15.00	6,018,644
3	6	9.80	15.00	6,937,547
3	7	9.80	15.00	6,937,547
3	8	9.80	15.00	6,937,547
3	9	9.80	50.00	23,282,759
3	10	9.80	50.00	23,282,759
4	11	10.00	15.00	5,568,234
4	12	10.00	140.00	51,970,193
4	13	10.00	60.00	22,272,939
4	14	10.00	120.00	44,545,878
4	15	10.00	10.00	4,610,734
4	16	10.00	5.00	2,305,366
4	17	10.00	5.00	2,305,366
4	18	10.00	6.00	2,227,294

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
4	19	10.00	6.00	2,227,294
4	20	10.00	20.00	7,424,312
4	21	10.00	10.00	3,712,156
4	22	10.00	975.00	361,935,265
4	23	10.00	6.00	3,182,260
4	24	10.00	12.00	4,610,734
5	25	10.00	6.50	2,561,484
5	26	10.00	6.50	2,561,484
5	27	10.00	15.00	5,911,116
5	28	10.00	5.00	1,590,762
5	29	10.00	27.00	10,640,008

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของสะพานโครงสร้างคอนกรีตที่รองรับรางคู่และลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของงานโครงสร้างและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสะพานโครงสร้างเหล็ก

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	1	5.00	50.00	38,353,533
3	2	5.00	40.00	27,963,468
3	3	5.00	40.00	27,963,468
3	4	5.00	40.00	27,913,693
3	5	5.00	40.00	27,593,830
3	6	5.00	60.00	40,060,181
3	7	5.00	70.00	51,496,069
3	8	5.00	50.00	37,582,006
3	9	5.00	60.00	40,315,907
3	10	5.00	60.00	40,315,907
3	11	5.00	40.00	28,230,707

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของสะพานโครงสร้างเหล็กและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของงานโครงสร้างและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ตารางผนวกที่ 9 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของทางข้าม

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	1	10	888	161,641,086
1	2	10	679	158,481,652
1	3	10	1,300	308,782,173
1	4	10	626	135,743,516
1	5	10	837	196,404,033
1	6	10	2,277	599,717,199
1	7	10	661	139,318,614
1	8	10	567	119,761,826
2	9	10	290	63,800,000
2	10	10	290	63,800,000
2	11	10	290	63,800,000
2	12	10	290	63,800,000
2	13	10	290	63,800,000
2	14	10	290	63,800,000
2	15	10	290	63,800,000
2	16	10	290	63,800,000
2	17	10	290	63,800,000
2	18	10	290	63,800,000
2	19	10	290	63,800,000
2	20	10	290	63,800,000
2	21	10	290	63,800,000
2	22	10	290	63,800,000
2	23	10	290	63,800,000
2	24	10	290	63,800,000
2	25	10	290	63,800,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
2	26	10	290	63,800,000
2	27	10	290	63,800,000
2	28	10	290	63,800,000
2	29	10	290	63,800,000
2	30	10	290	63,800,000
2	31	10	290	63,800,000
2	32	10	290	63,800,000
2	33	10	290	63,800,000
2	34	10	290	63,800,000
2	35	10	290	63,800,000
2	36	10	290	63,800,000
2	37	10	290	63,800,000
2	38	10	290	63,800,000
2	39	10	290	63,800,000
2	40	10	290	63,800,000
2	41	10	290	63,800,000
2	42	10	290	63,800,000
2	43	10	290	63,800,000
2	44	10	290	63,800,000
2	45	10	290	63,800,000
2	46	10	290	63,800,000
2	47	10	290	63,800,000
2	48	10	290	63,800,000
2	49	10	290	63,800,000
2	50	10	290	63,800,000
2	51	10	290	63,800,000
2	52	10	290	63,800,000
2	53	10	290	115,000,000
2	54	10	290	115,000,000
3	55	10	675	60,802,009
3	56	10	925	65,807,183
3	57	10	700	47,262,683
3	58	10	650	51,734,508

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	59	10	675	45,931,283
3	60	10	700	47,233,603
3	61	10	650	63,236,952
3	62	10	675	54,980,237
3	63	10	550	52,406,475
3	64	10	659	71,429,614
3	65	10	700	61,101,168
3	66	10	635	58,053,737
3	67	10	650	47,403,360
3	68	10	380	42,436,523
3	69	10	500	32,979,039
3	70	10	976	60,402,629
3	71	10	527	36,616,371
3	72	10	406	49,261,286
3	73	10	450	31,160,473
3	74	10	550	39,000,727
3	75	10	575	37,327,027
3	76	10	453	51,751,540
3	77	10	825	57,671,399
4	78	10	1,680	138,069,360
4	79	10	2,550	370,545,120
4	80	10	1,080	89,214,048
4	81	10	1,450	102,666,960
4	82	10	600	141,609,600
4	83	10	200	28,321,920
4	84	10	1,550	120,368,160
4	85	10	150	35,402,400
4	86	10	1,650	215,718,624
4	87	10	750	68,444,640
4	88	10	1,000	47,203,200
4	89	10	1,250	220,674,960

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของทางข้ามและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของงานโครงสร้างและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของทางลอด

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
2	1	10	684	218,000,000
2	2	10	385	124,000,000
2	3	10	300	96,000,000
4	4	10	920	167,099,328
4	5	10	1,200	225,867,312
4	6	10	150	35,402,400
4	7	10	1,500	354,024,000

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของทางลอดและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของบัญชีแสดงปริมาณงานและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางผนวกที่ 11 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสะพานกลับรถ

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	1	10	600	144,804,540
1	2	10	600	158,481,652
1	3	10	600	163,939,215
1	4	10	600	163,939,215
1	5	10	600	156,397,180
1	6	10	600	170,288,793
1	7	10	600	144,804,540
1	8	10	600	158,481,652
1	9	10	600	167,016,326
1	10	10	600	176,538,271

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	11	10	600	139,510,273
1	12	10	600	142,350,962
1	13	10	600	169,415,570
1	14	10	600	161,583,401
1	15	10	600	172,526,011
1	16	10	600	163,098,630
1	17	10	600	147,575,743
1	18	10	600	126,538,972
1	19	10	600	144,655,284
1	20	10	600	139,155,676
1	21	10	600	156,195,728
1	22	10	600	149,789,169
1	23	10	600	156,969,316
1	24	10	600	122,821,603
1	25	10	600	159,551,230
1	26	10	600	132,425,824
2	27	10	290	63,800,000
2	28	10	290	63,800,000
2	29	10	290	63,800,000
2	30	10	290	63,800,000
2	31	10	290	63,800,000
2	32	10	290	63,800,000
2	33	10	290	63,800,000
2	34	10	290	63,800,000
2	35	10	290	63,800,000
2	36	10	290	63,800,000
2	37	10	290	63,800,000
2	38	10	290	63,800,000
2	39	10	290	63,800,000
2	40	10	290	63,800,000
2	41	10	290	63,800,000
2	42	10	290	63,800,000
2	43	10	290	63,800,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
2	44	10	290	63,800,000
2	45	10	290	63,800,000
2	46	10	290	63,800,000
2	47	10	290	63,800,000
2	48	10	290	63,800,000
2	49	10	290	63,800,000
2	50	10	290	63,800,000
4	51	10	530	84,493,728
4	52	10	580	91,574,208
4	53	10	550	87,325,920
4	54	10	1,060	155,770,560
4	55	10	400	70,804,800
4	56	10	400	70,804,800
4	57	10	240	33,986,304
4	58	10	100	23,601,600
4	59	10	200	28,321,920
4	60	10	400	94,406,400
4	61	10	950	134,529,120
4	62	10	250	44,843,040
4	63	10	500	118,008,000
4	64	10	160	22,657,536
4	65	10	500	103,847,040
4	66	10	1,000	165,211,200
4	67	10	770	127,920,672
4	68	10	2,200	311,541,120
4	69	10	200	28,321,920
4	70	10	3,300	467,311,680
4	71	10	1,450	205,333,920
4	72	10	200	47,203,200
4	73	10	500	118,008,000
4	74	10	250	59,004,000
5	75	10	486	69,475,920
5	76	10	486	69,475,920

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
5	77	10	486	69,475,920
5	78	10	486	69,475,920
5	79	10	486	69,475,920
5	80	10	486	69,475,920
5	81	10	486	69,475,920
5	82	10	486	69,475,920
5	83	10	486	69,475,920
5	84	10	486	69,475,920
5	85	10	486	69,475,920
5	86	10	486	69,475,920
5	87	10	486	69,475,920
5	88	10	486	69,475,920
5	89	10	486	69,475,920
5	90	10	486	69,475,920
5	91	10	486	69,475,920
5	92	10	486	69,475,920
5	93	10	486	69,475,920

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของสะพานกลับรถและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของงานโครงสร้างและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม คาน พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

ตารางผนวกที่ 12 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยม

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	1	1	3	10	422,684
1	2	1	3	35	1,589,574
1	3	1	3	10	422,684
1	4	1	3	600	27,963,582
1	5	1	3	400	20,081,015
1	6	1	3	10	422,684
1	7	1	3	25	1,006,988

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	8	1	3	90	3,911,782
1	9	1	3	10	422,684
1	10	1	3	450	23,683,691
1	11	1	3	10	422,684
1	12	1	3	10	422,684
1	13	1	3	600	30,163,097
1	14	1	3	500	26,658,459
1	15	1	3	35	1,589,574
1	16	1	3	35	1,589,574
1	17	1	3	550	25,773,810
1	18	1	3	35	1,723,818
1	19	1	3	400	18,493,689
1	20	1	3	900	40,109,039
1	21	1	3	10	422,684
1	22	1	3	10	422,684
1	23	1	3	35	1,589,574
1	24	1	3	500	23,616,880
1	25	1	3	10	422,684
1	26	1	3	35	1,589,574
1	27	1	3	500	24,424,553
1	28	1	3	35	1,589,574
1	29	1	3	35	1,589,574
1	30	1	3	10	422,684
1	31	1	3	35	1,589,574
1	32	1	3	450	21,910,007
1	33	1	3	35	1,589,574
1	34	1	3	35	1,589,574
1	35	1	3	550	26,892,811
1	36	1	3	10	422,684
1	37	1	3	35	1,589,574
1	38	1	3	150	6,196,661
1	39	1	3	550	26,347,728
1	40	1	3	10	422,684

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	41	1	3	10	422,684
1	42	1	3	10	422,684
1	43	1	3	10	422,684
1	44	1	3	100	4,821,133
1	45	1	3	35	1,589,574
1	46	1	3	90	3,789,040
1	47	1	3	35	1,589,574
1	48	1	3	35	1,589,574
1	49	1	3	35	1,589,574
1	50	1	3	35	1,589,574
1	51	1	3	10	422,684
1	52	1	3	35	1,589,574
1	53	1	3	35	1,589,574
1	54	1	3	35	1,589,574
1	55	1	3	35	1,589,574
1	56	1	3	90	4,454,168
1	57	1	3	35	1,589,574
1	58	1	3	600	29,156,596
1	59	1	3	550	26,642,672
1	60	1	3	900	41,080,147
1	61	1	3	10	422,684
1	62	1	3	10	422,684
1	63	1	3	90	4,454,168
1	64	1	3	10	422,684
1	65	1	3	35	1,589,574
1	66	1	3	35	1,589,574
1	67	1	3	10	422,684
1	68	1	3	10	422,684
1	69	1	3	35	1,589,574
1	70	1	3	35	1,589,574
1	71	1	3	35	1,589,574
1	72	1	3	10	422,684
1	73	1	3	10	422,684

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
1	74	1	3	70	2,951,252
1	75	1	3	90	4,244,559
1	76	1	3	90	3,911,782
2	77	1	3	5	130,000
2	78	1	3	10	617,500
2	79	2	6	20	1,300,000
2	80	1	3	10	487,500
2	81	1	3	10	650,000
2	82	1	3	12	585,000
2	83	1	3	14	682,500
2	84	1	3	16	975,000
2	85	1	3	18	877,500
2	86	1	3	19	926,250
2	87	1	3	20	975,000
2	88	1	3	25	1,218,750
2	89	1	3	27	1,316,250
2	90	1	3	30	1,462,500
2	91	1	3	40	1,950,000
2	92	1	3	45	2,193,750
2	93	1	3	50	2,437,500
2	94	2	6	14	682,500
2	95	2	6	20	1,950,000
3	96	1	3	242	11,778,020
3	97	1	3	700	40,360,397
3	98	1	3	565	23,477,420
3	99	1	3	8	273,671
3	100	1	3	13	525,592
3	101	1	3	6	413,758
3	102	2	6	56	3,928,748
3	103	2	6	13	1,247,924
3	104	2	6	13	1,328,590
3	105	1	3	162	24,893,613
3	106	1	3	650	34,051,809

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
3	107	1	3	565	24,816,908
3	108	1	3	570	29,488,033
3	109	1	3	62	2,581,531
3	110	1	3	7	459,343
3	111	1	3	14	1,102,387
3	112	2	6	16	1,458,060
3	113	2	6	8	788,128
3	114	2	6	7	781,249
3	115	1	3	27	2,390,943
3	116	1	3	89	13,711,553
3	117	1	3	645	34,485,123
3	118	1	3	5	160,048
3	119	1	3	22	794,595
3	120	1	3	13	512,768
3	121	1	3	78	3,594,632
3	122	1	3	55	4,289,743
3	123	2	6	45	3,087,080
3	124	2	6	22	1,707,359
3	125	2	6	15	1,413,681
3	126	1	3	13	1,193,506
3	127	1	3	77	11,953,517
3	128	1	3	400	28,142,089
3	129	1	3	798	45,619,777
3	130	1	3	723	38,143,462
3	131	1	3	7	264,319
3	132	1	3	6	279,057
3	133	2	6	59	4,052,311
3	134	2	6	16	1,219,462
3	135	2	6	35	3,264,188
3	136	2	6	6	1,803,048
4	137	1	3	20	1,341,086
4	138	1	3	1,580	124,567,013
4	139	2	6	40	4,167,935

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	จำนวนท่อคอนกรีต	ความกว้าง (ม.)	ความยาว (ม.)	ต้นทุน (บาท)
4	140	2	6	20	2,315,506
4	141	2	6	600	96,606,045
4	142	2	6	20	3,526,963
5	143	1	3	20	27,129,429
5	144	1	3	140	213,919,719
5	145	1	3	40	65,298,065
5	146	1	3	280	502,788,841
5	147	2	6	10	38,470,031
5	148	2	6	100	421,348,550

จากตารางข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของทางลอดท่อคอนกรีตเหลี่ยมและลักษณะของโครงสร้าง ได้แก่ จำนวนท่อคอนกรีตเหลี่ยม ความกว้างและความยาวของโครงสร้าง โดยที่ต้นทุนที่แสดงมีการรวมค่าของบัญชีแสดงปริมาณงานและงานทางทั้งหมด เช่น เสาเข็ม พื้น รวมไปถึงผิวทางและป้ายที่ไม่รวมอยู่ในงานระบบอาณัติสัญญาณและการสื่อสาร

สำหรับลักษณะของข้อมูลงานอาคารสามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางผนวกที่ 13 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสถานี

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	1	90,204,887	520
1	2	86,980,825	502
1	3	88,364,252	502
1	4	103,702,390	465
1	5	90,087,893	520
1	6	87,978,417	502
1	7	107,062,158	502
1	8	89,886,419	520
1	9	124,473,255	869
1	10	87,860,669	502
1	11	119,686,112	869
1	12	90,104,071	502
1	13	88,987,145	502

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	14	112,733,027	502
1	15	107,916,383	502
1	16	104,194,007	603
1	17	103,126,057	502
1	18	88,475,448	502
1	19	1,099,945,275	6,300
2	20	85,068,512	700
2	21	36,793,366	335
2	22	58,954,618	335
2	23	37,558,658	335
2	24	57,971,731	335
2	25	36,798,673	335
2	26	40,396,929	335
2	27	75,052,835	335
2	28	37,323,020	335
2	29	57,055,715	335
2	30	512,175,175	2,900
2	31	264,219,625	924
3	32	163,323,790	1,000
3	33	125,521,581	860
3	34	123,995,728	860
3	35	124,938,212	860
3	36	143,108,010	1,000
3	37	127,422,071	860
3	38	159,961,623	1,000
3	39	128,060,796	860
3	40	157,892,397	1,000
3	41	61,646,014	335
3	42	152,832,895	1,000
3	43	125,674,637	860
3	44	124,651,261	860
3	45	123,962,239	860
3	46	124,178,624	860

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	พื้นที่ (ตร.ม.)
3	47	151,785,180	1,000
3	48	59,315,256	335
3	49	125,189,760	860
3	50	59,595,233	335
3	51	221,971,035	1,440
4	52	41,916,382	335
4	53	41,916,382	335
4	54	41,916,382	335
4	55	41,916,382	335
4	56	41,916,382	335
4	57	104,790,956	860
4	58	104,790,956	860
4	59	104,790,956	860
4	60	188,623,721	1,000
5	61	49,540,140	335
5	62	49,540,140	335
5	63	49,540,140	335
5	64	49,540,140	335
5	65	49,540,140	335
5	66	123,850,351	860
5	67	222,930,632	1,000
5	68	500,000,000	3,380

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนงานอาคารและสาธารณูปโภคและขนาดพื้นที่ของสถานี โดยที่ต้นทุนของสถานีนั้นมีการพิจารณาต้นทุนทั้งหมดในการก่อสร้างสถานี เช่น โครงสร้างของสถานี งานสถาปัตยกรรม รวมถึงงานระบบต่างๆที่เกี่ยวข้อง นอกจากนั้นสถานียังรวมถึงอาคารข้างเคียง เช่น อาคารพักผู้โดยสาร ป้อมยาม อีกด้วย

ตารางผนวกที่ 14 ข้อมูลลักษณะและต้นทุนของสถานีที่ต้องซ่อมแซม

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	ขนาดสถานี
2	1	16,502,100	เ
2	2	20,672,725	เ

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	ขนาดสถานี
2	3	18,960,100	l
2	4	15,705,700	l
2	5	14,972,500	l
2	6	15,056,900	l
2	7	15,151,400	l
2	8	16,309,000	l
2	9	14,820,000	l
2	10	14,815,200	l
2	11	15,870,600	l
2	12	15,025,100	l
2	13	18,276,200	l
2	14	18,895,100	l
2	15	15,732,300	l
2	16	17,454,700	l
4	17	5,579,000	m
4	18	5,579,000	m
4	19	5,579,000	m
4	20	5,579,000	m
4	21	5,579,000	m
4	22	5,579,000	m
4	23	5,579,000	m
4	24	5,579,000	m
4	25	5,579,000	m
5	26	5,536,000	m
5	27	5,536,000	m
5	28	5,536,000	m
5	29	5,536,000	m
5	30	5,536,000	m
5	31	5,536,000	m
5	32	5,536,000	m
5	33	5,536,000	m
5	34	5,536,000	m
5	35	5,536,000	m

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการ	ลำดับที่	ต้นทุน (บาท)	ขนาดสถานี
5	36	5,536,000	m

จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการซ่อมแซมสถานีและขนาดของสถานี โดยต้นทุนที่เกิดขึ้นคือต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในการซ่อมแซมสถานี ทั้งงานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรมและงานระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายเจษฎา ศรีสกุลชัย

วันเดือนปีเกิด 30 สิงหาคม 2533

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 24 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ10140

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549 - 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นต้นไป

จากโรงเรียนวัดสุทธิวราราม

จังหวัดกรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2552 - 2555 ระดับปริญญาตรี (ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา)

จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จังหวัดกรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาษาไทย

นคร จันทศร. (2011). ช่างรถไฟ: ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องของประเทศไทย, โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องของประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ภาษาอังกฤษ</u>

AbouRizk, S. M., et al. (2002). "Estimating the cost of capital projects: an empirical study of accuracy levels for municipal government projects." <u>Canadian Journal of Civil Engineering</u> 29(5): 653-661.

An, S.-H., et al. (2007). "A case-based reasoning cost estimating model using experience by analytic hierarchy process." <u>Building and Environment</u> 42(7): 2573-2579.

Asmar, M. E., et al. (2011). "New Approach to Developing Conceptual Cost Estimates for Highway Projects." <u>Journal of Construction Engineering & Management</u> 137(11): 942-949.

Chou, J.-S. (2009). "Generalized linear model-based expert system for estimating the cost of transportation projects." <u>Expert Systems with Applications</u> 36(3): 4253-4267.

Chou, J.-S. (2009). "Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project." <u>Expert Systems with Applications</u> 36(2): 2947-2960.

Dogan, S. Z., et al. (2006). "Determining Attribute Weights in a CBR Model for Early Cost Prediction of Structural Systems." <u>Journal of Construction Engineering & Management</u> 132(10): 1092-1098.

Halpin, D. W. (2010). <u>Construction Management</u>, John Wiley & Sons.

Hegazy, T. and A. Ayed (1998). "Neural network model for parametric cost estimation of highway projects." <u>Journal of Construction Engineering & Management</u> 124(3): 210.

Herbsman, Z. (1986). "SERC—A Model for Estimating Construction Inputs." <u>Journal of Construction Engineering and Management</u> 112(3): 425-439.

Hsu, L. R. (2013). "Cost Estimating Model for Mode Choice between Light Rail and Bus Rapid Transit Systems." <u>Journal of Transportation Engineering</u> 139(1): 20-29.

Hwang, S. (2009). "Dynamic Regression Models for Prediction of Construction Costs." Journal of Construction Engineering & Management 135(5): 360-367.

Iovan, S., et al. (2013). "CALCULATION OF OPERATION FEE FOR ROMANIAN RAILWAY INFRASTRUCTURE." Fiability & Durability / Fiabilitate si Durabilitate(1): 78-84.

Ji, C., et al. (2010). "CBR Revision Model for Improving Cost Prediction Accuracy in Multifamily Housing Projects." Journal of Management in Engineering 26(4): 229-236.

Ji, S.-H., et al. (2011). "Cost estimation model for building projects using case-based reasoning." Canadian Journal of Civil Engineering 38(5): 570-581.

Karshenas, S. (1984). "Predesign Cost Estimating Method for Multistory Buildings." Journal of Construction Engineering and Management 110(1): 79-86.

Kim, B. (2011). "The approximate cost estimating model for railway bridge project in the planning phase using CBR method." KSCE Journal of Civil Engineering 15(7): 1149-1159.

Kim, G.-T., et al. (2010). "Development of a life cycle cost estimate system for structures of light rail transit infrastructure." Automation in Construction 19(3): 308-325.

Kim, G. H., et al. (2005). "Hybrid Models of Neural Networks and Genetic Algorithms for Predicting Preliminary Cost Estimates." Journal of Computing in Civil Engineering 19(2): 208-211.

Kim, M., et al. (2012). "Approximate cost estimating model for river facility construction based on case-based reasoning with genetic algorithms." KSCE Journal of Civil Engineering 16(3): 283-292.

Lowe, D., et al. (2006). "Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques." Journal of Construction Engineering and Management 132(7): 750-758.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Lowe, D. J., et al. (2006). "Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques." Journal of Construction Engineering & Management 132(7): 750-758.

Moret, Y. and H. H. Einstein (2012). "Modeling Correlations in Rail Line Construction." Journal of Construction Engineering & Management 138(9): 1075-1084.

Office, U. S. G. A., et al. (2009). GAO Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs, United States Government Accountability Office.

Ostwald, P. F. (2001). Construction Cost Analysis and Estimating, Prentice Hall.

Patra, A. P., et al. (2009). "Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F, Journal of Rail & Rapid Transit. 223: 285-293.

Petroutsatou, K., et al. (2012). "Early Cost Estimating of Road Tunnel Construction Using Neural Networks." Journal of Construction Engineering & Management 138(6): 679-687.

Phaobunjong, K. and C. M. Popescu (2003). "Parametric Cost Estimating Model for Buildings." AACE International Transactions: 1-1.

Rostami, J., et al. (2013). "Planning level tunnel cost estimation based on statistical analysis of historical data." Tunneling & Underground Space Technology 33: 22-33.

Sae-Hyun, J., et al. (2010). "Data Preprocessing–Based Parametric Cost Model for Building Projects: Case Studies of Korean Construction Projects." Journal of Construction Engineering & Management 136(8): 844-853.

Tas, E. and H. Yaman (2005). "A building cost estimation model based on cost significant work packages." Engineering Construction & Architectural Management (09699988) 12(3): 251-263.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Touran, A. and R. Lopez (2006). "Modeling Cost Escalation in Large Infrastructure Projects." Journal of Construction Engineering and Management 132(8): 853-860.

Trost, S. and G. Oberlender (2003). "Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Using Factor Analysis and Multivariate Regression." Journal of Construction Engineering and Management 129(2): 198-204.

Wilmot, C. G. and B. Mei (2005). "Neural Network Modeling of Highway Construction Costs." Journal of Construction Engineering & Management 131(7): 765-771.

Zhang, J.-j., et al. (2013). Research on four-electrical railway project cost estimate based on the WBS standard templates. Management Science and Engineering (ICMSE), 2013 International Conference on.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University